

ISBN 83-88031-97-X

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION



Ewa Stanisławska-Głubiak

ANALIZA WYBRANYCH CZYNNIKÓW
DETERMINUJĄCYCH EFEKTY
DOLISTNEGO NAWOŻENIA
MOLIBDENEM W UPRAWIE
RZEPAKU OZIMEGO

ROZPRAWA HABILITACYJNA

MONOGRAFIE
I ROZPRAWY
NAUKOWE

7

PUŁAWY

2003

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION

Dyrektor: prof. dr hab. *Seweryn Kukula*

Redaktor serii: doc. dr hab. *Adam Harasim*

Recenzent
prof. dr hab. *Jan Łabętowicz*

Opracowanie redakcyjne: dr *Irena Marcinkowska*

Nakład 250 egz., B-5, zam. 14/F/03
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

Ewa Stanisławska-Głubiak

ANALIZA WYBRANYCH CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH
EFEKTY DOLISTNEGO NAWOŻENIA MOLIBDENEM
W UPRAWIE RZEPAKU OZIMEGO

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY	9
3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ	18
3.1. Lokalizacja i metodyka prowadzenia doświadczeń	18
3.2. Warunki klimatyczne	20
3.3. Warunki glebowe	21
3.4. Obliczenia statystyczne	25
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA	27
4.1. Poziom plonów i skład chemiczny nasion	27
4.2. Analiza czynników determinujących plonotwórcze działanie molibdenu	34
4.2.1. Zasobność gleby w Mo a efekty nawożenia tym mikroelementem	34
4.2.2. Efekty nawożenia Mo w zależności od odczynu gleby	36
4.2.3. Efekty nawożenia Mo w zależności od kategorii agronomicznej gleby	40
4.2.4. Efekty nawożenia Mo w zależności od kompleksów glebowo-rolniczych	42
4.2.5. Wpływ rejonu uprawy na efekty nawożenia Mo	44
4.2.6. Łączny wpływ czynników glebowo-klimatycznych na efekty nawożenia Mo	46
4.3. Wpływ dawki i terminu nawożenia Mo na efekty plonotwórcze	52
4.4. Wpływ nawożenia Mo na zawartość tego składnika w nasionach	56
4.5. Wpływ nawożenia Mo na biologiczny plon białka	59
5. WNIOSKI	61
6. LITERATURA	62
7. STRESZCZENIE	68
ZAŁĄCZNIKI	70

1. WSTĘP

Rzepak jest rośliną, która zyskuje na świecie coraz większe znaczenie gospodarcze. Jego nasiona stanowią bowiem cenny surowiec nie tylko do produkcji oleju jadalnego i margaryn, ale również oleju technicznego, a nawet paliw. W ostatnim okresie wzrasta światowy popyt na ester metylowy oleju rzepakowego, który z powodzeniem może być stosowany jako paliwo do silników (71, 77).

W wyniku wieloletnich prac hodowlanych stare odmiany rzepaku zostały podwójnie ulepszone. W pierwszym etapie hodowli uzyskano odmiany tzw. jednozerowe – „0”, które zostały pozbawione szkodliwego dla człowieka kwasu erukowego, a następnie doprowadzono do zmniejszenia zawartości glukozyolanów w nasionach (odmiany dwuzerowe – „00”), dzięki czemu produkty uboczne po ekstrakcji oleju mogą być wykorzystywane w bezpośrednim żywieniu zwierząt oraz do produkcji wysokobiałkowych komponentów pasz. Prowadzone są próby wyhodowania odmian tzw. potrójnie ulepszonych „000” ze zmniejszoną ilością łuski, co poprawi wartość pastewną śruty rzepakowej.

Olej rzepakowy, jak dowodzą badania żywieniowe, charakteryzuje się unikalnym stosunkiem kwasów tłuszczowych, który sprzyja obniżaniu poziomu cholesterolu i lipidów we krwi oraz regulacji ciśnienia, co zapobiega chorobom naczyń wieńcowych serca. Poziom niekorzystnych dla zdrowia nasyconych kwasów tłuszczowych w oleju rzepakowym jest najniższy wśród powszechnie dostępnych dla konsumenta olejów roślinnych. Równocześnie jest on najbogatszy w jednonienasycone kwasy tłuszczowe, przewyższając pod tym względem nawet oliwę z oliwek (3, 4).

Zasięg uprawy rzepaku na świecie stopniowo się powiększa. Uprawia się go nie tylko w klimacie umiarkowanym, sprzyjającym tej roślinie, ale również w klimacie cieplejszym jako plon wtóry po soi, bawełnie i orzeszkach ziemnych (75). W latach 90. w niektórych rejonach USA zaczęto uprawiać go zamiast zbóż. W Kanadzie rzepak często uważany jest za roślinę bardziej opłacalną niż pszenica (12). Według danych FAO (cyt. za 78) z ogólnej powierzchni uprawy rzepaku na świecie najwięcej, bo około 60%, przypada na Azję, a tylko 16% (4 mln ha) na Europę, gdzie największy udział w zasiewach mają kraje północne i zachodnie (Francja, Niemcy, Wielka Brytania) oraz Polska, Rosja i Czechy. W Polsce powierzchnia zasiewów rzepaku i rzepiku w 2000 roku wynosiła 437 tys. ha i zmniejszyła się w stosunku do ubiegłego roku o prawie 100 tys. ha (84, 90). Wielkość plonów nasion w Polsce znacznie odbiega od poziomu uzyskiwanego w krajach Unii Europejskiej, gdzie średnio zbiera się 3,1 t z hektara (78). Grzebisz i Gaj (47) podają, że w naszym kraju w latach 90. średnie plony w doświadczeniach COBORU kształtowały się w zakresie 4,0–4,5 t z hektara, podczas gdy na plantacjach produkcyjnych rzadko przekraczały 1,6–2,5 t z ha. Plony oszacowane w 2000 roku na 21,9 t z ha były nawet nieco niższe w stosunku do uzyskiwanych na początku lat 90. (84, 90). Oznacza to, że w praktyce polscy rolnicy zbierają tylko około 50% plonu wyznaczonego możliwościami obecnie uprawianych odmian, a 25 % plonu teoretycznie możliwego do osiągnięcia, który określany jest na

9,0 t z hektara (47). Wobec tych faktów należałoby zastanowić się nad sposobami podniesienia plonów rzepaku w naszym kraju. Jednym z elementów maksymalizacji plonów jest z pewnością właściwe nawożenie tej rośliny.

Wiadomo, że zapotrzebowanie rzepaku na makroelementy, w tym również na magnez i siarkę, jest bardzo duże (118), natomiast o jego wymaganiach w stosunku do mikroelementów w literaturze światowej jest stosunkowo mało informacji. Podkreśla się jednak szczególną wrażliwość rzepaku na niedostatek boru, jak również wspomina się o średnim zapotrzebowaniu na molibden roślin z rodziny *Cruciferae*, do której należy rzepak (11, 58, 93). Według literatury amerykańskiej (108) rzepak, obok innych roślin krzyżowych oraz strączkowych, charakteryzuje się wysoką wrażliwością na niedobór tego składnika.

Z bilansu mikroelementów sporządzonego dla warunków krajowych (17) wynika, że w klasycznym systemie nawożenia, w którym stosowany jest obornik współrzędnie ze stałymi nawozami mineralnymi, pokrycie potrzeb roślin na molibden jest wystarczające tylko dla średniego poziomu plonów. Przy plonach o 50% wyższych niż średnie krajowe deficyt molibdenu wynosi około 20% w stosunku do potrzeb pokarmowych. Sytuacja jest znacznie gorsza w innych systemach nawożenia, gdzie obornik nie jest stosowany. Na przykład w zintegrowanym systemie nawożenia wieloskładnikowymi płynnymi nawozami zawiesinowymi deficyt ten kształtuje się w zależności od poziomu plonowania odpowiednio na poziomie około 50% i 70%. Dane te zostały wyliczone po uwzględnieniu struktury zasiewów w kraju, a więc dla warunków z dużym udziałem zbóż (67%). Pokrycie zapotrzebowania rzepaku na molibden jako rośliny bardziej wymagającej pod tym względem niż zboża jest z pewnością jeszcze mniejsze. Wiąże się z tym również fakt, że w warunkach naszego kraju, gdzie gleby zakwaszone stanowią blisko 60% areалу, przyswajalność molibdenu dla roślin jest ograniczona. Rzekpak, który nie zawsze bywa uprawiany w warunkach optymalnego odczynu gleby, może więc często odczuwać niedostatek tego składnika. Badania prowadzone na początku lat 90. dotyczące rozpoznania zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w kraju wykazały, że udział próbek rzepaku o niskiej zawartości molibdenu wynosił 15% (32, 94).

Uzupełnienie niedoborów molibdenu jest możliwe zarówno poprzez nawożenie doglebowe, jak i dolistne, a niekiedy donasienne. Z uwagi na bogate ulistnienie rzepaku, metoda dolistnego nawożenia rokuje nadzieję na korzystne rezultaty. Nawożenie dolistne ma tę przewagę nad doglebowym, że można go stosować interwencyjnie w razie stwierdzenia niedostatecznej zawartości mikroelementu w roślinach, co zapewnia bardzo szybkie pobranie brakującego składnika. Stosując dolistne nawożenie unika się strat, jakie powstają przy nawożeniu doglebowym wskutek uwsteczniania i wymywania składników. Dawki dolistne mogą być wielokrotnie niższe niż doglebowe, co ma pewne znaczenie ekonomiczne, jak również ekologiczne. Ponadto istnieje możliwość łączenia dolistnego nawożenia z zabiegami ochrony roślin (76), co również daje wymierne korzyści finansowe wynikające z ograniczenia liczby zabiegów agrotechnicznych.

Znajdujące się obecnie na rynku dolistne nawozy mikroelementowe przeznaczone do dokarmiania rzepaku, produkowane przez różne firmy zagraniczne i krajowe, zawierają zwykle azot, magnez i siarkę oraz pełen zestaw mikroelementów. Jednak zawartość molibdenu w tych nawozach kształtuje się na poziomie 0,005–0,007% (19). Przy zalecanej do kilkukrotnego stosowania w czasie wegetacji łącznej ilości około 5–5,5 t tych nawozów na hektar, sumaryczna dawka molibdenu wynosi zaledwie 0,35 g Mo, co w zestawieniu z potrzebami rzepaku jest ilością wielokrotnie za małą. Pobranie tego mikroelementu przez rzepak wynosi bowiem około 0,10 g na 100 kg plonu nasion wraz z odpowiednią ilością słomy (26). Właściwą dawkę tego mikroelementu można więc zastosować tylko w formie skoncentrowanej soli technicznej o zawartości 40–50% czystego składnika.

Przedstawione wyżej argumenty dotyczące zarówno dużego znaczenia gospodarczego rzepaku ozimego, jak również ważnej roli molibdenu w żywieniu tej rośliny skłoniły autora do przeprowadzenia badań, których celem było:

- określenie wpływu dolistnego stosowania molibdenu w uprawie rzepaku ozimego na jego plony i skład chemiczny nasion,
- identyfikacja i analiza czynników środowiskowych wpływających na efekty plonotwórcze dolistnego nawożenia rzepaku molibdenem,
- określenie właściwej dawki i terminu dolistnej aplikacji molibdenu w uprawie rzepaku.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Molibden jest pierwiastkiem, którego funkcje wiążą się ściśle z metabolizmem azotowym. Jako składnik enzymu nitrogenazy jest niezbędny przy wiązaniu azotu cząsteczkowego zarówno dla organizmów wolno żyjących, jak i bakterii z grupy *Rhizobium* będących w symbiozie z roślinami motylkowatymi. W roślinach pierwiastek ten spełnia ważną rolę jako komponent reduktazy azotanowej, która uczestniczy w redukcji azotanów do azotynów, a więc w pierwszym etapie procesu tworzenia białek (88, 42). Mengel podaje (za 91), że przy nawożeniu 200–240 kg N · ha⁻¹ niedobór molibdenu prowadzi do akumulacji azotanów i zahamowania syntezy białka. Stwierdzono, że dolistne nawożenie roślin molibdenem powoduje zwiększenie aktywności obu wymienionych enzymów (13, 114).

Pierwiastek ten bierze udział również w innych procesach życiowych roślin, np. w przemianach fosforu i reakcjach oksydoredukcyjnych. Poprzez zmianę wartościowości stanowi ważne ogniwo w transporcie elektronów. Stwierdzono jego wpływ na syntezę chlorofilu, karotenu i produkcję kwasu askorbinowego (11, 88, 104). Zapotrzebowanie roślin na molibden, w porównaniu z innymi mikroelementami, jest bardzo małe. Najwięcej tego pierwiastka wymagają rośliny z rodziny motylkowatych i krzyżowych oraz inne żywione azotanami. Według Szukałskiego i in. (105) rzepak przy plonie 3 t nasion wraz ze słomą i korzeniami pobiera zaledwie 5 g Mo z hektara.

Zawartość molibdenu w roślinach wynosi najczęściej 0,2–2,0 mg Mo · kg⁻¹ s.m., zdarza się jednak, że jest znacznie wyższa. Według Bergmanna (8) zawartość sięgająca 0,5–1,0 mg · kg⁻¹ s.m. zapewnia normalny wzrost roślin. Ruszkowski i in. (88) twierdzą natomiast, że zapotrzebowanie fizjologiczne pokrywa na ogół zawartość 0,03–0,2 mg · kg⁻¹ s.m. Stężenie i akumulacja Mo w poszczególnych częściach rośliny zmienia się w okresie wegetacji i zależy od gatunku rośliny oraz od lokalizacji procesów fizjologicznych i biochemicznych, w których Mo bierze udział. Najzasobniejsze u roślin motylkowatych są brodawki korzeniowe, gdzie wiązany jest N₂, a w innych roślinach liście, w których zachodzi redukcja azotanów. Wyniki doświadczeń świadczą o tym, że w warunkach niesprzyjających tworzeniu się brodawek korzeniowych (np. deficyt miedzi) następuje zmniejszenie koncentracji molibdenu w brodawkach wskutek przemieszczenia Mo do części nadziemnych (92). Dolistne nawożenie molibdenem roślin motylkowatych okazuje się mieć wpływ na zwiększenie wielkości brodawek korzeniowych i ograniczenie procesu ich starzenia się (115).

W niektórych procesach metabolicznych występują antagonizmy molibdenu z innymi pierwiastkami, np. z miedzią. Molibden hamuje, a miedź zwiększa aktywność oksydazy cytochromowej i kwaśnej fosfatazy (cyt. za 40). W jednej z najnowszych prac z zakresu fizjologii roślin podaje się, że nieznaną jest do tej pory mechanizm przechodzenia molibdenu przez błony komórkowe (81). Wiadomo natomiast, że jego pobieranie jest aktywowane przez NO₃, a hamowane w obecności wolframu.

Zewnętrzne symptomy niedoboru Mo w pierwszej kolejności ujawniają się na liściach starszych i przypominają objawy głodu azotowego w związku z jego funkcją w asymilacji azotu. W warunkach niedoboru molibdenu zostaje zahamowany wzrost roślin, a następnie pojawia się chloroza między żyłkami i na obrzeżach liści, która prowadzi w końcu do żółknięcia i zasychania roślin. Ostry deficyt tego składnika powoduje zamieranie stożków wzrostu i ograniczenie kwitnienia.

Przypuszcza się, że molibden w roślinach, oprócz połączeń w układach enzymatycznych, tworzy również trudno rozpuszczalne związki kompleksowe, np. z antocyjanami lub taniną. Być może dlatego rośliny są na ogół mało wrażliwe na wysokie koncentracje Mo. Niekiedy nawet przy ponad stokrotnych różnicach koncentracji nie wykazują objawów toksyczności (88). Nadmierne pobieranie molibdenu może jednak działać hamująco na rozwój roślin i powodować obniżkę plonów (104). Poszczególne gatunki roślin różnią się bowiem odpornością na nadmiar tego pierwiastka. Do roślin wyjątkowo pod tym względem odpornych należy pomidor i bawelna. W badaniach Warchołowej i in. (117) rośliną o stosunkowo małej tolerancji okazała się gryka, ponieważ zaledwie dwukrotny wzrost stężenia Mo w roślinach w stosunku do optimum spowodował zewnętrzne objawy zatrucia i obniżkę jej plonów. Obserwowano również zahamowanie wzrostu, skrócenie międzywęźli, zmniejszenie powierzchni liści, a także przejściową chlorozę, zwłaszcza na najmłodszych liściach oraz zwiększenie ilości antocyjanów w pędach. Podobne objawy toksyczności molibdenu, tzn. zmianę koloru siewek kalafiora na purpurowy opisują Vitosh i in. (116).

Zbyt duża zawartość molibdenu w roślinach pastewnych jest niebezpieczna przede wszystkim dla zwierząt, szczególnie przeżuwaczy. Toksyczny poziom koncentracji Mo zależy od zawartości miedzi, siarki oraz wolframu i wynosi około $10 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Za tolerowaną zawartość Mo w zielonce uważa się na ogół $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nadmiar Mo w paszy zakłóca przyswajanie i wykorzystanie miedzi, wywołując jej niedobór u zwierząt. Ze względów paszowych prawidłowy stosunek Cu : Mo w roślinach nie powinien wynosić mniej niż 4 : 1 (63).

