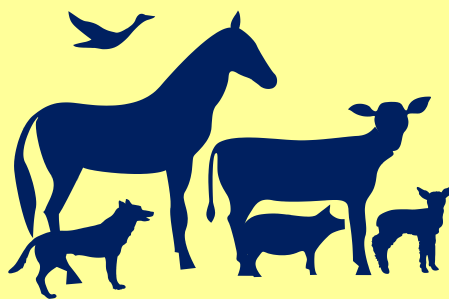


BIULETYN DLA DORADCÓW ODR



Wydanie specjalne

WYDAWNICTWO

Państwowego Instytut Weterynaryjnego – Państwowego Instytutu Badawczego

Puławy, lipiec 2024

BIULETYN
DLA
DORADCÓW ODR

Redakcja:

prof. dr hab. Stanisław Winiarczyk

prof. dr hab. Mirosław Polak

Raport z badań realizowanych w ramach projektu „Badanie pozostałości neonikotynoidów oraz alkaloidów pirolizydynowych w miodzie” finansowanego przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa w ramach interwencji I.6.6 - Interwencja w sektorze pszczelarskim – wsparcie naukowo-badawcze w roku pszczelarskim 2024 objętej Planem Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027

(Nr umowy 00001.BWI03.61835.1.3.2024)

Wydawnictwo Państwowego Instytutu Weterynaryjnego – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach

Wersja elektroniczna

Wszelkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

Pozostałości neonicotynoidów w miodzie	5
Alkaloidy pirolizydynowe w miodzie	16

Pozostałości neonikotynoidów w miodzie

Tomasz Kiljanek

Zakład Farmakologii i Toksykologii

Wstęp

Miód jest złożoną matrycą, która zawiera ponad 300 związków z różnych grup chemicznych, takich jak cukry (monosacharydy i oligosacharydy), kwasy organiczne, aminokwasy, enzymy, hormony, flawonoidy, witaminy, olejki eteryczne, sterole i fosfolipidy. Ten naturalny produkt jest tak cenny nie tylko ze względu na smak, ale także ze względu na swoje liczne właściwości prozdrowotne. Miód może być jednak zanieczyszczony różnego rodzaju niepożądanymi substancjami, dlatego konieczne jest monitorowanie ich pozostałości. Do substancji zanieczyszczających miód należą m.in. pestycydy, które stosowane są przede wszystkim pod postacią środków ochrony roślin. Pestycydy bywają również substancjami czynnymi niektórych produktów biobójczych czy też produktów leczniczych weterynaryjnych, ich zastosowanie jest jednak znacznie mniej powszechne niż środków ochrony roślin.

Pestycydy o działaniu systemicznym wnikają do wnętrza tkanek roślinnych i przemieszczają się wraz z sokami zabezpieczając tym samym roślinę uprawną przed chorobami lub szkodnikami. Pestycydy te mogą jednakże przenosić się do wytwarzanego przez roślinę nektaru stając się tym samym źródłem zanieczyszczenia miodu. Zebrany przez pszczoły nektar jest składowany przez pszczoły w ulu, odparowywany i pozostawiony do dojrzewania w plastrach. Proces ten zachodzi przy znacznym zagęszczaniu

nektaru a przez to prowadzić może do zatężania ewentualnych jego zanieczyszczeń, w tym pestycydów.

Neonikotynoidy stanowią szczególną grupę pestycydów, bowiem jako pierwsze środki ochrony roślin o działaniu owadobójczym (insektycydy) wykazują one właściwości systemiczne. Odkrycie imidaklopyrydu i wprowadzenie go na rynek w 1991 roku zapoczątkowało erę zupełnie nowej klasy insektycydów. W 1999 r. wprowadzono tiametoksam i klotianidynę, która jest metabolitem tiametoksamu. W ciągu kolejnych dwóch dekad neonikotynoidy stały się najczęściej stosowanymi insektycydami na rynku globalnym. Dzięki swoim systemicznym właściwościom jedną z głównych form ich wykorzystania w ochronie roślin stały się zaprawy nasienne.

Warto podkreślić, że wśród neonikotynoidów wyróżniamy dwie grupy związków różniących się między sobą grupami funkcyjnymi: cyjano-podstawione neonikotynoidy (acetamipryd i tiaklopyryd) zawierające w swojej cząsteczce grupę cyjanoamidową oraz nitro-podstawione neonikotynoidy (imidaklopyryd, klotianidyna i tiametoksam) zawierające w swojej cząsteczce grupę nitroguanidynową, która jest bardziej polarna i reaktywna. Obie grupy różnią się właściwościami przez co mogą różnie wpływać na środowisko. Nitro- i cyjano- podstawione neonikotynoidy znacznie różnią się między innymi pod względem toksyczności dla pszczół miodnych.

Pierwsze neonikotynoidy zatwierdzono do stosowania w Unii Europejskiej (UE) w 2005 roku i były to acetamipryd oraz tiaklopyryd. Klotianidynę zatwierdzono do stosowania w UE w 2006 roku, tiametoksam w 2007, a imidaklopyryd w 2009 roku. W 2013 r. w celu ochrony pszczół miodnych Komisja Europejska poważnie ograniczyła stosowanie środków ochrony roślin i zaprawionych nasion zawierających trzy z tych neonikotynoidów (klotianidynę, imidaklopyryd i tiametoksam). Zakazano

stosowania tych neonikotynoidów w uprawach atrakcyjnych dla pszczół (w tym kukurydzy, rzepaku i słoneczniku), z wyjątkiem zastosowań w szklarniach, niektórych upraw po kwitnieniu i zbóż ozimych. W okresie tym możliwe było stosowanie w/w neonikotynoidów w uprawach sadowniczych. Jednocześnie wnioskodawcy tych trzech substancji zostali zobowiązani do dostarczenia danych mogących potwierdzać bezpieczeństwo nadal dozwolonych zastosowań. Po dokonaniu przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) oceny tych nowych informacji dotyczących klotianidyny, imidakloprydu i tiametoksamu, pozostałe zastosowania w warunkach zewnętrznych uznano za niebezpieczne ze względu na zidentyfikowane zagrożenia dla pszczół. Począwszy od końca maja 2018 roku możliwe było jedynie ich stosowanie w szklarniach. Mając na uwadze powyższe ograniczenia, wnioskodawcy ubiegający się o odnowienie zatwierdzenia klotianidyny, tiametoksamu i imidakloprydu wycofali swoje wnioski. W związku z tym zatwierdzenie tych substancji wygasło odpowiednio 31 stycznia 2019 r., 30 kwietnia 2019 r. i 1 grudnia 2020 r.

