

DOROTA GAŁKOWSKA, KAROLINA PYCIA, KAMIŁA KAPUŚNIAK,
LESŁAW JUSZCZAK

ZANIECZYSZCZENIA ŻYWNOSCI – CHARAKTERYSTYKA I REGULACJE PRAWNE. CZĘŚĆ I – TOKSYNY ROŚLINNE

Streszczenie

Wprowadzenie: Bezpieczeństwo zdrowotne żywności to ogół warunków, które muszą być spełniane, i działań, które muszą być podejmowane na wszystkich etapach produkcji żywności lub obrotu nią w celu zapewnienia zdrowia i życia człowieka. Bezpieczeństwo żywności jest gwarantowane poprzez odpowiednio kształtowane prawo żywnościowe, a polityka bezpieczeństwa żywności prowadzona przez instytucje Unii Europejskiej obejmuje wszystkie etapy łańcucha żywnościowego, od produkcji do konsumpcji, oraz gwarantuje jasność informacji na temat pochodzenia i składu żywności oraz jej oznakowania. Nie wszystkie zagrożenia mogą być jednak całkowicie wyeliminowane z żywności, dlatego ich pozostałości są ściśle regulowane prawnie. Kluczowym rozwiązaniem w tym obszarze było Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Ten akt prawny, wielokrotnie uzupełniany i nowelizowany, został zastąpiony przez Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006. Celem pracy była charakterystyka toksyn roślinnych jako zanieczyszczeń w żywności, których najwyższe dopuszczalne poziomy ustalono nowelizacjami rozporządzenia WE 1881/2006 i zawarto je w obowiązującym rozporządzeniu UE 915/2023.

Wyniki i wnioski: Liczne nowelizacje rozporządzenia (WE) nr 1881/2006, a w konsekwencji Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915, wprowadziły najwyższe dopuszczalne poziomy dla następujących toksyn roślinnych: kwasu erukowego, alkaloidów tropanowych i pirolizydynowych oraz alkaloidów opium, cyjanowodoru i glikozydów cyjanogennych oraz ekwiwalentów delta-9-tetrahydrokannabinolu. Ze względu na potencjalne zagrożenie tymi substancjami ich najwyższe pozostałości w poszczególnych środkach spożywczych muszą być regulowane i monitorowane w ramach działań urzędowej kontroli

Dr hab. inż. prof. URK D. Galkowska ORCID: 0000-0001-8917-4610, Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122,30-149 Kraków; dr inż. K. Pycia ORCID: 0000-0001-7337-0860; Zakład Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Uniwersytet Rzeszowski; dr K. Kapuśniak ORCID: 0000-0002-8360-8446 Katedra Dietetyki i Badań Żywności, Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych, Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie, ul. Waszyngtona 4/8 42-200 Częstochowa; prof dr hab. inż. L. JuszczaK; ORCID: 0000-0001-7933-1889, Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122,30-149 Kraków; Kontakt e-mail: dorota.galkowska@urk.edu.pl

żywności, a przy pozyskiwaniu surowców mogących zawierać tego typu substancje konieczne jest zachowanie odpowiednich zaleceń i dobrych praktyk.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo żywności, zanieczyszczenia żywności, toksyny roślinne

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo zdrowotne żywności jest przedmiotem zainteresowania zarówno naukowców, jak i konsumentów, a także innych uczestników łańcucha żywnościowego oraz organów działających w ramach urzędowej kontroli żywności. Jest ono definiowane jako ogół warunków, które muszą być spełniane, dotyczących w szczególności: stosowanych substancji dodatkowych i aromatów, poziomów substancji zanieczyszczających, pozostałości pestycydów, warunków napromieniania żywności oraz cech organoleptycznych i działań, które muszą być podejmowane na wszystkich etapach produkcji żywności lub obrotu w celu zapewnienia zdrowia i życia człowieka [43]. Obok czystości mikrobiologicznej zawartość zanieczyszczeń natury chemicznej stanowi istotne kryterium bezpieczeństwa zdrowotnego produktów spożywczych. Substancjami toksycznymi dla organizmu człowieka, a obecnymi w żywności, mogą być składniki naturalne, które są produktami metabolizmu organizmów roślinnych [3, 9, 18]. Surowce roślinne mogą być źródłem substancji toksycznych stwarzających poważne ryzyko narażenia zdrowia ludzi i zwierząt. Toksyczność roślin jest przypisywana naturalnie występującym toksynom, w szczególności alkaloidom powstającym w wyniku przemian metabolicznych w komórkach roślinnych [3, 18, 23]. Obecność tych substancji związana jest najczęściej z pełnieniem przez nie różnych funkcji biologicznych w roślinie, zwłaszcza obronnych przed chorobami, szkodnikami, pasożytami i niesprzyjającymi warunkami środowiskowymi czy przed urazami mechanicznymi. Związki te spożywane z roślinami przez zwierzęta działają w mniejszym lub większym stopniu szkodliwie na ich zdrowie [3]. Ponadto związki toksyczne wytwarzane przez rośliny mogą być wprowadzane do organizmów zwierząt bądź ludzi w sposób przypadkowy, często jednorazowo, jak i mogą być pobierane wraz z codzienną dawką pokarmową przez dłuższy czas, kumulując się w organizmie [18].

Obszerną grupą naturalnych substancji toksycznych są alkaloidy występujące w szerokiej gamie gatunków roślin, w tym w istotnych dla rolnictwa rodzinach roślin należących do m.in. kapustowatych (*Brassicaceae*), bobowatych (*Fabaceae*) i psiankowatych (*Solanaceae*) [3, 18, 25, 27]. Alkaloidy są związkami biologicznie czynnymi należącymi do największej grupy metabolitów wtórnych wytwarzanych przez rośliny. W swojej strukturze zawierają atom azotu w układzie heterocyklicznym. Substancje te są wytwarzane w odpowiedzi na stres biotyczny lub abiotyczny, co powoduje, że są one bardzo zróżnicowane pod względem sposobów biosyntezy, struktury chemicznej i właściwości [18]. Alkaloidy jako szeroko rozpowszechnione toksyny pochodzenia

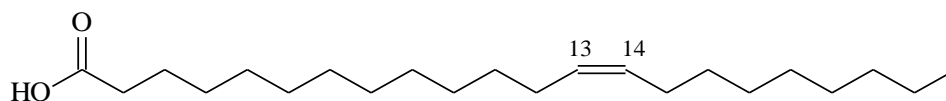
naturalnego wykazują wysoką i zróżnicowaną aktywność biologiczną oraz zwykle silne, często trujące działanie fizjologiczne na organizm człowieka. Z drugiej strony, ich unikatowe właściwości powodują, że wykorzystuje się je w medycynie i farmacji. Niektóre z nich, podawane w niewielkich dawkach, przeciwdziałają różnym chorobom i dolegliwościom [1, 15, 23].

W Rozporządzeniu Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. [30] nie ujęto najwyższych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń toksynami roślinnymi w środkach spożywczych, jednak liczne badania naukowe oraz działalność Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) przyczyniły się do licznych nowelizacji tego rozporządzenia, a w konsekwencji do wydania przez Komisję Europejską nowego Rozporządzenia 2023/915 w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności [38]. W załączniku I do ww. Rozporządzenia, w punkcie 2, utworzono nową kategorię zanieczyszczeń – toksyny roślinne. Obok wcześniej wspomnianych alkaloidów, do kategorii tej włączono kwas erukowy, cyjanowodór i glikozydy cyjanogenne oraz ekwiwalenty delta-9-tetrahydrokannabinolu (Δ^9 -THC).

