

SŁONECZNIK BULWIASTY ŹRÓDŁEM CENNYCH SUROWCÓW DLA PRZEMYSŁU, SZCZEGÓLNIIE SPOŻYWCZEGO, KOSMETYCZNEGO I FARMACEUTYCZNEGO

JERUSALEM ARTICHOKE AS A SOURCE OF
VALUABLE RAW MATERIAL, ESPECIALLY FOR FOOD,
PHARMACEUTICAL AND COSMETIC INDUSTRIES

Marek Chyc¹, Jan Ogonowski²

¹*Laboratorium Analiz Specjalnych, Centrum Badań i Analiz, Grupa Azoty
ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów
e-mail: marek.chyc@grupaazoty.com*

²*Katedra Technologii Organicznej i Procesów Rafineryjnych,
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej,
Instytut Chemii i Technologii Organicznej, Politechnika Krakowska,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: jogonow@pk.edu.pl*

Abstract

Wprowadzenie

1. Charakterystyka słonecznika bulwiastego
2. Wydzielanie i oczyszczanie inuliny
 - 2.1. Podstawowe informacje
 - 2.2. Wydzielanie inuliny
 - 2.3. Otrzymywanie inuliny wysokocząsteczkowej
 - 2.4. Oczyszczanie inuliny
3. Inne substancje obecne w słoneczniku bulwiastym
 - 3.1. Surowce do produkcji biopaliw
 - 3.2. Produkcja dioli
4. Kierunki przetwórstwa słonecznika bulwiastego
 - 4.1. Przemysł spożywczy
 - 4.2. Przemysł kosmetyczny
 - 4.3. Przemysł farmaceutyczny

Podsumowanie

Piśmiennictwo cytowane

mgr inż. Marek Chyc jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, specjalność: nowoczesna synteza i fizykochemia organiczna (2004). Po ukończeniu studiów zatrudniony w Zakładach Azotowych w Tarnowie-Mościcach w Laboratorium Związków Fluoroorganicznych, obecnie pracuje jako specjalista analityk w Grupie Azoty w Laboratorium Analiz Specjalnych. Zawodowo zajmuje się chemią analityczną ze szczególnym uwzględnieniem technik separacyjnych stosowanych w przemyśle chemicznym. Reprezentuje Grupę Azoty w Polskim Komitecie Normalizacyjnym w komitetach technicznych ds. Gazów Technicznych i Gazownictwa.

prof. dr hab. inż. Jan Ogonowski ukończył Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach w roku 1969. Pracuje w Katedrze Technologii Organicznej i Procesów Rafineryjnych (kierownik Katedry) Politechniki Krakowskiej. Prowadzi badania w obszarze katalizy, technologii chemicznej, technologii produktów małowadźonowych oraz chemii i technologii kosmetyków.

ABSTRACT

jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) is a native plant to North America. Its tubers were adopted as a source of food and inulin [3]. The substances obtained from tuber, shoots and flowers can be used in medicine, cosmetics or food industry as a valuable food additive. Inulin is extracted from jerusalem artichokes. It is a white, odorless, soluble powder with a slightly sweet taste and no aftertaste. It contains a mixture of oligosaccharides and polysaccharides which are composed of fructose units connected by β (2-1) links (Fig. 1). Almost every molecule is terminated by a glucose unit. The typical total number of fructose and glucose units in inulin is 30-35. The potential of jerusalem artichoke as a source for inulin, a natural polymer that may provide dietary health benefits for obesity, diabetes, increased calcium and magnesium absorption [41–43], while promoting the growth of beneficial intestinal bacteria and several other health issues and the possible use of the crop for biofuels [17], pharmacy and cosmetics and plastics manufacturers is drawing recent interest. The health benefits of inulin provide numerous opportunities to develop functional foods in various sectors such as dairy, bakery, beverage, cereals and cereal bars, supplements, confectionary, ice cream, infant formulas, fat spreads. Inulin cannot be digested by the digestive enzymes nor broken down by the gastric acids in the human digestive system. Therefore, these non-digestible carbohydrates function as insoluble fibers. However, dietary fibers influence the consistency of stomach and bowel content, the rate of discharge from the stomach and intestines and thus the rate at which nutrients and other desirable undesirable substances are absorbed. Furthermore they have an intensive effect on human bowel movements. This makes dietary fibers an essential part of our daily menu. Several methods for inulin extraction from Jerusalem artichoke tubers have been described in this paper [7, 11, 14]. For instance, ultrafiltration can reduce the purification procedure due to convenience and rapidity (fewer steps), thus showing a promising prospect for industrial purposes [24, 29, 31].

Keywords: jerusalem artichoke, inulin, pharmaceutical industry, cosmetics industry, food industry

Słowa kluczowe: słonecznik bulwiasty, inulina, przemysł farmaceutyczny, przemysł kosmetyczny, przemysł spożywczy

WPROWADZENIE

W ostatnich latach obserwuje się wzrost znaczenia surowców odnawialnych dla celów przemysłowych. Zaletą stosowania surowców naturalnych, jako półproduktów dla przemysłu farmaceutycznego, kosmetycznego i spożywczego jest możliwość pozyskiwania różnorodnych substancji chemicznych, często mających interesujące właściwości biologiczne. Istotny jest również aspekt ekonomiczny, tak jak to ma miejsce w przypadku przetwórstwa słonecznika bulwiastego znanego również pod nazwą topinambur. W języku polskim obie te nazwy są popularne i powszechnie stosowane. W niniejszym artykule zostaną przedstawione informacje dotyczące możliwości zastosowania słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.) jako źródła odnawialnych półproduktów dla wielu różnych zastosowań, szczególnie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym.

