

SANDRA CICHORZ**MARIA GOŚKA****ANNA LITWINIEC**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Genetyki i Hodowli Roślin Korzeniowych, Bydgoszcz

Trawy wieloletnie z rodzaju *Miscanthus* — potencjalne źródło energii odnawialnej

Perennial grasses from the *Miscanthus* genus — potential source of renewable energy

Wyczerpywanie naturalnych pokładów paliw konwencjonalnych oraz wzrastająca emisja gazów cieplarnianych zmuszają do poszukiwania alternatywnych zasobów energetycznych. Zgodnie z założeniami Dyrektywy 2009/28/WE, Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej, zobligowana jest to zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym jej zużyciu do 15% w 2020 r. Największy udział zarówno w europejskim, jak i polskim bilansie energii odnawialnej ma biomasa stała. Z powyższych względów coraz większego znaczenia nabierają uprawy roślin energetycznych. Wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* postrzegane są jako potencjalny surowiec do produkcji biomasy. W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane z historią sprowadzenia miskanta olbrzymiego do Europy i Polski, charakterystyką dostępnej puli genetycznej, a także doświadczeniami z zakresu uprawy i hodowli wraz z cechami wymagającymi ulepszenia.

Słowa kluczowe: biomasa, trawy energetyczne, *Miscanthus*

Due to limited fossil fuels resources and rising greenhouse gas emissions there is an urgent need to seek alternative energy sources. According to the European Union Directive 2009/28/WE, Poland, as a Member State, is obligated to increase the share of renewable sources in gross final consumption of energy by 15% till 2020. Biomass has the largest share among the renewables in European and Polish energy consumption. Because of above mentioned reasons, dedicated energy crops are becoming more and more significant. Perennial grasses from the *Miscanthus* genus are perceived as a potential biomass energy crop. This article presents the history of *Miscanthus* × *giganteus* introduction to Europe and Poland, description of the currently available gene pool as well as the agricultural and breeding experience and the features requiring improvement.

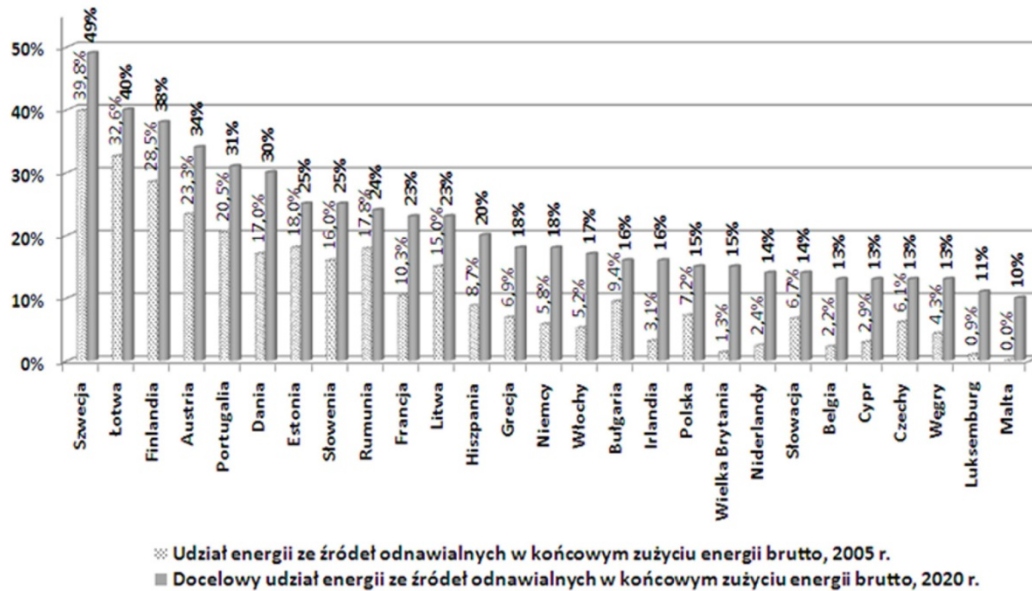
Key words: biomass, energetic grasses, *Miscanthus*

WSTĘP

Rosnące zapotrzebowanie na energię wśród krajów rozwijających się, którym towarzyszą wahania cen surowców oraz awarie systemów energetycznych, a także wzrost zanieczyszczenia środowiska stanowią istotne problemy światowej polityki energetycznej (MG 2009). Wyczerpywanie się tradycyjnych zasobów takich jak: ropa naftowa, węgiel czy gaz ziemny wymusza poszukiwania alternatywnych rozwiązań. Spore nadzieje wiąże się z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Obecnie dążenie do wzrostu ich udziału w pozyskaniu energii nie pozostaje wyłącznie w sferze deklaracji, lecz ma konkretne znaczenie w prawodawstwie. W przypadku Stanów Zjednoczonych system prawny określony w United States of America Energy Independence and Security Act of 2007 (US Senate, 2007) zakłada w głównej mierze zwiększenie niezależności i bezpieczeństwa energetycznego, produkcję czystych biopaliw, stabilizację cen i wydajności energii oraz regulację gospodarki gazów cieplarnianych. Powyższy akt prawny określa osiągnięcie 60% udziału surowców celulozowych w produkcji biopaliw. Zakłada się, iż biomasa pochodząca z upraw wieloletnich traw prowadzonych w mono- i polikulturze oraz drzew energetycznych o tzw. „krótkim cyklu” (m. in. topoli) stanowi duży potencjał do produkcji bioenergii (Zamora i in., 2013). W USA nie ma problemu z dostępnością wartościowych obszarów rolnych do uprawy roślin energetycznych, jednak z perspektywy przyszłych pokoleń i wzrastającego zapotrzebowania na żywność optymalnym rozwiązaniem wydaje się być przeznaczenie obszarów marginalnych do tego typu upraw. Należą do nich ziemie, na których rośliny uprawne nie dają satysfakcjonujących plonów ze względu na niekorzystne warunki edaficzne oraz klimatyczne, bądź postępującą erozję gleby. Rośliny przeznaczone na cele energetyczne posiadają silny system korzeniowy i łatwo adaptują się do warunków panujących na danym terenie (Gelfand i in., 2013). Podobne tendencje obserwuje się w Chinach, gdzie na uprawę roślin energetycznych można przeznaczyć wyłącznie tereny marginalne, gdyż pozostałe obszary wykorzystywane są do produkcji żywności (Sang i Zhu, 2011).

W krajach europejskich również obserwuje się wzrost produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Zgodnie z rozporządzeniami zawartymi w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE (Dyrektywa 2009/28/WE) kwestią priorytetową na nadchodzące lata dla krajów członkowskich Unii Europejskiej jest realizacja postanowień Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, a także wywiązanie się z innych wspólnotowych i międzynarodowych zobowiązań dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych. W założeniu ma to istotne znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii, wzmocnienia rozwoju innowacji i technologii, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów wiejskich i odizolowanych. Przyjęty w grudniu 2008 roku przez Unię Europejską pakiet klimatyczno-energetyczny wyznacza na 2020 rok cele ilościowe, tzw. „3 × 20%”, czyli: 1) redukcję emisji gazów cieplarnianych o 20% w odniesieniu do roku 1990; 2) redukcję zużycia energii o 20% w odniesieniu do prognoz dla UE na 2020 r.; a także 3) zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) do 20% całkowitego zużycia energii w UE.

