

Ekonomiczne aspekty zastosowania efektu hormetycznego w rolnictwie

Stanisław Szarek

Ekonomiczne aspekty zastosowania efektu hormetycznego w rolnictwie

Warszawa 2010

Stanisław Szarek

**Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny
w Siedlcach**

**EKONOMICZNE ASPEKTY
ZASTOSOWANIA
EFEKTU HORMETYCZNEGO
W ROLNICTWIE**

Warszawa 2010

W pracy przedstawiono ekonomiczne wyniki zastosowania efektu hormetycznego w rolnictwie. Wykazano, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach, dzięki wystąpieniu tego efektu może w zadowalający sposób wyjaśnić zmienność plonowania roślin, co pozwala wyjaśnić prawidłowości w kształtowaniu się efektywności i dochodowości produkcji na poziomie pojedynczego gospodarstwa oraz na poziomie całego kraju.

Wyniki doświadczeń wazonowych pokazały, że wzrost zawartości ołowiu w glebie, dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego miał korzystny wpływ na plonowanie roślin. Jednocześnie zastosowanie dodatkowych dawek azotu na glebach o wyższej zawartości ołowiu spowodowało obniżenie się wartości nadwyżki bezpośredniej w produkcji rolniczej. Dane eksperymentalne i przeprowadzony rachunek marginalny pokazały, że rezygnacja z wysokich dawek nawożenia mineralnego może być drogą do poprawy efektywności produkcji na glebach, które zawierają podwyższone ilości metali ciężkich.

Zaobserwowano również zależności pomiędzy poziomem plonowania roślin a zawartością metali ciężkich w glebach w okresie międzywojennym oraz w obecnych latach.

Wyniki prezentowane w tym opracowaniu pokazały, że na glebach, które zawierają podwyższone ilości metali ciężkich, nie można stosować zbyt wysokich dawek nawożenia mineralnego, ponieważ w istotny sposób obniża to wyniki ekonomiczne i efektywność produkcji rolniczej. Sytuacja taka może mieć miejsce również na glebach, które zgodnie z informacjami zawartymi w rozporządzeniach ministerialnych mogą być zaliczane do gleb o normalnej, niepodwyższonej zawartości metali ciężkich.

Dzięki wykorzystaniu efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności pokazano, jak można precyzyjnie powiązać wzrost intensywności gospodarowania ze wzrostem efektywności produkcji z uwzględnieniem zasad gospodarowania przyjaznych środowisku.

Dr Stanisław Szarek
Zakład Ekonomiki, Organizacji Rolnictwa i Agrobiznesu
Akademia Podlaska, Siedlce
szarek@ap.siedlce.pl

Recenzenci:

prof. dr hab Henryk Runowski
prof. dr hab. Zbigniew Jaworowski

ISBN 978-83-89503-87-9

Wydawnictwo: Wieś Jutra sp. z o. o.
ul. Bruzdowa 112F , 02-991 Warszawa
Redakcja i skład: Halina Jakubczyk
tel. (0 22) 643 82 60
e-mail: wiesjutra@poczta.onet.pl
www.wiesjutra.pl
Nakład: 120 egz., ark. wyd. 9,5, ark. druk. 5,5.

Podziękowanie

*Autor pragnie złożyć podziękowanie
prof. dr hab. **Zbigniewowi Jaworowskiemu**,
którego prace były inspiracją do podjęcia opracowania
omawianych zagadnień.*

Spis treści

Wstęp	7
Cel pracy	9
Materiał i metody badawcze	10
1. Efekt hermetyczny – koncepcja, założenia, mechanizm hormezy	16
1.1. Koncepcja, założenia	16
1.2. Mechanizm hormezy	20
2. Efekt hormetyczny a wyniki uzyskane w rolnictwie	22
2.1. Nawożenie mineralne roślin uprawnych	23
2.2. Mikroskładniki używane w produkcji roślinnej	25
2.3. Inne czynniki plonotwórcze	26
3. Prawo malejącej wydajności a efekt hormetyczny	28
3.1. Prawo malejącej wydajności w rolnictwie	28
3.2. Nowe aspekty wynikające z zastosowania efektu hormetycznego w ekonomice rolnictwa	31
4. Efektywność zastosowania wzrastających dawek nawozów w warunkach zróżnicowanej zawartości ołowiu w glebie	38
4.1. Doświadczenie I	38
4.2. Doświadczenie II	41
4.3. Doświadczenie III	43
5. Poziom plonowania i efektywność produkcji roślinnej w Polsce	56
5.1. Poziom plonowania i efektywność produkcji roślinnej w latach 1934–1938	56
5.2. Poziom plonowania i efektywność produkcji roślinnej w latach 2003–2008	61
Podsumowanie i wnioski	67
Załączniki	68
Piśmiennictwo	82
Summary	88

WSTĘP

Analizując zawarte w piśmiennictwie materiały badawcze dotyczące plonowania roślin i efektywności produkcji rolniczej można odnieść wrażenie, że zagadnienia te zostały bardzo dokładnie opracowane. Prześledzenie tej problematyki w dłuższym okresie nie upoważnia jednak do sformułowania takiego wniosku. Mimo doskonalenia metod badawczych i wykorzystywania w produkcji rolniczej najnowszych zdobyczy techniki, nie uzyskano zadowalających wyników w dziedzinie wzrostu intensywności produkcji, który szedłby w parze ze wzrostem jej dochodowości. W rolnictwie dużą wagę przykładą się do wzrostu nakładów kapitałowych na produkcję utrzymując, że ten czynnik decydował o osiągniętej produktywności w skali globalnej. Nie sposób jednak rozpatrywać produkcji rolniczej z pominięciem gleby. Czynnik ten decyduje o osiągniętych wynikach produkcyjnych w całym rolnictwie. W przypadku pojedynczego gospodarstwa istnieje możliwość poprawienia produktywności przez wykorzystanie wolnych zasobów dostępnych w innych gospodarstwach dzięki ich alokacji. Jednak w skali globalnej takiej możliwości nie ma i jedynie poprawa produktywności gleby może zaowocować poprawą produktywności rolnictwa jako działu gospodarki. Takie podejście do produkcji rolniczej jest widoczne w polityce FAO, która próbując zażegnać widmo głodu w krajach trzeciego świata stawiała na rozwój rolnictwa w tych krajach. Efekty tych działań są już widoczne, bowiem poprawiła się znacząco produktywność gleby, a co za tym idzie – produktywność rolnictwa w skali globalnej.

Opracowanie ma na celu uzasadnienie wprowadzenia do ekonomiki gospodarowania koncepcji hormezy. Efekt hormetyczny oznacza pozytywną odpowiedź organizmu na niskie dawki substancji, które w wyższych dawkach są dla tych organizmów inhibitorami wzrostu. Prezentowane w tej pracy wyniki osiągnięto dzięki odrzuceniu obiegowych, zgodnych z hipotezą liniową schematów, dotyczących szkodliwości niskich dawek metali ciężkich na wzrost i rozwój organizmów żywych. W hipotezie tej dokonuje się ekstrapolacji wyników z rejonu występowania wysokich dawek substancji szkodliwych – skąd pochodzą dostępne dane epidemiologiczne, tzn. dotyczące uszkodzania roślin pod wpływem tych substancji – do obszaru, na którym te substancje szkodliwe występują w małych dawkach. Zgodnie z tą hipotezą, nawet najmniejsza, bliska zerowej dawka czynnika szkodliwego zawsze przynosi szkodę i nie może mieć innych skutków.

Hipoteza liniowa arbitralnie przyjęta w roku 1959 roku jest sprzeczna ze zjawiskiem hormezy, tj. z występowaniem skutków stymulujących lub ogólnie pożytecznych dla organizmu po zastosowaniu małych dawek czynnika, który jest szkodliwy w dużych dawkach. Zjawisko to jest od dawna znane w farmakologii i nikogo nie dziwi, na przykład, że śmiertelnie trująca strychnina jest jednym ze składników syropów przeciwkaszlowych, powszechnie używanych w leczeniu dzieci.

Teoria hormezy (progowa), zakładająca szkodliwość danej substancji po przekroczeniu określonego progu, jest zgodna z teorią ewolucji. Organizmy, rozwijające się przez setki milionów lat w środowiskach zawierających szkodliwe metale, promieniowanie i gazy, musiały wykształcić mechanizmy odporności na oddziaływanie tych substancji z odpowiednim nasileniem.

Przedstawiane opracowanie ma charakter interdyscyplinarny i jest propozycją połączenia uznanego w rolnictwie prawa malejącej wydajności z dobrze udokumentowanym

i działającym w świecie wszystkich organizmów żywych efektem hormetycznym. Poznanie możliwości ilościowego pomiaru oraz określenia siły oddziaływania na organizmy żywe substancji dotychczas pomijanych przy ocenianiu efektywności gospodarowania może przyczynić się do rozwoju jakościowego i ilościowego poziomu gospodarowania, jak też w wydatny sposób do usunięcia ograniczeń blokujących zwiększanie produktywności gleby, a w efekcie – całej produkcji rolniczej. Wykazywane stymulujące działanie małych dawek szkodliwych substancji na plonowanie roślin nie stoi w sprzeczności z ograniczaniem go przez te związki, gdy występują w ilości przekraczającej tolerowanie ich przez rośliny. Należy przy tym zaznaczyć, że zawartość tych metali nie może przekraczać wartości dopuszczonych przez ministerstwo Ochrony Środowiska i stwarzać zagrożenia dla ludzi spożywających plody rolne wyprodukowane na tych glebach (zał. 19 a i b).

Prawo malejącej wydajności na dobre weszło do makro- i mikroekonomii pod nazwą prawa zmiennej efektywności nakładów. Próba wyjaśnienia przy jego pomocy prawidłowości rozwoju gospodarczego okazała się tak kusząca, że badacze skupili się wyłącznie na tym aspekcie jego działania. Prawo to stało się uniwersalnym prawem nie tylko rolniczej, ale i całej produkcji, podwaliną teorii kosztów, cen oraz teorii płac. Stało się filarem całego systemu kapitalistycznej ekonomii politycznej i trwa w nim do dnia dzisiejszego. Badacze nie zajmowali się wyjaśnieniem biologicznych podstaw działania prawa malejącej wydajności, zapominając o jego „korzeniach”. Powoływano się w tym przypadku na trudności w ustaleniu związków występujących przy przekształcaniu poszczególnych składników nakładów na produkty oraz dokładnych danych dotyczących rzeczywistych możliwości racjonalnego wykorzystania zasobów.

A.J. Turgot, który jako pierwszy sformułował prawo malejących przychodów, notował efekty działania tego prawa bez badania mechanizmów, które nim rządzą. W przypadku tak uniwersalnego prawa wynik jego działania musi być niezmienny i występować zawsze i w każdych warunkach. Inaczej przez stulecia nie stałoby się ono kamieniem milowym w teorii i praktyce ekonomii. Gdy prowadzone doświadczenia rolnicze i ekonomiczne dawały sprzeczne z nim, zaskakujące rezultaty, były traktowane jako anomalie i były ignorowane.

Proces produkcyjny w rolnictwie jest odzwierciedleniem przejawów działania prawa malejącej wydajności, choć natura zjawiska leżąca u jego podłoża do niedawna pozostawała niewyjaśniona. Próbowano tłumaczyć je pojemnością biologiczną organizmów, prawem minimum Liebiga czy homeostazą. Nie jest niczym niezwykłym, że prawo malejącej wydajności zostało odkryte, a nie do końca poznano jego źródła.

Wiemy, że prawo malejącej wydajności istnieje i poznano skutki jego działania. Dokładne poznanie jego natury może przyczynić się w znaczący sposób do podniesienia naszego poziomu wiedzy na temat procesów zachodzących w rolnictwie, umożliwić znalezienie odpowiedzi na pytanie, jak intensywniej i efektywniej gospodarować, w zgodzie z naturą i zasadami zrównoważonego rozwoju.

CEL PRACY

Celem pracy jest przedstawienie produkcyjnych i ekonomicznych aspektów wynikających z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności w rolnictwie, jak również do określenia, jaki jest wpływ niskiej zawartości metali ciężkich w glebach na plonowanie roślin dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego. Poszukiwano również odpowiedzi na pytanie, czy istnieją związki pomiędzy różnicami w zawartości metali ciężkich w glebach a efektywnością i dochodowością produkcji w gospodarstwach rolnych.

Realizacja postawionego celu badawczego wymaga znalezienia odpowiedzi na następujące hipotezy badawcze:

1. Przestrzenne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach, dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego, może mieć wpływ na plonowanie roślin, a w konsekwencji na efektywność produkcji.
2. Zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach jest jedną ze zmiennych, za pomocą której wyjaśnić można zmienność plonowania roślin oraz kształtowanie się efektywności produkcji roślinnej.
3. Gospodarstwa położone na glebach zawierających takie ilości metali ciężkich, które wywołują efekt hormetyczny, ponoszą niższe nakłady na uzyskanie takiej samej produkcji jak gospodarstwa, które gospodarują na glebach zawierających ilości tych metali niewywołujące efektu hormetycznego.

MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Materiał i metody badawcze zastosowane w pracy podporządkowane zostały zasadzie przejścia od szczegółu do ogółu. Podstawą rozważań były wyniki doświadczeń przeprowadzonych w skali mikro – część I. Następnie spróbowano dociec, czy osiągnięte rezultaty mają odzwierciedlenie w skali makro, a więc w wynikach osiąganych w rolnictwie polskim – w przeszłości oraz obecnie – część II.

Takie podejście do zagadnienia sprawiło, że materiał badawczy i zastosowane metody badawcze są różnicowane i dostosowane do potrzeb analizy każdej części opracowania oddzielnie.

Część I – wyniki doświadczeń w skali mikro

Celem badawczym doświadczeń omawianych w 4 rozdziale było zweryfikowanie hipotezy 1 i 3 i znalezienie odpowiedzi na pytanie, jakie istnieją związki pomiędzy zawartością w glebie metali ciężkich a plonowaniem roślin. W tym celu w 2006 r. założono trzy doświadczenia wazonowe. Zbadano wpływ zwiększających się dawek nawożenia mineralnego na glebach o różnej zawartości metali ciężkich na plonowanie zielonej masy żyta i trawy łąkowej. Wyniki przeprowadzonych trzech doświadczeń wazonowych stały się podstawą do określenia – przy zastosowaniu kalkulacji niepełnych – efektywności produkcji.

Doświadczenie I

W doświadczeniu I zastosowano glebę zaliczaną do kompleksu 8 – zbożowo-pastewnego mocnego, do typu czarnoziemów zdegradowanych na podłożu gliny lekkiej przechodzącej w glinę średnią, o następującej zawartości metali ciężkich: Pb – 13,37 mg·kg⁻¹; Ni – 2,75 mg·kg⁻¹; Cu – 3,57 mg·kg⁻¹; Cd – 0,40 mg·kg⁻¹; Zn – 33,7 mg·kg⁻¹.

Odczyn gleby był lekko zasadowy, a pH wyniosło: w wodzie – 7,96, w 1 M KCl – 7,42.

Sporządzono mianowany, wodny roztwór PbCl₂ o zawartości ołowiu wynoszącej 2 mg·cm⁻³ roztworu. Roztwór ten dodano do wazonów z glebą na 3 dni przed wysiewem nasion w ilości zgodnej ze schematem doświadczenia (tab. 1.1). Objętość użytego płynu była jednakowa dla wszystkich powtórzeń. Wybór ołowiu nie był przypadkowy. Nie stwierdzono – w przeciwieństwie do np. miedzi i cynku – by miał on udowodniony wpływ na zwiększenie plonowania lub też brał udział w ważnych procesach metabolicznych roślin i zwierząt, stając się w ten sposób niezbędnym pierwiastkiem śladowym.

Doświadczenie przeprowadzono na przełomie zimy i wiosny 2006 roku. Do wazonów o średnicy 18 cm wysiano jednakową ilość nasion żyta odmiany Dańkowskie.

Norma wysiewu nasion odpowiadała 150 kg·ha⁻¹. Do każdego wazonu wysiano po 24 nasiona żyta. Po wschodach roślin zastosowano nawożenie azotowe roztworem mocznika, w dwóch równych dawkach: pierwszej po wschodach roślin, a drugiej po 4 tygodniach od wysiewu. Azot pochodził z mianowanego roztworu mocznika o zawartości N wynoszącej 5 mg·cm⁻³. Ilość N użytego do nawożenia była zgodna ze schematem doświadczenia (tab. 1.1). Jeden wazon był nawożony kolejno dawkami azotu: 0,05; 0,10 i 0,15 g, co odpowiada dawkom 40, 80 i 120 kg czystego azotu na hektar. Rośliny we

Tabela 1.1. Schemat I doświadczenia wazonowego (zawartość Pb – mg·kg⁻¹; dawka N w czystym składniku – kg·ha⁻¹)

Pb 0; N 0 0	Pb 20; N 0 1	Pb 40; N 0 2	Pb 60; N 0 3	Pb 80; N 0 4	Pb 100; N 0 5	Pb 200; N 0 6
Pb 0; N 40 7	Pb 20; N 40 8	Pb 40; N 40 9	Pb 60; N 40 10	Pb 80; N 40 11	Pb 100; N 40 12	Pb 200; N 40 13
Pb 0; N 80 14	Pb 20; N 80 15	Pb 40; N 80 16	Pb 60; N 80 17	Pb 80; N 80 18	Pb 100; N 80 19	Pb 200; N 80 20
Pb 0; N 120 21	Pb 20; N 120 22	Pb 40; N 120 23	Pb 60; N 120 24	Pb 80; N 120 25	Pb 100; N 120 26	Pb 200; N 120 27

Źródło: opracowanie własne

wszystkich wazonach podlewano jednakową ilością wody demineralizowanej. Ilość wody była dostosowana do fazy rozwojowej roślin i wynosiła od 70 do 200 cm³ na wazon. Doświadczenie prowadzono w pomieszczeniu doświadczalnym w warunkach oświetlenia naturalnego i temperatury pokojowej. Zbiór zielonej masy przeprowadzono po 10 tygodniach od wysiewu.

Doświadczenie II

Warunki doświadczenia II były takie same jak w doświadczeniu I, jednakże do tego doświadczenia użyto glebę należącą do kompleksu 5 – żytniego dobrego, zaliczaną do typu gleb brunatnych właściwych na podłożu piasku słabo gliniastego przechodzącego w piasek luźny, o następującej zawartości metali ciężkich: Pb – 8,99 mg·kg⁻¹; Ni – 3,99 mg·kg⁻¹; Cu – 3,07 mg·kg⁻¹; Cd – 0,09 mg·kg⁻¹; Zn – 22,92 mg·kg⁻¹.

Odczyn gleby był lekko kwaśny, a pH wyniosło: w wodzie – 6,49, w 1 M KCl – 5,81.

Pozostałe warunki były takie same jak w doświadczeniu I. Analiza statystyczna była przeprowadzona na takich samych zasadach jak w doświadczeniu I.

Doświadczenie III

Warunki przeprowadzonego doświadczenia były takie same jak w doświadczeniu II, jednak zamiast żyta użyto mieszanki traw. Do wazonów wysiano jednakową ilość nasion traw o następującym składzie gatunkowym:

Tabela 1.2. Schemat II doświadczenia wazonowego (zawartość Pb – mg·kg⁻¹; dawka N w czystym składniku – kg·ha⁻¹)

Pb 0; N 0 0	Pb 25; N 0 1	Pb 50; N 0 2	Pb 75; N 0 3	Pb 100; N 0 4	Pb 125; N 0 5	Pb 150; N 0 6
Pb 0; N 40 7	Pb 25; N 40 8	Pb 50; N 40 9	Pb 75; N 40 10	Pb 100; N 40 11	Pb 125; N 40 12	Pb 150; N 40 13
Pb 0; N 80 14	Pb 25; N 80 15	Pb 50; N 80 16	Pb 75; N 80 17	Pb 100; N 80 18	Pb 125; N 80 19	Pb 150; N 80 20
Pb 0; N 120 21	Pb 25; N 120 22	Pb 50; N 120 23	Pb 75; N 120 24	Pb 100; N 120 25	Pb 125; N 120 26	Pb 150; N 120 27

Źródło: opracowanie własne

- kostrzewa czerwona (odm. Boreal) – 60%,
- rajgras angielski (odm. Romeo) – 10%,
- rajgras angielski (odm. Niga) – 10%,
- rajgras angielski (odm. Titus) – 10%,
- wiechlina łąkowa (odm. Opal) – 10%.

Do każdego wazonu wysiano 0,127 g nasion, co odpowiada normie wysiewu w ilości 50 kg·ha⁻¹. Po wschodach roślin zastosowano nawożenie azotowe roztworem mocznika w dwóch równych dawkach: pierwszą po wschodach roślin, a drugą po 6 tygodniach, gdy rośliny utworzyły zwartą pokrywę. Azot pochodził z mianowanego roztworu mocznika o zawartości N wynoszącej 5 mg·cm⁻³. Ilość N użytego do nawożenia była zgodna ze schematem doświadczenia (tab. 1.2). Jeden wazon był nawożony dawką odpowiednio 0,05; 0,1 i 0,15 g azotu. Rośliny we wszystkich wazonach podlewano jednakową ilością wody demineralizowanej. Ilość wody była dostosowana do fazy rozwojowej roślin i wynosiła od 70 do 200 cm³ na wazon. Doświadczenie prowadzono w pomieszczeniu doświadczalnym w warunkach oświetlenia naturalnego i temperatury pokojowej. Zbiór trawy przeprowadzono w 12 tygodniu od wysiewu (tab. 1.2).

W doświadczeniu określono plon zielonej i suchej masy zebranej trawy. Czynnikiem różnicującym plonowanie była zawartość ołowiu (poziom Pb):

- 6 poziomów Pb w glebie – od 25 do 150 mg·kg⁻¹ gleby,
- 3 poziomy nawożenia azotowego – od 40 do 120 kg·ha⁻¹,
- poziom kontrolny dla Pb, gdzie Pb = 0 mg·kg⁻¹ gleby przy wzrastających dawkach N,
- poziom kontrolny dla N, gdzie N = 0 kg·ha⁻¹ przy wzrastających dawkach Pb.

Plon zielonej masy uzyskany w doświadczeniu przeliczono na 1 ha powierzchni. Na tej podstawie określono wielkość potencjalnej produkcji towarowej mleka z jednostki powierzchni i obliczono wartość nadwyżki bezpośredniej możliwej do uzyskania w produkcji tego mleka. Przy zastosowaniu kalkulacji niepełnych uwzględniono dodatkowe koszty nawozu mineralnego oraz koszty jego zastosowania w przeliczeniu na jednostkę powierzchni.

Weryfikacji statystycznej materiału dokonano za pomocą analizy wariancji, jednoczynnikowej regresji liniowej i wieloczynnikowej regresji nieliniowej. Określono wartość współczynnika determinacji (R²). Poziom istotności prezentowanych w analizie regresji zależności zweryfikowano przy zastosowaniu testu Fishera oraz testu t-Studenta. Materiał opracowano przy wykorzystaniu programów Statistica 5.0, Statistica 7.1 firmy Stat Soft oraz pakietu Analysis ToolPack programu Excel firmy Microsoft®.

Część II – wyniki doświadczeń w skali makro

Celem badawczym doświadczeń omówionych w 5 rozdziale było zweryfikowanie hipotezy zakładającej, że przestrzenne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach może mieć, dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego, wpływ na plonowanie roślin, a w konsekwencji na efektywność produkcji. Zastosowano metodę wykazania tego w skali globalnej. Przy zastosowaniu analizy statystycznej zweryfikowano również drugą hipotezę, która zakłada, że zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach jest jedną ze zmiennych, za pomocą której wyjaśnić można zróżnicowanie plonowania roślin oraz kształtowanie się efektywności produkcji roślinnej.

Podjęto więc próbę wyjaśnienia zmienności plonowania roślin uprawnych w Polsce w okresie dwudziestolecia międzywojennego, na podstawie danych statystycznych z lat 1934–1938 oraz z roku 1938. Analizie poddano również plonowanie roślin na podstawie danych statystycznych z lat 2003–2008. Przyjęto założenie, że zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach poszczególnych województw mogło mieć wpływ na poziom plonowania roślin, dzięki występowaniu efektu hormetycznego. Określono zależności pomiędzy plonowaniem roślin a zawartością metali ciężkich w glebach przy użyciu metody korelacji i jednoczynnikowej regresji liniowej.

Zbadano również siłę związku pomiędzy plonowaniem roślin z okresu międzywojennego a jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej (wskaźnik waloryzacji). Wskaźnik ten uwzględnia warunki glebowe, klimat, rzeźbę oraz warunki wodne terenu. Określono zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebach poszczególnych województw a wybranymi wskaźnikami ekonomicznymi (tab. 1.3).

Dane z tego okresu mają dla koncepcji hormezy duże znaczenie. W tym okresie nie stosowano powszechnie w uprawie roślin nawożenia mineralnego i chemicznych środków ochrony roślin. W tej sytuacji produktywność ziemi powinna być uzależniona przede wszystkim od jej jakości. Do badań wytypowano województwa, których obecne granice administracyjne pokrywają się z granicami administracyjnymi odpowiednich województw z 1939 roku. Wybrane województwa wraz z ich nazwami z okresu międzywojennego przedstawiono w tabeli 1.3. Szacunkowy procent pokrycia powierzchni województw z obecnych granic administracyjnych z granicami województw Polski okresu międzywojennego wyniósł prawie 80%. Obecne województwa: podlaskie, lubelskie, świętokrzyskie w całości są położone na terenie odpowiednich województw z okresu międzywojennego. Natomiast województwo śląskie z okresu międzywojennego w całości mieściło się w obecnych granicach administracyjnych województwa śląskiego.

Dla realizacji celu badań konieczne było ustalenie w wybranych województwach zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych. W tym przypadku podstawą były wyniki badań przeprowadzone przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w latach 1992–

Tabela 1.3. Charakterystyka województw wytypowanych do badań według nazw z 1939 i 2007 roku

Nazwa województwa		% powierzchni*	Wskaźnik waloryzacji** (pkt)
Obecna	w okresie międzywojennym		
Warszawskie	mazowieckie	65	53,3
Łódzkie	łódzkie	70	59,4
Kieleckie	świętokrzyskie	100	63,3
Lubelskie	lubelskie	100	71,3
Białostockie	podlaskie	100	54,5
Pomorskie	pomorskie	65	67,8
Śląskie	śląskie	60	68,6

* Szacunkowa relacja powierzchni województwa w obecnych granicach administracyjnych do powierzchni województwa z granic administracyjnych okresu międzywojennego.

** Obliczony dla województw w granicach administracyjnych z 1938 roku, dane przybliżone, na podstawie: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej. 2007, IUNG, Puławy.

Źródło: Mały Rocznik Statystyczny 1939. Główny Urząd Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, s. 11.

1997 na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa. Badaniami objęto 48500 punktów zlokalizowanych na użytkach rolnych Polski w obecnych granicach administracyjnych. W przybliżeniu zbadano 1 próbkę gleby z powierzchni 4 km². Przyjęto założenie, że zawartość metali ciężkich w glebach użytków rolnych, położonych na terenach wiejskich, jest wielkością niezmienną w czasie [Kucharski i inni 2000; Bennet i inni 1987]. W związku z tym określona na podstawie badań z lat 1992–1997 zawartość metali ciężkich w glebach Polski [Terelak i inni 2000] kształtowała się na podobnym poziomie, jak w okresie międzywojennym. Takie założenie pozwoliło przyjąć, że obecna zawartość metali ciężkich w glebach może być punktem odniesienia do zbadania siły oddziaływania zawartych w glebach metali na plonowanie roślin uprawnych w okresie międzywojennym.

W tabeli 1.4 przedstawiono zawartość metali ciężkich w glebach użytków rolnych w Polsce. Prezentowane tam dane wskazują na duże zróżnicowanie ich zawartości. Rzeczywisty przedział zmienności (mg·kg⁻¹) dla poszczególnych metali wyniósł (według tego samego źródła):

Cd	0,01	–	49,7
Cu	0,2	–	725
Ni	0,1	–	328,3
Pb	0,1	–	5000
Zn	0,5	–	5754

Prezentowane dane są wartościami skrajnymi – od bardzo niskich do wielokrotnie przekraczających dopuszczalne normy. Na tej podstawie można przypuszczać, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach poszczególnych województw dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego może mieć wpływ na plonowanie roślin w skali globalnej.

Tabela 1.4. Przeciętna zawartość zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych poszczególnych województw w Polsce

Województwo	Zawartość metali ciężkich (mg·kg ⁻¹)					
	kadm	miedź	nikiel	olów	cynk	razem*
Dolnośląskie	0,23	15,4	8,3	20,6	54,9	118,85
Kujawsko-pomorskie	0,19	4,7	6,1	11,7	23,3	68,29
Lubelskie	0,17	4,8	6,3	10,8	23,6	68,77
Lubuskie	0,12	6,0	4,9	9,9	31,7	81,73
Łódzkie	0,20	4,8	4,6	13,9	25,1	71,17
Małopolskie	0,57	13,4	15,3	29,1	79,2	157,73
Mazowieckie	0,15	3,7	3,1	9,3	22,4	66,85
Opolskie	0,33	9,0	9,4	20,9	43,6	100,77
Podkarpackie	0,28	9,6	13,5	17,5	40,1	95,17
Podlaskie	0,21	5,6	5,3	10,2	19,5	62,21
Pomorskie	0,22	6,7	7,2	12,2	36,7	89,73
Śląskie	0,87	11,1	12,9	39,8	90,6	175,90
Świętokrzyskie	0,28	5,9	7,2	13,8	39,1	93,57
Warmińsko-mazurskie	0,15	6,1	7,9	12,2	29,4	78,05
Wielkopolskie	0,14	4,9	3,1	10,1	25,3	71,49
Zachodniopomorskie	0,20	9,2	5,6	12,6	36,6	89,57

*obliczona na podstawie analizy regresji z ponad 4000 punktów pomiarowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Terelak i in. 2000]

Aby pokazać skutki działania efektu hormetycznego w latach 2003–2008, poddano analizie plony z województw, w których glebach zanotowano najwyższą (województwo śląskie) i najniższą (województwo podlaskie) zawartość metali ciężkich (tab. 1.4). Analizie poddano również województwo zachodniopomorskie, gdzie zawartość metali ciężkich w glebach kształtowała się na poziomie wyznaczonym za pomocą mediany (kwantyla rzędu 1/2). Łączna zawartość metali ciężkich w glebach tego województwa była najbliższa wartości mediany dla próby liczącej 16 województw. Wartości nadwyżki bezpośredniej, będącej różnicą wartości produkcji pomniejszonej o koszty bezpośrednie w produkcji roślinnej obliczono, uwzględniając te same ceny produktu finalnego. Koszty bezpośrednie były zróżnicowane o wysokość nawożenia NPK stosowanego w każdym województwie.

Weryfikacji statystycznej poziomu plonowania roślin w zależności od zawartości metali ciężkich w glebach poszczególnych województw dokonano za pomocą analizy współczynników zmienności, korelacji, wariancji i jednoczynnikowej regresji liniowej. Określono wartość współczynnika determinacji (R^2) oraz błędu standardowego dla stałej regresji i współczynników regresji. Poziom istotności prezentowanych w analizie regresji zależności zweryfikowano przy zastosowaniu testu Fishera oraz testu T-Studenta. Materiał opracowano przy wykorzystaniu programów Statistica 5.0, Statistica 7.1 firmy Stat Soft oraz pakietu Analysis ToolPack programu Excel firmy Microsoft®.

1. EFEKT HORMETYCZNY

1.1. Koncepcja, założenia

W krajowej literaturze naukowej związanej z ekonomiką rolnictwa nie ma pojęć, które opisują efekt hormetyczny. Na wstępie przedstawiono zestaw niezbędnych terminów, aby móc bez przeszkód poruszać się po zagadnieniach prezentowanych w niniejszej pracy [Szarek 2005a].

Efekt hormetyczny (*hormesis, hormetic effect*) jest to pozytywna odpowiedź organizmów żywych na niskie dawki substancji, które w wyższych dawkach są toksyczne dla tych organizmów, wyrażająca się podwyższeniem tempa wzrostu i rozwoju oraz obniżeniem zapadalności na choroby, co przekłada się bezpośrednio na wzrost plonowania.

Hormetyzator (*hormetization factor*) jest to substancja wywołująca efekt hormetyczny.

Próg produkcyjny hormezy (*production threshold of hormesis*) oznacza punkt, w którym dalsze zwiększanie ilości hormetyzatora powoduje zahamowanie wzrostu, plonowania i wydajności rośliny lub hodowanego zwierzęcia.

Próg ekonomiczny hormezy (*economic threshold of hormesis*) stanowi punkt, w którym wielkość dodatkowych nakładów na zwiększenie produkcji jest równa wysokości dodatkowych nakładów poniesionych na jej uzyskanie. W ekonomice rolnictwa punkt ten określany jest jako koszt graniczny.

Dawka progowa (*threshold dose*) jest to ilość hormetyzatora, która powoduje wystąpienie progu produkcyjnego lub ekonomicznego.

Strefa hormetyczna (*hormetic zone*) obejmuje obszar pomiędzy punktami krzywej hormetycznej, obrazujący pozytywne działanie hormetyzatora (rys. 1.1 i 1.2).

Podstawy leksykalne słowa „efekt hormetyczny” stworzyli w 1902 roku angielscy fizjologowie E. Starling i W. Bayliss, którzy odkryli sekretynę – substancję pobudzającą wydzielanie trzustki. Substancje o takim działaniu, wydzielane w małych ilościach nazwane zostały hormonami. Pojęcie „hormon” ma etymologię w greckim słowie *hormán* znaczącym pobudzać, a wywodzącym się bezpośrednio od słowa *hormē* oznaczającego impuls, atak, napaść.

Obecnie przyjmuje się, że pionierem badań nad dobroczynnym dla organizmów żywych wpływem niskich dawek substancji toksycznych był Rudolf Virchow [Henschler 2006], który badał wpływ NaOH na przepuszczalność roślinnych błon komórkowych. Jego pierwsze prace opublikowane zostały już w połowie XIX wieku, a dokładnie w 1854 roku [Virchow 1854, 1858a i b]. Po tym okresie prace na temat efektu hormetycznego opublikowali: Hugo Shultz, Rudolf Arndt i von Bezold [Henschler 2006].