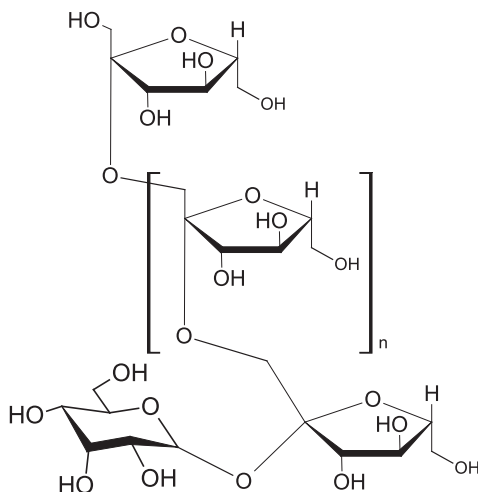
Tematyka pozyskiwania surowców na bazie słonecznika bulwiastego (*topinamburu*) jest obecnie bardzo aktualna, o czym świadczy duża liczba najnowszych doniesień literaturowych i patentowych z kraju i ze świata. Wiele informacji literaturowych dotyczących kierunków pozyskania produktów pochodzących z przetwórstwa tej rośliny jest znanych od wielu lat, jednak publikowanych jest dużo nowych, oryginalnych prac z tego zakresu. Nowe spojrzenie na tematykę produktów pozyskiwanych z surowca jakim jest słonecznik bulwiasty wniósł rozwój technik analitycznych i biotechnologicznych, sprawiając, że różnorodność zastosowań otrzymanych produktów ciągle wzrasta.

1. CHARAKTERYSTYKA SŁONECZNIKA BULWIASTEGO

Słonecznik bulwiasty (topinambur) jest rośliną pochodzącą z Ameryki Północnej. Sprowadzony do Europy w XVII wieku jako roślina ozdobna, jadalna i pastewna, jest zdolny do produkcji znacznej ilości biomasy. Na ziemię Polskie topinambur został sprowadzony w 1730 roku i jest obecnie uważany za obcy gatunek inwazyjny, którego hodowli należy zaniechać na obszarach chronionych, gdyż może się rozprzestrzeniać w niekontrolowany sposób [1].

Topinambur to roślina, z której na skalę przemysłową pozyskuje się inulinę. Już w 1804 niemiecki uczyony Rose jako pierwszy wyizolował inulinę z materiału roślinnego, którą określał nazwą „szczególna substancja pochodzenia roślinnego”, jednak nie określono składu chemicznego tego polisacharydu [2]. Obecnie wiadomo, że inulina to nierozgałęziony polisacharyd o 30–35 jednostkach cukrowych (średnia masa cząsteczkowa 5000 Da) połączonych wiązaniami β -1,2-glikozydowymi, jak to przedstawiono na rysunku 1. Inulina należy do grupy fruktanów i jest cennym prebiotykiem hamującym rozwój patogennych bakterii w jelitach i wspomagających funkcjonowanie bifidobakterii zdolnych do enzymatycznej hydrolizy wiązania β -1,2-glikozydowego. Dzięki licznym badaniom udało się odkryć wiele istotnych

zastosowań tej substancji, której zawartość w bulwach topinamburu jest stosunkowo wysoka i wynosi 14–19% [3].



Rysunek 1. Wzór chemiczny inuliny
Figure 1. Chemical structure of inulin

Inulina jest magazynowana także w korzeniach i bulwach niektórych innych roślin (cykoria, dalia, mniszek, cebula) pełniąc rolę materiału budulcowego części roślin oraz stanowi zapas węglowodanów, głównie fruktozy dla rośliny. Zawartość jednostek fruktozowych w inulinie jest zmienna dla różnych gatunków roślin, wieku sadzonki, pory roku i może się zawierać w granicach 71–94% [4].

2. WYDZIELANIE I OCZYSZCZANIE INULINY

2.1. PODSTAWOWE INFORMACJE

Inulina jest obecnie podstawowym surowcem, dla którego przetwarza się słonecznik bulwiasty. Zawartość inuliny w bulwach rośliny zmienia się w okresie wegetacyjnym i osiąga wartość maksymalną jesienią, kiedy najdogodniej jest pozyskiwać surowiec [4]. Inulina jest produktem przemysłowym, a jej produkcją i przetwórstwem zajmuje się wiele firm chemicznych. Pierwsza półtechniczna instalacja produkcji inuliny powstała w 1920 roku w Niemczech, w 1927 roku uruchomiono instalację przemysłową. Proces otrzymywania inuliny technicznej przebiega analogicznie do procesu produkcji cukru z buraków cukrowych i na tej technologii oparta jest większość instalacji przemysłowych, głównych producentów tego fruktanu, takich jak: Grupa Orafiti (Belgia, 70% światowej produkcji), Shandong East Che-

mical Industry (Chiny), Vijay Chemical Corporation (Indie), Synergy Vaccines Inc. (USA), Beta Pure Foods (Kanada), Predilife (Meksyk), Dr. Paul Lohmann (Niemcy), Brenntag Nederland B. V. (Holandia), Chemofarma Chemikalien (Austria)¹.

