

DAGMARA MIGUT, JAN BUCZEK, MARTA JAŃCZAK-PIENIAŹEK, EWA SZPUNAR-KROK

Zakład Produkcji Roślinnej, Kolegium Nauk Przyrodniczych,
Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, e-mail: dmigut@ur.edu.pl

**PRZEMYSŁOWE I ENERGETYCZNE WYKORZYSTANIE
ROŚLIN KUKURYDZY**

*Kukurydza (*Zea mays* L.) należy do roślin uprawianych powszechnie na całym świecie. Dzięki szerokiej dostępności jest wszechstronnie użytkowanym gatunkiem. Stanowi cenne źródło surowca dla przemysłu spożywczego, spirytusowego i chemicznego oraz doskonałą paszę dla zwierząt. Dynamicznie rozwijającym się kierunkiem wykorzystania roślin kukurydzy jest również jej wykorzystanie na cele energetyczne. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania roślin kukurydzy w aspekcie przemysłowym oraz na cele energetyczne.*

Słowa kluczowe: kukurydza, wykorzystanie przemysłowe, wykorzystanie energetyczne

I. 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. Poza korzyścią ekologiczną i ekonomiczną wynikającą ze spalania tych surowców roślinnych, właśnie one dają szansę rozwoju rolnictwa [Kaszkowiak i Kaszkowiak 2011].

W XXI wieku wydajne rośliny uprawne w tym kukurydza będą odgrywać główną rolę w zwiększaniu plonów w porównaniu z XX w., głównie ze względu na ograniczone zasoby ziemi i wody dostępne do produkcji roślinnej, większe koszty stosowanych nawozów nieorganicznych, tendencje spadkowe w plonach wybranych upraw na świecie i rosnące obawy o środowisko [Gołębiewski 2019, Fageria i in. 2008]. Kukurydza (*Zea mays* L.) jest jedną z najpowszechniej uprawianych roślin na świecie. Rosnące zainteresowanie uprawą tej rośliny wynika z możliwości jej uniwersalnego zastosowania – jako żywność, pasza dla zwierząt, roślina przemysłowa czy też energetyczna [Olanrewaju i Babalola 2019]. Na świecie występuje wiele rodzajów upraw, jednak tylko cztery z nich stanowią połowę globalnej produkcji roślinnej. W produkcji ogólnej kukurydza jest jedną z najczęściej uprawianych roślin, a dynamika jej produkcji stale wzrasta [Duan 2019, Ort i Long 2014]. W uprawie znajduje się już od czasów przedhistorycznych. Z rośliną tą są ściśle związane najstarsze cywilizacje. Była ona uprawiana przez stare amerykańskie plemiona indiańskie Majów i Azteków, dla których stanowiła nie tylko podstawę wyżywienia, ale i obiekt wierzeń oraz kultu religijnego [Grobman i in. 2012, van Heerwaarden i in. 2011, Piperno

i in. 2009]. Według danych FAOSTAT produkcja kukurydzy w 2019 roku stanowiła 13% światowej produkcji roślinnej i wynosiła 1 148 487 tys. ton. W ostatnich latach liderami w światowej produkcji kukurydzy są Stany Zjednoczone, Chiny, Brazylia, Argentyna, Ukraina i Indonezja [FAOSTAT 2020]. Według prognoz długoterminowych popyt na kukurydzę podwoi się do 2050 r., a jej produkcja przekroczy produkcję wszystkich innych zbóż [Ten-Berge i in. 2019, Rosegrant i in. 2009].

