

JUSTYNA SUSIK

## METODY OTRZYMYWANIA OLEJU KUKURYDZIANEGO DETERMINUJĄCE JEGO WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE

### Streszczenie

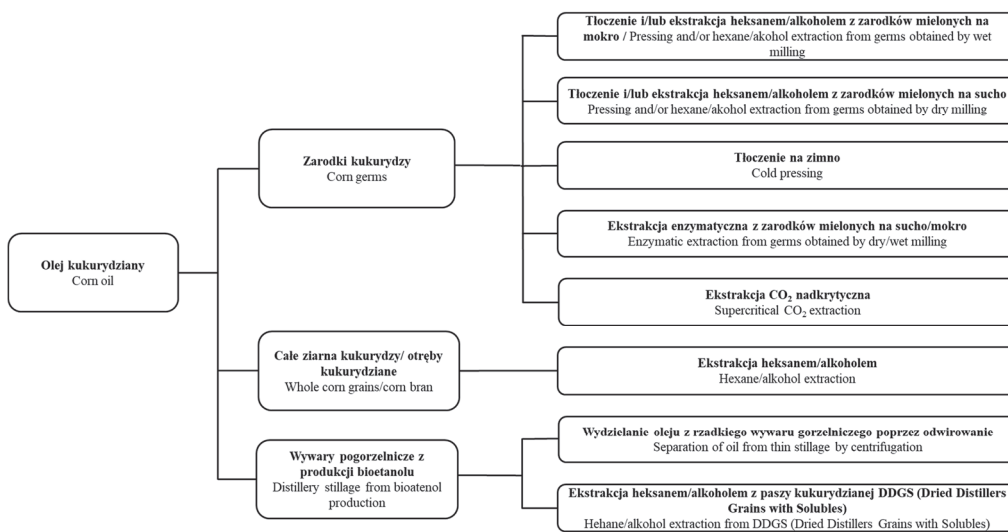
Olej kukurydziany jest bogatym źródłem związków bioaktywnych, w tym karotenoidów oraz nienasyconych kwasów tłuszczowych, takich jak alkohole lipidowe, do których należą fitosterole i tokoferole. Sposób otrzymywania oleju kukurydzianego determinuje zawartość wyżej wymienionych związków, a ich ilość zależy od wstępnego przygotowania materiału roślinnego do ekstrakcji. Ziarno kukurydzy zawiera 3,1 ÷ 5,7 % oleju, który w przeważającej ilości zlokalizowany jest w zarodku. Olej kukurydziany do celów spożywczych otrzymywany jest z zarodków. Stosuje się metody wydobycia, takie jak tłoczenie i ekstrakcja rozpuszczalnikami. Istnieją również sposoby otrzymywania oleju z całych nasion kukurydzy oraz z otrąb kukurydzianych, których właściwości są zróżnicowane ze względu na poziom zawartości substancji bioaktywnych. Ziarna kukurydzy przetwarzane są nie tylko na olej spożywczy, ale także na bioetanol stosowany jako dodatek do paliw wysokooktanowych. Technologia produkcji bioetanolu umożliwia otrzymywanie surowego oleju kukurydzianego pofermentacyjnego, który jest produktem ubocznym i charakteryzuje się większą zawartością fitosteroli (0,6 ÷ 0,93 % m/m) i karotenoidów (29,55 ÷ 40,53 mg/100 g). Surowy olej pofermentacyjny nie jest dotychczas wykorzystywany do celów spożywczych, a jedynie jako surowiec do produkcji biodiesla oraz jako dodatek do pasz. Pomija się jego walory prozdrowotne. Olej kukurydziany charakteryzuje się zróżnicowanym składem i jest potencjalnym źródłem substancji biologicznie czynnych.