Na początku XX stulecia obserwowano stymulujące działanie toksycznego arsenu na rozwój ziemniaków [Stewart i Smith 1922] oraz arsenianu sodu na wzrost i przyrosty świeżej masy owsa [Crafts i Rosenfels 1939]. Następnie taki sam efekt uzyskano obserwując wpływ niskich dawek związków glinu na wzrost i plonowanie roślin [Lipman 1938; Sommer 1926; Neger 1923]. W żadnym z tamtych opracowań nie znalazło się określenie

zaobserwowanych zjawisk jako „efekt hormetyczny”. W 1926 roku C. Southam i J. Ehrlich zaobserwowali, że użyty do doświadczeń ekstrakt z twardego drewna cedrowego miał działanie hamujące wzrost grzybów. Jednocześnie ten sam ekstrakt – ale w małych dawkach – te same grzyby pobudzał do wzrostu. W publikacji na temat ich badań występuje zmodyfikowane słowo Starlinga – *hormesis* – hormeza, oznaczające stymulujące działanie na organizmy żywe małych dawek substancji, które w większych dawkach są inhibitorami wzrostu i rozwoju [Southam i Ehrlich 1943]. W tym miejscu należy pamiętać, że dla tej grupy badaczy inspiracją do pracy były słowa Aureolusa Philippusa Theophrastusa Bombastusa von Hohenheima znanego jako Paracelsus, który w XVI wieku wypowiedział słynne słowa: „Wszystko jest trucizną i nic nie jest trucizną. Dawka czyni truciznę” [Duke i inni 2006].

Od tego czasu na świecie pojawiło się wiele prac opisujących występowanie efektu hormetycznego [Calabrese 2001; Calabrese i Baldwin 1997, 2002]. Pod koniec ubiegłego wieku pojęcie „hormeza” nabrało nowego znaczenia dzięki pracom toksykologa E. Calabrese, który dokonał przeglądu prac badawczych nad efektem hormetycznym w świecie istot żywych – roślin i zwierząt. Jego prace, jak również prace uczonych zajmujących się zagadnieniem wpływu promieniowania jonizującego na organizmy żywe doprowadziły do tego, że w 1994 roku UNSCEAR zaakceptował zjawisko hormezy* [UNSCEAR 1994a i b]. Oznaczało to ważny krok dla ludzkości, bowiem może przyczynić się do zerwania w ochronie radiologicznej i toksykologii z hipotezą liniową zakładającą, że każda najmniejsza dawka czynnika szkodliwego ma niekorzystne działanie na istoty żywe. W naszym kraju pionierem badań nad zjawiskami hormezy był Zbigniew Jaworowski, który zajmował się badaniem dobroczynnego wpływu niskich dawek promieniowania jonizującego na rośliny, zwierzęta i ludzi [Jaworowski 1977, 1997].

Organizmy żywe otaczają szkodliwe substancje – metale ciężkie, toksyczne gazy. Ponadto, organizmy te są wystawione na różnego rodzaju, działające z różnym natężeniem promieniowanie jonizujące oraz promieniowanie UV. Te same gatunki roślin bytują w środowiskach, gdzie zawartość w glebie metali ciężkich jest bardzo niska [Terelak i inni 2000] lub też poziom promieniowania jonizującego jest bardzo mały [Radiologiczny atlas Polski... 1998]. Inne zaś za środowisko życia i rozwoju obrały sobie – lub zrobił to świadomie człowiek – miejsca, gdzie koncentracja szkodliwych pierwiastków, gazów lub poziom promieniowania jonizującego są relatywnie wysokie, a nawet bardzo wysokie. To, że organizmy te żyją i rozmnażają się w tak różnych warunkach, jest zasługą homeostazy, natomiast wpływ niskich dawek tych substancji na organizmy żywe można wyjaśnić jedynie przy zastosowaniu hormezy.

Koncepcja hormezy zakłada, że każda substancja toksyczna – w odpowiednio niskiej dawce – wywiera stymulujący wpływ na organizm istot żywych. Przejawia się to w poprawie zdrowotności i zdolności do rozmnażania oraz zwiększeniu odporności na choroby [Stebbing 1982, 2003]. Obserwuje się dwójakiego rodzaju odpowiedzi organizmu na czynniki hormetyzujące, które przedstawiono na rysunkach 1.1 i 1.2. W pierwszym przypadku występuje bezpośredni wzrost wydajności bądź plonowania, a zależność można zobrazować za pomocą krzywej typu β . W drugim przypadku obserwuje się wzrost przeżywalności bądź poprawę zdrowotności organizmów, co przekłada się w pośredni sposób

* Z inicjatywy polskiej delegacji.

na wydajność. Graficzny obraz zależności ma kształt krzywej w kształcie litery U. W obu wypadkach efekt hermetyczny można opisać za pomocą funkcji kwadratowej, zgodnej z równaniem [Deng i inni 2000, 2001; Teeguarden i inni 1998; Hickey i inni 1983]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon$$
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X - \beta_2 X^2 + \varepsilon$$

gdzie β_0 ; β_1 ; $\beta_2 > 0$

gdzie: Y oznacza zmienną zależną, X – zmienną niezależną, β – współczynniki regresji.

Na rysunkach 1.1 i 1.2 graficzny obraz efektu hormetycznego odpowiada matematycznemu odwzorowaniu funkcji wielomianowej. Można ją również definiować jako funkcję logistyczną, Gompertza, Weibula oraz za pomocą innych modeli [Murado i Vazquez 2007; Cedergreen i inni 2005; Schabenberger i inni 1999].

Dane eksperymentalne, które można sklasyfikować jako efekt hormetyczny, winny spełniać **następujące warunki** [Szarek 2005a i b; Calabrese i Baldwin 1997, 2002]:

Substancje wywołujące efekt hormetyczny powinny być potencjalnie toksyczne i bardzo toksyczne.

Najlepsze wyniki uzyskuje się, jeśli badane obiekty poddać działaniu hormetyzatora w co najmniej 6 różnych dawkach.

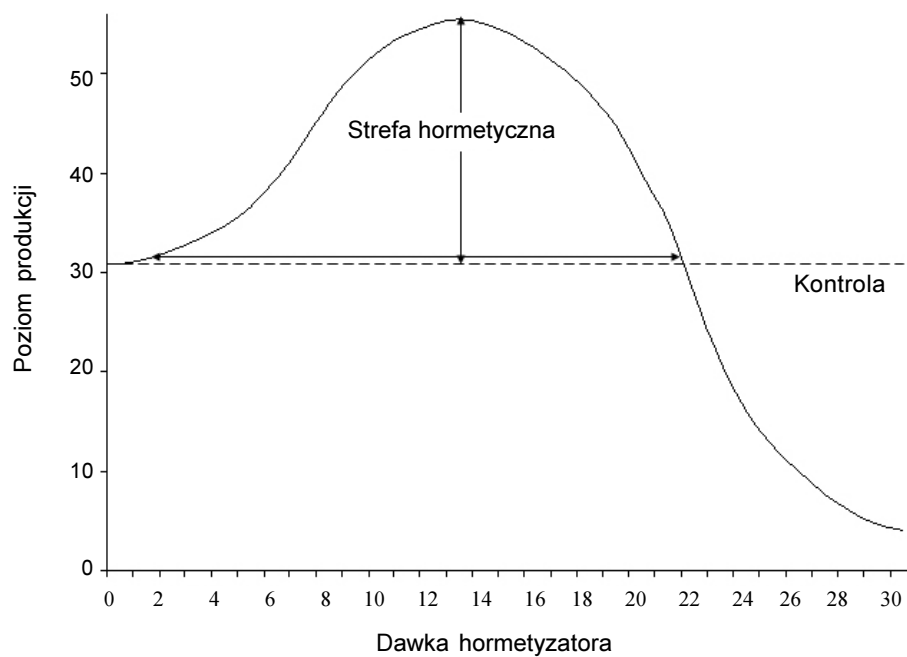
Doświadczenie winno zawierać próbę kontrolną, w której nie stosowano hormetyzatora.

Konieczne jest osiągnięcie maksymalnej, pozytywnej odpowiedzi organizmu, która jest wyższa od próby kontrolnej. Maksymalna stymulacja przejawia się osiągnięciem progu produkcyjnego hormezy. Wzrost ten może być nieznaczny, jednak nie jest niczym niezwykłym, jeśli w stosunku do kontroli wyniesie on kilkadziesiąt procent.

Po osiągnięciu progu produkcyjnego hormezy dalsze zwiększenie ilości hormetyzatora powoduje obniżenie pozytywnej odpowiedzi organizmu. W zależności od stopnia szkodliwości substancji spadek ten może być powolny lub gwałtowny.

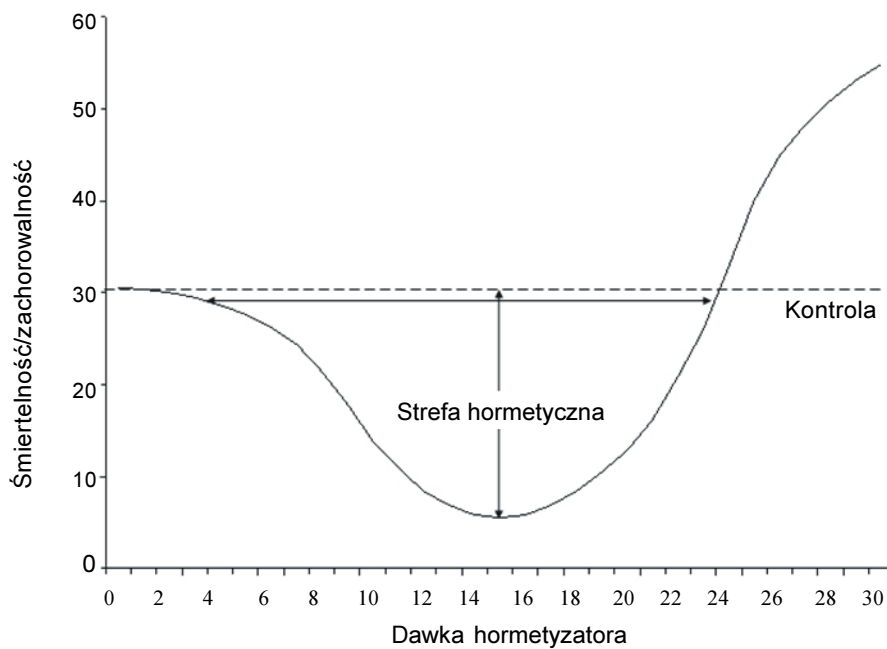
Wybrane przykłady dowodzą występowania przejawów efektu hormetycznego w świecie roślin. Toksyczny dla organizmów żywych chlorek kadmu w dawce do 10 ppm* wyraźnie zwiększał wysokość roślin oraz plon suchej masy soi [Levings 1977]. Zwiększenie dawki do 20 ppm CdCl₂ doprowadziło do śmierci roślin. Kadm w niskich dawkach stymulował wzrost dębu, klonu i soi [Xiong i Peng 2001; Royle i inni 1995; Chandra i inni 1993]. Obserwowano również stymulujące działanie niskich dawek glinu na kukurydzę, ryż i rośliny korzeniowe [Bennet i Breen 1991; Bennet i inni 1987; Hutchinson 1945], soli arsenu – na wzrost i rozwój grochu, rzodkwi, pszenicy i ziemniaków [Audus 1952; Thimann i Bonner 1949; Crafts i Rosenfels 1939]. Chrom, kobalt i miedź w niskich stęże-

* 1 ppm odpowiada dawce 1 mg·kg⁻¹.



Rysunek 1.1. Krzywa typu β obrazująca efekt hormetyczny

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Calabrese 2005]



Rysunek 1.2. Krzywa typu „U” obrazująca efekt hormetyczny

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Calabrese 2005]

niach miały stymulujący wpływ na wzrost i rozwój cebuli [Marti i inni 2007; Norwood i inni 2007; Monsees i inni 1998; Dong-Hua i Wu-Sheng 1993]. Zaobserwowano stymulujące działanie soli rtęci na wzrost i rozwój ogórka [Cargnelutti i inni 2006].

Postrzegane jako pierwiastki bardzo toksyczne i niebezpieczne dla zdrowia człowieka związki ołowiu, litu i niklu również działały stymulująco na wzrost roślin [Allender i inni 1997; Harmet 1979]. Godny odnotowania jest fakt, że wykazano pozytywne działanie nawet uranu na wzrost i rozwój traw [Meyer i inni 1998; Sheppard i inni 1992; Kabata-Pendias 1984]. Pozytywna odpowiedź roślin na zastosowane w tych doświadczeniach czynniki hormetyzujące przekraczała poziom – w porównaniu z próbami, w których hormetyzatora nie stosowano – nawet kilkudziesięciu punktów procentowych.

1.2. Mechanizm hormezy

O ile przejawy występowania efektu hormetycznego są i były obserwowane, o tyle mechanizm działania wywołujący efekt nie jest do końca poznany. Jest pewne, że wzrost plonu następuje w wyniku zwiększenia się masy korzeniowej roślin, wydłużenia międzywęzła, zwiększenia ilości i masy nasion [Kovalchuk i inni 2003; Vysotskii i inni 2002; Dong-Hua i Wu-Sheng, 1993]. Jest to bezpośrednim następstwem zwiększenia się w komórkach roślinnych aktywności enzymów komórkowych, wzrostu zawartości substancji azotowych, ilości chlorofilu i karotenoidów. U podłoża takich reakcji leży prawdopodobnie stymulacja przez niewielkie ilości metali ciężkich łańcuchów DNA i RNA, jednak mechanizm ten nie jest jeszcze do końca poznany [Royle i inni 1995]. Z drugiej strony należy pamiętać o tym, że gleba jest siedliskiem wielu mikroorganizmów. Zaobserwowano, że pod wpływem zwiększonej do pewnego stopnia zawartości metali ciężkich wzrasta ilość zasiedlających glebę dżdżownic [Bindesbol i inni 2007] oraz drobnoustrojów glebowych [Fulladosa i inni 2007; Nowak i inni 2001], które w naturalny sposób ją użytkują. Obserwowano również wzrost aktywności enzymatycznej gleby [Chaperon i Sauve 2007; Aina i inni 2007]. Należy również pamiętać o tym, że zawarte w glebie jony metali dzięki istnieniu zjawiska hydratacji zatrzymują wodę, wskutek czego jest ona przez dłuższy czas dostępna dla roślin i umożliwia lepsze znoszenie krótkotrwałych okresów suszy [Encyklopedia fizyki 1972]. Generalnie biorąc, stresory pobudzają do działania układy naprawy i podtrzymywania funkcji życiowych w komórkach, a efekt hiperkompensacji wywołuje na ogół ich mała dawka [Calabrese 2001].

Jak wynika z tego krótkiego przeglądu mechanizmów powodujących wystąpienie efektu hormetycznego, problem jednoznacznego uchwycenia dobroczynnego działania niskich dawek metali ciężkich i innych substancji uznawanych za szkodliwe na rośliny nie jest prosty, ponieważ ich działanie jest wielokierunkowe. Z jednej strony działają one bezpośrednio na wysiane nasiona, a następnie rośliny oraz stymulują działanie całej gamy organizmów glebowych. Dodatkowo oddziałują również w sposób czysto fizyczny na glebę.

Dostępne bazy danych są dowodem na to, że efekt hormetyczny jest zjawiskiem powszechnym. Dotyczy wszystkich organizmów żywych, począwszy od bakterii, poprzez cały świat roślinny i zwierzęcy, a skończywszy na ssakach naczelnych. Efekt hormetyczny jest wywoływany przez wiele różnorodnych substancji chemicznych oraz szeroką gamę czynników fizycznych [Calabrese 2005].

Na podstawie tych danych można wnioskować, że efekt hormetyczny jest nadrzędny w stosunku do innych czynników plonotwórczych. Działa, gdy gleby zawierają wystarczające ilości substancji odżywczych, ale również wtedy, gdy ich poziom jest niski. Działa, gdy w glebie jest dostateczna ilość wody, ale też gdy występują okresowe jej braki. Określona zawartość metali ciężkich aktywuje przede wszystkim mechanizmy odpornościowe roślin. Dzięki temu są one w pierwszej mierze bardziej odporne na choroby i szkodniki, co im daje możliwość osiągnięcia większej masy komórkowej i wydania większych ilości materiału rozmnożeniowego w formie nasion.

2. EFEKT HORMETYCZNY A WYNIKI UZYSKANE W ROLNICTWIE

Proces produkcyjny w rolnictwie jest nieodłącznie związany z glebą, a efekty produkcyjne zależą w dużej mierze od jakości gleby. Na glebach najlepszych kompleksów plony roślin uprawnych osiąga się ponad dwukrotnie wyższe niż na glebach najslabszych kompleksów [Krzymuski 1984]. Podobną sytuację obserwowano, biorąc pod uwagę klasę bonitacyjną gleby oraz jej odczyn [Witek 1979]. Jednak nie tylko jakość gleby miała decydujący wpływ na plony uprawianych roślin. Doświadczenia przeprowadzone na terenie całej Polski pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że nawet na najlepszych glebach przy zastosowaniu tych samych metod i środków produkcji wyniki produkcyjne otrzymuje się różne. Najbardziej przekonujący jest przykład zmienności plonów buraka cukrowego w doświadczeniach polowych, które wynosiły 185 dt/ha na czarnych ziemiach, 193 dt/ha na madach i 305 dt/ha na glebach brunatnych [Łachowski 1962]. Tak duże różnice tłumaczone są najczęściej zmiennością warunków pogodowych, a przede wszystkim ilością opadów. Poznanie i zrozumienie mechanizmu hormezy pozwala uznać te wyniki za działania efektu hormetycznego [Szarek 2005a i b; 2006a i b].

Człowiek uprawiający ziemię od zarania dziejów poszukiwał metod, które pozwoliłyby na „oszukanie” przyrody i otrzymanie od niej w procesie produkcji „więcej niż się należy”. Istnieją dowody na to, że już starożytni Grecy i Rzymianie stosowali w produkcji rolniczej nawozy mineralne [Henner 1930], a doświadczenia nad wpływem nawożenia mineralnego na plony roślin uprawnych były prowadzone w XIX wieku [Balentine 1893]. W Polsce opisano tego typu doświadczenia już na początku XX wieku [Terlikowski 1923; Vovk 1929; Górski i Klarner 1930]. Po II wojnie światowej nie zaprzestano ich, wręcz przeciwnie doświadczenia nawozowe z wykorzystaniem NPK, Ca i Mg stanowiły przeważającą część doświadczeń z roślinami uprawnymi. Doświadczenia tego typu są przedmiotem zainteresowań badaczy praktycznie biorąc we wszystkich ośrodkach akademickich świata. Pomimo ogromu materiału, temat nawożenia roślin uprawnych jest niewyczerpany. Poszukując nowych metod zwiększania naturalnej produktywności roślin uprawnych stosuje się wzbogacanie nawozów mikroskładnikami: cynkiem, borem, molibdenem czy siarką.

Dla podniesienia wydajności roślin uprawnych stosuje się również metody niekonwencjonalne, jak choćby zastosowanie niskich dawek promieniowania jonizującego, stymulacji promieniami UV-A, UV-B oraz światłem laserowym. Te z natury szkodliwe w dużych dawkach oddziaływanie w niskich dawkach wręcz pobudzają rośliny do wzrostu. Pomimo marginalizowania wagi tych czynników, mają one kolosalne znaczenie w produkcji rolniczej, wyjaśniają w sposób zadowalający niespodziewane wyniki produkcji, a co za tym idzie wyniki ekonomiczne produkcji rolniczej.

Pozostaje jeszcze kwestia, czy efekt wywoływany przez substancje stosowane w rolnictwie jest zgodny z założeniami hormezy. Efekt hormetyczny zakłada, że czynnik szkodliwy w odpowiednio niskiej dawce ma dobroczynny wpływ na organizm, co w przypadku produkcji roślinnej przekłada się na wzrost plonowania. Substancje plonotwórcze w rolnictwie stosowane są w dość dużych dawkach, dochodzących do kilkuset kilogramów, a w przypadku nawozów organicznych – kilkudziesięciu (30–50) ton na jednostkę powierzchni uprawy danej rośliny. Jeśli przyjąć, że rośliny uprawne wykorzystują składniki pokarmowe z 30 cm warstwy gleby, to przy dawce nawozu wynoszącej 100 kg czyste-

Tabela 2.1. Zawartość substancji czynnej w 30 cm warstwie gleby w uprawie wybranych roślin przy dogłębowym stosowaniu nawozów

Roślina	Nazwa substancji czynnej	Dawka nawozu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Zawartość substancji czynnej w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Pszenica	NH_4NO_3	100	18
Ziemniaki	K_2O	80	14,4
Jęczmień	P_2O_5	60	10,8
Bobik	Mo	1,0	0,18

Źródło: opracowanie własne na podstawie norm nawożenia roślin uprawnych

kwalifikować jako niskie – nieprzekraczające 20 ppm [Levings 1977], średnie – nieprzekraczające 100 ppm [Klemm 1994; Grothe 1995] lub duże – rzędu nawet 500–1000 ppm [Stewart i Smith 1922; Hirt i in. 1989]. Po przeliczeniu tych wartości otrzymamy, że dawki toksycznych substancji wywołujących efekt hormetyczny na 1 ha powierzchni wyniosą odpowiednio: 110 kg w przypadku dawek niskich, 550 kg w przypadku dawek średnich oraz 2750–5500 kg w przypadku dawek wysokich.

Porównując wysokość tych dawek z wielkością dawek nawozów w rolnictwie (tab. 2.1), można jednoznacznie stwierdzić, że efekt plonotwórczy w rolnictwie wywołwany jest przez niskie dawki substancji czynnych, często niższe niż stosowane w doświadczeniach nad wpływem substancji toksycznych na rośliny, w których obserwowano wystąpienie efektu hormetycznego. Należy przy tym pamiętać, że substancje czynne stosowane w nawozach mineralnych są częściowo pobierane przez rośliny, częściowo przez mikroorganizmy glebowe, a pewne ich ilości są wymywane z warstwy ornej w głąb gleby przez wody opadowe, a więc dla roślin tracone bezpowrotnie. W tej sytuacji dawka wpływająca na podwyższenie plonu może być jeszcze niższa.

Nawozy sztuczne są substancjami mniej lub bardziej toksycznymi dla zwierząt i roślin, a i ich stosowanie obwarowane jest konkretnymi środkami ostrożności. Każdy nawóz sztuczny ma podaną dawkę LD_{50} , co oznacza substancję toksyczną dla zwierząt. Dla przykładu, jeden z bardziej toksycznych nawozów – pentatlenek fosforu (P_2O_5) może powodować u człowieka:

- przy kontakcie ze skórą: oparzenia, powstanie trudno gojących się ran,
- przy spożyciu: oparzenia przełyku i żołądka, ryzyko perforacji przełyku i żołądka,
- przy wdychaniu pyłów: uszkodzenie dróg oddechowych, objawy – *bronchitis*, *pneumonia*,
- przy kontakcie z oczami: oparzenia, ryzyko zmętnienia rogówki i utraty wzroku.

2.1. Nawożenie mineralne roślin uprawnych

Wieloletnie badania nad nawożeniem mineralnym roślin uprawnych pozwalają na stwierdzenie, że wzrastające dawki nawozów mineralnych wywołują efekt, który jest zgodny co do przebiegu z efektem hormetycznym. Na podstawie badań z lat 1962–1975 określono, że reakcję jęczmienia jarego, pszenicy ozimej, ziemniaków i mieszanek zbożowych na nawożenie wzrastającymi dawkami azotu można opisać za pomocą równania kwadratowego, w

go składnika przypada około 18 mg (18 ppm) czystej substancji chemicznej na 1 kg gleby (przyjmując, że gęstość właściwa gleby wynosi $1,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Co więcej, nawozy stosuje się najczęściej w kilku podzielonych dawkach, a rośliny wykorzystują te substancje przez cały okres wegetacji, trwający od 150 do 300 dni.

Dawki substancji szkodliwych używanych w doświadczeniach nad efektem hormetycznym można za-

którym przekroczenie optymalnej dawki N (proggu produkcyjnego) powodowało wyraźne zmniejszenie się plonu [Bojarczuk i inni 1982]. Średnie dane z 34 doświadczeń wskazują na próg wystąpienia efektu produkcyjnego w nawożeniu azotowym zbóż i ziemniaków. Progi te w warunkach rolnictwa polskiego wyniosły [Żarski 1993]:

– pszenica ozima	160 kg N/ha
– żyto	120 " "
– jęczmień jary (pastewny)	120 " "
– jęczmień jary (browarny)	80 " "
– owies	120 " "
– ziemniaki wczesne	80 " "
– ziemniaki średniowczesne i późne	120 " "

Zatrzymanie wzrostu plonowania w doświadczeniu Borówczaka i innych [1998] wystąpiło przy nawożeniu 100 kg N w technologii nisko- i średnionakładowej, a w technologii wysokonakładowej – przy 150 kg N·ha⁻¹, a więc obejmowało nie tylko nawożenie. Oznacza to, że zastosowanie dodatkowych czynników plonotwórczych jest w stanie przesunąć próg wystąpienia spadku plonu. W takim wypadku należy zastosować rachunek marginalny dla oceny efektywności zastosowania dodatkowych czynników plonotwórczych.

Wzrost plonu, idący w parze ze zmniejszeniem się jednostkowego kosztu produkcji, zaobserwowano w przypadku nawożenia azotowego pszenżyta [Kisiel i inni 1997; Kisiel 1998]. Zaprezentowane dane potwierdzają fakt wystąpienia przesunięcia fazowego proggu ekonomicznego w stosunku do proggu produkcyjnego, opisanego szczegółowo przez Szarka [2006a]. Prógu efektu ekonomicznego występuje przy niższej dawce azotu niż prógu efektu produkcyjnego.

Efekt, którego przebieg można sklasyfikować jako zgodny z hormetycznym, wystąpił nie tylko w odniesieniu do konkretnych roślin uprawnych; przejawiał się w całych płodozmianach. Dzieżyc i Dzieżycowa [1986] w doświadczeniu przeprowadzonym w latach 1972–1979 na glebach lekkich stwierdzili, że dawka 4 NPK·ha⁻¹ (1 NPK = 60 kg czystego składnika) dała wyraźny spadek plonów roślin we wszystkich ogniwach zmianowania na glebach nienawadnianych w porównaniu z dawką 3 NPK·ha⁻¹. Efekt ten zaobserwowano w płodozmianie warzywnym, pastewnym i norfol skim.

W przypadku buraków cukrowych przekroczenie dawki 160–180 kg N·ha⁻¹ powodowało istotną obniżkę plonu korzeni niezależnie od tego, czy obiekt był deszczowany czy też nie [Podstawka 1982; Koszański 1991; Grześ i inni 1996]. Efekt zgodny z hormetycznym nie zawsze manifestował swoje działanie spadkiem plonu. W przypadku buraka cukrowego zanotowano spadek plonu cukru po przekroczeniu nawożenia 120 kg N·ha⁻¹, choć nie zanotowano spadku plonu korzeni przy dawce 180 kg N·ha⁻¹ [Ostrowska i Kucińska 1998]. W tym przypadku nadmierna dawka nawozu doprowadziła do zahamowania syntezy sacharozy, choć w dalszym ciągu obserwowano przyrost masy roślinnej.

Zgodne z efektem hormetycznym były wyniki wieloletnich doświadczeń Buczak i innych [1982], którzy stwierdzili, że plon handlowy pora spadł, gdy nawożono go dawką 4 NPK·ha⁻¹. Nie zanotowano natomiast spadku plonu ogólnego tej rośliny. Podobne wyniki ta sama autorka [1978] uzyskała badając reakcję selera na zwiększone nawożenie NPK. Oznacza to, że fizyczny plon zebranej masy roślinnej nie jest wyznacznikiem efek-

tywności produkcji. W trakcie przechowywania dochodzi do strat tym większych, im większa była ilość użytego czynnika plonotwórczego. Ten fakt należy również uwzględnić, ustalając wielkość dawki progowej dla konkretnej rośliny uprawnej. Dla gospodarującego ważny jest w tej sytuacji plon handlowy, a nie fizyczny.

Należy podkreślić, że próg załamania się wzrostu plonowania przy zastosowaniu środków plonotwórczych (próg produkcyjny) jest cechą odmianową. Benedycka i inni [1995] w doświadczeniach z bobikiem stwierdzili, że spadek plonowania występuje w zależności od odmiany przy dawce 40 lub 100 kg N·ha⁻¹. Podobnie przedstawiała się sytuacja w przypadku nawożenia pszenicy ozimej [Klupczyński i Ralcewicz 1998]. O tym, że załamanie plonowania jest cechą odmianową, przekonują doświadczenia nad wpływem nawożenia azotowego na plon słonecznika bulwiastego [Sawicka 1998]. Najwyższy plon bulw uzyskano przy dawce 50 lub 100 kg N·ha⁻¹ w zależności od uprawianej odmiany.

Nie sposób wymienić tu wszystkich wyników badań, jednak czynnik odmianowy zazwyczaj daje w tych samych warunkach zróżnicowane efekty. Z danych doświadczalnych wynika, że sukces produkcyjny zależy nie tylko od jakości gleby, lecz od właściwie dobranej odmiany uprawianej rośliny. W tej sytuacji czynnik odmianowy ma znaczący wpływ na moment wystąpienia progu załamania plonowania przy zastosowaniu dodatkowych ilości czynników plonotwórczych.

Często w doświadczeniach pomija się znaczenie progu ekonomicznego zastosowania dodatkowej dawki czynników plonotwórczych. W nawożeniu rzepaku ozimego Wielebski i Muśnicki [1998] określili próg wystąpienia efektu produkcyjnego. Zanotowany wzrost plonu z ekonomicznego punktu widzenia nie był opłacalny. Zastosowane dodatkowe nawożenie nie miało w tym wypadku uzasadnienia. Wartość dodatkowego plonu nie zrównoważyła kosztów dodatkowych dawek nawozów i jego zastosowania.

Niektóre rośliny reagują bardzo wyraźnie na nadmierne nawożenie. Zwiększenie nawożenia o zaledwie 30 kg N·ha⁻¹ – z 60 do 90 kg N w uprawie truskawki doprowadziło do zmniejszenia plonu o ponad 1 t·ha⁻¹ [Kopański i Kawecki 1994]. Nie stwierdzono, co było przyczyną takiego stanu rzeczy.

2.2. Mikroskładniki używane w produkcji roślinnej

Badania wyraźnie wskazują na wystąpienie efektu zgodnego co do przebiegu z efektem hormetycznym przy nawożeniu roślin uprawnych mikroskładnikami. Przeprowadzone w 52 ośrodkach doświadczalnych badania nad wpływem cynku i magnezu na plonowanie buraków cukrowych [Łachowski 1960, 1962] potwierdzają jego wystąpienie w większości doświadczeń niezależnie od rodzaju gleby.

Efekt hormetyczny zaobserwowano przy nawożeniu bobiku molibdenem [Benedycka 1988]. Najwyższy plon – 4,48 t·ha⁻¹ zanotowano przy dawce Mo 1 kg·ha⁻¹, zwiększenie dawki Mo do 2 kg/ha przyniosło już spadek plonu. W uprawie pszenicy, buraka cukrowego, kukurydzy i bobiku najwyższy wzrost plonu zanotowano przy nawożeniu miedzią w ilości 10 kg·ha⁻¹, zwiększenie dawki do 20 kg·ha⁻¹ dało zmniejszenie się plonu głównego [Bobrzecka 1988]. Korzystne działanie miedzi dotyczyło również bobiku, gdzie wzrost plonu w stosunku do doświadczenia, w którym nie stosowano Cu, wynosił ponad 20% [Kucharski i inni 2000].

Interesujące z punktu widzenia efektu hormetycznego są wyniki badań nad wpływem mikroelementów (B, Mn, Cu) na plon buraków cukrowych [Nowicki 1962]. Otóż łączne zastosowanie tych mikrośladników dało wyraźny spadek plonu korzeni w porównaniu z doświadczeniem, w którym nie stosowano żadnej suplementacji. Natomiast najlepsze wyniki uzyskano stosując poszczególne mikrośladniki oddzielnie. Okazuje się, że łączne użycie substancji, z których każda z osobna wywołuje efekt hormetyczny, prowadzi do znoszenia się pozytywnych efektów, powodując spadek plonu.

Do działania mikrośladników można porównać doświadczenia nad stosowaniem popiołu lotnego powstałego z oczyszczania gazów odlotowych [Gregorczyk 2000]. Zawierające siarkę, mangan, miedź, nikiel i ołów popioły dopiero w dawce 0,6 kg na wazon doprowadziły do statystycznie istotnej obniżki plonów rzepaku. Niższe dawki popiołu stymulowały plony tej rośliny. Wiele doświadczeń pokazuje korzystny wpływ osadów ściekowych zawierających Pb, Zn, Cu na plonowanie roślin uprawnych [Baran 1987]. W tym wypadku mamy również do czynienia z wystąpieniem efektu hormetycznego.

Warto zauważyć, że zawartość metali ciężkich w masie roślinnej nie wykazywała większych różnic przy stosowaniu zwiększonych dawek osadu ściekowego. Dopiero przekroczenie progu produkcyjnego efektu wyraźnie zwiększało koncentrację tych metali w roślinie.

2.3. Inne czynniki plonotwórcze

Czekała [1997] w doświadczeniu wazonowym wykazał dobroczynny wpływ wzrastających dawek toksycznego chromu Cr^{+6} na plon sałaty. Sałata reagowała korzystnie na nawożenie mikrośladnikami w formie Polichelatu LS-7. Dawka progowa wyniosła w tym przypadku 15 mg na 100 dm^3 gleby [Sady, Domagała 1993]. Jej przekroczenie spowodowało prawie 20% spadek średniej masy główki. Inne doświadczenia z Cr^{+3} potwierdzają jego dobroczynny wpływ na plonowanie gorczycy, buraka ćwikłowego i prosa [Filipek-Mazur, Gonddek 2000].

