

Przesłano: 23-01-2023

Zaakceptowano do druku: 01-03-2023



TOPINAMBUR – ROŚLINA O SZEROKIM ZASTOSOWANIU

Barbara Stachowiak¹, Jacek Nowak², Barbara Górna³, Katarzyna Szambelan⁴

Abstrakt: Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) stał się w ostatnich latach obiektem rosnącego zainteresowania jako surowiec spożywczy, paszowy i przemysłowy. Do bezpośredniego wykorzystania tej rośliny nadają się zarówno bulwy bogate we fruktany, jak i część nadziemna. Bulwy o jasnej skórcie chętnie są wykorzystywane do celów kulinarnych w formie surowej, jak i po obróbce. Duże znaczenie ma także użytkowanie pastewne topinamburu, czy to w postaci bulw czy np. kiszonki z lodyg, którymi mogą być skarmiane zwierzęta. Natomiast zapotrzebowanie na bogate w węglowodany, odnawialne surowce roślinne spowodowało, że topinambur posiada coraz większe znaczenie jako źródło energii. Celem pracy było wykazanie, że topinambur ze względu m.in. na swój skład chemiczny, wysoką wydajność bulw i części nadziemnej, minimalne wymagania uprawowe, stanowi atrakcyjny surowiec do wykorzystania w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym czy do produkcji etanolu, przy równoczesnej możliwości wykorzystania wszystkich części rośliny.

Słowa kluczowe: topinambur, inulina, rośliny alternatywne

JEL: O13

TOPINAMBUR – A PLANT WITH A WIDE RANGE OF USES

Barbara Stachowiak¹, Jacek Nowak², Barbara Górna³, Katarzyna Szambelan⁴

Abstract: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) has become an object of growing interest in recent years both as a food, feed and industrial raw material. Both the inulin-rich tubers and the above-ground part are suitable for direct use of this plant. The light-skinned tubers are readily used for culinary purposes in raw form as well as after processing. Also of great importance is the forage use of Jerusalem artichoke, whether in the form of tubers or, for example, stem silage, which can be fed to animals. On the other hand, the demand

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 40% | ORCID: 0000-0002-0172-8875 | e-mail: barbara.stachowiak@up.poznan.pl

² Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 10% | ORCID: 0000-0002-4176-6358

³ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 10%

⁴ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznań University of Life Sciences) | wkład pracy (work input): 40%

for carbohydrate-rich, renewable plant materials has made Jerusalem artichoke increasingly important as an energy source. The aim of this study was to demonstrate that Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), due to, among other things, its chemical composition, high yield of tubers and above-ground parts, and minimal cultivation requirements, is an attractive raw material for use in the food industry, pharmaceutical industry or for ethanol production, while at the same time all parts of the plant can be used.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, alternative plants

JEL Classification: O13

1. Wstęp

Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.), zwany także słonecznikiem bulwiastym, ziemną bulwą, karczochem jerozolimskim, czy gruszką polną jest gatunkiem rośliny z rodziny *Compositae* (*Asteraceae*), podrodziny *Tubiflorale* (*Asteroideae*), rodzaju *Helianthus* i jest genetycznie spokrewniony ze słonecznikiem zwyczajnym (*Helianthus annuus* L.) (Ma i in., 2011; Tassoni i in., 2010). Roślina ta, podobnie jak ziemniak, pochodzi z subtropikalnych obszarów Ameryki Północnej i dotarła do Europy w XVII wieku. Przez długi czas topinambur był uprawiany w Europie głównie na paszę, później bulwy niektórych odmian wykorzystywane były do konsumpcji. Obecnie rośnie na niewielkich obszarach w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Francji, Australii, Niemczech, Holandii, Rosji, Japonii i innych krajach (Cieślak i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Li i in., 2015; Mystkowska i Zarzecka, 2013). W ostatnim czasie gatunek ten przyciąga uwagę naukowców jako roślina użyteczna o znaczeniu dla produkcji energii i chemikaliów. Topinambur wydaje się być dobrym surowcem jako pasza dla zwierząt, zarówno w postaci kiszonki, jak i surowej (Kays i Nottingham, 2008; Long i in., 2008). Topinambur jako roślina wieloletnia plonuje wydajnie przez co najmniej 12-15 lat. Zainteresowanie tą rośliną wynika głównie ze stosunkowo wysokiej wydajności węglowodanowej (bulwy zawierają 15-16% węglowodanów), przy plonie bulw dochodzącym w Polsce do 36 t/ha (Kim i Kim, 2014; Kim i Kim, 2013; Mystkowska i Zarzecka, 2013). Atrakcyjność stosowania topinamburu w porównaniu z innymi roślinami pastewnymi wynika z możliwości uprawy na słabych glebach, gdzie kukurydza, burak cukrowy i pszenica dają bardzo niskie plony (Cieślak i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Kays i Nottingham, 2008; Mystkowska i Zarzecka, 2013). Topinambur to roślina o bardzo szerokich możliwościach zastosowania. Niewątpliwie największy wpływ na wszechstronność topinamburu ma cenny skład chemiczny bulw.