W glebie molibden występuje w niewielkich ilościach w porównaniu z pozostałymi mikroelementami. Zakres najczęściej występujących zawartości całkowitych w glebach świata wynosi $0,1\text{--}8 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$, a w glebach Polski $1\text{--}5 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ (53). Najwięcej tego pierwiastka zawierają mady, a najmniej czarne ziemie i gleby płowe (15, 16, 38, 80). Rozmieszczenie molibdenu w profilu glebowym nie jest równomierne i w pewnym stopniu zależy od typu gleby. Na ogół w glebach płowych gromadzi się on w warstwach głębszych, podczas gdy w glebach brunatnych zasobniejsza jest warstwa wierzchnia. Mady natomiast wykazują małe zróżnicowanie zawartości Mo w profilu. Stwierdza się pewną korelację zawartości molibdenu ze składem granulometrycznym gleby. Wraz ze wzrostem ilości frakcji spławialnej wzrasta zawartość molibdenu w glebie. Szczególnie ubogie w ten pierwiastek są warstwy piasku luźnego (15, 16, 62).

Molibden występuje w glebie w następujących grupach połączeń: 1) związany wewnątrz krystalicznej siatki pierwotnych i wtórnych minerałów glebowych, 2) związany z materią organiczną, 3) jako anion molibdenianowy wymiennie zaadsorbowany przez koloidy glebowe, 4) w połączeniach rozpuszczalnych w wodzie. Molibden zawarty w minerałach jest niedostępny dla roślin. Pewna część Mo związana z materią organiczną, w połączeniach z kwasami huminowymi oraz fulwowymi, może być pobierana przez rośliny stosunkowo łatwo (cyt. za 40). Najważniejszą rolę w odżywianiu roślin odgrywają aniony molibdenianowe rozpuszczone w roztworze glebowym oraz związane wymiennie na powierzchni koloidów glebowych. Molibden w roztworze glebowym (Mo aktywny) występuje w bardzo niewielkich stężeniach od 10^{-8} do $8 \cdot 10^{-8} \text{ mg} \cdot \text{dcm}^{-3}$, przede wszystkim jako anion MoO_4^{2-} . Przy pH poniżej 4,5 pojawiają się również jony HMoO_4^- oraz H_2MoO_4 (29). Według Tisdale i Nelsona (108) przy pH powyżej 4,2 dominuje anion MoO_4^{2-} .

Rośliny pobierają molibden z roztworu glebowego w formie anionu MoO_4^{2-} lub HMO_4^- na zasadzie przepływu z wodą lub dyfuzji. Przy koncentracjach Mo w roztworze poniżej 4 ppb dominującym sposobem transportu tego pierwiastka do korzeni jest dyfuzja (108). Wymienna adsorpcja molibdenu zachodzi na powierzchni minerałów ilastych oraz na uwodnionych tlenkach żelaza i glinu. Mechanizm takiego wiązania molibdenu polega na adsorpcji polarnej czyli wymianie powierzchniowych grup OH przez jony molibdenianowe, które znajdują się w roztworze. Gorlach (40) podaje, że adsorpcja anionu molibdenianowego przez minerały ilaste wzrasta wraz z kwasowością środowiska aż do pH 2,2. W miarę wzrostu wartości pH adsorpcja staje się coraz słabsza, zwiększa się natomiast koncentracja

cja jonów molibdenianowych w roztworze glebowym. Uważa się, że przy pH powyżej 7,5–8 sorpcja w ogóle nie zachodzi (30, 40). Jones (cyt. za 40) uważa, że największe znaczenie w wiązaniu molibdenu mają związki żelaza. Stwierdził on, że uwodniony tlenek żelaza przewyższa znacznie tlenek glinu w zdolności sorbowania anionu molibdenianowego, a ten z kolei niektóre minerały ilaste. Podobnie jak w przypadku minerałów ilastych wiązanie anionu molibdenianowego przez uwodnione tlenki żelaza i glinu zależy od pH oraz stężenia molibdenu w roztworze. Adsorpcja na tlenkach żelaza zachodzi silnie przy pH poniżej 5,0, co odpowiada punktowi izoelektrycznemu tych związków (30). W modelowych badaniach nad wiązaniem molibdenu przez materiały amorficzne stwierdzono, że przy pH roztworu 7,0 wodorotlenki glinu wiązały silniej i więcej Mo niż wodorotlenki żelaza (50).

Drugim sposobem wiązania molibdenu przez związki żelaza i glinu jest prawdopodobnie reakcja wolnych jonów tych pierwiastków, znajdujących się w roztworze glebowym, z anionami molibdenianowymi, w wyniku czego wytrącają się trudno rozpuszczalne molibdeniany żelaza i glinu. Oba te sposoby wiązania molibdenu, wytrącanie i adsorpcja, mogą występować w glebach silnie kwaśnych. W glebach, gdzie ilości żelaza i glinu w roztworze są niewielkie molibden ulega głównie adsorpcji. Jony molibdenianowe związane początkowo wymiennie przez koloidalne tlenki żelaza mogą z czasem wskutek krystalizacji przechodzić w formę bardziej stabilną, niewymienną.

Niektórzy autorzy uważają, że przyswajalność molibdenu dla roślin jest związana ściśle z naturą i losem połączeń żelaza w glebie (cyt. za 40). Badania Henkensa (48), który prowadził doświadczenia na glebach glejowych o dużej zawartości Fe, jak również Karimiana i Coxa (14, 57) dowodzą, że o przyswajalności molibdenu dla roślin decyduje nie tylko odczyn gleby, ale również zawartość różnych form żelaza w glebie i ich wzajemny stosunek, szczególnie niektórych izomorficznych tlenków i wodorotlenków tego pierwiastka. Jaakola (cyt. za 54) podaje, że w glebach z dużą zawartością wolnych tlenków żelaza może wystąpić deficyt molibdenu. Na niedobory Mo, których należy się spodziewać w glebach zabagnionych z dużą ilością żelaza, zwracają uwagę również Vitosh i in. (116).

Przechodzenie molibdenu z połączeń rozpuszczalnych w słabo rozpuszczalne i odwrotnie związane jest również z procesami oksydoredukcyjnymi zachodzącymi w glebie. Molibden sześciowartościowy, istniejący w formie anionu, w środowisku o dużych właściwościach redukujących, np. w warunkach kwaśnego odczynu lub nadmiernego uwilgotnienia gleby, może przechodzić w formy o niższych wartościowościach, tworząc połączenia trudniej rozpuszczalne nie tylko z żelazem, ale z innymi kationami. Przy zmianie warunków molibden utlenia się z powrotem do sześciowartościowego.

Odczyn gleby oraz zawartość tlenków żelaza i glinu należą do najważniejszych czynników decydujących o przyswajalności molibdenu dla roślin. Pewien pośredni wpływ może mieć również zasobność gleby w łatwo rozpuszczalne związki fosforowe. Jony fosforanowe wymieniają bowiem zasorbowane przez glebę jony molibdenianowe, wypierając je do roztworu glebowego. Ponadto uważa się, że

w odczynie kwaśnym jony fosforanowe mogą wiązać żelazo w związki trudno rozpuszczalne. Ogranicza to w pewien sposób możliwości tworzenia związków żelaza z molibdenem, z których Mo jest trudno dostępny dla roślin (48, 108). Badania Stouta oraz Barshada (cyt. za 40) dowodzą, że dodatni wpływ jonów fosforanowych polega również na stymulacji pobierania molibdenu przez roślinę na drodze tworzenia anionów molibdenianowo-fosforanowych, które są łatwiej pobierane niż sam anion molibdenianowy. Natomiast badania Gorlacha i in. (44) prowadzone w kulturach wodnych nie wykazały bezpośredniego wpływu fosforanów na zwiększenie pobierania Mo. Wielu autorów stwierdziło zależność zawartości molibdenu w roślinie od zawartości przyswajalnego fosforu w glebie bądź wzrost koncentracji Mo pod wpływem nawożenia fosforem (7, 72, 99, 103, 120). Nie we wszystkich badaniach dodatni wpływ fosforu na pobieranie molibdenu został potwierdzony (40, 48, 85). Niekiedy uzyskiwano nawet efekt odwrotny, zwłaszcza na glebach obojętnych lub zasadowych. Panuje pogląd, że fosfor może zwiększać pobranie molibdenu tylko na glebach kwaśnych. Ruszkowska (85) stwierdziła na glebach kwaśnych wzrost zawartości molibdenu w pomidorach i lucernie po zastosowaniu nawożenia fosforem, natomiast na glebie o odczynie bliskim obojętnemu wyraźny spadek koncentracji molibdenu w roślinach pod wpływem dawki fosforu. Kilkakrotnie zwiększona koncentracja Mo w roślinach po zwapnowaniu gleby została obniżona wskutek nawożenia fosforem. Z uwagi na to, że suma pobranego molibdenu na ogół zwiększała się pod wpływem dawek fosforu, autorka sugeruje tzw. efekt rozcieńczenia. Bingham i Gaber (cyt. za 85) próbują natomiast tłumaczyć to zjawisko wytrącaniem molibdenianu na skutek obniżania pH przy wysokich dawkach fosforu.

Wpływ na pobieranie molibdenu, obok fosforu, mogą mieć również inne pierwiastki. Do jonów hamujących ten proces należą jony siarczanowe. Siarczany obniżają pobieranie molibdenu przez rośliny, ale przede wszystkim na glebach kwaśnych, natomiast na glebach alkalicznych mogą one wpływać stymulująco na jego pobieranie. Mechanizm tego zjawiska zachodzi prawdopodobnie przy pobieraniu jonów przez rośliny, które mają podobną wielkość i taki sam ładunek (40, 54, 104, 108). W badaniach indyjskich (49) nawożenie roślin krzyżowych siarką powodowało obniżenie pobrania i zawartości w roślinach molibdenu. Ostatnie badania rosyjskie (110) dowiodły, że istnieją zależności między molibdenem, siarką i selenem. Stwierdzono, że zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nie nawożonego tym składnikiem była jednakowa zarówno na tle nawożenia siarką, jak i bez tego tła, natomiast dawka selenu powodowała niewielką obniżkę koncentracji Mo niezależnie od tła siarkowego. W nasionach rzepaku nawożonego molibdenem obecność siarki powodowała dwukrotne obniżenie zawartości Mo w wariacie bez nawożenia selenem oraz sześciokrotne przy nawożeniu tym składnikiem.

Pierwiastki ograniczające pobieranie molibdenu to, obok siarki, również miedź i mangan. Mechanizm tych zjawisk nie jest do końca wyjaśniony. Może on dotyczyć zarówno procesów fizjologicznych zachodzących w samej roślinie, jak i etapu pobierania pierwiastków z gleby. Według McKay'a i in. (cyt. za 54) antago-

nizm manganu i molibdenu polega na tym, że nadmiar jednego z nich wywołuje niedobór drugiego poprzez interferencje w procesach enzymatycznych. Henkens (48) uważa, na podstawie własnych badań, że molibdeniany w glebie wchodzi w reakcje z manganem, tworząc związki mniej dostępne dla roślin. Według Gorchacha (40) wyniki badań na temat wzajemnych relacji manganu i molibdenu są kontrowersyjne i świadczą o różnych wpływach pośrednich. Cytowani przez niego autorzy (Anderson, Spenser i Arnot oraz Mulder) stwierdzili po dodaniu manganu do gleby niedobór Mo w roślinach objawiający się spadkiem asymilacji wolnego azotu względnie zmniejszeniem pobierania azotu azotanowego oraz ustąpienie tych objawów po nawożeniu Mo. W badaniach Warchołowej i in. (117) nawożenie manganem gryki powodowało spadek zawartości molibdenu zarówno w liściach, jak i w nasionach. Gembarzewski i Sienkiewicz (34) stwierdzili, że zwiększanie się stosunku Mn : Mo w kupkowiec powodowało spadek jej plonów. Inni autorzy otrzymali wyniki odmienne, tzn. wzrastające dawki Mn powodowały wzrost zawartości molibdenu w roślinach. Według Kircha i in. (cyt. za 40) antagonizm lub synergizm między Mo i Mn ujawnia się pośrednio przez inne współdziałania, np. z żelazem. Ruszkowska (86) sugeruje, że znaczenie ma stosunek żelaza do manganu w glebie. Poziom aktywnego żelaza Fe^{+2} , które łatwo wiąże molibden glebowy w związek nieprzyswajalny dla roślin kontrolowany jest przez mangan (11, 48, 108). Pierwiastek ten, mając wysoki potencjał oksydoredukcyjny utlenia Fe^{+2} do Fe^{+3} . Przy nadmiarze manganu stężenie Fe^{+2} ulega zmniejszeniu.

Objawy niedoboru molibdenu u roślin występują najczęściej na glebach kwaśnych, co jest spowodowane jego ograniczoną przyswajalnością. Na ogół zwapnowanie gleby usuwa deficyt molibdenu, ale w przypadku jego małej ogólnej zawartości w glebie konieczne może być nawożenie tym pierwiastkiem. Wiele wyników doświadczeń świadczy o pozytywnych efektach stosowania Mo w nawożeniu roślin. Pierwsze przypadki wykrycia ostrego niedoboru Mo miały miejsce w 1942 r. w Australii. Nawożenie tym mikroelementem spowodowało wzrost plonów *Trifolium subterraneum* L. z 0,31 do 3,34 t s.m. · ha⁻¹ (23). Obecnie w Australii corocznie nawozi się molibdenem blisko milion hektarów użytków rolnych. W Republice Południowej Afryki rutynowo zaprawia się związkami molibdenu wszystkie nasiona kukurydzy sprzedawanej z przeznaczeniem do siewu (2). W doświadczeniach na bardzo kwaśnych glebach wzrost plonów soi traktowanej molibdenem sięgał 170% i nawet po zwapnowaniu gleby uzyskano jeszcze 14% wyżkę plonów nasion wskutek nawożenia Mo (2, 48). Henkens (48) w wyniku nawożenia molibdenem buraków cukrowych stwierdził wyżki plonów dochodzące do 60%. Gorchach i in. (45) uzyskali około 26% wzrost plonów rzepaku wskutek nawożenia Mo, a Sienkiewicz-Cholewa i Gembarzewski (95) na podstawie syntezy wyników z 9 doświadczeń przeprowadzonych na różnych glebach stwierdzili średnią wyżkę plonów nasion tej rośliny na poziomie około 1 t · ha⁻¹. W badaniach Krause i in. (61) uzyskano istotne przyrosty plonów nasion bobiku nawożonego

wzrastającymi dawkami molibdenu. Stanisławska-Głubiak (99) w syntezie z 12 doświadczeń, prowadzonych w warunkach górskich, stwierdziła istotną wyżkę plonów siana koniczyny czerwonej po zastosowaniu dogłębowego nawożenia molibdenem.

W celu określenia potrzeb nawożenia molibdenem stosowano różne metody: mikrobiologiczne z użyciem kropidlaka (*Aspergillus niger*) jako organizmu testowego oraz chemiczne opierające się na analizie roślin lub gleby. Test roślinny opiera się na założeniu, że istnieje ścisła zależność między zawartością przyswajalnego Mo w glebie a jego koncentracją w roślinach. Nie zawsze jednak metoda ta jest wiarygodna. Zdarza się bowiem, że mimo dostatecznej zawartości tego pierwiastka w tkankach, rośliny reagują wyżką plonów na nawożenie Mo (26, 99). Gorlach (40, 41) zaproponował inny test roślinny polegający na ocenie zasobności gleby w przyswajalny molibden na podstawie koncentracji N-NO₃ w rzepaku zebranym w 28 dniu wegetacji, licząc od wschodów. Lepszą przydatność tego testu do oceny zasobności gleby w przyswajalny molibden niż metody analizy gleby stwierdziła Wiśniowska-Kielian (120).

Najwięcej uwagi poświęcono jednak testom glebowym, które polegają na ekstrakcji molibdenu z gleby wybranym rozpuszczalnikiem, a następnie oznaczeniu jego zawartości w otrzymanym wyciągu. Do oznaczania Mo w wyciągu stosuje się metody kolorymetryczne (rodankowa lub ditiolowa), rzadziej spektrograficzne (79). Do ekstrakcji przyswajalnego molibdenu z gleby proponowano bardzo wiele odczynników, między innymi, octan amonu, mieszaninę kwasu octowego, octanu amonu i siarczanu amonu, EDTA, 1% KCl, 1% K₂CO₃ i inne. Próby obejmowały również ekstrakcję gorącą wodą (68), żywicowymi wymiennicami jonowymi (9) oraz AB-DTPA (97).

W latach 50. Nowozelandczyk Grigg wprowadził metodę oznaczania ruchomego Mo opartą na ekstrakcji z gleby roztworem Tamma – szczawianem amonu zbuforowanym do pH 3,3. Metoda Grigga mimo rozpowszechnienia jej na całym świecie była często krytykowana. Sam autor stwierdził jej małą wartość diagnostyczną (cyt. za 11). W Polsce stosowana była w wersji zmodyfikowanej przez Gorlacha (39). Niektórzy autorzy określali metodę Grigga jako mało przydatną do oceny zawartości molibdenu dostępnego dla roślin z powodu braku korelacji między zawartością rozpuszczalnej formy Mo w glebie, oznaczonej tą metodą, a jego koncentracją w roślinach (35, 37) lub pobraniem przez rośliny (55, 31, 37). Ruszkowska i Łyszcz (87) wykazały natomiast, że metoda ta dawała dość zgodne wyniki z testem roślinnym (kalafiory) w glebach niedoborowych, ale nie wykrywała nadmiarów Mo w glebach. Objawy niedoboru molibdenu występują najczęściej na glebach kwaśnych, a więc gleby te powinny zawierać mniej molibdenu rozpuszczalnego w odczynniku szczawianowym, niż gleby lekko kwaśne i obojętne. Z badań Gorlacha (40) wynika, że gleby kwaśne zawierały przeciętnie więcej molibdenu oznaczonego metodą Grigga niż gleby o wyższym pH. Dubiel (24) stwierdził w trzech typach gleb (czarnej ziemi, płowej i madzie), że za-

wartość molibdenu przyswajalnego oznaczonego w wyciągu szczawianowym zwiększała się wraz ze wzrostem pH gleby, ale tylko do 5,5. Najmniejsze ilości Mo znajdowały się w klasach pH od 5,6 do 6,5 i od 6,6 do 7,2. Nieco więcej było go w glebach o pH do 4,5, a najwięcej, gdy pH zawierało się w granicach 4,6–5,5. Autor nie stwierdził korelacji między zawartością przyswajalnego molibdenu w glebie a wartościami pH.