Celem pracy była charakterystyka toksyn roślinnych jako zanieczyszczeń w żywności, których najwyższe dopuszczalne poziomy zostały wprowadzone nowelizacjami Rozporządzenia Komisji (WE) nr 1881/2006 i zawarto je w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915.

Kwas erukowy

Kwas erukowy to zwyczajowa nazwa kwasu *cis*-13-dokozenowego (lub Z-13-dokozenowego), tj. jednonienasyconego kwasu tłuszczowego o 22 atomach węgla, w którym podwójne wiązanie występuje w pozycji C-13 (ryc. 1). Licząc od grupy metylowej cząsteczki, wiązanie podwójne jest umiejscowione w pozycji n-9 (lub ω -9), co klasyfikuje kwas erukowy jako kwas tłuszczowy omega-9. Kwas erukowy jest zapisywany skrótowo jako kwas 22:1 n-9 (lub 22:1 ω -9) albo 22:1 Δ 13c [21, 40].



Rycina 1. Struktura chemiczna kwasu erukowego [40]

Figure 1. Chemical structure of erucic acid [40]

Kwas erukowy występuje w nasionach roślin gatunków z rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*), takich jak rzepak (*Brassica napus*), rzepak czarny (*Brassica nigra*), rzepak brunatny (*Brassica juncea*), kapusta abisyńska (*Brassica carinata*), rzepa właściwa (*Brassica rapa*) czy gorczyca biała (*Sinapis alba*), a także w roślinach z tej rodziny uprawianych jako warzywa jadalne, takich jak brokuły, jarmuż, kapusta, czy

rzodkiewka [1, 14, 21, 40]. Za najbogatsze źródła kwasu erukowego uważa się niektóre gatunki i pokrewne odmiany *B. napus*, *B. rapa*, *B. carinata*, w których omawiany związek stanowi 40 ÷ 50 % ilości wszystkich kwasów tłuszczowych [1]. Z nasion *Brassica napus* wytwarzany jest jeden z najpopularniejszych olejów jadalnych, czyli olej rzepakowy, zaliczany do najcenniejszych tłuszczów jadalnych ze względu na korzystny dla zdrowia człowieka skład ilościowy i jakościowy kwasów tłuszczowych oraz wysoką zawartość witamin E i K [7]. Do celów spożywczych tłoczy się go z nasion odmian rzepaku o niskiej zawartości kwasu erukowego (ang. LEAR – *low erucic acid rapeseed*), wynoszącej zwykle poniżej 0,5 % całkowitej ilości kwasów tłuszczowych [14]. Taki rzepak nazywany jest również podwójnie ulepszonym lub dwuzerowym (typ 00), ponieważ nie tylko zawiera znikome ilości kwasu erukowego (maksymalnie 2 %), ale także ma zmniejszoną zawartość glukozyzolanów (poniżej 15 $\mu\text{mol/g}$ śrutu poekstrakcyjnej) [1, 7]. Z kolei olej z odmian rzepaku o wysokiej zawartości kwasu erukowego (ang. HEAR – *high erucic acid rapeseed*) wykorzystywany jest m.in. w przemyśle chemicznym [21]. Kwas erukowy występuje również w innych olejach, w tym w oleju słonecznikowym (do 900 mg/100 g), a także w popularnych produktach spożywczych, np. w płatkach zbożowych (do 500 mg/100 g), w ciastach (do 600 mg/100 g), w łososiu (do 800 mg/100 g) lub w orzechach (do 300 mg/100 g) [16].

Kwas erukowy występuje w żywności głównie jako składnik triacylogliceroli. W organizmie człowieka jest niemal całkowicie wchłaniany z przewodu pokarmowego i rozprowadzany do wielu narządów różnymi szlakami metabolicznymi. Uważa się przy tym, iż jego dystrybucja do mózgu jest niewielka. Z kolei mitochondria ludzkiego serca wykazują niską aktywność w kierunku β -utleniania kwasu erukowego. Niewiele natomiast wiadomo na temat wydalania kwasu erukowego z organizmu [21]. Istnieją dowody na to, że kwas erukowy obecny w paszy przenika do produktów pochodzenia zwierzęcego [21].

Wyniki badań naukowych przeprowadzonych w latach 70. ubiegłego wieku wykazały, iż kwas erukowy, obecny w dużych ilościach w uprawianych wówczas odmianach rzepaku, stanowił poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka [7]. Wyższy poziom kwasu erukowego w fosfolipidach w osoczu powiązано z częstszym występowaniem zastoinowej niewydolności serca w dwóch niezależnych kohortach, podczas gdy wyższy poziom kwasu erukowego krążącego w erytrocytach powiązано z mniejszą częstością występowania choroby niedokrwiennej serca. Uznano zatem, iż lipidoza mięśnia sercowego jest krytycznym skutkiem przewlekłego narażenia na kwas erukowy [21].

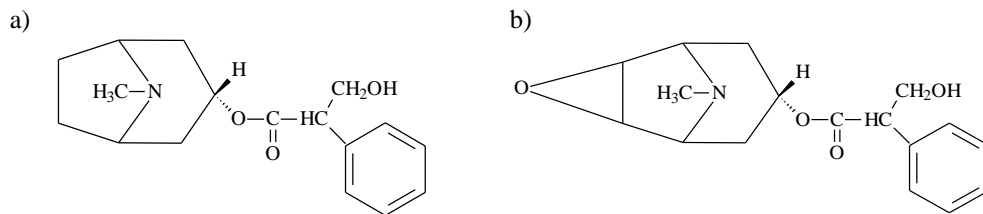
W publikacji Knutsen i wsp. [21] zawarto zestawienie danych dotyczących ocen przewlekłego narażenia z dietą na kwas erukowy w europejskich badaniach dietetycznych. Średnie narażenie człowieka z dietą na kwas erukowy w określonych grupach

wiekowych wynosiło od 0,3 do 4,4 mg/kg masy ciała na dzień, czyli poniżej tolerowanego dziennego spożycia (TDI) ustalonego w 2016 r. na poziomie 7 mg/kg masy ciała na dzień. Najwyższe poziomy narażenia na kwas erukowy z dietą zaobserwowano w przypadku niemowląt i pozostałych dzieci. Uznano więc, iż występuje ryzyko zagrożenia zdrowia niemowląt i młodych osób z dużą ekspozycją na kwas erukowy.