Zatwierdzenie tiakloprydu w UE zostało wycofane 3 lutego 2020 r. ze względu na poważne obawy dotyczące zdrowia ludzi i środowiska. Acetamipryd jest aktualnie jedynym neonikotynoidem, który jest i najprawdopodobniej długo jeszcze będzie dopuszczony do stosowania na terenie Unii Europejskiej. Aktualny okres zatwierdzenia acetamiprydu w UE sięga roku 2033.

Neonikotynoidy są grupą insektycydów nowej generacji, które przeszły burzliwą historię pod względem stosowania jako środki ochrony roślin w UE. Z grupy najpowszechniej stosowanych insektycydów na rynku pozostała tylko jedna substancja – acetamipryd.

Środki ochrony roślin dopuszczane są do stosowania w Unii Europejskiej zgodnie z przepisami Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. Spośród objętych badaniami pięciu neonikotynoidów jedynie acetamipryd jest wciąż dopuszczony do stosowania jako substancja czynna środków ochrony roślin. Rejestr środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu w Polsce zezwoleniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi obejmuje 39 preparatów, których substancją czynną jest acetamipryd, są to środki o nazwach Aceiro 200 SL, Acelan 20 SP, Aceplan 20 SP, Aceptir 200 SE, Acetamip Płynny 200 SL, Apis 200 SE, Asset, Busola, Camelina 200 SL, Carnadine 200 SL, Inazuma 130 WG, Inpower 130 WG, Kestrel 200 SL, Kobe 20 SP, Lanmos 20 SP, Leptosar 200 SL, Los Ovados 200 SE, Marabel 20 SP, Miros 20 SP, Mospilan 20 SP, Mospilan Mizu, Nepal 130 WG, Polysect Długo Działający 005 SL, Polysect Długo Działający 005 SL Ultra, Pro-Piryd, Pro-Piryd SL, Prosperace 200 SL, Renoki, Roslix 200 SL, Sekil 20 SP, Shooter 200 SL, Silencium 200 SL, Sombrero 200 SL, SUBSTRAL Długo Działający Kwiaty Kompleksowa Ochrona, Substral Kwiaty Kompleksowa Ochrona, Substral Polysect Długo Działający, Substral Polysect Szeroki zakres owadów oraz Tarcznik Ultra PR (stan na dzień 24.07.2024).

W celu ochrony zdrowia konsumentów oraz umożliwienia swobodnego handlu wewnątrz wspólnoty Komisja Europejska określiła najwyższe dopuszczalne poziomy pozostałości (NDP) poszczególnych pestycydów w miodzie. Wartości NDP pestycydów w żywności reguluje Rozporządzenie (WE) nr 396/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 lutego 2005 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów w żywności i paszy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz na ich powierzchni. Analizując wartości NDP dla wszystkich neonikotynoidów należy stwierdzić, że powinny one zostać urealnione, aby odpowiadały na zmiany

wprowadzane przez samą Komisję Europejską na rynku zatwierdzonych do stosowania środków ochrony roślin. Aktualnie wartości NDP dla acetamiprydu, tiametoksamu, klotianidyny oraz imidakloprydu w miodzie wyznaczone są na identycznym domyślnym poziomie 0,05 mg/kg. Jedynie NDP dla tiakloprydu odpowiada poziomom stężeń obserwowanym w rzeczywistych próbkach miodów i wynosi 0,2 mg/kg, przy czym substancja ta została już wycofana ze stosowania. Wartości NDP w miodzie dla pestycydów wycofanych już ze stosowania w UE powinny być z kolei na bardzo rygorystycznym niskim poziomie, zabezpiecząoby to zarówno zdrowie konsumentów jak i rodzimych producentów żywności.

Cel badania

Celem projektu było scharakteryzowanie stopnia zanieczyszczenia próbek miodów pozostałościami neonikotynoidów, analiza przyczyn, ocena ewentualnego ryzyka zdrowotnego dla ludzi, ocena ryzyka dla producentów miodów i próba wskazania takich rozwiązań, które przy zabezpieczeniu zdrowia konsumentów nie powodowałyby negatywnych efektów dla branży pszczelarskiej.

Metodyka

Materiał do badań naukowych stanowiło 29 próbek miodów pochodzących ze wszystkich województw: dolnośląskie (2 próbki), kujawsko-pomorskie (1), lubelskie (4), lubuskie (2), łódzkie (1), małopolskie (1), mazowieckie (4), opolskie (3), podkarpackie (1), podlaskie (2), pomorskie (1), śląskie (1), świętokrzyskie (3), warmińsko-mazurskie (1), wielkopolskie (1), zachodniopomorskie (1). Probki miodów pozyskano dzięki uprzejmości i współpracy z regionalnymi Ośrodkami Doradztwa Rolniczego. Badane miody

pozyskano jako próbki do badań naukowych i nie stanowiły one towaru wprowadzonego do obrotu.

Wśród przebadanych próbek miodów dominował miód scharakteryzowany jako wielokwiatowy (11 próbek) oraz rzepakowy (10). Badaniom poddano również próbki miodu opisanego jako akacjowy (3), lipowy (1) oraz miód bez charakterystyki odmianowej (4).

