

ZBIGNIEW PODKÓWKA, LUCYNA PODKÓWKA

Katedra Hodowli Bydła i Żywienia Zwierząt

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

WYKORZYSTANIE SORGO CUKROWEGO (*SORGHUM SACCHARATUM*) DO PRODUKCJI BIOGAZU

USE OF SUGAR SORGHUM (*SORGHUM SACCHARATUM*)
FOR BIOGAS PRODUCTION

Streszczenie. Wykonano badania składu chemicznego i przydatności kiszonki z sorgo cukrowego ('Sucrosorgo 506') do produkcji biogazu rolniczego. Kiszonka z sorgo wykazywała większą zawartość popiołu surowego, włókna surowego, NDF, ADF i ADL i mniejszą suchą masę, białka surowego i związków bezazotowych wyciągowych niż kiszonka z kukurydzy. Wydajność biogazu wyniosła 631 dm³ (znormalizowanych) na 1 kg suchej substancji organicznej (SSO) i była mniejsza od wydajności biogazu z kiszonki z kukurydzy (656 dm³ (znormalizowanych) na 1 kg SSO). Poziom biometanu (CH₄) w biogazie z sorgo wyniósł 52% (w porównaniu z 54% w biogazie z kiszonki z kukurydzy).

Słowa kluczowe: sorgo cukrowe, kiszonka, skład chemiczny, biogaz, biometan

Wstęp

Rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE), w tym biogazowni, jest jednym z podstawowych celów wyznaczonych przez program „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” (Ministerstwo Gospodarki, 2009). Ma on zapewnić bezpieczeństwo energetyczne kraju, podnieść efektywność energetyczną i zwiększyć dywersyfikację źródeł dostaw energii. W dokumencie tym przewidziano do roku 2020 wzrost udziału OZE: w finalnym zużyciu energii – do 15% w rynku paliw transportowych – do 10%. Stanowi to realizację zapisów tzw. pakietu klimatyczno-energetycznego „3 × 20%”, przyjętego przez UE w 2008 roku (Ministerstwo Gospodarki, 2009).

Ministerstwo Gospodarki przygotowało w 2010 roku dokument „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020” (Ministerstwo Gospodarki,

2010). Według tego dokumentu w Polsce na produkcję biomasy do wytwarzania biopaliw i biogazu rolniczego można docelowo przeznaczyć około 700 tys. ha, przy jednocześnie pełnym zaspokojeniu krajowych potrzeb żywnościowych.

Podstawowym elementem w biogazowniach rolniczych jest kiszonka z kukurydzy (Podkówka i Podkówka, 2014). Do tej pory czynnikiem ograniczającym wykorzystanie kukurydzy była temperatura, natomiast obecnie głównym parametrem decydującym o powodzeniu uprawy tej rośliny są opady. Długotrwałe susze występujące w okresie wiosenno-letnim, szczególnie niekorzystne w okresie kwitnienia i pylenia kukurydzy, ujemnie wpływają na zawiązywanie kolb, udział w nich ziarna oraz produkcję zielonej masy (Kruczek i in., 2014).

Z tych powodów w ostatnich latach rośliną alternatywną dla kukurydzy stało się sorgo (Śliwiński i Brzóska, 2006). Jest to roślina charakteryzująca się dużymi wymaganiami termicznymi, lecz jednocześnie większą, w porównaniu z kukurydzą, odpornością na suszę. Mniejsza wrażliwość tej rośliny na długotrwały okres bez opadów wynika z oszczędnej gospodarki wodnej, powiązanej z małą wartością współczynnika transpiracji oraz z dużym zasięgiem systemu korzeniowego, pobierającego wodę z głębszych warstw gleby. Sorgo wykazuje zdolność zahamowania wegetacji podczas suszy i jej wznowienia w sprzyjających warunkach wilgotnościowych (Kruczek i in., 2014; Księżak i in., 2012; Podkówka i Podkówka, 2011). Dodatkowo sorgo charakteryzuje się większym od kukurydzy potencjałem plonotwórczym (Księżak i in., 2012).

