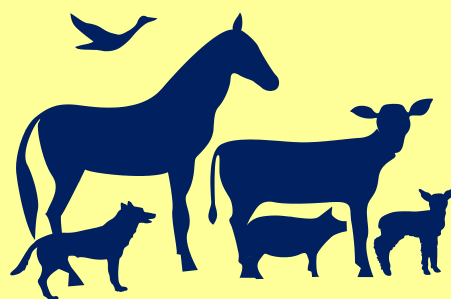


BIULETYN DLA DORADCÓW ODR



Wydanie specjalne

WYDAWNICTWO

Państwowego Instytut Weterynaryjnego – Państwowego Instytutu Badawczego

Puławy, 15 listopada 2024

BIULETYN
DLA
DORADCÓW ODR

Redakcja:

prof. dr hab. Stanisław Winiarczyk

prof. dr hab. Mirosław Polak

Dotyczy publikacji sprawozdania z badań realizowanych w ramach projektu
„Badania w zakresie opracowania efektywnych metod produkcji
wysokobiałkowych ekologicznych komponentów pasz dla trzody chlewnej i
drobiu” finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi

(Nr umowy DEJ.re.756.21.2024 z dn.04.04.2024)

Wydawnictwo Państwowego Instytutu Weterynaryjnego – Państwowego
Instytutu Badawczego w Puławach

Wersja elektroniczna

Wszelkie prawa zastrzeżone

SPIS TREŚCI

Badania w zakresie opracowania efektywnych metod produkcji wysokobiałkowych ekologicznych komponentów pasz dla trzody chlewnej i drobiu.....	5
---	----------

Badania w zakresie opracowania efektywnych metod produkcji wysokobiałkowych ekologicznych komponentów pasz dla trzody chlewnej i drobiu

Ewelina Kowalczyk

Zakład Higieny Pasz

Wstęp

Łubin (*Lupinus spp.*) jest rośliną strączkową, która zdobywa coraz większe zainteresowanie jako alternatywne źródło białka w żywieniu zwierząt gospodarskich. W obliczu rosnącej potrzeby uniezależnienia się od importowanej soi, która dominuje w produkcji pasz, nasiona łubinu stają się obiecującym zamiennikiem, zwłaszcza w regionach, gdzie jego uprawa jest ekologicznie i ekonomicznie uzasadniona. Uprawa łubinu w Polsce ma długą tradycję, a jego popularność wynika z wartości odżywczych i korzyści agroekologicznych. Polska jest jednym z największych producentów łubinu w Europie, a uprawy są prowadzone głównie w regionach o glebach lekkich i średnich, które sprzyjają tej roślinie.

Łubin jest ceniony nie tylko za wysoką zawartość białka, co czyni go cennym składnikiem pasz dla zwierząt, wprowadzenie łubinu do składu pasz może również przynieść wiele korzyści, takich jak zmniejszenie kosztów produkcji i ograniczenie wpływu na środowisko poprzez lokalną produkcję. Jednak wykorzystanie nasion łubinu jako paszy nie jest pozbawione wyzwań. Główną przeszkodą są alkaloidy chinolizydynowe, naturalnie występujące związki o właściwościach antyżywieniowych, które mogą wpływać negatywnie na zdrowie zwierząt. Alkaloidy chinolizydynowe są produkowane przez rośliny jako mechanizm obronny przed roślinożercami i patogenami. Do najczęściej występujących alkaloidów w łubinie należą lupanina, sparteina czy 13-hydroksylupanina. Ich stężenie może się różnić w zależności od gatunku i odmiany łubinu, a także warunków środowiskowych, takich jak nasłonecznienie, wilgotność i jakość gleby.

Z uwagi na potencjalne ryzyko związane z obecnością alkaloidów chinolizydynowych, hodowcy i specjaliści od żywienia zwierząt powinni przywiązywać dużą wagę do doboru odpowiednich odmian łubinu oraz technik uprawy i przetwarzania, które pozwalają zminimalizować ich stężenie i zapewnić bezpieczeństwo stosowania łubinu jako składnika paszy. W przypadku trzody chlewnej, dodatek łubinu do diety może dostarczać nie tylko wartościowego białka, ale także błonnika, który wspiera zdrowie układu pokarmowego. Jednakże, zbyt wysokie dawki alkaloidów mogą wywoływać szereg niepożądanych efektów, od zmniejszenia apetytu i przyrostu masy ciała, po poważne objawy zatrucia, takie jak wymioty, duszności, a w skrajnych przypadkach problemy z układem oddechowym i sercowo-naczyniowym. Świnie są szczególnie wrażliwe na alkaloidy chinolizydynowe, co może prowadzić do poważnych komplikacji zdrowotnych, takich jak obniżona liczebność miotu, martwe urodzenia oraz podwyższona śmiertelność poporodowa. Dlatego tak ważne jest, aby pasza była starannie testowana pod kątem zawartości tych związków.

Stosowanie łubinu w diecie drobiu, takiego jak kurczęta brojlery czy kury nioski, wiąże się z podobnymi korzyściami i wyzwaniem. W przypadku drobiu, który charakteryzuje się szybkim metabolizmem, szczególnie istotne jest zapewnienie, aby składniki paszy były dobrze przyswajalne i nie obciążały układu pokarmowego.

Dodatkowym wyzwaniem w produkcji łubinu na pasze jest fakt, że poziom alkaloidów chinolizydynowych może się sezonowo zmieniać w zależności od wielu czynników, takich jak odmiana rośliny, warunki środowiskowe, gleba, sposób nawożenia oraz poziom stresu roślin. Stres może być spowodowany czynnikami biotycznymi, takimi jak ataki patogenów, lub abiotycznymi, jak susza czy nadmierne opady. Dlatego istotne jest nie tylko wybieranie odmian o niskiej zawartości alkaloidów, ale także ciągłe monitorowanie poziomu tych związków w surowcach przeznaczonych na pasze. Szczególnie w ekologicznej produkcji zwierzęcej, gdzie niedozwolone jest stosowanie GMO i sztucznych dodatków, kwestia bezpiecznego stosowania łubinu nabiera jeszcze większego znaczenia. Producenci muszą polegać na

odmianach o niskiej zawartości alkaloidów oraz wdrażać metody przetwarzania, które minimalizują ich obecność w końcowym produkcie paszowym.

Przygotowanie paszy na bazie łubinu wymaga więc nie tylko znajomości jego składu chemicznego, ale także stosowania odpowiednich procedur w celu optymalizacji jego wartości odżywczej. Zrozumienie mechanizmów działania alkaloidów oraz sposobów ich eliminacji jest kluczowe dla zapewnienia zdrowia i wydajności zwierząt hodowlanych. Dzięki postępowi w badaniach i technikom przetwarzania, łubin ma szansę stać się jeszcze bardziej atrakcyjnym elementem diety w hodowli zwierząt, szczególnie w kontekście rosnącej potrzeby zrównoważonego rolnictwa i alternatywnych źródeł białka, zwłaszcza w hodowlach ekologicznych.

Co więcej na poziomie Komisji Europejskiej trwają już prace nad ustanowieniem maksymalnych limitów zawartości alkaloidów chinolizydynowych w nasionach łubinu, żywności i paszach, a także rekomendacji do ich monitorowania. Posiadanie kompleksowych informacji co do profilu alkaloidów w poszczególnych odmianach łubinu z produkcji ekologicznej, z pewnym wyprzedzeniem pozwoli na wyselekcjonowanie odmian, które mają najmniejszy udział tych toksycznych związków, co zwiększy konkurencyjność polskiej produkcji łubinu, zwłaszcza ekologicznego.

Cel badań

Celem niniejszego projektu było przeprowadzenie szczegółowych badań nad profilem alkaloidów chinolizydynowych w łubinie. Badania skupiały się na identyfikacji oraz ilościowym oznaczeniu alkaloidów w odmianach uprawianych w rolnictwie ekologicznym, pochodzących z różnych regionów Polski, jak również w odmianach testowanych i rekomendowanych przez Ekologiczne Doświadczalnictwo Odmianowe (EDO) prowadzone w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym.

Druga część projektu miała na celu określenie optymalnej metody obróbki nasion łubinu (obróbka temperaturowa, autoklawowanie, parowanie, kiełkowanie, moczenie

w solance) pozwalającej na redukcję zawartości alkaloidów w przetworzonym materiale przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej zawartości białka.

Materiały i metody

Materiałem do badań były nasiona różnych odmian łubinu wąskolistnego oraz żółtego, które testowano w EDO. Nasiona łubinu wąskolistnego uprawiane w 2024 pochodziły z trzech lokalizacji (Osiny – województwo lubelskie; Grabów – województwo mazowieckie, Szepietowo – województwo podlaskie). Badaniu poddano odmiany takie jak: Agat, Bazalt, Bolero, Furman, Pogo, Roland, SM orion, Swing oraz Zorba.

Nasiona łubinu wąskolistnego pochodziły również z upraw z 2023 r., z dwóch lokalizacjach –Grabowa i Szepietowa. Do badanych odmian należały Agat, Bazalt, Bolero, Furman, Roland, Swing, Twist oraz Zorba.

Podobnie nasiona łubinu żółtego pochodziły z upraw prowadzonych w 2023 i 2024 r. Nasiona z upraw z 2024 r. pochodziły z trzech lokalizacji: Osin, Grabowa i Szepietowa. Wśród badanych odmian znalazły się Bursztyn, Diament, Goldeneye, Mister, Puma i Salut. Te same odmiany pochodziły również z upraw z 2023 r., z dwóch lokalizacji Osin i Grabowa.

Ponadto, przebadano 23 próbki nasion łubinu różnych odmian pochodzących z rzeczywistych upraw ekologicznych, które uzyskano od 20 rolników z różnych regionów Polski. Wśród badanych odmian znalazły się: Bolero, Boruta, Dalbor, Karo, Oskar, Regent, Sonet, Tango, Zeus -wąskolistny, a także Baryt – żółty oraz Butan – łubin biały.

Oznaczanie alkaloidów w łubinie: Oznaczanie alkaloidów chinolizydynowych w łubinie przeprowadzono zgodnie z procedurą opracowaną w Zakładzie Higieny Pasz Państwowego Instytutu Weterynaryjnego – Państwowego Instytutu Badawczego. Mianowicie, przed badaniem nasiona łubinu zostały zmielone w młynie laboratoryjnym i przesiane przez sito w celu ujednoludnienia badanego materiału. Alkaloidy ekstrahowano przy użyciu mieszaniny acetonitrylu, wody i kwasu

mrówkowego. Do ekstrakcji zastosowano wytrząsarkę horyzontalną oraz łaźnię ultradźwiękową. Po ekstrakcji supernatant był rozcieńczany i filtrowany.

Do analizy instrumentalnej wykorzystano chromatograf cieczowy sprzężony z tandemowym spektrometrem mas (ExionLC, Sciex 5500 plus System). Analiza prowadzona była w trybie monitorowania reakcji fragmentacji. W analizie jakościowej wykorzystywano określone stosunki jonów oraz czasy retencji poszczególnych związków. Oznaczanie ilościowe przeprowadzono w oparciu o dostępne wzorce alkaloidów, mianowicie: lupaninę, sparteinę, 13-hydroksylupaninę, angustifolinę, lupininę, albinę, multiflorinę, cytyzynę, metylcytyzynę, anagrynę, termopsynę, isolupaninę oraz graminę.

