

TADEUSZ MICHALSKI

Katedra Uprawy Roli i Roślin

Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

Fizyczne i chemiczne cechy ziarna kukurydzy jako wskaźniki wartości przemiałowej i przydatności do produkcji chrupek*

Physical and chemical characters of maize grain as indicators of dry milling quality and usefulness for snack production

Na 38 próbach ziarna kukurydzy o zróżnicowanym składzie odmianowym, określano metodami korelacji oraz regresji wielokrotnej i krzywoliniowej zależności między cechami fizycznymi i chemicznymi ziarna, a wydajnością przemiału i jakością chrupek. Łącznie badaniami objęto 24 cechy. Stwierdzono istotną zależność wydajności przemiałowej od pływalności ziarna, masy hektolitra oraz twardości ziarna — wyrażonej w jednostkach Brabendera i powierzchni wykresu. Spośród nich w największym stopniu (68–78%) wydajność przemiału determinowały masa hektolitra i praca włożona w rozdrobnienie (powierzchnia wykresu Brabendera) oraz zawartość tłuszczu w ziarnie. Wraz ze zwiększaniem się masy hektolitra, liniowo wzrastała wydajność całkowita przemiału oraz wydajność frakcji o najlepszej jakości. Zależność między twardością ziarna a wydajnością przemiału miała charakter krzywoliniowy.

Słowa kluczowe: kukurydza, mielenie na sucho, parametry fizyczne i chemiczne ziarna, chrupki

Relationships between physical and chemical characters of maize grain were determined together with assessment of productivity of dry milling and snacks quality in 38 cultivars, using the methods of correlation and of multiple and curvilinear regression. In total, 24 characters were investigated. A significant dependence of milling productivity on floating of grain, mass of hectolitre and seed hardness (in Brabender units) was found. Productivity of dry milling was determined, to the highest degree (68–78%), by the mass of hectolitre; crushing energy input (area of the Brabeneder diagram) and grain fat content. With increasing mass of hectolitre the total productivity of milling and yield of the best quality fraction rose linearly. Dependence of the productivity of milling on grain hardness was expressed as a curvilinear regression.

Key words: dry milling, maize, physical and chemical parameters of grain, snacks

* Badania wykonano w ramach grantu KBN nr 5 P06B 046 14

WSTĘP

Ziarno kukurydzy jest produktem handlowym o wszechstronnym zastosowaniu, w tym także jako surowiec przemysłowy. Spośród licznych możliwości przerobu ziarna, podstawową technologią przerobu ziarna kukurydzy jest przemiał w młynach (Michalski, 1997). Głównym produktem przemiału jest kaszka o różnej grubości, zwana grysem. Kasze kukurydziane używane są w żywieniu człowieka (m.in. pokarmy dla dietetyków) oraz w browarnictwie jako dodatek do słodu.

Podstawową częścią ziarna kukurydzy jest bielmo, ale zarodek stanowi ok. 12% masy ziarniaka i zawiera ok. 28% białka i 38% tłuszczu. Zarodek jest cennym produktem ubocznym, ale przy niewłaściwej konserwacji ziarna lub nieodpowiednim jego przerobie, białko i tłuszcz zanieczyszczają bielmo i pogarszają jakość grysu (Gautier, 1994 a; Gerstenkorn, 1980; Lorgou i in., 1994). Podstawowe wymagania stawiane ziarnu przeznaczonemu do przemiału (Gautier, 1994 a b; Gerstenkorn, 1980; Gerstenkorn, Lindhauer, 1995; Machemer, 1975) to:

- odpowiednia budowa anatomiczna,
- pełna dojrzałość fizjologiczna,
- mały udział ziaren połamanych i popękanych,
- jednolitość partii i dobry stan zdrowotny ziarna.

Przydatność poszczególnych odmian może różnić się zasadniczo w zależności od typu budowy ziarna, konsystencji bielma oraz zawartości tłuszczu. Potwierdzają to wyniki badań niemieckich i francuskich (Gautier, 1994 b; Machemer, 1996; Schneeweiss, 1996). Ważnym jest, by ziarno było w pełni dojrzałe, o małej wilgotności, co podczas suszenia zmniejsza niebezpieczeństwa popękania. Ostatecznym kryterium oceny młynarskiej przydatności ziarna, jest całkowita wydajność przemiału i wydajność poszczególnych frakcji oraz zawartość w nich tłuszczu. Według Polskiej Normy (PN/A/75/205) zawartość tłuszczu powinna wynosić $< 1\%$ w grysie i $< 1,5\%$ w drobnych frakcjach. W literaturze spotyka się też dane odnośnie mniejszych wartości granicznych — odpowiednio 0,9 i 1,3% zawartości tłuszczu (Gerstenkorn, Lindhauer, 1995; Mestres i in., 1994).

