

Wpłynęło 27.02.2012 r.
Zrecenzowano 22.03.2012 r.
Zaakceptowano 03.04.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Plonowanie wybranych gatunków roślin, wykorzystywanych do produkcji biogazu

Mariusz MATYKA^{ABCDEF}, Jerzy KSIĘŻAK^{ABCDEF}

*Institut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut
Badawczy w Puławach*

Streszczenie

W pracy przedstawiono ocenę plonowania kukurydzy i sorga w zróżnicowanych warunkach środowiskowych i agrotechnicznych w aspekcie ich wykorzystania jako substratu w biogazowniach rolniczych. Doświadczenia prowadzono w latach 2010–2011 w układzie podbloków losowanych „split-plot”, w 4 powtórzeniach w 4 rejonach kraju. Do obliczenia potencjalnego uzysku biogazu z ha uprawy danego gatunku przyjęto wydajność biogazu dla kukurydzy na poziomie $200 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ś.m., a dla sorga $145 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ś.m. Plon zielonej masy kukurydzy w zależności od poziomu nawożenia, odmiany i rejonu uprawy wynosił od 41 do $97 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a sorga od 44 do $85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyniki badań wskazują, że kukurydza cechuje się większym uzyskiem biogazu z jednostki powierzchni ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) niż sorgo. Średnio dla wszystkich lokalizacji i lat badań uzysk biogazu z uprawy kukurydzy wynosił $11305 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast sorga $9546 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Niemniej uprawa sorga może stanowić korzystną alternatywę dla kukurydzy w przypadku produkcji surowców na potrzeby biogazowni na glebach słabych i bardzo słabych.

Słowa kluczowe: roślina energetyczna, biogaz, kukurydza, sorgo

Wstęp

Ograniczone zasoby surowców energetycznych, takich jak ropa naftowa, węgiel kamienny czy gaz ziemny, w sytuacji zwiększającego się zapotrzebowania na energię zmuszają do intensywnego poszukiwania i wykorzystania innych jej nośników, np. energii odnawialnej przyjaznej środowisku naturalnemu [GŁASZCZKA i in. 2010]. Odnawialne źródła energii są również jednym z elementów europej-



skiego planu ograniczania niekorzystnych zmian klimatu i mają przyczynić się do wzrostu gospodarczego, zwiększenia zatrudnienia oraz zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego. Jako jedno z istotniejszych źródeł energii odnawialnej postrzegana jest produkcja biogazu, dostarczająca dodatkowo korzyści środowiskowych i mogąca zwiększyć dochody rolników [OSLAJ i in. 2010]. W warunkach Polski rozwój biogazowni rolniczych znajduje swoje umocowanie prawne w opracowanym przez Ministerstwo Gospodarki dokumencie pt. „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020” [Ministerstwo Gospodarki 2010]. Zakłada się w nim utworzenie do 2020 r. w każdej gminie średnio jednej biogazowni rolniczej, wykorzystującej biomasę pochodzenia rolniczego, z założeniem posiadania przez gminę odpowiednich warunków do uruchomienia tego przedsięwzięcia [KOPINSKI i in. 2011]. Jednym z podstawowych elementów, warunkujących rozwój instalacji biogazowych, jest możliwość zapewnienia odpowiedniej bazy surowcowej, szczególnie surowców pochodzenia roślinnego.

Celem pracy jest ocena plonowania kukurydzy i sorga w zróżnicowanych warunkach glebowych, klimatycznych oraz agrotechnicznych w aspekcie ich wykorzystania jako substratu w biogazowniach rolniczych.

Materiał i metody badań

Doświadczenia prowadzono w latach 2010–2011 w układzie podbloków losowanych „split-plot”, w 4 powtórzeniach w 4 rejonach kraju, w zróżnicowanych warunkach glebowych i klimatycznych (tab. 1, 2).

