

Postępy nauk rolniczych

Advances in Agricultural Sciences

2/2011

***Polska Akademia Nauk
Wydział Nauk
Biologicznych
i Rolniczych***

***Kwartalnik
nr 346 rok 63***

Rada Redakcyjna

A. Grzywacz (przewodniczący),
J. Haman, T. Krzymowski, J.J. Lipa,
A. Rutkowski, F. Tomczak, M. Truszczyński, J. Wilkin

Redakcja

A. Horubała (redaktor naczelny),
J. Buliński, A. Gawrońska-Kulesza, W. Józwiak, J. Zimny, T. Żebrowska,
R. Suska (sekretarz redakcji)

Adres Redakcji

00-901 Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, pokój 2113
tel. 22 620 33 71, 22 656 60 14
e-mail: renata.suska@pan.pl

Wydanie publikacji finansowane ze środków PAN

Opracowanie redakcyjne, korekta i skład — Danuta Borecka

PL ISSN 0032-5547

Nakład 200 egz. Ark. wyd. 9,5. Ark. druk. 8.
Druk — PAN Warszawska Drukarnia Naukowa,
00-656 Warszawa, ul. Śniadeckich 8, tel./faks 22 628 87 77

Profesor Ryszard Babicki



(1927–2010)

Ryszard Tomasz Babicki urodził się 1 stycznia 1927 roku w Baranowiczach, w ówczesnym województwie nowogródzkim (obecnie Białoruś, obwód brzeski). Gdy wybuchła II wojna światowa miał 12 lat i ukończone 6 klas szkoły powszechnej w rodzinnym mieście. Pod okupacją sowiecką (wrzesień 1939 – czerwiec 1941) kontynuował naukę, natomiast w latach 1941–1944 pod okupacją hitlerowską tych terenów, pracował jako laborant w zakładzie fotograficznym, co chroniło Go przed wywiezieniem na przymusowe roboty do Niemiec. W 1944 r. wschodnie kresy Rzeczypospolitej znalazły się znowu „pod administracją” Związku Radzieckiego, dlatego jako siedemnastoletni młodzieniec podjął decyzję o nielegalnym przekroczeniu granicy na Bugu, ucieczce z Baranowicz na tereny Polski, gdzie w Łukowie wstąpił na ochotnika do Wojska Polskiego. Uchroniło to Go przed wywiezieniem na Daleki Wschód Rosji lub wcieleniem do Armii Czerwonej. Przeszedł szlak bojowy, a w marcu 1946 r. uzyskał zgodę na demobilizację, po wyrażeniu chęci podjęcia dalszej nauki.

Zdał eksternistycznie egzaminy gimnazjalne i został przyjęty do Liceum Ogólnokształcącego w Świebodzinie. W 1948 r. zdał maturę, opóźnioną z powodu wojny i rozpoczął studia leśne na Wydziale Rolniczo-Leśnym Uniwersytetu Poznańskiego. W 1952 r. uzyskał dyplom ukończenia studiów i podjął pracę jako asystent w Zakładzie Mechanicznej Technologii Drewna Wyższej Szkoły Rolniczej w Poznaniu (później Akademia Rolnicza, a obecnie Uniwersytet Przyrodniczy). Od 1 stycznia 1953 r. rozpoczął pracę naukową w nowoutworzonym Instytucie Technologii Drewna (ITD) w Poznaniu, w Zakładzie Chemicznej Technologii Drewna. Był to wówczas instytut resortowy Ministerstwa Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego, aktualnie podległy Ministerstwu Gospodarki. Od tej pory do końca swojego życia, czyli przez 57 lat, był związany z tym instytutem.

W 1960 r. obronił na Wydziale Leśnym Wyższej Szkoły Rolniczej w Poznaniu pracę doktorską „Badania chemiczne właściwości najważniejszych gatunków topoli z uwzględnieniem wieku”. W 1967 r. na podstawie dotychczasowego dorobku i rozprawy „Badania nad wykorzystaniem trocin drzewnych do produkcji drożdży paszowych metodą hydrolizy stężonym kwasem siarkowym”, uzyskał na Wydziale Technologii Drewna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie stopień doktora habilitowanego nauk technicznych. W 1972 r. uzyskał tytuł profesora nadzwyczajnego, a w 1978 profesora zwyczajnego nauk technicznych. W 1983 r. został wybrany członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk, a w 1994 r. członkiem rzeczywistym.

W latach 1967–1970 Ryszard Babicki pełnił obowiązki zastępcy dyrektora ITD ds. naukowo-badawczych, a od 1970 r. do 28 stycznia 1991 r. był dyrektorem naczelnym.

Podstawowym obszarem zainteresowań naukowych Prof. R. Babickiego była chemiczna technologia drewna. Jego dorobek naukowy obejmuje ponad 200 publikacji o charakterze poznawczym i aplikacyjnym – 70 oryginalnych rozpraw naukowych, 100 artykułów i opracowań przeglądowych, 3 monografie, kilkadziesiąt arty-

kułów popularno-naukowych. Znaczna część publikacji ukazała się w czołowych krajowych i zagranicznych czasopismach z zakresu drzewnictwa. Był autorem lub współautorem 18 patentów i 19 opracowań technologicznych wdrożonych w zakładach przemysłu drzewnego oraz ponad 50 dokumentacji i sprawozdań z prac badawczych. Na szczególną uwagę zasługują wieloletnie, kompleksowe badania termolizy drewna, w tym nad zwęglaniem różnych gatunków drewna i jego odpadów (trocin) oraz nad regeneracją węgla aktywnego. Prof. R. Babicki opracował nową przemysłową technologię zwęglania drobnowymiarowych odpadów drewna w piecu wielopółkowym typu Herreshoffa. Duże zasługi naukowe miał Profesor w zakresie hydrolizy drewna odpadowego, służącego do otrzymywania drożdży jako dodatku do pasz przemysłowych dla zwierząt hodowlanych. Liczne badania zespołu pod kierunkiem R. Babickiego posłużyły w praktyce do zwiększenia wydajności procesów oraz polepszenia jakości produktów podczas przerobu żywicy balsamicznej z sosny zwyczajnej i oleju talowego, w tym po raz pierwszy zastosowano w początkowych etapach tego procesu wybrane herbicydy dla zwiększenia przeżywiczenia drewna (w szczególności Gramaxonu). Liczącą pozycją w dorobku miały również badania nad zróżnicowaniem składu chemicznego wielu gatunków drewna w zależności od wieku drzewostanu, z którego było pozyskane oraz naturalnego zasięgu ich występowania (krajów przyrodniczo-leśnych). Badania nad zmianami właściwości chemicznych i fizykomechanicznych drewna bukowego pod wpływem obróbki hydrotermicznej, służącej do produkcji mebli giętych, zyskały zainteresowanie drzewiarzy – naukowców i praktyków w licznych krajach. Podobnie cenione były badania nad wpływem wybranych środków chemicznych na właściwości dyspersyjne klejów papierniczych.

Znaczący był udział Profesora w rozwiązywaniu problemów organizacyjnych i ekonomicznych przemysłu drzewnego, lokalizacji nowych kombinatów i zakładów drzewnych w powiązaniu z bazą surowcową określonych sortymentów drewna, integracji leśnictwa i przemysłu drzewnego. Po zmianie ustroju społeczno-politycznego w naszym kraju, po 1989 r., Instytut Technologii Drewna, kierowany przez Prof. R. Babickiego, bardzo angażował się w rozwiązywanie problemów gospodarczych i transformację sektora drzewnego.

W trakcie własnej pracy naukowej oraz jako dyrektor Instytutu Profesor szczególnie dbał o współpracę i przyjazne stosunki z innymi placówkami naukowymi w kraju: z Instytutem Badawczym Leśnictwa w Warszawie, Instytutem Celulozowo-Papierniczym w Łodzi, Wydziałem Technologii Drewna Akademii Rolniczej w Poznaniu (obecnie Uniwersytetem Przyrodniczym), Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i branżowymi jednostkami badawczo-rozwojowymi oraz instytutami i uczelniami zagranicznymi: w Bratysławie, Budapeszcie, Dreźnie, Kijowie, Mińsku, Petersburgu, Pradze. Prof. R. Babicki był kierownikiem problemu węzłowego 09.11 „Kompleksowe wykorzystanie surowca drzewnego w przerobie przemysłowym” w latach 1975–1980 oraz Centralnego Programu Badawczego 6.5 „Materiałoozczęd-

ny przerób drewna” w latach 1986–1990. Był organizatorem sympozjów międzynarodowych, między innymi „Modyfikacja drewna” (10 sympozjów, co 2 lata), „Reologia drewna i konstrukcji drzewnych”, „Higieniczność materiałów stosowanych w produkcji mebli i wyposażenia wnętrz mieszkalnych”, „Żyvice naturalne – ich pozyskiwanie i racjonalne użytkowanie”, „Metody badawcze w chemii drewna”.

Wykonał ponad 80 recenzji rozpraw doktorskich i habilitacyjnych oraz wniosków o stanowisko lub tytuł profesora. Przez 17 lat był członkiem Centralnej Komisji ds. Kadr Naukowych, uczestniczył w pracy różnych zespołów Komitetu Badań Naukowych.

Szczególne zasługi miał w działalności na rzecz Polskiej Akademii Nauk. Od 1964 r. był członkiem Komitetu Technologii Drewna PAN, ponad 20 lat (1975–1996) przewodniczył temu Komitetowi, w 1997 r. został powołany na honorowego przewodniczącego. Był członkiem różnych rad i komisji działających w ramach Wydziału V Nauk Rolniczych, Leśnych, Weterynaryjnych. Od 1982 r. był członkiem rady redakcyjnej „Folia Forestalia Polonica”, czasopisma Komitetu Technologii Drewna PAN. Był również redaktorem naczelnym czasopisma „Prace Instytutu Technologii Drewna” oraz członkiem rad programowych i redakcyjnych czasopism naukowych „Sylwan” (od 1975) i „Drewno – Wood” (od 1995) – aż do ostatnich chwil swojego życia. Uczestniczył w pracach Komisji Nauk Leśnych i Drzewnych Oddziału Poznańskiego PAN.

Uczestniczył w pracach Rad Naukowo-Technicznych Ministerstwa Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego, Ministerstwa Rolnictwa, Leśnictwa i Gospodarki Żywnościowej, rad naukowych instytutów Polskiej Akademii Nauk i instytutów badawczo-rozwojowych (resortowych). Był bardzo aktywny w działalności Kolegium Dyrektorów Instytutów Badawczych Miasta Poznania i Województwa Poznańskiego (współtwórca i przewodniczący), Zespołu Kolegium Rektorów Uczelni Wyższych Miasta Poznania, w Poznańskim Towarzystwie Przyjaciół Nauk, Polskim Towarzystwie Leśnym.

Za całokształt działalności Prof. R. Balicki był wyróżniany i odznaczany między innymi Krzyżem Kawalerskim i Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski, medalem im. Michała Oczapowskiego przyznany przez Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN za wybitny wkład w rozwój nauk leśnych – drzewnictwa oraz innymi odznaczeniami i nagrodami. W 2004 r. Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu nadała Prof. R. Babickiemu godność doktora *honoris causa*.

Będąc od 1991 r. na emeryturze, aż do ostatnich chwil swojego życia w dalszym ciągu pracował w Instytucie Technologii Drewna, gdzie był od 1991 r. przewodniczącym Rady Naukowej, konsultantem naukowym, służył swoją wiedzą i ogromnym doświadczeniem. Lubiany, szanowany, życzliwy, pogodny, chętnie rozmawiał i doradzał pracownikom, zwłaszcza młodym naukowcom i doktorantom. Daleka droga jaką przeszedł, od skromnej rodziny w Baranowiczach, aż do najwyższych

godności akademickich, prawość charakteru, wielka pracowitość sprawiły, że cieszył się wielkim poważaniem i autorytetem.

Na stronie internetowej macierzystego Instytutu, w zawiadomieniach o Jego śmierci pracownicy napisali „... Niewiele osób w polskim drzewnictwie wywarło w trakcie swojej aktywności zawodowej tak duży wpływ na otoczenia jak Profesor Ryszard Babicki”, „Liczne osiągnięcia naukowe w zakresie drzewnictwa... ugruntowały pozycję Profesora w gronie najwybitniejszych specjalistów w tym obszarze badawczym w kraju i za granicą”.

Prof. Ryszard Babicki zmarł 16 grudnia 2010 roku. Po mszy świętej odprawionej 21 grudnia w Jego intencji w Kościele Garnizonowym przy ul. Szamarzewskiego, został pochowany w Alei Zasłużonych na Miłostowskim Cmentarzu Miejskim w Poznaniu.

Literatura

- [1] Członkowie Polskiej Akademii Nauk. 2009. Ryszard Tomasz Babicki, Informator PAN, Warszawa: 475–476.
- [2] Łęcka J. 2004. Doktor honoris causa prof. dr hab. Ryszard Babicki. W: *Folia Forestalia Polonica* ser. B, z. 35.
- [3] Materiały w aktach członka PAN – Ryszard Babicki (1983–2010).
- [4] Strona internetowa Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu „Zmarł prof. dr hab. inż. Ryszard Babicki, dr h. c., czł. rzecz. PAN”.
- [5] Strykowski W. 2007. Profesor Ryszard Babicki – życie i praca. W: *Technologia drewna – wczoraj, dziś, jutro*, Poznań: 15–19.

Andrzej Grzywacz
Czł. rzecz. PAN

Reakcja nasion chwastów segetalnych na uprawę roli wykonywaną nocą

Adam Dobrzański

Instytut Ogrodnictwa

ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice

e-mail: adam.dobrzaski1@neostrada.pl

Słowa kluczowe: chwasty, nasiona, uprawa w nocy, regulacja zachwaszczenia

Wstęp

Reakcja chwastów na warunki ich życia rozpoczyna się z chwilą kiełkowania nasion. Podstawowe znaczenie mają: długość okresu spoczynku nasion, temperatura, wilgotność, odczyn gleby, stężenie składników pokarmowych w glebie, światło i zawartość powietrza w warstwie gleby, gdzie znajdują się nasiona, struktura gleby i sposób uprawy roli, a także głębokość, na jakiej umieszczone są nasiona w glebie [12, 13, 27, 32, 58, 64, 67]. Kiełkowanie i pojawianie się wschodów chwastów na polu uprawnym zależy przy tym od współdziałania wymienionych czynników [62, 66]. Stąd wszelkie zabiegi agrotechniczne mogą wpływać na agrofitycenozę i skład gatunkowy flory segetalnej. Jednym ze sposobów ograniczania zachwaszczenia jest metoda wykorzystująca fotoblastyzm nasion, czyli ich reakcji na światło podczas uprawy roli.

Rola światła w kiełkowaniu nasion chwastów

Światło nie zawsze jest potrzebne, aby przerwać okres spoczynku nasion i pobudzić je do kiełkowania [48], ale nasiona niektórych roślin uprawnych i chwastów kiełkują lepiej lub tylko wówczas, gdy zostaną poddane działaniu światła [6, 7, 24, 40, 50, 56, 57, 64]. Można wyróżnić trzy grupy nasion: fotoblastycznie dodatnie (PP – **positively photoblastic**) – dobrze kiełkujące na świetle, nie kiełkujące w ciemności; fotoblastycznie ujemne (NP – **negatively photoblastic**), nie reagujące na światło – dobrze kiełkujące w ciemności, nie kiełkujące nawet w warunkach słabego napro-

mieniowania; indyferentne (I – indifferent) – dobrze kiełkujące w ciemności i na świetle [11, 22, 46]. Stwierdzono, że światło białe może stymulować, hamować lub nie wpływać na kiełkowanie nasion, przy czym na ten proces ma też wpływ czerwień, daleka czerwień i światło niebieskie. Borthwick i in. [14] ustalili, że kiełkowanie indukowane przez światło czerwone jest niwelowane przez następcze naświetlenie daleką czerwień. Ponadto odwracalność działania czerwieni i dalekiej czerwieni można uzyskać wielokrotnie, a kiełkowanie lub jego brak jest uzależnione od charakteru ostatnio zastosowanego światła. Wrażliwość nasion na działanie światła zmienia się w trakcie pęcznienia nasion. Drugim regionem spektralnym, oprócz czerwieni, który jest aktywny w procesie kiełkowania, jest obszar niebieski w zakresie 400–500 nm. Światło niebieskie może wpływać hamująco na proces kiełkowania, a także odwracać stymulujące efekty działania światła czerwonego. Prawdopodobnie działanie światła niebieskiego jest powiązane z obecnością w tkankach roślinnych specyficznego fotoreceptora – kryptochromu [14, 46]. Reakcja nasion na światło jest wynikiem działania fitochromów (barwników roślinnych) zlokalizowanych w błonach komórkowych nasion i reagujących na natężenie światła oraz długość dnia. Fitochromy występują w dwóch odwracalnych formach: formie nieaktywnej fizjologicznie (Fitochrom Pr) oraz aktywnej fizjologicznie (Fitochrom Pfr). Fitochrom Pr pochłania światło jasnoczerwone o maksimum absorpcji 660 nm (R – red light) i pod jego wpływem ulega fotokonwersji w formę Pfr. Z kolei fitochrom Pfr ulega przekształceniu pod wpływem światła ciemnoczerwonego (FR – far red light) o maksimum absorpcji 730 nm. Formy te mogą przechodzić jedna w drugą na skutek oddziaływania światła o określonej długości fali [36, 61]. Skład spektralny światła rejestrowany przez nasiona, szczególnie stosunek R:FR, jest jednym z czynników decydujących o wzbudzeniu (przy niskim R:FR) lub przerwaniu (przy wysokim R:FR) stanu spoczynkowego nasion [55]. Ich kiełkowanie może zależeć od proporcji między formą aktywną Pfr i nieaktywną Pr w ogólnej zawartości fitochromu.

W roślinach występują obie formy fitochromu, ale w warunkach światła dziennego zazwyczaj przeważa forma Pfr. Gdy jest ciemno fitochrom Pfr przekształca się w formę nieaktywną Pr. Krótki błysk światła w ciemnościach wywołuje fotokonwersję uruchamiającą proces kiełkowania nasiona. Wysoki poziom Pfr sprzyja kiełkowaniu; nasiona zawierające wysoki poziom endogennego Pfr mogą kiełkować w ciemności, nie potrzebują bowiem światła do wytworzenia fitochromu Pfr. Z kolei nasionom o niskim poziomie tego fitochromu światło jest niezbędne do wykiełkowania, bo dzięki niemu poziom ten podwyższa się [36, 61]. Znaczenie światła, jako sygnału pozwalającego nasionom na detekcję warunków zewnętrznych (ang. gap detection mechanism) było przedmiotem wielu prac z zakresu ekofizjologii nasion [30, 31, 37,]. Według Górskiego i in. [30] nasiona około 75% gatunków roślin potrzebują naświetlenia do rozpoczęcia procesu kiełkowania. Natomiast u wszystkich nasion, których kiełkowanie jest stymulowane przez światło białe występuje hamowanie kiełkowania przez daleką czerwień. Stwierdzono, że gatunki o mniejszych nasionach

częściej potrzebowały impulsu świetlnego do kiełkowania niż gatunki o większych nasionach. Niektórzy autorzy sądzą, że wymaganie impulsu świetlnego do kiełkowania jest zabezpieczeniem nasion przed przedwczesnym kiełkowaniem na zbyt dużej głębokości [38, 39]. Jest to związane z tym, że siewki gatunków o małych nasionach mogą fizycznie wydostać się na powierzchnię tylko z bardzo małej głębokości, a światło penetruje glebę do głębokości tylko kilku milimetrów [62]. Z tego wynika, że wymagania świetlne działają, jako czujnik głębokości chroniący przed zbyt wczesnym kiełkowaniem. W środowisku glebowym jest obecny tlenek azotu, jako produkt nityfikacji i denityfikacji. Donory NO stymulują kiełkowanie nasion wielu gatunków roślin. Produkcję endogenego NO wykazano we wczesnych etapach kiełkowania nasion, co wskazuje, że NO może być regulatorem tego procesu. Jednakże mechanizm jego działania w regulacji kiełkowania nasion nie jest w pełni poznany. Przypuszcza się, że NO uruchamia „fitochromowy” szlak transdukcji sygnału, prowadzący do przerywania spoczynku i rozpoczęcia kiełkowania w przypadku nasion fotoblastycznych. Stymulująca kiełkowanie funkcja NO, może dotyczyć współdziałania NO z hormonami roślinnymi uczestniczącymi w indukcji procesu kiełkowania nasion [29]. Na współdziałanie azotanów ze światłem i zmienną temperaturą w przerywaniu okresu spoczynku nasion chwastów wskazują Vincent i Roberts [63]. Współzależność związków azotu i światła potwierdzili też Murdoch i in. [52] w badaniach nad okresem spoczynku i kiełkowaniem nasion komosy białej pochodzącej z 10 krajów europejskich oraz Kanady i Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej. Wykazali oni, że azotan potasu i światło pobudzały nasiona do kiełkowania i skracaly okres spoczynku, przy czym nasiona pochodzące z krajów leżących na południu miały dłuższy okres spoczynku niż tych na północy. Dokładny czas naświetlenia potrzebny do pobudzenia nasion nie jest znany dla wszystkich gatunków. Według Ascarda [8] w czasie słonecznego dnia wystarczającym może się okazać błysk długości 1/1000 sekundy. Czas ekspozycji do pobudzenia nasion przez słabe światło w nocy wynosi około 5 sekund. Stwierdzono, że pod wpływem działania światła przez 90 sekund kiełkuje znaczna część nasion chwastów wydobytych na powierzchnię gleby [41].

Wykorzystanie zjawiska fotoblastyzmu do regulowania zachwaszczenia

Podczas prac polowych część nasion chwastów przez moment pojawia się na powierzchni gleby, co umożliwia im kiełkowanie. Uzyskanie mniejszego zachwaszczenia pola wydaje się zatem możliwe dzięki prowadzeniu prac w nocy. Zwalczanie chwastów przez wykorzystanie fotoblastyzmu nasion zaproponowali, jako jedni z pierwszych, Hartmanni Nezađal w r. 1990 [35]. Od tego czasu prowadzono liczne badania dla wykazania faktycznego wpływu uprawy w nocy na zachwaszczenie

plantacji [9, 16, 33, 49, 50, 60]. Ponieważ uzyskiwano różne, często rozbieżne wyniki, można sądzić, iż miał na nie wpływ udział gatunków fotoblastycznie wrażliwych w zbiorowisku chwastów. Przykładem badań, które dały najbardziej zaskakujące wyniki są te wykonane w Niemczech. Na skutek prowadzenia orki i bronowań w ciemności odnotowano zaledwie 2% stopień pokrycia gleby chwastami, podczas gdy identyczne zabiegi prowadzone w dzień dały 80% pokrycia [35]. Inni badacze nie uzyskali aż tak rewelacyjnych wyników. W Danii zauważono, że uprawa w nocy opóźnia wschody i zmniejsza liczbę chwastów o około 30%, natomiast w Szwecji uzyskano 40% zmniejszenie ogólnej liczby wschodzących chwastów [8]. Choć wiele badań wskazuje na redukcję liczby chwastów pod wpływem uprawy w nocy, to jednak duża część z nich pokazuje, iż efekty bywają nieznaczne [53]. Juroszek i in. [42, 43] podają, że wyniki różnych autorów nie zawsze są powtarzalne i mogą się różnić w odniesieniu do tych samych gatunków chwastów. Autor ten stwierdził, że w 4 przypadkach na 10 pod wpływem uprawy w nocy pojawiało się mniej siewek chwastów, w porównaniu do uprawy w dzień, a w 6 przypadkach nie uzyskano redukcji zachwaszczenia, pomimo tego, że w glebowym banku nasion dominowały gatunki uznawane za wymagające światła do kiełkowania, takie jak: komosa biała, rumianek pospolity, i gwiazdnica pospolita. Największa redukcja wschodów chwastów nastąpiła, gdy uprawę w nocy wykonywano na początku lutego (-27%). Natomiast zabieg ten wykonany w połowie października spowodował wzrost zachwaszczenia (+22,3%). Oznacza to, że pora roku i różne warunki występujące w okresie uprawy mogą wpływać na okres spoczynku nasion i wywoływać zmienną reakcję chwastów na światło [16, 25, 26, 33, 34, 40, 51], a więc na termin uprawy w ciągu doby. Przyczyna tego zjawiska nie jest wyjaśniona w sposób wystarczający. Reakcja nasion na światło nie jest stała. Zmienia się ona z wiekiem nasion i zależy od wielu czynników zewnętrznych, głównie od temperatury i wilgotności gleby. Tym można wyjaśnić częste sprzeczności pomiędzy wynikami badań różnych autorów charakteryzujących zależność reakcji chwastów na warunki świetlne w czasie uprawy. Wiele gatunków chwastów, w odróżnieniu od roślin uprawnych, charakteryzuje się szeroką „amplitudą ekologiczną”, co umożliwia im występowanie w agroflocenie w odmiennych warunkach istniejących w różnych okresach sezonu wegetacyjnego [5, 7]. Nie można też wykluczyć, że w obrębie poszczególnych gatunków są biotypy różniące się między sobą reakcją na światło.

Uprawa roli w zaciemnieniu w większym stopniu redukuje zachwaszczenie gatunkami dwuliściennymi niż jednoliściennymi [60], aczkolwiek mogą zdarzać się wyjątki. Zaobserwowano, że w pszenicy ozimej uprawa nocna stymulowała wschody wiechliny rocznej (gatunek jednoliścienny) i chwastów dwuliściennych, takich jak tasznik pospolity i przetacznik polny [3]. Przez uprawę w nocy z reguły bardziej zredukowane jest zachwaszczenie gatunkami tworzącymi małe nasiona, np. komosą białą [41]. Według Ascarda [9] można się spodziewać większej redukcji zachwaszczenia pod wpływem uprawy w nocy w przypadku fiołka polnego i gwiazdnicy

pospolitej niż w przypadku rdestówki powojowatej, która tworzy większe nasiona. Na reakcję komosy białej na impuls świetlny zwraca uwagę kilku autorów [19, 44, 45], ale w badaniach Adamiak [2] gatunek ten nie reagował na uprawę w nocy. Ponieważ uzyskiwano różne, często rozbieżne wyniki, można sądzić, iż miał na nie wpływ udział gatunków fotoblastycznie wrażliwych w zbiorowisku chwastów. Zgodnie z tym przypuszczeniem uzyskamy tym lepsze efekty, im więcej będzie w glebie nasion gatunków chwastów pozytywnie reagujących na impuls świetlny. Do ważniejszych gatunków zachwaszczających różne uprawy, zwłaszcza zboża ozime, należy miotła zbożowa i przytulia czepna. Z niektórych badań [2, 3] wynika, że uprawa w nocy zmniejsza zachwaszczenie zbóż ozimych i rzepaku miotłą. Odnosnie przytuli czepnej wyniki nie są jednoznaczne. Hartmani i Nezaďal [35] odnotowali wyraźne ograniczenie tym gatunkiem po uprawie w nocy. Potwierdzili to w badaniach prowadzonych w pszenicy ozimej Adamiak i Adamiak [3]. Natomiast Wesołowski i Cierpiała [65] odnotowali w pszenicy jarej odwrotne zjawisko.

Prowadzone w Polsce, w Skierniewicach w latach 1994–1996, badania potwierdziły, że nocna uprawa przedsiewna agregatem uprawowym (brona + wał strunowy) zmniejsza zachwaszczenie. Po 33 dniach stopień pokrycia gleby przez chwasty, po uprawie w nocy, w zależności od roku był o 26,2–53,7% (średnia z 3 lat 37,8%) mniejszy w porównaniu z uprawą w dzień. Po 55 dniach nie odnotowano jednak zasadniczych różnic w stopniu zachwaszczenia między porównywanymi obiektami. Zauważono natomiast, iż poszczególne gatunki chwastów różnie reagują na termin wykonywania uprawy i warunki panujące w określonym roku. W kolejnych trzech latach po nocnej uprawie było mniej pokrzywki żegawki i jasnoty różowej. W pierwszym roku odnotowano o ok. 50% mniejsze zachwaszczenie tasznikiem pospolitym a w następnych latach różnic nie stwierdzono. Powszechnie spotykanej we wszystkich uprawach komosy białej w dwóch latach było wyraźnie mniej po uprawie w nocy, a w jednym roku różnic w porównaniu do uprawy w dzień nie zaobserwowano. Przedsięwzięta uprawa w nocy opóźniała kiełkowanie i wschody chwastów oraz zmniejszała zachwaszczenie maksymalnie do 5 tygodni. Badano również skuteczność walki z chwastami przy zastosowaniu herbicydów, a uzyskane wyniki jednoznacznie wskazały, że użycie środków chemicznych daje dużo lepsze rezultaty niż uprawa nocą [20, 21, 54]. Pozytywny wpływ uprawy w nocy na zachwaszczenie zaobserwowano w badaniach w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, w których uwzględniono bobik, pszenicę jarą i ziemniaki. Okazało się, iż orka nocą ma większy wpływ na ograniczenie liczby chwastów niż nocna uprawa przedsiewna, choć siew nocą również prowadził do redukcji zachwaszczenia. Otrzymane wyniki potwierdziły, że między poszczególnymi gatunkami chwastów występują znaczne różnice wrażliwości na ograniczenie dostępu światła podczas uprawy gleby [55]. Wesołowski i Cierpiała [65] wykazali, że bronowanie nocą pszenicy jarej okazało się skuteczniejsze w ograniczaniu liczby i masy chwastów niż bronowanie podczas dnia. Pora bronowania modyfikowała głównie skład botaniczny chwastów krótkotrwałych.

Bronowanie nocą ograniczało liczebność między innymi: tobołków polnych, rdestu kolankowatego i fiołka polnego. Wykazano [2, 3, 4], że w rzepaku i pszenicy przedsięwzięta uprawa w nocy zredukowała zachwaszczenie, ale obniżenie ogólnego zachwaszczenia nie przekraczało 20%. W badaniach z kapustą głowiastą stwierdzono, że uprawa w nocy poprzedzająca sadzenie rozsady zmniejszyła liczbę chwastów w zachwaszczeniu pierwotnym w 33 dni po sadzeniu rozsady o 16%, a ich biomasę o 26%, przy czym gatunkiem wyraźnie reagującym na porę wykonywania zabiegów uprawowych była komosa biała. W strukturze zachwaszczenia na skutek uprawy w nocy udział osobników tego gatunku był mniejszy niż po uprawie w dzień. Mniej też zanotowano rdestu ptasiego i kolankowatego, tasznika pospolitego, żółtlicy drobnokwiatowej i chwastów rumianowatych [19]. W miarę upływu czasu różnice te ulegały zatarciu i w zachwaszczeniu wtórnym, przed zbiorem kapusty, były nieznaczne. Na podstawie badań prowadzonych głównie w zbożach, według niektórych autorów zabieg uprawowy w ciemności może ograniczyć występowanie chwastów dłużej, czasem aż do zbioru rośliny uprawnej [2, 3, 28]. Nie jest wykluczone, że w gatunkach uprawianych w małym zagęszczeniu i w szerokiej rozstawie rzędów (np. większość warzyw, ziemniak), gdzie z reguły wykonywane są mechaniczne uprawki międzyrzędowe poziom zachwaszczenie wtórnego jest przez nie modyfikowany i staje się trudny do precyzyjnego określenia.

Faktem znanym jest, iż od sposobu uprawy roli jest uzależnione rozmieszczenie diaspor chwastów w warstwie ornej. Zatem nie można wykluczyć współdziałania pomiędzy wykorzystywanymi narzędziami uprawowymi i głębokością uprawy a terminem tego zabiegu w czasie doby [2, 28, 55]. Według Gerhardsa i in. [28] uprawa płuzna wykonana nocą słabiej redukowała zachwaszczenie niż talerzowanie. W badaniach Adamiak i Adamiak [3] wyraźnie lepszy efekt uzyskano w pszenicy ozimej po uprawie płuznej. Natomiast po uprawie roli nocą poprzedzającą siew rzepaku ograniczono zagęszczenie chwastów przeciętnie o 15%, przy czym tylko minimalnie lepszy efekt zaobserwowano stosując pług niż bronę talerzową. Zespół zabiegów poprzedzających siew lub sadzenie składa się zwykle z kilku uprawek. Ich kilkakrotne wykonywanie stymuluje kiełkowanie chwastów i powoduje jednocześnie niszczenie chwastów, które zdążyły wzejść przed zabiegiem uprawowym. Takie postępowanie prowadzi do zmniejszenia zapasu żywotnych nasion chwastów w glebowym banku nasion. Stąd dla ograniczenia zachwaszczenia zaleca się wykonywanie ostatniej przedsięwziętej uprawy nie wcześniej niż 1 godzinę po zachodzie (najlepiej nie później niż przed północą) lub 1 godzinę przed wschodem słońca [9, 20, 35].

W niektórych przypadkach pod wpływem uprawy w nocy można uzyskać aż czterokrotną redukcję zachwaszczenia, w porównaniu do uprawy w dzień [59], a w innych można nie odnotować żadnych efektów [15]. Wprawdzie czasem można zauważyć znaczne zmniejszenie względnej liczby chwastów wyrażone w procentach, to jednak absolutna – rzeczywista ich liczba bywa wysoka, na poziomie nie akceptowalnym [10, 64]. Nie można też wykluczyć, że uprawa w nocy może spowodować

skutki negatywne. Nie redukuje liczby żywotnych nasion chwastów w glebie, a tylko odkłada w czasie ich kiełkowanie i można postawić tezę, że wyeliminowanie chwastów reagujących na światło może doprowadzić do rozwoju chwastów fotoblastycznie negatywnych i rozmnażających się wegetatywnie z rozłogów [35]. W celu ograniczenia wpływu działania światła, którego źródłem podczas polowych prac nocnych są reflektory ciągnika można zastosować filtry spektralne lub reflektory specjalnie skonstruowane. Ponieważ nie cały zakres spektralny światła naturalnego przekształca fitochrom do formy czynnej, zastosowanie niebieskiego oświetlenia w ciągnikach podczas pracy nocą wydaje się uzasadnione [23]. W ciągu dnia efekt podobny do uprawy nocnej można uzyskać osłaniając narzędzia uprawowe czarną folią lub włókniną [9].

Zapobiegając niekorzystnym skutkom powodowanym przez chwasty powinno się podejmować działania, aby do minimum ograniczać ujemny wpływ antropogenicznej presji na środowisko. Należy brać pod uwagę nie tylko straty plonu i względy ekonomiczne, lecz także aspekty ekologiczne i zachowanie bioróżnorodności środowiska [17, 18, 47]. Temu służy między innymi integracja różnych metod regulowania zachwaszczenia [1, 49, 50, 59, 68]. Dlatego należy zwrócić uwagę na wszelkie sposoby ograniczające zachwaszczenie w okresie poprzedzającym siew czy sadzenie roślin, do których można zaliczyć uprawę roli w nocy.

Podsumowanie

Z wielu badań wynika, że na fizjonomię agrofitycenozy, zależną od składu gatunkowego chwastów segetalnych mogą wpływać warunki świetlne podczas uprawy roli. Uprawa w nocy, w porównaniu z uprawą w dzień, zmienia stosunki ilościowe pomiędzy gatunkami chwastów. Ograniczenie dostępu światła podczas zabiegów uprawowych przyczynia się do spowolnienia wschodów chwastów i zmniejsza poziom zachwaszczenia pierwotnego, czyli występującego w pierwszej połowie okresu wegetacji i początkowych fazach wzrostu roślin uprawnych, kiedy konkurencja chwastów o zasoby siedliska stanowi największe zagrożenie. Uprawa nocą nie jest alternatywnym sposobem ochrony przed chwastami, zastępującym skuteczniejsze metody (chemiczne, mechaniczne), ale może być ich uzupełnieniem w integrowanej uprawie roślin. Może mieć ona praktyczne zastosowanie zwłaszcza w uprawach ekologicznych, gdzie stosowanie syntetycznych herbicydów jest wykluczone.

Literatura

- [1] Adamczewski K., Dobrzański A. 1997. Regulowanie zachwaszczenia w integrowanych programach uprawy roślin. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 37(1): 58–65.
- [2] Adamiak E. 2004. Fotobiologiczna regulacja zachwaszczenia w rzepaku ozimym. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(1): 203–208.

- [3] Adamiak E., Adamiak J. 2003. Photobiologische Verunkrautungsregulierung im Winterweizen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15: 294–295.
- [4] Adamiak E., Stepien A. 2004. Wpływ przedsiewnej uprawy roli na zachwaszczenie i plonowanie pszenicy ozimej. *Fragmenta Agronomica* 3(83) : 7–20.
- [5] Aldrich R.J. 1984. Weed crop – ecology. Brenton Publishers, a Division of Wadsworth Inc. California. Przekład polski 1995: Ekologia chwastów w roślinach uprawnych. Towarzystwo Chemii i Inżynierii Ekologicznej, Opole (przekład i adaptacja: Połcik B., Adamczewski K.): 461 ss.
- [6] Andersson L., Milberg P. 1996. Induction of weed seed germination by short duration light exposure. Proc. of the Second Int. Weed Control Congress vol. IV: 1241–1246.
- [7] Andersson L., Milberg P., Noronha A. 1997. Germination response of weed seeds to light, light of short duration and darkness after stratification in soil. *Swedish Journal of Agriculture* 27: 113–120.
- [8] Ascard 1992. Harrowing at night – influence on emergence of weeds. 33rd Swedish Crop Protection Conference, Weed and weed control: 163–170.
- [9] Ascard 1994. Soil cultivation in darkness reduced weed emergence. *Acta Hort.* 372: 167–177.
- [10] Ball D.A. 1992. Weed seed bank response to tillage, herbicides. *Weed Science* 40: 654–659.
- [11] Barton L.V. 1965. Longevity in seeds and in the propagules of fungi. W: *Encyclopedia of Plant Physiology*, W. Ruhland (red.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1965, XV(2): 1058–1085.
- [12] Bochenek A. 2000. Wpływ czynników biotycznych i zabiegów uprawowych na glebowy bank nasion chwastów. *Post. Nauk Rol.* 2: 19–29.
- [13] Bochenek A. 2010. Ecophysiological conditions of seed dormancy of weeds from the Asteraceae family. *Disertations and Monographs* 155. Wydawnictwo UWM Olsztyn 2010 : 125 ss.
- [14] Borthwick, H.A., Hendricks S.B., Parker M.W., Toole E.H., Toole V.K. 1952. A reversible photoreaction controlling seed germination. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 38: 662–666.
- [15] Botto J.F., Scopel A.L., Ballare C.L., Sanches F.A. 1998. The effect of light during and after soil cultivation with different tillage implements on weed seedling emergence. *Weed Science* 46: 351–357.
- [16] Buhler D.D. 1997. Effects of tillage and light environment on emergence of 13 annual weeds. *Weed Technology* 11: 496–501.
- [17] Dekker J. 1997. Weed diversity and weed management. *Weed Science* 45: 357–363.
- [18] Dobrzański A., Adamczewski K. 2009. Wpływ walki z chwastami na bioróżnorodność agrofitycenozy. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 49(3): 982–955.
- [19] Dobrzański A., Ługowski Ł. 2010. Wpływ uprawy roli w nocy na zachwaszczenie kapusty głowiastej. *Zeszyty Naukowe Wyd. Ogrodniczego WSEH, Skierniewice* 9: 57–70.
- [20] Dobrzański A., Pałczyński J. 1995. Wpływ uprawy w zaciemnieniu na zachwaszczenie. *Ochrona Roślin* 3: 16–17.
- [21] Dobrzański A., Pałczyński J. 1996. Wpływ światła podczas uprawy roli na kiełkowanie nasion chwastów i możliwości ograniczenia stosowania herbicydów. *Nowości Warzywnicze* 29: 27–35.
- [22] Doroszewski A. 1989. The effect of solar radiation influence rate on seed germination. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 369: 213–221.
- [23] Doroszewski A. 1999. Możliwości zastosowania uprawy nocnej w walce z chwastami. *Biuletyn Informacyjny IUNG*. Puławy, 10: 22–23.
- [24] Evenari M. 1965. Light and seed dormancy. W: *Encyclopedia of Plant Physiology*, W. Ruhland (red.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, XV(2): 804–847.
- [25] Fogelberg F. 1997. Photocontrol of weeds: the seasonal variation in weed reduction of night-time soil cultivation. 10th EWRS Symposium, Poznań: 174.
- [26] Fogelberg F. 1998. Photocontrol of weeds: the seasonal variation in weed reduction of night-time soil cultivation. 3rd EWRS Workshop on Physical Weed Control, Wye College, UK, 23–25 March 1998: 17.
- [27] Gardarin A., Dürr C., Colbach N. 2010. Effects of seed depth and soil aggregates on the emergence of weed with contrasting seed traits. *Weed Research* 50 (1): 91–101.
- [28] Gerhards R., Klümper H., Kühbauch W. 1993. Photobiologische Unkrautregulierung im landwirtschaftlichen Pflanzenbau. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 2: 91–96.
- [29] Gniazdowska A., Bogatek R. 2007. Regulacyjna rola tlenu azotu w kiełkowaniu nasion. *Postępy Biologii Komórki* 34: 431–444.
- [30] Górski T., Górka K., Rybicki J. 1987. Studies on the germination of seeds under leaf canopy. *Flora* 167: 289–299.

- [31] Grime J.P., Jeffrey D.W. 1965. Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. *J. Ecol.* 53: 621–642.
- [32] Grundy A.C., Jones N.E. 2002. What is the seed bank. W: Weed management handbook (ed. Naylor E.L). Blackwell Science Ltd.: 39–62.
- [33] Hartmann K.M., Mollwo A., Tebbe A. 1998. Photocontrol of germination by moon-and starlight. *Z. Pflkrankh. Pflshutz, Sonderh.* 16: 119–129.
- [34] Hartmann K.M., Mollwo A. 2000. Photocontrol of germination: Sensitivity shift over eight decades within one week. *Z. Pflkrankh. Pflshutz, Sonderh.* 17: 125–131.
- [35] Hartmann K.M., Nezadal W. 1990. Photocontrol of weeds without herbicides. *Naturwissenschaften* 77: 158–163.
- [36] Hilton J. 1985. How light affects weed seed germination. *Span* 28(3): 95–97.
- [37] Holmes M.G., Smith H. 1977. The function of phytochrome in the natural environment. I. The influence of vegetation canopies on the spectral energy distribution of natural daylight. *Photochem. & Photobiol.* 25: 539–545.
- [38] Jankowska-Błaszczuk M. 1996. Ekologiczne znaczenie wielkości nasion. *Wiad. Bot.* 40: 19–30.
- [39] Jankowska-Błaszczuk M., Daws M.J. 2007. Impact of red : far red ratios on germination of temperate forest herbs in relation to shade tolerance, seed mass and persistence in the soil. *Funct. Ecol.* 21: 1055–1062.
- [40] Jensen P. K. 1995. Effect of light environment during soil disturbance on germination and emergence pattern of weeds. *Annals of Applied Biology* 127: 561–571.
- [41] Johnson E. 2002. Photocontrol- tilling in the dark. Research Report 2002, Canada, Saskatchewan: 167–168.
- [42] Juroszek P., Drews S., Neuhoﬀ D., Kopke U. 2002 a. Effect of season on the efficiency of photocontrol of weeds. *Z. Pflkrankh. Pflshutz, Sonderh.* 18: 639–646.
- [43] Juroszek P., Drews S., Neuhoﬀ D., Kopke U. 2002. Seasonal changes in light sensitivity of seed germination influences the efficacy of photocontrol weeds. 12th EWRS Symposium, Wageningen: 352–353.
- [44] Jursík M., Soukup J., Venclová V., Holec J. 2003. Seed dormancy and germination of Shaggy soldier (*Galinsoga ciliata* BLAKE.) and Common lambsquarter (*Chenopodium album* L.). *Plant Soil Environ.* 49(11): 511–518.
- [45] Karssen C.M. 1970. The light promoted germination of the seeds of *Chenopodium album* L. III. The effect of photoperiod during and development of the plants on the dormancy of produced seeds. *Acta Botanica Neerlandica* 19: 81–94.
- [46] Kopcewicz J., Tretyn A., Cymerski M. 1992. Fitochrom i morfogeneza roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa: 250 ss.
- [47] Markow M. 1978. Agrofytocenologia nauka o zbiorowiskach roślinnych. PWRiL. Warszawa: 267 ss.
- [48] Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K. 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within the crop fields. *Weed Research* 43: 77–89.
- [49] Melander B. 1998. Interactions between soil cultivation in darkness, flaming and brush weeding when used for in-row weed control in vegetable. *Biol. Agriculture and Horticulture* 16: 1–14.
- [50] Melander B., Rasmussen I.A., Barberi P. 2005. Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European Research. *Weed Science* 53: 369–381.
- [51] Milberg P., Andersson L., Noronha A. 1996. Seed germination after short-duration light exposure: implications for the photo-control of weeds. *J. Appl. Ecol.* 33: 1469–1478.
- [52] Murdoch A.J., Isik D., Nicholls R.A., Gonzalez J., Andujar L., Benoit D., Davis A., Forcella F., Graziani F., Grundy A., Karlsson L., Milberg P., Neve P., Rasmussen I.A., Salonen J., Sera B., Sousa E., Tei F., Tørresen K., Urbano J.M. 2010. Dormancy and germination of *Chenopodium album* seeds from different latitudes in Europe and North America. Proc. 15th EWRS (European Weed Research Society Symposium. Kaposvár, 12–15.07.2010: 74.
- [53] Orson J.H. 1993. Integrating cultural and chemical weed control in cereals. Brighton Crop. Prot. Conf. – Weeds: 977–984.
- [54] Pałczyński J., Dobrzański A., Anyszka Z. 1996. The influence of seedbed preparation at night on weed infestation and herbicide efficacy in carrots. Proc. of the Second Intern. Weed Control Congress, Copenhagen. Vol. IV.: 1267–1271.
- [55] Podleśny J. 1998. Orka nocą – mniej chwastów. *Nowoczesne Rolnictwo* 10: 11.
- [56] Pons T.L. 2000. Seed responses to light. W: M. Fenner (red.). Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. C.A.B International, Wallingford, UK: 237–260.

- [57] Riemens M.M., Scheepens P.C., van der Weide R.Y. 2004. Dormancy, germination and emergence of weed seeds, with emphasis on the influence of light. Results of a literature survey. *Plant Research International Wageningen B.V.* Note 302.
- [58] Roberts H.A. 1982. *Weed control handbook: principles*. 7th edition BCPC. Blackwell Scientific Publications. Oxford: 533 ss.
- [59] Sanyal D., Bhowmik P.C., Anderson R.L., Shrestha A. 2008. Revisiting the perspective and progress of integrated weed management. *Weed Science* 56: 161–167.
- [60] Scopel A.L., Ballare C.L., Radosevich S.R. 1994. Photostimulation of seed germination during soil tillage. *New Phytologist* 126: 145–152.
- [61] Taylorson R.B. 1982. Interaction of phytochrom and other factors in seed germination. W: *The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination*. Elsevier Biomedical Press: 323–345.
- [62] Tester M., Morris C. 1987. The penetration of light through soil. *Pl. Cell Environ.* 10: 281–286.
- [63] Vincent E.M, Roberts E.H. 1977. The interaction of light, nitrate and alternating temperature in promoting of germination of dormant seeds of common weed species. *Seed Science and Technology* 5: 659–670.
- [64] Vleeshouwers L.M. 1997. Modeling weeds emergence patterns. Ph.D. Dissertation, Department of Theoretical Ecology. Wageningen Agricultural University, the Netherlands:165 ss.
- [65] Wesołowski M., Cierpiała R. 2007. Wykorzystanie zjawiska fotoblastyzmu w regulacji zachwaszczenia pszenicy jarej. *Prog. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin* 47(3) : 296–299.
- [66] Wesson G.P., Wareing F. 1969. The role of light in the germination of naturally occurring populations of buried weed seeds. *Journal of Experimental Botany* 2: 402–413.
- [67] Wilson R.G. 1988. Biology of weed seeds in the soil. W: *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches* M.A. Aliteri, M. Liebman (red.). Boca Raton, FL CRC Press: 25–39.
- [68] Zoschke A., Quadranti M. 2002. Integrated weed management: quo vadis? *Weed Biology and Management* 2: 1–10.

Segetal weed seeds response to night – time soil tillage

Summary

Key words: weeds, seeds, night-time tillage, weed control

The aim of this paper was to refer the literature review on weed infestation and changes in segetal weed communities dependent on night-time and day-time soil tillage. Theoretical and practical aspects of breaking weed seeds dormancy in relation to light are discussed. According to seeds response to light, there are divided into three groups: - photoblastic positive (germinating in light, but not germinating in darkness), - photoblastic negative (giving opposite response), - indifferent (germinating both in light and darkness). The light stimulus is mediated by a photoreceptor in plants known as phytochrome. A lot of weed species develop a light-dependent stimulus for germination. Germination of light sensitive seeds can be reduced by exclusion of light. The exploitation of this knowledge for practical weed management led to the concept of soil cultivation in darkness as a potential way to reduce weed infestation. Following

studies of many investigators were shown that weed emergence and weed infestation can be reduced by night-time soil cultivation. However, the results from photocontrol of weeds are diverse and inconsistent, and cannot reply more efficient weed control methods (mechanical, chemical). Light-excluded tillage has generally caused a greater reduction in broadleaved weed species than grasses. The efficiency of night-time tillage depends on seasonal changes in light sensibility during the season and different environmental factors. Tillage time of the year has a great importance on the weed control effect of night-time soil cultivation. Tilling in the dark can be included in integrated and organic weed management.