Material i metody

Badania wykonano na kukurydzy odmiany 'Vitrax' (FAO 260, Hodowla Roślin Smolice) i sorgo odmiany 'Sucrosorgo 506' (Syngenta Seeds). Część polową doświadczenia wykonano w Wieszczykach (53°32'22.272"N, 17°44'34.296"E), na glebie o klasie bonitacyjnej IVb. Nasiona zostały wysiane w drugiej dekadzie maja na poletkach o powierzchni 0,25 ha każde. Obsada wynosiła 100 000 roślin na 1 ha.

Zielonki do zakiszania zebrano w połowie września, kiedy kukurydza znajdowała się w stadium dojrzałości woskowej, a rośliny sorgo – w fazie zawiązywania ziarna. Po rozdrobnieniu świeżego materiału na sieczkę o długości 1 cm zakiszono go w mikrosilosach z polietylenu (Ø 15 cm, wys. 49 cm). Po dokładnym ubiciu zielonek mikrosilosy szczelnie zamknięto gumowymi wieczkami, w których umieszczono rurki fermentacyjne. Rurki wypełniono gliceryną w celu odprowadzania gazów powstających w czasie fermentacji kiszonkowej.

Po sześciu tygodniach silosy otworzono. Z każdego mikrosilosu część kiszonki, o masie około 500 g, przekazano do badań biogazodochodowości, pozostałą część podano analizie składu podstawowego.

Analizę podstawową kiszonek wykonano w laboratorium Zakładu Żywnienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Próbkę kiszonki zostały przygotowane zgodnie z normą (PN-ISO 6498:2001, 2001) i rozdrobnione na młynku Retsch SM100 Comfort do cząstek o średnicy 1 mm. W tak przygotowanym materiale wykonano oznaczenie suchej masy (SM), popiołu surowego (PS), białka ogólnego (BO), tłuszczu surowego (TS) i włókna surowego (WS) według standardowych metod (Helrich i in., red., 1990). Zawartość związków bezazotowych

wyciągowych (BNW) wyliczono, odejmując od suchej masy sumę popiołu surowego, białka ogólnego, tłuszczu surowego i włókna surowego (Jamroz, red., 2013).

Wydajność biogazową substratów określono w laboratorium zewnętrznym według zmodyfikowanej normy DIN 38414-8:1985-06 (1985). Norma ta określa sposób fermentacji próbek substratu wymieszanych z inokulum i umieszczonych w temperaturze 39°C (tożsamą z realną temperaturą pracy biogazowni rolniczych w technologii mezofilowej), przy okresowym (co 24 h) pomiarze objętości i składu wyprodukowanego biogazu. Ilość wytworzonego biogazu przeliczano na warunki normalne, z uwzględnieniem różnicy ciśnień wywołanych przez słup cieczy znajdujący się w cylindrze gromadzącym wyprodukowany biogaz.

Wytworzony w szklanych reaktorach o pojemności 2 dm³ biogaz był składowany w cylindrach wypełnionych wodą. Między sferą gazową a ciekłą znajdowała się szczelna warstwa powłoki gazowej, niereaktywna z biogazem oraz niepozwalająca na jego przeniknięcie do wody. Za zakończenie fermentacji przyjmuje się czas, gdy ilość biogazu wyprodukowanego na dobę jest mniejsza niż 1% całości produkcji gazu. Wszystkie próby wykonywano w trzech powtórzeniach, a uzyskane wyniki pomniejszono o produkcję z kontroli (samej zaszczepki). Skład biogazu (CH₄, CO₂, NH₃, H₂S) zmierzono z zastosowaniem urządzenia GA5000. Okresowo (dwa razy w tygodniu) urządzenie to było kalibrowane z użyciem gazów wzorcowych (mieszanka CH₄/CO₂ – 65%/35%) dostarczonych przez firmę Air Products.