Szczegółowe zestawienie dla każdego państwa członkowskiego UE, zgodnie z danymi zwartymi w dyrektywie, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. (Dyrektywa 2009/28/WE)

Fig. 1. National overall targets for the share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2020 (Directive 2009/28/WE)

Dla Polski, jako kraju członkowskiego, oznacza to wzrost udziału odnawialnych źródeł w finalnym zużyciu energii z 7,2% w 2005 roku do 15% w 2020 roku (Dyrektywa 2009/28/WE). Według Eurostatu, w Polsce udział OZE w finalnym zużyciu energii w 2012 roku wyniósł 11%. Do tej pory największy odsetek w procesie spalania biomasy miała nieprzetworzona biomasa leśna w postaci zrębek i trocin (Celińska, 2009). Jednakże, zgodnie z najnowszym Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 13 listopada 2013 r. (MG, 2013), stosowanie drewna pełnowartościowego jako komponentu w procesie spalania przez duże elektrownie (moc elektryczna powyżej 20 MW) nie będzie możliwe. Z powyższych względów uprawa roślin energetycznych nabiera coraz większego znaczenia w dążeniu do osiągnięcia założeń polityki energetycznej Polski (Gajewski, 2011; Krasuska i Rosenquist, 2012). Obecnie trudno jest jednoznacznie określić powierzchnię upraw wieloletnich roślin energetycznych z uwagi na brak jednolitych opracowań. Zgodnie z danymi przedstawionymi przez Gajewskiego (2011) powierzchnia jaką zajmowały wieloletnie plantacje energetyczne w 2009 r., oszacowana na podstawie wniosków rolników o dopłaty do upraw roślin energetycznych, wynosiła 10 198,1 ha, z czego 60% stanowiły uprawy wierzby energetycznej (6157 ha), 18% miskanta (1832,6 ha), 13% traw

wieloletnich (1364) oraz 9% innych roślin (topoli, ślazuca, mozgi trzcinowatej, brzozy oraz olszy). Według Głowackiej (2011) powierzchnia uprawy miskanta w Polsce, biorąc pod uwagę rok 2011, przekroczyła 4 000 ha. Ponadto Gajewski (2011) stwierdził, że od 2006 do 2011 roku plantacje roślin energetycznych praktycznie się nie rozwijały. Nie zmienia to jednak faktu, że Polska obok Węgier, Wielkiej Brytanii, Włoch, Litwy (Smeets i in., 2009) oraz Francji czy Niemiec (Stampfl i in., 2007) posiada duże możliwości do produkcji biomasy, a zwłaszcza wieloletniej trawy energetycznej jaką jest miskant. W porównaniu do wyżej wymienionych państw w Polsce koszty produkcji, magazynowania oraz transportu biomasy są relatywnie niższe (Smeets i in., 2009). Szacuje się, że pod uprawę roślin na cele energetyczne można przeznaczyć około 1,6 mln ha użytków rolnych (Ginalski, 2013), zaś sam surowiec może stać się przedmiotem eksportu (EEA, 2006). Nadprodukcja żywności w krajach rozwiniętych powoduje ograniczenie powierzchni obszarów gruntów ornych. W Polsce, również w wyniku reformy rolnictwa przeprowadzonej w 1995 roku, około 1,5 mln ha ziemi zostało wyłączonych z tradycyjnej uprawy. Otwiera to nowe możliwości prowadzenia plantacji roślin przeznaczonych na cele przemysłowe i energetyczne (Majtkowski i Majtkowska, 1998, Ginalski, 2013). Szczególnie cenne są gatunki, które przy niskim nakładzie kosztów pozwalają uzyskać duże ilości energii. Liczne doświadczenia przeprowadzone w różnych częściach Europy (Heaton i in., 2004a; Heaton i in., 2004b; Stampfl i in., 2007; Hastings i in., 2009) wskazują, iż wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* (rys. 2, 3) posiadają najwyższą wartość energii wytworzonej w porównaniu do innych roślin takich jak: wierzba, pszenica, konopie czy rzepak. Dodatkowo wydajne wykorzystanie wody, dwutlenku węgla i azotu oraz szybki przyrost biomasy wpływają na zwiększanie się arealu upraw tej rośliny.

HISTORIA SPROWADZENIA MISKANTA OLBRZYMIEGO DO EUROPY

Wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* wywodzą się z tropikalnych, subtropikalnych i umiarkowanych regionów Azji Południowo-Wschodniej oraz Wysp Pacyfiku. Należą do grupy roślin szklaku C-4, które charakteryzują się wydajnym procesem fotosyntezy, a tym samym wysokim przyrostem biomasy z powierzchni asymilacyjnej (Jeżowski, 1999). Wiąże się to z niskim zapotrzebowaniem wody, nawozów oraz zabiegów pielęgnacyjnych podczas prowadzenia uprawy tych roślin. Miskant należy do rodziny *Poaceae*, plemienia *Andropogoneae*, podplemienia *Saccharinae*. Różne źródła literaturowe wskazują, iż rodzaj *Miscanthus* liczy od 14–20 gatunków. Prowadzone badania z wykorzystaniem analiz molekularnych i cytologicznych pozwoliły na zawężenie liczby gatunków do 11–12, takich jak: *M. floridulus* (Labill.) Warb., *M. intermedius* (Honda) Honda, *M. longiberbis* Nakai, *M. lutarioparius*, *M. oligostachyus* Stapf., *M. paniculatus* (B. S. Sun) Renvoize & S. L. Chen, *M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack., *M. sinensis* Anderss., *M. tinctorius* (Steud.) Hack., *M. transmorrisonensis* Hayata, *M. × giganteus* Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize, *Miscanthus sinensis* ssp. *condensatus* (Hackel) T. Koyama (oznaczany również jako *M. condensatus*). Spośród wyżej wymienionych trzy gatunki uznawane są za szczególnie cenne do produkcji biomasy: miskant cukrowy (*M. sacchariflorus*), chiński (*M. sinensis*) oraz olbrzymi (*Miscanthus × giganteus*) (Clifton-Brown i in., 2008), przy

czym ostatni charakteryzuje się najwyższym plonowaniem. Pierwsze osobniki miskanta olbrzymiego trafiły do Europy z Jokohamy (Japonia) (Scurlock, 1999). Do końca XX wieku nie były postrzegane jako rośliny energetyczne (Chung i Kim, 2012). Pierwszy klon miskanta został sprowadzony do Danii w 1935 roku przez botanika Aksela Olsena jako roślina ozdobna. Roślina ta pochodzi z Dalekiego Wschodu, jednakże szybko okazało się, że dobrze zanoszą warunki klimatyczne Europy. Pod koniec lat 60. po raz pierwszy zaobserwowano, że biomasa miskanta może być wykorzystana do produkcji włókien celulozowych (Scurlock, 1999). Do badań prowadzonych przez Danish Institute for Landscape Plants w Hornum (Clifton-Brown i Lewandowski, 2000) wykorzystano genotyp oznaczony jako 'Klon Hornum'. Pionierską plantację miskanta o powierzchni zaledwie jednego hektara założono w Möser koło Magdeburga (Niemcy), (Jeżowski, 1999) i od tego czasu rozpoczęto intensywne doświadczenia polowe w Północnej Europie, które następnie rozprzestrzeniono do innych części Europy (Scurlock, 1999).

CHARAKTERYSTYKA PULI GENETYCZNEJ

Początkowo sądzono, iż osobniki miskanta sprowadzone z Japonii należą do gatunku miskanta chińskiego i zostały oznaczone przez Karla Foerстера jako 'Giganteus' ze względu na szybkie tempo wzrostu (Linde-Laursen, 1993; Jeżowski, 1999). W kolejnych doniesieniach naukowych stwierdzono, że opisywany genotyp jest triploidalnym mieszańcem międzygatunkowym o liczbie chromosomów $2n = 3x = 57$, zaś jego komponenty rodzicielskie należą do dwóch gatunków: diploidalnego miskanta chińskiego ($2n = 2x = 38$) oraz tetraploidalnego miskanta cukrowego ($2n = 4x = 76$). W wyniku naturalnego przekrzyżowania powstał miskant olbrzymi (*Miscanthus* × *giganteus*), który uznano za odrębny gatunek (Linde-Laursen, 1993; Hernández i in., 2001; Hodgkinson i in., 2002b). Potwierdziły to analizy sekwencji DNA regionu *nrITS* (Nuclear ribosomal internal transcribed spacer) wykonane przez Hodgkinson i in. (2002b, 2002c). Przeprowadzone reakcje PCR wskazały na obecność u miskanta olbrzymiego dwóch alleli *nrITS*. Klonowanie powyższych produktów ujawniło, że jeden z nich odpowiada miskantowi chińskiemu, zaś drugi miskantowi cukrowemu. Ponadto, analizy sekwencji DNA regionów *trnL-F* oraz chloroplastowego intronu *trnL* (tRNA-leucine), dziedziczonego matecznie, wskazały iż komponentem matiecznym miskanta olbrzymiego jest miskant cukrowy. Uznano, że analogiczna sytuacja zachodzi w przypadku genomu mitochondrialnego. Genom jądrowy u tego gatunku dziedziczony jest zarówno po miskancie chińskim jak i cukrowym. Pomimo, że osobniki miskanta chińskiego oraz cukrowego mogą występować w odmiennych siedliskach, to na obszarze Japonii zasięg występowania tych gatunków pokrywa się. Przypuszcza się, iż zbieżność fenologii kwitnienia w sympatrycznych populacjach doprowadziła do powstania naturalnego mieszańca międzygatunkowego jakim jest miskant olbrzymi. Istnieje przypuszczenie, że jest to ten sam genotyp oznaczony przez Hondę w 1939 r. jako *M. ogiformis* Honda, który został zidentyfikowany w dorzeczu rzeki Kuma (Japonia), (Nishiwaki i in., 2011). Osobniki do niego należące są szczególnie cenne, gdyż wykazują efekt heterozji, a tym samym przewyższają plonem biomasy komponenty rodzicielskie (Matumura i in., 1985; Heaton i in., 2010) i osiągają nawet do 4