Na podstawie rozważań toksykologicznych dotyczących kwasu erukowego prowadzonych przez EFSA ustalono najwyższe dopuszczalne poziomy kwasu erukowego, w tym kwasu erukowego w postaci związanej w tłuszczu w określonych produktach spożywczych. Wynoszą one: 20 g/kg w olejach i tłuszczach roślinnych wprowadzonych do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego lub do stosowania jako składnik w żywności, z wyjątkiem oleju z lnicznika, oleju gorczycowego i oleju z ogórecznika lekarskiego, dla których NDP wynosi 50,0 g/kg (wskazany NDP nie ma zastosowania dla oleju gorczycowego produkowanego i spożywanego lokalnie, pod warunkiem zgody właściwego organu); 35,0 g/kg w musztardzie (dodatku do potraw) [38]. Należy przy tym dodać, iż zgodnie z rozporządzeniem delegowanym Komisji (UE) 2016/127 w preparatach do początkowego żywienia niemowląt i w preparatach do dalszego żywienia niemowląt zawartość kwasu erukowego nie może przekraczać 0,4 % (4 g/kg) całkowitej zawartości tłuszczu [29].

Alkaloidy tropanowe

Alkaloidy tropanowe są to substancje naturalnie występujące w niektórych roślinach, głównie w psiankowatych, powojowatych oraz kokainowatych. Substancje te są wysoce toksyczne dla zwierząt oraz dla ludzi. Pod względem budowy chemicznej należą one do kategorii alkaloidów, czyli związków o charakterze alkalicznym, zawierających jeden lub więcej atomów azotu [27]. Stanowią specyficzną klasę alkaloidów, zawierającą układ pierścieni tropanowych [15]. Alkaloidy tropanowe są estrami 3 α -tropanolu (tropiny) lub, w mniejszym zakresie, 3 β -tropanolu (pseudotropiny). Związki te można podzielić na trzy grupy obejmujące: alkaloidy tropanowe występujące w roślinach z rodzaju psiankowatych (*Solanaceae*) (hioscyamina i skopolamina), alkaloidy koki, czyli kokaina obecna w krasnodrzewie pospolitym (*Erythroxylum coca*) oraz kalysteginy, do których należą polihydroksylowane alkaloidy nortropanowe, występujące głównie w roślinach z rodzin powojowatych (*Convolvulaceae*), psiankowatych (*Solanaceae*), morwowatych (*Moraceae*), krasnodrzewowatych (*Erythroxylaceae*) i kapustowatych (*Brassicaceae*) [8, 22].



Rycina 2. Struktura chemiczna atropiny (a) i skopolaminy (b) [15, 22]

Figure 2. Chemical structure of atropine (a) and scopolamine (b) [15, 22]

Spośród alkaloidów tropanowych najbardziej znanymi są atropina, skopolamina oraz kokaina. Atropina i skopolamina (ryc. 2) występują w popularnych roślinach takich jak pokrzyk wilcza jagoda, lulek czarny, bielun dziędzierzawa, natomiast kokaina jest obecna w składzie chemicznym roślin tropikalnych, które naturalnie nie występują w Polsce [27]. Toksyczne działanie atropiny i skopolaminy jest zróżnicowane. Obydwa te alkaloidy są stosowane jako leki przeciwocholinergiczne [22]. Atropina występuje w roślinach w niewielkich ilościach (około 1 %), które zależą od odmiany i stopnia dojrzałości rośliny oraz od warunków klimatycznych wzrostu rośliny. Toksyczne działanie atropiny w organizmie objawia się przyspieszonym tętnem, rozszerzeniem źrenic (co jest wykorzystywane w okulistyce), rozkurczem mięśni gładkich odpowiedzialnych za pracę układu pokarmowego czy oddechowego. Działanie skopolaminy jest zależne od dawki tego alkaloidu. Przy zatruciach mniejszymi dawkami obserwuje się senność oraz wyraźne uspokojenie. Wyższe dawki powodują pobudzenie oraz rozszerzenie źrenic. Nagromadzenie skopolaminy w organizmie skutkuje wystąpieniem majaczenia oraz halucynacji [22, 27]. W 2015 r. Komisja Europejska wydała zalecenia (2015/976) w sprawie monitorowania poziomu zawartości alkaloidów tropanowych w żywności [45]. Dokumentem tym zobowiązano państwa członkowskie UE do regularnego przekazywania do EFSA wyników analiz zbóż oraz produktów ze zbóż pod względem zawartości omawianych alkaloidów. Atropina i skopolamina zostały wskazane jako wiodące alkaloidy tropanowe, których obecność należy monitorować, a ponadto podano, iż w miarę możliwości należy osobno poddać analizie enancjomery hioscyjminy oraz inne alkaloidy tropanowe. W 2021 r. Komisja Europejska wydała Rozporządzenie 2021/1408 zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów tropanowych w niektórych środkach spożywczych [35], przy czym w 2016 r. Rozporządzeniem Komisji (UE) 2016/239 wprowadzono wymagania związane z dopuszczalnym poziomem zanieczyszczeń tymi alkaloidami w odniesieniu do niektórych produktów dla niemowląt i małych dzieci [31]. Ostatnie regulacje prawne w tym zakresie miały miejsce w 2023 r. w postaci Rozporządzenia Komisji (UE) 2023/915 w sprawie najwyższych dopuszczalnych po-

ziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności [38], w tym dla alkaloidów tropanowych (tab. 1).

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych alkaloidami tropanowymi [38]

Table 1. Maximum permissible levels of food contamination with tropane alkaloids [38]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [µg/kg]	
	Atropina / Atropine	Skopolamina / Scopolamine
Żywność dla dzieci i przetworzona żywność na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci, zawierające proso, sorgo, grykę, kukurydzę lub ich produkty pochodne / Baby food and processed cereal-based food for infants and young children containing millet, sorghum, buckwheat, maize or products derived from them	1,0	1,0
	Suma atropiny i skopolaminy / Sum of atropine and scopolamine	
Nieprzetworzone ziarna prosa i ziarna sorgo / Unprocessed millet grains and sorghum grains	5,0	
Nieprzetworzone ziarna kukurydzy / Unprocessed corn kernels	15	
Nieprzetworzone ziarna gryki / Unprocessed buckwheat grains	10	
Kukurydza do prażenia, proso, sorgo i kukurydza z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego, produkty mielenia prosa, sorgo i kukurydzy / Popcorn, millet, sorghum and maize intended for the final consumer, milling products of millet, sorghum and maize	5,0	
Gryka z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego, produkty mielenia gryki / Buckwheat intended for the final consumer, buckwheat grinding products	10	
Herbatki ziołowe i składniki stosowane do herbatek ziołowych (produkty suszone) / Herbal teas and ingredients used for herbal teas (dried products)	25	
Herbatki ziołowe i składniki stosowane do herbatek ziołowych (produkty suszone) wyłącznie z nasion anyżu / Herbal teas and ingredients used for herbal teas (dried products) exclusively from anise seeds	50	
Herbatki ziołowe (produkt w płynie) / Herbal teas (liquid product)	0,20	