Zebrany materiał liczbowy opracowano statystycznie za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji. Metodę tę wykorzystano w celu porównania poszczególnych kontrolowanych cech kukurydzy i sorgo. Istotność różnic między porównywanymi parametrami ustalano za pomocą testu t Studenta. Analizę statystyczną wykonano z wykorzystaniem pakietu statystycznego SAS 9.4 (SAS..., 2014).

Wyniki i dyskusja

Skład chemiczny kiszzonek przedstawiono w tabeli 1. Kiszzonka sporządzona z sorgo zawierała mniej suchej masy, białka ogólnego, tłuszczu surowego i związków bezazotowych wyciągowych, a więcej popiołu surowego i włókna surowego niż kiszzonka z kukurydzy. Uzyskano statystycznie istotne różnice w zawartości podstawowych składników pokarmowych. Kiszzonka sporządzona z sorgo poddanego badaniom zawierała mniej suchej masy i białka ogólnego niż podają inni autorzy (Avasi i in., 2006; Kański i in., 2013; Kozłowski i in., 2006; Podkówa i Podkówa, 2011). Zawartość pozostałych składników pokarmowych w kiszonce z tej rośliny mieściła się w granicach podawanych przez Kańskiego i in. (2013).

W suchej masie kiszonki z sorgo cukrowego było statystycznie istotnie więcej NDF, ADF i ADL niż w kiszonce z kukurydzy (tab. 2). Koncentracje neutralnego włókna detergentowego i kwaśnego włókna detergentowego w kiszonce z sorgo były mniejsze od podawanych przez innych autorów (Gul i in., 2008; Podkówa i Podkówa, 2011).

Produkty fermentacji mlekowej występujące w kiszonce są wykorzystywane przez bakterie metanowe do produkcji biometanu (Podkówa, 2012). W kiszonce przeważał kwas mlekowy, przy średniej zawartości kwasu octowego (tab. 3). W kiszonce spo-

Tabela 1. Skład chemiczny kiszonki
Table 1. Chemical composition of the silage

Składnik – Component	Sorgo – Sorghum	Kukurydza – Maize
Sucha masa (%) – Dry matter (%)	18,59 ^A ±1,39	33,85 ^B ±1,5
Popiół surowy (% SM) – Crude ash (% DM)	5,64 ^a ±0,95	3,37 ^b ±0,89
Białko ogólne (% SM) – Crude protein (% DM)	6,31 ^A ±1,63	8,81 ^B ±1,89
Tłuszcz surowy (% SM) – Crude fat (% DM)	1,97 ^A ±0,31	3,32 ^B ±0,77
Włókno surowe (% SM) – Crude fiber (% DM)	31,56 ^A ±2,35	18,41 ^B ±1,91
BNW (% SM) – NFC (% DM)	54,52 ^A ±3,94	66,09 ^B ±4,26

Wartości oznaczone w rzędach różnymi dużymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,01$.
Wartości oznaczone w rzędach różnymi małymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,05$.
Values designated in rows with different capital letters differ significantly at the level of $P \leq 0,01$.
Values designated in rows with different small letters differ significantly at the level of $P \leq 0,05$.

Tabela 2. Zawartość frakcji włókna w kiszonce (% SM)
Table 2. Content of the fiber fraction in silage (% DM)

Składnik – Component	Sorgo – Sorghum	Kukurydza – Maize
NDF	56,37 ^A ±4,93	39,26 ^B ±2,66
ADF	32,41 ^A ±3,21	22,34 ^B ±2,09
ADL	4,08 ^A ±0,97	3,22 ^B ±0,83

NDF – neutralne włókno detergentowe, ADF – kwaśne włókno detergentowe, ADL – lignina kwaśna.
Wartości oznaczone w rzędach różnymi dużymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,01$.
NDF – neutral detergent fiber, ADF – acid detergent fiber, ADL – acid lignin.
Values designated in rows with different capital letters differ significantly at the level of $P \leq 0,01$.