Jednym z warunków pełnego wykorzystania w Polsce ogromnego potencjału produkcyjnego kukurydzy (Michalski, 2002; Michalski, Siódmiak, 2002), jest szersze wykorzystanie krajowego ziarna do przerobu przemysłowego. Podjęte badania miały na celu określenie możliwości wstępnej oceny przydatności ziarna do przerobu przemysłowego, za pomocą łatwo mierzalnych właściwości fizycznych lub chemicznych, takich jak: masa 1000 ziaren, pływalność, masa objętościowa, twardość czy zawartość składników pokarmowych w ziarnie. W tym celu powyższe parametry określono dla ziarna różnych odmian kukurydzy, a następnie dokonano przemiału ziarna, a z uzyskanego grysu wytworzono chrupki. Metodami statystycznymi określano korelacje cech ziarna z wydajnością i jakością produktów przemiału oraz jakością uzyskanych chrupek.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiło 38 prób ziarna kukurydzy, uzyskanych z dwóch doświadczeń prowadzonych w ZD Swadzim w latach 1999 i 2000. Reprezentowały one 20 odmian, w tym 14 z doświadczenia odmianowego w roku 2000 (Birko, Blask, Caribe, Darius, Electra, Eurostar, Fatima, Glejt, LG 2182, LG 2184, Kommodore, PR39K09, SMH 10799, SMH 12299) oraz 6 odmian z lat 1999–2000 (Janna, Dragon, Polan, Santiago, LG 2285, LG 2310), z których każda zbierana była w 2 terminach. Oznaczone parametry fizyczne ziarna to: masa 1000 ziaren, masa właściwa, pływalność oraz twardość ziarna.

Ocena parametrów fizycznych i składu chemicznego ziarna

Analizę pływalności ziarna wykonano wg metody Gerstenkorna (1980). Do roztworu NaOH o gęstości $1,25 \text{ g/cm}^3$, wrzucano 100 ziarniaków o wilgotności 12–13% i znanej masie, mieszano przez 30 sekund, po czym określano liczbę ziarniaków pływających. Ziarniaki po wysuszeniu ważono. Określano odsetek ziarniaków pływających (szt./100) oraz % wagowy ziarniaków pływających. Ocenę twardości ziarna wykonano na jednostopniowym twardościomierzu Brabendera, o szerokości szczeliny 9,00, prędkość przesuwu taśmy $3,25 \text{ mm/s}$. Masa próbki wynosiła 50 g, pomiar wykonywano w 2 powtórzeniach. Określano moment skręcający odpowiadający maksymalnej wysokości wykresu — w jednostkach Brabendera (J.B.). Wysokość 100 J.B. odpowiada wyznaczonemu doświadczalnie momentowi skręcającemu $1,29 \text{ N}\cdot\text{m}$. Pracę włożoną w rozdrabnianie próby ziarna odczytywano jako funkcję powierzchni wykresu wyrażonej w cm^2 , co w tym urządzeniu odpowiada przelicznikowi: $1 \text{ cm}^2 = 23,1 \text{ J}$. Pomiar masy właściwej ziarna — tzw. ciężaru hektolitra wraz z oceną wilgotności przed przemiałem wykonano na próbnie o objętości ok. 0,75 litra wilgociomierzem elektronicznym.

Ziarno wszystkich odmian analizowano na zawartość: białka, tłuszczu, włókna i popiołu, stosując standardowe metody analizy weendeńskiej. Białko surowe określano metodą Kjeldahla, tłuszcz surowy metodą Soxhleta, włókno surowe metodą Henneberga i Stohmana oraz popiół surowy metodą spalania.

Badania przemiałowe i produkcja chrupek

Badania przemiałowe prób ziarna z powtórzeń polowych (o masie 4–5 kg), przeprowadzono w laboratorium młynarskim BAGKF w Detmold (RFN) metodą, opracowaną przez Bollinga i Zwingelberga (Gerstenkorn, 1980). Próby ziarna kukurydzy czyszczono i nawilżano do wilgotności 20%, po czym odstawiano na 24 godziny. Odważano próbę 4 kg ziarna. Przemiał wykonywano w kilku etapach. Po dwukrotnym wstępnym rozdrabnianiu (Buchler — walce o średnicy 250 mm, szczelina 1,7 i 0,7 mm) odwirowywano łuskę i grube części zarodka. Po oczyszczeniu i odsianiu na czyszczarce sitowo-pneumatycznej, uzyskiwano grubą kaszkę (grys 1 — 0,67–1,25 mm). Pozostałe po oczyszczeniu cząstki 1,25–3,3 mm rozdrabniano na drugim mlewniku (typu Bizerba, w 3 pasażach), uzyskując po oczyszczeniu grys 2 i 3 (1,0–0,67 i 0,67–0,26 mm) oraz mąkę 1 i 2. Określano oddzielnie wydajność w/w pięciu frakcji użytkowych (G1, G2, G3, M1 i M2), po czym mieszano je, uzyskując kaszkę standardową. Wydajność jej traktowano jako wydajność całkowitą. Przemiał oceniano na podstawie wydajności całkowitej, wydajność grysu 1 oraz wydajności produktu klasy I (suma frakcji G1 + G2 + M1,

o najmniejszej zawartości tłuszczu). Dodatkowo, w oparciu o zawartość tłuszczu w kaszce standardowej, wyliczano teoretyczną wydajność kaszki o zawartości 1,3% tłuszczu oraz 0,9% tłuszczu, posługując się wzorem opracowanym w Detmold.