Wyraźny efekt, zgodny z hormetycznym, zaobserwowano w przypadku nawożenia kadmem (Cd) kalarepy [Hlusek 2000]. Zawartość Cd wynosząca $2,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby spowodowała prawie 40% zwiększenie plonu w porównaniu z kontrolą, gdzie nie stosowano suplementacji tym śladnikiem. Podwyższenie dawki Cd do $4,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ wywołało spadek plonu do poziomu kontrolnego. Świadczy to o wysokiej toksyczności tego pierwiastka. Podobnie reaguje sałata na zastosowany w nawozie beryl (Be). Również nikiel można zaliczyć do bardzo toksycznych substancji. Przekroczenie stężenia $75 \mu\text{mol Ni} \cdot \text{dm}^{-3}$ pożywki spowodowało wyraźny spadek liczby kiełkujących roślin sałaty [Molas 1999]. Jednak znów należy podkreślić, że siła reakcji jest cechą odmianową, bowiem inna odmiana sałaty reagowała spadkiem plonu już po przekroczeniu dawki $25 \mu\text{mol Ni} \cdot \text{dm}^{-3}$ pożywki.

Wyniki badań pokazują, że naświetlanie ziaren kukurydzy promieniami Roentgena wydatnie zwiększało plony kukurydzy [Birecka i inni 1959]. Wzrost ten wyniósł – w porównaniu z próbą, której nie naświetlano – aż 63%. Interesujące są wyniki doświadczeń nad wpływem napromienienia ziemniaków promieniami gamma [Styszko i inni 1985]. Napromieniowaniu poddano sadzeniaki dawką do 300 radów*. Uzyskano wzrost plonowania sadzeniaków napromieniowanych dawką 50 radów, który był wynikiem większe-

* Zgodnie z obowiązującą nomenklaturą $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$ (grey).

nia się liczby zebranych bulw. Efekt napromienienia przeniósł się na bulwy potomne, które wykazywały niższy procent porażenia zarazą ziemniaka i ospowatością bulw przy napromienieniu materiału rodzicielskiego dawką 60 radów.

Wyniki, które są również zgodne z założeniami hormezy, uzyskano napromieniając sadzonki truskawek strumieniem prędkich neutronów [Kałoń i inni 1981]. Dawka 20 radów wpłynęła pozytywnie na plon owoców w ciągu 2 lat uprawy. Jednocześnie przy takiej dawce promieniowania istotnie zmniejszyła się ilość owoców poza wyborem. Zwiększenie dawki promieniowania do 50 radów wyraźnie obniżyło plonowanie i zdrowotność owoców.

Ten krótki przegląd wyników badań pokazuje, że rolnictwo jest działem gospodarki, które codziennie wykorzystuje dobroczynne skutki hormezy. Doświadczenia z substancjami hormetyzującymi są prowadzone w ściśle kontrolowanych warunkach, ponieważ przekroczenie progu produkcyjnego hormezy może uczynić produkowaną żywność niezdadną do użytku, jeśli pozostaną w niej resztki substancji toksycznych.

Analiza literatury przedmiotu skłania do wysunięcia wniosku, że nie ma wielu badań, które pokazywałyby dobroczynny wpływ naturalnie zawartych w glebach metali ciężkich jako czynnika wpływającego na plonowanie roślin uprawnych. Wyniki, jakie są opisywane, dotyczą wyłącznie zagadnienia toksycznego wpływu tych metali na rośliny, zaś pojawiające się anomalie w postaci wyższej wydajności organizmów pod wpływem zastosowania małej dawki czynnika szkodliwego – są zazwyczaj ignorowane. Takie podejście jest związane z akceptacją przez badaczy hipotezy liniowej. Zakłada ona, że skoro dany związek jest toksyczny w dużej dawce, to jest również toksyczny (w proporcjonalnie mniejszym stopniu) w małej dawce. Jednak wyniki badań i praktyka dnia codziennego przeczy takiemu ujmowaniu sprawy. Substancje trujące w odpowiednio niskich dawkach są codziennie używane przez ludzi i stosowane w rolnictwie w postaci nawozów i środków ochrony roślin.

3. PRAWO MALEJĄCEJ WYDAJNOŚCI A EFEKT HORMETYCZNY

3.1. Prawo malejącej wydajności w rolnictwie

Prawo malejącej wydajności jest jednym z kamieni milowych ekonomii i ma uniwersalne zastosowanie w wielu gałęziach produkcji. Każdy ekonomista i student kierunków ekonomicznych zetknął się z tym zagadnieniem, często nie będąc świadomym, że korzeni tego prawa należy poszukiwać w rolnictwie. Inspiracją do sformułowania prawa malejącej wydajności była obserwacja prawidłowości zachodzących w gospodarstwach rolnych. W 1765 roku francuski arystokrata i finansista A.J. Turgot – zaliczany przez współczesną ekonomię do nurtu fizjokratycznego – ogłosił, że dodatkowe nakłady pracy i kapitału na jednostkę powierzchni ziemi przynoszą coraz to mniejszy przychód. Kilka lat później – w 1777 roku, to samo zjawisko odkrył szkocki ekonomista Anderson, jednak w literaturze ekonomicznej to Turgotowi jako pierwszemu przyznaje się pierwszeństwo w odkryciu prawa malejących przychodów.

W 1817 roku prawo malejących przychodów zostało wykorzystane przez D. Ricardo do stworzenia teorii renty gruntowej w dziele pt. *Principles of political economy and taxation* [Taylor 1957]. Ricardo jako pierwszy zastosował uproszczoną analizę marginalną obrazującą działanie prawa malejącej wydajności w praktyce. Rozwinięcie i przeniesienie tego prawa do ekonomii jako swoistego uniwersum we wszystkich dziedzinach gospodarowania człowieka nastąpiło dzięki N.W. Seniorowi, J.S. Millowi, J.H. von Thünenowi, M.S. Longfieldowi, a w późniejszym okresie A. Marshallowi, W.S. Jevonsowi, C. Mengerowi i L. Walrasowi [Colander 1996]. Ekonomiści wskazywali przy tym na błąd fizjokratów, którzy wiązali to prawo wyłącznie z ziemią nie zauważając, że dotyczy ono ekonomiki jako całości [George 1904; Clark 1949]. Przyjęto, że poprawną nazwą zaobserwowanego przez Turgota zjawiska powinno być „prawo zmiennej efektywności nakładów” lub „prawo malejącej wydajności”. Mimo różnic w nazwie, sedno zjawiska jest takie samo.

Oprócz zwolenników prawa malejącej wydajności była również grupa opozycjonistów, których głównymi przedstawicielami byli Marks, Engels oraz Lenin [Lenin 1954]. Uważali oni, że prawo to jest wyłącznie wymysłem burżuazji i poddawali krytyce jego główne założenia [Napoleoni 1964]. Podstawowym argumentem był fakt, że postęp techniczny jest w stanie zlikwidować zmniejszanie się wydajności w rolnictwie, a tym samym ograniczyć skutki działania prawa malejącej wydajności. Założenie to jest słuszne, jeśli analizować jego działanie w długim okresie. Nie można natomiast negować przejawów jego oddziaływania w warunkach statycznych [Taylor 1947b; Benham 1948; Stigler 1949].

Przejawy działania prawa malejącej wydajności są widoczne w rolnictwie na każdym kroku. Każdy następny nakład – w stosunku do poprzedniego – daje coraz niższy przychód, a w konsekwencji – dochód. Celem gospodarującego jest ustalenie takiego poziomu nakładów, który zagwarantuje najwyższy poziom dochodów. Takie postępowanie jest zgodne z zasadą racjonalnego gospodarowania przedstawioną przez A. Smitha w *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów) [Taylor 1947a].

Podstawową formułą wyznaczającą producentowi optymalny poziom produkcji przy zwiększaniu jej intensywności jest formuła kosztu granicznego. Nakłady produkcyjne można zwiększać do momentu, w którym dodatkowy koszt zrówna się z dodatkowym przychodem. Jeśli będziemy rozpatrywać produkcję jako funkcję określonych nakładów, to równanie produkcji powinno sprowadzać się do prostego działania:

$$2 + 2 = 4$$

W tym przypadku działanie swe przejawia zasada zachowania energii i masy, która zakłada, że suma użytej energii lub masy w przypadku procesów chemicznych i fizycznych przed reakcją równa się energii lub masie otrzymanej po reakcji. W przypadku rolnictwa problem ma szczególny wyraz, bowiem istnieją czynniki, które w procesie produkcji nie są uwzględniane przez gospodarującego, a z żelazną konsekwencją przejawiają swe działanie. W rolnictwie wpływ na końcowy efekt produkcyjny mają takie czynniki, jak: światło, woda, promieniowanie jonizujące, zawartość w glebie metali ciężkich, temperatura, wartość promieniowania UV-A i UV-B. Dotychczas były to czynniki, których ilościowy wpływ na wzrost i plonowanie roślin nie był możliwy do zmierzenia.

Problematyka zwiększania nakładów w rolnictwie ma szczególny wyraz. Producent zwiększając pojedynczy nakład spodziewać się może uzyskania większych efektów niż poniesione nakłady, co jest pozornie niezgodne z prawem zachowania masy. Jeśli w równaniu obrazującym proces produkcyjny uwzględnić czynniki wpływu środowiska (ΣC_n), dodatkowe nakłady na produkcję (n) można rozpisać jako skończony ciąg równań następującej postaci:

$$2n_1 + 2,0n_2 + \Sigma C_n = 4,4 \quad [1]$$

$$2n_1 + 2,2n_2 + \Sigma C_n = 4,7 \quad [2]$$

$$2n_1 + 2,4n_2 + \Sigma C_n = 4,9 \quad [3]$$

Równanie [3] wskazuje punkt, w którym dalszemu wzrostowi nakładów należy powiedzieć: stop, bowiem w tym momencie dodatkowy nakład zrówna się z dodatkowym przychodem:

$$\Delta n = \Delta p$$

gdzie: Δn – przyrost nakładu, Δp – przyrost produkcji

Aby wyjaśnić przypadki opisane równaniami 1–3, należy jeszcze raz powołać się na zasadę zachowania energii i masy mówiącą, że przypadku reakcji chemicznych i fizycznych suma użytej energii lub masy przed reakcją równa się energii lub masie otrzymanej po reakcji. Przyjmując, że dodatkowy nakład miał postać zwiększonego nawożenia azotowego (równania 1–3) w uprawie zbóż, producent będzie poszukiwał sposobów na zwiększenie produkcji przez zastosowanie dodatkowych środków produkcji, np. nawozów fosforowych (równania 4–6).

Równania produkcji przyjmą następującą postać:

$$2n_1 + 2,4n_2 + 0,2n_3 + \Sigma C_n = 5,2 \quad [4]$$

$$2n_1 + 2,4n_2 + 0,4n_3 + \Sigma C_n = 5,5 \quad [5]$$

$$2n_1 + 2,4n_2 + 0,6n_3 + \Sigma C_n = 5,7 \quad [6]$$

Zastosowanie dodatkowego czynnika nakładów, niezależnie od poziomu plonowania przed jego wprowadzeniem, spowoduje również wystąpienie kosztu granicznego, opisa-

nego równaniem 6. Kolejnym krokiem mogącym poprawić plonowanie może być zastosowanie nawozów potasowych, wzbogacanie gleby w mikroelementy, wapnowanie, nawadnianie itp. przyjmujące postać funkcji:

$$n_1 + n_2 + \dots + n_n + \Delta n_1 + \Delta n_2 + \dots + \Delta n_n + \Sigma C_n = \Delta P \quad [7]$$

W tym momencie sytuacja się komplikuje. Jeśli przyrost pojedynczego nakładu przynosi określony efekt w postaci adekwatnego przyrostu produkcji, to przyrost ten w przypadku wielu nakładów nie będzie arytmetyczną sumą dodatkowych nakładów, a ich wypadkową, zgodną z trzecią zasadą dynamiki Newtona. To prowadzi do sytuacji, że dodatkowe nakłady nie przynoszą oczekiwanego efektu przyrostu produkcji:

$$2,2n_1 + 2,4n_2 + 0,6n_3 + 0,5n_4 + \Sigma C_n = 5,5 \quad [8]$$

W tym wypadku producent poniesie stratę w wysokości 0,2 jednostek, bowiem spodziewał się wyniku większego niż 5,7. Nie są też odosobnione przypadki, że takie same dodatkowe nakłady przyniosą jeszcze niższy przyrost produkcji:

$$2,2n_1 + 2,4n_2 + 0,6n_3 + 0,5n_4 + \Sigma C_n = 4 \quad [9]$$

W efekcie tego producent poniesie stratę w wysokości 1,7 jednostek. Zdarza się też, że dodatkowe nakłady mogą doprowadzić do zahamowania produkcji:

$$2,2n_1 + 2,4n_2 + 0,6n_3 + 0,5n_4 + \Sigma C_n = 0 \quad [10]$$

Tę sytuację można przedstawić jako znoszenie się efektów w myśl trzeciej zasady dynamiki Newtona. W tych przypadkach prawo malejącej wydajności ukazuje swoje braki, bowiem nie da się przy jego pomocy wyjaśnić zaistniałych sytuacji, opisanych równaniami 8–10. Również trudne są do wytłumaczenia inne sytuacje, gdy oszczędne stosowanie dodatkowych nakładów przynosi zaskakująco dobre efekty:

$$2,2n_1 + 2,4n_2 + 0,6n_3 + 0,5n_4 + \Sigma C_n = 10 \quad [11]$$

Koncepcje wyjaśniające przejawy działania prawa malejącej wydajności w rolnictwie nie są w pełni zadowalające. Uważa się, że prawo to wynika z działania sił związanych z pojemnością biologiczną organizmów żywych, które nie pozwalają na przekroczenie zadanego poziomu produkcji. W związku z tym, mnożenie dodatkowych nakładów mija się z celem i nie jest zgodne z zasadami racjonalnego gospodarowania. W praktyce bywa tak, że producent ponosząc dodatkowe nakłady nie osiąga – choć nie przekroczył pojemności biologicznej hodowanych organizmów – założonego poziomu produkcji. Poznanie mechanizmu rządzącego prawem malejącej wydajności pozwoli spojrzeć na produkcję rolniczą bardziej racjonalnie, by uniknąć sytuacji opisanych równaniami 8–10 oraz przedsięwziąć środki, które pozwolą na osiągnięcie efektów zgodnych z równaniem 11.

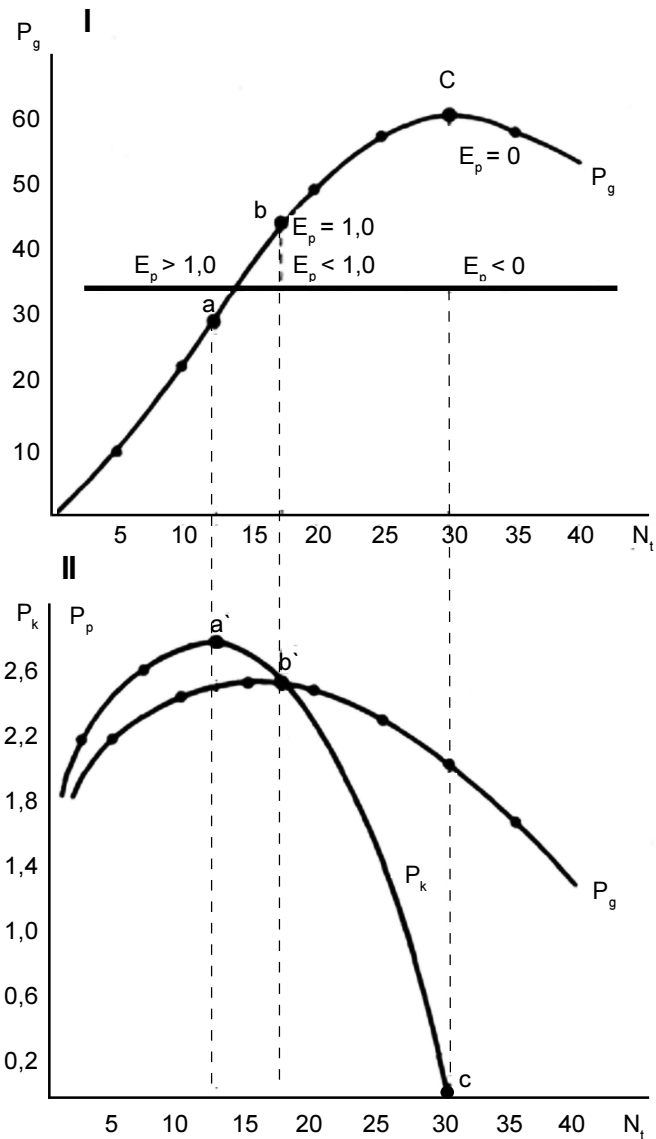
Z prawem malejącej wydajności ściśle związane są zagadnienia wyboru poziomu intensywności produkcji. Problematyka ta i jej wpływ na dochodowość produkcji w skali globalnej jest zagadnieniem niedostatecznie opracowanym. Wybór poziomu intensywności powinien sprowadzać się do prostej zależności przyczynowo-skutkowej, jednak w praktyce tak nie jest [Sondel 1961; Budzyński 1990; Szarek 2000, 2005a i b, 2006 a i b; Szarek, Kałuża 2003, 2004]. Okazuje się, że tradycyjne mierniki poziomu intensywności

nie wyjaśniają w sposób zadowalający problematyki wzrostu dochodowości produkcji rolniczej. Co więcej, czasem w ogóle nie mają z nią związku. Tematyka ta nie jest przedmiotem wnikliwych badań ekonomicznych, co gorzej jest marginalizowana. A przecież dla gospodarującego pytanie „Jak intensywnie gospodarować?” jest jedną z najistotniejszych kwestii, zważywszy na fakt, że dysponuje on ograniczonymi zasobami, które chce jak najlepiej wykorzystać.

Dostępne dane wskazują, że wzrostu produktywności rolnictwa należy poszukiwać w produkcji roślinnej, a w konsekwencji w glebie, która jest odpowiedzialna za niepowodzenia we wzroście poziomu produkcji. Potencjalne możliwości produkcyjne roślin są bardzo duże. Wiadomo, że w idealnych warunkach kukurydza może dać plon ziarna w wysokości $19,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, pszenica $14,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a ziemniaki nawet $94,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jednak średnie plony tych roślin wynoszą w świecie odpowiednio: $4,6$; $1,9$; $28,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co oznacza wykorzystanie potencjału produkcyjnego zaledwie w 20–30 procentach. Za tak duże różnice w 17% odpowiedzialne są 3 czynniki łącznie: choroby, szkodniki i chwasty. W pozostałych 83% winę za obniżenie plonowania roślin ponoszą właściwości fizykochemiczne gleb [Domachowski 1992; Fierla 2003]. W tej sytuacji nie ma wątpliwości, że efektywność i dochodowość produkcji rolniczej jest uwarunkowana produktywnością gleby, na co wskazują wyniki nielicznych badań [Szarek i Kałuża 2003, 2004; Szarek 2007].

Od produktywności gleby zależą w prostej mierze wyniki w produkcji zwierzęcej. Dość często słyszy się stwierdzenie, że niektóre działalności w produkcji zwierzęcej – takie jak produkcja tuczników czy też chów drobiu – nie są związane z ziemią. Nic bardziej błędnego. Można te działalności prowadzić nie mając ziemi, jednak zwierzęta są żywione paszami produkowanymi na użytkach rolnych. W skali pojedynczego gospodarstwa można wykorzystać wolne zasoby środków produkcji z innych gospodarstw celem uzupełnienia brakujących środków w tym właśnie gospodarstwie. W skali globalnej ograniczeniem produkcji zwierzęcej jest tylko i wyłącznie produktywność gleby.

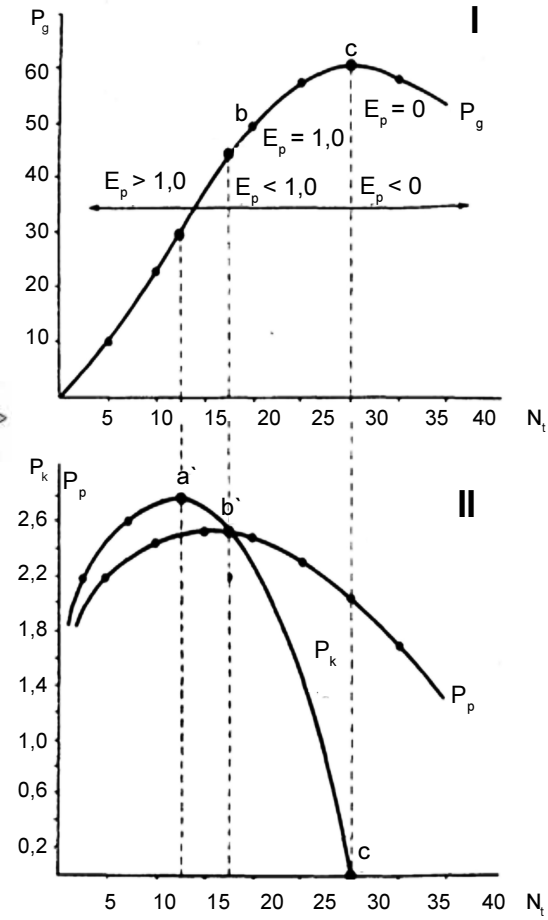
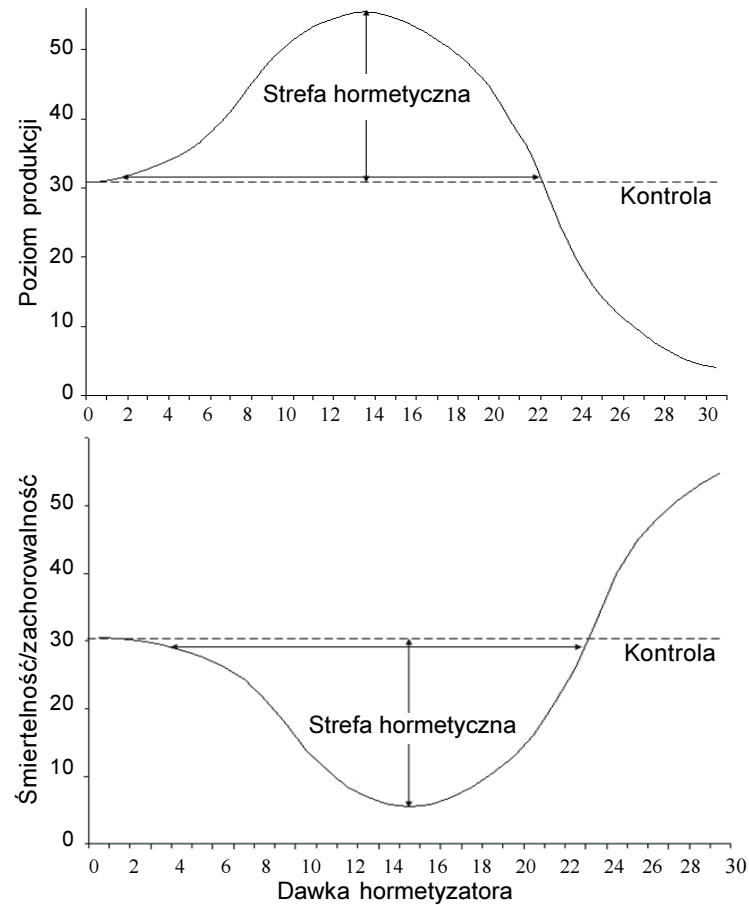
Ekonomika produkcji rolniczej zawęża proces gospodarowania w rolnictwie do czynnika ziemi, pracy i kapitału, przy czym dostrzega się marginalizację czynnika ziemi oraz czynników przyrodniczych. Takie uproszczenie już na samym starcie eliminuje prawo, które z żelazną konsekwencją manifestuje swą obecność, dając często zaskakujące wyniki. W praktyce spotkać się można z sytuacją, gdy oszczędna gospodarka nakładami prowadzi do zaskakująco dobrych rezultatów. W takiej sytuacji rolnicy mówią o gospodarującym, jako o osobie, której „i na kamieniu urośnie” lub też o tak zwanych „dobrych rękach”. Spotkać się można z opinią gospodarujących, że na ich glebach dobrze rodzi się pszenica i ziemniaki, zaś nie udaje się jęczmień bądź kukurydza. Natomiast u sąsiada, który gospodaruje na podobnych glebach, rośliny te rosną i dają dobre plony. Przykłady z życia codziennego znajdują potwierdzenie w doświadczeniach. Na takich samych glebach, przy zastosowaniu tych samych metod i środków produkcji efekty produkcyjne są zróżnicowane. Dla przykładu, przedział zmienności plonów buraka cukrowego wynosił $185 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na czarnych ziemiach, $193 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na madach i $305 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na glebach brunatnych [Łachowski 1960, 1962; Nowicki 1962]. Tak duże różnice tłumaczone były najczęściej zmiennością warunków pogodowych, ilością opadów. Poznanie i zrozumienie mechanizmu hormezy pozwala spojrzeć na te wyniki z innej racjonalnej perspektywy.



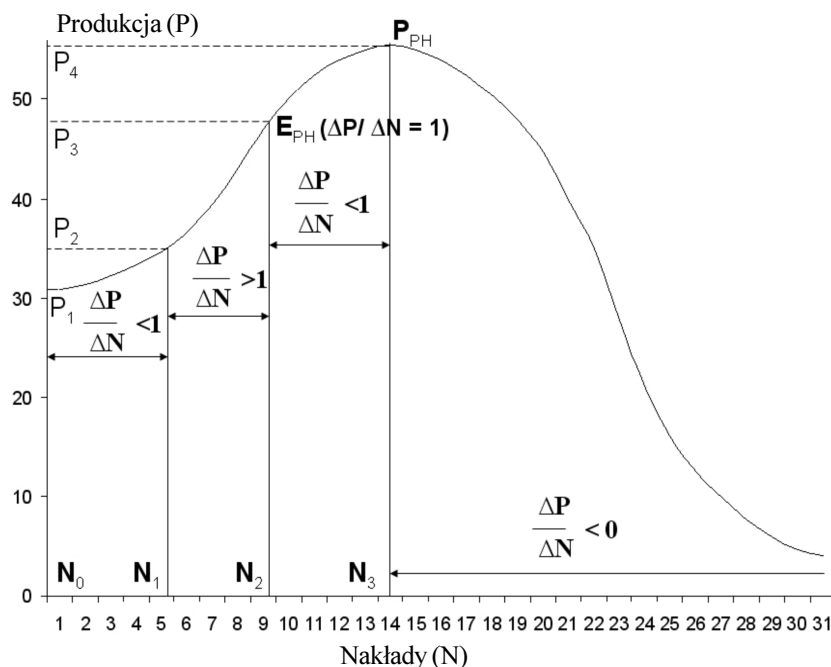
Rysunek 3.1. Zależności pomiędzy nakładem (N) a produktem całkowitym (P_g), krańcowym (P_k) i przeciętnym (P_p)
 Źródło: [Brzoza 1964]

3.2. Nowe aspekty wynikające z zastosowania efektu hormetycznego w ekonomice rolnictwa

Ekonomia rozwinęła prawo malejącej wydajności, wzbogacając je dodatkowo o zagadnienie produktu krańcowego i przeciętnego (rys. 3.1). Określono na tej podstawie strefy racjonalnej i nieracjonalnej produkcji. Zasada racjonalnego gospodarowania wy-



Rysunek 3.2. Transformacja efektu hormetycznego w przypadku odwzorowania efektów produkcyjnych na jednostki pieniężne
 Źródło: opracowanie własne na podstawie [Brzoza 1964]



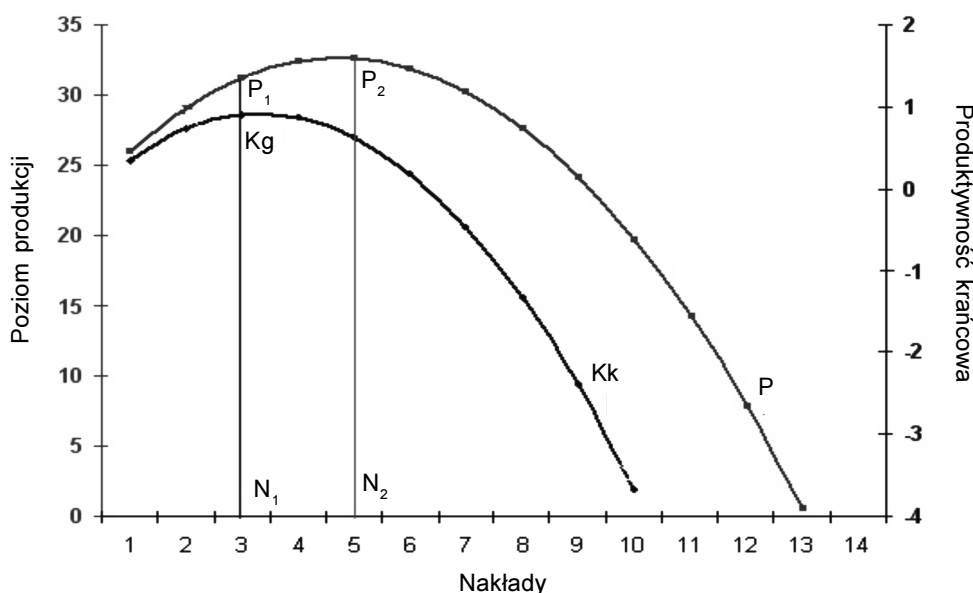
Rysunek 3.3. Punkt wystąpienia kosztu granicznego przy stosowaniu dodatkowych nakładów (ΔN) na uzyskanie dodatkowej produkcji (ΔP)

Zródło: opracowanie własne

maga, aby uzyskana dzięki dodatkowym nakładom produkcja była wyższa od dodatkowo poniesionych na tę produkcję nakładów. Jak wyraźnie pokazuje to rysunek 3.1, krzywa P_g jest dokładnym odwzorowaniem krzywej efektu hormetycznego przedstawionego na rysunku 1.1. W rzeczywistości krzywe te są identyczne, a różnica sprowadza się do tego, że krzywa produkcji ma najczęściej wyraz wartościowy (pieniężny), zaś krzywa hormetyczna jest odwzorowana za pomocą wartości naturalnych (kg, dt, t). Nie zmienia to jednak postaci rzeczy.

W przypadku odpowiedzi organizmu zobrazowanego na rysunkach 1.2 i 3.2, krzywa w postaci litery U nie jest ekonomicznym odwzorowaniem wpływu dodatkowych dawek hormetyzatora na wzrost produkcji. W tym wypadku następuje transformacja efektu wyrażonego w jednostkach naturalnych na jednostki pieniężne, co przedstawiono na rysunku 3.2. Stąd też nie ma znaczenia, czy efekt hormetyczny będzie odwzorowany w postaci krzywej typu β , czy też krzywej w kształcie litery U. Uzyskane efekty transformowane będą w prosty sposób na poprawę produktywności (rys. 3.2). Dla gospodarującego będzie istotne, że nastąpił wzrost produkcji, czego efektem będzie obniżenie się jednostkowych kosztów produkcji, poprawa dochodowości i efektywności produkcji.

Należy zdać sobie sprawę, że nie można wyznaczyć poziomu dodatkowych nakładów, a tym samym i poziomu intensywności produkcji na podstawie wielkości progu produkcyjnego hormozy. Zależności pomiędzy dodatkowym nakładem a dodatkową produkcją przedstawiono na rysunku 3.3. Próg produkcyjny występuje w tym przypadku przy nakła-



Rysunek 3.4. Przesunięcie krzywej kosztu krańcowego i krzywej hormetycznej. Próg produkcyjny (P_2) występuje w tym wypadku przy poziomie N_2 hormetyzatora, zaś próg ekonomiczny (P_1) przy poziomie N_1 hormetyzatora

Źródło: opracowanie własne

dzie N_3 . Jeśli przyjmiemy, że krzywa P obrazuje wielkość produkcji uzyskaną dzięki zastosowaniu dodatkowej dawki hormetyzatora, to granicą racjonalnej produkcji będzie nie nakład N_3 , lecz nakład N_2 . Aby to wyjaśnić, należy przeanalizować dane zamieszczone na rysunku 3.3. Jeśli przyjąć, że poziom nakładów i produkcji są wielkością wektorową, to z rysunku wyraźnie wynika, że przy wzroście nakładów z poziomu N_0 do poziomu N_1 :

$$\Delta N_1 > \Delta P_1$$

Dalszy wzrost nakładów z poziomu N_1 do N_2 spowoduje, że

$$\Delta N_2 < \Delta P_2$$

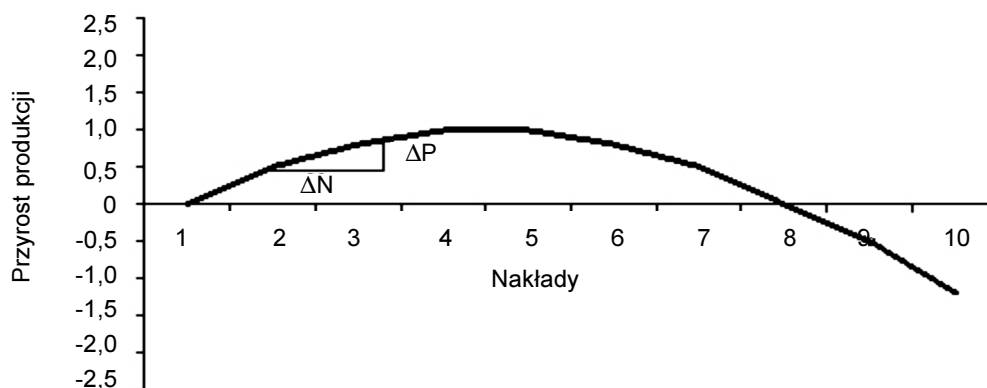
Zwiększanie nakładów z poziomu N_2 do N_3 mijają się z celem, bowiem po przekroczeniu tego punktu, podobnie jak przy wzroście nakładów z poziomu N_0 do N_1 :

$$\Delta N_3 > \Delta P_3$$

Oznacza to, że wartość nakładów użytych na dodatkową produkcję jest wyższa niż wartość uzyskanej produkcji.

W takim przypadku występuje przesunięcie krzywej hormetycznej do krzywej kosztów krańcowych. Krzywa kosztów krańcowych przesunięta jest w stosunku do krzywej hormetycznej w lewo (rys. 3.4).