Tabela 3. Jakość kiszonki
Table 3. Quality of silage

Składnik – Component	Sorgo – Sorghum	Kukurydza – Maize
pH	4,21 ±0,27	3,97 ±0,19
Kwas mlekowy (% SM) – Lactic acid (% DM)	8,91 ±0,78	9,66 ±0,90
Kwas octowy (% SM) – Acetic acid (% DM)	2,70 ±0,19	2,24 ±0,21
Kwas masłowy (% SM) – Butyric acid (% DM)	0,20 ±0,02	0,00 ±0,00

rzędzonej z sorgo odmiany ‘Sucrosorgo 506’ stwierdzono ponadto obecność kwasu masłowego, który nie występował w kiszonce z kukurydzy.

W warunkach Polski sorgo, jako roślina dnia krótkiego, przedłuża rozwój wegetatywny i opóźnia dojrzewanie, dlatego wytwarza rośliny wysokie, o dużej masie wegetatywnej i słabo rozwiniętym kwiatostanie (Michalski, 2008). W wykonanych badaniach

części wegetatywne sorgo stanowiły 94,6% rośliny, podczas gdy u kukurydzy tylko 57,9% (tab. 4). Taka struktura rośliny powoduje, że kiszonka z sorgo, w porównaniu z kiszonką z kukurydzy, zawiera duże ilości włókna surowego. Stanowi to ograniczenie w stosowaniu kiszonki z sorgo w żywieniu wysoko wydajnego bydła mlecznego i opasowego, natomiast nie stwarza problemu w wykorzystaniu jej jako substratu w biogazowni.

Tabela 4. Struktura rośliny (cała roślina = 100%) (%)
Table 4. Structure of the plant (whole plant = 100%) (%)

Część rośliny – Part of plant	Sorgo – Sorghum	Kukurydza – Maize
Łodyga – Stem	79,1 ^A ± 8,7	42,3 ^B ± 4,0
Liście – Leaves	15,5 ± 1,7	15,6 ± 1,5
Kolba/wiecha – Cob/panicle	5,4 ^A ± 0,6	42,1 ^B ± 4,0

Wartości oznaczone w rzędach różnymi dużymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,01$.
Values designated in rows with different capital letters differ significantly at the level of $P \leq 0,01$.

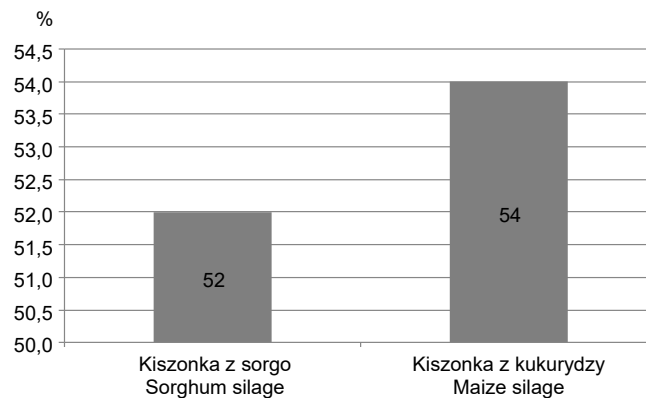
W warunkach beztlenowych organizmy anaerobowe rozkładają substancję organiczną (białko ogólne, tłuszcz surowy, włókno surowe i związki bezazotowe wyciągowe), w wyniku czego powstaje biogaz (Amon i in., 2007). Weiland (2010) podaje, że z 1 kg suchej substancji organicznej (SSO) sorgo otrzymuje się od 520 do 580 dm³ (znormalizowanych) biogazu. W badaniach własnych wydajność biogazu z tej rośliny była większa (tab. 5). Z 1 kg SSO kiszonki z sorgo cukrowego otrzymano o 25 dm³ (znormalizowanych) biogazu mniej niż z kiszonki z kukurydzy. Różnica w produkcji biogazu była statystycznie istotna.