Od czasu uruchomienia pierwszej instalacji przemysłowej zmienił się przede wszystkim sposób oczyszczania ekstraktu zawierającego inulinę. Surowy ekstrakt zawiera proste cukry, oligosacharydy (3–9 jednostek cukrowych) i polisacharydy (>9 jednostek cukrowych). Największe znaczenie użytkowe mają polisacharydy o wysokim stopniu polimeryzacji, izolowane głównie z części podziemnych słonecznika bulwiastego, cykorii i agawy meksykańskiej. Przetwórstwo bulw słonecznika składa się z następujących etapów:

- wstępne oczyszczanie bulw z ziemi,
- rozdrabnianie surowca roślinnego,
- ekstrakcja pulpy wodą w temperaturze 60–90°C,
- strącanie składników białkowych, pektynowych i innych,
- klarowanie roztworu,
- usuwanie zabarwienia roztworu,
- rafinacja surowego ekstraktu,
- zateżnianie ekstraktu,
- suszenie inuliny,
- dodatkowe procesy oczyszczania (ultrafiltracja membranowa, wymiennicze jonowe, kolumny z węglem aktywowanym).

2.2. WYDZIELANIE INULINY

Podstawowym kryterium technologii jest efektywne wyodrębnienie inuliny z materiału roślinnego, a następnie oczyszczenie produktu, stosownie do kierunku dalszego zastosowania. Jako produkt przemysłowy pochodzenia naturalnego inulina wydzielana jest z roztworu o złożonej matrycy, którą należy oddzielić od produktu finalnego, będącego mieszaniną homologów o różnej liczbie jednostek cukrowych. Obecność zanieczyszczeń może mieć negatywny wpływ zarówno na jej smak, barwę, jak również na właściwości przetwórcze. W przypadku zastosowań spożywczych, np. do produkcji słodczy, pieczywa, jogurtów, zawartości oligosacharydów nie ma znaczenia. Dla celów produkcji flokulantów, surfaktantów, czy produktów farmaceutycznych, skład inuliny, stopień polimeryzacji, rozkład średniej masy molowej będzie miał istotne znaczenie dla produktu końcowego [5–7].

Obecnie stosowanych jest szereg operacji jednostkowych dla optymalizacji składu i wydajności produkcji inuliny. Poniżej przedstawiono główne etapy występujące w większości współczesnych rozwiązań technologicznych w tym zakresie. Podstawowym sposobem wyodrębniania inuliny z materiału roślinnego jest eks-

¹ Wg www.chemindustry.com.

trakcja rozpuszczalnikowa. Dogodnym ekstrahentem jest woda. Rozpuszczalność inuliny silnie zależy od temperatury, natomiast dodatek do wody rozpuszczalników organicznych, np. etanolu umożliwia selektywne wytrącenie produktu z roztworu. W temperaturze pokojowej rozpuszczalność inuliny jest znikomo mała, podczas gdy w temperaturze 90°C roztwór nasycony zawiera 35% (m/v) fruktantu [7]. Z tej przyczyny większość technologii ekstrakcji inuliny stosuje ekstrakcję wodą w podwyższonej temperaturze, co czyni ten proces tanim i ekologicznym. Stosowane przemysłowo technologie różnią się głównie temperaturą i czasem prowadzenia ekstrakcji. Parametry technologiczne procesu mogą się różnić w zależności od tego czy surowką jest rozdrobniona bulwa topinamburu czy wysuszony i sproszkowany surowiec.

Ważnym czynnikiem warunkującym przebieg ekstrakcji inuliny jest odczyn roztworu. W przypadku, gdy $\text{pH} < 6$ następuje hydroliza inuliny, w wyniku której powstają cukry proste i oligosacharydy [8]. Aby ograniczyć niepożądane procesy hydrolizy do procesu ekstrakcji dodawany jest wodorotlenek sodu, a ekstrakcję prowadzi się około 60 minut. Dla skrócenia czasu ekstrakcji może być zastosowana ekstrakcja wspomagana ultradźwiękami, wówczas możliwe jest skrócenie czasu procesu do 25 minut i obniżenie temperatury ekstrakcji do 37°C [9].

Innym przykładem wydajnego procesu ekstrakcji inuliny, charakteryzującym się zwiększeniem wydajności o około 14%, względem klasycznych metod ekstrakcyjnych jest trójstopniowa ekstrakcja z homogenicznego surowca roślinnego. Metoda ta poza wydajnym zwiększeniem wydajności pozwala uzyskać produkt dobrej jakości [10].