Tabela 1. Lokalizacja i warunki prowadzenia doświadczeń
Table 1. Localization and conditions of experiments conducted

| Miejscowość Locality | Województwo Province | Współrzędne geograficzne Geographical coordinates | Warunki glebowe Soil conditions | Odmiana Variety | |
|-------------------------|-------------------------|--|------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | | | | kukurydzy of maize | sorga of sorghum |
| Grabów nad Wisłą | mazowieckie | N: 51°20'58.23" E: 21°39'44.28" | gleba dobra good soil | Bosman | Sucrosorghum 506 |
| Jelcz-Laskowice | dolnośląskie | N: 51°2'35.27" E: 17°21'23.59" | gleba lekka light soil | Vitras | |
| Mochetek | kujawsko-pomorskie | N: 53°13'23.63" E: 17°52'21.41" | | gleba średnia medium soil | Bosman |
| Osiny | lubelskie | N: 51°27'59.98" E: 21°39'44.28" | | | |

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

W schemacie doświadczenia czynnikiem I rzędu były gatunki/odmiany roślin: kukurydza, sorgo, a czynnikiem II rzędu – poziom nawożenia azotem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): $N_1 - 80$; $N_2 - 120$; $N_3 - 180$. Zawartość przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu wynosiła odpowiednio ($\text{mg}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ gleby): 14,7–22,6; 12,0–17,0; 2,3–12,2, zawartość próchnicy 1,2–1,6%, a pH 5,3–6,4. Stosowano 60–72 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ fosforu i 72–100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ potasu. Siew nasion wykonano siewnikiem punktowym: kukurydza – 130 tys. $\cdot\text{ha}^{-1}$, w dniach od 26 kwietnia do 12 maja, sorgo 220 tys. $\cdot\text{ha}^{-1}$ –

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w okresie prowadzenia doświadczeń
Table 2. Meteorological conditions during the experiments

| Miejscowość Locality | Rok Year | Miesiąc Month | | | | | | Suma/Srednia Total/Average | |
|-------------------------|-------------|--------------------------|------|------|--------------------------|------|------|-------------------------------|--------|
| | | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | III-IX |
| | | Opady [mm] | | | Rainfall [mm] | | | | |
| Grabów | 2010 | 26 | 21 | 114 | 51 | 53 | 155 | 136 | 555 |
| | 2011 | 18 | 36 | 75 | 52 | 299 | 36 | 4 | 518 |
| Jelcz-Laskowice | 2010 | 44 | 51 | 137 | 49 | 126 | 94 | 106 | 607 |
| | 2011 | 36 | 28 | 47 | 107 | 153 | 81 | 28 | 480 |
| Mochetek | 2010 | 29 | 34 | 93 | 18 | 107 | 151 | 75 | 506 |
| | 2011 | 12 | 14 | 38 | 101 | 133 | 68 | 37 | 402 |
| Osiny | 2010 | 16 | 22 | 133 | 66 | 54 | 120 | 111 | 520 |
| | 2011 | 11 | 27 | 61 | 54 | 250 | 36 | 3 | 442 |
| | | Średnia temperatura [°C] | | | Average temperature [°C] | | | | |
| Grabów | 2010 | 3,0 | 9,0 | 13,9 | 17,6 | 21,5 | 19,9 | 12,1 | 13,9 |
| | 2011 | 2,9 | 10,3 | 13,9 | 18,5 | 18,4 | 18,8 | 14,7 | 13,9 |
| Jelcz-Laskowice | 2010 | 3,4 | 8,6 | 12,4 | 17,5 | 20,8 | 18,7 | 12,2 | 13,4 |
| | 2011 | 3,1 | 10,8 | 13,9 | 18,7 | 17,5 | 18,5 | 14,9 | 13,9 |
| Mochetek | 2010 | 2,4 | 7,8 | 11,5 | 16,7 | 21,6 | 18,4 | 12,2 | 12,9 |
| | 2011 | 2,2 | 10,5 | 13,5 | 17,7 | 17,5 | 17,7 | 14,3 | 13,3 |
| Osiny | 2010 | 3,4 | 9,3 | 14,0 | 17,7 | 21,7 | 20,3 | 12,3 | 14,1 |
| | 2011 | 3,0 | 10,5 | 13,8 | 18,5 | 18,2 | 18,6 | 15,0 | 13,9 |