W Polsce kukurydza zwyczajna jest uprawiana na skalę przemysłową od lat 50. XX wieku. W zależności od kierunku produkcji obserwuje się zróżnicowanie regionalne uprawy kukurydzy ze względu na uwarunkowania glebowo-klimatyczne. W województwach znajdujących się na południu kraju dominuje uprawa na ziarno, natomiast w województwach północnych przeważa uprawa na kisonkę [Książak 2008]. W 2018 roku kukurydzę na ziarno w Polsce uprawiano na powierzchni 645 405 ha, w tym w gospodarstwach indywidualnych na 537 647 ha. Największe uprawy kukurydzy zlokalizowane są w województwie wielkopolskim – 147815 ha, najmniejsze zaś w świętokrzyskim – 5181 ha. Udział powierzchni zasiewów kukurydzy w 2018 roku w Polsce wynosił 6% powierzchni zasiewów ogółem. Udział ten utrzymuje się na stałym poziomie z nieznacznymi wahaniami od 2013 roku (5,2-6,5% za lata 2013-2018), w którym to nastąpił gwałtowny wzrost powierzchni upraw kukurydzy w Polsce (z 0-0,6% w latach 1970-1996, przez 3,0-3,2% w latach 2002-2010). W porównaniu z rokiem poprzednim (2017) wzrost powierzchni zasiewów kukurydzy na ziarno wynosił 14,8% [GUS 2020]. W 2018 roku plon kukurydzy na ziarno wyniósł 59,9 dt·ha⁻¹ i był znacząco niższy od plonów uzyskanych w latach 2017 oraz 2016- kolejno: 71,5 dt·ha⁻¹ oraz 73,2 dt·ha⁻¹. Na zmniejszenie plonowania wpłynęły wysokie temperatury i brak opadów w okresie wegetacji. Bez względu na kierunek uprawy kukurydzy, niezmiernie ważne jest uzyskanie wysokiego plonu suchej masy bądź ziarna o jak najlepszych parametrach jakościowych. We współczesnym rolnictwie poszukuje się rozwiązań technologicznych mających na celu wzrost plonu, ale także poprawę jego jakości [Caruso i in 2019a, Caruso i in. 2019b].

Celem pracy była charakterystyka możliwości wykorzystania roślin kukurydzy w aspektach przemysłowym oraz energetycznym.

II. MATERIAŁY I METODY

Opracowanie jest oparte na studium problemu i analizie wybranego piśmiennictwa. Dokonano przeglądu dokumentów w zakresie problematyki związanej z przemysłowym i energetycznym wykorzystaniem roślin kukurydzy.

III. WYNIKI

Kukurydza odznacza się dużym zróżnicowaniem form o różnorodnych cechach botanicznych i użytkowych oraz wszechstronnością użytkowania (tab. 1). Może być wykorzystywana do celów spożywczych, paszowych, przemysłowych i energetycznych [Huma i in. 2019]. Jako kukurydza cukrowa wykorzystywana jest w celach konsumpcyjnych do bezpośredniego spożycia, w przemyśle owocowo-warzywnym na mrożonki i konserwy oraz do przerobu przemysłowego. Na cele spożywcze uprawia się również kukurydzę pękającą znaną jako popcorn [Suri i Tanumihardjo 2016].

W czasie przerobu kukurydzy do celów spożywczych, dojrzałe ziarno kukurydzy w specjalistycznych młynach jest przerabiane na kaszę, mąkę lub płatki kukurydziane. Przetwarzanie kukurydzy na cele spożywcze wymaga zastosowania jednej z dwóch technik mielenia: mielenia na sucho lub mielenia na mokro. Głównym celem mielenia na sucho jest odzyskanie frakcji bielma do wykorzystania jako grys, mączka i mąka kukurydziana, podczas

gdy zarodki można przeznaczyć na olej [Alberts i in. 2021, Rose i in. 2010]. Mielenie kukurydzy na mokro polega na namoczeniu ziarna najpierw w wodzie i dwutlenku siarki. Podczas tego procesu ziarna kukurydzy są zmiękczone, aby ułatwić oddzielenie składników: skrobi, glutenu, błonnika i kielków [Rausch i in. 2019, Papageorgiou i Skendi 2018, Johnson i May 2003]. Produkty wytworzone podczas mielenia ziarna kukurydzy nie zawierają glutenu, dlatego mogą być wykorzystywane w produkcji żywności bezglutenowej. Mąka kukurydziana posiada jednak niską wartość wypiekową, dlatego używana jest głównie jako dodatek do wypieku pieczywa i ciast [Stantiall i Serventi 2018, Holguin - Acuna i in. 2008]. Otręby kukurydziane są produktem ubocznym mielenia ziarna kukurydzy o wysokiej wartości odżywczej, które nie zawierają składników antyżywnościowych i z powodzeniem wykorzystywane są jako dodatek do batoników zbożowych [Figueiredo de Sousa i in. 2019]. Główne produkty otrzymywane z mielenia kukurydzy na mokro i na sucho, z dalszymi modyfikacjami lub bez, są wykorzystywane do produkcji płatków śniadaniowych, przekąsek, tortilli i wielu innych produktów spożywczych. Ponadto, jednym z najważniejszych surowców produkowanych z ziarna kukurydzy jest skrobia. Wykorzystywana jest głównie jako środek zagęszczający, stabilizujący i teksturotwórczy w produkcji spożywczej [Horstmann i in. 2017, Nuss i Tanumihardjo 2010].