2.3. OTRZYMYWANIE INULINY WIELKOCZĄSTECZKOWEJ

Dla uzyskania inuliny o najwyższych walorach użytkowych konieczne jest jej oczyszczenie i frakcjonowanie oraz selektywne wytrącanie z roztworu macierzystego. W przypadku, gdy pożądanym produktem jest inulina o wysokim stopniu polimeryzacji i wąskim przedziale rozkładu mas cząsteczkowych, konieczne jest zastosowanie szeregu zabiegów technologicznych. W przypadku pozyskiwania inuliny z bulw dalii otrzymuje się inulinę o średniej masie cząsteczkowej 7000 Da, podczas gdy inulina wyodrębniona z bulwy topinamburu w technologii skierowanej na produkt wielkocząsteczkowy ma średnią masę cząsteczkową około 10000 Da [7]. Pozyskiwanie inuliny w klasyczny sposób z zastosowaniem korzeni cykorii dostarczą inulinę o średniej masie cząsteczkowej 6200 Da, natomiast bulwy topinamburu jedynie 3400 Da [11, 12]. Według specyfikacji producentów, handlowo dostępna inulina otrzymywana z korzenia cykorii charakteryzuje się średnią masę cząsteczkową około 5000 Da. Podstawową metodą frakcjonowania inuliny dla uzyskania produktu o dużych masach cząsteczkowych i wąskim ich rozkładzie jest wytrącanie polisacharydów z zastosowaniem acetonu, acetonitrylu bądź alkoholu. Dla otrzymania inuliny z topinamburu zalecane jest stosowanie etanolu i acetonu, podczas

gdy dla większości metod wytrącania inulin lepsze rezultaty uzyskuje się stosując acetonitryl i aceton [13].

Krystalizacja inuliny może być prowadzona poprzez ochłodzenie roztworu do temperatury 2–10°C, po której wytrącony osad jest sączony bądź wirowany, albo poprzez suszenie rozpryskowe, dzięki któremu można otrzymać wysuszony produkt o uziarnieniu 50–350 µm [14]. Stopień polimeryzacji inuliny zawartej w bulwach wzrasta wraz z wiekiem roślin, dlatego inulinę wielkocząsteczkową otrzymuje się z bulw roślin kilkuletnich, co wpływa na cenę surowca [15].

2.4. OCZYSZCZANIE INULINY

Głównymi zanieczyszczeniami inuliny są: cukry proste, oligomery glukozy i fruktozy, substancje białkowe, pektyny, tłuszcze, kwas uronowy oraz barwniki. Dla usunięcia z ekstraktu substancji niecukrowych skutecznym rozwiązaniem jest mieszanie ekstraktu z wodą wapienną. Proces prowadzi się w temperaturze 85°C przez 45 minut, następnie całość jest kierowana na filtr, który ma za zadanie usunięcie z ekstraktu cząstek stałych o uziarnieniu przekraczającym 125 µm. Kolejnym etapem jest kilkustopniowa karbonizacja przeprowadzana przez barbotowanie roztworu gazowym ditlenkiem węgla, po którym następuje wirowanie mieszaniny. Karbonizacja składników roztworu jest prowadzona kilkustopniowo w różnych przedziałach pH, aby zapobiec wtórnemu rozpuszczaniu się powstałych osadów w czasie stopniowej neutralizacji roztworu [11].

Dodatek do ekstraktu związków wapnia (głównie $\text{Ca}(\text{OH})_2$) i magnezu (MgSO_4), pozwala usunąć barwę roztworu oraz przyspiesza klarowanie się mieszaniny [14]. Innym sposobem usuwania związków barwnych z ekstraktów zawierających inulinę jest ich oczyszczanie z udziałem kolumn adsorpcyjnych z wypełnieniem w postaci węgla aktywowanego i jonitów (głównie celulozowych żywic jonowymiennych, DEAE [7, 11]).

Fracjonowanie składników zawartych w ekstrakcie roślinnym można skutecznie prowadzić przez zastosowanie technik membranowych, mikrofiltracji oraz nanofiltracji. Wymienione techniki pozwalają uzyskać produkt o bardzo wysokiej czystości i wąskich frakcjach mas molowych, np. 5000–6000 Da [16].

3. INNE SUBSTANCJE OBECNE W TOPINAMBURZE

3.1. SUROWCE DO PRODUKCJI BIOPALIW

Słonecznik bulwiasty to roślina, która jest zdolna do efektywnego wytwarzania biomasy, dzięki czemu naziemne części roślin mogą, po wysuszeniu, być stosowane jako paliwo stałe w kotłach opalanych biomasą. Wartość opałowa słomy otrzymanej

po wysuszeniu części naziemnych słonecznika bulwiastego wynosi 15,9 MJ/kg [17]. W polskich warunkach produkcja biomasy na bazie słonecznika bulwiastego nie jest tak efektywna jak w krajach o cieplejszym klimacie, jednak wskaźniki ekonomiczne pozwalają na jego zastosowanie do celów energetycznych. Z punktu widzenia produkcji biopaliw, topinambur jest rośliną bardzo uniwersalną, gdyż przetworzenie biomasy pozwala na uzyskanie biogazu i składników paliw ciekłych. Dla polskich warunków klimatycznych najlepszą wydaje się być odmiana *Helianthus tuberosum* L., która dostarcza 38–75 MJ/ha zielonej masy, przy stosunkowo niewielkich nakładach pracy i nakładach inwestycyjnych (sadzonki, nawozy). Koszty założenia i prowadzenia plantacji omawianej rośliny są relatywnie niskie i konkurencyjne względem innych upraw, np. kukurydzy [17].