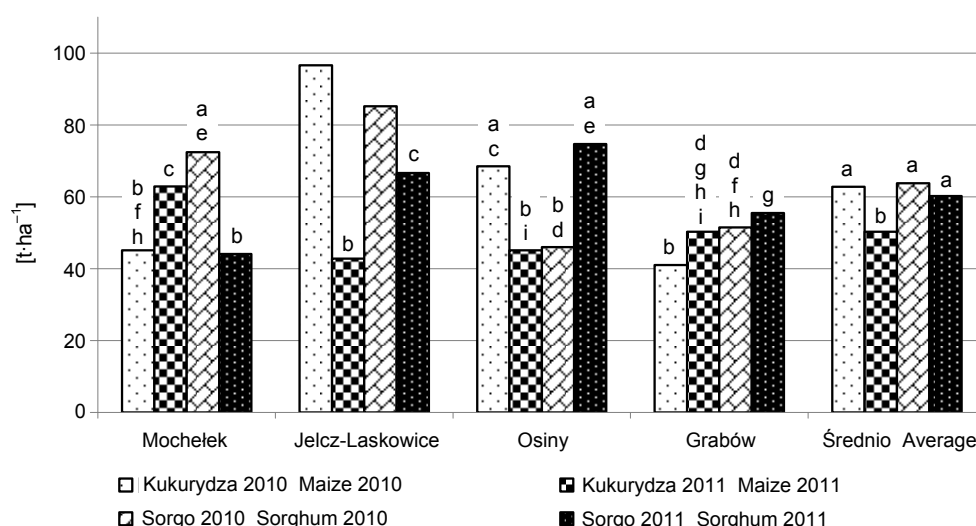
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

od 9 maja do 8 czerwca. Przed siewem nasiona zaprawiano zaprawami owadobójczymi i grzybobójczymi oraz stosowano odchwaszczanie chemiczne.

Oba oceniane gatunki były uprawiane z przeznaczeniem na kiszonkę. Plon zielonej masy zbierano po wystąpieniu pierwszych przymrozków z powierzchni 20 m² każdego z czterech powtórzeń. Plon i udział suchej masy określano metodą suszarkowo-wagową. Do obliczenia potencjalnego uzysku biogazu z hektara uprawy danego gatunku przyjęto wydajność biogazu kukurydzy na poziomie 200 m³·t⁻¹ ś.m., a sorga 145 m³·t⁻¹ ś.m. [MYCZKO i in. 2011]. Istotne różnice wpływu badanych czynników doświadczenia na obserwowane cechy oceniano za pomocą analizy wariancji, wyznaczając półprzedziały ufności testem NIR na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Analizy statystyczne zostały wykonane z użyciem programu Statistica 10.

Wyniki badań i dyskusja

Plon zielonej masy kukurydzy w zależności od roku, poziomu nawożenia, odmiany i rejonu uprawy wynosił 41–97 t·ha⁻¹, a sorga 44–85 t·ha⁻¹ (rys. 1). Największy plon porównywanych gatunków zanotowano na najłagodniejszych glebach. Jedynie sorgo w 2011 r. plonowało najlepiej na glebie średniej jakości (Osiny). Analiza statystyczna wykazała ($F = 6,47$; $p = 0,000342$), że najłagodniej (średnio ze wszystkich lokalizacji) plonowała kukurydza w 2011 r.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

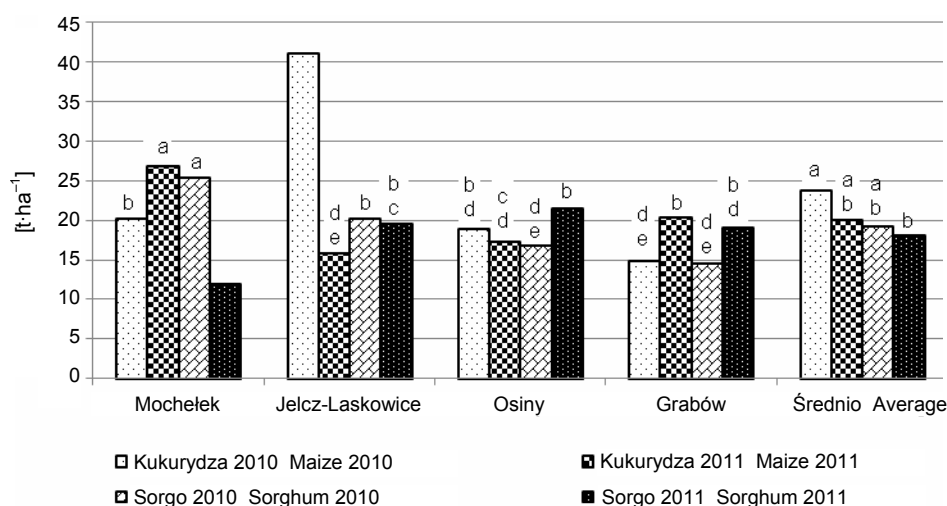
Rys. 1. Plon zielonej masy badanych roślin; dane oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; dla wartości średnich różnice są obliczone oddzielnie