Tabela 1 - Table 1

Kierunki wykorzystania kukurydzy w podziale na poszczególne gałęzie przemysłu / *Directions of maize use broken down by individual industry branches*

Kierunki wykorzystania kukurydzy / <i>Directions use of maize</i>			
Paszowy <i>Fodder</i>	Ziarno suszone / <i>Dried grain</i>	Przemysłowy <i>Industrial</i>	Skrobia surowa / <i>Raw starch</i>
	Ziarno kiszone / <i>Pickled grain</i>		Bioetanol / <i>Bioethanol</i>
	Kiszonka z całych roślin / <i>Whole plant silage</i>		Alkohol butylowy / <i>Butyl alcohol</i>
	Pasza z kolb (CCM) / <i>Cob feed (CCM)</i>		Farby / <i>Paints</i>
	Susz z całych roślin / <i>Dried whole plants</i>		Papier / <i>Paper</i>
	Zielonka / <i>Green mass</i>		Płyty izolacyjne / <i>Insulation boards</i>
	Słoma / <i>Straw</i>		Kauczuk / <i>Rubber</i>
Spożywczy / <i>Food</i>	Kasza, mąka, płatki / <i>Groats, flour, flakes</i>	Energetyczny / <i>Energetic</i>	Bioetanol (ziarno) / <i>Bioethanol (grain)</i>
	Wyroby cukiernicze / <i>Confectionery</i>		Biogaz (kiszonka) / <i>Biogas (silage)</i>
	Krochmal / <i>Starch</i>		Paliwo stałe (ziarno, całe rośliny, słoma, rdzenie) / <i>Solid fuel (grain, whole plants, straw, cores)</i>
	Olej / <i>Oil</i>		Produkt do zgazowania (słoma, rdzenie) / <i>Gasification product (straw, cores)</i>
	Syrop / <i>Syrup</i>		
	Spirytus / <i>Alcohol</i>		
	Piwo / <i>Beer</i>		
	Popcorn / <i>Popcorn</i>		
Warzywo (kukurydza cukrowa) / <i>Vegetable (sweet corn)</i>			

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kotecki i in. 2020 / *Source: own study based on Kotecki et al. 2020*

Pomimo szerokiej możliwości wykorzystania produktów ubocznych pozyskanych w trakcie przerobu ziarna są one używane głównie jako pasza dla zwierząt. Pozostałości roślin uprawnych są ważnym źródłem paszy objętościowej dla przeżuwaczy, w szczególności tam, gdzie użytki zielone są ograniczone. Efektywne wykorzystanie produktów ubocznych jako paszy przez przeżuwacze może obniżyć koszty poniesione na żywienie zwierząt, ze względu na jej niską cenę [He i in. 2020, Lv i in. 2013]. Pasze otrzymane z kukurydzy są produktami wysokoenergetycznymi i cechują się wyższą koncentracją energii w porównaniu z produktami wytworzonymi z innych roślin. Zawierają

dużo łatwo strawnych węglowodanów w postaci skrobi i cukrów, a ilość węglowodanów strukturalnych może być regulowana poprzez odpowiednią technologię uprawy i zbioru. Jednak ze względu na niską wartość biologiczną białka kukurydzy, intensywne skarmianie zwierząt wymaga uzupełnienia paszy z kukurydzy w wysokobiałkowe komponenty pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego [Gálvez Ranilla 2020, Yongfeng i Jaylin 2016].