**Słowa kluczowe:** ziarno kukurydzy, zarodki kukurydzy, otręby kukurydziane, olej kukurydziany, ekstrakcja, tłoczenie

### Wprowadzenie

Kukurydza (*Zea mays* L.) jest rośliną uprawną jednoroczną, należącą do rodziny roślin wielichowatych. Na świecie najwięcej kukurydzy uprawia się w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Szacuje się, że w latach 2020 - 2021 produkcja kukurydzy w tym

kraju osiągnie wartość ponad 360 mln t [5]. Ze względu na znaczną zawartość skrobi, której w ziarnie jest 61 ÷ 78 %, zboże znalazło zastosowanie w przemyśle spożywczym jako kukurydza słodka, surowiec do produkcji mąki i płatków kukurydzianych. Na skalę przemysłową ziarno kukurydzy przetwarza się w procesach fermentacyjnych na bioetanol, który stanowi ekologiczny dodatek do benzyn wysokooktanowych. Skrobia pozyskana z ziarna kukurydzy stosowana jest w przemyśle tworzyw sztucznych, papierniczym, kosmetycznym i farmaceutycznym. Ze względu na zawartość białka (6 ÷ 12 %) ziarno kukurydzy wykorzystywane jest jako pasza dla zwierząt, zwłaszcza w żywieniu drobiu i świń. Poza skrobią i białkiem ziarno kukurydzy zawiera 3,1 ÷ 5,7 % oleju, którego 85 % zlokalizowane jest w zarodku [1]. Olej ten jest bogatym źródłem kwasów tłuszczowych nienasyconych oraz substancji bioaktywnych takich jak fitosterole oraz karotenoidy. Według Szymańskiej i Kruka [30] fitosterole są postrzegane jako związki o działaniu obniżającym poziom cholesterolu, przez co wykazują działanie prozdrowotne. Z kolei karotenoidy, jak podają Roberts i Dennison [27], wpływają na poprawę wzroku dzięki antyoksydacyjnemu działaniu luteiny i zeaksantyny obecnych w ziarnie kukurydzy.



Rys. 1. Wybrane metody produkcji surowego oleju kukurydzianego w zależności od rodzaju zastosowanego materiału do ekstrakcji tłuszczu

Fig. 1. Selected production methods of crude corn oil depending on type of material used for oil extraction

Źródło / Source: Opracowanie własne na podstawie [19, 20, 21, 28] / The author's own study based on [19, 20, 21, 28]

Olej roślinny otrzymywany jest w technologii tłoczenia na gorąco, ekstrakcji rozpuszczalnikiem i rafinacji. W przemyśle stosuje się także technologie bardziej przyjaz-

ne środowisku, jak tłoczenie na zimno. W innych mniej powszechnych sposobach produkcji oleju używa się enzymów lub dwutlenku węgla w stanie nadkrytycznym (rys. 1). W zależności od zastosowanych metod lub sposobu przygotowania materiału do wydobycia oleju końcowy produkt może charakteryzować się odmiennymi właściwościami z uwagi na różną zawartość pożądaných składników funkcjonalnych. Ważnym aspektem jest znajomość właściwości oleju w kontekście żywienia ludzi.

### **Przemysłowe metody produkcji oleju kukurydzianego przeznaczonego do celów spożywczych**

Przemysłowo olej kukurydziany otrzymywany jest z zarodków kukurydzy, które dzięki procesom separacji są oddzielane od całych ziaren. W celu wydobycia oleju stosowane są dwie technologie: mielenia zarodków na sucho oraz mielenia zarodków na mokro. Tak przygotowany surowiec poddawany jest procesom tłoczenia i/lub ekstrakcji rozpuszczalnikami. Uzyskany surowy olej kukurydziany poddawany jest procesom rafinacji, takim jak: degumming, neutralizacja, dekoloryzacja, odwoskowanie, deodoryzacja. Olej rafinowany stosowany jest w przemyśle spożywczym do smażenia oraz jako dodatek do potraw na zimno. Do cech charakterystycznych oleju kukurydzianego rafinowanego należy jego profil kwasów tłuszczowych, na który w przeważającej mierze składają się kwasy nienasycone. Według Moreau i wsp. [18] największy udział kwasów tłuszczowych nienasyconych przypada na kwasy: linolowy (C18:2) – 57,26 % m/m, oleinowy (C18:1) – 27,65 % m/m oraz palmitynowy (C16:0) – 10,72 %. Wymienieni autorzy wykazali ponadto, że olej rafinowany pochodzący z tłoczenia zarodków mielonych na mokro jest bogatym źródłem fitosteroli, których zawartość wynosi 840 mg/100 g oleju. W największych ilościach występują  $\beta$ -sitosterol (503 mg/100 g) i kampesterol (151 mg/100 g). Worthington i Hitchcock [37] podają, że 77 % steroli obecnych w oleju kukurydzianym występuje w formie zestryfikowanej, a 23 % – w formie wolnej. Z kolei Phillips i wsp. [26] twierdzą, że 60 % to sterole zestryfikowane, a 40 % – sterole wolne. Różnice wartości można tłumaczyć różnymi zabiegami agrotechnicznymi, przechowywaniem ziarna kukurydzy czy też zmiennymi warunkami podczas rafinacji oleju.