2. Skład chemiczny topinamburu

Bulwy topinamburu pod względem składu chemicznego podobne są do bulw ziemniaka. Główną różnicę stanowi rodzaj cukru zapasowego, jakim dla topinamburu jest inulina, a dla ziemniaka skrobia. W skład bulw topinamburu wchodzi 75-79% wody, 15-16% węglowodanów (z czego 70-90% to inulina), 2-3% białka, 0,4-0,6% tłuszczu, 3,3-7,0% błonnika, 1,6-4,4% to popiół (Ma i in., 2011; Negro i in., 2006). Bulwy są również dobrym źródłem witamin z grupy B, kwasu pantotenowego, potasu, fosforu, witaminy C, żelaza i wapnia. Skład chemiczny bulw zmienia się w zależności od formy i warunków uprawy, terminu sadzenia i zbioru oraz odmiany (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Ma i in., 2011; Mendez-Yanez i in., 2022). Przyrost suchej masy pod koniec wzrostu (na krótko przed kwitnieniem, około 10 września) skierowany jest głównie do części nadziemnych rośliny. Po tym okresie całkowita sucha substancja zaczyna wzrastać w bulwach, gdzie materiały uzupełniające migrują z łodyg. Sucha substancja bulw pozostaje niezmieniona przez zimę. Wilgotność i zawartość cukru w zielonych częściach rośliny i bulwach zależy od położenia geograficznego pola oraz terminu zbioru i wilgotności gleby (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Mendez-Yanez i in., 2022; Nick i in., 2011).

Najważniejszym związkiem zawartym w bulwach topinamburu jest polisacharyd należący do fruktanów, znany jako inulina, który stanowi 50-75% suchej masy (Liu i in., 2015). Topinambur to jedna z najlepiej plonujących roślin produkujących inulinę, jak cykoria, mniszek lekarski czy dalia. Inulina dobrze rozpuszcza się w ciepłej wodzie. Zawartość inuliny w bulwach w przeliczeniu na suchą masę zmienia się w okresie przechowywania. W wyższych temperaturach i z czasem przechowywania, poziom inuliny obniża się, a zwiększa zawartość fruktooligosacharydów i fruktozy (Cieślik i Gębusia, 2010; Mystkowska i Zarzecka, 2013). Gunnarson i in. (2014b) wykazali, że późniejszy zbiór tej rośliny skutkowało wyższą zawartością inuliny w bulwach. Bulwy topinamburu zawierają również węglowodany strukturalne, takie jak celuloza, hemiceluloza i substancje pektynowe. Ilość tych związków zależy głównie od odmiany i wynosi 0,8-1,5% w przeliczeniu na suchą masę bulw (Kim i Kim, 2014; Negro i in., 2006).

Inulina zawarta w topinamburze jest również istotna z żywieniowego punktu widzenia. Główną zaletą tego prebiotyku jest stymulowanie wzrostu bakterii, takich jak *Lactobacillus* czy *Bifidobacterium*, ograniczenie rozwoju niepożądanego mikroflory jelitowej oraz możliwości zmniejszenia ryzyka zachorowania na nowotwory. Poza tym inulina pobudza perystaltykę jelit, a także ułatwia wchłanianie żelaza, wapnia i magnezu. Inulina w połączeniu z błonnikiem i pektyną przyczynia się do redukcji poziomu szkodliwych związków, dlatego topinambur może

być wykorzystany w detoksykacji organizmu (Abou-Arab i in., 2011; Mystkowska i in., 2015; Rubel i in., 2014). Inulina w organizmie przekształcana jest w dobrze tolerowaną przez diabetyków fruktozę. Inulina pomaga normalizować glikemię w przebiegu cukrzycy typu 2, a także zmniejsza insulinooporność – wiąże się z wodą, zwiększa objętość i zmniejsza wartość energetyczną pożywienia, a także wpływa na biodostępność niektórych składników mineralnych: magnezu, wapnia, cynku i żelaza (Puangbut i in., 2015; Saengkanuk i in., 2011). Zawarta w bulwach topinamburu inulina obniża również poziom „złego” cholesterolu HDL, a tym samym zapobiega rozwojowi miażdżycy.

Bulwy topinamburu zawierają 0,8-3,5% białka. Azot ogólny stanowi 1,04-1,37% suchej masy bulw, z czego mniej niż 60% to azot białkowy. Wahania zawartości białka w bulwach związane są przede wszystkim z okresem wegetacji; młodsze rośliny zawierają więcej białka niż starsze. Skład aminokwasowy bulw topinamburu jest porównywalny do składu aminokwasów buraka pasternego (Cieslik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Ma i in., 2011; Mendez-Yanez i in., 2022).