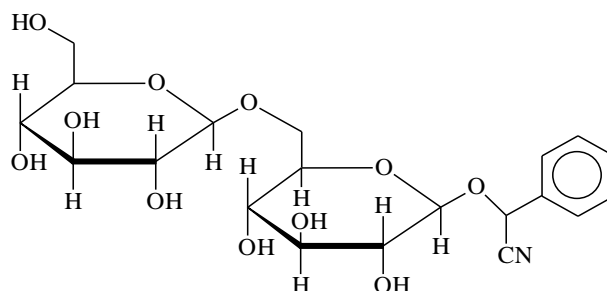
Cyjanowodór i glikozydy cyjanogenne

Cyjanowodór (HCN), nazywany także kwasem pruskim, jest bezbarwnym gazem lub cieczą o rozpoznawalnym aromacie gorzkich migdałów. Cyjanowodór w połączeniu z sodem, potasem lub wapniem tworzy cyjananki, które występują w formie wysoce higroskopijnych kryształów. Cyjanowodór oraz jego związki bardzo dobrze wchłaniają się przez skórę, drogi oddechowe czy błony śluzowe oraz wykazują silne działanie drażniące. Objawami zatrucia są duszność, ból głowy, przyspieszone tętno, wymioty

i biegunka, utrata przytomności, drgawki oraz porażenie układu oddechowego [9, 39, 42]. Uwolniony w organizmie HCN wiąże się z jonami żelaza występującymi w oksydazie cytochromowej. Rezultatem tego jest obniżenie aktywności tego enzymu oraz hamowanie strategicznego dla organizmu procesu oddychania komórkowego. Związki cyjanogenne powodują też wzrost poziomu glukozy oraz kwasu mlekowego we krwi, a także zaburzenia w proporcjach adenozy-5'-trifosforanu do adenozy-5'-difosforanu [9]. Nasilenie objawów zatrucia związkami cyjanogennymi jest funkcją wielkości i częstotliwości przyjmowanej dawki związków cyjanowodoru, masy ciała oraz czynników osobniczych. Wykazano, że śmiertelne stężenie cyjanowodoru wynosi około $0,3 \text{ mg/dm}^3$, natomiast nieco niższe stężenie ($0,2 \text{ mg/dm}^3$) powoduje śmierć w przeciągu około 10 minut [39]. Uważa się również, że spożycie niewielkiej liczby gorzkich migdałów może być tragiczne w skutkach. Takie zabiegi technologiczne jak obieranie, drylowanie, płukanie, moczenie, fermentacja, pieczenie czy prażenie mogą zredukować poziom związków cyjanogennych w żywności [9]. Cyjanowodor w żywności powstaje najczęściej w wyniku procesu cyjanogenezy związków cyjanogennych. Szacuje się, że występuje u aż ponad 2600 gatunków roślin nago- i okrytonasiennych oraz u paprotników [41, 42]. Najważniejsze rośliny cyjanogenne to te należące do rodzin różowatych (*Rosaceae*), wiechlinowatych (*Poaceae*), wilczomleczowatych (*Euphorbiaceae*), lnowatych (*Linaceae*) i trędownikowatych (*Scrophulariaceae*). Te silnie trujące związki obecne są w nasionach lnu, w korze, gałązkach i liściach czeremchy oraz śliwy tarniny, a także w pestkach owoców (śliwek, moreli, jabłek) [39]. Obecnie znanych jest 25 związków cyjanogennych pochodzenia roślinnego [9]. Glikozydy cyjanogenne to glikozydy α -hydroksynitryli zbudowane z aglikonu i części cukrowej. Te wtórne metabolity roślin powstają w wyniku przekształcenia aminokwasów, w których po dekarboksylacji z grupy NH_2 powstaje grupa nitrylowa [39]. Częścią cukrową jest najczęściej glukoza, a aglikon może być alifatyczny lub aromatyczny. Przedstawicielem glikozydów cyjanogennych zawierających aglikon alifatyczny jest np. linamaryna i lotaustralina. Z kolei aglikon aromatyczny występuje np. w amygdalinie [17]. Inne znane glikozydy cyjanogenne to prunazyne, diuryne, linamaryne, wicjaniny, sambunigriny, taksyfiliny czy prulaurazyne.

Spośród wymienionych glikozydów cyjanogennych najbardziej znana jest amigdalina (ryc. 3), która jest najwcześniej odkrytym związkiem z opisywanej kategorii. Związek ten występuje w nasionach (w pestkach) brzoskwiń, moreli, wiśni, czereśni, jabłek, a także w gorzkich migdałach [9]. Najwyższe dopuszczalne poziomy cyjanowodoru w środkach spożywczych zostały określone w Rozporządzeniach Komisji (UE) 2017/1237 oraz 2019/1870 [32, 33]. Zgodnie z najnowszym obowiązującym Rozporządzeniem Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności, najwyższy dopuszczalny poziom cyjanowodoru, w tym cyjanowodoru w postaci związanej

w glikozydach cyjanogennych, jest różny w zależności od rodzaju surowca (tab. 2) [38].



Rycina 3. Chemiczna struktura amygdaliny [17]

Figure 3. Chemical structure of amygdaline [17]

Tabela 2. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych cyjanowodorem, w tym cyjanowodorem w postaci związanej w glikozydach cyjanogennych [38]

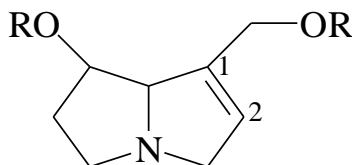
Table 2. Maximum permissible levels of contamination of foodstuffs with hydrogen cyanide, including hydrogen cyanide in the bound form in cyanogenic glycosides [38]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Uwagi /
Nieprzetworzone całe, mielone, rozdrobnione, łupane, siekane nasiona lnu niewprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Unprocessed whole, ground, crushed, shelled or chopped linseed not placed on the market for the final consumer	250	nie stosuje się do nasion oleistych przeznaczonych do tłoczenia oleju, pod warunkiem że pozostałości nie są wprowadzane do obrotu jako żywność / not applicable to oil seeds intended for oil pressing, provided that residues are not placed on the market as food
Nieprzetworzone całe, mielone, rozdrobnione, łupane, siekane nasiona lnu wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Unprocessed whole, ground, crushed, shelled, chopped linseed placed on the market for the final consumer	150	nie ma zastosowania, jeżeli w głównym polu widzenia etykiety umieszczono ostrzeżenie: „Stosować tylko do gotowania i pieczenia. Nie spożywać na surowo!” / not applicable if the main field of view of the label contains the warning: “Use only for cooking and baking. Do not eat raw!”
Nieprzetworzone całe, mielone, rozdrobnione, łupane, siekane migdały wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Unprocessed whole, ground, crushed, shelled, chopped almonds placed on the market for the final consumer	35	nie ma zastosowania, jeżeli w głównym polu widzenia etykiety umieszczono ostrzeżenie: „Stosować tylko do gotowania i pieczenia. Nie spożywać na surowo!” / not applicable if the main field of view of the label contains the warning: “Use only for cooking and baking. Do not eat raw!”