Znaczenie fitosteroli w profilaktyce zdrowotnej ma istotne znaczenie ze względu na obniżanie przez nie stężenia cholesterolu we krwi. García-Llatas i Rodríguez-Estrada [8] wykazały, że fitosterole wywierają korzystny wpływ na układ sercowo-naczyniowy, a Dufore [6] udowodnił, że regulują one przepływ składników przez membrany komórkowe.

Na rynku dostępne są również oleje kukurydziane tłoczone na zimno. Zarodki kukurydzy, w których jest najwięcej oleju, poddaje się procesom tłoczenia w niskiej temperaturze. Procesy niskotemperaturowe pozwalają na uzyskanie produktu o dobrej jakości, który nie wymaga dalszej rafinacji. Güneşer i wsp. [9] raportują, że olej kuku-

rydziany zimno tłoczony zawiera charakterystyczne dla ziarna kukurydzy kwasy tłuszczowe, wśród których 53,89 % stanowi kwas linolowy. W przypadku steroli olej zawiera 60,75 %  $\beta$ -sitosterolu i 19,61 % kampesterolu. Tłoczenie na zimno zarodków kukurydzy pozwala również na otrzymanie większej zawartości  $\alpha$ - tokoferolu (24,88 mg/100 g) niż w oleju rafinowanym (15,96 mg/100 g). Güneşer i wsp. [9] wykazali także obecność związków fenolowych w oleju, takich jak: rutyna (1,42 mg/100 g), hesperydyna (2,38 mg/100 g) czy kwas galusowy (1,62 mg/100 g). Związki te uznawane są powszechnie za naturalne antyoksydanty ze względu na obecność grupy hydroksylowej, która redukuje wolne rodniki. Ich obecność w oleju jest pożądana ze względu na właściwości prozdrowotne.

### **Przemysłowe metody produkcji oleju kukurydzianego do celów innych niż spożywcze**

Drugą przemysłową metodą otrzymywania oleju kukurydzianego jest pozyskiwanie go jako wyrobu ubocznego w technologii bioetanolu, w której głównymi produktami są etanol i suchy wywar gorzelniczny (ang. *Dried Distillers Grains with Solubles*, DDGS). Produkcja bioetanolu jest gałęzią przemysłu o dużej dynamice rozwoju, np. w 2020 r. w USA produkcja bioetanolu wynosiła 52,2 mln m<sup>3</sup> [32]. Technologia polega na odzyskiwaniu oleju po procesach fermentacji i destylacji alkoholu z wywarów pogorzelnicznych. Według opublikowanych patentów Cleantech Corporation [36] surowy olej pofermentacyjny otrzymuje się w procesach zateżania i odwirowywania w podwyższonej temperaturze. Jest on surowcem do produkcji biopaliw i w wyniku reakcji transestryfikacji z metanolem otrzymuje się estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych [24]. Drugim zastosowaniem oleju pofermentacyjnego jest dodawanie go do pasz przy skarmianiu zwierząt [10], [12]. Jak podają Moreau i wsp. [17], olej pofermentacyjny charakteryzuje się zwiększoną zawartością wolnych kwasów tłuszczowych (11,21 ÷ 16,42 %, m/m), natomiast wolnych steroli jest w nim 0,6 ÷ 0,93 % (m/m). Podobne wartości odnotowali Winkler-Mosher i Breyer [35]. W ich badaniach całkowita zawartość fitosteroli w olejach kukurydzianych pofermentacyjnych otrzymanych poprzez odwirowanie z wywaru wynosiła 1870 ÷ 2020 mg/100 g. Jest to wartość wyższa w porównaniu z zawartością fitosteroli w oleju z zarodków, w którym jest ich 1490 mg/100 g. Moreau i wsp. [17] wykazali, że w olejach z zarodków kukurydzianych także zawartość tokoferoli jest mniejsza i oscyluje w granicach 90 ÷ 107,7 mg/100 g. Największą część frakcji tokoferoli stanowi  $\gamma$ - tokoferol – 49,5 ÷ 71,1 mg/100 g. Zbieżne wyniki otrzymali Winkler-Mosher i Breyer [35], którzy odnotowali, że zawartość tokoferoli w olejach pofermentacyjnych mieści się w przedziale 78,34 ÷ 105,69 g/100 g.