Przygotowanie próbek do badań i analiza chromatograficzna

Próbki miodów analizowano zgodnie z procedurą badawczą ZFT/PB/01-10 pt. Oznaczanie zawartości pestycydów i polichlorowanych bifenyli w żywności oraz materiale biologicznym metodami chromatografii cieczowej i gazowej sprzężonymi z tandemową spektrometrią mas, wydanie 6 obowiązujące od 29 sierpnia 2022 r. Procedura ta została opracowana w Zakładzie Farmakologii i Toksykologii, Państwowego Instytutu Weterynaryjnego - Państwowego Instytutu Badawczego i wykorzystywana jest rutynowo w badaniach pozostałości pestycydów prowadzonych w Instytucie. Procedura badawcza jest akredytowana na zgodność z normą PN-EN ISO/IEC 17025 (certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AB 485). Wiarygodność badań weryfikowana jest poprzez systematyczny udział laboratorium w międzynarodowych badaniach biegłości organizowanych przez Laboratorium Referencyjne Unii Europejskiej ds. pozostałości pestycydów w żywności pochodzenia zwierzęcego oraz w miodzie (EURL-AO) z siedzibą we Fryburgu w Niemczech. Zakład Farmakologii i Toksykologii pełni funkcję Krajowego Laboratorium Referencyjnego właściwego dla badań produktów pochodzenia zwierzęcego w kierunku pozostałości pestycydów zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 27 lipca 2022 r (Dz. U. z 2022 r., poz. 1667).

W pierwszej kolejności każdy z miodów dokładnie ujednorodniono poprzez mieszanie. Neonikotynoidy ekstrahowano z próbki miodu roztworem 1% kwasu octowego w acetonitrylu. Ekstrakt poddawano oczyszczaniu techniką dyspersyjnej ekstrakcji do fazy stałej (d-SPE). Ekstrakt filtrowano i analizowano w chromatografii cieczowym sprzężonym z tandemowym spektrometrem mas (LC–MS/MS). Analizy LC-MS/MS przeprowadzono przy użyciu chromatografu cieczowego LC Exion sprzężonego z detektorem SCIEX Triple Quad 5500.

Metoda ma zastosowanie do jakościowego i ilościowego oznaczania pozostałości neonikotynoidów (acetamiprydu, imidaklopyrydu, tiaklopyrydu, tiametoksamu i klotianidyny) w miodzie w stężeniach powyżej granicy oznaczalności (LOQ) wynoszącej 0,001 mg/kg dla każdego spośród badanych związków.

Wyniki

Spośród 29 zbadanych próbek miodów, 26 zawierało pozostałości neonikotynoidów w stężeniu powyżej LOQ metody ($> 0,001$ mg/kg). Wśród próbek z pozostałościami większość stanowiły próbki zawierające jeden neonikotynoid (52%). W pozostałej części próbek zawierających pozostałości stwierdzono dwa neonikotynoidy jednocześnie.

W zbadanych próbkach oznaczono przede wszystkim pozostałości acetamiprydu, który stwierdzono w 26 próbkach miodów. Acetamipryd oznaczono w stężeniach od 0,0014 do 0,19 mg/kg. Połowa próbek z pozostałością acetamiprydu zawierała go nie więcej niż 0,036 mg/kg a 90% wyników mieściła się w zakresie stężeń do 0,10 mg/kg. W trzech próbkach stężenie acetamiprydu przekraczało poziom NDP. Drugim najczęściej oznaczonym neonikotynoidem był tiaklopyryd, którego pozostałości

stwierdzono w 10 próbkach miodów. Tiaklopyrd oznaczono w stężeniach od 0,0015 do 0,16 mg/kg. Połowa próbek z pozostałością tiaklopyrdy zawierała go nie więcej niż 0,0029 mg/kg a 90% wyników mieściła się w zakresie stężeń do 0,060 mg/kg. W jednej próbce miodu oznaczono pozostałości tiametoksamu. W żadnej z próbek nie stwierdzono pozostałości imidaklopyrdy ani klotianidyny. Szczegółowe wyniki analiz zebrano w poniższej Tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analiz pozostałości neonikotynoidów w 29 próbkach miodów.

	Acetamidopryd	Imidaklopyrd	Tiaklopyrd	Tiametoksam	Kotianidyna
Liczba próbek z pozostałościami	26	0	10	1	0
Odsetek próbek z pozostałościami	90%	–	34%	3%	–
Stężenie (mg/kg)					
Minimum	0,0014	–	0,0015	0,0026	–
Średnia	0,045	–	0,023	–	–
Mediana	0,036	–	0,0029	–	–
90 Percentyl	0,10	–	0,060	–	–
Maksimum	0,19	–	0,16	–	–

Najwyższe stężenia acetamidoprydu oraz tiaklopyrdy stwierdzono w miodach scharakteryzowanych jako rzepakowe. Maksymalne stężenie acetamidoprydu i tiaklopyrdy oznaczone w grupie miodów wielokwiatowych, akacjowych i lipowym wyniosło odpowiednio 0,054 i 0,044 mg/kg.

Dyskusja

Wyniki uzyskane w ramach realizacji projektu są zbliżone do wyników raportowanych w innych krajach europejskich. W najnowszym raporcie

dotyczącym prowadzonego rokrocznie w Unii Europejskiej urzędowego monitoringu pozostałości pestycydów w żywności opublikowanym przez EFSA w 2024 roku wskazano, że to właśnie acetamipryd i tiaklopryd są najczęściej stwierdzanymi pestycydami w miodach, przy czym stężenia acetamiprydu w niektórych przypadkach przekraczały wartość NDP. W odniesieniu do tiakloprydu odnotowano spadek odsetka próbek zawierających pozostałości tej substancji co ma związek z wycofaniem go ze stosowania w UE.

Pozostałości neonikotynoidów w miodzie wykrywane są powszechnie we wszystkich krajach. Badanie pozostałości neonikotynoidów w miodzie opublikowane na łamach czasopisma Science w 2017 roku wykazało, że 75% spośród próbek miodów pochodzących z całego świata zawierało pozostałość co najmniej jednego z neonikotynoidów. Wyniki badań miodu w Chinach opublikowane przez Han i wsp. w 2022 roku wskazują, że acetamipryd, tiametoksam i imidaklopryd to trzy najczęściej stwierdzane pestycydy a odsetki próbek dodatnich wyniosły odpowiednio 92,6, 90,4 i 73,4%.