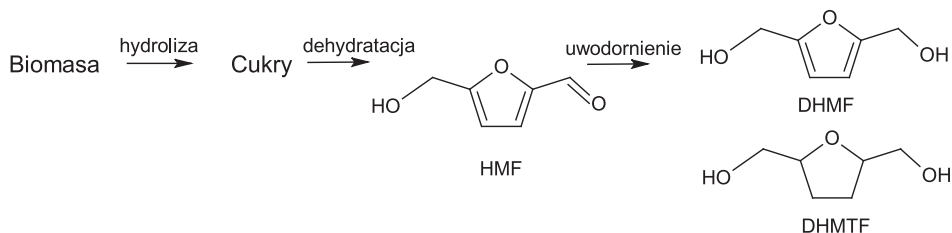
Uprawa i przetwórstwo biomasy na bazie topinamburu dostarcza 3000–5000 m³/ha biogazu, co w przeliczeniu na energię stanowi 65–135 GJ/ha [17, 18]. Zawartość metanu w biogazie wyprodukowanym z biomasy słonecznika bulwiastego zawiera się w przedziale 57–76% [18]. Tak wysokie wskaźniki produkcji energii odnawialnej poprzez biogaz, stawiają topinambur w czołowie roślin dla celów produkcji biogazu dla polskich warunków klimatycznych, gdyż zarówno bulwy jak i łodygi są przydatne do produkcji biopaliw.

Słonecznik bulwiasty to również surowiec do produkcji składników paliw ciekłych takich jak bioetanol, biobutanol, dimetylofuran. Wskaźnik produkcji bioetanolu na bazie biomasy topinamburu w warunkach polskich wynosi 2,6 m³/ha [19]. Surowcem do produkcji bioetanolu mogą być bulwy i łodygi. Stopień konwersji cukrów w procesie fermentacji wynosi około 60%, zaś wskaźnik efektywności produkcji bioetanolu przy zastosowaniu drożdży *Kluyveromyces marxianus* CBS 1555 wynosi 0,25 g/g suchej masy roślinnej, [20].

Zawartość tłuszczów w bulwach i łodygach topinamburu jest niewystarczająca do produkcji biodiesla, gdyż ich zawartość w części naziemnej rośliny wynosi 3,8% s.m. [21]. Za pomocą metod biotechnologicznych możliwe jest przetworzenie cukrów zawartych w roślinie przez bakterie z wytworzeniem tłuszczów, które następnie mogą być surowcem do produkcji estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych. Dla produkcji biooleju na bazie topinamburu można z powodzeniem zastosować bakterie *Cryptococcus* sp. Proces biotechnologicznej konwersji cukrów do lipidów, po uprzednim trawieniu chemicznym biomasy, przebiega wydajnie i szybko – 1,7 g/dm³/24 h (szybciej niż przy zastosowaniu samej glukozy). Olej otrzymany tą metodą ma wysoką liczbę cetanową (LC-58), a niską liczbę jodową (IJ-56), dzięki czemu paliwo jest odporne na degradację oksydacyjną [22].

3.2. PRODUKCJA DIOLI

Łodygi topinamburu mogą stanowić surowiec do produkcji furfuralu i 2,5-hydroksymetykofurfuralu (HMF) [22, 23] oraz 2,5-dihydroksymetylenofuranu (DHMF) i 2,5-dihydroksymetylenotetrahydrofuranu (DHMTF), jak to zilustrowano na Rysunku 2 [24].



Rysunek 2. Synteza dioli na bazie biomasy bogatej w cukry
Figure 2. Diols synthesis based on biomass rich in the sugars

Zarówno DHMF jak i DHMTF są ważnymi substratami przy produkcji polikondensacyjnych, w tym poliestrów o wysokiej odporności termicznej. Monomery te na chwilę obecną są wytwarzane głównie w oparciu o produkty petrochemiczne. Zasady zrównoważonego rozwoju wymagają poszukiwań alternatywnych źródeł surowców nieodnawialnych również w produkcji tworzyw konstrukcyjnych, co jest możliwe dzięki opisanym reakcjom katalitycznym, jak to zilustrowano na Rysunku 2.

Topinambur może być również surowcem do produkcji glikoli: etylenowego, propylenowego i butylenowego, przy czym selektywność powstawania glikolu etylenowego jest znacząco większa niż pozostałych. Glikol etylenowy jest stosowany, między innymi, do produkcji poli(tereftalanuetylenu) oraz jest używany jako nośnik ciepła (pompy ciepła, systemy solarne). Surowcem do syntezy glikolu mogą być łodygi rośliny. Dogodnym układem katalitycznym reakcji jest mieszanina tlenu wolframu(VI) i niklu Raneya, a reakcję prowadzi się w temperaturze 245°C pod ciśnieniem 6 MPa [24].