Inną ważną grupą związków są karotenoidy. Zdaniem Moreau i wsp. [17] ogólna zawartość karotenoidów w oleju otrzymanym z wywarów pogorzelnicznych wynosi

29,55 ÷ 40,53 mg/100 g i jest to wartość wyższa od zawartości karotenoidów występujących w olejach kukurydzianych otrzymanych z zarodków kukurydzy. Spośród karotenoidów występujących w olejach pofermentacyjnych najwięcej jest  $\beta$ -kryptoksantyny (10,26 ÷ 16,98 mg/100 g), luteiny (8,58 ÷ 9,28 mg/100 g) i zeaksantyny (5,56 ÷ 8,83 mg/100 g).

Karotenoidy odgrywają istotną rolę prozdrowotną, ponieważ gromadzą się w soczewce i siatkówce oka ludzkiego. Z wiekiem ilość antyoksydantów maleje i dochodzi do zwyrodnień siatkówki powodujących zaćmę [2, 3]. Dodatkowo Nishino [25] dowiódł, że luteina i zeaksantyna wykazują działanie przeciwnowotworowe *in vivo* na myszach.

Olej kukurydziany pofermentacyjny nie jest dotychczas produktem spożywczym, jednak warto podkreślić jego zalety, którymi są duża zawartość fitosteroli oraz karotenoidów, przez co w przyszłości może stać się źródłem pozyskiwania tych składników do celów spożywczych.

### **Enzymatyczne metody otrzymywania oleju kukurydzianego**

Procesy enzymatyczne stają się coraz bardziej powszechne w badaniach nad otrzymywaniem olejów roślinnych oraz ich rafinacją. Olej kukurydziany również był przedmiotem takich badań. W 1994 r. Karlovic [11] prowadził badania nad ekstrakcją oleju kukurydzianego za pomocą enzymów i w ich wyniku otrzymał olej z 80-procentową wydajnością. Moreau i wsp. [20] uzyskali olej z zarodków mielonych na sucho z wydajnością 50 ÷ 60 %, jednak poprzedzenie ekstrakcji użyciem celulazy i proteazy umożliwiło otrzymanie oleju z wydajnością na poziomie 80 ÷ 90 %. W kolejnych badaniach Moreau i wsp. [23] zastosowali enzymy marek Mutifect GC i Celluclast, dzięki czemu otrzymali olej kukurydziany z wydajnością wyższą niż 90 %. Procesy enzymatyczne wdrożono także do odzysku oleju z kondensatów pogorzelnicznych (CCDS). Majoni i wsp. [14] badali kondensaty, w których zawartość tłuszczu wynosiła 18 ÷ 21 %. Przy użyciu proteazy uzyskali 64,9 ÷ 70,5 % oleju, a kolejne doświadczenia, w których zastosowali podwyższoną temperaturę, kwaśne środowisko oraz butanol jako rozpuszczalnik, umożliwiły zwiększenie tego uzysku do 85 %. Metody enzymatyczne nie są jednak powszechnie stosowane w przemyśle ze względu na wysoką cenę enzymów i ich wrażliwość na warunki procesów technologicznych.