Kaszkę standardową analizowano na zawartość składników surowych oraz oceniono jej przydatność do produkcji chrupków. Chrupki produkowano w Zakładzie Technologii Zbóż Akademii Rolniczej Poznań, metodą bezpośredniej ekstruzji. Jednośrubowy ekstruder S-45, o średnicy dyszy 3 mm pracował przy temperaturach: I strefy 140°C; II strefy 175°C, a głowicy 140°C. Urządzenie ustawiano do pracy, w oparciu o występujący w obrocie handlowym standardowy gryś La Plata.

Jako wyróżniki jakości chrupków przyjęto: masę usypową 1 litra oraz średnicę chrupków.

Łącznie badaniem zmienności oraz korelacji objęto 24 cechy, z czego 16 o wyraźniej zaznaczających się współzależnościach przedstawiono w tabelach 1 i 2. Metodą analizy regresji z wyborem najlepszych zmiennych niezależnych (Malec, Caliński, 1974), eliminowano kolejno zmienne o najmniejszym wpływie na kształtowanie się wydajności produktów przemiału i ich jakość. Dla zmiennych o największym stopniu korelacji wykreślono krzywe regresji. Obliczenia wykonywano za pomocą pakietu statystycznego STATPAKU, opracowanego w Akademii Rolniczej w Poznaniu.

WYNIKI

Analiza zmienności (tab. 1) wykazała, że spośród cech fizyko-chemicznych ziarna największą rozbieżnością wyników charakteryzowała się pływalność od 8 do 96%, przy zdecydowanie najwyższym współczynniku zmienności ok. 45%. Zakres twardości ziarna mieścił się w granicach 302–740 JB przy współczynniku zmienności 19%. Większą zmiennością charakteryzowała się też zawartość tłuszczu w ziarnie (14%). Dla pozostałych cech fizykochemicznych współczynniki zmienności nie przekraczały 10%.

Śród cech określających wydajność przemiału i jakość produktu największą zmiennością charakteryzowały się wydajność grysu 1 oraz zawartość tłuszczu w produkcie, a więc cechy decydujące o jakości. Maksymalna wydajność przemiału sięgała 70%, ale zawartości tłuszczu były wysokie — w przedziale 1,2–2%. Wydajności dla produktu klasy I mieściły się w granicach 37–60%, a produktu przeliczonego na 0,9% tłuszczu — w przedziale 32 do 52%.

Wszystkie przebadane próbki kaszek wykazywały dobrą przydatność do wykorzystania w procesie ekstruzji. Chrupki o największej ekspansji charakteryzowały się gęstością usypową 44 g·dcm⁻¹ i średnicą około 14 mm. Masa usypowa chrupków wahała się od 43,8 do 56,9 g·dcm⁻¹, przy współczynniku zmienności tylko 5,1%. Chrupki były stosunkowo drobne, ale odznaczały się delikatną porowatością, z cienkimi ścianami przestrzeni powietrznych.

Przeprowadzona analiza korelacji badanych cech ziarna a wydajnością i jakością produktów przemiału oraz jakością chrupków wykazała, że istnieje między nimi szereg istotnych zależności (tab. 2).

Tabela 1

Charakterystyki zmiennych Characteristics of variables				
Cechy Traits	Zakres Range		Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variation coefficient
	minimum	maximum		
Masa 1000 ziaren 1000 kernel weight (g)	251,8	374,3	30,4	10,0
Pływalność (% wagowy) Floating (weight per cent)	8,3	95,7	21,9	43,8
% ziaren pływających % of floating kernels	8,7	96,3	22,8	45,6
Twardość Hardness (JB)	302,0	740,0	98,5	19,4
Powierzchnia wykresu Brabendera Brabender diagram area (cm ²)	56,6	85,6	6,2	9,1
Ciężar objętościowy Hectolitre weight (kg·hl ⁻¹)	71,0	79,8	2,4	3,1
Białko w ziarnie (% s.m.) Grain protein (% of d.m.)	8,8	12,4	0,8	7,6
Tłuszcz w ziarnie (% s.m.) Grain fat (% of d.m.)	3,4	6,51	0,7	14,4
Wydajność całkowita Total efficiency (%)	49,0	68,6	4,8	7,9
Wydajność — klasa I Efficiency — class I (%)	37,0	59,7	5,8	11,3
Grys 1 Semolina I (%)	25,7	45,6	5,1	14,1
% tłuszczu w produkcie Product fat in%	1,18	1,98	0,21	13,9
Indeks tłuszczowy Fat index	1980	2968	278	11,1
Wydajność (przy 1,3% tłuszczu) Efficiency (by 1,3% of fat) (%)	44,3	63,6	5,4	10,2
Wydajność (przy 0,9% tłuszczu) Efficiency (by 1,3% of fat) (%)	32,1	51,6	5,5	13,3
Chrupki — masa objętościowa Snacks — bulk density (g·dcm ⁻³)	43,8	56,9	2,6	5,1
Chrupki — średnica Snacks — diameter (mm)	11,2	14,0	0,5	4,2

Spośród cech ziarna w stosunkowo najmniejszym stopniu na wydajność przemiału i jakość kaszek wpływały: masa 1000 ziaren i zawartość białka w ziarnie.

