

EFEKT HORMETYCZNY A EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Stanisław Szarek

Akademia Podlaska w Siedlcach

Abstrakt. W opracowaniu przedstawiono możliwość wyjaśnienia zróżnicowania plonowania roślin uprawnych dzięki wystąpieniu efektu hormetycznego. Stwierdzono, że zastosowanie dodatkowych dawek czynników plonotwórczych jest zgodne co do zasady z efektem hormetycznym i w sposób zadowalający tłumaczy anomalie występujące w doświadczeniach i praktyce dnia codziennego.

Słowa kluczowe: ekonomika rolnictwa, produkcja roślinna, intensywność produkcji, efekt hormetyczny

CEL PRACY, MATERIAŁ I METODY

Celem opracowania jest pokazanie, że stosowane w rolnictwie środki plonotwórcze wywierają na rośliny działanie zgodne co do zasady z efektem hormetycznym. Ponadto pokazano, że zawarte w glebie w odpowiednim stężeniu metale ciężkie mogą mieć również dobroczynny wpływ na plonowanie. Komplementarność lub konkurencyjność zachodząca pomiędzy tymi czynnikami prowadzi w praktyce do ogromnego zróżnicowania plonów na glebach tych samych typów, klas i kompleksów. Taki stan rzeczy jest tłumaczony najczęściej wpływem warunków przyrodniczych i pogodowych. Włączenie do wyjaśnienia zmienności plonowania efektu hormetycznego w racjonalny sposób tłumaczy pozorne anomalie występujące w takim przypadku.

Materiałem badawczym były wyniki badań przeprowadzonych w Polsce w latach 1923-2006 nad wpływem różnych czynników na plonowanie roślin uprawnych.

WPROWADZENIE

Proces produkcyjny w rolnictwie jest nieodłącznie związany z ziemią, a efekty produkcyjne zależą w dużej mierze od jej jakości. Na glebach najlepszych kompleksów plony roślin uprawnych [Krzymuski 1984] były ponad dwukrotnie wyższe niż na glebach najłabszych kompleksów. Podobną sytuację obserwowano, biorąc pod uwagę klasę bonitacyjną gleby oraz jej odczyn [Witek 1979]. Jednak to nie jakość gleby miała decydujący wpływ na plony uprawianych roślin. Doświadczenia przeprowadzone na terenie całej Polski pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że nawet na najlepszych glebach efekty produkcyjne są zróżnicowane gdy zastosuje się te same metody i środki produkcji. Najbardziej przekonującym przykładem jest przedział zmienności plonów buraka cukrowego w doświadczeniach polowych, który wyniósł na czarnych ziemiach 185 dt/ha, 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 zrozumienia mechanizmu hormezy pozwala spojrzeć na te wyniki z innej strony i uzależnić te wyniki od przejawów działania efektu hormetycznego [Szarek 2005 a, b, 2006 a, 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 [Baltentine 1893]. W Polsce opisano tego typu doświadczenia już na początku XX wieku [Terlikowski 1923, Vovk 1929, Górski 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 niemal ze wszystkich ośrodków 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.

Aby zwiększyć wydajność roślin uprawnych, stosuje się również metody niekonwencjonalne, np. wykorzystujące niskie dawki promieniowania jonizującego, stymulację promieniami UV-A, UV-B oraz światło laserowe. Te, z natury szkodliwe w dużych dawkach oddziaływania, w niskich dawkach wręcz pobudzają rośliny do wzrostu. Pomimo marginalizowania znaczenia tych czynników, mają one kolosalne znaczenie w produkcji rolniczej, wyjaśniają w sposób zadowalający nieznane obszary produkcji, a co się z tym wiąże – ekonomikę produkcji rolniczej.