Rośliny dziko rosnące jako naturalne źródło wirusów ziemniaka

Jerzy Syller, Agnieszka Kaliciak

*Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin–Państwowy Instytut Badawczy
w Radzikowie, Oddział w Młochowie
ul. Platanowa 19, 05-831 Młochów
e-mail: j.syller@ihar.edu.pl*

Słowa kluczowe: ziemniak, chwasty, rośliny gospodarze, rezerwuar wirusów, PVY, PVM, PLRV, TSWV, mszyce, wciornastki

Wstęp

Eksport, import i tranzyt roślin, a także produktów roślinnych, stwarzają niebezpieczeństwo migracji patogenów i szkodników roślin do rejonów świata, w których nie były one wcześniej znane bądź gdzie udało się skutecznie ograniczyć ich występowanie [23]. Rygorystyczne przepisy celne i fitosanitarne, szczególnie restrykcyjne w stosunku do patogenów i szkodników podlegających obowiązkowemu zwalczaniu, tzw. kwarantannowych, znacznie zmniejszają niebezpieczeństwo ich rozprzestrzeniania, jednak całkowicie go nie eliminują.

Warunkiem przetrwania wirusa nowo pojawiającego się w danym rejonie świata bądź wariantu wirusa nowo powstałego w obrębie populacji już tam istniejącej, na przykład w wyniku mutacji lub rekombinacji genetycznej [17], jest adaptacja do nowych gospodarzy i odmiennych niekiedy warunków klimatycznych [13, 23]. Wśród roślin gospodarzy wirusów atakujących rośliny uprawne znaczącą rolę odgrywają rośliny dziko rosnące, stanowią one bowiem naturalny rezerwuar wirusów, a często także ich wektorów [np. 32]. Największym zagrożeniem są niewątpliwie te rośliny, które najczęściej towarzyszą roślinom uprawnym, a więc chwasty [50, 52]. Na uwagę zasługuje fakt, że niektóre gatunki chwastów reagują całkowicie bezobjawowo na porażenie wirusami, które w uprawach roślin rolniczych mogą powodować ogromne straty [7, 34, 50].

Roślin gospodarzy poszukują też migrujące owady [14, 35], wśród których jest wiele szkodników roślin. Ich szkodliwa działalność ma charakter bezpośredni, gdy uszkadzają bądź całkowicie niszczą rośliny uprawne na skutek żerowania, oraz

pośredni, polegający na rozprzestrzenianiu wirusów i patogenów wirusopodobnych wywołujących choroby roślin. Organizmy przenoszące czynniki chorobotwórcze nazywane są wektorami. Najważniejszymi wektorami wirusów roślinnych są właśnie owady [14, 20], a wśród nich najliczniejszą i najbardziej efektywną grupę wektorów stanowią gatunki o ssąco-kłującym aparacie gębowym, przede wszystkim mszyce (*Aphididae*) [4, 47]. Mszyce wykorzystują chwasty jako alternatywnych żywicieli podczas lotów migracyjnych, a także przy okresowym braku głównych gospodarzy, którymi bardzo często są rośliny uprawne [35]. Gdy porażone wirusami chwasty są zasiedlane przez owady będące wektorami tych patogenów, wówczas stają się potencjalnym pierwotnym źródłem zakażenia dla sąsiadujących z nimi roślin uprawnych.

Migracja wirusów i owadów oraz roślin, w powiązaniu ze zmiennością genetyczną wirusów, wymuszają potrzebę aktualizacji wiedzy o roślinach gospodarzach wirusów ważnych z gospodarczego punktu widzenia i ich potencjalnych wektorów. Wśród sprawców chorób powodujących znaczne straty w produkcji rolniczej w strefie klimatu umiarkowanego istotną pozycję zajmują wirusy ziemniaka [44]. Ziemniak (*Solanum tuberosum* L.), najbardziej znany przedstawiciel rodziny psiankowatych (*Solanaceae*), odgrywa bowiem ważną rolę w produkcji rolnej wielu państw. W Polsce, pod względem powierzchni upraw stanowi on trzecią (po pszenicy i życie) roślinę uprawną.

Celem pracy jest przybliżenie wiedzy o gatunkach roślin nierolniczych, które zostały rozpoznane, zwłaszcza w ostatnich latach, jako naturalni gospodarze najgroźniejszych wirusów ziemniaka i mogą stanowić niebezpieczne sąsiedztwo dla upraw ziemniaka.

Najważniejsze choroby wirusowe ziemniaka

Aktualnie ocenia się, że rośliny ziemniaka ulegają porażeniu przez co najmniej 38 wirusów [5, 28]. Sprawcami chorób, które mogą poważnie obniżyć wielkość i jakość plonu, zwłaszcza odmian podatnych, są przede wszystkim wirusy: Y, liścizwoju i M ziemniaka [5, 30, 39]. Sporo uwagi w niniejszej pracy poświęcono również wirusowi brązowej plamistości pomidora, który zaczyna stanowić coraz większe zagrożenie dla upraw ziemniaka [43].

Wirus Y ziemniaka (*Potato virus Y*, PVY). Jest typowym przedstawicielem rodzaju *Potyvirus* w obrębie rodziny Potyviridae. PVY występuje powszechnie w wielu rejonach świata [44] i zaliczany jest do najważniejszych patogenów roślin uprawnych. Jest on obecnie uważany za najgroźniejszego wirusa atakującego plantacje ziemniaka. Powoduje straty w plonach sięgające w przypadku podatnych odmian nawet 80%. W Polsce obserwuje się wzrost zagrożenia PVY. Wydaje się, że jest on spowodowany z jednej strony zmianami w strukturze populacji wirusa, z drugiej zaś wzrostem w krajowym rejestrze i w uprawie liczby odmian o niezado-

wałającej odporności na PVY, wśród których przeważają odmiany pochodzenia zagranicznego [12].

Zróżnicowanie populacji PVY jest konsekwencją dużej zmienności genetycznej tego wirusa. W ciągu minionych 25 lat w wielu rejonach świata, m.in. w Polsce, pojawiały się i rozprzestrzeniały nowe warianty PVY, najczęściej rekombinanty genetyczne, różniące się właściwościami molekularnymi, a niekiedy także serologicznymi, od znanych wcześniej izolatów reprezentujących szczep zwykły PVY⁰ i szczep nekrotyczny PVY^N [m.in. 1, 10, 11, 29]. Duży niepokój producentów ziemniaka budzi powodowana przez izolaty z podgrupy PVY^{NTN} choroba objawiająca się rozległymi nekrotycznymi zmianami w bulwach (Potato tuber necrosis ringspot disease, PTNRD). Nekrotyzacja bulw powoduje dyskwalifikację materiału sadzeniowego oraz w poważnym stopniu obniża jakość plonu handlowego ziemniaka.

W warunkach naturalnych PVY przenoszony jest wyłącznie przez mszyce, w sposób określany jako nietrwały niekrażeniowy. Oznacza to, że cały proces przenoszenia wirusa, tzn. pobranie go z rośliny porażonej i przeniesienie na roślinę zdrową, może zostać zakończony w czasie nie dłuższym, niż kilka minut. Łatwość rozprzestrzeniania się nowych wariantów genetycznych PVY w uprawach ziemniaka świadczy o wysoko rozwiniętych formach ich współdziałania z wektorami. Istotnie, przeprowadzone niedawno badania potwierdziły generalnie bardzo efektywne przenoszenie przez *Myzus persicae* izolatów PVY zaklasyfikowanych do podgrup PVY^{NTN} i PVY^{N:O} (inny akronim stosowany dla tej grupy, to PVY^{NW}) [25].

Zakres roślin gospodarzy PVY jest stosunkowo szeroki, obejmuje bowiem około 350 gatunków z różnych rodzin, głównie *Solanaceae* [42]. Wiele spośród izolatów PVY poraża nie tylko ziemniak, ale także tytoń, pomidor i paprykę. Wśród roślin dziko rosnących, pierwotnym źródłem infekcji PVY w warunkach klimatycznych Europy mogą być następujące gatunki: psianka czarna (*Solanum nigrum* L.) i psianka słodkogórz (*S. dulcamara* L.) z rodziny *Solanaceae*, a także starzec zwyczajny (*Senecio vulgaris* L.; *Asteraceae*) i portulaka pospolita (*Portulaca oleracea* L.; *Portulacaceae*) [42]. Gatunki te, a także m.in. gwiazdnica pospolita (*Stellaria media* (L.) VILL.; *Caryophyllaceae*), komosa biała (*Chenopodium album* L.; *Chenopodiaceae*), powój polny (*Convolvulus arvensis* L.; *Convolvulaceae*), mniszek pospolity (*Taraxacum officinale* F.H. WIGG.; *Asteraceae*) i fiołek trójbarwny (*Viola tricolor* L.; *Violaceae*), zostały rozpoznane jako gospodarze PVY w USA [52]. Większość wymienionych roślin to chwasty powszechnie występujące w Polsce. Dane zawarte w przytoczonych opracowaniach pochodzą w znacznej części sprzed ponad 20, a nawet 50 lat. Konieczna jest zatem ich aktualizacja, istnieje bowiem duże prawdopodobieństwo, że presja selekcyjna związana z pojawianiem się w obrębie populacji PVY nowych wariantów genetycznych powoduje zmiany ilościowe i jakościowe w zakresie roślin gospodarzy wirusa.

Spośród niedawno rozpoznanych roślin gospodarzy PVY [8, 15, 27], następujące gatunki występują na terenie Polski: szczywół plamisty (*Conium maculatum* L.;

Apiaceae dawniej *Umbelliferae*), żabieniec babka wodna (*Alisma plantago-aquatica* L.; *Alismataceae*), cykoria podróżnik (*Cichorium intybus* L.), ostrożeń polny (*Cirsium arvense* (L.) SCOP.), przymiotno kanadyjskie (*Conyza* (d. *Erigeron*) *canadensis* (L.) CRONQUIST), rzepień pospolity (*Xanthium strumarium* L.) i sałata kompasowa (*Lactuca serriola* L. syn. *L. scariola* L. (wszystkie z rodziny *Asteraceae*), mięta polej (*Mentha pulegium* L.; *Lamiaceae*) oraz tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris* L. MEDIK.; *Brassicaceae*). Z kolei w Oddziale IHAR w Młochowie wykazano po raz pierwszy, że gospodarzami PVY są także: bodziszek drobny (*Geranium pusillum* BURM. F. ex L.) i iglica pospolita (*Erodium cicutarium* (L.) L'Hér.) z rodziny *Asteraceae* oraz jasnota purpurowa (*Lamium purpureum* L.), przedstawiciel rodziny *Lamiaceae* [26]. Gatunki te powszechnie występują w Polsce i innych krajach Europy. Według tych samych autorów, gospodarzem PVY w warunkach naszego kraju okazała się również sałata kompasowa, dość popularny chwast, po raz pierwszy rozpoznany jako żywiciel PVY w Grecji [8].

Wiele spośród wymienionych roślin gospodarzy PVY, to również żywiciele mszyc będących wektorami tego wirusa. Najefektywniejszym wektorem PVY jest *Myzus persicae*, gatunek zdecydowanie wyróżniający się pod względem liczby przenoszonych wirusów roślinnych. Jest to owad wyjątkowo polifagiczny, żerujący na roślinach ponad 400 gatunków z niemal 50 rodzin, zarówno uprawnych jak i dziko rosnących [2, 16]. W obrębie tych ostatnich *M. persicae* chętnie zasiedla chwasty szerokolistne, takie jak: komosa biała, powój polny i szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus* L.; *Amaranthaceae*) [6].

Wirus liściozwoju ziemniaka (*Potato leafroll virus*, PLRV). Jest typowym przedstawicielem rodzaju *Polerovirus* (rodzina *Luteoviridae*). Wirus rozprzestrzenia się wyłącznie za pośrednictwem mszyc, które przenoszą go w sposób trwały krażeniowy. Najefektywniejszym jego wektorem, podobnie jak w przypadku PVY, jest *M. persicae*.

PLRV wciąż uważany jest w niektórych rejonach świata za wirusa powodującego największe, obok PVY, straty w plonie bulw ziemniaka, dochodzące nawet do 90% [28, 40, 44]. Obecnie ocenia się, że w Polsce zagrożenie ze strony PLRV wyraźnie zmalało [30]. Niewątpliwie przyczyniło się do tego powszechne stosowanie środków chemicznych do zwalczania owadów, w tym mszyc, a także sukcesy w hodowli odmian ziemniaka charakteryzujących się zwiększoną odpornością na PLRV.

PLRV charakteryzuje się stosunkowo wąskim zakresem roślin gospodarzy, w skład którego wchodzi około 20 gatunków roślin, z czego większość to przedstawiciele rodziny *Solanaceae* [41]. Gospodarzami PLRV spoza tej rodziny są: celozja (grzebionatka) srebrzysta (*Celosia argentea* L.), gomfrena kulista (*Gomphrena globosa* L.) i szarłat zwisty (*Amaranthus caudatus* L.), wszystkie z rodziny *Amaranthaceae*, klajtonia przeszyta (*Claytonia perfoliata* DONN ex WILLD.; *Portulacaceae*), nolana lancetowata (*Nolana lanceolata* MIERS ex DUN.; *Nolanaceae*) oraz tasznik pospolity. Według innego źródła literaturowego, naturalnym gospodarzem PLRV jest również komosa biała [27]. Tasznik pospolity i komosa biała powszechnie występują w Polsce. Są chwastami często spotykanymi w uprawach różnych roślin. Natomiast takie

gatunki jak: szarłat zwisły, klajtonia przeszyta czy celozja srebrzysta można spotkać przede wszystkim w ogródkach działkowych i na rabatach, skąd mogą przedostawać się na nieużytki, gdzie dziczeją.

Na uwagę zasługuje publikacja Thomasa i Hassana [48], w której lista 21 wcześniej uznanych gospodarzy PLRV została wzbogacona wykazem kolejnych 22 gatunków roślin, które autorzy opracowania zidentyfikowali jako gospodarzy tego wirusa. Są wśród nich gatunki nie występujące w Polsce, takie jak *Physalis ixocarpa* BROT. ex HORNEM lub *P. peruvianum* L., ale są też gatunki roślin uprawianych w naszym kraju, między innymi tytoń, sałata siewna, dynia zwyczajna i szpinak warzywny. Rośliny te nie są jednak powszechnie uważane za gospodarzy PLRV.

Znakomitym, lepszym niż ziemniak, gospodarzem zarówno dla PLRV jak i potencjalnych jego wektorów (*M. persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*) okazał się jeden z gatunków psianki, *Solanum sarrachoides* SENDTN. [3, 45, 46, 48]. W Polsce gatunek ten nie występuje powszechnie, może jednak lokalnie pojawiać się jako efemerofit, czyli gatunek roślin obcego pochodzenia, który przypadkowo został zawleczony i występuje, na ogół przejściowo, we florze danego kraju lub obszaru. Thomas i Hassan [48] wyrazili opinię, że niezwykle pożądanym byłoby przeprowadzenie rzetelnej oceny roli różnych gatunków roślin w epidemiologii choroby wywoływanej przez PLRV, ze szczególnym uwzględnieniem roślin (zwłaszcza wieloletnich), które są równocześnie odpowiednimi gospodarzami dla mszyc – wektorów wirusa. Analiza problemu na podstawie dostępnych danych literaturowych pokazuje, że wiedza na temat roślin dziko rosnących, które w warunkach klimatycznych Polski mogą pełnić rolę rezerwuaru PLRV i jego wektorów, jest obecnie znikoma.

Wirus M ziemniaka (*Potato virus M*, PVM). Jest przedstawicielem rodzaju *Carlavirus* (Flexiviridae). Występuje w postaci zróżnicowanych izolatów [51], a przez mszyce przenoszony jest w sposób nietrwały niekrażeniowy. Zaliczany jest do wirusów powszechnie występujących w uprawach ziemniaka na całym świecie i powoduje straty w plonie bulw sięgające 15–45% [51]. W niektórych rejonach świata, m.in. w krajach Europy Zachodniej, PVM nie stanowi obecnie istotnego problemu, jednak w Polsce i krajach Europy Wschodniej każdego roku pojawia się w uprawach ziemniaka, powodując w przypadku silnej reakcji roślin wymierne straty w plonie, szczególnie dotkliwe w odniesieniu do odmian podatnych [30].

W Europie PVM był wykrywany w roślinach dymnicy pospolitej (*Fumaria officinalis* L.; *Papaveraceae*), przytulii czepnej (*Galium aparine* L.; *Rubiaceae*) i psianki słodkogórz [31], a także w roślinach ostrożeńca siewnego (*Cirsium canum* L. ALL.; *Asteraceae*), bielunia dziędzierzawy (*Datura stramonium* L.; *Solanaceae*) i przymiotna białego (*Erigeron annuus* (L.) PERS.; *Compositae*) [27]. Wiedza na temat roślin dziko rosnących, w tym chwastów, które w warunkach klimatycznych Polski mogą stanowić źródło zakażenia pierwotnego PVM, praktycznie nie istnieje.

Spośród wymienionych gatunków dziko rosnących gospodarzy PVM, psianka słodkogórz i bielun dziędzierzawa są chętnie kolonizowane przez mszyce – wektory tego wirusa.

Wirus brązowej plamistości pomidora (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV).

Duże ekonomiczne znaczenie tego wirusa z rodziny Bunyaviridae wynika nie tylko z jego patogeniczności względem znacznej liczby gatunków roślin rolniczych i ogrodniczych, lecz także z ogromnego zasięgu występowania, obejmującego niemal wszystkie kontynenty [37]. W warunkach naturalnych TSWV przenoszony jest w sposób krążeńiowo-rozmnóżeniowy przez co najmniej osiem gatunków owadów z rzędu wciornastków (*Thysanoptera*) [38]. Najefektywniejszymi jego wektorami są wciornastek tytoniowiec (*Thrips tabaci* LINDERMAN) i dwa gatunki z rodzaju *Frankliniella*: *F. occidentalis* PERGANDE i *F. fusca* (HINDS) [24, 37]. Według Sierki [43] w polskich warunkach klimatycznych notowana jest obecność tylko *T. tabaci* i *F. occidentalis*.

TSWV stopniowo zyskuje opinię groźnego patogenu atakującego plantacje ziemniaka w różnych rejonach świata, przede wszystkim w Australii i na Tasmanii oraz w niektórych częściach USA [37, 49]. Występowanie tego wirusa w uprawach ziemniaka jest już problemem na Węgrzech [21, 22]. Porażenie roślin ziemniaka przez TSWV stwierdzano także, jakkolwiek w niewielkim jeszcze zakresie, w Grecji [9]. W Polsce, według wiedzy autorów niniejszej pracy, nie odnotowano dotychczas obecności TSWV na plantacjach ziemniaka, pomimo że wirus ten łatwo poraża uprawy innych roślin psiankowatych. Powodem nie jest zapewne brak patogeniczności izolatów TSWV występujących w Polsce w stosunku do roślin ziemniaka, lecz raczej cykl życiowy *F. occidentalis*, uważanego za głównego wektora TSWV w uprawach ziemniaka, w powiązaniu ze specyficznym cyklem życiowym wirusa w organizmie wektora. Wprawdzie *F. occidentalis* występuje w Polsce już od połowy lat 80. ubiegłego wieku, jednak w europejskich warunkach klimatycznych zimuje on i rozmnaża się prawdopodobnie tylko w szklarniach, natomiast na roślinach rosnących poza szklarniami spotyka się go latem w postaci osobników dorosłych [18]. To one, żerując, wprowadzają TSWV do komórek roślin zdrowych, pod warunkiem wszakże, że wirus został nabyty przez żerującego owada jeszcze w okresie jego stadium larwalnego. W ostatnich latach obserwowana jest duża ekspansywność gatunku *F. occidentalis* w agrocenozach całej Europy [43]. Rozprzestrzenianie się tego polifagicznego owada powoduje, że TSWV może być groźny dla upraw ziemniaka w Polsce, jakkolwiek zagrożenia związane z obecnością wciornastków w obrębie krajowych upraw ziemniaka wydają się wciąż jeszcze bagatelizowane [43].

Czy można zatem uchronić plantacje ziemniaka przed atakiem ze strony TSWV? Możliwości są ograniczone, jak zwykle w sytuacji, gdy rośliny nie dysponują odpowiednim poziomem odporności, by obronić się przed inwazją nowego wirusa bądź bardziej agresywnego szczepu. Niemniej, konieczne jest prowadzenie badań i obserwacji umożliwiających wczesne rozeznanie zagrożenia. W przypadku TSWV zagrożenie spotęgowane jest ogromną liczbą gospodarzy wirusa. Poraża on bowiem ponad tysiąc gatunków roślin, zarówno uprawnych jak i dziko rosnących [7, 38]. Wiele z nich, to powszechnie występujące w Polsce chwasty, na przykład: dwa gatunki z rodziny *Plantaginaceae*: babka lancetowata (*Plantago lanceolata* L.) i babka zwyczajna (*Plantago maior* L.), osiem gatunków z rodziny astrowatych

(*Asteraceae*): bylica pospolita (*Artemisia vulgaris* L.), mleczyk polny (*Sonchus arvensis* L.), mleczyk zwyczajny (*S. oleraceus* L.), mniszek pospolity, ostrożeń polny, przymioto kanadyjskie, sałata kompasowa, starzec zwyczajny i żółtlica drobnokwiatowa (*Galinsoga parviflora* CAV.), a także gwiazdnica pospolita, jasnota purpurowa i mierzniak czarna (*Ballota nigra* L.) z rodziny *Lamiaceae*, komosa biała, powój polny i tasznik pospolity.

Gospodarzami *T. tabaci*, *F. occidentalis* i *F. fusca*, wektorów TSWV, jest wiele gatunków roślin uprawnych i roślin dziko rosnących [7, 24, 33, 36, 37]. Spośród wyżej wymienionych gatunków gospodarzy TSWV, roślinami chętnie zasiedlanymi przez *T. tabaci* i *F. occidentalis* są, między innymi, gwiazdnica pospolita i żółtlica drobnokwiatowa [33, 36]. Z kolei Kahn i in. [24] stwierdzili, że biorąc pod uwagę podatność na zakażenie przez TSWV oraz atrakcyjność dla *F. occidentalis* i *F. fusca*, następujące gatunki roślin mogą stanowić potencjalny rezerwuwar wirusa: komosa biała (gatunek pospolicie występujący), ambrozja bylicolistna (*Ambrosia artemisiifolia* L.; występuje w Polsce jako antropofit zadomowiony), szarłat Palmera (*Amaranthus palmeri* S. WATS.; w Polsce występuje jako efemerofit), wilec bluszczowy (*Ipomoea hederacea* JACQ.), wilec purpurowy (*I. purpurea* (L.) ROTH), *Polygonum pennsylvanicum* L. z rodziny rdestowatych oraz *Cassia obtusifolia* L., jeden z gatunków strączyńca z rodziny *Fabaceae* (bobowate).

Podsumowanie

Powodzenie ochrony roślin przed chorobami wirusowymi w dużym stopniu zależy od szybkiego rozpoznania, a następnie eliminowania naturalnych źródeł infekcji pierwotnej. Zabieg ten jest szczególnie istotny w rejonach uprawy roślin w systemie ekologicznym, wykluczającym możliwość stosowania syntetycznych środków do zwalczania szkodników roślin i chwastów, co sprawia, że liczba zwolenników ekologicznych produktów rolnych systematycznie wzrasta, między innymi wśród konsumentów ziemniaków [19].

Problem zagrożenia upraw przez wirusy bytujące w roślinach dziko rosnących od dawna pojawia się w różnego typu publikacjach, również z ostatnich lat [m.in. 7, 8, 27]. Należy podkreślić, że jest to problem stale aktualny, gdyż gromadzona wiedza wymaga konsekwentnego uzupełniania. Wczesne diagnozowanie i monitorowanie zagrożeń ze strony nowo pojawiających się wirusów lub bardziej agresywnych szczepów wirusów już obecnych w danym ekosystemie stwarza szansę przeciwdziałania epidemicznemu szerzeniu się chorób przez nie powodowanych. Dzisiejsza nauka dysponuje w tym zakresie technikami badawczymi, które względnie niedawno nie były jeszcze znane, jak choćby techniki oparte na łańcuchowej reakcji polimerazy (polymerase chain reaction, PCR), które są precyzyjnym narzędziem do wykrywania wirusa w komórkach rośliny gospodarza lub wektora.

Literatura

- [1] Bezner L., Horváth J., Romhányi I., Förster H. 1984. Studies on the etiology of tuber necrotic ringspot disease in potato. *Potato Res.* 27: 339–352.
- [2] Blackman R.L., Eastop V.F. 2000. Aphids on the world's crops: An identification and information guide. 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd., Chichester: 466 ss.
- [3] Boydston R.A., Mojtahedi H., Crosslin J.M., Brown C.R., Anderson T. 2008. Effect of hairy nightshade (*Solanum sarrachoides*) presence on potato nematodes, diseases, and insect pests. *Weed Sci.* 56: 151–154.
- [4] Brault V., Uzest M., Monsion B., Jacquot E., Blanc S. 2010. Aphids as transport devices for plant viruses. *C.R. Biologies* 333: 524–538.
- [5] Brunt A.A., Loebenstein G. 2001. The main viruses infecting potato crops. W: Virus and virus-like diseases of potatoes and production of seed-potatoes. Loebenstein G., Berger P.H., Brunt A.A., Lawson R.H. (red.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 65–105.
- [6] Capinera J. 2001. Green peach aphid, *Myzus persicae* (SULZER) (Insecta: Hemiptera: Aphididae). EENY-222, University of Florida: IFAS Extension.
- [7] Chatzivassiliou E.K., Boubourakas I., Drossos E., Eleftherohorinos I., Jenser G., Peters D., Katis N.I. 2001. Weeds in greenhouses and tobacco fields are differentially infected by Tomato spotted wilt virus and infested by its vector species. *Plant Dis.* 85: 40–46.
- [8] Chatzivassiliou E.K., Efthimiou K., Drossos E., Papadopoulou A., Poimenidis G., Katis N.I. 2004. A survey of tobacco viruses in tobacco crops and native flora in Greece. *Eur. J. Plant Pathol.* 110: 1011–1023.
- [9] Chatzivassiliou E.K., Moschos E., Gazi S., Koutretsis P., Tsoukaki M. 2008. Infection of potato crops and seeds with Potato virus Y and Potato leafroll virus in Greece. *J. Plant Pathol.* 90: 253–261.
- [10] Chikh Ali M., Maoka T., Natsuaki T., Natsuaki K.T. 2010. PVY^{NTN-NW}, a novel recombinant strain of Potato virus Y predominating in Syria. *Plant Pathol.* 59: 31–41.
- [11] Chrzanowska M. 1991. New isolates of the necrotic strain of potato virus Y (PVYN) found recently in Poland. *Potato Res.* 34: 179–182.
- [12] Chrzanowska M. 2004. Wirusy ziemniaka, nasilenie występowania, zachodzące zmiany i ich przyczyny. Mat. konf. nauk. „Nasiennictwo i ochrona ziemniaka”. Kolobrzeg, 4–5 marca 2004: 53–56.
- [13] Elena S.F., Froissart R. 2010. New experimental and theoretical approaches towards the understanding of the emergence of viral infections. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365: 1867–1869.
- [14] Fereres A., Moreno A. 2009. Behavioural aspects influencing plant virus transmission by homopteran insects. *Virus Res.* 141: 158–168.
- [15] Fletcher J.D. 2001. New hosts of *Alfalfa mosaic virus*, *Cucumber mosaic virus*, *Potato virus Y*, *Soybean dwarf virus*, and *Tomato spotted wilt virus* in New Zealand. *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.* 29: 213–217.
- [16] Francis F., Gerkens P., Harmel N., Mazzucchelli G., de Pauw E., Haubruge E. 2006. Proteomics in *Myzus persicae*: Effect of aphid host plant switch. *Insect Bioch. Mol. Biol.* 36: 219–227.
- [17] Garcia-Arenal F., Fraile A., Malpica J.M. 2003. Variation and evolution of plant virus populations. *Int. Microbiol.* 6: 225–232.
- [18] Głowaciński Z., Okarma H., Pawłowski J., Solarz W. (red.) 2008. Księga gatunków obcych inwazyjnych w faunie Polski. Wyd. internetowe. Instytut Ochrony Przyrody PAN w Krakowie.
- [19] Goliszewski W. 2009. Ekologiczne nasiennictwo ziemniaka – argumenty za i przeciw. *Więś Jutra* 2(127): 35–36.
- [20] Hohn T. 2007. Plant virus transmission from the insect point of view. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104(46): 17905–17906.
- [21] Horvath J., Gaborjanyi R., Kazinczi G., Takacs A.P. 2001. Natural occurrence of Tomato spotted wilt virus (TSWV) on potato in Hungary. *Növénytermelés* 505: 545–548.
- [22] Jenser G. 2008. Relationships among virus vector *Thysanoptera* species, *Tomato spotted wilt virus* and their cultivated and wild growing plants in Palaearctic. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.* 43: 283–288.
- [23] Jones R.A.C. 2009. Plant virus emergence and evolution: Origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. *Virus Res.* 141: 113–130.
- [24] Kahn N.D., Walgenbach J.F., Kennedy G.G. 2005. Summer weeds as hosts for *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella fusca* (Thysanoptera: Thripidae) and as reservoirs for Tomato spotted wilt tospovirus in North Carolina. *J. Econ. Entomol.* 98: 1810–1815.
- [25] Kaliciak A., Syller J. 2009. Przenoszenie różnych genetycznie izolatów wirusa Y ziemniaka przez mszyce i podatność chwastów na infekcję wirusem. *Biul. IHAR* 253: 285–295.

- [26] Kaliciak A., Syller J. 2009. New hosts of *Potato virus Y* (PVY) among common wild plants in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 124: 707–713.
- [27] Kazinczi G., Horvath J., Takacs A.P., Gaborjanyi R., Beres I. 2004. Experimental and natural weed host-virus relations. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.* 69: 53–60.
- [28] Kerlan C. 2009. Potato viruses. W: Desk Encyclopedia of Plant and Fungal Virology. Mahy B.W.J., van Regenmortel M.H.V. (red.). Academic Press: 458–471.
- [29] Kerlan C., Tribodet M., Glais L., Guillet M. 1999. Variability of potato virus Y in potato crops in France. *J. Phytopathol.* 147: 643–651.
- [30] Kostiw M., Sekrecka D. 2009. Infection of potato tubers of chosen cultivars by Y, M, S and potato leafroll viruses in ecological crops in the north of Poland in years 2006–2008. *Phytopathologia* 51: 45–52.
- [31] Loebenstein G., Thottappilly G. 2003. Virus and virus-like diseases of major crops in developing countries. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 300 ss.
- [32] Malpica J.M., Sacristán S., Fraile A., Garcia-Arenal F. 2006. Association and host selectivity in multi-host pathogens. *PLoS ONE* 1(1): e41.
- [33] Mertelik J., Mokrá V. 1998. Tomato spotted wilt virus in ornamental plants, vegetables and weeds in the Czech Republic. *Acta Virol.* 42: 347–351.
- [34] Moreno A., de Blas C., Biurrún R., Nebreda M., Palacios I., Duque M., Fereres A. 2004. The incidence and distribution of viruses infecting lettuce, cultivated *Brassica* and associated natural vegetation in Spain. *Ann. Appl. Biol.* 144: 339–346.
- [35] Norris R.F., Kogan M. 2005. Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 50: 479–503.
- [36] Orosz Sz., Juhász M., Tökés G., Tóth F. 2008. Occurrence of *Thrips tabaci* larvae on TSWV host weeds in the surroundings of sweet pepper greenhouses. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.* 43: 329–336.
- [37] Pappu H.R., Jones R.A.C., Jain R.K. 2009. Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: Success achieved and challenges ahead. *Virus Res.* 141: 219–236.
- [38] Parrella G., Gognalons P., Gebre-Selassie K., Vovlas C., Marchoux G. 2003. An update of the host range of Tomato spotted wilt virus. *J. Plant Pathol.* 85: 227–264.
- [39] Radcliffe E.B., Ragsdale D.W. 2002. Aphid-transmitted potato viruses: The importance of understanding vector biology. *Am. J. Potato Res.* 79: 353–386.
- [40] Rahman M.S., Akanda A.M. 2010. Effect of PLRV infected seed tuber on disease incidence, plant growth and yield parameters of potato. *Bangladesh J. Agril. Res.* 35: 359–366.
- [41] Sharma P.D. 2006. Plant Pathology. Alpha Science International, Oxford: 550 ss.
- [42] Shukla D.D., Ward C.W., Brunt A.A. 1994. The Potyviridae. Cambridge University Press, Cambridge: 516 ss.
- [43] Sierka W. 2008. Wciomastki (*Insecta: Thysanoptera*) i ich znaczenie w uprawach ziemniaka. *Zienn. Pol.* 2: 45–46.
- [44] Solomon-Blackburn R.M., Barker H. 2001. Breeding virus resistant potatoes (*Solanum tuberosum*): a review of traditional and molecular approaches. *Heredity* 86: 17–35.
- [45] Srinivasan R., Alvarez J.M. 2008. Hairy nightshade as a potential *Potato leafroll virus* (*Luteoviridae: Polerovirus*) inoculum source in Pacific Northwest potato ecosystems. *Phytopathology* 98: 985–991.
- [46] Srinivasan R., Alvarez J.M., Bosque-Pérez N.A., Eigenbrode S.D., Novy R.G. 2008. Effect of an alternate weed host, hairy nightshade, *Solanum sarrachoides*, on the biology of the two most important potato leafroll virus (*Luteoviridae: Polerovirus*) vectors, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (*Aphididae: Homoptera*). *Environ. Entomol.* 37: 592–600.
- [47] Syller J. 2000. Molekularne podstawy zdolności przenoszenia wirusów roślinnych przez owady. *Post. Mikrobiol.* 39: 224–238.
- [48] Thomas P.E., Hassn S. 2002. First report of twenty-two new hosts of *Potato leafroll virus*. *Plant Dis.* 86: 561.
- [49] Wilson C.R. 2001. Resistance to infection and translocation of *Tomato spotted wilt virus* in potatoes. *Plant Pathol.* 50: 402–410.
- [50] Wisler G.C., Norris R.F. 2005. Interactions between weeds and cultivated plants as related to management of plant pathogens. *Weed Sci.* 53: 914–917.
- [51] Xu H., D'Aubin J., Nie J. 2010. Genomic variability in *Potato virus M* and the development of RT-PCR and RFLP procedures for the detection of this virus in seed potatoes. *Viol. J.* 7: 25.
- [52] Zitter T.A. 2001. Vegetable MD Online. Vegetable Crops: A checklist of major weeds and crops as natural hosts for plant viruses in the Northeast. Version: November 2001.
«<http://vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/Tables/WeedHostTable.html>»

Wild growing plants as a natural source of potato viruses

Key words: potato, weeds, host plants, virus reservoir, PVY, PVM, PLRV, TSWV, aphids, thrips

Summary

Wild growing plants, including commonly occurring arable weeds, play an important role as hosts for economically important plant viruses and their vectors. Some of these plants constitute a natural reservoir of viruses attacking potato crops and thus can serve as the primary source of virus infection. Three potato viruses have long been considered to cause economically important diseases: *Potato virus Y* (PVY), *Potato leafroll virus* (PLRV) and *Potato virus M* (PVM). More recently, also *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) has emerged in some countries as a serious threat to potato crops.

The paper was aimed to present the current state of knowledge on wild growing plants, recognized as the hosts of viruses that are a threat to potato plantations.

Grzyby z rodzaju *Phomopsis* występujące na pędach roślin sadowniczych

Ewa Król, Barbara Kowalik

Katedra Fitopatologii i Mikologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: ewa.krol@up.lublin.pl

Słowa kluczowe: *Phomopsis* spp., rośliny sadownicze, występowanie, szkodliwość

Wstęp

Wśród grzybów patogenicznych dla kory i drewna roślin sadowniczych, zarówno na świecie jak i w naszym kraju, najczęściej wymieniane są: *Nectria galligena* BRES. – powodujący raka drzew owocowych, *Pezicula* spp. – wywołujące zgorzel kory jabłoni i gorzką zgniliznę jabłek oraz zgorzel powierzchniową kory drzew ziarnkowych, *Valsa* spp. i *Leucostoma* spp. – przyczyny cytosporozy jabłoni lub leukostomozy drzew pestkowych i *Chondrostereum purpureum* (PERS.) POUZAR – sprawca srebrzystości liści drzew oraz *Botryosphaeria* spp. powodujące zrakowacenia pędów wielu gatunków roślin drzewiastych. W literaturze spotyka się także nieliczne informacje na temat *Phyalospora obtusa* (SCHW.) COOKE i *Phacidiella discolor* (MONT. et SACC.) POTEBN. wywołujące odpowiednio czarnego raka jabłoni i raka kory drzew ziarnkowych [5, 14, 50].

Ostatnio, w literaturze światowej zwraca się uwagę na rosnące znaczenie grzybów z rodzaju *Phomopsis*, których zasięg występowania systematycznie się rozszerza. Teleomorfy tych grzybów należą do rodzaju *Diaporthe*, ale tworzą się rzadko [66]. Za jednego z najważniejszych i najlepiej poznanych patogenów uznaje się *Phomopsis viticola* SACC., ze względu na jego powszechne występowanie oraz ogromne, ekonomiczne znaczenie winorośli [7, 9, 15, 18, 41, 46, 51, 60]. Występowanie *P. viticola* udowodniono także na pędach winorośli uprawianej w szkółkach i winnicach w różnych rejonach Polski. Opisano dokładnie epidemiologię choroby i biologię patogenu oraz możliwości jego ograniczania [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 38].

Znaczenie innych gatunków *Phomopsis* związanych z roślinami sadowniczymi jest nadal wyjaśniane, a informacje dotyczące tych grzybów są rozproszone w litera-

turze światowej [10, 11, 19, 20, 56, 63, 66, 67, 68]. W wielu przypadkach nie wiadomo dokładnie, jaki jest zakres roślin żywicielskich dla danego gatunku i jaki wpływ rośliny na morfologię patogenu [66]. W konsekwencji izolaty *Phomopsis* uzyskiwane z jednego gatunku rośliny nie muszą stanowić jednorodnej grupy i mogą reprezentować więcej niż jeden takson [10]. Ponadto, duże podobieństwo morfologiczne kultur, trudności w zarodnikowaniu oraz niewielkie zróżnicowanie w wymiarach konidiów *Phomopsis* spp. utrudniają identyfikację tych grzybów i prowadzenie badań nad ich biologią [22, 26, 31, 46, 63, 66, 71].

Przegląd gatunków *Phomopsis* spp. związanych z roślinami sadowniczymi

Spośród gatunków *Phomopsis*, patogenicznych dla roślin sadowniczych, najczęściej wymienia się *P. perniciosa* GROVE [4, 63, 66, 69], *P. ambigua* (SACC.) TRAV. [52, 62, 66], *P. amygdali* (DEL.) TUSET et PORTILLA comb. nov. [2, 10, 42, 46, 65, 66], *P. mali* ROBERTS [21, 48, 53, 54, 62], *P. ampelina* (BERK. et CURT.) GROVE [3, 46], *P. juglandina* (SACC.) HÖHN [66, 70], *P. oblonga* (DESM.) TRAVERSO [3, 66] i *P. vaccinii* SHEAR. [11, 13, 19, 20].

Groźnym patogenem pędów brzoskwini (*Prunus persica* L.) jest *P. amygdali* (DEL) TUSET et PORTILLA [10]. Różni autorzy opisywali zrakowacenia i więdnienia pędów brzoskwini i migdałowca uznając za ich przyczynę *P. amygdalina* CANONACO lub *Fusicoccum amygdali* DEL. i sugerując, że te dwa grzyby są identyczne [65, 66]. Dokładne badania przeprowadzone w Hiszpanii wykazały, że tamtejsze izolaty tworzą typowe dla rodzaju *Phomopsis* komórki konidiotwórcze oraz okazjonalnie zarodniki typu β , co zadecydowało o wprowadzeniu obecnej nazwy *P. amygdali*, łączącej opisywane wcześniej dwa gatunki [65]. Patogen ten występuje powszechnie w południowo-wschodnich rejonach uprawy brzoskwini w USA i powoduje zgorzel pędów tej rośliny [10], a w Grecji jest przyczyną gnicia owoców [42]. Izolaty *P. amygdali* uzyskiwano także z gruszy azjatyckiej (*Pyrus pyrifolia* (N.L. BURM) NAKAI) i śliwy (*Prunus domestica* L.) w USA oraz z migdałowca zwyczajnego (*Prunus dulcis* (MILL.) D.A. WEBB) w Kalifornii, Hiszpanii i Włoszech, gdzie powodował zrakowacenia i więdnienie pędów oraz gnicie owoców [2, 10, 65, 67, 68]. *P. amygdali* tworzy zarodniki typu α o wymiarach $5,3\text{--}7,5$ (8) \times $1,7\text{--}2,5$ μm oraz rzadko zarodniki typu β o wymiarach $12,8\text{--}29,8$ \times $0,6\text{--}0,7$ μm [2]. Dokładne badania morfologiczne i molekularne wykazały jednak, że izolaty *P. amygdali* z migdałowca w Europie i z brzoskwini w USA to ten sam gatunek, podczas gdy izolaty z gruszy azjatyckiej i śliwy różnią się od *P. amygdali* [10]. Obserwacje te zainspirowane zostały wcześniejszymi doniesieniami Uddin i in. [67], którzy przebadali 5 izolatów *Phomopsis*, uzyskanych z chorych pędów brzoskwini w Georgia i Alabama, nie stwierdzając istotnych różnic w wirulencji. Analiza fragmentów DNA wykazała, że współczynnik

podobieństwa między nimi wynosił 0,94%. Ponadto ustalono, że sekwencje nukleotydów regionów ITS były identyczne dla wszystkich 5 izolatów. Powyższa praca była pierwszą dokumentacją patogeniczności *Phomopsis* sp. związanych ze zgorzelą pędów brzoskwini w tym rejonie, chociaż chorobę nazywaną zgorzelą pąków i liści brzoskwini zaobserwowano po raz pierwszy w Georgii, USA w 1998 roku i już wtedy za jej przyczynę uznano *Phomopsis* sp. [67]. Jednocześnie autorzy podkreślali, że objawy chorobowe powodowane przez ten patogen na roślinach sadowniczych są niespecyficzne i mogą być wynikiem zakażenia przez wiele innych gatunków grzybów. Ze względu na rosnące znaczenie choroby w południowo-wschodnich rejonach USA i uzyskiwanie izolatów *Phomopsis* z innych gatunków roślin żywicielskich, Uddin i in. [68] podjęli próbę scharakteryzowania i ewentualnego zróżnicowania izolatów *Phomopsis* z brzoskwini, śliwy oraz gruszy azjatyckiej oraz sprawdzenia ich patogeniczności w stosunku do brzoskwini, gruszy, śliwy i jabłoni. Zaobserwowali niewielkie różnice w morfologii i patogeniczności, ale stwierdzili zróżnicowanie genetyczne pomiędzy izolatami z brzoskwini oraz tymi z gruszy azjatyckiej i śliwy, bowiem izolaty z brzoskwini charakteryzowały się odmiennymi profilami DNA i inną sekwencją nukleotydów w rejonach ITS. Wyniki badań molekularnych wskazały ponadto na ściśle podobieństwo w profilach DNA izolatów ze śliwy i gruszy azjatyckiej oraz na identyczną sekwencję w obrębie ITS co sugeruje, że należą one do tego samego gatunku [68]. Z powodu wielu niejasności dotyczących taksonomii *Phomopsis* spp. oraz ich biologii, autorzy uznali, że niemożliwe jest określenie czy izolaty te należą do wcześniej opisanych gatunków, czy do gatunków nieznanych i w swoich pracach ograniczyli się do używania tylko nazwy rodzajowej.

Objawy chorobowe powodowane przez *Phomopsis* sp. to nekroza na ubiegłorocznych pędach i wokół pąków kwiatowych, liściowych oraz ogonków liściowych. Szybki rozwój nekroz wokół pękających pąków wskazuje, że są one głównym miejscem infekcji. Zwykle w obwodowej części takich nekroz pojawiają się konidiony, z których wiosną, przy wysokiej wilgotności wydostają się „wąsy” cieczy zawierającej tylko konidia typu α . Zarodników typu β nie stwierdzono zarówno na sztucznych podłożach jak i na chorych pędach. Powiększanie się nekroz i ich przenikanie do wiązek przewodzących może prowadzić do więdnienia zainfekowanych organów. Czasami nekroza tkanek zaczyna się od wierzchołków młodych pędów i postępuje w dół, ale wtedy ogranicza się tylko do kilku centymetrów poniżej wierzchołka [36, 67, 68]. Z badań Uddin i in. [68] wynika, że *Phomopsis* sp., który powoduje zgorzel pędów brzoskwini w USA, nie jest specyficzny dla tego gatunku, ma szerszy zasięg roślin żywicielskich. Było to pierwsze doniesienie o wrażliwości jabłoni, śliw i grusz na patogen powodujący zgorzel pędów brzoskwini, co jest ważną informacją dla sadowników uprawiających różne gatunki roślin w sąsiedztwie. Bardzo szybki rozwój nekroz i więdnienie inokulowanych pędów jabłoni sugeruje, że są one równie wrażliwe na patogen jak brzoskwinie.

Chociaż Farr i in. [10] uznali za przyczynę zgorzeli pędów brzoskwini *P. amygdali*, który może również kolonizować inne gatunki roślin sadowniczych, a zwłaszcza jabłonie, to w najstarszej literaturze za przyczynę zrakowaceń pędów jabłoni i szorstkości kory w Ameryce Północnej i Korei uznawany był *P. mali*, którego teleomorfy określano jako *Diaporthe pernicioso* MARCHAL. Patogen ten może przyczyniać się do zamierania nie tylko pędów jabłoni, lecz również gruszy, śliwy i brzoskwini [8, 17, 37, 57, 62, 69]. *P. mali* uznawano za przyczynę zrakowacenia i zgorzeli pędów jabłoni i gruszy w byłej Jugosławii, Słowenii, Niemczech, Rumunii, Wielkiej Brytanii i południowej Afryce [40, 57, 62, 66], śliwy, wiśni i czereśni na Litwie [69] oraz stwierdzono go wśród grzybów fyloferowych zasiedlających pąki, liście i pędy jabłoni [22, 27, 40, 48]. Obecnie patogen ten opisywany jest często jako sprawca gnicia jabłek w okresie wegetacji i przechowywania w USA, północnej Irlandii, Wielkiej Brytanii, Rumunii i Grecji [21, 53, 54, 57]. Na zakażonych pędach pojawiają się nekrotyczne, punktowe, a następnie wydłużające się plamy, spękania kory, obrączkowanie i w konsekwencji zamieranie pędów i całych drzew [40, 62]. Na powierzchni chorych owoców tworzą się wodniste plamy o nieregularnym brzegu, ale we wczesnych fazach zakażenia owoce pozostają twarde [21, 53, 54]. Najczęściej jednak objawy chorobowe zaczynają się od gniazda nasiennego. W odróżnieniu od innych patogenów, powodujących podobne symptomy, np. *Alternaria alternata*, zmiany chorobowe obejmują także miąższ owocu [21, 53, 54, 57]. *P. mali* tworzy na pożywce PDA kultury o typowym dla tego rodzaju wyglądzie oraz konidia obu typów tj. α o wymiarach $8-10 \times 2-3 \mu\text{m}$ i β o wymiarach $22-25 \times 1-2 \mu\text{m}$ [21, 66]. Fakt tworzenia obu typów konidiów wskazuje na istotną różnicę morfologiczną między *P. mali*, a izolatami *P. amygdali*, uzyskiwanymi z brzoskwini i innych roślin sadowniczych, gdzie zarodniki typu β tworzyły się sporadycznie lub ich nie obserwowano [10, 67, 68].