Najsilniejsze korelacje wystąpiły pomiędzy wydajnością przemiału a pływalnością, twardością oraz masą hektolitra, przy współczynnikach korelacji kształtujących się na poziomie: $r = 0,55$ do $0,88$. Jak wynika z tabeli 2, najsilniejsze statystycznie zależności wystąpiły pomiędzy masą hektolitra a wydajnością całkowitą przemiału ($r = 0,85$), wydajnością produktu klasy I ($r = 0,88$) i wydajnością grysu 1 ($r = 0,82$). Prawie równie silną zależność stwierdzono w przypadku, gdy zmienną niezależną była pływalność ziarna w roztworze NaOH o stężeniu $1,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Nie stwierdzono natomiast współzależności pomiędzy tym wskaźnikami a wydajnością przeliczeniową (przy 0,9 i 1,3% tłuszczu). Spośród dwóch parametrów oceny twardości ziarna, wydajność była w większym stopniu

skorelowana z wielkością pracy włożonej w rozdrobnienie (powierzchnia wykresu) niż momentem skręcającym (JB).

Tabela 2

Współczynniki korelacji badanych cech
Correlation coefficients between the tested characters

Cechy Traits	Wydajność całkowita Total efficiency (%)	Wydajność klasa I Efficiency class I (%)	Grys 1 Semolina I (%)	% tłuszczu w produkcie Product fat in%	Wydajność (przy 1,3% tłuszczu) Efficiency (by 1,3% of fat)	Wydajność (przy 0,9% tłuszczu) Efficiency (by 0,9% of fat)	Chrupki - masa objętościowa Snacks - bulk density (g·dcm ⁻³)
Masa 1000 ziaren 1000 kernel weight (g)	0,300	0,391*	0,308	-0,004	0,168	0,169	-0,056
Pływalność (% wagowy) Floating (weight per cent)	-0,769**	-0,842**	-0,751**	-0,405*	-0,003	-0,012	0,432*
% ziaren pływających % of floating kernels	-0,792**	-0,857**	-0,779**	-0,438**	-0,026	-0,017	0,433**
Twardość Hardness (JB)	0,581**	0,637**	0,554 **	0,103	0,241	0,255	-0,326**
Powierzchnia wykresu Brabendera Brabender diagram area (cm ²)	0,817**	0,853**	0,765**	0,379*	0,082	0,094	-0,265
Ciężar objętościowy Hectolitre weight (kg·hl ⁻¹)	0,847**	0,882**	0,821**	0,536**	-0,072	-0,062	-0,389*
% białka w ziarnie Grain protein in%	0,182	0,326*	0,154	0,045	0,045	0,052	-0,207
% tłuszczu w ziarnie Grain fat in%	0,544**	0,538**	0,529**	0,620**	-0,351*	-0,345*	0,076

Wydajność przemiału była skorelowana ze składem chemicznym ziarna, ale na stosunkowo niskim poziomie. Istotne zależności wystąpiły pomiędzy wydajnością przemiału a zawartością tłuszczu ($r = 0,53-0,54$), a także zawartością białka a wydajnością produktu klasy I, ale przy niskim poziomie $r = 0,33$. Zawartość tłuszczu w kaszce najsilniej skorelowana była z % tłuszczu w ziarnie ($r = 0,62$) i masą hektolitra, natomiast ujemną jej korelację stwierdzono w stosunku do pływalności ziarna. Jakość chrupek była skorelowana dodatnio z pływalnością ($r = 0,43$), zaś ujemnie z twardością i masą hektolitra.

Przeprowadzona analiza regresji z wyborem najlepszych zmiennych niezależnych potwierdziła wyniki analizy korelacji, wykazując że o wydajności przemiału w największym stopniu decydowały masa hektolitra i na drugim miejscu twardość ziarna określana powierzchnią wykresu (tab. 3). Słabo natomiast w tej analizie wypadła pływalność, co prawdopodobnie wynika z dużej zmienności tej cechy. W przypadku parametrów określających jakość produktu, najsilniej zależały one od zawartości tłuszczu w ziarnie, ale w przypadku jakości chrupek, duży wpływ miała też jedna z ocen pływalności — określona odsetkiem ziarniaków pływających.