Pozostaje jeszcze kwestia, czy substancje stosowane w rolnictwie są zgodne z założeniami efektu hormetycznego. 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 są stosowane w dość dużych dawkach, dochodzących do kilkuset kilogramów, a w przypadku nawozów organicznych – kilkudziesięciu ton na jednostkę powierzchni uprawy danej rośliny. Jeśli przyjąć, że rośliny uprawne wykorzystują składniki pokarmowe z 30 cm warstwy gleby, to na 1 kg gleby, przy dawce nawozu wynoszącej 100 kg czystego składnika, przypada około 18 mg (18 ppm) czystej substancji chemicznej (przyjmując, że ciężar właściwy gleby wynosi $1,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Co więcej, na-

wozy stosuje się najczęściej w kilku podzielonych dawkach, a rośliny wykorzystują tę substancję przez cały okres wegetacji, trwający 150-320 dni.

Dawki substancji szkodliwych używanych w doświadczeniach nad efektem hormetycznym można zakwalifikować jako niskie, nie przekraczające 20 ppm [Levings 1977], średnie – nie przekraczające 100 ppm [Klemm i in. 1994, Grothe i in. 1995] lub duże – rzędu nawet 500-1000 ppm [Stewart i Smith 1922, Hirt i in. 1989]. Dawki toksycznych substancji wywołujących efekt hormetyczny, w przeliczeniu na 1 ha powierzchni, wynoszą 110 kg w przypadku dawek niskich, 550 kg·ha⁻¹ w przypadku dawek średnich oraz 2750-5500 kg·ha⁻¹ w przypadku dawek wysokich.

Porównując te wyniki z dawkami, jakie stosuje się na co dzień w rolnictwie (tab. 1), można jednoznacznie stwierdzić, że efekt plonotwórczy w rolnictwie jest wywołany przez dawki niskie, często niższe niż stosowane w doświadczeniach nad wpływem substancji toksycznych na rośliny, gdzie 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.

Tabela 1. Zawartość działającej substancji czynnej w trzydziestocentymetrowej warstwie gleby w uprawie wybranych roślin z zastosowaniem nawozu doglebowego
Table 1. Content of active substance at 30 cm depth of soil in crop planting

Roślina Plant	Nazwa substancji czynnej Chemical's name	Dawka nawozu Dose of fertilization (kg·ha ⁻¹)	Zawartość substancji czynnej w glebie Content of active substance in soil (mg·kg ⁻¹)
Pszenica – Wheat	NH ₄ NO ₃	100	18
Ziemniaki – Potatoes	K ₂ O	80	14,4
Jęczmień – Barley	P ₂ O ₅	60	10,8
Bobik – Legumine	Mo	1,0	0,18

Źródło: opracowanie własne.
Source: own calculation.

Straty składników mineralnych zależą przede wszystkim od formy, w jakiej był stosowany dany nawóz, następnie od ilości opadów oraz od temperatury. W tej sytuacji dawka skuteczna, docierająca bezpośrednio do rośliny, jest jeszcze niższa.

Nawozy sztuczne są substancjami mniej lub bardziej toksycznymi dla zwierząt i roślin, a ich stosowanie obwarowane jest konkretnymi środkami ostrożności. Każdy nawóz sztuczny ma podaną dawkę LD₅₀, co oznacza substancję toksyczną dla zwierząt. Dla przykładu, jeden z bardziej toksycznych nawozów – pentatlenek fosforu (P₂O₅) – może powodować u człowieka:

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

EFEKT HORMETYCZNY A 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 którym przekroczenie optymalnej dawki N (progu produkcyjnego) powodowało wyraźne zmniejszenie się plonu [Bojarczuk i in. 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, Mazur 1998]:

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

Zatrzymanie wzrostu plonowania obejmowało nie tylko nawożenie. W doświadczeniu Borówczaka i in. [1998] wystąpiło ono przy nawożeniu 100 kg N w technologii nisko- i średniokładowej. W technologii wysokonakładowej wystąpił przy 150 kg N·ha⁻¹. Oznacza to, że zastosowanie dodatkowych czynników plonotwórczych jest w stanie przesunąć próg wystąpienia tego spadku w przypadku już istniejącego progu. W takim wypadku należy zastosować rachunek marginalny, aby ocenić efektywność dodatkowych czynników plonotwórczych.

