

GABRIELA MAJTKOWSKA
WŁODZIMIERZ MAJTKOWSKI

Ogród Botaniczny Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Bydgoszcz

Obserwacje nad rozwojem traw o typie fotosyntezy C_4 w warunkach Polski Komunikat

Observations on the development of C_4 grass species in Poland Short communication

Celem czteroletnich badań nad wieloletnimi gatunkami traw typu C_4 fotosyntezy — *Andropogon gerardi* Vitm., *Miscanthus sinensis* (Thunb.) Anders., *Panicum virgatum* L. i *Sorghastrum nutans* (L.) Nash, jest określenie zakresu zmienności cech morfologicznych i fenologicznych, w aspekcie możliwości uprawy na cele energetyczne w warunkach klimatycznych Polski. Wyniki wstępnej waloryzacji prowadzonej w sezonie wegetacyjnym 2001 roku wykazały znaczne zróżnicowanie roślin pod względem obserwowanych cech. Na uwagę zasługuje ekotyp *Andropogon gerardi* nr 373/98, który osiągnął wysokość 270 cm, przewyższając otrzymane z amerykańskich banków genów odmiany tego gatunku (wysokość odmian od 205 do 230 cm). Zróżnicowanie wysokości odmian *Panicum virgatum* i *Sorghastrum nutans* mieściło się pomiędzy 153 a 225 cm. Wszystkie badane taksony północnoamerykańskie wytworzyły nasiona, które zebrano w okresie od 3 do 31 października. Obserwacje rozwoju 9 linii mieszańcowych *Miscanthus sinensis*, przeprowadzone pod koniec sezonu wegetacyjnego, wykazały że większość roślin (65%) znajdowała się w fazie wegetatywnej lub kłoszenia, a 35% w fazie generatywnej. Tylko z kilku roślin w ramach linii "3" uzyskano nasiona. Obiekty tej linii charakteryzowały się również największą wysokością (do 270 cm).

Słowa kluczowe: *Andropogon gerardi*, biomasa, *Miscanthus sinensis*, *Panicum virgatum*, *Sorghastrum nutans*, trawy C_4 ,

The aim of studies on perennial C_4 grass species — *Andropogon gerardi*, *Miscanthus sinensis*, *Panicum virgatum* and *Sorghastrum nutans* was to determine the range of variability of morphological and phenological traits under climatic conditions of Central Poland. Results of the preliminary evaluation indicated wide range of variation of traits examined during 2001. It should be noted that plants of *Andropogon gerardi* ecotype no. 373/98 reached 270 cm of height and were much taller than plants of other varieties of this species received from US genebanks (height of varieties ranged from 205 to 230 cm). The differentiation of plant height of varieties of *Panicum virgatum* and *Sorghastrum nutans* covered the range of 153 to 225 cm. All North-American species examined produced seeds, collected in October. Observation taken on 9 hybrid strains of *Miscanthus sinensis* indicated that the majority of plants (65%) were at vegetative or heading phase while rest of plants produced inflorescence. Only few plants from strain no. 3 produced seeds. Plants of this strain were the highest (to 270 cm) among all *Miscanthus sinensis* plants examined.

Key words: *Andropogon gerardi*, biomass, C₄ grasses, *Miscanthus sinensis*, *Panicum virgatum*, *Sorghastrum nutans*

WSTĘP

Podpisana w 1994 roku przez Unię Europejską deklaracja madrycka zakładała osiągnięcie do 2010 roku 12% udziału odnawialnych źródeł energii (OZE), jako jeden z warunków redukcji emisji CO₂. W efekcie przyjętych rozwiązań prawnych i politycznych w wielu krajach Unii Europejskiej nastąpił dynamiczny rozwój energetyki odnawialnej. Udział odnawialnych źródeł energii w poszczególnych krajach Unii Europejskiej jest różny, od 1% w Wielkiej Brytanii do blisko 30% w Szwecji. Mając na względzie zmianę europejskich wzorców energetycznych (m.in. ograniczenie uzależnienia od dostaw z zewnątrz oraz zapewnienie lepszej ochrony środowiska naturalnego) Komisja Europejska zakłada w obecnym dziesięcioleciu podwojenie udziału OZE w bilansie energetycznym Unii Europejskiej (Millich, 2001).