Fig. 1. Green matter yields of tested crops; data marked with the same letters are not significantly different; differences for average values are calculated separately

Plon suchej masy omawianych gatunków roślin (rys. 2) cechuje się dużym zróżnicowaniem. Uzyskane wyniki wskazują, że większe plony suchej masy zapewnia uprawa kukurydzy niż sorga. Duże istotne statystycznie różnice zanotowano zwłaszcza w 2010 r. w województwie dolnośląskim (Jelcz-Laskowice), gdzie znaczna ilość opadów i korzystny ich rozkład oraz dobre warunki termiczne (tab. 2) umożliwiły uzyskanie większego niż w innych latach i lokalizacjach plonu kukurydzy.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań ($F = 0,90$; $p = 0,48$) wskazuje, że zwiększenie dawki nawożenia azotem z 80 do 160 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nie miało istotnego wpływu na plonowanie ocenianych gatunków w obu latach i rejonach uprawy (rys. 3).

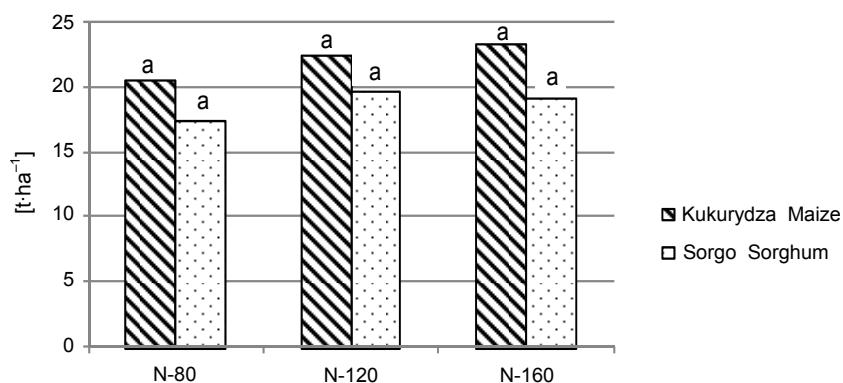
Z porównania plonów zielonej i suchej masy odmian kukurydzy i sorga wynika, że większe plony zapewnia uprawa kukurydzy odmiany Vitras (średnio o 10,6 t z.m. $\cdot\text{ha}^{-1}$) i sorga odmiany Sucrosorghum 506 (średnio o 5,4 t z.m. $\cdot\text{ha}^{-1}$). Uprawiane odmiany różniły się również zawartością suchej masy, większym jej udziałem odznaczała się odmiana sorga Rona (o 3,1%), a kukurydzy – odmiana Vitras (o 6,7%).



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 2. Plon suchej masy badanych roślin; dane oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; dla wartości średnich różnice są obliczone oddzielnie

Fig. 2. Dry matter yields of tested crops; data marked with the same letters are not significantly different; differences for average values are calculated separately



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 3. Plon suchej masy badanych gatunków roślin w zależności od poziomu nawożenia azotem (N-80, N-120, N-160 – dawki azotu odpowiednio 80, 120, 160 kg N·ha⁻¹); dane oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie

Fig. 3. Dry matter yields of tested plant species depending on the level of nitrogen fertilization (N-80, N-120, N-160 – nitrogen doses respectively 80, 120, 160 kg N·ha⁻¹); data marked with the same letters are not significantly different

Znaczne różnice plonów suchej masy spowodowały, że potencjalny uzysk biogazu z ha uprawy omawianych gatunków jest również zróżnicowany (tab. 3). Niezależnie od rejonu uprawy, w całym okresie prowadzonych badań większą produkcję biogazu zapewnia uprawa kukurydzy niż sorga. Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie również w pracach innych autorów [KASPRZAK i in. 2010].

