

Ewa KASZKOWIAK¹, Jerzy KASZKOWIAK²

e-mail: ekasz@utp.edu.pl

¹ Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz² Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Wykorzystanie ziarna kukurydzy na cele energetyczne

Wstęp

Spośród wielu rodzajów biomasy największe znaczenie ma biomasa pochodzenia roślinnego. Może ona być używana zarówno na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania surowców stałych jak i przetwarzana na biopaliwa ciekłe i gazowe. Do biopaliw stałych, określanych jako surowce energetyczne pierwotne, zalicza się między innymi słomę, rośliny energetyczne, ziarno zbóż czy kukurydzy. Jak twierdzi wielu autorów [1–3] poza korzyścią ekologiczną i ekonomiczną wynikającą ze spalania tych surowców roślinnych, właśnie one dają szansę rozwoju rolnictwa.

Kukurydza jest wszechstronnie użytkowanym gatunkiem. Stanowi cenne źródło surowca dla przemysłu spożywczego, spirytusowego i chemicznego oraz doskonałą paszę dla zwierząt. Przyszłościowym kierunkiem jej wykorzystania staje się produkcja na cele energetyczne. Chodzi przede wszystkim o produkcję biogazu, bioetanolu oraz spalanie słomy. Duży potencjał plonowania tej rośliny, sięgający 12–15 t suchej masy całych roślin z 1 ha, powoduje wzrost zainteresowania jej wykorzystaniem nie tylko do produkcji biogazu (świeża masa, kiszonka), czy bioetanolu (ziarno), ale także do bezpośredniego spalania [4].

Resztki poźniwne kukurydzy z powodu znacznej zawartości wilgoci w stanie świeżym, bez procesu dosuszenia nie nadają się jako surowiec do produkcji energii cieplnej w przypadku bezpośredniego spalania. Jak donosi Niedziółka i in. [4], w zależności od terminów zbioru i związanych z nimi różnymi warunkami pogodowymi, wilgotność poszczególnych frakcji roślin kukurydzy waha się w przedziale od 35 do 65%. Mając jednak na uwadze wysoką wartość opałową biomasy kukurydzianej (dla ziarna 17,2; dla plewek 16,2 a dla słomy 15,5 MJ·kg⁻¹) oraz aspekty ekologiczne, autorzy uważają, że może być ona wykorzystywana do produkcji energii cieplnej.

Odpowiednim zagęszczeniem biomasy można poprawić mechaniczne i energetyczne właściwości surowca pochodzącego z kukurydzy, zwłaszcza jeśli chodzi o ograniczenie kosztów transportu i magazynowania. Jednym ze sposobów zagęszczania masy poźniwnej kukurydzy może być jej brykietowanie umożliwiające uzyskiwanie brykietów opałowych o gęstości 650–900 kg·m⁻³, które zapewniają znacznie dłuższy czas spalania w porównaniu z biomasa roślinną w postaci luźnej [4].

W ciągu ostatnich lat bardzo dużego znaczenia nabrała w Europie produkcja biogazu. Stała się ona głównym kierunkiem przetwarzania surowców pochodzenia rolniczego. W takich krajach jak Niemcy czy Austria, gdzie produkcja biogazu jest wysoka, bazuje się pod tym względem właśnie na kukurydzy, a zwłaszcza na kiszonce z całych roślin oraz CCM, kiszonym i suszonym ziarnie lub słomie.

Podobnie spalanie ziarna kukurydzy dla Amerykanów okazało się ekonomicznie konkurencyjne w porównaniu z olejem napędowym, gazem oraz energią elektryczną.

Szczególnie cennym surowcem do produkcji etanolu w naszych warunkach również może się okazać ziarno kukurydzy. Wydajność alkoholu z jednego hektara tego zboża przy średnich plonach uzyskiwanych w Polsce przewyższa wszystkie inne zboża i eliminuje kosztowne suszenie ziarna [5].

Według danych GUS [6] powierzchnia uprawy kukurydzy do zbioru na ziarno w 2010 wynosiła 299,5 tys. ha, tj. o 9,3% więcej niż w roku ubiegłym (potencjalna powierzchnia uprawy tego gatunku w Polsce może stanowić od 1,5 do 2 mln ha), natomiast plony jej były o 9,3% niższe niż w roku ubiegłym i wynosiły około 56,5 dt·ha⁻¹.

Kukurydza ma średnie wymagania glebowe, powierzchnia jej uprawy zwiększa się obecnie po załamaniu na początku lat 90. XX wieku.

Najmniej zmalała ilość kukurydzy uprawianej na kiszonkę, natomiast uprawa na ziarno zależy od panującej sytuacji rynkowej.