Nieprzetworzone całe, mielone, rozdrobnione, łupane, siekane pestki moreli wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Unprocessed whole, ground, crushed, shelled and chopped apricot kernels placed on the market for the final consumer	20	
Korzeń manioku (świeży, obrany) / Cassava root (fresh, peeled)	50	
Mączka z manioku i tapioca / Cassava and tapioca flour	10	

Alkaloidy pirolizydynowe

Alkaloidy pirolizydynowe są naturalnymi substancjami toksycznymi występującymi w różnych gatunkach roślin. Powstają one głównie w wyniku przemian metabolicznych aminokwasów jako metabolity wtórne, pochodne pirolizydyny (ryc. 4). Biosyntetyzowane są przez rośliny przeciw roślinożercom [1]. Ocenia się, że alkaloidy pirolizydynowe występują w ponad 6000 różnych gatunków roślin, co czyni je jednymi z najbardziej rozpowszechnionych naturalnych substancji toksycznych [2, 19, 28]. Dotychczas zidentyfikowano ponad 500 różnych alkaloidów pirolizydynowych, a ich głównym źródłem są nasiona i kwiaty roślin z rodziny ogórecznikowatych, ostowatych i bobowatych. Niższe stężenia tych toksyn stwierdzono w liściach, łodygach i w korzeniach. Większość roślin wytwarza mieszaniny alkaloidów [2, 19, 28]. Rośliny te wykorzystywane są do poprawy struktury gleby jako rośliny okopowe lub stanowią składniki pasz dla zwierząt. Niektóre z nich są pospolitymi chwastami, natomiast inne są celowo uprawiane jako zioła lub źródło przypraw. Do roślin zawierających alkaloidy pirolizydynowe występujących na obszarze Polski zalicza się m.in. starzec zwyczajny, żywokost, żmijowiec zwyczajny, heliotrop i podbiał pospolity [19]. Alkaloidy pirolizydynowe mogą trafiać do łańcucha żywnościowego poprzez zanieczyszczenie ziaren zbóż, ziół, warzyw, przypraw oraz roślin przeznaczonych na paszę. Zatrucia spowodowane przez alkaloidy pirolizydynowe, szczególnie pochodne 1,2-nienasycone (ryc. 3), prowadzą do ostrych i przewlekłych uszkodzeń wątroby, a w skrajnych przypadkach do śmierci [2]. Inne kliniczne objawy zatruc tymi związkami to bóle brzucha, utrata apetytu, wyczerpanie, wodobrzusze, bóle i powiększenie wątroby oraz żółtaczka. W badaniach *in vitro* na układach modelowych stwierdzono genotoksyczność i kancerogenność alkaloidów pirolizydynowych [2]. Bezpośrednie przypadki zatrucia u ludzi tymi toksynami są sporadyczne i dotyczą wykorzystania roślin bogatych w alkaloidy pirolizydynowe do otrzymywania herbatek i napadów ziołowych, suplementów diety, przypraw, ziół, a także produktów zawierających pyłek pszczele [2, 28]. Potencjalne zagrożenie stanowi również zanieczyszczona pasza dla zwierząt [3].



Rycina 4. Podstawowa struktura chemiczna toksycznych 1,2-nienasyconych alkaloidów pirolizydynowych [2, 25]

Figure 4. Basic chemical structure of toxic 1,2-unsaturated pyrrolizidine alkaloids [2, 25]

Tabela 3. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych alkaloidami pirolizydynowymi [38]

Table 3. Maximum permissible levels of food contamination with pyrrolizidine alkaloids [38]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [µg/kg]*
Liście ogórecznika (świeże, mrożone) wprowadzone do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Borage leaves (fresh, frozen) placed on the market for the final consumer	750
Suszone zioła / Dried herbs	400
Ogórecznik, lubczyk, majeran i oregano (produkt suszony) oraz mieszanki ich mieszanki / Borage, lovage, marjoram and oregano (dried product) and mixtures thereof	1000
Herbata (<i>Camellia sinensis</i>) i herbata aromatyzowana (<i>Camellia sinensis</i>) (produkt suszony) / Tea (<i>Camellia sinensis</i>) and flavored tea (<i>Camellia sinensis</i>) (dried product)	150
Herbata (<i>Camellia sinensis</i>), herbata aromatyzowana (<i>Camellia sinensis</i>) i herbatki ziołowe oraz składniki stosowane do herbatek ziołowych (produkty suszone) dla niemowląt i małych dzieci / Tea (<i>Camellia sinensis</i>), flavored tea (<i>Camellia sinensis</i>) and herbal teas and ingredients used for herbal teas (dried product) for infants and young children	75
Herbata (<i>Camellia sinensis</i>), herbata aromatyzowana (<i>Camellia sinensis</i>) i herbatki ziołowe (produkt w płynie) dla niemowląt i małych dzieci / Tea (<i>Camellia sinensis</i>), flavored tea (<i>Camellia sinensis</i>) and herbal teas (liquid product) for babies and toddlers	1,0
Herbatki ziołowe i składniki stosowane do herbatek ziołowych (produkty suszone) / Herbal teas and ingredients used for herbal teas (dried product)	200
Herbatki ziołowe i składniki stosowane do herbatek ziołowych (produkty suszone) z aspalatu prostego, anyżu (<i>Pimpinella anisum</i>), melisy, rumianku, tymianku, mięty pieprzowej, werbeny cytrynowej i mieszanek składających się wyłącznie z tych suszonych ziół / Herbal teas and ingredients for herbal teas (dried products) from straight asphalt, anise (<i>Pimpinella anisum</i>), lemon balm, chamomile, thyme, peppermint, lemon verbena and mixtures consisting exclusively of these dried herbs	400

Kmin rzymski / Cumin	400
Suplementy diety zawierające preparat roślinny, w tym ekstrakty / Dietary supplements containing plant preparations, including extracts	400
Suplementy żywnościowe na bazie pyłku, pyłek i produkty z pyłku / Pollen-based food supplements, pollen and pollen products	500

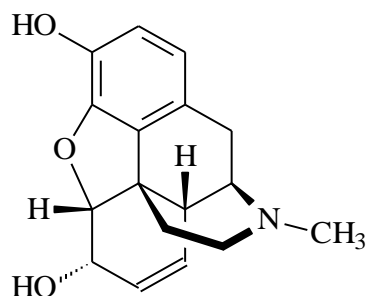
*dolnej granicy sumy 21 alkaloidów pirolizydynowych / for the lower limit of the sum of 21 pyrrolizidine alkaloids

W 2011 r. panel CONTAM EFSA opublikował opinię naukową w sprawie zagrożeń dla zdrowia związanych z obecnością alkaloidów pirolizydynowych w żywności i paszach [10], stwierdzając, że 1,2-nienasycone alkaloidy pirolizydynowe mogą stanowić genotoksyczne czynniki rakotwórcze u ludzi. Ponadto panel ten wskazał, że istnieje potencjalne zagrożenie dla zdrowia dzieci spożywających duże ilości miodu. W sprawozdaniu EFSA opublikowanym w 2016 r. stwierdzono, że w największym stopniu do narażenia ludzi na alkaloidy pirolizydynowe przyczyniają się herbata i herbatki ziołowe oraz suplementy na bazie pyłku [12]. Natomiast w 2020 r. ukazało się Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/2040 zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów pirolizydynowych w niektórych środkach spożywczych [34]. Poziomy te (tab. 3) zostały podtrzymane w najnowszym obowiązującym Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 [38]. Ponadto stwierdzono, że obecność alkaloidów pirolizydynowych w żywności może być zminimalizowana lub można jej zapobiec dzięki zastosowaniu dobrych praktyk rolniczych i dobrych praktyk podczas zbiorów.