Tabela 3

Regresje cech jakościowych z najlepiej determinującą je zmienną niezależną
Regressions of quality characters with the best determining of independent variable

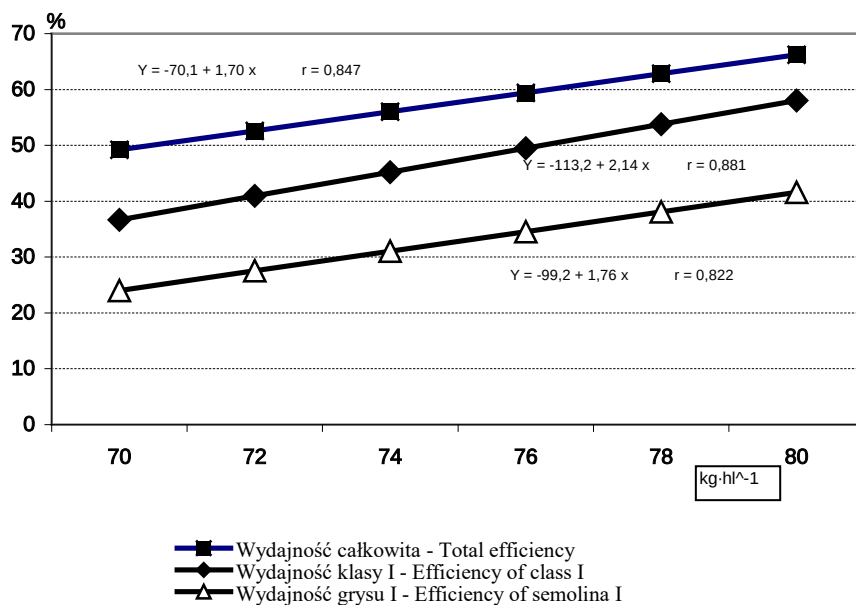
Zmienna Y Variable Y	Regresja wielokrotna Multiple regression	Istotność Significance	Korelacja Correlation
Wydajność całkowita Total efficiency (%)	$Y = -42,90 + 0,30 \cdot x_1 + 1,08 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,882$
Wydajność klasy I Efficiency class I (%)	$Y = -70,103 + 1,70 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,847$
Grys 1 Semolina I (%)	$Y = -78,43 + 0,39 \cdot x_1 + 1,34 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,919$
	$Y = -113,15 + 2,14 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,882$
% tłuszczu w produkcie Product fat in %	$Y = -76,35 + 0,25 \cdot x_1 + 1,23 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,844$
	$Y = -99,19 + 1,76 \cdot x_2$	0,00	$r = 0,822$
% tłuszczu w produkcie Product fat in %	$Y = -1,24 + 0,027 \cdot x_2 + 0,15 \cdot x_3$	0,00	$r = 0,674$
	$Y = -0,60 + 0,19 \cdot x_3$	0,00	$r = 0,620$
Wydajność (przy 1,3% tłuszczu) Efficiency (by 1,3% of fat) (%)	$Y = 53,09 + 0,28 \cdot x_1 - 4,06 \cdot x_3$	0,017	$r = 0,453$
	$Y = 66,71 - 2,80 \cdot x_3$	0,032	$r = 0,351$
Wydajność (przy 0,9% tłuszczu) Efficiency (by 0,9% of fat) (%)	$Y = 40,16 + 0,30 \cdot x_1 - 4,09 \cdot x_3$	0,017	$r = 0,455$
	$Y = 54,38 - 2,77 \cdot x_3$	0,034	$r = 0,345$
Chrupki — masa objętościowa Snacks — bulk density (g·dcm ⁻³)	$Y = 40,95 + 0,07 \cdot x_4 + 1,39 \cdot x_3$	0,02	$r = 0,543$
	$Y = 48,55 + 0,059 \cdot x_4$	0,006	$r = 0,437$
Chrupki — średnica Snacks — diameter (mm)	$Y = 14,19 - 0,012 \cdot x_4 - 0,28 \cdot x_3$	0,012	$r = 0,471$
	$Y = 12,67 - 0,0077 \cdot x_4$	0,037	$r = 0,349$

x_1 — Powierzchnia wykresu Brabendera; Brabender diagram area (cm²)