Neonikotynoidy takie jak acetamipryd i tiaklopryd są na przestrzeni ostatnich lat jednymi z najczęściej stwierdzanych pestycydów w próbkach miodu w Polsce. Dzięki systematycznie prowadzonym badaniom mamy możliwość odniesienia aktualnych wyników do danych historycznych celem zidentyfikowania ewentualnych zależności. W badaniach prowadzonych w latach 2015-2017 pozostałości cyjano-podstawionych neonikotynoidów oznaczono w 77% próbek miodu i były one wówczas najczęściej wykrywanymi pestycydami w polskich miodach. Wyniki te opublikowano na łamach czasopisma Food Chemistry w 2019 roku. Już wówczas zaobserwowano systematyczny wzrost udziału próbek miodu z pozostałościami tiakloprydu i/lub acetamiprydu na przestrzeni kolejnych lat badań. W przypadku acetamiprydu odsetek próbek z pozostałościami wzrósł z niespełna 40% w roku

2015 do ponad 60% w roku 2017. Badania miodów zebranych z terenów Lubelszczyzny w 2019 roku przez zespół naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie wykazały obecność pozostałości tiakloprydu oraz acetamiprydu odpowiednio w 90% oraz 87% zbadanych próbek.

Wyniki badań uzyskane w niniejszym projekcie wskazywać mogą na spadek odsetka miodów zawierających pozostałości tiakloprydu, co bezpośrednio wynika z faktu wycofania go ze stosowania na poziomie UE w 2020 roku. Jest to zbieżne z wynikami raportów monitoringu pozostałości pestycydów w żywności publikowanymi corocznie przez EFSA. Proces ten należy jednak dalej monitorować na większej liczbie próbek.

Inne zmiany legislacyjne na poziomie UE dotyczące wycofywania kolejnych owadobójczych substancji czynnych ze stosowania również najprawdopodobniej mają wpływ na obserwowany w miodzie profil pozostałości pestycydów, a mianowicie wzrost problemu zanieczyszczenia miodów pozostałościami acetamiprydu. W ostatnich latach wycofano ze stosowania bardzo popularne w Polsce owadobójcze środki ochrony roślin zawierające chloropiryfos oraz dimetoat. Brak tych preparatów na rynku spowodował najprawdopodobniej konieczność ich zastąpienia środkami zawierającymi acetamipryd lub też preparatami zawierającymi substancje z grupy pyretroidów. O ile pyretroidy działają kontaktowo, krótkotrwale i ze względu na swoje powinowactwo do tłuszczu nie przechodzą do miodu, o tyle systemiczny i rozpuszczalny w wodzie acetamipryd przedostaje się do nektaru i ze względu na swoje coraz powszechniejsze wykorzystanie może stanowić coraz częstsze zanieczyszczenie miodów w Polsce.

Acetamipryd znalazł bardzo szerokie zastosowanie w ochronie roślin w Polsce, dzięki bowiem swoim systemicznym właściwościom, działa zarówno interwencyjnie jak i prewencyjnie, długotrwale zabezpieczając roślinę przed

szkodnikami. Acetamipryd jest przy tym bezpieczny dla pszczół. Acetamipryd po zastosowaniu na roślinę wnika do wewnętrznych jej tkanek i soków, skąd dalej transportowany jest do wszystkich komórek i wydzielany jest wraz z nektarem i pyłkiem. Nektar zanieczyszczony pozostałościami acetamiprydu znoszony jest przez pszczoły zbieraczki do ula, gdzie następnie przetwarzany jest w miód. W ten właśnie sposób pestycydy stosowane początkowo jako fitofarmaceutyki stają się niepożądanym zanieczyszczeniem miodów. Kwestia pozostałości acetamiprydu w miodach wymaga więc dalszego monitorowania.

W 2024 roku EFSA opublikował opinię w sprawie właściwości toksykologicznych i najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości acetamiprydu i jego metabolitów. W ramach tej opinii oceniano czy wartości NDP oraz definicja pozostałości acetamiprydu są nadal właściwe względem zaproponowanych obniżonych wartości dopuszczalnego dziennego spożycia (ADI) i ostrej dawki referencyjnej (ARfD). Wskazano 38 produktów w przypadku których ze względu na ryzyko dla konsumentów zasadne jest obniżenie wartości NDP. Miód dla odróżnienia wskazano jako produkt, w przypadku którego zwiększenie wartości NDP do 0,3 mg/kg nie stwarza ryzyka dla konsumentów. Nie mamy więc w przypadku miodu do czynienia z jakimkolwiek ryzykiem zdrowotnym dla konsumentów, miód jest w pełni bezpieczny. W świetle tych propozycji uzyskane wyniki projektu potwierdzają brak istotnego zagrożenia dla konsumentów ze strony pozostałości neonikotynoidów w miodzie.

Alkaloidy pirolizydynowe w miodzie

Ewelina Kowalczyk

Zakład Higieny Pasz

Wstęp

Miód, będący jednym z najstarszych naturalnych produktów spożywczych, od wieków cieszy się uznaniem za swoje właściwości odżywcze i lecznicze. Złożony skład chemiczny miodu obejmuje szereg bioaktywnych związków, w tym witaminy, minerały oraz enzymy. W ostatnich latach rosnąca świadomość konsumentów na temat bezpieczeństwa żywności i potencjalnych zagrożeń zdrowotnych spowodowała wzmożone zainteresowanie badaniami nad obecnością niepożądanych substancji w miodzie. Jedną z grup związków chemicznych, które budzą szczególne zainteresowanie i obawy, są alkaloidy pirolizydynowe (AP).

Alkaloidy pirolizydynowe to naturalne toksyny pochodzenia roślinnego. Szacuje się, że ok. 6000 gatunków, czyli ok. 3% wszystkich roślin kwitnących wytwarza te związki. Dlatego też, uważa się je za najbardziej rozpowszechnione toksyny naturalnego pochodzenia, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Rośliny wytwarzające AP występują w różnych strefach klimatycznych. Jako główne ich źródło uważa się rośliny należące do rodzin *Boraginaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* i *Apocynaceae*. Do roślin występujących na terenie Polski można zaliczyć starca zwyczajnego (*Senecio vulgaris*), starca jakubka (*Senecio jacobaea*), żywokost (*Symphytum officinale* L.), żmijowca zwyczajnego (*Echium vulgare* L.) czy ogórecznik lekarski (*Borago officinalis* L) (Ryc. 1). Bardzo często rośliny te postrzegane są jako pospolite chwasty o ekspansywnym charakterze. Swym zasięgiem obejmują nieużytki, łąki,

pastwiska, pola uprawne, stwarzając tym samym ryzyko zanieczyszczenia żywności i pasz.