Dobór analizowanych substancji podyktowany był również planowanym wprowadzeniem przez Komisję Europejską rekomendacji monitorowania alkaloidów chinolizydynowych w żywności i paszach. Alkaloidy uwzględnione w badaniu obejmowały wszystkie rekomendowane związki.

Granica oznaczalności metody została wyznaczona na poziomie 1 mg/kg.

Określenie stabilności alkaloidów

Wszystkie badania stabilności przeprowadzono na jednej partii łubinu gorzkiego – Karo.

Wpływ temperatury na stabilność alkaloidów: Stabilność alkaloidów badano, poddając nasiona łubinu działaniu temperatury: 70°C, 80°C i 90°C. Nasiona w trzech formach – całe ziarna, zmielone i obtuszczone – były wyrażane przez 20, 30 i 40 minut.

Wpływ parowania: Nasiona łubinu w trzech formach zostały poddane działaniu pary wodnej przez 10, 20 i 30 minut.

Wpływ autoklawowania: Wpływ ciśnienia na stabilność alkaloidów badano przy użyciu autoklawu laboratoryjnego. Proces autoklawowania przeprowadzono w temperaturze 121°C i ciśnieniu 1,2 bara przez 10, 20 i 30 minut dla nasion w trzech formach: całych ziaren, zmielonych i obtuszonych.

Po obróbce ciśnieniowej oraz parowaniu nasiona były suszone w temperaturze 50°C przez 10 godzin.

Wpływ kiełkowania: Testowano dwa sposoby przygotowania kiełków:

- Metoda pierwsza: 100 g nasion przelewano 500 ml wody przez 3 kolejne dni, następnie nasiona pozostawiono na 24 godziny. Jedną partię nasion trzymano w ciemności, drugą w miejscu zacienionym, ale z dostępem do światła. Kiełkowanie zakończono, susząc nasiona w temperaturze 50°C przez 10 godzin.
 - Metoda druga: 100 g nasion moczone w 250 ml wody. Nasiona pozostawiono w wodzie przez 24 godziny, po czym usunięto nadmiar wody. Proces kiełkowania trwał kolejne 48 godzin, a następnie nasiona suszono w temperaturze 50°C przez 10 godzin.
- Wpływ moczenia w solance: Do 200 g nasion dodano 1000 ml wody z 20 g soli. Nasiona moczone przez 3 tygodnie. Następnie nasiona odsączono i suszono w temperaturze 50°C przez 10 godzin.

Oznaczanie zawartość białka: Oznaczenie zawartości białka przeprowadzono zgodnie z normą PN-A-04018:1975 Artykuły rolno-żywnościowe – Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczenie na białko. Organiczne związki azotu przeprowadzono w siarczanie amonowy za pomocą stężonego kwasu siarkowego w obecności katalizatora, następnie roztwór zalkalizowano i poddano destylacji. W końcowym etapie przeprowadzono miareczkowanie amoniaku związanego w kwasie borowym za pomocą kwasu solnego.

Oznaczanie zawartości wilgoci: Oznaczanie wilgoci przeprowadzono metodą grawimetryczną (susząrkowo-wagową). Próbkę były suszone w temperaturze 105°C aż do chwili ustabilizowania się ich masy. Zawartość wilgoci obliczana była jako różnica masy próbki przed i po wysuszeniu. Oznaczanie wilgotności przeprowadzono z wykorzystaniem wagosuszarki Sartorius MA30.

Analiza statystyczna: Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem programu Microsoft Excel oraz pakietu statystycznego STATISTICA 13. W przypadku spełnienia warunków jednorodności wariancji i normalności rozkładu statystycznego dla analizowanych danych, zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA.

Jeśli założenia dotyczące jednorodności wariancji i normalności rozkładu wyników nie były spełnione, użyto testu Kruskala-Wallisa, będącego nieparametryczną alternatywą dla jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA.

Istotność statystyczną różnic przy sprawdzaniu wpływu wybranych czynników na możliwość redukcji alkaloidów łubinu w porównaniu do ich początkowej zawartości oszacowano za pomocą testu zgodności chi-kwadrat Pearsona.

Dla przeprowadzonych testów statystycznych przyjęto wartość $p \leq 0,05$ jako wskazującą na istotne różnice z prawdopodobieństwem 95% między wartościami reprezentującymi analizowane cechy.

Wyniki

Analizowano łubin wąskolistny z trzech lokalizacji. Uprawa prowadzona była w ekologicznym doświadczałnictwie odmianowym. Wśród badanych odmian były Agat, Bazalt, Bolero, Furman, Pogo, Roland, SM orion, Swing, Twist, Zorba. Wśród badanych odmian łubinu żółtego znalazły się Bursztyn, Diament, Goldeneye, Mister, Puma i Salut.

Dodatkowo badano odmian takie jak: Bolero, Boruta, Dalbor, Karo, Oskar, Regent, Sonet, Tango, Zeus -wąskolistny, a także Baryt – żółty oraz Butan – łubin biały, które pochodziły z różnych województw Polski.

Stabilność alkaloidów badano na jednej partii nasion odmiany Karo.

Wszystkie analizy zostały wykonane w powtórzeniu. Dodatkowo wyniki zostały przeliczone na 12% wilgoci.

Tabela 1. Wyniki oznaczania alkaloidów w łubinie wąskolistnym pochodzącym z EDO z 2024 r.; n.s – nie stwierdzono.

Odmiana	Lokalizacja	13 –hydroksylupanina (mg/kg)	Albina (mg/kg)	Angustifolina (mg/kg)	Gramina (mg/kg)	Lupanina (mg/kg)	Lupinina (mg/kg)	Multiflorina (mg/kg)	Sparteina (mg/kg)	Isolupanina (mg/kg)	Suma (mg/kg)
Agat	Osiny	1154,2	18,4	440,3	1,8	1241,1	1,1	71,3	1,5	375,3	3305,0
	Grabów	422,2	1,8	113,8	1,1	556,1	n.s	12,1	1,1	129,5	1237,6
	Szepietowo	368,5	5,4	115,0	1,2	593,0	n.s	35,5	1,8	124,4	1244,9
Bazalt	Osiny	299,2	n.s	97,4	1,2	336,2	n.s	2,7	n.s	53,1	789,9
	Grabów	117,6	n.s	32,3	1,2	88,4	n.s	1,2	n.s	21,6	262,3
	Szepietowo	151,1	n.s	57,4	1,2	322,2	n.s	2,2	1,7	36,2	572,0
Bolero	Osiny	1028,3	n.s	380,3	1,9	928,9	n.s	8,8	1,5	137,5	2487,1
	Grabów	183,4	n.s	46,6	1,2	180,8	n.s	2,9	1,0	37,4	453,2
	Szepietowo	606,3	n.s	187,7	1,6	644,2	1,2	5,3	2,1	86,7	1535,1
Furman	Osiny	463,6	3,5	139,9	1,8	492,3	n.s	15,8	1,1	99,3	1217,2
	Grabów	109,9	n.s	33,6	1,1	97,3	n.s	2,2	1,0	22,9	267,9
	Szepietowo	261,5	n.s	81,1	1,4	373,6	n.s	4,3	1,8	42,2	765,7
Pogo	Osiny	145,5	3,2	51,0	1,1	105,1	n.s	38,6	n.s	33,7	378,1
	Grabów	29,1	n.s	7,8	1,0	20,8	n.s	3,6	n.s	6,1	68,5
	Szepietowo	102,8	n.s	39,5	1,4	178,4	n.s	2,0	1,7	25,3	351,1
Roland	Osiny	314,5	16,1	100,1	1,6	308,5	n.s	92,1	n.s	58,3	891,3
	Grabów	51,2	2,7	13,6	1,3	47,4	n.s	7,0	n.s	9,7	132,9
	Szepietowo	105,9	6,1	38,7	1,4	180,4	n.s	44,5	1,7	26,9	405,6
SM orion	Osiny	479,4	18,4	164,3	1,3	396,6	n.s	102,8	1,1	99,0	1263,0
	Grabów	207,0	2,3	61,9	1,3	155,0	n.s	20,8	1,0	38,3	487,7
	Szepietowo	151,4	1,5	56,2	1,2	190,7	1,4	30,4	1,8	34,8	469,3
Swing	Osiny	1983,7	4,2	695,8	2,7	2665,5	1,4	14,1	1,9	311,2	5680,6
	Grabów	601,8	n.s	152,6	1,0	716,0	n.s	2,7	1,0	75,6	1550,8
	Szepietowo	554,8	n.s	154,9	1,1	999,5	n.s	5,6	2,0	85,3	1803,1
Zorba	Osiny	704,2	1,5	246,6	1,9	848,6	n.s	6,4	1,3	103,8	1914,2
	Grabów	17,3	n.s	4,5	1,0	16,3	n.s	2,7	n.s	3,9	45,7
	Szepietowo	247,3	n.s	80,9	1,4	349,2	1,3	3,6	1,7	40,1	725,4

Tabela 2. Procentowy udział poszczególnych alkaloidów w sumie zawartości w łubinie wąskolistnym z EDO z 2024 r.

Odmiana	Lokalizacja	13 –hydroksylupanina (%)	Albina (%)	Angustifolina (%)	Gramina (%)	Lupanina (%)	Lupinina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)
Agat	Osiny	34,9	0,6	13,3	0,1	37,6	0,0	2,2	0,0	11,4
	Grabów	34,1	0,1	9,2	0,1	44,9	0,0	1,0	0,1	10,5
	Szepietowo	29,6	0,4	9,2	0,1	47,6	0,0	2,9	0,1	10,0
Bazalt	Osiny	37,9	0,0	12,3	0,2	42,6	0,0	0,3	0,0	6,7
	Grabów	44,8	0,0	12,3	0,5	33,7	0,0	0,5	0,0	8,2
	Szepietowo	26,4	0,0	10,0	0,2	56,3	0,0	0,4	0,3	6,3
Bolero	Osiny	41,3	0,0	15,3	0,1	37,4	0,0	0,4	0,1	5,5
	Grabów	40,5	0,0	10,3	0,3	39,9	0,0	0,6	0,2	8,3
	Szepietowo	39,5	0,0	12,2	0,1	42,0	0,1	0,3	0,1	5,6
Furman	Osiny	38,1	0,3	11,5	0,1	40,4	0,0	1,3	0,1	8,2
	Grabów	41,0	0,0	12,5	0,4	36,3	0,0	0,8	0,4	8,5
	Szepietowo	34,1	0,0	10,6	0,2	48,8	0,0	0,6	0,2	5,5
Pogo	Osiny	38,5	0,8	13,5	0,3	27,8	0,0	10,2	0,0	8,9
	Grabów	42,5	0,0	11,4	1,5	30,4	0,0	5,2	0,0	9,0
	Szepietowo	29,3	0,0	11,2	0,4	50,8	0,0	0,6	0,5	7,2
Roland	Osiny	35,3	1,8	11,2	0,2	34,6	0,0	10,3	0,0	6,5
	Grabów	38,5	2,0	10,3	1,0	35,7	0,0	5,2	0,0	7,3
	Szepietowo	26,1	1,5	9,5	0,3	44,5	0,0	11,0	0,4	6,6
SM orion	Osiny	38,0	1,5	13,0	0,1	31,4	0,0	8,1	0,1	7,8
	Grabów	42,4	0,5	12,7	0,3	31,8	0,0	4,3	0,2	7,9
	Szepietowo	32,3	0,3	12,0	0,3	40,6	0,3	6,5	0,4	7,4
Swing	Osiny	34,9	0,1	12,2	0,0	46,9	0,0	0,2	0,0	5,5
	Grabów	38,8	0,0	9,8	0,1	46,2	0,0	0,2	0,1	4,9
	Szepietowo	30,8	0,0	8,6	0,1	55,4	0,0	0,3	0,1	4,7
Zorba	Osiny	36,8	0,1	12,9	0,1	44,3	0,0	0,3	0,1	5,4
	Grabów	37,8	0,0	9,8	2,2	35,7	0,0	6,0	0,0	8,5
	Szepietowo	34,1	0,0	11,2	0,2	48,1	0,2	0,5	0,2	5,5

Tabela 3. Wyniki oznaczania alkaloidów w łubinie wąskolistnym pochodzącym z EDO z 2023 r.; n.s – nie stwierdzono.