Wzrost plonu, idący w parze ze zmniejszeniem się jednostkowego kosztu produkcji, zaobserwowano w przypadku nawożenia N pszenżyta [Kisiel i in. 1997, Kisiel 1998]. Zaprezentowane dane potwierdzają fakt wystąpienia przesunięcia fazowego progu ekonomicznego w stosunku do progu produkcyjnego, opisanego szczegółowo przez Szarka [2006 a]. Próg efektu ekonomicznego występuje szybciej niż próg 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 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 norfolkskim.

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 in. 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·ha⁻¹ N, choć nie zanotowano spadku plonu korzeni przy dawce 180 kg·ha⁻¹ N [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 Buczak i in. [1982], która na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdziła, 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] uzyskiwała badając reakcję selera na zwiększone nawożenie NPK. Oznacza to, że fizyczny plon zebranej masy roślinnej nie jest wyznacznikiem efektywności 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, gdy zastosowano środki plonotwórcze (próg produkcyjny) jest cechą odmianową. Benedycka i in. [1995] w doświadczeniach z bobikiem stwierdziła, 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 [Klupeczyński 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, gdy zastosowano dawkę 50 lub 100 kg·ha⁻¹ N w zależności od uprawianej odmiany.

Nie sposób wymienić tu wszystkich wyników badań, jednak czynnik odmianowy zazwyczaj daje w tych samych warunkach różnicowane rezultaty. Z danych doświadczalnych wynika, że sukces produkcyjny jest uzależniony 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, gdy zastosuje się dodatkowe 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. Dodatkowe nawożenie nie miało w tym wypadku uzasadnienia. Wartość dodatkowego plonu nie zrównoważyła kosztów większych dawek nawozów i jego zastosowania.

Niektóre rośliny reagują bardzo wyraźnie na nadmierne nawożenie. Zwiększenie nawożenia o zaledwie 30 kg·ha⁻¹ N – 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. W tej sytuacji znajomość efektu hormetycznego może wiele wytłumaczyć. Jeśli truskawki były uprawiane na glebie o podwyższonej zawartości metali ciężkich, które same w sobie powodują wystąpienie efektu hormetycznego i wyższego plonowania, to zastosowanie nawet niewielkiej ilości dodatkowego czynnika plonotwórczego mogło doprowadzić do dużego spadku plonowania.

EFEKT HORMETYCZNY A MIKROSKŁADNIKI UŻYWANE W PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Podczas nawożenia roślin uprawnych mikroelementami występuje efekt zgodny z hormetycznym. Badania nad wpływem cynku i magnezu na plonowanie buraków cukrowych [Łachowski 1962], przeprowadzone w 52 ośrodkach doświadczalnych,

potwierdzają jego wystąpienie w większości doświadczeń oraz były obserwowane na każdym rodzaju gleby.

Efekt hormetyczny zaobserwowano podczas nawożenia bobiku molibdenem [Benedycka 1988]. Najwyższy plon zanotowano, gdy dawka wynosiła $\text{Mo } 1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ - $4,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; zwiększenie dawki Mo do $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ przyniosło już spadek plonu. W uprawie pszenicy, buraka cukrowego, kukurydzy i bobiku najwyższy wzrost plonu zanotowano, gdy nawożono miedzią w ilości $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, zwiększenie dawki do $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 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 in. 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 oddzielnie poszczególne mikrośladniki. Okazuje się, że łączne użycie substancji, z których każda z osobna wywołuje efekt hormetyczny, prowadzi do znoszenia się pozytywnych efektów i do spadku plonu.