Tabela 5. Wydajność biogazu z kiszonki (dm³, znormalizowany, na 1 kg)
Table 5. Yield of biogas from silage (dm³, normalized, per 1 kg)

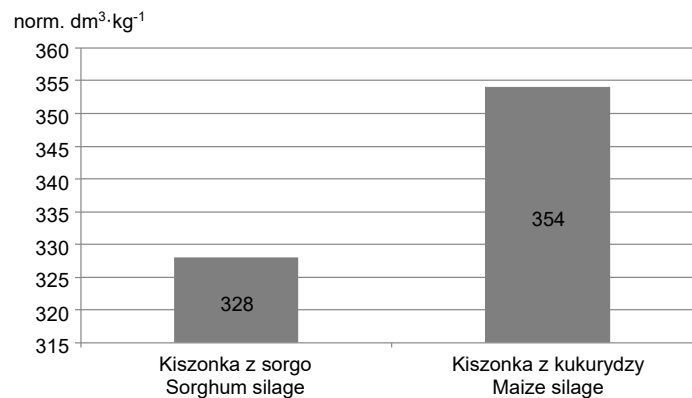
Składnik – Component	Sorgo – Sorghum	Kukurydza – Maize
Sucha substancja organiczna (SSO) Dry organic matter (DOM)	631 ^A ± 7,5	656 ^B ± 10,0
Świeża masa (ŚM) Fresh mass (FM)	74,88 ^A ± 1,2	214 ^B ± 3,0

Wartości oznaczone różnymi dużymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,01$.
Values designated with different capital letters differ significantly at the level of $P \leq 0,01$.

Kiszonka z sorgo zawierała o 2 punkty procentowe mniej metanu niż kiszonka z kukurydzy (rys. 1). Tothne Zsubori i in. (2013) podają, że w dobrej jakości biogazie jest powyżej 60% metanu. W biogazie otrzymanym z obu kiszonek zawartość metanu była mniejsza. Weiland (2010) podaje, że zawartość metanu w biogazie wyprodukowanym z sorgo wynosi 55%. W badaniach własnych zawartość tego składnika była o 1 punkt procentowy mniejsza.



Rys. 1. Zawartość metanu w biogazie
Fig. 1. Methane content in biogas



Rys. 2. Uzysk metanu z suchej substancji organicznej
Fig. 2. Yield of methane from dry organic matter

Z 1 kg SSO kiszonki z sorgo otrzymano o 26 dm³ (znormalizowanych) biometanu mniej niż z kiszonki z kukurydzy (rys. 2).

Wnioski

1. Z 1 kg SSO kiszonki z sorgo o długości siewki wynoszącej 1 cm otrzymano 631 dm³ (znormalizowanych) biogazu.
2. Uzysk biogazu z kiszonki z sorgo był o 25 dm³ (znormalizowanych) na 1 kg SSO mniejszy niż z kiszonki z kukurydzy.
3. W badaniach własnych uzyskano z kiszonki z sorgo biogaz dobrej jakości o zawartości 52% metanu.