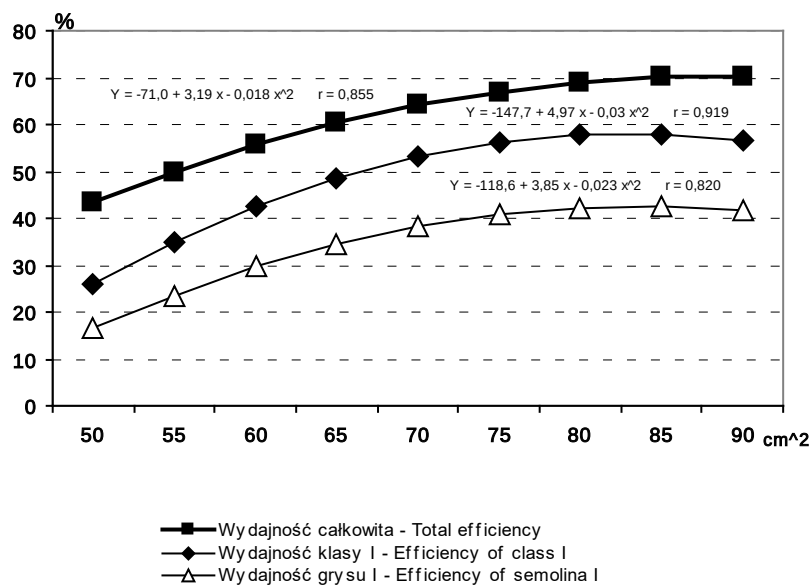
x_2 — Ciężar objętościowy; Hectolitre weight (kg·hl⁻¹)

x_3 — % tłuszczu w ziarnie; Grain fat (%)

x_4 — % ziaren pływających; % of floating kernels

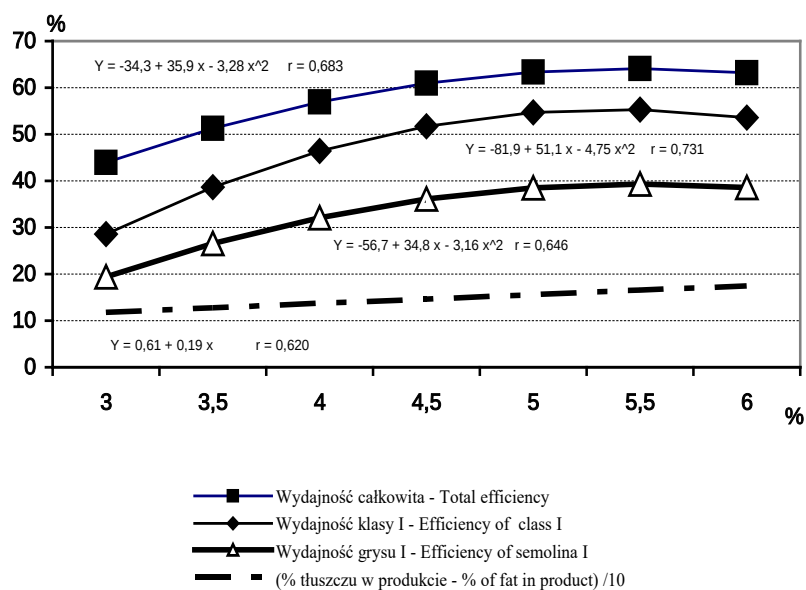


Rys. 1. Wydajność przemalowa w zależności od masy hektolitra
Fig. 1. Milling efficiency depending on hectolitre mass



Rys. 2. Wydajność przemalowa w zależności od powierzchni wykresu Brabendera (pracy włożonej w rozdrobnienie)

Fig. 2. Milling efficiency depending on area of Brabender's diagram (crushing energy input)



Rys. 3. Wydajność przemalowa i zawartość tłuszczu w produkcie w zależności % tłuszczu surowego w ziarnie

Fig. 3. Milling efficiency and fat content in the product depending on per cent of grain fat

Przeprowadzone analizy regresji krzywoliniowej określiły przebieg wykazanych wyżej zależności. Masa właściwa ziarna ($\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$) decydowała w sposób prostoliniowy o wydajności przemiału, przy wysokim poziomie współczynnika determinacji 62–78% (rys. 1). Zależność pomiędzy oceną twardości ziarna wyrażoną powierzchnią wykresu Brabendera (praca włożona w rozdrobnienie) a wydajnością kształtowała się w sposób krzywoliniowy, przy współczynniku determinacji 67–84% (rys. 2). Wydajność rosła wraz a twardością ziarna, załamując się przy największych wartościach tej cechy (powyżej 80–90 cm^2 powierzchni wykresu). Wykazano też, że wraz z rosnącą zawartością tłuszczu surowego w ziarnie do 5–5,5%, rosła wydajność przemiału, ale jednocześnie zwiększała się prostoliniowo zawartość tłuszczu w produkcie (rys. 3).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Poddane analizom próby ziarna były bardzo zróżnicowane, zarówno pod względem czynników natury agrotechnicznej (odmiany i terminy zbioru) i pogodowej, jak też i zakresu wielkości poszczególnych parametrów. Z tego tytułu można oczekiwać, że stwierdzone i istotne statystycznie zależności będą powtarzalne niezależnie od warunków produkcji ziarna, i przez to przydatne do wstępnej oceny wartości do celów przetwórczych wyprodukowanego w Polsce ziarna. Jak wynika bowiem z literatury, głównym czynnikiem modyfikującym wydajność przemiałową jest odmiana (Gautier, 1994; Gesternkorn, 1980; Gesternkorn, Lindhauer, 1995; Giardini, Manino, 1994; Machemer, 1976; Michalski, 2002). Źródła te wskazują również, że silnie modyfikującym jest też wpływ klimatu i pogody, który w niektórych latach może mieć równie duże znaczenie jak genotyp. Spośród czynników agrotechnicznych duży wpływ na przydatność do przemiału mogą mieć nawożenie azotowe oraz warunki i termin zbioru kukurydzy (Lorgou i in., 1994; Manini i in., 1994; Mechemer, 1976).