m wysokości w warunkach europejskich (Zub i Brancourt-Hulmel, 2010). Ze względu na całkowitą (Lafferty i Lelley, 1994) lub częściową sterylność *M. × giganteus* nie wytwarza płodnych nasion. Z powyższych względów jest rozmnażany wyłącznie wegetatywnie. Zazwyczaj odbywa się to przez podział kłaczy lub za pomocą mikrorozmnażania w warunkach kultur *in vitro* (Jeżowski, 1999). Skutkiem rozmnażania poprzez klonowanie jest bardzo małe zróżnicowanie w obrębie tego gatunku. Z badań przeprowadzonych przez Greef i in. (1997) oraz Hodkinson i in. (2002 a) wynika, iż w Europie dostępne są maksymalnie trzy różniące się od siebie genotypy. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że miskant olbrzymi, uprawiany na szeroką skalę w Europie, wywodzi się wyłącznie od jednego genotypu pierwotnie sprowadzonego z Dalekiego Wschodu (Deuter i Jeżowski, 1998), zwanego ‘Klonem Hornum’ (Farrell i in., 2006), który najprawdopodobniej jest tożsamy z ‘Klonem Aksel Olsen’. Analizując doniesienia literaturowe można przypuszczać, iż drugim, odrębnym genotypem powstałym w wyniku innego naturalnego przekrzyżowania może być ‘Klon Harvey’. Jak podaje Sacks i in. (2013), został on sprowadzony do Anglii bezpośrednio z Japonii w 1980 roku. Wyżej wspomniane fakty świadczą o bardzo zawężonej puli genetycznej gatunku *M. × giganteus* występującego w Europie (Zub i Brancourt-Hulmel, 2010).

EUROPEJSKIE PROGRAMY HODOWLANE

Celem sprawdzenia puli genetycznej wspomnianych gatunków w różnych częściach Europy rozpoczęto realizację licznych programów hodowlanych (tab. 1). W Niemczech prace badawcze poświęcone miskantowi trwały od 1991 do 1994 roku z udziałem firmy Veba Oel AG. Ponadto, w 1993 roku ustanowiono międzynarodową sieć skupioną na produktywności roślin, w której brało udział 18 podmiotów z 10 krajów (Lewandowski i in., 2000). Podczas tych prac badawczych Jørgensen (1997) zaobserwował zróżnicowanie w obrębie gatunku miskanta chińskiego i zasugerował wykorzystanie ich jako komponentów do resyntezy nowych genotypów miskanta olbrzymiego o ulepszonych cechach jakościowych. Nieco później rozpoczęto realizację programu European Miscanthus Improvement (EMI), którego celem było zwiększenie wydajności produkcji biomasy oraz zdolności adaptacyjnych miskanta (Scurlock, 1999). Od 1997 roku prowadzono intensywne badania polowe w krajach europejskich, w tym: Szwecji, Danii, Niemczech, Anglii oraz Portugalii. Materiał badawczy obejmował osobniki miskanta olbrzymiego, cukrowego i chińskiego sprowadzone bezpośrednio z Azji, a także uzyskane od niemieckich, duńskich oraz szwedzkich hodowców. Badania te miały na celu zweryfikowanie wydajności plonu 15 genotypów miskanta w różnych warunkach glebowych i klimatycznych Europy tak, aby zoptymalizować wydajność produkowanej biomasy. Wstępne wyniki jakie uzyskano po trzech latach prowadzenia uprawy wykazały, że w Anglii i Niemczech preferowanym gatunkiem był *M. × giganteus*, dając plon odpowiednio powyżej 13 t·ha⁻¹ oraz 22 t·ha⁻¹. W Portugalii miskant olbrzymi również dobrze plonował (34 t·ha⁻¹), lecz najwyższą efektywność uzyskano dla jednego mieszańca *M. sinensis* (powyżej 47 t·ha⁻¹). Podobnie w Szwecji i Danii najbardziej wydajne były

również mieszańce *M. sinensis*, co wskazuje na duży potencjał adaptacyjny tych osobników (Clifton-Brown i in., 2001).

Tabela 1

Przykłady europejskich programów hodowlanych ukierunkowanych na ulepszenie wieloletnich traw energetycznych z rodzaju *Miscanthus*
The examples of European breeding programs concentrated on *Miscanthus* perennial grass improvement

Lata trwania programu Duration of breeding programme	Charakterystyka programu Characteristic of breeding programme	Uczestnicy programu Participants of breeding programme	Literatura References
1991–1994	Jedne z największych prac badawczych poświęcone produktywności miskanta – plantacje na obszarze o łącznej powierzchni 70 ha w 20 lokalizacjach	Niemcy — firma energetyczna Veba Oel AG	(Lewandowski i in., 2000)
1992–1996 1999–2003 1997 2011–2016	Cykl projektów badawczych obejmujący: - analizę cech plonu biomasy oraz porównanie klonów miskanta z zastosowaniem markerów molekularnych, - pozyskanie nowych genotypów ze środowiska naturalnego (Chiny, Japonia, Korea, Taiwan), - genetyczne ulepszenie miskanta.	Współpraca ośrodków z Wielkiej Brytanii: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Royal Botanic Gardens w Kew, Agricultural Development and Advisory Service (ADAS), Arthur Rickwood Research Station	(DEFRA, 2013)
1993	European <i>Miscanthus</i> Productivity Network, którego celem było ustanowienie międzynarodowej sieci skupionej na produktywności miskanta	18 podmiotów z 10 krajów	(Lewandowski i in. 2000) (Scurlock, 1999)
1997	European <i>Miscanthus</i> Improvement (EMI) finansowany przez Komisję Europejską, którego celem było: - opracowanie metod hodowlanych do tworzenia nowych mieszańców międzygatunkowych, - zwiększenie wydajności produkcji biomasy, - zwiększenie zdolności adaptacyjnych miskanta.	Szwecja, Dania, Niemcy, Anglia, Portugalia	(Clifton-Brown i in., 2001) (Scurlock, 1999)

Genotypy miskanta olbrzymiego użyte w programie EMI pochodziły z duńskiej (włączając ‘Klon Hornum’) oraz niemieckiej kolekcji. Początkowo sądzono, że wywodzą się z różnych krzyżowań. Analizy zróznicowania genetycznego przeprowadzone przez zespół Greef i in. (1997) z zastosowaniem markerów molekularnych AFLP w obrębie tego samego materiału badawczego wykazały niewielkie, ale wykrywalne różnice na poziomie genomu pomiędzy niektórymi osobnikami miskanta olbrzymiego. Autorzy sugerowali, że różnice te mogą powodować zmiany w strukturze i wielkości plonu. Jednakże Clifton-Brown i in. (2001) w trzech pierwszych latach uprawy nie stwierdzili istotnych różnic dotyczących takich cech jak: gęstość korzeni, wysokość roślin oraz wielkość jesiennego plonu w obrębie puli genetycznej miskanta olbrzymiego. Uzyskane wyniki potwierdziły