Za patogen jabłoni, gruszy i śliwy uznaje się także *P. ambigua*, którego teleomorfa należy do gatunku *D. ambigua* NITS. [15, 58, 61, 66]. Wahmeyer [72] stwierdził, że *D. ambigua*, opisany w 1867 roku i *D. pernicioso*, opisany w 1921 to synonimy *D. eres* NITS. (anamorfa *P. oblonga*) opisanego w 1867 roku. Jednak w nowszych opracowaniach *P. oblonga* uznawany jest za patogen wiązu i orzecha szarego (*Juglans cinerea* L.) [3, 66]. Grzyb ten powoduje powstawanie małych, nekrotycznych plam na pędach i konarach sadzonek i drzew orzecha szarego co prowadzi do ich zamierania. Na pożywce PDA *P. oblonga* tworzy typowe dla gatunku kultury oraz zarodniki typu α o wymiarach $8 \times 2 \mu\text{m}$ i zarodniki typu β o wymiarach $25 \times 1 \mu\text{m}$ [3]. Ze względu na brak dokładnych informacji dotyczących taksonomii tych grzybów w licznych opracowaniach autorzy wskazują na *P. ambigua* jako patogen wymienionych gatunków drzew owocowych [56, 61, 66]. Zgorzel pędów jabłoni, gruszy i śliwy jest groźną chorobą w wielu szkółkach i sadach południowej Afryki, ale pomimo dużej szkodliwości *P. ambigua* niewiele wiadomo o biologii tego patogenu [43, 44, 61]. Grzyb ten tworzy tylko zarodniki typu α o wymiarach $8 \times 3 \mu\text{m}$ [66]. Wyniki badań prowadzonych w sadach południowej Afryki wskazały na ogromną liczbę grup zgodności wegeta-

tywnej w populacji teleomorfy tego patogenu, tj. *D. ambigua*, co nie było zaskoczeniem dla badaczy ze względu na powszechne występowanie perytecjów w miejscach pojawiania się choroby [61]. Ponadto, u niektórych wolno rosnących i nie zarodnikujących szczepów *D. ambigua*, stwierdzono obecność endogenicznego, wiruso-podobnego RNA (dsRNA) co jest skorelowane z obniżoną wirulencją u licznych patogenów roślin [43, 47, 52, 61, 62]. Najnowsze badania przy zastosowaniu techniki PCR-RFLP wykazały jednak, że izolaty uznane wcześniej za *D. ambigua* bardzo się różnią i w rzeczywistości należą do trzech gatunków: *D. ambigua*, *D. perjuncta* i nieznanego gatunku *Phomopsis* [43, 44]. Jednocześnie okazało się, że specyficzne dsRNA występuje nie tylko w populacji *D. ambigua*, lecz i wśród izolatów *D. perjuncta* [43, 44].

Do gatunków patogenicznych dla drzew owocowych należy także *P. pernicioso* [1, 4, 66, 69]. Patogen ten izolowano ze zrakowaciałych pędów jabłoni, brzoskwini, śliwy, wiśni, czereśni oraz nieszpuki zwyczajnej m.in. w Anglii, Francji, Belgii, Holandii, Serbii, Niemczech i na Litwie [4, 66, 69]. *P. pernicioso* tworzy zarodniki typu α i β odpowiednio o wymiarach $7-9 \times 2-3 \mu\text{m}$ oraz $25-30 \times 1-1,5 \mu\text{m}$ oraz typowy wygląd kolonii na pożywce PDA [4, 66]. Jednakże w opinii niektórych autorów gatunek ten opisany w 1935 roku przez Grave [16] w rzeczywistości jest gatunkiem *P. mali* ROBERTS, którego teleomorfa nosi nazwę *D. pernicioso* MARCH. [1]. Z kolei Żvković i in. [74] uzyskali z chorych pędów i owoców śliwy izolaty *Phomopsis* sp., których ostatecznie nie oznaczyli do gatunku. Autorzy przypuszczają, że może to być *P. pernicioso*, *P. mali* lub *P. ambigua*, bowiem te trzy gatunki opisywane są w literaturze jako potencjalne patogeny pędów i owoców śliwy.

Specyficznym patogenem orzecha włoskiego (*Juglans regia* L.) jest *P. juglandina*, którego teleomorfa opisywana jest jako *D. juglandina* (FUCKEL) NITSCHKE [3, 66, 70]. Patogen ten izolowano z pędów orzecha włoskiego we Francji, Włoszech, Niemczech, Serbii, w Polsce i w USA [3, 4, 22, 27, 66], a także z dwuletnich drzewek rosnących w szkółkach na terenie Węgier [70]. Na młodych drzewkach obserwowano brązowe przebarwienia i zapadanie się kory w miejscach szczepienia i w pewnym oddaleniu od tych miejsc. Czasami na obrzeżach nekrozy tworzył się kalus i takie rośliny żyły dłużej. Na przekroju chorych tkanek obserwowano brązowienie drewna, co prowadziło do zamierania pędów, a w konsekwencji całych drzewek [70]. Źródłem zakażenia mogły być konidia występujące na roślinach matecznych, które rosły w pobliżu szkółki, bowiem na takich drzewach powszechnie znajdowano gałęzie zainfekowane przez ten patogen [70]. *P. juglandina* tworzy konidia α i β , których rozmiary wynoszą odpowiednio $10-12 \mu\text{m} \times 3-4 \mu\text{m}$ i $16-20 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ [22, 27, 66].

Groźnym patogenem borówki amerykańskiej (*Vaccinium corymbosum* L.) i żurawiny (*Vaccinium macrocarpon* AITON.) jest *P. vaccinii*, teleomorfa *D. vaccinii* SHER, uznawany za gatunek specyficzny dla rodzaju *Vaccinium* [11, 19, 20, 66]. Grzyb ten powoduje zrakowacenia i zgorzele pędów, plamistości liści oraz gnicie owoców w okresie wegetacji i w czasie ich przechowywania [11, 19, 20, 66]. Pierwsze objawy

chorobowe pojawiają się zwykle na wierzchołkach nie zdrewniałych pędów. Zainfekowane organy zaczynają brązowieć i zamierają, ale wokół chorej tkanki nigdy nie pojawia się purpurowa obwódka, jak ma to miejsce po infekcji pędów przez inny groźny patogen borówki *Godronia cassandrae* [19, 20, 73]. Na chorych tkankach tworzy się konidioma piknidialna, która wydziela kremowe krople cieczy zawierające konidia α i β [19]. Zgodnie z opisem różnych autorów konidia te mogą mieć wymiary odpowiednio $5,5\text{--}11\ \mu\text{m} \times 1,7\text{--}5,5\ \mu\text{m}$ i $12\text{--}25\ \mu\text{m} \times 0,35\text{--}1\ \mu\text{m}$ [11, 19, 55, 66]. *P. vaccinii* opisano w 1931 roku w USA, a następnie patogen został zawleczony do Chile skąd szybko się rozprzestrzenił [19, 20, 66]. Grzyb ten znajduje się obecnie na liście patogenów kwarantannowych w Europie i do niedawna uznawany był za gatunek nie występujący na tym terenie, a jego wprowadzanie i rozprzestrzenianie podlegało ścisłej kontroli [13, 19, 20]. Ostatnio jednak *P. vaccinii* izolowano z borówki amerykańskiej i żurawiny na Litwie i w Niemczech [13, 19, 20], co wskazuje, że ten groźny patogen już występuje w Europie. Fakt ten świadczy o potrzebie opracowania szybkich metod wykrywania *P. vaccinii* [19, 20], tym bardziej, że na roślinach z rodzaju *Vaccinium* opisano także gatunek *P. myrtilli* PETR. [19], *P. archeri* [64], a także gatunki wyraźnie różniące się od *P. vaccinii*, których dotychczas nie nazwano [11, 56]. Biologiczne znaczenie izolatów z borówki, innych niż *P. vaccinii*, nie jest jednoznacznie wyjaśnione. Gatunki rodzaju *Phomopsis* izolowane były często jako endofity np. z buku japońskiego [59] i z roślin należących do rodziny *Ericaceae* [49]. Możliwe, że izolowane z borówki izolaty inne niż *P. vaccinii* nie powodują objawów chorobowych na tej roślinie i na żurawinie, ale w pewnych okolicznościach i warunkach mogą się okazać patogenami [49].

W literaturze polskiej brakuje informacji na temat grzybów rodzaju *Phomopsis* występujących na roślinach sadowniczych innych niż winorośl. Wyjątek stanowią nieliczne doniesienia z pilotażowych badań własnych, które wskazują na obecność tych grzybów na pędach jabłoni, gruszy, śliwy, wiśni, czereśni, orzecha włoskiego i leszczyny [22, 27, 32]. Z badań Szmagara i Machowicz-Stefaniak [64] wynika także, że pędy borówki wysokiej, uprawianej w województwie lubelskim, uszkodzone były przez *P. archeri*. Dokładniejsze badania własne na temat występowania i szkodliwości tych potencjalnych patogenów trwają i będą prowadzone w ciągu najbliższych lat.

Ograniczanie występowania chorób powodowanych przez *Phomopsis* spp.

Jednym ze sposobów ograniczania rozwoju patogennych gatunków *Phomopsis* spp. jest systematyczne usuwanie chorych pędów, zarówno w okresie wegetacji jak i spoczynku roślin, a przede wszystkim stosowanie zdrowego materiału rozmnożeniowego [6, 26, 28, 35, 45]. W badaniach nad ograniczaniem rozwoju *P. amygdali* stwierdzono jednak, że wycinanie pędów, wykazujących objawy chorobowe, reduku-

je występowanie symptomów o 42% w danym roku, ale nie ma wpływu na rozwój choroby w następnym sezonie wegetacyjnym [35]. W przypadku tego patogenu, który zakaża rośliny zarówno wiosną przez kwiaty jak i jesienią przez blizny po opadających liściach oraz uszkodzenia w łuskach okrywających pąki, pełna ochrona chemiczna obejmuje 7–8 opryskiwań w czasie opadania liści i wtedy ogranicza rozwój zrakowacenia pędów o 45–65%. Z kolei, wykonanie 4–5 opryskiwań wiosennych, od pęknięcia pąków do kwitnienia, ogranicza występowanie objawów chorobowych tylko o 10–28%, podczas gdy zabiegi w obu terminach okazują się najbardziej efektywne ograniczając rozwój choroby o ponad 70% [35]. Spośród środków stosowanych w ochronie przed tym patogenem najskuteczniejsze okazały się związki miedziowe, chlorotalonil, kaptan, azoksystrobina i myklobutanil. Stwierdzono także, że niektóre fungicydy stosowane w sadach przeciwko patogenom powodującym brunatną zgniliznę drzew pestkowych i parcha brzoskwini także ograniczają rozwój *P. amygdali* [35, 40]. Z kolei Rosenberger i Burr [57] donoszą, że benomyl i kaptan ograniczają zakażenie roślin przez *P. mali*.

W ostatnich latach poszukuje się niechemicznych metod ochrony roślin, szczególnie w uprawach ekologicznych. Badania przeprowadzone w Rumunii wykazały, że zastosowanie biopreparatu Trichodex 25 WP w mieszaninie z komórkami *Bacillus subtilis* chroniło przed *P. mali* prawie tak samo skutecznie jak aplikacja fungicydu Turdacuprol 50 [40]. Ponadto autorzy podkreślają, że środki miedziowe można stosować w uprawie ekologicznej tylko do momentu kwitnienia. W późniejszym terminie mogą być fitotoksyczne i właśnie w tym okresie powinno się wprowadzać biopreparaty [40]. Wykazano także hamowanie rozwoju grzybów rodzaju *Phomopsis* przez *Mycostop* (*Streptomyces griseus* K16) [12].

Ponadto, ciągły rozwój technik molekularnych, pozwala coraz lepiej poznawać genetycznie grzyby rodzaju *Phomopsis*, co daje podstawy do opracowywania strategii ochrony na tym poziomie [43, 44, 52]. Wykrycie wśród niektórych szczepów *Diaporthe* spp. wiruso-podobnego RNA (dsRNA) i poznanie jego sekwencji doprowadziło do identyfikacji *Diaporthe* RNA wirusa (DaRV), odpowiedzialnego za ograniczenie wirulencji patogenu [43, 44, 47, 52, 61, 62]. Autorzy powyższych badań uważają, że DaRV może być w przyszłości użyty jako czynnik biologicznej ochrony przed patogenami rodzaju *Diaporthe*.

Wnioski

1. Uzyskiwanie kultur *Phomopsis* spp. z pędów niektórych gatunków drzew i krzewów owocowych w Polsce pozwala przypuszczać, że grzyby te kolonizują organy roślin sadowniczych w warunkach naszego kraju.
2. Powodowanie zróżnicowanych i niespecyficznych objawów chorobowych przez różne gatunki tego rodzaju, utrudnia ich rozpoznawanie w uprawach sadowniczych.

3. Występowanie wielu gatunków *Phomopsis*, które mogą być potencjalnymi patogenami roślin sadowniczych sugeruje przeprowadzanie badań nad ich zdolnościami patogenicznymi, w celu wytypowania zakresu roślin żywicielskich.
4. Stwierdzenie dużego podobieństwa morfologicznego w obrębie omawianego rodzaju wskazuje na potrzebę łączenia klasycznych i molekularnych metod diagnostycznych w celu prawidłowej identyfikacji tych grzybów.

Podsumowanie

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie grzybami rodzaju *Phomopsis* jako potencjalnymi patogenami wielu gatunków roślin sadowniczych w różnych rejonach świata. Wśród nich najczęściej wymienia się *P. perniciosa*, *P. ambigua*, *P. amygdali*, *P. mali*, *P. ampelina*, *P. juglandina*, *P. oblonga* i *P. vaccinii*. Powodują one niespecyficzne objawy chorobowe, najczęściej zgorzele i zrakowacenia kory, wędnięcia pędów, a także zgnilizny i mumifikacje owoców. W wielu opracowaniach naukowych nie wymienia się nazw gatunkowych *Phomopsis*, mimo podawania dokładnej charakterystyki izolowanych kultur. Wynika to często z braku kompletnych opracowań dotyczących tej grupy grzybów i rozproszenia informacji w literaturze światowej, co utrudnia lub uniemożliwia poprawną identyfikację. Przez wiele lat uważano, że nazwy gatunkowe związane są z rośliną żywicielską, a poszczególne gatunki *Phomopsis* ograniczają się do zakażenia jednego gatunku rośliny lub co najwyżej roślin w obrębie rodzaju lub rodziny. Ostatnie badania sugerują, że ustalenie gatunków roślin żywicielskich jest bardziej złożone niż wcześniej uważano. Okazuje się bowiem, że niektóre gatunki *Phomopsis* są rzeczywiście specyficznymi patogenami jednego gatunku rośliny podczas gdy inne mogą zakażać więcej żywicieli. Ponadto, rozwijające się dynamicznie techniki badań na poziomie molekularnym, dostarczają coraz więcej danych, co powoduje, że taksonomia tych grzybów poddawana jest ciągłej rewizji. Obecna praca prezentuje wyniki badań dotyczących występowania i szkodliwości *Phomopsis* spp. dla różnych gatunków roślin sadowniczych na świecie. Ponadto, sygnalizuje obecność tych grzybów w warunkach Polski i potrzebę sprawdzenia ich potencjalnej szkodliwości w warunkach klimatycznych naszego kraju.

Literatura

- [1] Acuña R., Larach W. 1993. *Phomopsis perniciosa*, agente causal de cancos en peral asiatico. II Congreso National De Fitopatología Resúmenes, *Simiente* 63(1): 42–63.
- [2] Adaskaveg J.E., Förster H., Connell J.H. 1999. First report of fruit rot and associated branch dieback of almond in California caused by *Phomopsis* species tentatively identified as *P. amygdali*. *Plant Dis.* 83(11): 1073.
- [3] Anagnostakis S.L. 2007. *Diaporthe eres* (*Phomopsis oblonga*) as a pathogen of butternut (*Juglans cinerea*) in Connecticut. *Plant Dis.* 91: 1198.

- [4] Arsenijević M., Gavrilović V. 2005. *Phomopsis perniciosa* GROVE – uzročnik trulež uskladištenih plodova jabuke. *Pesticidi i Fitomedicina* 20(3): 189–194.
- [5] Borecki Z. 1999. Diagnostyka chrób roślin. Choroby drzew owocowych i roślin jagodowych. Wyd. SGGW-AR, Warszawa: 196 ss.
- [6] Burges N., Taylor A., Kumar S. 2005. *Phomopsis* cane and leaf spot. *Phomopsis viticola* (Synonym: *P. viticola* Taxon 2) an exotic threat to Western Australia. *Factsheet* 9: 9–10.
- [7] Cavanni P., Fantuz F., Ponti J. 1987. Le malattie crittogamiche del legno della vite. *Informatore Fitopatologico* 37(1): 27–34.
- [8] Cayley D.M. 1923. The phenomenon of mutual aversion between mono-spore mycelium of the same fungus (*Diaporthe perniciosa* MARCHAL) with a discussion of sex heterothallism in fungi. *Journal of Genetics* 13: 353–370.
- [9] De Guido M.A., Pollastro S., Carlucci A., De Miccolis Angelini R.M., Faretra F. 2003. *Phomopsis viticola* is easily transformed with *hph* and *Bml* genes. *Journal of Plant Pathology* 85(1): 43–52.
- [10] Farr D.F., Castlebury L.A., Pardo-Schultheiss R.A. 1999. *Phomopsis amygdali* causes peach blight of cultivated peach trees in southeastern United States. *Mycologia* 91: 1008–1015.
- [11] Farr D.F., Castlebury L.A., Possman A.Y. 2002. Morphological and molecular characterization of *Phomopsis vaccinii* and additional isolates of *Phomopsis* from blueberry and cranberry in the eastern United States. *Mycologia* 94: 494–504.
- [12] Fravel D. 2005. Commercial biocontrol products available for use against plant pathogens. <<http://www.oardc.ohio-state.edu/apsbcc/productlist.htm>>.
- [13] Gabler J., Kačergius A., Jovaišienė Z. 2004. Detection of *Phomopsis vaccinii* on blueberry and cranberry in Europe by direct tissue blot immunoassay and plate trapped antigen ELISA. *Journal of Phytopathology* 152: 630–632.
- [14] Grabowski M. 2002. Badania nad grzybami zasiedlającymi rozdrobnione pędy jabłoni pozostawione w sadzie po cieciu. *Acta Agrobotanica* 55(1): 79–87.
- [15] Grove W.B. 1917. The British species of *Phomopsis*. *Bull. Misc. Inform.* 2: 48–73.
- [16] Grove W.B. 1935. British stem and leaf fungi (*Coelomycetes*). Vol. I. *Sphaeropsidales*. Cambridge University Press.
- [17] Harris D.C. 1988. *Diaporthe perniciosa* associated with plum dieback. *Plant Pathology* 37: 604–606.
- [18] Hewitt W.B., Pearson R.C. 1988. *Phomopsis* cane and leaf spot. W: Compendium of grape diseases, (R.C. Pearson, A.C. Goheen (red.). APS Press, Minnesota: 16–18.
- [19] Kačergius A., Gabler J., Jovaišienė Z. 2004. Detection of *Phomopsis* canker and dieback of highbush blueberries and cranberries in Lithuania. *Agronomijas Vēstis* 7: 71–78
- [20] Kačergius A., Jovaišienė Z., Valiuskaite A. 2004. First report of *Phomopsis vaccinii* on *Vaccinium corymbosum* in Lithuania. *Botanica Lithuanica* 10(1): 75–80.
- [21] Karaoglanidis G.S., Bardas G. 2006. First report of *Phomopsis* fruit decay on apple caused by *Phomopsis mali* in Greece. *Plant Dis.* 90: 375.
- [22] Król E. 2002. Determination of genetic variability within *Phomopsis* spp. using RAPD method. *Phytopathol. Pol.* 25: 35–46.
- [23] Król E. 2004. Oddziaływanie epifitycznych bakterii z liści winorośli na *Phomopsis viticola* SACC. *Acta Agrobotanica* 57(1–2): 99–107.
- [24] Król E. 2004. Efektywność wybranych mikroorganizmów w ograniczaniu zakażenia sadzonek winorośli przez *Phomopsis viticola* SACC. *Acta Agrobotanica* 57(1–2): 109–118.
- [25] Król E. 2004. *Trichoderma* spp. and other microorganisms in the control of *Phomopsis viticola* on grapevine canes. *Phytopathol. Pol.* 31: 25–31.
- [26] Król E. 2005. Influence of some chemicals on the viability of *Phomopsis viticola* SACC. spores. *Journal of Plant Protection Research* 45(3): 195–204.
- [27] Król E. 2005. Identification and differentiation of *Phomopsis* spp. isolates from grapevine and some other plant species. *Phytopathol. Pol.* 35: 151–156.
- [28] Król E. 2006. Grzyby zasiedlające zdrowe łoża winorośli (*Vitis* spp.) w wybranych szkółkach. *Acta Agrobotanica* 59(2): 163–173.
- [29] Król E. 2006. Fungi inhabiting decaying grapevine (*Vitis* spp.) cuttings. *Journal of Plant Protection Research* 46(4): 353–358.
- [30] Król E. 2006. Chitosan activity in an inhibition of in vitro growth of *Phomopsis viticola* and protection of grapevine canes against the pathogen. *Phytopathol. Pol.* 39: 155–162.

- [31] Król E. 2007. *Phomopsis viticola* SACC. jako patogen winorośli na świecie i w Polsce. *Post. Nauk Roln.* 4: 85–96.
- [32] Król E., Kowalik B. 2010. Charakterystyka grzybów rodzaju *Phomopsis* wyizolowanych z roślin sadowniczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol./Progress in Plant Protection Research* 554: 53–59
- [33] Kuropatwa E. 1993. Badania wpływu temperatury i podłoża hodowlanego na wzrost i zarodnikowanie *Phomopsis viticola* SACC. Materiały z Sympozjum „Biotyczne środowisko uprawne a zagrożenie chorobowe roślin”, Olsztyn, 7–9 września 1993: 249–254.
- [34] Kuropatwa E. 1994. Badanie efektywności grzybobójczej fungicydów dla *Phomopsis viticola* SACC. powodującego nekrozę korową winorośli. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, s. EEE–Horticultura* 2: 109–115.
- [35] Lalancette N., Robinson D.M. 2002. Effect of fungicides, application timing, and canker removal on incidence and severity of constriction canker of peach. *Plant Dis.* 86(7): 721–728.
- [36] Lathan A.J., Morgan-Jones G., Campbell H.L. 1991. *Phomopsis* dieback of peach shoots in Alabama. *Plant Dis.* 74: 426.
- [37] Lee D.H., Lee S.W., Choi K. H., Kim D.A., Uhm J.Y. 2006. Survey and occurrence of apple diseases in Korea from 1992 to 2000. *Plant Pathol. J.* 22(4): 375–380.
- [38] Machowicz-Stefaniak Z. 1993. *Phomopsis viticola* SACC. (*Sphaeropsidales, Deuteromycotina*) nowy w Polsce pathogen pędów winorośli. *Acta Mycologica XXVIII*: 157–160.
- [39] Machowicz-Stefaniak Z., Kuropatwa E. 1993. Grzyby porażające winorośl uprawianą pod osłonami. *Mat. XXXIII Sesji Naukowej IOR, Poznań* 2003: 1–4.
- [40] Maxim A., Zagrai I., Zagrai L., Fitiu A., Sandor M. 2005. Sequences in biological pest control of phytopathogenic agents for apple trees. *Contributii Botanice XL*: 281–284.
- [41] Merrin S.J., Nair H.G., Tarran J. 1995. Variation in *Phomopsis* recorded on grapevine in Australia and its taxonomic and biological implications. *Australasian Plant Pathol.* 24: 44–45.
- [42] Michalides T.J., Thomidis T. 2006. First report of *Phomopsis amygdali* causing fruit rot on peaches in Greece. *Plant Dis.* 90: 1551.
- [43] Moleleki N., Preisig O., Wingfield M.J., Crous P.W., Wingfield B.D. 2002. PCR-RFLP and sequence data delineate three *Diaporthe* species associated with stone and pome fruit trees in South Africa. *European Journal of Plant Pathology* 108(9): 909–912.
- [44] Moleleki N., van Heerden S.W., Wingfield M.J., Wingfield B.D., Preisig O. 2003. Transfection of *Diaporthe perijuncta* with *Diaporthe* RNA virus. *Applied and Environmental Microbiology* 69(7): 3952–3956.
- [45] Mostert L., Crous P.W., Petrini O. 2000. Endophytic fungi associated with shoots and leaves of *Vitis vinifera*, with specific reference to *Phomopsis viticola* complex. *Sydowia* 52: 46–56.
- [46] Mostert L., Crous P.W., Kang J.C., Philips A.J.L. 2001. Species of *Phomopsis* and *Libertella* sp. occurring on grapevines with specific reference to South Africa: morphological, cultural, molecular and pathological characterization. *Mycologia* 93: 146–167.
- [47] Nuss D.L., Kotlin Y. 1990. Significance of dsRNA genetic elements in plant pathogenic fungi. *Annu. Rev. Phytopathol.* 28: 37–58.
- [48] Pennycook S.R., Newhook F.J. 1981. Seasonal changes in the apple phylloplane microflora. *New Zealand Journal of Botany* 19: 273–283.
- [49] Petrini O. 1985. Wirtsspezifität endophytischer Pilze bei einheimischen *Ericaceae*. *Bot. Helvet* 95: 146–167.
- [50] Phillips A.J.L. 2000. Excoriose, cane blight and related diseases of grapevines: a taxonomic review of the pathogens. *Phytopathol. Mediterr.* 39: 341–356.
- [51] Pine T.S. 1958. Etiology of the dead-arm. *Phytopathology* 48: 192–197.
- [52] Preisig O., Moleleki N., Smit W.A., Wingfield B.D., Wingfield M.J. 2000. A novel RNA mycovirus in a hypovirulent isolate of the plant pathogen *Diaporthe ambigua*. *J. Gen. Virol.* 81: 3107–3114.
- [53] Puia C., Oroian I., Florian I. 2004. Effect of ozone exposure on phytopathogenic microorganisms on stored apples. *Journal of Agricultural Sciences, Debrecen* 2004/15: 9–13.
- [54] Puia C., Popovici E.J., Viorel F. 2003. The evaluation of fitosanitary status of the stored apples in natural conditions. *Journal Central European Agriculture* 4: 319–325.
- [55] Ramsdell D.C. 1995. Evaluation of foliar fungicides for control of fruit rots and downy mildew. *Fungicide and Nematicide Tests* 50: 75–76.
- [56] Rehner S.A., Uecker F.A. 1994. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer phylogeny and host diversity in the coleomycete *Phomopsis*. *Can. J. Bot.* 72: 1666–1674.
- [57] Rosenberger D.A., Burr T.J. 1982. Fruit decays of peach and apple caused by *Phomopsis mali*. *Plant Dis.* 66: 1073–1075.

- [58] Saccardo P.A. 1915. Notae mycologicae. *Annales Mycologici* 13: 115–138.
- [59] Sahashi N., Kubono T., Miyasawa Y., Ito S. 1999. Temporal variations in isolation frequency of endophytic fungi of Japanese beech. *Can. J. Bot.* 77: 197–202.
- [60] Scheper R.W.A., Crane D.C., Whisson D.L., Scott E.S. 2000. The *Diaporthe* teleomorph of *Phomopsis* taxon 1 on grapevine. *Mycol. Res.* 104: 227–232.
- [61] Smit W.A., Viljoen C.D., Wingfield B.D., Wingfield M.J., Calitz F.J. 1996. A new canker disease of apple, pear and plum rootstocks caused by *Diaporthe ambigua* in South Africa. *Plant. Dis.* 80: 1331–1335.
- [62] Smit W.A., Wingfield B.D., Wingfield M.J. 1997. Vegetative incompatibility in *Diaporthe ambigua*. *Plant Pathology* 46: 366–372.
- [63] Sutton B.C. 1980. The *Coelomycetes*, fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stroma. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey.
- [64] Szmagora M., Machowicz-Stefaniak Z. 2005. Grzyby porażające pędy borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.). *Progress in Plant Protection/ Postępy w Ochronie Roślin* 45(2): 1130–1133.
- [65] Tuset J.J., Portilla M.A.T. 1989. Taxonomic status of *Fusicoccum amygdali* and *Phomopsis amygdalina*. *Can. J. Bot.* 65(5): 1275–1280.
- [66] Uecker F. A. 1988. A world list of *Phomopsis* names with notes on nomenclature, morphology and biology. *Mycol. Mem.* 13: 321 ss.
- [67] Uddin W., Stevenson K.L., Pardo-Schultheiss R.A. 1997. Pathogenicity of a species of *Phomopsis* causing a shoot blight on peach in Georgia and evaluation of possible infection courts. *Plant Dis.* 80: 983–989.
- [68] Uddin W., Stevenson K.L., Pardo-Schultheiss R.A., Rehner S.A. 1998. Pathogenic and molecular characterization of three *Phomopsis* isolates from peach, plum and Asian pear. *Plant Dis.* 82: 732–737.
- [69] Valiūškaitė A. 2002. Micromycetes infecting stone fruit trees. *Biologija* 1: 18–21.
- [70] Vajnay L., Zsuzsa R. 2005. Dióoltványok elhálalasanak etologiaja. *Novenyvedelem* 41: 12.
- [71] Wechtl E.E. 1990. *Phomopsis* (*Coelomycetes*) species on *Compositae* and *Umbelliferae*: a critical evaluation of characters with keys. *Linzer Boil. Beitr.* 22(1): 161–173.
- [72] Wehmeyer L.E. 1933. The genus *Diaporthe* NITSCHKE and its segregates. Ann. Arbor. Michigan, University of Michigan Press: 349 ss.
- [73] Weingartner D.P., Klos E.J. 1975. Etiology and symptomatology of canker and dieback diseases on hightbush blueberries caused by *Godronia* (*Fusicoccum*) *cassandrae* and *Diaporthe* (*Phomopsis*) *vaccinii*. *Phytopathology* 65(2): 105–110.
- [74] Žvković S.T., Stojanović S. D., Balaž J., Gavrilović V. P. 2007. Characteristics of *Phomopsis* sp. isolates of plum trees origin. *Proc. Nat. Sci., Matica Srpska Novi Sad* 113: 83–91.

Fungi from the genus *Phomopsis* inhabiting shoots of orchard plants

Key words: *Phomopsis* spp., orchard plants, occurrence, harmfulness

Summary

Diseases caused by *Phomopsis* spp. have become an increasing problem in the orchard regions of the world. Among pathogenic species *P. perniciososa*, *P. ambigua*, *P. amygdali*, *P. mali*, *P. ampelina*, *P. juglandina*., *P. oblonga* and *P. vaccinii* are recorded most frequently. They are associated with bark necroses, shoot blight and canker, wilting, decay, fruit rot and mummification. *Phomopsis* spp. were described primarily on the basis of host plant. Recent studies suggest that some of *Phomopsis* appear to be restricted to one host while other species can be isolated from diverse plants. Conse-

quently, strains of *Phomopsis* isolated from one host plant are not necessarily closely related and may represent more than one taxon. Information on the taxonomy of genus *Phomopsis* is widely scattered throughout the literature. Moreover, these fungi sporulate with difficulty on artificial media, are slightly differentiated in colonies morphology and spores dimension. Therefore, in many of scientific papers the name *Phomopsis* sp. is not published although full characteristic of fungus is given. The present paper summarized the results of studies concerning the occurrence and harmfulness of *Phomopsis* spp. which can damage orchard plants in the world and indicate the presence of these fungi under Polish conditions.

Czynniki wpływające na formowanie ciemnej plamistości poudzerzeniowej bulw ziemniaka

Agnieszka Hara-Skrzypiec

*Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin–Państwowy Instytut Badawczy
w Radzikowie, Oddział w Młochowie
ul. Platanowa 19, 05-831 Młochów
e-mail: a.hara@ihar.edu.pl*

Słowa kluczowe: ziemniak, ciemna plamistość poudzerzeniowa (CPP),
oksydaza o-fenolowa (OOP), L-tyrozyna

Wstęp

Jedną z ważniejszych cech jakościowych ziemniaka jest odporność bulw na uszkodzenia mechaniczne powstałe na skutek uderzeń w czasie zbioru, transportu, przechowywania i przerobu ziemniaków. W Wielkiej Brytanii straty z tego tytułu szacowane były na ok. 30 milionów funtów rocznie [8], a w Stanach Zjednoczonych na 298 mln dolarów [6]. Problematyka związana z mechanicznymi uszkodzeniami bulw jest od dziesiątków lat przedmiotem badań prowadzonych w wielu aspektach, zarówno genetycznych, środowiskowych, agrotechnicznych jak również związanych z cechami fizycznymi i fizjologicznymi bulw.

Rodzaje uszkodzeń

Mechaniczne uszkodzenia bulw podzielić można na zewnętrzne i wewnętrzne. Zmiany powstałe na skutek uszkodzenia zależą od fizycznych i biochemicznych właściwości tkanek [31]. Zewnętrzne uszkodzenia przyjmują postać widocznych na powierzchni bulw zmięddeń, wklęsnięć, pęknięć bądź otarć skórki [20]. Z kolei wewnętrznym uszkodzeniom często towarzyszy formowanie pigmentów o różnej intensywności i barwie. Według Baritelle i in. [3] do tego typu uszkodzeń zaliczyć można: ciemną plamistość poudzerzeniową („blackspot bruise”), zmięddeń

(„crush”), białe czopy („white spot/white knot”), wewnętrzne i zewnętrzne pęknięcia („internal shatter” i „external shatter”).

Praca ma na celu przedstawienie stanu wiedzy na temat ciemnej plamistości puderzeniowej bulw ziemniaka.

Ciemna plamistość puderzeniowa – definicja i powstawanie

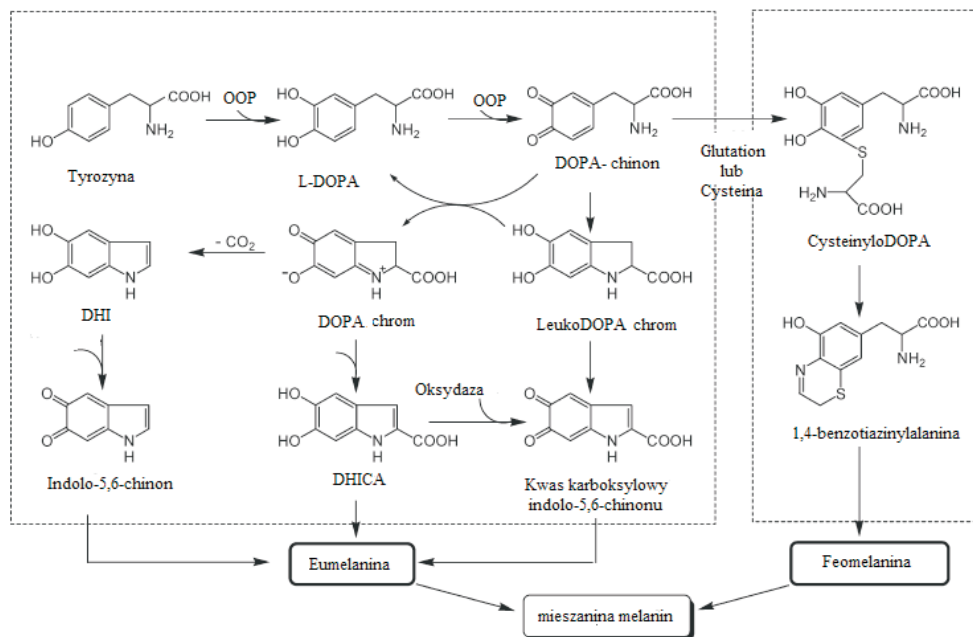
Symptomami ciemnej plamistości puderzeniowej (CPP) są niebieskawoszare do czarnych przebarwienia miąższu ułożone 1–2 mm pod perydermą [20]. Formowanie CPP w bulwach jest procesem złożonym i poprzedzonym szeregiem zaburzeń wywołanych uderzeniem. Na skutek dekompartamentacji komórek, dochodzi do uwolnienia związków biorących udział w tworzeniu ciemnych pigmentów, do wzrostu ilości rybosomów i mitochondriów w cytoplazmie oraz zagęszczenia struktur granularnych wzdłuż ścian komórkowych i wokół amyloplastów. Kolejnym etapem jest synteza pigmentów w tych miejscach [17].

Synteza ciemnych barwników w uszkodzonych komórkach jest skutkiem reakcji utleniania związków fenolowych takich jak: L-tyrozyna, kwas chlorogenowy, kwas kawowy. Reakcja ta katalizowana jest przez enzym oksydazę o-fenolową (OOP). Dekompartamentacja subkomórkowa prowadzi do uwolnienia OOP, głównie zlokalizowanego w amyloplastach oraz do uwalniania związków fenolowych występujących w wakuoli, do cytoplazmy. Dochodzi do syntezy barwnych pigmentów, które zalicza się do grupy makromolekularnych związków – melanin. Analizy chemiczne pigmentów CPP potwierdziły, że barwniki te składają się z białkowej matrix i kowalencyjnie z nią połączonych związków pośrednich [42].

Pierwszym etapem tworzenia melanin jest reakcja utleniania monofenoli, przy udziale OOP (aktywność krezolazy), do o-difenoli oraz o-dihydroksyfenoli, a następnie ich dalsza oksydacja do o-chinonów (aktywność katecholazy) (rys. 1). Są to reakcje bezwzględnie wymagające obecności tlenu [43].

Według teorii melanogenezy tyrozyna jest utleniana do DOPA chinonu, który z kolei cyklizuje do 5,6-dihydroksyindolu. Utlenianie kwasu chlorogenowego i kwasu kawowego prowadzi do wytworzenia żółtych związków pośrednich, natomiast reakcje utleniania tyrozyny prowadzą do tworzenia czerwonoróżowych pochodnych. Dalsze spontaniczne reakcje oksydacji i polimeryzacji związków pośrednich oraz następujące po nich reakcje z nukleofilowymi grupami białek (pierwszo- i drugorzędowe aminokwasy, grupy tiolowe, tioestrowe, hydroksylowe) prowadzą do tworzenia melanin. W przypadku kiedy substratami reakcji są chinony zawierające azot powstają czarne eumelaniny, w obecności cysteiny tworzą się różowawoczerwone feomelaniny. Trzecią grupę stanowią allomelaniny formowane z difenoli nie zawierających azotu (np. katechol) [42, 44].

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań, przy użyciu różnych technik mikroskopowych, nie stwierdzono jednoznacznie, czy objawom CPP zawsze towarzyszą uszkodzenia w obrębie ścian komórkowych [26]. Na podstawie ultrastruk-



Rysunek 1. Szlak biosyntezy melanin [22, 23, 36]

turalnych badań Edgell i Cobb [18] wyróżnili dwie grupy ciemnej plamistości. Pierwszą stanowią powstałe w czasie zbioru przebarwienia, wyraźnie oddzielone od zdrowych tkanek, przebiegające z całkowitym rozerwaniem struktur międzykomórkowych, wytworzeniem licznych błoniastych pęcherzyków, wzrostem ilości mitochondriów oraz wklęśnięciami jądra komórkowego. Drugą grupę stanowią zmiany powstałe w czasie przechowywania. Charakteryzują się one niewyraźnie zarysowanymi konturami oraz brakiem uszkodzeń w obrębie ścian komórkowych. Dekompartamentacja wewnątrzkomórkowa jest ograniczona, ciemne pigmenty formują się wzdłuż ścian komórkowych i wokół ziaren skrobi. Tego typu zmiany można określić, jako fizjologiczną CPP.

Metody stosowane do wywoływania CPP

Ocena podatności na CPP wymaga zastosowania odpowiedniej metody testowej w celu wywołania zmian o charakterze CPP. Do oceny tej wykorzystuje się metody statyczne oraz dynamiczne. W przypadku metod statycznych testowane są pojedyncze, unieruchomione bulwy. Do uderzania bulw wykorzystuje się m.in. wahadłowe bijaki [43], penetrometry lub specjalnie konstruowane aparaty uderzeniowe [49]. W metodach dynamicznych, w których uderzana jest jednocześnie większa liczba bulw, zmiany na bulwach wywoływane są w ruchu. Stosuje się tu opuszczanie bulw na twardą powierzchnię [3], bębny obrotowe [15] lub objarkarki skrzyniowe [38].

Czynniki wpływające na formowanie się CPP

Proces powstawania CPP jest złożony i zależy od czynników genetycznych oraz czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Do czynników wewnętrznych zaliczamy wytrzymałość struktur komórkowych, właściwości fizyczne i fizjologiczne komórek oraz skład substancji chemicznych w bulwach. Najważniejsze czynniki zewnętrzne wpływające na tę cechę to rodzaj i skład gleby, temperatura i wilgotność.

Czynniki genetyczne. W badaniach nad odziedziczalnością podatności na CPP stwierdzono znaczący wpływ genotypu na cechę. Zgórska [49], na podstawie oceny procentowego udziału komponentów wariacyjnych w kształtowaniu się cechy stwierdziła, że głównym czynnikiem decydującym o skłonności bulw do CPP jest genotyp. Odziedziczalność oszacowała na 45–70%, w dwóch różnych doświadczeniach. Istotny wpływ genotypu na CPP w swoich badaniach wykazali także Pavek i in. [35], oszacowując współczynnik odziedziczalności w wąskim sensie na $H_n = 0,85$. W badaniach Komorowskiej-Jędrys i in. [24] udział wariacji genetycznej w kształtowaniu tej cechy wyniósł 58,3%. Domański i in. [15] określili stopień genetycznego uwarunkowania CPP jako dość wysoki, współczynnik odziedziczalności w szerokim sensie H_b miał wartość od 0,67 do 0,71.

Czynniki biochemiczne. Do najważniejszych związków chemicznych wpływających na powstawanie CPP bulw należą związki fenolowe, szczególnie tyrozyna. Obserwuje się znaczące zależności między zawartością związków fenolowych w bulwach a stopniem przebarwień. Stark i in. [41] stwierdzili pozytywną korelację między zawartością endogennych fenoli a stopniem enzymatycznych przebarwień powstałych w bulwach poddanych mechanicznemu ścieraniu. Dodatkowo zaobserwowali negatywną korelację między ilością rozpuszczalnego białka a zawartością wolnej tyrozyny.

Na podstawie badań na CPP, z użyciem radioaktywnego węgla, Dean i in. [14] stwierdzili, że podatna odmiana 'Lhemi Russet' odznaczyła się 55% wyższym stopniem syntezy tyrozyny oraz niższym procentem tyrozyny wbudowanej w białko niż genotyp odporny na CPP. Autorzy, analizując zmiany w ilości związków fenolowych podczas długiego przechowywania, stwierdzili udział wolnej tyrozyny oraz brak wpływu kwasu chlorogenowego i kawowego w tworzeniu CPP.

Mondy i Munshi [33] potwierdzili pozytywną korelację między poziomem przebarwień a ilością wolnej tyrozyny w bulwach badanych odmian. Wykazali, że poziom wolnego aminokwasu nie jest najważniejszym czynnikiem warunkującym CPP. Nie stwierdzili korelacji między poziomem kwasu askorbinowego a tendencją do przebarwień. Podobne konkluzje, dotyczące kwasu askorbinowego, ze swoich badań wyciągnęli Workman i Holm [48] oraz Thornton i Workman [47].

Stevens i Davelaar [43] oraz Lærke i in. [29] potwierdzili, że głównym składnikiem komórek determinującym syntezę ciemnych pigmentów jest tyrozyna. Nie znaleźli zależności między podatnością bulw na CPP a zawartością kwasu chloro-

genowego i kawowego. Stevens i Davelaar uważają, że kwasy chlorogenowy i kawowy mogą brać udział w syntezie CPP, ale nie warunkują barwy pigmentów.

Wyniki badań nad wpływem aktywności oksydazy o-fenolowej (OOP) na CPP nie są jednoznaczne. Wpływ OOP na występowanie CPP został potwierdzony przez badaczy, którzy przy wykorzystaniu antysensownej inhibicji ekspresji genu kodującego OOP otrzymali rośliny o zredukowanym poziomie podatności na CPP [2, 9, 25]. Gubb i in. [19] oraz Brown i in. [7] stwierdzili niski poziom OOP w bulwach *Solanum hjertingii* HAWKES, gatunku charakteryzującego się niską skłonnością miąższu bulw do ciemnienia enzymatycznego. Z kolei w potomstwie uzyskanym z krzyżowania *S. hjertingii* i *S. tuberosum* stwierdzono niskie współczynniki korelacji między skłonnością do ciemnienia enzymatycznego a poziomem OOP [12]. Do podobnych wniosków, że poziom i aktywność OOP nie jest głównym czynnikiem limitującym powstawanie CPP w bulwach, doszli w swoich pracach Stark i in. [41] oraz Lærke i in. [27]. Odmiany i linie hodowlane, będące najczęściej obiektami badań, charakteryzują się niskim stopniem zróżnicowania aktywności OOP i przez to nie obserwuje się ścisłych zależności między tą cechą a poziomem ciemnienia poudzerzeniowego [7].

Czynniki fizjologiczne. Na skutek uderzenia bulw dochodzi do uszkodzenia komórek, podczas którego następuje zniszczenie tonoplastu. Powoduje to wzmożenie wewnątrzkomórkowej aktywności metabolicznej i zapoczątkowuje różnego rodzaju reakcje, np. może dochodzić do uwalniania wolnych rodników. Większość badaczy nie stwierdziła bezpośredniego udziału wolnych rodników w procesie degradacji błon. Partington i in. [34] nie obserwowali obecności wolnych rodników w komórkach bulw poddanych uderzeniu. Wynik ten potwierdzono badaniami nad enzymami utleniającymi i przeciwutleniającymi.

Lærke i in. [27] w swojej pracy przedstawili wpływ uderzenia na aktywność enzymów w dwóch odmianach: niedojrzałej fizjologicznie, odpornej na CPP oraz przechowywanej przez 8 miesięcy, podatnej na CPP. Autorzy nie stwierdzili istotnego wpływu uderzenia na aktywność oksydazy askorbinianowej, katalazy oraz lipooksygenazy (LOX) w obu odmianach. Brak zależności między aktywnością LOX a CPP stwierdzili także Brierley i Cobb [4].

Croy i in. [11] nie odnaleźli zależności między podatnością na CPP a zmianami w aktywności enzymów: lipooksygenazy, oksydazy askorbinianowej, peroksydazy, transferazy glutationu, oksydazy o-fenolowej. W tej samej pracy autorzy stwierdzili obecność zmodyfikowanych białek w bulwach poddanych uderzeniu, co może wskazywać na indukcję produkcji wolnych rodników tlenowych na skutek uderzenia.

Johnson i in. [21] analizując fizjologiczne następstwa uderzenia wykazali znaczący wzrost syntezy rodników ponadtlennokowych oraz w konsekwencji uszkodzenia białek związane z modyfikacjami w obrębie grup karbonylowych lizyny. Tkanki bulw wysoko podatnych na mechaniczne uszkodzenia produkowały większe ilości rodników ponadtlennokowych. Stwierdzono wysoki stopień korelacji między poziomem wolnych rodników ponadtlennokowych a indeksami ciemnienia poudzerzeniowego.

Tworzeniu się CPP towarzyszą zmiany w przepuszczalności błon, powodujące wypływ różnych elektrolitów [28]. Wypływ jonów potasu był wysoki u odmiany podatnej na CPP, u odmiany odpornej wypływ jonów potasu wracał do normy po 16 godzinach od uderzenia. Może to wskazywać na istnienie mechanizmów samonaprawczych błon lub na pobieranie uwolnionych jonów przez nieuszkodzone komórki sąsiednie. Istotne zależności między wypływem elektrolitów wewnątrzkomórkowych a podatnością stwierdziła Zgórska [48, 49].

W badaniach z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej i metod immunologicznych Partington i in. porównali odpowiedź komórek w tkankach poddanych zranieniu oraz uderzeniu [34]. W obu przypadkach nie obserwowano wzrostu aktywności OOP. W przypadku uderzenia widoczna była redystrybucja enzymu, która pojawiała się w 12 godzin po uderzeniu jako następstwo utraty integralności błon komórkowych. Badania autorów dowiodły, że w przypadku tkanek poddanych uderzeniu dochodzi do zamierania komórek. Zjawiska tego nie obserwuje się w tkankach zranionych, gdzie ma miejsce aktywacja metabolizmu przejawiająca się m.in. indukcją syntezy białek obronnych oraz enzymów takich jak amoniakoliza fenyloalaninowa (PAL) oraz C4H- hydroksylaza cynamonowa. Belknap i in. [5], analizując biochemiczne i molekularne zmiany zachodzące w bulwach poddanych uderzeniu, stwierdzili wzrost aktywności PAL. Enzym osiągnął maksimum aktywności w 48 godzin po indukcji CPP. Uderzenie spowodowało dodatkowo wzrost ilości mRNA kodującego ubikwitynę, białko szoku termicznego (HSP70) oraz spadek ekspresji genu kodującego patatyne. Obserwowany brak wzrostu aktywności OOP autorzy tłumaczyli konstytutywnym poziomem wystarczającym do syntezy melanin.

W bulwach poddanych uderzeniu Dale i in. [13] obserwowali śmierć komórek, a także znaczący wzrost zawartości glikoalkaloidów i kwasu chlorogenowego u większości badanych odmian.

Ocena wpływu poszczególnych parametrów fizjologicznych na podatność bulw na przebarwienia powstałe na skutek uderzenia jest trudna. Prawdopodobnymi przyczynami różnic w wynikach badań mogą być: różnorodność badanego materiału, stosowanie odmiennych metod inicjowania CPP, odmienna metodyka przygotowywania prób do analiz czy różne warunki, w jakich przeprowadzano doświadczenia.

Czynniki fizyczne, anatomiczne. Wpływ uderzenia na wewnętrzne strukturalne zmiany w komórkach, a tym samym na stopień przejawiania się zmian o charakterze ciemnej plamistości poudzeniowej zależy od różnych właściwości tkanek. Zaliczyć do nich można: wielkość komórek i ich upakowanie, wytrzymałość błon i ścian komórkowych, przyleganie komórek do siebie, ilość i wielkość ziaren skrobi w komórkach. Cieńsza, bardziej elastyczna peryderma może zapobiegać uszkodzeniom parenchymy. Stolonowa część bulwy jest bardziej podatna na CPP ze względu na występowanie w tej części strefy zliżnifikowanego ksylemu umieszczonego blisko powierzchni bulwy, w której koncentrować się może siła uderzenia. W przypadku części apikalnej bulwy o mniej zliżnifikowanych tkankach możliwe jest rozproszenie siły uderzenia [11].