### **Pozostałe metody otrzymywania oleju kukurydzianego**

Poza przemysłowymi metodami produkcji oleju kukurydzianego w laboratoriach otrzymano olej na drodze ekstrakcji alkoholem lub heksanem całych ziaren kukurydzy. W oleju kukurydzianym z ziaren ekstrahowanych etanolem Moreau i Hiks [21] uzyskali 0,76 % (m/m) wolnych steroli, podczas gdy olej otrzymany poprzez ekstrakcję heksanem zawierał ich tylko 0,48 % (m/m). Ponadto badacze odnotowali, że w skład

oleju otrzymanego z całych ziaren wchodziły koniugaty poliamin, takie jak estry difeuloputrescyny (DFP) i p-kumarylo feruloputrescyny (CFP), których zawartość wynosiła odpowiednio: 0,66 % (m/m) i 0,18 % (m/m). Ich obecności nie stwierdzono w oleju pochodzącym z ekstrakcji zarodków kukurydzy. Jak zauważają autorzy, nieznanym jest mechanizm ich usuwania podczas rafinacji, więc należałoby rozważyć w przyszłości takie badania.

Eun-Ok i wsp. [7] są zdania, że koniugaty poliamin mogą wykazywać aktywność przeciwnowotworową i apoptyczny mechanizm na poziomie komórkowym. Z kolei Walters i wsp. [33] badali koniugaty poliamin, takie jak np. tri-p-kumarylospemidyna i zaobserwowali ich potencjalne działanie grzybobójcze.

Ekstrakcja heksanem i etanolem powodowała również różnice pod względem zawartości frakcji karetonoidów. Olej kukurydziany z całych ziaren otrzymany w wyniku ekstrakcji etanolem zawierał 32,45 mg karetonoidów w 100 g, co jest wartością wyższą w stosunku do oleju otrzymanego podczas ekstrakcji heksanem, czyli 6,07 mg karetonoidów w 100 g. Z kolei rafinacja oleju ekstrahowanego etanolem, która obejmowała dekoloryzację i deodoryzację, powodowała zmniejszenie zawartości karetonoidów do 0,23 mg/100 g [22].

Surowcem do produkcji oleju pozyskiwanego rozpuszczalnikiem w wyniku ekstrakcji są także otręby kukurydziane, a olej taki nazywa się „fiber corn oil”. Moreau i wsp. [18] charakteryzują profil kwasów tłuszczowych oleju z otręb jako zbliżony do profilu olejów kukurydzianych dostępnych komercyjnie. Zawiera on 54,55 % kwasu linolowego, 22,33 % kwasu oleinowego oraz 12,29 % kwasu palmitynowego. Olej kukurydziany z otręb kukurydzianych to przede wszystkim źródło fitosteroli pożądanych ze względów żywieniowych. Według badaczy olej ten zawiera 8709 mg fitosteroli w 100 g, które w niewielkim stopniu są usuwane w procesie rafinacji oleju. Zawartość fitosteroli po rafinacji wynosi 7939 mg/100 g oleju. Wśród frakcji steroli największy udział mają sitostanol (3246 mg/100 g) oraz sitosterol (2115 mg/100 g). Zaletą tego oleju jest zawartość fitosteroli 10-krotnie większa niż w olejach z zarodków kukurydzy. Rafinacja oleju wpływa nieznacznie na redukcję fitosteroli. W kolejnych badaniach Moreau i wsp. [22] ekstrahowali olej z otręb kukurydzianych heksanem i oznaczyli w nim 2,44 mg karotenoidów w 100 g, co jest wartością niższą w porównaniu z zawartością karetonoidów w olejach otrzymanych w wyniku ekstrakcji etanolem całych ziaren kukurydzy (32,4 mg/100 g).

Ekstrakcja oleju kukurydzianego może odbywać się również poprzez wyplukiwanie oleju za pomocą rozpuszczalnika z kukurydzianego materiału paszowego zwanego DDGS (ang. *Dried Distillers Grains with Solubles*). DDGS otrzymywany jest w procesie produkcji bioetanolu. Singh i Cheryan [29] wskazują na możliwość odzysku oleju przy użyciu bezwodnego etanolu jako rozpuszczalnika. Badaczki uzyskały frakcję tłuszczową z 50-procentową wydajnością.