Wielkość wektora przesunięcia jest uwarunkowana kształtem krzywej hormetycznej. Im bardziej krzywa produkcji (P) jest spłaszczona, tym bardziej krzywa kosztów krańco-



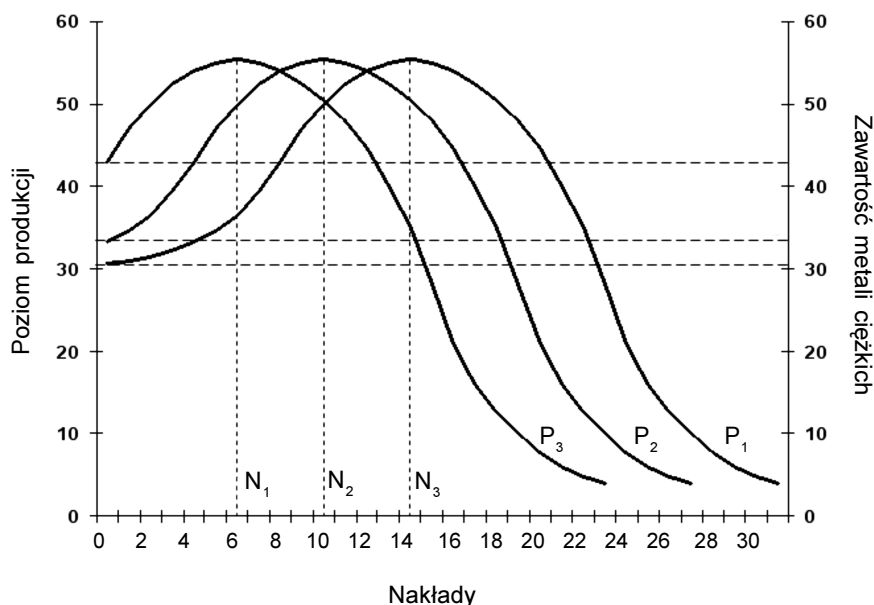
Rysunek 3.5. Wpływ kształtu krzywej hormetycznej na efektywność dodatkowych nakładów produkcyjnych

Zródło: opracowanie własne

wych (K_k) będzie przesunięta w lewo. W niektórych wypadkach może dojść do sytuacji, że wystąpienie efektu hormetycznego będzie na tyle słabe, że fakt ten nie będzie miał odzwierciedlenia w osiąganych efektach ekonomicznych (rys. 3.5). W takiej sytuacji, pomimo jego wystąpienia, wzrost produkcji uzyskany dzięki zastosowaniu dodatkowego hormetyzatora będzie tak słaby, że zastosowanie go w praktyce gospodarczej mijają się z celem. Poniesienie w takim wypadku dodatkowych nakładów na uzyskanie niewielkiego wzrostu dodatkowej produkcji jest ekonomicznie nieuzasadnione, ponieważ $\Delta N > \Delta P$.

Taka sytuacja jest spotykana w praktyce gospodarczej. W doświadczeniach nawozowych zastosowanie dodatkowego składnika nawozowego – na przykład zwiększenie ilości nawozów potasowych przy stałej dawce nawożenia azotowego i fosforowego – daje niewielki wzrost plonu w stosunku do obiektu kontrolnego, w którym tego nawożenia nie stosowano.

O ile przedstawiane wcześniej zagadnienia są znane i opisywane w literaturze, to koncepcja hormezy wprowadza nowe elementy poznawcze do nauk rolniczych i ekonomicznych. W naszym kraju występuje duże zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach poszczególnych województw (tab. 1.3). Najwyższą ich zawartością charakteryzują się gleby Śląska, zaś najniższą ich ilość zanotowano w województwie podlaskim. Dane te pokazują, że można się spodziewać wystąpienia efektu hormetycznego w przypadku uprawy roślin na glebach Polski. Efekt ten polegać będzie na tym, że podwyższona zawartość metali ciężkich w glebach niektórych województw w Polsce (dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego) będzie mieć korzystny wpływ na wzrost i plonowanie roślin. Przekroczenie progu produkcyjnego hormezy skutkować będzie obniżeniem plonowania i wydatnym pogorszeniem jakości produkowanej żywności. Sytuacja taka może mieć miejsce na glebach, które zgodnie z informacjami zawartymi w Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. 165, poz. 1359), mogą być zaliczane do gleb o normalnej, nie podwyższonej zawartości metali ciężkich. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że dopuszczalne normy zawartości tych metali w glebach wzrastają. W poprzednim rozporządze-



Rysunek 3.6. Zależność pomiędzy wielkością produkcji (P) a ilością czynnika hormetyzującego (N) w zależności od zawartości pierwiastków śladowych w glebie (T)

Źródło: opracowanie własne

niu regulującym tą kwestię, dopuszczalne zawartości były o połowę niższe (Monitor Polski Nr 23 z dnia 31 lipca 1986 roku). Może to świadczyć o tym, że kwestia szkodliwości tych pierwiastków w glebach nie jest dostatecznie wyjaśniona.

Dla gospodarującego ważne znaczenie powinien mieć fakt, że produkcja roślinna na glebach zawierających w swym składzie więcej metali ciężkich może być mniej nakładochłonna (rys. 3.6). Producent ten dla uzyskania takiej samej produkcji powinien zużyć mniej nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, co wydatnie przyczyni się do obniżenia kosztów produkcji, a tym samym do poprawienia efektywności produkcji. W tym wypadku mieć będzie miejsce kompensacja dodatnich efektów wynikająca z plonotwórczego działania hormetyzatorów – nawozu mineralnego i określonego metalu zawartego w glebie.

W tej sytuacji wystąpienie efektu hormetycznego doprowadzi do przesunięcia w fazie krzywej kosztów marginalnych, a tym samym zmieni działanie prawa malejącej wydajności. Wielkość wektora przesunięcia uzależniona będzie od siły wpływu danego hormetyzatora na wydajność danej rośliny. Dla osiągnięcia maksymalnej wartości produkcji (P), na glebach o zwiększonej zawartości metali ciężkich (T) wystarczą niższe dawki dodatkowych hormetyzatorów (N) niż na glebie o niższej zawartości tych metali.

„Dlatego na glebach, które zawierają w swoim składzie więcej metali ciężkich, można łatwo przekroczyć próg produkcyjny hormezy. Skutkować to będzie obniżeniem plonowania, zanieczyszczeniem produkowanej żywności szkodliwymi substancjami i zanieczyszczeniem wód gruntowych przez nawozy sztuczne. W tej sytuacji stajemy przed koniecznością przeprowadzenia szczegółowych badań nad reakcją poszczególnych roślin uprawnych na nawożenie mineralne na glebach, które zawierają wyższe ilości metali ciężkich.

4. EFEKTYWNOŚĆ ZASTOSOWANIA WZRASTAJĄCYCH DAWEK NAWOZÓW W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI OŁOWIU W GLEBIE

4.1. Doświadczenie I

Analizując plon zielonej masy żyta, zaobserwowano jego wzrost z 7223 kg bez stosowania nawożenia azotem do 7840 kg przy zastosowaniu 120 kg N·ha⁻¹ (tab. 4.1). Analiza wariancji nie potwierdziła istnienia związku pomiędzy wysokością nawożenia mineralnego a plonem żyta we wszystkich powtórzeniach. Jednak istnieje wyraźny wzrost plonu zielonej masy z 6786,6 kg·ha⁻¹ przy dawce nawozu N = 0 do 8174,8 kg·ha⁻¹ w powtórzeniu niezawierającym dodatku Pb. Zaobserwowano wzrost plonu w przypadku wpływu zawartego w glebach ołowiu w powtórzeniach niezawierających azotu, jak również przy dawkach azotu N40 do N120. Szczególnie było to widoczne w przypadku prób, gdzie zawartość Pb w glebie wynosiła 40 mg Pb·kg⁻¹. Zaobserwowano również wyraźny spadek plonu w porównaniu z plonem średnim w próbach, gdzie zawartość Pb w glebie wyniosła 200 mg·kg⁻¹. Wpływ zawartego w glebie ołowiu na plonowanie zielonej masy został oszacowany (na podstawie analizy wariancji) na poziomie 0,690 (tab. 4.3).

Odmierna sytuacja wystąpiła w przypadku wartości nadwyżek bezpośrednich, które uzyskano by używając wyprodukowaną zielonkę do żywienia krów produkujących mleko. Zaobserwowano wyraźny spadek wartości tych nadwyżek z 626 zł bez stosowania nawożenia do 399 zł w przypadku nawożenia żyta dawką 120 kg N·ha⁻¹ (tab. 4.2, rys. 4.1).

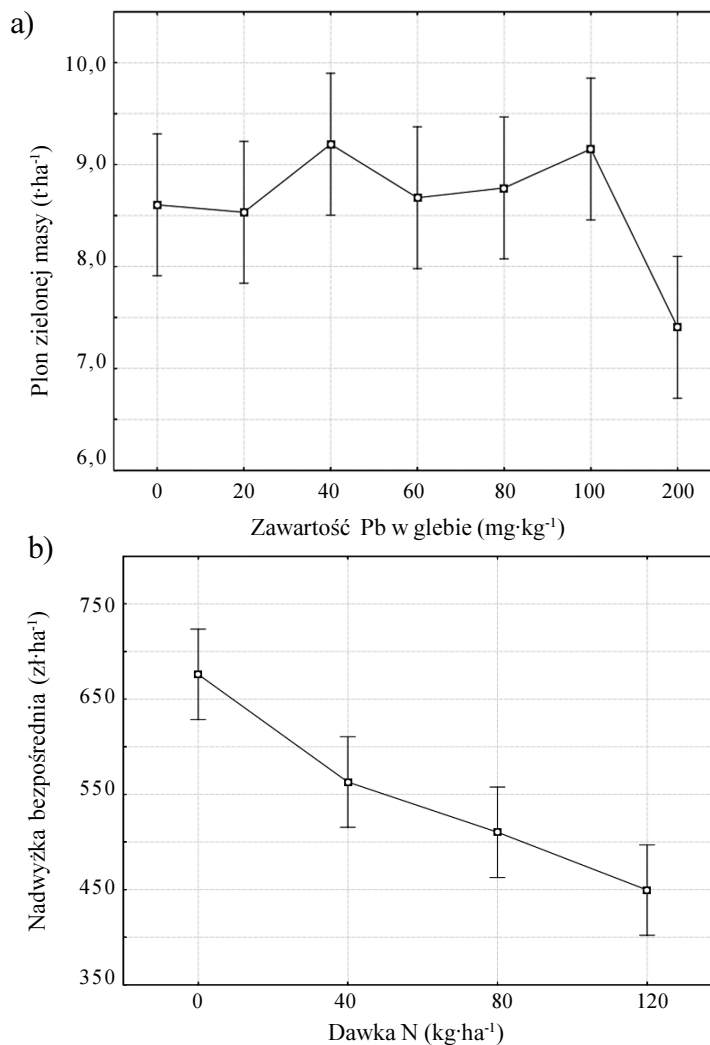
Analiza regresji wpływu nawożenia mineralnego na plon zielonej masy żyta i wartość nadwyżek bezpośrednich w produkcji mleka na glebach zawierających zróżnicowane zawartości Pb nie daje statystycznie potwierdzonych zależności (tab. 4.3). Dzieje się tak, ponieważ mamy tu do czynienia z dwójakim obrazem zależności. Wpływ nawożenia na plonowanie i wartość nadwyżek bezpośrednich można określić przy użyciu funkcji liniowej, natomiast wpływ zawartego w glebie ołowiu można zobrazować przy użyciu funkcji kwadratowej.

Tendencje te zobrazowano na rysunku 4.2. Wskazują one, że plonowanie żyta w zależności od poziomu zawartego w glebie ołowiu można odwzorować za pomocą funkcji

Tabela 4.1. Plony zielonej masy (kg·ha⁻¹) w zależności od dawki N(kg·ha⁻¹) i zawartości Pb w glebie (mg·kg⁻¹)

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość Pb w glebie (mg·kg ⁻¹)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 20	Pb 40	Pb 60	Pb 80	Pb 100	Pb 200			
N0	6786,6	6893,8	8292,8	7693,6	7258,5	7990,1	5645,5	7223,0	889,1	12,3
N40	7811,3	6518,2	7493,3	8060,0	7558,2	7174,4	6506,2	7303,1	605,5	8,29
N80	7159,3	8648,3	7917,9	7249,8	7524,0	8218,7	6606,1	7617,7	694,2	9,11
N120	8174,8	7617,0	8296,8	7171,6	8170,4	8454,2	6996,3	7840,2	579,6	7,39
\bar{x}	7483,0	7419,3	8000,2a	7543,7	7627,8	7959,3a	6438,5	7496,0		
SD	626,2	937,7	381,8	413,8	385,8	556,5	569,4		708,8	
CV(%)	8,37	12,64	4,77	5,49	5,06	6,99	8,84			9,46

Źródło: opracowanie własne

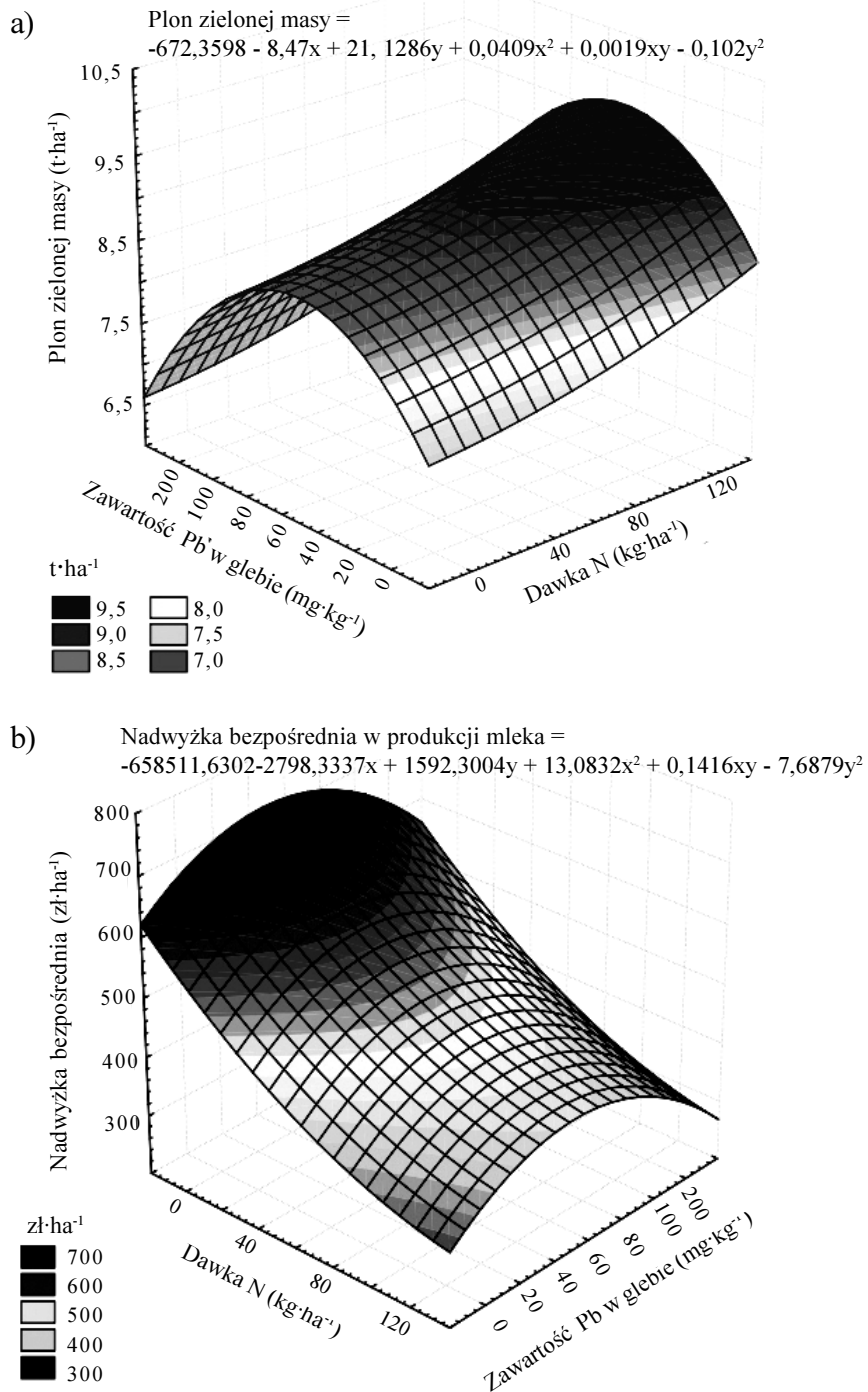


Rysunek 4.1. Wpływ a) zawartego w glebie ołowiu na plon zielonej masy oraz b) nawożenia mineralnego na wartość nadwyżki bezpośredniej w produkcji mleka
Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.2. Wartość nadwyżki bezpośredniej możliwej do osiągnięcia (zł·ha⁻¹) w produkcji mleka przy zastosowaniu do żywienia krów mlecznych zielonej masy uzyskanej w warunkach doświadczenia I

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość Pb w glebie (mg·kg ⁻¹)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 20	Pb 40	Pb 60	Pb 80	Pb 100	Pb 200			
N0	588,2	597,5	718,7	666,8	629,1	692,5	489,3	626,0a	77,1	12,31
N40	557,0	444,9	529,4	578,5	535,0	501,8	443,9	512,9	52,5	10,23
N80	420,5	549,5	486,2	428,3	452,1	512,3	372,5	460,2	60,2	13,07
N120	428,5	380,1	439,1	341,5	428,1	452,7	326,3	399,5a	50,2	12,57
\bar{x}	498,5	493,0	543,4	503,8	511,1	539,8	408,0	499,7		
SD	86,5	98,6	122,6	146,3	91,0	105,0	72,6		102,4	
CV(%)	17,35	20,00	22,56	29,03	17,8	19,46	17,80			20,49

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.2. Wpływ nawożenia mineralnego a) na plon zielonej masy żyta i b) na wartość nadwyżek bezpośrednich w produkcji mleka na glebach zawierających zróżnicowane zawartości Pb
 Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.3. Analiza wariancji wpływu zawartego w glebie ołowiu na plon zielonej masy oraz wpływ nawożenia mineralnego na wartość nadwyżki bezpośredniej w produkcji mleka

	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F	Poziom p
Zmienna zależna – plon zielonej masy					
Wyraz wolny	2080,711	1	2080,711	4644,689	0,000000
Pb	8,532	6	1,422	3,174	0,022376
Błąd	9,408	21	0,448		
$R^2 = 0,690$					
Zmienna zależna – wartość nadwyżki bezpośredniej					
Wyraz wolny	6 990 274	1	6 990 274	1884,904	0,000000
N	194 097	3	64 699	17,446	0,000003
Błąd	89 005	24	3 709		
$R^2 = 0,828$					

Źródło: opracowanie własne

kwadratowej, zgodnej co do przebiegu z funkcją efektu hormetycznego. Można zaobserwować, że funkcja ta ma taki przebieg zarówno w przypadku braku nawożenia, niskich i wysokich jego dawek. Natomiast wpływ nawożenia na plonowanie i wysokość nadwyżki bezpośredniej można zobrazować za pomocą funkcji liniowej.

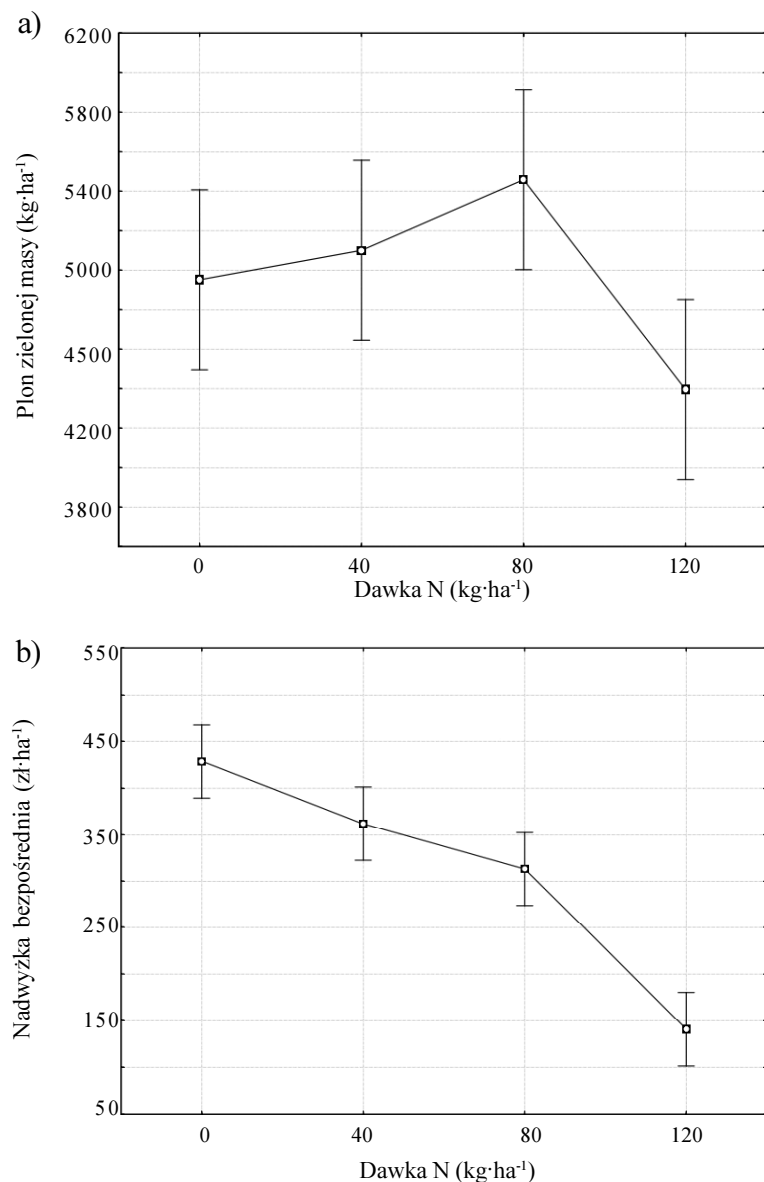
4.2. Doświadczenie II

Plon zielonej masy żyta kształtował się na poziomie od 4951 kg·ha⁻¹ bez nawożenia do 5458 kg·ha⁻¹ przy dawce 80 kg azotu na hektar (tab. 4.4). Wyraźny spadek plonu o ok. 1050 kg·ha⁻¹ zanotowano przy dawce 120 kg azotu. Warto zauważyć, że zmienność plonowania (CV%) niezależnie od nawożenia kształtowała się na poziomie 10–13%, a więc była bardzo niska. Najwyższe plony zielonej masy zanotowano na glebach o zawartości Pb 20 i 80 mg·kg⁻¹.

Tabela 4.4. Plony zielonej masy żyta (kg·ha⁻¹) w zależności od dawki azotu (kg·ha⁻¹) i zawartości ołowiu w glebie (mg·kg⁻¹)

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość Pb w glebie (mg·kg ⁻¹)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 20	Pb 40	Pb 60	Pb 80	Pb 100	Pb 200			
N0	4648,9	4930,4	4804,9	4466,9	6135,7	4776,7	4895,7	4951,3	545,3	11,01
N40	5100,0	5080,8	5283,5	5145,3	4060,9	5772,5	5265,2	5101,2	515,6	10,11
N80	5191,3	5687,0	5624,3	4706,3	6817,4	5407,2	4775,2	5458,4	711,0	13,03
N120	4693,0	5343,7	3975,3	4537,8	3796,3	4498,8	3921,7	4395,2	544,5	12,39
\bar{x}	4908,3	5260,5	4922,0	4714,1	5202,6	5113,8	4714,5	4976,5		
SD	277,2	331,7	715,1	304,5	1501,0	580,8	568,1		674,8	
CV(%)	5,65	6,30	14,53	6,46	28,85	11,36	12,05			13,56

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.3. Wpływ nawożenia azotowego a) na plon zielonej masy (kg·ha⁻¹) oraz b) na wartość nadwyżki bezpośredniej w produkcji mleka (zł·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne

Przy analizowaniu wartości nadwyżek bezpośrednich tendencje były takie same jak w doświadczeniu I (tab. 4.5, rys. 4.3). Obserwowano obniżanie się wartości nadwyżki bezpośredniej wraz ze wzrostem nawożenia azotowego. W przypadku plonowania zielonej masy wartość współczynnika determinacji – R^2 wyniosła 57,8%, zaś w przypadku nadwyżki bezpośredniej – 91,5 (tab. 4.6). Oznacza to, że dodatkowy koszt nawożenia azotowego na glebach o zmiennej zawartości ołowiu był głównym czynnikiem zmniejszającym wartość tej nadwyżki.

Tabela 4.5. Wartość nadwyżki bezpośredniej ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) przy zastosowaniu do żywienia krów mlecznych zielonej masy uzyskanej w doświadczeniu II

Dawka N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Zawartość Pb w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 20	Pb 40	Pb 60	Pb 80	Pb 100	Pb 200			
N0	402,9	427,3	416,4	387,1	531,8	414,0	424,3	429,1	47,3	11,01
N40	362,0	360,3	377,9	365,9	271,9	420,3	376,3	362,1	44,7	12,34
N80	289,9	332,9	327,4	247,9	430,8	308,6	253,9	313,1	61,6	19,68
N120	166,7	223,1	104,5	153,3	89,0	149,9	99,9	140,9	47,2	33,48
\bar{x}	305,4	335,9	306,6	288,6	330,9	323,2	288,6	311,3		
SD	103,6	85,0	139,5	109,0	193,5	126,4	144,8		118,6	
CV(%)	33,91	25,31	45,52	37,78	58,48	39,10	50,19			38,11

Źródło: opracowanie własne

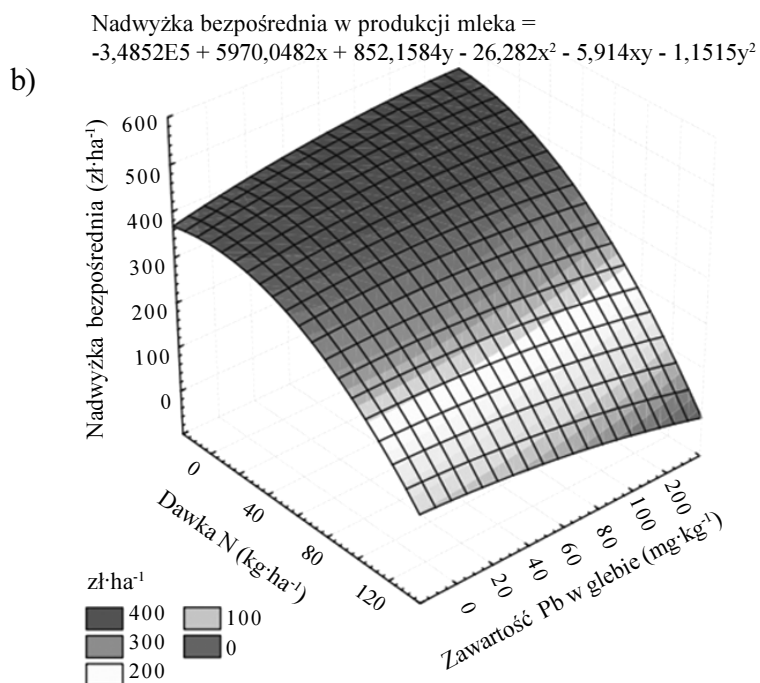
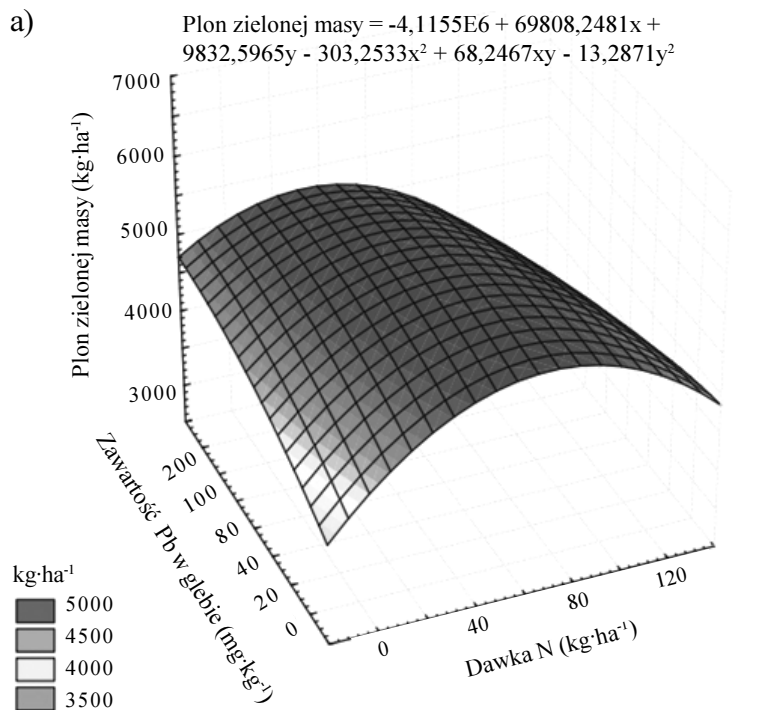
Analiza regresji wpływu nawożenia mineralnego na plonowanie zielonej masy żyta i wartość nadwyżek bezpośrednich w produkcji mleka na glebach zawierających zróżnicowane zawartości Pb nie dała, podobnie jak w doświadczeniu I, statystycznie potwierdzonych zależności. Podobnie jak w poprzednim przypadku mamy tu do czynienia z dwójakim obrazem zależności, chociaż ich przebieg był odmienny. Podobnie jak w doświadczeniu I wpływ nawożenia na plonowanie i wartość nadwyżek bezpośrednich można określić przy użyciu funkcji kwadratowej, natomiast wpływ zawartego w glebie ołowiu można zobrazować przy użyciu funkcji prostoliniowej (rys. 4.4).

W analizowanym przypadku widać wyraźny wpływ nawożenia azotowego na wzrost plonowania żyta. Wyraźnie zaznaczył się też spadek wartości nadwyżki bezpośredniej na glebach nawożonych wysokimi dawkami azotu i zawierającymi w swym składzie więcej ołowiu. Jak wynika z rysunków 4.2 i 4.4, zaobserwowane prawidłowości znacznie się różnią. Wynika to z faktu, że choć zastosowano te same warunki doświadczalne, ale użyto gleby o innym pochodzeniu oraz o innej zawartości metali ciężkich. Gleba w doświadczeniu I zawierała większą ilość kadmu, który w niskich dawkach wywołuje efekt hormetyczny, stąd też jest możliwe, że miało to wpływ na wyniki doświadczenia. W tej sytuacji przeprowadzono kolejne, trzecie doświadczenie, aby potwierdzić wyniki uzyskane w doświadczeniu II.

Tabela 4.6. Analiza wariancji wpływu nawożenia mineralnego na plon zielonej masy oraz na wartość nadwyżki bezpośredniej w produkcji mleka

	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F	Poziom p
Zmienna zależna – plon zielonej masy					
Wyraz wolny	693 442 557	1	693 442 557	2031,8	0,000000
N	4 103 803	3	1 367 934	4,008	0,019083
Błąd	8 191 176	24	341 299		
$R^2 = 0,578$					
Zmienna zależna – wartość nadwyżki bezpośredniej					
Wyraz wolny	271 339	1	2 713 396	1058,459	0,000000
N	318 447	3	106 149	41,407	0,000000
Błąd	61 525	24	2 564		
$R^2 = 0,915$					

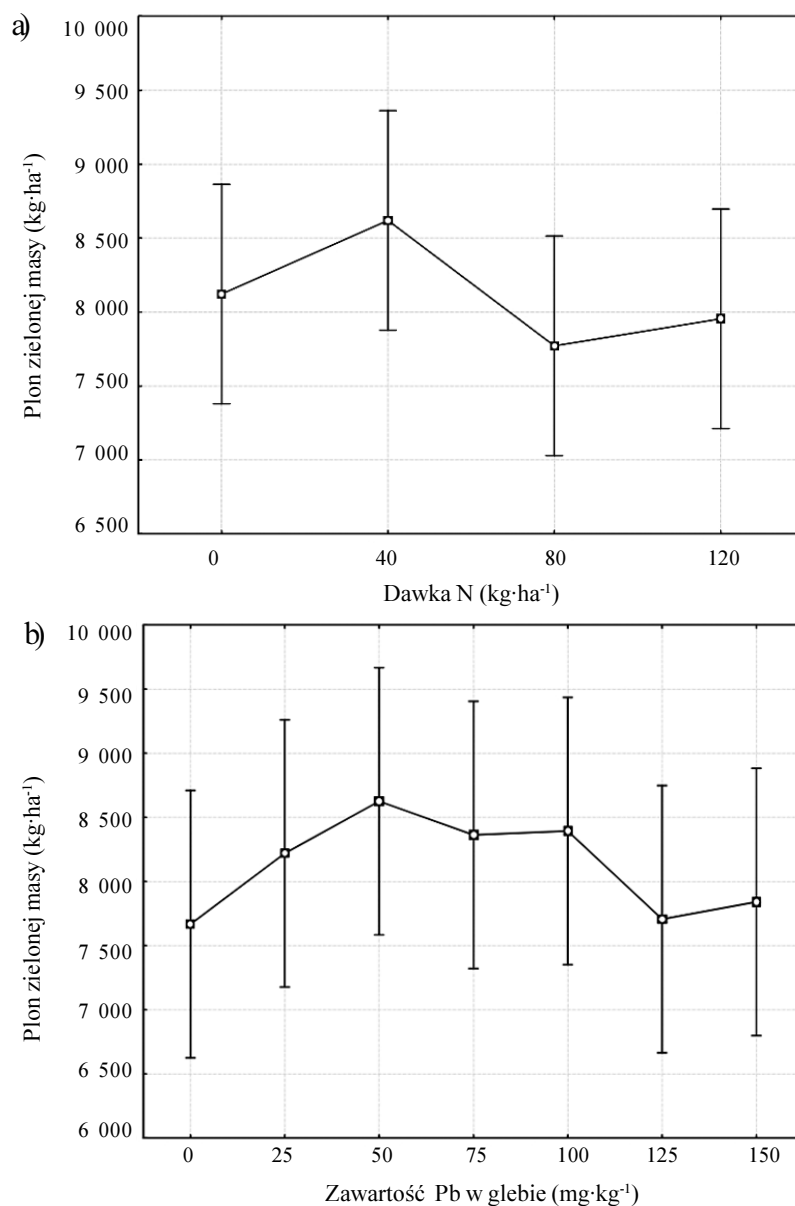
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.4. Wpływ nawożenia mineralnego na: a) plon zielonej masy żyta ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) i b) na wartość nadwyżek bezpośrednich w produkcji mleka ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) na glebach zawierających zróżnicowane zawartości Pb
Źródło: opracowanie własne

4.3. Doświadczenie III

Analizując wysokość plonowania zielonej masy trawy, zaobserwowano wystąpienie efektu, który jest zgodny z efektem hormetycznym (tab. 4.7, rys. 4.5). Efekt ten był widoczny szczególnie w zakresie średnich wartości plonów zielonej masy na glebach o zróżnicowanej zawartości ołowiu. Najwyższy plon średni dla wszystkich dawek azotu



Rysunek 4.5. Plony zielonej masy traw pod wpływem a) zróżnicowanego nawożenia mineralnego i b) na tle zróżnicowanej zawartości Pb w glebie
Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.7. Plony zielonej masy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od dawki azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) i zawartości ołowiu w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Dawka N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Zawartość Pb w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 25	Pb 50	Pb 75	Pb 100	Pb 125	Pb 150			
N0	7191,3	8008,7	7887,0	9217,4	8113,0	7173,9	9260,9	8121,7	849,5	10,46
N40	7600,0	8565,2	11104,0	7991,3	9460,9	7513,0	8104,3	8619,9	1278,6	14,83
N80	8582,6	8634,8	7626,1	7721,7	6930,4	7321,7	7582,6	7771,4	628,8	8,09
N120	7295,7	7669,6	7887,0	8521,7	9069,6	8817,4	6417,4	7954,0	930,3	11,70
\bar{x}	7667,4	8219,6	8626,1	8363,0	8393,5	7706,5	7841,3	8116,8		
SD	634,3	461,5	1656,7	659,4	1127,8	753,5	1180,2		952,5	
CV(%)	8,27	5,61	19,21	7,89	13,44	9,78	15,05			11,73

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.8. Analiza wariancji w jednoczynnikowej regresji nieliniowej wpływu zawartości ołowiu na plon zielonej masy traw w warunkach wzrostu nawożenia N

	BETA	Błąd st. BETA	B	Błąd st. B	t(4)	Poziom p
Wyraz wolny			8,948	0,2539	35,236	$3,87e^{-6}$
Pb	2,701	0,987	0,021	0,0079	2,734	0,05
Pb ²	-2,967	0,987	-0,000152	$5,078e^{-5}$	-3,0049	0,04
$R^2 = 0,690$						
$F(2,4) = 4,67^{**}$						

**Istotne dla $p < 0,01$; źródło: opracowanie własne

zaobserwowano na glebie, w której zawartość Pb wynosiła $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Na glebach o wyższej zawartości Pb średni plon zielonej masy ulegał obniżeniu.