Skład chemiczny popiołu bulw jest porównywalny do składu chemicznego bulw ziemniaka. Natomiast bulwy topinamburu charakteryzują się wyższą zawartością sodu, żelaza i krzemu; zawartość żelaza jest trzykrotnie wyższa, co podnosi wartość odżywczą bulw głównie dla ludzi i zwierząt cierpiących na anemię. Topinambur reguluje również ciśnienie krwi dzięki dużej zawartości potasu. Potas stanowi 20-30% popiołu bulw, inne składniki mineralne to miedź, mangan i cynk (Cieslik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Sawicka i in., 2021; Terlic i Altagic, 2009).

Tabela 1

Porównanie składu bulw topinamburu i ziemniaka (na 100 g)

Składniki odżywcze	Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	Ziemniak (<i>Solanum tuberosum</i>)	
woda	78	83,3	g
energia	73	58	kcal
energia	304	243	kJ
białko	2	2,57	g
tłuszcz całkowity	0,01	0,1	g
popiół	2,54	1,61	g
węglowodany, według różnicy	17,4	12,4	g
biłonnik pokarmowy, ogółem	1,6	2,5	g
cukry ogółem	9,6	-	g
wapń, Ca	14	30	mg
żelazo, Fe	3,4	3,24	mg

Składniki odżywcze	Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	Ziemniak (<i>Solanum tuberosum</i>)	
magnez, Mg	17	23	mg
fosfor, P	78	28	mg
potas, K	429	413	mg
sód, Na	4	10	mg
cynk, Zn	0,12	0,35	mg
miedź, Cu	0,14	0,423	mg
mangan, Mn	0,06	0,602	mg
selen, Se	0,7	0,3	µg
witamina C, kwas askorbinowy, ogółem	4	11,4	mg
tiamina	0,2	0,021	mg
ryboflawina	0,06	0,038	mg
niacyna	1,3	1,03	mg
kwas pantotenowy	0,397	0,302	mg
witamina B-6	0,077	0,239	mg
folian, ogółem	13	17	µg
kwas foliowy	0	0	µg
cholina, ogółem	30	–	mg
witamina B-12	0	0	µg
witamina A, RAE	1	0	µg
retinol	0	0	µg
karoten, beta	12	–	µg
karoten, alfa	0	–	µg
witamina A, IU	20	0	IU
likopen	0	–	µg
witamina E (alpha-tokoferol)	0,19	–	mg
witamina K (filochinon)	0,1	–	µg
kwasy tłuszczowe, nasycone ogółem	0	0,026	g
kwasy tłuszczowe ogółem jednonienasycone	0,004	0,002	g
kwasy tłuszczowe ogółem wielonienasycone	0,001	0,043	g
kwasy tłuszczowe ogółem trans	0	0	g
cholesterol	0	0	mg

Źródło: Dane Ministerstwa Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, USDA Branded Food Products Databases, opublikowane 4/1/2019.

3. Charakterystyka i uprawa topinamburu

Topinambur to roślina genetycznie spokrewniona ze słonecznikiem (zdjęcie 1) (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000). Jest to roślina wieloletnia, posiada grube i sztywne łodygi, owalne i ząbkowane na brzegach liście. Na szczycie łodygi i na końcach górnych rozgałęzień znajdują się kwiatostany. Roślina ta może osiągnąć 1,5-3 m wysokości. Topinambur posiada podziemne rozłogi, na końcach których tworzą się bulwy o różnym kształcie, wielkości i kolorze powierzchni w zależności od odmiany (rysunek 2). Barwa skórki może być różowa, żółta lub biała, a miąższ jest biały lub żółty. Bulwy mogą zimować na polu, wytrzymują temperatury nawet do -40°C przy okrywie śnieżnej; dlatego zbiór bulw jest możliwy w dowolnym okresie od końca września do końca kwietnia (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Long i in., 2016; Ma i in., 2011). Cecha ta wynika z wysokiego stężenia osmotycznie czynnej inuliny, głównej substancji rezerwowej bulw, rozpuszczalnej w soku komórkowym. Potencjał osmotyczny wewnątrz komórek w bulwach zależy od stopnia polimeryzacji inuliny, dzięki czemu rośliny są w stanie wytrzymać suszę i chłód w okresie zimowym. Podczas niższych temperatur, topinambur kwitnie i rzadko pojawiają się nasiona. Topinambur jest rośliną ogólnie odporną na szkodniki i choroby roślin (Kays i Nottingham, 2008; Slimestad i in., 2009). Topinambur rozmnaża się z bulw, tworzących się na końcach podziemnych stolonów (pędów). Stolony zaczynają rosnąć na początku czerwca, a pierwsze bulwy pojawiają się po 10 dniach. Liczba bulw rośnie aż do okresu kwitnienia i może osiągnąć około 35-40 na roślinę. Wadą uprawy topinamburu jest trudniejsza niż w przypadku ziemniaków mechanizacja sadzenia i zbioru. Topinambur jest rośliną bardzo ekspansywną i może bardzo szybko rozprzestrzenić się po całym polu. Roślina ta rośnie bardzo intensywnie i pobiera z gleby duże ilości wody i składników pokarmowych. Przechowywanie bulw nastęrcza pewne trudności, jednak badania wykazały, że bulwy można przechowywać bez większych strat w temperaturze $2,5^{\circ}\text{C}$ przez 5 miesięcy, po wysuszeniu na powietrzu, w atmosferze dwutlenku węgla (10-15%) i tlenu (2-5%). Jednak w celu ułatwienia zbioru alternatywą jest zbiór biomasy nadziemnej przed bulwami i wykorzystanie łodyg zawierających inulinę do produkcji etanolu. Zbiór łodyg topinamburu powinien nastąpić w czasie, gdy osiągną maksymalną zawartość inuliny, zanim ta substancja zapasowa przemieści się do bulw (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Kays i Nottingham, 2008; Long i in., 2016).