Do działania mikrośladników można porównać doświadczenia nad stosowaniem popiołu lotnego powstałego z oczyszczania gazów odlotowych. Otóż popioły zawierające siarkę, mangan, miedź, nikiel i ołów dopiero w dawce $0,6 \text{ kg}$ na wazon doprowadziły do statystycznie istotnego spadku 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 gdy stosowano zwiększone dawki osadu ściekowego. Dopiero przekroczenie progu produkcyjnego efektu wyraźnie zwiększało koncentrację tych metali w roślinie.

EFEKT HORMETYCZNY WYWOŁANY PRZEZ INNE CZYNNIKI PLONOTWÓRCZE

Czekała [1997] w doświadczeniu wazonowym wykazała 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 i Domagała 1993]. Jej przekroczenie spowodowało prawie 20-procentowy spadek średniej masy główki. Inne doświadczenia z Cr^{+3} potwierdzają jego dobroczynny wpływ na plonowanie gorczycy, buraka ćwikłowego i prosa [Filipek-Mazur i Gondek 2000].

Wyraźny efekt, zgodny z hormetycznym, zaobserwowano w przypadku nawożenia kadmem (Cd) kalarepy [Hlusek 2000]. Zawartość Cd w ilości $2,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby dała prawie 40-procentową zwyżkę plonu w porównaniu z kontrolą, gdzie nie stosowano suplementacji tym składnikiem. Podwyższenie dawki Cd do $4,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ spowodowało 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 $75 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

Ni żywności powodowało wyraźny spadek liczby kielkujących 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 $25 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Ni żywności.

Wyniki badań pokazują, że naświetlanie ziaren kukurydzy promieniami Roentgena wydatnie zwiększało plony [Birecka i in. 1959]. Wzrost ten wyniósł – w porównaniu z próbą, gdzie nie stosowano naświetlania – aż 63%. Interesujące są wyniki doświadczeń nad wpływem napromienienia ziemniaków promieniami gamma [Styszko i in. 1985]. Napromienianiu dawką do 300 radów poddano sadzeniaki. Uzyskano wzrost plonowania sadzeniaków napromienionych dawką 50 radów, który był wynikiem zwiększenia 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 hormetyzacji, uzyskano, napromieniając sadzonki truskawek strumieniem prędkich neutronów [Kaloń i in. 1981]. Dawka 20 radów wpłynęła pozytywnie na plon owoców w ciągu dwóch lat uprawy. Jednocześnie, gdy zastosowano taką dawkę promieniowania, istotnie zmniejszyła się ilość owoców poza wyborem. Zwiększenie dawki promieniowania do 50 radów wyraźnie obniżyło plonowanie i zdrowotność owoców.

PODSUMOWANIE

Analiza niewielkiego wycinka doświadczeń rolniczych pozwala na stwierdzenie, że w celu podniesienia plonowania roślin uprawnych w produkcji roślinnej efekt plonotwórczy jest zgodny co do przebiegu z efektem hormetycznym. Udowodniono, że efekt ten jest również wywołany przez zawarte w glebie pierwiastki śladowe, powszechnie uważane za substancje niebezpieczne dla zdrowia i życia wszystkich organizmów żywych. Obecnie brakuje szczegółowych informacji, co do współdziałania pierwiastków śladowych z substancjami plonotwórczymi, stosowanymi przez człowieka w rolnictwie. W świetle przedstawionych danych nie można mieć wątpliwości, że ogromne zróżnicowanie wyników produkcyjnych może być spowodowane przez występujące interakcje pomiędzy stosowanymi przez człowieka substancjami plonotwórczymi a hormetyzującym działaniem zawartych w glebach pierwiastków śladowych. Zastosowanie efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawidłowości zachodzących w produkcji rolniczej, a w szczególności możliwość wyjaśnienia podstaw działania prawa coraz mniejszej wydajności ma ogromne znaczenie poznawcze i praktyczne, przedstawione poniżej.