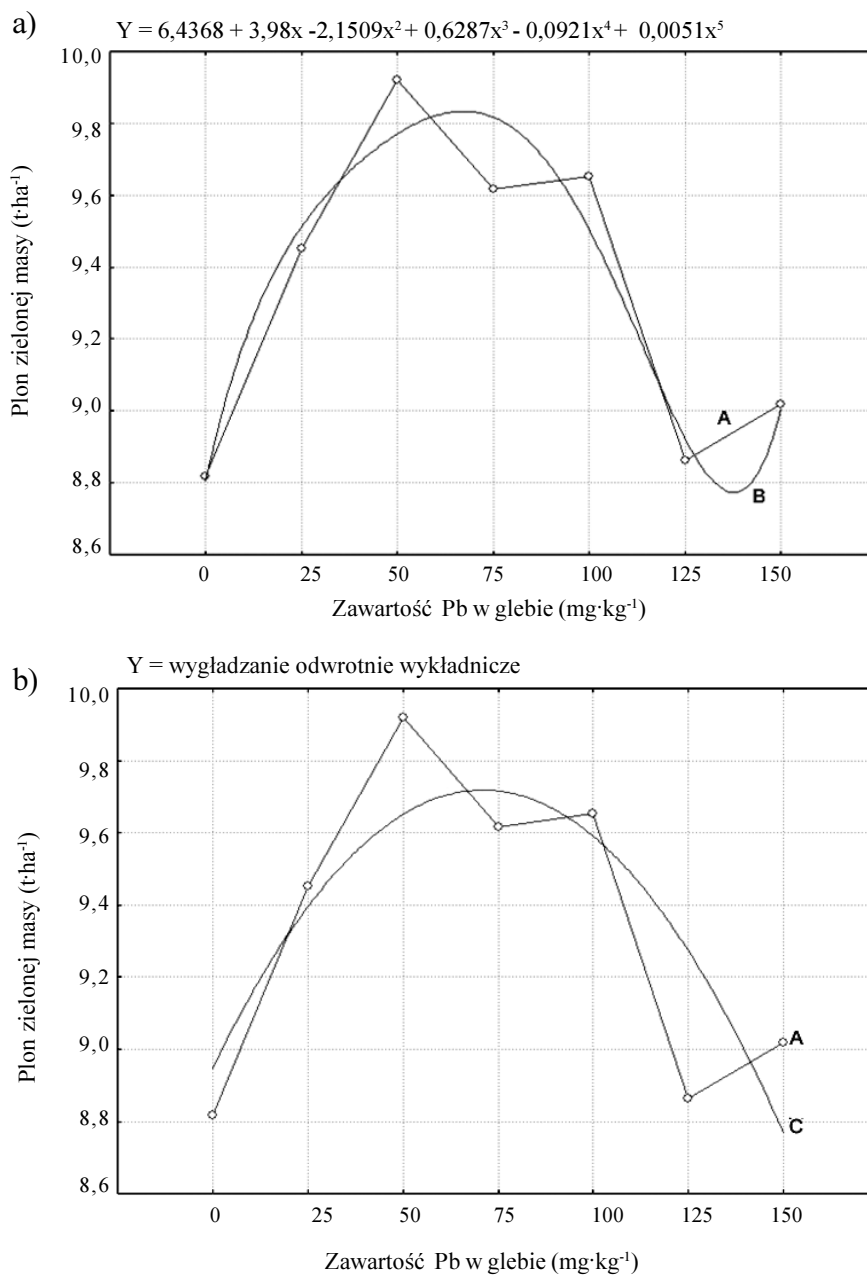
Efekt hormetyczny zaobserwowano również w przypadku nawożenia azotowego. Najwyższy średni plon zaobserwowano przy dawce N wynoszącej $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, po czym obserwowano niższe plony (tab. 4.7, rys. 4.5). Dawkę, po której nastąpił spadek plonowania, należy uznać za niską, ponieważ przy nawożeniu użytków zielonych azotem obserwowano plonotwórczy wpływ znacznie wyższych dawek azotu [Kopeć 2000; Mikołajczak i Nowak 1996; Firek i Trojan 1983; Łękawska 1993; Afanasiev 1991; Olkowski i Klicki 1981; Jakimowa i inni 1973].

Charakter zaobserwowanych zależności sprawił, że przeprowadzona analiza wariancji przy założeniu zależności prostoliniowej nie dała zadowalających rezultatów, ze względu na występujący w tym przypadku nieliniowy charakter tej zależności. Najlepiej dopasowaną funkcją dla zaobserwowanych średnich plonów zielonej masy traw byłaby funkcja wielomianowa lub odwrotnie wykładnicza, przedstawiona na rysunku 4.6. Włączenie do analizy kompletu wyników sprawiło jednak, że poziom dopasowania wyników do przedstawionych funkcji okazał się nieistotny.

Matematyczny opis przedstawionej zależności ma postać funkcji drugiego stopnia, którą opisuje wzór:

$$Y(\text{Pb}) = 8,948 + 0,021\text{Pb} - 0,000152\text{Pb}^2$$

gdzie: Y – plon zielonej masy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Pb – zawartość ołowiu w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)



Rysunek 4.6. Plon zielonej masy traw ($t \cdot ha^{-1}$) na tle zróżnicowanej zawartości Pb w glebie – odwzorowanie za pomocą funkcji: a) wielomianowej i b) odwrotnie wykładniczej, A – dane rzeczywiste, B,C – dane wyestymowane za pomocą funkcji regresji

Źródło: opracowanie własne

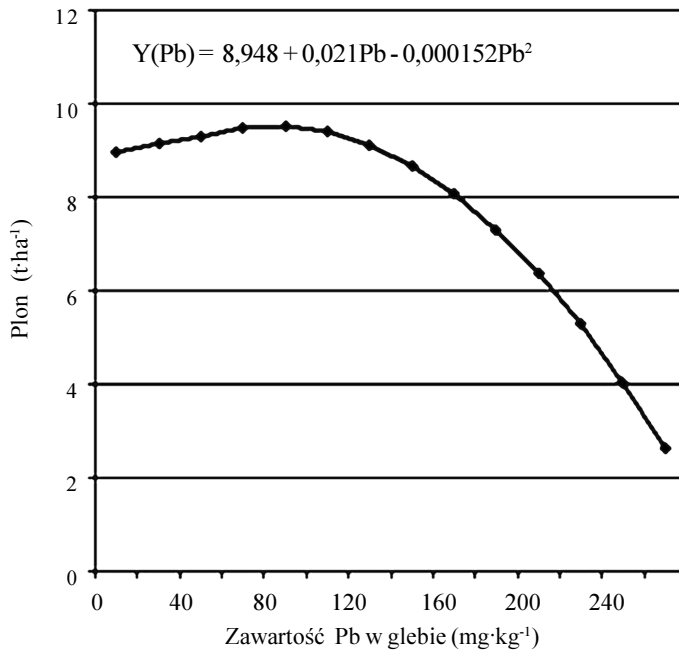
Tabela 4.9. Plony suchej masy traw ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od dawki azotu ($kg \cdot ha^{-1}$) i zawartości ołowiu w glebie ($mg \cdot kg^{-1}$)

Dawka N ($kg \cdot ha^{-1}$)	Zawartość Pb w glebie ($mg \cdot kg^{-1}$)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 25	Pb 50	Pb 75	Pb 100	Pb 125	Pb 150			
N0	1,06	1,17	0,96	1,05	1,14	1,02	1,15	1,08	0,07	6,63
N40	1,02	1,25	1,77	1,21	1,24	0,97	1,14	1,23	0,24	19,73
N80	1,10	1,25	1,28	1,06	0,94	1,06	1,00	1,10	0,12	10,52
N120	1,24	1,20	0,82	1,05	1,03	0,94	0,81	1,01	0,16	15,52
\bar{x}	1,10	1,22	1,21	1,09	1,09	1,00	1,02	1,10		
SD	0,10	0,04	0,42	0,08	0,13	0,05	0,16		0,17	
CV(%)	8,70	3,24	34,84	7,20	11,97	5,32	15,57			15,58

Źródło: badania własne

Wartość współczynnika regresji dla zmiennej niezależnej Pb wyniosła 0,021. Oznacza to, że każdy miligram tego pierwiastka przyczynił się do wzrostu o 21 kg plonu zielonej masy. Po przekroczeniu $70 mg \cdot kg^{-1}$ Pb w glebie uwidoczniły się negatywne skutki działania ołowiu, w wyniku czego nastąpił spadek plonowania. Wykres opisujący przedstawioną w tabeli 4.8 zależność ma postać przedstawioną na rysunku 4.7.

Analizując plony suchej masy traw (tab. 4.9) uzyskane w doświadczeniu, zauważyć można, że tendencje są takie same jak w przypadku zielonej masy. Dlatego w tym miejscu nie będą przedstawiane szczegółowe dane, bowiem wystarczy porównać je z danymi zamieszczonymi na rysunku 4.7. Zaobserwowane zależności oraz ich graficzne odwzorowanie na rysunkach 4.8 nie pozostawiają wątpliwości co do tego, że w tym przypadku wystąpił również efekt hormetyczny.



Rysunek 4.7. Plon zielonej masy traw ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od zawartości Pb w glebie ($mg \cdot kg^{-1}$)

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 4.8. Plony suchej masy traw na tle a) zróżnicowanej zawartości Pb w glebie i b) zróżnicowanego nawożenia mineralnego

Źródło: opracowanie własne

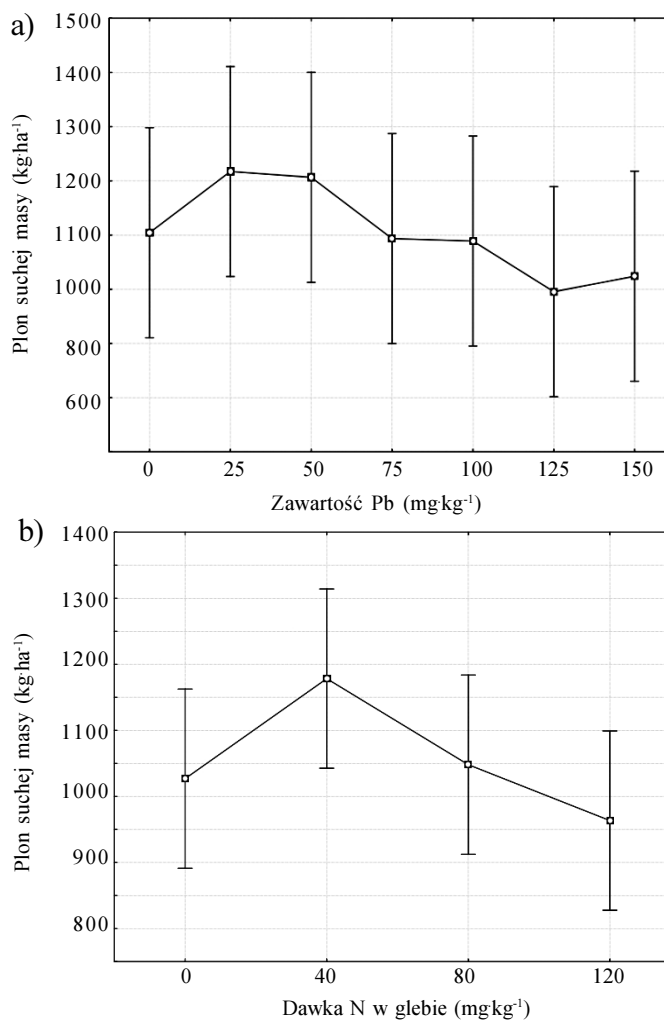


Tabela 4.10. Wartość nadwyżki bezpośredniej (zł·ha⁻¹) w przypadku zastosowania zielonki w żywieniu krów mlecznych w przeliczeniu na 1 ha powierzchni paszowej przy produkcji mleka

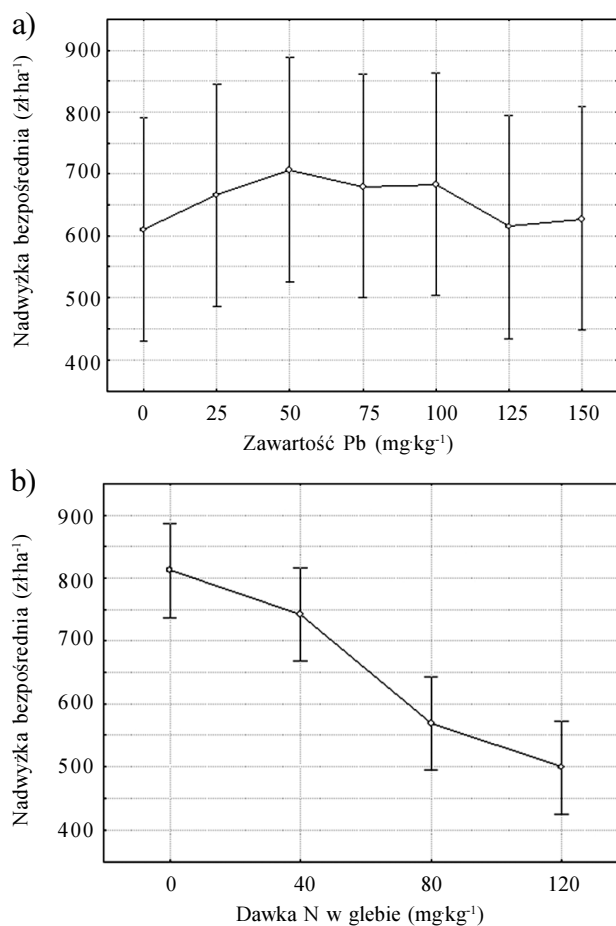
Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość Pb w glebie (mg·kg ⁻¹)							\bar{x}	SD	CV (%)
	Pb 0	Pb 25	Pb 50	Pb 75	Pb 100	Pb 125	Pb 150			
N0	719,1	800,9	788,7	921,7	811,3	717,4	926,1	812,2	84,9	10,46
N40	640	736,5	990,4	679,1	826,1	631,3	690,4	742	127,9	17,23
N80	658,3	663,5	562,6	572,2	493	532,2	558,3	577,1	62,9	10,90
N120	449,6	487	508,7	572,2	627	601,7	361,7	515,4	93,0	18,05
\bar{x}	616,7	672	712,6	686,3	689,3	620,7	634,1	661,7		
SD	116,45	135,49	221,39	164,83	159,18	76,72	236,91		151,6	
CV(%)	18,88	20,16	31,07	24,02	23,09	12,36	37,36			22,91

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.11. Analiza wariancji wpływu nawożenia mineralnego na glebach o zróżnicowanej zawartości ołowiu na wysokość nadwyżki bezpośredniej uzyskanej w produkcji mleka

	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F	Poziom p
Wyraz wolny	1 225 886	1	1 225 886	135,53**	0,000000
N	403 487	3	134 496	14,87**	0,000011
Błąd	217 035	24	9 043		
$R^2 = 0,650$					

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.9. Wartość nadwyżki bezpośredniej (zł·ha⁻¹) możliwej do osiągnięcia w produkcji mleka przy użyciu paszy uzyskanej w warunkach: a) wzrastającej zawartości Pb (mg·kg⁻¹) w glebie i b) przy zastosowaniu dodatkowych dawek nawożenia N (kg·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne

Analiza regresji III stopnia nie potwierdziła istnienia zależności pomiędzy plonowaniem traw a zwiększonymi poziomami nawożenia mineralnego na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb. W załączniku 20 i 21 przedstawiono odwzorowanie tych zależności na wykresach trójwymiarowych i warstwicznych.

Analiza plonowania zielonej masy pod wpływem użytych czynników doświadczalnych nie dostarcza pełnej informacji o skutkach zaobserwowanego zjawiska. Dla gospodarującego istotne jest rozwiązanie kwestii, jakie są ekonomiczne konsekwencje zaobserwowanych prawidłowości. W tym celu przeprowadzono analizę ekonomiczną z wykorzystaniem rachunku marginalnego. Zbadano efektywność ekonomiczną zastosowania dodatkowej dawki azotu na glebach o zróżnicowanej zawartości ołowiu. Produkcja roślinna, jako produkcja pierwotna m.in. służy zaspokajaniu potrzeb pokarmowych zwierząt. Od poziomu plonowania roślin zależą wyniki osiągnięte w produkcji zwierzęcej – produktywność i efektywność ekonomiczna w przeliczeniu na jednostkę powierzchni.

W tabeli 4.10 przedstawiono wartość nadwyżek bezpośrednich możliwych do osiągnięcia w produkcji mleka, wykorzystującej do żywienia krów wyprodukowaną zieloną masę stanowiącą plony trawy uzyskane w doświadczeniu III.

Okazało się, że zastosowanie dodatkowych dawek azotu na glebach o wyższej zawartości ołowiu doprowadziło do znacznego obniżenia wartości nadwyżki bezpośredniej. Wynika to z faktu, że koszt nawożenia azotem przewyższył możliwe do osiągnięcia dodatkowe przychody pieniężne. Zaobserwowana zależność miała charakter liniowy (rys. 4.9). Analiza wariancji potwierdziła istotność zaobserwowanych prawidłowości (tab. 4.11).

Wartość współczynnika determinacji wyniosła 65%, co w przypadku analizy wpływu jednego czynnika należy uznać za wynik bardzo wysoki. Najlepsze dopasowanie funkcji uzyskano, włączając do analizy zmienne niezależne Pb i N, pomijając składnik drugiego stopnia dla zmiennej N, a pozostawiając ten składnik dla zmiennej Pb. W takim przypadku moc testu mierzona współczynnikiem Fishera Snedecora, była najwyższa i wyniosła 17,5 (tab. 4.12). Zaobserwowaną prawidłowość można opisać za pomocą wzoru:

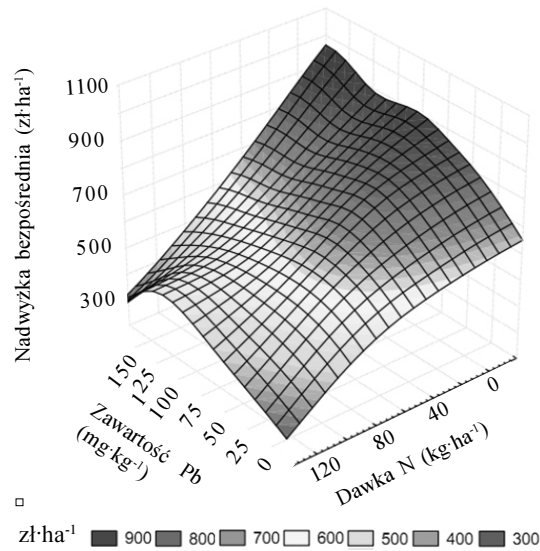
$$Y(\text{Pb};\text{N}) = 788,77 - 2,78\text{N} + 1,89\text{Pb} - 0,013\text{Pb}^2$$

Tabela 4.12. Analiza wariancji w dwuczynnikowej regresji wpływu zwiększonego nawożenia N na glebach o zróżnicowanej zawartości ołowiu na wysokość nadwyżki bezpośrednio uzyskanej w produkcji mleka

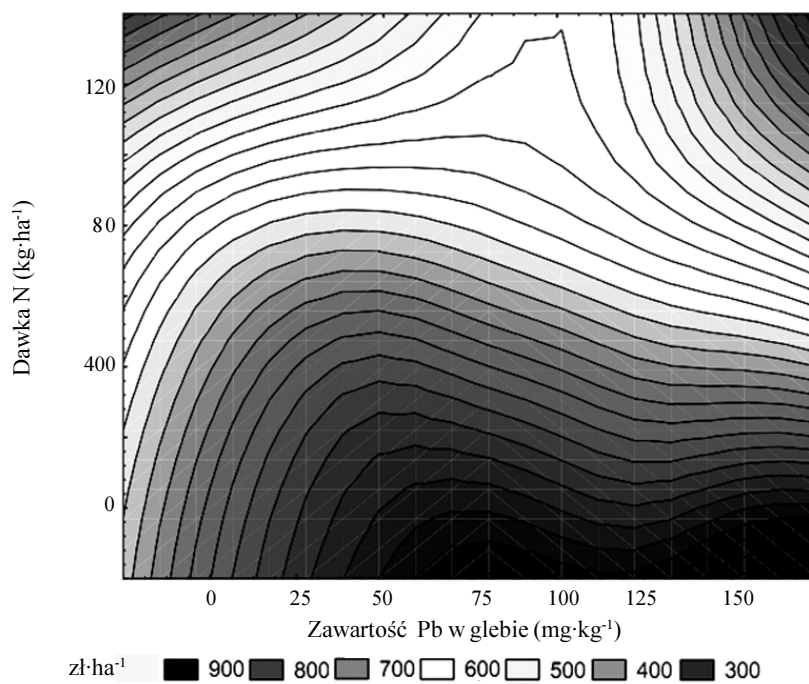
	BETA	Błąd st. BETA	B	Błąd st. B	t(24)	Poziom p
Wyraz wolny			788,77	46,98	16,78	$9,13 \cdot 10^{-15}$
Pb	0,6121	0,4118	1,885	1,268	1,48	0,1502
N	-0,8067	0,1142	-2,777	0,393	-7,061	$2,67 \cdot 10^{-07}$
Pb ²	-0,6727	0,4118	-0,013	0,00812	-1,633	0,11545
$R^2 = 0,687$						
F(3,24)=17,543; p<,00000; Błąd std. estymacji: 93,086						

Źródło: opracowanie własne

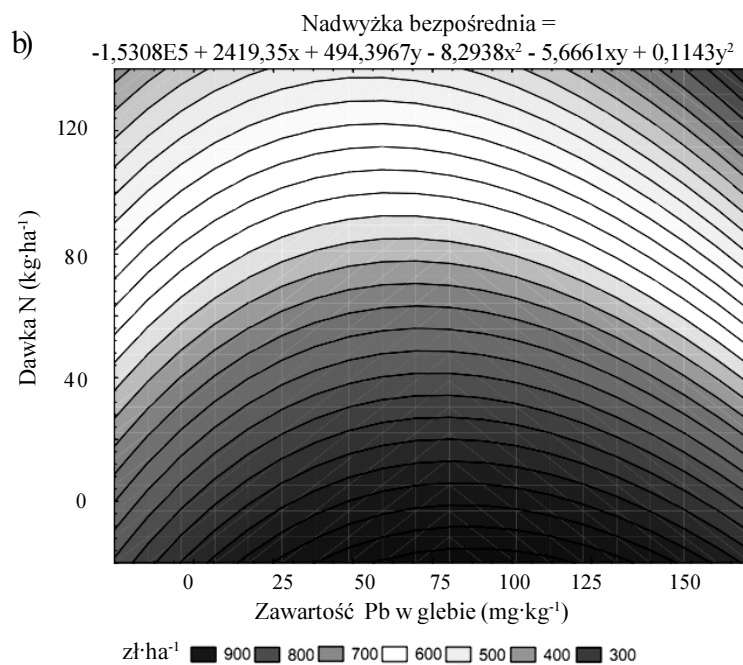
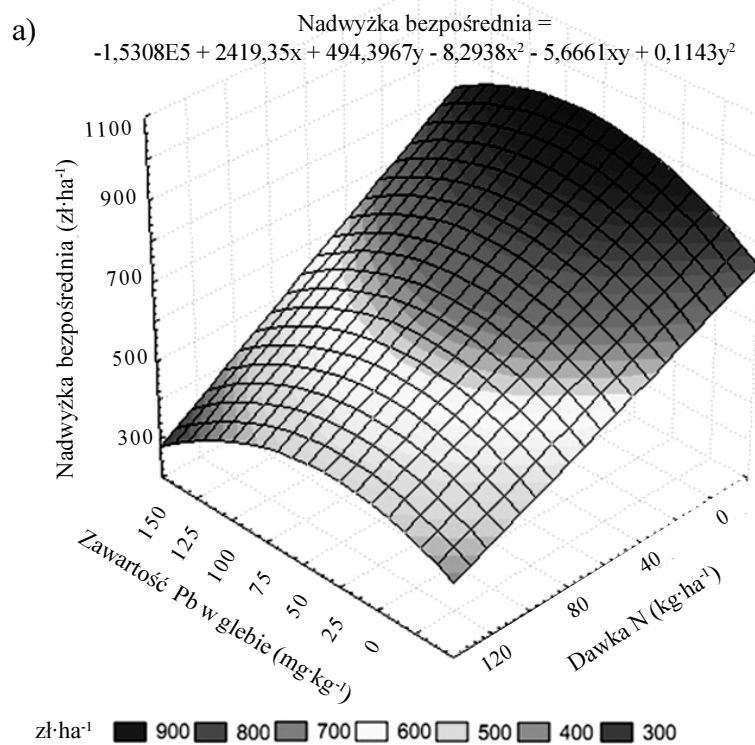
a) Nadwyżka bezpośrednia ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) = wykładanie odwrotnie wykładnicze



b) Nadwyżka bezpośrednia ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) = wykładanie odwrotnie wykładnicze



Rysunek 4.10. Wartość nadwyżki bezpośredniej ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) możliwej do uzyskania w produkcji mleka w warunkach wzrastającego nawożenia N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) – dane zbieżne z rzeczywistymi, a) wykres trójwymiarowy, b) wykres warstwiczny
 Źródło: opracowanie własne



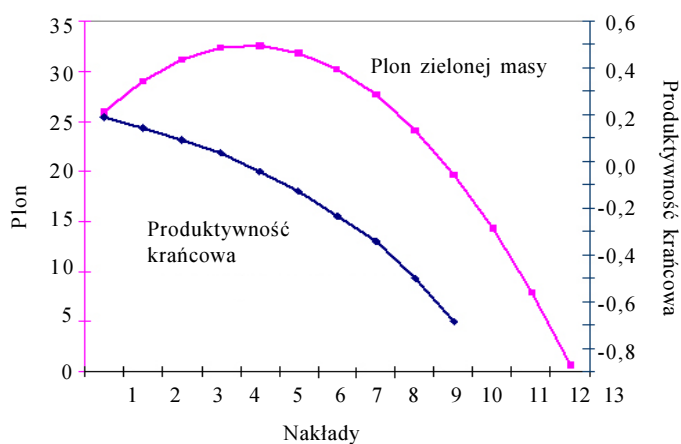
Rysunek 4.11.
Wartość nadwyżki bezpośredniej (zł·ha⁻¹) możliwej do uzyskania w produkcji mleka w warunkach wzrastającego nawożenia N (kg·ha⁻¹) na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb (mg·kg⁻¹) – dane wygładzone,
a) wykres trójwymiarowy,
b) wykres warstwiczny
Źródło: opracowanie własne

Wynika z niego, że zastosowanie dodatkowego kilograma N spowodowało stratę 2,78 zł nadwyżki bezpośredniej dla producenta. Wzrost zawartości ołowiu w glebie o 1 mg zwiększał wartość tej nadwyżki przeciętnie o 1,88 zł. Ujemny współczynnik drugiego stopnia dla Pb pokazuje, że wzrost ten miał miejsce do zawartości Pb w glebie nieprzekraczającej $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Powyżej tej zawartości nadwyżka bezpośrednia uległa zmniejszeniu. Można uznać, że tak skalkulowana zależność wpływu wzrastających dawek N, w warunkach wzrostu w glebie zawartości Pb na wysokość uzyskanej przez producenta nadwyżki bezpośredniej, najdokładniej obrazuje zaobserwowane prawidłowości. Potwierdzeniem tego jest analiza wariancji przedstawiona w tabeli 4.12.

W świetle dotychczasowej wiedzy należy stwierdzić, że efektywność nawożenia azotem malała na glebach o podwyższonej zawartości ołowiu wskutek wystąpienia efektu hormetycznego. W dalszej części przedstawiono graficzne odwzorowanie wyników estymacji dwuczynnikowej funkcji regresji nieliniowej wpływu nawożenia na wartość nadwyżki bezpośredniej na glebach o zróżnicowanej zawartości ołowiu, wynikający z zastosowania zielonej masy do żywienia krów mlecznych. Na rysunkach 4.10 odwzorowanie opisujących zależności zbieżne jest z rzeczywistymi danymi. Z wykresu warstwicowego można odczytać, że wartość nadwyżki bezpośredniej była najwyższa na glebach o najwyższej zawartości Pb, nienawożonych azotem. Najniższe wartości tych nadwyżek zanotowano na glebach, które zawierały najwięcej ołowiu i były nawożone najwyższymi dawkami azotu.

Wyniki estymacji przy zastosowaniu wygładzonej funkcji regresji dwuczynnikowej, zobrazowane na rysunkach 4.11 pokazały, że w przypadku produkcji mleka najwyższą wartość nadwyżki uzyskano bez stosowania nawożenia mineralnego, na glebach o zawartości $50\text{--}125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ołowiu. W miarę wzrostu nawożenia wartość tej nadwyżki systematycznie się obniżała.

Potwierdzeniem wyników uzyskanych w analizie regresji jest rachunek marginalny, przedstawiający dodatkowe przychody w produkcji mleka (ΔP), uzyskane dzięki poniesieniu dodatkowych kosztów na ich uzyskanie (ΔK). Dane zestawione w tabeli 4.13



Rysunek 4.12. Efektywność dodatkowych nakładów produkcyjnych uzyskana w doświadczeniach zależnie od kształtu krzywej plonowania

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.13. Produktywność krańcowa zastosowania dodatkowej dawki nawożenia na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb w produkcji mleka

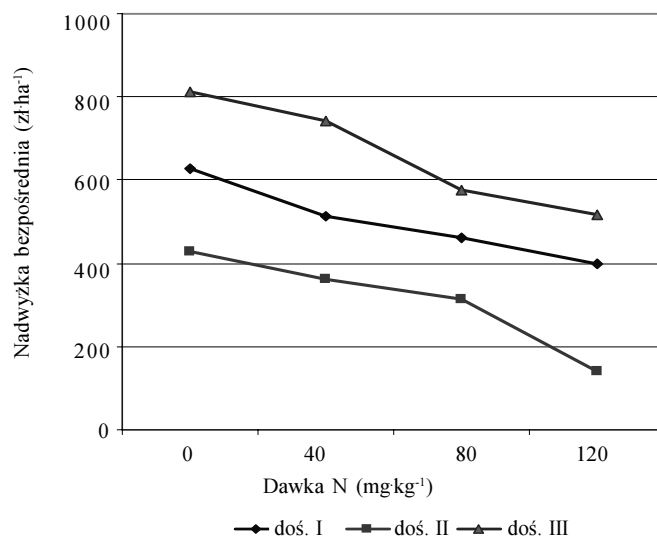
Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość Pb w glebie (mg·kg ⁻¹)							\bar{x}
	Pb 0	Pb 25	Pb 50	Pb 75	Pb 100	Pb 125	Pb 150	
N40	0,57	0,77	4,47	-1,70	1,87	0,47	-1,61	0,69
N80	0,82	0,06	-2,90	-0,22	-2,11	-0,16	-0,43	-0,71
N120	-0,77	-0,57	0,16	0,48	1,27	0,89	-0,69	0,11

Dane produktywności krańcowej przedstawione w tabeli obliczono jako relację wartości dodatkowej produkcji mleka (ΔP) do dodatkowych kosztów (ΔK) poniesionych na uzyskanie dodatkowej ilości zielonej masy, dla odpowiednich poziomów N
Źródło: opracowanie własne

potwierdzają, że dodatkowe nawożenie stosowane na glebach o zwiększonej zawartości Pb nie było efektywne. Wartość relacji $\Delta P/\Delta K$ w przypadku średniej dawki była mniejsza od 1, a w przypadku dawki N80 – ujemna. Oznacza to, że dodatkowe koszty przewyższyły wartość dodatkowo uzyskanej produkcji. Takie postępowanie nie jest zgodne z zasadami racjonalnej produkcji, ponieważ prowadzi do strat.

Tę sytuację zobrazowano na rysunku 4.12. Kształt krzywej produkcji sprawił, że krzywa produktywności krańcowej miała wartości malejące. Jest to potwierdzeniem faktu, że wartość dodatkowej produkcji była niższa niż wartość dodatkowych nakładów. Z kolei ujemne wartości tej relacji pokazują, że zamiast wzrostu produktywności następował jej spadek.