Odmiana	Lokalizacja	13 –hydroksylupanina (mg/kg)	Albina (mg/kg)	Angustifolina (mg/kg)	Gramina (mg/kg)	Lupanina (mg/kg)	Lupinina (mg/kg)	Multiflorina (mg/kg)	Sparteina (mg/kg)	Isolupanina (mg/kg)	Suma (mg/kg)
Agat	Grabów	294,3	1,8	78,0	n.s	400,3	n.s	15,5	1,1	71,0	862,0
	Szepietowo	349,6	1,5	106,5	1,2	386,2	1,1	12,1	1,2	77,8	937,1
Bazalt	Grabów	124,7	n.s	34,6	n.s	122,2	n.s	1,3	1,1	17,1	300,9
	Szepietowo	212,1	1,2	73,5	1,0	212,7	n.s	2,5	1,2	33,4	537,5
Bolero	Grabów	485,2	n.s	138,3	n.s	294,9	n.s	3,1	1,1	44,7	967,2
	Szepietowo	455,5	1,0	125,0	1,0	327,7	n.s	3,3	1,2	39,7	954,4
Furman	Osiny	164,2	n.s	44,4	1,3	180,9	n.s	7,5	n.s	29,7	428,0
	Grabów	120,6	n.s	32,9	n.s	147,1	n.s	3,4	1,1	23,3	328,4
	Szepietowo	143,9	1,1	46,8	1,6	160,1	n.s	6,8	1,2	26,3	387,7
Roland	Grabów	72,1	1,4	20,3	n.s	100,4	n.s	11,2	1,1	10,1	216,5
	Szepietowo	112,3	4,0	33,6	1,1	118,7	n.s	30,9	1,1	16,3	318,1
Swing	Grabów	387,3	n.s	101,2	n.s	423,6	n.s	3,2	1,1	42,4	958,8
	Szepietowo	868,6	1,7	210,3	1,0	1059,5	n.s	6,4	1,3	91,0	2239,6
Twist	Grabów	411,4	n.s	93,9	n.s	363,3	n.s	2,6	1,2	35,6	907,9
	Szepietowo	527,5	1,3	166,3	1,0	383,9	n.s	4,1	1,2	50,8	1136,1
Zorba	Grabów	229,4	n.s	65,7	n.s	202,6	n.s	2,2	1,1	22,3	523,3
	Szepietowo	332,7	1,0	83,3	1,1	300,1	n.s	3,2	1,2	27,7	750,2

Tabela 4. Procentowy udział poszczególnych alkaloidów w sumie zawartości w łubinie wąskolistnym z EDO z 2023 r.

Odmiana	Lokalizacja	13 –hydroksylupanina (%)	Albina (%)	Angustifolina (%)	Gramina (%)	Lupanina (%)	Lupinina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)
Agat	Grabów	34,1	0,2	9,1	0,0	46,4	0,0	1,8	0,1	8,2
	Szepietowo	37,3	0,2	11,4	0,1	41,2	0,1	1,3	0,1	8,3
Bazalt	Grabów	41,4	0,0	11,5	0,0	40,6	0,0	0,4	0,4	5,7
	Szepietowo	39,5	0,2	13,7	0,2	39,6	0,0	0,5	0,2	6,2
Bolero	Grabów	50,2	0,0	14,3	0,0	30,5	0,0	0,3	0,1	4,6
	Szepietowo	47,7	0,1	13,1	0,1	34,3	0,0	0,3	0,1	4,2
Furman	Osiny	38,4	0,0	10,4	0,3	42,3	0,0	1,8	0,0	6,9
	Grabów	36,7	0,0	10,0	0,0	44,8	0,0	1,0	0,3	7,1
	Szepietowo	37,1	0,3	12,1	0,4	41,3	0,0	1,8	0,3	6,8
Roland	Grabów	33,3	0,6	9,4	0,0	46,4	0,0	5,2	0,5	4,7
	Szepietowo	35,3	1,3	10,6	0,4	37,3	0,0	9,7	0,4	5,1
Swing	Grabów	40,4	0,0	10,5	0,0	44,2	0,0	0,3	0,1	4,4
	Szepietowo	38,8	0,1	9,4	0,0	47,3	0,0	0,3	0,1	4,1
Twist	Grabów	45,3	0,0	10,3	0,0	40,0	0,0	0,3	0,1	3,9
	Szepietowo	46,4	0,1	14,6	0,1	33,8	0,0	0,4	0,1	4,5
Zorba	Grabów	43,8	0,0	12,6	0,0	38,7	0,0	0,4	0,2	4,3
	Szepietowo	44,3	0,1	11,1	0,1	40,0	0,0	0,4	0,2	3,7

Tabela 5. Wyniki oznaczania alkaloidów w łubinie żółtym pochodzącym z EDO z 2024 r.; n.s – nie stwierdzono.

Odmiana	Lokalizacja	13–hydroksylupanina (mg/kg)	Angustifolina (mg/kg)	Gramina (mg/kg)	Lupanina (mg/kg)	Lupinina (mg/kg)	Sparteina (mg/kg)	Suma (mg/kg)
Bursztyn	Osiny	4,6	1,1	191,2	3,5	265,0	2,0	467,4
	Grabów	5,0	n.s	346,1	4,5	474,5	2,1	832,2
	Szepietowo	7,3	1,7	251,3	4,8	234,0	n.s	499,1
Diamant	Osiny	3,2	n.s	2,9	n.s	229,4	2,4	237,9
	Grabów	3,8	n.s	n.s	n.s	474,7	3,5	482,0
	Szepietowo	5,1	n.s	n.s	n.s	244,7	2,0	251,8
Goldeneye	Osiny	4,1	n.s	3,6	1,4	244,1	3,4	256,6
	Grabów	3,5	n.s	3,2	2,8	434,5	6,4	450,3
	Szepietowo	26,1	7,7	6,7	28,1	239,7	2,6	310,9
Mister	Osiny	4,9	n.s	38,3	4,8	264,7	4,6	318,3
	Grabów	3,2	n.s	123,0	1,3	344,7	4,4	476,5
	Szepietowo	8,5	1,7	17,4	4,7	192,3	2,2	226,9
Puma	Osiny	6,4	1,4	4,1	7,3	326,8	3,3	349,3
	Grabów	10,3	2,1	21,2	4,6	483,4	4,1	525,5
	Szepietowo	7,1	1,2	14,3	8,6	231,7	2,2	265,1
Salut	Osiny	4,5	n.s	2,8	6,6	182,9	3,0	200,3
	Grabów	6,3	1,8	n.s	10,0	328,6	3,5	350,2
	Szepietowo	6,1	1,5	10,6	12,6	211,4	2,5	244,8

Tabela 6. Procentowy udział poszczególnych alkaloidów w sumie zawartości w łubinie żółtym z EDO z 2024 r.

Odmiana	Lokalizacja	13 -hydroksylupanina (%)	Angustifolina (%)	Gramina (%)	Lupanina (%)	Lupinina (%)	Sparteina (%)
Bursztyn	Osiny	1,0	0,2	40,9	0,7	56,7	0,4
	Grabów	0,6	0,0	41,6	0,5	57,0	0,3
	Szepietowo	1,5	0,3	50,4	1,0	46,9	0,0
Diament	Osiny	1,3	0,0	1,2	0,0	96,4	1,0
	Grabów	0,8	0,0	0,0	0,0	98,5	0,7
	Szepietowo	2,0	0,0	0,0	0,0	97,2	0,8
Goldeneye	Osiny	1,6	0,0	1,4	0,5	95,1	1,3
	Grabów	0,8	0,0	0,7	0,6	96,5	1,4
	Szepietowo	8,4	2,5	2,1	9,0	77,1	0,8
Mister	Osiny	1,5	0,3	12,0	1,5	83,2	1,5
	Grabów	0,7	0,0	25,8	0,3	72,3	0,9
	Szepietowo	3,8	0,8	7,7	2,1	84,7	1,0
Puma	Osiny	1,8	0,4	1,2	2,1	93,5	0,9
	Grabów	2,0	0,4	4,0	0,9	92,0	0,8
	Szepietowo	2,7	0,5	5,4	3,2	87,4	0,8
Salut	Osiny	2,2	0,3	1,4	3,3	91,3	1,5
	Grabów	1,8	0,5	0,0	2,9	93,8	1,0
	Szepietowo	2,5	0,6	4,3	5,2	86,4	1,0

Tabela 7. Wyniki oznaczania alkaloidów w łubinie żółtym pochodzącym z EDO z 2023 r.; n.s – nie stwierdzono.

Odmiana	Lokalizacja	13-hydroksylupania (mg/kg)	Angustifolina (mg/kg)	Gramina (mg/kg)	Lupanina (mg/kg)	Lupinina (mg/kg)	Sparteina (mg/kg)	Suma (mg/kg)
Bursztyn	Osiny	1,0	n.s	96,6	n.s	170,8	1,9	270,3
	Grabów	1,4	n.s	161,5	n.s	209,1	n.s	372,0
Diament	Osiny	1,1	n.s	n.s	n.s	228,2	n.s	229,3
	Grabów	1,4	n.s	n.s	n.s	315,8	2,1	319,7
Mister	Osiny	n.s	n.s	29,8	n.s	180,5	1,7	211,9
	Grabów	1,4	n.s	25,5	n.s	313,1	3,4	343,4
Goldeneye	Osiny	1,3	n.s	9,4	n.s	228,3	3,0	241,9
	Grabów	2,4	n.s	7,2	1,4	331,6	8,0	350,5
Puma	Osiny	1,4	n.s	7,3	n.s	337,8	3,0	349,5
	Grabów	1,7	n.s	3,5	n.s	484,5	6,2	495,9
Salut	Osiny	1,4	n.s	n.s	1,2	174,1	1,7	178,4
	Grabów	1,5	n.s	3,2	1,0	279,7	4,8	290,1

Tabela 8. Procentowy udział poszczególnych alkaloidów w sumie zawartości w łubinie żółtym z EDO z 2023 r.