Intensywność zmian powstałych na skutek naruszenia integralności błon komórkowych może zostać spotęgowana różnymi cechami anatomicznymi i fizycznymi komórek, jak zawartość suchej masy czy ciśnienie osmotyczne [45, 46, 50]. Zawartość suchej masy w komórkach uważana jest za cechę pozytywnie skorelowaną z poziomem CPP. Potwierdzili to w swoich badaniach m.in. Lærke i in. [28] oraz Zgórska [49, 50]. Według Hughesa [20] komórki bulw ściśle upakowane ziarnami skrobi są bardziej podatne na uszkodzenia, gdyż podczas uderzenia ziarna skrobi mogą rozrywać błony komórki. Corsini in. [10] obserwowali różny wpływ zawartości suchej masy na podatność na CPP, zależnie od odmiany i roku badań.

Stopień uwodnienia bulw, turgor, jest ważnym czynnikiem wpływającym na rodzaj i rozmiar zmian powstałych po uderzeniu [20]. Smittle i in. [40] w swoich badaniach wykazali, że wzrost turgoru bulwy zmniejsza podatność na CPP. Lin i Pitt [30] stwierdzili, że im niższy turgor bulwy tym mniejsza elastyczność tkanek, a tym samym większa podatność na CPP. Z kolei Skrobaccki i in. [39], Dean i in. [14] stwierdzili spadek podatności na CPP w czasie przechowywania, mimo zmniejszającego się turgoru bulw. Do podobnych wniosków doszli także McNabney i in. [32] oraz Lærke i in. [28], przeprowadzając analizy z wykorzystaniem pendulum w celu indukcji CPP.

Czynniki zewnętrzne. Poziom podatności na CPP zależy od wielu czynników środowiskowych. Do najważniejszych zalicza się zawartość potasu w glebie. Większość dotychczasowych badań wskazuje na negatywną korelację między podatnością na CPP a zawartością potasu w glebie. Znaczące zmniejszenie podatności na CPP, przy zastosowaniu zwiększonego nawożenia potasem, obserwował Rogers-Lewis [37]. Dwelle i in. [16] nie zauważyli wpływu nawożenia na powstawanie CPP w bulwach z upraw na glebach zasobnych w potas. Odnotowali natomiast niewielki, ale znaczący stopień redukcji podatności CPP w glebie z deficytem tego pierwiastka. W badaniach nie obserwowano wpływu poziomu azotu w glebie na CPP [16, 37].

Ważnym czynnikiem mającym wpływ na CPP jest temperatura. Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań wskazują, że temperatura bulw w czasie uderzenia jest negatywnie skorelowana z podatnością na ciemną plamistość poudarzeniową [10, 37]. Podobną zależność stwierdzili autorzy badający wpływ temperatury w okresie wegetacyjnym [11] oraz w czasie przechowywania [51]. Zgórska i Frydecka-Mazurczyk [50] stwierdziły, że w okresie spoczynku bulw, bardziej podatne są bulwy przechowywane w niższych temperaturach, z kolei w czasie kiełkowania na wiosnę bardziej podatne na CPP są bulwy przechowywane w wyższych temperaturach.

Dojrzałość bulwy jest kolejnym czynnikiem wpływającym na proces tworzenia się zmian w bulwach na skutek uszkodzenia. Uważa się, że niedojrzałe bulwy są bardziej odporne na CPP, niż bulwy dojrzałe [1, 10, 35, 51]. Zależność taką tłumaczy się większą aktywnością enzymów proteolitycznych w starszych bulwach, a tym samym większą dostępnością wolnej tyrozyny stanowiącej główny substrat reakcji barwnej towarzyszącej formowaniu CPP [8].

W badaniach wpływu przechowywania na CPP uzyskano rozbieżne wyniki. W starszych pracach na ogół występuje stwierdzenie, że podatność bulw na CPP wzrasta z okresem przechowywania, a wiąże się to ze spadkiem uwodnienia bulw, a tym samym z obniżeniem turgoru w komórkach [40, 51]. Pavek i in. [35] oraz Dean i in. [14] stosując różne metody indukcji CPP otrzymali rozbieżne wyniki. Skrobacki i in. [39] obserwowali wzrost i spadek podatności na CPP w czasie przechowywania, w zależności od energii uderzenia. W przypadku relatywnie wysokiej energii uderzenia podatność na CPP wzrastała, z kolei przy mniejszej sile uderzenia podatność malała. Lærke i in. [29] badając podatność bulw na CPP w czasie przechowywania, z zastosowaniem pendulum, zaobserwowali u odmiany odpornej na ciemnienie po-uderzeniowe zmniejszone zmiany, podczas gdy odmiana podatna charakteryzowała się stałym poziomem zmian. Autorzy ci stosując specjalne skrzynie w celu wywołania zmian CPP, nie obserwowali wpływu czasu przechowywania na CPP.

Podsumowanie

Ciemna plamistość poudzerzeniowa (CPP) jest jedną z ważniejszych cech określających jakość ziemniaka. Jest uszkodzeniem wewnętrznym o postaci niebieskawoszarych do czarnych przebarwień miąższu powstających na skutek syntezy ciemnych pigmentów – melanin w uszkodzonych tkankach. W procesie formowania objawów CPP udział bierze enzym, oksydaza o-fenolowa, katalizujący reakcje utleniania związków fenolowych (L- tyrozyna, kwas chlorogenowy, kwas kawowy).

W warunkach laboratoryjnych do oceny stopnia podatności na CPP stosuje się szereg metod testowych wywołujących zmiany o charakterze ciemnej plamistości. Należą tu metody statyczne z użyciem np.: wahadłowych bijaków, penetrometrów czy specjalnie skonstruowanych aparatów uderzeniowych oraz metody dynamiczne z zastosowaniem bębnow obrotowych czy objarek skrzyniowych.

Podatność na CPP jest cechą bardzo złożoną. Cecha ta jest uwarunkowana genetycznie, ale wpływ na nią ma także szereg czynników wewnętrznych oraz środowiskowych. Ważnym elementem wewnętrznym jest poziom związków fenolowych, zwłaszcza tyrozyny głównego substratu reakcji barwnej. Obserwuje się znaczące zależności między jej zawartością w bulwach a stopniem przebarwień. Innymi istotnymi czynnikami wewnętrznymi są właściwości tkanek: wielkość komórek i ich upakowanie, wytrzymałość błon i ścian komórkowych, przyleganie komórek do siebie. Ważnymi czynnikami wpływającymi na stopień podatności na CPP są także zawartość suchej masy oraz stopień uwodnienia bulw. Do najistotniejszych czynników środowiskowych wpływających na stopień zmian o charakterze CPP należą: zawartość związków mineralnych w glebie, temperatura bulw w okresie wegetacyjnym oraz w czasie zbioru i przechowywania.

Literatura

- [1] Aepli A., Keller E.R., Schwendimann F. 1981. Einfluss des Erntetermins auf die Blauempfindlichkeit von Kartoffelknollen. *Z für Acker und Pflanzenbau* 150: 372–381.
- [2] Bachem C.W.B., Speckmann G.J., Vanderlinde P.C.G., Verheggen F.T.M., Hunt M.D., Steffens J.C., Zabeau M. 1994. Antisense expression of polyphenol oxidase genes inhibits enzymatic browning in potato tubers. *Bio/Tech.* 12: 1101–1105.
- [3] Baritelle A., Hyde G., Thornton R., Bajema R. 2000. A classification system for impact-related defects in potato tubers. *Am. J. Potato Res.* 77: 143–148.
- [4] Brierley E.R., Cobb A.H. 1996. Biochemical aspects of bruising in stored tubers. Proceedings of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research: 152–153.
- [5] Belknap W.R., Rickey T.M., Rockhold D.R. 1990. Blackspot bruise dependent changes in enzyme activity and gene expression in Lemhi Russet potato. *Am. Potato J.* 67: 253–265.
- [6] Brook R.C. 1996. Potato bruising – How and why emphasizing black spot bruise. Running Water Publishing, Haslett Michigan, USA: 1–112.
- [7] Brown C.R., McNabney M., Dean B. 1999. Genetic characterization of reduced melanin formation in tuber tissue of *Solanum hjertingii* and hybrids with cultivated diploids. *Am. J. Potato Res.* 76: 37–43.
- [8] Cobb A.H. 1999. A review of the physiology of bruising in potatoes. The 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Sorrento, Italy: 198–199.
- [9] Coetzer C., Corsini D., Love S., Pavek J., Tumer N. 2001. Control of enzymatic browning in potato (*Solanum tuberosum* L.) by sense and antisense RNA from tomato polyphenol oxidase. *J. Agric. Food Chem.* 49: 652–657.
- [10] Corsini D., Stark J., Thornton M. 1999. Factors contributing to the blackspot bruise potential of Idaho potato fields. *Am. J. Potato Res.* 76: 221–226.
- [11] Croy R.R.D., Baxter R., Deakin W., Edwards R., Gatehouse J.A., Gates P., Harris N., Hole C., Johnson S.M., Raemaekers R. 1998. Blackspot bruising in potatoes: structural and molecular approaches to the identification of factors associated with tuber bruising susceptibility. *Aspect. Appl. Biol.* 52: 207–214.
- [12] Culley D.E., Dean B.B., Brown C.R. 2002. Introgression of the low browning trait from the wild Mexican species *Solanum hjertingii* into cultivated potato (*S. tuberosum* L.). *Euthytica* 125: 293–303.
- [13] Dale M.F.B., Griffiths D.W., Bain H. 1998. Effect of bruising on the total glycoalkaloid and chlorogenic acid content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers of five cultivars. *J. Sci. Food and Agric.* 77: 499–505.
- [14] Dean B.B., Jackowiak N., Nagle M., Pavek J., Corsini D. 1993. Blackspot pigment development of resistant and susceptible *Solanum tuberosum* L. genotypes at harvest and during storage measured by three methods of evaluation. *Am. Potato J.* 70: 201–217.
- [15] Domański L., Michalak K., Zimnoch-Guzowska E. 2007. Zróżnicowanie podatności wybranych odmian ziemniaka na ciemną plamistość poulderzeniową bulw. *Biul. IHAR* 246: 145–149.
- [16] Dwelle R.B., Stallknecht G.F., McDole R.E., Pavek J.J. 1977. Effects of soil potash treatment and storage temperature on blackspot bruise development in tubers of four *Solanum tuberosum* cultivars. *Am. Potato J.* 54: 137–146.
- [17] Edgell T., Brierley E.R., Cobb A.H. 1998. An ultrastructural study of bruising in stored potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Ann. Appl. Biol.* 132: 143–150.
- [18] Edgell T., Cobb A.H. 1998. An ultrastructural comparison of blackspot bruise and shatter bruise in potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *Aspect. Appl. Biol.* 52: 315–320.
- [19] Gubb I., Callow J.A., Foulks R.M., Jackson M.T. 1989. The biochemical basis for the lack of enzymatic browning in the wild potato species *Solanum hjertingii*. *Am. Potato J.* 66: 522.
- [20] Hughes J.C. 1980. Potatoes 1: Factors affecting susceptibility to damage. *Span* 23: 65–67.
- [21] Johnson S.M., Doherty S.J., Croy R.R.D. 2003. Biphasic superoxide generation in potato tubers. A self-amplifying response to stress. *Plant Physiology* 131: 1440–1449.
- [22] Kim Y.-J., Uyama H. 2005. Tyrosinase inhibitor from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cell. Mol. Life Sci.* 62: 1707–1723.
- [23] Kobayashi T., Vieira W.D., Protterf B., Sakai C., Imokawa G. 1995. Modulation of melanogenic protein expression during switch from eu- to pheomelanogenesis. *J. Cell Sci.* 108: 2301–2309.
- [24] Komorowska-Jędrys J., Ohanowicz T., Szewczyk B. 2002. Ocena ciemnej plamistości poulderzeniowej bulw ziemniaka. *Biul. IHAR* 221: 147–152.

- [25] Krohn B.M., Hollier A.A., Darchuk S., Stark D.M. 1998. Improving potato varieties through biotechnology. *Aspect. Appl. Biol.* 52: 239–254.
- [26] Lærke P.E. 2001. Blackspot bruise in potato tubers, Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark. Ph.D. thesis: 1–94.
- [27] Lærke P.E., Brierley E.R., Cobb A.H. 2000. Impact-induced blackspots and membrane deterioration in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1332–1338.
- [28] Lærke P.E., Christiansen J., Andersen M. N., Veierskov B. 2002. Blackspot bruise susceptibility of potato tubers during growth and storage determined by two different test methods. *Potato Res.* 45: 187–202.
- [29] Lærke P.E., Christiansen J., Veierskov B. 2002. Colour of blackspot bruises in potato tubers during growth and storage compared to their discoloration potential. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 99–111.
- [30] Lin T.-T., Pitt R. E. 1986. Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure. *J. Texture Stud.* 17: 291–313.
- [31] McGarry A., Hole C.C., Drew R.L.K., Parsons N. 1996. Internal damage in potato tubers: A critical review. *Postharvest Biol. Technol.* 8: 239–258.
- [32] McNabney M., Dean B.B., Bajema R.W., Hyde G.M. 1999. The effect of potassium deficiency on chemical, biochemical and physical factors commonly associated with blackspot development in potato tubers. *Am. J. Potato Res.* 76: 53–60.
- [33] Mondy N.I., Munshi C.B. 1993. Effect of maturity and storage on ascorbic acid and tyrosine concentrations and enzymatic discoloration of potatoes. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1868–1871.
- [34] Partington J.C., Smith C., Bolwell G.P. 1999. Changes in the location of polyphenol oxidase in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber during cell death in response to impact injury: comparison with wound tissue. *Planta* 207: 449–460.
- [35] Pavek J., Brown C.R., Martin M. W., Corsini D.L. 1993. Inheritance of blackspot bruise resistance in potato. *Am. Potato J.* 70: 43–48.
- [36] Prota G. 1988. Progress in the chemistry of melanins and related metabolites. *Med. Res. Rev.* 8: 525–556.
- [37] Rogers-Lewis D.S. 1980. Methods of reducing damage in main crop potatoes. *Ann. Appl. Biol.* 96: 345–349.
- [38] Silva G.H., Chase R.W., Hammerschmidt R., Vitosh M.L., Kitchen R.B. 1991. Irrigation, nitrogen and gypsum effects on specific gravity and internal defects of Atlantic potatoes. *Am. Potato J.* 68: 751–765.
- [39] Skrobacki A., Halderson J.L., Pavek J.J., Corsini D.L. 1989. Determining potato tuber resistance to impact damage. *Am. Potato J.* 66: 401–415.
- [40] Smittle S.A., Thornton R.E., Peterson C.L., Dean B.B. 1974. Harvesting potatoes with minimum damage. *Am. Potato J.* 51: 152–164.
- [41] Stark J.C., Corsini D.L., Hurley P.J., Dwelle R.B. 1985. Biochemical characteristics of potato clones differing in blackspot susceptibility. *Am. Potato J.* 62: 657–666.
- [42] Stevens L.H., Davelaar E. 1996. Isolation and characterization of blackspot pigments from potato tubers. *Phytochemistry* 42: 941–947.
- [43] Stevens L.H., Davelaar E. 1997. Biochemical potential of potato tubers to synthesize blackspot pigments in relation to their actual blackspot susceptibility. *J. Agric. Food Chem.* 45: 4221–4226.
- [44] Stevens L.H., Davelaar E., Kolb R.M., Pennings E.J.M., Smit N.P.M. 1998. Tyrosine and cysteine are substrates for blackspot synthesis in potato. *Phytochemistry* 49: 703–707.
- [45] Storey R.M.J. 2007. The harvested crop. W: Vreugdenhil D. i in. (red.), *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives*: 459–468.
- [46] Storey R. M. J., Davies H. V. 1992. Tuber quality. W: P. Harris (red.), *The Potato Crop*. Chapman and Hall, London: 507–569.
- [47] Thornton M.K., Workman M. 1987. Changes in ascorbic acid content of blackspot-resistant and -susceptible potatoes following bruising. *Hortic. Sci.* 22: 455–456.
- [48] Workman M., Holm D.G. 1984. Potato clone variation in blackspot and soft rot susceptibility, redox potential, ascorbic acid, dry matter and potassium. *Am. Potato J.* 61: 723–733.
- [49] Zgórska K. 1989. Biologiczne i ekologiczne czynniki warunkujące podatność bulw ziemniaka na powstawanie ciemnej plamistości poulderzeniowej. Rozprawa habilitacyjna: 91 ss.
- [50] Zgórska K. 2000. Czynniki wpływające na ciemną plamistość poulderzeniową bulw ziemniaka. *Biul. IHAR* 213: 254–259.
- [51] Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 1985. Wpływ temperatury przechowywania i dojrzałości bulw na powstawanie ciemnej plamistości poulderzeniowej. *Biuletyn Instytutu Ziemniaka* 33: 121–127.

Factors affecting blackspot bruise formation in potato tubers

Key words: potato, blackspot bruise, polyphenol oxidase (PPO), L-tyrosine

Summary

Paper presented a review of knowledge on the blackspot bruising – phenomenon observed in damaged potato tubers. It is a type of discoloration recognised as bluish-grey to black spots formed below the skin initiated by mechanical impacts during harvesting, transport, grading and storage. Blackspots are formed as a result of conversion of phenolic compounds to pigment-melanins at the presence of polyphenol oxidase. Blackspot bruising leads to lower tuber quality and rejection of crop by consumers and industry. It results in significant economic losses. The susceptibility of potato to blackspot bruises depends on: genotype, temperature, mineral nutrition, physiological age, specific gravity and hydration state. One of the way to reducing effects of bruising is the use of proper procedures during harvest, transport and storage.

Aspekty jakościowe kiszonek z zielonek niskołodygowych w formie sprasowanych bel osłanianych folią

Stanisław Gach, Krzysztof Korpysz

*Wydział Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: stanislaw_gach@sggw.pl*

Słowa kluczowe: zielonki niskołodygowe, zakiszanie w belach, jakość kiszonki

Wstęp

Zielone rośliny paszowe odgrywają ważną rolę w żywieniu zwierząt przeżuujących. Wśród nich wyróżnia się zielonki niskołodygowe, które stanowi ruń łąkowa pochodząca z trwałych użytków zielonych oraz z użytków przemiennych – lucerna i koniczyna lub ich mieszanki z trawami oraz zielonki wysokołodygowe, do których należą kukurydza, słonecznik, sorgo i inne. Zielonki niskołodygowe mogą być konserwowane w postaci siana, kiszonki lub suszu [6, 17, 39]. W strukturze sposobów konserwacji pasz objętościowych w naszym kraju przeważa jeszcze zbiór na siano, obserwuje się jednak systematyczny wzrost produkcji kiszonek, w tym również w formie prasowanej [6, 12, 17, 32]. Jakość kiszonki zależy w znacznym stopniu od jakości surowca, czyli podsuszanej zielonki przeznaczonej do zakiszania, jak również odpowiedniego podsuszenia (zakres 35–45% suchej masy) i zagęszczenia oraz skuteczności osłonięcia beli zapewniającego właściwe jej uszczelnienie i zachowanie hermetyczności [19, 23, 34]. Bardzo istotna jest także wysokość koszenia runi łąkowej [24, 26]. Dokładne zagęszczenie i szczelne osłonięcie konserwowanej masy roślinnej zapewnia odcięcie dopływu powietrza z zewnątrz [13, 25]. Pozytywny wpływ na jakość kiszonki ma też dodawanie środków konserwujących wspomagających proces kiszzenia [6, 8, 23]. Sposób przechowywania i zabezpieczenia zielonki przed dostępem powietrza istotnie wpływa na wielkość strat ilościowych i jakościowych kiszonki. Dla uzyskania możliwie pełnego uszczelnienia przechowywanej kiszonki zastosowano, po raz pierwszy w Norwegii, metodę osłaniania zielonki w belach folią

zabezpieczającą je przed dostępem powietrza. Dotychczasowa praktyka i przeprowadzone badania wykazały dużą przydatność tej metody produkcji kiszonki, charakteryzującej się wysoką jakością i niskimi stratami. Ponadto znane i stosowane w praktyce są inne sposoby osłaniania bel [11, 16]. Celowe jest zatem dokonanie przeglądu doniesień literatury odnośnie wyników badań jakości kiszonki uzyskiwanej przy wykorzystaniu różnych sposobów osłaniania bel z podsuszanej zielonki.

Czynniki wpływające na jakość kiszonki

Jakość kiszonki zależy w znacznym stopniu od jakości surowca, czyli podsuszanej zielonki, a ruń łąkowa pochodząca z trwałych użytków zielonych w kraju często cechuje się małą wartością pokarmową [19, 24]. Wybór właściwego terminu koszenia ma znaczny wpływ na jakość paszy [41]. Wyniki wielu badań, jak również doświadczenia z praktyki wykazują, że wysokość pozostawionego ścierniska po skoszeniu powinna wynosić 5–6 cm w przypadku runi łąkowej oraz 6–8 cm przy koszeniu roślin motylkowatych drobnonasiennych. Dzięki temu mniejsze jest również prawdopodobieństwo zanieczyszczenia zielonki glebą [24, 41].

W celu zintensyfikowania podsuszania zielonki w polu zalecana jest mechaniczna obróbka skoszonej zielonki (kondycjonowanie), poprzez stosowanie kosiarki z zamontowanym kondycjonerem (zgniataczem lub spulchniaczem). W efekcie pracy zgniataczy następuje głównie zgniatanie i łamanie roślin, a spulchniaczy – ścieranie wierzchniej warstwy i nastroszenie pokosu. Zgniatacze są zalecane do obróbki roślin gruboładogowych, czyli motylkowatych i niektórych gatunków traw, natomiast spulchniacze – do runi łąkowej [15]. Niektóre kosiarki z kondycjonerami wyposażone są w dodatkowe urządzenia bierne lub aktywne do formowania pokosów. Dzięki temu eliminuje się przy zbiorze zielonek na kiszonkę zabiegi przetrząsania i zgrabiania, co w znacznym stopniu usprawnia przebieg zbioru.

Ze względu na efekty jakościowe optymalny zakres wilgotności względnej roślin podczas prasowania powinien wynosić 55–65% [24, 31, 39]. Korzystne zmiany biochemiczne zachodzące w roślinach zapewniają wówczas właściwy przebieg fermentacji runi łąkowej oraz eliminują powstawanie, a zarazem wyciekanie soków kiszonkowych, powodujących straty i zanieczyszczenie środowiska [11, 25].

Używane do zbioru, zarówno prasy zwijające (ze stałą lub zmienną komorą prasowania) jak również tłokowe formujące wielkogabarytowe bele prostopadłościennne mogą być wyposażane w zespoły rozdrabniające podsuszoną zielonkę, których rozwiązania konstrukcyjne są podobne do stosowanych w przyczepach zbierających. Dzięki rozdrobnieniu zielonki przed sprasowaniem następuje wzrost zagęszczenia bel zarówno cylindrycznych (o 5–15%) jak i prostopadłościennych (o 5–10%), co wpływa korzystnie na proces fermentacji, a więc i jakość kiszonki oraz efekty późniejszego jej skarmiania [2, 33, 39].

Dokładne zagęszczenie i szczelne osłonięcie konserwowanej masy roślinnej zapewnia odcięcie dopływu powietrza z zewnątrz, co sprzyja wytwarzaniu się kwasu mlekowego i dwutlenku węgla, konserwujących surowiec roślinny. Ponadto uszkodzenie błon komórkowych w efekcie obróbki mechanicznej koszonych roślin lub rozdrobnienie podczas prasowania powoduje uwalnianie z komórek substancji zawierających cukier i udostępnianie ich mikroorganizmom. Zmniejszenie wartości pH poniżej 4,0 i anaerobowe warunki ograniczają rozwój grzybów i bakterii oraz zmniejszają aktywność enzymów rozkładających zieloną masę i powodujących niepożądane procesy gnilne [41].

Poprawę podatności zielonek na zakiszenie, szczególnie trudno kiszących się (koniczyna, lucerna lub ich mieszanki z trawami), a tym samym zmniejszenie strat składników pokarmowych, można osiągnąć między innymi w wyniku sterowania przebiegiem procesu mikrobiologicznego za pomocą różnych dodatków kiszonkarskich. Obecnie zaleca się ich dozowanie nie tylko do pasz trudno, lecz także łatwo zakiszających się [5, 6, 8]. Sposób przechowywania i zabezpieczenia zielonki przed dostępem powietrza istotnie wpływa na wielkość strat ilościowych i jakościowych kiszonki [7, 13, 25, 32, 34].

W praktyce są stosowane następujące metody osłaniania folią kiszonki w belach [11]:

- indywidualne owinięcie z zastosowaniem owijarki,
- grupowe owinięcie z zastosowaniem owijarki,
- grupowe umieszczenie w workach z użyciem maszyny ładującej,
- okrywanie pryzmy bel folią kiszonkarską (tzw. metoda holenderska).

Jakość kiszonki w belach osłanianych folią

Badania jakości kiszonki w belach osłanianych folią prowadzone są w kilku ośrodkach naukowych i badawczych w kraju i za granicą. Badania prowadzone w Zakładzie Maszyn Rolniczych dotyczyły różnych technologii sporządzania kiszonek z runi łąkowej trwałych użytków zielonych. Eksperymenty zrealizowano na terenie Zakładu Doświadczalnego IMUZ Falenty z zastosowaniem pras zwijających i prasy tłokowej formującej wielkogabarytowe bele cylindryczne [13, 37, 38].

Badania jakości kiszonki w belach cylindrycznych owijanych białą folią prowadzono przy zbiorze z udziałem prasy zwijającej stałokomorowej Z 279 produkcji Sipma SA w Lublinie, a do osłaniania zastosowano owijarkę Z 274 tego samego producenta [13]. Podczas owijania nakładano cztery warstwy folii grubości 25 µm. Dla określenia jakości kiszonki w całym przekroju beli pobierano próbki z warstwy zewnętrznej i ze środka beli. W porównywanych wariantach można było dostrzec nieznaczne różnicowanie zawartości badanych składników (białka, włókna, tłuszczów, popiołu i bezazotowych substancji wyciągowych) w kiszonce sporządzonej z traw zbieranych w pierwszym i trzecim pokosie, w porównywanych warstwach przekroju

poprzecznego beli. W efekcie wyprodukowano wartościową paszę w całym przekroju bel, o czym świadczyła wysoka zawartość białka oraz zawartość w kilogramie kiszonki powyżej 0,84 JPM (jednostki produkcji mleka wg INRA), jak również uzyskanie ocen bardzo dobrych i dobrych w punktowej skali Fliega-Zimmera.

W kolejnych badaniach podsuszoną zielonkę, w postaci nierozdrobnionej i rozdrobnionej na sieczkę o teoretycznej długości 150 i 75 mm, zbierano prasą zwijającą stałokomorową Z 571 [37]. Sprasowane bele były owijane siatką, a następnie rozciągliwą folią samoprzylepną koloru białego grubości 25 μm i szerokości 0,5 m na owijarce stacjonarnej Z 274. Po trzech miesiącach dokonano oceny sianokiszonki. Badania wykazały celowość rozdrabniania zielonki przeznaczonej do zakiszania, gdyż sianokiszonka z materiału rozdrobnionego, w porównaniu z sianokiszonką z zielonki nierozdrobnionej, charakteryzowała się wyższą zawartością składników pokarmowych oraz wartością energetyczną na podstawie klucza punktowej skali Fliega-Zimmera, która pozwoliła ocenić ją jako bardzo dobrą.

Celem innych badań było określenie jakości kiszonki produkowanej w technologii zbioru z zastosowaniem prasy wielkogabarytowej [38]. Ruń łąkowa była podsuszona do dwóch poziomów wilgotności $63,9 \pm 1,1\%$ oraz $54,9 \pm 1,5\%$. Zagęszczenie sprasowanych bel wynosiło $360\text{--}450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Bele były układane w pryzmę i okrywane podwójnie folią grubości 150 μm . Jakość kiszonki oceniano organoleptycznie oraz na podstawie analizy chemicznej, wykorzystując przy tym aparat Infranalizer 450. Otrzymane wyniki dotyczące zawartości w kiszonce pięciu wskaźników: białka, włókna, popiołu, tłuszczu i bezazotowych substancji wyciągowych nie odbiegały od zawartości tych składników w zielonce stanowiącej zakiszany surowiec. Również wartość energetyczna była zbliżona do świeżej zielonki. Podobnie ocena punktowa na podstawie skali punktowej Fliega-Zimmera, uwzględniająca udział kwasów: mlekowego, octowego i masłowego, pozwoliła ocenić paszę jako bardzo dobrą. Ocena organoleptyczna paszy wykazała, że kiszonka miała zapach winno-owocowy, barwę jasno- i ciemnooliwkową oraz bardzo dobrze zachowaną strukturę, podobnie jak w surowcu roślinnym.

Badania nad jakością kiszonki sporządzanej w belach z całych lub rozdrabnianych roślin przeprowadził Nowak [23]. Podsuszona zielonka była zbierana prasą wyposażoną w tradycyjny podbieracz palcowy oraz prasą z bijakowym zespołem podbierającym. Średnia masa bel formowanych prasą z podbieraczem bijakowym była wyższa o 25% w porównaniu z belami zwijanymi prasą z podbieraczem palcowym. Rodzaj zespołu podbierającego miał istotny wpływ na zawartość włókna surowego w kiszonce (27,72% s.m. dla podbieracza palcowego i 27,11% dla bijakowego). Pasza zebrana podbieraczem bijakowym zawierała istotnie więcej związków azotowych wyciągowych (44,86% s.m. wobec 43,82%) i miała wyższą wartość NEL (5,23 wobec 5,15 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Bele o większym zagęszczeniu charakteryzowały się o 15% wyższą jakością (68,5 punktów Fliega-Zimmera) niż z zielonki zbieranej maszyną klasyczną.

Savoie i in. [35] dokonali porównania efektów zakiszania bel zielonki skoszzonej kosiarką z maceratorem w postaci zestawu karbowanych rolek obracających się z różnymi prędkościami, a także kosiarką rotacyjną wyposażoną w spulchniacz pokosów. Trawa skoszona pozostawała na polu przez 24 godziny, a następnie została zebrana prasą formującą bele cylindryczne przy prędkości roboczej 3,4 i 6,7 km · h⁻¹, które zostały owinięte folią do zakiszenia. Trawa po zbiorze kosiarką z maceratorem w czasie 24 godzin wysychała o 39% szybciej. Straty w obu sposobach zbioru były podobne i wynosiły sumarycznie dla koszenia, macerowania lub spulchniania i zwijania średnio 3,4%. Gęstość bel wahała się w granicach 122–147 kg s.m. · m⁻³ bez widocznego wpływu metody zbioru. Bele z trawy macerowanej wykazywały w ciągu pierwszych 4 dni kiszenia niższy wskaźnik pH niż bele po kondycjonowaniu tradycyjnym, co wskazywało na szybszą fermentację trawy macerowanej.

W pracy Sęka i Przybyła [36] przedstawiono wyniki badań jakości kiszonki sporządzonej z podwiedniętej lucerny wg trzech technologii zbioru, gdzie maszynami wiodącymi były: prasa zwijająca, prasa do bel prostopadłościennych i sieczkarnia polowa. Dokonano oceny wartości paszowej pięciu kiszzonek, w tym trzech otrzymanych z bel cylindrycznych pojedynczo owijanych folią oraz lucerny zakiszanej w silosie przejazdowym po zbiorze sieczkarnią polową i w minisilosie ułożonym z bel prostopadłościennych po zbiorze prasą Claas Qadrant 1200. Spośród trzech sianokiszzonek z bel cylindrycznych dwie różniły się zawartością suchej masy (25,6 i 39,1%), a trzecią stanowiły bele cylindryczne z uszkodzoną powłoką foliową podczas wyładunku z owijarki. Przeprowadzona ocena organoleptyczna pobranych prób wykazała, że maksymalną ocenę 10 punktów uzyskała kiszonka z bel prostopadłościennych, a 8 punktów kiszonka z bel cylindrycznych o wyższej zawartości suchej masy, pozostałe zaś – tylko 1 punkt. W ocenie wg skali Fliega-Zimmera najwyższą ocenę uzyskała kiszonka z bel prostopadłościennych – 98 punktów (ocena bardzo dobra) oraz kiszonki z bel cylindrycznych nieuszkodzonych – 91 i 88 punktów (bardzo dobre). Kiszonka z bel uszkodzonych była zadawalająca (47 pkt.), a kiszonka w silosie przejazdowym tylko mierna (36 pkt.). Potwierdzenie tych wyników uzyskano w analizie zawartości azotu amoniakalnego. Kompleksowa ocena organoleptyczna i chemiczna kiszzonek wykazała, że najlepsza była kiszonka z bel prostopadłościennych, a następnie kiszonka z bel cylindrycznych [36].

Jakość kiszonki w belach sporządzanej z dodatkiem konserwantów

Zasadniczo mechanizm działania dodatków kiszonkarskich sprowadza się do obniżenia pH zielonej masy, co zapobiega psuciu się pasz pod wpływem szkodliwych drobnoustrojów i chroni przed niektórymi niepożądanymi zmianami chemicznymi. Złuszczają preparaty mikrobiologiczne stanowiące wyselekcjonowane bakterie kwasu mlekowego wymieszane z materiałem roślinnym, dzięki intensywnemu namnażaniu

niu, powodują szybkie przekształcenie cukrów roślinnych w kwas mlekowy. Wytworzony kwas mlekowy eliminuje rozwój szkodliwej mikroflory, nie dopuszczając do powstawania kwasu masłowego i octowego obniżających wartość paszową kiszonki [6].

Skuteczność działania preparatów zależy od równomiernego wymieszania określonej ich ilości z masą roślinną przeznaczoną do kiszenia, potrzebne jest przy tym dostosowanie technik aplikacji do rodzaju zielonek przeznaczonych do zakiszania m.in. przez stosowanie specjalnych dozowników preparatów chemicznych zamontowanych na maszynach zbierających [6]. Ze względu na stan skupienia rozróżnia się preparaty ciekłe (roztwory lub ich zawiesiny) i stałe (sproszkowane, granulowane). Obecnie w praktyce częściej stosuje się dozowniki do preparatów ciekłych, które są proste w budowie i uniwersalne, ponieważ można je stosować również do preparatów stałych rozpuszczonych w wodzie i rozprowadzanych w postaci zawiesiny. Najczęściej stosowane są dozowniki ciśnieniowe, w których uzyskuje się rozpylenie strumienia ciekłego preparatu na krople o średnicach takich, jak przy oprysku grubokroplistym, co sprzyja procesowi mieszania preparatu z zielonką. Ilość dozowanego preparatu reguluje się najczęściej wymieniając dysze. W prasach wyposażonych w zespół rozdrabniający dysza powinna być umieszczona za zespołem rozdrabniającym [6].

Badania nad jakością kiszonki z zastosowaniem dodatków kiszonkarskich (kwasu mrówkowego i preparatu microsil) przeprowadził Nowak [23]. Wpływ dodatków kiszonkarskich okazał się niejednoznaczny. Microsil istotnie zwiększał zawartość suchej masy w kiszonce (37,10%) wobec 36,20% w próbce kontrolnej. Dodatek kwasu mrówkowego i microsilu obniżały jednak zawartość białka ogólnego z 14,04% s.m. do 13,8% dla microsilu i 13,28% dla kwasu mrówkowego (wpływ istotny statystycznie). Dodatek microsilu nieznacznie (nieistotnie) zwiększał zawartość włókna surowego (28,09% s.m. wobec 27,72%). Natomiast kwas mrówkowy istotnie obniżał ten czynnik do poziomu 26,43% s.m. Dodatek kwasu mrówkowego istotnie zwiększał zawartość związków azotowych wyciągowych i energię netto laktacji (odpowiednio 46,21% s.m. wobec 43,79% i 5,30 MJ · kg⁻¹ wobec 5,17 MJ · kg⁻¹). Dodatek microsilu obniżał te parametry – odpowiednio do 43,11% s.m. i 5,11 MJ · kg⁻¹). Średnia wartość pH w belach formowanych prasą z podbieraczem bijakowym wyniosła 4,84 i była o 0,12 niższa niż przy klasycznym układzie. Najlepszą jakość kiszonki uzyskano z materiału najbardziej podsuszonego z dodatkiem kwasu mrówkowego (odpowiednio 74,70 i 69,20 punktów Fliega-Zimmera).

Stosowanie kwasu mrówkowego jako dodatku kiszonkarskiego korzystnie wpływa na skład chemiczny i stabilność tlenową kiszonek, jednak poglądy na temat efektów skarmiania kiszonek sporządzonych z jego udziałem nie są jednoznaczne [20]. Określenie stopnia wykorzystania przez mikroflorę żwacza kiszonek z dodatkiem kwasu mrówkowego oraz poziomu pobrania przez zwierzęta pozwala lepiej ocenić ich wartość pokarmową. Celem doświadczenia Kostulak-Zielińskiej i in. [20] było określenie efektywnego rozkładu żwaczowego oraz pobrania przez owce suchej masy i białka ogólnego w kiszonkach z dwóch mieszanek trawiasto-koniczynowych,

zakiszanych z dodatkiem konserwantów o różnej zawartości kwasu mrówkowego. Kiszonki sporządzone w belach owijanych folią poddano analizie składu chemicznego, zbadano rozkład suchej masy i białka ogólnego w zwaczu *in sacco*, a także przeprowadzono test na dowolne pobranie ocenianych kiszonek przez owce. Poziom pobrania nie zależały od składu botanicznego mieszanek i był znacznie wyższy w przypadku kiszonek sporządzonych z dodatkiem preparatu zawierającego kwas mrówkowy. W badanych kiszonkach kwas mrówkowy obniżał rozkładalność suchej masy, natomiast nie stwierdzono jego wpływu na rozkładalność białka ogólnego. Wyższą rozkładalność białka ogólnego stwierdzono w mieszance z większym udziałem traw.

Badania nad zakiszaniem lucerny z dodatkiem konserwantów prowadzono również na Węgrzech [1, 8]. W pierwszej pracy przedstawiono wyniki badań procesów kisenia podsuszanej lucerny (od 42 do 46% wilgotności względnej) w belach formowanych bez dodatków konserwujących oraz z dodatkiem preparatu SIL-ALL w dawce 0,2%, aplikowanego przez agregat spryskujący SPRAY-FOIN. Bele były owijane w maszynie KOMBI PACK folią polietylenową o grubości 30 μm . Liczba warstw folii wynosiła od 10 do 12. Folia bardzo dobrze chroniła zakiszany materiał przed niekorzystnymi oddziaływaniami otoczenia i otrzymywano kiszonkę o dobrej jakości. W innych badaniach stosowano prasę PÖTTINGER ROLLPROFI 3200 L SC oraz owijkarkę PÖTTINGER ROLLPROFI G 90 S. Bele były formowane z lucerny o wilgotności od 56,8 do 64,6%, w dwóch wariantach: bele z całych roślin oraz rozdrobnionych na sieczkę o długości 80 mm. Ponadto część bel była poddana zakiszaniu bez stosowania dodatków konserwujących, a część z dodatkiem preparatu SIL-ALL aplikowanym przy użyciu urządzenia SPRAY-FOIN w dawce 10 $\text{g} \cdot \text{Mg}^{-1}$. We wszystkich belach uzyskano kiszonkę o dobrej jakości. Stosowanie dodatków konserwujących, zwłaszcza do lucerny pociętej na sieczkę, istotnie poprawiało jakość kiszonki oraz zwiększało jej trwałość dzięki zahamowaniu rozwoju drobnoustrojów powodujących gnicie [8].

Jakość kiszonki w belach zależnie od stosowanej folii

Wróbel i in. zrealizowali w IMUZ w 2007 r. badania, których celem była ocena strat suchej masy i jakości kiszonek w dużych belach w zależności od rodzaju folii i liczby jej warstw [40]. Kiszonki sporządzano z podsuszanej runi łąkowej pierwszego pokosu. Bele owijano 2, 4, 6 i 8 warstwami folii importowanej i krajowej, obie szerokości 500 mm i grubości 25 μm . Po trzech tygodniach oceniono szczelność owinięcia bel, a po 190 dniach – straty suchej masy, stopień porażenia pleśniami i jakość kiszonek. Większa liczba warstw folii wpływała na większą szczelność beli, oraz zmniejszenie porażenia kiszonek pleśniami, średnio z 50% powierzchni (przy 2 warstwach folii) do 1,5% (przy 8 warstwach folii). Porażenie pleśniami zależało też istotnie od rodzaju folii: kiszonki owinięte folią importowaną były mniej porażone niż

kiszonki owinięte folią produkcji krajowej. Większa liczba warstw folii istotnie wpłynęła też na zmniejszenie strat suchej masy kiszonki: 4 warstwy folii trzykrotnie, 6 warstw dziesięciokrotnie w stosunku do 2 warstw folii, a 8 warstw folii zmniejszyło te straty praktycznie do zera. Liczba warstw folii wpływała ponadto na niektóre parametry chemiczne kiszonek, tj. zwiększanie zawartości kwasu masłowego (najwięcej po owinięciu 8 krotnym) oraz udziału kwasów mlekowego (najwięcej po owinięciu 4 i 6 razy) i octowego (najwięcej po 8 warstwach folii) w sumie kwasów. Rodzaj folii wpływał istotnie na ocenę końcową kiszonek w skali punktowej Fliega-Zimmera. Kiszonki owinięte folią importowaną zawierały istotnie mniej amoniaku i kwasu mlekowego i uzyskały mniej punktów niż owinięte folią krajową. Rodzaj zastosowanej folii nie wpływał na wartość pokarmową kiszonek, gdyż zawartość białka ogólnego, popiołu surowego i koncentrację energii NEL była podobna we wszystkich wariantach doświadczenia. Istotny był natomiast wpływ większej liczby owinięć folią na zwiększenie zawartości białka ogólnego.

Jakość kiszonki w belach cylindrycznych owijanych folią o różnej barwie badano w Instytucie Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik – (FAT) w Tänikon (obecnie Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon) w Szwajcarii [10]. Celem badań było m.in. określenie wpływu jakości folii do owijania (przepuszczalność gazów oraz nagrzewanie folii) na jakość kiszonki. Dokonano analizy poziomu zawartości w kiszonce takich składników jak włókno surowe, surowe białko, surowy popiół i parametrów zakiszania kiszonki (pH, kwasy, alkohol, amoniak) w kiszonkach po dziesięciu miesiącach składowania. Próbkę pobierano z warstwy zewnętrznej 0–10 cm i oddzielnie z warstwy 10–60 cm. Jakość kiszonki oceniano na podstawie poziomu pH, zawartości cukru i poziomu kwasu mlekowego, octowego i masłowego (tab. 1). Wartość pH poniżej 5,0 wskazywała na intensywne zakwaszenie kiszonki.

Tabela 1. Wybrane parametry zakiszania i punkty DLG dla oceny jakości kiszonki [10]

Producent folii	Kolor folii	Zawartość s.m. 0–60 cm	pH dla 0–10 cm	Kwas octowy [g · kg ⁻¹ s.m.]	Kwas masłowy [g · kg ⁻¹ s.m.]	Kwas mlekowy [g · kg ⁻¹ s.m.]	Punkty DLG	
							do 10 cm	10–60 cm
Silotite	biała jasno-zielona	35,6	5,08	11,9	12,2	8,9	43	46
		34,0	5,21	18,7	20,2	6,1	37	37
Tenospin	biała jasno-zielona	34,0	5,18	10,6	15,6	5,1	34	36
		33,1	5,16	27,0	24,9	29,3	39	33
Aspla	biała	43,5	5,19	15,9	6,8	14,9	58	34
Agriflex	biała	41,0	5,17	15,0	6,6	6,8	53	53
Agristrech	biała jasno-zielona	35,6	5,18	12,3	18,7	10,3	34	36
		35,1	5,26	11,0	18,3	4,0	29	33
Średnio		38,0	5,14	15,2	12,5	11,9	45,0	42

Mimo spełnienia warunków technologicznych w większości bel uzyskano średnią lub niską jakość kiszonki, głównie ze względu na wysoki poziom kwasu masłowego, powyżej dopuszczalnej wartości 8 g na kg s.m. Powodem tego mogło być zanieczyszczenie podsuszanej zielonki glebą lub też zaistnienie fermentacji wtórnej w wyniku niskiego zagęszczenia bel podczas zbioru prasą zwijającą. Na podstawie zawartości kwasu masłowego i kwasu octowego, udziału amoniaku w kiszonce oraz wartości pH dokonano oceny punktowej wg stosowanej w Niemczech metody DLG.

Zasady oceny punktowej w skali Fliega-Zimmera i DLG przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Porównanie oceny punktowej jakości kiszonki wg klucza Fliega-Zimmera i DLG (opracowanie własne i [10])

Jakość kiszonki	Zakres punktów wg Fliega-Zimmera	Zakres punktów wg DLG
Bardzo zła	0–20	30
Zła	20–40	31–50
Średnia	40–60	51–70
Dobra	60–80	71–90
Bardzo dobra	80–100	> 90

Uzyskane w badaniach oceny punktowe mieszczą się w szerokim zakresie, zarówno w przypadku warstwy zewnętrznej, jak i wewnętrznej, a występujące w większości przypadków wartości poniżej 50 pkt. świadczą o złej jakości kiszonki, przy czym ze względu na znaczące różnice trudno dokonać obiektywnej oceny wpływu jakości i koloru folii rozciągliwej (stretch) na jakość kiszonki.

Badania nie wykazały negatywnych zmian jakości kiszonki w belach owiniętych foliami koloru czarnego lub o zbliżonej barwie, pomimo silnego nagrzewania na powierzchni beli wywołanego promieniowaniem słonecznym [10]. Pomiar temperatury pozwoliły stwierdzić, że kiszonka nagrzewa się przede wszystkim w warstwie zewnętrznej. W belach osłanianych wszystkimi pięcioma kolorami folii najwyższą temperaturę zmierzono bezpośrednio pod folią. Najwyższa temperatura (64°C) wystąpiła pod czarną folią. Pod folią brązowozieloną zmierzono 56°C, a pod oliwkowozieloną – 52°C. Powierzchnia bel owiniętych w folię jasnozieloną i białą nagrzewa się tylko do około 35°C. W głębszych warstwach nagrzewanie kiszonki było znacznie mniejsze. Maksymalne stwierdzone temperatury na głębokości 15 cm pod powierzchnią tylko nieznacznie przekraczały 30°C. Na głębokości 5 i 15 cm zauważone różnice między foliami o różnych kolorach wynosiły maksymalnie już tylko 7°C [10]. Oczywiście w decydujący sposób na stopień nagrzania wpływa światło słoneczne i temperatura zewnętrzna. W porównaniu do ciemnych folii, te o barwie białej i jasnozielonej lepiej odbijają światło słoneczne, zatem ich nagrzewanie jest słabsze.

W wyniku dotychczasowych badań stwierdzono, że czynnikami wpływającymi na przebieg fermentacji są: liczba warstw folii oraz grubość zastosowanej folii. Większość badaczy jest zgodnych, że do prawidłowego przebiegu fermentacji mleko-

wej i przechowywania kiszonek w belach, należy stosować co najmniej 4 warstwy folii polietylenowej grubości 25 μm [9, 22, 27, 29, 30]. Zalecana liczba warstw folii zależy od warunków klimatycznych i w krajach strefy gorącej trwałość folii jest znacznie mniejsza niż w krajach strefy umiarkowanej [28]. McNally i in. [21] wykazali, że folie z polietylenu (PE) o niskiej gęstości wykazują wyższą przepuszczalność gazów niż materiały z polietylenu o wyższej gęstości i wykazujące orientację cząstek uzyskaną w wyniku przetwarzania. Paillat i Gaillard [28] poinformowali, że rozciągnięcie folii o 60% zmniejsza jej grubość od 25 do 19 mikrometrów, co powoduje przyspieszone zużycie folii, a także obniżenie trwałości średnio o 48%. Z badań Hancocka i Collinsa [18] wynika, że przepuszczalność tlenu przez pojedynczą warstwę folii PE po rozciągnięciu do 150% swojej pierwotnej długości zwiększa się do wartości od 7750 do 9810 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ w ciągu 24 h. Borreani i Tabacco [3, 4] badając nowe folie stretch o 20-krotnie mniejszej przepuszczalności tlenu niż polietylen (PE) powszechnie stosowany w praktyce, stwierdzili istotne zmniejszenie strat masy suchej substancji kiszonki z lucerny w porównaniu z typowymi foliami polietylenowymi. Umożliwia to dłuższe niż 8 miesięcy przechowywanie kiszonki z lucerny owiniętej czterema warstwami folii zamiast sześciu, a nawet ośmiu warstw, jak się powszechnie zaleca.