Z przeprowadzonych analiz wynika, że w Polsce energia ze źródeł odnawialnych wynosi zaledwie ok. 2%. Przyjęta w 2001 roku przez Sejm RP Strategia Rozwoju Energii Odnawialnych zakłada do 2010 roku wzrost udziału OZE w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do 7%. Wśród odnawialnych źródeł energii ważną pozycję stanowić może biomasa, a zwłaszcza słoma, której nadprodukcja w latach 1995–2000 szacowana była na ok. 13 mln ton (Grzybek i in., 2001). Uwzględniając konieczność odnowy zasobów substancji organicznej w glebie, poprzez m.in. przeorywanie słomy (rocznie ok. 2,5 mln ton), do zagospodarowania pozostaje nadal 11 mln ton, czyli równowartość 7–8 mln ton węgla. Wykorzystanie tych nadwyżek pozwoliłoby pokryć w 4% zapotrzebowanie Polski na energię (Gradziuk, 2000; Kowalik, 1998). W miarę wdrażania technologii opartych na odnawialnych źródłach energii oraz budowy dużych kotłowni, zapewnienie stałych dostaw biomasy wymagać będzie uprawy wysokowydajnych roślin energetycznych. Uprawa roślin energetycznych może przyczynić się do „napędzania koniunktury” w polskim rolnictwie.

Intensywną produkcją biomasy charakteryzują się zwłaszcza rośliny typu C₄ fotosyntezy. Ten rodzaj metabolizmu jest często spotykany u roślin z klimatu tropikalnego, głównie traw (np.: kukurydza, sorgo, proso, trzcina cukrowa). Różnice w budowie anatomicznej organów asymilacyjnych roślin C₄ są wynikiem przystosowania do wydajnego wiązania CO₂ w środowiskach kserofitycznych, o ograniczonej wilgotności, wysokiej temperaturze i silnym nasłonecznieniu. Podkreśla się oszczędniejsze gospodarowanie wodą przez rośliny szlaku C₄, potrzebną do wytworzenia tej samej ilości biomasy, w porównaniu do traw klimatu umiarkowanego (Sanderson i in., 1997). Samson i wsp. (2000) zwracają także uwagę na kilkakrotnie mniejszą zawartość popiołu pozostającego po spaleniu słomy pochodzącej z wieloletnich traw C₄, w porównaniu do słomy zbóż i wieloletnich traw typu C₃ — mozgi trzcinowatej *Phalaris arundinacea* L. i trzciny pospolitej *Phragmites communis* Trin. (tab. 1).

W Ogrodzie Botanicznym IHAR w Bydgoszczy podjęto badania nad rozwojem wieloletnich gatunków traw typu C₄ fotosyntezy, charakteryzujących się wysoką produkcją

biomasy: *Andropogon gerardi*, *Miscanthus sinensis*, *Panicum virgatum*, *Sorghastrum nutans*.

Celem prac jest ocena przydatności do uprawy w warunkach klimatycznych Polski nowych gatunków traw, jako źródła biomasy do celów energetycznych. Celowość wprowadzenia nowych roślin do uprawy w naszym kraju uzasadnia brak rodzimych gatunków traw, zdolnych do corocznego plonowania na poziomie od kilkunastu do ponad 20 ton s.m./ha, w warunkach przeciętnej wilgotności.