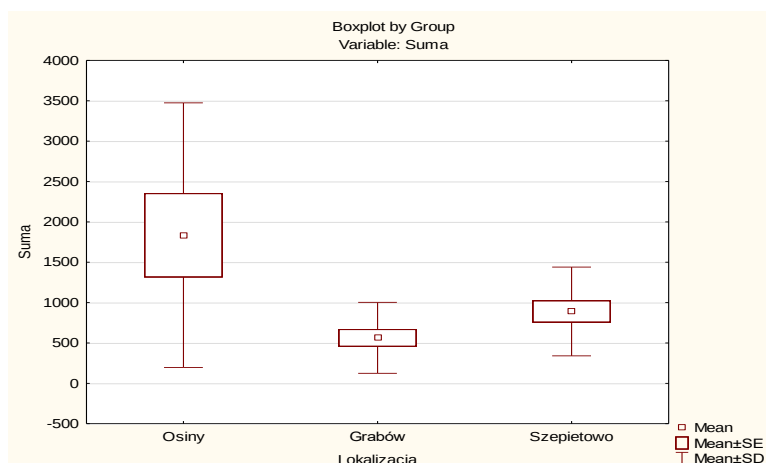
Odmiana	Lokalizacja	13-hydroksylupania (%)	Angustifolina (%)	Gramina (%)	Lupanina (%)	Lupinina (%)	Sparteina (%)
Bursztyn	Osiny	0,4	0,0	35,7	0,0	63,2	0,7
	Grabów	0,4	0,0	43,4	0,0	56,2	0,0
Diament	Osiny	0,5	0,0	0,0	0,0	99,5	0,0
	Grabów	0,4	0,0	0,1	0,0	98,8	0,7
Mister	Osiny	0,0	0,0	14,1	0,0	85,1	0,8
	Grabów	0,4	0,0	7,4	0,0	91,2	1,0
Goldeneye	Osiny	0,5	0,0	3,9	0,0	94,3	1,2
	Grabów	0,7	0,0	2,1	0,4	94,6	2,3
Puma	Osiny	0,4	0,0	2,1	0,0	96,6	0,9
	Grabów	0,3	0,0	0,7	0,0	97,7	1,3
Salut	Osiny	0,8	0,0	0,0	0,7	97,6	0,9
	Grabów	0,5	0,0	1,1	0,3	96,4	1,7

Tabela 9. Wyniki oznaczania alkaloidów w łubinie uzyskanym od rolników od rolników.; n.s – nie stwierdzono.

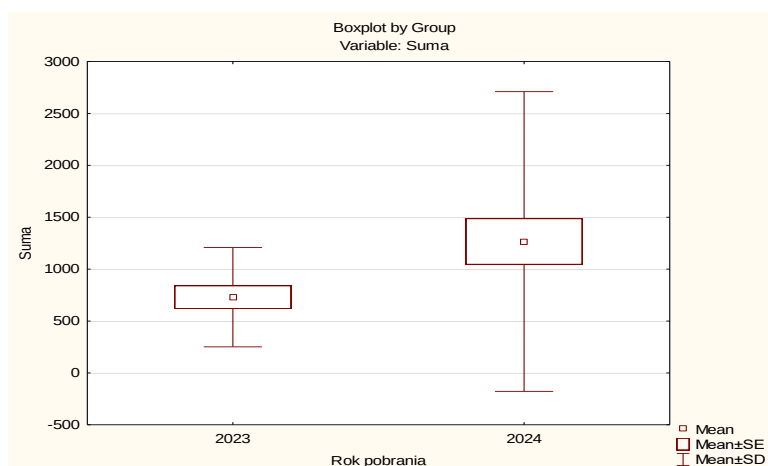
Rok zbioru	Lokalizacja	Gatunek	Odmiana	13- hydroksy- lupanina (mg/kg)	Albina (mg/kg)	Angustifolina (mg/kg)	Gramina (mg/kg)	Lupanina (mg/kg)	Lupinina (mg/kg)	Multiflorina (mg/kg)	Sparteina (mg/kg)	Isolupanina (mg/kg)	Suma (mg/kg)
2024	Śląskie	wąskolistny	Oskar	7047,5	1,5	2277,5	1,0	8357,5	n.s	2,2	1,3	392,9	18081,4
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Oskar	2893,7	n.s	764,1	n.s	3598,0	n.s	1,0	1,3	156,4	7415,1
2024	Mazowieckie	wąskolistny	Karo	7862,5	1,6	2434,0	n.s	13657,5	n.s	2,0	n.s	556,3	24515,2
2024	Warmińsko-Mazurskie	wąskolistny	Karo	2920,8	2,0	931,0	n.s	2873,5	n.s	4,3	n.s	191,6	6924,1
									n.s				
2024	Lubelskie	wąskolistny	Sonet	6238,5	n.s	1657,9	n.s	6956,0	n.s	1,3	2,6	421,8	15278,4
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Sonet	624,2	n.s	152,5	n.s	694,7	n.s	1,1	1,2	35,2	1509,5
2024	Lubelskie	wąskolistny	Dalbor	173,4	6,0	61,2	1,2	321,3	n.s	25,4	n.s	28,3	617,6
2024	Warmińsko-Mazurskie	wąskolistny	Zeus	657,8	n.s	203,1	n.s	542,5	n.s	1,3	n.s	38,4	1444,6
2022	Pomorskie	wąskolistny	Boruta	142,8	n.s	46,2	1,1	145,2	n.s	n.s	n.s	30,9	367,3
2024	Mazowieckie	wąskolistny	Bolero	881,5	n.s	267,6	n.s	624,4	n.s	4,0	n.s	76,7	1855,8
2024	Warmińsko-mazurskie	wąskolistny	Regent	612,9	n.s	201,2	n.s	618,6	n.s	3,5	n.s	69,2	1506,8
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	84,1	2,0	26,3	n.s	98,3	n.s	6,2	n.s	14,8	232,3
2024	Łódzkie	wąskolistny	Regent	131,8	n.s	39,1	n.s	138,9	n.s	10,8	1,1	25,9	348,1
2024	Łódzkie	wąskolistny	Regent	182,5	n.s	52,2	1,0	194,9	n.s	3,5	1,2	26,5	462,3
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	73,3	n.s	24,3	2,2	86,1	n.s	6,5	2,0	11,9	206,2
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	49,0	n.s	15,7	1,8	64,9	n.s	4,5	1,1	8,9	146,5
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Rumba	866,8	n.s	239,1	n.s	981,7	n.s	3,7	n.s	97,2	2190,8
2024	Łódzkie	wąskolistny	Rumba	1033,9	n.s	330,4	1,0	3043,4	n.s	8,4	3,0	140,5	4560,7
2024	Warmińsko-mazurskie	wąskolistny	Rumba	2498,7	n.s	644,2	n.s	3320,0	n.s	4,0	1,7	185,4	6655,0
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Tango	283,5	n.s	85,7	n.s	159,6	n.s	1,4	1,2	20,2	552,1
2024	Pomorskie	wąskolistny	Tango	282,3	n.s	79,6	n.s	192,6	n.s	1,3	1,2	19,4	576,9
2024	Podlaskie	żółty	Baryt	5,6	n.s	1,0	6,6	9,1	367,4	n.s	1,2	1,1	391,9
2024	Łódzkie	biały	Butan	560,1	422,7	126,4	n.s	1478,8	n.s	61,0	2,1	34,0	2685,6

Tabela 10. Procentowy udział poszczególnych alkaloidów w sumie zawartości w łubinie uzyskanym od rolników.

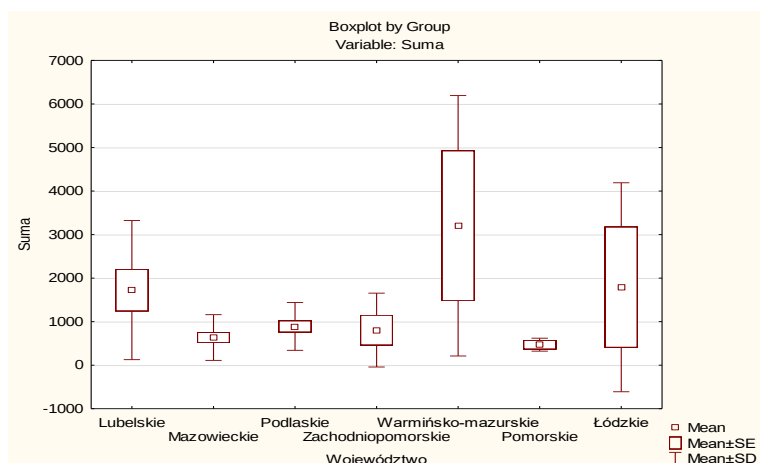
Rok zbioru	Lokalizacja	Gatunek	Odmiana	13-hydroksylupanina (%)	Albina (%)	Angustifolina (%)	Gramina (%)	Lupanina (%)	Lupinina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)
2024	Śląskie	wąskolistny	Oskar	39,0	0,0	12,6	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	2,2
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Oskar	39,0	0,0	10,3	0,0	48,5	0,0	0,0	0,0	2,1
2024	Mazowieckie	wąskolistny	Karo	32,1	0,0	9,9	0,0	55,7	0,0	0,0	0,0	2,3
2024	Warmińsko-Mazurskie	wąskolistny	Karo	42,2	0,0	13,4	0,0	41,5	0,0	0,1	0,0	2,8
2024	Lubelskie	wąskolistny	Sonet	40,8	0,0	10,9	0,0	45,5	0,0	0,0	0,0	2,8
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Sonet	41,4	0,0	10,1	0,0	46,0	0,0	0,1	0,1	2,3
2024	Lubelskie	wąskolistny	Dalbor	28,1	1,0	9,9	0,2	52,1	0,0	4,1	0,0	4,6
2024	Warmińsko-Mazurskie	wąskolistny	Zeus	45,6	0,0	14,1	0,0	37,6	0,0	0,1	0,0	2,7
2022	Pomorskie	wąskolistny	Boruta	39,0	0,0	12,6	0,3	39,6	0,0	0,0	0,0	8,4
2024	Mazowieckie	wąskolistny	Bolero	47,5	0,0	14,4	0,0	33,7	0,0	0,2	0,0	4,1
2024	Warmińsko-mazurskie	wąskolistny	Regent	40,7	0,0	13,4	0,0	41,1	0,0	0,2	0,0	4,6
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	36,3	0,9	11,3	0,0	42,4	0,0	2,7	0,0	6,4
2024	łódzkie	wąskolistny	Regent	37,9	0,0	11,2	0,0	40,0	0,0	3,1	0,3	7,5
2024	łódzkie	wąskolistny	Regent	39,5	0,0	11,3	0,2	42,2	0,0	0,8	0,3	5,7
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	35,5	0,0	11,8	1,0	41,7	0,0	3,2	1,0	5,8
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Regent	33,6	0,0	10,7	1,2	44,5	0,0	3,1	0,8	6,1
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Rumba	39,6	0,0	10,9	0,0	44,9	0,0	0,2	0,0	4,4
2024	łódzkie	wąskolistny	Rumba	22,7	0,0	7,2	0,0	66,7	0,0	0,2	0,1	3,1
2024	Warmińsko-mazurskie	wąskolistny	Rumba	37,6	0,0	9,7	0,0	49,9	0,0	0,1	0,0	2,8
2024	Zachodniopomorskie	wąskolistny	Tango	51,4	0,0	15,5	0,0	28,9	0,0	0,3	0,2	3,7
2024	Pomorskie	wąskolistny	Tango	49,0	0,0	13,8	0,0	33,4	0,0	0,2	0,2	3,4
2024	Podlaskie	żółty	Baryt	1,4	0,0	0,2	1,7	2,3	93,8	0,0	0,3	0,3
2024	łódzkie	biały	Butan	20,9	15,7	4,7	0,0	55,1	0,0	2,3	0,1	1,3