Ponadto kukurydza wykorzystywana jest również jako surowiec dla różnorodnych gałęzi przemysłu [Gálvez Ranilla 2020]. Większość badań dotyczących biokonwersji otrębów kukurydzianych i błonnika kukurydzianego koncentrowała się na produkcji etanolu jako paliwa [Zhao i in. 2020, Dhugga 2007, Gaspar i in. 2007], jednak składniki tych produktów ubocznych mogą zostać przekształcone w inne substancje chemiczne, które byłyby ważne dla przemysłu spożywczego. Zastosowanie otrębów kukurydzianych lub włókna kukurydzianego jako materiału wyjściowego do produkcji dodatków do żywności ma wiele potencjalnych zalet, takich jak zmniejszony wpływ na środowisko. Zarodki kukurydzy, zawierające znaczne ilości tłuszczu, służą do wyrobu poszukiwanego i cennego oleju jadalnego, skrobia jest wykorzystywana w przemyśle kosmetycznym oraz farmaceutycznym do wyrobu penicyliny, środków dezynfekcyjnych i gliceryny. W przemyśle fermentacyjnym kukurydza jest wykorzystywana do produkcji alkoholu i specjalnych gatunków piwa. Wykorzystywana jest również w krochmalnictwie. Słomę kukurydzy można przerabiać na papier, materiały izolacyjne i budowlane oraz przetwarzać na spirytus metylowy i butylowy [Rosales-Calderon i Arantes 2019, Schittenhelm 2008].

Kukurydza przetwarzana jest także w przemyśle energetycznym do produkcji biopaliw. Zarówno w całości, jak i poszczególne jej części użytkowane są jak produkt do współspalania, produkcji bioetanolu i biogazu. Wydajność alkoholu z jednego hektara przy średnich plonach uzyskiwanych w Polsce przewyższa inne zboża i eliminuje kosztowne suszenie ziarna. Z kolei wykorzystanie kukurydzy w instalacjach biogazowych jest bardzo korzystne w związku z wysokim uzyskiem energii przeliczonej na hektar uprawy [Kaszkowiak i Kaszkowiak 2011]. 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 [Lask i in. 2020, Olukosi i Adebisi 2013, Niedziółka i in. 2007]. Resztki poźniwe kukurydzy z powodu znaczącej zawartości wilgoci w stanie świeżym, nie nadają się jako surowiec do produkcji energii cieplnej (bez procesu dosuszenia) w przypadku bezpośredniego spalania. Niedziółka i in. [2007] donosi, że w zależności od terminów zbioru i związanych z nimi zmiennymi warunkami pogodowymi, wilgotność poszczególnych frakcji roślin kukurydzy wynosi od 35 do 65%, jednak biorąc pod uwagę wysoką wartość opałową biomasy kukurydzianej (dla ziarna $17,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$; dla plewek $16,2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a dla słomy $15,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz aspekty ekologiczne może być ona wykorzystywana do produkcji energii cieplnej.

Mieszkańce kukurydzy przeznaczone do uprawy na biopaliwa powinny charakteryzować się wysokimi plonami suchej masy łodyg, liści i kolb, 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 mieszanki kukurydzy charakteryzują się również cechą stay green. Ich łodygi i liście zachowują zieloność w okresie dojrzwania, 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 [Kamal i in. 2019, Thomas

i Ougham, 2014, Hortensteiner 2009]. Argumentami przemawiającymi za zwiększeniem przerobu ziarna kukurydzy na bioetanol, biogaz czy spalanie bezpośrednio 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 [Gálvez Ranilla 2020, Hickey i in. 2019, Kaszkowiak i Kaszkowiak 2011]. Możliwości i kierunki wykorzystania kukurydzy przedstawia tabela 2.