1. W przypadku produkcji roślinnej istnieje możliwość precyzyjnego ustalenia punktu spadku plonowania pod wpływem zastosowania dodatkowych ilości substancji plonotwórczych (progu produkcyjnego). Dotychczasowe badania dają podstawę do przypuszczenia, że ilość zawartych w glebie metali ciężkich wykazuje z nawozami mineralnymi działanie komplementarne bądź antagonistyczne. Większa zawartość metali ciężkich w glebie powoduje, że nawożenie mineralne takich gleb powinno być niższe niż gleb, które zawierają mniejsze ilości tych metali i gdzie efekt hormetyczny nie występuje,
2. W dotychczasowej klasyfikacji gleb należałoby uwzględnić zawarte w nich metale ciężkie, jako naturalne stymulatory plonowania roślin,

3. Przekroczenie progu efektu produkcyjnego skutkuje często gwałtownym obniżeniem plonowania, pogorszeniem jakości produkowanych surowców roślinnych, skróconym okresem przechowywania i obniżeniem wielkości plonu handlowego. Ponadto powoduje zwiększenie zapadalności na choroby,
4. W doświadczeniach z substancjami, które są zgodne co do przebiegu z efektem hormetycznym, należy stosować wielokrotność niskich dawek. Jeśli stosuje się dawkę np. 100 kg, a następnie 200 kg, można „przegapić” próg wystąpienia efektu, mieszczący się właśnie w przedziale 100-200 kg hormetyzatora,
5. Dzięki zaakceptowaniu stymulującego wpływu metali ciężkich na plonowanie roślin zawartych w glebie istnieje możliwość optymalizacji poziomu nawożenia mineralnego, zgodnego z wymaganiami roślin, oraz dbałością o stan środowiska naturalnego. Możliwa jest również intensyfikacja poziomu produkcji roślinnej, gwarantująca wykorzystanie potencjalnych możliwości plonowania i zapewniająca producentowi maksymalne dochody.
6. Zawartość metali ciężkich w masie roślinnej nie zwiększa się wprost proporcjonalnie w stosunku do wzrostu zawartości tych metali w glebie. Nie ma więc obawy, że dojdzie do zatrucia ludzi i zwierząt, chyba że zrobi to człowiek, stosując dodatkowe substancje plonotwórcze, powodujące przełamanie progu produkcyjnego.
7. Celem produkcji roślinnej może być wytworzenie żywności, zawierającej obniżone ilości pierwiastków metali ciężkich, kumulujących się w organizmie. Żywność taka możliwa jest do otrzymania na glebach o obniżonej zawartości tych pierwiastków. Według dostępnych danych, gleby te charakteryzują się niższym plonowaniem, więc istnieje możliwość osiągnięcia dodatkowych dochodów przez producentów sprzedających żywność o obniżonej zawartości metali ciężkich. W dobie ekologii społeczeństwa i trosce o zdrowie ludzi taka żywność może cieszyć się dużym upodobaniem w niektórych grupach społecznych.

Akceptacja istnienia i przejawów działania efektu hormetycznego ma jeszcze inne, poważne konsekwencje. Nauki rolnicze i ekonomiczne powinny w przyszłości skoncentrować się na prawidłowościach zachodzących w konkretnym gospodarstwie. Splot różnorodnych uwarunkowań natury przyrodniczej i ekonomicznej czyni z każdego gospodarstwa niepowtarzalną jednostkę. Należy sobie uzmysłwić, że metody i środki zastosowane w tym gospodarstwie niekoniecznie można zastosować w innym, nawet podobnym gospodarstwie. Dlatego też nauka nie może tworzyć jednej recepty dla wszystkich gospodarstw, dotyczącej kwestii wyboru metod i środków produkcji. Tak jak to ma miejsce we współczesnej gospodarce, handlu i naukach społecznych, wszelkie projekty są opracowywane na potrzeby konkretnej, niepowtarzalnej jednostki.