bardzo niskie zróżnicowanie w obrębie tego gatunku. Powyższe doświadczenia polowe kontynuowano przez kolejne 11 lat (co łącznie daje czternastoletni okres obserwacji) w stacji Ihinger Hof Uniwersytetu Hohenheim w Południowych Niemczech. Celem tych prac była ocena stabilności wielkości plonu w poszczególnych latach uprawy. Wyniki wskazały, iż najlepszym genotypem okazał się *M. × giganteus* oznaczony jako Gig-2 (No. 16.21, 'Klon Hornum') ze średnim jesiennym plonem wynoszącym $14,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Biorąc pod uwagę pomiary takie jak np. gęstość korzeni nie odnotowano istotnych różnic między trzecim a czternastym rokiem uprawy. Obserwowano natomiast widoczne różnice między genotypami w wielkości i stabilności plonu. Genotypem wykazującym najbardziej pożądane efekty okazał się być *M. × giganteus* o nazwie Gig-3 (No. 17.02, Prof. Hagemann). Wydajność plonu tego genotypu nie spadała poniżej $12,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ przez 75% analizowanego okresu czasu (Gauder i in., 2012). Powyższe wyniki pozwalają przypuszczać, iż drobne różnice występujące między genotypami miskanta olbrzymiego mogą ujawnić się dopiero po dłuższym okresie uprawy. Kolejny program badawczy był prowadzony w ramach współpracy dwóch ośrodków: Royal Botanic Gardens w Kew oraz Agricultural Development and Advisory Service (ADAS), Arthur Rickwood Research Station w Wielkiej Brytanii. Pozwolił on na utworzenie krajowej kolekcji miskanta. Od 1992 roku przeprowadzono serię badań realizowanych przez Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), analizujących szeroki zakres cech plonu biomasy oraz wzajemne powiązanie klonów miskanta z zastosowaniem markerów molekularnych (DEFRA, 2013). Analizy zróżnicowania genetycznego 75 osobników miskanta, należących do wyżej wspomnianej kolekcji, były prowadzone przez Hodkinson i in. (2002 a) z zastosowaniem markerów molekularnych typu ISSR oraz AFLP. Wyniki wskazały na występowanie bardzo wąskiej puli genetycznej w obrębie gatunku miskanta olbrzymiego. Autorzy sugerowali, że wśród analizowanych osobników mogą występować wyłącznie dwa lub trzy blisko spokrewnione klony, natomiast osobniki miskanta chińskiego wykazały bardzo wysokie zróżnicowanie. Powyższe osiągnięcia stanowiły jedynie podstawy do dalszych badań i niejako wskazały konieczność poszerzenia puli genetycznej traw z rodzaju *Miscanthus*. Obecnie również prowadzi się intensywne prace hodowlane nad wyprowadzeniem nowych odmian miskanta. W Europie największy udział w tym sektorze należy między innymi do dwóch firm: angielskiej — Biomass Industrial Crops oraz niemieckiej — Timplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung, której prawa licencyjne do rozmnażania i sprzedaży zostały w 2007 roku wykupione przez amerykański koncern Mendel Biotechnology Inc. Działalność powyższej firmy, jak również Ceres Inc. oraz angielsko-kanadyjskiej BiUS, przyczyniła się do szybkiego rozwoju plantacji miskanta olbrzymiego, który ma miejsce na obszarze Ameryki Północnej (Majewska-Sawka, 2009). Ponadto, kilka programów hodowlanych jest w trakcie realizacji przez jednostki badawcze z Wielkiej Brytanii (DEFRA, 2013), USA i Francji. Skupiają się one na kolekcji i charakterystyce zróżnicowania zasobów genetycznych pochodzących z naturalnego środowiska. Wstępowanie miskanta w różnych szerokościach geograficznych świadczy o dużej różnorodności i zdolnościach adaptacyjnych osobników tego rodzaju. Z powyższych względów, środowisko naturalne stanowi nadal cenne źródło genotypów

nadających się do uprawy w różnych warunkach klimatycznych (Clifton-Brown i in., 2008). Poza tym, w przypadku miskanta olbrzymiego stopień ploidalności stanowi istotną barierę utrudniającą prowadzenie konwencjonalnych prac hodowlanych. W związku z tym nadal poszukuje się naturalnych mieszańców powstałych w wyniku odrębnych przekrzyżowań. W ostatnim czasie intensywne prace w poszukiwaniu nowych genotypów miskanta olbrzymiego prowadzili Nishiwaki i in. (2011). Badania prowadzono w okolicach Kushimy, gdzie Honda wykrył osobnika oznaczonego jako *M. ogiformis*, najprawdopodobniej tożsamego z obecnie uprawianym *M. × giganteus*. Analiza zawartości DNA oraz stopnia ploidalności, wykonana za pomocą cytometru przepływowego, umożliwiła autorom znalezienie 3 sterylnych triploidalnych genotypów produktywnością zbliżonych do miskanta olbrzymiego. Jak wynika z informacji przedstawionych przez Dwiyanti i in. (2013) obserwacje mikroskopowe powyższych roślin wykazały liczbę chromosomów równą 57, natomiast analizy sekwencji ITS oraz chloroplastowego DNA potwierdziły ich mieszańcowe pochodzenie. Bazując na sekwencjach ITS powyższe rośliny różniły się genetycznie od powszechnie uprawianego genotypu. Materiały te wymagają dalszej charakterystyki i istnieje prawdopodobieństwo, że poszerzą pulę genetyczną miskanta olbrzymiego. Dostęp do naturalnych zasobów miskanta związany jest niestety z kilkoma ważnymi utrudnieniami przedstawionymi w Konwencji o Różnorodności Biologicznej z Rio de Janeiro, która zapewnia suwerenność zasobów genetycznych każdego kraju. Ponadto, wymagane jest nawiązanie oficjalnej współpracy, potwierdzonej odpowiednimi pozwoleniami, z jednostką znajdującą się na danym obszarze. Rośliny sprowadzone z Dalekiego Wschodu są poddawane kwarantannie i podlegają inspekcji przez wykwalifikowanego pod tym kątem fitopatologa. Programy hodowlane powinny być kontynuowane z zastosowaniem nie tylko nowo sprowadzonych genotypów, lecz także z wykorzystaniem obecnie dostępnych materiałów przy wsparciu konwencjonalnych i biotechnologicznych technik.

CECHY HODOWLANE WYMAGAJĄCE ULEPSZENIA

Miskant, jako przedstawiciel roślin szlaku C4 wykazuje większą wydajność wykorzystania wody od roślin szlaku C3, jednakże dłuższe niedobory mogą spowodować spore straty w plonie biomasy a na glebach piaszczystych powodują usychanie roślin. Badania prowadzone w Niemczech w 1999 roku podczas suchego okresu letniego wskazały znikomą kontrolę utraty wody przez aparaty szparkowe u osobników *M. × giganteus*. Wśród genotypów *M. sinensis* zaobserwowano natomiast zróżnicowanie w przewodności szparkowej podczas suszy. W obrębie analizowanych osobników jeden z mieszańców miskanta chińskiego zachował całkowicie zielony łan podczas suszy, co było ściśle powiązane z regulacją utraty wody przez aparaty szparkowe podczas jej deficytu (Clifton-Brown i in., 2002). Z powyższych względów istotnego znaczenia nabiera selekcja genotypów pod kątem odporności na niedobory wody, przy jednoczesnym zachowaniu dużej produktywności biomasy. Kolejną kwestią związaną ze specyfiką traw szlaku C4, pochodzących z obszarów tropikalnych, jest wpływ ochłodzenia oraz przymrozków na ograniczenie wzrostu. Podatność na niskie temperatury dotyczy zarówno przezimowania