Tabela 2 - Table 2

Kierunki wykorzystania kukurydzy / *Directions of maize use*

Kierunki wykorzystania kukurydzy / <i>Directions use of maize</i>	
Całe rośliny / <i>Whole plants</i>	Kiszonka dla bydła / <i>Silage for cattle</i>
	Susz z całych roślin na paszę / <i>Dried whole plants for fodder</i>
	Kiszonka do produkcji biogazu / <i>Silage for the production of biogas</i>
Ziarno / <i>Grain</i>	Pasza dla zwierząt (ziarno suche, kiszone, zakwaszone) / <i>Animal feed (dry grain, pickled grain, fermented grain)</i>
	Przemiał na kasze i mąkę / <i>Milling into groats and flour</i>
	Produkcja bioetanolu / <i>Production of bioethanol</i>
	Spalanie w piecach / <i>Burning in furnaces</i>
Kolby / <i>Flasks</i>	Kiszonka dla zwierząt / <i>Silage for animals</i>
	Produkcja materiału siewnego / <i>Production of seed material</i>
Słoma / <i>Straw</i>	Przyorywana na polu / <i>Plowing in the field</i>
	Spalana w piecach / <i>Burning in furnaces</i>
	Konwersja na biopaliwa płynne / <i>Conversion into liquid biofuels</i>
Produkcja skrobi / <i>Production of starch</i>	Skrobia spożywcza / <i>Food starch</i>
	Scukrzanie skrobi / <i>Starch saccharification</i>
	Skrobia przemysłowa / <i>Industrial starch</i>
	Skrobia przetworzona i modyfikowana / <i>Processed and modified starch</i>

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kotecki i in. 2020 / *Source: own study based on Kotecki et al. 2020*

IV. PODSUMOWANIE

Kukurydza stanowi bardzo ważny surowiec zarówno w przemysłowym, jak i energetycznym aspekcie jego wykorzystania. Szeroki wachlarz możliwości wykorzystania kukurydzy pozwala zakwalifikować ją do surowców o wysokim potencjale produkcyjnym. Obecne wyzwania związane z wyżywieniem rosnącej populacji ludności, stwarza potrzebę ulepszenia istniejących technologii uprawy roślin i opracowania nowych o jeszcze lepszych parametrach dotyczących uzyskiwanych plonów, większej wartości odżywczej i odpornych na zmianę klimatu. Jednak należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że produkcja rolnicza na cele energetyczne powinna być optymalizowana pod względem maksymalizacji efektywności energetycznej, a nie cech jakościowych dominujących w konwencjonalnym wytwarzaniu żywności i pasz.

BIBLIOGRAFIA

1. Alberts J.A., Davids I., Moll W.D., Schatzmayr G., Burger H.M., Shephard G.S., Gelderblom W.C.A. 2021. Enzymatic detoxification of the fumonisin mycotoxins during dry milling of maize. *Food Control*. 123. 107726. doi:10.1016/j.foodcont.2020.107726.