Z wielu badań wynika, że oprócz pH gleby na frakcję molibdenu przechodzącego do wyciągu szczawianowego nie mają wpływu takie czynniki, jak zawartość fosforu w glebie lub poziom nawożenia tym pierwiastkiem (25, 111, 119), a także zawartość próchnicy i CaCO_3 oraz skład granulometryczny gleby (25). Niekiedy stwierdzano dodatnią korelację z ilem koloidalnym (119) lub częściami spławialnymi (24). Badania dynamiki ilościowych zmian molibdenu przechodzącego do wyciągu Grigga wykazały, że zawartości tej frakcji Mo nie zmieniały się w czasie (111). Wyciąg ten jest bowiem silnym ekstraktozem, za pomocą którego nie stwierdza się również zmian rozpuszczalności Mo spowodowanych wapnowaniem gleby (40). Prawdopodobnie ekstrahuje on oprócz łatwo przyswajalnych form molibdenu również jego związki z tlenkami żelaza, które są dla roślin niedostępne (14, 40, 48, 108, 119). Gorlach (40) stwierdził, że reakcja rzepaku na nawożenie molibdenem w większym stopniu zależała od odczynu gleby niż od zawartości przyswajalnego molibdenu ekstrahowanego szczawianem amonu. Doświadczenia te wskazywały na konieczność uwzględnienia pH przy wycenie zasobności gleby w przyswajalny molibden oznaczony metodą Grigga. W Niemczech, na podstawie doświadczenia wazonowego z lucerną, opracowano tzw. liczbę molibdenową (L-Mo). Wycena zasobności gleby w molibden za pomocą liczby molibdenowej polega na dodaniu wartości pH gleby, oznaczonej w $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$, do dziesięciokrotnie zwiększonej zawartości Mo oznaczonej w wyciągu szczawianowym. W Polsce L-Mo stosowano przez wiele lat aż do 1986 r., kiedy to wprowadzono wspólny dla wszystkich mikroelementów wyciąg Rinkisa $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ (36). Gembarzewski i in. (31, 37) wyliczyli na podstawie badań Gorlachów i Karkanisa (45), że pobranie Mo przez lucernę w I pokosie było ujemnie skorelowane z zawartością Mo w glebie ($r = -0,70^{**}$), a dodatnio z L-Mo ($r = 0,52^*$) i z pH gleby ($r = 0,58^*$). Podobnie dla rzepaku korelacja zwyczajki plonu na dawce Mo była mniejsza z liczbą molibdenową niż z samą wartością pH ($r = -0,58^*$ i $-0,68^*$). Natomiast na podstawie wyników badań Ruszkowskiej (85) wykazano brak zależności między liczbą molibdenową a zwyczajką plonu kalafiora nawożonego molibdenem. W badaniach opartych na dużym materiale pochodzącym z tzw. gospodarstw kontrolnych IUNG nie stwierdzono zależności koncentracji Mo w buraku cukrowym od liczby molibdenowej, jak również od innych cech gleby (35).

W badaniach niemieckich z rzepakiem ani liczba molibdenowa, ani odczyn gleby nie stanowiły dobrego kryterium do diagnozy potrzeb nawożenia molibdenem (29). W warunkach, gdy liczba molibdenowa wynosiła 8,2 lub przekraczała tę wartość, co świadczy o wysokiej zawartości tego pierwiastka w glebie (91), uży-

skiwano przyrosty plonów nasion rzepaku wskutek dolistnego nawożenia Mo. W niektórych przypadkach stwierdzano obniżki plonów, mimo że wartość L-Mo wskazywała na średnią zawartość molibdenu w glebie. Reakcja rzepaku na nawożenie Mo, wyrażająca się przyrostem plonu nasion, wystąpiła zarówno w warunkach pH = 5,6, jak i przy pH = 7,0.

W badaniach tych istotne korelacje między zawartością molibdenu w liściach a zawartością przyswajalnego molibdenu w glebie (wg Grigga), pH gleby oraz liczbą molibdenową uzyskano tylko w jednym roku badań. Kształtowały się one odpowiednio na poziomie $r = +0,30$, $r = +0,37$, $r = +0,39$. Współczynniki te świadczą o małej przydatności podanych parametrów do diagnozowania potrzeb nawożenia rzepaku molibdenem, a liczba molibdenowa nie jest w tym względzie lepszym wskaźnikiem, niż samo pH gleby.

W Polsce od roku 1986 w rutynowych analizach zawartości przyswajalnego molibdenu w glebie stosowany jest roztwór Rinkisa $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-1} \text{ HCl}$. Na materiale pochodzącym z doświadczeń wazonowych Faber (26) porównywał wyniki oznaczeń zawartości przyswajalnego molibdenu w glebie wg metod Grigga i Rinkisa. Dla żadnej z tych metod nie stwierdził związku między zawartością Mo w glebie a plonem nasion grochu. Autor udowodnił, że zawartości Mo w glebie oznaczone tymi metodami były słabo ze sobą skorelowane ($r^2 = 0,20^*$), a więc szacowanie zawartości Mo wg jednej metody na podstawie wyników drugiej jest niemożliwe. Większą przydatność metody Grigga, jak również L-Mo niż ekstrakcji $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-1} \text{ HCl}$ do diagnozowania potrzeb nawozowych pszenicy stwierdził Zeleny (124).

W ramach poszukiwania nowych metod oznaczania przyswajalnych form molibdenu w glebie badania amerykańskie rozwinęły się w kierunku udoskonalenia metody Grigga (67). Według tych badań ilości Mo ekstrahowane roztworem szczawianu amonu o pH = 3,3 z gleby traktowanej różnymi dawkami tego mikroelementu nie różniły się istotnie. Dopiero roztwory szczawianowe o podwyższonym pH (w zakresie od 5,2 do 6,4) pozwalały uzyskać istotnie różniące się wyniki ekstrakcji. Najwyższe korelacje między pobraniem molibdenu przez tytoń i soję a ilością Mo ekstrahowaną z gleby szczawianem amonu uzyskano przy pH roztworu równym 6,0.

Aktualnie w świecie wzrasta zainteresowanie metodami oznaczania składników przyswajalnych przy użyciu tzw. łagodnych roztworów, które ekstrahowałyby z gleby ilości pierwiastka zbliżone do pobieranych przez roślinę (31). Obiecującą metodą diagnostyki potrzeb nawożenia mikroelementami może być również analiza chemiczna roztworu glebowego. Badania przeprowadzone przez Łabętowicz i Rutkowską (69, 70) świadczą o tym, że wymagania pokarmowe roślin uprawnych pokrywają się, a często są mniejsze w stosunku do ilości mikroelementów jakie znajdują się w roztworze glebowym warstwy ornej. Określenie ich stężenia w roztworze glebowym, po przeprowadzeniu odpowiedniej kalibracji, może być wykorzystane w diagnostyce nawożenia mikroelementami. W odniesieniu do

molibdenu, przy bardzo małych stężeniach tego mikroelementu jakie stwierdza się w roztworze glebowym, oznaczenie takich zawartości nie jest możliwe dotychczas stosowanymi metodami kolorymetrycznymi. Zastosowanie mogą mieć jedynie nowoczesne techniki pomiarowe, do których należy AAS z kuetwą grafitową oraz spektrometria wykorzystująca właściwości indukcyjne sprzężonej plazmy (ICP).

3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ

3.1. LOKALIZACJA I METODYKA PROWADZENIA DOŚWIADCZEŃ

Badania wykonano na polach produkcyjnych rzepaku ozimego na terenie 8 województw o największym w kraju udziale tej rośliny w strukturze zasiewów (rys. 1). Doświadczenia prowadzono w okresie dwóch lat (1987 i 1988), odpowiednio w 16 i 17 punktach doświadczalnych. Materiał badawczy obejmował łącznie wyniki z 33 doświadczeń. Uprawiano odmiany zrejonizowane, w większości bezrukową *Jet Neuf*, a w niektórych przypadkach dwuzerową *Jantar*.

Przy wyborze pól nie kierowano się szczególnie zasobnością gleby w przyswajalny molibden bądź innym parametrem. Celem takiego postępowania było uzyskanie różnorodnego materiału badawczego nadającego się do analizy regresji oraz oceny statystycznej wyników. Na polach produkcyjnych, prowadzonych przez Wojewódzkie Ośrodki Doradztwa Rolniczego, w łanach rosnącego rzepaku ozimego, jesienią wytyczono doświadczenia ściśle w 4 powtórzeniach, w układzie dwuczynnikowym split-plot z jednym obiektem kontrolnym. Powierzchnia poletka przy zakładaniu wynosiła 40 m², a do zbioru 25 m².

Schemat doświadczeń był następujący:

obiekt kontrolny – bez nawożenia Mo

czynnik I – terminy oprysku Mo;

1/ wiosną kilka dni po ruszeniu wegetacji

2/ początek formowania łodygi

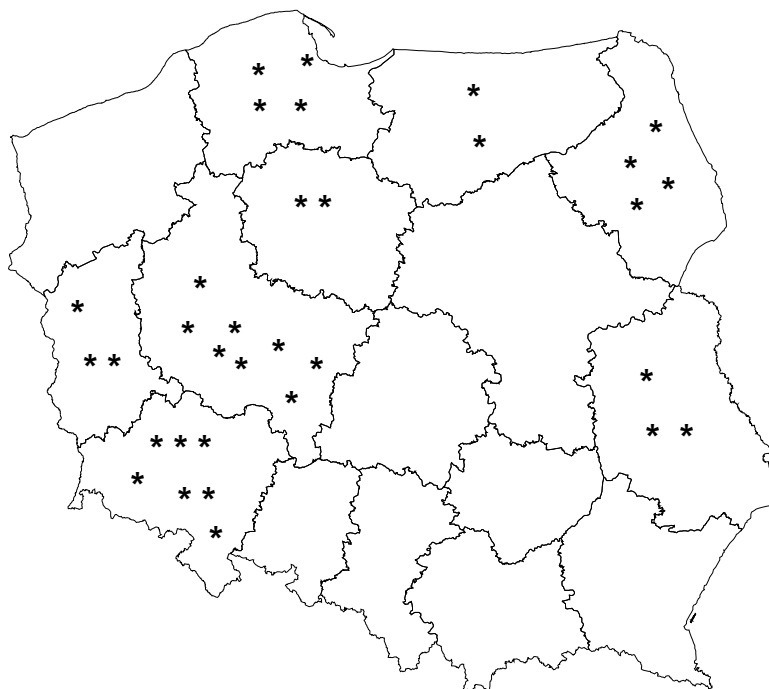
czynnik II – dawki molibdenu;

1/ 30 g Mo · ha⁻¹

2/ 60 g Mo · ha⁻¹

3/ 120 g Mo · ha⁻¹.

Przy ustalaniu wielkości dawek molibdenu kierowano się następującymi przesłankami. Szukałski (104) zaleca, bez względu na gatunek rośliny uprawnej, dawkę dolistną 40 g Mo · ha⁻¹ w 500 l roztworu. Postanowiono sprawdzić reakcję rzepaku na podobne stężenie molibdenu, jak również na zwiększony poziom nawożenia Mo, mając na uwadze specyfikę liści rzepaku. Są one bowiem pokryte woskowym nalotem, co może utrudniać pobieranie składników pokarmowych z ich powierzchni. Zastosowanie zbyt niskiej dawki Mo mogłoby więc być nieefektywne. Zgodnie z metodą propagowaną przez Aasena (1) stosowanie zwiększonych dolistnych dawek mikroelementów prowadzi w pewnym stopniu do wzbogacenia gleby w te



Rys. 1. Lokalizacja doświadczeń
Localization of experiments

składniki, ponieważ przy ich aplikacji część dawki zamiast na liście dostaje się od razu do gleby. Ponadto w przypadku rzepaku część składników pobrana przez roślinę wraca do gleby wraz z resztkami poźniwnymi. Przy stosowaniu zwiększonego poziomu nawożenia Mo w uprawie rzepaku nie istnieje niebezpieczeństwo przekroczenia dopuszczalnych koncentracji w roślinie z punktu widzenia norm paszowych, jak to się zdarza po nawożeniu roślin motylkowatych (99, 100, 101, 104). Skład chemiczny nasion jest bowiem w znacznym stopniu uwarunkowany genetycznie, a pozostałych części rośliny nie przeznaczają się na paszę dla zwierząt.

Pola produkcyjne, na których wytyczono doświadczenia ściśle były nawożone dawkami NPK zgodnie z zaleceniami IUNG dla rzepaku. Jesienią zastosowano fosfor i potas oraz częściowo azot, którego dawka została uzupełniona wiosną. Nawożenie rzepaku molibdenem w formie wodnego roztworu molibdenianu amonu o zawartości 54% Mo przeprowadzono wiosną przy bezwietrznej pogodzie za pomocą opryskiwacza plecakowego. W czasie zabiegu sąsiednie pola przykrywano folią.

Wiosną, bezpośrednio przed zabiegiem nawożenia Mo, pobierano próbki glebowe jako średnie obiektowe z 4 pól. Próbki roślinne, które stanowiły nasiona rzepaku, pobierane były podczas zbioru. Zbiór prowadzono z całej powierzchni

poletek za pomocą kombajnu zbożowego lub kombajnu poletkowego w zależności od wyposażenia WOPR. Nasiona z każdego poletka zbierano do oddzielnych worków, wagowo określano plon, a następnie pobierano średnią obiektową próbkę (z 4 worków) do analizy chemicznej.

Badania laboratoryjne materiału glebowego i roślinnego wykonano metodami stosowanymi w stacjach chemiczno-rolniczych (74). W glebach oznaczano skład granulometryczny według Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz przyswajalne formy fosforu i potasu metodą Egnera-Riehma, a magnezu metodą Schachtschabela. Mikroelementy (B, Mo, Mn, Cu i Zn) ekstrahowano we wspólnym wyciągu 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$, a następnie oznaczano kolorymetrycznie (B, Mo) lub metodą ASA. W próbkach roślinnych po mineralizacji na mokro oznaczono zawartość azotu ogólnego metodą Kjeldahla, fosforu – metodą wanadomolibdenianową, potasu i wapnia – metodą spektrofotometrii płomieniowej oraz magnezu – metodą ASA. Ponadto, po przeprowadzeniu mineralizacji na sucho oznaczono zawartość molibdenu metodą rodankową, boru – metodą z dwuantrymidem oraz zawartość miedzi, cynku i manganu – metodą ASA.

3.2. WARUNKI KLIMATYCZNE

Poszczególne rejony kraju, gdzie zlokalizowano punkty doświadczalne, jak również lata badań różniły się przebiegiem pogody. Średnie temperatury powietrza, jak również sumy opadów w okresach najbardziej krytycznych jeśli chodzi o zapotrzebowanie rzepaku na wodę, tzn. w fazie kiełkowania i wschodów oraz w czasie wegetacji wiosenno-letniej, przedstawiono w tabelach 1 i 2.

W pierwszym roku (1986/1987) tylko niektóre rejony kraju charakteryzowały się mniejszymi opadami w porównaniu ze średnią z wielolecia (tab. 1). Dość znaczne niedobory wody w glebie w okresie wschodów rzepaku wystąpiły w zielonogórskim i lubelskim, a nieco mniejsze były w poznańskim.

Na pozostałych obszarach objętych badaniami sumy opadów w pierwszym okresie krytycznym kształtowały się na ogół na poziomie wyższym niż średnia wieloletnia. W okresie wiosenno-letnim natomiast, w którym rzepak jest znacznie bardziej wrażliwy na suszę niż w fazie wschodów, dużo mniejsze opady w porównaniu ze średnią z wielolecia wystąpiły w lubelskim oraz w mniejszym niedoborze w białostockim. Średnie miesięczne temperatury powietrza na całym obszarze, gdzie prowadzono doświadczenia były na ogół niższe od średnich wieloletnich (tab. 2). Szczególnie niskie temperatury notowano w styczniu 1987 r.

W drugim roku badań (1987/1988) w okresie wschodów rzepaku opady były w normie bądź powyżej średniej wieloletniej (tab. 1). Znaczne niedobory wody zanotowano tylko w białostockim. Natomiast w okresie rozwoju wiosenno-letniego susza wystąpiła na zachodzie Polski (wrocławskie, zielonogórskie) oraz w rejonie Torunia. Temperatury powietrza zarówno w zimie, jak i w okresie wegetacji rzepaku kształtowały się na ogół nieco powyżej średnich wieloletnich (tab. 2).