Tabela 3. Potencjalny uzysk biogazu z uprawy kukurydzy i sorga
Table 3. Potential yield of biogas from cultivated maize and sorghum

| Lokalizacja Locality | Potencjalny uzysk biogazu Potential yield of biogas [m ³ ·ha ⁻¹] | | | |
|-------------------------|--|--------|---------------|--------|
| | kukurydza maize | | sorgo sorghum | |
| | 2010 | 2011 | 2010 | 2011 |
| Mochełek | 9 020 | 12 568 | 11 151 | 6794 |
| Jelcz-Laskowice | 19 321 | 8 560 | 13 115 | 10 262 |
| Osiny | 13 692 | 9 026 | 7 082 | 11 499 |
| Grabów | 8 199 | 10 053 | 7 928 | 8 539 |
| Średnio Average | 12 558 | 10 052 | 9 819 | 9 273 |
| | 11 305 | | 9 546 | |

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wnioski

1. Plony kukurydzy i sorga są w dużym stopniu uzależnione od warunków pogodowych w okresie wegetacji, a w mniejszym stopniu – od jakości gleby i dawki nawożenia azotem.
2. Znaczne wahania plonów badanych gatunków w poszczególnych latach, jak też w rejonach uprawy wskazują na konieczność tworzenia racjonalnych rezerw surowcowych dla funkcjonujących biogazowni.
3. Większym plonem suchej masy oraz potencjalnym uzyskiem biogazu (m³·ha⁻¹) cechuje się kukurydza.
4. Uprawa sorga z przeznaczeniem na substrat do biogazowni może stanowić korzystną alternatywę w stosunku do kukurydzy, zwłaszcza w przypadku uprawy na glebach słabych i bardzo słabych.

Praca naukowa została sfinansowana z Projektu nr WND-POIG.01.03.01-00-132/08 pt. „Opracowanie indeksu gatunkowego i optymalizacja technologii produkcji wybranych roślin energetycznych” z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007–2013.

Bibliografia

- GŁASZCZKA A., WARDAL W.J., ROMANIUK W., DOMASIEWICZ T. 2010. Biogazownie rolnicze. Warszawa. Wydaw. Multico. ISBN 978-83-7073-432-9 ss. 75.
- KACPRZAK A., KRZYSTEK L., LEDAKOWICZ S., KSIĘŻAK J. 2010. Evaluation of biochemical potential (BMP) of various energy crops. 3rd International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization. WasteEng 10, Beijing, China s. 5.

KOPIŃSKI J., MATYKA M., MADEJ A. 2011. Wpływ uwarunkowań przyrodniczych na opłacalność uprawy kukurydzy na biogaz. Roczniki Naukowe SERiA. T. 13. Nr 5 s. 35–38.

Ministerstwo Gospodarki 2010. Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020 [on-line]. Warszawa. [Dostęp 20.04.2012]. Dostępny w Internecie: http://www.mg.gov.pl/files/upload/11898/Kierunki%20rozwoju%20biogazowni%20rolniczych%20w%20Polsce%20_dokument%20przyjety%20przez%20Rade%20Ministrow_13.07.2010.pdf ss. 23.

MYCZKO A., MYCZKO R., KOŁODZIEJCZYK T., GOLIMOWSKA R., LENARCZYK J., JANAS Z., KLIBER A., KARŁOWSKI J., DOLSKA M. 2011. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych. Warszawa–Poznań. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-23-3 ss. 140.

OSLAJ M., MURSEC B., VINDIS P. 2010. Biogas production from maize hybrids. Biomass and Bioenergy. No. 34 s. 1538–1545.

Mariusz Matyka, Jerzy Księżak

YIELDING OF SELECTED PLANT SPECIES USED TO BIOGAS PRODUCTION

Summary

Paper presents the yielding of maize and sorghum as evaluated under differentiated environmental and agrotechnical conditions, in aspect of their use as a substrate to agricultural biogas production. The experiments in random “split-plot” design and 4 replications were conducted in 2010–2011 years, in four country regions. To calculate potential biogas yield per 1 ha for given crop species, the values of $200 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ fresh matter and $145 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ fresh matter were assumed for maize and sorghum, respectively. Depending on fertilization level, variety and cultivation region, the yield of green matter ranged within $41\text{--}97 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ for maize and $44\text{--}85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ for sorghum. The results indicated that the maize achieved higher biogas yield ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$) than sorghum. On average, in all locations and years of experiment, the biogas yield amounted to $11305 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ from maize and $9546 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ from sorghum. However, the cultivation of sorghum may be an advantageous alternative for maize on poor and very poor soils.

Key words: energy crops, biogas, maize, sorghum

Adres do korespondencji:

dr inż. Mariusz Matyka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej

ul. Czartoryskich 8, 24–100 Puławy

tel. (81) 886-34-21 wew. 359; e-mail: mmatyka@iung.pulawy.pl