Tabela 1

Zawartość popiołu w słomie pszenicy i wieloletnich gatunków traw, w zależności od typu fotosyntezy (Samson i in., 2000)

Ash content of wheat straw and perennial grasses in relation to photosynthesis type (Samson *et al.* 2000)

Gatunek Species	Typ fotosyntezy Metabolic pathway	Zawartość popiołu [%] Ash content
<i>Spartina pectinata</i>	C ₄ w.*	1,6
<i>Panicum virgatum</i>	C ₄ w.*	1,7
<i>Andropogon gerardi</i>	C ₄ w.*	1,8
<i>Calamovilfa longifolia</i>	C ₄ w.*	1,9
<i>Miscanthus sinensis</i>	C ₄ w.*	2,0
<i>Phalaris arundinacea</i>	C ₃ w.*	6,3
<i>Phragmites communis</i>	C ₃ w.*	7,5
Pszenica Wheat	C ₃ j.**	11,1

* Wieloletnia; Perennial

** Jednoroczna; Annual

MATERIAŁ I METODY

Wiosną 1998 roku na kielkowniku typu Jacobsen wysiano otrzymane z amerykańskich banków genów (z Beltsville, Bismarck i Fort Collins) odmiany palczatki Gerarda *Andropogon gerardi* (5 odmian), prosa różgowatego *Panicum virgatum* (7) i trawy indiańskiej *Sorghastrum nutans* (2). Oprócz odmian rozmnożono również 2 ekotypy palczatki Gerarda, uzyskane z ogrodów botanicznych w Jenie (Niemcy) i Chicago (USA). Po okresie wstępnego rozwoju w warunkach szklarniowych, dobrze rozkrzewione rośliny wysadzono bez powtórzeń, na poletkach o rozmiarach uzależnionych od ilości materiału, w rozstawie zalecanej przez United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service dla plantacji nasiennych, tj. co 60 cm (USDA, 1988, 1990). Doświadczenia nie nawożono i nie deszczowano. Według tej samej metodyki założono doświadczenie z 9. liniami mieszańcowymi miskanta chińskiego *Miscanthus sinensis*, otrzymanymi z Instytutu Genetyki Roślin PAN w Poznaniu. Liczba roślin wahała się od 7 do 41, w zależności od linii. Jako wzorzec użyto ekotypu miskanta cukrowego *M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack., znajdującego się w OB-IHAR w Bydgoszczy od ponad 20. lat i dobrze dostosowanego do klimatu Polski.

Waloryzację doświadczenia rozpoczęto w 2001 roku, po osiągnięciu przez wysadzone rośliny pełni rozwoju. Obserwacje dotyczyły zróżnicowania cech fenologicznych oraz

morfologicznych, zwłaszcza skorelowanej z plonem biomasy wysokości roślin. W celu określenia możliwości podjęcia w naszym kraju produkcji nasiennej z badanych obiektów zebrano kwiatostany, z których następnie wymłócono nasiona.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 2 przedstawiono wyniki wstępnych obserwacji taksonów północnoamerykańskich. Okazało się, że najwyższym obiektem był, otrzymany z Ogrodu Botanicznego w Jenie (Niemcy), ekotyp *Andropogon gerardi* nr 373/98, który osiągnął wysokość 270 cm, przewyższając otrzymane z amerykańskich banków genów odmiany tego gatunku (wysokość odmian od 205 do 230 cm). Zróżnicowanie wysokości odmian *Panicum virgatum* i *Sorghastrum nutans* mieściło się pomiędzy 153 a 225 cm. Wszystkie badane taksony wytworzyły nasiona, które zebrano w okresie od 3 do 31.10. 2001 roku.

Tabela 2

Zestawienie wstępnych obserwacji prowadzonych na wieloletnich gatunkach traw typu C₄, o proveniencji północnoamerykańskiej

Results of preliminary observations of perennial C₄ grasses of North American provenance