Tabela 1

Sumy opadów w okresie wegetacji rzepaku ozimego (mm)
Sums of precipitation in vegetation period for winter rape (mm)

Rok Year	Miesiące; Months			
	VIII–IX	IV–VI	VIII–IX	IV–VI
	Białystok		Gdańsk	
Średnia wieloletnia; Many year means	126	161	135	134
1986/1987	126	141	166	131
Odchylenie; Deviation	0	-20	+31	-3
1987/1988	93	163	164	163
Odchylenie; Deviation	-33	+2	+29	+29
	Poznań		Toruń	
Średnia wieloletnia; Many year means	102	154	103	154
1986/1987	87	180	121	180
Odchylenie; Deviation	-15	+26	+18	+26
1987/1988	162	172	152	126
Odchylenie; Deviation	+60	+18	+49	-28
	Zielona Góra		Lublin	
Średnia wieloletnia; Many year means	121	165	121	177
1986/1987	84	177	91	111
Odchylenie; Deviation	-37	+12	-30	-66
1987/1988	141	105	108	171
Odchylenie; Deviation	+20	-60	-13	-6
	Wrocław		Olsztyn	
Średnia wieloletnia; Many year means	119	173	128	164
1986/1987	181	166	-	-
Odchylenie; Deviation	+62	-7	-	-
1987/1988	118	100	145	172
Odchylenie; Deviation	-1	-73	+17	+8

3.3. WARUNKI GLEBOWE

Rzepak uprawiany był na glebach średnich i ciężkich (16 i 4 doświadczenia), jak również na lekkich (13 doświadczeń). W przeważającej części należały one do typu gleb brunatnych właściwych lub gleb płowych o znacznym zróżnicowaniu wartości pH, które wahały się w granicach od 4,1 do 7,1 (tab. 3). Najwięcej doświadczeń przeprowadzono na glebach kwaśnych i lekko kwaśnych (tab. 4).

Gleby punktów doświadczalnych charakteryzowały się szerokim zakresem wartości poszczególnych składników pokarmowych (tab. 3).

Wyceny zawartości przyswajalnych makro- i mikroelementów w glebach dokonano na podstawie tzw. indeksów. Indeks wyraża się stosunkiem stwierdzonej analitycznie zawartości składnika w glebie do dolnej granicy przedziału zawartości wysokiej (makroelementy) lub średniej (mikroelementy), przyjętej zgodnie z obowiązującymi liczbami granicznymi. Dolną wartość graniczną tych przedziałów przyjęto za 100%. W przypadku mikroelementów przedział zawartości średniej w gle-

bie został wyznaczony z uwzględnieniem zakresu zawartości optymalnej w roślinie wg kryteriów Bergmanna (8, 33), przy którym nawożenie już nie jest konieczne. W przypadku makroelementów przedziały zasobności gleb nie były kalibrowane na podstawie takich norm, stąd zawartość średnia makroskładnika w glebie nie zawsze determinuje zaopatrzenie rośliny w stopniu optymalnym. Na ogół przy średniej zawartości makroelementów w glebie powinno się jeszcze nimi nawozić. Z tego powodu do wyliczenia indeksu zasobności gleby w makroelement przyjęto

Tabela 2

Średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie badań (°C)
Monthly means air temperatures in the experimental period (°C)

Rok Year	Miesiące; Months										
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	
Białystok											
Średnia wieloletnia Many year means	12,2	7,1	2,3	-2,0	-4,8	-4,2	-0,3	6,6	12,4	18,7	
1986/1987	9,7	6,9	4,0	-1,8	-15,1	-2,6	-4,3	5,4	11,6	15,0	
Odchylenie; Deviation	-2,5	-0,2	+1,7	+0,2	-10,3	+1,6	-4,0	-1,2	-0,8	-3,7	
1987/1988	11,3	7,0	2,6	-0,7	-1,6	-1,3	-1,1	5,7	14,5	16,2	
Odchylenie; Deviation	-0,9	-0,1	+0,3	+1,3	+3,2	+2,9	-0,8	-0,9	+2,1	-2,5	
Gdańsk											
Średnia wieloletnia Many year means	13,3	8,5	3,8	0,0	-2,4	-2,0	1,1	5,8	10,8	15,5	
1986/1987	10,9	8,7	5,6	0,8	-11,4	-1,7	-2,6	5,8	9,1	14,0	
Odchylenie; Deviation	-2,4	+0,2	+1,8	+0,8	-9,0	+0,3	-3,6	0	-1,7	-1,5	
1987/1988	12,3	8,6	4,0	1,7	0,7	0,5	0,8	5,8	12,7	15,6	
Odchylenie; Deviation	-1,0	+1,0	+0,2	+1,7	+3,1	+2,5	-0,3	0	+1,9	+0,1	
Toruń											
Średnia wieloletnia Many year means	13,0	8,0	3,4	-0,6	-2,9	-2,3	1,3	6,8	12,3	16,8	
1986/1987	10,8	8,4	5,2	0,5	-12,1	-1,4	-2,6	7,2	11,0	15,3	
Odchylenie; Deviation	-2,2	+0,4	+1,8	+1,1	-9,3	+0,9	-3,9	+0,4	-1,3	-1,5	
1987/1988	12,5	8,8	4,2	1,0	1,1	1,0	1,1	7,1	15,0	16,6	
Odchylenie; Deviation	-0,5	+0,8	+0,8	+0,5	+3,2	+3,3	-0,2	+0,3	+2,7	-0,2	
Poznań											
Średnia wieloletnia Many year means	13,4	8,6	3,7	-0,1	-2,2	-1,4	2,1	7,4	12,7	17,0	
1986/1987	11,1	8,7	5,5	1,1	-9,6	-0,8	-1,5	7,9	11,3	15,3	
Odchylenie; Deviation	-2,3	+0,1	+1,8	+1,2	-7,4	+0,6	-3,6	+0,5	-1,4	-1,7	
1987/1988	13,5	9,3	4,8	1,3	2,5	2,0	1,9	7,9	15,0	16,1	
Odchylenie; Deviation	+0,1	+0,7	+1,1	+1,4	+4,7	+3,4	-0,2	0	+2,3	-0,9	
Zielona Góra											
Średnia wieloletnia Many year means	13,7	8,9	3,8	0,1	-1,9	-0,9	2,6	7,6	12,6	16,7	
1986/1987	11,3	9,2	5,8	0,9	-8,9	-1,1	-1,2	8,5	10,9	14,7	
Odchylenie; Deviation	-2,4	+0,3	+2,0	+0,8	-7,0	-0,2	-3,8	+0,9	-1,7	-2,0	
1987/1988	13,8	9,0	4,6	1,1	2,3	1,7	1,4	8,2	14,7	15,8	
Odchylenie; Deviation	+0,1	+0,1	-1,2	+1,0	+4,2	+2,6	-1,2	+0,6	+2,1	-0,9	

cd. tab. 2

Lublin										
Średnia wieloletnia Many year means	12,7	7,9	3,1	-1,1	-3,9	-2,9	0,9	7,5	12,9	16,8
1986/1987	10,6	7,4	4,0	-2,1	-13,1	-1,9	-3,9	6,2	11,7	15,8
Odchylenie; Deviation	-2,1	-0,5	+0,9	-1,0	-9,2	+1,0	-3,0	-1,3	-1,2	-1,0
1987/1988	12,3	7,9	3,3	-0,9	-0,7	-0,7	-0,2	6,6	14,2	15,5
Odchylenie; Deviation	-0,4	0	+0,2	+0,2	+3,7	+2,2	+1,1	+0,4	+1,3	-1,3
Wrocław										
Średnia wieloletnia Many year means	13,5	8,7	4,1	0,3	-1,9	-0,9	2,7	7,9	12,7	16,7
1986/1987	11,7	9,3	5,2	1,0	-9,4	-1,4	-0,8	8,5	11,4	15,6
Odchylenie; Deviation	-1,8	+0,6	+1,1	+0,7	-7,5	-0,5	-3,5	+0,6	-1,3	-1,1
1987/1988	14,6	9,4	5,1	1,6	2,8	2,2	2,3	8,2	14,9	16,3
Odchylenie; Deviation	+1,1	+0,7	+1,0	+1,3	+4,7	+3,1	-0,4	+0,3	+2,2	-0,4
Olsztyn										
Średnia wieloletnia Many year means	12,4	7,6	2,7	-1,2	-3,9	-3,3	0,3	6,1	11,6	16,0
1987/1988	11,8	8,1	3,1	0,4	-0,6	-0,1	-0,1	6,3	14,0	16,0
Odchylenie; Deviation	-0,6	+0,5	+0,4	+1,6	+3,3	+3,2	-0,4	+0,2	+2,4	0,0

Tabela 3

Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych w glebach punktów doświadczalnych
(mg · kg⁻¹)

Content of available forms of the nutrients in the soils of experimental sites in mg · kg⁻¹

Parametr Parameter	pH	P	K	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Wartość najmniejsza Minimum	4,1	15,0	28,0	14,0	0,35	1,00	57,0	0,025	3,0
Wartość największa Maximum	7,1	170,0	382,0	100,0	1,95	10,00	350,0	0,210	39,4
Średnia arytmetyczna Average	5,6	57,8	141,1	47,3	0,67	3,02	140,2	0,069	8,3
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,8	28,7	86,2	4,6	0,39	1,39	68,0	0,047	7,2
Średnia geometryczna Geometric mean	5,5	52,0	120,8	40,8	0,60	2,56	126,1	0,058	6,9
Mediana Median	5,6	54,9	124,1	42,0	0,54	2,50	116,0	0,055	6,5
Modalna Mode	5,0	54,9	116,2	72,0	0,40	2,50	200,0	0,030	5,0

dolną granicę przedziału zawartości wysokiej. Uważa się, że w glebie występuje niedobór składnika, gdy jego indeks wynosi $<100\%$. Biorąc pod uwagę fakt, że liczby graniczne zawartości mikroelementów w glebie nie uwzględniają zawartości bardzo niskiej, przyjęto wartość indeksu $<50\%$ jako wskazującą na „ostry” niedobór mikroskładnika.

Przy wyliczaniu indeksów zawartości składników pokarmowych w glebach poszczególnych punktów doświadczalnych posługiwano się programem komputerowym SoilFert, który służy do oceny zasobności gleb w makro- i mikroelementy (64, 65). Program prezentuje dane w sposób liczbowy oraz graficzny, umożliwiające kompleksową ocenę stanu zasobności gleb. Z danych zawartych w tabeli 4 wynika, że 29% gleb punktów doświadczalnych charakteryzowało się niską lub bardzo niską zawartością fosforu, a 25% i 54% doświadczeń niską lub bardzo niską zawartością potasu i magnezu. Spośród mikroelementów najbardziej deficytowy okazał się bor, którego niedobór w glebie wystąpił w 75% doświadczeń, z tego około 20% gleb charakteryzowało się jego ostrym niedoborem. W dalszej kolejności stwierdzono niedobory miedzi (18% doświadczeń) oraz molibdenu (14%, z tego połowa doświadczeń charakteryzowała się ostrym niedoborem).

Tabela 4

Struktura procentowa doświadczeń w zależności od odczynu i zasobności gleb w składniki pokarmowe
Experiments depending on pH and soil fertility in %

Zasobność gleby Soil fertility	P	K	Mg	B*	Cu	Mn	Mo	Zn	Odczyn gleby Soil reaction	
Bardzo niska Very low	7	7	18						bardzo kwaśny very acid	12
Niska Low	22	18	36	75 (14)*	18	3	14 (7)**	4	kwaśny acid	36
Średnia Medium	43	47	36	25	71	86	75	78	lekko kwaśny slightly acid	36
Wysoka High	21	14	10	-	11	11	11	18	obojętny neutral	16
Bardzo wysoka Very high	7	14	-						zasadowy alkaline	-

* wg skorygowanego indeksu dla rzepaku; acc. to corrected index for rape (94, 95)

** Indeks $<50\%$, – fertility index $<50\%$

3.4. OBLICZENIA STATYSTYCZNE

Wyniki doświadczeń zostały opracowane przy wykorzystaniu metod statystycznych. Wnioskowanie na temat różnic w plonach rzepaku między obiektami nawozowymi przeprowadzono na podstawie analizy wariancji dla doświadczeń wielokrotnych. W obliczeniach nie wydzielano osobno lat i miejscowości, lecz uwzględniono zmienność łączną obu tych czynników, ponieważ w każdym roku doświadczenia prowadzono w innym punkcie. Do zweryfikowania istotności analizowanych zmienności testem F-Snedecora korzystać z wariancji dla błędów odtworzonych z obliczeń pojedynczych doświadczeń. Program komputerowy AWAR, opracowany w IUNG Puławy, za pomocą którego dokonywano obliczeń analizy wariancji, nie porównuje wartości F^0 (F obl.) z wartością F teor. (odczytana z tablic Snedecora) przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, lecz oblicza poziom istotności dla funkcji testowej F^0 , co pozwala ocenić z jakim prawdopodobieństwem można odrzucić lub przyjąć hipotezę zerową o braku różnic między obiektami. Jeżeli poziom istotności $\alpha < 0,05$, to hipotezę zerową trzeba odrzucić. W tabelach z plonami oprócz średnich dla poziomów czynnika I i II podano wartości tzw. „kontrastu”, czyli różnicę w plonach między obiektem kontrolnym a średnią z obiektów nawożonych molibdenem. Poziom istotności „kontrastu” zaznaczano odpowiednią ilością gwiazdek. Trzy gwiazdki oznaczają istotność różnicy na poziomie $\alpha < 0,001$, dwie gwiazdki – $\alpha < 0,01$, jedna gwiazdka – $\alpha < 0,05$. Do szczegółowych porównań różnic między średnimi obiektowymi wykorzystano wielokrotny test Tukey’a. W tabelach z plonami obiekty nie różniące się istotnie oznaczono tą samą literą. Dla czynnika I były to duże litery, a dla czynnika II – małe. Synteza wyników doświadczeń prowadzonych przez 2 lata w różnych miejscowościach pozwoliła odpowiedzieć na pytanie czy reakcja rzepaku na nawożenie Mo na poszczególnych obiektach nawozowych była różna w odmiennych warunkach środowiskowych i czy w danej serii doświadczeń można którykolwiek z obiektów uznać za lepszy od pozostałych. Bardzo ważna jest tu interpretacja wyników analizy wariancji. Jeśli interakcja obiektów ze zmiennością lat/miejscowości jest istotna ($\alpha < 0,05$), to oznacza, że rośliny reagowały niejednakowo i do dalszych obliczeń należy doświadczenia podzielić na grupy jednorodne. Podziału można dokonać na podstawie kryteriów przyrodniczych, np. w zależności od warunków glebowych czy meteorologicznych.

Statystycznej ocenie różnic w plonach między badanymi obiektami nawozowymi poddano zarówno wszystkie doświadczenia łącznie, jak również doświadczenia pogrupowane według wybranej cechy. Pierwszym kryterium grupowania był odczyn gleby punktu doświadczalnego. Jest on bowiem jednym z podstawowych czynników decydujących o przyswajalności molibdenu dla roślin. Doświadczenia pogrupowano, kierując się obowiązującymi klasami odczynu gleb. W pierwszej grupie znalazło się 16 punktów doświadczalnych zlokalizowanych na glebach o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym ($\text{pH} < 5,6$). Drugą grupę stanowiło 17 do-

świadczeń, gdzie rzepak był uprawiany na glebach lekko kwaśnych lub obojętnych ($\text{pH} \geq 5,6$). Dokonano również podziału według kompleksów glebowo-rolniczych na grupę obejmującą doświadczenia prowadzone na kompleksach pszennych, zalecanych dla uprawy rzepaku (16 doświadczeń) oraz mniej korzystnych kompleksach żytnich (17 doświadczeń). Odrębnej syntezy wyników dokonano także dla doświadczeń prowadzonych na glebach należących do różnych kategorii agronomicznych. Grupa charakteryzująca się glebami lekkimi (zawierającymi do 20% części spławialnych) obejmowała 13 doświadczeń. Pozostałe 20 doświadczeń stanowiło jedną grupę gleb średnich i ciężkich, ponieważ oddzielna grupa gleb ciężkich byłaby mało liczna. Ostatnim kryterium klasyfikacji był rejon uprawy, co wiąże się głównie z czynnikiem klimatycznym. Wyodrębniono grupę 9 doświadczeń położonych na wschodzie i północnym wschodzie Polski, gdzie temperatury w okresie zimowym są niższe niż w pozostałych rejonach, co wiąże się z dużym prawdopodobieństwem wystąpienia szkód mrozowych w uprawach rzepaku. Ponadto część doświadczeń w tym rejonie charakteryzowała się w latach badań gorszymi warunkami opadowymi w porównaniu ze średnią wieloletnią. W drugiej grupie zgromadzono 18 doświadczeń położonych na zachodzie i południowym zachodzie Polski, gdzie klimat jest bardziej sprzyjający dla uprawy rzepaku. Z obliczeń wyłączone sześć doświadczeń zlokalizowanych na północy kraju z uwagi na odmienność klimatyczną, która nie pozwalała na zaliczenie ich do żadnej z wymienionych grup.