Alkaloidy opium

Nasiona maku lekarskiego (*Papaver somniferum*) są dość powszechnie wykorzystywane jako składnik żywności oraz surowiec do przygotowywania naparów [5, 16]. Nasiona te praktycznie nie zawierają alkaloidów opium, jednak złe praktyki w trakcie zbiorów lub działalność owadów mogą spowodować zanieczyszczenie nasion mlecznym sokiem makówek bogatych w alkaloidy [5]. Opium jest substancją otrzymywaną poprzez wysuszenie mlecznego soku z niedojrzałych makówek maku lekarskiego. W jego skład wchodzi około osiemdziesięciu alkaloidów, wśród których można wyróżnić dwie grupy: pochodne fenantrenu, do których należą morfina i kodeina, oraz pochodne izochinoliny, np. papaweryna [5]. Również opróżnione z nasion maku torebki, szypułki oraz wymłócona słoma makowa są źródłem alkaloidów. Opium było w przeszłości używane głównie jako środek przeciwbólowy, uspokajający, nasenny i odurzający, np. w postaci nalewki alkoholowej, zwanej laudanum [5]. Alkaloidy opium wykorzystuje się w lecznictwie. Kodeina stosowana jest jako lek eliminujący odruch kaszlu. Takie działanie wykazuje również narkotyna, która jednocześnie pobu-

dza ośrodek oddechowy. Z kolei papaweryna stosowana jest przy kolce jelitowej i wątrobowej, gdyż blokuje bodźce nerwowe powodujące skurcz mięśni gładkich i ma działanie rozszerzające naczynia wieńcowe [23]. Najistotniejszym składnikiem psychoaktywnym opium jest morfina (ryc. 5).



Rycina 5. Struktura chemiczna morfiny [5]

Figure 5. Chemical structure of morphine [5]

Nazwa morfiny pochodzi od imienia greckiego boga marzeń sennych – Morfeusza. Jest ona białą substancją o gorzkim smaku, słabo rozpuszczalną w wodzie, a jej źródłem jest właśnie sok z maku lekarskiego. Roślina ta produkuje morfinę jako fitoaleksynę do obrony przed atakiem patogennych mikroorganizmów [16]. W minimalnych ilościach morfina jest syntetyzowana endogennie w organizmach wszystkich typów zwierząt. Ma działanie narkotyczne, przeciwbólowe, przeciwkaszlowe, przeciwbiegunkowe, działa depresyjnie na ośrodkowy układ nerwowy [23]. Nadmierne dawki morfiny mogą prowadzić do śpiączki połączonej z niewydolnością oddechową. Kilkunastokrotne użycie morfiny prowadzi do uzależnienia fizycznego i psychicznego, a powtarzanie jej przyjmowania powoduje powstawanie tolerancji na lek [13]. Przewlekłe nadużywanie morfiny prowadzi do zaburzeń charakterologicznych, m.in. do osłabienia woli, rozleniwienia, zaniku obowiązkowości i uczuciowości czy zawężenia zainteresowań. Dalsze objawy mogą dotyczyć spadku ciśnienia tętniczego, wymiotów, nudności, zaparć, trudności w oddawaniu moczu, nadmiernej senności oraz objawów psychotycznych [5, 13].

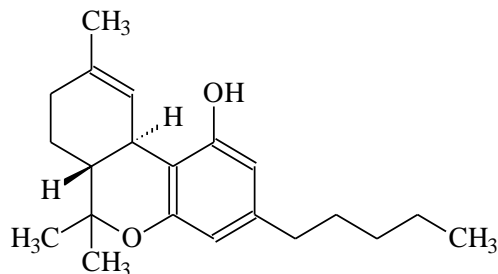
Do wykorzystania w przemyśle spożywczym zalecane są certyfikowane odmiany maku o bardzo małej zawartości alkaloidów opium. Wydane w 2014 r. Zalecenie Komisji rekomenduje stosowanie dobrych praktyk mających na celu zapobieganie obecności alkaloidów opium i zmniejszenie ich ilości w nasionach maku oraz produktach z nasion maku [44]. W 2021 r. ukazało się Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/2142 zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów opium w niektórych środkach spożywczych [36]. Poziomy te zostały podtrzymane w najnowszym obowiązującym Rozporządzeniu Ko-

misji (UE) 2023/915 [38]. Wynoszą one 20 mg/kg dla całych, mielonych i rozdrobnionych nasion maku wprowadzanych do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego oraz 1,50 mg/kg dla wyrobów piekarniczych zawierających nasiona maku lub produktów z nich przetworzonych.

Ekwiwalenty delta-9-tetrahydrokannabinolu (Δ^9 -THC)

Od kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania żywieniowymi, użytkowymi i leczniczymi właściwościami konopi. Rośliny te należą do najwcześniej uprawianych gatunków i przez tysiące lat odgrywały znaczącą rolę w żywieniu i medycynie ludowej. Konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) to jednoroczne, dwupienne rośliny z rodziny konopiowatych (*Cannabaceae*) [4, 20, 26]. Odmiany botaniczne konopi różnią się składem chemicznym, morfologią roślin, agronomią i przydatnością do przetwórstwa przemysłowego oraz farmaceutycznego. Podgatunki *Cannabis sativa* subsp. *indica* (konopie indyjskie) oraz *Cannabis sativa* subsp. *sativa* (konopie siewne, włókniste) znalazły wiele zastosowań w medycynie i farmacji [6]. W przeciwieństwie do *Cannabis sativa* subsp. *indica* zawierającej w liściach około 20 % psychoaktywnego Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC), odmiana *Cannabis sativa* subsp. *sativa*, zawierająca ok. 0,3 % THC, nazywana jest hemp i jest dopuszczona do legalnej uprawy w wielu krajach [4, 26]. W większości państw europejskich maksymalna zawartość THC w legalnie uprawianych konopiach może wynosi 0,2 % s.m. [4]. Zmielone nasiona hemp są bogatym źródłem białek, węglowodanów, tłuszczu, błonnika oraz składników mineralnych [6]. Białko konopi, które pod względem wartości biologicznej jest zbliżone do białka jaja kurzego, składa się głównie z albuminy i edestyny bogatych w niezbędne aminokwasy, zwłaszcza siarkowe [4]. Ze względu na brak białek glutenowych konopie stanowią doskonały składnik produktów bezglutenowych [24]. Równie cennym produktem pozyskiwanym z konopi jest olej, który w 80 % składa się z wielonienasyconych kwasów tłuszczowych i jest bogatym źródłem kwasów linolowego i lino-lenowego [20, 26]. Do związków bioaktywnych nasion konopi należą karotenoidy, związki fenolowe, tokoferole, fitosterole oraz peptydy. Jednak nasiona konopi zawierają również składniki antyżywniowe – kwas fitynowy, taniny, inhibitory tripsyny, glikozydy cyjanogenne oraz saponiny [4].

Kannabinoidy to grupa substancji chemicznych, które pierwotnie zostały wyizolowane z konopi. Są one dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalnikach niepolarnych, natomiast nie rozpuszczają się w wodzie. Konopie wydzielają kannabioidy przez gruczoły włosnikowe znajdujące się głównie na powierzchni liści. Obecnie znanych jest ponad 100 substancji zaliczanych do kannabinoidów. Najlepiej poznane to tetrahydrokannabinol (THC) (ryc. 6) oraz jego izomer – kannabidiol (CBD), które wykorzystywane są do celów leczniczych [6].