Gatunek Species	Takson Variety name	Pochodzenie Origin of accession	Wysokość (cm) Height (cm)	Zbiór nasion Seed harvest
<i>Andropogon gerardi</i>	Bison	Bismarck ¹ /USA	215	3.X
	Bonilla	Bismarck ¹ /USA	220	31.X
	Champ	Fort Collins ² /USA	230	31.X
	Kaw	Fort Collins ² /USA	205	31.X
	Pawnee	Fort Collins ² /USA	210	31.X
	ekotyp — ecotype	OB. ⁴ Chicago/USA	230	31.X
	ekotyp — ecotype	OB. ⁴ Jena/DEU	270	31.X
	Blackwell	Beltsville ³ /USA	185	31.X
<i>Panicum virgatum</i>	Cave-in-Rock	Beltsville ³ /USA	215	31.X
	Dacotah	Bismarck ¹ /USA	153	3.X
	Forestburg	Bismarck ¹ /USA	178	3.X
	Pathfinder	Fort Collins ² /USA	195	31.X
	Summer	Fort Collins ² /USA	225	31.X
	Trailblazer	Beltsville ³ /USA	163	31.X
<i>Sorghastrum nutans</i>	Holt	Fort Collins ² /USA	180	31.X
	Tomahawk	Bismarck ¹ /USA	172	3.X
Średnia Mean			203	

1 — Plant Material Center, Bismarck/USA

2 — National Seed Stor. Lab., Fort Collins/USA

3 — National Germplasm Resources Lab., Beltsville/USA

4 — Ogród botaniczny; Botanical garden

Obserwacje rozwoju 9 linii mieszańcowych *Miscanthus sinensis*, przeprowadzone pod koniec sezonu wegetacyjnego, wykazały że większość roślin (65%) znajdowała się w fazie wegetatywnej lub kłoszenia, a 35% w fazie generatywnej (tab. 3). Tylko z kilku roślin w ramach linii “3” uzyskano nasiona. Obiekty tej linii wyróżniały się również największą wysokością (do 270 cm).

Badania nad roślinami energetycznymi prowadzone są już od kilkunastu lat w wielu krajach Europy Zachodniej, USA i Kanadzie. W Danii, w której do celów opałowców wykorzystuje się słomę z co czwartego hektara uprawianych zbóż, dalszy rozwój energetyki odnawialnej związany będzie z wprowadzaniem do uprawy wieloletnich roślin energetycznych, głównie miskanta olbrzymiego *Miscanthus × giganteus* Greef & Deuter. W Niemczech przewidywany rozwój plantacji energetycznych w oparciu o miskanta olbrzymiego, przyczynił się do wdrożenia efektywnych technik rozmnażania *in vitro* (Greef, 1996; El Basam, 2000).

Tabela 3

Zestawienie wyników oceny rozwoju linii mieszańcowych miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis*), przeprowadzonej w końcu sezonu wegetacyjnego 2001 roku
Evaluation results of hybrid strains of *Miscanthus sinensis* development end of vegetation season 2001

Nr linii No of strain	Faza rozwojowa (ilość roślin) Phase of development (no. of plants)			Wysokość najwyższych obiektów (nr kępy; cm) Height of the tallest individuals (no. of plant; cm)
	wegetatywna vegetative	kłoszenie heading	kwitnienie flowering	
1	5	7	1	"4"-226 cm, "7"-270 cm, "25"-230 cm
3	2	7	19	
4	5	1	1	
5	4	4	7	"5"-237 cm, "14"-233 cm, "17"-220 cm
7	4	4	18	
8	23	6	12	
10	17	5	2	"5"-244 cm
11	19	5	5	
13	13	1	7	
Razem Total	92 (45,1%)	40 (19,6)	72 (35,3)	

W Hiszpanii i Portugalii biomasę dla przemysłu papierniczego i na cele energetyczne pozyskuje się z plantacji trzciny laskowej *Arundo donax* L. Jako potencjalne trawy energetyczne do uprawy w północno-zachodniej Anglii i Walii obok *Arundo donax* i gatunków z rodzaju *Miscanthus*, brane są pod uwagę także spartina preriowa *Spartina pectinata* Bosc ex Link oraz *Spartina cynosuroides* Roth (Beal i Long, 1995; Slater i in., 2000). W USA i Kanadzie na cele energetyczne i do produkcji papieru zalecana jest uprawa wysokich, wieloletnich traw szlaku C₄ fotosyntezy: palczatki Gerarda, prosa różgowatego, spartiny preriowej i trawy indiańskiej. Departament Energii Stanów Zjednoczonych w latach 90. objął proso różgowe programem badawczym nad roślinami do celów energetycznych dla centralnych i północno-wschodnich rejonów USA (Sanderson i in., 1997). W niektórych rejonach Azji ze względu na intensywne pobieranie z gleby metali ciężkich oraz jako roślina przeciwozyjna na poboczach dróg sadzony jest miskant cukrowy (Hsu i Chou, 1992).