Zdjęcie 1

Część nadziemna topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.)

Źródło: Pixabay (<https://pixabay.com/pl/photos/topinambur-s%c5%82oneczniki-6554043/>).

Zdjęcie 2

Część podziemna (bulwy) topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.)

Źródło: Pixabay (<https://pixabay.com/pl/photos/warzywo-topinambur-jedzenie-bulwy-3569736/>).

Topinambur ma niewielkie wymagania glebowe i nawozowe, dobrze rośnie na glebach lekkich i piaszczystych, terenach zdewastowanych, słabo plonuje na glebach kwaśnych i podmokłych. Roślina ta ma silny system korzeniowy i szybciej zacieńa glebę niż inne rośliny okopowe, dlatego może być uprawiana na uboższych stanowiskach. Wymagania pokarmowe topinamburu są podobne do wymagań ziemniaków, a roślina ta może rosnać na tym samym polu przez wiele lat. Jest to gatunek o bardzo dużym potencjale produkcyjnym. Masa zielonej części rośliny może osiągnąć 70 ton z ha, a bulwy plonują od 12 do 36 ton z ha (Cieślak i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Liu i in., 2015; Long i in., 2016; Mystkowska i Zarzecka, 2013; Yang i in., 2015). Izdebski (2009) przeprowadził analizę możliwości i efektywności ekonomicznej produkcji topinamburu w Polsce. Wyniki pokazały, że zakładanie plantacji topinamburu jest droższe od założenia plantacji kukurydzy czy pszenicy o ok. 13%. Jednak już w drugim roku uprawa topinamburu jest tańsza. Stan ten wynikał z faktu, że topinambur jest rośliną wieloletnią, która utrzymuje się w jednym miejscu przez kilka lat. Aby jednak poprawić ekonomikę wykorzystania topinamburu, należy całkowicie wyeksploatować całą roślinę. Obecnie w Polsce dostępne są na rynku dwie odmiany topinamburu: Albik charakteryzujący się bulwami jasnymi i podłużnymi oraz Rubik charakteryzujący się bulwami kulistymi i skórcie koloru fioletowego (Topolska i in., 2014). Topinambur znajduje się w bazie danych Ministerstwa Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA Branded Food Products Databases), która podaje dane dotyczące składników żywności, w tym składników odżywczych, które pochodzą z analiz, obliczeń i opublikowanej literatury dla kompleksowej listy żywności. Topinambur wpisany jest do kategorii żywności: warzywa i warzywne produkty.

4. Zastosowanie topinamburu

Wykorzystanie topinamburu może być bardzo szerokie. Zainteresowanie przemyśle spożywczym topinamburem wynika przede wszystkim z wysokiej zawartości inuliny w bulwach, możliwości produkowania fruktozy czy syropów fruktozowych (Abou-Arab i in., 2011; Baldini i in., 2004; De Mastro i in., 2004; Rubel i in., 2014; Yu i in., 2011). Bulwy topinamburu ze względu na wysoki poziom zawartej w nich inuliny są przedmiotem zainteresowania w żywieniu diabetyków, czy produkcji żywności funkcjonalnej z uwagi na fakt, że inulina i jej pochodne – fruktooligosacharydy, są naturalnymi prebiotykami, które stymulują wzrost pożądaną flory jelitowej, szczególnie bifidobakterii (Horochowska i in., 2017; Pan i in., 2009; Yang i in., 2015). Przykładem żywności funkcjonalnej są chipsy z topinamburu, których technologię opatentowała firma Paula z Kalisza (<https://paulaingredients.com/pl/suszone-warzywa/>). Ponadto Ignaczak i in. (2022) prowadzili badania nad

wpływem suszenia w procesie produkcji przekąsek z bulw topinamburu mające na celu uzyskiwanie produktu o jak najlepszych parametrach prozdrowotnych. Topinambur jest również źródłem związków bioaktywnych, które zostały wyizolowane zarówno z bulw, jak i nadziemnych części rośliny (Kapusta i in., 2013; Pan i in., 2009; Yuan i in., 2012). Obecnie na polskim rynku dostępny jest suplement diety zawierający sproszkowane bulwy topinamburu („Topinulin Active”) oraz koncentrat napoju probiotycznego zawierający 60% ekstraktu z fermentowanych bulw topinamburu („Joy Day, Eko koncentrat napoju probiotycznego”).