Ryc. 1. Rośliny zawierające AP występujące na terenie Polski, a) żmijowiec zwyczajny; b) starzec jakubek; c) starzec zwyczajny (źródło: www.altals.roslin.pl)

Biosynteza tych związków może być różna w zależności od gatunku rośliny, natomiast AP są zazwyczaj wytwarzane w korzeniach, a następnie przemieszczane do innych części rośliny. Stwierdzono, że kwiatostany zawierają najwyższe stężenie AP, niższą zawartość oznaczono w liściach, natomiast łodygi z reguły zawierają najniższe stężenie tych związków. Stężenia alkaloidów w roślinach wahają się od ilości śladowych do kilkunastu procent, a najwyższą ich wartości odnotowano w liściach *Senecio riddellii* – 18% suchej masy rośliny. Jednakże, zarówno skład jak i stężenia poszczególnych AP mogą się zmieniać w zależności od klimatu, warunków środowiskowych oraz od fazy wzrostu rośliny.

AP cechują się dużą różnorodnością struktur, do tej pory rozpoznano już ok. 700 związków z tej grupy, a liczba ta systematycznie rośnie. Występują w formie zasad III-rzędowych (wolnych zasad) oraz N-tlenku. Obie formy wykazują właściwości toksyczne dlatego też zawartość obu form powinna być uwzględniana w czasie oszacowywania ryzyka związanego z ich obecnością.

Toksyczność i ryzyko dla zdrowia

W zasadzie alkaloidy pirolizydynowe są pro-toksynami, gdyż są biologicznie i toksykologicznie nieaktywne. Dopiero po spożyciu dochodzi do metabolicznej aktywacji. Do przemiany w reaktywne metabolity, które mogą prowadzić do uszkodzeń komórek i tkanek dochodzi w wątrobie. Głównymi narządami docelowymi są wątroba i płuca, gdzie dochodzi do tworzenia adduktów DNA, co może prowadzić do mutacji, kancerogenezy, a w skrajnych przypadkach do niewydolności wątroby. Ponadto, AP mogą powodować ostrą toksyczność objawiającą się chorobą wątroby zwaną wenookluzyjną chorobą wątroby.

Mimo iż, różne alkaloidy wykazują różny stopień toksyczności, Panel ds. Zanieczyszczeń Żywności Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) uznał, że wszystkie 1,2-nienasycone AP mają ten sam szlak metaboliczny, wiodący do powstania genotoksycznych i rakotwórczych piroli i ich toksyczność powinna być uwzględniana w jednakowy sposób. Uznano również, że już jednokrotne narażenie na niskie stężenia alkaloidów pirolizydynowych może być przyczyną wystąpienia szkodliwych, często fatalnych w skutkach mutacji. Dlatego też, Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) sklasyfikowała trzy AP jako "prawdopodobnie rakotwórcze dla ludzi" (Grupa 2B). Spożycie żywności zanieczyszczonej AP stanowi ryzyko dla zdrowia ludzi, co potwierdzają udokumentowane przypadki zatrucia pokarmowego, które w niektórych przypadkach zakończyły się śmiercią .

Kontaminacja miodu AP

Duże rozpowszechnienie roślin zawierających alkaloidy pirolizydynowe powoduje, że mogą one stanowić poważny problem w kontekście zanieczyszczenia miodów. Pszczoły zbierające nektar i pyłek z roślin

zawierających alkaloidy pirolizydynowe mogą przenosić te związki do uli, gdzie są one wprowadzane do miodu. W ten sposób AP mogą trafić do produktów końcowych spożywanych przez ludzi. Proces ten jest często niezauważalny, gdyż pszczoły nie są wybiórcze w odniesieniu do źródeł nektaru, a niewielkie ilości AP mogą kumulować się w miodzie w sposób trudny do wykrycia przy standardowych kontrolach jakości. W przypadku, gdy w pobliżu pasiek obecne są rośliny wytwarzające alkaloidy pirolizydynowe istnieje duże ryzyko wystąpienia zanieczyszczenia produktów pszczelich tymi związkami.

Legislacja

Ze względu na potencjalne zagrożenia zdrowotne związane ze spożyciem m.in. miodu z AP, konieczne jest zarządzanie ryzykiem związanym z ich obecnością. W związku z tym, wiele krajów i organizacji międzynarodowych, takich jak Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) czy Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA), ustanowiło limity dopuszczalnych poziomów AP w żywności. W 2020 roku po raz pierwszy pojawiło się Unijne Rozporządzenie 2020/2040 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów pirolizydynowych w niektórych środkach spożywczych. Wśród produktów pszczelich zawartość alkaloidów pirolizydynowych jest regulowana w pyłku i produktach z pyłku oraz suplementach żywnościowych na bazie pyłku, a najwyższy dopuszczalny poziom AP wynosi 500 µg/kg.

Mimo że wciąż brakuje specyficznych regulacji dotyczących AP w miodzie, rosnąca świadomość zagrożeń sprawia, że coraz więcej uwagi poświęca się monitorowaniu i planom regulacji tych substancji w szerszej gamie produktów pszczelich.

Cel Badania

Celem niniejszego projektu było szczegółowe zbadanie obecności alkaloidów pirolizydynowych w miodzie pochodzącym z terenu Polski. Badania obejmowały identyfikację i ilościowe oznaczenie AP w próbkach miodu pochodzących z różnych regionów Polski, a także ocenę potencjalnych źródeł zanieczyszczenia.

Metodyka

Materiał do badań: W kierunku oznaczania alkaloidów pirolizydynowych przebadano 64 próbek miodów.

Próbki pochodziły ze wszystkich województw Polski. W Tabeli 1, przedstawiono zestawienie próbek uwzględniając ich pochodzenie oraz liczbę przypadającą na dane województwo. Badane miody należały głównie do rodzaju rzepakowego i wielokwiatowego. Dodatkowo, badaniu poddano próbki miodu akacjowego, lipowego oraz miód pochodzący z terenów leśnych. Próbki miodów pozyskano m.in. dzięki uprzejmości i współpracy z regionalnymi Ośrodkami Doradztwa Rolniczego. Badane miody pozyskano jako próbki do badań naukowych i nie stanowiły one towaru wprowadzonego do obrotu.

Tabela 1. Informacje dotyczące pochodzenia miodów, liczba miodów pochodzących z danego województwa oraz rodzaj badanego miodu.