2. Caruso G., De Pascale S., Cozzolino E., Cuciniello A., Cenvinzo V., Bonini P., Colla G., Rouphael Y. 2019a. Yield and nutritional quality of Vesuvian Piennolo tomato PDO as affected by farming system and biostimulant application. *Agron.* 9. 505. doi:10.3390/agronomy9090505.
3. Caruso G., De Pascale S., Cozzolino E., Giordano M., El-Nakhel C., Cuciniello A., Cenvinzo V., Colla G., Rouphael Y. 2019b. Protein hydrolysate or plant extract-based biostimulants enhanced yield and quality performances of greenhouse perennial wall rocket grown in different seasons. *Plants.* 8. 208. doi:10.3390/rośliny8070208.
4. Dhugga K.S. 2007. Maize biomass yield and composition for biofuels. *Crop Sci.* 47. 2211-2227. doi:10.2135/cropsci2007.05.0299.
5. Duan P. 2019. Response of maize genotypes with different nitrogen use efficiency to low nitrogen stresses. *Acta Ecologica Sinica.* 39. 1. 77-80.
6. Fageria N.K., Baligar V.C., Li Y.C. 2008. The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. *J. Plant Nutr.* 31 (6). 1121-1157. doi:10.1080/01904160802116068.
7. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2020. Crops and livestock products. [dok. elektr.:<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> data wejścia: 20.07.2021].
8. Figueiredo de Sousa M., Guimarães R.M., de Oliveira Araújo M., Barcelos K.R., Carneiro N.S., Lima D.S., Costa Dos Santos D., de Aleluia Batista K., Fernandes K.F., Martins Lima M.C.P., Buranelo Egea M. 2019. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. *LWT.* doi:10.1080/101. 812-818.
9. Gálvez Ranilla L. 2020. The Application of Metabolomics for the Study of Cereal Corn (*Zea mays* L.). *Metabolites.* 10. 300. doi:10.3390/metabo10080300.
10. Gaspar M., Kalman G., Reczey K. 2007. Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Proc Biochem.* 42. 1135-1139. doi:10.1016/j.procbio.2007.04.003
11. Główny Urząd Statystyczny. 2020. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. [dok. elektr.: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2020,6,14.html> data wejścia: 20.07.2021].
12. Gołębiowski J. 2019. Systemy żywnościowe w warunkach gospodarki cyrkularnej. Studium porównawcze krajów Unii Europejskiej. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
13. Grobman A., Bonavia D., Dillehay T.D., Piperno D.R., Iriarte J. 2012. Pre-ceramic maize from Paredones and Huaca Prieta. Peru Irene Holst PNAS USA. 109. 5. 1755-1759. doi:10.1073/pnas.1120270109.
14. He Y., Cone J.W., Hendriks W.H., Dijkstra J. 2020. Relationships between chemical composition and in vitro gas production parameters of maize leaves and stems. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104. 12-21. doi:10.1111/jpn.13221.
15. Hickey L.T., Hafeez A.N., Robinson H., Jackson S.A., Leal-Bertioli S.C., Tester M., Wulff B.B. 2019. Breeding crops to feed 10 billion. *Nat. Biotech.* 37. 744-754. doi:10.1038/s41587-019-0152-9.
16. Holguin - Acuna A.L., Carvajal - Millan E., Santana - Rodriguez V., Rascon - Chu A., Marquez - Escalante J.A., Ponce de Leon - Renova N.E. 2008. Maize bran/oat flour extruded breakfast cereal: a novel source of complex polysaccharides and an antioxidant. *Food Chem.* 111. 654-657. doi:10.1080/19476337.2019.1566276.
17. Horstmann S.W., Lynch K.M., Arendt E.K. 2017. Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Foods.* 6. 29. doi:10.3390/foods6040029.

18. Hortensteiner S. 2009. Stay-green regulates chlorophyll and chlorophyll-binding protein degradation during senescence. *Trends Plant Sci.* 14. 155-162. doi:10.1016/j.tplants.2009.01.002.
19. Huma B., Hussain M., Ning C., Yuesuo Y. 2019. Human Benefits from Maize. *Sch. J. Appl. Sci. Res.* 2 (2). 4-7.
20. Johnson L.A., May J.B. 2003. Wet milling: the basis for corn biorefineries in *Corn: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St Paul M.N. 2003.
21. Kamal N.M., Gorafi Y.S.A., Abdelrahman M., Abdellatef E., Tsujimoto H. 2019. Stay-green trait: A prospective approach for yield potential, and drought and heat stress adaptation in globally important cereals. *Int. J. Mol. Sci.* 20. 5837. doi:10.3390/ijms20235837.
22. Kaszkowiak E., Kaszkowiak J. 2011. Wykorzystanie ziarna kukurydzy na cele energetyczne. *Inż. Ap. Chem.* 50. 3. 35-36.
23. Kotecki A. (red.). 2020. *Uprawa roślin, tom II*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Wrocław.
24. Księżak J. 2008. Regionalne różnicowanie uprawy kukurydzy w Polsce w latach 2000-2006. *Acta Sci. Pol. Agricultura.* 7 (4). 47-60.
25. Lask J., Martínez Guajardo A., Weik J., von Cossel M., Lewandowski I., Wagner M. 2020. Comparative environmental and economic life cycle assessment of biogas production from perennial wild plant mixtures and maize (*Zea mays* L.) in southwest Germany. *GCB Bioenergy.* 12. 571-585. doi:10.1111/gcbb.12715.
26. Lv K.Y., Qin H.G., Bai J.F., Xu, Z.G. 2013. Development of direct return of corn stalk to soil: Current status, driving forces and constrains. *China Population. Resources and Environment.* 23. 171-176.
27. Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A. 2007. Ocena właściwości energetycznych i mechanicznych brykietów z masy poźniwej kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza.* 7(95). 153-159.
28. Nuss E.T., Tanumihardjo S.A. 2010. Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Compr Rev Food Sci F.* 9 (4). 417-36. doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x.
29. Olanrewaju O.S., Babalola O.O. 2019. Bacterial Consortium for Improved Maize (*Zea mays* L.) Production. *Microorganism.* 7. 519. doi:10.3390/microorganisms7110519.
30. Olukosi O.A., Adebisi A.O. 2013. Chemical composition and prediction of amino acid content of maize- and wheat-Distillers Dried Grains with Soluble. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185 (3/4). 182-189.
31. Ort R., Long P. 2014. Limits on yields in the corn belt. *Science.* 344. 484-485. doi:10.1126/science.1253884.
32. Papageorgiou M., Skendi A. 2018. Introduction to cereal processing and by-products. Woodhead Publishing Series in Food Science. 1. 1-25. doi:10.1016/B978-0-08-102162-0.00001-0.
33. Piperno D.R., Ranere A.J., Holst I., Iriarte J., Dickau R. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley. Mexico. *Proc Natl Acad Sci.* 106. 5019–5024. doi:10.1073/pnas.0812525106
34. Rausch K.D., Hummel D., Johnson L.A., May J.B. 2019. Wet Milling: The Basis for Corn Biorefineries. *Corn*. AACC International Press. 501-535. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00018-8.
35. Rosales-Calderon O., Arantes V. 2019. A review on commercial-scale high-value products that can be produced alongside cellulosic ethanol. *Biotechnol Biofuels.* 12. 240. doi:10.1186/s13068-019-1529-1.