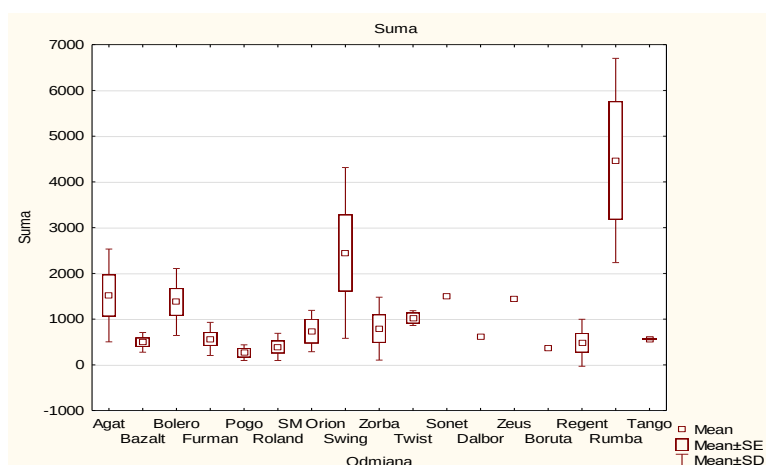
Rysunek 1. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie wąskolistnym w trzech lokalizacjach: Osiny, Grabów oraz Szepietowo. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



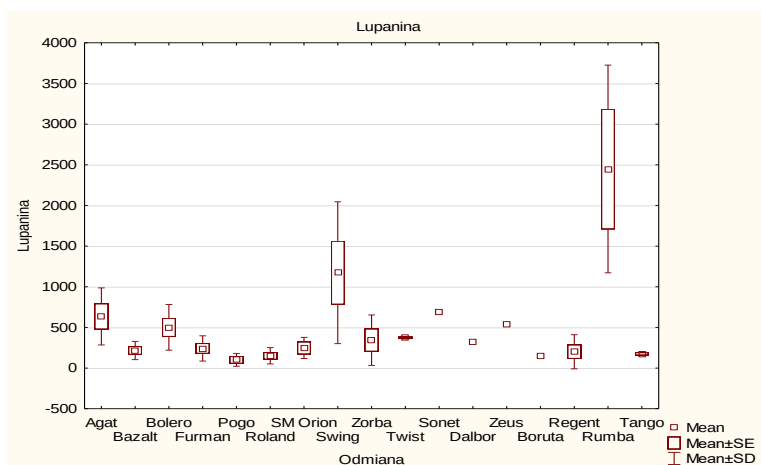
Rysunek 2. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie wąskolistnym uprawianym w 2023 i 2024 r. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



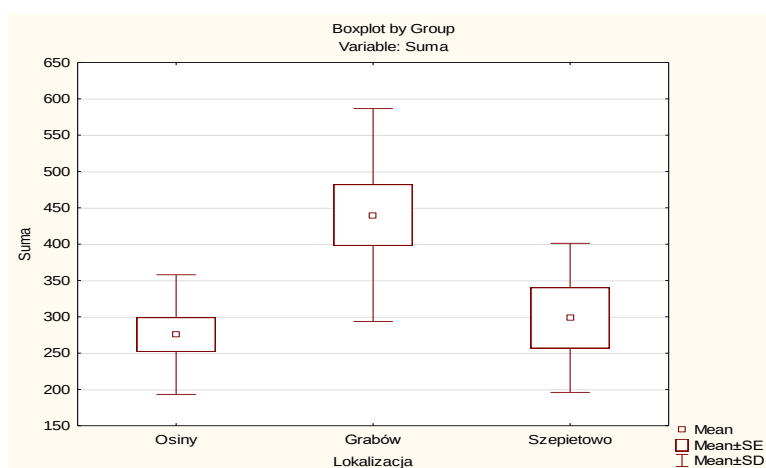
Rysunek 3. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie wąskolistnym dla poszczególnych województw. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



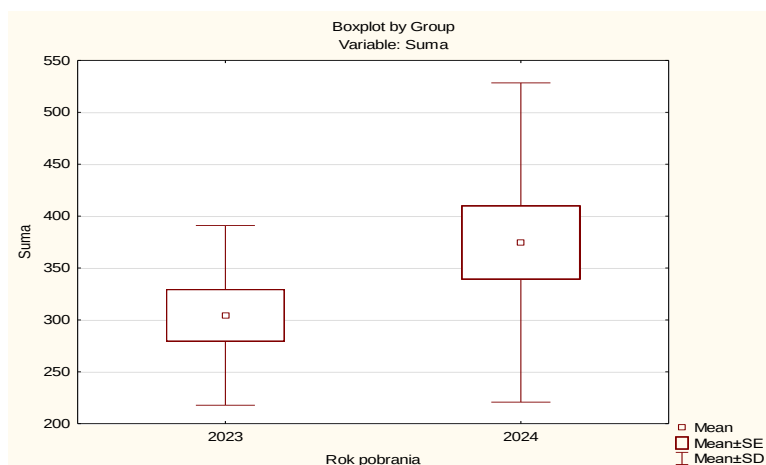
Rysunek 4. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie wąskolistnym dla poszczególnych odmian. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



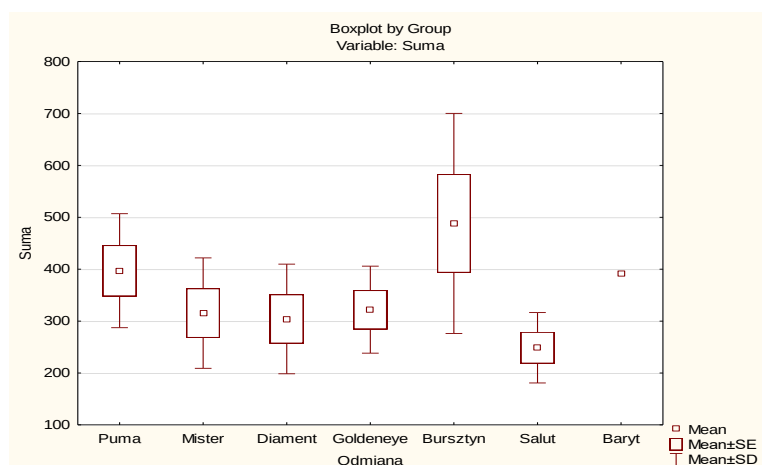
Rysunek 5. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla zawartości lupaniny w łubinie wąskolistnym dla poszczególnych odmian. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



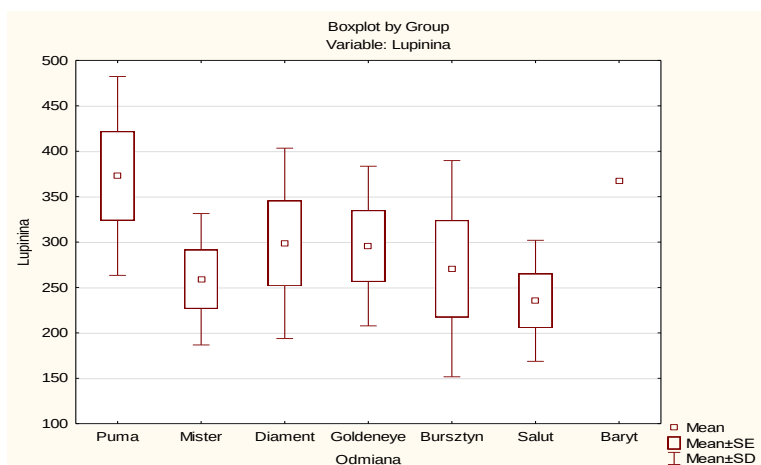
Rysunek 6. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie żółtym w trzech lokalizacjach: Osiny, Grabów oraz Szepletowo. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



Rysunek 7. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie żółtym uprawianym w 2023 i 2024 r. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



Rysunek 8. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla sumy zawartości alkaloidów w łubinie żółtym dla poszczególnych odmian. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).



Rysunek 9. Wykres pudełkowy ilustrujący rozkład wartości dla zawartości lupininy w łubinie żółtym dla poszczególnych odmian. Na wykresie zaznaczone są wartości średnie, średni błąd standardowy ($\text{Mean} \pm \text{SE}$) oraz odchylenie standardowe ($\text{Mean} \pm \text{SD}$).

Tabela 11. Wpływ autoklawowania na stabilność alkaloidów. Przedstawione wartości wyrażają procentowy ubytek (wartość ujemna) lub przyrost (wartość dodatnia) w odniesieniu do zawartości alkaloidów w łubinie niepoddanym obróbce.

Czas autoklawowania (minuty)	Forma nasion	13 – hydroksylupanina (%)	Angustifolina (%)	Lupanina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)	Suma (%)	Białko (%)
30	bez łuski	10	-20	7	-8	4	8	5	3
30	całe	4	-5	6	4	3	2	4	1
30	zmielone	1	-11	8	-1	1	10	3	2
20	bez łuski	1	-10	-1	-4	5	-1	-1	3
20	całe	4	1	3	2	1	2	3	1
20	zmielone	-6	-7	-4	-1	-3	-3	-5	2
10	bez łuski	8	-4	-2	-2	5	1	1	2
10	całe	1	0	5	4	-3	1	3	3
10	zmielone	-3	-1	1	2	2	1	-1	3

Tabela 12. Wpływ parowania na stabilność alkaloidów. Przedstawione wartości wyrażają procentowy ubytek (wartość ujemna) lub przyrost (wartość dodatnia) w odniesieniu do zawartości alkaloidów w łubinie niepoddanym obróbce.

Czas parowania (minuty)	Forma nasion	13 – hydroksylupanina (%)	Angustifolina (%)	Lupanina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)	Suma (%)	Białko (%)
30	bez łuski	-5	-10	-13	-3	20	-6	-10	0
30	całe	4	4	4	4	2	2	4	2
30	zmielone	-1	-2	2	4	1	-7	0	2
20	bez łuski	-10	-13	-20	2	35	-17	-16	-1
20	całe	-5	-1	2	-1	-4	-10	-1	-3
20	zmielone	-2	-3	0	3	2	-4	-1	0
10	bez łuski	-5	-8	-12	9	32	-8	-9	1
10	całe ziarno	0	-4	0	4	-1	-10	-1	-1
10	zmielone	4	1	4	3	-1	-2	4	4

Tabela 13. Wpływ temperatury na stabilność alkaloidów. Przedstawione wartości wyrażają procentowy ubytek (wartość ujemna) lub przyrost (wartość dodatnia) w odniesieniu do zawartości alkaloidów w łubinie niepoddanym obróbce.

Temperatura (°C)	Czas (minuty)	Forma nasion	13-hydroksylupanina (%)	Angustifolina (%)	Lupanina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)	Suma (%)	Białko (%)
90	40	zmielone	-2	-1	5	2	1	5	4	5
90	40	całe	-5	-6	-4	-4	-8	0	-3	0
90	40	bez łuski	-4	-3	-4	-5	20	-1	-2	3
90	30	zmielone	3	1	7	-2	2	7	7	4
90	30	całe	-14	-10	-9	-3	-2	-13	-9	-5
90	30	bez łuski	3	-4	-7	-7	13	-10	-2	0
90	20	zmielone	2	-4	-5	6	4	-4	0	3
90	20	całe	-3	-9	-1	32	48	14	0	-1
90	20	bez łuski	3	-11	-10	-6	19	-14	-4	1
80	40	zmielone	2	3	11	-2	-4	11	8	4
80	40	całe	-9	-12	-5	-12	-10	-4	-5	-2
80	40	bez łuski	2	-9	-11	-3	28	-10	-5	2
80	30	zmielone	6	-1	1	-2	-0,3	2	5	2
80	30	całe	-6	-18	-14	-9	-15	-15	-10	2
80	30	bez łuski	5	-9	-12	-7	20	-9	-4	0
80	20	zmielone	-12	-18	-18	-5	-11	-21	-14	3
80	20	całe	-13	-24	-23	-10	-19	-24	-18	-1
80	20	bez łuski	-4	-15	-22	-14	6	-21	-14	-0
70	40	zmielone	2	3	5	1	1	10	6	5
70	40	całe	-2	-7	-9	-4	-11	-6	-4	2
70	40	bez łuski	-1	-7	-11	-11	16	-2	-5	1
70	30	zmielone	-16	-11	-8	-5	-7	-2	-10	2
70	30	całe	-8	-1	5	-3	-6	10	1	0
70	30	bez łuski	0	-6	-8	-8	12	-5	-4	0
70	20	zmielone	-2	-5	-6	-5	-5	-6	-3	1
70	20	całe	-7	-14	-12	-2	-13	-13	-8	0
70	20	bez łuski	3	-10	-14	-7	12	-13	-6	0

Tabela 14. Wpływ kiełkowania i moczenia w solance na stabilność alkaloidów. Przedstawione wartości wyrażają procentowy ubytek (wartość ujemna) lub przyrost (wartość dodatnia) w odniesieniu do zawartości alkaloidów w łubinie niepoddanym obróbce.