4. KIERUNKI PRZETWÓRSTWA TOPINAMBURU

Znanych jest wiele doniesień literaturowych dotyczących możliwości zastosowania produktów przetwórstwa topinamburu. Wiele spośród nich jest w fazie intensywnych badań laboratoryjnych i aplikacyjnych, jednak potencjał możliwości praktycznego zastosowania surowców pozyskanych z topinamburu jest imponujący. Poniżej przedstawiono kilka wybranych kierunków praktycznego zastosowania substancji otrzymywanych z topinamburu, które mają znaczenie praktyczne.

4.1. PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY

Aktualnie przemysł spożywczy to największy odbiorca inuliny wytwarzanej na bazie słonecznika bulwiastego. Preparaty błonnika pokarmowego (do których zalicza się inulina) stanowią około 25% liczby sprzedawanych dodatków do żywności w USA. Obserwuje się systematyczny wzrost udziału inuliny w rynku dodatków do produktów spożywczych. Od 1999 roku osiągnął on wartość 120%.

Inulina może być zamiennikiem cukrów prostych oraz tłuszczów dla różnych produktów spożywczych. Dodatek inuliny polepsza właściwości reologiczne jogurtów, zwiększając trwałość powstałej emulsji oraz jest źródłem pożywienia dla kultur bakteryjnych. Badania wskazują, że szczepy bakteryjne stosowane w produkcji jogurtów bardzo dobrze przyswajają inulinę, co obserwuje się silnym wzrostem liczebności kolonii [25].

Zastosowanie inuliny podczas wypieku chleba również pozytywnie wpływa na jego walory jakościowe. Inulina (szczególnie o niskim stopniu polimeryzacji) może być stosowana jako spulchniacz przy wypieku pieczywa, a jej dodatek do mąki w ilości 2–12% korzystnie wpływa na wypiek chleba, powodując wzrost objętości bochenków i zmniejsza twardość produktu [26].

Podczas wypieku ciastek można ograniczyć ilość tłuszczów nawet o 50%, zastępując tłuszcz inuliną. Ograniczenie ilości tłuszczów użytych do produkcji ciastek nie wpływa negatywnie na smak wyrobów. Zmiana receptury ciastek skutkuje obniżeniem ich wartości kalorycznej i zawartości cholesterolu, ciastka są bardziej chrupiące i spulchnione, przy czym obniża się ich twardość [27].

Podobnie jak w przypadku wyrobów cukierniczych i wypieku chleba, gdzie dodatek polisacharydu powoduje polepszenie struktury wyrobów, inulina ma właściwości, które pozwalają na jej zastosowanie przy produkcji niskotłuszczowych majonezów bezcholesterolowych. Stwierdzono, że inulina nie ma właściwości stabilizujących emulsje majonezowe, jednak w połączeniu z gumą guar występuje efekt synergistyczny w odniesieniu do trwałości wytworzonych emulsji [28].

Produkty zawierające inulinę są alternatywą dla osób na diecie. Dlatego inulina z powodzeniem może zastępować sacharozę w diecie, np. diabetyków i osób po leczeniu chemioterapią. Preparaty zawierające inulinę i inne substancje słodzące, np. acesulfam K (E950) to popularne składniki słodzików dietetycznych [29].

Inulina stanowi istotny składnik czekolad i cukierków o obniżonej wartości kalorycznej [30], co w dobie problemów z nadwagą, szczególnie u dzieci, ma bardzo duże znaczenie społeczne.

4.2. PRZEMYSŁ KOSMETYCZNY

Przemysł kosmetyczny to potencjalnie duży odbiorca produktów na bazie topinamburu. Ekstrakty z bulw słonecznika zawierają pewne ilości witamin, minerałów i innych substancji pożądaných w produkcji, np. kremów kosmetycznych. Podobnie

jak przy produkcji majonezów czy jogurtów zastosowanie inuliny nadawało wyrobom odpowiednią konsystencję, ograniczało rozwój szkodliwych drobnoustrojów, tak i w produkcji kosmetyków wymienione właściwości są bardzo pożądane.

Inulina i jej pochodne będące surfaktantami mogą być stosowane do produkcji mydeł antybakteryjnych, skutecznych przy usuwaniu zarówno gram ujemnych jak i gram dodatnich bakterii oraz wirusów. Obecność inuliny w kosmetykach nadaje im właściwości odżywcze dla skóry oraz pozwala na stabilizację emulsji w przypadku kosmetyków płynnych [31].