Topinambur może być również wykorzystany jako zielonka lub kiszonka, a także materiał do produkcji różnych chemikaliów czy farmaceutyków (Gunnarsson i in., 2014a; Negro i in., 2006; Pan i in., 2009; Yang i in., 2015). Liście i łodygi topinamburu można przeznaczyć bezpośrednio na paszę, na kiszonkę, susz czy kompost lub pozostawić jako nawóz pod następny plon (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000). Topinambur znalazł również zastosowanie przy przygotowywaniu podłoża do uprawy boczników (Kaczmarek, 2022). Natomiast wykazano, że sieczka z surowych łodyg jest dobrym podłożem do produkcji grzybów jadalnych, m.in. bocznika (Ziombra i Woźniak, 2004). Bulwami topinamburu można skarmiać zwierzęta, przy czym bulwy mogą być stosowane surowe ponieważ nie zawierają, tak jak ziemniaki, substancji trujących dla zwierząt (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Buclaw, 2016). Często topinambur sadzony jest na polanach leśnych i obrzeżach pól stanowiąc zaporę dla zwierzyny leśnej, która zjada bulwy topinamburu nie niszcząc przez to upraw np. ziemniaków (<https://agrodoradca24.pl/inne-uprawy/topinambur-uprawa-i-dlaczego-warto-do-niej-wrocic-6100.html>). Bulwy topinamburu o jasnej skórce mogą być używane do celów kulinarnych, zarówno w formie gotowanej, smażonej czy na surowo, jak również w przemyśle zielarskim (Cieślik i Filipiak-Florkiewicz, 2000; Mendez-Yanez i in., 2022; Mystkowska i Zarzecka, 2013; Mystkowska i in., 2015).

Ponadto topinambur może być wykorzystany do produkcji kwasu bursztynowego (Gunnarsson i in., 2014a), a także kwasu L-mlekowego (Choi i in., 2012), butanolu (Chen i in., 2010; Sarchami i Rehmann, 2015), sorbitolu czy kwasu masłowego (Huang i in., 2011; Johansson i in., 2015) i kwasu cytrynowego (Wang i in., 2013). Li i in. (2010) wykorzystali łodygi i bulwy topinamburu do produkcji 2,3-butanodiolu przez *Klebsiella pneumoniae*. Topinambur może być również wykorzystywany do produkcji piwa i wina. Ekstrakt soku z bulw i łodyg można dodawać na różnych etapach przygotowania piwa. Tak więc napój charakteryzuje się słodkim smakiem i owocowym zapachem (Kays i Nottingham, 2008). Przemysł gorzelniczy poświęca wiele uwagi poszukiwaniu tanich surowców cukrowniczych do wydajnej produkcji etanolu. Bulwy topinamburu wykazują doskonały potencjał jako alternatywny surowiec do produkcji etanolu (3900-6000 L/ha), który

jest nieco niższy lub nawet porównywalny z wydajnością etanolu uzyskiwanym z buraków cukrowych (5500 L/ha), kukurydzy (4182 L/ha) lub trzciny cukrowej (6471 L/ha) (Czeczko, 2011; Goldemberg i Guardabassi, 2010; Gunnarsson i in., 2014b; Hinkowa i Bubnik, 2001; Liu i in., 2015; Ma i in., 2011; Matias i in., 2015; Razmovski i in., 2011; Rossini i in., 2019; Wang i in., 2015). W badaniach (Kim i in., 2013; Kim i Kim, 2014; Negro i in., 2006) stwierdzono, że efektywność produkcji etanolu z bulw topinamburu można zwiększyć poprzez jednoczesny odzysk białek, wykorzystanie produktów ubocznych procesu fermentacji oraz wykorzystanie całej rośliny, tj. łodygi i bulwy. Badania (Godin i in., 2013) potwierdziły, że podłoża fermentacyjne z wcześniej zebranych bulw dały niższą wydajność etanolu ze względu na dużą zawartość polimerów inuliny na początku zbioru. Różnice w ilości cukrów fermentujących, a co za tym idzie wydajności etanolu, wynikają również z użytych do doświadczeń odmian topinamburu (Bhagia i in., 2017; Rossini i in., 2019). Niemniej jednak, aby poprawić ekonomikę topinamburu, w ostatnim czasie opracowano produkcję biopaliw drugiej generacji z materiału lignocelulozowego. Ze względu na zawartość celulozy i hemicelulozy w łodygach topinamburu, które są łatwiejsze do zbioru niż bulwy, nadziemna część tej rośliny może być z powodzeniem wykorzystywana do fermentacji etanolowej (Khatum i in., 2015; Kim i in., 2013; Kim i Kim, 2014; Negro i in., 2006). Stwierdzono, że zawartość celulozy w części nadziemnej topinamburu uzyskanego z hektara jest wyższa niż w innych roślinach bogatych w celulozę (Gunnarsson i in., 2014b). Ponadto Maj i in. (2013) przedstawiają także możliwości pozyskiwania biogazu z topinamburu, którego można uzyskać około 3000 – 5000 m³ z 1 ha uprawy.