Kiełkowanie 1 – kiełki przygotowane metodą pierwszą; kiełkowanie 48 h – kiełki przygotowane metodą drugą.

Sposób obróbki	13 – hydroksylupanina (%)	Angustyfolina (%)	Lupanina (%)	Multiflorina (%)	Sparteina (%)	Isolupanina (%)	Suma (%)	Białko (%)
kiełkowanie 1 ciemno	-16	-16	-7	-6	-11	-19	-11	-4
kiełkowanie 1 jasno	-11	3	3	1	1	7	-1	-9
kiełkowanie 48 h	-20	-12	-26	-31	-5	-11	-22	5
moczenie w solance	-66	-67	-69	-35	-40	-67	-68	-3

Tabela 15. Szczegółowe zestawienie porównania wyników testem chi-kwadrat Pearsona dla sumy alkaloidów po autoklawowaniu.

Forma nasion	Czas Min.	Chi-kwadrat	Wartość p	Istotność statystyczna
bez łuski	10	2,238	0,1346	Nie
bez łuski	20	1,649	0,1991	Nie
bez łuski	30	48,415	<0,0001	Tak
całe	10	11,48	0,0007	Tak
całe	20	12,713	0,0004	Tak
całe	30	24,573	<0,0001	Tak
zmielone	10	0,651	0,4199	Nie
zmielone	20	38,348	<0,0001	Tak
zmielone	30	14,185	0,0002	Tak

Tabela 16. Szczegółowe zestawienie porównania wyników testem chi-kwadrat Pearsona dla sumy alkaloidów po parowaniu.

Forma nasion	Czas minuty	Chi-kwadrat	Wartość p	Istotność statystyczna
bez łuski	30	186,17	< 0,0001	Tak
bez łuski	20	485,85	< 0,0001	Tak
bez łuski	10	153,18	< 0,0001	Tak
całe	30	21,031	< 0,0001	Tak
całe	20	2,2091	0,1372	Nie
całe	10	0,78548	0,3755	Nie
zmielone	30	0,054908	0,8147	Nie
zmielone	20	1,8616	0,1724	Nie
zmielone	10	15,675	< 0,0001	Tak

Tabela 17. Szczegółowe zestawienie porównania wyników testem chi-kwadrat Pearsona dla sumy alkaloidów po kiełkowaniu i moczeniu w solance.

Sposób obróbki	Chi-kwadrat	Wartość p	Istotność statystyczna
kiełkowanie 1 ciemno	169,58	<0,0001	Tak
kiełkowanie 1 jasno	2,374	0,1234	Nie
kiełkowanie 48	667,83	<0,0001	Tak
moczenie w solance	8564,3	<0,0001	Tak

Tabela 18. Szczegółowe zestawienie porównania wyników testem chi-kwadrat Pearsona dla sumy alkaloidów po obróbce termicznej.

Forma nasion	Temperature °C	Czas minuty	Chi-kwadrat	Wartość p	Istotność statystyczna
zmielone	90	40	3,165	0,07523	Nie
całe	90	40	24,442	<0,0001	Tak
bez łuski	90	40	24,307	<0,0001	Tak
zmielone	90	30	25,083	<0,0001	Tak
całe	90	30	169,8	<0,0001	Tak
bez łuski	90	30	17,308	<0,0001	Tak
zmielone	90	20	14,623	0,0001	Tak
całe	90	20	10,683	0,001081	Tak
bez łuski	90	20	62,278	<0,0001	Tak
zmielone	80	40	50,018	<0,0001	Tak
całe	80	40	71,354	<0,0001	Tak
bez łuski	80	40	71,265	<0,0001	Tak
zmielone	80	30	8,1047	0,004415	Tak
całe	80	30	172,51	<0,0001	Tak
bez łuski	80	30	59,235	<0,0001	Tak
zmielone	80	20	329,48	<0,0001	Tak
całe	80	20	521,94	<0,0001	Tak
bez łuski	80	20	426,86	<0,0001	Tak
zmielone	70	40	17,241	<0,0001	Tak
całe	70	40	48,898	<0,0001	Tak
bez łuski	70	40	77,364	<0,0001	Tak
zmielone	70	30	167,37	<0,0001	Tak
całe	70	30	0,5478	0,4592	Nie
bez łuski	70	30	43,34	<0,0001	Tak
zmielone	70	20	24,409	<0,0001	Tak
całe	70	20	132,68	<0,0001	Tak
bez łuski	70	20	102,11	<0,0001	Tak

Omówienie wyników

Badano łubin wąskolistny z trzech lokalizacji testowanych w Ekologicznym Doświadczalnictwie Odmianowym. Wśród badanych odmian znalazły się Agat, Bazalt, Bolero, Furman, Pogo, Roland, SM Orion, Swing, Twist i Zorba. Wszystkie odmiany charakteryzowały się podobnym profilem alkaloidów. Najczęściej oznaczanymi związkami były: 13-hydroksylupanina, angustifolina, lupanina, isolupanina, multiflorina, sparteina, albina oraz gramina. Związkami oznaczanymi w najwyższych stężeniach były lupanina, 13-hydroksylupanina, angustifolina oraz isolupanina, które stanowiły ponad 90% oznaczonej sumy zawartości. Lupinina, gramina, sparteina oraz albina były stwierdzane na stosunkowo niskim poziomie, bez znaczącego procentowego wkładu do całościowej zawartości alkaloidów. Stężenia poszczególnych alkaloidów nieznacznie różniły się między odmianami.

Spśród badanych odmian łubinu wąskolistnego z 2024 r., odmiana Pogo charakteryzowała się najniższą zawartością alkaloidów, ze średnią wynoszącą 265,9 mg/kg (0,026%). Kolejną odmianą z niską zawartością tych substancji antyżywnościowych była Roland, ze średnią na poziomie 476,6 mg/kg. Odmiana ta miała również najniższą zawartość alkaloidów w nasionach zebranych w 2023 r. Stosunkowo niską zawartość analizowanych związków stwierdzono także w odmianach Furman, Bazalt i Zorba, z wyjątkiem zbioru z Osin z 2024 r. Odmiany Pogo i Zorba pochodzące z uprawy w 2024 r. prowadzonej w Grabowie zawierały bardzo mało alkaloidów: odpowiednio 68,5 mg/kg (0,007%) i 45,7 mg/kg (0,005%).

Odmiany łubinu wąskolistnego charakteryzujące się wysoką zawartością alkaloidów to Agat oraz Swing, zarówno w nasionach z 2024 r., jak i z 2023 r. Ciekawą obserwacją był fakt, że wszystkie odmiany łubinu zebrane w 2024 r. pochodzące z Osin zawierały znacznie wyższe stężenia alkaloidów

w porównaniu z tymi samymi odmianami z innych lokalizacji. Niestety, w przypadku tej lokalizacji nie dostarczono materiału nasiennego z 2023 r., z wyjątkiem odmiany Furman. Porównując wyniki uzyskane dla tej odmiany w latach 2023 i 2024, można zauważyć wzrost stężeń wszystkich alkaloidów, co prowadzi do wzrostu ich sumarycznej zawartości. Co więcej, nie odnotowano znaczących różnic w stężeniach alkaloidów w odmianie Furman z 2023 r. pochodzącej z innych lokalizacji, co może wskazywać na specyficzne czynniki stresowe oddziałujące na rośliny w Osinach w 2024 r.

Niektóre odmiany łubinu wąskolistnego, takie jak Bazalt i Roland, wykazywały stabilność zawartości alkaloidów między latami uprawy, podczas gdy inne, np. Bolero, charakteryzowały się znaczną zmiennością zawartości alkaloidów, co może sugerować większą wrażliwość tej odmiany na czynniki stresowe.

W przypadku łubinu żółtego testowanego w EDO, analizowane były odmiany takie jak Bursztyn, Diament, Goldeneye, Mister, Puma i Salut. Oznaczone sumy zawartości alkaloidów znalazły się w przedziale 200,3 – 832,2 mg/kg dla nasion z 2024 r., oraz od 178,4 do 498,9 mg/kg dla nasion z 2023 r. Dominującym jeśli chodzi o zawartość alkaloidem stwierdzonym we wszystkich odmianach była lupinina. Poziom lupininy wahał się od 182,9 do 483,4 mg/kg w łubinie z 2024 r. oraz od 170,8 do 484,5 mg/kg w nasionach pochodzących z 2023 r. Lupinina w większości odmian była odpowiedzialna za ponad 90 % udział w całkowitej sumie zawartości alkaloidów. Wszystkie odmiany pochodzące z Grabowa charakteryzowały się najwyższymi zawartościami lupininy w porównaniu z pozostałymi lokalizacjami, co może wynikać z lokalnych warunków glebowych. Tylko w odmianach Bursztyn i Mister, zauważalny były inny alkaloid – gramina. Alkaloidy takie jak 13-hydroksylupanina, lupanina i sparteina były oznaczane w śladowych ilościach

zwłaszcza w łubinie zebranym w 2023 r. Angustifolina, cytyzyna, metylcytyzyna, anagryna i termopsyna nie były stwierdzone w żadnej z badanych odmian łubinu żółtego z 2023 r.

W łubinie pochodzącym z 2024 r. zauważalny był nieznaczny wzrost zawartości alkaloidów, zwłaszcza wśród odmian pochodzących z Grabowa. We wszystkich odmianach oprócz odmiany Diament, zaobserwowano pojawienie się nieznacznych poziomów lupaniny i 13-hydroksylupaniny. Również gramina została odnotowana w wyższych stężeniach w porównaniu z rokiem 2023.

W 2024 roku doszło do bardziej zróżnicowanej syntezy alkaloidów w porównaniu do roku 2023 r. Może to być efektem wpływu czynników środowiskowych, agrotechnicznych lub zmian odmianowych. Zmniejszenie stężenia lupaniny oraz wzrost udziału takich alkaloidów jak 13-hydroksylupanina i lupanina zaobserwowano zwłaszcza w odmianach Bursztyn i Mister. Jednakże, w odróżnieniu od łubinu wąskolistnego uprawianego 2024 r. w Osinach, w łubinie żółtym z tej lokalizacji nie odnotowano znaczącego wzrostu stężeń alkaloidów, co może sugerować, że odmiany żółte są bardziej odporne na pewne czynniki stresowe.