W interpretacji wyników badań oprócz metody analizy wariancji posługiwano się również metodami analizy wielozmiennej, tzn. rachunkiem korelacji i regresji oraz metodą analizy skupień. Za pomocą programu komputerowego Statgraphics obliczono korelacje proste, czyli zbadano związki między różnymi cechami charakteryzującymi glebę i plon nasion rzepaku. Wyznaczono równania regresji opisujące zależności funkcyjne między zmienną zależną (np. zwyżka plonu) a zbiorem zmiennych niezależnych. Posługiwano się metodą krokową (step-wise), która polega na kolejnym usuwaniu zmiennych niezależnych z pierwotnego zbioru cech do momentu wybrania najlepszego podzbioru zmiennych objaśniających. Dla każdego modelu regresji obliczono również współczynnik determinacji wielokrotnej R^2 . Współczynnik ten, wyrażony w procentach, określa wielkość wpływu zmiennych niezależnych (X_1, X_2, \dots, X_n) ujętych w równaniu na zmienną zależną (Y) lub, inaczej mówiąc, jest miarą udziału zmienności objaśnionej przez regresję w całkowitej zmienności cechy Y . Współczynnik R^2 ocenia też dopasowanie modelu regresji do danych empirycznych. Pierwotny zbiór zmiennych niezależnych uwzględnionych w obliczeniach zawierał tylko te cechy, które były nieistotne lub słabo skorelowane ze sobą, a istotnie ze zmienną zależną. Podobnie, jak w przypadku analizy wariancji, program komputerowy wylicza poziom istotności α oszacowanych współczynników regresji i całego modelu. Poziom ten dla równania regresji zaznaczono odpowiednią ilością gwiazdek przy wartości R^2 dla równania.

Kolejną metodą analizy wielozmiennej zastosowaną w opracowywaniu wyników badań była estymacja podobieństwa badanych obiektów wielozmiennych i ich

grupowanie zwane analizą skupień. Metoda ta polega na podziale całego zbioru danych na określone podzbiory o wzajemnie podobnych elementach, zwane skupieniami. Podstawą analizy skupień jest macierz obserwacji wielowymiarowych $Y = \{y_{ij}\}$, ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, p$), gdzie n jest liczbą badanych obiektów, a p stanowi liczbę uwzględnionych cech. Macierz danych przekształca się w macierz odległości Euklidesa, gdzie szukane są skupienia danych najmniej odległych od siebie. Metody wyznaczania odległości mogą być różne. W niniejszej pracy korzystano z metody Warda, która polega na łączeniu takich dwóch skupień, dla których suma kwadratów odległości od środka nowego skupienia jest najmniejsza. Metoda ta prowadzi do uzyskania grup o zbliżonych liczebnościach, w obrębie których wariancja jest najmniejsza, a znacznie różni się między nimi.

4. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

4.1. POZIOM PŁONÓW I SKŁAD CHEMICZNY NASION

Możliwe do uzyskania w Polsce plony nasion rzepaku ozimego, w zależności od warunków glebowych i klimatycznych, wahają się w szerokich granicach od 1,9 do $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (47). W doświadczeniach własnych poziom plonów nasion rzepaku jaki uzyskano na obiektach kontrolnych bez nawożenia molibdenem kształtował się w zakresie $1,8\text{--}4,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a średnio dla wszystkich punktów doświadczalnych wynosił $2,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 5). Produkcyjność rzepaku jest wypadkową wielu czynników, zarówno przyrodniczych, jak i agrotechnicznych. Oprócz warunków glebowo-klimatycznych o plonie decyduje również przedplon, termin siewu, uprawa przed-siewna, ilość wysiewanych nasion, nawożenie, pielęgnacja i ochrona ładu. Uzyskanie odpowiedzi na pytanie, od czego zależał poziom plonowania rzepaku w doświadczeniach nie jest łatwe, ponieważ wielu z tych czynników nie da się ściśle przetransponować na dane liczbowe. Do takich należą chociażby stan roślin po przezimowaniu czy stopień porażenia chorobami oraz uszkodzenia spowodowane przez szkodniki. Szacuje się, że straty w plonie powodowane przez szkodniki wynoszą 15–50%, a niekiedy są przyczyną całkowitego zniszczenia plantacji (113). Szkodnikiem, który najwcześniej pojawia się na zasiewach rzepaku wiosną jest chowacz brukwiaczek. Uszkodzenia łodyg powodowane przez jego larwy, jak również chowacza czterozębnego, przyczyniają się do porażenia roślin chorobami, a szczególnie suchą zgnilizną roślin krzyżowych. W niektórych doświadczeniach własnych w dużym nasileniu wystąpiły szkodniki rzepaku, a ochrona okazała się mało skuteczna.

W pracy próbowano za pomocą rachunku korelacji i regresji określić, na ile wielkość plonu nasion zależała od właściwości fizykochemicznych gleby oraz od czynnika opadowego. W obliczeniach uwzględniono pH, zawartość części spławialnych i frakcji pyłu oraz zawartość makro- i mikroelementów w glebie, a także

Tabela 5

Plony nasion rzepaku z obiektów kontrolnych w t · ha⁻¹
Yields of rape from control treatments in t · ha⁻¹

Grupa doświadczeń Group of experiments	Liczba doświadczeń Number of experiments	Zakres Range	Średnia arytmetyczna Average	Mediana Median	Moda Mode	Odczylenie standardowe Std. deviation
Całość All	33	1,83–4,69	2,85	2,91	2,95	0,53
Kompleksy pszenne (1, 2) Wheat soil suitability complexes	16	1,94–4,19	2,89	2,84	2,69	0,59
Kompleksy żytnie (4, 5) Rye soil suitability complexes	17	1,83–4,69	2,81	2,88	2,95	0,72
Gleby lekkie Light soils	13	1,95–3,73	3,00	2,99	2,99	0,53
Gleby średnie Medium soils	16	1,83–4,69	2,67	2,55	2,38	0,65
Gleby ciężkie Heavy soils	4	2,47–3,83	3,22	3,28	3,12	0,58
Gleby bardzo kwaśne Very acid soils	5	2,38–2,88	2,60	2,54	2,54	0,19
Gleby kwaśne Acid soils	12	1,83–4,69	2,92	2,96	2,95	0,80
Gleby lekko kwaśne Slightly acid soils	11	1,94–3,83	2,78	2,79	3,17	0,63
Gleby obojętne Neutral soils	5	2,34–3,13	2,81	2,95	2,95	0,34
Rejon wschodniej Polski Eastern Poland	9	2,24–3,17	2,65	2,69	2,69	0,33
Rejon zachodniej Polski Western Poland	18	1,83–4,69	3,02	2,98	2,95	0,76

sumę opadów w okresie od sierpnia do czerwca. Nie uzyskano istotnych współczynników korelacji, jak również nie został stworzony model zależności plonu kontrolnego od wymienionych czynników. Pewne informacje na temat zależności plonowania rzepaku od warunków przyrodniczych uzyskano na drodze grupowania doświadczeń według kompleksu glebowo-rolniczego, kategorii agronomicznej i odczynu gleby oraz lokalizacji uprawy (tab. 5).

Kompleksy glebowo-rolnicze. W doświadczeniach własnych średnie plony nasion, wyliczone jako średnia arytmetyczna, na kompleksach pszennych były tylko minimalnie większe niż na kompleksach żytnich (2,89 i 2,81 t · ha⁻¹). Po przeanalizowaniu innych charakterystyk statystycznych, np. odchylenia standardowego, można stwierdzić ich większą zmienność na glebach kompleksów żytnich niż pszennych. Przyczyn należy doszukiwać się w większej zależności plonowania rzepaku na kompleksach żytnich od różnych czynników, np. pogodowych czy agrotechnicznych. Na glebach kompleksów pszennych natomiast z reguły stwierdza się większą wierność plonowania. Porównanie takich wskaźników statystycznych jak mediana, dzieląca zbiór danych na 2 części, czy modalna określająca wartość najczęściej występującą, pozwala stwierdzić, że wyższy poziom plonów osiągnano częściej na glebach kompleksów żytnich niż na pszennych (tab. 5).

Z literatury podręcznikowej wynika, że duże i wierne plony rzepaku uzyskuje się głównie na glebach kompleksu pszenno-bardzo dobrego i dobrego. Rzepak można również uprawiać na glebach kompleksu pszenno-górskiego oraz żytnio-bardzo dobrego, a nawet żytnio-dobrego. Pod jego uprawę nie nadają się gleby wytworzone z piasków, zaliczane do kompleksu żytnio-słabego i bardzo słabego (78, 113).

Kategoria agronomiczna gleby. Analiza plonowania rzepaku przeprowadzona z uwzględnieniem kategorii agronomicznej gleby wykazała, że na glebach ciężkich plon nasion był największy i wynosił średnio 3,22 t · ha⁻¹. Pewnym zaskoczeniem był wyższy poziom plonowania, jaki stwierdzono na glebach lekkich w porównaniu z osiągniętym na glebach średnich (3,0 i 2,67 t · ha⁻¹). Według Dzieżycy (cyt. za 47) średnio dla różnych rejonów klimatycznych w kraju, największe plony rzepaku uzyskuje się na glebach średnich i ciężkich. Jednakże dobry poziom plonowania jest osiągalny również na glebach lekkich, a w sprzyjających warunkach klimatycznych możliwe jest uzyskanie nawet do 4 ton nasion z hektara.

Dla doświadczeń pogrupowanych według kategorii agronomicznej gleby wykonano również obliczenia korelacji różnych czynników z plonem nasion. Na glebach lekkich wielkość plonów istotnie zależała jedynie od sumy opadów w okresie od sierpnia do czerwca ($r = 0,61^*$). Współczynniki korelacji plonu nasion z cechami charakteryzującymi fizykochemiczne właściwości gleby nie miały wprawdzie wymaganego poziomu istotności, ale stwierdzono pewną tendencję dodatniej zależności plonowania od zawartości w glebie frakcji części spławialnych i pyłu ($r = 0,46$ i $r = 0,34$) oraz ujemnej z zawartością cynku i manganu ($r = -0,48$ i $r = -0,47$). W grupie gleb średnich i ciężkich nie stwierdzono istotnej zależności plonowania od czynnika opadowego ani własności fizykochemicznych gleby.

Odczyn gleby. W doświadczeniach przeprowadzonych na glebach bardzo kwaśnych ($\text{pH} \leq 4,5$) uzyskano średnio najniższe plony przy najmniejszej ich zmienności (tab. 5).

Na glebach kwaśnych ($\text{pH} 4,6-5,5$) zarówno średnie plony, jak i ich zmienność były największe. Duża zmienność plonowania rzepaku na tych glebach być może wynika z tego, że klasa gleb kwaśnych obejmuje częściowo optymalne pH dla tej rośliny. Według Muśnickiego (78) odpowiedni dla uprawy rzepaku jest odczyn obojętny oraz obejmujący zakres pH od 5,1 do 6,5, czyli lekko kwaśny i częściowo kwaśny. Ciekawe badania prowadzili Barszczak i in. (5), w których oceniano masę siewek rzepaku rosnących na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych (pH w zakresie 4,1–5,5) oraz różnej zawartości glinu i manganu. Okazało się, że można wyróżnić odmiany, które charakteryzują się podwyższoną tolerancją na stężenie w podłożu jednego z tych pierwiastków lub obu jednocześnie. Fakt ten może wyjaśniać przypadki dobrego plonowania rzepaku mimo niskiego pH gleby.

Średni plon uzyskany w doświadczeniach na glebach lekko kwaśnych ($\text{pH} 5,6-6,5$) był niższy w porównaniu z uzyskanym na glebach kwaśnych, ale zmienność plonowania była tu mniejsza. Ponadto wartość najczęściej występująca (modalna) dla plonu na glebach lekko kwaśnych była większa niż na glebach kwaśnych. W grupie doświadczeń zlokalizowanych na glebach obojętnych stwierdzono większy średni plon nasion o stosunkowo małej zmienności w porównaniu z osiąganym w doświadczeniach na glebach lekko kwaśnych.

Rejon uprawy. Dogodność warunków klimatycznych dla uprawy rzepaku oziwego jest określana na podstawie dwóch okresów decydujących o jego plonowaniu. Jest to okres zimowy, w którym temperatura powietrza w połączeniu z okrywą śnieżną warunkuje przezimowanie roślin oraz okres wegetacji wiosennej, w którym łagodne i częste opady, a równocześnie umiarkowana temperatura sprzyjają wysokim plonom. Z badań Tomaszewskiej (109) przeprowadzonych z wykorzystaniem metod statystycznych dotyczących określania związku między wieloma wskaźnikami klimatycznymi a plonami rzepaku wynika, że w największym stopniu zależały one od wysokości temperatury i częstotliwości występowania temperatur poniżej -5°C w okresie zimowym oraz od sumy opadów wiosennych w kwietniu i w maju. Według Witkowskiego (121) miarą klimatycznej przydatności rejonu do uprawy rzepaku jest temperatura powietrza, zwłaszcza w zimie, oraz opady, szczególnie w okresie kwitnienia. Ze względu na duże zapotrzebowanie rzepaku na wodę dobre rezultaty daje uprawa w rejonach nadmorskich i podgórskich charakteryzujących się większą ilością opadów. Krzymuski i in. (66) za najkorzystniejsze rejonu do uprawy rzepaku uważają tereny północnej i północno-zachodniej części kraju, gdzie kumulują się dodatnie wpływy wilgotniejszego klimatu morskiego o stosunkowo łagodniejszym przebiegu zimy i dość wysoki poziom agrotechniki. Z badań tych autorów wynika, że południowy zachód był mniej korzystny dla uprawy rzepaku, choć główne czynniki siedliskowe (temperatura, opady, gleba) i agrotechniczne w zasadzie odpowiadają jego wymaganiom. W rejonie południowo-wschodnim warunki przyrodnicze są dość korzystne dla rzepaku, ale czyn-

nikiem ograniczającym jest poziom kultury rolnej i agrotechniki. Północno-wschodnia część kraju, głównie ze względów klimatycznych (wymarzenie), reprezentuje ograniczoną przydatność do uprawy rzepaku ozimego.

W grupie doświadczeń zlokalizowanych we wschodniej części kraju średnie plony rzepaku były rzeczywiście niższe przy jednocześnie mniejszej ich zmienności niż w rejonie zachodnim (tab. 5).

Oprócz poziomu plonów ocenie poddano również **skład chemiczny** nasion rzepaku z obiektów kontrolnych. Zawartość poszczególnych składników pokarmowych w nasionach wahała się w szerokich granicach zależnie od punktu doświadczalnego, z którego pochodził materiał roślinny (tab. 6). Wartości średnie kształtowały się na ogół podobnie, jak średnia krajowa z przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Nasiona z doświadczeń charakteryzowały się jedynie nieco mniejszą zawartością fosforu w porównaniu z dawną średnią krajową, a większą koncentracją wapnia oraz manganu, molibdenu i cynku. Zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nie nawożonego tym mikroelementem, średnio dla wszystkich doświadczeń, wynosiła $0,32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nie znaleziono żadnych istotnych korelacji między koncentracją molibdenu w nasionach a zawartością pozostałych składników, z wyjątkiem ujemnej korelacji z manganem ($r = -0,44^{**}$). Pewne tendencje

Tabela 6

Średnia zawartość składników pokarmowych w nasionach rzepaku z obiektów kontrolnych
Mean nutrient content in rape seeds from control treatments

Parametr Parameter	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
	% s.m.					$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.				
Wartość najmniejsza Minimum	2,40	0,40	0,60	0,25	0,20	6,8	2,0	28,0	0,09	23,0
Wartość największa Maximum	4,25	0,82	1,01	0,94	0,31	12,4	4,0	140,5	1,02	52,5
Średnia arytmetyczna Average	3,31	0,69	0,85	0,41	0,26	10,0	3,0	47,9	0,32	33,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,39	0,07	0,09	0,12	0,03	1,3	0,6	20,8	0,21	7,2
Średnia geometryczna Geometric mean	3,29	0,68	0,84	0,40	0,26	9,8	3,0	45,1	0,28	32,9
Mediana Median	3,30	0,70	0,85	0,42	0,26	10,0	3,0	43,0	0,31	32,3
Modalna Mode	2,81	0,72	0,81	0,43	0,28	10,2	4,0	36,0	0,20	29,5
Średnia krajowa* Domestic average (1966-1971)	3,30	0,73	0,85	0,39	0,26	9,8	3,1	40,2	0,28	29,8

* według Kamińskiej i in. (56); acc. to Kamińska at all (56)

można jednak zaobserwować interpretując wyniki analizy skupień. W zbiorze danych zostały wydzielone dwa skupienia, które różniły się średnią zawartością molibdenu w nasionach (tab. 7). W grupie doświadczeń o większej koncentracji tego składnika nasiona zawierały równocześnie więcej azotu, fosforu, potasu i boru, a mniej wapnia, manganu, cynku, miedzi i żelaza.