kłączy w glebie, jak również przetrwania wiosennych przymrozków przez młode, nowo wysadzone rośliny. Podczas początkowych doświadczeń polowych z *M. × giganteus* prowadzonych na terenie Europy w latach 90-tych okazało się, że osobniki tego gatunku miały problem z przetrwaniem zimy podczas pierwszego sezonu wegetacyjnego (Ziegenhagen i in., 1995). Pude i in. (1997) wskazali, że słabe przezimowanie miskanta olbrzymiego na terenie Niemiec powiązane jest z późnojesiennymi procesami starzenia się roślin, natomiast Clifton-Brown i Lewandowski (2000) zaobserwowali, iż w obrębie różnych genotypów przemarzanie młodych roślin zależało od wartości ujemnej temperatury w okresie zimy w pierwszym sezonie wegetacyjnym. Ponadto zauważyli, że osobniki miskanta olbrzymiego były bardziej podatne na przymrozki niż mieszańce miskanta chińskiego. Zróżnicowanie pomiędzy genotypami miskanta obserwowano również w obrębie takich cech jak termin kwitnienia. Okazuje się, że cecha ta ma kluczowe znaczenie dla ilości i jakości uzyskanej biomasy. Wczesne kwitnienie skraca długość efektywnego okresu wzrostu, wpływając na zmniejszenie produktywności poszczególnych genotypów. Z drugiej strony, na wielu północnych obszarach miskant olbrzymi nie zakwita przed pojawieniem się pierwszych jesiennych przymrozków. W takim przypadku przemieszczenie składników odżywczych nie zachodzi wystarczająco wydajnie, co może skutkować wyższą zawartością substancji popiołowych, a także przemarzaniem roślin podczas pierwszego sezonu wegetacyjnego. Z powyższych względów termin kwitnienia jest obecnie przedmiotem prac badawczych sponsorowanych między innymi przez UK Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC) (Clifton-Brown i in., 2008). Dla prac hodowlanych ważny jest również skład biomasy zbieranego plonu. Do spalania biomasy istotne jest zminimalizowanie jej wilgotności, zawartości popiołów i składników mineralnych, gdyż zmniejszają one wydajność powyższego procesu (Lewandowski i Kicherer, 1997). Do celów fermentacyjnych ważna jest zawartość składników organicznych takich jak: ligniny, celulozy i hemicelulozy, które warunkują całkowitą wydajność konwersji ze stałego do innych form paliw. Skład biomasy uwarunkowany jest przede wszystkim terminem zbioru, genotypem, ilością zastosowanych nawozów, a także ilością dostępnej wody w okresie poprzedzającym zbiór. Najważniejszym czynnikiem jest termin zbioru, gdyż faza dojrzewania determinuje śmierć i odłączenie liści (zawierających duże ilości substancji popiołowych) oraz inicjuje przemieszczenie składników pokarmowych do zimujących w glebie kłączy (Clifton-Brown i in., 2008). Kolejną istotną kwestią jest sposób rozmnażania miskanta. Obecnie pozyskanie sadzonek opiera się w głównej mierze na rozmnażaniu szczególnie wydajnych genotypów poprzez zastosowanie kultur *in vitro* oraz podział kłączy. Zakładanie plantacji w oparciu o materiał siewny byłoby wysoce pożądane, gdyż wpłynęłoby na zminimalizowanie kosztów. Christian i in. (2005) przeprowadzili doświadczenie, w którym do uprawy polowej miskanta chińskiego wykorzystano nasiona uzyskane z niekontrolowanego przepylenia. W rezultacie uzyskano osobniki o zróżnicowanym pokroju morfologicznym. Autorzy uznali powyższą metodę za obiecującą, wskazali jednak na konieczność prowadzenia dalszych badań, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania niezbędnych zabiegów agrotechnicznych, a także sprawdzenia metody w różnych warunkach

glebowych oraz klimatycznych, aby móc uznać ją za alternatywę dla obecnie stosowanych technik.

Przedmiotem zainteresowania hodowców traw wieloletnich są również badania związane z odpornością na choroby i szkodniki. Okazuje się, że ogólnie miskant uznawany jest za rodzaj o stosunkowo dużej odporności na warunki stresowe i niewielkiej liczbie szkodników oraz chorób (Clifton-Brown i in., 2008). Niektórzy japońscy i tajwańscy hodowcy trzciny cukrowej tworzą mieszance międzygatunkowe z miskantem w celu podniesienia jej odporności na choroby (James, 2004). Ograniczona liczba doniesień związanych z inwazją chorób i szkodników miskanta olbrzymiego może być częściowo spowodowana niewielkim zakresem badań poświęconych temu zagadnieniu. Ponadto, może również wynikać ze stosunkowo niewielkiego, w skali światowej, areалу uprawy tej rośliny. W miarę zwiększania powierzchni uprawy oraz rozwoju systemu monokultury tego gatunku presja patogenów również będzie się zwiększać (Ahonsi i in., 2013). Obecnie w Azji osobniki miskanta są często niszczone przez motyle, które namnażają się w ich łodygach. Jeżeli populacja tych szkodników jest duża, dochodzi do znacznych strat w plonie (Clifton-Brown i in., 2008). Istnieje również kilka doniesień spoza obszaru Azji o występowaniu patogenów grzybowych, takich jak *Fusarium* (Thinggaard, 1997; Beccari i in., 2010), *Pithomyces chartarum* (Ahonsi i in., 2010), *Leptosphaeria* spp. oraz jej konidialne stadium *Stagonospora* spp. (O'Neill i Farr, 1996; Ahonsi i in., 2013). Powyższe szkodniki mogą prowadzić do znacznych strat ekonomicznych, jednakże jak dotąd częstotliwość ich występowania jest stosunkowo rzadka. W Wielkiej Brytanii zaobserwowano występowanie na miskancie zbożowej mszycy liści (*Rhopalosiphum maidis* (Fitch)). Wydaje się, iż jest to problem raczej występujący w szklarniach niż na polu. Ponadto Halbert (2002) stwierdził, że azjatyckie mszyce rozprzestrzeniają się wraz z materiałem ogrodniczym miskanta. Istnieją obawy, że zwiększanie powierzchni uprawy miskanta wpłynie na rozprzestrzenianie się wirusów powszechnie przenoszonych przez mszyce, takich jak np. wirusa żółtej karłowatości jęczmienia (BYDV). Zapewnienie większej ilości gospodarzy może potencjalnie umożliwić szkodnikom przezimowanie na obszarach o kluczowych lokalizacjach (Huggett i in., 1999; Bradshaw i in., 2010). Christian i in. (1994) badali występowanie BYDV na miskancie w warunkach kultur *in vitro*, jednakże do tej pory nie odnotowano występowania tego wirusa w warunkach polowych (Clifton-Brown i in., 2008).

POLSKIE DOŚWIADCZENIE Z HODOWLĄ I UPRAWĄ MISKANTA

Wiele źródeł literaturowych wskazuje, że osobniki miskanta olbrzymiego zostały sprowadzone do Polski z Niemiec (Majtkowski i Majtkowska, 1998; Fiedler i in., 1998; Jeżowski, 1999). Pionierskie badania polowe z genotypami tego gatunku sprowadzonymi bezpośrednio z Instytutu w Klein Wanzleben koło Magdeburga (Niemcy) były prowadzone w 1993 roku przez Ogród Botaniczny IHAR — PIB w Bydgoszczy. Rośliny te stanowiły część zasobów genowych kolekcji traw gromadzonych od 1972 roku (Majtkowski, 2004).



Rys. 2. Plantacja miskanta olbrzymiego w szóstym sezonie wegetacyjnym, znajdująca się w kolekcji polowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowego Instytutu Badawczego (IHAR — PIB), Oddział w Bydgoszczy

Fig. 2. *Miscanthus* × *giganteus* plantation in the sixth vegetative season at the Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute (PBAI — NRI), Division in Bydgoszcz

W początkowych doświadczeniach polowych prowadzonych w warunkach klimatycznych Polski okazało się, że najbardziej krytycznym okresem dla tego gatunku jest pierwszy sezon zimowy, w którym rośliny wykazują najmniejszą wytrzymałość na ujemne temperatury, natomiast w kolejnych latach uprawy są w stanie znieść spadki temperatur poniżej -20°C . Potwierdziły to wyniki badań prowadzonych nad zimowaniem traw pochodzących z obcej flory realizowanych przez Majtkowskiego i Majtkowską (1998). Podczas kolejnych prac autorzy zaobserwowali duże różnice w cechach morfologicznych oraz odporności na niskie temperatury w kolekcji odmian ozdobnych i mieszańców miskanta chińskiego, genotypów miskanta olbrzymiego oraz cukrowego. Dla 9 linii *M. sinensis* przetrzymanie w sezonie 2002/2003 wahało się w przedziale od 20,8% do 86,8%, zaś wysokość roślin wynosiła od 225,6 cm do 284,8 cm. W grupie 12 odmian ozdobnych miskanta chińskiego tylko odmiany: 'Morning Light' oraz 'Malepartus' nie przetrwały zimy, natomiast wysokość roślin mieściła się w przedziale od 108,5 cm ('Kleine Silberspinne') do 188 cm ('Silberfeder'). Rośliny miskanta cukrowego, którego doświadczenia polowe prowadzono na pozbawionych kompleksu sorpcyjnego piaszczystych glebach lub zdegradowanych i bezglebowych terenach przemysłowych

porastały powierzchnię gruntu zwartym łanem. Świadczy to o dużych zdolnościach adaptacyjnych tego gatunku. Wysokość roślin, w zależności od lokalizacji doświadczenia, mieściła się w przedziale od 92 cm do 158 cm. Młode osobniki miskanta olbrzymiego w ponad 90% nie przetrwały zimy w pierwszym sezonie po wysadzeniu do gruntu, podczas gdy starsze osobniki (szósty sezon wegetacyjny) przezimowały bez strat, tworząc silnie rozrośnięte kępy pędów osiągające wysokość 320 cm (Majtkowski, 2004). Powyższe wyniki są zgodne z sugestią Jeżowskiego (2008), który zwrócił uwagę na konieczność prowadzenia prac hodowlanych nad syntezą i selekcją nowych mieszańców miskanta olbrzymiego, jak również płodnych osobników miskanta chińskiego oraz cukrowego z uwzględnieniem odporności na niskie temperatury i wielkości plonu.