Podsumowanie

Wyniki dotychczasowych badań nad zakiszaniem zielonek sprasowanych w bele wielkogabarytowe wykazują, że przy zastosowaniu tej technologii można uzyskać wysoką jakość paszy, pod warunkiem spełnienia wyszczególnionych wcześniej podstawowych wymagań technologicznych. W wyniku dotychczasowych badań stwierdzono, że czynnikami wpływającymi na przebieg fermentacji są: liczba warstw folii oraz grubość zastosowanej folii. Większość badaczy jest zgodnych, że do prawidłowego przebiegu fermentacji mlekowej i przechowywania kiszonek w belach, należy stosować co najmniej 4 warstwy folii polietylenowej grubości 25 μm . Zalecana liczba warstw folii zależy od warunków klimatycznych i w krajach strefy gorącej trwałość folii jest znacznie mniejsza, niż w krajach strefy umiarkowanej. Zaprezentowane publikacje obejmują wyniki badań kiszonki w belach pojedynczych owijanych folią, natomiast brak jest wyników badań nad jakością kiszonki w belach przylegających do siebie i owiniętych tylko po stronie cylindrycznej z zastosowaniem owijarki szeregowej. Mając na uwadze znacznie mniejsze koszty tego sposobu w porównaniu z owijaniem pojedynczych bel cylindrycznych celowe wydaje się podjęcie badań nad jakością kiszonki, w szczególności zwracając uwagę na wartość paszy z płaskich powierzchni bel, które powinny szczelnie przylegać do siebie. Zastosowanie tej metody skutkuje mniejszym zużyciem folii, co korzystnie wpływa na całkowite nakłady związane z osłanianiem bel.

Uwagę zwraca wysoka jakość kiszzonek w belach składowanych w pryzmie pokrytych folią. Natomiast obecnie ten sposób, wg wspomnianej metody holenderskiej, jest w praktyce coraz mniej stosowany, ze względu na występowanie tzw. wtórnej fermentacji po otwarciu pryzmy. Potrzebne byłoby stosowanie dodatków konserwujących opóźniających ten proces, jak również formowanie pryzm o objętości dostosowanej do wielkości stada z możliwością skarmienia w ciągu ok. 10 dni. Ta metoda jest skutecznie zastępowana w praktyce przez składowanie bel prostopadłościennych w workach foliowych, co jest jednak droższe [11]. Brak jest badań jakościowych kiszzonek przechowywanej grupowo i w ten sposób osłanianych.

Możliwość poprawy zdolności zielonek do zakiszczania, szczególnie trudno kiszujących się, a tym samym zmniejszenia strat składników pokarmowych, można osiągnąć między innymi przez stosowanie różnych dodatków kiszonkarskich. Dozowniki ciśnieniowe oferujące grubokropliste rozpylenie strumienia ciekłego preparatu zapewniają właściwe zmieszanie preparatu z zielonką. Stosowanie dodatków sprzyja poprawie łatwości zakiszczania i powoduje zmniejszenie strat podczas przechowania. Natomiast z przedstawionego przeglądu wynika niejednoznaczny wpływ dodatków kiszonkarskich na zawartość składników pokarmowych oraz strawność paszy. Zagadnienie to powinno być przedmiotem dalszych badań żywieniowych wykonywanych na większych populacjach zwierząt.

Literatura

- [1] Bellus Z., Iván F. 2000. Effects of additives on the quality of silage bales. *Hung. Agricult. Eng.* 13: 48–49.
- [2] Besozzi M., Pignedoli S. 1996. Nuove tecnologie per l'insilamento delle rotoballe. *Meccanica agraria, L'Informatore Agrario* 41: 49–51.
- [3] Borreani G., Bisaglia C., Tabacco E. 2007. Effects of a new-concept wrapping system on alfalfa round bale silage. *Trans. ASAE* 50: 781–787.
- [4] Borreani G., Tabacco E. 2008. New oxygen barrier stretch film enhances quality of alfalfa wrapped silage. *Agron. J.* 100: 942–948.
- [5] Burs W., Jankowska-Huflejt H., Wróbel B., Zastawny J. 2004. Użytkowanie kośne użytków zielonych. Materiały dla rolników. Krajowe Centrum Rolnictwa Ekologicznego – Regionalne Centrum Doradztwa Rozwoju Rolnictwa i Obszarów Wiejskich, Radom: 42 ss.
- [6] Dulcet E. 2001. Nowoczesne techniki zbioru zielonek i metody ich zakiszczania. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Rolniczej, Bydgoszcz: 132 ss.
- [7] Dürr L., Frick R. 2003. Gärsaftanfall bei der Lagerung von Grassilage-Rundballen. *Tänikon, FAT-Berichte*: 597–598.
- [8] Fenyvesi L., Bellus Z. 2000. Connections of compactness of silage bales. *Hung. Agricult. Eng.* 13: 20–24.
- [9] Foristal P.D., O'Kiely P., Lenchan J.J. 2002. The influence of polyethylene film type and level of cover on ensiling conditions in baled silage. *Proceedings of the Agricultural Research Forum, 11–12th Math, Tullamore Ireland*: 82.
- [10] Frick R. 2004. Eignung von Wickelfolien für die Ballensilage. *FAT – Berichte* 61: 16.
- [11] Gach S. 2003. Analiza i ocena technologii sporządzania kiszzonek z zielonek niskołodygowych. Rozprawa habilitacyjna, SGGW Warszawa: 114 ss.
- [12] Gach S. 2005. Straty zielonki w technologii zbioru na kiszonkę. *Post. Nauk Rol.* 2: 53–63.
- [13] Gach S. 2005. Straty zielonki powstające podczas kiszzenia i przechowywania. *Post. Nauk Rol.* 4: 91–101.
- [14] Gach S. 2009. Metody oceny technologii zbioru i konserwacji zielonych roślin paszowych. *Probl. Inż. Rol.* 4: 67–74.

- [15] Gach S., Korpysz K., Ivanovs S., Skonieczny I. 2008. Tendencje w rozwoju konstrukcji owijarek do bel podsuszanej zielonki. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 7–10.
- [16] Gach S., Korpysz K., Skonieczny I. 2010. Wybrane aspekty sporządzania kiszonek w belach osłanianych folią. W: Współczesne zagadnienia rozwoju sektora energetycznego i rolniczego, Borowski P., Klimkiewicz M., Powalka M. (red.), SGGW Warszawa: 27–40.
- [17] Gach S., Pintara Cz. 2000. Zbiór zielonek z zastosowaniem kondycjonerów. *Post. Nauk Rol.* 4: 65–76.
- [18] Hancock D.W., Collins M. 2006. Forage preservation method influences alfalfa nutritive value and feeding characteristics. *Crop Sci.* 46: 688–694.
- [19] Jankowska-Huflejt H. 2007. Rolno-środowiskowe znaczenie trwałych użytków zielonych. *Probl. Inż. Rol.* 1: 23–34.
- [20] Kostulak-Zielińska M., Potkański A., Przybylski M. 2003. Wartość pokarmowa kiszonek z mieszanek trawiasto-koniczynowych, sporządzonych w balotach z dodatkiem kwasu mrówkowego. *Rocz.Nauk.Zoot.* 30(1): 89–103.
- [21] McNally G.M., Laffin C., Forristal P.D., O’Kiely P., Small C.M. 2005. The effect of extrusion conditions and material properties on the gas permeation properties of LDPE/LLDPE silage wrap films. *J. Plast. Film Sheeting* 21: 27–37.
- [22] Mosch G., Gäckler S. 2003. Stretchen was die Folie hält. *DLZ – Agrarmagazin* 54(5): 102–104.
- [23] Nowak J. 1997. Analiza i ocena technologii sporządzania kiszonek w formie bel cylindrycznych. Rozprawa habilitacyjna, Akademia Rolnicza Lublin: 58 ss.
- [24] Nowak J. 2000. Wpływ rodzaju i wilgotności zbieranej paszy na jakość kiszonki w belach cylindrycznych. *Post. Nauk Rol.* 5: 119–135.
- [25] Nowak J., Bzowska-Bakalarz M., Przystupa W. 2007. Straty polowe w produkcji siana i kiszonek. Monografia pod redakcją Janusza Nowaka. Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie: 185 ss.
- [26] Nowak J., Śańec P. 2001. Wybrane czynniki decydujące o jakości kiszonek w belach cylindrycznych. *Post. Nauk Roln.* 5: 95–110.
- [27] O’Kiely P., Forristal D., Lenehan J.J. 2000. Baled silage conservation characteristics as influenced by forage dry matter concentration, bale density and the number of wraps of plastic film used. Proceeding of the Agricultural Research Forum, University College Dublin (Belfield): 61–62.
- [28] Paillat J.M., Gaillard D. 2001. Air-tightness of wrapped bales and resistance of polythene stretch film under tropical and temperate conditions. *J. Agrc. Engng. Res.* 79(1): 15–22.
- [29] Pirkelmann H., Mitterleitner H. 1991. Großballen: Hohe Leistung kostet viel. *DLG – Mitteilungen/agrar – inform* 5: 46–48.
- [30] Pleskot R. 1998. Folie samoprzylepne do sianokiszonek. *Top Agrar Polska* 5: 124–125.
- [31] Podkówka W. 1998. Kierunki w produkcji kiszonek i siana w Europie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 462: 25–39.
- [32] Podkówka W. 2001. Nowe kierunki w konserwacji pasz. *Agroservis Poradnik dla rolników – Producent mleka w Unii Europejskiej*: 93–101.
- [33] Roszkowski A. 1998. Technologie zakiszania zielonek niskołodygowych zbieranych prasami – ocena stanu i perspektywy. *Probl. Inż. Rol.* 6(1): 89–108.
- [34] Rotz C.A. 1955. Loss models for forage harvest. *Transaction of the ASAE* 38(6): 1621–1631.
- [35] Savoie P., Tremblay D., Charmley E., Theriault R. 1996. Round bale ensilage of intensively conditioned forage. *Canadian Agricultural Engineering* 38(4): 257–263.
- [36] Sęk T., Przybył J. 1997. Porównanie technologii zbioru sianokiszonki. Materiały VII Sympozjum im. prof. Cz. Kanafojskiego: Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych. Politechnika Warszawska, Płock: 202–207.
- [37] Waszkiewicz Cz., Gach S., Kostyra K., Lisowski A. 1999. Effect of size reduction degree on the quality of hay silage. *Annals of Warsaw Agricult. Univ. SGGW* 34: 29–32.
- [38] Waszkiewicz Cz., Lisowski A. 1999. Jakość paszy w technologii zbioru prasą wielkogabarytową. *Probl. Inż. Rol.* 3: 29–34.
- [39] Waszkiewicz Cz., Lisowski A., Gach S., Zastawny J. 2004. Prace badawczo-rozwojowe nad wybranymi maszynami do zbioru zielonek na siano i kiszonki. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie* T. 4 Zeszyt 1 (10): 293–309.
- [40] Wróbel B., Jankowska-Huflejt H., Barszczewski J. 2010. Wpływ rodzaju folii i liczby owinięć beli na straty suchej masy i jakości kiszonki. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie* T. 10 Zeszyt 4 (32): 295–306.
- [41] Zastawny J. 1993. Wartość pokarmowa różnie konserwowanych pasz objętościowych z użytków zielonych w świetle badań chemicznych i zootechnicznych. Rozprawa habilitacyjna, IMUZ, Falenty: 102.

Quality aspects of the short stalk green forage ensiled in form of bales wrapped in plastic film

Key-words: short stalk green forage, bale ensiling, silage quality

Summary

Paper presents the review of investigations on the quality of short stalk green forage ensiled in foil wrapped bales. Presented research results include two considered options: silage shaped as the cylindrical and cuboidal bales, stored in different way and wrapped in plastic film (to protect against the access of air), with or without addition of conservation agents. Moreover, some results of investigations concerning the effect of type and number of plastic film layers wrapped on cylindrical bales on silage quality were considered. On the basis of current investigations it was stated that the main factors affecting the fermentation process are: the number of plastic film layers (at least four) and thickness of used polyethylene plastic film (25 μm). Recommended number of plastic film layers depends on the climatic conditions; the plastic film stability is considerably worse in the warm countries in comparison with the countries located in moderate climate.

Wykorzystanie substratów pochodzenia rolniczego w biogazowniach w Polsce*

Janusz Gołaszewski

*Centrum Badań Energii Odnawialnej,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. M. Oczapowskiego 8, 10-719 Olsztyn
janusz.golaszewski@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: biomasa, biogazownia, biogaz rolniczy, substrat do produkcji biogazu, uprawy energetyczne, proces technologiczny produkcji biogazu, parametry fermentacji metanowej

Wprowadzenie

Sektor rolniczy jest znaczącym emitentem gazów cieplarnianych (GHG – greenhouse gas). Stopień emisji GHG przez rolnictwo jest wypadkową produkcji rolniczej i przetwórstwa rolniczego, wytwarzania środków produkcji oraz zmiany ekosystemów wynikających przede wszystkim z przekształcania terenów leśnych i użytków zielonych na grunty orne, głównie pod uprawę roślin energetycznych. Szacuje się, że w skali świata rolnictwo odpowiada za 14% emisji gazów cieplarnianych, przy czym ich struktura różni się znacznie od struktury gazów cieplarnianych emitowanych przez inne sektory gospodarki [16]. Przede wszystkim emisja ditlenku węgla (CO_2) jest na niskim poziomie, dominują zaś gazy powodujące relatywnie poważniejsze konsekwencje środowiskowe, takie jak metan (CH_4) i tlenki azotu (NO_x). Przykładowo, obornik składowany na przyzmie emituje metan, który degraduje się w atmosferze przez 8–12 lat i jako gaz cieplarniany jest 21-krotnie bardziej destrukcyjny niż tlenek węgla; z kolei obornik przetworzony na biogaz i wykorzystany jako biopaliwo może mieć ujemny udział CO_2 w emisji GHG [6, 35].

Wśród głównych rolniczych źródeł emisji GHG wymienić należy:

- stosowanie nawozów mineralnych, które zwiększają efekt naturalnych procesów nityfikacji i denityfikacji w glebie i uwalniania tlenków azotu (NO_x);
- inwentarz żywy (CH_4);
- rozkład anaerobowy masy organicznej w glebach o dużym uwilgotnieniu (CH_4);
- przechowywanie (składowanie) odpadów zwierzęcych (CH_4);

- spalanie biomasy rolniczej (GHG);
- produkcja środków produkcji i działania rolnicze w zakresie zwiększenia powierzchni upraw energetycznych, np. deforestacja (GHG).

Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i przeciwdziałanie zmianom klimatycznym poprzez produkcję i wykorzystanie biopaliw jest nadrzędnym celem programów zrównoważonego rozwoju rolnictwa w Polsce, UE i na świecie. W tym kontekście, polityczne wsparcie dla rozwoju technologii produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych wydaje się być naturalnym posunięciem, albowiem produkcja biogazu jest korzystniejsza dla środowiska aniżeli jej zaniechanie (swoisty przymus środowiskowy). Biogazownia rolnicza rozwiązuje nie tylko problem emisji metanu uwalnianego z biomasy ale umożliwiała zagospodarowanie (utyлизację) wszelkiej biomasy odpadowej i jej konwersję do użytecznej i przyjaznej środowisku energii oraz nawozu rolniczego. Ponadto, lokalne biogazownie rolnicze o różnej mocy, w tym produkujące nadwyżki energii do sieci energetycznej lub metanu do sieci gazowej, mogą stać się istotnymi ogniwami zdecentralizowanego systemu produkcji energii.

Historia wykorzystania procesów gnilnych materii organicznej do wytwarzania biogazu i jego energetycznego lub paliwowego wykorzystania nie jest nowa i sięga czasów starożytnej Persji. Przyjmuje się, że pierwszą biogazownię utylizującą odpady leprozorium wybudowano w Indiach (Bombaj) w 1859 r.; kolejna zbudowana w Anglii (Exeter) w 1895 r. produkowała biogaz na potrzeby oświetlenia ulic, pierwsze zaś wykorzystanie biogazu jako paliwa transportowego miało miejsce podczas II wojny światowej [9]. Współczesna biogazownia jest niczym innym jak innowacyjną adaptacją naturalnego mechanizmu degradacji materii organicznej przez mikroorganizmy w przyspieszonym procesie anaerobowej fermentacji do biogazu w zamkniętym cyklu pobierania i emisji CO₂. O ile tradycyjnie biogaz pozyskiwano i pozyskuje się nadal z odchodów zwierzęcych, wysypisk śmieci i osadów ściekowych, o tyle dzisiaj teoretycznie każdy rodzaj biomasy zielonej oraz zdrewniałej, a także organiczne pozostałości i odpady przetwórstwa rolno-spożywczego i biopaliwowego, rośliny energetyczne z produkcji dedykowanej, organizmy wodne i pozostałości leśne, mogą stanowić substrat biogazowni.

W krajach Unii Europejskiej przeciętna produkcja biogazu wynosi 12 ton na 1000 mieszkańców (Eurobserv'ER 2008). Najwięcej biogazu produkuje się w Niemczech (29), Wielkiej Brytanii (27), Luksemburgu (21), Danii (18) i Austrii (17), przy czym struktura substratów biogazowni i ukierunkowanie produkcji biogazu w poszczególnych krajach UE może znacznie się różnić. Niemcy i Austria postawiły na produkcję biogazu głównie na bazie substratu pozyskiwanego z produkcji rolniczej. W Wielkiej Brytanii, Włoszech i Hiszpanii dominuje biogaz z wysypisk, a we Francji i Czechach znaczący jest udział biogazu pozyskiwanego z osadów ściekowych. W komercyjnym zużyciu biogazu dominuje produkcja energii elektrycznej, wytwarzanej głównie w kogeneracji (ok. 60% produkcji energii elektrycznej z biogazu), ale warto także odnotować programy systematycznego rozwoju technologii włącza-

nia biogazu do sieci gazowej (Niemcy – zakłada się 10% udziału biometanu w sieci gazowej do 2030 r.) oraz wykorzystanie biogazu w transporcie (Szwecja – obecnie ok. 20%). Na tle wymienionych krajów produkcja biogazu w Polsce jest marginalna i kształtuje się na poziomie około 2 toe na 1000 mieszkańców, przy czym dominuje produkcja biogazu wysypiskowego i z osadów ściekowych. Jednakże, polska „rzeczywistość biogazowa” w ciągu najbliższych kilku lat powinna zmienić się diametralnie za sprawą implementowanego programu rozwoju biogazowni na substraty pochodzenia rolniczego, który zakłada, że obok już istniejących kilku biogazowni rolniczych powstanie około 2 tys. nowych instalacji. W maju 2009 roku Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi proklamowało program rozwoju biogazowni rolniczych, opracowany na podstawie wielu materiałów źródłowych, w tym głównie założeń programu „Innowacyjna Energetyka – Innowacyjne Rolnictwo” [26]. W ślad za tym dokonują się istotne zmiany legislacyjne w polskim prawodawstwie, w tym w prawie energetycznym i rozporządzeniach, w zakresie:

- prawnych przesłanek umożliwiających dostarczenie biogazu do sieci dystrybucyjnych oraz nałożenia na operatorów sieci obowiązku zakupu biogazu lub wytwarzanej z niego energii elektrycznej lub ciepłej;
- wprowadzenia świadectwa pochodzenia dla biogazu rolniczego;
- ustawy o odpadach;
- ustawy o nawozach i nawożeniu;
- Rozporządzenia Ministra Środowiska – objęcie podmiotów posiadających małe instalacje biogazowe możliwością uczestnictwa w handlu emisjami;
- Polskiej Klasyfikacji Działalności – objęcie działalności produkcji biogazu;
- ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym określającym, że biogazownie i siłownie biogazowe są inwestycjami celu publicznego.

Zgodnie z założeniami programu rozwoju biogazowni rolniczych [39] przez biogazownię rozumie się zespół obiektów, urządzeń i instalacji służących do wytwarzania biogazu, a przez siłownię biogazową – biogazownię wyposażoną w urządzenia do produkcji energii elektrycznej i ciepłej z wytworzonego biogazu. W kontekście regulacji prawnych [27a, 27b] pojęcia biomasy oraz biogazu rolniczego przyjmują następujące brzmienie.

Biomasa – stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r.) ustanawiającego procedury przejścia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UW L 192 z 19.07.2008, str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu.

Biogaz rolniczy – paliwo gazowe otrzymywane z surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości przemysłu rolno-spożywczego lub biomasy leśnej w procesie fermentacji metanowej (Nowelizacja Ustawy Prawo Energetyczne, art. 3 pt. 20a.).

W niniejszej pracy podjęto dyskusję nad uwarunkowaniami technologicznymi produkcji biogazu rolniczego, w aspekcie środowiskowym, ekonomicznym, społecznym i prawnym instalacji biogazowych w Polsce; oraz perspektywami rozwoju biogazowni rolniczych.

Obieg biogazu

Podstawowym budulcem organizmów roślinnych i zwierzęcych jest węgiel organiczny. W strukturze pierwiastków biomasy dominują atomy azotu, węgla, wodoru, tlenu, fosforu i siarki stanowiąc łączenie 96% materii organicznej. Masa organiczna roślin jest budowana w złożonym procesie fotosyntezy, który w istocie przetwarza energię słoneczną w energię chemiczną zakumulowaną w związkach węgla. Proces ten dokonuje się w mitochondriach – swoistych siłowniach komórek roślinnych. Substratami procesu fotosyntezy są woda, CO_2 asymilowany z powietrza oraz składniki mineralne pobierane z gleby, produktem zaś – organiczne związki węgla i tlen. Część wytworzonej energii rośliny wykorzystują na własne potrzeby w procesie respiracji (zachodzi w ciemności i polega na pobieraniu tlenu i wydzielaniu dwutlenku węgla) i transpiracji roślin. Proces fotosyntezy roślin może wykorzystać 25% energii słonecznej, z czego 20% zużywa na procesy metaboliczne, 5% zaś zostaje zamienione na energię zakumulowaną w związkach chemicznych [40].

Po zakończeniu rozwoju wegetatywnego i generatywnego rośliny obumierają a bakterie anaerobowe (beztlenowe) w swoim naturalnym procesie metabolicznym odżywiając się masą resztek roślinnych (głównie celulozy) wytwarzają biogaz, w tym m.in. molekuły metanu (CH_4). Zatem biogaz, zwany także gazem błotnym lub gnilnym, powstaje naturalnie w procesie biodegradacji materii organicznej, wytworzonej w procesie fotosyntezy, przebiegającej w warunkach beztlenowych. Obieg metanu jest istotnym elementem biogeochemicznego obiegu węgla w środowisku, którego ostatnim ogniwem jest metanogeneza prowadzona przez bakterie metanowe.

W skali świata, każdego roku do atmosfery uwalnia się około 800 mln ton metanu, w tym 90% pochodzi z dekompozycji biomasy, a pozostałe ilości metanu powstają w procesach przeróbki paliw kopalnych. Naturalnym źródłem metanu jest gaz naturalny znajdujący się w złożach podziemnych (podwodnych) zawierający 85% metanu lub gaz błotny (gnilny) wydzielany na bagnach i grzęzawiskach, który oprócz metanu może także zawierać znaczne ilości etanu (5–16%) i wodoru (8%). Część metanu uwięziona jest w wiecznej zmarzlinie stref polarnych i stopniowo uwalniana wraz z ocieplaniem klimatu [17].

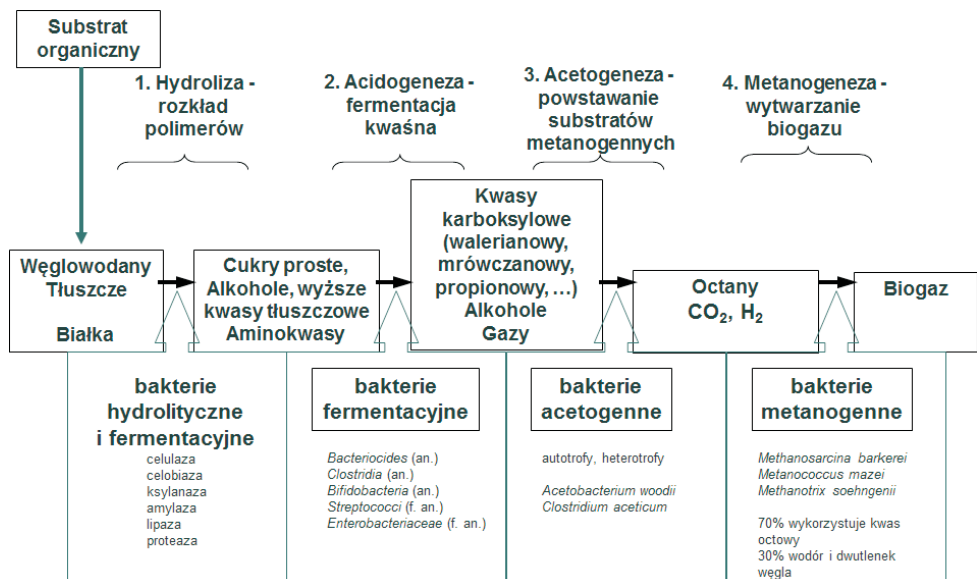
Biogaz jest mieszaniną gazów, w tym metanu 50–75%, ditlenku węgla 25–50%, wodoru 0–1%, azotu 0–10%, tlenu 0–2%, oraz związków siarki (0–3%) [37]. W zależności od materii organicznej i przebiegu procesu fermentacji biogaz może zawierać znaczne ilości wodoru i tlenu węgla. O wartości opałowej biogazu stanowi zawartość metanu (i/lub wodoru). Wartość kaloryczna¹ biogazu wynosi 18–26 MJ · m⁻³ (średnio ok. 6 kWh · m⁻³), co odpowiada kaloryczności ok. 0,6 litra oleju napędowego lub 1,3 kg drewna. Z technicznego punktu widzenia w biogazowni problem może stanowić znajdujący się w biogazie ditlenek węgla, siarkowodor (korozja części metalowych) i para wodna (skraplanie w rurociągach), które w produkcji biometanu muszą być wyeliminowane. W niektórych przypadkach biogaz może zawierać siloksyany, które powstają w warunkach degradacji anaerobowej związków chemicznych występujących powszechnie w mydłach i detergentach. Związki te charakteryzują się wysoką reaktywnością chemiczną, co może prowadzić do reakcji powodujących wytworzenie palnych i wybuchowych gazów.

Proces fermentacji

Wytwarzanie biogazu z biomasy przebiega w czterech etapach: hydroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza (rys. 1). Proces prowadzą różne grupy mikroorganizmów, częściowo wzajemnie powiązane, wykazujące odrębność wymagań odnośnie do warunków środowiska bytowania [3].

Pierwszy etap jest to hydroliza złożonych polimerów do związków prostszych: polisacharydy są rozkładane do cukrów prostych, lipidy do alkoholi i wyższych kwasów tłuszczowych, a białka do aminokwasów. Etap hydrolizy prowadzą bakterie hydrolityczne uwalniające enzymy: celulazę, celobiozę, ksylanazę, amylazę, lipazę i protezę. Suárez-Quiñones i in. [31] na podstawie aktualnie stosowanych technologii procesów hydrolizy w biogazowniach wymieniają 17 specyficznych enzymów wykorzystywanych do rozkładu celulozy, ksylanu, ścian komórkowych, kutykuli, pektynu i glikoprotein. Jednak wciąż nie rozpoznane procesy mikrobiologiczne tej fazy fermentacji są aktualnie przedmiotem intensywnych prac badawczych. W drugim etapie – acidogenezie, powstają głównie octany, wodór i lotne kwasy tłuszczowe. Potrzebny tlen bakterie uzyskują z rozszczepiania innych związków oraz wody, wskutek czego uwalniany zostaje wodór. Produktami rozkładu są także gazy: ditlenek węgla i niewielkie ilości metanu i siarkowodoru. W procesie fermentacji kwaśnej rozkładane są głównie węglowodany, a nie związki azotowe. Przy rozwijającej się

¹ Wartość energetyczna jest jednym z podstawowych parametrów termofizycznych biopaliw stałych. Waha się od 6–8 MJ · kg⁻¹ dla biomasy o wilgotności 50–60% do 15–17 MJ · kg⁻¹ dla biomasy podsuszanej, której wilgotność wynosi 10–20%, aż do 19 MJ · kg⁻¹ dla biomasy całkowicie wysuszonej.



Rysunek 1. Etapy procesu fermentacji metanowej.

później fermentacji metanowej rozkładane są również związki azotowe, a przejściowym produktem tego rozkładu jest amoniak. Większość bakterii zaangażowanych na tym etapie to anaeroby: *Bacterioides*, *Clostridia*, *Bifidobacteria* oraz anaeroby fakultatywne *Streptococci* i *Enterobacteriaceae*. W acetogenezie powstaje octan produkowany przez bakterie heterotroficzne z glukozy oraz przez bakterie autotroficzne z ditlenku węgla i wodoru. Nie do końca poznana jest aktywność acetobakterii (bakterii octowych) *Acetobacterium woodii* i *Clostridium aceticum* produkujących wodór, jak i swoista sztafeta mikrobiologiczna całego procesu fermentacji. Według sugestii Bagi i in. [4] duże ilości wodoru mogą być czynnikiem limitującym rozwój metanogenów. W końcowym etapie procesu fermentacyjnego – metanogenezie, dwie grupy anaerobowych metanogenów (*Methanosarcina barkerei*, *Metanococcus mazei*, *Methanotrix soehngeni*) produkują metan z octanu lub ditlenek węgla i wodór [21]. Oprócz wymienionych gatunków bakterii metanowych jest wiele innych, które mimo podobnych właściwości fizjologicznych różnią się morfologicznie: pałeczki, kuliste (ziarenkowce), spiralne (śrubowce). Rodzina *Methanobacteriaceae* na podstawie różnic cytologicznych dzieli się na 4 rodzaje [1]: bakterie pałeczkowate *Methanobacterium* nie wytwarzające spor i *Methanobacillus* wytwarzające spory, bakterie sferyczne *Methanosarcina* tworzące klastry i *Methanococcus* nie tworzące klastrów. Na potrzeby własnych procesów metabolicznych 70% poznanych metanogenów wykorzystuje kwas octowy, 30% zaś wodór i ditlenek węgla. Metanogeny preferują ściśle określone środowisko rozwoju, w związku z czym są wrażliwe na zmiany warunków bytowania. Wszystkie etapy degradacji substancji organicznej są wzajemnie powiązane, tzn. metabolity działalności jednej grupy reducentów stano-

wią żywkę dla następnej grupy. Jednocześnie, podobnie jak w klasycznym łańcuchu pokarmowych jedna grupa bakterii może oddziaływać hamująco na inną. Generalnie, procesy metaboliczne poszczególnych faz fermentacji są znane, jednak jest wiele niewiadomych związanych ze specyficzną rolą poszczególnych mikroorganizmów. Wiele badań wykorzystuje w tym celu techniki molekularne, w tym do detekcji i kwantyfikacji metanogenów wraz z jednoczesną oceną w próbach różnych substratów [18, 30].

Mikroorganizmy prowadzące proces fermentacji w warunkach acidofilnych i obojętnych względem pH mogą mieć podobne wymagania odnośnie do środowiska ich działalności, zatem naturalny może być także podział procesu fermentacji na dwie fazy fermentację kwaśną i metanową, które mogą być rozdzielone w procesie technologicznym produkcji biogazu. Zrównoważenie tych faz jest nadrzędne, bowiem zbyt szybka hydroliza może prowadzić do koncentracji kwasów i obniżenia pH poniżej 7,0, co z kolei ogranicza działalność metanogenów, i analogicznie jeśli faza fermentacji metanowej przebiega zbyt szybko, to może być limitowana wolnym przebiegiem hydrolizy. W tym kontekście istotny jest także czas generacji mikroorganizmów, który w pierwszych trzech etapach może wynosić kilkanaście minut przy degradacji związków łatwo rozpuszczalnych (węglowodany) i kilku dni przy degradacji celulozy, białka i tłuszczów, podczas gdy czas generacji bakterii metanogennych może wynosić kilkadziesiąt do kilkuset godzin.

Fizyczne i biochemiczne uwarunkowania produkcji biogazu

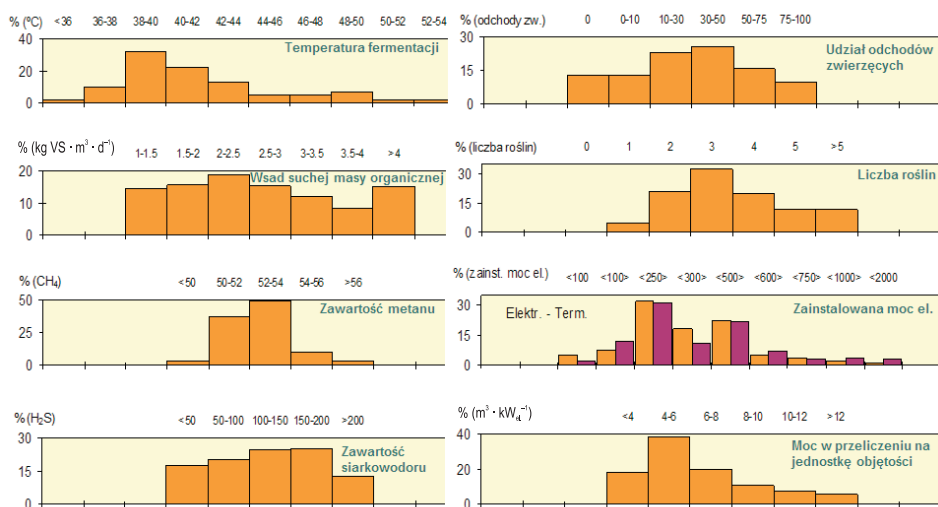
Zaprojektowanie procesu fermentacji w biogazowni wymaga zrównoważenia fazy kwaśnej i metanowej z punktu widzenia aktywności biologicznej mikroflory i jest ściśle uzależnione od właściwości substratów i kosubstratów (dodatków innej biomasy). Wśród wyjściowych założeń projektowych biogazowni wymienić należy: liczbę etapów procesu technologicznego powiązanych z etapami fermentacji (jeden, dwa, wiele etapów), temperaturę procesu technologicznego: fermentacja psychrofilowa 10–25°C, mezofilowa 32–38°C, termofilowa 52–55°C; zawartość suchej masy substratu: fermentacja mokra < 15% (dopóki istnieje możliwość przepompowania) i sucha > 15% suchej masy substratu oraz sposób napełniania substratem: wsadowy, quasi-ciągły, ciągły.

W przypadku fermentacji jednoetapowej cały proces przebiega w jednym zbiorniku. Technologię fermentacji dwuetapowej, polegającej na rozdzieleniu fazy kwaśnej od metanowej, stosuje się wówczas gdy substrat charakteryzuje duża dysproporcja przebiegu fazy kwaśnej i metanowej (substrat łatwo fermentujący lub wysokoenergetyczny). Przykładowo, proces fermentacji wywaru gorzelniczego lub ścieków z przemysłu skrobiowego charakteryzuje się dużą szybkością fazy kwaśnej i powinien być rozdzielony od fazy metanowej. Technologia dwuetapowa, generalnie bardziej zaawansowana w kontrolowaniu i monitorowaniu parametrów procesu, jest

najczęściej stosowana w fermentacji odpadów komunalnych i przemysłowych oraz obornika, a sporadycznie w fermentacji biomasy roślin [35]. W tym przypadku oddzielenie etapu hydrolizy od fermentacji metanowej uzasadnia różnica optymalnego pH 5,5–6,5 dla hydrolizy i 6,8–7,2 dla metanogenezy.

Utrzymanie stałej temperatury podczas procesu fermentacji jest warunkiem stabilnego rozwoju mikroorganizmów i produkcji biogazu. Zdecydowana większość biogazowni pracuje w technologii mezofilowej, co wynika m.in. z możliwości większego zróżnicowania metanogenów, szybszej adaptacji mikroflory przy niewielkich wahaniami temperatury $\pm 3^{\circ}\text{C}$ i mniejszej ilości uwalnianego amoniaku aniżeli w technologii termofilowej [21]. W określonych sytuacjach jest uzasadnione różnicowanie temperatur w poszczególnych fazach. Sucha masa substratu determinuje technologie fermentacji suchą i moką, a jednocześnie sposób napełniania reaktora, przy czym w praktyce najczęściej stosuje się fermentację moką i napełnianie ciągle. Analiza danych technicznych dotyczących 63 niemieckich biogazowni rolniczych powstałych w latach 2006–2009 wskazuje na szerokie spektrum stosowanych rozwiązań w zakresie wielu parametrów technologicznych, a jednocześnie największa liczba zastosowań określa pewien ustalający się standard poziomu parametrów (rys.2) [22].

Istotnym elementem właściwego przebiegu fazy metanowej jest restrykcyjne utrzymanie odczynu pH w dość wąskim przedziale 7–8 oraz dostępność makro- i mikroelementów. Proces może być destabilizowany lub zahamowany w warunkach zwiększonej ilości amoniaku z rozkładu białek (pH rośnie) lub nagromadzenia lotnych kwasów tłuszczowych (pH maleje). Weilant [35] analizując znaczenie składników odżywczych w procesie anaerobowej konwersji biomasy podaje, że dla zabez-



Rysunek 2. Wybrane parametry technologiczne 63 biogazowni niemieckich. Źródło: opracowanie własne na podstawie: Bundesmessprogramm, 2009 (FNR) [za Linke 22]

pieczenia stabilnego przebiegu procesu wskaźnik składników odżywczych C:N:P:S powinien pozostawać w relacji 600:15:5:1, a wskaźnik materiału organicznego ChZT:N:P:S w stosunku 800:5:1:0,5² [13]

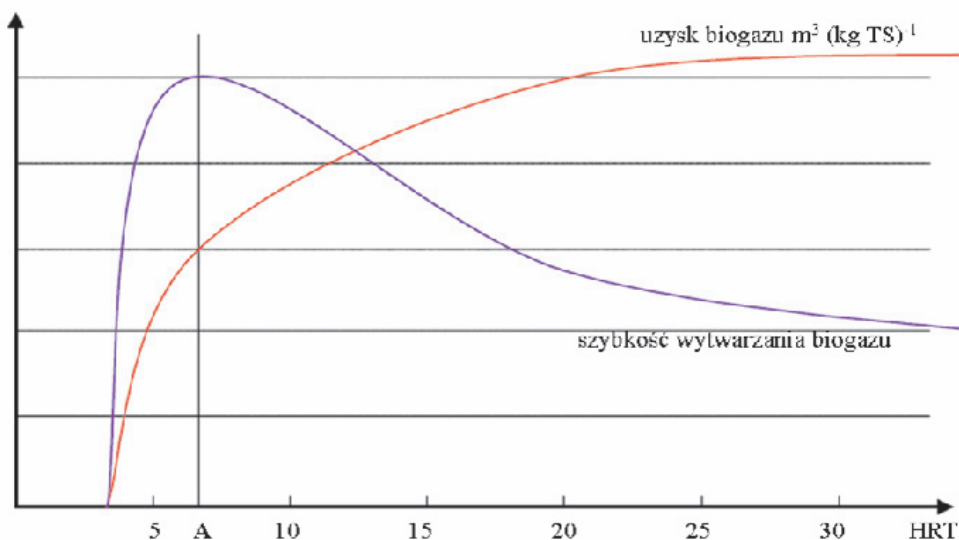
Jednakże, kluczowy dla optymalnego przebiegu fermentacji anaerobowej jest stosunek C:N utrzymywany w przedziale 15:1–30:1, będący jednocześnie praktycznym kryterium decyzyjnym w bilansie doboru substratów [41]. Generalnie, odchody zwierzęce (obornik, gnojowica) są bogate w azot, który stymuluje namnażanie i rozwój bakterii, biomasa roślin zaś (trawa, kukurydza) jest bogata w węglowodany, które z kolei determinują ilość biogazu. Jeśli w substracie udział azotu jest zbyt wysoki (niski stosunek C:N), to wytwarza się amoniak do stężenia hamującego rozwój metanogenów, jednakże toksyczne działanie amoniaku można kontrolować dodając biomasę bogatą w węgiel lub poprzez zastosowanie większego rozcieńczenia substratu. Z kolei, jeśli w nadmiarze jest węgiel, to potencjał metanogeny mikroorganizmów nie zostanie wykorzystany – bakterie zużyją dostępny azot na swoje potrzeby bytowe, ale nie wykorzystają dostępnego węgla. Niektóre pierwiastki w ilościach śladowych, takie jak żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram są niezbędne w rozwoju mikroorganizmów i powinny być dostarczone w substracie. Część z nich jest wykorzystywana przez większość mikroorganizmów w syntezie związków chemicznych (kofaktorów) uczestniczących w procesie metanogenezy (nikiel, kobalt), z kolei inne są specyficzne dla określonych mikroorganizmów. Pierwiastki te w większych stężeniach stają się inhibitorami procesu. Toksyczne dla mikroflory bakteryjnej są także antybiotyki, pestycydy, syntetyczne detergenty oraz rozpuszczalne sole miedzi, cynku, niklu, rtęci i chromu. Z kolei, sole sodu, potasu, wapnia i magnezu w zależności od warunków środowiska rozwoju bakterii mogą wytwarzanie biogazu stymulować lub hamować. Uniwersalnym substratem mającym komplet niezbędnych składników odżywczych, w tym mikroelementów, jest obornik bydłowy, dlatego też w przypadku fermentacji innej biomasy lub kosubstratów obornika szczególnie uzasadnione jest bilansowanie składu chemicznego substratu i uzupełnianie mikroelementów.

Efektywna produkcja biogazu wymaga stężenia substratu w relacji do wody w stosunku 1:1, co odpowiada 8–12% suchej masy i gwarantuje przepompowalność. Sucha masa organiczna (VS – **v**olatile **s**olids), hydrauliczny czas retencji (HRT – **h**draulic **r**etention **t**ime) określający czas pozostawania substratu w bioreaktorze, oraz temperatura procesu są wzajemnie powiązanymi wyjściowymi technicznymi parametrami projektowania optymalnej wielkości komory reaktora. HRT wyznacza się z ilorazu objętości komory fermentacyjnej (m³) i objętości ładunku obciążenia komory w ciągu doby (m³/doby). Czas retencji zależy od substratu i może wynosić od

² ChZT – Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu – umowne pojęcie oznaczające ilość tlenu [mg · dm⁻³], pobranego z utleniaczy na utlenienie związków organicznych i niektórych nieorganicznych do najwyższego stopnia utlenienia.

kilkunastu dni (gnojowica, burak) do 60 dni (szereg roślin energetycznych). Zawarte w substratach związki chemiczne trudno rozkładalne, takie jak celuloza lub hemiceluloza (ściółka w oborniku, słoma, pozostałości zdrewniałe roślin), wymagają wcześniejszego roztworzenia, a niektóre ze związków, jak lignina, praktycznie nie poddają się procesowi fermentacji. El Shinnawi i in. [14] analizując celulozowe odpady roślinne (łodygi kukurydzy i bawełny, słomę ryżu i hiacyntu wodnego) stwierdzili, że maksymalna efektywność reducentów celulozy przypadła między 10–20 dniem fermentacji, mikroorganizmów fazy acidogenezy zaś około 20 dnia. Największe liczebności reducentów celulozy odnotowano przy fermentowaniu łodyg kukurydzy i bawełny, kwasotwórczych zaś – kukurydzy i hiacyntu wodnego. W fermentorze biomasa powinna być stale mieszana, aby zachować jednorodną konsystencję co gwarantuje utrzymanie jednakowej temperatury, bakterie mają nie utrudniony dostęp do substancji organicznej, a proces fermentacji może przebiegać bez zakłóceń, odgazowywanie jest naturalne i nie tworzy się kożuch. W fazie rozruchu fermentora istotne jest umożliwienie bakteriom szybkiego i stabilnego rozwoju. Do zaszczepiania standardowo stosuje się obornik lub gnojowicę (ale także i osady ściekowe), które mają odpowiednie stężenie wymaganych bakterii.

Fermentor powinien być obciążany stopniowo. Na rysunku 3 przedstawiono relację między szybkością wytwarzania biogazu a uzyskiem biogazu w relacji do średniego hydraulicznego czasu retencji w miarę obciążania fermentora ładunkiem biomasy. Przy mniejszym obciążeniu fermentora otrzymuje się większy uzysk biogazu na jednostkę podanego substratu. Wraz ze wzrostem obciążenia do pewnego progu (punkt A) rośnie aktywność mikrobiologiczna i szybkość wytwarzania biogazu, ale



Rysunek 3. Szybkość wytwarzania biogazu i uzysk biogazu w relacji do średniego hydraulicznego czasu retencji (HRT) [28]

uzysk biogazu przypadający na kolejną jednostkę biomasy jest relatywnie coraz mniejszy. W konsekwencji z powodu wzrastającego obciążenia fermentora bakterie nie rozkładają coraz większej ilości substancji organicznej i w rezultacie maleje szybkość wytwarzania biogazu. W skrajnych przypadkach szybkie obciążenie fermentora lub częsta wymiana biomasy mogą doprowadzić do przerwania wytwarzania biogazu, bowiem w takich przypadkach redukując mikroflorę redukuje się szybkość namnażania bakterii.

Substrat biogazowni rolniczej

Organiczne źródło wytwarzania biogazu jest wyjściowym kryterium umownego podziału biogazowni na komunalne i rolnicze. W biogazowniach komunalnych, gdzie pozyskuje się biogaz wysypiskowy lub ze ścieków i osadów ściekowych, źródłem biomasy są odpady³ [27c] komunalne⁴ [27d]. W biogazowni rolniczej biogaz pozyskuje się z substratu pochodzenia rolniczego. Istotne rozróżnienie między wymienionymi biogazowniami może wynikać z liczby śladowych substancji organicznych, w tym toksycznych, które w produktach biogazowni rolniczej praktycznie nie występują. Jakkolwiek w katalogu odpadów [27e] wymienia się potencjalne rolnicze substraty biogazowni to jednoznaczne stwierdzenie, jaka biomasa i kiedy staje się odpadem jest trudne. Przykładową dualność kwalifikacji mają odchody zwierzęce (obornik, gnojówka, gnojowica), które prawnie klasyfikowane jako odpady są dobrymi i zazwyczaj niezbędnymi substratami każdej biogazowni rolniczej, ale są jednocześnie wartościowymi nawozami organicznymi i w takim rozumieniu podlegają wyłączeniu z ustawy o odpadach (substratem jest nawóz organiczny).

W biogazowni rolniczej każdą substancję organiczną, włączając biomasę celulozową, osady ściekowe i biomasę wysypiskową, można poddać procesowi biodegradacji. Jeśli dodatek biomasy z odpadów komunalnych nie stanowi jedynie kosubstratu zaszczipiającego substrat rolniczy mikroflorą to biogazownia rolnicza poprzez funkcję utylizacyjną zmienia swój status na biogazownię rolniczo-utylizacyjną. Jednakże w biogazowni rolniczej, niektóre cechy biomasy sprawiają, że jest ona szczególnie predysponowana dla określonego typu instalacji. Pomijając naturalną funkcję zagospodarowania odchodów zwierzęcych na fermach, o celowości i skali inwestycji decyduje

³ Odpady oznaczają każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, określonych w załączniku nr 1 do ustawy o odpadach, których posiadacz pozbywa się, zamierza pozbyć się lub do ich pozbycia się jest obowiązany.

⁴ Odpady komunalne – odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady nie zawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.

przede wszystkim lokalna dostępność biomasy, jej wartość energetyczna, łatwość fermentowania, a także możliwości wykorzystania pozostałości pofermentacyjnej.

Uwzględniając źródło pochodzenia substratów biogazowni rolniczej można przyjąć cztery rodzaje biomasy, które mogą być fermentowane w różnych konfiguracjach i według zasady, że nadrzędnym celem jest racjonalne zagospodarowanie pozostałości i odpadów rolniczych:

1. Odpady z pierwotnej produkcji rolniczej: odchody zwierząt gospodarskich (obornik, gnojowica, gnojówka), słoma, liście buraków, trawa, itd.
2. Odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego: otręby, melasa, wysłodziny browarniane, wywar pogorzelniany, serwatka, itd.
3. Odpady organiczne pochodzenia rolniczego: bioodpady z gospodarstw domowych, resztki żywności, zużyte tłuszcze i oleje roślinne, itd.
4. Surowce roślinne z upraw dedykowanych, w tym rośliny jednoroczne: kukurydza, sorgo, burak, itd. oraz rośliny wieloletnie: miskant cukrowy, ślázowiec, rośliny motylkowate i ich mieszanki z trawami, itd.

Tabela 1. Wydajność biogazu wybranych substratów biogazowni rolniczej (źródło: opracowanie własne na podstawie Linke [22])

Biomasa	Sucha masa (SM ²) [% SM ¹]	Suchą masą organiczną (SMO ³) [% SM]	Wydajność biogazu [m ³ (Mg SMO) ⁻¹]
Odchody zwierzęce – obornik			
Bydło	8	80	410
Trzoda chlewna	8	70	420
Drób	70	77	560
Odchody zwierzęce – gnojowica			
Bydło	10	93	225
Trzoda chlewna	6	95	300
Drób	15	89	320
Surowce i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego			
Melasa	73	78	510
Burak cukrowy (korzeń)	22	90	840
Pulpa ziemniaczana	14	93	720
Uprawy dedykowane			
Kukurydza (kiszonka)	35	97	730
Trawa (kiszonka)	35	91	540
Żyto (kiszonka)	33	93	730

¹ ŚM – świeża masa substratu podawana do fermentora – określa tzw. uzysk biogazu [m³ (Mg ŚM)⁻¹].

² SM – sucha masa jest równa różnicy świeżej masy i wody odparowanej w 105°C, wyrażana w procentach świeżej masy (ang. TS – total solids).