Województwo	Liczba próbek	Rodzaj miodu
Dolnośląskie	5	wielokwiatowy, rzepakowy
Kujawsko-pomorskie	1	akacjowy
Lubelskie	15	wielokwiatowy, rzepakowy, akacjowy
Lubuskie	4	wielokwiatowy, rzepakowy
Łódzkie	3	wielokwiatowy
Małopolskie	3	wielokwiatowy, spadziowy nektarowy,
Mazowieckie	5	akacjowy, rzepakowy, wielokwiatowy, lipowy
Opolskie	9	wielokwiatowy z terenów leśnych, wielokwiatowy, rzepakowy
Podkarpackie	1	wielokwiatowy
Podlaskie	4	wielokwiatowy, rzepakowy
Pomorskie	2	rzepakowy
Śląskie	2	wielokwiatowy
Świętokrzyskie	3	wielokwiatowy, rzepakowy
Warmińsko-mazurskie	1	brak informacji
Wielkopolskie	3	rzepakowy
Zachodniopomorskie	3	rzepakowy

Przygotowanie miódów do badania

Próbki miodu zostały przygotowane zgodnie procedurą badawczą opracowaną w Zakładzie Higieny Pasz, Państwowego Instytutu Weterynaryjnego - Państwowego Instytutu Badawczego.

W pierwszej kolejności próbki homogenizowano, a następnie poddano ekstrakcji z zastosowaniem wodnego roztworu kwasu siarkowego. Ekstrakt oczyszczano z zastosowaniem ekstrakcji do fazy stałej. Po oczyszczeniu próbki odparowywano i ponownie rozpuszczano w mieszaninie woda: metanol.

Analiza Chromatograficzna: W celu wykrycia i ilościowego oznaczenia poszczególnych alkaloidów pirolizydynowych zastosowano technikę chromatografii cieczowej sprzężonej ze spektrometrią mas (LC-MS). Badania przeprowadzono przy użyciu chromatografu cieczowego LC Exion sprzężonego z detektorem SCIEX Triple Quad™ 5500+.

W zakresie zastosowanej metody znajdowały się związki takie jak: monokrotalina, erucifolina, jakobina, trichodesmina, senkirina, europina, N-tlenek europiny, heliotryna, N-tlenek heliotryny, lasiokarpina, N-tlenek lasiokarpiny, echimidyna, heliosupina, N-tlenek echimidyny, N-tlenek heliosupiny, lykopsamina, echinatina, indicina, rinderina, N-tlenek intermedyny, N-tlenek lykopsaminy, N-tlenek echinatiny, N-tlenek indicyny, N-tlenek rinderiny, retrorsyna, usaramina, N-tlenek retrorsyny, N-tlenek usaraminy, senecifillina, spartioidyna, N-tlenek senecifilliny, N-tlenek spartioidyny, senecionina, seneciwnina, integerrimina, N-tlenek senecioniny, N-tlenek seneciwniny, N-tlenek integerriminy.

Zastosowana metoda charakteryzuje się niską granicą oznaczalności (LOQ) wynoszącą 1µg/kg dla poszczególnych alkaloidów.

Wyniki

Spośród 64 badanych próbek miodów, tylko 9 próbek (14,1 %) zawierało alkaloidy w stężeniach powyżej granicy oznaczalności metody. Oznaczone stężenia wyrażone jako suma zawartości stwierdzonych alkaloidów, wahały się od 1,0 do 46,9 µg/kg. Wśród alkaloidów oznaczonych ilościowo znalazły się: spartioidyna, senecifillina, senecionina, seneciwnina, intermedina, lykopsamina, echinatina, rinderina, a także N-tlenek echinatyny i rinderiny, echimidyna, heliosupina oraz ich N-tlenkowe formy.

Alkaloidy takie jak monokrotalina, erucifolina, jakobina, trichodesmin, senkirrina, europina i jej N-tlenek, heliotryna, N-tlenek heliotryny, lasiokarpina, N-tlenek lasiokarpiny, N-tlenek echimidyny, N-tlenek heliosupiny, intergerrimina, N-tlenki senecioniny, seneciwniny i intergerriminy nie zostały stwierdzone w żadnym z analizowanych miodów. W Tabeli 2 zestawiono wszystkie próbki wraz ze stwierdzonymi alkaloidami.

Tabela 2. Wyniki oznaczania alkaloidów pirolizydynowych dla poszczególnych próbek miodu

Pochodzenie miodu- województwo	echimidyna	heliosupina	echimidyna N-tlenek	heliosupina N-tlenek	intermedina	lykopsamina	echinatina	rinderina	intermedina N-tlenek	lykopsamina N-tlenek	echinatina N-tlenek	rinderina N-tlenek	senecifilina	spartioidyna	senecifilina N-tlenek	senecionina	senceiwernina	SUMA
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0
lubelskie																	1,0	1,0
lubelskie	9,1												1,7			1,0	1,0	12,8
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0
lubelskie					1,3	1,2	7,4	5,1			1,1	1,7						17,8
lubelskie																		0,0
lubelskie																		0,0

lubelskie																			0,0
lubelskie																			0,0
dolnośląskie																			0,0
dolnośląskie																			0,0
dolnośląskie																			0,0
dolnośląskie																			0,0
dolnośląskie																			0,0
małopolskie																			0,0
małopolskie																			0,0
małopolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
opolskie																			0,0
zachodniopomorskie																			0,0
zachodniopomorskie																			0,0

zachodniopomorskie																		0,0
warmińsko-mazurskie														1,1				1,1
wielkopolskie																		0,0
wielkopolskie																		0,0
wielkopolskie																		0,0
kujawsko-pomorskie																		0,0
łódzkie																		0,0
łódzkie																		0,0
łódzkie																		0,0
śląskie																		0,0
śląskie																		0,0
lubuskie														1,8			1,1	2,9
lubuskie																		0,0
lubuskie																		0,0
lubuskie																		0,0
pomorskie																		0,0
pomorskie																		0,0
podlaskie																		0,0
podlaskie																		0,0
podlaskie																		0,0
podlaskie																		0,0

mazowieckie														1,5				1,5
mazowieckie	2,1																	2,1
mazowieckie																		0,0
mazowieckie	4,2	13,2																17,4
mazowieckie	3,6	7,5	7,1	18,9		1,3			6,0	2,5								46,9
podkarpackie																		0,0
świętokrzyskie																		0,0
świętokrzyskie																		0,0
świętokrzyskie																		0,0

Dyskusja

Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia 2020/2040, zakłada się, że wszystkie wartości poniżej granicy oznaczalności wynoszą zero. W związku z tym za próbki dodatnie można uznać tylko 9 spośród 64 badanych miodów. Tylko 9 (14,1%) miodów byłyby rozpatrywane jako spełniające lub niespełniające ewentualne wymagania prawne. Należy jednak podkreślić, że zastosowana metoda badawcza charakteryzuje się bardzo niskim poziomem granicy oznaczalności wynoszącym 1 µg/kg. W przypadku zastosowania mniej czułej metody, odsetek próbek dodatnich byłyby niższy niż ten zaprezentowany.