Surowcem do produkcji kremów wygładzających i regenerujących skórę mogą być łodygi i bulwy słonecznika. Ekstrakty pozyskane z *Helianthus tuberosus L.* mają właściwości przeciwgrzybicze i odkażające, co jest cechą pożądaną wielu kosmetyków, w tym toników i maseczek do skóry. W badaniach nie stwierdzono działania alergizującego preparatów zawierających ekstrakty ze słonecznika bulwiastego, takich jak toniki dla mężczyzn czy mleczka i balsamy do ciała dla kobiet [32], pomimo że roślina wytwarza wiele związków alleopatycznych, takich jak kumaryna, kwas kumarynowy, kwas salicylowy, *p*-hydroksybenzaldehyd, kwas cytronowy, pinorezynol, wanilinę, loliolid [33, 34]. Fruktany (w tym inulina) znalazły zastosowanie w produkcji szamponów. Zaletą zastosowania fruktanów i ich pochodnych, jako składników szamponów jest możliwość wyeliminowania ze składu kosmetyku jonowych środków powierzchniowo czynnych, co ma znaczenie dla ochrony środowiska naturalnego, gdyż inulina jest produktem biodegradowalnym [35]. Estrы kwasów karboksylowych i inuliny nadają szamponom i odżywkom do włosów odpowiednią konsystencję dzięki właściwościom powierzchniowo czynnym. Najlepsze właściwości powierzchniowo czynne spośród estrów inuliny ma palmitynian inuliny, którego 1% roztwór wodny wykazuje napięcie powierzchniowo czynne 30 mN/m [36].

Inulina i jej pochodne stosowane są w produkcji kremów do pielęgnacji skóry, jako filtry promieniochronne, składniki przeciwtrądzikowe, składniki przeciwzapalne, środki łagodzące podrażnienia, nawet dla skóry wrażliwej [37]. W połączeniu z właściwościami powierzchniowo czynnymi estrów, inulina stanowi przyszłościowy surowiec dla przemysłu kosmetycznego.

4.3. PRZEMYSŁ FARMACEUTYCZNY

Inulina jest prebiotykiem, czyli substancją odpowiedzialną za prawidłowe funkcjonowanie flory bakteryjnej jelit oraz może być synbiotykiem w połączeniu z odpowiednimi szczepami bakterii, np. *Bacillus subtilis*. Substancja ta reguluje ukrwienie i perystaltykę jelit oraz stymuluje jelitowy układ immunologiczny [38]. Inulina jest ważnym składnikiem diety, dlatego stosuje się preparaty inulinowe w różnych typach diety, jak również w preparatach zmniejszających apetyt pacjenta. Efekt zmniejszenia łaknienia zaobserwowano podając pacjentom propionian inuliny pomiędzy posiłkami w ilościach od 100–250 mg [39]. W przemyśle farmaceu-

tycznym fruktany są stosowane jako substancje pomocnicze przy produkcji leków. W przypadku niektórych kompozycji farmaceutycznych stwierdzono działanie synergiczne składników leków przeciwnowotworowych zawierających inulinę [40]. Inulina jest składnikiem pomocniczym do produkcji maści, np. maści na opryszczkę i maści na gojenie ran.

Stwierdzono również, że związek ten zwiększa przyswajalność i stabilizuje poziom wapnia i magnezu w organizmie oraz wpływa na mineralizację kości. Zwiększona przyswajalność wapnia ma istotne znaczenie w profilaktyce i leczeniu osteoporozy jak również niedoboru magnezu wynikającego ze stresu i picia dużych ilości kawy [41–43].

PODSUMOWANIE

Słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus L.*) to w Polsce stosunkowo mało znana roślina, uprawiana amatorsko. Ze względu na niewielkie wymagania uprawy i szeroki zakres zastosowań produktów pozyskiwanych z topinamburu (głównie inuliny), należy uznać tą roślinę za perspektywiczne źródło odnawialnych surowców chemicznych. Wiele ośrodków badawczych, w tym kilka polskich, koncentruje się obecnie na rozwoju technologii wyodrębniania i przetwarzania surowców na bazie topinamburu. Na chwilę obecną Polska importuje inulinę, głównie wytwarzaną na bazie korzeni cykorii, topinamburu i agawy, gdyż nie ma w naszym kraju rozwiniętych upraw zorientowanych na produkcję inuliny, a co z tym jest związane brak jest również przetwórstwa w tym zakresie. Wzrost zapotrzebowania na tzw. żywność funkcjonalną oraz kosmetyki funkcjonalne pozwala przypuszczać, że podobnie jak w krajach zachodniej Europy i USA, również w Polsce obserwować będziemy systematyczny wzrost zainteresowania inuliną.

Obecnie, gdy coraz więcej mówi się o komercjalizacji nauki i poszukiwaniu specjalistycznych produktów na bazie tanich, łatwo dostępnych i odnawialnych surowców przy użyciu technologii przyjaznej środowisku (zielona chemia i biała biotechnologia) tematyka surowców chemicznych na bazie topinamburu wydaje się być bardzo aktualna, z uwagi na to, że światowa produkcja inuliny w 2007 roku wyniosła 350 000 Mg/rok [44] i od wielu lat wykazuje wzrastającą tendencję.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

- [1] <http://www.iop.krakow.pl/ias/gatunki/100> [data dostępu 6.04.14].
- [2] M. Roberfroid, J. Nutr., 2007, **137**, 830.
- [3] R.S. Sigh, R.P. Sigh, Food Technol. Biotechnol., 2010, **48**(4), 435.
- [4] R. Kowalski, J. Wierciński, Pol. J. Food Nut. Sci., 2004, **13**, 349.
- [5] C.V., Stevens, A. Meriggi, M. Peristeropoulou, P.P. Christov, K. Booten, B. Levecke, A. Vandamme, N. Pittevilis, T.F. Tadros, Biomacromolecules, 2001, **2**(4), 1256.
- [6] P.V. Luu, D.W. White, M.A. Sturm, Patent, US 7803746, 2010.