³ SMO – sucha masa organiczna (uzyskiwana w temperaturze 550°C) jest najważniejszym parametrem opisującym substrat wyrażany w procentach suchej masy (ang. VS – volatile solids) – określa tzw. wydajność biogazu [m³ Mg VS]

Wymienione źródła biomasy charakteryzują się różną wydajnością i jakością biogazu w zależności od składu chemicznego fermentowanych związków organicznych, a także wielu czynników fizycznych i chemicznych charakteryzujących środowisko fermentacji. Wszystkie substraty biogazowni powinny być wolne od patogenów i w zależności od występujących typów patogenów poddawane przed fermentacją procesom pasteryzacji w temperaturze 70°C lub sterylizacji w temperaturze 130°C. Jest to o tyle istotne, że teoretycznie nawet mezofilowy proces fermentacji powinien efektywnie zniszczyć większość patogenów, w tym jelitowe patogeny bakteryjne i wirusy (99,9%) w odchodach zwierząt, ale w odniesieniu do czynników chorobotwórczych z grupy endopasożytów odsetek zneutralizowanych patogenów wynosi tylko 90% [5].

W składzie chemicznym biomasy występują w różnych proporcjach trzy grupy związków organicznych – łatwo fermentujące węglowodany (wydajność ok. 0,4 m³ CH₄ kg⁻¹), oraz wymagające dłuższego okresu rozkładu bardziej skoncentrowane energetycznie białko i tłuszcz (odpowiednio ok. 0,5 i 0,7 m³ CH₄ kg⁻¹). Przeciętne wartości składu chemicznego oraz wydajności metanu wybranych substratów biogazowni rolniczej przedstawiono w tabeli 1.

W przypadku substancji organicznej zawierającej polisacharydy, takie jak celuloza i hemiceluloza, szybkość fermentacji metanowej limituje wolno przebiegająca hydroliza, zatem dla synchronizacji faz i przyspieszenia fermentacji istotne jest wcześniejsze zhydrolizowanie substratu.

Uprawy dedykowane

Dedykowane uprawy energetyczne obejmują gatunki roślin celowo wprowadzane do struktury zasiewów, na ugory i grunty marginalne, których plon użytkowy zabezpiecza określony poziom produkcji bioenergii lub biopaliw. Historia wykorzystania roślin z upraw dedykowanych jako substratu lub kosubstratu w produkcji biogazu jest właśnie pisana. Subwencje państwowe do prac badawczo-rozwojowych w zakresie alternatywnych technologii wytwarzania energii spowodowały w ostatnim dziesięcioleciu swoisty boom biogazowy w krajach północnoeuropejskich, takich jak Niemcy, Dania, Austria i Holandia. Właśnie w tych krajach zaczęto przeorientowywanie produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych na systematycznie wzrastający udział roślin energetycznych, aż do technologii, w których biomasa roślin jest wyłącznym substratem zaszczerpiętą mikroflorą odchodów zwierzęcych lub osadów ściekowych. Przeprowadzone badania potwierdzają, że substrat z roślin energetycznych może wielokrotnie zwiększać uzysk metanu [10, 38].

Niezależnie od systemu produkcji roślinnej tradycyjnej, zintegrowanej czy ekologicznej wyznacznikiem opłacalności produkcji, a w rezultacie uzysku biogazu jest plon biomasy z jednostki powierzchni, będący wypadkową potencjału genetycznego rośliny, układu warunków glebowo-klimatycznych, poziomu agrotechniki oraz inter-

akcji tych czynników. Analizując potencjał energetyczny upraw dedykowanych należy uwzględnić dwa pojęcia produktywność i produkcyjność roślin (wolumen biomasy), odnoszące się w pewnym sensie do produkcji biomasy w procesie fotosyntezy i ostatecznie do plonu biomasy.

Produktywność roślin określa tempo wytwarzania i akumulacji suchej masy (tkanek, organów lub całej rośliny po odwodnieniu) w jednostce czasu (doby, sezonu wegetacyjnego, roku) jako rezultat procesów asymilacji węgla (czyli fotosyntezy) i dysymilacji węgla (czyli oddychania mitochondrialnego – ciemniowego lub fotooddychania – fotorespiracji). Jest to pojęcie dynamiczne, odnoszące się do ilości masy wytworzonej przez rośliny występującej na określonej powierzchni w jednostce czasu (np. w $\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$). Z kolei termin produkcyjność roślin oznacza ilość biomasy wytworzonej przez rośliny niezależnie od przydatności użytkowej (plon biologiczny i rolniczy). Jest to pojęcie statyczne wyrażone w jednostkach masy (g, kg, Mg). Produktywność roślin silnie różnicuje typ fotosyntezy C3 lub C4. Rośliny typu C4 mają dodatkowy mechanizm wiązania CO_2 poprzez mechanizmy anatomiczne i fizjologiczne, co pozwala na zwiększenie stężenia CO_2 w komórkach. U tych roślin brak jest fazy fotorespiracji i tym samym zredukowane są straty zasymilowanej energii. W efekcie rośliny typu C4 mają szybszą fotosyntezę i większą wydajność biomasy, przy relatywnie małym zapotrzebowaniu na wodę. Większość roślin typu C4 są to rośliny typowe dla regionów świata o klimacie tropikalnym lub subtropikalnym, co nie oznacza, że nie są uprawiane lub introdukowane w innych strefach klimatycznych, jak w Polsce (relatywnie niższe plony). Mimo że ta grupa roślin stanowi niespełna 5% flory świata, to z energetycznego punktu widzenia są roślinami najbardziej pożądanymi, w tym jako substraty biogazowni. Należą do nich kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.), trzcina cukrowa (*Saccharum officinarum* L.), proso zwyczajne (*Panicum miliaceum* L.), sorgo (*Sorghum* MOENCH), szarłat (*Amaranthus caudatus* L.) spartina periwona (*Spartina pectinata* BOSC ex LINK), miskant (cukrowy, chiński, olbrzymi) (*Miscanthus* spp.), proso różgowate (*Panicum virgatum* L.), palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi* VITMAN), agawa (*Agave* L.), aloes (*Aloë* L.).

Natężenie procesu fotosyntezy pozostaje w ścisłej relacji ze stężeniem ditlenku węgla w powietrzu, przy czym w optymalnych warunkach świetlnych i temperaturowych natężenie fotosyntezy może wzrastać aż do około 0,1% stężenia CO_2 w powietrzu zarówno u roślin typu C4 jak i C3. W skrajnej sytuacji wyjątkowo niskich stężeń CO_2 w powietrzu procesy respiracji i fotorespiracji mogą wytwarzać więcej CO_2 niż asymilować w fotosyntezie. Fakt ten może uzasadniać jeden z nowych trendów badawczych związanych z intensywną produkcją alg (także jako substrat biogazowni) z odzyskiem CO_2 np. z gazów cieplowniczych.

Pierwszym, naturalnym substratem roślinnym do produkcji biogazu rolniczego była biomasa roślin paszowych (głównie kukurydzy), z tego względu, iż wysoka jest produkcyjność tych roślin oraz znane technologie produkcji i procesy konserwacji przekładają się na wysoki potencjał energetyczny taniego substratu i zapewnienie

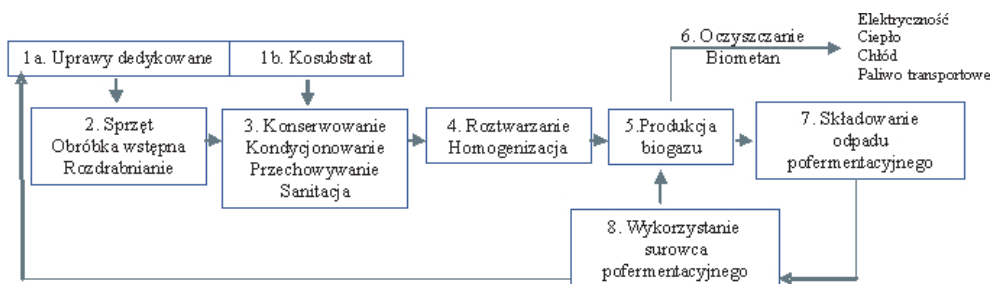
ciągłej podaży substratu do biogazowni. Jakie rośliny, oprócz kukurydzy, są potencjalnymi substratami biogazowni? Po pierwsze trawy, w tym zboża (zielonka, kiszonka), a ponadto te o wysokim potencjale produkcji w naszej strefie klimatycznej: mozga trzcinowata i tymotka. Po drugie, rośliny motylkowate, takie jak koniczyna czy lucerna, także w mieszankach z trawami – są to rośliny, które można zbierać wielokrotnie i przez wiele lat, a także dzięki zdolności do asymilowania azotu z powietrza, redukują konieczność stosowania nawozów obniżając nakłady na produkcję. Po trzecie, rośliny mniej znane i introdukowane, ale o wysokiej produktywności i względnie łatwe w uprawie takie jak kapusta pastewna, słonecznik bulwiasty, rdestowiec sachaliński, miskant, a także pewne formy rzewienia czy pokrzywy. Potencjalny wysokowydajny substrat biogazowni stanowi także ziarno zbóż takich jak pszenica, jęczmień, owies, żyto i sorgo oraz korzenie lub bulwy roślin okopowych – buraka, ziemniaka i topinamburu. Jednakże w większości wymienione rośliny stanowią grupę tzw. surowców strategicznych i powszechniejsze ich wykorzystanie w celach energetycznych może naruszyć bilans produkcji żywności. Dla wybranych substratów z upraw dedykowanych przedstawiono w tabeli 2 uzysk metanu i wydajność energetyczną.

Tabela 2. Przeciętny uzysk metanu i potencjał energetyczny wybranych substratów roślinnych

Roślina	Uzysk metanu [m ³ CH ₄ · ha ⁻¹ · rok ⁻¹]	Wydajność energetyczna [MWh · ha ⁻¹ · rok ⁻¹]
Burak pastewny	5800	56
Kukurydza	5780	56
Trawa (duże wahania)	4060	39
Lucerna	3965	38
Pszenica	2960	28
Koniczyna	2530	25
Kapusta pastewna	2304	24
Ziemniak	2280	22
Jęczmień	2030	20

Proces technologiczny

Technologia produkcji biogazu rolniczego ma charakter modułowy, przy czym każdy moduł biogazowni, począwszy od organizacji produkcji biomasy i logistyki dostaw, roztwarzania biomasy, sanitacji i konserwacji, poprzez proces fermentacyjny, aż po oczyszczanie biogazu i jego wykorzystanie oraz zagospodarowanie masy pofermentacyjnej, może mieć wieloraki wymiar technologiczny. Dlatego też, standaryzacja poszczególnych modułów dokonuje się relatywnie wolno. Z pewnością na obecnym etapie rozwoju biogazowni rynek oferowanych technologii biogazowych, często przestarzałych, determinuje wzorce inwestycyjne i w konsekwencji wysokie



Rysunek 4. Moduły organizacyjne biogazowni na biomasę rolniczą

koszty budowy biogazowni. Dziś na zmonopolizowanym rynku biogazowni o opłacalności produkcji biogazu decyduje przede wszystkim minimalna zainstalowana moc, która w 65% najnowszych zastosowań wynosi 0,25–0,60 MW_{el.} (rys. 2), a w polskim Programie Rozwoju Biogazowni Rolniczych do 2020 r. [39] przyjęto średni poziom mocy 1 MW. Na podstawie doświadczeń niemieckich można wykluczyć rozwój biogazowni w kierunku instalacji wielomegawatowych. Jednocześnie znaczący udział na rynku mogą mieć biogazownie z mikrogeneracją małych mocy, rzędu kilku do kilkudziesięciu kW_{el.}

Przykładowa biogazownia na substrat roślinny z kosubstratami obejmuje kilka modułów organizacyjno-technologicznych (rys.4).

W organizacji produkcji biomasy z upraw dedykowanych istotne są rozważania dotyczące dostępnego arealu gruntów pod uprawę roślin energetycznych z uwzględnieniem żyzności gleb i ochrony środowiska, opracowanie zintegrowanego systemu zmianowania roślin godzącego cele produkcji surowca roślinnego na cele żywnościowe, przemysłowe i energetyczne, wykorzystanie międzyplonów i poplonów, stosowanie wysoko-produktywnych odmian roślin uprawnych, optymalizowanie nawożenia roślin pod kątem wysokiej produkcji metanu, zagospodarowanie pozostałości rolniczych. W przypadku kofermentacji odchodów zwierzęcych lub odpadów przemysłu rolno-spożywczego niezbędne jest zastosowanie higienizacji/sanitacji odpadów zgodnie z procedurą zależną od kategorii (I, II, III) stwarzanego zagrożenia sanitarnego i epizootycznego [27f].

Najczęściej stosowanym sposobem zabezpieczenia ciągłości podaży substratu roślinnego i jednocześnie produkcji biogazu w okresie zimowym jest jego zakiszenie. Kiszenie jest procesem biochemicznym polegającym na rozkładzie cukrów prostych do kwasu mlekowego w procesie kontrolowanej fermentacji mlekowej. Dzięki obniżeniu pH następuje zahamowanie wzrostu organizmów powodujących procesy gnilne. Fermentacja kwasu mlekowego poprzez zainicjowanie degradacji polisacharydów jest także wstępnym etapem kondycjonowania substratu. Czynnikiem decydującym o potencjale fermentacyjnym przechowywanego substratu roślinnego jest faza fenologiczna rozwoju roślin podczas zbioru (tab. 3). Zazwyczaj bardzo szybko fermentują rośliny zbierane we wczesnych fazach, opóźnianie zaś zbioru roślin

sprzyja koncentracji energii, ale może wydłużać proces fermentacji. Generalnie można przyjąć zasadę, że wysoka wartość energetyczna roślinnego surowca paszowego gwarantuje wysoką produktywność biogazu.

Tabela 3. Faza zbioru roślin a uzysk biogazu [20]

Substrat	Faza zbioru roślin	Uzysk biogazu [$\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$]
Kiszonka z traw	kwitnienie	200
	z wszystkich pokosów	180
Kiszonka z kukurydzy	dojrzałość woskowa – wysoki udział ziarna	200
	dojrzałość woskowa – średni udział ziarna	185
	dojrzałość mleczna – średni udział ziarna	155
	kiszonka z całych roślin – średni udział ziarna	200
Jęczmień	kwitnienie	75
	mleczna	130
	woskowa	160
Żyto	kwitnienie	85
	mleczna	115
	woskowa	165
Pszenżyto	kwitnienie	180
	mleczna	150
	woskowa	215

Ciągła podaż biomasy roślinnej może być rozwiązana poprzez utworzenie tzw. zielonej taśmy podaży surowca, obejmującej pewną sekwencję różnej biomasy pozyskiwanej z różnych źródeł, w tym z upraw energetycznych w trakcie wegetacji roślin (różne fazy rozwoju), a w okresie zimowym – wykorzystanie zakiszonego substratu. Przykładem biogazowni rolniczej z zieloną taśmą podaży substratu jest biogazownia zbudowana w technologii DRANCO-FARM w Nüstedt (Niemcy), gdzie sukcesywnie wprowadzanymi substratami biogazowni są: kiszonka z kukurydzy, obornik, kiszonka z żyta, słonecznik i zielonka z żyta [11]. Ponadto, biomasa roślinna może być przechowywana w postaci siana, sianokiszonki (trawa, rośliny motylkowe), biomasy z pras silnego zgniotu, składowane pod wiatą (biomasa o małym uwilgotnieniu) lub w odpowiednich silosach (faza glicerynowa).

Sposób obróbki wstępnej surowca przed poddaniem procesowi fermentacji zależy od składu chemicznego biomasy. W procesie fermentacji metanowej jest problem z obecnością w substracie trudno degradowanych organicznych polimerów. Przykładowo, krystaliczna struktura celulozy ogranicza penetrację mikroorganizmów lub enzymów międzykomórkowych, a w przypadku ligniny długi okres degradacji praktycznie wyklucza ligninę jako substrat biogazowni. Wstępna obróbka ma za zadanie rozbicie łańcuchów polimerowych do prostszych łatwo rozpuszczalnych związków chemicznych. Może być prowadzona mechanicznie, chemicznie lub biologicznie lub też mieszanymi metodami.

Tabela 4. Efekty wstępnej obróbki biomasy [20]

Substrat	Uzysk biometanu $\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$	Zmiana [%]
Mechaniczne rozdrobnienie	0,1–6–10 cm	
Słoma pszenicy	0,25–0,16	35
Sorgo	0,42–0,42	0
Koniczyna	0,20–0,14	23
Trawa	0,35–0,27	30
Owies	0,26–0,25	4
Chemiczne	bez obróbki i po obróbce	
Trawa – NaOH 2% 24 h 20°C	0,23–0,25	9
Trawa – NaOH 2% 72 h 20°C	0,23–0,27	17
Trawa – autoklaw	0,23–0,26	13
Biologiczne (biochemiczne)	bez obróbki i po obróbce	
Trawa – enzymy – 24 h 35°C	0,23–0,27	17
Trawa – grzyby – 21 dni 20°C	0,23–0,24	4
Trawa – kompostowanie	0,23–0,19	–17

Wyjściową, mechaniczną metodą homogenizacji biomasy jest rozdrobnienie materiału w młynie/mieszalniku. Pozwala ono zwiększyć efektywność metanogenezy do 35% w zależności od materiału (tab. 4). Generalnie efekt produkcji biometanu jest tym większy im większe jest rozdrobnienie materiału. Spośród innych metod mechanicznych wymienić należy traktowanie parą wodną, hydrolizę termiczną (nasycona para wodna o wysokiej temperaturze i pod ciśnieniem), mokre utlenianie (utleniaczem jest powietrze), stosowanie ultradźwięków lub promieniowania. Do chemicznego traktowania biomasy można wykorzystywać kwasy, zasady, rozcieńczalniki i oksydanty, a do metod biologicznych można zaliczyć wykorzystanie mikroorganizmów lub enzymów przez nie wytwarzanych. Metody tego typu są relatywnie proste w zastosowaniach, jednakże ich efektywność nie jest zadowalająca. Warto zwrócić uwagę na fakt, że fermentacja kompostowanej trawy jest mniej efektywna aniżeli fermentacja zielonki (tab. 4). Decyzja o wyborze konkretnej metody powinna uwzględniać wymagane nakłady, praktyczność i oddziaływanie środowiskowe jak również straty energii organicznej substratów przed traktowaniem. Elementy te skonfrontowane z ogólną wydajnością biogazowni muszą być zbilansowane.

Zasadniczą instalacją biogazowni jest fermentor (poziomy lub pionowy) składający się z zaizolowanej komory fermentacyjnej, systemu grzewczego, systemu mieszania fermentowanej masy, systemu odprowadzającego odpad pofermentacyjny, systemu odprowadzenia biogazu oraz wielu innych, takich jak system rurociągów, a także wskaźników i mierników parametrów procesu [32]. Podstawowym, stale mierzonym parametrem fermentora, oprócz składu biomasy, odczynu, temperatury, poziomu napełnienia jest skład biogazu i wydajność biometanu, ale kontrolowaniu przebiegu fermentacji służą także pomiary lotnych kwasów tłuszczowych (VFA),

stosunku lotnych kwasów tłuszczowych do zawartości ogólnej węgla nieorganicznego (wskazuje proporcję lotnych kwasów organicznych do alkalicznej pojemności buforowej jako miarę zagrożenia zakwaszenia instalacji biogazowej), wzajemnych relacji między poszczególnymi kwasami karboksylowymi (np. propionowy/octowy, masłowy/izomasłowy), potencjału REDOX⁵ (–300 mV) i zawartości amoniaku.

Liczba fermentorów zależy od rodzaju substratu. W przypadku fermentowania biomasy roślinnej zasadne jest zastosowanie dwóch fermentorów – głównego i dodatkowego prowadzącego odzysk biogazu z przefermentowanej biomasy w fermentorze głównym (rys. 3). Dominujące technologie biogazowni rolniczych prowadzą proces fermentacji mokrej w warunkach mezofilowych. Pomimo że w wyższych temperaturach dokonuje się szybsza degradacja materiału i czas przebywania substratu (HRT) w fermentorze jest krótszy dodatkowy uzysk metanu może nie rekompensować większych nakładów energetycznych, a także z wytwarzania większej ilości amoniaku (toksyczność) i redukcji flory bakteryjnej. Należy jednakże nadmienić, że fermentacja termofilowa oraz sucha są przedmiotem wielu aktualnie prowadzonych badań, co może doprowadzić do zmiany obecnych standardów technologicznych biogazowni.

Generalnie, biomasa roślinna wymaga dłuższego czasu przebywania w reaktorze aniżeli biomasa odpadowa z produkcji zwierzęcej (tab. 5), ale także i w tym przypadku wskaźnik HRT może być mniejszy.

Tabela 5. Wydajność biogazu i czas fermentacji wybranych substratów i kosubstratów roślinnych (źródło: opracowanie własne na podstawie [20, 42])

Substrat	Wydajność biogazu [m ³ kg ⁻¹ SMO]	Czas fermentacji [dni]
Słoma	0,367	78
Liście buraków	0,501	14
Łęty ziemniaczane	0,606	53
Łodygi kukurydzy	0,514	52
Koniczyna czerwona	0,445	28
Trawa	0,557	25
Obornik bydłocy, słoma pszeniczna (50:50)	0,323	15(65)
Obornik świński, łęty ziemniaczane (85:15)	0,357	39(58)

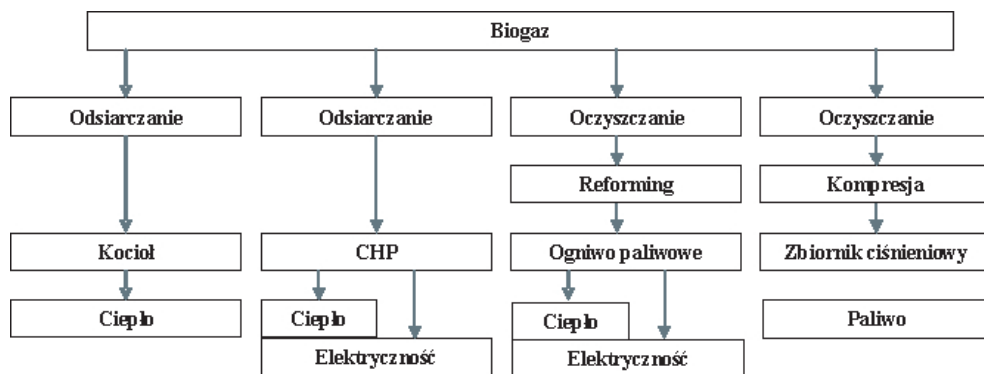
W badaniach Demirela i in. [12] testowano kiszonkę z buraka (bez liści) bez dodatku obornika. Wskaźnik HRT wynosił 25 dni. Zastosowanie substratu z kiszonki buraka wzbogaconego udziałem fosforanów pozwoliło na skrócenie HRT do 15 dni, jednakże taka kompozycja substratu istotnie oddziaływała na strukturę populacji

⁵ W fermentorze wymagany jest niski potencjał redox, przy optimum w przedziale od –300 do –330 mV. W przypadku podwyższenia potencjału substrat należy uzupełnić czynnikami utleniającymi (bez tlenu, siarczanów, azotanów i azotynów).

metanogenów. Autorzy wskazują na celowość uzupełniania tego typu mono-fermentacyjnego substratu czynnikami buforowymi i składnikami odżywczymi, aby zabezpieczyć stabilność procesu. Techniki poprawiające produkcję biogazu stanowią aktualnie przedmiot zainteresowania wielu badaczy. Yadvika i in. [38] dokonali przeglądu różnych technik klasyfikując możliwe podejścia w 4 grupy: wykorzystanie dodatków (roślin, odpadów, szczepów bakterii, związków nieorganicznych), recykling gnojowicy i filtratów gnojowicy, zmiana parametrów procesu (temperatura, HRT, C/N, wielkość cząstek substratu, itd) i wykorzystanie reaktorów biologicznych z immobilizowaną biomasa/biofiltrów. Parawira i in. [25] wykazali celowość współfermentacji takich substratów jak stałe odpady ziemniaczane i liście buraków cukrowych. Mono-fermentacja generowała odpowiednio dla wymienionych substratów 2,1–3,4 kWh CH₄ · kg⁻¹ SMO, podczas gdy współfermentacja umożliwiała uzyskanie większej o 60% wydajności metanu dzięki synergizmowi mikroflory fermentowanej biomasy. Autorzy konkludują, że efektywną konwersję wymienionych substratów zapewniał dwustopniowy proces anaerobowy. Podobnie wysoko efektywne może być współfermentowanie odchodów zwierzęcych z odpadami przemysłu biopaliwowego (faza glicerynowa). Amon i in. [2] wykazali duże zróżnicowanie wydajności metanu 125–166 m³ CH₄ · kg⁻¹ SMO z obornika bydłowego w zależności od systemu produkcji mlecznej. Jednocześnie badając 6% dodatek fazy glicerynowej do obornika świńskiego oraz do mieszanki substratów: kiszonki z kukurydzy (31%), ziarna kukurydzy (15%), obornika świńskiego (54%) uzyskali zwiększenie wydajności metanu odpowiednio o 702 i 110 m³ CH₄ · kg⁻¹ SMO. Podobnie skuteczne było jednoczesne dołączenie do mieszanki podstawowej 6% gliceryny i 10% wytlóków rzepaczanych, skutkujące wyższą o 152 m³ CH₄ · kg⁻¹ SMO.

Załadunek biomasy do fermentora może dokonywać się w cyklach codziennych do tygodniowych lub wsadowo. Prostsza formą jest relatywnie rzadziej stosowany tryb wsadowy polegający na jednorazowym obciążeniu fermentora, następnie uszczelnieniu komory, i po fermentacji – usunięciu odpadu pofermentacyjnego. Mankamentem tego typu technologii jest trudność z eliminowaniem odorów podczas wymiany materiału oraz niestabilna produkcja biogazu zgodnie z krzywą Gaussa. Math-Alvarez J. i in. [23] modelowali mezofilowy dwustopniowy proces anaerobowy przy wsadzie odpadów z rynku owocowo-warzywnego oraz inokulowanym obornikiem świńskim. W pierwszym przypadku proces trwał 33 dni, substrat zaś inokulowany obornikiem osiągnął maksimum produkcji biogazu około 10 dnia fermentacji, i w czasie 3 tygodni proces fermentacji został zakończony. W fermentorach pracujących w trybie ciągłego lub quasi-ciągłego napełniania typowy dzienny wsad biomasy z upraw energetycznych wynosi 2–4 kg SMO na 1 m³ fermentora, przy czym wsad powinien być zbilansowany indywidualnie dla każdego substratu. Jednocześnie z napełnianiem fermentora odpad pofermentacyjny musi być usunięty.

Biogaz, po oczyszczeniu może być wykorzystany jako uniwersalne paliwo we wszelkiego typu instalacjach gazowych (rys. 5). Spośród wielu składników, które muszą być usunięte z biogazu wymienić należy: ditlenek węgla, parę wodną, siarko-



Rysunek 5. Wykorzystanie biogazu (źródło: Weillinger [36])

wodór, siloksany, związki aromatyczne, tlen, azot i fluorowce (chlorki, fluorki, i inne). Jakość biogazu determinuje sposób jego wykorzystania. Zasilanie stacjonarnego kotła nie wymaga wysokiej jakości biogazu; ciśnienie gazu powinno zawierać się w przedziale 8–25 mbar, a ilość siarkowodoru powinna być zredukowana do poziomu poniżej 500 ppm. Z kolei przydatność biogazu do sieciowego wykorzystania z gazem ziemnym wymaga oczyszczenia i minimum 97% zawartości metanu, w przypadku zaś wykorzystania biogazu w wysokotemperaturowych ogniach paliwowych (MCFC⁶, SOFC⁷) nie ma potrzeby usuwania ditlenku węgla. Moc jednostek CHP może zawierać się w szerokich granicach i w zależności od skali wynosić od kilkunastu kW_{el.} do kilku MW_{el.} Na ten cel mogą być adoptowane silniki diesla wykorzystujące biogaz lub oba rodzaje paliwa. Wydajność energii elektrycznej jednostek CHP może dochodzić do 41%, a ogniów paliwowych do 50% [7, 8]. W niektórych sytuacjach celowe może być zastosowanie mikroturbin z niższą efektywnością produkcji energii elektrycznej rzędu 26–28%.

Oprócz biogazu, końcowym produktem procesu fermentacji jest pozostałość pofermentacyjna, która w sytuacji, gdy spełnia kryteria nawozu organicznego jest wartością dodaną biogazowni rolniczej. W zależności od konsystencji pozostałości jest ona przepompowywana do zbiornika magazynowego lub wypełnia lagunę, gdzie może odbywać się jeszcze wtórna fermentacja (do 20% biogazu) lub też dokonuje się odzysku frakcji stałej, a woda może być ponownie wykorzystana w procesie.

Wśród potencjalnych walorów nawozowych pozostałości pofermentacyjnych wymienić należy:

- możliwość bezpośredniego wykorzystania (obornik wymaga około półrocznej fermentacji);

⁶ Ogniwo paliwowe ze stopionym węglanem, MCFC (ang. Molten Carbonate Fuel Cell).

⁷ Ogniwo paliwowe z zestalonym elektrolitem tlenkowym, SOFC (ang. Solid Oxide Fuel Cell).

- dużą aktywność biologiczną pożytecznej mikroflory przy jednocześnie zneutralizowanym udziale drobnoustrojów patogenicznych, w tym bakterii: *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria*, grzybów patogenicznych, wirusów i pasożytów, co sprzyja intensyfikacji procesów mikrobiologicznych i humifikacji gleby;
- utrzymanie wysokiej zawartości azotu amonowego (dłuższe przechowywanie obornika rzutuje niekorzystnie na skład chemiczny, główne straty dotyczą azotu amonowego);
- minimalna zdolność kiełkowania nasion chwastów (1 t obornika zawiera ok. 10 tys. nasion zachowujących zdolność kiełkowania po trawieniu w organizmie zwierzęcia);
- dłuższy rozkład w glebie i lepsze wykorzystanie;
- ekologicznie bezpieczny (nie ma zagrożenia dla wód gruntowych).

W świetle regulacji prawnych w zależności od charakterystyk biologiczno-chemicznych pozostałości pofermentacyjne mogą być traktowane jako odpad, ściek lub nawóz organiczny [29]. Przy traktowaniu pozostałości jako odpadów mogą one podlegać pod metodę odzysku R10 czyli „rozprowadzanie odpadów na powierzchni ziemi w celu nawożenia lub ulepszenia gleby” (Załącznik nr 5 do ustawy o odpadach [27g]). W takim przypadku obowiązują uregulowania m.in. w zakresie: odpad jest wolny od *Clostridium perfringens* (odpady produkcji zwierzęcej); odpowiednia obróbka eliminuje zagrożenie dla ludzi i środowiska; brak bakterii typu *Salmonella*; rozdrobnienie przed zastosowaniem; równomierne stosowanie na glebę (tylko do gł. 30 cm); nie przekraczalne wartości skażenia, np. pestycydami, metalami ciężkimi; nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, Zn, Cu; oraz analiza odpadów w certyfikowanych laboratoriach. Pozostałość fermentacyjną traktowaną jako ściek reguluje Prawo wodne [27h], a na wykorzystanie niezbędne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego, spełnienie norm sanitarnych i dopuszczalnych ilości zanieczyszczeń oraz opracowany plan nawożenia zaopiniowany przez Stację Chemiczno-Rolniczą. Należy dodać, że powyższe kwalifikacje umożliwiają wykorzystanie pozostałości na polach zasilających biogazownię. Pozostałość pofermentacyjna kwalifikowana jako nawóz, z wyłączeniem pozostałości uzyskanych wyłączenie z produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, może być dystrybuowana, wymaga jednak uzyskania pozwolenia na wprowadzenie do obrotu (art. 2 ust. 1 Ustawy o nawozach i nawożeniu [27f]).

Podsumowanie

Biogazownie rolnicze w Polsce stają się integralnym elementem rozproszonego systemu generacji energii i paliw. Ze środowiskowego, energetycznego i ekonomicznego punktu widzenia inwestowanie w rozwój biogazowni rolniczych jest korzystniejsze aniżeli zaniechanie ich rozwoju. Wśród ewidentnych środowiskowych korzyści wymienić należy redukcję emisji gazów cieplarnianych, utylizację odpadów organicznych, neutralizację patogenów, dezaktywację nasion chwastów, produkcję nawozów organicznych, a przez to zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych

(dalsza redukcja LCA⁸), ochronę wód gruntowych oraz możliwość ponownego wykorzystania wody z przefiltrowanego odpadu pofermentacyjnego. Z energetycznego punktu widzenia istotna jest produkcja uniwersalnego odnawialnego biopaliwa z biomasy w zdecentralizowanych jednostkach wytwarzania energii oraz implementacja idei prosumenckości (lokalna produkcja i wykorzystanie energii) będąca elementem bezpieczeństwa energetycznego. Ekonomiczny profit biogazowni rolniczej jest wypadkową wyżej wymienionych korzyści. Proces fermentacji metanowej jest wartością dodaną produkcji i przetwórstwa rolniczego, poprzez przekształcanie magazynowanych odpadów w dochodowe centra produkcji energii i uniezależnienie od importu energii. Biogazownia rolnicza pozwala generować zróżnicowane dochody z tytułu zagospodarowania odpadów, emisji świadectw pochodzenia, sprzedaży nawozu organicznego, energii lub biopaliwa.

Mimo że proces fermentacji metanowej jest znany od wieków, wykorzystanie nowych substratów rolniczych otwiera nowe możliwości zwiększenia efektywności biogazowni rolniczych; wymaga jednocześnie rozwiązania wielu niewiadomych tego procesu. Przyszłe rozwiązania stosowane w biogazowni rolniczej powinny umożliwiać elastyczne komponowanie mikroflory do konkretnego substratu, także w kontekście specyficznych organizmów prowadzących proces fermentacji metanowej lub wodorowej. Służyć temu powinna specyfikacja mikroorganizmów zaangażowanych w poszczególne fazy fermentacji oraz zbadanie ich wzajemnych relacji.

Biogazownia rolnicza, mimo różnorodności stosowanych technologii, może być instalacją składającą się z modułów o charakterze organizacyjno-technicznym. Można założyć, że przyszłościowe rozwiązania będą zmierzały w kierunku modularyzacji biogazowni i elastycznego komponowania typoszeregu biogazowni rolniczej w zależności od substratu i planowanej mocy instalacji w skali mikro (kilka do kilkadziesiąt kW), mezo (do 1 MW) i makro (powyżej 1 MW). Duże oczekiwania związane są z mikrogeneracją i powszechnym wykorzystaniem biogazowni w mikroskali, np dla gospodarstw rodzinnych na wzór dostępnych dzisiaj technologii ekologicznego skanalizowania ścieków sanitarnych – mikrooczyszczalni.

Spektrum możliwości pozyskania wielu związków chemicznych z biomasy pochodzenia rolniczego nie zostało jeszcze określone i można założyć, że dalszy rozwój biogazowni rolniczych będzie zmierzał w kierunku zintegrowanej (scentralizowanej) biorafinerii rolniczej [15]. Zbilansowanie substratu organicznego pod kątem maksymalnego wykorzystania, w tym odzysku śladowych ilości nutraceutyków, biodostępnych związków wykorzystanych w dodatkach spożywczych i paszowych, a trudno degradable do produkcji komponentów produktów przemysłowych, może sprawić, że biogazownia będzie składową biorafinerii, a energia lub biopaliwo z biogazowni będą produktami „odpadowymi”, przy tym profity biorafinerii będą wynikały nie z biogazowni, ale przede wszystkim z innych wartościowych produktów biorafinerii.

⁸ LCA – Life Cycle Assessment.

Literatura

- [1] Alexander M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, Inc. 227–231.
- [2] Amon Th., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Pötsch E., Zollitsch W. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series* 1293: 217–220.
- [3] Angelidaki I., Ellegaard L., Ahring B.K. 1993. A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates focusing on ammonia inhibition. *Biotechnol. Bioeng.* 42: 159–166.
- [4] Bagi Z., Acs N., Balint B., Hovrath L., Perei K.R., Rakhely G., Kovacs K.L. 2007. Biotechnological intensification of biogas production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 76: 473–482.
- [5] Bioconversion of Organic Residues for Rural Communities. 1979. The United Nations University.
- [6] Biogas as road transport fuel. An assessment of the potential role of biogas as a renewable transport fuel. 2006. National Society for Clean Air and Environmental Protection.
- [7] Biogas Production and Utilisation. IEA Bioenergy: T37:2005:01.
- [8] Biogaz – produkcja i wykorzystanie. Institut für Energetik und Umwelt GmbH.
- [9] Cheremisinoff N.P., Cheremisinoff P.N., Ellerbusch F. 1980. Biomass: applications, technology, and production. New York: M. Dekker, c1980, 221.
- [10] Cseke L.J., Podila G.K., Kirakosyan A., Kaufman P.B. 2009. Plants as Sources of Energy. *Recent Advances in Plant Biotechnology. Part 2*: 165–210.
- [11] De Baere L. Start-up of continuous digestion plant of energy crops. 2007. Mat. Conf. „Renewable resource and biorefineries”, Ghent, Belgium.
- [12] Demirel B., Neumann L., Scherer P. 2008. Microbial community dynamics of a continuous mesophilic anaerobic biogas digester fed with sugar beet silage. *Engineering in Life Sciences* 8(4): 390–398.
- [13] Deublein D., Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. Wiley VCH.
- [14] El-Shinnawi M.M., Alaa El-Din M.N., El-Shimi S.A., Badawi M.A. 1989. Biogas production from crop residues and aquatic feeds. *Resources, Conservation and Recycling* 3(1): 33–45.
- [15] Gołaszewski J. 2009. Biorafinerie/technologie bioenergetyczne – stan obecny i perspektywy rozwoju. Proceedings of International Conference “Renewable Energy Technologies and Polygeneration”, Poznań: 20–33.
- [16] Gołaszewski J. 2009. Renewables and environmental implications. *Environmental Biotechnology* 5(1): 11–24.
- [17] Gołaszewski J., Olba-Zięty E. 2010. Biogazownia rolnicza – założenia ogólne. Raport z badań – maszynopis.
- [18] Klocke M., Nettmann E., Bergmann I., Mundt K., Soudi K., Mumme J., Linke B. 2008. Characterization of the methanogenic Archaea within two-phase biogas reactor system operated with plant biomass. *Sys. Appl. Microbiol.* 31: 190–205.
- [19] Lapp, H. M.; Schulte, D. D.; Sparling, A. B.; and Buchanan, L. C. 1975. Methane production from animal wastes. I. Fundamental Considerations. *Canadian Agricultural Engineering* 17(2): 97–102.
- [20] Lehtomäki A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Jyväskylä University Printing House.
- [21] Leven L., Ericson A.R.B., Schnürer A. 2007. Effects of process temperature on bacterial and archaeal communities in two methanogenic bioreactors treating organic household waste. *FEMS Microbiol. Ecol.* 59: 683–693.
- [22] Linke B. 2009. Biogas plants in Germany – experiences in implementation and processing. Mat. konf. „Bioenergia w rolnictwie ze szczególnym uwzględnieniem biogazu”, Poznań.
- [23] Math-Alvarez J., Viturtia A., Labrés-Luengo P., Cecchi F. 1993. Kinetic and performance study of a batch two-phase anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Biomass and Bioenergy* 5(6): 481–488.
- [24] Nijaguna B.T. 2002. Biogas Technology. New Age International Publishers (p) Ltd. N. Delhi.
- [25] Parawira W., Read J.S., Mattiasson B., Björnsson L. 2008. Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy* 32(1): 44–50.
- [26] Red. J. Popezyk. Program „Innowacyjna Energetyka – Innowacyjne Rolnictwo”. 2008. Sygnatariusze: Stowarzyszenie Energii Odnawialnej, Polska Izba Biomasy, Polska Izba Gospodarcza Energii Odnawialnej, Stowarzyszenie Niezależnych Wytwórców Energii Skojarzonej.
- [27] Regulacje ustawowe i rozporządzenia podlegające zmianom i regulujące kwestie biogazowni rolniczej i biogazu:

- a. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii,
- b. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku Prawo energetyczne (Dz. U. 1997 Nr 54, poz. 348 z późn. zm.),
- c. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 628,
- d. Ustawa z dnia 22 stycznia 2010 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw. Dz.U. z 2010 r. Nr 28, poz. 145,
- e. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2001 Nr 112, poz. 1206),
- f. Ustawa z dnia 11 marca 2004 . o ochronie zdrowia zwierząt oraz zwalczaniu chorób zakaźnych zwierząt (Dz. U. Nr 69, poz. 625 z późn. zm.),
- g. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz. U. 2007 Nr 39, poz.251 tekst jednolity),
- h. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2006 Nr 137, poz. 984),
- f. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 roku o nawozach i nawożeniu (Dz. U. 2007 Nr 147, poz. 1033).
- [28] Schattner S., Gronauer A. 2000. Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnis-stand und offene Fragen; Gülzower Fachgespräche Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial; 28–38; Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe (FNR) e.V.
- [29] Sołtysiak D. 2010. Prawne uwarunkowania wykorzystania masy pofermentacyjnej. Mat. konf. II Seminarium międzynarodowego BIOGAZ 2010, Warszawa.
- [30] Stabnikova O., Liu X.Y., Wang J.Y., Ivanom V. 2006. Quantification of methanogens by fluorescence in situ hybridisation with oligonucleotide probe. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 73: 696–702.
- [31] Suárez-Quinones T., Plöchl M., Budde J., Heiermann M., Schattauer A., Mayr H., Amon T. 2009. Feedstock optimization and preparation through enzymes and additives. www.eu-agrobiogas.net.
- [32] Szlachta J. 2008. Możliwości produkcji biogazu na bazie substratów rolniczych. Mat. Konf. „Rolnictwo jako producent energii”, Wrocław.
- [33] Updated guidebook on biogas development. 1984. United Nations. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Energy Resources Development series No. 27.
- [34] Wahlen M. 1993. The global methane cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 21: 407–426.
- [35] Weiland P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol.* 85(4): 849–60.
- [36] Wellinger A. 2008. The contribution of AD in delivering renewable energy and the role of IEA Bioenergy Task 37. Mat. Conf. „Co-digestion for an optimized production of biogas and fertilizer” Ludlow, Germany.
- [37] Yadava, L.S. Hesse P.R. 1981. The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia (A Status Report 1981). Improving Soil Fertility through Organic Recycling, FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No. 10.
- [38] Yadvika, Santosh, Sreekrishnan T.R., Kohli S., Rana V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using difference techniques – a review. *Bioresurce Technology.* www.sciencedirect.com
- [39] Założenia programu rozwoju biogazowni rolniczych. 2009. MRiRW.
- [40] Zhu X.G., Long S.P., Ort D.R. 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?. *Current Opinion in Biotechnology* 2(19): 153–159. doi:10.1016/j.copbio.2008.02.004
- [41] Zubr J. 1986. Methanogenic fermentation of fresh and ensiled plant material. *Biomass* 11: 159–171. <http://www.cire.pl/>.

The use of agricultural substrats in Polish biogas plants

Key words: biomass, biogas plant, agricultural biogas, biogas substrate, energy crops, technological process, biogas production, fermentation parameters

Summary

The paper contains a discussion on the technological determinants of agricultural biogas production, including environmental, economic, social and legislative aspects of biogas installations and prospects for development of agricultural biogas plants.

Agricultural biogas plants are becoming an integrated element of distributed energy generation and fuel system. For our natural environment, energy production and economic situation, it is more profitable to invest in the development of agricultural biogas plants than to abandon their growth. Among the most obvious environmental benefits, worth mentioning are reduction in the emission of greenhouse gases, utilization/management of organic wastes, neutralization of pathogens, inactivation of weed seeds, production of organic fertilizers and consequently reduced use of mineral fertilizers (further reduction of LCA), protection of groundwater and a possibility of reusing water from filtered post-fermentation waste. In respect of energy production, it is crucial that universal and renewable fuel may be produced from biomass in decentralised energy generation plants. Another important aspect is the implementation of a pro-consumer concept (local production and energy use), which additionally is a part of the energy safety policy. The economic profit derived from agricultural biogas plants is a product of the above benefits. The process of methane production is an added value of agricultural production and processing as it transforms stored waste into profitable energy generation centres and enables consumers to be independent from imported energy. An agricultural biogas plant generates variable income depending on the waste utilization, property rights arising from green certificates, sale of organic fertilizer, energy or biofuel.

The opportunity of obtaining a variety of different chemicals from agricultural biomass has not been fully explored yet, but it can be assumed that future agricultural biogas plants can be considered as components of an integrated agricultural biorefinery. Balancing the agricultural substrate for its most efficient utilization, including the recycling of trace amounts of nutraceuticals, bioavailable compounds used in food additives and in animal feeds or hardy degradable compounds used for production of industrial components as well as central utilization of post-fermentation waste for energy generation can ensure a more efficient conversion of biomass into energy and other functional products.

Możliwości wykorzystania tanin w ochronie zdrowia zwierząt i ludzi

Marcin Barszcz, Jacek Skomial

*Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego PAN,
ul. Instytucka 3, 05-110 Jabłonna
e-mail: m.barszcz@ifzz.pan.pl*

Słowa kluczowe: taniny, biosynteza, aktywność prozdrowotna, człowiek, zwierzęta

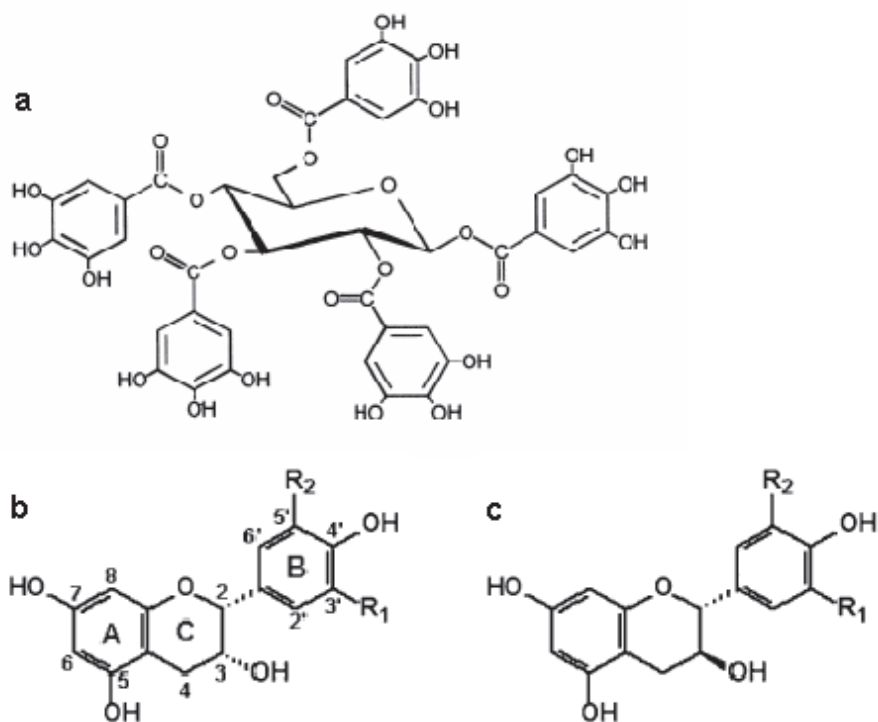
Wstęp

Termin „tanina” był pierwotnie używany do opisu substancji znajdujących się w ekstraktach roślinnych, stosowanych do utrwalania skór zwierzęcych [18]. Substancje niezbędne w tym procesie, garbniki, zostały później zidentyfikowane jako związki o zróżnicowanej masie cząsteczkowej i budowie. Taniny zdefiniowano jako naturalnie występujące, rozpuszczalne w wodzie związki polifenolowe o masie cząsteczkowej między 500 a 3000 Da, zdolne do tworzenia kompleksów z białkami, polisacharydami, a także jonami metali [18, 41]. Na podstawie budowy i reaktywności wyróżniono taniny hydrolizujące i skondensowane. Są one obecne w wielu produktach pochodzenia roślinnego używanych jako żywność dla ludzi lub pasza dla zwierząt [18]. Taniny są tradycyjnie zaliczane do czynników antyżywnościowych. Do niekorzystnych efektów ich działania należy m.in. pogorszenie smaku paszy, zmniejszenie jej pobrania przez zwierzęta, zmniejszenie przepuszczalności jelita dla składników pokarmowych oraz tempa wzrostu, podrażnienie przewodu pokarmowego i inhibicja enzymów trawiennych [4, 22, 50]. Taniny zostały także poznane jako substancje o właściwościach prozdrowotnych. Z tego powodu przeżywają obecnie renesans jako silne przeciwutleniacze, środki przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe i przeciwnowotworowe [13]. Prozdrowotny potencjał tanin może zostać wykorzystany również w produkcji zwierzęcej.

Budowa chemiczna i biosynteza tanin

Jedną z dwóch wielkich grup tanin są taniny hydrolizujące. Związki te są łatwo hydrolizowane przez kwasy, zasady lub enzymy do monomerycznych produktów [18, 41]. W centrum cząsteczki znajduje się rdzeń cukrowy, którym może być glukoza lub inne węglowodany, np. hamameloza, kwas szikimowy, chinowy, a nawet pektyny. Grupy hydroksylowe sacharydu są częściowo lub całkowicie zestryfikowane resztami kwasu galusowego lub jego pochodnymi, np. kwasem heksahydroksydifenowym i m-digalusowym. Estry kwasu galusowego to galotaniny. Są one najprostszymi taninami, z których w wyniku rozkładu powstaje glukoza i kwas galusowy. Dobrze znaną galotaniną jest kwas taninowy o wzorze sumarycznym $C_{76}H_{52}O_{46}$. Rdzeń tej cząsteczki stanowi pentagalusan glukozy, do którego, poprzez wiązania depsydowe, przyłączone są kolejne jednostki kwasu galusowego (rys. 1a). W kwasie taninowym na jeden mol glukozy przypada 8–10 moli kwasu galusowego [33].