5. Podsumowanie

Zapotrzebowanie na bogate w węglowodany, odnawialne źródła energii wpłynęło na zainteresowanie topinamburem (*Helianthus tuberosus* L.). Wykazano, że roślina ta ma znaczenie gospodarcze jako potencjalny surowiec w wielu gałęziach przemysłu. Topinambur posiadający zalety takie jak wysoka wydajność bulw i części nadziemnej, niewielkie wymagania glebowe, szerokie możliwości adaptacji do warunków klimatycznych, jest zrównoważonym surowcem przemysłowym przy zachowaniu możliwości wykorzystania wszystkich części rośliny. Możliwości pełnego wykorzystania potencjału topinamburu sprawiają, że roślina ta z powodzeniem może konkurować z innymi surowcami, m.in. w produkcji etanolu.

Podsumowując zalety i wady topinamburu należy stwierdzić, że jego znaczenie gospodarcze będzie systematycznie rosło, a postęp w tej dziedzinie będzie prawdopodobnie skorelowany między innymi z hodowlą nowych odmian czy rosnącymi potrzebami rekultywacji gruntów zdegradowanych. Topinambur po-

winien przede wszystkim zająć stałe miejsce w gospodarstwach położonych na terenach o niesprzyjających warunkach glebowych. W takich warunkach spełnia bezsprzecznie cechy rośliny stanowiącej alternatywę dla innych zielonek i roślin okopowych, których uprawa może być zawodna. Biorąc pod uwagę wszystkie zalety topinamburu oraz ciągle poszukiwanie tanich i wydajnych surowców cukrowych, topinambur wydaje się odpowiednią rośliną z możliwością zastosowania na skalę przemysłową.

LITERATURA

1. Abou-Arab, A.A., Talaat, H.A., Abu-Salem, F.M. (2011). Physico-chemical properties of inulin produced from Jerusalem artichoke tubers on bench and pilot plant scale. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5(5), 1297-1309.
2. Baldini, M., Danuso, F., Turi, M., Vannozzi, G.P. (2004). Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Ind. Crops Prod.* 19, 25-40.
3. Bhagia, S., Akinosho, H., Ferreira, J.F.S., Ragauskas, A.J. (2017). Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*, 14, 587-599.
4. Buclaw, M. (2016). The use of inulin in poultry feeding: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1-8.
5. Chen, L., Xin, C., Deng, P., Ren, J., Liang, H., Bai, F. (2010). Butanol production from hydrolysate of Jerusalem artichoke juice by *Clostridium acetobutylicum* L7. *Ch. J. Biotechnol.* 26, 7, 991-996.
6. Choi, H.Y., Ryu, H.K., Park, K.M., Lee, E.G., Lee, H., Kim, S.W., Choi, E.S. (2012). Direct lactic acid fermentation of Jerusalem artichoke tuber extract using *Lactobacillus paracasei* without acidic or enzymatic inulin hydrolysis. *Bioresour. Technol.*, 114, 745-747.
7. Cieślak, E., Filipiak-Florkiewicz, A. (2000). Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) - możliwości wykorzystania do produkcji żywności funkcjonalnej. *Żywność*, 1(22), 73-81.
8. Cieślak, E., Gębusia, A. (2010). Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) – bulwa o właściwościach prozdrowotnych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 91-103.
9. Czeczko, R. (2011). Topinambur (*Helianthus tuberosus*) jako roślina energetyczna. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 10, 123-127.
10. De Mastro, G., Manolio, G., Marzi, V. (2004). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.): potential crops for inulin production in the Mediterranean area. *Acta Hort.*, 629, 365-374.
11. Godin, B., Lamaudi'ere, S., Agneessens, R., Schmit, T., Goffart, J.P., Stilmant, D., Gerin, P.A., Delcarte, J. (2013). Chemical characteristics and biofuels potentials of various plant biomasses: influence of the harvesting date. *J. Sci. Food Agric.*, 93, 3216-3224.
12. Goldemberg, J., Guardabassi, P. (2010). The potential for first-generation ethanol production from sugarcane. *Biofuels Bioprod. Biorefining*, 4, 17-24.
13. Gunnarsson, I.B., Karakashev, D., Angelidaki, I. (2014a). Succinic acid production by fermentation of Jerusalem artichoke tuber hydrolysate with *Actinobacillus succinogenes* 130Z. *Ind. Crops Prod.*, 62, 125-129.