WNIOSKI

1. Obserwacje prowadzone w Ogrodzie Botanicznym Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Bydgoszczy potwierdzają możliwości uprawy wieloletnich gatunków traw typu C₄ fotosyntezy w warunkach klimatycznych Polski.
2. Zmienność zgromadzonych materiałów pozwoli wykorzystać najlepsze genotypy w pracach hodowlanych i badawczych zgodnie z przyjętą przez Sejm RP strategią rozwoju energii odnawialnej.
3. Wytwarzanie nasion przez rośliny reprezentujące typ C₄ fotosyntezy w warunkach klimatycznych Polski, pozwoli obniżyć koszty związane z założeniem plantacji na cele energetyczne.
4. Wprowadzenie nowych gatunków roślin do uprawy w Polsce powinno być poprzedzone dalszymi badaniami nad wymaganiami klimatyczno-glebowymi, opracowaniem właściwej agrotechniki i technologii rozmnażania oraz oceną wartości energetycznej.

LITERATURA

- Beale C. V., Long S. P. 1995. Can perennial C-4 grasses attain high efficiencies of radiant energy conversion in cool climates? *Plant Cell and Environment*, 18 (6): 641 — 650.
- El Basam N. 2000. Alternative fibre crops and sustainable development in agriculture. Proc. of the final COST Action 814 Conference "Crop development for the cool and wet regions of Europe". G. Parente, J. Frame (eds.), Pordenone, Italy, 10–13.05.2000: 567 — 571.
- Gradziuk P. 2000. Rodzaje i zasoby ekonomicznie dostępnej biomasy na cele energetyczne. II Forum Nowoczesnych Technik Grzewczych "Eurociepło 2000", Wałbrzych: 8 — 12.
- Greef J. M. 1996. Etablierung und Biomassebildung von *Miscanthus x giganteus*. Cuvillier Verlag Goettingen: 1 — 162.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K. 2001. Słoma energetyczne paliwo: 1 — 71.
- Hsu F.H., Chou C.H. 1992. Inhibitory effects of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Miscanthus* species. *Botanical Bull. of Academia Sinica*, 33 (4): 335 — 342.
- Kowalik P. 1998. Raport o energetycznym wykorzystaniu biomasy w Polsce. II Międzynarodowa Konferencja „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”, IBMER, Warszawa: 126 — 133.
- Millich E. 2001. Strategia Unii Europejskiej i instrumenty promowania odnawialnych źródeł energii. Materiały z międzynarodowej konferencji "Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku", Warszawa, 10–11.12.2001. EC BREC/IBMER: 297 — 304.
- Samson R., Duxbury P., Mulkins L. 2000. Research and development of fibre crops in cool season regions of Canada. Final Conference COST 814 "Crop development for cool and wet regions of Europe" G. Parente, J. Frame (eds.), Pordenone, Italy 10–13.05.2000: 555 — 565.
- Sanderson M. A., Reed R. L. *et al.* 1997. Switchgrass management for a biomass energy feedstock in Texas. XVIII Intern. Grassland Congress, Winnipeg and Saskatoon, Canada, CD: 19–5– 19–6.
- Slater F. M., Randerson P. F., Heaton R. J. 2000. Prospects for energy grasses in Mid-Wales, UK. 7-th Polish-Danish Workshop on "Biomass for Energy" Starbienino, Poland. Technical University of Gdańsk: 149 — 156.
- USDA 1988, 1990. "Bonilla" big bluestem, "Tomahawk" indiangrass, "Dacotah", "Forestburg" switchgrass. Ed. by United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.