Drugi rodzaj tanin hydrolizujących to elagotaniny. Są to estry cukru i kwasu heksahydroksydifenowego (HHDP), który w roztworze wodnym spontanicznie ulega laktonizacji do kwasu elagowego. Podczas hydrolizy elagotanin uwalniana jest glukoza i kwas elagowy razem z kwasem galusowym, a czasem także inne kwasy o strukturze zbliżonej do kwasu galusowego [41].



Rysunek 1. Pentagalusan glukozy i starterowe flawan-3-ole proantocyjanidyn [11, 13]

Prekursorem tanin hydrolizujących jest kwas galusowy. Znane są główne etapy przekształceń tego związku do złożonych galusanów glukozy i elagotanin [37]. Otwarta pozostaje jednak kwestia mechanizmu syntezy samego kwasu w roślinach wyższych. Za najbardziej prawdopodobny mechanizm jego syntezy uważana jest bezpośrednia aromatyzacja kwasu dehydroszikimowego [37].

Biosyntezę tanin hydrolizujących można podzielić na trzy etapy. Początkowa sekwencja składa się z reakcji od wolnego kwasu galusowego do 1,2,3,4,6-penta-O-galusanu- β -D-glukopiranozy. Produkt końcowy pierwszej części reakcji, penta-galusan glukozy, odgrywa zasadniczą rolę jako natychmiastowy prekursor dwóch kolejnych szlaków, z których jeden prowadzi do złożonych galotanin, natomiast drugi do elagotanin [13].

Specyficznym metabolitem na szlaku biosyntezy tanin hydrolizujących jest β -glukogalina. Z powodów termodynamicznych, estryfikacja kwasu galusowego i glukozy do tego związku jest zależna od udziału aktywnego intermediatu o wysokim potencjale do transferu grup. Badania enzymologiczne wykazały, że związkiem tym jest powszechny metabolit, UDP-glukoza [13].

„Proste” galusany glukozy są przekształcane do złożonych galotanin przez addycję kolejnych reszt galusanowych do pentagalusanu glukozy, w celu uzyskania meta-depsydowych grup, które charakteryzują tę klasę fenolowych związków roślinnych. Należy podkreślić, że proces ten nie jest zwykłą kontynuacją reakcji estryfikacji z poprzednich etapów, ponieważ nowo wprowadzane fragmenty galusanowe łączą się z fenolowymi grupami hydroksylowymi, których chemiczne właściwości różnią się znacznie od alifatycznych grup hydroksylowych glukozy. Zaskakujące było zatem odkrycie, że surowe preparaty enzymatyczne z liści sumaka (*Rhus typhina* L.) katalizują kolejne transformacje pentagalusanu glukozy do złożonych galotanin, zgodnie z takim samym mechanizmem jak wcześniej, tzn. przy użyciu β -glukogaliny jako specyficznego donora reszt kwasu galusowego. Badania enzymatyczne ujawniły istnienie licznych izoenzymów w liściach sumaka, które *in vitro* uczestniczą w acylacji pentagalusanu glukozy do wyżej podstawionych pochodnych. Spośród nich wyizolowano i scharakteryzowano cztery galusanotransferazy (A–D), różniące się właściwościami [13].

W przeciwieństwie do ograniczonego występowania galotanin w przyrodzie, elagotaniny są typowymi składnikami wielu roślin. Związki te przedstawiają olbrzymią różnorodność struktury, która wynika z wielu możliwości połączenia reszt HHDP z glukozą, a zwłaszcza z ich silnej tendencji do tworzenia różnych pochodnych di- i oligomerycznych, które są połączone wiązaniami C-C i C-O-C. Reszty kwasu HHDP pochodzą z dehydrogenacji sąsiednich grup galusanowych pentagalusanu glukozy. Reszty kwasu galusowego przy C₄ i C₆ łączą się, dając jedną grupę kwasu HHDP, co prowadzi do powstania telimagrandiny II, głównego metabolitu elagotaninowego, który może być poddawany kolejnym reakcjom utleniania [13].

Na podstawie badań immunohistochemicznych stwierdzono, że głównym miejscem powstawania i odkładania tanin hydrolizujących są komórki mezofilu liścia. Cytotoksyczne taniny hydrolizujące są gwałtownie wydzielane do apoplastu lub są bezpośrednio wytwarzane i odkładane w tym przedziale komórkowym, w którym mogą wykazać potencjał ochronny bez uszkodzania komponentów cytoplazmatycznych [13].

Taniny skondensowane (niehydrolizujące) pod względem struktury są bardziej złożone niż taniny hydrolizujące. Określane są również jako proantocyjanidyny, gdyż podczas kwaśnej hydrolizy jednostki wydłużające się przekształcają do zabarwionych antocyjanidyn, co stanowi podstawę klasycznego oznaczania tych związków [11]. Związki te od dawna są stosowane jako garbniki. Nadają cierpki, ściągający smak herbacie, winom i sokom owocowym [11]. Przy niższych stężeniach związki te chronią białko, natomiast przy wyższych koncentracjach pogarszają jakość zielonek [49]. Taniny skondensowane uważa się także za przyczynę ostrego zapalenia płuc u pracowników młynów bawełnianych i elewatorów zbożowych [54]. Chemia proantocyjanidyn była badana przez wiele dekad. W związku z oddziaływaniem na zdrowie roślin, ludzi i zwierząt substancje te stają się celem modyfikacji genetycznych, które mają za zadanie poprawić jakość pasz i wartości zdrowotne diety człowieka [11].

Taniny niehydrolizujące są pochodnymi flawonoidów, zróżnicowanej grupy metabolitów o charakterystycznym szkieletie węglowym C₆-C₃-C₆. Są to oligomery lub polimery, które w przeciwieństwie do tanin hydrolizujących nie zawierają jednostek cukrowych [41].

Monomery proantocyjanidyn składają się z odmian dwóch różnych serii izomerów. Pierwszą tworzą izomery zawierające jedną, dwie lub trzy grupy hydroksylowe w pierścieniu B, drugą epimery różniące się konfiguracją grupy 3-hydroksylowej w pierścieniu C, reprezentowane przez 2,3-trans katechinę i 2,3-cis epikatechinę. Katechina i epikatechina są określane jako monomery flawan-3-olowe. Inicjują one proces polimeryzacji przez reagowanie z flawan-3,4-diolami, np. leukocyjanidyną, w celu wytworzenia dimeru proantocyjanidynowego [1].

Struktura tanin skondensowanych różni się w zależności od natury starterowych flawan-3-oli i jednostek wydłużających (stereochemii i modelu hydroksylacji), pozycji i stereochemii wiązania w stosunku do „niższej” jednostki, stopnia polimeryzacji oraz obecności lub braku modyfikacji takich jak estryfikacja grup 3-hydroksylowych [11]. Model hydroksylacji pierścienia B pary katechina/epikatechina jest determinowany przez obecność lub brak enzymów, 3'-hydroksylazy flawonoidowej oraz 3',5'-hydroksylazy flawonoidowej. Są to monoooksygenazy cytochromu P₄₅₀, które działają wcześniej na szlaku biosyntezy proantocyjanidyn [11]. Efektem braku aktywności tych enzymów jest pierścień B zhydroksylowany tylko w pozycji 4', co daje parę (-)epiafzelechina/(+)afzelechina. Obecność obu enzymów prowadzi do powstania pary (-)epigalokatechina/(+)galokatechina (rys. 1b, c).

Oligomeryczne proantocyjanidyny składające się z takich samych jednostek, z dwiema grupami hydroksylowymi (3' i 4') w pierścieniu B nazywane są procyjani-

dynami, podczas gdy mieszane oligomery z przynajmniej jedną jednostką zawierającą tylko grupę 4'-hydroksylową lub 3',4',5'-trzyhydroksylowy model, są określane odpowiednio propelargonidynami i prodelphinidynami.

Proantocyjanidyny typu B (B1 – B4) różnią się tylko ułożeniem starterowych jednostek, (+)-katechiny i (–)-epikatechiny oraz jednostek wydłużających. Ich tworzenie musi podlegać ścisłej kontroli enzymatycznej, dlatego że różne typy dimerów są charakterystyczne dla określonych gatunków roślin, np. procyjanidyna B1 występuje w winogronach, sorgu i żurawinie, B2 w jabłku, ziarnie kakaowca oraz wiśni, B3 w truskawce i baziach wierzbowych, a B4 w malinie i jeżynie [11].

W taninach skondensowanych rzadko występują inne jednostki niż flawan-3-ole. Dość często jednak grupa OH – przy atomie węgla C₃ – jest estrowo związana z kwasem galusowym, jak w przypadku proantocyjanidyn z pestek winogron. Dzięki metodzie HPLC oraz spektrometrii masowej określono szczegółowe profile proantocyjanidynowe dla ponad 40 źródeł pożywienia [11]. Taniny skondensowane wywodzą się ze szlaku flawonoidowego, prowadzącego do barwników antocyjanowych i intensywnie badanego na poziomie biochemicznym i genetycznym [11]. Przez wiele lat przypuszczano, że biosynteza proantocyjanidyn jest odgałęzieniem szlaku flawonoidów na poziomie leukoantocyjanidyny. Jednostki flawan-3-oli pochodzą zarówno ze szlaku fenylopropanowego jak i przemian malonylo-CoA [2].

Cały czas trwają rozważania nad enzymatycznym lub nieenzymatycznym mechanizmem kondensacji prowadzącym do powstania proantocyjanidyn. Za prekursorzy jednostek wydłużających w taninach skondensowanych zostały uznane metylochinon lub karbokation pochodzący od leukoantocyjanidyny. Fundamentalne wsparcie dla tej hipotezy dała kondensacja katechiny lub epikatechiny z leukocyjanidyną pochodzącą od dihydrokwercetyny w warunkach *in vitro* [11].

Powstawanie monomerów tanin skondensowanych zachodzi w cytoplazmie, natomiast produkty końcowe gromadzone są w wakuolach [1]. Międzykomórkowy i wewnątrzkomórkowy transport metabolitów roślinnych nie został dobrze poznany. Prawdopodobne jest jednak to, że transport z miejsca syntezy do miejsca magazynowania jest krytycznym punktem w biosyntezie i gromadzeniu tanin skondensowanych [11].

Występowanie i funkcje tanin w roślinach

Taniny znajdują się w ponad 80% roślin drzewiastych i w 15% gatunków dwuliściennych roślin zielnych [48]. Taniny skondensowane występują w większości grup roślin nagonasiennych oraz są szeroko rozprzestrzenione w drzewiastych roślinach okrytozalążkowych. Proantocyjanidyny i monomeryczne flawan-3-ole oraz ich pochodne są obecne w owocach, korze, liściach oraz nasionach roślin [11]. Związków tych nie wykryto w wielu zielnych roślinach okrytonasiennych oraz w bardzo prymitywnych roślinach naczyniowych [2]. Taniny hydrolizujące występują tylko w roślinach dwuliściennych [48]. Mogą znajdować się w drewnie, korze, liściach, owocach

i galasach. Pewne gatunki roślin wytwarzają albo galotaniny albo elagotaniny, podczas gdy inne syntetyzują mieszaniny zawierające taniny hydrolizujące i skondensowane [33, 48].

Niektóre ważne gatunki roślin używane jako żywność dla ludzi lub pasza dla zwierząt zawierają znaczne ilości tanin, np. ziarno sorga, prosa, jęczmienia, nasiona rzepaku i wielu roślin strączkowych. Owoce, w których obecne są taniny i inne związki polifenolowe to: jabłka, banany, jeżyny, daktyle, winogrona, brzoskwinie, gruszki, śliwki, maliny i truskawki [18]. Spośród tych gatunków winogrona zawierają prawdopodobnie największą ilość tanin skondensowanych, których koncentracja jest największa w pestkach [51].

Taniny hydrolizujące i skondensowane występują w liściach drzew, krzewów i zielnych roślin motylkowatych, które są ważnym źródłem pożywienia dla przeżuwaczy, zwłaszcza na terenach pustynnych i półpustynnych [18]. Zawartość tanin w liściach drzew i krzewów różni się znacząco między gatunkami. W przeliczeniu na suchą masę może wynosić od 1,5 do 30% [18]. Niektóre rośliny motylkowate, takie jak lucerna, esparceta, nostrzyk, koniczyna czerwona i koniczyna biała, znane są z tego, że zawierają znaczne ilości tanin hydrolizujących lub skondensowanych, albo obydwie grupy tych polifenolowych związków. W odniesieniu do nasion roślin strączkowych taniny wykryto w fasoli, grochu, bobiku, cieciorce, fasolniku chińskim i soczewicy. W większości nasion są to taniny skondensowane [18].

Wysoką koncentrację tanin stwierdzano w ziarnie sorga. Zawartość tanin, wyrażona jako procentowy równoważnik katechiny, wahała się od 3,6–10,2% [18]. W odmianach uprawnych ilość tanin zwykle nie przekracza 1% [51]. W innych zbożach ilości te są podobne lub mniejsze. W różnych odmianach jęczmienia całkowita zawartość tych substancji wynosiła od 0,55 do 1,23%, w pszenicy mniej niż 0,7%, a w życie poniżej 0,5% [18, 50].

Taniny są uważane za związki chemiczne służące roślinom do obrony przed patogenami i roślinożercami. Obrona ta jest uważana za siłę napędową w ewolucji wielu substancji w królestwie roślin [40] i mogła odegrać główną rolę w kształtowaniu cech biochemicznych tanin [2]. Proantocyjanidyny wyewoluowały przypuszczalnie w późnym dewonie lub karbonie [2]. Wydaje się, że umiejscowienie tych związków w wewnętrznej warstwie okrywy nasiennej wielu gatunków jest klasycznym przykładem pierwszej linii obrony. Z funkcją ochronną związana jest także obecność proantocyjanidyn we włoskach wydzielniczych [11].

Taniny mają właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybowe [48]. Zdolność do wiązania żelaza stanowi jeden z mechanizmów przeciwbakteryjnej aktywności proantocyjanidyn. Brak tego pierwiastka powoduje silne ograniczenie wzrostu bakterii [11]. Taniny skondensowane tworzą kompleksy z jonami metali wykorzystując grupy o-difenolowe. Z tej właściwości rośliny mogą też czerpać inne korzyści. Dzięki zdolności do wiązania jonów metali komonica błotna (*Lotus pedunculatus* CAV.) jest odporna na duże stężenia aluminium w glebie i może gromadzić ten metal w bogatych w taniny wakuolach znajdujących się w korzeniach [11].

Pozytywne oddziaływanie tanin na organizmy zwierząt

Taniny są związkami o wielokierunkowym oddziaływaniu na organizmy zwierząt, którym dotychczas najczęściej przypisywano właściwości przeciwżywniowe. Działanie tanin może mieć jednak aspekt pozytywny, który pozwala zaliczyć je do nutraceutyków. Nutraceutykiem jest każda substancja, która jest pokarmem lub jego częścią i ma pozytywny wpływ na zdrowie, dzięki czemu może być zastosowana w profilaktyce i terapii różnych chorób. Nutraceutykami mogą być izolowane składniki pokarmowe, dodatki do żywności, specyficzne diety, produkty ziołowe oraz przetworzone pokarmy lub napoje [47].

Taniny, dostarczane z paszą w umiarkowanych ilościach, mogą korzystnie wpływać na produkcję zwierzęcą. Zasugerowano, że nieznaczna cierpkość, wynikająca z obecności tych polifenolowych związków, poprawia smakowitość paszy i stymuluje jej pobieranie przez zwierzęta. Tłumaczyłoby to również preferowanie przez ludzi napojów, takich jak herbata lub czerwone wino, w których obecne są taniny. Preferencje te u człowieka tłumaczy się zmysłem smaku szczególnie wrażliwym na obecność tych substancji.

Niektóre rośliny zawierające taniny (gatunki z rodzajów: *Acacia*, *Dichrostachys*, *Dorycnium*, *Hedysarum*, *Leucaena*, *Lotus*, *Onobrychis*, *Populus*, *Rumex* i *Salix*), stosowane jako pasza dla przeżuwaczy, mogą mieć pozytywny wpływ wynikający głównie z oddziaływania na trawienie białek. Taniny mogą redukować ilość białka trawionego w żwaczu i zwiększać jego ilość, podlegającą trawieniu w jelicie cienkim [30, 53]. Dokładny mechanizm działania, prowadzący do poprawy wykorzystania białka, nie jest w pełni zrozumiały. Doświadczenia *in vitro* doprowadziły do postawienia hipotezy mówiącej, że kompleksy białek z taninami powstają przy pH panującym w żwaczu (pH 6–7), a obniżenie wartości pH w trawieńcu poniżej 3,5 oraz wzrost pH w jelicie cienkim powyżej 7 powoduje uwolnienie białek z kompleksów. Umożliwia to trawienie białka w żołądku oraz sprawia, że staje się ono dostępne dla enzymów trawiennych wydzielanych przez trzustkę [34]. Badania nad taninami komonicy zwyczajnej wykazały, że nie tylko odwracalne wiązanie z białkiem, ale także zmniejszenie populacji bakterii proteolitycznych w żwaczu owcy, przyczynia się do ograniczenia trawienia białka w tej części przewodu pokarmowego [29, 30].

Umiarkowane stężenia tanin wpływały korzystnie na tempo wzrostu przeżuwaczy, zwiększały wydajność mleczną oraz płodność, a u owiec przyspieszały wzrost wełny. Korzyści te wynikają z większej dostępności i absorpcji aminokwasów w jelicie cienkim [30]. U owiec żywionych komonicy zwyczajną, aminokwasy są wchłaniane na całej długości jelita cienkiego, a nie tylko w początkowym jego odcinku, co ma miejsce w przypadku neutralizacji tanin glikolem polietylenowym [53]. Według Aerts i in. [2] do poprawy wykorzystania białka przez owce wymagana jest zawartość tanin skondensowanych na poziomie 2–4% suchej masy.

Taniny wpływają korzystnie nie tylko na metabolizm białka. Mogą także poprawiać dobrostan zwierząt przez zapobieganie wzdęciom i inwazjom pasożytów wewnętrznych [2, 30]. Dowody na to, że zwierzęta używają roślin w celach leczniczych są ciągle niejednoznaczne [17]. Spożywanie przez kozy zielonki z *Lespedeza cuneata*, zawierającej 50 g tanin skondensowanych (CTs) w kg s.m., spowodowało znaczną redukcję (od 57 do 100%) liczby jaj nicieni w kale oraz liczby samych nicieni należących do rodzajów: *Haemonchus*, *Teladorsagia* i *Trichostrongylus* [31]. Duży udział suszonych liści *Acacia karroo* HAYNE (ok. 240 g CTs kg⁻¹) w dawce pokarmowej dla kóz również istotnie zmniejszył liczbę jaj pasożytów oraz stopień zarobaczenia przez *Haemonchus contortus* (RUDOLPHI) COBB [20].

Ostatnie badania pokazały, że taniny quebracho (*Schinopsis lorentzii* ENGL.) wywierały bezpośredni wpływ przeciwpasożytniczy na ważnego z ekonomicznego punktu widzenia nicienia *Trichostrongylus colubriformis* (GILES) [5]. Dieta jagniąt miała istotny wpływ na wylęganie się larw tego pasożyta z jaj oraz ich rozwój. Z odchodów jagniąt żywionych *Dorycnium rectum* (L.) SER. i komonimą zwyczajną, czyli roślinami bogatymi w taniny, uzyskiwano istotnie mniej larw niż od jagniąt, których paszę stanowiły koniczyna biała, lucerna i siekiernica włoska (*Hedysarum coronarium* L.) zawierające mniej tanin [36]. Według Ramirez-Restrepo i in. [42] komonica zwyczajna wyeliminowała potrzebę odrobaczania maciorek przed wykotem.

Inhibujące działanie tanin zależy od gatunku rośliny [34]. Dokładne mechanizmy, dzięki którym pasze zawierające taniny zdolne są przeciwdziałać skutkom inwazji pasożytów, nie są jednak znane. Zaobserwowana w warunkach *in vitro* aktywność przeciwpasożytnicza tanin quebracho, mogłaby zostać przypisana zdolności do tworzenia kompleksów z białkami. Taniny mogłyby wiązać wolne białko znajdujące się w studzienkach do odżywiania larw, prowadząc w ten sposób do ich zagłodzenia i śmierci. Rozwój pasożytów mógłby zostać zaburzony także w wyniku absorpcji tanin skondensowanych w ich przewodzie pokarmowym. Równie prawdopodobna jest śmierć larw, spowodowana utworzeniem kompleksu tanin z kutikulą larwy, bogatą w glikoproteinę [5]. Taniny skondensowane mogą działać na pasożyty przewodu pokarmowego pośrednio, poprzez wywieranie wpływu na organizm gospodarza. Chroniąc białko przed rozkładem w żwaczu, taniny zwiększają jego dostępność w jelicie cienkim, przyczyniając się do wzmocnienia odpowiedzi immunologicznej przeciwko pasożytom [5].

Do kontroli pasożytów wewnętrznych u owiec, z minimalnym użyciem środków odrobaczających, zaproponowano metodę żywienia, w której rośliny zawierające proantocyjanidyny i wolne od nich są podawane zwierzętom na przemian [2]. Odkrycia te mają duże znaczenie, ponieważ hodowla owiec i kóz boryka się z problemem, jaki stanowi rozwój odporności nicieni na środki syntetyczne. Powoduje to znaczne straty w Afryce, Ameryce Południowej i Australii oraz zaczyna stanowić problem także w USA [34]. W związku z tym konieczne jest poszukiwanie nowych metod

kontroli [2]. Zielonki zawierające taniny skondensowane mogłyby zostać użyte do kontrolowania inwazji pasożytów przewodu pokarmowego i zmniejszyć potrzebę doustnego podawania środków odrobaczających [31].

Powszechnym zaburzeniem u bydła żywionego świeżą zielonką z roślin motylkowatych jest wzdęcie. Spowodowane jest ono powstaniem w żwaczu stabilnej białkowej piany, która zapobiega uwalnianiu gazów fermentacyjnych. Prowadzi to do rozszerzenia żwacza [2], a w dalszej kolejności do ucisku na serce i płuca, w wyniku czego może nastąpić śmierć zwierzęcia poprzez uduszenie. Przeciętne roczne straty z tego powodu w Australii szacowane są na 180 mln USD, a w USA na ponad 310 mln USD [2]. Występowaniu wzdęć sprzyja m.in. spożywanie przez zwierzęta młodych, soczystych zielonek z koniczyny lub lucerny [34]. Przyczyną wzdęć nie są natomiast rośliny motylkowate zawierające taniny, np. komonica i esparceta. Do zapobiegania tym zaburzeniom wystarczająca jest koncentracja tanin skondensowanych na poziomie 1–5 g kg⁻¹, czyli ok. 0,5% s.m. [24]. Od wielu lat wiadomo, że pasze zawierające proantocyjanidyny nie powodują wzdęć, gdyż związki te destabilizują białkową pianę [2]. Taniny mogą także powodować inhibicję wzrostu bakterii żwaczowych wytwarzających szlam, co również zostało zaproponowane jako możliwy mechanizm ochrony przeżuwaczy przed wzdęciami [34].

Obecność lub dodatek tanin do paszy dla zwierząt ma także korzystny wpływ na produkcję lotnych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym [6], co może oddziaływać na strukturę i funkcje przewodu pokarmowego.

Taniny mogą także znaleźć zastosowanie w zapobieganiu innym schorzeniom u zwierząt. Produkt oparty na kastalaginie z kasztana jadalnego jest obecnie używany w profilaktyce i leczeniu biegunek u bydła i świń, których przyczyną są zmiany w diecie. Korzystne działanie tego preparatu polega na zapobieganiu stratom wody przez błonę śluzową [21]. W przypadku biegunek u cieląt, skuteczny okazał się wyciąg z zielonej herbaty. Obecne w nim polifenole stymulują wzrost korzystnych bakterii *Bifidobacterium* i *Lactobacillus*, a hamują rozwój szkodliwych, np. *Clostridium perfringens* [3, 34]. Prebiotyczne działanie zostało przypisane procyjanidynom [51].

Polifenole, zwłaszcza te z grupami hydroksylowymi w pozycji orto lub para, wyróżnia łatwość włączania się w reakcje redoks. W związku z ich zdolnością do transferu protonów i elektronów, nie tylko podlegają utlenianiu, ale także biorą udział w oksydacji substratów, które nie reagują z tlenem [23]. Taniny hydrolizujące i skondensowane są skutecznymi antyoksydantami o aktywności większej niż proste związki fenolowe [14].

Antyoksydanty dzieli się zazwyczaj na główne i podrzędne [26]. Ich funkcja polega na zmianianiu wolnych rodników i reaktywnych form tlenu, dzięki czemu chronią one przed utlenieniem nienasycone kwasy tłuszczowe, wchodzące w skład błon komórkowych ludzi i zwierząt [7]. Antyoksydanty główne, przerywające reakcję łańcuchową, reagują z rodnikami lipidowymi, przekształcając je w bardziej stabilne produkty. Antyoksydanty podrzędne, czyli prewencyjne, zmniejszają tempo inicjacji

reakcji łańcuchowej lub rozkładają wodoronadtlenki do form nierodnikowych. Roślinne związki fenolowe oraz niektóre produkty ich degradacji są wielofunkcyjne, pełnią rolę zarówno przeciwutleniaczy głównych jak i podrzędnych. Mogą działać jak związki redukujące, chelatujące jony metali oraz gaszące tlen singletowy [26]. Tworzenie kompleksów z jonami metali, zwłaszcza żelazem i miedzią, powoduje utratę ich aktywności katalitycznej. Ma to duże znaczenie w aktywności przeciwutleniającej związków fenolowych, gdyż jony tych metali powodują powstawanie wolnych rodników w reakcji Fentona [7, 26].

Ważnymi przeciwutleniaczami są elagotaniny. Ten rodzaj tanin hydrolizujących obejmuje bardzo skuteczne inhibitory lipooksygenazy. Zahamowanie aktywności tego enzymu prowadzi do ograniczenia oksydacji lipidów w organizmie. Inhibicja lipooksygenazy powoduje także zmniejszenie syntezy leukotrienów, związków, które aktywują komórki żerne. W ten sposób elagotaniny przyczyniają się do ograniczenia reakcji zapalnej ustroju [7].

Taniny jako prozdrowotny składnik diety człowieka

Potencjał prozdrowotny tanin może być wykorzystywany nie tylko w produkcji zwierzęcej i medycynie weterynaryjnej, ale również w medycynie ludzkiej. Ostatnio prowadzone badania skupiają się na efektach terapeutycznych i profilaktycznych, takich jak zapobieganie zmianom miażdżycowym w naczyniach krwionośnych i wychwytywanie wolnych rodników [23].

Stres oksydacyjny jest czynnikiem chorobotwórczym. Powstające w jego wyniku reaktywne formy tlenu (RFT), takie jak anionorodnik ponadtlenkowy, nadtlenuk wodoru i rodnik hydroksylowy, atakują cząstki biologiczne, prowadząc do uszkodzeń komórek lub tkanek [7, 23]. Powstawanie RFT oraz hiperglikemia u chorych na cukrzycę są przyczyną powikłań: retinopatii, neuropatii i nefropatii [16]. Dzięki właściwościom przeciwutleniającym, taniny mogą pełnić bardzo ważną rolę w hamowaniu mechanizmów oksydacyjnych, które jak podają Rocha-Guzmán i in. [44], mogą prowadzić do chorób zwyrodnieniowych. Dieta pełni także ważną rolę w kontrolowaniu cukrzycy typu drugiego. Dowody wskazują na to, że proso, które jest bogatym źródłem tanin i innych przeciwutleniaczy, ma potencjalnie korzystny wpływ, gdyż jego spożywanie łagodzi lub opóźnia pojawianie się powikłań związanych z cukrzycą [16]. Badania przeprowadzone na szczurach, u których cukrzyca została wywołana alloxanem, wykazały obniżenie poziomu glukozy i cholesterolu we krwi zwierząt otrzymujących proso w diecie. Zaobserwowano również przywrócenie właściwego poziomu białka we krwi, zmniejszenie ilości substancji reagujących z kwasem tiobarbiturowym (TBARS), zahamowanie glikacji kolagenu oraz przywrócenie aktywności enzymów, biorących udział w ochronie organizmu przed stresem oksydacyjnym: dysmutazy ponadtlenkowej, katalazy, peroksydazy glutationowej i reduktazy glutationowej [16].

Z żywieniowego punktu widzenia taniny są interesujące również ze względu na ich wpływ na metabolizm lipidów. Szczególne znaczenie ma działanie hipocholesterolemiczne oraz ochrona frakcji lipoprotein o małej gęstości (LDL) przed utlenieniem [27]. Badania kliniczne, genetyczne i epidemiologiczne pokazują, że podniesiony poziom LDL, który jest główną lipoproteiną przenoszącą cholesterol w osoczu, stanowi ważny czynnik ryzyka wystąpienia miażdżycy. Wydaje się, że wolnorodnikowe utlenianie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, które wchodzi w skład LDL, może odgrywać ważną rolę w rozwoju tej choroby [27]. Utlenione LDL (Ox-LDL) są przyjmowane przez makrofagowy receptor resztkowy (receptor typu scavenger), co skutkuje akumulacją estrów cholesterolu i tworzeniem komórek piankowatych. Ox-LDL promują miażdżycę także poprzez rekrutację i zatrzymanie monocytów w blaszce wewnętrznej naczynia krwionośnego, cytotoksyczność w stosunku do komórek śródbłonna oraz przez stymulację adhezji monocytów do śródbłonna [19]. Wchłonięte polifenole mogą łączyć się z LDL osocza i chronić je przed utlenieniem [28, 52]. W związku z tym zdolność antyoksydacyjna polifenoli może mieć duże znaczenie w zapobieganiu miażdżycy, tym bardziej że substancje te, według Sánchez-Moreno i in. [45], są lepszymi przeciwutleniaczami niż inne powszechnie stosowane antyoksydanty, np. witamina C i E.

Niektóre badania wskazują na powiązanie zwiększonego poziomu związków fenolowych w diecie z obniżoną śmiertelnością z powodu choroby wieńcowej [27]. Korzyści związane z aktywnością antyoksydacyjną ekstraktu proantocyjanidyn z pestek winogron (GSPE) zostały ocenione na licznych modelach zwierzęcych i komórkowych [11]. Żywienie szczurów GSPE z pestek czerwonych winogron przez 3 tygodnie, wpływało korzystnie na regenerację serca w czasie reperfuzji po niedokrwieniu, co zostało powiązane ze znaczną redukcją poziomu wolnych rodników [39]. Efekt ochronny GSPE stwierdzono także w przypadku kardiomiocytów kurcząt [46]. Próby kliniczne przeprowadzone na ludziach wykazały, że spożywanie GSPE może istotnie obniżyć ilość utlenionych LDL, które są markerem chorób sercowo-naczyniowych [11] oraz obniżyć poziom nadtlenków lipidowych w osoczu w czasie fazy poposiłkowej [35]. Może to wyjaśnić korzystny wpływ picia czerwonego wina w czasie posiłku. Dodatkowym atutem wyciągu z pestek winogron jest jego bezpieczeństwo, co zostało potwierdzone w badaniach na zwierzętach laboratoryjnych, którym przez długi okres podawano wystandaryzowane ekstrakty GSPE [43].

Stężenie cholesterolu we krwi może być regulowane przez jego biosyntezę, usuwanie z obiegu, wchłanianie cholesterolu pokarmowego oraz wydalanie z żółcią i odchodami. Komórkowa homeostaza cholesterolu jest bardzo ważna w zapobieganiu chorobom układu sercowo-naczyniowego. Wyniki licznych badań potwierdzają korzystny wpływ inhibitorów reduktazy hydroksymetyloglutarylo-CoA (HMG-CoA) i acylotransferazy cholesterolowej (ACAT) na hipercholesterolemię i miażdżycę [38]. Aktywność tych dwóch enzymów została zahamowana przez dodatek 0,1% kwasu tanninowego do paszy dla szczurów. Ponadto związek ten istotnie obniżył poziom

cholesterolu i triacylogliceroli we krwi, zwiększył stosunek cholesterolu związanego z frakcją HDL do cholesterolu całkowitego, spowodował zmniejszenie indeksu aterogenego oraz istotne zwiększenie ilości steroli w kale [38]. Podobne efekty uzyskano u hipercholesterolemicznych szczurów, stosując bogate w polifenole wytloki z winogron [27].

Taniny wykazują również właściwości antynowotworowe. Jak wcześniej wspomniano elagotaniny powodują zahamowanie aktywności lipooksygenazy i ograniczenie oksydacji lipidów. Ma to znaczenie w hamowaniu promocji nowotworów, gdyż utlenione metabolity kwasu arachidonowego mają właściwości karcynogenne [26]. Terapia z zastosowaniem agrimoniny, antynowotworowej elagotaniny z *Agrimonia pilosa* LEDEB., pobudziła cytotoksyczne, adherencyjne komórki wysięku otrzewnowego (PEC) oraz aktywność komórek NK. Zasugerowano, że elagotaniny przejawiają antynowotworowe działanie przez wzmocnienie odpowiedzi immunologicznej w organizmie. Potwierdziło to także badanie oenoteiny B, elagotaniny o unikalnej budowie makrocyklicznej z wiesiołka czerwonielihowego (*Oenothera erythrosepala* BORBÁS), która po zastosowaniu *in vivo* indukowała wiele komórek PEC. Makrofagi te były cytostatyczne w stosunku do komórek nowotworowych myszy. Uwalniały one czynnik aktywujący limfocyty (LAF) o aktywności interleukiny-1, która jest wytwarzana przez makrofagi człowieka. Uważa się, że oenoteina B pełni w organizmie funkcję immunomodulatora lub immunoregulatora. Wydaje się, że głównym mechanizmem jej antynowotworowego działania jest bezpośrednia stymulacja makrofagów [32].

Taniny skondensowane wyizolowane z czarnej fasoli, w warunkach *in vitro* hamowały wzrost komórek nowotworowych okrężnicy, piersi i prostaty. Ich cytotoksyczne działanie polegało na obniżeniu poziomu ATP, co pociągało za sobą zmniejszenie aktywności proliferacyjnej i migracyjnej komórek. Taniny powodowały również zmiany morfologiczne wskazujące na apoptozę [8].

Kolejnym aspektem działania przeciwnowotworowego tanin jest inhibicja aktywności niektórych enzymów bakteryjnych. Mikroflora przewodu pokarmowego ssaków pełni ważną rolę w metabolizmie i toksyczności substancji endo- i egzogennych. W wielu przypadkach produkty bakteryjnej przemiany materii w jelicie grubym są związane ze szkodliwym wpływem na organizm gospodarza. Mogą prowadzić do inicjacji i promocji tumorogenezy [51]. Reakcje enzymatyczne, prowadzące do powstawania toksycznych i karcynogennych substancji, obejmują w szczególności hydrolizę glikozydów i glukuronidów oraz redukcję związków azotowych. W przemianach tych biorą udział enzymy takie jak: nitroreduktaza, β -glukozydaza i β -glukuronidaza. Negatywny wpływ ma także mucynaza, która zmienia właściwości bariery ochronnej w okrężnicy [51]. Żywienie szczurów paszą zawierającą taniny skondensowane w ilości 71 mg kg⁻¹, spowodowało zahamowanie aktywności tych szkodliwych enzymów bakteryjnych. Podawane procyjanidyny wywarły jednocześnie pozytywny wpływ na procesy fermentacyjne w okrężnicy, o czym świadczył zwiększony poziom lotnych

kwasów tłuszczowych [51]. Dodatek kwasu taninowego do diet dla szczurów w ilości 1% i 1,5% również powoduje zmniejszenie aktywności β -glukuronidazy [6].

Taniny mogą znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny. Ekstrakty z oczaru wirginijskiego (*Hamamelis virginiana* L.) są szeroko używane w terapii chorób skóry oraz zaburzeń przewodu pokarmowego. Wykorzystywane są także w przemyśle kosmetycznym. Znajdują się w nich polisacharydy, taniny hydrolizujące, proantocyjanidyny oraz pochodne flawan-3-oli, pośród których są dime-ryczne proantocyjanidyny z galusanem epigalokatechiny i katechiny oraz niezwykłą jednostką starterową, katechiną połączoną wiązaniem estrowym z 4-hydroksybenzo-esanem [10, 15]. W badaniach aktywności antymutagennej związków występujących w korze *H. virginiana*, frakcja proantocyjanidyn okazała się najskuteczniejsza w ochronie DNA przed uszkodzeniami powodowanymi przez benzopiren [9]. Pozytywny wpływ miała także na stymulację proliferacji keratynocytów oraz ochronę skóry przed podrażnieniem [10]. Działanie ochronne wykazują także proantocyjanidyny winogron, które stosowane miejscowo, są skutecznymi środkami zapobiegającymi poparzeniom słonecznym [11].

Wśród dość szerokiego spektrum oddziaływania tanin wspomnieć należy także, że np. sok z żurawiny amerykańskiej (*Vaccinium macrocarpon* AIT.) zalecany jest w przypadku infekcji dróg moczowych oraz zapalenia gruczołu krokowego, gdyż zapobiega adherencji patogennych szczepów *E. coli*. Sok ten zawiera wysokie stężenia antocyjanin, glikozydów flawonolowych, kwasów fenolowych oraz proantocyjanidyn. Taniny skondensowane stanowią aktywną frakcję, składającą się głównie z tetra- i pentamerów epikatechiny, z co najmniej jednym wiązaniem typu A [12].

Kilka proantocyjanidyn typu A wyizolowano z *Ecdysanthera utilis* HAYATA, rośliny używanej w tradycyjnej medycynie tajwańskiej jako środek przeciwbólowy, przeciwzapalny i przeciwskurczowy. Silne działanie przeciwzapalne wynika z obecności substancji immunomodulatorowych, których większość stanowiła procyjanidyna A1. Wydaje się, że związek ten działa przez blokowanie produkcji interferonu γ oraz interleukiny-2 [25].

Podsumowanie

Taniny są wtórnymi metabolitami roślin, należącymi do polifenolowych związków o dużej masie cząsteczkowej i złożonej budowie, za których biosyntezę odpowiada szereg enzymów. Występują w wielu roślinach, chroniąc je przed licznymi patogenami i roślinożercami. W żywieniu zwierząt działanie tanin jest wielokierunkowe i zależy od ich pochodzenia, budowy, a także gatunku zwierząt. Związki te, w umiarkowanych stężeniach, zwiększają ilość białka trawionego w jelicie cienkim, przyczyniając się do poprawy wykorzystania paszy. Ma to pozytywny wpływ na przyrosty przeżuwaczy, wydajność mleczną, kształtowanie okrywy włosowej u owiec i wskaźniki płodności. Taniny mogą znaleźć zastosowanie w profilaktyce różnych

schorzeń u przeżuwaczy, m.in. wzdęć, biegunek i inwazji pasożytów przewodu pokarmowego. Potencjał prozdrowotny tych związków umożliwia także ich wykorzystanie w ochronie zdrowia ludzi. Taniny są bardzo silnymi przeciwutleniaczami, które zmiatają wolne rodniki i reaktywne formy tlenu, chroniąc w ten sposób organizm przed chorobami układu sercowo-naczyniowego oraz opóźniając rozwój powikłań u chorych na cukrzycę. Wykazują również właściwości hipocholesterolemiczne i antynowotworowe, aczkolwiek mechanizm tego oddziaływania oraz skuteczność różnych dawek tych związków wymaga dalszych badań.

Literatura

- [1] Abrahams S., Lee E., Walker A.R., Tanner G.J., Larkin P.J., Ashton A.R. 2003. The Arabidopsis TDS4 gene encodes leucoanthocyanidin dioxygenase (LDOX) and is essential for proanthocyanidin synthesis and vacuole development. *Plant J.* 35: 624–636.
- [2] Aerts R.J., Barry T.N., Mcnabb W.C. 1999. Polyphenols and agriculture: beneficial effects of proanthocyanidins in forages. *Agric. Ecosyst. Environ.* 75: 1–12.
- [3] Ahn Y.J., Sakanaka S., Kim M., Kawamura T., Fujisawa T., Mitsuoka T. 1993. Effect of green tea extract on growth of intestinal bacteria. *Microb. Ecol. Health Dis.* 6: 3–9.
- [4] Al-Mamary M., Al-Habori M., Al-Aghbari A., Al-Obeidi A. 2001. In vivo effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. *Nutr. Res.* 21: 1393–1401.
- [5] Athanasiadou S., Kyriazakis I., Jackson F., Coop R.L. 2001. Direct anthelmintic effects of condensed tannins towards different gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies. *Vet. Parasitol.* 99: 205–219.
- [6] Barszcz M., Taciak M., Skomial J. 2010. Modification of caecal fermentation by tannic acid and protein in rats. W: Crovetto M. (red.) Energy and protein metabolism and nutrition. 3rd EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, 6–10 September 2010, Parma, Italy: 399–400.
- [7] Bartnikowska E. 1995. Bioaktywne substancje w pokarmach dla ludzi i zwierząt (cz. III). Antyoksydanty. *Magazyn Wet.* 4: 333–337.
- [8] Bawadi H.A., Bansode R.R., Trappey II A., Truax R.E., Losso J.N. 2005. Inhibition of Caco-2 colon, MCF-7 and Hs578T breast, and DU 145 prostatic cancer cell proliferation by water-soluble black bean condensed tannins. *Cancer Lett.* 218: 153–162.
- [9] Dauer A., Hensel A., Lhoste E., Knasmüller S., Mersch-Sunder Mann V. 2003. Genotoxic and antigenotoxic effects of catechin and tannins from the bark of *Hamamelis virginiana* L. in metabolically competent, human hepatoma cells (Hep G2) using single cell gel electrophoresis. *Phytochem.* 63: 199–207.
- [10] Deters A., Dauer A., Schnetz E., Fartasch M., Hensel A. 2001. High molecular compounds (polysaccharides and proanthocyanidins) from *Hamamelis virginiana* bark: influence on human skin keratinocyte proliferation and differentiation and influence on irritated skin. *Phytochem.* 58: 949–958.
- [11] Dixon R.A., Xie D.-Y., Sharma S.B. 2005. Proanthocyanidins – a final frontier in flavonoid research? *New Phytol.* 165: 9–28.
- [12] Foo L.Y., Lu Y., Howell A.B., Vorsa N. 2000. The structure of cranberry proanthocyanidins which inhibit adherence of uropathogenic P-fimbriated *Escherichia coli* in vitro. *Phytochem.* 54: 173–181.
- [13] Grundhöfer P., Niemetz R., Schilling G., Gross G.G. 2001. Biosynthesis and subcellular distribution of hydrolyzable tannins. *Phytochem.* 57: 915–927.
- [14] Hagerman A.E., Riedl K.M., Jones G.A., Sovik K.N., Ritchard N.T., Hartzfeld P.W., Riechel T.L. 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1887–1892.
- [15] Hartisch C., Kolodziej H. 1996. Galloylhamamelosides and proanthocyanidins from *Hamamelis virginiana*. *Phytochem.* 42: 191–198.
- [16] Hegde P.S., Rajasekaran N.S., Chandra T.S. 2005. Effects of the antioxidant properties of millet species on oxidative stress and glycemic status in alloxan-induced rats. *Nutr. Res.* 25: 1109–1120.
- [17] Hutchings M.R., Athanasiadou S., Kyriazakis I., Gordon I.J. 2003. Can animals use foraging behaviour to combat parasites? *Proc. Nutr. Soc.* 62: 361–370.
- [18] Jansman A.J.M. 1993. Tannins in faba beans (*Vicia faba* L.) – antinutritional properties in monogastric animals. Ph. D. Thesis, Wageningen.

- [19] Jialal I., Devaraj S. 1996. The role of oxidized low density lipoprotein in atherogenesis. *J. Nutr.* 126: 1053S–1057S.
- [20] Kahiya C., Mukaratirwa S., Thamsborg S.M. 2003. *Acacia nilotica* and *Acacia karoo* diets on *Haemonchus contortus* infection in goats. *Vet. Parasitol.* 115: 265–274.
- [21] Krisper P., Tisler V., Skubic V., Rupnik I., Kobal S. 1992. The use of tannin from chestnut (*Castanea vesca*). *Basic Life Sci.* 59: 1013–1019.
- [22] Kulasek G., Leontowicz H., Krzemiński R. 1995. Bioaktywne substancje w pokarmach dla ludzi i zwierząt (cz. I). Czynniki antyżywniowe. *Magazyn Wet.* 4: 39–45.
- [23] Lampart-Szczapa E., Korczak J., Nogala-Kalucka M., Zawirska-Wojtasiak R. 2003. Antioxidant properties of lupin seed products. *Food Chem.* 83: 279–285.
- [24] Li Y.G., Tanner G., Larkin P. 1996. The DMACA-HCL protocol and threshold proanthocyanidin content for bloat safety in forage legumes. *J. Sci. Food Agric.* 70: 89–101.
- [25] Lin L.-C., Kuo Y.-C., Chou C.-J. 2002. Immunomodulatory proanthocyanidins from *Ecdysanthera utilis*. *J. Nat. Prod.* 65: 505–508.
- [26] Macheix J.J., Fleuriet A. 1994. Phenolic compounds in food, enzymatic browning and antioxidative properties. W: Kozłowska H., Fornal J., Zduńczyk Z. (red.) Bioactive Substances in Food of Plant Origin. Proc. Int. Euro Food Tox IV Conference. 22–24 Sept., Olsztyn, Polska: 97–113.
- [27] Martín-Carrón N., Goñi I., Larrauri J.A., García-Alonso A., Saura-Calixto F. 1999. Reduction in serum total and LDL-cholesterol concentrations by a dietary fiber and polyphenol-rich grape product in hypercholesterolemic rats. *Nutr. Res.* 19: 1371–1381.
- [28] Meyer A.S., Yi O.S., Pearson D.A., Waterhouse A.L., Frankel E.N. 1997. Inhibition of human low-density lipoprotein oxidation in relation to composition of phenolic antioxidants in grapes (*Vitis vinifera*). *J. Agric. Food Chem.* 45: 1638–1643.
- [29] Min B.R., Attwood G.T., Reilly K., Sun W., Peters J.S., Barry T.N. 2002. Lotus corniculatus condensed tannins decrease in vivo populations of proteolytic bacteria and affect nitrogen metabolism in the rumen of sheep. *Can. J. Microbiol.* 48: 911–921.
- [30] Min B.R., Barry T.N., Attwood G.T., McNabb W.C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 3–19.
- [31] Min B.R., Hart S.P. 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J. Anim. Sci.* 81: 102–109.
- [32] Miyamoto K.-I., Nomura M., Sasakura M., Matsui E., Koshiura R., Murayama T., Furukawa T., Hatano T., Yoshida T., Okuda T. 1993. Antitumor activity of oenothein B, a unique macrocyclic ellagitannin. *Cancer Sci.* 84: 99–103.
- [33] Mueller-Harvey I. 2001. Analysis of hydrolysable tannins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91: 3–20.
- [34] Mueller-Harvey I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.* 86: 2010–2037.
- [35] Natella F., Belelli F., Gentili V., Ursini F., Scaccini C. 2002. Grape seed proanthocyanidins prevent plasma postprandial oxidative stress in humans. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7720–7725.
- [36] Niezen J.H., Waghorn G.C., Graham T., Carter J.L., Leathwick D.M. 2002. The effect of diet fed to lambs on subsequent development of *Trichostrongylus colubriformis* larvae in vitro and on pasture. *Vet. Parasitol.* 105: 269–283.
- [37] Ossipov V., Salminen J.-P., Ossipova S., Haukioja E., Pihlaja K. 2003. Gallic acid and hydrolysable tannins are formed in birch leaves from an intermediate compound of the shikimate pathway. *Biochem. Syst. Ecol.* 31: 3–16.
- [38] Park S.-Y., Bok S.-H., Jeon S.-M., Park Y.B., Lee S.-J., Jeong T.-S., Choi M.-S. 2002. Effect of rutin and tannic acid supplements on cholesterol metabolism in rats. *Nutr. Res.* 22: 283–295.
- [39] Pataki T., Bak I., Kovacs P., Bagchi D., Das D.K., Toskai A. 2002. Grape seed proanthocyanidins improved cardiac recovery during reperfusion after ischemia in isolated rat hearts. *Am. J. Clin. Nutr.* 75: 894–899.
- [40] Peters D.J., Constabel C.P. 2002. Molecular analysis of herbivore-induced condensed tannin synthesis: cloning and expression of dihydroflavonol reductase from trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Plant J.* 32: 701–712.
- [41] Pleszczyńska M., Szczodrak J. 2005. Taniny i ich rozkład enzymatyczny. *Biotechnol.* 68: 152–165.
- [42] Ramirez-Restrepo C.A., Barry T.N., López-Villalobos N., Kemp P.D., McNabb W.C. 2004. Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase lamb and wool production under commercial dryland farming conditions without the use of anthelmintics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117: 85–105.
- [43] Ray S.D., Badchi D., Lim P.M., Bagchi M., Gross S.M., Kothari S.C., Preuss H.G., Stohs S.J. 2001. Acute and long-term safety evaluation of a novel IH 636 grape seed proanthocyanidin extract. *Res. Commun. Mol. Pathol. Pharmacol.* 109: 165–197.