Tabela 7

Średnia zawartość składników pokarmowych w nasionach z obiektów kontrolnych w poszczególnych skupieniach
Mean nutrient contents in rape seeds from control treatments in clusters

Skupienie Cluster (n)	N	P	K	Ca	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	% s.m.				mg · kg ⁻¹ s.m.					
I (13)	3,40	0,72	0,90	0,35	11,10	2,83	62,4	38,80	0,39	28,20
II (19)	3,26	0,66	0,81	0,45	9,21	3,21	79,9	54,10	0,30	37,40

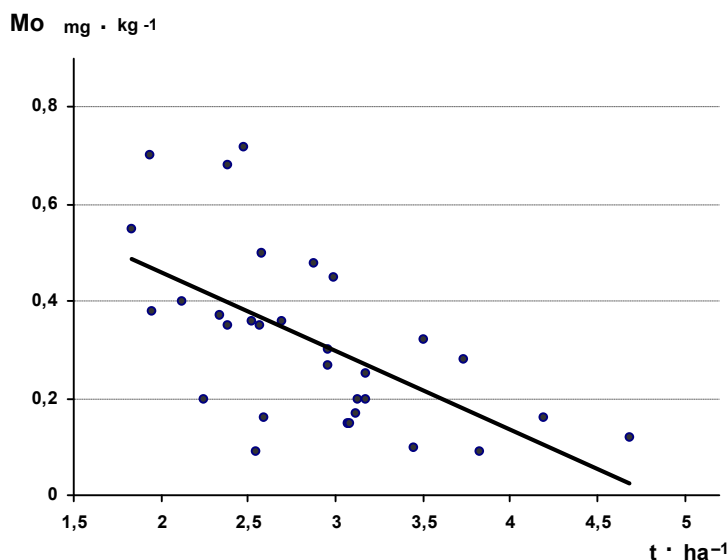
Badano również zależności korelacyjne między zawartością molibdenu w nasionach zebranych z obiektów kontrolnych a wielkością plonu oraz różnymi czynnikami glebowymi, jak: pH, zawartość przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie, zawartość części splawialnych i frakcji pyłu. Jedynie wielkość plonu nasion miała tu istotne znaczenie. Metodą regresji wielokrotnej został stworzony następujący model statystyczny:

$$y = 0,7828 - 0,1618 x \quad R^2 = 0,357 \quad ***, \quad n = 31$$

gdzie : y – zawartość Mo w nasionach obiektu kontrolnego w mg · kg⁻¹
x – wielkość plonu nasion w t · ha⁻¹

Według tego modelu wraz ze wzrostem plonu nasion zmniejszała się w nich koncentracja molibdenu (rys. 2), co jest zgodne ze znanym powszechnie zjawiskiem „rozcieńczenia”. Dodatkowo analizowano zależności krzywoliniowe. Nie uzyskano jednak większych współczynników R² niż dla funkcji prostej. Współczynnik determinacji dla wymienionej funkcji świadczy o tym, że 35% zmienności cechy, jaką jest zawartość molibdenu w nasionach związana była z wielkością plonów.

Według badań Rębowskiej (82) z ogólnej ilości molibdenu, pobranej przez rzepak, rośliny zgromadziły go głównie w nasionach i łuszczykach (po 38%). Spośród wszystkich mikroelementów nasiona rzepaku w największym stopniu kumulowały molibden i mangan. Badania tej autorki wykazały również, że koncentracja molibdenu w nasionach na poziomie 0,51 mg Mo · kg⁻¹ wzrastała w obiektach



Rys. 2. Wpływ poziomu plonowania na zawartość molibdenu w nasionach rzepaku
Influence of yielding level on molybdenum content in rape seeds

wapnowanych, ale nie ulegała obniżeniu wraz z postępującym zakwaszeniem gleby wskutek stosowania wyższych dawek NPK. W badaniach własnych nie stwierdzono zależności między pH gleby a koncentracją molibdenu w nasionach, zaś zmiany zawartości Mo związane były tylko z wielkością plonów. Podobny fakt obniżania się zawartości molibdenu wraz ze wzrostem poziomu plonowania stwierdzono dla ziarna pszenicy (102). Inne wyniki uzyskano natomiast w badaniach przeprowadzonych na 81 polach produkcyjnych rzepaku zlokalizowanych na terenie całego kraju (94). Stwierdzono, że zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nieznacznie wzrastała, w granicach 0,41–0,49 mg Mo · kg⁻¹, w miarę wzrostu plonów. Różnica w kierunkach zmian koncentracji Mo w nasionach wynika zapewne z różnego poziomu zaopatrzenia gleb w ten składnik. W doświadczeniach własnych średnia zawartość molibdenu w glebie wynosiła 0,069 mg · kg⁻¹ (tab. 3), podczas gdy w badaniach obejmujących 81 pól rzepaku zaopatrzenie gleb w molibden kształtowało się średnio na poziomie 0,11 mg Mo · kg⁻¹. Przepuszczalność w sytuacji, gdy pula dostępnego molibdenu w glebie jest dla roślin wystarczająca, jego zawartość w nasionach może wzrastać wraz ze wzrostem plonów, oczywiście w pewnych granicach wyznaczonych przez genotyp. Natomiast przy zawartości mikroelementu w glebie, która nie w pełni zaspokaja potrzeby roślin, następuje zjawisko rozcieńczenia, czyli obniżanie się koncentracji składnika w roślinie wraz ze wzrostem poziomu plonów. Jest to niekorzystne, ponieważ nasiona o obniżonej zawartości molibdenu mogą stanowić materiał siewny gorszej jakości.

Burkin (11) twierdzi, że im rośliny są słabiej odżywione molibdenem, tym

z reguły występują mniejsze różnice w zawartości tego pierwiastka w nasionach, liściach i łodygach. Przy deficycie składnika w glebie jest on kierowany do wszystkich organów roślin równomiernie, a dopiero przy większej jego podaży gromadzony w nasionach. W doświadczeniach lizymetrycznych Ruszkowskiej i in. (89) zawartość molibdenu w nasionach rzepaku zależała od rodzaju gleby i również była mniejsza przy wyższym poziomie plonowania, lecz tylko na ubogiej glebie piaszczystej. Na bardziej zasobnych glebach lessowej i gliniastej zależność taka nie wystąpiła. Nie można jednak wykluczyć, że w tych badaniach zmniejszenie koncentracji Mo w nasionach rzepaku było spowodowane obniżeniem pH gleby w wyniku zastosowania wyższych dawek NPK pod większe plony.

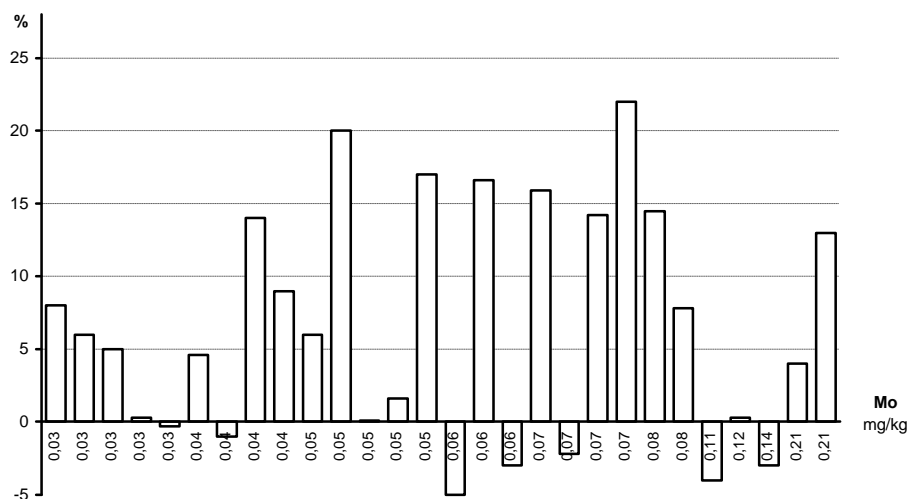
4.2. ANALIZA CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH PLONOTWÓRCZE DZIAŁANIE MOLIBDENU

4.2.1. Zasobność gleby w molibden a efekty nawożenia tym mikroelementem

W Polsce od roku 1986 w rutynowych analizach zawartości przyswajalnego molibdenu w glebie stosowany jest grupowy ekstrahent $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$. Zasadność stosowania tego roztworu do określania potrzeb nawożenia mikroelementami jest na ogół kwestionowana. Uznaje się jego przydatność do oceny raczej potencjalnych niż aktualnie przyswajalnych zawartości tych składników w glebach oraz do śledzenia ich zmian w dłuższych przedziałach czasowych (98). Badania własne częściowo potwierdziły ten pogląd. Określanie zawartości molibdenu w glebie z wykorzystaniem omawianego wyciągu okazało się nieprzydatne w przewidywaniu reakcji rzepaku ozimego na dolistne nawożenie Mo.

Zwyczaj plonów nasion, jak również przypadki obniżenia plonowania wystąpiły w całym zakresie wartości charakteryzujących zasobność gleby w molibden (rys. 3). Podobne wyniki uzyskał Faber (26). W warunkach doświadczeń polowych stwierdził istotny wzrost plonów pszenicy, buraków i kukurydzy wskutek nawożenia molibdenem przy szerokim zakresie zawartości przyswajalnego Mo w glebie, oznaczonego w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$. Przyrosty wystąpiły nawet w warunkach wysokiej zawartości tego pierwiastka w glebie.

Analiza zawartości przyswajalnej formy molibdenu w glebie stanowi obecnie poważny problem. Stacje chemiczno-rolnicze w kraju od pewnego czasu nie wykonują takich oznaczeń ze względu na małą wiarygodność wyników. Jest to spowodowane częściowo użyciem roztworu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$, który ekstrahuje zbyt mało molibdenu do oznaczeń techniką spektrofotometrii absorpcyjnej, a częściowo wadami spektrofotometrycznej metody rodankowej wynikającymi, między innymi, z małej stabilności kompleksu barwnego. Wynik oznaczeń jest obciążony dużym błędem, dochodzącym nawet do 50%, przy czym cała procedura analityczna jest niezwykle pracochłonna oraz uciążliwa ze względu na stosowany, szkodliwy dla zdrowia, czterochlorek węgla.

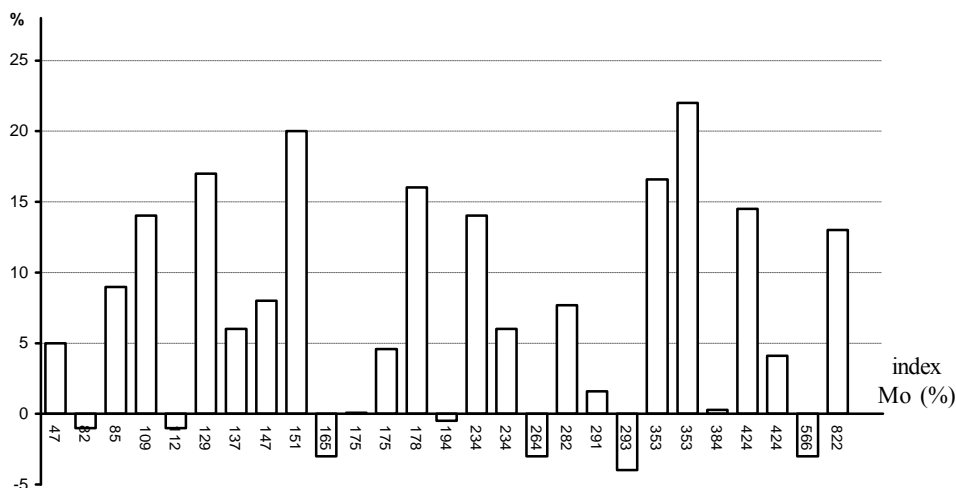


Rys. 3. Zwyżki plonów nasion rzepaku (%) po nawożeniu Mo w zależności od zawartości przyswajalnego molibdenu w glebie
Yield increases of rape seeds (%) after Mo application depending on Mo concentration in soil

W doradztwie nawozowym dotychczas nie ma wiarygodnej metody analizy gleby dla celów diagnozy potrzeb nawożenia Mo. Można posługiwać się bezwzględną zawartością Mo w glebie oznaczoną metodą Grigga, która wg Mengela i Kirkby (73) na poziomie poniżej $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uważana jest jako niedobór tego pierwiastka. Dysponujemy również liczbą molibdenową, która w wielu przypadkach okazała się miernym wskaźnikiem w przewidywaniu reakcji roślin na nawożenie Mo (29, 35), względnie liczbami granicznymi do wyciągu $1 \text{ mol} \cdot \text{dcm}^{-1} \text{ HCl}$, opracowanymi na potrzeby stacji chemiczno-rolniczych (33). Można również korzystać z wyników analizy części wskaźnikowych roślin oraz wyceny wg liczb Bergmanna (8) lub Jonesa i in. (52).

Niektórzy autorzy sugerują jednak, że liczby Bergmanna w odniesieniu do molibdenu są zaniżone i należałoby je skorygować (32, 94, 123). Dla rzepaku ozimego proponowane jest podniesienie dolnej granicy przedziału zawartości optymalnej w liściach z $0,40\%$ do $0,60\text{--}0,65\%$ (94).

W niniejszych badaniach zawartość molibdenu w glebie wyceniona według obowiązujących liczb granicznych, a następnie przedstawiona w postaci indeksów, nie była skorelowana z reakcją w plonach na nawożenie Mo (rys. 4). Według Gembarzewskiego (32) liczby graniczne do oceny zawartości molibdenu w glebie również wymagają korekty.



Rys. 4. Zwyżki plonów nasion rzepaku (%) po nawożeniu Mo w zależności od indeksu zasobności gleby w Mo (%)
Yield increases of rape seeds (%) after Mo application depending on soil Mo index (%)

4.2.2. Efekty nawożenia molibdenem w zależności od odczynu gleby

Odczyn gleby jest podstawowym czynnikiem decydującym o przyswajalności molibdenu dla roślin. W badaniach różnych autorów dotyczących pobierania mikroelementów przez rzepak stwierdzano niższą zawartość molibdenu w roślinach rosnących na glebach o niższym pH oraz wzrost koncentracji Mo w tkankach roślinnych wskutek wapnowania gleby (83, 121). Z uwagi na słabą dostępność molibdenu na glebach kwaśnych można przypuszczać, że nawożenie roślin tym pierwiastkiem będzie najbardziej efektywne w warunkach niskiego pH gleby. W badaniach wazonowych Gorlacha i in. (45) na 16 glebach o zróżnicowanej kwasowości (pH 4,1 do 7,3), najczęstsze reakcje rzepaku na doglebowe nawożenie Mo wystąpiły przy pH poniżej 5,2. W doświadczeniach polowych Kac-Kacasa i in. (55) stopniowany dodatek molibdenu do 3 różnych gleb kwaśnych wywołał istotną zwyżkę plonów koniczyny tylko na jednej glebie. Stanisławska-Głubiak (99), w badaniach obejmujących 12 doświadczeń polowych, nie uzyskała zwyżki plonów koniczyny na glebach bardzo kwaśnych, natomiast na glebach kwaśnych i lekko kwaśnych efekt działania Mo był uwikłany ze zmiennością czynników środowiska. Podobnie Żołądek i Kalembasa (126) w 13-letnim doświadczeniu nie stwierdzili na glebie bardzo kwaśnej (pH 4,3) wzrostu plonów roślin zbożowych i ziemniaków wskutek doglebowego nawożenia molibdenem. Natomiast Krause i in. (61) w badaniach reakcji bobiku na nawożenie Mo uzyskali istotne zwyżki plonów na glebach o pH 5,5–6,5.

W badaniach własnych z rzepakiem analiza wariancji dla plonów w grupach doświadczeń wydzielonych na podstawie zaliczenia gleb do odpowiedniej klasy odczynu wykazała, że na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych ($\text{pH} \leq 5,5$) średnia zwyżka plonów nasion wskutek nawożenia molibdenem wynosiła około 0,08 t z hektara i kształtowała się na granicy istotności (tab. 8, zał. 1). Nie udowodniono wpływu wielkości dawki Mo, jak również terminu zabiegu oraz interakcji obu czynników na plonowanie rzepaku ozimego uprawianego na tych glebach.

Tabela 8

Średnie plony nasion rzepaku ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) dla doświadczeń zlokalizowanych na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych
Average yields of rape in $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ of experiments localized on very acidic and acidic soils

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,91	2,92	2,96	2,93 ^A
2	2,90	2,92	3,00	2,94 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	2,91 ^a	2,92 ^a	2,98 ^a	2,94
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,86
Kontrast; Contrast				0,08*

W drugiej grupie doświadczeń, na glebach lekko kwaśnych i obojętnych, skuteczność nawożenia molibdenem była znacznie większa niż na glebach o $\text{pH} \leq 5,5$. Świadczy o tym istotna statystycznie zwyżka plonów nasion, która średnio wyniosła 0,2 t z hektara (tab. 9, zał. 1). W tej grupie doświadczeń wielkość dawki molibdenu miała istotny wpływ na plonowanie rzepaku. Nie stwierdzono różnicy w działaniu na plony między dawkami 60 g i 120 g $\text{Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Obie były jednak skuteczniejsze niż dawka 30 g $\text{Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nie udowodniono natomiast wpływu terminu oprysku molibdenem na wielkość plonów nasion ani współdziałania wielkości dawki Mo z terminem jej stosowania.

Fakt występowania większych zwyżek plonów rzepaku pod wpływem nawożenia Mo na glebach o $\text{pH} > 5,5$ niż na bardziej zakwaszonych, można wyjaśnić twierdzeniem Wallace'a (111), które sformułował na podstawie własnych badań. Uważa on, że w sytuacji, kiedy kilka czynników decydujących o plonie kształtuje się na poziomie minimum, doprowadzenie jednego z nich do poziomu optymalnego nie gwarantuje zwyżki plonów. Jednoczesne wyeliminowanie kilku czynników ograniczających plony daje lepszy efekt plonotwórczy w porównaniu z sumą efektów wyeliminowania każdego z nich oddzielnie. Często bowiem czynniki te działają synergicznie.