Rycina 6. Struktura chemiczna delta-9-tetrahydrokannabinolu (Δ^9 -THC) [26]

Figure 6. Chemical structure of delta-9-tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC) [26]

Uważa się, że kannabidiol nie wykazuje działania psychoaktywnego, natomiast może działać neuroprotekcyjnie chroniąc osłonki mielinowe włókien nerwowych. Ponadto kannabidiol może działać przeciwzapalnie w niedokrwiennej niewydolności wątroby, zapaleniu mózgu związanym z posocznicą, kardiomiopatii związanej z cukrzycą, pneumokokowym zapaleniu opon mózgowych, a nawet w chorobie nowotworowej [20, 26]. Tetrahydrokannabinol, poza działaniem psychoaktywnym, ma wpływ na kanały jonowe oraz prawidłowość funkcjonowania enzymów. Działa przeciwbólowo, pobudzająco, przeciwwymiotnie, zwiększa apetyt oraz obniża ciśnienie śródgałkowe [26].

W 2015 r. panel EFSA CONTAM przyjął opinię naukową dotyczącą ryzyka dla zdrowia ludzi związanego z obecnością tetrahydrokannabinolu w mleku i innych rodzajach żywności pochodzenia zwierzęcego [11]. Urząd ustalił ostrą dawkę referencyjną (ARfD) na poziomie 1 μg Δ^9 -THC/kg masy ciała. Aby uzyskać więcej danych dotyczących występowania Δ^9 -THC i innych istotnych niepsychoaktywnych prekursorów w żywności zawierającej konopie lub składniki uzyskane z konopi przyjęto Zalecenie Komisji (UE) 2016/2115 [46].

W 2022 r. ukazało się Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1393 zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów delta-9-tetrahydrokannabinolu (Δ^9 -THC) w nasionach konopi i produktach z nich uzyskanych [37]. Poziomy te zostały podtrzymane w najnowszym obowiązującym Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 [38]. Wynoszą one: 3 mg/kg dla nasion konopi, 3,0 mg/kg dla zmielonych nasion konopi, odtłuszczonych nasion konopi i innych produktów przetworzonych z nasion konopi (z wyjątkiem oleju) oraz 7,5 mg/kg dla oleju z nasion konopi.

Podsumowanie

Tematyka dotycząca naturalnie wstępujących toksyn roślinnych, które stanowią potencjalne zagrożenia jest znacznie bardziej obszerna. Rośliny, nawet powszechnie

spożywane lub wykorzystywane w przetwórstwie, zawierają cały szereg innych substancji o działaniu antyodżywczym, jak np. kwas szczawiowy, fityniany czy inhibitory tripsyny, powodując ograniczenie w przyswajaniu niezbędnych składników odżywczych, a w konsekwencji określonego rodzaju dysfunkcje wynikające z ich niedoborów. Spośród innych związków naturalnie obecnych w roślinach i niekorzystnie wpływających na organizm człowieka można wymienić: lektyny, L-kawanianinę, związki saponinowe, glikoalkaloidy (solanina, tomatyna), substancje powodujące latoryzm, substancje goitrogenne oraz czynniki wywołujące fawizm.

Literatura

- [1] Avato P., Argentieri M. P.: *Brassicaceae*: a rich source of health improving phytochemicals. *Phytochemistry Rev.*, 2015, 14(6), 1019-1033.
- [2] BfR German Federal Institute for Risk Assessment Questions and Answers on Pyrrolizidine Alkaloids in Food, 2022. <https://www.bfr.bund.de/cm/349/questions-and-answers-on-pyrrolizidine-alkaloids-in-food.pdf>
- [3] Brodziak A., Król J., Nowaczek A.: Naturalne substancje pochodzenia roślinnego negatywnie oddziałujące na zdrowie krów oraz jakość mleka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2017, 24, 1(110), 33-47.
- [4] Burton R. A., Andres M., Cole M., Cowley J. M., Augustin M. A.: Industrial hemp seed: from the field to value-added food ingredients. *J. Cannabis Res.*, 2022, 4, 45, 1-13.
- [5] Casado-Hidalgo G., Morante-Zarcelero S., Pérez-Quintanilla D., Sierra I.: Opium alkaloids in food products: Current and future perspectives. *Trends Food Sci. Technol.*, 2021, 108, 92-102.
- [6] Cerino P., Buonerba C., Cannazza G., D'Auria J., Ottoni E., Fulgione A., Di Stasio A., Pierri B., Gallo A.: A Review of Hemp As Food and Nutritional Supplement. *Cannabis and Cannabinoid Res.*, 2021, 6, 1, 19-27.
- [7] Cybulska B., Kłosiewicz-Latoszek L., Miszczak A., Mojska H., Morzycka B., Siuba-Strzelińska M., Taraszewska A., Wierzejska R., Wolnicka K.: Olej rzepakowy – zbiór artykułów eksperckich. Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, 2020.
- [8] Dräger B.: Chemistry and biology of calystegines. *Nat. Prod. Rep.*, 2023, 211-223.
- [9] Dzwolak W.: Roślinne zasadzki. *Przegląd Gastronomiczny*, 2015, 5, 3-4.
- [10] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Scientific opinion on pyrrolizidine alkaloids in food and feed. *EFSA Journal* 2011, 9(11), 2406.
- [11] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin *EFSA Journal* 2015, 13(6), 4141.
- [12] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Dietary exposure assessment to pyrrolizidine alkaloids in the European population. *EFSA Journal* 2016, 14(8), 4572.
- [13] EFSA Panel on contaminants in the food Chain (CONTAM): Update of the scientific opinion on opium alkaloids in poppy seeds. *EFSA Journal*, 2018, 16, 5243.
- [14] Galanty A., Grudzińska M., Paździora W., Paško P.: Erucic Acid – Both Sides of the Story: A Concise Review on Its Beneficial and Toxic Properties. *Molecules*, 2023, 28(4), #1924.
- [15] Gryniewicz G., Gadzikowska M.: Tropane alkaloids as medicinally useful natural products and their synthetic derivatives as new drugs. *Pharm. Rep.*, 2008, 60, 439-463.