Przedmiotem badań Majoni i Wanga [16] były osady gromadzące się na dnie zbiorników z kondensatami pogorzelnicznymi, których skład kwasów tłuszczowych był różny od składu kwasów tłuszczowych oleju kukurydzianego. Różnice wynikały z dużej zawartości kwasu palmitynowego – 34,4 % oraz kwasu oleinowego – 20,2 %, a mniejszej zawartości kwasu linolowego – 39,4 %. Ponadto osady z kondensatów charakteryzowały się dużą zawartością wolnych kwasów tłuszczowych, która wynosiła 38,3 %. Zawartość w osadzie substancji funkcjonalnych, takich jak fitosterole była również mniejsza niż w surowym oleju pofermentacyjnym i wynosiła 860 mg/100 g. Istotną różnicę zaobserwowano także pod względem zawartości wosków, których w osadzie było 250 mg/100 g. Poziom zawartości wosków był większy od zawartości wosków w surowym oleju kukurydzianym z zarodków (50 mg/100 g).

Innym sposobem ekstrakcji oleju z materiału roślinnego są metody, w których stosuje się dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym. Zaletą tych metod jest wyeliminowanie toksycznych rozpuszczalników. Jak podają Rónyai i wsp.[28], użycie CO<sub>2</sub> w stanie nadkrytycznym w połączeniu z etanolem, przy ciśnieniu 300 bar i w temp. 42 °C, pozwala na otrzymanie oleju z zarodków kukurydzy z wydajnością 45 ÷ 55 %. Tak otrzymany olej został pozytywnie oceniony pod względem smaku, zapachu i barwy. List i Fredrich [13] w doświadczeniu z użyciem CO<sub>2</sub> dowiedli, że zawartość tokoferoli w oleju jest zbliżona do zawartości tokoferoli w olejach otrzymanych w wyniku ekstrakcji heksanem i wynosi 120 ÷ 180 mg/100 g. Główną różnicą w przypadku stosowania CO<sub>2</sub> był poziom fosfolipidów w oleju, który wynosił 0,1 ÷ 0,3 mg/100 g, natomiast po ekstrakcji heksanem – 12 mg/100 g. Taylor i King [31] prowadzili badania nad frakcjonowaniem oleju kukurydzianego w warunkach zmiennego ciśnienia i temperatury. Otrzymali oleje o zawartości wolnych steroli w przedziale 1,13 ÷ 4,62 % oraz estrów ferulowych – 3,15 ÷ 19,85 %. Według Wanga i wsp. [34] pochodne kwasu ferulowego są związkami uznawanymi za naturalne antyoksydanty wpływające na stabilność oleju.

### Podsumowanie

Kukurydza jest zbożem przemysłowym, które stanowi bogate źródło węglowodanów, zwłaszcza skrobi. Zawartość tłuszczu w ziarnach jest mała w porównaniu z innymi roślinami oleistymi, np. z rzepakiem czy soją. Olej kukurydziany należy do grupy olejów o podwyższonej wartości żywieniowej ze względu na dużą zawartość kwasów nienasyconych, wśród których największy udział ma kwas linolowy. Do istotnych cech oleju kukurydzianego należy duża zawartość fitosteroli, które odgrywają znaczącą rolę w profilaktyce układu sercowo-naczyniowego. Wśród omówionych olejów kukurydzianych najwięcej fitosteroli zawiera olej otrzymany z otrąb kukurydzianych. Drugą istotną grupę związków w oleju kukurydzianym stanowią karotenoidy, które są naturalnymi antyoksydantami. Z tej grupy związków w oleju kukurydzianym

najwięcej jest luteiny i zeaksantyny, których spożywanie zmniejsza ryzyko powstawania zaburzeń wzroku. Oleje odwirowywane z wywarów pogorzelnicznych odznaczają się zwiększoną zawartością tych związków.

Olej kukurydziany otrzymywany różnymi metodami charakteryzuje się zróżnicowaną zawartością substancji biologicznie aktywnych. Wybór metody produkcji umożliwia uzyskanie oleju o pożądanym składzie.