Mimo nieznacznych różnic w stężeniach alkaloidów między latami upraw oraz poszczególnymi odmianami, można stwierdzić, że łubin żółty charakteryzuje się znacznie bardziej stabilnym składem zarówno pod względem stężenia alkaloidów, jak i ich typów w porównaniu do łubinu wąskolistnego. Co więcej wszystkie analizowane odmiany miały stosunkowo niską zawartość sumaryczną alkaloidów, poniżej 1000 mg/kg.

Wśród odmian uzyskanych od rolników prowadzących uprawy w systemie ekologicznym dominowała odmiana Regent. Charakteryzowała się ona stosunkowo niską zawartością badanych alkaloidów, wahającą się od 146,5 do 462,3 mg/kg, z wyjątkiem jednej lokalizacji – 1506 mg/kg. Wśród

odmian ze względnie niską zawartością alkaloidów znalazły się również Tango, Boruta oraz Dalbor. Natomiast odmiana Rumba wykazywała kilkukrotnie wyższe stężenia analizowanych związków w porównaniu z pozostałymi odmianami.

W przypadku odmiany Sonet, w jednej z próbek nasion oznaczono znaczne poziomy alkaloidów. Różnica ta jest najprawdopodobniej wynikiem omyłkowego przypisania odmiany słodkiej do łubinu gorzkiego, który wyglądem przypominał odmianę typowo gorzką – Karo.

Jeśli chodzi o profil obecności poszczególnych związków, to w odmianach wąskolistnych dominowały związki takie jak lupanina, 13-hydroksylupanina, angustiolina i isolupanina. Podobnie jak w odmianach pochodzących z EDO związki te odpowiadały za ponad 90 % wkład do sumarycznej wartości oznaczanych stężeń.

Wśród badanych odmian pochodzących z rzeczywistych upraw znalazła się tylko jedna odmian łubinu żółtego i jedna białego. Odmian żółta - Baryt, również charakteryzowała się niską zawartością alkaloidów – 391,9 mg/kg oraz dominującym wkładem lupininy.

Badana odmiana biała – Butan, charakteryzowała się nieco odmiennym profilem alkaloidów. Odmiana ta obok lupniny i 13-hydroksylupaninay, zawierała znaczne ilości albiny, która nie była właściwie obserwowana w odmianach łubinu wąskolistnego jak i żółtego. Również zawartość multofloriny była wyższa w stosunku do pozostałych gatunków łubinu. Sumaryczna zawartość alkaloidów była jednak stosunkowo wysoka i wynosiła 2685,6 mg/kg.

Wśród odmian pochodzących od rolników, pojawiły się również dwie odmiany gorzkie, mianowicie Karo i Oskar. Odmiany te zawierały alkaloidy typowe dla odmian wąskolistnych w bardzo wysokich stężeniach sięgających 24515,2

mg/kg (2,4%). W odmianach gorzkich również widoczna jest rozbieżność w zawartości badanych alkaloidów w zależności od miejsca pochodzenia upraw.

Cytyzyna oraz metylcytyzyna nie zostały stwierdzone w żadnej spośród badanych odmian łubinu wąskolistnego, żółtego czy białego. Termopsyna i anagiryne zostały stwierdzone w niektórych odmianach łubinu wąskolistnego, natomiast ze względu na bardzo niskie stężenia, poniżej limitu oznaczalności metody nie zostały one uwzględnione w zestawieniu oznaczonych alkaloidów.

Rozbieżność w składzie jakościowym, a zwłaszcza w ilościowym alkaloidów najprawdopodobniej wynika z faktu, że synteza alkaloidów w roślinach, jest procesem bardzo złożonym, na który wpływają liczne czynniki. Do czynników mających szczególne znaczenie należą m.in. czynniki genetyczne, np. genotyp rośliny, czyli specyficzna budowa genetyczna rośliny determinuje jej zdolność do produkcji alkaloidów. Należy również wspomnieć o czynnikach środowiskowych, które mogą odrywać kluczowy wpływ na produkcję alkaloidów, np. skład gleby, dostępność składników odżywczych, jej typ i pH. Poziom alkaloidów może wzrosnąć, gdy obecne są pewne kluczowe składniki odżywcze lub gdy warunki glebowe wywołują stres u roślin. Warunki pogodowe takie jak temperatura, ekspozycja na światło i wzorce opadów mogą wpływać na szlaki metaboliczne syntezy alkaloidów. Wysokie temperatury lub warunki suszy mogą prowadzić do zwiększonej produkcji alkaloidów jako odpowiedź rośliny na stres. Również lokalizacja fizyczna, w tym wysokość nad poziomem morza, może wpływać na rodzaj i ilość syntetyzowanych alkaloidów ze względu na różnice w temperaturze, nasłonecznieniu i ciśnieniu atmosferycznym.

Nie bez znaczenia jest również stres biotyczny, wywołany atakami roślinożerców, szkodników lub patogenów. Mogą one stymulować produkcję

alkaloidów jako mechanizmu obronnego. Wpływ na syntezę alkaloidów mają również faza wzrostu i wiek rośliny, tzn. stężenie alkaloidów może zmieniać się wraz z etapem wzrostu rośliny. Generalnie młode rośliny lub pewne stadia rozrodcze (takie jak kwitnienie i rozwój nasion) wykazują różne profile alkaloidów w porównaniu do dojrzałych roślin. Również zmiany sezonowe mogą wpływać na syntezę alkaloidów. Wiadomo również, że synteza alkaloidów jest ściśle związana z metabolizmem azotu. Wyższe poziomy azotu mogą promować biosyntezę wtórnych metabolitów zawierających azot, w tym alkaloidów. Dodatkowo, zwiększona zawartość fosforu i potasu, które odgrywają rolę w transferze energii i procesach enzymatycznych, mogą pośrednio wpływać na szlaki metaboliczne zaangażowane w produkcję alkaloidów.

Do bardzo istotnych czynników należą również czynniki antropogeniczne czyli praktyki rolnicze. Stosowanie nawozów, środków ochrony roślin oraz praktyki uprawy, takie jak nawadnianie i wybór odmian, mogą mieć bezpośredni wpływ na profil metaboliczny roślin. Metody uprawy, takie jak płodozmian i uprawy wspomagające, mogą również wpływać na dostępność składników odżywczych i mikroklimat, co w konsekwencji zmienia produkcję alkaloidów. Dobór odmiany jest również istotny zwłaszcza w kontekście wykorzystania łubinu w celach paszowych.

Z powyższych badań wynika, że wskazanym wyborem powinny być odmiany żółte o niskim i stabilnym składzie alkaloidów. Jeśli chodzi o odmiany wąskolistne, które zazwyczaj cechuje lepsza wydajność w uzyskiwanych plonach rekomendowane były by odmiany Pogo, Roland, Bazalt czy Regent.

Stabilność alkaloidów:

Podstawowym wyzwaniem związanym z wykorzystaniem łubinu w paszach dla trzody chlewnej i drobiu jest zapewnienie jego odpowiedniego przetworzenia, aby zredukować zawartość alkaloidów do poziomu bezpiecznego dla zwierząt. Świnie, ze względu na swoją wrażliwość na związki antyżywnieniowe, mogą być szczególnie narażone na negatywne skutki spożywania pasz zawierających alkaloidy. Toksyczność alkaloidów chinolizydynowych w diecie świń może objawiać się zmniejszonym przyrostem masy ciała, osłabieniem funkcji układu pokarmowego oraz obniżeniem ogólnej kondycji zwierząt. Podobne wyzwania występują w przypadku drobiu, którego układ trawienny również może negatywnie reagować na obecność alkaloidów, co prowadzi do spadku wydajności produkcyjnej i problemów zdrowotnych. Dlatego też, przeprowadzono szereg badań mających na celu znalezienie najlepszego sposobu obróbki nasion łubinu, który umożliwiłby redukcję zawartości alkaloidów przy równoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu białka. Testowano wpływ temperatury, autoklawowania, parowania, kiełkowania oraz moczenia w solance na stabilność alkaloidów chinolizydynowych oraz białka.

Wpływ temperatury:

Zaobserwowano zróżnicowaną stabilność związków w zależności od temperatury oraz czasu wyprężania. Najwyższą stabilność temperaturową odnotowano dla sparteiny, natomiast angustifolina i isolupanina były najbardziej podatne na spadki stabilności przy wydłużonym czasie obróbki i wyższej temperaturze. Umiarkowaną stabilność zaobserwowano dla 13-hydroksylupaniny. W warunkach podwyższonej temperatury odnotowano bardziej znaczące spadki stabilności w miarę upływu czasu, co może

wskazywać na stopniowy rozpad lub przekształcenie tych związków w inne substancje. W przypadku lupaniny zaobserwowano względnie stabilne stężenie w niższych temperaturach, ale przy wyższych (np. 90°C) stabilność spadała bardziej zauważalnie zwłaszcza z wydłużeniem czasu wyprężania.

Ciekawym zjawiskiem jest początkowy wzrost stabilności multifloriny przy wyższych temperaturach, co może świadczyć o pewnych reakcjach chemicznych sprzyjających jej stabilności w krótkim czasie lub transformacji innych związków w multiflorinę, chociażby jej potencjalnych izomerów. Jednak przy dłuższej obróbce nastąpił spadek stabilności, co oznacza, że po przekroczeniu pewnej granicy czasowej, multiflorina traci swoją odporność na wysokie temperatury.

Nasiona pozbawione łuski poddane obróbce termicznej charakteryzowały się zróżnicowanymi wynikami, przy czym najwyższą stabilność zaobserwowano dla sparteiny, a niższą dla innych związków, takich jak lupanina i multiflorina. Wbrew przewidywaniom, wyniki stabilności sugerują, że nasiona zmielone przed obróbką termiczną wykazują najwyższą stabilność dla większości związków, natomiast całe nasiona mają najniższą stabilność dla alkaloidów, zwłaszcza dla 13-hydroksylupaniny, angustyfoliny i lupaniny. Wy tłumaczeniem tego zjawiska może być fakt, iż w całych ziarnach, ciepło musi przenikać przez zewnętrzne warstwy, co może prowadzić do nierównomiernej temperatury wewnątrz nasion, skutkując różnymi stopniami degradacji związków. Zmielone nasiona pozwalają na lepszą penetrację ciepła, co umożliwia szybsze i bardziej jednolite nagrzewanie wszystkich ich części. To może chronić związki chemiczne przed przegrzaniem lokalnym, które jest bardziej prawdopodobne w przypadku całych nasion. W procesie obróbki termicznej całe nasiona mogą doświadczać napięć termicznych, które prowadzą do mikrouszkodzeń lub pęknięć. Może to zwiększać degradację związków poprzez tworzenie

niestabilnych stref. Zmielone nasiona są mniej podatne na takie efekty, ponieważ ich struktura jest bardziej jednolita. Innym potencjalnym wyjaśnieniem jest degradacja substancji w zmielonych ziarnach niezwiązanych z alkaloidami, co prowadzi do zmiany stosunku masowego i w efekcie koncentracji alkaloidów.

Analizując wpływ temperatury na sumaryczną zawartość alkaloidów, dla większości form nasion zaobserwowano spadek ich stężenia, w zakresie od -0,3% do -17%. W odniesieniu do zawartości białka, nie odnotowano statystycznie istotnych zmian jego zawartości w trakcie obróbki termicznej, niezależnie od formy nasion poddanych działaniu wysokiej temperatury.