- [16] Haber I., Pergolizzi J., LeQuang J. A.: Poppy seed tea: A short review and case study. *Pain and Therapy*, 2019, 8, 151-155.
- [17] Hartanti D., Nur Cahyani A.: Plant cyanogenic glycosides: an overview. *Farmasains: Journal Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 2020, 5(1), 1-6.
- [18] Jankowska M., Łozowicka B.: Naturalne i syntetyczne substancje toksyczne występujące w roślinach rolniczych i ich produktach. *Progress in Plant Protection*, 2021, 61(1), 24-30.
- [19] Kania-Dobrowolska M., Baraniak J., Kujawski R., Ożarowski M. Alkaloidy pirolizydynowe – źródła i zagrożenie dla zdrowia ludzi. *Postępy Fitoterapii*, 2018, 3, 195-202.
- [20] Kaniewski R., Pniewska I., Kubacki A., Strzelczyk M., Chudy M., Oleszak G.: Konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) – wartościowa roślina użytkowa i lecznicza. *Postępy Fitoterapii*, 2017, 18(2), 139-144.
- [21] Knutsen H. K., Alexander J., Barregård L., Bignami M., Brüschweiler B., Ceccatelli S., Dinovi M., Edler L., Grasl-Kraupp B., Hogstrand C., Hoogenboom L., Nebbia C. S., Oswald I., Petersen A., Rose M., Roudot A.C., Schwerdtle T., Vollmer G., Wallace H., ... Vleminckx C.: Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal*, 2016, 14(11).
- [22] Kohnen-Johannsen K. L., Kayser O., Tropane Alkaloids: Chemistry, Pharmacology, Biosynthesis and Production. *Molecules*, 2019, 24, #796.
- [23] Kolińska A., Marciniak P., Adamski Z., Rosiński G.: Alkaloidy – naturalne substancje kardioaktywne. *Kosmos – Postępy Nauk Biologicznych*, 2016, 62, 2(311), 247-256.
- [24] Korus J., Witczak M., Ziobro R., Juszcak L.: Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2017, 84, 143-150.
- [25] Kowalczyk E., Patyra E., Kwiatek K. Alkaloidy pirolizydynowe zagrożeniem dla zdrowia ludzi i zwierząt. *Medycyna Weterynaryjna*, 2015, 71(10), 602-607.
- [26] Markowska J., Polak E., Drabent A., Żak A. Konopie siewne *Cannabis Sativa* L. – odmiany, właściwości, zastosowanie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2021, 28, 2 (127), 90-105.
- [27] Rothkaehl J.: Alkaloidy tropanowe – kolejne substancje niepożądane, których najwyższa dopuszczalna zawartość w ziarnie zbóż i przetworach zbożowych ma być określona w unijnych regulacjach prawnych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2016, 2, 14-15.
- [28] Rothkaehl J.: Alkaloidy pirolizydynowe – kolejne substancje, które mają być objęte regulacjami prawnymi UE. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2020, 2, 14-15.
- [29] Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/828 z dnia 14 marca 2019 r. zmieniające rozporządzenie delegowane (UE) 2016/127 w odniesieniu do wymogów dotyczących witaminy D w preparatach do początkowego żywienia niemowląt i kwasu erukowego w preparatach do początkowego żywienia niemowląt i preparatach do dalszego żywienia niemowląt. *Dz. U. L137/12*, 23.05.2019.
- [30] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dz.U. L364/5*, 20.12.2006.
- [31] Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/239 z dnia 19 lutego 2016 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów tropanowych w niektórych produktach zbożowych dla niemowląt i małych dzieci. *Dz.U. L45/3*, 20.2.2016.
- [32] Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1237 z dnia 7 lipca 2017 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższego dopuszczalnego poziomu cyjanowodoru w nieprzetworzonych całych, mielonych, rozdrobnionych, łupanych, siekanych pestkach moreli wprowadzanych do obrotu i przeznaczonych dla konsumentów końcowych. *Dz.U. L177/36*, 8.7.2017.
- [33] Rozporządzenie Komisji (UE) 2019/1870 z dnia 7 listopada 2019 r. w sprawie zmiany i sprostowania rozporządzenia (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kwasu erukowego i cyjanowodoru w niektórych środkach spożywczych. *Dz.U. L287/37*, 8.11.2019.

- [34] Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/2040 z dnia 11 grudnia 2020 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów pirolizydynowych w niektórych środkach spożywczych. Dz.U. L420/1, 14.12.2020.
- [35] Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1408 z dnia 27 sierpnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów tropanowych w niektórych środkach spożywczych. Dz.U. L304/1, 30.08.2021.
- [36] Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/2142 z dnia 3 grudnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów opium w niektórych środkach spożywczych. Dz.U. L433/8, 6.12.2021.
- [37] Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1393 z dnia 11 sierpnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów delta-9-tetrahydrokannabinolu (Δ^9 -THC) w nasionach konopi i produktach z nich uzyskanych. Dz.U. L211/83, 12.08.2022.
- [38] Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006. Dz.U. L119/103, 5.5.2023.
- [39] Różański H., Pietrasz A., Betlej I., Anglart-Różańska J., Uram A., Domański G., Hakim M.: Porównanie metod oznaczania ilościowego związków cyjanogennych w surowcach zielarskich. *Herbalism*, 2015, 1(1), 106-117.
- [40] Russo M., Yan F., Stier A., Klasen L., Honermeier B.: Erucic acid concentration of rapeseed (*Brassica napus* L.) oils on the German food retail market. *Food Sci. Nutr.*, 2021, 9(7), 3664-3672.
- [41] Siegień J.: Cyjanogeneza u roślin i jej efektywność w ochronie roślin przed atakiem roślinożerców i patogenów. *Kosmos - Problemy Nauk Biologicznych*, 2007, 56, 1-2, 155-166.
- [42] Skowroń J., Konieczko K.: Cyjanowódor i cyjanki w przeliczeniu na CN⁻. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, 2017, 1(91), 5-62.
- [43] Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia. Dz.U. 2006 nr 171 poz. 1225 z późn. zm. Tekst jednolity: Dz.U. 2023 poz. 1448.
- [44] Zalecenie Komisji z dnia 10 września 2014 r. w sprawie dobrych praktyk mających na celu zapobieganie obecności alkaloidów opium i jej zmniejszenie w nasionach maku oraz produktach z nasion maku. Dz.U. L 271/96, 12.9.2014.
- [45] Zalecenie Komisji (UE) 2015/976 z dnia 19 czerwca 2015 r. w sprawie monitorowania obecności alkaloidów tropanowych w żywności. Dz.U. L 157/97, 23.6.2015.
- [46] Zalecenie Komisji (UE) 2015/2115 z dnia 1 grudnia 2016 r. w sprawie monitorowania obecności Δ^9 -tetrahydrokannabinolu, jego prekursorów oraz innych kannabinoidów w żywności. Dz.U. L 327/103, 2.12.2016.

FOOD CONTAMINATION – CHARACTERISTICS AND LEGAL REGULATIONS. PART I – PLANT TOXINS

S u m m a r y

Food health safety is a set of conditions that must be met and actions that must be taken at all stages of production of or trade in food in order to ensure human health and life.. Food safety is guaranteed by appropriately shaped food law, and the food safety policy pursued by the European Union institutions covers all stages of the food chain, from production to consumption, and guarantees the clarity of information on the origin and composition of food and its labelling. However, not all hazards can be complete-

ly eliminated from food, which is why their residues are strictly regulated by law. The key solution in this area was Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting the maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. This legal act, which had been supplemented and amended many times, was replaced by Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on the maximum levels of certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No. 1881/2006. The aim of the work was to characterize plant toxins as contaminants in food, the highest permissible levels of which were introduced by amendments to Regulation EC 1881/2006 and included in the current EU Regulation 915/2023.

Results and conclusions: Numerous amendments to Regulation 1881/2006, and consequently Regulation 2023/915, introduced the highest permissible levels for the following plant toxins: erucic acid, tropane and pyrrolizidine alkaloids and opium alkaloids, hydrogen cyanide and cyanogenic glycosides, and delta-9-tetrahydrocannabinol equivalents. Due to the potential threat of these substances, their highest residues in individual foodstuffs must be regulated and monitored as part of official food control activities, while when obtaining raw materials that may contain this type of substances, it is necessary to follow appropriate recommendations and good practices.

Key words: food safety, food contaminants, plant toxins ☒