- [7] A.C. Apolinario, B.P. Damasceno, M.E. Beltrado, A. Passoa, A. Converti, J.A. Silva, *Carbohydr. Polym.*, 2014, **101**, 368.
- [8] S.N. Ronkart, C.S. Blecker, H. Fourmanoir, C. Hougnyes, C. Deroanne, J. C van Herck, M. Paquot, *Analytica Chimica Acta*, 2007, **606**, 81.
- [9] E. Milani, A. Koocheki, Q.A. Golimovahhed, *Int. J. Foot Sci. Technol.*, 2011, **46**, 1699.
- [10] B. Li, X.J. Meng, L.W. Sun, *J. Med. Plant Res.*, 2012, **6**, 876.
- [11] E. Hellwege, R. Peters, J. Pikling, Patent US 7959962, 2011.
- [12] B.H. Azis, B. Chin, M.P. Deacon, S.E. Harding, G.M. Pavlov, *Carbohydr. Polym.*, 1999, **38**, 231.
- [13] Y. Ku, O. Jansen, C.J. Oles, E.Z. Lazar, J.I. Rader, *Food Chem.*, 2003, **81**, 125.
- [14] F. Meuser, I. Bauer, E. Hellwege, J. Pilling, Patent EP 2027161, 2007.
- [15] J. Arizon, S. Mordel, A. Gschaedler, P. Monsan, *Food Chem.*, 2010, **122**, 123.
- [16] V.D. Artemyev, V.Y. Pavlovna, Patent EP 2698387, 2014.
- [17] T. Piskier, *Inżynieria Rolnicza*, 2006, **11**(86), 359.
- [18] G. Maj, W. Piekarski, T. Słowik, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2013, **2**, 59.
- [19] W. Majtkowski, *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2006, **14**, 25.
- [20] S. Kim, C.H. Kim, *Renewable Energy*, 2014, **65**, 83.
- [21] I.B. Gunnarsson, S.E. Svensson, E. Johansson, D. Karakashev, I. Angelidaki, *Industrial Crops and Products*, 2014, **56**, 231.
- [22] M. Sung, Y.H. Seo, S. Han, J. Han, *Biosource Technol.*, 2014, **155**, 77.
- [23] H. Cei, C. Li, A. Wang, T. Zhang, *Catalysis Today*, 2014, **234**, 59.
- [24] L. Zhou, J. Pang, A. Wang, T. Zhang, *Chinese J. Catalysis*, 2013, **34**, 2041.
- [25] T. Pasephol, F. Sherkat, *J. Funct. Foods*, 2013, **1**, 311.
- [26] R. Ziobro, J. Korus, L. Juszczak, *J. Food Eng.*, 2013, **116**, 21.
- [27] A. Żbikowska, J. Rutkowska, *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2008, **58**, 113.
- [28] K. Jędrzejkiewicz, A. Florowska, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **5**(54), 346.
- [29] A.C. Ludan, Patent WO 118481, 2006.
- [30] R.P. Aidoo, F. Repypere, E.O. Efoakwa, K. Dewetinck, *Trends in Food Sci. Technol.*, 2013, **32**, 84.
- [31] P.V. Luu, D.W. White, M.A. Sturm, Patent US 7803746, 2010.
- [32] T. Keri, J. Kristof, Patent US 4855137, 1989.
- [33] F. Tesio, L.A. Weston, A. Ferrero, *Scientia Horticulturae*, 2011, **129**, 361.
- [34] L. Pan, M.R. Sinden, A.H. Kennedy, H. Chai, L.E. Watson, T.L. Graham, A.D. Kinghorn, *Phytochemistry Letters*, 2009, **2**, 15.
- [35] B. Levecké, K. Booten, Patent EP 1893170, 2008.
- [36] S. Ehrhardt, A.H. Begli, M. Kunz, L. Scheiwe, Patent US 5877144, 1999.
- [37] A. Rathjens, L. Danoux, Patent US 0191087, 2003.
- [38] E. Trafalska, K. Grzybowska, *Wiad. Lek.*, 2004, **57**(9-10), 491.
- [39] G. Frost, D. Morrison, T. Preston, Patent WO 020344, 2014.
- [40] A. Frippiant, M. Roberfroid, H. Taper, L.J. Van, Patent EP 1079840, 2002.
- [41] F. J. Vila Pahi, J. Escaich Ferrer, A.L Verbruggen, J. Vergas Milano, R. Ruhi Roura, C.R Alaez Ver-son, Patent WO 084610, 2005.
- [42] L.L. Legete, W. Lee, B.R. Martin, J.A. Story, J.K. Campbell, C.M. Weaver, *J. Food Sci.*, 2013, **77**(4), 88.
- [43] L. Holloway, S. Moyniham, S.A. Abrams, K. Kent, A.R. Hsu, A.L. Friedland, *British J. Nut.*, 2007, **97**, 365.
- [44] L. Monnier, M. Hanefeld, O. Schnell, C. Collete, D. Owens, *Diabetes Metab.*, 2013, **39**(2), 111.