Wyniki badań wskazują na nieznaczną obecność alkaloidów pirolizydynowych w polskich miodach pochodzących z różnych źródeł. Spośród 64 badanych miodów tylko 9 próbek (14,1%) zawierało alkaloidy w stężeniach powyżej limitu oznaczalności, co pokazuje, że pomimo powszechnej obecności roślin zawierających AP, ich koncentracja w większości przypadków nie była znacząco wysoka.

Najczęściej oznaczanymi alkaloidami były echimidyna, spartioidyna i seneciwerina, które należą do grupy diestrów o otwartym pierścieniu oraz makrocyklicznych diestrów. Mimo stwierdzonej wyższej toksyczności alkaloidów o budowie makrocyklicznych diestrów, oznaczone poziomy, nie powinny stwarzać ryzyka dla konsumentów miodu. Obecność innych związków np. z grupy lykopsaminy, również stanowi istotny punkt do analizy, ponieważ są one monoestrami o otwartym pierścieniu, których spożycie może mieć także konsekwencje zdrowotne. Alkaloidy z grupy lykopsaminy wykryte zostały w kilku badanych miodach, jednakże na niskich poziomach, które również nie powinny stanowić ryzyka dla konsumentów. Uzyskane wyniki są zgodne z wcześniej przeprowadzonymi badaniami wstępnymi dotyczącymi

zanieczyszczenia AP polskich miodów. Podobne wyniki były również raportowane dla miodów europejskiego pochodzenia. Profil stwierdzonych alkaloidów, obejmujący związki z grupy lykopsaminy, echimidyny, senecioniny i senecyfiliny/spartioidyny, wydaje się być charakterystyczny dla polskich miodów i może ewentualnie służyć do potwierdzenia pochodzenia danych miodów. Jest to szczególnie ważne, gdy pod nazwą "miody polskie" mogą być sprzedawane miody z innych regionów świata, które często zawierają również znacznie wyższe stężenia AP.

Wśród zidentyfikowanych alkaloidów znaczna ich część występowała w formie wolnych zasad, a nie form N-tlenkowych, co najprawdopodobniej ma związek z rozkładaniem się N-tlenków na skutek działania enzymów obecnych w miodzie.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, można również wysnuć wniosek iż umiejscowienie pasiek może mieć kluczowe znaczenie w przypadku kontaminacji miodów alkaloidami pirolizydynowymi. W przypadku miodów uprawowych, np. badanego miodu rzepakowego, w większości przypadków nie stwierdzono obecności alkaloidów pirolizydynowych powyżej granicy oznaczalności metody.

Jeden z miodów pochodzących z województwa mazowieckiego zawierający najwyższy poziom alkaloidów, wynoszący 46,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ zanieczyszczony był związkami z grupy echimidyny i lykopsaminy. Alkaloidy te wytwarzane są głównie przez żmijowca zwyczajnego i biorąc pod uwagę profil stwierdzonych związków, to właśnie żmijowiec był najbardziej prawdopodobnym źródłem zanieczyszczenia AP.

Pozostałe 8 miodów zawierało stosunkowo niskie stężenia alkaloidów, wahające się od 1,0 do 17,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i pochodziły z województw: lubelskiego (3

próbki), mazowieckiego (2 próbki) oraz warmińsko-mazurskiego i lubuskiego (po 1 próbce).

Warto zauważyć, że stężenia oznaczone jako suma zawartości stwierdzonych alkaloidów wahały się od 1,0 do 46,9 µg/kg. Stosunkowo szeroki zakres stężeń może być wynikiem wielu czynników, takich jak różnorodność roślin, zmienność sezonowa oraz różnice w metodach zbierania i przetwarzania miodu.

Potencjalne źródła zanieczyszczenia miodów alkaloidami

Biorąc pod uwagę stwierdzone alkaloidy, można określić ich potencjalne źródła czyli rośliny wytwarzające te związki.

- Alkaloidy z grupy lykopsamina (intermedina, lykopsamina, echinatina, rinderina) oraz ich N-tlenki mogą pochodzić z następujących roślin:

- Sądziec konopiasty (*Eupatorium cannabinum*) z rodziny *Asteraceae* (*Compositae*): jest pospolity na terenie całego kraju. Preferuje tereny o dużej wilgotności.

- Farbownik polny (*Anchusa arvensis* L): dość pospolicie występującym na całym niżu.

- Żywokost lekarski (*Symphytum officinale*): jest rośliną pospolitą na terenie całego kraju.

- Ostrzeń pospolity (*Cynoglossum officinale* L): dość częsty na niżu i w piętrze pogórza.

- Ogórecznik lekarski (*Borago officinalis*): Roślina miododajna, lecznicza, oleista i warzywna.

- Źródłem echimidyny i heliosupiny i ich N-tlenkowych form są zazwyczaj rośliny pochodzące głównie z gatunków należących do rodziny *Boraginaceae* (ogórecznikowate)

- Żmijowiec (*Echium vulgare*): pospolity na całym niżu i w niższych położeniach górskich. Rośliny z gatunku żmijowca uważane są za rośliny miododajne. Kwiaty tych roślin przyciągają pszczoły, motyle i inne owady zapylające. Oprócz echimidyny i heliosupiny wytwarza również alkaloidy z grupy lykopsamina.