Przeprowadzone analizy korelacji i regresji wykazały, że spośród parametrów fizykochemicznych ziarna na wydajność przemiału najsilniej wpływają: masa objętościowa ziarna i jego twardość, mierzona wielkością pracy włożonej w rozdrobnienie. Bardzo zbieżne wyniki w warunkach francuskich uzyskali Mestres i wsp. (1994), stwierdzając również, że dobre wyniki daje też ocena ciężaru właściwego ziarna, z którą blisko związana jest oceniana w niniejszej pracy pływalność. Z pracy Manini i wsp. (1994) wynika natomiast, że największy wpływ na kształtowanie się wydajności przemiału miała zawartość białka ($r = 0,89\text{--}0,95$). Słabo zaznaczył się wpływ masy hektolitra, a pływalność — wysoko korelując z masą objętościową, niezbyt dobrze oddawała przydatność przemiałową ($r = 0,4\text{--}0,5$).

Stwierdzone w badaniach własnych zależności są stosunkowo silne i wskazują, że wydajność przemiału na młynie kukurydzianym można dość dobrze określić na podstawie szybko mierzalnych parametrów, takich jak twardość, masa hektolitra lub zawartością tłuszczu w ziarnie. W badaniach Schallera i Bergthallera (1987) stwierdzono silną zależność między barwą ziarna a wydajnością przemiałową, co dało podstawy do oceny wydajności metodami NIRS, co dziś powszechnie stosuje się we Francji (Mestres i in., 1994).

Największe wydajności przemiału mieściły się w granicach 65–67%. Wyniki tego rzędu można uznać za dobre (Gertenkorn, 1980; Gerstenkorn, Lindhauer, 1995; Manini i in., 1994), ale przy niskiej zawartości tłuszczu w produkcie przemiału. W badanym materiale zawartość tłuszczu kształtowała się w granicach 1,2–2,0%, a więc stosunkowo wysoko i powyżej norm. Wydajność najlepszego produktu — grysu 1 wynosiła od 26 do, zaś przeliczeniowej kaszki o zawartości 0,9% tłuszczu wynosiła: od ok. 46%–50% w najlepszych próbach do niewiele ponad 30% w najgorszych. To zestawienie wskazuje jak ważna jest wstępna ocena wartości przemiałowej ziarna i jak duże może mieć to znaczenie gospodarcze.

Przeliczeniowe wydajności kaszki (przy 0,9 i 1,3% tłuszczu) były w mniejszym stopniu skorelowane z właściwościami fizycznymi ziarna. Większy wpływ na nie wywierała jedynie zawartość tłuszczu w ziarnie (współczynnik determinacji 20–35%). Procent tłuszczu w kaszce standardowej był istotnie skorelowany z ciężarem objętościowym i pływalnością, ale najsilniej zależał od zawartości tłuszczu w ziarnie ($r = 0,62$).

Standardowa kaszka (zmieszane razem 5 frakcji przemiału: grysy G1 + G2 + G3 oraz mąka M1 + M2) okazała się w pełni przydatna do przetwarzania metodą ekspandowania. Wielkość i masa usypowa chrupek była skorelowana dodatnio z pływalnością ziarna, zaś ujemnie z twardością i ciężarem objętościowym ziaren·ha. Z najlepszych próbek uzyskano chrupki o średnicy 14 mm i gęstości usypowej zaledwie 43,8 g/dcm³, a różnice w stosunku do gorzej ekspandujących próbek kaszki sięgały 25–30%. Są to znaczące różnice, choć stwierdzić należy też, że chrupki były mniej zróżnicowane niż oczekiwano, biorąc pod uwagę znaczne różnice w budowie i parametrach ziarna oraz jego składzie chemicznym. Ze wszystkich jednak prób uzyskano chrupki o zadowalającej jakości. Badania wykonywano na jednym ustawieniu ekstrudera, skalibrowanego na standardowym surowcu do produkcji chrupek — grysie z argentyńskiej kukurydzy „La Plata”. Sądzić należy, że odpowiednie ustawienie ekstrudera do każdej z badanych kaszek, pozwoliłoby uzyskać chrupki lepszej jakości. Upoważnia to do stwierdzenia, że ziarno kukurydzy wyprodukowane w Polsce, może być w pełni przydatne do wykorzystania w procesie produkcji chrupek. Jak wykazały jednak poprzednie badania (Michalski, 2001), istotną rolę odgrywa jakość przemiału. Zastosowanie młyna zbożowego o niewłaściwej do przemiału kukurydzy konstrukcji powoduje, że znacznie trudniej uzyskać chrupki i udaje się to tylko z najlepszych odmian.