Rys. 3. Zróżnicowanie fenotypowe odmian miskanta chińskiego znajdujących się w kolekcji polowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowego Instytutu Badawczego (IHAR — PIB), Oddział w Bydgoszczy

Fig. 3. Phenotypic diversity of *Miscanthus sinensis* cultivars available in the field collection at the Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute (PBAI — NRI), Division in Bydgoszcz

W celu sprawdzenia odporności miskanta olbrzymiego na niskie temperatury Płazek i in. (2009) przeprowadzili doświadczenie w którym kłaczka miskanta, pierwotnie uprawiane w szklarni w temperaturze 20°C, były wstępnie hartowane w temperaturze 12°C i 5°C, a następnie mrożone w temperaturze -8°C lub -15°C. Wyniki wykazały, że zamrożone kłaczka posiadały pewną aktywność metaboliczną pomimo, że nie pojawiły się nowe korzenie. Autorzy sugerowali, że podatność na przymrozki tych roślin wynika z dużej wrażliwości merystemów korzeniowych na niskie temperatury. W celu poznania przyczyn z powodu których osobniki miskanta olbrzymiego były bardziej podatne na przemarzanie w pierwszym roku wegetacji, Płazek i in. (2011) przeprowadzili kolejne badania. Autorzy porównali zdolność kłaczki do regeneracji pędów między osobnikami, które jeszcze nie zimowały na polu i osobnikami po pierwszym zimowaniu. Okazało się, iż pierwsza grupa wykazała większą wrażliwość na przemarzanie niż druga, co motywowano niższą

zawartością substancji zapasowych zgromadzonych w kłączach. Kolejnym celem powyższych badań było porównanie odporności na niskie temperatury między sadzonkami otrzymanymi w warunkach *in vivo* i *in vitro* z uwzględnieniem etapu hartowania. W pierwszym sezonie wegetacyjnym rośliny wyprowadzone z kultur *in vitro* wykazały większą tolerancję na niskie temperatury w porównaniu do drugiej grupy, na co istotny wpływ miał proces hartowania.

Majtkowski i Majtkowska (1998) analizowali również przydatność ponad 60 gatunków traw, z uwzględnieniem miskanta cukrowego i olbrzymiego, do rekultywacji biologicznej terenów zdegradowanych przez górnictwo węgla kamiennego (hałdy pokopalniane w Bieruniu) oraz przemysł chemiczny (Zakłady Azotowe „Puławy”). Pokopalniany teren badań cechowało znaczne zakwaszenie gleby, natomiast drugi obszar wykazywał wysokie stężenie azotu oraz suchą i ubogą w związki organiczne glebę. Wytypowano gatunki, które charakteryzują się niskim nakładem zabiegów pielęgnacyjnych a zarazem wysoką odpornością na niekorzystne warunki siedliskowe. W rezultacie przeprowadzonych obserwacji miskant cukrowy okazał się właściwym komponentem do procesu rekultywacji hałd pokopalnianych. Natomiast miskant olbrzymi nie przetrwał uprawy na skrajnie ubogich, pozbawionych kompleksu sorpcyjnego glebach. Badano również możliwości wykorzystania miskanta olbrzymiego do rekultywacji ścieków w przydomowej oczyszczalni, która mieściła się w Ekocentrum „Sława” (województwo lubuskie). Typowe mechaniczno-biologiczne oczyszczanie ścieków zostało wsparte przez tzw. ”trzeci stopień oczyszczania”, umożliwiający usunięcie związków azotu i fosforu w formie masy roślinnej. Po wysadzeniu na wiosnę w trzecim roku uprawy dobrze ukorzenionych sadzonek miskanta olbrzymiego zaobserwowano, że jesienią rośliny osiągnęły około 4 m wysokości, zaś w systemie oczyszczania ścieków wpłynęły na redukcję zanieczyszczeń organicznych, zawiesin oraz pierwiastków. W rezultacie, ścieki po przejściu przez system korzeniowy miskanta osiągnęły parametry I klasy czystości śródlądowych wód powierzchniowych (Fiedler i in., 1998).

Ponadto, w trakcie badań prowadzonych wśród traw z rodzaju *Miscanthus* obserwowano różnice w wielkości i strukturze plonu. Jeżowski (2008) analizował wydajność produkcji biomasy sześciu wybranych klonów, włączając: dwa mieszańce międzygatunkowe miskanta olbrzymiego (3x) powstałe z kontrolowanego krzyżowania miskanta chińskiego (2x) oraz cukrowego (4x) oznaczone odpowiednio MG/1 oraz MG/2, dwa mieszańce miskanta chińskiego (2x) i cukrowego (2x) oznaczone MS/3 oraz MS/4 oraz dwa mieszańce powstałe w obrębie gatunku miskanta chińskiego (2x) oznaczone MS/5 oraz MS/6. Analizy prowadzono przez okres 3 lat, zaczynając od fazy wczesnego rozwoju i kończąc na etapie pełnej dojrzałości do zbioru. Podczas poszczególnych sezonów wegetacyjnych obserwowano różnice w obrębie takich cech jak: plon biomasy (sucha masa), wysokość roślin, rozkrzewienie, średnica kępy oraz średnica pędów. Najwyższe wartości dla wyżej wymienionych cech obserwowano od drugiego sezonu wegetacyjnego dla triploidalnych mieszańców miskanta olbrzymiego MG/1 oraz MG/2, przy czym powyższe klony nie różniły się między sobą w istotnym stopniu, podczas gdy najniższe wartości wykazywały już od pierwszego sezonu wegetacyjnego diploidalne klony MS/5 oraz MS/6. Ponadto stwierdzono, że plonowanie miskanta jest ściśle związane ze stadium

rozwoju rośliny. Ma ono również związek z rozkrzewieniem oraz średnicą kępy, które to cechy mogą posłużyć jako kryteria selekcji mieszańców prowadzonej już w pierwszym roku wegetacji.

Kolejny obszar badań prowadzonych w Polsce nad rodzajem *Miscanthus* skupiony był na ulepszeniu wydajności kultur *in vitro* poprzez zwiększenie efektywności indukcji kalusa i regeneracji roślin (Płażek i Dubert, 2010), produkcji haploidów oraz poliploidyzacji. Kultury *in vitro* kalusa stanowią materiał do badań nad zmiennością somaklonalną jako potencjalnym źródłem zmienności wśród genotypów miskanta (Płażek i in., 2007). Ponadto, wyprowadzenie haploidów oraz podwojonych haploidów z wykorzystaniem procesu androgenezy w kulturach *in vitro* może przyczynić się do uzyskania cennych materiałów. W analizach przeprowadzonych przez Głowacką i Jeżowskiego (2009) badano wpływ genotypu, stresu termicznego, składu pożywek regeneracyjnych, a także terminu na wydajność procesu androgenezy. Ilość uzyskanego kalusa była ściśle związana z genotypem, składem pożywki oraz traktowaniem chłodem, który wpływał stymulująco na wydajność regeneracyjną. W innych badaniach Głowacka in. (2010) sprawdzali optymalne warianty genotypu, stężenia kolchicyny oraz czasu ekspozycji do tworzenia poliploidów z zastosowaniem korzeni pochodzących z kultur *in vitro* diploidalnych i triploidalnych genotypów miskanta chińskiego i olbrzymiego. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń otrzymano łącznie 448 poliploidów. Stwierdzono, że wpływ stopnia ploidalności na ulepszenie cech agronomicznych zależał od genotypu. Rośliny te mogą stanowić cenny materiał do tworzenia wysoko plonujących form miskanta.