36. Rose D.J., Inglett G.E., Liu S.X. 2010. Utilisation of corn (*Zea mays*) bran and corn fiber in the production of food components. *J. Sci. Food Agric.* 90. 915-924. doi:10.1002/jsfa.3915.
37. Rosegrant M.R., Ringler C., Sulser T.B., Ewing M., Palazzo A., Zhu T. 2009. Agriculture and food security under global change. Prospects for 2025/2050. International Food Policy Research Institute. Washington D.C. 2009. doi:10.2499/9780896291867.
38. Schittenhelm S. 2008. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *Eur J Agron.* 29. (2/3). 72-79. doi:10.1016/j.eja.2008.04.001.
39. Stantiall S.E., Serventi L. 2018. Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition.* 69. 4. 427-436. doi:10.1080/09637486.2017.1378626.
40. Suri D.J., Tanumihardjo S.T. 2016. Effects of different processing methods on the micronutrient and phytochemical contents of maize: from A to Z. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15. 912-926. doi:10.1111/1541-4337.12216.
41. Ten Berge H.F.M., Hijbeek R., van Loon M.P., Rurinda J., Tesfaye K., Zingore S., Craufurd P., van Heerwaarden J., Brentrup F., Schröder J.J., Boogaard H.L., de Groot H.L.E., van Ittersum M.K. 2019. Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. *Global Food Security.* 23. 9-21. doi:10.1016/j.agry.2020.102790.
42. Thomas H. Ougham, H. 2014. The stay-green trait. *J. Exp. Bot.* 65. 3889-3900. doi:10.1093/jxb/eru037.
43. van Heerwaarden J., Doebley J., Briggs W.H., Glaubitz J.C., Goodman M.M., Gonzalez J.J.S. 2011. Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. *Proc Natl Acad. Sci.* 108. 1088-1092. doi:10.3389/fgene.2016.00131.
44. Yongfeng A., Jaylin J. 2016. Macronutrients in Corn and Human Nutrition. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15 (3). 581-598. doi:10.1111/1541-4337.12192.
45. Zhao J., Xu Y., Wang W., Griffin J., Roozeboom K., Wang D. 2020. Bioconversion of industrial hemp biomass for bioethanol production: A review. *Fuel.* 281. 118725. doi:10.1016/j.fuel.2020.118725.

INDUSTRIAL AND ENERGY USE OF MAIZE PLANTS

Summary

Maize (Zea mays L.) is a crop grown all over the world. Its availability makes it a widely used species. It is a predominant food raw material for human or animal consumption, used as a raw material for bioethanol production and in the chemical industry. Another dynamically developing direction of the use of maize is their use for energy purposes. The paper presents the possibilities of using maize plants in the industrial aspect intended for energy production.

Key words: maize, industrial use, energy use