Mieszanka kukurydzy przeznaczona do uprawy na kiszonkę, bioetanol i ziarno powinny charakteryzować się wysokimi plonami suchej masy łodyg, liści i kolb (tzw. ogólnym plonem s.m.), wysokim udziałem suchej masy kolb (ponad 50%) w ogólnym plonie suchej masy i dużą zawartością suchej masy w całych roślinach przy zbiorze (28–32%).

Nowoczesne mieszanka kukurydzy charakteryzują się cechą *stay-green*. Ich łodygi i liście zachowują zieloność w okresie dojrzewania, co umożliwia dłuższą akumulację składników pokarmowych i większą koncentrację suchej masy w kolbach. Wydłużony jest okres zbioru, a masa uzyskana z mieszańców tego typu łatwo się zakisza, dzięki wyższej zawartości wody w liściach i łodygach.

W przypadku mieszańców do uprawy na kiszonkę, tak jak i mieszańców do uprawy na ziarno, bardzo ważna jest ich wczesność, dostosowana do rejonu uprawy. Dzięki pracy hodowców najnowsze odmiany kukurydzy są coraz lepiej dostosowane są do potrzeb producentów pod względem potencjału plonowania, wartości odżywczych, odporności na suszę, choroby i szkodniki [7, 8].

Według rzeczoznawców, jakość ziarna zbóż i kukurydzy ze zbiorów bieżącego roku jest gorsza, od zbiorów uzyskanych w roku ubiegłym. Na pogorszenie jakości ziarna wpłynęło przede wszystkim porażenie roślin chorobami grzybowymi spowodowane nawracającymi, bardzo intensywnymi opadami deszczu. Opady te uniemożliwiały przeprowadzenie ochrony plantacji i zwiększały wilgotność ziarna, co przyczyniało się do gorszych jego parametrów biochemicznych [6].

Argumentami przemawiającymi za zwiększeniem przerobu ziarna kukurydzy na bioetanol, biogaz czy spalanie bezpośrednie ziarna kukurydzy jest wysokie plonowanie tego gatunku na słabszych glebach (zwłaszcza w porównaniu ze zbożami), i tym samym możliwość zagospodarowania w ten sposób ziarna nadpsutego o niższej wartości paszowej, wysoka jakość produktów ubocznych, niskie koszty środowiskowe produkcji, możliwość zagospodarowania odłogów i duże zainteresowanie rolników uprawą na ziarno [7].

Przebieg doświadczenia

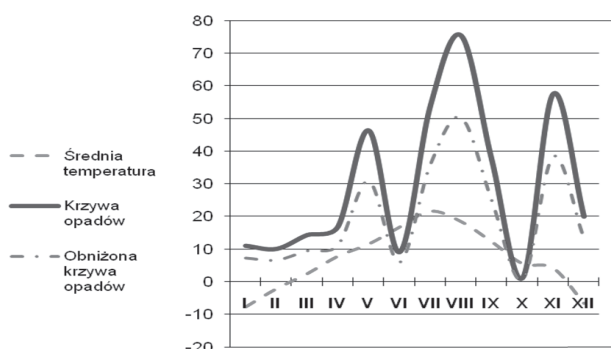
Celem założonego w 2010 roku w RZD w Mochelku należącym do Wydziału RiB UTP w Bydgoszczy była ocena możliwości pozyskiwania biomasy na cele energetyczne z pięciu gatunków roślin w uprawie polowej w zależności od poziomu nawożenia azotem. Doświadczenie będzie prowadzone przez okres 4 lat, zostało założone na glebie słabej kompleksu żytznego dobrego, metodą losowanych podbloków w 4 powtórzeniach.

Rośliny uprawiane są na trzech poziomach nawożenia azotowego, zbierane w różnych fazach dojrzałości przeznaczone na produkcję kiszonek (otrzymywanie biogazu) i uprawę ziarna przeznaczonego do produkcji bioetanolu i do bezpośredniego spalania.

Jednym z uprawianych gatunków była kukurydza uprawiana w pierwszym roku po przedplonie zbożowym, a w latach następnym w dwuletnim zmianowaniu po sorgo. Powierzchnia każdego z 12 polettek kukurydzy do siewu wynosiła 50 m², do zbioru 40 m² (20 m² przeznaczono na biogaz, 20 m² na etanol i do bezpośredniego spalania).

Na ziarno (etanol i do bezpośredniego spalania) uprawiano odmianę *Bejm*, należąca do średniowczesnych mieszańców pojedynczych (SC) o liczbie FAO 230–240 oraz o roślinach dość wysokich, długo utrzymujących zieloność (*stay-green*), cechującą się bardzo dobrą tolerancją na niekorzystne warunki atmosferyczne.