14. Gunnarsson, I.B., Svensson, S.E., Johansson, E., Karakashev, D., Angelidaki, I. (2014b). Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. *Ind. Crop. Prod.*, 56(2), 231-240.
15. Hinkowa, A., Bubnik, Z. (2001). Sugar beet as a raw material for bioethanol production. *Czech J. Food Sci.*, 19(6), 224-234.
16. Horochowska, M., Kołeczek, E., Zdrojewicz, Z., Jagiełło, J., Pawlus, K. (2017). Topinambur – właściwości odżywcze i lecznicze słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). *Pediatr. Endocrinol. Diabetes Metab.*, 23(1), 30-36.
17. Huang, J., Cai, J., Wang, J., Zhu, X., Huang, L., Yang, S.T., Xu, Z. (2011). Efficient production of butyric acid from Jerusalem artichoke by immobilized *Clostridium tyrobutyricum* in a fibrous-bed bioreactor. *Bioresour. Technol.*, 102, 3923-3926.
18. Ignaczak, A., Masiarz, E., Makowska, M., Kowalska, H. (2022). Kształtowanie właściwości przekąski z topinamburu *Helianthus tuberosus* L. wytwarzanej metodami osmotycznego odwadniania i suszenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 29, 3(132), 85-99.
19. Izdebski, W. (2009). Jerusalem artichoke – potential and possibilities of use in power industry, TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN 9, 93-98.
20. Johansson, E., Prade, T., Angelidaki, I., Svensson, S.E., Newson, W.R., Gunnarsson, I.B., Hovmalm, H.P. (2015). Economically viable components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 8997-9016.
21. Kaczmarek, M. (2022). *Uzdrowicielska moc grzybów shiitake*. Gospodarstwo Marka Strojsa. Wielkopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Poznaniu (<https://www.wodr.poznan.pl/doradztwo/rozwoj-obszarow-wiejskich/uzdrowicielska-moc-grzybow-shiitake-gospodarstwo-marka-strojsa>).
22. Kapusta, I., Sznupar Krok, E., Bobrecka Jamro, D., Cebulak, T., Kaszuba, J., Salach, R.T. (2013). Identification and quantification of phenolic compounds from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *J. Food Environ.*, 11, 601-606.
23. Kays, S.J., Nottingham, S.F. (2008). *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke: Helianthus tuberosus* L. Boca Raton FL, USA, CRC Press.
24. Khatum, M.M., Li, Y.H., Liu, C.G., Zhao, X.Q., Bai, F.W. (2015). Fed-batch saccharification and ethanol fermentation of Jerusalem artichoke stalks by an inulinase producing *Saccharomyces cerevisiae* MK01. *RSC Adv.*, 5, 107112-107118.
25. Kim, S., Kim, C.H. (2014). Evaluation of whole Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for consolidated bioprocessing ethanol production. *Renew. Energ.*, 65, 83-91.
26. Kim, S., Park, J.M., Kim, C.H. (2013). Ethanol production using whole plant biomass of Jerusalem artichoke by *Kluyveromyces marxianus* CBS1555. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 169 (5), 1531-1545.
27. Li, D., Dai, J.Y., Xiu, Z.L. (2010). A novel strategy for integrated utilization of Jerusalem artichoke stalk and tuber for production of 2,3-butanediol by *Klebsiella pneumoniae*. *Bioresour. Technol.*, 101, 8342-8347.
28. Li, W., Zhang, J., Yu, C., Li, Q., Dong, F., Wang, G., Gu, G., Guo, Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydr. Polym.*, 121, 315-319.
29. Liu, Z.X., Steinberger, Y., Chen, X., Wang, J.S., Xie, G.X. (2015). Chemical composition and potential ethanol yield of Jerusalem artichoke in a semi-arid region of China. *Italian J. Agron.*, 10(603), 34-43.

30. Long, X.H., Mehta, S.K., Liu, Z.P. (2008). Effect of NO₃—N enrichment on seawater stress tolerance of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *Pedosphere*, 18(1), 113-123.
31. Long, X.H., Shao, H.B., Liu, L., Liu, L.P., Liu, Z.P. (2016). Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 54, 1382-1388.
32. Ma, X.Y., Zhang, L.H., Shao, H.B., Xu, G., Zhang, F., Ni, F.T., Brestic, M. (2011). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values. *J. Med. Plants Res.*, 5(8), 272-1279. doi.org/10.5897/JMPR.9000848
33. Maj, G., Piekarski, W., Słowik, T. (2013). Topinambur (*Helianthus tuberosus*) substratem do produkcji biogazu. *Gaz, Woda i Technika sanitarna*, 2, 59-60.
34. Matias, J., Encinar, J.M., Gonzalez, J., Gonzalez, J.F. (2015). Optimization of ethanol fermentation of Jerusalem artichoke tuber juice using simple technology for a decentralised and sustainable ethanol production. *Energy for Sustainable Development*, 25, 34-39.
35. Mendez-Yanez, A., Ramos, P., Morales-Quintana, L. (2022). Human health benefits through daily consumption of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Horticulturae*, 8, 1-10.
36. Mystkowska, I., Zarzecka, K. (2013). Wartość odżywcza i prozdrowotna słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). *Postępy Fitoterapii*, 2, 123-126.
37. Mystkowska, I., Zarzecka, K., Gugała, M., Baranowska, A. (2015). Właściwości probiotyczne i farmakologiczne słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). *Probl. Hig. Epidemiol.*, 96(1), 64-66.
38. Negro, M.J., Ballesteros, I., Manzanares, P., Oliva, J.M., Saez, F., Ballesteros, M. (2006). Inulin-containing biomass for ethanol production. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 132(1-3), 922-932.
39. Nick, R., Don, H., Mohammad, R. (2011). *Optimization of the economic potential of Jerusalem artichoke as a feedstock for the production of biofuels*. 5th Annual Growing the Margins: Rural Green Energy and 3th Annual Canadian Farm and Food Biogas, London, ON, Canada.
40. Pan, L., Sinden, M.R., Kennedy, A.H., Chai, H., Watson, L.E., Graham, T.L., Kinghorn, A.D. (2009). Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). *Phytochem. Lett.*, 2, 15-18.
41. Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N., Holbrook, C.C., Patanothai, A. (2015). Responses of inulin content and inulin yield of Jerusalem artichoke to seasonal environments. *Int. J. Plant Prod.*, 9(4), 599-608.
42. Razmovski, R.N., Sciban, M.B., Vucurovic, V.M. (2011). Bioethanol production from Jerusalem artichoke by acid hydrolysis. *Rom. Biotechnol. Lett.*, 16(5), 6497-6503.
43. Rossini, F., Provenzano, M.E., Kuzmanovi'c, L., Ruggeri, R. (2019). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A versatile and sustainable crop for renewable energy production in Europe. *Agronomy*, 9, 528.
44. Rubel, I.A., Perez, E.E., Genovese, D.B., Manrique, G.D. (2014). *In vitro* prebiotic activity of inulin-rich carbohydrates extracted from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers at different storage times by *Lactobacillus paracasei*. *Food Res. Int.*, 62, 59-65.