Ekonomia rolnictwa kładzie szczególnie nacisk na zasadę racjonalnego gospodarowania. Zasada maksymalnego wykorzystania posiadanych zasobów, gdy koszty produkcji są minimalne, nabiera realnych kształtów, jeśli połączyć ją z zasadami wynikającymi z zaakceptowania efektu hormetycznego.

Znajomość efektu hormetycznego pozwala ponadto pogodzić zasadę rozwoju zrównoważonego z gospodarowaniem intensywnym. Dzięki temu możliwe będzie gospodarowanie przyjazne dla środowiska i maksymalne wykorzystanie potencjału genetycznego posiadanych roślin i zwierząt.

LITERATURA

- Balentine W., 1893. Investigations of the foraging power of some agricultural plants for phosphoric acid. *Soil Sci.* 5, 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. *Rozpr. Nauk. AR Lubl.* 102.
- Benedycka Z., Nowak G., Wierzbowska J., Klasa A., 1995. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i gospodarkę mineralną bobiku. *Zesz. Nauk. AR-T Olszt. Roln.* 61, 55.
- 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.
- 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. AR-T Olszt. Roln.* 34, 3.
- Borówecki F., Kozłowska W., Grześ S., Gładysiak S., 1998. Produkcyjne i ekonomiczne efekty różnej intensywności uprawy ziemniaków. *Rocz. AR Pozn.* 307, 163.
- Buczak E., Kondys H., Szablowska B., 1982. Wpływ deszczowania i wzrastających dawek nawozów mineralnych na przechowywanie porów, selerów i cebuli. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 236.
- 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 Pozn. Rozpr. Nauk.* 274.
- Dziężyc J., Dziężycowa D., 1986. Porównanie efektów nawadniania i intensywnego nawożenia w różnych płodozmianach na glebach lekkich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 284, 125.
- Filipek-Mazur B., Gondek K., 2000. Działanie chromu (III) i (IV) na plon roślin oraz na frakcje tego metalu w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472, 203-211.
- Grześ S., Sobiech S., Maciejewski T., 1996. Wpływ deszczowania i nawożenia azotowego na plonowanie buraków pastewnych. *Rocz. AR Pozn.* 285, 36.
- Henner G., 1930. Die feldbaumtechnischen Anschauungen des Altertum im Lichte der neuzeitlichen Ackerbaumwissenschaft. *Dtsch. Rundschau* 3, 1.
- Hirt H., Casari G., Barta A., 1989. Cadmium-enhanced gene expression in suspension-culture cells of tobacco. *Planta* 179, 414-420.
- Hlusek J., 2000. The effect of increasing doses of cadmium on the quality of kohlrabi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472, 311-316.
- Kałoś 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 Krak. Ogród.* 163, 161-176.
- Kisiel R., 1998. Optymalizacja nawożenia azotowego w nowych warunkach gospodarowania. *Rocz. AR Pozn.* 307, 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., Morrison G.E., Norber-King T.J., Peltier W.H., Heber M.A., 1994. Shortterm methods for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving waters to marine and estuarine organisms. Cincinnati: EPA /600/4-91/003. *Environ. Monit. Support. Lab, US Environmental Protection Agency.*
- Klupczyński Z., Ralcewicz M., 1998. Wpływ nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną wybranych odmian pszenicy ozimej. *Rocz. AR Pozn.* 307, 19.
- Kopański K., Kawecki Z., 1994. Nawożenie azotowe a wzrost i plonowanie truskawek. *Acta Acad. Agric. Tech. Olst. Agric.* 58, 135.