Jesienią zastosowano nawożenie fosforem i potasem w dawkach 35 kg P·ha⁻¹ w postaci 46% superfosfatu potrójnego granulowanego i 100



Rys. 1. Przebieg warunków pogodowych wg metody Weltersa za rok 2010

kg K \cdot ha $^{-1}$ w postaci 60% soli potasowej. Zabiegi uprawowe wykonano stosując ogólnie przyjęte zasady agrotechniki dla kukurydzy.

Nawożenie azotowe stosowano w 3 różnych dawkach 80, 120 i 160 kg N \cdot ha $^{-1}$ w postaci saletry amonowej. Nawożenie azotowe stosowano dzieląc dawki zgodnie ze schematem 50% przed siewem pod brzoń i 50% gdy rośliny osiągały wysokość około 30 cm.

Siew wykonano siewnikiem punktowym (13 roślin na m 2).

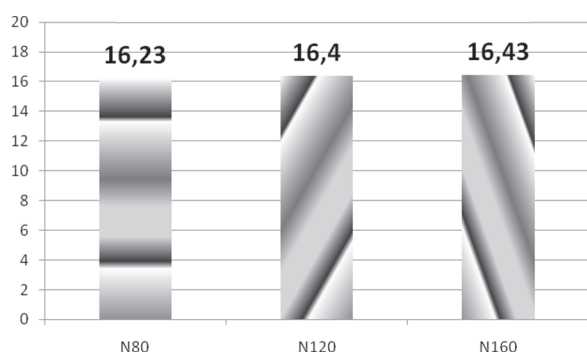
Zbiór na kiszonkę przeprowadzano w fazie dojrzałości młecznowo-skowej, a na bioetanol i do bezpośredniego spalania w połowie października w fazie pełnej dojrzałości ziarna, po wystąpieniu pierwszych przymrozków. Ziarno dosuszano do uzyskania wilgotności 15%, a następnie mielono i oceniano wartość energetyczną ziarna poprzez spalanie w bombie kolorymetrycznej.

Warunki pogodowe w 2010 roku dla uprawy kukurydzy na ziarno nie były zbyt korzystne. Duże ilości opadów po siewie kukurydzy i stosunkowo wysoka temperatura sprzyjały szybkim wschodom roślin, natomiast niskie temperatury i susza panująca w czerwcu zahamowały dalszy szybki rozwój roślin.

Nadmiernie wysokie opady w lipcu, sierpniu i wrześniu (odpowiednio 107, 151 i 75 mm) i zmienna wysokość temperatur sprzyjały rozwojowi chorób grzybowych, przedłużały okres wegetacji roślin, utrudniając dojrzewanie, wysychanie ziarna w kolbach i przeprowadzenie zbioru kukurydzy przeznaczonej na ziarno.

Dyskusja i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych stwierdzono, że wystąpiły istotne statystyczne różnice w wielkości plonu ziarna kukurydzy dla wszystkich poziomów nawożenia (69,6; 80,8; 80,6 dt \cdot ha $^{-1}$). Nie stwierdzono natomiast (Rys. 2) istotnych statystycznie różnic wartości opałowej ziarna kukurydzy w zależności od poziomu nawożenia azotem (16,2; 16,4 i 16,4 MJ \cdot kg $^{-1}$).

Rys. 2. Wartość energetyczna ziarna kukurydzy w MJ \cdot kg $^{-1}$ przy różnych poziomach nawożenia

Znaczący wzrost plonowania skutkuje zawsze zwiększeniem możliwości do uzyskania ilości energii z każdego hektara. Należy jednak zwrócić uwagę, że wzrost plonu ściśle związany jest z wyższymi nakładami ponoszonymi na nawożenie azotowe. W celu określenia celowości stosowania wyższych poziomów nawożenia niezbędne było przeprowadzenie rachunku ekonomicznego opłacalności przy wzroście intensyfikacji produkcji ziarna kukurydzy. W pierwszym roku badań stwierdzono, że

zastosowane nawożenie azotowe w dawce 120 kg N \cdot ha $^{-1}$ przyczyniło się do wzrostu ciepła spalania z 16,2 MJ \cdot kg $^{-1}$ (na poletkach nawożonych 80 kg N \cdot ha $^{-1}$) do 16,4 MJ \cdot kg $^{-1}$.