Reasumując wyniki przeprowadzonych doświadczeń należy stwierdzić, że o ile w zakresie plonowania roślin nie uzyskano pełnej powtarzalności wyników, to w zakresie efektywności ekonomicznej taką zgodność uzyskano (rys. 4.13). Świadczy to o tym, że rachunek ekonomiczny powinien być brany pod uwagę przy wyznaczaniu optymalnej dawki nawożenia.



Rysunek 4.13. Efektywność ekonomiczna – nadwyżka bezpośrednia (zł·ha⁻¹) – wzrastających dawek nawożenia mineralnego

Źródło: opracowanie własne

5. POZIOM PLONOWANIA I EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCJI ROŚLINNEJ W POLSCE

Opracowania dotyczące ziem województwa śląskiego niewiele uwagi zwracają na występujący tam fenomen. Dane statystyczne dostępne od ponad 100 lat podają, że województwo śląskie w porównaniu z pozostałymi województwami Polski znajdowało się w czołówce województw pod względem wysokości plonowania roślin uprawnych. Działo się tak już w okresie międzywojennym, czasach Polski Ludowej i taka sytuacja ma miejsce w chwili obecnej. Brak opracowań wyjaśniających ten stan rzeczy jest dowodem na to, że nauka nie znalazła racjonalnego wytłumaczenia tego zjawiska.

W poprzednich rozdziałach pokazano, że efekt hormetyczny wystąpił w doświadczeniu prowadzonym w ściśle kontrolowanych warunkach. W tej sytuacji można by się spodziewać jego wystąpienia w skali makro, a więc na poziomie całego kraju. Celem tej części opracowania jest weryfikacja hipotez 1 i 3 przez wykazanie, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach użytków rolnych poszczególnych województw w Polsce, dzięki występowaniu efektu hormetycznego może być użyta do wyjaśnienia zmienności plonowania roślin uprawnych.

Szczególne znaczenie dla koncepcji hormezy mają dane z okresu międzywojennego. W tym okresie w rolnictwie polskim nie stosowano powszechnie nawożenia mineralnego, a jeśli było już stosowane, to dotyczyło niewielkiej grupy gospodarstw, nie mając wpływu na wyniki wszystkich gospodarstw rolnych w Polsce [Jagielski 1958]. Średnie zużycie nawozów w czystym składniku w roku 1938 wyniosło $7,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy czym należy nadmienić, że ponad 1/3 produkowanych w Polsce okresu międzywojennego nawozów używano w Wielkopolsce [Mączak 1981]. Ponadto na analizowany w tym rozdziale okres przypadają czasy kryzysu gospodarczego, które w znacznym stopniu ograniczyły stosowanie nawozów. Czynniki wpływające na plony roślin można ograniczyć w takich warunkach do jakości gleby i przebiegu warunków pogodowych. Siły oddziaływania efektu hormetycznego w okresie międzywojennym nie mógł zmieniać tak istotny czynnik plonotwórczy, jakim jest obecnie nawożenie mineralne oraz stosowanie chemicznych środków ochrony roślin.

5.1. Poziom plonowania i efektywność produkcji w latach 1934–1938

Średnie plony głównych zbóż w Polsce w latach 1934–1938 kształtowały się na poziomie $11,2\text{--}11,9 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 5.1). Występowało duże zróżnicowanie plonowania zbóż w poszczególnych województwach (tab. 5.2). W województwie śląskim plony były wyższe od średniej krajowej o ponad 30%, były porównywalne z plonowaniem roślin uprawnych w województwie poznańskim. Natomiast w województwie białostockim osiągnęto plony niższe niż średnie w Polsce przeciętnie o 25% (tab. 5.3). Z porównania województwa białostockiego i śląskiego wynika, że plony osiągnęte w województwie śląskim były ponad 70% wyższe niż w województwie białostockim (z wyjątkiem żyta).

Plony ziemniaków nie były tak mocno zróżnicowane, jak miało to miejsce w przypadku zbóż. Przeciętne plony tej rośliny wynosiły wówczas w Polsce $121 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najniższe plony osiągnięto w województwie białostockim i pomorskim, a najwyższe w lubelskim i

Tabela 5.1. Średnie plony ziemiopłodów w latach 1934–1938 na terenie wybranych województw Polski (w nawiasach podano nazwy województw z 2007 roku)

Region	Plon (dt·ha ⁻¹)					
	pszenica	żyto	jęczmień	owies	ziemniaki	buraki cukrowe
Warszawskie (mazowieckie)	11,9	10,7	12,6	12,8	126	206
Łódzkie (łódzkie)	11,0	11,8	12,4	13,6	129	227
Kieleckie (świętokrzyskie)	13,0	11,4	11,8	13,5	130	203
Lubelskie (lubelskie)	12,5	11,4	12,2	12,4	136	187
Białostockie (podlaskie)	9,5	9,5	9,1	8,7	114	158
Pomorskie (pomorskie)	15,7	12,6	16,7	14,5	121	232
Śląskie (śląskie)	15,8	14,8	16,3	15,3	134	228
\bar{x}	11,9	11,2	11,8	11,4	121	216
SD	2,33	1,66	2,66	2,12	7,63	26,69
CV(%)	19,55	14,78	22,53	18,62	6,30	12,36

Źródło: Mały Rocznik Statystyczny 1939. Główny Urząd Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, s. 78-79

łódzkim i śląskim (tab. 5.2). Plony buraków były najwyższe w województwie pomorskim, śląskim i łódzkim, a najniższe w województwie białostockim, wileńskim, poleskim i wołyńskim (tab. 5.2).

Tendencje w przypadku plonowania roślin uprawnych w latach 1934–1938 były podobne, jak w przypadku plonowania roślin w roku 1938. Należy podkreślić, że w tym roku ogólny poziom plonowania był wyższy; wzrosła też zmienność plonowania (tab. 5.2).

W okresie międzywojennym nie stosowano powszechnie nawozów sztucznych. W świetle dotychczasowej wiedzy można wnioskować, że najważniejszym czynnikiem różnicującym plonowanie powinna być jakość gleb. Jednak takie twierdzenie nie znajduje potwierdzenia w danych empirycznych. Najwyższe plony w okresie międzywojennym osiągnano w województwie śląskim i pomorskim. Na podobnym poziomie kształtowały się plony w województwie poznańskim. Jak można racjonalnie wytłumaczyć taką sytuację? W województwie pomorskim, na wysokość plonów miały wpływ wyniki osiągnięte na Kujawach, gdzie gleby użytkowane rolniczo mają jeden z najlepszych wskaźników walo-

Tabela 5.2. Plony ziemiopłodów w 1938 roku na terenie wybranych województw Polski

Region	Plon (dt·ha ⁻¹)					
	pszenica	żyto	jęczmień	owies	ziemniaki	buraki cukrowe
Warszawskie (mazowieckie)	12,4	12,3	12,9	13,2	123	209
Łódzkie (łódzkie)	13,8	12,6	12,9	13,8	129	220
Kieleckie (świętokrzyskie)	12,5	11,5	11,2	13,5	114	220
Lubelskie (lubelskie)	13,0	12,3	11,6	12,5	139	194
Białostockie (podlaskie)	9,0	10,8	9,1	9,7	105	193
Pomorskie (pomorskie)	18,6	15,2	17,7	15,7	105	225
Śląskie (śląskie)	15,8	16,5	16,8	16,5	129	229
\bar{x}	12,4	12,3	11,6	11,7	114	210
SD	3,00	2,05	3,08	2,21	13,01	14,58
CV(%)	24,20	16,70	26,51	18,93	11,41	6,94

Źródło: jak w tabeli 5.1

Tabela 5.3. Porównanie plonów ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) ziemiopłodów w województwie śląskim i białostockim w latach 1934–1938

Rodzaj uprawy	Średnie dla Polski	Województwo		Relacja (%)		
		śląskie	białostockie	3/2	4/2	3/4
1	2	3	4	5	6	7
Pszenica	11,9	15,8	9,0	132,8	75,6	175,6
Żyto	11,2	14,8	9,5	132,1	84,8	155,8
Jęczmień	11,8	16,3	9,1	138,1	77,1	179,1
Owies	11,4	15,3	8,7	134,2	76,3	175,9
Ziemniaki	121	134	114	110,7	94,2	117,5
Buraki cukrowe	198	228	158	115,2	79,8	144,3

Źródło: jak w tabeli 5.1

ryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce [Witek 1981] oraz najlepsze wskaźniki wykorzystania potencjału produkcyjnego [Krasowicz i Igras 2003]. Natomiast w województwie poznańskim kultura uprawy gleby i roślin była najwyższa oraz stosowano tam nawożenie mineralne. Na ziemiach Śląska wartość wskaźnika waloryzacji była niższa jak w Polsce. W tej sytuacji wyjaśnienie tak wysokich plonów, wyższych niż na ziemiach o najwyższej wartości wskaźników waloryzacji (ziemie lubelskie, zamojskie, kujawskie) nie jest możliwe. Wydaje się, że nie tylko jakość gleby mogła warunkować poziom plonowania roślin w województwie śląskim. Ziemie te charakteryzowały się najwyższą zawartością metali ciężkich spośród wszystkich województw w Polsce. W tej sytuacji, rolnicy gospodarujący na Śląsku, mogli niejako „korzystać z dobroczynnych skutków” tej podwyższonej zawartości, dzięki występowaniu efektu hormetycznego.

Prezentowane dane są dowodem na to, że zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach poszczególnych województw mogło być czynnikiem, mającym wpływ na plonowanie roślin uprawnych. Aby określić siłę tego związku, w dalszej części zostaną przedstawione wyniki analizy statystycznej.

Analiza korelacji pomiędzy plonami osiąganymi w okresie międzywojennym a zróżnicowaną zawartością w glebie metali ciężkich poszczególnych województw pokazała na istnienie związku pomiędzy tymi zmiennymi (tab. 5.4, 5.5). Szczególnie widoczne było to w przypadku plonowania żyta. Zaobserwowano również korelację pomiędzy zawartością metali ciężkich a plonowaniem większości roślin uprawnych w tym okresie. W przypadku ziemniaków, buraków i pszenicy korelacja nie była istotna, jednak dane zaprezentowane w tabeli 5.2 potwierdzają wyższe plonowanie tych roślin w województwie śląskim.

Tabela 5.4. Wartości współczynników korelacji pomiędzy wielkością plonów wybranych roślin w 1938 roku a zawartością w glebie pierwiastków śladowych i jakością gleby

	Pszenica	Żyto	Jęczmień	Owies	Ziemniaki	Buraki cukrowe
Cd	0,333	0,727**	0,507	0,597*	0,200	0,547
Cu	0,459	0,786**	0,593*	0,620*	0,006	0,574
Ni	0,466	0,748**	0,550	0,624*	0,120	0,528
Pb	0,377	0,756**	0,542	0,642*	0,279	0,58
Zn	0,486	0,804***	0,628*	0,728**	0,171	0,665**
Wsk. wal.	0,252	0,231	0,109	0,358	0,585	0,202

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.5. Wartości współczynników korelacji pomiędzy wielkością plonów wybranych roślin (średnie za lata 1934–1938) a zawartością w glebie pierwiastków śladowych

	Pszenica	Żyto	Jęczmień	Owies	Ziemniaki	Buraki cukrowe
Cd	0,598*	0,822***	0,538	0,498	0,374	0,37
Cu	0,691**	0,831***	0,617*	0,487	0,231	0,383
Ni	0,732**	0,843***	0,607*	0,528	0,392	0,357
Pb	0,602*	0,860***	0,570	0,555	0,435	0,443
Zn	0,739**	0,895***	0,668**	0,640**	0,423	0,504
Wsk. wal.	0,723**	0,671**	0,607*	0,507	0,614	0,372

*p < 0,1; **p < 0,05; ***p < 0,01

Źródło: opracowanie własne

Dla statystycznej oceny wpływu zawartości metali ciężkich w glebach poszczególnych województw na plonowanie roślin przeprowadzono analizę regresji. Zależność była istotna na poziomie $p = 0,006$ dla lat 1934–1938 i $p = 0,03$ dla roku 1938. Współczynnik determinacji pomiędzy tymi zmiennymi wyniósł odpowiednio 80,1 i 64,7%. Można przypuszczać, że w dłuższym przedziale czasu zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach, może dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego, precyzyjniej wyjaśnić związek z poziomem plonowania roślin niż w krótkich przedziałach czasu.

Przedstawione w tabeli 5.6 równania pokazują, że wartość współczynnika regresji dla Zn jako zmiennej niezależnej wyniosła:

- 0,0595 dla żyta,
- 0,069 dla pszenicy,
- 0,07 dla jęczmienia.

Są to dość duże wartości, zważywszy na fakt, że w obecnych latach osiąga się podobną wartość tego współczynnika w przypadku użycia do nawożenia roślin azotu. Jednak dla okresu międzywojennego nie ma takiego punktu odniesienia, ponieważ w tym czasie nawozów mineralnych nie stosowano powszechnie.

Tabela 5.6. Estymacja funkcji plonowania roślin uprawnych ($dt \cdot ha^{-1}$) w zależności od zawartości metali ciężkich ($mg \cdot kg^{-1}$) w glebach badanej zbiorowości w latach 1934–1938 wraz z oszacowaniem parametrów statystycznych

Wyszczególnienie	R^2	T_{emp}	F_{emp}	Równanie regresji	Błąd standardowy	
					stałej regresji	współczynnika regresji
Pszenica						
Ni	0,536	2,40*	5,78*	$Y(x) = 9,13 + 0,55(x)$	1,64	0,23
Zn	0,455	2,45*	6,00*	$Y(x) = 10,24 + 0,069(x)$	1,22	0,028
Żyto						
Cd	0,674	2,45*	10,38**	$Y(x) = 10,14 + 5,34(x)$	0,63	1,66
Cu	0,690	3,34**	11,13**	$Y(x) = 8,27 + 0,57(x)$	1,11	0,17
Ni	0,710	3,50**	12,28**	$Y(x) = 8,76 + 0,45(x)$	0,93	0,13
Pb	0,739	3,77**	14,18**	$Y(x) = 9,66 + 0,13(x)$	0,65	0,13
Zn	0,801	4,49**	20,16**	$Y(x) = 9,56 + 0,0595(x)$	0,57	0,06
Jęczmień						
Zn	0,45	2,11*	4,03*	$Y(x) = 10,39 + 0,07(x)$	1,54	0,04

Istotne dla: * p < 0,05; **p < 0,01

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.7. Wartość współczynników korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich a wybranymi wskaźnikami ekonomicznymi w poszczególnych województwach Polski w latach 1934–1938

	Obsada bydła (SF·ha ⁻¹)	Kapitał czynny (zł·ha ⁻¹)	Koszty produkcji (zł·ha ⁻¹)
Cd	0,560	0,594	0,559
Cu	0,613	0,666*	0,613
Ni	0,542	0,595	0,541
Pb	0,580	0,610	0,579
Zn	0,682*	0,712*	0,682*

* – istotne dla $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Przedział zmienności w przypadku średniej zawartości cynku w glebach Polski wyniósł 68,2 mg·kg⁻¹. Różnica plonowania pomiędzy glebami o niskiej i wysokiej zawartości tego pierwiastka wyniosła od 4 do 5 dt ziarna·ha⁻¹. W przypadku plonów z tego okresu, kształtujących się na poziomie 11 dt·ha⁻¹, różnica pomiędzy glebami „zasobnymi” a glebami „ubogimi” w metale ciężkie wyniosła około 40%.

Przyjmuje się, że zależność pomiędzy plonami roślin a zawartością metali ciężkich w glebie ma charakter nieliniowy opisany funkcją kwadratową. Prezentowanych w tym przypadku danych nie można opisać za pomocą tej funkcji, bowiem obliczony poziom istotności dla modelu kwadratowego tylko w przypadku plonowania żyta wyniósł 0,12, zaś w przypadku pozostałych roślin był jeszcze wyższy. Opisanie zależności przy użyciu takiego modelu związane byłoby ze zbyt dużym błędem. Oznacza to, że w glebach poszczególnych województw Polski, przy najwyższym stwierdzonym poziomie metali ciężkich nie wystąpił jeszcze punkt przełamania (próg produkcyjny). Jest to wskazówka, by prognozy tego poszukiwać przy zawartościach w glebie metali ciężkich wyższych niż prezentowane w tabeli 1.4.

Jeśli przy pomocy zróżnicowanej zawartości metali ciężkich w glebach województw międzywojennej Polski można było wyjaśnić zmienność plonowania roślin uprawnych, to powinna również mieć ona wpływ na wyniki ekonomiczne produkcji rolniczej w skali globalnej. Taki wniosek jest uzasadniony, bowiem w tym okresie wielkość produkcji rolni-

Tabela 5.8. Wyniki estymacji funkcji regresji wybranych parametrów ekonomicznych w zależności od naturalnej zawartości Zn w glebach poszczególnych województw w latach 1934–1938 wraz z oszacowaniem parametrów statystycznych

R ²	T _{emp}	F _{emp}	Równanie regresji	Błąd standardowy	
				stałej regresji	współczynnika regresji
Obsada bydła (SF·ha⁻¹)					
0,665	10,18**	9,94**	Y(x) = 32,79 + 0,23(x)	3,22	0,07
Kapitał czynny (zł·ha⁻¹)					
0,465	3,11*	4,35*	Y(x) = 1171,9 + 18,13(x)	376,8	8,69
Koszty produkcji (zł·ha⁻¹)					
0,464	4,22*	4,34*	Y(x) = 135,6 + 1,54(x)	32,1	0,74

Istotne dla: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Źródło: opracowanie własne

czej była przede wszystkim pochodną funkcji produktywności ziemi. Analiza statystyczna pokazała, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach poszczególnych województw (w szczególności cynku) była zmienną, którą można użyć do wyjaśnienia zróżnicowania wybranych wskaźników ekonomicznych z tamtego okresu. Na podstawie analizy regresji oszacowano zależność pomiędzy tą zawartością a wielkością obsady bydła, wartością kapitału czynnego oraz wysokością poniesionych kosztów produkcji (tab. 5.7 i 5.8). Obliczona za pomocą analizy statystycznej wartość współczynników regresji dla zmiennej niezależnej Zn wyniosła:

- 0,23 SF bydła na 100 ha UR,
- 18,1 zł kapitału czynnego na 1 ha UR,
- 1,54 zł kosztów produkcji na 1 ha UR.

Najwyższą siłę związku zaobserwowano pomiędzy zawartością Zn w glebach poszczególnych województw a obsadą bydła (tab. 5.7 i 5.8). Współczynnik determinacji R^2 dla tej zależności wyniósł 66,5%. Można przypuszczać, że te gleby województw międzywojennej Polski, które zawierały wyższe ilości metali ciężkich, odznaczały się wyższą produktywnością ziemi dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego. Od tej produktywności w przeważającej mierze zależały wyniki osiągane w produkcji zwierzęcej, a w szczególności w produkcji bydła, która opiera się na paszach pochodzących z użytków rolnych: siano, zielonka, rośliny pastewne.

5.2. Poziom plonowania i efektywność produkcji roślinnej w latach 2003–2008

W latach 2003–2008 najwyższe plony zbóż uzyskano w województwie śląskim (tab. 5.9, zał. 16). Średni plon 4 zbóż był w tym województwie o 10% wyższy niż w kraju i aż o 35% wyższy niż w województwie podlaskim. Plony buraków cukrowych w województwie śląskim były o 6% wyższe od średniej krajowej i o 20% wyższe niż w województwie podlaskim. Również plony ziemniaków były w tym województwie o 6% wyższe niż w kraju i o prawie 10% wyższe niż w województwie podlaskim (tab. 5.9). W tym miejscu należy

Tabela 5.9. Średnie plony ($dt \cdot ha^{-1}$) podstawowych roślin uprawnych w Polsce i wybranych województwach w latach 2003–2008

Polska	Plon roślin ($dt \cdot ha^{-1}$) w województwie			Relacja (%)			
	podlaskim	zachodnio-pomorskim	śląskim	2/1	4/1	4/2	4/3
1	2	3	4	5	6	7	8
Zboża							
31,2	25,4	32,5	34,2	81,3	109,6	134,8	105,1
Ziemniaki							
183,2	176,7	199,8	193,8	96,4	105,8	109,7	97,0
Buraki cukrowe							
443,6	389,7	459,0	470,4	87,8	106,0	120,7	102,5
Oleiste							
24,8	26,7	21,4	25,78	107,7	104,0	96,6	120,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS za lata 2003–2008

Tabela 5.10. Średnie plony warzyw ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) w Polsce i wybranych województwach w latach 2003–2008

Polska	Plon roślin ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) w województwie			Relacja (%)			
	podlaskim	zachodnio-pomorskim	śląskim	2/1	4/1	4/2	4/3
1	2	3	4	5	6	7	8
Ogórki							
136,8	81,3	119,3	160,0	59,5	117,0	196,7	134,1
Buraki ćwikłowe							
253,3	191,3	258,2	275,7	75,5	108,8	144,1	106,8
Marchew							
284,3	208,5	276,7	332,2	73,3	116,8	159,3	120,1
Kapusta							
390,7	375,5	370,8	498,7	96,1	127,6	132,8	134,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS za lata 2003–2008

wspomnieć o plonach kukurydzy, które w województwie śląskim w latach 2003–2008 były najwyższe w Polsce (zał. 22). Warto również zwrócić uwagę na to, że plony tej rośliny w województwach o najwyższej zawartości metali ciężkich w glebach były zdecydowanie wyższe niż w województwach, które charakteryzowały się najniższą ich zawartością.

Większe różnice zaobserwowano w plonowaniu warzyw (tab. 5.10, zał. 17). W stosunku do średniej krajowej plony ogórków w województwie śląskim były o 17% wyższe, buraków ćwikłowych o 8,8% i marchwi prawie o 17%. Plony kapusty były wyższe aż o 27,6%. Jeszcze większe różnice zaobserwowano porównując województwo śląskie i podlaskie. Plony ogórków w województwie śląskim były prawie dwukrotnie wyższe, buraków i marchwi o około 50%, zaś kapusty o ponad 30%. Podobne tendencje wystąpiły przy porównaniu województwa śląskiego i zachodniopomorskiego, jednak w tym wypadku różnice były mniejsze (odpowiednio o 34% dla ogórków; 6,8% dla buraków ćwikłowych, 20,1% dla marchwi i 34,5% dla kapusty).

Największe różnice zaobserwowano w przypadku plonowania owoców. Plony czereśni i malin były w województwie śląskim wyższe od średnich plonów w kraju o prawie 40%, a gruszek o 24%. Najwyższe różnice zaobserwowano w plonowaniu orzechów i truskawek – odpowiednio 68,3% i 57,7% (tab. 5.11, zał. 18). Ogromne różnice można zauważyć, porównując plonowanie owoców w województwie śląskim i podlaskim. Plony orzechów były w województwie śląskim ponad 800% wyższe, malin o ponad 300%, gruszek i czereśni o około 30%, a truskawek o prawie 91%. Również duże różnice wystąpiły w porównaniu z plonami z województwa zachodniopomorskiego. Plony orzechów były prawie czterokrotnie wyższe, a malin trzykrotnie wyższe. Plony gruszek, wiśni, czereśni i truskawek były wyższe odpowiednio o 34,4; 58,6; 29,9 i 49,9%.

Jak można racjonalnie wyjaśnić tak wysokie plony roślin w województwie, gdzie:

- gleby są przeciętnej jakości nieodbiegającej od średniej krajowej,
- wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest niższy od średniej krajowej,
- bilans fosforu w glebach użytków rolnych jest ujemny,

Tabela 5.11. Średnie plony owoców w ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) w Polsce i wybranych województwach w latach 2003–2008

Polska	Plon roślin ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) w województwie			Relacja (%)			
	podlaskim	zachodnio-pomorskim	śląskim	2/1	4/1	4/2	4/3
1	2	3	4	5	6	7	8
Gruszki							
47,9	32,4	44,2	59,5	67,6	124,1	183,5	134,4
Wiśnie							
45,5	42,4	33,1	52,6	93,2	115,5	123,9	158,6
Czereśnie							
37,5	19,6	39,9	51,9	52,3	138,3	264,5	129,9
Orzechy							
15,7	3,3	6,9	26,4	21,2	168,3	792,5	382,9
Truskawki							
33,8	27,9	37,9	53,3	82,6	157,7	191,0	140,9
Maliny							
30,2	12,6	13,4	41,2	41,8	136,3	326,3	307,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS za lata 2003–2008

- ilość azotu zawartego w glebach jest prawie najniższa w kraju,
- zużywa się w produkcji najniższe ilości nawozów mineralnych.

W świetle przedstawionej analizy należy stwierdzić, że to dzięki wyższej niż w glebach innych województw naszego kraju zawartości metali ciężkich wystąpienie efektu hormetycznego powodowało zwiększone plonowanie.

Mogłoby się wydawać, że związki pomiędzy plonowaniem roślin a zawartością metali ciężkich w glebach poszczególnych województw mają charakter przypadkowy i różnią się w zależności od roku badań. W poszczególnych latach obserwowano korelację między plonowaniem roślin polowych, warzyw i owoców a zawartością poszczególnych metali ciężkich w glebach, to znów a wysokością nawożenia lub jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej (zał. 13–15). Wartości współczynników korelacji pomiędzy plonowaniem podstawowych roślin uprawnych a zróżnicowaną zawartością metali ciężkich w glebach poszczególnych województw były istotnie wyższe od współczynników korelacji pomiędzy tym plonowaniem a wysokością nawożenia mineralnego oraz jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Wynika z tego, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach poszczególnych województw spowodowała wystąpienie efektu hormetycznego, co było jednym z czynników kształtującym plonowanie w skali całego kraju. Potwierdzeniem zaobserwowanych tendencji są dane zawarte w załącznikach 14 i 15, w których przedstawiono korelacje w plonowaniu warzyw i owoców.

Wyniki estymacji pokazały, że wartość współczynnika regresji plonowania zbóż w zależności od zasobności gleby w miedź (Cu) wyniosła 0,89 (tab. 5.12). Dla okresu międzywojennego wartość ta wyniosła 0,57 (tab. 5.6). Oznacza to, że pomimo zastosowania nowych środków produkcji w rolnictwie, wartość oszacowanego wpływu zawartości metali ciężkich na plonowanie roślin nadal jest istotny.

Tabela 5.12. Estymacja funkcji plonowania roślin uprawnych w latach 2003–2008 w Polsce w zależności od zróżnicowanej zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych poszczególnych województw (z oszacowaniem parametrów statystycznych)

Wyszczególnienie	R ²	T _{emp}	F _{emp}	Równanie regresji	Błąd standardowy	
					stałej regresji	współczynnika regresji
Zboża						
Cu	0,323	2,58*	6,68**	Y(x) = 24,89 + 0,89(x)	2,84	0,35
Buraki cukrowe						
Ni	0,516	3,86*	14,9*	Y(x) = 394,1 + 6,94(x)	14,94	1,80

Istotne dla: *p < 0,05; **p < 0,01

Źródło: opracowanie własne

Biorąc pod uwagę pozostałe rośliny uprawne stwierdzono, że zmienność plonowania kapusty można wyjaśnić za pomocą zróżnicowanej zawartości kadmu w glebach (tab. 5.13). Współczynnik determinacji wyniósł w przypadku tej zmiennej aż 0,650, co w przypadku wpływu jednego czynnika należy uznać za wartość bardzo wysoką. W przypadku ogórków najwyższe wartości współczynnika determinacji wystąpiły w przypadku cynku – 0,360 (tab. 5.13).

Z kolei plonowanie truskawek i malin najlepiej wyjaśnia poziom zawartego w glebach ołowiu i cynku, a wartość współczynnika determinacji kształtuje się na poziomie około 0,300. Niższe wartości współczynnika korelacji w porównaniu z warzywami wynikają z faktu, że na plonowanie owoców duży wpływ mają warunki pogodowe, a przede wszystkim wystąpienie przymrozków w okresie kwitnienia. Nie ma jednak wątpliwości co do tego, że podwyższona zawartość metali ciężkich w glebach – w granicach dopuszczalnych normami – ma plonotwórczy wpływ na rośliny uprawne.

Tabela 5.13. Estymacja funkcji plonowania warzyw i owoców w latach 2003–2008 w województwach Polski w zależności od zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych województw (z oszacowaniem parametrów statystycznych)

Wyszczególnienie	R ²	T _{emp}	F _{emp}	Równanie regresji	Błąd standardowy	
					stałej regresji	współczynnika regresji
Kapusta						
Cd	0,650	5,1**	26,00**	Y(x) = 338,01 + 186,8(x)	12,0	36,34
Pb	0,421	3,19*	10,18**	Y(x) = 332,78 + 3,491(x)	19,50	1,09
Zn	0,428	3,23*	10,45**	Y(x) = 332,77 + 1,43(x)	19,27	0,44
Ogórki						
Pb	0,340	2,81*	7,89*	Y(x) = 107,16 + 1,472(x)	9,34	9,4
Zn	0,360	2,71*	7,34*	Y(x) = 107,87 + 0,585(x)	0,52	0,22
Truskawki						
Pb	0,360	2,83*	8,03*	Y(x) = 28,8 + 17(x)	3,13	0,17
Zn	0,285	2,36*	5,58*	Y(x) = 29,8 + 0,18(x)	3,29	0,08
Maliny						
Pb	0,285	2,36*	5,58*	Y(x) = 14,94 + 0,58(x)	4,35	0,24
Zn	0,268	2,27*	5,14*	Y(x) = 15,28 + 0,23(x)	4,38	0,10

Istotne dla: * p < 0,05; **p < 0,01

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.14. Wartości współczynników korelacji pomiędzy wysokością nadwyżki bezpośredniej w produkcji głównych roślin uprawnych ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$) a zawartością metali ciężkich w glebach użytków rolnych Polski w latach 2003–2008

	Zboża	Ziemniaki	Buraki cukrowe	Oleiste
Cd	0,347	0,406	0,355	0,392
Cu	0,686**	0,613**	0,288	0,503*
Ni	0,448	0,421	0,585*	0,313
Pb	0,527*	0,501*	0,382	0,434
Zn	0,500*	0,548*	0,392	0,454
NPK	0,336	0,286	-0,104	0,245

Istotne dla: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Źródło: opracowanie własne

Można byłoby jeszcze wysunąć twierdzenie, że w przypadku obserwowanych zależności zachodzi korelacja pozorna. Znajomość wpływu zwiększonych do pewnych granic ilości metali ciężkich w glebie na rośliny dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego każde odrzucić to twierdzenie.

Aby wyjaśnić kształtowanie się wartości nadwyżek bezpośrednich, w przypadku uprawy podstawowych roślin uprawnych dokonano analiz korelacji pomiędzy tymi wartościami a zawartością metali ciężkich w glebach użytków rolnych naszego kraju (tab. 5.14). Najlepsze wyniki uzyskano, używając do wyjaśnienia zróżnicowania wartości tych nadwyżek zasobności odpowiednich gleb w miedź (Cu). Określono, że wartość współczynnika determinacji (R^2) pomiędzy tymi zmiennymi w latach 2003–2008 wyniosła (tab. 5.15):

- 0,470 w uprawie zbóż,
- 0,380 w uprawie ziemniaka,
- 0,250 w uprawie roślin oleistych.

Analiza dostępnych danych z okresu międzywojennego i lat współczesnych pokazała, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach poszczególnych województw dzięki

Tabela 5.15. Wyniki estymacji funkcji regresji osiągniętych nadwyżek bezpośrednich w produkcji roślinnej w zależności od zróżnicowanej zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych Polski w latach 2003–2005 (z oszacowaniem parametrów statystycznych)

Wyszczególnienie	R^2	T_{emp}	F_{emp}	Równanie regresji	Błąd standardowy	
					stałej regresji	współczynnika regresji
Zboża						
Cu	0,470	3,52**	12,41**	$Y(\text{Cu}) = 210,96 + 59,43(\text{Cu})$	139,09	16,87
Ziemniaki						
Cu	0,380	2,9*	8,43**	$Y(\text{Cu}) = 1779,34 + 61,76(\text{Cu})$	175,4	21,3
Buraki cukrowe						
Ni	0,340	2,7*	7,3*	$Y(\text{Ni}) = 3569,3 + 93,5(\text{Ni})$	287,9	34,6
Oleiste						
Cu	0,250	2,17*	4,75*	$Y(\text{Cu}) = 547,3 + 24,6(\text{Cu})$	92,4	11,3

Istotne dla: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Źródło: opracowanie własne

wystąpieniu efektu hormetycznego jest czynnikiem, który miał wpływ na plonowanie roślin, a w konsekwencji – na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych. Dowodem na występowanie tego efektu są wyniki produkcyjne i ekonomiczne uzyskiwane z użytków rolnych Śląska. Osiągnięte plony znacznie przekraczały plony uzyskiwane średnio w kraju. Szczególnie wysokie różnice zaobserwowano porównując województwo śląskie i podlaskie, co pozwala stwierdzić, że wyższe plonowanie roślin uprawnych na Śląsku jest wynikiem wyższej zawartości metali ciężkich w glebach użytków rolnych tego województwa. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że chodzi o zawartość tych metali nieprzekraczającą wartości dopuszczonych przez ministerstwo Ochrony Środowiska i niestwarzających zagrożenia dla ludzi spożywających plody rolne wyprodukowane na glebach Śląska (zał. 19 a i b).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiony w kolejnych rozdziałach materiał badawczy posłużył do zrealizowania celu pracy oraz zweryfikowania postawionych hipotez. Uznano, że zróżnicowana zawartość metali ciężkich w glebach, dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego może podobnie jak inne czynniki – w zadowalający sposób wyjaśnić zmienność plonowania roślin. Wystąpienie tego efektu pozwala także wyjaśnić prawidłowości w kształtowaniu się efektywności i dochodowości produkcji w obrębie pojedynczego gospodarstwa oraz w wybranych rejonach kraju. Na podstawie przeprowadzonej analizy wysunięto następujące wnioski:

1. Wzrost zawartości ołowiu w glebie dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego miał korzystny wpływ na plonowanie roślin w zakresie niskich i średnich dawek azotu, natomiast nie wystąpił w zakresie wysokich dawek azotu w plonowaniu żyta na zielonkę. Należy przy tym zaznaczyć, że maksymalne plonowanie wystąpiło w zakresie wartości dopuszczonych przez ministerstwo Ochrony Środowiska. Nie stwarza to zagrożenia dla ludzi spożywających plody rolne wyprodukowane na tych glebach.