- Koszański Z., 1991. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plonowanie roślin uprawnych w zmianowaniu na glebie kompleksu żytniego i pszennego dobrego. Zesz. Nauk. AR Szczec. Rozpr. 133.
- Krzymuski J., 1984. Czynniki plonowania zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 305, 38-50.
- Kucharski J., Hłasko A., Wyszowska J., Jastrzębska E., 2000. Rekcja drobnoustrojów i bobiku na zanieczyszczenie gleby miedzią. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 472, 449-455.
- 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.
- Łachowski J., 1962. Wpływ siarczanu magnezu na plony buraków cukrowych w Polsce. Roczn. Nauk Roln. 85-A-4, 674.
- Molas J., 1999. Range of tolerance vs nickel in three lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 469, 457-463.
- Nowicki A., 1962. Badania nad wpływem niektórych mikroelementów na plon, zdrowotność i technologiczne cechy buraka cukrowego w warunkach polowych. Roczn. Nauk Roln. 86-A-4, 673.
- Ostrowska D., Kucińska K., 1998. Wpływ wzrastającego nawożenia azotem oraz różnych form nawozów organicznych na plon i jakość buraka cukrowego. Roczn. AR Pozn. 303, 276.
- Podstawka E., 1982. Studia nad deszczowaniem i nawożeniem mineralnym buraków cukrowych na łące. Rozpr. Nauk. AR Lubl. 76.
- Sady W., Domagała I., 1993. Wpływ nawożenia mikroskładnikowego na plonowanie i zawartość wybranych składników w liściach sałaty uprawianej metodą cienkowarstwowych kultur przepływowych. Zesz. Nauk. AR Krak. Ogrodn. 287, 3-12.
- Sawicka B., 1998. Wpływ intensywnego nawożenia azotem w uprawie słonecznika bulwiastego (*Helianthus Tuberosus* L.) na plon i jego strukturę. Roczn. AR Pozn. 307, 237.
- Stewart J., Smith E.S., 1922. Some relations of arsenic to plant growth: Part 2. Soil Sci. 14, 119-126.
- Styszko L., Bogucka H., Lewosz W., Sławińska D., Fiszer W., Dembiński W., 1985. Wpływ napromienienia na wartość nasienną sadzoniaków ziemniaka. Roczn. AR Pozn. 166, 147.
- Szarek S., 2005 a. Deficiencies in the law of diminishing returns. Part I. EJPAU 8(3), #3.
- Szarek S., 2005 b. Use of concept of hormesis phenomenon to explain the law of diminishing returns. Part II. EJPAU 8(4), #61.
- Szarek S., 2006 a. Implikacje wynikające z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności. Roczn. Nauk. SERiA 7, 5, 77.
- Szarek S., 2006 b. Możliwości wynikające z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności. Zagad. Ekon. Roln. 3, 29-46.
- Terlikowski F., 1923. Materiały do kwestii wpływu roztworów glebowych na rozwój systemu korzeniowego roślin. Roczn. Nauk Roln. 9, 544 i nast.
- Vovk B., 1929. Działanie fosforytu w zależności od wysokości dawki i nawożenia azotowego. Roczn. Nauk. Roln. Leśn. 22, 89-135.
- Whole effluent toxicity testing: An evaluation of methods and prediction of receiving system impacts. 1995. Eds D.R. Grothe, K.L. Dickson, D.K. Red-Judkins. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Wielebski F., Muśnicki Cz., 1998. Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozydów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego w warunkach doświadczeń polowych. Roczn. AR Pozn. 303, 156.
- Witek T., 1979. Wpływ jakości gleby na plonowanie roślin uprawnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 224, 35-43.

HORMESIS AND EFFECTIVITY OF PLANT PRODUCTION

Summary. In the paper was presented possibility of differentiation of crops in plant production due to hormesis phenomenon. It was stated that additional doses of mineral fertilization are compatible to hormesis phenomenon.

Key words: agricultural economics, plant production, intensity of production, hormesis

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.03.2009

Do cytowania – For citation: Szarek S., 2009. Efekt hormetyczny a efektywność produkcji roślinnej. J. Agribus. Rural Dev. 2(12), 209-219.