*Praca została sfinansowana przez firmę Komagra Sp. z o.o.*

### Literatura

- [1] Asiedu J.J.: Processing Tropical Crops: A Technological approach. MacMillan, London 1989.
- [2] Beatty S., Chakravarthy U., Nolan J.M., Muldrew K.A., Woodside J.V., Denny F., Stevenson M.R.: Secondary outcomes in a clinical trial of carotenoids with coantioxidants versus placebo in early age-related macular degeneration. *J. Ophthalmol.*, 2013, 120 (3), 600-606.
- [3] Billsten H.H., Bhosale P., Yemelyanov A., Bernstein P.S., Polívka T.: Photophysical properties of xanthophylls in carotenoproteins from human retinas. *Photochem. Photobiol.*, 2003, 78 (2), 138-145.
- [4] Cantrell D.F., Winsness D.: Method of processing ethanol byproducts and related subsystems. USA. Patent US 2009, 7601858.
- [5] United States Department of Agriculture: U.S. Bioenergy Statistics. [on line]. USDA. Dostęp w Internecie [10.10.2021]: <https://www.ers.usda.gov/data-products/us-bioenergy-statistics>
- [6] Dufoure E.J.: Sterol and membranę dynamics. *J. Chem. Biol.*, 2008, 1, 67-77.
- [7] Eun-Ok K., Taeg-Kyu K., Sang-Won Ch.: Diferuloylputrescine, a predominant phenolic amide in corn barn, potently induces apoptosis in human leukemia U937 cells. *J. Med. Food*, 2014, 17 (5), 519-526.
- [8] García-Llatas G., Rodríguez-Estrada M.T.: Current and new insights on phytosterol oxides in plant sterol-enriched food. *Chem. Phys. Lipids*, 2011, 164, 607-624.
- [9] Güneşer B.A., Yilmaz E., Ok S.: Cold pressed versus refined winterized corn oils: Quality, composition and aroma. *Grases y Aceites*, 2017, 68 (2), #e194.
- [10] Hung Y.T., Hanson A.R., Urriola P.E., Johnston L.J., Kerr B.J., Shurson G.C.: Addition of tert-butylhydroquinone (TBHQ) to maize oil reduces lipid oxidation but does not prevent reductions in serum vitamin E in nursery pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2019, 10, #51.
- [11] Karlovic D.J., Bocevska M., Jakolevic J., Turkulov J.: Corn germ oil extraction by a new enzymatic process. *Acta Alimentaria (Budapest)*, 1994, 23 (4), 382-400.
- [12] Kerr B.J., Dozier W.A. III, Shurson G.C.: Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *J. Anim. Sci.*, 2016, 94, 2900-2908.
- [13] List G.R., Friedrich J.P.: Oxidative stability of seed oil extracted with supercritical carbon dioxide. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1989, 66 (1), 98-101.
- [14] Majoni S., Wang T., Johnson L.A.: Enzyme treatments to enhance oil recovery from condensed corn distillers solubles. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2011, 88, 523-532.
- [15] Majoni S., Wang T., Johnson L.A.: Physical and chemical processes to enhance oil recovery from condensed corn distillers solubles. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2011, 88, 425-434.
- [16] Majoni S., Wang T.: Characterization of oil precipitate and oil extracted from condensed corn distillers solubles. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2010, 87, 205-213.