Literatura

- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagenstril, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. (2007). Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresour. Technol.*, 98, 3204–3212.
- Avasi, Z., Szücsné, P., Márki-Zayné, I., Korom, S. (2006). Aerobic stability of sorghum–maize mixed silage. W: V. Jambor, S. Jamborová, B. Vosynková, P. Procházka, D. Vosynková, D. Kumprechtová (red.), *Proceedings of the 12th International Symposium „Forage Conservation”* (s. 192–195). Brno, Czech Republic: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno.
- DIN 38414-8:1985-06. (1985). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S 8). Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Gul, I., Demirel, R., Kilicalp, N., Sumerli, M., Kilic, H. (2008). Effect of crop maturity stages on yield, silage chemical composition and *in vivo* digestibilities of maize, sorghum and sorghum-sudangrass hybrids grown in semi-arid conditions. *J. Anim. Vet. Adv.*, 7, 8, 1021–1028.
- Helrich, K., Horwitz, W., Williams, S. (red.). (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC: AOAC.
- Jamroz, D. (red.). (2013). *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.
- Kański, J., Pyś, J. B., Górka, P. (2013). Prediction of the nutritive value of wet whole-crop sorghum silage according to the INRA feeding system by near-infrared spectroscopy. *J. Anim. Feed Sci.*, 22, 360–365.
- Kozłowski, S., Zielewicz, W., Oliwa, R., Jakubowski, M. (2006). Właściwości biologiczne i chemiczne *Sorghum saccharatum* w aspekcie możliwości uprawy w Polsce. *Łąk. Pol.*, 9, 101–112.
- Kruczek, A., Skrzypczak, W., Waligóra, H. (2014). Porównanie plonowania kukurydzy i sorga uprawianych różnymi metodami przy dwóch sposobach nawożenia nawozem azotowo-fosforowym. *Nauka Przyr. Technol.*, 8, 1, #12.
- Książak, J., Bojarszczuk, J., Staniak, M. (2012). Produkcyjność kukurydzy i sorga w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Pol. J. Agron.*, 8, 20–28.
- Michalski, T. (2008). Sorgo – poznajmy je bliżej. *Bydło*, 2, 34–39.
- Ministerstwo Gospodarki. (2009). *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.* Warszawa: Ministerstwo Gospodarki.
- Ministerstwo Gospodarki. (2010). *Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020. Dokument przygotowany we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi.* Warszawa: Ministerstwo Gospodarki.
- PN-ISO 6498:2001. (2001). *Przygotowanie próbek do badań*. Warszawa: PKNMiJ.
- Podkówa, Z. (2012). Surowce do produkcji biogazu rolniczego. W: W. Podkówa (red.), *Biogaz rolniczy odnawialne źródło energii* (s. 140–173). Warszawa: PWRiL.
- Podkówa, Z., Podkówa, L. (2011). Chemical composition and quality of sweet sorghum and maize silages. *J. Cent. Eur. Agric.*, 12, 2, 294–303.
- Podkówa, Z., Podkówa, W. (2014). Kukurydza – substrat dla biogazowni rolniczych. W: A. Mroziński (red.), *VII Konferencja EKO-EURO-ENERGIA* (s. 64–79). Bydgoszcz: Wyd. Fundacji Rozwoju Mechatroniki.
- SAS Institute Inc. (2014). *SAS/STAT user’s guide, Version 9.4*. Cary, NC: SAS Institute.
- Śliwiński, B. J., Brzóska, F. (2006). Historia uprawy sorgo i wartość pokarmowa tej rośliny w uprawie na kiszonkę. *Post. Nauk Roln.*, 1, 25–37.

Tothne Zsubori, Z., Pintér, J., Spitkó, T., Hegyi, Z., Marton, C. L. (2013). Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L.) hybrids and their interest for biogas production. *Maydica*, 58, 34–41.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85, 4, 849–860.

USE OF SUGAR SORGHUM (*SORGHUM SACCHARATUM*) FOR BIOGAS PRODUCTION

Summary. The study determined the chemical composition and usefulness of sugar sorghum ('Sucrosorgo 506') silage for the production of agricultural biogas. Sorghum silage showed a higher content of crude ash, crude fiber, NDF, ADF and ADL and less dry matter, crude protein and N-free extractives than maize silage. Yield of biogas was 631 dm³ (normalized) per 1 kg of dry organic matter (DOM) and was lower than that obtained for the maize silage (656 dm³, normalized, per 1 kg DOM). The level of biomethane (CH₄) in the biogas from sorghum was 52% (compared to 54% for maize silage).

Key words: sugar sorghum, silage, chemical composition, biogas, biomethane

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Zbigniew Podkówwka, *Katedra Hodowli Bydła i Żywnienia Zwierząt, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz, Poland, e-mail: pasza@utp.edu.pl*

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

4.02.2016

Do cytowania – For citation:

Podkówwka, Z., Podkówwka, L. (2016). Wykorzystanie sorgo cukrowego (*Sorghum saccharatum*) do produkcji biogazu. *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 1, #14. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.1.14