Wpływ autoklawowania:

13-hydrokylupanina wykazała statystycznie istotne różnice w stężeniu początkowym i po obróbce w autoklawie. Po 20 minutach odnotowano wpływ autoklawowania zwłaszcza w nasionach bez łuski i zmielonych. Zmiana istotna statystycznie w przypadku całych nasion nastąpiła po 30 min. obróbki. Generalnie wpływ autoklawowania na 13-hydroksylupainę zależał od rodzaju i formy nasion oraz czasu działania. Istotne zmiany zaobserwowano głównie dla dłuższych czasów autoklawowania oraz w niektórych formach nasion, szczególnie gdy były poddane działaniu przez 30 minut. W przypadku angustifoliny wpływ autoklawowania na zawartość różnił się w zależności od formy i rodzaju nasion oraz czasu obróbki. Największe zmiany są obserwowane w zmielonych nasionach po dłuższych okresach (20 i 30 minut) oraz w nasionach bez łuski po 20 i 30 minutach. Lupanina, isolupanina oraz sparteina nie uległy degradacji w czasie autoklawowania. Największe zmiany stężenia zaobserwowano dla angustifoliny i multifloriny.

Analiza wyników wykazała brak istotnych statystycznie zmian w zawartości białka, co oznacza, że wszystkie badane formy nasion zachowywały stabilność względem zawartości białka w czasie autoklawowania.

Autoklawowanie wpływało różnorodnie na wartości końcowe stężeń alkaloidów w zależności od formy nasion oraz czasu obróbki. W przypadku nasion zmielonych, po 20 minutowej obróbce zaobserwowano zmniejszenie zawartości końcowej alkaloidów, co sugeruje, że autoklawowanie mogło zmniejszyć ich sumaryczną zawartość. W przypadku niektórych alkaloidów zaobserwowano przyrosty stężeń w czasie autoklawowania. Tego typu zjawisko może być efektem możliwych zjawisk chemicznych i fizycznych np. rozkładu bardziej złożonych związków chemicznych obecnych w nasionach, które w trakcie tego procesu przekształcają się w prostsze alkaloidy. Alkaloidy mogą ulegać także transformacji w inne, w wyniku obróbki termicznej i wysokiego ciśnienia. Wysoka temperatura i ciśnienie mogą sprzyjać przegrupowaniom chemicznym, które prowadzą do zwiększenia stężenia pewnych związków kosztem innych. Dodatkowo, struktura komórek nasion może ulegać uszkodzeniu, co prowadzi do uwolnienia alkaloidów, które były wcześniej zamknięte w komórkach i nie były tak skutecznie ekstrahowane z nieprzetworzonych nasion.

Wpływ parowania:

Oddziaływanie parowania na stabilność poszczególnych związków jest również zróżnicowane i zależy od ich chemicznych właściwości oraz formy ziarna. Parowanie doprowadziło do spadku stężenia 13-hydroksylupaniny, w różnych formach nasion, co sugeruje, że związek ten jest umiarkowanie stabilny pod wpływem ciepła i pary. Angustifolina wykazała zróżnicowane zmiany w stężeniu w zależności od formy ziarna. W ziarnach bez łuski

i zmielonych dochodziło do większego spadku stężenia, co sugeruje, że odpowiednia forma nasion może sprzyjać degradacji tego alkaloidu. Podobny trend zaobserwowano dla isolupaniny, której stężenie spadało w zmielonych ziarnach oraz w ziarnach bez łuski. Parowanie skutkowało redukcją sumarycznej zawartości alkaloidów właściwie dla wszystkich form nasion. Szczególnie zauważalny ubytek stężeń zauważono po 20 minutowej obróbce. Jeśli chodzi o sumę zawartości alkaloidów, to statystycznie istotna zmiana nastąpiła w obłuszczonych nasionach.

Parowanie nie wpłynęło w sposób statystycznie istotny na zawartość białka, co po raz kolejny pokazało, że zawartość białka nie ulega redukcji w czasie temperaturowej obróbce nasion łubinu.

Wpływ kiełkowania i moczenia w solance:

W odróżnieniu od obróbek termicznych, zarówno kiełkowanie, jak i moczenie w solance okazały się bardziej skuteczne w degradacji analizowanych alkaloidów, z wynikami statystycznie istotnymi. Moczenie nasion w słonej wodzie przez trzy tygodnie skutkowało największą i statystycznie istotną redukcją zawartości większości analizowanych alkaloidów, zwłaszcza lupaniny, izolupaniny, angustifoliny, 13-hydroksylupaniny i multifloriny, które to są kluczowe pod względem procentowego udziału w całkowitej zawartości alkaloidów. Moczenie w solance doprowadziło do niemal 70% redukcji ogólnego stężenia alkaloidów, co ma szczególne znaczenie dla wykorzystania łubinu o podwyższonej zawartości alkaloidów w żywieniu zwierząt.

Różne warianty kiełkowania prowadziły do umiarkowanych zmian zawartości alkaloidów, ze statystyczną istotnością w przypadku pierwszej metody przygotowania kiełków – „ciemno” oraz drugiej metody. Namoczenie

nasion, a następnie kiełkowanie przez 48 godzin, doprowadziło do maksymalnie 22% spadku zawartości alkaloidów.

Wyniki wskazują na brak statystycznie istotnych różnic w zawartości białka po kiełkowaniu i moczeniu w solance, co sugeruje stabilność poziomu białka w czasie tych procesów.

Istotną zaletą obu metod jest również fakt, że moczenie w solance często zwiększa wartość odżywczą, może sprzyjać powstawaniu korzystnych probiotyków i poprawiać przyswajalność składników odżywczych. Tego rodzaju obróbka obniża poziom alkaloidów i innych związków antyżywniowych, nadając produktom charakterystyczny smak, co może sprzyjać zwiększonemu poborowi paszy przez zwierzęta i lepszym przyrostom masy. Kiełkowanie z kolei zwiększa biodostępność składników odżywczych oraz obniża zawartość związków takich jak fityniany i alkaloidy. Proces kiełkowania aktywuje enzymy, które poprawiają trawienie i wchłanianie składników odżywczych.

Dodatkowym atutem kiełkowania jest jego ekonomiczność, ponieważ nie wymaga wysokich nakładów finansowych. Problemem związanym z kiełkowaniem jest jednak ryzyko pojawienia się pleśni i grzybów na źle lub zbyt długo przygotowywanych kiełkach, co może prowadzić do powstawania szkodliwych mykotoksyn.

Podsumowanie

Alkaloidy są ważnymi związkami, które rośliny produkują jako odpowiedź na stresy środowiskowe i biotyczne. Zmienne warunki klimatyczne, zasobność gleby, obecność szkodników, długość dnia oraz czynniki antropogeniczne mogą istotnie wpływać na syntezę tych związków. Zmiany w udziale i koncentracji poszczególnych alkaloidów, jakie zaobserwowano w niektórych odmianach w danych lokalizacjach, mogą być wyrazem

adaptacyjnej odpowiedzi roślin na specyficzne warunki środowiskowe i praktyki uprawy. Dlatego też istotny jest nie tylko dobór odmiany o potencjalnie niskiej zawartości alkaloidów, ale także odpowiednie praktyki agrotechniczne jak i sama kontrola nasion pod kątem zawartości tych związków przed przeznaczeniem ich na pasze lub żywność.

W badaniach nad odmianami łubinu wąskolistnego i żółtego przeprowadzonych w różnych lokalizacjach stwierdzono, że łubin żółty charakteryzuje się bardziej stabilnym i niskim składem alkaloidów w porównaniu do łubinu wąskolistnego. W przypadku łubinu żółtego większość odmian miała stosunkowo niskie stężenia alkaloidów, co zwiększa bezpieczeństwo i czyni go bardziej odpowiednim do wykorzystania w paszach dla zwierząt. Spośród odmian wąskolistnych wyróżniały się Pogo, Roland, Bazalt i Regent, które mają niską zawartość alkaloidów i mogą być stosowane w paszach, podczas gdy odmiany Agat, Swing i Rumba, wykazujące wyższe stężenia wymagają ostrożności w ich stosowaniu.

Podstawowym wyzwaniem przy stosowaniu łubinu jako paszy jest odpowiednie przetworzenie nasion w przypadku potrzeby zredukowania zawartości alkaloidów do poziomu bezpiecznego dla zwierząt. W szczególności świnie i drób, ze względu na ich wrażliwość na związki antyodżywcze, mogą być narażone na negatywne skutki spożycia pasz zawierających wysokie stężenia alkaloidów. Dlatego rekomenduje się stosowanie metod obróbki, takich jak wyprażanie, parowanie, czy bardziej ekonomiczne przygotowywanie kiełków, a przede wszystkim moczenie nasion w solance, prowadzące do największej redukcji zawartości alkaloidów, nawet do 70%. Kiszenie łubinu w solance jest szczególnie korzystne, gdyż nie tylko obniża poziom alkaloidów, ale także zwiększa wartość odżywczą paszy i poprawia przyswajalność składników odżywczych. Kiełkowanie nasion to inna skuteczna metoda, która dodatkowo

aktywuje enzymy poprawiające trawienie. Obie metody są ekonomiczne, z niskim kosztem wdrożenia i bez generowania szkodliwych produktów ubocznych.

Dla rolników planujących wykorzystanie łubinu jako paszę, istotne jest także monitorowanie warunków środowiskowych i praktyk agrotechnicznych, które mogą wpływać na zawartość alkaloidów. Wybór lokalizacji uprawy, zapewnienie odpowiednich składników odżywczych w glebie oraz zarządzanie nawadnianiem mogą zminimalizować stres u roślin, co w efekcie zmniejsza produkcję alkaloidów. Uprawy prowadzone na glebach o odpowiedniej strukturze i pH oraz w kontrolowanych warunkach wodnych są mniej podatne na stres abiotyczny, który może zwiększać zawartość alkaloidów.

Bibliografia:

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on the risks for animal and human health related to the presence of quinolizidine alkaloids in feed and food, in particular in lupins and lupin-derived products. EFSA Journal 2019;17(11):5860. doi: 10.2903/j.efsa.2019.5860.

Frick K.M., Kamphuis L.G., Siddique K.H.M., Singh K.B., Foley R.C.: Quinolizidine Alkaloid Biosynthesis in Lupins and Prospects for Grain Quality Improvement. Front. Plant Sci. (2017) 8:87.doi: 10.3389/fpls.2017.00087.

Jeroch H., Lipiec A.: Nasiona łubinów (*Lupinus* spp.) w żywieniu drobiu. Wiadomości Zootechniczne, R. LVI (2018), 2: 119–134.

Kasprowicz-Potocka M., Chilomer K., Zaworska A., Nowak W., Frankiewicz A.: The effect of feeding raw and germinated *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius* seeds on the growth performance of young pigs. Journal of Animal and Feed Sciences, 22, 2013, 116–121.

Kim J.C., Pluske J.R., Mullan B.P.: Lupins as a protein source in pig diets. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2007 2, No. 003.

Madelou, N.A.; Melliou, E.; Magiatis, P.: Quantitation of *Lupinus* spp. Quinolizidine Alkaloids by qNMR and Accelerated Debittering with a Resin-Based Protocol. Molecules, 2024, 29, 582. <https://doi.org/10.3390/molecules29030582>.

Mancinotti D., Frick Geu-Flores K.M.: Biosynthesis of quinolizidine alkaloids in lupins: mechanistic considerations and prospects for pathway elucidation. Nat. Prod. Rep., (2022) 39, 1423.

Schryvers S., Arinzechukwu C., Miserez B., Eeckhout M., Jacxsens L.: The fate of quinolizidine alkaloids during the processing of lupins (*Lupinus* spp.) for human consumption. Food Chemistry, 429, (2023), 136847.