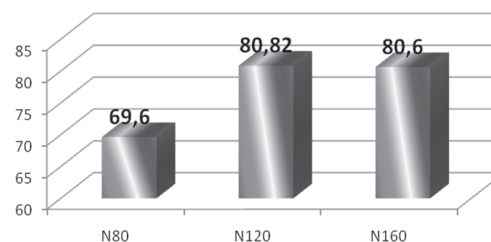
Wzrost plonu ziarna przy poziomie nawożenia 120 kg N \cdot ha $^{-1}$ spowodował jednak istotne zwiększenie plonu o 11,2 dt \cdot ha $^{-1}$ (14%), co przyczyniło się do zwiększenia ilości energii pozyskiwanej z każdego hektara o 1814,5 tys. MJ, przy jednoczesnym wzroście kosztów poniesionych na nawożenie azotowe na każdy hektar o 52 złote.

Dalszy wzrost nawożenia azotem (do 160 kg N \cdot ha $^{-1}$) nie wpłynął już na zwiększenie plonu i wzrost wartości energetycznej ziarna kukurydzy, okazał się więc niecelowy w niekorzystnych dla kukurydzy warunkach pogodowych panujących podczas wegetacji w 2010 roku. Jak donoszą inni autorzy [7, 9] zbyt duże opady (powyżej 350–400) podczas wegetacji mogą prowadzić do znacznego obniżenia plonu ziarna kukurydzy zwłaszcza, gdy łączą się z niskimi temperaturami powietrza (około 14°C). Dotyczy to zwłaszcza gleb lekkich, gdzie czynnikiem decydującym w największym stopniu o plonie są opady lipca i sierpnia. Podobnie niekorzystne warunki wodne i termiczne panowały w roku prowadzonych badań własnych w Mochełku.

W dotychczasowej literaturze niewiele jest informacji na temat wartości opałowej ziarna zbóż. *Niedziółka i Zuchniarz* [2] oszacowali ją dla ziarna kukurydzy na poziomie 17,2 MJ \cdot kg $^{-1}$ (przy wilgotności ziarna 10%), stwierdzając, że wartość opałowa wszystkich rodzajów biomasy zależy ściśle od jej wilgotności.

Wzrost zawartości wody w ziarnie kukurydzy w 2010 roku związany z długotrwałymi, intensywnymi opadami wpłynął na konieczność dosuszania ziarna, aby uzyskać odpowiednie parametry spalania. Zbyt wilgotna biomasa, jak podaje *Kościk* [10], cechuje się nie tylko niższą wartością energetyczną, ale i wyższą emisją zanieczyszczeń do atmosfery podczas spalania. Mimo dosuszania ziarna i kondycjonowania go przez kilka miesięcy w warunkach suchego pomieszczenia, wartość energetyczna ziarna kukurydzy w roku badań była stosunkowo niska.

Można stwierdzić, że o ilości energii pozyskiwanej ze spalania ziarna kukurydzy i innych zbóż o opłacalności uprawy poszczególnych gatunków przeznaczonych na cele energetyczne decyduje wysokość plonu możliwa do uzyskania w określonych warunkach pogodowych panujących w okresie wegetacji, przy optymalnym poziomie nawożenia azotowego. W badaniach własnych najwyższy wskaźnik opłacalności dla kukurydzy otrzymano przy zastosowaniu 120 kg N \cdot ha $^{-1}$.

Rys. 3. Wysokość plonów kukurydzy wyrażona w dt \cdot ha $^{-1}$ w zależności od poziomu nawożenia azotem

LITERATURA

- [1] A. Grzybek: *Wieś Jutra* 9 (62), 10 (2003).
- [2] I. Niedziółka, A. Zuchniarz: *Motrol* 8A, 232 (2006).
- [3] K. Dreszer, R. Michalek, A. Roszkowski: Wyd. PTIR Kraków-Lublin-Warszawa (2003).
- [4] I. Niedziółka, M. Szymanek, A. Zuchniarz: *Inżynieria Rolnicza* 7(95), 153 (2007).
- [5] K. Markowski: *Produkcja biopaliw na użytek własny* (20.03.2011) <http://modr.mazowsze.pl/porady-dla-rolnikow/produkcja-roslinna/678-produkcja-biopaliw-na-uzytek-wlasny.html>
- [6] Opracowanie KAPE S.A., URE 2007.
- [7] T. Michalski: *Kukurydza rośliną przyszłości*. AGROSERWIS. Wyd. 3, 7 (2005).
- [8] Z. Kaniuczak, S. Pruszyński: *Metodyka zintegrowanej produkcji kukurydzy* (21.03.2011) http://piorin.gov.pl/cms/upload/Metodyka_IP_Kukurydzy.pdf
- [9] L. Styszko, D. Fijałkowska, A. Majewski: *Rocznik Ochrony Środowiska*. t.10, 135 (2008).
- [10] B. Kościk: *Rośliny energetyczne*, Wyd. AR Lublin 2003.