Niektóre doniesienia ostrzegają przed nadmierną ekspansją miskanta cukrowego. Na podstawie obserwacji prowadzonych od 1995 do 2007 roku przez Kochanowską i Gamrat (2007), stwierdzono, że od czwartego roku wegetacji, gdy nastąpiło całkowite wypełnienie poletek doświadczalnych przez pędy miskanta cukrowego, utrzymanie poletka o zaplanowanej powierzchni 10 m² wymagało wykaszania obrzeży oraz wykopywania kłaczy. Ponadto, kłacza powyższej rośliny wrastały na głębokość ponad 1 m w głąb ziemi, przerastając odgraniczające płyty betonowe. Autorzy stwierdzili, że ekspansywność miskanta cukrowego uniemożliwia rozwój roślin w jego bezpośrednim otoczeniu, a także może być zagrożeniem dla rodzimej flory. W związku z tym uprawa *M. sacchariflorus* w ogrodach powinna być prowadzona w głębokich pojemnikach. Ponadto, w USA oraz Australii odnotowano przypadki niekontrolowanego rozprzestrzeniania się poza przewidziany obszar uprawy niektórych odmian miskanta chińskiego. Podobne wyniki uzyskano podczas doświadczeń polowych prowadzonych w Czechach oraz Niemczech wykazując, że w warunkach europejskich również może dochodzić do niepożądanego dystrybucji nasion *M. sinensis* w środowisku naturalnym. We Włoszech, z powyższych względów uznano miskanta chińskiego za roślinę inwazyjną i zakazano jej uprawy na cele energetyczne (Jørgensen, 2011). Z badań przeprowadzonych przez Quinn i in. (2011) wynika, że nasiona tego gatunku mogą przemieszczać się na odległość około 400 metrów. Miskant olbrzymi nie stanowi takiego zagrożenia jak miskant cukrowy i chiński, gdyż jest sterylny, a kłacza rozrastają się w tempie zaledwie 10 cm w ciągu roku co nie stanowi realnego zagrożenia (Jørgensen, 2011).

POSUMOWANIE

Obecnie pozyskiwanie energii pochodzącej z wykorzystania biomasy wydaje się być korzystną alternatywą dla zasobów paliw konwencjonalnych. W wielu krajach, jak również w polskich warunkach miskant uznaje się za dobrą roślinę do pozyskania biomasy, jednakże nadal jesteśmy na początkowym etapie poznania i rozwoju procesu hodowlanego tej rośliny. Wąski zakres bazy genotypowej powinien zostać rozszerzony o genotypy, które dobrze znoszą m. in. niskie temperatury, a jednocześnie wykazują wysoką wydajność plonu biomasy. Pozyskiwanie nowych mieszańców, jak również wykorzystanie kultur *in vitro* niesie ze sobą spore nadzieje, jednakże wymaga jeszcze wielu prac badawczych.

LITERATURA

- Ahonsi M. O., Agindotan B. O., Williams D. W., Arundale R., Gray M. E., Voigt T. B., Bradley C. A. 2010. First report of *Pithomyces chartarum* causing a leaf blight of *Miscanthus* × *giganteus* in Kentucky. *Plant Disease* 94: 480.
- Ahonsi M. O., Ames K. A., Gray M. E., Bradley C. A. 2013. Biomass reducing potential and prospective fungicide control of a new leaf blight of *Miscanthus* × *giganteus* caused by *Leptosphaerulina chartarum*. *BioEnergy Research* 6: 737 — 745.
- Beccari G., Covarelli L., Balmas V., Tosi L. 2010. First report of *Miscanthus* × *giganteus* rhizome rot caused by *Fusarium avenaceum*, *Fusarium oxysporum*, and *Muhoor hiemalis*. *Australasian Plant Disease Notes. Australasian Plant Pathology Society* 5: 28 — 29.
- Bradshaw J. D., Prasifka J. R., Steffey K. L., Gray M. E. 2010. First report of field populations of two potential aphid pests of the bioenergy crop *Miscanthus* × *giganteus*. *Florida Entomologist* 93: 135 — 137.
- Celińska A. 2009. Charakterystyka różnych gatunków upraw energetycznych w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/1: 59 — 72.
- Christian D.G., Lamptey J. N. L., Forde S. M. D., Plumb R. T. 1994. First report of barley yellow dwarf luteovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. *The European Journal of Plant Pathology* 100: 167 — 170.
- Christian D. G., Yates N. E., Riche A. B. 2005. Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods. *Industrial Crops and Products* 21: 109 — 111.
- Chung J. H., Kim D. S. 2012. *Miscanthus* as a Potential Bioenergy Crop in East Asia. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 15: 65 — 77.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I. 2000. Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytologist* 148: 287 — 294.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Andersson B., Basch G., Christian D. G., Bonderup-Kjeldsen J., Jørgensen U., Mortensen J. V., Riche A. B., Schwarz K. U., Tayebi K., Teixeira F. 2001. Performance of 15 *Miscanthus* Genotypes at Five Sites in Europe. *Agronomy Journal* 93: 1013 — 1019.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Bangerth F., Jones M. B. 2002. Comparative responses to water stress in stay-green, rapid- and slow senescing genotypes of the biomass crop, *Miscanthus*. *New Phytologist* 154: 335 — 345.
- Clifton-Brown J. C., Chiang Y. Ch., Hodkinson T. R. 2008. *Miscanthus*: genetic resources and breeding potential to enhance bioenergy production. In: *Genetic improvement of bioenergy crops*. W. Vermerris (ed.) Springer: 273 — 293.
- DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs). 2013, Science and Research Projects, Molecular investigation of diversity in wild source germplasm to support *Miscanthus* breeding — NF0411(1), <http://randd.defra.gov.uk> (March, 2014).
- Deuter M., Jeżowski S. 1998. Szanse i problemy hodowli traw z rodzaju *Miscanthus* jako roślin alternatywnych. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 2: 45 — 48.

- Dwiyantri M. S., Stewart J. R., Yamada T. 2013. Germplasm Resources of *Miscanthus* and Their Application in Breeding. In: Bioenergy Feedstocks: Breeding and Genetics. Saha M. C., Bhandhari H. S., Bouton J. H. (ed.). John Wiley & Sons, Inc.: 49 — 66.
- Dyrektywa 2009/28/WE. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 140: 16 — 62.
- EEA (European Environment Agency). 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? European Environment Agency. Report 7/2006.
- Farrell A. D., Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Jones M. B. 2006. Genotypic variation in cold tolerance influences the yield of *Miscanthus*. *Annals of Applied Biology* 149: 337 — 345.
- Fiedler P., Mendaluk J., Rösler, A. 1998. *Miscanthus sinensis* — biomasa i oczyszczanie ścieków. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 2: 49 — 53.
- Gajewski R. 2011. Potencjał rynkowy biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. *Czysta Energia* 1: 22 — 24.
- Gauder M., Graeff-Hönninger S., Lewandowski I., Claupein W. 2012. Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany. *Annals of Applied Biology* 160: 126 — 136.
- Gelfand I., Sahajpal R., Zhang X., Izaurralde R. C., Gross K. L., Robertson G. P. 2013. Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest. *Nature* 493: 514 — 517.
- Ginalski Z. 2013. Odnawialne źródła energii szansą rozwoju obszarów wiejskich. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 2: 79 — 89.
- Głowacka K. 2011. A review of the genetic study of the energy crop *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy* 35: 2445 — 2454.
- Głowacka K., Jeżowski S. 2009. Genetic and nongenetic factors influencing callus induction in *Miscanthus sinensis* (Anderss.) anther cultures. *Journal of Applied Genetics* 50: 341 — 345.
- Głowacka K., Jeżowski S., Kaczmarek Z. 2010. *In vitro* induction of polyploidy by colchicine treatment of shoots and preliminary characterization of induced polyploids in two *Miscanthus* species. *Industrial Crops and Products* 32: 88 — 96.
- Greef J. M., Deuter M., Jung C., Schondelmaier J. 1997. Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44: 185 — 195.
- Halbert S. E. 2002. Pest alert; Asian *Miscanthus* aphid *Melanaphis orini*. *Triology* 41, DPI/FDACS.
- Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M., Mitchell C. P., Stampfl P., Smith P. 2009. Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *Global Change Biology Bioenergy* 1: 180 — 196.
- Heaton E. A., Clifton-Brown J., Voigt T. B., Jones M. B., Long S. P. 2004 a. *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9: 433 — 451.
- Heaton E. A., Voigt T., Long S. P. 2004 b. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy* 27: 21 — 30.
- Heaton E. A., Dohleman F. G., Miguez A. F., Juvik J. A., Lozovaya V., Widholm J., Zobotina O. A., McIsaac G. F., Mark B. 2010. *Miscanthus*: a promising biomass crop. *Advances in Botanical Research* 56: 75 — 137.
- Hernández P., Dorado G., Laurie D. A., Martín A., Snape J. W. 2001. Microsatellites and RFLP probes from maize are efficient sources of molecular markers for the biomass energy crop *Miscanthus*. *Theoretical and Applied Genetics* 102: 616 — 622.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Renvoize S. A. 2002 a. Characterization of a genetic resource collection for *Miscanthus* (*Saccharinae*, *Andropogoneae*, *Poaceae*) using AFLP and ISSR PCR. *Annals of Botany* 89: 627 — 636.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Takahashi C., Leitch I. J., Bennett M. D., Renvoize S. A. 2002 b. The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent *in situ* hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (*Poaceae*). *American Journal of Botany* 89: 279 — 286.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Lledo M. D., Salamin N., Renvoize S. A. 2002 c. Phylogenetics of *Miscanthus*, *Saccharum* and related genera (*Saccharinae*, *Andropogoneae*, *Poaceae*) based on DNA sequences from