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotną zależność wydajności przemiałowej od pływalności ziarna, masy hektolitra oraz twardości ziarna wyrażonej w jednostkach Brabendera i powierzchni wykresu. Spośród nich w największym stopniu (68–78%) wydajność przemiału determinowały masa hektolitra i powierzchnia wykresu Brabendera.
2. Wraz ze zwiększaniem się masy hektolitra, liniowo wzrastała wydajność całkowita przemiału i wydajność najlepszych frakcji oraz zmniejszała się masa objętościowa chrupek.

3. Wydajność przemiału była związana z twardością ziarna (powierzchnia wykresu Brabendera) w sposób krzywoliniowy. Ziarno trudniej rozdrabniające się charakteryzowało się większą wydajnością przemiału, ale wydajność załamywała się przy większych twardości ziarna.
4. Jakość chrupek, wyrażona ich średnicą i masą objętościową, pogarszała się wraz z rosnącą pływalnością ziarna i zwiększoną zawartością tłuszczu w ziarnie.
5. Ziarno odmian kukurydzy uprawianych w Polsce może być w pełni przydatne do produkcji chrupek.

LITERATURA

- Gautier X. 1994. Le mais et ses industries. AGPM Montradon.
- Gautier X. 1994. Incidence des varietes et du lieu de production sur les proprietes en semoulerie. Mat. z Symposium: Qualite et debouches du mais, 20–21.07.1994 Bordeaux: poz. 3.2: 14 ss.
- Gautier X., Hoffmann D., Lorgeou J. 1994. Variabilite des proprietes des grains de varietes de mais francaises. Mat. z sympozjum: Qualite et debouches du mais, 20–21.07. 1994 Bordeaux, Postery: 2 ss.
- Gerstenkorn P. 1980. Einfluss von Sorte, Jahreswitterung und Trocknung auf die Technologische Qualität des Körnermais unter besonderer Berücksichtigung der Trockenvermahlung. Dissertation Technische Universität Berlin, D 83.
- Gerstenkorn P., Lindhauer M. G. 1995. Deutscher Körnermais in der industriellen Verarbeitung. Mais, 23 Jg., 1: 20 — 23.
- Lorgeou J., Gautier X., Bloc D., David S., Hoffman D. 1994. Recolte a maturite: l'un des premiers criteres de qualite du mais. Mat. z Sympozjum: Qualite et debouches du mais, 20–21.07. 1994 Bordeaux: poz. 4.1: 22 ss.
- Machemer C. 1976. Untersuchungen über die Qualitätseigenschaften des Maiskornes und der Maismahlprodukte in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Faktoren. Praca doktorska Justus Liebig-Universität Gießen.
- Malec E., Calński T. 1974. Analiza regresji wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych. Roczniki AR Poznań. R. 64.
- Manino M., Girardin F., Ledent J-F. 1994. Effet de la nutrition azotee sur les proprietes technologiques des grains. Mat. z Sympozjum: Qualite et debouches du mais, 20–21.07. 1994 Bordeaux: poz. 3.5: 12 ss.
- Mestres C., Matencio F., Louis-Alexandre A. 1994. Evaluation de la texture des grains de mais et etude de ses bases physico-chimiques. Mat. z Sympozjum: Qualite et debouches du mais, 20–21.07. 1994 Bordeaux: poz. 6.3: 7 ss.
- Michalski T. 1997. Kukurydza jako surowiec dla przemysłu. W: Problemy badawcze i produkcyjne uprawy i wykorzystania kukurydzy w Polsce. Zesz. Problem. Post. Nauk Rol. z. 450: 201 — 217.
- Michalski T. 2001. Plonowanie oraz przydatność ziarna pięciu odmian kukurydzy do produkcji chrupek. Mat. z międzyn. konf. „Agrarna oswita i nauka na poczatku tretioho tysjaczolittja. Ministerstwo Agrarnoj Politiki Ukraini — Lvivskij Dierzawnyj Agrarnyj Universitet 18–21.09. 2001 Lviv. T. 1: 167 — 174.
- Michalski T. 2002: Kukurydza źródłem surowca dla różnych gałęzi przemysłu. Wieś Jutra 6 (47): 53 — 55.
- Michalski T., Siódmiak J. 2002: Potencjał produkcyjny odmian kukurydzy oraz kryteria doboru odmian do różnych kierunków użytkowania. Wieś Jutra 6 (47): 34 — 35.
- Schaller A., Berghaller W. 1987. Ergebnisse instrumenteller Messungen der Samenfarbe von österreichischen Körnermais-Sorten in Abhängigkeit von Standorten und Erntejahr. Lebensmittel- und Biotechnologie 5: 249 — 253.
- Schneeweiss V. 1996. Welche Qualität erwartet der Verarbeiter? Mais, Jg.24, 4: 136 — 137.