- Alkaloidy takie jak senecifillina, spartioidyna, senecionina, seneciwerina oraz ich N-tlenki mogą pochodzić z następujących roślin:

- Rośliny z rodzaju *Senecio*: Starzec zwyczajny, starzec nierównozębny, starzec wąskolistny, wiosenny: pospolite od wybrzeża Bałtyku po tatrzańskie doliny. Rośliny te zawierają znaczne ilości alkaloidów.

- Starzec jakubek (*Jacobaea vulgaris*): występuje powszechnie na łąkach, przydrożach, brzegach pól i lasów oraz w rowach. Może rosnąć wszędzie i nie ma większych wymagań. Zawiera znaczne ilości alkaloidów.

- Pszeniec zwyczajny (*Melampyrum pratense L.*): pospolity na niżu.

- Miłosna górska (*Adenostyles alliariae*): roślina górska, często leśna. Produkuje głównie senecifillinę.

- Lepięznik (*Petasites Mill.*): Roślina wczesnowiosenna, reprezentowana przez cztery gatunki w Polsce. Zasiedla podmokłe miejsca nad potokami, mokre łąki i zarośla, piaszczyste łachy rzeczne, wydmy nadmorskie i śródlądowe. Jednym z najpowszechniejszych gatunków w Polsce jest Lepięznik różowy, który kwitnie w marcu i kwietniu, spotykany w całym kraju, zwłaszcza w górach. Jest roczną rośliną, produkuje senecifillinę i spartioidynę ich N-tlenki, a także senecionine, seneciwerine i N-tlenkowe formy.

Należy również pamiętać, że oprócz roślin naturalnie występujących na terenie Polski, potencjalnym źródłem zanieczyszczenia miodów mogą być także rośliny ozdobne wysadzone w ogrodach zlokalizowanych w sąsiedztwie

pasiek. Rośliny te, ze względu na swoje atrakcyjne kwiaty, mogą być źródłem alkaloidów pirolizydynowych, które pszczoły przenoszą do miodu.

Dodatkowo, stopień zanieczyszczenia alkaloidami może się różnić w zależności od pory roku produkcji miodu. Miody wiosenne mogą być zanieczyszczone w znacznie mniejszym stopniu niż te pozyskiwane w późniejszym okresie, głównie ze względu na fakt, że wiele roślin zawierających alkaloidy rozpoczyna kwitnienie dopiero od czerwca.

Dużą rolę mogą odgrywać również lokalne uwarunkowania środowiskowe, które mogą wpływać na zmienność stężeń i składu alkaloidów pirolizydynowych w miodach. Gleba, klimat oraz warunki pogodowe w danym roku mogą znacząco wpłynąć na ilość i rodzaj alkaloidów w roślinach. Na przykład, susza może powodować stres u roślin, co z kolei może prowadzić do zwiększenia produkcji alkaloidów jako mechanizmu obronnego. Również różnice w praktykach pszczelarskich, takie jak miejsce ustawienia uli, mogą wpływać na to, jakie rośliny pszczoły odwiedzają najczęściej, a tym samym na zawartość alkaloidów w miodzie.

Podsumowując, lokalizacja pasiek jak i sezon produkcji miodu mają kluczowe znaczenie dla jakości jak i zanieczyszczenia. Bliskość roślin produkujących alkaloidy pirolizydynowe, zarówno dziko rosnących, jak i uprawianych w ogrodach, może wpływać na poziom tych związków w miodzie. Zrozumienie i kontrola otoczenia pasiek mogą pomóc w minimalizowaniu ryzyka związanego z obecnością toksycznych alkaloidów w miodzie.

Rekomendacje

Pszczelarze powinni być świadomi roślin w swoim otoczeniu, które mogą zawierać AP. Należy regularnie monitorować obszary pasieczne pod

kątem obecności takich roślin. Kluczowe jest wczesne wykrywanie i identyfikacja roślin zawierających AP, aby zapobiec kontaminacji miodu. Dlatego też, skuteczne zarządzanie terenami wokół pasiek jest niezbędne. Zaleca się usuwanie roślin AP poprzez:

- Mechaniczne wrywanie.
- Koszenie terenów wokół pasiek przed kwitnieniem roślin zawierających AP.

Pszczelarze powinni współpracować z lokalnymi władzami oraz sąsiednimi rolnikami w celu kontrolowania rozprzestrzeniania się roślin zawierających AP. Informowanie o zagrożeniach i edukacja lokalnych społeczności może znacząco przyczynić się do ograniczenia ryzyka kontaminacji. Zaleca się, aby pszczelarze zapewniali swoim pszczołom różnorodne źródła pożytku poprzez sadzenie roślin, które nie zawierają AP. Można to osiągnąć przez wprowadzenie gatunków roślin miododajnych bezpiecznych dla pszczół i ludzi, co zmniejszy ryzyko zbierania nektaru z roślin zawierających AP .

Regularne badania miodu pod kątem zawartości AP są również bardzo istotne. Współpraca z laboratoriami analitycznymi pozwoli na monitorowanie poziomów AP w miodzie, co pomoże w podejmowaniu odpowiednich działań zapobiegawczych, jeśli zostaną wykryte niebezpieczne poziomy tych toksyn.

Podsumowanie

Alkaloidy pirolizydynowe w miodzie mogą stanowić istotny problem zdrowotny, który wymaga uwagi zarówno ze strony naukowców, pszczelarzy, jak i konsumentów. Chociaż miód jest cennym produktem spożywczym o wielu

korzyściach zdrowotnych, obecność AP może stanowić ryzyko dla konsumentów.

Przeprowadzone badania wykazały, że stężenia alkaloidów pirolizydynowych w miodzie pochodzącym z Polski są niskie. Tylko niewielki procent próbek zawierał alkaloidy w stężeniach powyżej limitu oznaczalności metody, co sugeruje, że ryzyko zdrowotne związane z konsumpcją miodu może być ograniczone.

Pszczelarze mogą dodatkowo ograniczyć ryzyko kontaminacji poprzez odpowiednie zarządzanie terenami wokół pasiek, monitorowanie i identyfikację roślin zawierających AP, współpracę z lokalnymi władzami i rolnikami, dywersyfikację źródeł pożytku dla pszczół oraz regularne badania miodu. Podejmując te działania, pszczelarze mogą przyczynić się do produkcji wysokiej jakości i bezpiecznego miodu dla konsumentów.