- [17] Moreau R.A., Hiks K.B., Johnston D.B., Laun N.P.: The composition of crude corn oil recovered after fermentation via centrifugation from a commercial dry grind ethanol process. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2010, 87, 895-902.
- [18] Moreau R.A., Lampi A.-M., Hiks K.B.: Fatty acid, phytosterol, and polyamine conjugate profiles of edible oils extracted from corn germ, corn fiber, and corn kernels. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2009, 86, 1209-1214.
- [19] Moreau R.A., Johnston D.B., Hiks K.B., Haas M.J.: 3-aqueous extraction of corn oil after fermentation in the dry grind ethanol process. *Green Vegetable Oil Processing*, 2014, 53-57.
- [20] Moreau R.A., Dickey L.C., Johnston D.B., Hicks K.B.: A process for the aqueous enzymatic extraction of corn oil from dry milled corn germ and enzymatic wet milled corn germ (E-Germ). *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2009, 86, 469-474.
- [21] Moreau R.A., Hiks K.B.: The composition of corn oil obtained by the alcohol extraction of ground corn. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2005, 82, 809-815.
- [22] Moreau R.A., Johnston D.B., Hicks K.B.: A comparison of level of lutein and zeaxanthin in corn germ oil, corn fiber oil and corn kernel oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2007, 84, 1039-1044.
- [23] Moreau R.A., Johnston D.B., Powell M.J., Hicks K.B.: A comparison of commercial enzymes for the aqueous enzymatic extraction of corn oil from corn germ. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2004, 81 (11), 1071-1075.
- [24] Moser B.R., Vaugh S.F.: Biodiesel from corn distillers dried grains with solubles: Preparation, evaluation, and properties. *Bioenerg. Res.*, 2012, 5, 439-449.
- [25] Nishino H.: Cancer prevention by natura carotenoids. *Cell. Biochem. Suppl.*, 1997, 27, 86-91.
- [26] Phillips K.M., Ruggio D.M., Toivo J.I., Swank M.A., Simpkins A.H.: Free and estridied sterol composition of edible oils and fats. *J. Food Compos. Anal.*, 2002, 15, 123-142.
- [27] Roberts J.E., Dennison J.: The photobiology of lutein and zeaxanthin in the eye. *J. Ophthalmol.*, 2015, #687173.
- [28] Rónyai E., Simándi B., Tömösközi S., Deák A., Weinbrenner Z.: Supercritical fluid extraction of corn germ with carbon dioxide – ethyl alcohol mixture. *J. Supercrit. Fluids*, 1998, 14, 75-81.
- [29] Singh N., Cheryan M.: Extraction of oil from corn distillers dried grains with solubles. *ASAE*, 1998, 41 (6), 1775-1777.
- [30] Szymańska R., Kruk J.: Fitosterole – występowanie i znaczenie dla człowieka. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych*, 2007, 56, 107-114.
- [31] Taylor S.L., King J.W.: Optimization of the extraction and fractionation of corn bran oil using analytical supercritical fluid instrumentation. *J. Chromatogr. Sci.*, 2000, 38, 91-94.
- [32] United States Department of Agriculture: World Corn Production. [on line]. USDA. Dostęp w Internecie [10.10.2021]: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- [33] Walters A., Meurer-Grimes B., Rovira I.: Antifungal activity of three spermidine conjugates. *FEMS Microbiology Letters*, 2001, 201, 255-258.
- [34] Wang T., Hicks K.B., Moreau R.: Antioxidant activity of phytosterols, oryzanol, and other phytosterol conjugates. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2002, 79, 1201-1206.
- [35] Winkler-Moser J.K., Breyer L.: Composition and oxidative stability of crude oil extracts of corn germ and distillers grains. *Ind. Crops Prod.*, 2011, 33, 572-578.
- [36] Winsness D., Cantrell D.F.: Method of freeing the bound oil present in whole stillage and thin stillage. USA. Patent US 2009, 7608.729.
- [37] Worthington R.E., Hitchcock H.L.: A method for the separation of seed oil steryl esters and free sterols: Application to peanut and corn oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1984, 61, 1085-1088.

## CORN OIL PRODUCTION METHODS DETERMINING ITS CHEMICAL PROPERTIES

### S u m m a r y

Corn oil is a rich source of bioactive compounds, including carotenoids and of unsaturated fatty acids, such as lipid alcohols, which include phytosterols and tocopherols. The corn oil production method determines the content of the above-mentioned compounds, and their amount depends on the initial preparation of plant material to extract oil. Corn grain contain  $3.1 \div 5.7$  % of oil, the predominant amount of which is found in the seed embryo. Corn oil for food use is produced from seed embryos. Applied are such oil extracting methods as pressing and solvent extraction. Also, there are processes to produce oil from the whole corn seeds and corn bran, the properties of which vary because of the different levels of bioactive substances contained therein. Corn seeds are processed not only into edible oil, but also into bioethanol used as an additive to high-octane fuels. The production technology of bioethanol makes it possible to obtain crude post-fermentation corn oil, which is a by-product characterised by a higher content of phytosterols ( $0.6 \div 0.93$  % w/w) and carotenoids ( $29.55 \div 40.53$  mg/100 g). Until now, the post-fermentation crude oil is not used for food purposes, but only as a raw material for the production of biodiesel and as a feed additive. Its pro-health values are disregarded. Corn oil is characterised by varied composition and it is a potential source of biologically active substances.

**Key words:** corn grain, corn germs, corn bran, corn oil, extraction, pressing ☒