2. Wyniki doświadczeń wazonowych pokazały, że zastosowanie dodatkowej dawki azotu na glebach o wyższej zawartości ołowiu może spowodować obniżenie się wartości nadwyżki bezpośredniej w produkcji rolniczej. Z drugiej strony zwiększenie się wartości nadwyżki obserwowano na glebach, w których zawartość ołowiu w glebie nie przekraczała $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Na glebach o wyższych zawartościach ołowiu notowano obniżanie się wartości tej nadwyżki.

3. Dane eksperymentalne i przeprowadzony rachunek marginalny pokazały, że rezygnacja z wysokich dawek nawożenia mineralnego może być drogą do poprawy efektywności produkcji na glebach, które zawierają wyższe ilości metali ciężkich. W tej sytuacji oszczędne – w dawkach niższych od zalecanych – stosowanie nawozów mineralnych jest czynnikiem, który może obniżyć straty i poprawić tę efektywność.

4. Oszacowane przy użyciu analizy statystycznej zależności pomiędzy poziomem plonowania roślin a zawartością metali ciężkich w glebach w okresie międzywojennym oraz w czasach współczesnych pokazały, że zawartość metali ciężkich w glebach jest czynnikiem mającym istotny wpływ na plonowanie roślin uprawnych. Można uznać, że ilość metali ciężkich zawarta w glebach użytków rolnych Śląska jest optymalna z punktu widzenia wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych.

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych roślin uprawnych w Polsce latach 2003–2004 oraz poziom nawożenia mineralnego NPK ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Województwo	Zboża		Ziemniaki		Buraki cukrowe		Oleiste		NPK	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Dolnośląskie	36,8	46,5	174	221,0	366	425,0	19,1	33,8	76,7	93,8
Kujawsko-pomorskie	30,1	38,7	192	223,0	444	468,0	19,0	32,1	109,1	132,5
Lubelskie	28,5	31,3	178	193,0	462	454,0	20,7	30,1	76,8	99,5
Lubuskie	20,9	37,6	168	202,0	364	398,0	14,7	27,4	87,4	111,9
Łódzkie	23,1	30,8	156	192,0	400	424,0	17,7	27,6	74,6	111,1
Małopolskie	29,8	33,3	179	170,0	425	438,0	19,5	32,1	73,7	83,2
Mazowieckie	25,8	28,9	173	188,0	362	372,0	16,9	14,3	76,1	78
Opolskie	40,1	50,6	178	212,0	397	426,0	20,9	35,9	127,1	150,1
Podkarpackie	29,3	32,1	189	181,0	485	413,0	16,9	23,3	49,5	65,3
Podlaskie	24,3	26,9	169	186,0	360	364,0	16,0	28,9	75,1	86,2
Pomorskie	29,4	35,3	198	218,0	461	422,0	17,5	27,1	131,1	122,9
Śląskie	33,8	37,8	195	196,0	477	372,0	19,0	30,5	73,4	96
Świętokrzyskie	25,6	28,2	170	175,0	396	439,0	16,5	22,6	66,8	73
Warmińsko-mazurskie	32,8	33,6	202	197,0	512	378,0	17,5	23,9	66,5	88,3
Wielkopolskie	27,0	39,5	181	215,0	377	426,0	16,3	33,0	109,1	111,1
Zachodniopomorskie	26,8	39,9	186	230,0	366	399,0	17,0	30,3	111,1	110,8
\bar{x}	29,01	35,69	180,5	199,9	415,9	413,6	17,83	28,31	86,51	100,7
SD	5,01	6,50	12,45	18,13	50,99	30,65	1,73	5,34	23,56	22,61
CV(%)	17,28	18,22	6,90	9,07	12,26	7,41	9,69	18,85	27,24	22,41

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 2. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych roślin uprawnych w Polsce w latach 2005–2006 oraz poziom nawożenia mineralnego NPK ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Województwo	Zboża		Ziemniaki		Buraki cukrowe		Oleiste		NPK	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Dolnośląskie	43,9	32,2	216	167	437	428	28,8	28,1	98,8	129,9
Kujawsko-pomorskie	32,4	30,3	170	159	373	469	30,3	25,9	132,3	168,3
Lubelskie	29,6	21,5	174	155	385	411	19,8	20,1	99,8	113,6
Lubuskie	32,9	20,6	189	108	365	304	25,4	21,6	115,5	124,4
Łódzkie	27,2	22,9	160	142	361	399	21,0	19,1	117,9	146
Małopolskie	33,3	25,6	178	150	491	471	27,4	25,5	93,8	70,9
Mazowieckie	27,0	21,3	160	135	409	433	18,4	24,4	78,7	110,6
Opolskie	48,6	36,9	213	169	472	479	24,8	28,4	141,8	143,6
Podkarpackie	29,7	25,4	164	157	348	487	20,3	20,8	66,1	64,4
Podlaskie	26,8	21,4	172	147	414	493	28,0	18,3	87,1	89,3
Pomorskie	32,3	29,6	183	178	415	469	25,4	27,8	124,9	126,8
Śląskie	34,7	26,6	204	151	390	498	26,2	25,2	101,5	91
Świętokrzyskie	27,2	20,1	170	150	417	407	26,5	17,3	84,2	104,3
Warmińsko-mazurskie	27,9	27,1	179	152	475	494	21,6	23,3	90,3	124,9
Wielkopolskie	35,4	28,0	180	153	437	431	30,1	28,0	114,6	159,6
Zachodniopomorskie	34,9	29,3	203	155	435	392	25,0	24,5	117,8	119
\bar{x}	32,74	26,2	182,2	151,8	414	441,6	24,94	23,6	104,1	117,9
SD	6,13	4,8	8,01	15,6	42,59	51,7	3,72	3,7	20,64	29,3
CV(%)	18,74	18,2	9,88	10,3	10,29	11,7	14,92	15,7	19,84	24,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 3. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych roślin uprawnych w Polsce w latach 2007–2008 oraz poziom nawożenia mineralnego NPK ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Województwo	Zboża		Ziemniaki		Buraki cukrowe		Oleiste		NPK	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Dolnośląskie	40,9	41,5	234	209	535	461	26,0	26,0	113,3	167,4
Kujawsko-pomorskie	36,5	32,8	226	183	556	522	27,0	29,0	143,9	177,1
Lubelskie	28,5	33,3	200	202	489	455	19,0	20,0	98,0	100,2
Lubuskie	30,5	25,3	204	177	442	409	27,0	25,0	113,7	129,4
Łódzkie	29,9	28,0	228	186	549	438	21,0	25,0	114,3	121,9
Małopolskie	32,7	34,0	177	173	626	629	29,0	29,0	77,2	64,3
Mazowieckie	26,0	27,6	201	191	432	382	30,0	26,0	87,8	95,6
Opolskie	47,6	51,8	227	233	576	601	31,0	29,0	150,0	187,6
Podkarpackie	31,0	32,8	199	182	472	485	19,0	24,0	60,7	58,0
Podlaskie	25,9	26,9	196	190	501	471	22,0	25,0	86,5	94,6
Pomorskie	34,8	31,8	217	218	487	473	28,0	30,0	127,6	132,2
Śląskie	34,8	37,4	212	205	558	594	24,0	27,0	94,4	110,0
Świętokrzyskie	28,2	31,0	176	181	506	419	22,0	24,0	83,0	86,8
Warmińsko-mazurskie	32,7	33,8	197	203	508	506	23,0	25,0	99,6	128,1
Wielkopolskie	35,5	29,7	225	165	510	438	28,0	28,0	130,2	156,4
Zachodniopomorskie	33,4	30,8	204	215	474	400	27,0	27,0	117,9	130,6
\bar{x}	33,1	33,0	207,7	194,6	513,8	480,2	25,2	26,2	106,1	121,3
SD	5,6	6,4	17,6	18,5	50,8	73,8	3,8	2,5	24,6	37,9
CV(%)	16,8	19,4	8,5	9,5	9,9	15,4	15,2	9,7	23,2	31,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 4. Plonowanie ($dt\cdot ha^{-1}$) wybranych roślin uprawnych w Polsce oraz poziom nawożenia mineralnego NPK ($kg\cdot ha^{-1}$) – średnia wartość w latach 2003-2008

Województwo	Zboża	Ziemniaki	Buraki cukrowe	Oleiste	NPK
Dolnośląskie	40,3	203,5	442,0	27,0	113,3
Kujawsko-pomorskie	33,5	192,2	472,0	27,2	143,9
Lubelskie	28,8	183,7	442,7	21,6	98,0
Lubuskie	28,0	174,7	380,3	23,5	113,7
Łódzkie	27,0	177,3	428,5	21,9	114,3
Małopolskie	31,5	171,2	513,3	27,1	77,2
Mazowieckie	26,1	174,7	398,3	21,7	87,8
Opolskie	45,9	205,3	491,8	28,3	150,0
Podkarpackie	30,1	178,7	448,3	20,7	60,7
Podlaskie	25,4	176,7	433,8	23,0	86,5
Pomorskie	32,2	202,0	454,5	26,0	127,6
Śląskie	34,2	193,8	481,5	25,3	94,4
Świętokrzyskie	26,7	170,3	430,7	21,5	83,0
Warmińsko-mazurskie	31,3	188,3	478,8	22,4	99,6
Wielkopolskie	32,5	186,5	436,5	27,2	130,2
Zachodniopomorskie	32,5	198,8	411,0	25,1	117,9
\bar{x}	31,6	186,1	446,5	24,3	106,1
SD	5,4	12,0	35,0	2,6	24,6
CV(%)	17,0	6,4	7,8	10,6	23,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 5. Plonowani ($dt\cdot ha^{-1}$) wybranych warzyw w Polsce w latach 2003–2004

Województwo	Kapusta		Cebula		Marchew		Buraki ćwikł.		Ogórki		Pomidory	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Dolnośląskie	294	333	181	251	215	229	197	207	137	134	133	104
Kujawsko-pomorskie	406	407	239	247	334	343	267	271	133	116	318	241
Lubelskie	360	439	193	230	311	367	295	299	153	130	251	200
Lubuskie	365	387	161	181	239	266	198	260	135	145	141	137
Łódzkie	370	387	231	233	295	337	240	274	150	130	221	190
Małopolskie	458	490	167	228	247	266	235	248	171	133	149	135
Mazowieckie	383	375	226	239	232	286	279	249	136	123	171	153
Opolskie	373	346	206	223	264	248	229	238	177	162	185	163
Podkarpackie	305	490	181	190	165	234	193	218	143	142	148	125
Podlaskie	300	440	128	140	203	223	189	190	82	76	90	100
Pomorskie	458	399	163	178	325	304	226	227	129	136	106	100
Śląskie	464	540	153	186	310	335	269	270	159	156	136	148
Świętokrzyskie	411	445	179	180	266	291	245	251	154	135	190	160
Warmińsko-mazurskie	320	398	166	173	250	347	199	223	130	128	133	136
Wielkopolskie	391	417	218	274	297	313	251	271	128	124	179	182
Zachodniopomorskie	355	359	180	240	272	281	226	248	114	95	115	93
\bar{x}	375,8	415,8	185,6	212,1	264,1	291,9	233,6	246,5	139,4	129,1	166,6	147,9
SD	54,9	56,2	31,0	36,7	47,0	45,6	32,9	28,3	22,6	20,9	58,2	41,0
CV(%)	14,6	13,5	16,7	17,3	17,8	15,6	14,1	11,5	16,2	16,2	34,9	27,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 6. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych warzyw w Polsce w latach 2005–2006

Województwo	Kapusta		Cebula		Marchew		Buraki ćwikł.		Ogórki		Pomidory	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2003	2004
Dolnośląskie	321	312	225	185	228	205	206	202	132	152	103	123
Kujawsko-pomorskie	349	328	202	176	284	269	204	243	107	110	240	278
Lubelskie	349	299	197	154	336	273	290	218	90	117	180	174
Lubuskie	351	306	168	129	224	185	217	176	121	121	135	135
Łódzkie	354	349	197	156	300	280	249	230	121	129	192	199
Małopolskie	453	415	213	163	254	230	242	212	137	140	133	125
Mazowieckie	319	303	201	170	257	237	225	206	129	127	165	151
Opolskie	332	367	165	242	245	262	229	273	156	188	158	171
Podkarpackie	363	304	184	163	219	206	209	200	132	143	135	141
Podlaskie	410	349	118	177	209	193	179	175	81	851	104	103
Pomorskie	359	329	162	152	282	289	220	219	120	351	98	109
Śląskie	495	448	190	158	332	324	265	254	156	531	152	154
Świętokrzyskie	403	360	175	156	285	246	242	201	147	421	149	136
Warmińsko-mazurskie	340	350	149	140	354	350	212	219	120	201	135	139
Wielkopolskie	379	394	249	180-	298	261	271	326	131	241	206	228
Zachodniopomorskie	398	388	275	181	284	250	276	209	92	126	84	122
\bar{x}	373,4	350,1	191,9	167,6	274,4	253,8	233,5	222,7	123,3	132,0	148,1	155,5
SD	48,2	43,8	38,1	25,1	43,7	45,3	30,	37,5	22,1	22,5	42,0	46,2
CV(%)	12,9	12,5	19,9	14,9	15,9	17,9	13,1	16,9	17,9	17,0	28,4	29,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 7. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych warzyw w Polsce w latach 2007–2008

Województwo	Kapusta		Cebula		Marchew		Buraki ćwikł.		Ogórki		Pomidory	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Dolnośląskie	359	346	237	225	242	255	238	227	168	147	120	140
Kujawsko-pomorskie	365	380	197	226	321	302	269	251	120	127	281	299
Lubelskie	324	335	162	178	301	310	250	260	146	146	200	200
Lubuskie	420	375	230	143	295	201	255	197	145	118	173	162
Łódzkie	418	421	242	225	340	339	304	316	149	149	199	200
Małopolskie	448	460	189	197	275	279	246	260	158	160	152	150
Mazowieckie	362	383	208	188	279	265	255	246	151	149	188	192
Opolskie	425	374	209	230	294	264	273	270	200	181	170	181
Podkarpackie	378	402	188	190	222	226	215	220	147	139	152	156
Podlaskie	360	394	132	138	210	213	192	193	85	79	91	95
Pomorskie	379	350	205	178	320	309	236	232	140	131	120	112
Śląskie	486	559	179	187	350	342	262	267	163	173	170	170
Świętokrzyskie	435	450	178	185	281	295	242	244	168	169	177	180
Warmińsko-mazurskie	400	446	150	150	391	362	252	242	95	90	120	143
Wielkopolskie	436	392	280	223	306	278	253	264	143	129	242	244
Zachodniopomorskie	366	397	278	201	315	260	298	286	123	138	108	105
\bar{x}	397,6	404,0	204,0	191,5	296,4	281,3	252,5	248,4	143,8	139,1	166,4	170,6
SD	42,6	55,0	41,8	29,9	46,4	45,9	27,4	31,2	28,1	27,5	50,1	51,7
CV(%)	10,7	13,6	20,5	15,6	15,7	16,3	10,8	12,6	19,5	19,8	30,1	30,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 8. Średnie plony (dt·ha⁻¹) wybranych warzyw w Polsce z lat 2003–2008

Województwo	Kapusta	Cebula	Marchew	Buraki ćwikł.	Ogórki	Pomidory
	dt·ha ⁻¹					
Dolnośląskie	327,5	217,3	229,0	212,8	145,0	120,5
Kujawsko-pomorskie	372,5	214,5	308,8	250,8	118,8	276,2
Lubelskie	351,0	185,7	316,3	268,7	130,3	200,8
Lubuskie	367,3	168,7	235,0	217,2	130,8	147,2
Łódzkie	383,2	214,0	315,2	268,8	138,0	200,2
Małopolskie	454,0	192,8	258,5	240,5	149,8	140,7
Mazowieckie	354,2	205,3	259,3	243,3	135,8	170,0
Opolskie	369,5	212,5	262,8	252,0	177,3	171,3
Podkarpackie	373,7	182,7	212,0	209,2	141,0	142,8
Podlaskie	375,5	138,8	208,5	186,3	81,3	97,2
Pomorskie	379,0	173,0	304,8	226,7	131,8	107,5
Śląskie	498,7	175,5	332,2	264,5	160,0	155,0
Świętokrzyskie	417,3	175,5	277,3	237,5	152,5	165,3
Warmińsko-mazurskie	375,7	154,7	342,3	224,5	113,8	134,3
Wielkopolskie	401,5	237,3	292,2	272,7	129,8	213,5
Zachodniopomorskie	377,2	225,8	277,0	257,2	114,7	104,5
\bar{x}	386,1	192,1	277,0	239,5	134,4	159,2
SD	41,2	27,4	41,8	25,0	21,9	46,7
CV(%)	10,7	14,2	15,1	10,4	16,3	29,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 9. Plonowanie (dt·ha⁻¹) wybranych owoców w Polsce w latach 2003–2004

Województwo	Wiśnie		Czereśnie		Truskawki		Maliny	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Dolnośląskie	47	55	48	49	31	40	27	33
Kujawsko-pomorskie	43	42	20	24	34	55	19	22
Lubelskie	52	56	39	42	32	34	38	47
Lubuskie	31	38	33	37	33	38	17	25
Łódzkie	69	68	68	64	29	42	23	22
Małopolskie	47	56	35	46	26	40	29	30
Mazowieckie	62	56	45	51	27	30	27	35
Opolskie	50	60	43	47	29	31	17	12
Podkarpackie	34	38	31	38	22	39	22	27
Podlaskie	55	40	26	25	18	26	11	10
Pomorskie	43	32	44	34	39	43	31	29
Śląskie	52	53	56	58	48	56	34	35
Świętokrzyskie	39	55	38	42	21	23	16	18
Warmińsko-mazurskie	68	52	19	49	56	59	41	37
Wielkopolskie	31	33	30	35	30	34	13	13
Zachodniopomorskie	37	38	45	48	33	38	11	21
\bar{x}	47,5	48,3	38,8	43,1	31,8	39,3	23,5	26,0
SD	12,0	10,8	12,8	10,8	9,6	10,3	9,4	10,1
CV(%)	25,2	22,4	33,0	25,0	30,3	26,3	40,0	39,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 10. Plonowani ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych owoców w Polsce w latach 2005–2006

Województwo	Wiśnie		Czereśnie		Truskawki		Maliny	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Dolnośląskie	53	50,6	56	51,8	35	36,2	32	31,1
Kujawsko-pomorskie	34	41,1	21	23,5	32	37,7	20	18,9
Lubelskie	36	63,3	38	59,8	31	32,8	43	35,0
Lubuskie	42	34,4	33	33,7	36	40,3	25	19,2
Łódzkie	52	58,4	52	54,4	38	45,4	20	17,8
Małopolskie	42	15,5	35	11,5	40	41,3	31	29,6
Mazowieckie	44	56,8	38	42,8	29	32,4	23	20,7
Opolskie	57	55,4	43	38,2	32	49,0	18	21,9
Podkarpackie	28	13,9	32	17,4	36	34,8	28	25,6
Podlaskie	37	38,4	20	16,6	34	28,5	8	16,7
Pomorskie	17	44,7	20	18,5	45	34,9	29	25,2
Śląskie	51	33,3	57	28,1	51	53,9	41	42,0
Świętokrzyskie	41	33,3	36	37,5	26	25,0	17	12,3
Warmińsko-mazurskie	49	68,4	63	46,8	41	40,8	38	32,0
Wielkopolskie	31	50,9	44	47,5	31	31,8	15	13,2
Zachodniopomorskie	18	42,8	16	57,4	37	38,1	9	13,4
\bar{x}	39,5	43,8	37,8	36,6	35,9	37,7	24,8	23,4
SD	11,9	15,6	14,3	15,8	6,3	7,4	10,6	8,6
CV(%)	30,1	35,5	37,8	43,3	17,4	19,7	42,5	36,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 11. Plonowanie ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) wybranych owoców w Polsce w latach 2007–2008

Województwo	Wiśnie		Czereśnie		Truskawki		Maliny	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Dolnośląskie	47	61	49	61	34	38	34	33
Kujawsko-pomorskie	15	41	13	22	34	35	18	20
Lubelskie	38	55	25	32	40	45	30	46
Lubuskie	34	45	30	42	38	39	17	20
Łódzkie	30	73	8	51	35	44	16	18
Małopolskie	39	44	26	34	42	40	30	30
Mazowieckie	28	67	10	41	27	34	19	30
Opolskie	74	66	65	55	53	50	24	19
Podkarpackie	20	25	17	36	29	31	24	29
Podlaskie	41	43	15	15	29	32	12	18
Pomorskie	12	16	6	14	40	30	24	28
Śląskie	52	74	44	68	51	60	47	48
Świętokrzyskie	18	46	13	48	25	30	11	17
Warmińsko-mazurskie	25	45	19	34	38	43	11	25
Wielkopolskie	29	42	25	41	33	35	14	15
Zachodniopomorskie	23	40	27	46	43	38	12	14
\bar{x}	32,8	48,9	24,5	40,0	36,9	39,0	21,4	25,6
SD	15,8	16,2	16,2	15,2	7,9	8,1	10,0	10,2
CV(%)	48,1	33,2	66,0	37,9	21,5	20,7	46,6	39,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 12. Średnie plony (dt·ha⁻¹) wybranych owoców w Polsce z lat 2003–2008

Województwo	Wiśnie	Czereśnie	Truskawki	Maliny
Dolnośląskie	52,3	52,5	35,7	31,7
Kujawsko-pomorskie	36,0	20,6	38,0	19,7
Lubelskie	50,1	39,3	35,8	39,8
Lubuskie	37,4	34,8	37,4	20,5
Łódzkie	58,4	49,6	38,9	19,5
Małopolskie	40,6	31,3	38,2	29,9
Mazowieckie	52,3	38,0	29,9	25,8
Opolskie	60,4	48,5	40,7	18,7
Podkarpackie	26,5	28,6	32,0	25,9
Podlaskie	42,4	19,6	27,9	12,6
Pomorskie	27,5	22,8	38,7	27,7
Śląskie	52,6	51,9	53,3	41,2
Świętokrzyskie	38,7	35,8	25,0	15,2
Warmińsko-mazurskie	51,2	38,5	46,3	30,7
Wielkopolskie	36,2	37,1	32,5	13,9
Zachodniopomorskie	33,1	39,9	37,9	13,4
\bar{x}	43,5	36,8	36,7	24,1
SD	10,6	10,5	6,8	9,0
CV(%)	24,4	28,5	18,6	37,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Załącznik 13. Wartości współczynników korelacji pomiędzy plonami roślin uprawnych a zawartością metali ciężkich w glebach, nawożeniem mineralnym i jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce w latach 2003–2008

Wyszczególnienie	Nazwa rośliny uprawnej			
	zboża	ziemniaki	buraki cukr.	oleiste
2003				
Cd	0,389	0,249	0,32	0,390
Cu	0,584**	0,152	0,039	0,376
Ni	0,508**	0,370	0,536**	0,436
Pb	0,537**	0,231	0,305	0,479**
Zn	0,474**	0,250	0,242	0,380
Nawożenie (NPK)	0,214	0,217	-0,214	0,165
2004				
Cd	0,105	-0,289	-0,143	0,245
Cu	0,489**	0,043	0,021	0,447
Ni	0,126	-0,380	0,073	0,219
Pb	0,285	-0,20	-0,089	0,344
Zn	0,285	-0,184	-0,063	0,311
Nawożenie (NPK)	0,672***	0,717***	0,337	0,610***
Wskaźnik waloryzacji	0,623***	0,785***	-0,115	0,381
2005				
Cd	0,204	0,323	0,13	0,177
Cu	0,593**	0,655	0,373	0,294
Ni	0,234	0,23	0,208	0,035
Pb	0,379	0,460	0,198	0,182
Zn	0,382	0,503**	0,287	0,242
Nawożenie (NPK)	0,550**	0,435	0,098	0,382
2006				
Cd	0,127	0,142	0,437	0,163
Cu	0,460	0,331	0,222	0,403
Ni	0,237	0,298	0,511**	0,130
Pb	0,278	0,199	0,412	0,279
Zn	0,247	0,166	0,289	0,322
Nawożenie (NPK)	0,417	0,119	-0,261	0,391
2007				
Cd	0,193	-0,161	0,586**	0,036
Cu	0,493**	0,031	0,491**	0,154
Ni	0,268	-0,302	0,560**	-0,099
Pb	0,363	-0,026	0,648**	0,073
Zn	0,332	-0,140	0,580**	0,163
Nawożenie (NPK)				
2008				
Cu	0,364	0,105	0,722**	0,256
Ni	0,552**	0,257	0,512**	0,256
Pb	0,472**	0,092	0,779**	0,155
Zn	0,513**	0,175	0,756**	0,270
Nawożenie (NPK)	0,462	0,411	0,049	0,444

** zależność istotna

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 14. Wartości współczynników korelacji pomiędzy plonami warzyw a zawartością metali ciężkich w glebach i nawożeniem mineralnym w Polsce w latach 2003–2008

Wyszczególnienie	Nazwa rośliny uprawnej					
	kapusta	cebula	marchew	buraki ćwikł.	ogórki	pomidory
2003						
Cd	0,551**	-0,336	0,118	0,196	0,484**	-0,170
Cu	-0,003	-0,366	-0,319	-0,344	0,318	-0,398
Ni	0,233	-0,38	-0,238	-0,171	0,531**	-0,196
Pb	0,426	-0,284	0,035	0,089	0,560**	-0,176
Zn	0,474**	-0,375	-0,002	0,018	0,536**	-0,290
Nawożenie (NPK)	0,346	0,240	0,568	0,139	-0,051	0,081
2004						
Cd	0,690	-0,153	0,016	0,095	0,406	-0,082
Cu	0,127	0,094	-0,478**	-0,357	0,289	-0,487**
Ni	0,609	-0,215	-0,223	-0,192	0,458	-0,219
Pb	0,552**	-0,040	-0,062	0,031	0,502**	-0,116
Zn	0,510**	-0,041	-0,133	-0,012	0,490**	-0,255
Nawożenie (NPK)	-0,486**	0,308	0,202	0,275	0,173	0,319
2005						
Cd	0,807**	0,006	0,153	0,226	0,540**	-0,082
Cu	0,326	0,263	-0,276	-0,039	0,385	-0,498**
Ni	0,513**	-0,087	-0,076	-0,039	0,473**	-0,243
Pb	0,673**	0,077	0,097	0,184	0,610*	-0,115
Zn	0,681**	0,154	0,043	0,194	0,607**	-0,262
Nawożenie (NPK)	-0,161	0,172	0,138	0,175	-0,002	0,257
2006						
Cd	0,730**	0,061	0,259	0,160	0,447	-0,141
Cu	0,341	0,245	-0,181	-0,091	0,549**	-0,409
Ni	0,386	0,047	0,063	-0,068	0,503**	-0,280
Pb	0,668**	0,142	0,223	0,178	0,579**	-0,142
Zn	0,650**	0,043	0,133	0,080	0,571**	-0,282
Nawożenie (NPK)	-0,131	0,255	0,282	0,537	-0,021	0,673
2007						
Cd	0,659**	-0,228	0,103	0,013	0,368	-0,082
Cu	0,237	0,100	-0,257	-0,098	0,392	-0,438
Ni	0,396	-0,343	-0,123	-0,223	0,320	-0,250
Pb	0,632**	-0,131	0,085	0,059	0,464	-0,116
Zn	0,627**	-0,054	0,051	0,019	0,470**	-0,208
Nawożenie (NPK)						
2008						
Cd	0,790**	0,091	0,269	0,206	0,529**	-0,104
Cu	0,235	0,253	-0,131	-0,024	0,369	-0,399
Ni	0,503**	0,045	0,080	-0,023	0,386	-0,234
Pb	0,708**	0,213	0,247	0,225	0,569**	-0,112
Zn	0,657**	0,145	0,168	0,135	0,554**	-0,219
Nawożenie (NPK)	-0,356	0,486**	0,108	0,184	0,008	0,345

** zależność istotna;

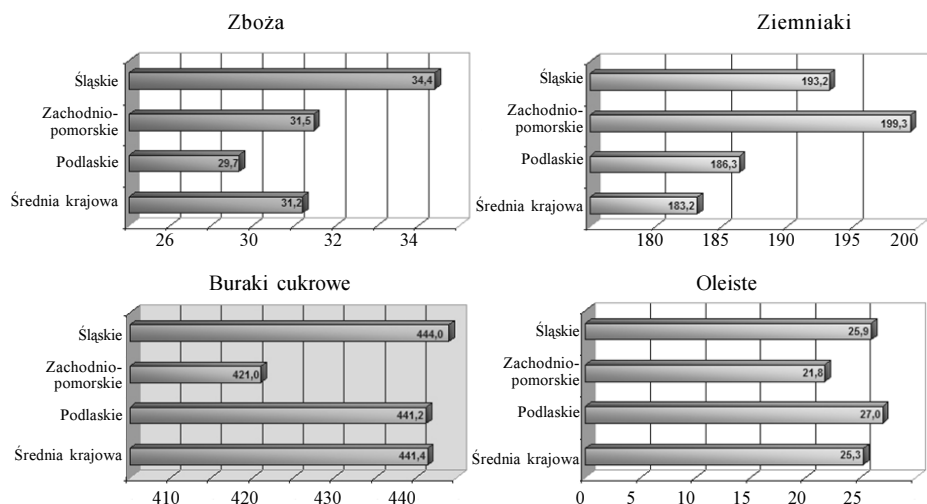
Źródło: opracowanie własne.

Załącznik 15. Wartości współczynników korelacji pomiędzy plonami owoców a zawartością metali ciężkich w glebach w Polsce w latach 2003–2008

Wyszczególnienie	Nazwa rośliny uprawnej			
	wiśnie	czereśnie	truskawki	maliny
2003				
Cd	0,053	0,329	0,207	0,271
Cu	-0,170	0,219	0,043	0,141
Ni	-0,078	0,010	0,090	0,348
Pb	0,062	0,468**	0,241	0,311
Zn	-0,082	0,320	0,231	0,300
2004				
Cd	0,296	0,259	0,367	0,306
Cu	0,065	0,138	0,283	0,475**
Ni	-0,029	0,164	0,179	0,257
Pb	0,317	0,334	0,455	0,391
Zn	0,281	0,228	0,409	0,481**
2005				
Cd	0,441	0,285	0,263	0,157
Cu	0,110	0,210	0,232	0,400
Ni	0,114	0,155	0,173	0,224
Pb	0,483**	0,399	0,398	0,294
Zn	0,439	0,282	0,319	0,306
2006				
Cd	-0,471**	-0,397	0,588**	0,579**
Cu	-0,432	-0,180	0,365	0,470**
Ni	-0,626**	-0,432	0,421	0,603**
Pb	-0,417	-0,304	0,669**	0,642**
Zn	-0,401	-0,323	0,562**	0,600**
2007				
Cd	0,421	0,391	0,534**	0,747**
Cu	0,423	0,607**	0,387	0,624**
Ni	0,274	0,344	0,394	0,622**
Pb	0,518**	0,541**	0,583**	0,808**
Zn	0,412	0,506**	0,539**	0,770**
2008				
Cd	0,311	0,43	0,618**	0,537**
Cu	0,073	0,454	0,271	0,325
Ni	-0,080	0,196	0,323	0,462
Pb	0,368	0,557**	0,664**	0,545**
Zn	0,224	0,518**	0,531**	0,509**

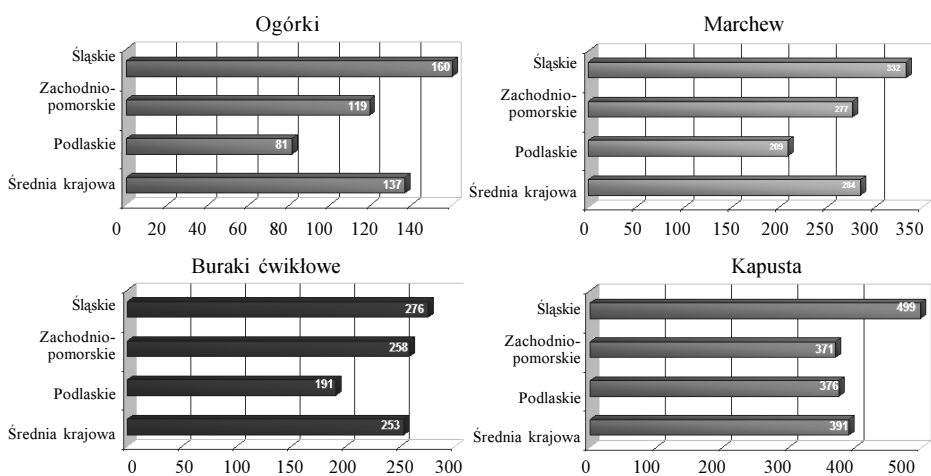
** zależność istotna;

Źródło: opracowanie własne.