45. Saengkanuk, A., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanothai, A., Srijaranai, S. (2011). A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Eur. Food Res. Technol.*, 233, 609-616.
46. Sarchami, T., Rehmann, L. (2015). Optimizing acid hydrolysis of Jerusalem artichoke-derived inulin for fermentative butanol production. *Bioenerg. Res.*, 8, 1148-1157.
47. Sawicka, B., Danil'cenko, H., Jariene, E., Skiba, D., Rachoń, L., Barbaś, P., Pszczółkowski, P. (2021). Nutritional value of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) grown in organic system under Lithuanian and Polish conditions. *Agriculture*, 11, 1-22.
48. Slimestad, R., Seljaasen, R., Meijer, K., Skar, S.L. (2009). Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructooligosaccharides in stems and tubers. *J. Sci. Food Agr.*, 90, 956-964.
49. Tassoni, A., Bagni, N., Ferri, M., Franceschetti, M., Khomutov, A., Marques, M.P., Fiuza, S.M., Simonian, A.R., Serafini, F.D. (2010). *Helianthus tuberosus* and polyamine research: Past and recent applications of a classical growth model. *Plant Physiol. Biochem.*, 48(7), 496-505.
50. Terlic, S., Altagic, J. (2009). Nitrogen and sugar content variability in tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *Genetica*, 41(3), 289-295.
51. Topolska, K., Filipiak-Florkiewicz, A., Cieślik, E., Florkiewicz, A., Maciejaszek, I. (2014). Wpływ dodatku rozdrobnionych bulw topinamburu (*helianthus tuberosus* l.) Na jakość mikrobiologiczną sorbetów owocowych. PTTŻ, Oddział Małopolski, WTŻ, UR im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Komitet Nauk o Żywności PAN, Właściwości produktów i surowców żywnościowych. Wybrane zagadnienia, 205-215.
52. USDA: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=jerusalem%20artichoke>
53. Wang, L.F., Wang, Z.P., Liu, X.Y., Ch, Z.M. (2013). Citric acid production from extract of Jerusalem artichoke tubers by the genetically engineered yeast *Yarrowia lipolytica* strain 30 and purification of citric acid. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 36, 1759-1766.
54. Wang, Y.Z., Zou, S.M., He, M.L., Wang, C.H. (2015). Bioethanol production from the dry powder of Jerusalem artichoke tubers by recombinant *Saccharomyces cerevisiae* in simultaneous saccharification and fermentation. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 42(4), 543-551.
55. Yang, L., He, Q.S., Corscadden, K., Udenigwe, C.C. (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Plant Biotechnol. Rep.*, 5, 77-88.
56. Yu, J., Jiang, J., Ji, W., Li, Y., Liu, J. (2011). Glucose-free fructose production from Jerusalem artichoke using a recombinant inulinase-secreting *Saccharomyces cerevisiae* strain. *Biotechnol. Lett.*, 33(1), 147-52.
57. Yuan, X., Gao, M., Xiao, H., Tan, C., Du, Y. (2012). Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Food Chem.*, 133, 10-14.
58. Ziombra M., Woźniak W. (2004). Ocena przydatności nadziemnych części roślin topinamburu dla wzrostu grzybni boczniaka w zależności od sposobu pasteryzacji. *Folia Univ. Agric. Stetin, Agricultura*, 239(95), 443-447.
59. <https://paulaingredients.com/pl/suszone-warzywa/>
60. <https://agrodoradca24.pl/inne-uprawy/topinambur-uprawa-i-dlaczego-warto-doniej-wrocic-6100.html>