- ITS nuclear ribosomal DNA and plastid *trnL* intron and *trnL-F* intergenic spacers. *Journal of Plant Research* 115: 381 — 392.
- Huggett D. A. J., Leather S. R., Walters K. F. A. 1999. Suitability of the biomass crop *Miscanthus sinensis* as a host for the aphids *Rhopalosiphum padi* and *Rhopalosiphum maidis*, and its susceptibility to the plant luteovirus Barley Yellow Dwarf Virus. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 143 — 149.
- James G. 2004. Sugarcane. Blackwell, Oxford.
- Jeżowski S. 1999. Miskant chiński (*Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson) – źródło odnawialnych i ekologicznych surowców dla Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 468: 159 — 166.
- Jeżowski S. 2008. Yield traits of six clones of *Miscanthus* in the first 3 years following planting in Poland. *Industrial Crops and Products* 27: 65 — 68.
- Jørgensen U. 1997. Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass and Bioenergy* 12: 155 — 169.
- Jørgensen U. 2011. Benefits versus risks of growing biofuels crops: the case of *Miscanthus*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 24 — 30.
- Kochanowska R., Gamrat R. 2007. Uprawa miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.) — zagrożenia dla polskich pól i lasów. *Łąkarstwo w Polsce* 10: 223 — 228.
- Krasuska E., Rosenqvist H. 2012. Economics of energy crops in Poland today and in the future. *Biomass and Bioenergy* 38: 23 — 33.
- Lafferty J., Lelley T. 1994. Cytogenetic studies of different *Miscanthus* species with potential for agricultural use. *Plant Breeding* 113: 246 — 249.
- Lewandowski I., Kicherer A. 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus × giganteus*. *European Journal of Agronomy* 6: 163 — 177.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J. M. O., Huisman W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy* 19: 209 — 227.
- Linde-Laursen I. 1993. Cytogenetic analysis of *Miscanthus 'Giganteus'*, an interspecific hybrid. *Hereditas* 119: 297 — 300.
- Majewska-Sawka A. 2009. Miskant olbrzymi — rozwój plantacji w Polsce i zagranicą. *Czysta Energia* 11: 34 — 35.
- Majtkowski W., Majtkowska G. 1998. Gatunki alternatywne traw i możliwości ich wykorzystania na terenach zdegradowanych i zdewastowanych. *Archiwum Ochrony Środowiska* 24: 111 — 121.
- Majtkowski W. 2004. Trawy z rodzaju *Miscanthus* Anders. — zróżnicowanie morfologiczne i fenologiczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 497: 431 — 439.
- Matumura M., Hasegawa T., Saijoh Y. 1985. Ecological aspects of *Miscanthus sinensis* var. *condensatus*, *M. sacchariflorus*, and their 3x-, 4x-hybrids, 1: Process of vegetative spread. *Research Bulletin of the Faculty of Agriculture* 50: 423 — 433.
- MG (Ministerstwo Gospodarki). 2009. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.
- MG (Ministerstwo Gospodarki). 2013. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 13 listopada 2013 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. *Dz. U. z 2013r. poz. 1362*.
- Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S., Toma Y., Ishigaki G., Miyashita T., Yamada T., Matuura H., Yamaguchi S., Rayburn A. L., Akashi R., Stewart J. R. 2011. Discovery of natural *Miscanthus* (*Poaceae*) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany* 98: 154 — 159.
- O'Neill N. R., Farr D. F. 1996. *Miscanthus* blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp., and its anamorphic state *Stagonospora* sp. *Plant Disease* 80: 980 — 987.
- Płażek A., Dubert F., Żur I., Waligórski P. 2007. *In vitro* culture of *Miscanthus × giganteus*. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 523: 175 — 184.

- Plażek A., Dubert F., Marzec K. 2009. Cell membrane permeability and antioxidant activities in the rootstocks of *Miscanthus × giganteus* as an effect of cold and frost treatment. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 82: 158 — 162.
- Plażek A., Dubert F. 2010. Improvement of medium for *Miscanthus × giganteus* callus induction and plant regeneration. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 52: 105 — 110.
- Plażek A., Dubert F., Janowiak F., Krepski T., Tatrzańska M. 2011. Plant age and *in vitro* or *in vivo* propagation considerably affect cold tolerance of *Miscanthus × giganteus*. *The European Journal of Agronomy* 34: 163 — 171.
- Pude R., Franken H., Diepenbrock W., Greef J. M. 1997. Ursachen der Auswinterung von einjährigen *Miscanthus*-Beständen. *Pflanzenbauwissenschaften* 1: 171 — 176.
- Quinn L. D., Matlaga D. P., Stewart J. R., Davis A. S. 2011. Empirical evidence of long-distance display in *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus × giganteus*. *Invasive Plant Science and Management* 4: 142 — 150.
- Sacks E. J., Juvik J. A., Lin Q., Stewart J. R., Yamada T. 2013. The gene pool of *Miscanthus* species and its improvement. In: *Genomics of the Saccharinae, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models*. Paterson A. H. (ed). New York: Springer Science + Business Media 11: 73 — 100.
- Sang T., Zhu W. 2011. China's bioenergy potential. *Global Change Biology Bioenergy* 3: 79 — 90.
- Scurlock J. M. O. 1999. *Miscanthus*: a review of European experience with a novel energy crop. ORNL Technical Memorandum TM-13732. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. Tennessee: 18 pp.
- Smeets E. M. W., Lewandowski I. M., Faaij A. P. C. 2009. The economical and environmental performance of *Miscanthus* and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1230 — 1245.
- Stampfl P. F., Clifton-Brown J. C., Jones M. B. 2007. European-wide GIS-based modelling system for quantifying the feedstock from *Miscanthus* and the potential contribution to renewable energy targets. *Global Change Biology Bioenergy* 13: 2283 — 2295.
- Thinggaard K. 1997. Study of the role of *Fusarium* in the field establishment problem of *Miscanthus*. *Acta Agriculturae Scandinavica* 47: 238 — 241.
- US Senate 2007. Renewable Fuels, Consumer Protection, and Energy Efficiency Act of 2007 (S. 1419). Washington, DC: US Senate. June 21.
- Zamora D. S., Wyatt G. J., Apostol K. G., Tschirner U. 2013. Biomass yield, energy values, and chemical composition of hybrid poplars in short rotation woody crop production and native perennial grasses in Minnesota, USA. *Biomass and Bioenergy* 49: 222 — 230.
- Ziegenhagen B., Junge R., Muhs H. J. 1995. Effects of frost temperatures on early growth of *Miscanthus 'Giganteus'*. In: Chartier P., Beenackers A. A. C. M., Grassi G., (ed.) *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*. Elsevier, Oxford, 565 — 574.
- Zub H. W., Brancourt-Hulmel M. 2010. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 201 — 214.