Tabela 9

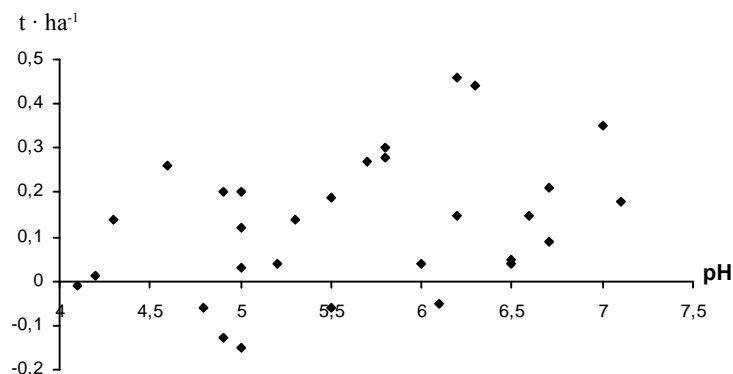
Średnie plony nasion rzepaku ($t \cdot ha^{-1}$) dla doświadczeń zlokalizowanych na glebach lekko kwaśnych i obojętnych
Average yields of rape in $t \cdot ha^{-1}$ from experiments localized on slightly acid and neutral soils

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $g \cdot ha^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $g \cdot ha^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,93	3,05	3,09	3,02 ^A
2	3,01	3,05	3,05	3,03 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	2,97 ^a	3,05 ^b	3,07 ^b	3,03
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,82
Kontrast; Contrast				0,21 ^{***}

Na glebach kwaśnych przyswajalność molibdenu jest gorsza i reakcja na nawożenie Mo powinna być duża, ale jednocześnie na takich glebach istnieją inne czynniki ograniczające plonowanie. Jony wodorowe, choć same nie są tak szkodliwe dla roślin, to w pośredni sposób wywołują toksyczność glinu i manganu, wpływają na ograniczenie dostępności fosforu oraz utrudniają pobieranie Ca i Mg. Na glebach o wyższym pH z pewnością niektóre czynniki hamujące wzrost i rozwój roślin są wyeliminowane, co uzasadnia większy efekt nawożenia Mo. Można by sądzić, że z uwagi na dobrą przyswajalność molibdenu w warunkach wyższego odczynu gleby nie wystąpi reakcja roślin na nawożenie tym mikroelementem. Takie przypuszczenie nie ma jednak uzasadnienia w przypadku ogólnego niedoboru molibdenu w glebie. Dla rzepaku jako rośliny o dużym zapotrzebowaniu na ten mikroelement, glebowe zasoby Mo były na tyle małe, że zareagował on zwyżką plonu na dolistne nawożenie Mo.

Obliczenia korelacji prostej wykonane na podstawie danych z całego zbioru doświadczeń nie wykazały związku między wartością pH gleby a zwyżką plonów uzyskaną wskutek nawożenia Mo (rys. 5). W całym zakresie pH zdarzały się zarówno zwyżki, jak i obniżki plonów rzepaku spowodowane nawożeniem Mo, niemniej jednak na glebach o $pH \leq 5,5$ przyrosty plonów były mniejsze, a negatywne efekty występowały częściej i w większym stopniu niż na glebach o wyższym pH.

Przeprowadzona analiza skupień potwierdziła fakt, że reakcja roślin na nawożenie Mo nie była jednakowa w całym zakresie pH gleby. Zostały wydzielone dwa skupienia o jednakowej liczebności, które różniły się średnimi wartościami badanych cech, tzn. pH gleby oraz zwyżką plonu nasion uzyskaną wskutek nawożenia Mo (tab. 10). Skupienia te, jak się okazało, odpowiadały grupom doświadczeń, jakie zostały wcześniej utworzone na podstawie zaliczenia gleb punktów doświadczalnych do odpowiedniej klasy odczynu. Pierwsze skupienie stanowiły doświadczenia z glebami o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym (pH do 5,5), drugie – doświadczenia z glebami lekko kwaśnymi i obojętnymi. Przeciętne zwyżki plonów



Rys. 5. Zależność między zwyczają plonu nasion uzyskaną po nawożeniu Mo a pH gleby
Relationship between yield increase of seeds after Mo application and soil pH

nasion w tych grupach kształtowały się odpowiednio na poziomie $0,07 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz $0,20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

W wydzielonych skupieniach szukano zależności regresyjnej między względną zwyczają plonu uzyskaną z obiektów nawożonych molibdenem w stosunku do kontroli a niektórymi cechami charakteryzującymi właściwości fizykochemiczne gleb, tzn. zasobnością w przyswajalne formy makro- i mikroelementów oraz zawartością części spławialnych i frakcji pyłu w glebach. Na glebach o pH w zakresie 5,7–7,1 nie został stworzony model regresji z udziałem tych zmiennych, ponieważ zbiór był jednorodny pod względem tych cech. Badana zależność w grupie doświadczeń charakteryzujących się glebami bardzo kwaśnymi lub kwaśnymi została określona następującą funkcją regresji:

$$y = 1,106015 - 0,004865 \text{ pył} + 0,000801 \text{ Mn} \quad R^2 = 0,73 \text{ ***}, \quad n = 14$$

gdzie: y – względna zwyczają plonu nasion dla maksymalnej dawki Mo w stosunku do kontroli (%)

pył – zawartość frakcji pyłu w glebie (%)

Mn – zawartość przyswajalnego Mn w glebie ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tabela 10

Podział doświadczeń na skupienia metodą Warda
Classification of experiments into clusters after Ward's method

Skupienie Cluster (n)	Zwyczaj plonu ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) Yield increase		pH	
	wartość średnia mean values	zakres wartości range	wartość średnia mean values	zakres wartości range
I (14)	0,0735	-0,15, +0,26	4,88	4,1–5,5
II (14)	0,1992	-0,05, +0,46	6,32	5,7–7,1

Funkcja ta pozwala stwierdzić, że na glebach o pH do 5,5 efekt plonotwórczy molibdenu zależał od zawartości frakcji pyłu oraz zawartości przyswajalnego manganu w glebie. Z przeglądu literatury wiadomo, że mangan może utrudniać lub wspomagać pobieranie molibdenu. Antagonizm lub synergizm obu pierwiastków zależy najprawdopodobniej od relacji manganu do różnych form żelaza w glebie. Uzyskane równanie dowodzi, że wraz ze wzrostem zawartości Mn w glebie reakcja rzepaku na nawożenie molibdenem była większa, co odzwierciedla antagonizm Mn – Mo. Nadmiar manganu w glebie, utrudniając roślinom pośrednio pobieranie molibdenu z gleby, spowodował ich większą reakcję w plonie na dolistne dokarmianie Mo. Należy w tym miejscu przypomnieć, że w nasionach rzepaku zebranych z obiektów kontrolnych wystąpiła ujemna korelacja zawartości manganu z koncentracją molibdenu, co potwierdza tę hipotezę.

Ujemny wpływ zawartości pyłu w glebie na zwyczaję plonów wskutek nawożenia Mo jest trudny do wyjaśnienia; przypuszczalnie ma charakter pośredni. Frakcja pyłu wywiera znaczny wpływ na warunki fizyczne gleb. W piaskach zwiększa ona pojemność wodną i wysokość podnoszenia kapilarnego, a w glinach zmniejsza stopień ich pęcznienia. Być może przy mniejszej zawartości pyłu stosunki powietrznowodne w glebie są mniej korzystne, co wiąże się z warunkami oksydoredukcyjnymi i dostępnością molibdenu dla roślin.

4.2.3. Efekty nawożenia Mo w zależności od kategorii agronomicznej gleby

Zasobność gleb w molibden zależy od ich składu granulometrycznego. Wraz ze wzrostem procentowego udziału frakcji sypialnej wzrasta ogólna zawartość tego pierwiastka w glebie (14, 15, 39). Podobna zależność dotycząca przyswajalnych form Mo nie jest jednoznacznie dowiedziona. Wielu autorów nie stwierdziło w badanych typach gleb zależności między zawartością przyswajalnego molibdenu oznaczonego metodą Grigga a zawartością pyłu, części sypialnych bądź łu koloidalnego (25, 43, 80). Dudziak i Bednarek (25) stwierdzili natomiast istotny wpływ frakcji pyłu i łu koloidalnego, lecz tylko w poziomie A_1 czarnoziemów deluwialnych. Wiśniewska-Kielian (119) uzyskała dodatnią korelację ($r=0,365$) między ilością molibdenu przyswajalnego oznaczonego metodą Grigga a ilością łu koloidalnego w glebie. Inni autorzy (cyt. za 25) wskazują na ścisłą zależność między zawartością przyswajalnej formy molibdenu a zawartością części sypialnych w glebie. Czuba i in. (18) podają, że w obrębie typu gleby zawartość przyswajalnego molibdenu jest w znacznym stopniu kształtowana przez skład granulometryczny utworu glebowego. W badaniach Krauze i in. (62), które potwierdzają tę opinię, niską zasobnością w przyswajalny Mo charakteryzowały się piaski luźne, a dobrą i wysoką piasek gliniasty mocny i glina ciężka. Zakładając, że wraz ze zwiększaniem się udziału frakcji sypialnej w glebie następuje wzrost

zawartości przyswajalnej formy molibdenu, można by przypuszczać, że reakcja roślin na nawożenie Mo będzie silniejsza na glebach o mniejszym jej udziale, czyli na glebach lżejszych.

W badaniach własnych rzepak uprawiany na glebach lekkich zareagował na nawożenie Mo istotną wyższą plonu nasion na poziomie $0,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 11, zał. 2), podczas gdy w grupie doświadczeń prowadzonych na glebie średniej lub ciężkiej wzrost plonu wynosił średnio $0,17 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 12, zał. 2).

Na glebach lekkich termin stosowania molibdenu nie miał wpływu na skuteczność działania tego składnika, a istotność interakcji czynnika II z lokalizacją doświadczeń nie pozwoliła na uogólnienia co do najlepiej działającej dawki Mo. W przypadku gleb średnich i ciężkich już dawka $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ była wystarczająca do uzyskania wzrostu plonu nasion. Nie udowodniono bowiem różnicy w plonach

Tabela 11

Średnie plony nasion rzepaku ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) z doświadczeń zlokalizowanych na glebach lekkich
Average yields of rape in $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ from experiments localized on light soils

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	3,07	3,09	3,16	3,11 ^A
2	3,06	3,09	3,19	3,11 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	3,07 ^a	3,09 ^{ab}	3,17 ^b	3,11
Średnia dla kontroli; Average of control plots				3,00
Kontrast; Contrast				0,11*

Tabela 12

Średnie plony nasion rzepaku ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) z doświadczeń zlokalizowanych na glebach średnich i ciężkich
Average yields of rape seeds in $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ from experiments localized on medium and heavy soils

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,86	2,95	2,96	2,92 ^A
2	2,90	2,93	2,96	2,93 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	2,88 ^a	2,94 ^b	2,96 ^b	2,93
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,76
Kontrast; Contrast				0,17**

między wymienionym poziomem nawożenia Mo a jego dawką najwyższą. Istotnie gorsze rezultaty uzyskano po oprysku roślin dawką 30 g Mo · ha⁻¹.

4.2.4. Efekty nawożenia Mo w zależności od kompleksów glebowo-rolniczych

Badania, w których porównywano efekty nawożenia molibdenem roślin uprawianych na glebach różnych kompleksów przydatności rolniczej są bardzo nieliczne. W doświadczeniach z lucerną mieszańcową autorzy (46) nie stwierdzili lepszej skuteczności doglebowego nawożenia Mo na glebie kompleksu żytniego dobrego w porównaniu z pszenным dobrym. Dla obu gleb uzyskali oni zwyczajki plonów nasion lucerny o około 13% w stosunku do obiektu kontrolnego.

Za najbardziej przydatne do uprawy rzepaku uważane są gleby kompleksów pszennych bardzo dobrych i dobrych. W punktach doświadczalnych zlokalizowanych na tych kompleksach, wskutek opryskania roślin molibdenem, uzyskano istotną zwyczajkę plonu nasion, która średnio dla doświadczeń wynosiła 0,16 t z hektara i nie była zależna od wielkości dawki ani od terminu nawożenia (tab. 13, zał. 3).

Na glebach kompleksów żytnich średnia zwyczajka plonów nasion kształtowała się na nieco niższym poziomie, niż w warunkach gleb kompleksów pszennych i wynosiła 0,14 t z hektara (tab. 14, zał. 3). Wielkość dawki, przy której uzyskano najlepszy efekt plonotwórczy w tej grupie doświadczeń należy rozpatrywać indywidualnie z uwagi na istotną interakcję czynnika II z lokalizacją doświadczeń. W 6 punktach doświadczalnych udowodniono istotne różnice w plonowaniu rzepaku zależne od wielkości dawki molibdenu. W niektórych przypadkach efekt wzrostu plonu uzyskano po zastosowaniu tylko najwyższej dawki, czyli 120 g Mo · ha⁻¹ (rys. 6). Sytuacja taka wystąpiła na ogół przy wyższym poziomie plonowania rzepaku, tzn. powyżej 3 t · ha⁻¹. Przy mniejszych plonach kontrolnych, w granicach

Tabela 13

Średnie plony nasion rzepaku (t · ha⁻¹) z doświadczeń zlokalizowanych na kompleksach pszennych
Average yields of rape in t · ha⁻¹ from experiments localized on wheat soil suitability complexes

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w g · ha ⁻¹ (Czynnik II) Mo rate in g · ha ⁻¹ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	3,01	3,08	3,08	3,06^A
2	3,02	3,06	3,05	3,04^A
Średnia czynnika II Average of factor II	3,01^a	3,07^a	3,07^a	3,05
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,89
Kontrast; Contrast				0,16*

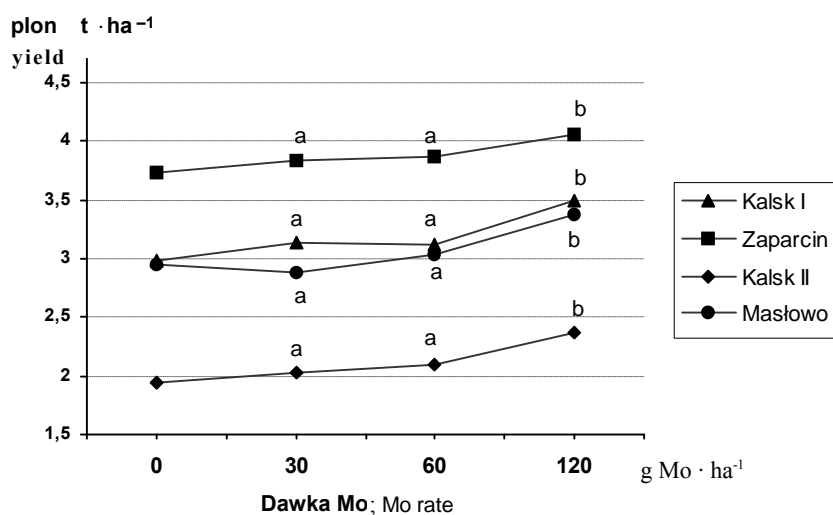
2,0–2,5 t · ha⁻¹, również dawka 60 g Mo · ha⁻¹ powodowała istotną reakcję roślin na nawożenie (rys. 7).

Podobnie jak na glebach kompleksów pszennych termin stosowania Mo na glebach żytnich był nieistotny. Nie udowodniono również współdziałania wielkości dawki Mo z terminem jej stosowania.

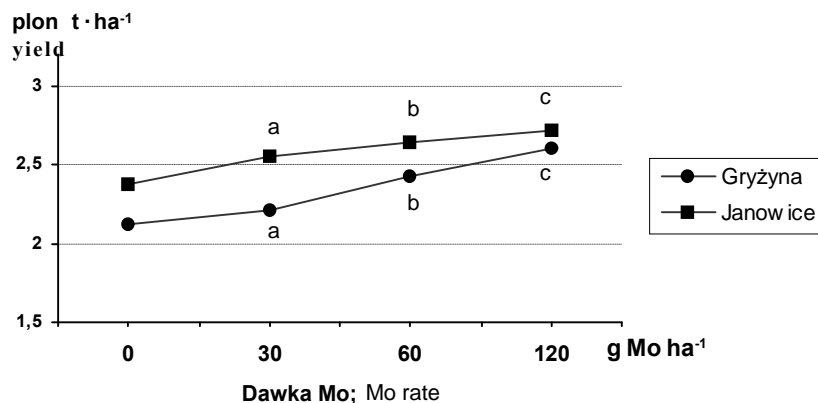
Tabela 14

Średnie plony nasion rzepaku w t · ha⁻¹ z doświadczeń zlokalizowanych na kompleksach żytnich
Average yields of rape in t · ha⁻¹ from experiments localized on rye soil suitability complexes

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Czynnik II – dawka Mo w g · ha ⁻¹ Factor II – Mo rate in g · ha ⁻¹			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,88	2,94	3,00	2,94 ^A
2	2,91	2,93	3,05	2,96 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	2,90	2,94	3,03	2,95
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,81
Kontrast; Contrast				0,14**



Rys. 6. Wzrost plonów nasion według schematu „aab” po zastosowaniu kolejnych dawek Mo
Increase of seeds yield acc. to scheme „aab” after Mo successive rates application



Rys. 7. Wzrost plonów nasion według schematu „abc” po zastosowaniu kolejnych dawek Mo
Increase of seeds yield according to scheme „abc” after Mo successive rates application

4.2.5. Wpływ rejonu uprawy na efekty nawożenia Mo

Rzepak ozimy, jak już wcześniej wspomniano przy omawianiu wpływu czynników przyrodniczych na jego poziom plonowania, odznacza się wrażliwością na niskie temperatury w zimie oraz suszę w okresie kwitnienia. Według Muśnickiego (78) częściowe nawet wymarzenie rzepaku niekorzystnie wpływa na jego plonowanie, a także na skuteczność nawożenia mineralnego. Wyodrębnienie 2 grup doświadczeń według rejonów kraju, w których były zlokalizowane punkty doświadczalne miało związek z czynnikiem klimatycznym (tab. 15 i 16). Podobnie jak poziom plonów, tak i reakcja roślin na nawożenie molibdenem była uzależniona od rejonu uprawy rzepaku.