- [44] Rocha-Guzmán N.E., González-Laredo R.F., Ibarra-Pérez F.J., Nava-Berúmen C.A., Gallegos-Infante J.A. 2007. Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Chem.* 100: 31–35.
- [45] Sánchez-Moreno C., Jiménez-Escrig A., Saura-Calixto F. 2000. Study of low-density lipoprotein oxidizability indices to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. *Nutr. Res.* 20: 941–953.
- [46] Shao Z.-H., Becker L.B., Vanden Hoek T.L., Schumacker P.T., Li C.-Q., Zhao D., Wojcik K., Anderson T., Qin Y., Dey L., Yuan C.-S. 2003. Grape seed proanthocyanidin extract attenuates oxidant injury in cardiomyocytes. *Pharmacol. Res.* 47: 463–469.
- [47] Siddhuraju P., Becker K. 2007. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) seed extracts. *Food Chem.* 101: 10–19.
- [48] Silanikove N., Perevolotsky A., Provenza F.D. 2001. Use of tannin-binding chemicals to assay for tannins and their negative postingestive effects in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91: 69–81.
- [49] Singh B., Bhat T.K., Sharma O.P. 2001. Biodegradation of tannic acid in an in vitro ruminal system. *Livest. Prod. Sci.* 68: 259–262.
- [50] Sokół J.L. 1997. Związki antyodżywcze występujące w ziarnie zbóż. *Trzoda Chlewna* 35: 66–67.
- [51] Tebib K., Besancon P., Rouanet J.-M. 1996. Effects of dietary grape seed tannins on rat cecal fermentation and colonic bacterial enzymes. *Nutr. Res.* 16: 105–110.
- [52] Teissedre P.L., Frankel E.N., Waterhouse A.L., Peleg H., German J.B. 1996. Inhibition of in vitro human LDL oxidation by phenolic antioxidants from grapes and wines. *J. Sci. Food Agric.* 70: 55–61.
- [53] Wang Y., Waghorn G.C., McNabb W.C., Barry T.N., Hedley M.J., Shelton I.D. 1996. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 127: 413–421.
- [54] Wróblewski K., Muhandiram R., Chakrabarty A., Bennick A. 2001. The molecular interaction of human salivary histatins with polyphenolic compounds. *Eur. J. Biochem.* 268: 4384–4397.

Possibilities of tannins utilization in the protection of animals and human health

Key words: tannins, biosynthesis, health-promoting activity, man, animals

Summary

Tannins are polyphenolic compounds, with a high molecular weight between 500 and 3000 Da and capacity to form complexes with other compounds, especially proteins. They are divided into hydrolysable and condensed. Tannins are found in many plant species where they play a role in the defence against pathogens and herbivores. This protective effects have an important influence on animal health and production. In a moderate concentrations tannins may improve feed efficiency in ruminants and protect animals from digestive tract disease. Tannins may be useful also in human medicine. They are strong antioxidants preventing from cardiovascular disease and the development of complications in humans suffering from diabetes mellitus. Tannins have also hypocholesterolemic and antitumour properties.

Możliwości wykorzystania produktów pszczelarskich jako dodatków paszowych w żywieniu bydła

Ewa Sosin-Bzducha¹, Juliusz Strzetelski²

¹ *Dział Ochrony Zasobów Genetycznych Zwierząt*

² *Dział Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa*

Instytut Zootechniki–Państwowy Instytut Badawczy Balice k/Krakowa

ul. Krakowska 1, 32-083 Balice

e-mail: sosine@izoo.krakow.pl

Słowa kluczowe: propolis, pyłek kwiatowy, flawonoidy, bydło

Wstęp

Intensyfikacja chowu oraz duży nacisk na efektywność produkcji wpływają negatywnie na zdrowotność krów i cieląt. Dużym problemem współczesnej hodowli bydła w Polsce i na świecie jest wysoka podatność krów, zwłaszcza ras wysokoprodukcyjnych, na zaburzenia i choroby metaboliczne, zapalenia wymienia i macicy oraz wysoki odsetek cieląt cierpiących na przewlekłe biegunki wynikające z obniżonej odporności. Istnieje ścisła zależność między zdrowotnością cieląt a zdrowotnością krów i jakością pochodzącej od nich siary [8, 21], a także między zdrowotnością zwierząt we wczesnym okresie życia a ich późniejszą produktywnością. Będące następstwem tych problemów upadki zwierząt, wczesna eliminacja z chowu, koszty poniesione na leczenie oraz zmniejszona produktywność przyczyniają się do powstawania dużych strat ekonomicznych i obniżenia opłacalności produkcji. Wyjściem z tej niekorzystnej sytuacji jest między innymi prowadzenie odpowiedniej profilaktyki poprzez zastosowanie różnych dodatków paszowych zwanych stymulatorami wzrostu, tj. substancji, które nie są niezbędne do życia i prawidłowego rozwoju zwierząt, ale wykazują korzystny wpływ na ogólny stan zdrowotny wspomagając procesy trawienne [36]. Przez wiele lat powszechnie stosowanymi stymulatorami wzrostu były antybiotyki paszowe, zawierające substancje produkowane przez mikroorganizmy, a także rośliny wyższe, o właściwościach antydrobnoustrojowych zdolne do zahamowania wzrostu, a nawet wyeliminowania niepożądanych, patogennych mikroorganizmów pogarszających procesy trawienne [34].

Stosowane do niedawna w żywieniu bydła antybiotyki paszowe w postaci jonoforów (monoenzyna, salinomycyna) lub glikolipidów (flawomycyna, avoparcyna) poprawiały zdrowotność i wskaźniki produkcyjne zwierząt. Antybiotyki jonoforowe tworzą rozpuszczalne w tłuszczach kompleksy z jonami metali (Na, K, Ca, Mg), które mogą przenikać przez błony komórkowe powodując zmiany w metabolizmie niektórych komórek bakteryjnych prowadząc do przerwania ciągłości ich błon fizjologicznych oraz rozpadu. Ograniczenie rozwoju lub eliminacja niekorzystnych bakterii w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy sprzyja namnażaniu się szczepów bakteryjnych, zmieniających w pożądanym kierunku przebieg fermentacji żwaczowej i powodujących polepszenie efektów produkcyjnych. Ważnym efektem fizjologicznym jonoforowych dodatków paszowych jest ich wpływ na procesy metanogenezy w żwaczu. Obniżenie produkcji metanu pozwala na znaczne ograniczenie strat energii dawki pokarmowej. Szeroki przegląd badań nad wpływem antybiotyków paszowych na metabolizm i produktywność zwierząt przeżuwających przedstawił Pisulewski [26].

Zwiększająca się świadomość konsumenta sprawiła, że zażądał on żywności wysokiej jakości, w tym wolnej od jakichkolwiek pozostałości po dodatkach paszowych mogących budzić wątpliwości odnośnie bezpieczeństwa zdrowotnego produktu. W związku z tym zaczęto poszukiwać dodatków paszowych innych niż antybiotyki, które nie budziłyby obaw konsumenta, byłyby bezpieczne zarówno dla zwierząt, ludzi jak i środowiska, a równocześnie stymulowałyby produkcję.

Z chwilą wejścia w życie (1 stycznia 2006) całkowitego zakazu stosowania antybiotyków na terenie państw UE, pojawiła się luka, którą próbuje się wypełnić substancjami wykazującymi zbliżone działanie. Wykazano korzystny wpływ pro- i prebiotyków zarówno bakteryjnych jak i tzw. „grzybowych” na wyniki odchowu i zdrowotność cieląt [12, 20, 35], a także na produktywność i skład mleka krów [8, 18]. Wyniki badań nad zastosowaniem pre- i probiotyków wskazują, że skuteczność ich działania zależy od interakcji między paszą, funkcjonalnym stanem jelita i florą bakteryjną żyjącą w przewodzie pokarmowym [34].

W ostatnich latach użytecznymi dodatkami paszowymi w żywieniu bydła okazały się dodatki paszowe zawierające mieszanki ziołowe będące źródłem wielu substancji czynnych (w tym flawonoidów) mogących korzystnie wpłynąć na system immunologiczny, zdrowotność i procesy metaboliczne zwierząt [9].

Flawonoidy

Flawonoidy zaliczane do związków polifenolowych to końcowe produkty szlaków metabolicznych aminokwasów i lipidów. Podstawowa struktura cząsteczki flawonoidów to dwa pierścienie benzenowe połączone heterocyklicznym pierścieniem piranu lub pironu. Ogromna różnorodność flawonoidów wynika z faktu, że atomy węgla pierścieni stanowiących podstawę budowy tych związków mogą ulegać

hydroksylacji, metoksylacji oraz glikozydacji za pomocą mono- i oligosacharydów, jak również acylacji w różnych pozycjach. Związki te wykazują silne właściwości bakteriobójcze, przeciwzapalne i antykarcynogenne i można je traktować jako potencjalne substancje immunostymulujące [22]. Działanie flawonoidów nie ogranicza się wyłącznie do oddziaływania zewnątrzkomórkowego, jest również wewnątrzkomórkowe, gdyż wpływają one na aktywność enzymów i ekspresję genów [2, 22]. Właściwości farmakologiczne flawonoidów wynikają z ich budowy, dzięki której możliwe jest wiązanie i hamowanie wolnych rodników mogących powodować uszkodzenia komórek, tkanek oraz procesy zapalne. Ponadto flawonoidy chelatują wysoce prooksydacyjne jony metali, np. miedzi czy żelaza, przez co blokują ich zdolność do wytwarzania wolnych rodników. Zaliczana do flawonoidów kwercetyna, uznawana jest za czynnik hamujący działanie fosfolipazy A₂ kluczowego enzymu katalizującego uwalnianie kwasu arachidonowego z fosfolipidów [27], który jest związkiem wyjściowym do produkcji eikozanoidów (prostaglandyn i leukotrienów) biorących udział w przebiegu reakcji zapalnej w organizmie. Do tej pory w roślinach zidentyfikowano ponad 4000 unikalnych pod względem budowy flawonoidów [10]. Niektóre z nich są barwnikami roślinnymi, których wysoką zawartość wykazano w liściach, kwiatach, owocach, nasionach [23]. Bogatym źródłem flawonoidów są również produkty pozyskiwane od pszczoł takie jak propolis i pyłek kwiatowy.

Propolis

Propolis to lepka, żywiczna substancja o barwie brunatnej lub zielonkawej wytwarzana przez pszczoły z substancji żywicznych zebranych z pączków drzew. Propolis pochodzący z różnych stref geograficznych różni się właściwościami i składem chemicznym. W strefie klimatu umiarkowanego propolis najczęściej wytwarzany jest z pączków liściowych topoli czarnej (*Populus nigra*) [14]. Wśród produktów pszczelich, propolis jest najbardziej aktywny biologicznie, wykazuje wielokierunkowe działanie farmakologiczne oraz ma bardzo złożony skład chemiczny. W skład surowego propolisu wchodzi substancje żywiczne, wosk pszczeli, substancje lotne, pyłek kwiatowy i domieszki mechaniczne. Propolis zawiera kilkanaście substancji czynnych, w tym flawonoidy (chryzynę, tektochryzynę, pinostrobinę, apigeninę, chalkon pinostrobinowy, galanginę, kemferol, genkwaninę, pinobanksynę, kwercetynę), kwasy aromatyczne (cynamonowy, kawowy, ferulowy, benzoesowy, salicylowy, 2-amino-3-metoksybenzoesowy), estry (etylowe kwasu cynamonowego, kawowego i fenylometylowe kwasu benzoesowego), alkohole (cholinasterol, fukosterol, stigmatsterol) ponadto aldehydy, kumaryny, terpeny, sterole, kwasy tłuszczowe i mikroelementy (Mn, Fe, Si, Mg, Zn, Se) [14]. Produkty zawierające propolis występują w postaci wyciągów etanolowych i w formie sproszkowanej na bazie krzemionki. Można przyjąć, że zawierają one jedynie substancje czynne w postaci kwasów aromatycznych (głównie kwasów fenolowych), estrów aromatycznych i flawonoi-

dów [14]. W przeciwieństwie do miodu i pyłku kwiatowego propolis nie ma wartości odżywczej, gdyż nie zawiera takich składników pokarmowych jak białko czy węglowodany, natomiast charakteryzuje się dużą aktywnością antybakteryjną, antypierwotniakową oraz przeciwgrzybiczną będącą wypadkową działania flawonoidów, kwasów aromatycznych i seskwiterpenów [19, 42]. Propolis wpływa regenerująco na organizm, pobudzając układ immunologiczny i procesy metaboliczne [30].

Bakteriobójcze działanie propolisu

Badania *in vitro* na pożywkach agarowych z zastosowaniem ekstraktu etanolowego propolisu (EEP) wskazują, że zawarte w nim substancje wykazują działanie bakteriobójcze w stosunku do gronkowca złocistego, paciorkowców, maczugowców, dwoinek zapalenia płuc, prątków gruźlicy, laseczek tlenowych oraz beztlenowych [3, 6, 42]. Yaghoubi i in. [42] badając wpływ flawonoidów i flawonów (zawartość odpowiednio 7,3% i 36% w roztworze ekstraktu etanolowego o stężeniu $67 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$) wykazali nie tylko silne działanie antybakteryjne w kierunku szczepów Gram-dodatnich, ale także grzybów. Aktywność flawonoidów w kierunku bakterii Gram-ujemnych nie została zaobserwowana. Etanolowy ekstrakt propolisu (EEP) o stężeniu $67 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$ wykazywał silniejsze działanie bakteriobójcze ($P = 0,01$) w kierunku szczepów *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus cereus* niż standardowo stosowana ampicylina. Podobne wyniki otrzymano badając wpływ ekstraktów etanolowych i metanolowych propolisu (o stężeniu $100 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$) na bakterie wyizolowane z mleka krów chorych na mastitis [25]. Spośród wyizolowanych szczepów bakterii największą wrażliwością na alkoholowe ekstrakty propolisu, szczególnie na ekstrakt etanolowy, odznaczały się gronkowce, w tym *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus agalactiae*, natomiast zastosowane ekstrakty propolisu nie działały na bakterie Gram-ujemne. W świetle najnowszych doniesień [29] ta właściwość propolisu może mieć praktyczne znaczenie. Jego zastosowanie w żywieniu krów mlecznych w okresie okołoporodowym kiedy krowy narażone są na największy stres metaboliczny i występowanie szeregu chorób infekcyjnych, w tym mastitis, mogłoby uzupełnić działanie dostępnych preparatów, które *de facto* działają w kierunku bakterii Gram-ujemnych [40, 44]. Właściwości antybakteryjne propolisu nie pozostają bez wpływu na mikroorganizmy zważywszy i w związku z tym na przebieg fermentacji węglowodanów, z tym że jego aktywność zależy od koncentracji w roztworze oraz składu dawki pokarmowej. Można także przyjąć, że produkty pszczelarskie wykazują zbliżone właściwości do antybiotyków jonoforowych, w tym monoenzyny (znanej również jako Rumenzin). Rispoli i in. [28] porównując działanie propolisu i monoenzyny zaobserwowali spadek liczebności pierwotniaków z rodzaju *Diplodininae* oraz *Entodinium* pod wpływem działania zarówno antybiotyku, jak i propolisu. Nie stwierdzili natomiast wpływu badanych substancji na liczebność populacji *Isotrichidae* i *Eodinium*.

Wpływ propolisu na przebieg fermentacji żwaczowej

Niektóre badania *in vitro* z wykorzystaniem systemu Rusitec wskazują, że propolis może obniżać produkcję wytwarzanych w żwaczu gazów jednocześnie zwiększając koncentrację kwasu propionowego (C3) i stosunek kwasu propionowego do octowego (C3/C2) w płynie żwacza [33]. Aktywność ekstraktu propolisu wzrastała wraz z jego stężeniem. Najlepsze efekty uzyskano stosując EEP o stężeniu 33,3 i 66,7%, przy czym przy wyższym stężeniu propolisu zaobserwowano polepszenie strawności zarówno węglowodanów strukturalnych jak i niestructuralnych. W powyższych badaniach propolis ograniczał także rozwój niektórych metanogenów obniżając produkcję metanu, a tym samym przyczynił się do zmniejszenia strat energii pochodzącej z dawki pokarmowej. Ozturk i in. [24], w podobnych badaniach przy użyciu techniki symulacji żwaczowej (Rusitec) stosując 20 i 60% stężenia EEP w ilości 0,5 ml na dzień, nie stwierdzili jednak pozytywnego wpływu badanych etanolowych ekstraktów propolisu na pH treści żwacza, produkcję C2, stosunek C3/C2, liczbę pierwotniaków i strawność suchej masy. Oba zastosowane ekstrakty zwiększyły natomiast produkcję kwasu masłowego (C4). Wraz ze wzrostem stężenia EEP uzyskano wyraźne obniżenie (o 24 i 39%) koncentracji amoniaku w żwaczu ($\text{NH}_3\text{-N}$), co sugeruje, iż propolis może okazać się przydatnym dodatkiem paszowym zwiększającym wykorzystanie azotu amonowego u zwierząt przeżuwających.

Produkcyjność oraz zdrowotność krów i cieląt

Badania przeprowadzone na zwierzętach nie dają jednoznacznej odpowiedzi, co do skuteczności działania propolisu zarówno w postaci płynnej jak i sproszkowanej. De Freitas i in. [5] uzyskali istotny wzrost wydajności u krów rasy HF otrzymujących 64 ml 30% ekstraktu propolisu, tj. około 19,2 g propolisu dziennie. Ponadto mleko pochodzące od tych krów charakteryzowało się wyższą procentową zawartością białka (3,14 vs. 3,03).

Nie stwierdzono natomiast korzystnego wpływu ekstraktu propolisu na procentowy udział tłuszczu w mleku (3,10 vs. 3,03), liczbę komórek somatycznych (766700 vs. 736700) i pobranie suchej masy wyrażonej jako procent masy ciała (2,08 vs. 2,17). W innych doświadczeniach przeprowadzonych na kozach i krowach nie stwierdzono pozytywnego wpływu propolisu zarówno na produkcyjność krów jak i skład mleka [31], a także na pobranie suchej masy i składników pokarmowych, sumę i proporcje poszczególnych lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), poziom amoniaku i odczyn żwacza [16, 32]. Zmienność wyników można tłumaczyć różnymi stężeniami i formą użytych ekstraktów, interakcjami z innymi składnikami dawki i zawartością substancji czynnych, w tym flawonoidów.

Właściwości propolisu i zawartych w nim flawonoidów pozwalają wykorzystywać je jako potencjalne immunomodulatory. W doświadczeniach na cielętach zasto-

sowanie ekstraktu propolisu lub czystych flawonoidów [42] wpłynęło pozytywnie na poziom immunoglobulin (Ig G; Ig A), a poprzez to na zdrowotność cieląt i wyniki odchowu. Efektywność działania zależała od dawki flawonoidów oraz wieku cieląt. Cielęta otrzymujące wyższe dawki flawonoidów ($7,3 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MC}$ i $7,3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MC}$ vs. $3,6 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MC}$) charakteryzowały się lepszymi przyrostami masy ciała oraz wyższą koncentracją immunoglobulin Ig G w pierwszych tygodniach życia. Korczyński [15] wykazał, iż zastosowanie propolisu w ilości 3 ml dziennie (w postaci 60% ekstraktu etanolowego) skutecznie obniża częstotliwość występowania klinicznych objawów biegunek. Zastosowanie propolisu przyczyniło się także do poprawy odporności czynnej wpływając pozytywnie na stężenie poszczególnych klas immunoglobulin w pierwszych tygodniach życia cieląt. Propolis korzystnie wpłynął również na dojrzewanie układu krwiotwórczego młodych cieląt i procesy krwiotwórcze zapobiegając występowaniu anemii. Podobne wyniki badań otrzymali również Adamski i in. [1] stosując propolis w żywieniu cieląt rasy Simmental w okresie neonatalnym, tj. od 7 do 21 dnia życia. Zastosowanie propolisu nie tylko ograniczyło występowanie objawów biegunki i zwiększyło przyrosty masy ciała cieląt, ale również poprawiło wskaźniki hematokrytowe krwi i stężenie enzymów wątrobowych, w tym gamma glutamylotranspeptydazy (GGT). Haro i in. [11] stosując w żywieniu szczurów wykazujących objawy anemii ferrotycznej dodatek propolisu lub pyłku kwiatowego uzyskał lepsze przyrosty masy ciała, lepsze wykorzystanie żelaza, większą absorpcję wapnia i fosforu i większy stopień regeneracji hemoglobiny.

Flawonoidy pochodzące z propolisu działają również korzystnie na hepatocyty, zwiększając aktywność enzymów wątrobowych [19, 22]. U krów w okresie okołoporodowym mogą działać podobnie jak otrzymywana z *Silybium marianum* silimaryna – hepatoprotektor stosowany w leczeniu chorób wątroby również u ludzi. Działanie silimaryny podawanej krowom w okresie okołoporodowym w ilości 10 g na dzień, począwszy od 10 dnia przed wycieleniem do 15 dnia laktacji ograniczyło spadek kondycji zwierząt, zmniejszyło ujemny bilans energii oraz przyczyniło się do wzrostu wydajności zwierząt [37]. Doświadczenia przeprowadzone na szczurach wykazały korzystny wpływ propolisu na czynność hepatocytów, poziom triglicerydów, cholesterolu oraz aktywność odpowiedzialnych za ekspresję wielu genów związanych z regulacją gospodarki lipidowej receptorów aktywowanych przez proliferatory peroksysomów (PPAR γ) [12]. Być może produkty te będą pełnić podobną rolę w przypadku krów w okresie okołoporodowym. Nadmierne otluszczenie krów wysoko produkcyjnych powoduje zbyt gwałtowne uwalnianie rezerw tłuszczowych w pierwszym okresie laktacji (w postaci niezestryfikowanych kwasów tłuszczowych) i prowadzi do przedłużającego się ujemnego bilansu energii. Przeciągający się w czasie brak możliwości pokrycia zapotrzebowania energetycznego w warunkach wzrastającej produkcji może prowadzić do rozwoju ketozy i lipidozy wątroby [31]. Jednak, aby wykazać czy propolis może podobnie jak u szczurów oddziaływać na aktywność komórek wątrobowych, u krów należałoby znać stopień rozkładu flawonoidów w żwaczu i ich by-pass do jelita cienkiego. Dotychczas brakuje tego rodzaju badań.

Pylek kwiatowy

Ciekawszym pod względem rozkładu w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy może okazać się pyłek kwiatowy otrzymywany z pasieki w postaci tzw. obnóży pszczelich. Ziarno pyłku kwiatowego pokryte jest dwuwarstwową osłonką. Zewnętrzna osłonka – egzyna jest grubsza i zbudowana głównie z pektyn, natomiast wewnętrzna – intyna tworzy warstwę cieńszą zbudowaną głównie z celulozy i białek [38]. Pyłek kwiatowy zawiera 7–35% białek, 25–48% węglowodanów, 2–10% lipidów i znaczną ilość substancji biologicznie czynnych, w tym flawonoidy i substancje o charakterze antybiotycznym [38]. Jest bogatym źródłem wysokowartościowego białka, w tym białka bogatego w aminokwasy egzogenne, szczególnie w metioninę, której niedobór ogranicza syntezę białka mleka u krów [45].

Do najważniejszych aspektów działania pyłku kwiatowego można zaliczyć regulowanie funkcji przewodu pokarmowego, wzmaganie łaknienia, działanie wzmacniające wyczerpanego organizmu, poprawę odporności. Można również przypuszczać, że flawonoidy obecne w pyłku kwiatowym mogą w znacznym stopniu unikać rozkładu w żwaczu, co tym samym może mieć pozytywny wpływ na by-pass flawonoidów i procesy zachodzące w wątrobie krów, podobnie jak u zwierząt monogastrycznych. Wyniki badań z wykorzystaniem propolisu i pyłku kwiatowego przeprowadzone na szczurach sugerują, że te produkty mogą mieć korzystny wpływ na wyniki odchowu cieląt, które w okresie żywienia paszą płynną, a szczególnie do około 3 tygodnia życia, są właściwie zwierzętami jednożołądkowymi. Jest to ważny okres odchowu cieląt, gdyż rzutuje on na rozwój jelita cienkiego, co ma wpływ na pobranie paszy, a tym samym pośrednio na rozwój żwacza.

Z doświadczeń przeprowadzonych na szczurach, wiadomo, że pyłek kwiatowy jest paszą pełnowartościową, korzystnie wpływającą na przyrosty masy ciała i gospodarkę żelaza [11, 17]. Doświadczenie przeprowadzone na ciężarnych samicach tego gatunku wykazało, iż zastosowany w ilości 10 lub 20 g · kg⁻¹ MC pyłek kwiatowy korzystnie wpływał również na poziom białka ogólnego, hemoglobiny, żelaza oraz albumin w surowicy krwi [41]. Jak podaje Dudov i in. [7] pyłek kwiatowy może także stymulować funkcje układu odpornościowego szczurów. Z kolei w badaniach przeprowadzonych na koniach arabskich [39] zastosowanie preparatu z udziałem pyłku kwiatowego (55%; ok. 65 g dziennie) ograniczało wydalanie fosforu, zwiększało retencję azotu, wpływało korzystnie na pobranie paszy i składników pokarmowych oraz wydolność treningową. W doświadczeniu tym odnotowano również tendencję do poprawy strawności włókna frakcji NDF i ADF, lecz nie stwierdzono wpływu pyłku na poziom kwasu mlekowego, glukozy, hematokrytu (HT) ani hemoglobiny (HB).

Obserwowana duża zmienność składu i aktywności propolisu oraz pyłku kwiatowego wymusza konieczność standaryzacji produktów pszczelarskich [4]. Problemem wymuszającym szczegółowe określenie okresu i ilości podawanych produktów pszczelarskich jest również ich wysoka cena rynkowa. Kluczową sprawą wydaje się

podjęcie badań nad produktami pszczelarskimi jako dodatkami paszowymi, będącymi alternatywą antybiotyków paszowych w żywieniu bydła pod kątem ich przydatności immunomodulującej, hepatoprotekcyjnej i jako apetyzera. Zdrowotność zwierząt staje się poważnym problemem, celowym zatem wydaje się poszukiwanie naturalnych i bezpiecznych środków biostymulujących.

Podsumowanie

Propolis oraz pyłek kwiatowy to naturalne substancje zawierające w swoim składzie związki biologicznie aktywne, w tym flawonoidy. Zawartość flawonoidów jak i innych substancji, ich wzajemne oddziaływania sprawiają, że produkty pszczelarskie wykazują wielokierunkowe działanie prozdrowotne. Na podstawie uzyskanych do tej pory wyników można przypuszczać, że propolis jak i pyłek kwiatowy mogą wykazywać działanie podobne do stosowanych do niedawna antybiotyków paszowych. Badania *in vitro* jednoznacznie potwierdzają właściwości bakteriobójcze propolisu. Z kolei badania *in vivo* przeprowadzone na krowach i cielętach wskazują, iż jego zastosowanie korzystnie wpływa na wyniki produkcyjne i zdrowotność tych zwierząt. Jest to niewątpliwie spowodowane korzystnym wpływem propolisu na rozwój układu krwionośnego, kształtowanie odporności, a także protekcyjnym oddziaływaniem na komórki wątroby. Dostępna literatura na temat zastosowania pyłku kwiatowego w żywieniu zwierząt jest ograniczona, brakuje informacji na temat zastosowania pyłku w żywieniu bydła.

Literatura

- [1] Adamski M., Kupczyński R., Roman A., Chadek G., Falta D. 2010. Badania nad zastosowaniem etanolowego ekstraktu z propolisu u cieląt. *Mat. Konf. XVIII Szkoły Zimowej Hodowców Bydła*: 228–229.
- [2] Ansorge S., Reinhold D., Lendeckel U. 2003. Propolis and some of its constituents down-regulate DNA synthesis and inflammatory cytokine but induce TGF- β 1 production of human immune cells. *Z. Naturforsch* 58c: 580–589.
- [3] Brumfitt W., Hamilton-Miller J.M.T., Franklin I. 1990. Antibiotic activity of natural products: 1. Propolis. *Microbios* 62: 19–22.
- [4] De Castro S.L., 2001. Propolis: biological and pharmacological activities. Therapeutic uses of this bee-product. *Ann. Rev. Biomed. Sci.* 3: 49–83.
- [5] De Freitas J.A., Antonangelo R.P., Ribeiro J.L., Joslin M., Nogueira S.R.P., Souza J.C. 2009. Ethanoic extract of propolis in dairy cattle feeding. *Rev. Bras. Saude Prod. An.* 2: 333–343.
- [6] Dobrowolski J.W., Vohora S.B., Sharma K., Shah S.A., Naqvi S.A., Dandiya P.C. 1990. Antibacterial, antifungal, antiameobic, anitnflammatory and antipyretic studies on propolis bee products. *J. Ethnopharmacology* 35: 77–82.
- [7] Dudov I.A., Morenets A.A., Artiukh V.P., Starodub N.F. 1994. Immunomodulatory effect of honeybee flower pollen load. *Ukr. Inv. Quest. Marc Zhurnal* 66: 91–93.
- [8] Franklin S.T., Newman M.C., Newman K.E., Meek K.I. 2005. Immune parameters of dry cows fed mannan oligosaccharide and subsequent transfer of immunity to calves. *J. Dairy Sci.* 88: 766–775.
- [9] Grella E., Klebaniuk R. 2001. Ziola oraz substancje barwiące i aromatyczne. W: *Dodatki w żywieniu bydła* pod red. E.R. Greli. Wyd. VIT-TRA: 126–139.
- [10] Harborne JB. *The Flavonoids: Advances in research since 1986*. 1994. London: Chapman i Hall: 329–419.

- [11] Haro A., Lopez-Aliaga I., Lisbona F., Barrionuevo M., Alferez M.J., Campos M.S. 2000. Beneficial effect of pollen and/or propolis on the metabolism of iron, calcium, phosphorus and magnesium in rats with nutritional ferropenic anemia. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5715–5722.
- [12] Heinrichs A.J., Jones C.M., Heinrichs B.S. 2003. Effects of mannan oligosaccharide or antibiotics in neonatal diets on health and growth of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 86: 4064–4069.
- [13] Ichi I., Hori H., Takashima Y., Adachi N., Kataoka R., Okihara K., Hashimoto K., Kojo S. 2009. The biological effect of propolis on fat accumulation and lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. *J. Food Sci.* 74 : H127–H131.
- [14] Kędzia B. 2006. Skład chemiczny i aktywność biologiczna propolisu pochodzącego z różnych rejonów świata. *Postępy Fitoterapii* 1: 23–35.
- [15] Korczyński M. 2006. Adhition of ethanol extract of propolis in the prophylaxis of calf breeding. Materiały z naukowej konferencji pszczelarskiej, Puławy 2006.
- [16] Lana de Paula R.P., Camardelli M.M.L., Rodrigues M.T., da Costa Eifert E., de Oliveira M.V.M., Staradiotti Jr. D., de Oliveira J.S. 2007. Soybean oil and propolis in the diets of dairy goats: intake of nutrients and ruminal metabolism. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 191–197.
- [17] Liebelt R.A., Calcagnetti D. 1999. Effects of bee pollen diet on the growth of the laboratory rat. *Amer. Bee J.* 139: 390–395.
- [18] Longuski R.A., Ying Y., Allen M.S. 2009. Yeast culture supplementation prevented milk fat depression by a short-term dietary challenge with fermentable starch. *J. Dairy Sci.* 90: 160–167.
- [19] Lotfy M. 2006. Biological activity of bee propolis in health and disease. *Asian Pacific J. Cancer Prev.* 7: 22–31.
- [20] Magalhaes V.J.A., Susca F., Lima F.S., Branco A.F., Yoon I., Santos J.E.P. 2008. Effect of feeding yeast culture on performance, health, and immunocompetence of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 91: 1497–1509.
- [21] Maunsell F.P., Morin D.E., Constable P.D., Hurley W.L., McCoy G.C., Kakoma I., Isaacson R.E. 1997. Effects of mastitis on the volume and composition of colostrum produced by holstein cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1291–1299.
- [22] Middleton Jr. E., Kandaswami C., Theoharides T.C. 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol. Rev.* 52: 673–751.
- [23] Nartowska J. 2001. Związki naturalne o właściwościach antyoksydacyjnych. *Farmacja Polska* 57: 741–745.
- [24] Ozturk H., Pekcan M., Sireli M., Fidanci U.R. 2010. Effect of propolis on in vitro rumen microbial fermentation. *Ankara Univ. Vet. Fak Derg.* 57: 217–221.
- [25] Pinto M.S., de Faria H.E., Message D., Cassini S.T.A., Pereira C.S., Gioso M.M. 2001. Effect of green propolis extracts on pathogenic bacteria isolated from milk of cows with mastitis. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* 36: 278–283. (in brazilian)
- [26] Pisulewski P.M. 1986. Antybiotyki paszowe w żywieniu bydła i owiec. *Biul. Inf. IZ* 1: 23–37.
- [27] Pruzanski W., Vadas P. 1991. Phospholipase A₂ – a mediator between proximal and distal effectors of inflammation. *Immunol. Today* 12: 143–146.
- [28] Rispoli T.B., Lopes-Rodrigues I., Neto R.G.M., Kazama R., Prado O.P.P., Zeoula L.M., Arcuri P.B. 2009. Protozoários ciliados do rúmen de bovinos e bubalinos alimentados com dietas suplementadas com monensina ou própolis. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 44: 92–97.
- [29] Schukken Y.H., Hertl J., Bar D., Bennett G. J., Gonzalez R.N., Rauch B.J., Santisteban C., Schulte H.F., Tauer L., Welcome F.L., Grohn Y.T. 2009. Effects of repeated gram-positive and gram-negative clinical mastitis episodes on milk yield loss in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 3091–3105.
- [30] Sforzin J.M. 2007. Propolis and the immune system: a review. *J. Ethnofarm.* 113: 1–14.
- [31] Sosin E.M., Strzetelski J.A. 2007. Wpływ różnych czynników na występowanie lipidozy wątroby u krów mlecznych. W: *Produkcja mleka i wołowiny a zdrowie człowieka*. ISSN 1733-5183, PAU Kraków: 29–42.
- [32] Stelzer F.S., de Paula Lana R., de Souza Campos J.M., Mancio A.B., Pereira J.C., de Lima J.G. 2009. Desempenho de vacas leiteiras recebendo concentrado em diferentes níveis, associado ou não a própolis. *Rev. Bras. Zootec.* 38: 1381–1389.
- [33] Stradiotti Jr.; Queiroz A.C., Lana R.P. 2004. Ação da própolis sobre a desaminação de aminoácidos e a fermentação ruminal. *Rev. Bras. de Zootec.* 33(4): 1086–1092.
- [34] Strzetelski J.A. 1994. Rozwój badań nad stymulatorami wzrostu w żywieniu przeżuwaczy. *Biul. Inf. IZ* 4: 5–18.
- [35] Strzetelski J.A., Kowalczyk J., Krawczyk K. 1998. Effect of various probiotics on calf performance. *J. Anim. Feed Sci.* 7: 241–244.
- [36] Śliżewska K., Biernasiak J., Libudzisz Z. 2006. Probiotyki jako alternatywa dla antybiotyków. *Zesz. Nauk. PŁ* 70: 79–91.

- [37] Tedesco T., Tava A., Galletti S., Tameni M., Varisco G., Costa A., Steldler S. 2004. Effect of silymarin, a natural hepatoprotector in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(7): 2239–2247.
- [38] Tichonow A.I., Sodzwaczny K., Tichonowa S.A., Jarnych T.G., Bondarczuk L.I., Kotenko A.M. 2008. Pylek kwiatowy obnoże pszczele w farmacji i medycynie. Teoria, technologia, zastosowanie lecznicze. Monografia, Apipol-Farma Sp. z o.o.: 274 ss.
- [39] Turner K.K., Nielsen B.D., O'Connor C.I., Burton J.L. 2006. Bee pollen product supplementation to horses training seems to improve feed intake: a pilot study. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 90 (9–10): 414–420.
- [40] Wilson D.J., Mallard B.A., Burton J.L., Schukken Y.H., Grohn Y.T. 2007. Milk and serum J5-specific antibody responses, milk production change, and clinical effects following intramammary *Escherichia coli* challenge for J5 vaccinate and control cows. *Clin. Vaccine. Immunol.* 14: 693–699.
- [41] Xie Y., Wan B., Li W. 1994. Effect of bee pollen on maternal nutrition and fetal growth. *Hua Xi Yi Ke Da Xue Xue Bao* 25: 434–437.
- [42] Yaghoubi S.M.J., Ghorbani G.R., Soleimani Zad S., Satari R. 2007. Antimicrobial activity of Iranian propolis and its chemical composition. *DARU* 15: 1.
- [43] Yaghoubi S.M.J., Ghorbani G.R., Rahmani H.R., Nikkiah A. 2007. Growth, weaning performance and blood indicators of humoral immunity in holstein calves fed supplemental flavonoids. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 92(4): 456–462.
- [44] Yancey R.J. 1999. Vaccines and diagnostic methods for bovine mastitis. Fact and fiction. *Adv. Vet. Med.* 41: 257–273.
- [45] Yang W.R., Sun H., Wang Q.Y., Liu F.X. Yang Z.B. 2010. Effects of rumen protected methionine on dairy performance and amino acid metabolism in lactating cows. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 5 (1): 1–7.

Potential use of apiculture products as the feed additives in cattle nutrition

Key words: propolis, bee pollen, flavonoids, cattle

Summary

Propolis and bee pollen are natural products which contain biologically active components, including flavonoids. Apiculture products have multiple action on health because of their content of flavonoids and other substances, and the interactions among them. Research suggests that both propolis and bee pollen can have similar effects to feed antibiotics that were used until recently. In vitro studies conclusively confirm that propolis has antibacterial properties. Moreover, in vivo studies with cows and calves indicate that propolis may have positive effects on their performance and health. Without question, this is due to the beneficial effects of propolis on the development of immunity and vascular function, as well as protective effects on liver cells. There is limited research on the application of bee pollen in animal feeding, with no information on its use in cattle nutrition.

Kronika

15 Sympozjum Europejskiego Towarzystwa Naukowego Badania Chwastów (Kaposvár, Węgry 12–15 lipca 2010)

Adam Dobrzański

Instytut Ogrodnictwa

ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice

e-mail: adam.dobrzaski1@neostrada.pl

Chwasty i ich zwalczanie, pomimo osiągnięcia znacznego postępu w tej dziedzinie, wciąż stanowią przedmiot badań wielu ośrodków naukowych. Ich wyniki są przedstawiane między innymi na sympozjach organizowanych, co 3 lata przez Europejskie Towarzystwo Naukowe Badania Chwastów. 15 Sympozjum odbyło się na uniwersytecie w Kaposvár (Węgry). Wzięły w nim udział 283 osoby z 34 krajów. Polskę reprezentowało 18 uczestników (z Instytutu Ochrony Roślin, Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Instytutu Warzywnictwa, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu i Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego). Przedstawiono ponad 250 referatów i doniesień w formie posterów (w tym 12 polskich), obejmujących takie grupy tematyczne jak:

- uodparnianie się chwastów na herbicydy,
- biologia chwastów,
- bioróżnorodność chwastów w czasie i przestrzeni,
- ekologia chwastów,
- gatunki inwazyjne i biologiczne zwalczanie,
- taktyka i strategia regulacji zachwaszczenia metodami niechemicznymi,
- metody chemicznego zwalczania chwastów.

Referat otwierający symposium dotyczył chwastów występujących na Węgrzech i był opracowany na podstawie przeglądu zachwaszczenia, prowadzonego od ponad 60 lat pod nadzorem ministerstwa rolnictwa i państwowej służby ochrony roślin. Na tej podstawie sporządzane są mapy zachwaszczenia, które są pomocne do opracowywania systemów wspomagania decyzji o zwalczaniu chwastów. Zagadnienie to było przedstawione w kilku doniesieniach, między innymi w polskich [5]. Wieloletnie stosowanie herbicydów zawierających jednakową substancję aktywną na tym samym polu może wywołać uodpornienie się chwastów na herbicydy. Problemowi temu poświęcono 37 doniesień, w tym 4 polskie [1, 2, 5, 9]. W Norwegii wykazano, że pomiędzy populacjami chwastów wieloletnich (perz, skrzyż polny,) pochodzącymi z różnych siedlisk i szerokości geograficznych są różnice w pojawianiu się części nadziemnych wyrastających z pączków i rozłogów znajdujących się w glebie. Wiedzę tę można wykorzystać planując termin mechanicznego zwalczania chwastów. Porównywano okres spoczynku i kiełkowanie nasion komosy białej pochodzącej z 10 krajów europejskich oraz Kanady i Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej. Nasiona z krajów leżących na południu miały dłuższy okres spoczynku niż tych na północy. Bochenek i in. [4] przedstawili wyniki badań nad okresem spoczynku nasion ostrożenia polnego. Jak wynika z badań belgijskich na skład gatunkowy i poziom zachwaszczenia ma wpływ rodzaj materii organicznej wprowadzanej do gleby w formie różnych kompostów. Zwrócono uwagę na wpływ zmian klimatycznych, na pojawianie się niektórych gatunków na obszarach, gdzie wcześniej nie występowały, bądź miały marginalne znaczenia. Przedstawiono wyniki badań nad przemieszczaniem się bylicy pospolitej na pola uprawne kukurydzy w południowo-zachodniej Polsce [6]. Poważny problem stanowią inwazyjne gatunki chwastów, szczególnie ambrozja bylicolistna pochodząca z Ameryki Północnej rozprzestrzeniająca się w wielu krajach. Chwast ten nie tylko powoduje obniżenie plonu uprawianych roślin, ale jest szkodliwy dla człowieka, bo powoduje alergię. Badania nad biologią i zwalczaniem ambrozji prowadzone są w ramach współpracy międzynarodowej w kilku krajach Unii Europejskiej. Kilka referatów i posterów dotyczyło wykorzystania allelopatii do regulowania zachwaszczenia. Podano, że substancje zawarte w lucernie i słoneczniku bulwiastym hamują kiełkowanie i wzrost niektórych chwastów. W badaniach tureckich z chwastnicą jednostronną pochodzącą z 34 lokalizacji stwierdzono, że rośliny tego gatunku różnią się między sobą wieloma cechami genetycznymi, anatomicznymi, szybkością kiełkowania i wzrostu. Od tych różnic może zależeć reakcja na herbicydy. Rozmieszczenie chwastów na polu nie zawsze jest równomierne – wiele gatunków występuje placowo. W takim przypadku, zamiast opryskiwać herbicydami całe pole, zabieg można ograniczyć do miejsc ich występowania, opierając się na tzw. „mapowaniu chwastów”. Podjęto prace nad skoordynowaniem badań nad mapowaniem i występowaniem chwastów w Europie i przedstawiono pierwsze wyniki z tego zakresu. Niektóre gatunki charakteryzują się szeroką amplitudą ekologiczną i są spotykane na obszarze prawie całej Europy, inne zaś dominują

na północy. Badacze angielscy przedstawili prototyp automatycznego urządzenia do rozpoznawania gatunków i mapowania chwastów, w które można wyposażyć opryskiwacz. Kilka doniesień, w tym polskie [9] dotyczyło porównania zachwaszczenia upraw konwencjonalnych z ekologicznymi. W badaniach włoskich wykazano, że uprawa ekologiczna powoduje większe zagrożenia trudnymi do zniszczenia chwastami wieloletnimi. Przedstawiono referat na temat aktualnych poglądów na rolę płodowiznianu w regulowaniu poziomu zachwaszczenia. W kilku doniesieniach, między innymi polskich, przedstawiono możliwości wykorzystywania ściółek z roślin okrywowych do ograniczania zachwaszczenia [3]. Z zakresu badań nad zastosowaniem i skutecznością biologiczną herbicydów oraz adiuwantów poprawiających skuteczność i jakość wody używanej do opryskiwania można wymienić doniesienia polskich autorów [5, 7, 10, 11, 12]. Większość badań obecnie jest skierowana na biologię chwastów, wpływ sposobów odchwaszczania na różnorodność biologiczną środowiska rolniczego i jego otoczenia, opracowanie modeli dynamiki populacji chwastów, opracowanie lub usprawnienie alternatywnych sposobów zwalczania chwastów zastępujących lub uzupełniających herbicydy (np. metody termiczne, biologiczne, technika laserowa), rolę herbicydów i innych sposobów zwalczania w integrowanej ochronie przed chwastami. Zwrócono tu uwagę tylko na niektóre zagadnienia poruszane na Sympozjum. Duża liczba referatów i doniesień uniemożliwia ich szczegółowe omówienie. Materiałami z 15 Sympozjum EWRS dysponują polscy uczestnicy (m.in. IOR Poznań, IUNG Wrocław, IWarz Skierniewice).

Wykaz prac polskich autorów

- [1] Adamczewski K., Kierzek R. Resistance of silky bentgrass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) to ACCase inhibitor herbicides in Poland. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 53.
- [2] Adamczewski K., Wagner J., Kierzek R. The quantification of the target-site resistance to mesosulfuron/iodosulfuron in a blackgrass (*Alopecurus myosuroides* HUDS.) biotype - with a Pro197-to-his mutation from a winter wheat field in Poland using pot test and Petri dish assay. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 24.
- [3] Anyszka Z., Dobrzański A., Kohut M. Weed and celeriac response to mulch from cover crops. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 275.
- [4] Bochenek A., Gołaszewski J., Górecki R.J. Hydrotime analysis of the seasonal dormancy pattern of *Cirsium arvense* seeds. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 67.
- [5] Domaradzki K., Kucharski M., Marczevska-Kolasa K., Problem of *Alopecurus myosuroides* HUDS. and its control in south-west Poland. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 318.
- [6] Golebiowska H., Rola H. Migration of *Artemisia vulgaris* to maize cultivation fields in the region of south-west Poland. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 140.
- [7] Kieloch R., Domaradzki K. The efficacy of sulfonylurea herbicides dependently on winter wheat cultivars and crop density. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 316.
- [8] Krawczyk R., Kierzek R. The effect of conversion to organic farming on weed species composition in cereals. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 121.
- [9] Marczevska-Kolasa K., Skoczowski A., Kucharski M. The gas chromatography and isothermal calorimetry as the methods to estimating resistance of *Centaurea cyanus* to chlorsulfuron. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 40.

- [10] Miziniak W., Praczyk T. Fenoxaprop-P-ethyl enhances the activity of chlormequat chloride and prohexadione-calcium in winter wheat. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 320.
- [11] Sobiech L., Skrzypczak G.A. Influence of additives on efficacy of tribenuron-methyl and iodosulfuron- methyl sodium at hard water conditions. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 313.
- [12] Woźnica Z, Idziak R. Enhanced efficacy and cost-effective herbicide usage in maize. 15 EWRS (European Weed Research Society) Symposium, Kaposvár 2010. Proceedings: 295.

Spis treści

Profesor Ryszard Babicki (1927–2010) — A. Grzywacz	3
A. Dobrzański — Reakcja nasion chwastów segetalnych na uprawę roli wykonywaną nocą	9
J. Syller, A. Kaliciak — Rośliny dziko rosnące jako naturalne źródło wirusów ziemniaka	21
E. Król, B. Kowalik — Grzyby z rodzaju <i>Phomopsis</i> występujące na pędach roślin sadowniczych	31
A. Hara-Skrzypiec — Czynniki wpływające na formowanie ciemnej plamistości poudzierzeniowej bulw ziemniaka	43
S. Gach, K. Korpysz — Aspekty jakościowe kiszzonek z zielonek niskołodygowych w formie sprasowanych bel osłanianych folią	55
J. Gołaszewski — Wykorzystanie substratów pochodzenia rolniczego w biogazowniach w Polsce	69
M. Barszcz, J. Skomial — Możliwości wykorzystania tanin w ochronie zdrowia zwierząt i ludzi	95
E. Sosin-Bzducha, J. Strzetelski — Możliwości wykorzystania produktów pszczelarskich jako dodatków paszowych w żywieniu bydła.	111

Kronika

15 Sympozjum Europejskiego Towarzystwa Naukowego Badania Chwastów (Kaposvár, Węgry 12–15 lipca 2010) — A. Dobrzański	121
---	-----

Contents

Professor Ryszard Babicki (1927–2010) — A. Grzywacz	3
A. Dobrzański — Segetal weed seeds response to night – time soil tillage . . .	9
J. Syller, A. Kaliciak — Wild growing plants as a natural source of potato viruses	21
E. Król, B. Kowalik — Fungi from the genus <i>Phomopsis</i> inhabiting shoots of orchard plants	31
A. Hara-Skrzypiec — Factors affecting blackspot bruise formation in potato tubers	43
S. Gach, K. Korpysz — Quality aspects of the short stalk green forage ensiled in form of bales wrapped in plastic film.	55
J. Gołaszewski — The use of agricultural substrates in Polish biogas plants . .	69
M. Barszcz, J. Skomial — Possibilities of tannins utilization in the protection of animals and human health	95
E. Sosin-Bzducha, J. Strzetelski — Potential use of apiculture products as the feed additives in cattle nutrition	111

Chronicle

15th Symposium of European Weed Research Society (Kaposvár, Hungary, 12–15 July 2010) — A. Dobrzański	121
--	-----