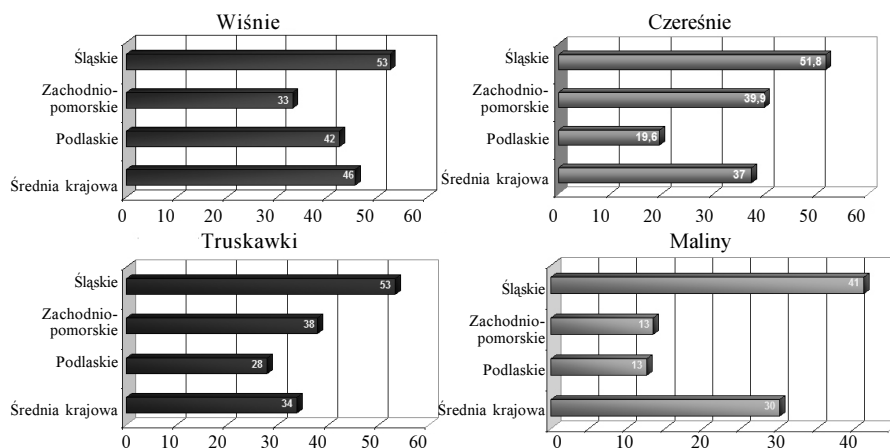
Załącznik 16. Porównanie plonowania ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) podstawowych roślin uprawnych w wybranych województwach Polski w latach 2003–2008

Źródło: opracowanie własne



Załącznik 17. Porównanie plonowania ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) warzyw w wybranych województwach Polski w latach 2003–2008

Źródło: opracowanie własne



Załącznik 18. Porównanie plonowania (dt·ha⁻¹) owoców w wybranych województwach Polski w latach 2003–2008

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 19a. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich (mg·kg⁻¹ s.m.) w glebach UR w Polsce

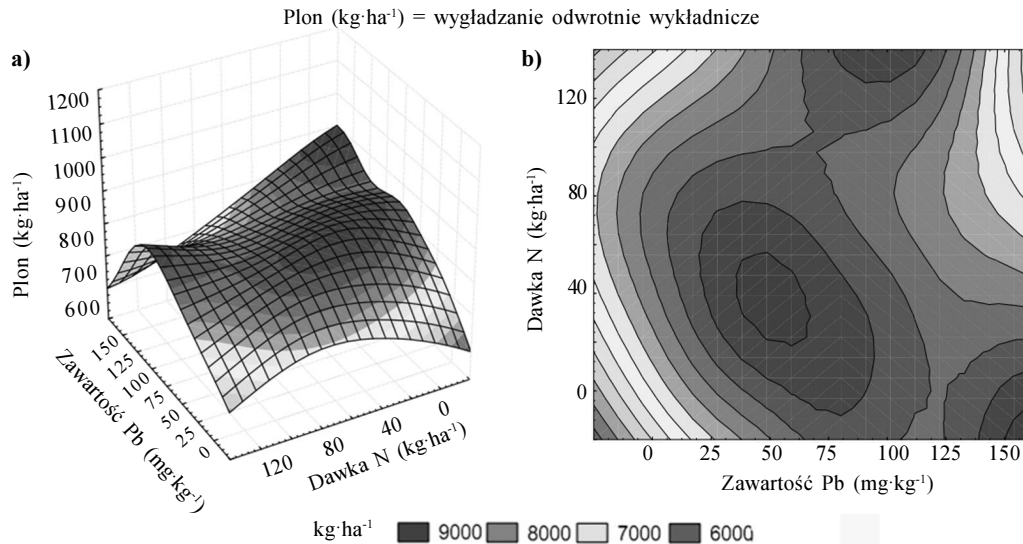
Pierwiastek	Zawartość metali ciężkich w glebach	
	lekkich	ciężkich
Kadm (Cd)	3	3
Miedź (Cu)	50	100
Nikiel (Ni)	30	100
Ołów (Pb)	50	100
Cynk (Zn)	200	300

Źródło: według Monitora Polskiego Nr 23 z dnia 31 lipca 1986 roku

Załącznik 19. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w glebach UR w Polsce

Zanieczyszczenie	Grupa A	Grupa B					Grupa C			
		głębokość (m ppt)								
		0-0,3		0,3-15		>15		0-2		2-15
		wodoprzepuszczalność gruntów (10 ⁻⁷ m/s)								
		do		poniżej do		poniżej		do		poniżej
Cynk	100	300	350	300	300	720	1000	300	3000	
Kadm	1	4	5	6	4	10	15	6	20	
Miedź	30	150	100	100	100	200	600	200	1000	
Ołów	50	100	100	200	100	200	600	200	1000	
Nikiel	35	100	50	100	70	210	300	70	500	

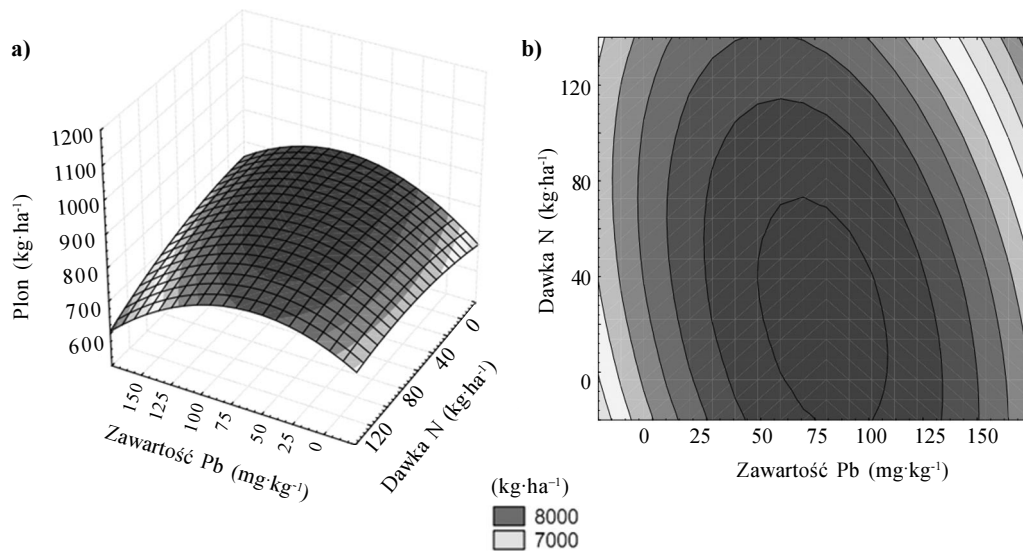
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dziennik Ustaw, nr 165, poz. 1359



Załącznik 20. Plonowanie traw ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w warunkach wzrastającego nawożenia N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) – dane zbieżne z rzeczywistości, a) wykres trójwymiarowy, b) wykres warstwiczny

Źródło: opracowanie własne

$$\text{Plon} (\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = -2,4697\text{E}6 + 24193,5002x + 22319,9676y - 82,9375x^2 - 56,6607xy - 78,8571y^2$$



Załącznik 21. Plonowanie traw ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w warunkach wzrastającego nawożenia N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) na glebach o zróżnicowanej zawartości Pb ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) – dane wygładzone, a) wykres trójwymiarowy, b) wykres warstwiczny

Źródło: opracowanie własne

Załącznik 22. Plonowanie kukurydzy w Polsce w latach 2003–2008

Lp.	Województwo	Zawartość metali ciężkich (mg·kg ⁻¹)	Plon (dt·ha ⁻¹)					
			2003	2004	2005	2006	2007	2008
	Polska		52,9	56,9	57,3	41,6	65,7	58,1
1	Dolnośląskie	118,85	55,4	61,4	63,8	43,7	67,9	63,0
2	Małopolskie	157,73	54,5	59,3	61,9	50,8	63,5	64,3
3	Śląskie	175,97	62,5	62,8	60,8	51,5	72,1	75,6
4	Średnio 1-3	150,9	57,5	61,2	62,2	48,7	67,8	67,6
5	Mazowieckie	62,21	52,7	53,6	52,5	40,0	61,4	57,3
6	Podlaskie	66,85	46,6	45,4	50,3	39,4	57,1	54,9
7	Wielkopolskie	68,29	48,6	56,4	55,7	38,2	70,3	48,9
8	Średnio 4-6	65,8	49,3	51,8	52,8	39,2	62,9	53,7
9	Relacja (%) 4:8	229,3	116,6	118,1	117,7	124,1	107,8	125,9
10	Relacja (%) 3:8		126,8	121,2	115,2	131,4	114,6	140,8

PIŚMIENNICTWO

- Afanasiev R.** 1991: Environmental and economic aspect of grassland fertilization. *Zesz. Nauk. AR im. H. Kollątaja w Krakowie, Sesja Naukowa* 34: 381–386.
- Aina R., Labra M., Fumagalli P., Vannini C., Marsoni M., Cucchi U., Bracale M., Sgorbati S., Citterio S.** 2007: Thiol-peptide level and proteomic changes in response to cadmium toxicity in *Oryza sativa* L. roots. *Environ. Exper. Botany* 59: 381–392.
- Allender W.J., Cresswell G.C., Kaldor J., Kennedy I.R.** 1997: Effect of lithium and lanthanum on herbicide induced hormesis in hydroponically growth cotton and corn. *J. Plant Nutr.* 20: 1–95.
- Audus L.J.** 1952: The time factor in studies of growth inhibition in excised organ sections. *J. Exper. Bot.* 3: 375–392.
- Balentine W.** 1893: Investigations of the foraging power of some agricultural plants for phosphoric acid. *Soil Sci.* V, 6: 351–364.
- Baran S.** 1987: Zmiany zawartości ołowiu, cynku i miedzi oraz substancji organicznej w glebach lekkich nawożonych osadami ściekowymi i ich wpływ na rośliny. *Rozprawy Naukowe nr 102 AR Lublin.*
- Benedycka Z.** 1988: Studia nad działaniem nawozowym molibdenu. *Zesz. Nauk. ART W Olsztynie, Agricultura nr 45, Supplementum A* 13.
- Benedycka Z., Nowak G., Wierzbowska J., Klasa A.** 1995: Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i gospodarkę mineralną bobiku. *Zesz. Nauk. ART. Olsztyn, Rolnictwo* 61: 55.
- Benham F.** 1948: Economics. Trzaska, Evert i Michalski, Warszawa: 365–369.
- Bennet R.J., Breen C.M.** 1991: The recovery of the roots of *Zea mays* L. from various aluminum treatments: toward elucidating the regulatory processes that underlie root growth control. *Environ. Exper. Botany* 31: 153–163.
- Bennet, R.J., Breen, C.M., Fey, M.V.** 1987: The effects of aluminum on root cap function and root development in *Zea mays* L. *Environ. Exper. Botany* 27: 91–104.
- Bindesbol A.M., Bayley M., Damgaard C., Holmstrup M.** 2007: Life-history traits and population growth rate in the laboratory of the earthworm *Dendrobaena octaedra* cultured in copper-contaminated soil. *Applied Soil Ecology* 35: 46–56.
- Birecka H., Szymańska W., Sawicka A.** 1959: Wpływ niskich dawek promieni Roentgena na niektóre gatunki roślin wyższych. *Rocz. Nauk Roln.* 79-A-3: 912–925.
- Bobrzecka D.** 1988: Badania nad działaniem nawozowym miedzi w uprawie niektórych gatunków roślin. *Zesz. Nauk. ART W Olsztynie, Agricultura nr 46, Supplementum C:* 15.
- Bojarczuk K., Mazur T., Fotyma M., Demczuk M., Szczurko W.** 1982: Wpływ wzrastającego nawożenia mineralnego na plony roślin i zawartość przyswajalnych składników w glebie. *Zesz. Nauk. ART. Olsztyn, Rolnictwo* 34: 3.
- Borówczak F., Koziara W., Grześ S., Gladysiak S.** 1998: Produkcyjne i ekonomiczne efekty różnej intensywności uprawy ziemniaków. *Roczniki AR Poznań.* CCCVII 163.
- Buczak E., Kondys H., Szablowska B.** 1982: Wpływ deszczowania i wzrastających dawek nawozów mineralnych na przechowywanie porów, selerów i cebuli. *Zesz. Probl. PNR* 236.
- Buczak E., Mutor R., Kondys H., Skibiński Z.** 1978: Wpływ deszczowania i wzrastających dawek nawozów mineralnych na plon ogórków, selerów i cebuli. *Zesz. Probl. PNR* 199: 433.
- Budzyński F.** 1990: Zróżnicowanie nakładów a produktywność ziemi w Polsce i wybranych krajach europejskich. *Rozprawy naukowe i monografie. SGGW* Warszawa.
- Calabrese E.J.** 2001: Overcompensation stimulation: A mechanism for hormetic effect. *Crit Rev in Toxicology* 31(4&5): 425–470.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A.** 1997: The Dose determines the Stimulation (and Poison): Development of a Chemical Hormesis Database. *Int. J. Toxic.* 16: 545–559.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A.** 2001: Hormesis: A generalizable and unifying hypothesis. *Crit. Rev. in Toxicology* 31(4&5): 353–424.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A.** 2002: Defining hormesis. *Human Exp. Toxicol.* 21: 91–97.
- Calabrese E. J.** 2005: Paradigm lost, paradigm found: the reemergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. *Environmental Pollution.* 138: 378–411.
- Cargnelutti D., Almeri Tabaldi L., Maria Spanevello R., de Oliveira Jucoski G., Battisti V., Redin M., Blanco Linares C.E., Dressler V.L., Marlon de Moraes, Flores E., Teixeira Nicoloso F., Morsch V.M., Chitolina Schetinger M.R.** 2006: Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere* 65: 999–1006.

- Cedergreen N., Ritz C., Streibig J.C.** 2005: Improved empirical models describing hormesis. *Environmental Toxicology and Chemistry* Dec 2005; 24, 12; ProQuest Science Journals 3166.
- Chandra P., Tripathi R.D., Rai U.N., Sinha S., Garg P.** 1993: Biomonitoring and amelioration of non-point source pollution in some aquatic bodies. *Wat. Sci. Technol.* 28: 323–326.
- Chaperon S., Sauve S.** 2007: Toxicity interaction of metals (Ag, Cu, Hg, Zn) to urease and dehydrogenase activities in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2329–2338.
- Clark J.M.** 1949: Diminshing returns of Encyclopaedia of the Social Sciences. New York V: 149.
- Colander L.** 1996: Historia myśli ekonomicznej. PWN Warszawa.
- Crafts A.S., Rosenfels R.S.** 1939: Toxicity studies with arsenic in 80 California soils. *Hilgardia* 12: 177–200.
- Czekala J.** 1997: Chrom w glebie i roślinie – występowanie, sorpcja i pobieranie w zależności od jego formy i dawki, właściwości środowiska i nawożenia. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe* 274: 57.
- Delatorre-Herrera J.** 2003: Current Use of Quinoa in Chile Food. *Reviews International* 19, 1&2: 155–165.
- Deng C., Graham R., Shukla R.** 2001: Detecting and estimating hormesis using a model-based approach. *Hum. Ecol. Risk Asses.* 7, 4: 849–862
- Deng C., Zhao Q., Shukla R.** 2000: Detecting hormesis using a non parametric rank test. *Human&Experimental Toxicology* 19: 703–708.
- Domachowski R.** 1992: Wybrane problemy gospodarcze świata. W: Zadania geograficzne. Koris, Warszawa: 133.
- Dong-Hua L., Wu-Sheng J.** 1993: Effects of Cr³⁺ on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Chinese J. Bot.* 5: 34–40.
- Duke S.O., Cedergreen N., Velini E.D., Belz R.G.** 2006: Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Outlookson Pest Management* - February: 29–33.
- Dzieżyc J., Dzieżycowa D.** 1986: Porównanie efektów nawadniania i intensywnego nawożenia w różnych płodozmianach na glebach lekkich. *Zesz. Probl. PNR* 284: 125.
- Encyklopedia ekonomiczno-rolnicza** 1964: pod red. R. Manteuffla. PWRiL, Warszawa.
- Encyklopedia fizyki** 1972: PWN, Warszawa: 782 ss.
- Fierla J.** (red.) 2003: Geografia gospodarcza świata. PWE, Warszawa.
- Filipek-Mazur B., Gondek K.** 2000: Działanie chromu (III) i (IV) na plon roślin oraz na frakcje tego metalu w glebie. *Zesz. Probl. PNR* 472: 203–211.
- Filipek-Mazur B., Gondek K.** 2001: Zawartość metali ciężkich w glebie jako efekt wieloletniego nawożenia mineralnego i wapnowania. Cz. II. Zawarość kadmu i niklu. *Zesz.Nauk. AR Kraków, Seria Rolnictwo* 383: 23–31.
- Firek E., Trojan E.** 1983: Wpływ dawek azotu i sposobów użytkowania runi łąkowo-pastwiskowej na plony, skład botaniczny i chemiczny masy roślinnej oraz troficzność gleby. *Rocz. AR w Poznaniu* CXLII: 107.
- Fulladosa E., Murat J.C., Bollinger J.C., Villaescusa I.** 2007: Adverse effects of organic arsenical compounds towards *Vibrio fischeri* bacteria. *Science of the Total Environment* 377: 207–213.
- George H.** 1904: Nauka ekonomii politycznej. Nakład Z. Słupskiego, Poznań: 296–314.
- Góra E.** 1987: Wpływ popiołów elektrownianych na plonowanie i skład chemiczny roślin na glebie ciężkiej. *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie* 219: 39–48.
- Górski M., Klarnier S.** 1930: Porównanie nawozów azotowych pod machorkę. *Rocz. Nauk Rol. i Leśnych* 24, 2: 200–205.
- Gregorczyk A.** 2000: Wpływ popiołu lotnego i produktu powstałego z oczyszczania gazów odlotowych na plon i skład chemiczny rzepaku jarego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin z. 204 Agricultura* 185.
- Grothe D.R., Dickson K.L., Red-Judkins D.K.** (eds) 1995: Whole effluent toxicity testing: An evaluation of methods and prediction of receiving system impacts. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Grześ S., Sobiech S., Maciejewski T.** 1996: Wpływ deszczowania i nawożenia azotowego na plonowanie buraków pastewnych. *Rocz. AR Poznań* CCLXXXV: 36.
- Harmet K.H.** 1979: Rapid growth responses of *Avena* coleoptile segments to lanthanum and other cations. *Plant Physiol.* 64: 1094.
- Henner G.** 1930: Die feldbaumtechnischen Anschauungen des Altertum im Lichte der neuzeitlichen Ackerbaumwissenschaft. *Dtsch. Rundschau* III, 1.

- Henschler D.** 2006: The origin of hormesis: historical background and driving. *Human & Experimental Toxicology* 25: 347–351.
- Hickey RJ, Bowers EJ, Clelland RC.** 1983: Radiation hormesis, public health and public policy: A Commentary. *Health Phys.* 44: 207–219.
- Hirt H., Casari G., Barta A.** 1989: Cadmium-enhanced gene expression in suspension-culture cells of tobacco. *Planta* 179: 414–420.
- Hlusek J.** 2000: Beryllium its effect on the quality of lettuce. *Zesz. Probl. PNR* 472: 305–310.
<http://www.bialchem.pl/nawozy.html>
- Hutchinson G.E.** 1945: Aluminum in soils, plants, and animals. *Soil Sci.* 60: 29–40.
- Jagielski A** 1958: Produkcja, podaż i ceny produktów rolnych na Śląsku w okresie międzywojennym. W: Studia i materiały z dziejów Śląska. Tom II. Pod red. K. Popiołka. Zakład Narodowy imienia Ossolińskich, Wrocław: 260 ss.
- Jakimowa J., Dimitrow S., Pietrowski M., Kojczew G., Stoilowa R.** 1973: Wlijanije udobrienija wzrastajuszczimi dozami azota na produktywnost i kaczestwo trawy siejanych jestiestwiennych pastiszcz. *Zesz Probl PNR* 150: 71.
- Jaworowski Z.** 1977: Beneficial Effects of Radiation and Regulatory Policy. *Australian Physical & Engineering Sciences in Medicine* V, 20, nr 3.
- Jaworowski Z.** 1997: Dobroczynne promieniowanie. *Wiedza i Życie* 3.
- Kabata-Pendias, A., Pendias H.** 1984: Trace Elements in Plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Kaloń J., Huczowski J., Jeleń M.** 1981: Wpływ promieniowania rentgenowskiego i prędkich neutronów na stymulację plonu i zawartość niektórych składników w owocach truskawek odmiany Senga Sengana. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Seria Ogrodnictwo* 163: 161–176.
- Kisiel R.** 1998: Optymalizacja nawożenia azotowego w nowych warunkach gospodarowania. *Rocz. AR Poznań CCCVII*: 141.
- Kisiel R., Koc J., Juchniewicz M.** 1997: Optymalizacja nawożenia azotem pszenżyta jarego przy wykorzystaniu modelu ekonometrycznego. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 175: 163–169.
- Klemm D.J. i in.** 1994: Short term methods for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving waters to marine and estuarine organisms. 2nd edition. EPA /600/4-91/003.
- Kłupczyński Z., Ralcewicz M.** 1998: Wpływ nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną wybranych odmian pszenicy ozimej. *Rocz. AR Poznań CCCVII*: 19.
- Kopański K., Kawecki Z.** 1994: Nawożenie azotowe a wzrost i plonowanie truskawek. *Acta Acad. Agricult. Tech. Ols. Agricultura* No 58: 135 ss.
- Kopeć M.** 2000: Dynamika plonowania i jakość runi łąki górskiej w okresie trzydziestu lat trwania doświadczenia wazonowego. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Seria Rozprawy* 267 ss.
- Koszański Z.** 1991: Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plonowanie roślin uprawnych w zmianowaniu na glebie kompleksu żytniego i pszennego dobrego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin. Rozprawy nr 133*.
- Kovalchuk I., Filkowski J., Smith K., Kovalchuk O.** 2003: Reactive oxygen species stimulate homologous recombination in plants. *Plant Cell Environ.* 26: 1531–1539.
- Krasowicz S., Igras J.** 2003: Regionalne zróżnicowanie wykorzystania potencjału rolnictwa w Polsce. *IUNG Puławy, Pam. Puł.* 132: 233–251.
- Krzymuski J.** 1984: Czynniki plonowania zbóż. *Zesz. Probl. PNR* 305: 38–50.
- Kucharski J. Hlasko A. Wyszowska J. Jastrzębska E.** 2000: Reakcja drobnoustrojów i bobiku na zanieczyszczenie gleby miedzią. *Zesz. Probl. PNR* 472: 449–455.
- Lenin W.** 1954: Dzieła. t. 13, Wyd. Książka i Wiedza, Warszawa: s. 173.
- Levings M.K.** 1977: Effects of cadmium chloride on growth and pigments in *Glycine max* L., *Quercus rubra* L., *Acer saccharinum* L., and *Cucumis sativus* L. Masters Degree, Purdue University, Indiana: 73.
- Lipman C.B.** 1938: Importance of silicon, aluminum, and chlorine for higher plants. *Soil Sci.* 45: 189–198.
- Łachowski J.** 1960: Wpływ różnych dawek siarczanu cynku na plony buraków cukrowych w Polsce. *Rocz. Nauk Rol.* 83-A-1: 158 ss.
- Łachowski J.** 1962: Wpływ siarczanu magnezu na plony buraków cukrowych w Polsce. *Rocz. Nauk Rol.* T. 85-A-4: 674.
- Łękawska I.** 1993: Skutki stosowania zróżnicowanych dawek azotu na łąkach o różnych glebach torfowomurszowych w okresie dwudziestolecia. *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, Sesja Naukowa cz. II* 37: 297–306.
- Mały Rocznik Statystyczny** 1939: Główny Urząd Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 11: 64–89.

- Martí E., Sierra J., Sánchez M., Cruaños R., Garau M.A.** 2007: Ecotoxicological tests assessment of soils polluted by chromium (VI) or pentachlorophenol. *Science of the Total Environment* 378: 53–57.
- Mączak A.** (red.) 1981: Encyklopedia historii gospodarczej Polski do 1945 roku [T. 1], A - N. Wiedza Powszechna Warszawa: 584 ss.
- Meyer M.C., McLendon T., Price D.** 1998: Evidence of depleted uranium-induced hormesis and differential plant response in three grasses. *J. Plant Nutr.* 21: 2475–2484.
- Mikołajczak Z., Nowak W.** 1996: Wpływ nawożenia różnymi nawozami azotowymi na plonowanie i wartość paszy łąkowej. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu nr 300*: 223.
- Molas J.** 1999: Range of tolerance of nickel in three lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Zesz. Probl. PNR* 469: 457–463.
- Monsees T.K., Winterstein U., Hayatpour J., Schill W-B., Miska W.** 1998: Effect of heavy metals on the secretory function of testicular cells in culture. *J. Trace Microprobe Technol.* 16: 427–435.
- Murado M.A., Vazquez J.A.** 2007: The notion of hormesis and the dose-response theory: A unified approach. *J. Theoretical Biology* 244: 489–499.
- Napoleoni C.** 1964: Myśl ekonomiczna XX wieku. PWN Warszawa: 146–147.
- Neger F.W.** 1923: Neue Methoden und Ergebnisse der Mikrochemie der Pflanzen. *Flora* 116(n.f. 16): 323–330.
- Norwood W.P., Borgmann U., Dixon D.G.** 2007: Chronic toxicity of arsenic, cobalt, chromium and manganese for *Hyalella azteca* in relation to exposure and bioaccumulation. *Environmental Pollution* 147: 262–272.
- Nowak A., Przybulewska K., Szopa E., Stacewicz A.** 2001: Wpływ metali ciężkich (Hg, Cd, Cu, Pb) na wzrost i aktywność enzymatyczną bakterii glebowych. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Agricultura* 221: 165–174.
- Nowicki A.** 1962: Badania nad wpływem niektórych mikroelementów na plon, zdrowotność i technologiczne cechy buraka cukrowego w warunkach polowych. *Rocz. Nauk Rol.* 86-A-4: 673.
- Olkowski M., Klićki M.** 1981: Wpływ zróżnicowanego nawożenia mineralnego na plonowanie i wartość siana łąki o glebie murszowo-torfowej. *Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Agricultura* 31: 156–157.
- Ostrowska D., Kucińska K.** 1998: Wpływ wzrastającego nawożenia azotem oraz różnych form nawozów organicznych na plon i jakość buraka cukrowego. *Rocz. AR Poznań CCCIII*: 276.
- Podstawka E.** 1982: Studia nad deszczowaniem i nawożeniem mineralnym buraków cukrowych na rędzinie. *Rozprawy Naukowe nr 76 AR Lublin*.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2003 roku. GUS, Warszawa 2004.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2004 roku. GUS, Warszawa 2005.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2005 roku. GUS, Warszawa 2006.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2006 roku. GUS, Warszawa 2007.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2007 roku. GUS, Warszawa 2008.
- Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2008 roku. GUS, Warszawa 2009.
- Radiologiczny atlas Polski.** 1998: J. Jagielak (red.) Agencja Wydawnicza ARIES, Warszawa.
- Rogozińska I.** 1987: Wpływ nawożenia azotowego i warunków przechowywania na skład chemiczny oraz wartość konsumpcyjną i użytkową bulw różnych odmian ziemniaków. *Rozprawy nr 23 AT-R Bydgoszcz*.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska** w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. *Dziennik Ustaw nr 165, poz. 1359 z 2002 roku*.
- Royle A., Rai T. i inni** 1995: Cadmium regulated nitrate reductase activity in *Hydrilla verticillata*. *Water, Air and Soil Pollution* 106: 174.
- Sady W., Domagała I.** 1993: Wpływ nawożenia mikroskładnikowego na plonowanie i zawartość wybranych składników liściach sałaty uprawianej metodą cienkowarstwowych kultur przepływowych. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Seria Ogrodnictwo* 287: 3–12.
- Sawicka B.** 1998: Wpływ intensywnego nawożenia azotem w uprawie słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.) na plon i jego strukturę. *Rocz. AR Poznań CCCVII*: 237.
- Schabenberger O., Tharp B.E., Kells J.J., Penner D.** 1999: Statistical Tests for Hormesis and Effective Dosages in Herbicide Dose Response. *Agron. J.* 91: 721–731.
- Sheppard S.C., Evenden W.G., Anderson A.J.** 1992: Multiple assays of uranium toxicity in soil. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 7: 275–294.
- Sommer A.L.** 1926: Studies concerning the essential nature of aluminum and silicon for plant growth. *Univ. Calif. Pubs. Agric. Sci.* 5: 57–81.

- Sondel J.** 1961: Zagadnienie kosztów przeciętnych i krańcowych w produkcji rolniczej. *Rocz. Nauk Rolniczych* 76-G-2: 273–313.
- Southam C.M., Ehrlich J.** 1943: Effects of extract of western red cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology* 33: 517–524.
- Stebbing A.R.D.** 1982: Hormesis – the stimulation of growth by low level of inhibitors. *Total Environment* 22: 213–234.
- Stebbing A.R.D.** 2003: A Mechanism for Hormesis – A Problem in the Wrong Discipline. *Critical Reviews in Toxicology* 33(3&4): 463–467.
- Stewart J., Smith E.S.** 1922: Some relations of arsenic to plant growth: Part 2. *Soil Science* 14: 119–126.
- Stigler G.J.** 1949: The theory of price. University of Minnesota, New York: 121.
- Styszko L., Bogucka H., Lewosz W., Sławińska D., Fiszer W., Dembiński W.** 1985: Wpływ napromienienia na wartość nasienną sadzeniaków ziemniaka. *Rocz. AR Poznań* CLXVI: 147.
- Szarek S.** 2000: Wpływ poziomu produktywności na opłacalność produkcji żywca wieprzowego. W: *Możliwości poprawy konkurencyjności Agrobiznesu*. Wyd. AR Lublin.
- Szarek S.** 2005a: Deficiencies in the law of diminishing returns. Part I *EJPAU, Series Economics*, 8, 3.
- Szarek S.** 2005b: Use of concept of hormesis phenomenon to explain the law of diminishing returns. Part II. *EJPAU, Series Economics*, 8, 4.
- Szarek S.** 2006a: Możliwości wynikające z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* 3: 29–46.
- Szarek S.** 2006b: Uzupełnienie koncepcji rozwoju zrównoważonego dzięki zastosowaniu efektu hormetycznego. *ZN AR we Wrocławiu* 540: 509.
- Szarek S.** 2007: Znaczenie efektu hormetycznego w zrównoważonym rozwoju rolnictwa. Wyd. Naukowe AR Szczecin, *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Oeconomica* 254 (47): 315.
- Szarek S., Kaluża H.** 2003: Intensywność organizacji gospodarstwa a dochodowość produkcji rolniczej. W: *Działalność rolnicza oraz jej uwarunkowania w aspekcie integracji z Unią Europejską*. Pod red. H. Kaluży. Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce.
- Szarek S., Kaluża H.** 2004: Optymalizacja skali produkcji żywca wieprzowego przy zastosowaniu formuły prognozy rentowności. *Roczniki Naukowe Zootechniki* 31: 2.
- Taylor E.** 1947a: Teoria produkcji. Wydawnictwo Kazimierza Rutskiego, Warszawa - Łódź: 184–245.
- Taylor E.** 1947b: Wstęp do ekonomiki. Wyd. II, Spółdzielnia wydawnicza „Żeglarnia” Gdynia: 239.
- Taylor E.** 1957: Historia rozwoju ekonomiki. PWN Poznań: 54–155.
- Teeguarden J.G., Dragan Y.P., Pitot H.C.** 1998: Implications of hormesis on the bioassay and hazard assessment of chemical carcinogens. *Human & Experimental Toxicology* 17: 254–258.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch C.** 2000: Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. *Biblioteka Monitoringu Środowiska* Warszawa.
- Terlikowski F.** 1923: Materiały do kwestii wpływu roztworów glebowych na rozwój systemu korzeniowego roślin. *Rocz. Nauk Rolniczych* IX: 544 i nast.
- Thimann K.V., Bonner W.D.** 1949: Experiments on the growth and inhibition of isolated plant. Part II: The action of several enzyme inhibitors on the growth of the *Avena* coleoptile and on *Pisum* internodes. *J. Exp. Bot.* 36: 214–221.
- UNSCEAR** 1994a: Sources and Effect of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee of Atomic Radiation. New York: 272 ss.
- UNSCEAR** 1994b: Adaptive response of radiation in cells and organisms. Source of effects of ionizing radiation. *UNSCEAR, report to the General Assembly, with Scientific Annexes*, Annex B.
- Ustawa o rolnictwie ekologicznym z dnia 20 kwietnia 2004 r. *Dz. U.* z dnia 30 kwietnia 2004 r.
- Virchow R.** 1854: Über die Ergebenheit der Flimmerzellen. *Virch Arch* 6: 133–134.
- Virchow R.** 1858a: Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologischer und pathologischer Gewebelehre. A. Hirschwald: 1–454.
- Virchow R.** 1858b: Reizung und Reizbarkeit. *Virch Arch* 16: 1–63.
- Vovk B.** 1929: Działanie fosforu w zależności od wysokości dawki i nawożenia azotowego. *Rocz. Nauk. Rol. i Leśnych* XXII: 89–135.
- Vysotskii V.I., Pinchuk A.A., Kornilova A.A., Samoylenko I.I.** 2002: Molecular mechanisms and time-dependent dynamics of hormesis, antagonism and radioprotective effects at combined ionizing irradiation of biological systems. *Radiation, Physics and Chemistry*. 65, 4–5 November: 487–493.
- Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej 2007: IUNG, Puławy.

- Wielebski F., Muśnicki C.** 1998: Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego w warunkach doświadczeń polowych. *Rocz. AR Poznań* CCCIII: 156.
- Witek T.** 1979: Wpływ jakości gleby na plonowanie roślin uprawnych. *Zesz. Probl. PNR* 224: 35–43.
- Witek T.** (red.) 1981: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce według gmin. IUNG Puławy: 414.
- Xiong, X-T., Peng, Y-H.** 2001: Response of pollen germination and tube growth to cadmium with special reference to low concentration exposure. *Ecotoxicol. Degree, Purdue University, Indiana*: 73.
- Zarządzenie Ministra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych w sprawie rolniczego wykorzystania ścieków. *Monitor Polski* nr 23 poz. 170 z 1986 roku.
- Żarski J.** 1993: Reakcja zbóż jarych na deszczowanie i nawożenie azotowe w warunkach gleby bardzo lekkiej. *Rozprawy nr 59 AT-R Bydgoszcz*.

SUMMARY

ECONOMIC ASPECTS OF HORMETIC EFFECT USE IN AGRICULTURE

In the dissertation paper there were presented economic results of hormesis effect used in agriculture. It was proved, that different amount of heavy metals in soils thanks to this effect occurrence can explain in satisfactory way the yield variability, which lets explain the regularity in shaping the effectiveness and profitability of production on the level of an individual farm and on the level of the whole country.

The results of the pot experiments displayed, that increase of lead in soil, thanks to hormesis effect occurrence had positive influence on plants yield. Simultaneously use of extra doses of nitrogen on soils with higher lead content affected decrease of gross margin in agricultural production. The experimental data and the marginal calculation showed, that resignation from high doses of mineral fertilization can be a way for the improvement of production profitability on soils with higher content of heavy metals.

It was also noticed dependences between the level of yield and heavy metals content in soils during the interwar period as well as at contemporary times.

The results presented in this elaboration indicated that it is improper to use too high mineral fertilization on soils with higher amount of heavy metals because it lowers economic results and crops production effectiveness. Such a situation can take place on soils which according to the ministerial regulations can be included to the soils with normal, not higher amount of heavy metals.

Thanks to use the hormesis effect in explanation of the law of diminishing returns it was displayed how it is possible to connect precisely the increase of farming intensity with the increase of production effectiveness including nature friendly rules of farming