Tabela 15

Średnie plony nasion rzepaku ($t \cdot ha^{-1}$) w doświadczeniach zlokalizowanych na wschodzie Polski
Average rape yields in $t \cdot ha^{-1}$ in experiments from Eastern Poland

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $g \cdot ha^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $g \cdot ha^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,68	2,70	2,73	2,71
2	2,68	2,73	2,70	2,70
Średnia czynnika II Average of factor II	2,68	2,72	2,72	2,71
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,65
Kontrast; Contrast				0,06

W grupie doświadczeń położonych na wschodzie Polski, gdzie zimy są dość ostre, a prawdopodobieństwo wystąpienia szkód mrozowych jest większe niż na zachodzie kraju, tylko w jednym przypadku (na Zamojszczyźnie) uzyskano istotną zwyżkę plonu wskutek nawożenia molibdenem. Średnio dla całej grupy doświadczeń w tym rejonie reakcja rzepaku na Mo, wyrażona wielkością plonów, nie została statystycznie udowodniona (tab. 15, zał. 4).

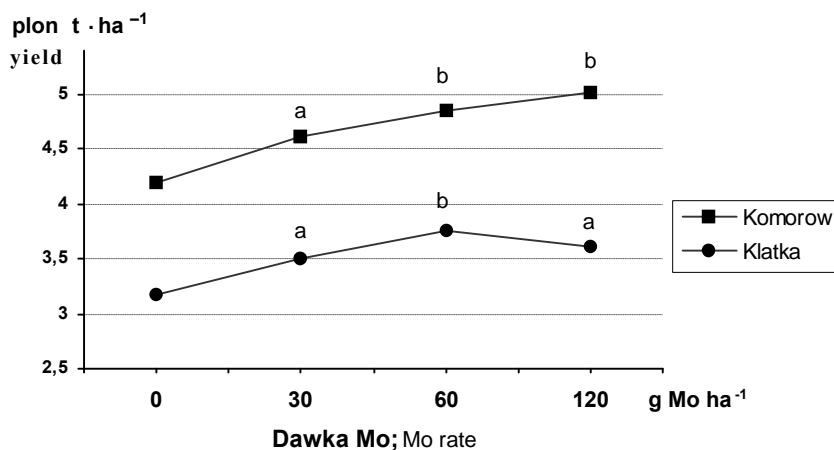
Grupa doświadczeń położonych na zachodzie Polski charakteryzowała się natomiast istotną reakcją roślin na nawożenie tym mikroelementem. Średnia zwyżka plonów nasion dla tej grupy wynosiła 0,20 t z hektara (tab. 16). Nie można jednak formułować wniosku odnośnie wielkości dawki Mo, która powodowała największe przyrosty plonu. Wystąpiła bowiem istotna interakcja czynnika II z lokalizacją doświadczeń, co wskazuje na konieczność rozpatrywania każdego przypadku indywidualnie (zał. 4).

W ośmiu punktach doświadczalnych położonych na zachodzie kraju stwierdzono udowodniony statystycznie wpływ wielkości dawki Mo na plon nasion rzepaku. Oprócz reakcji roślin typu „aab”, a więc wyłącznie na najwyższą dawkę Mo oraz typu „abc”, czyli na dawkę średnią i najwyższą (rys. 6 i 7) stwierdzono również przypadki, w których dawka 60 g Mo · ha⁻¹ okazała się lepsza niż 30 g Mo · ha⁻¹, a zastosowanie 120 g Mo · ha⁻¹ nie spowodowało dalszego wzrostu plonów. Ten typ reakcji roślin na kolejne dawki Mo można określić jako „abb” lub „aba” (rys. 8).

Tabela 16

Średnie plony nasion rzepaku (t · ha⁻¹) w doświadczeniach zlokalizowanych na zachodzie Polski
Average rape yields in t · ha⁻¹ in experiments from Western Poland

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w g · ha ⁻¹ (Czynnik II) Mo rate in g · ha ⁻¹ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	3,12	3,22	3,29	3,21 ^A
2	3,19	3,21	3,28	3,22 ^A
Średnia czynnika II Average of factor II	3,15	3,22	3,28	3,22
Średnia dla kontroli; Average of control plots				3,02
Kontrast; Contrast				0,20***



Rys. 8. Wzrost plonów nasion według schematu „abb” i „aba” po zastosowaniu kolejnych dawek Mo
Increase of seeds yield acc. to scheme „abb” and „aba” after Mo successive rates application

4.2.6. Łączny wpływ czynników glebowo-klimatycznych na efekty nawożenia Mo

W tabeli 17 zestawiono wyniki dotyczące efektów stosowania molibdenu uzyskane w poszczególnych punktach doświadczalnych, biorąc pod uwagę łączne oddziaływanie kilku czynników, tzn. rejonu uprawy, kategorii agronomicznej i odczynu gleby. W rejonie zachodnim, przy optymalnym dla rzepaku odczynie gleby, na glebach lekkich zwyżki plonów nasion nie przekraczały $0,28 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ nasion, podczas gdy na średnich i ciężkich dochodziły do $0,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W doświadczeniach zlokalizowanych na wschodzie kraju nawet przy $\text{pH} > 5,5$ rośliny nie zareagowały zwyżką plonu na nawożenie molibdenem, z wyjątkiem jednego przypadku w grupie gleb średnich i ciężkich, gdzie uzyskano istotny przyrost równy $0,30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Niezależnie od rejonu uprawy i kategorii agronomicznej gleby przy $\text{pH} \leq 5,5$ nie uzyskano udowodnionych statystycznie zwyżek plonów, z wyjątkiem jednego przypadku w grupie doświadczeń prowadzonych na glebach średnich i ciężkich w rejonie zachodnim. Na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych zdarzały się nawet obniżki plonów nasion w wyniku nawożenia molibdenem. Największą udowodnioną obniżkę plonu ($-0,15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) stwierdzono przy $\text{pH} \leq 5,5$ w rejonie wschodnim, na glebach lekkich, a więc w warunkach równoczesnego wystąpienia kilku niekorzystnych czynników dla uprawy rzepaku ozimego.

Średnio dla wszystkich 33 doświadczeń zwyżka plonów wynosiła około $0,15 \text{ t}$ z hektara. Analiza wariancji wykazała istotne różnice w plonach między różnymi dawkami molibdenu (tab. 18, zał. 5).

Generalnie lepszy efekt plonotwórczy uzyskano po zastosowaniu 120 g Mo · ha⁻¹, niż po opryskaniu rzepaku dawką 30 g Mo · ha⁻¹. Dawka pośrednia – 60 g Mo · ha⁻¹ – statystycznie nie była lepsza w działaniu od dawki 30 g Mo · ha⁻¹ ani gorsza od dawki najwyższej. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w oddziaływaniu na plon terminów stosowania molibdenu, jak również interakcji wielkości dawki Mo z terminem jej aplikacji.

W całym zbiorze danych badano zależność między plonem nasion uzyskanym w wyniku nawożenia Mo a niektórymi cechami charakteryzującymi właściwości fizykochemiczne gleb. Uzyskano następujący model statystyczny o stosunkowo wysokim współczynniku determinacji:

$$y = 1,0885 - 0,00118 P + 0,0121 Cu + 0,000843 Mn + 0,00465 Zn - 0,0049 pył$$

$$(R^2 = 0,63^{***}, \quad n = 28):$$

gdzie: **y** – względna zwyżka plonu dla maksymalnej dawki Mo w stosunku do kontroli (%)

Cu, Mn, Zn – zawartość przyswajalnej miedzi, manganu i cynku w glebie (mg · kg⁻¹)

P – zawartość przyswajalnego fosforu w glebie (mg · kg⁻¹)

pył – zawartość frakcji pyłu w glebie (%)

Przedstawiona funkcja regresji wyjaśnia 63% zmienności cechy „y”, jaką jest względna zwyżka plonów nasion uzyskana na skutek nawożenia Mo. Z równania wynika, że była ona tym większa, im mniej było w glebie fosforu oraz frakcji pyłu, a więcej przyswajalnych form miedzi, manganu i cynku.

Ujemny wpływ fosforu na efekty plonotwórcze molibdenu może być związany z faktem, że w warunkach niskiego pH gleby, a doświadczenia prowadzono głównie na glebach kwaśnych i lekko kwaśnych, pierwiastek ten zwiększa dostępność molibdenu glebowego i ułatwia jego pobieranie przez rośliny. Przy mniejszej zawartości fosforu możliwości pobierania molibdenu z gleby są w pewnym stopniu ograniczone, co uzasadnia większą reakcję roślin na dolistne nawożenie Mo.

Wpływ miedzi i manganu na efektywność nawożenia Mo, który został wykazany w równaniu regresji, może być związany z antagonizmem tych pierwiastków z molibdenem. Większa zawartość Cu i Mn w glebie mogła powodować pewien deficyt molibdenu w roślinie, a zatem lepszy efekt plonotwórczy dolistnego nawożenia tym mikroelementem. W literaturze nie wspomina się o podobnym antagonizmie molibdenu z cynkiem. Jednak działanie cynku może mieć tu charakter pośredni. Istnieją bowiem powiązania tego pierwiastka z żelazem, chociaż dotyczą one raczej przemian w samej roślinie. Nadmiar cynku może wywoływać w roślinach chlorozę związaną z rzeczywistym lub pozornym brakiem żelaza (54). Dodatni wpływ miedzi, manganu i cynku na efekty plonotwórcze, uzyskane w wyniku nawożenia Mo, może również wynikać z zapotrzebowania rzepaku na wymienione mikroelementy. Niektórzy autorzy stwierdzili, że rzepak wykazuje pewną wrażliwość na niedobór miedzi lub podkreślają niezbędność nawożenia miedzią (10, 95, 106). Gorlach i in. (45) w doświadczeniach z rzepakiem stwierdzili, że o reakcji

Tabela 17

Zwyżki plonów nasion rzepaku w t · ha⁻¹ po nawożeniu molibdenem – średnie z wszystkich jego dawek i terminów stosowania

Increases of rape seeds yields after molybdenum applications in t · ha⁻¹ – averages of all the rates and application time

Lokalizacja Locality	Plon kontrolny Control yield	Plon po nawożeniu Yield after application	Zwyżka plonu Yield increase
Rejon zachodni, gleby lekkie; Western region, light soils			pH > 5,5
Pasikowice	2,57	2,66	0,09 *
Prusinowo II	3,13	3,31	0,18 *
Kalsk I	2,98	3,25	0,27 *
Gryżyna	2,12	2,40	0,28 *
Rejon zachodni, gleby średnie i ciężkie; Western region, medium & heavy soils			pH > 5,5
Niedźwiednik	3,83	3,98	0,15
Masłowo	2,95	3,10	0,15 *
Komorów I	3,45	3,89	0,44 *
Klatka Orla	3,17	3,63	0,46 *
Rejon zachodni, gleby lekkie; Western region, light soils			pH ≤ 5,5
Ordzin II	3,50	3,54	0,04
Zaparcin	3,73	3,92	0,19
Kalsk II	1,95	2,15	0,20
Prusinowo I	2,95	3,15	0,20
Rejon zachodni, gleby średnie i ciężkie; Western region, medium & heavy soils			pH ≤ 5,5
Pelcznica	4,69	4,56	- 0,13
Ordzin I	1,83	1,77	- 0,06
Lutomierz	3,12	3,24	0,12
Targoszyn	2,47	2,61	0,14
Janowice	2,38	2,64	0,26 *
Rejon wschodni, gleby lekkie; Eastern region, light soils			pH > 5,5
Średnica II	3,17	3,12	- 0,05
Jeżewo II	2,99	3,03	0,04
Rejon wschodni, gleby średnie i ciężkie; Eastern region, medium & heavy soils			pH > 5,5
Średnica I	2,59	2,64	0,05
Dobrocin	2,38	2,46	0,08
Rudnik	2,16	2,45	0,29
Naglady	2,69	2,99	0,30 *
Rejon wschodni, gleby lekkie; Eastern region, light soils			pH ≤ 5,5
Jeżewo I	3,07	2,92	-0,15*
Rejon wschodni, gleby średnie i ciężkie; Eastern region, medium and heavy soils			pH ≤ 5,5
Wilczopole	2,24	2,18	-0,06
Abramowice	2,54	2,53	-0,01

* zwyżki istotne statystycznie; increases statistically significant

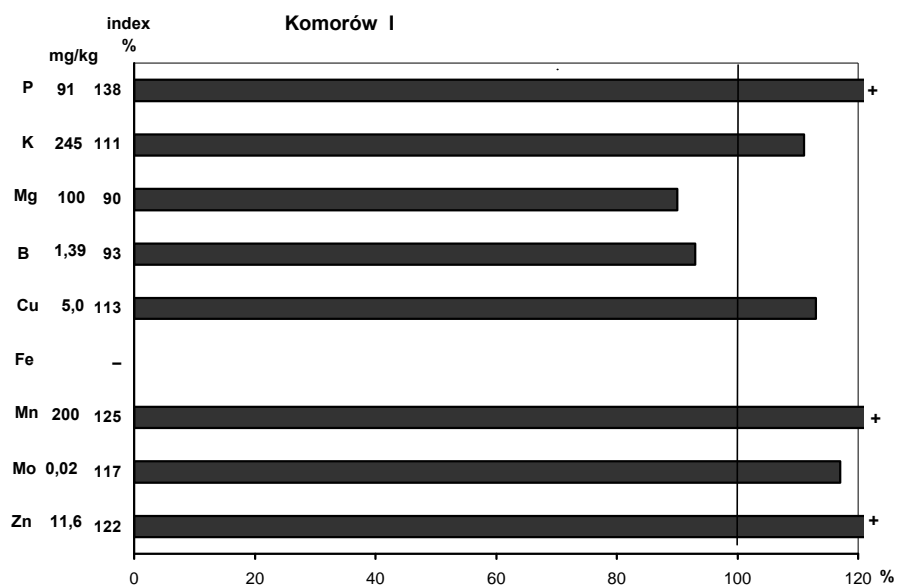
Tabela 18

Plony nasion rzepaku w $t \cdot ha^{-1}$ (średnie z 33 doświadczeń)
 Yields of rape in $t \cdot ha^{-1}$ (average from 33 experiments)

Termin stosowania (Czynnik I) Time of application (Factor I)	Dawka Mo w $g \cdot ha^{-1}$ (Czynnik II) Mo rate in $g \cdot ha^{-1}$ (Factor II)			Średnia czynnika I Average of factor I
	30	60	120	
1	2,94	3,01	3,04	2,99^A
2	3,00	2,99	3,05	3,01^A
Średnia czynnika II Average of factor II	2,97^a	3,00^{ab}	3,04^b	3,00
Średnia dla kontroli; Average of control plots				2,85
Kontrast; Contrast				0,15***

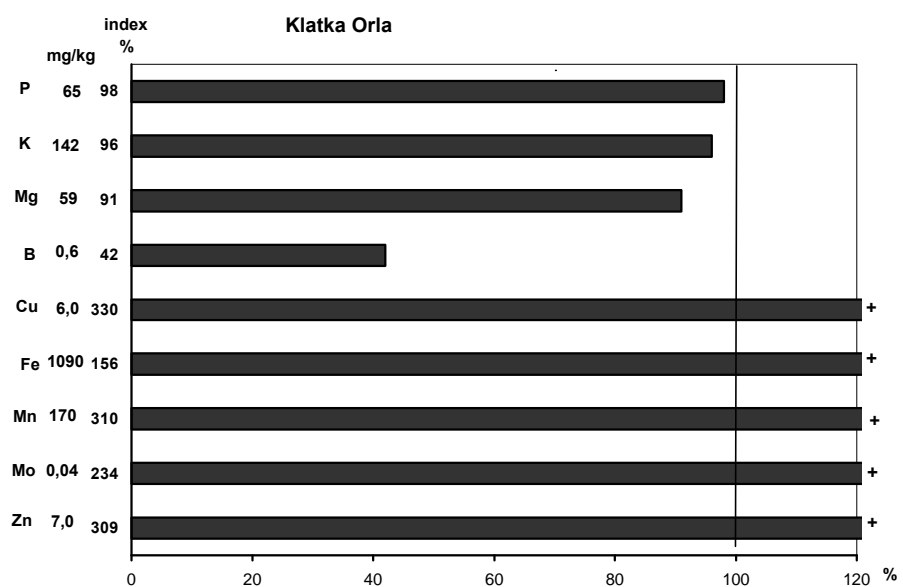
roślin na nawożenie molibdenem decyduje nie tylko jego pobrana ilość, ale wiele innych czynników, w tym również wzajemny stosunek pierwiastków w glebie i w roślinie. Szukałski (104) podaje, że w doświadczeniach terenowych najczęściej występujące zwyczajki plonów różnych gatunków roślin stwierdzono po łącznym stosowaniu molibdenu z innymi mikroelementami, między innymi z borem i manganem. W badaniach polowych z rzepakiem największe zwyczajki plonów uzyskano przy stosowaniu molibdenu łącznie z borem lub kompletem mikroelementów (91, 95, 96). Według Fielda (27) na Tasmanii pod rzepak, obok NPK, rutynowo stosuje się bor i molibden. W niemieckich zaleceniach dla praktyki rolniczej zwraca się uwagę na znaczenie boru, molibdenu oraz manganu w nawożeniu rzepaku ozimego (28).

Zasobność gleby w składniki pokarmowe z pewnością miała wpływ na efekty nawożenia rzepaku molibdenem, chociaż nie zostało to w pełni odzwierciedlone w równaniu regresji. Na przykład w punktach doświadczalnych Komorów I i Klatka Orla, gdzie uzyskano przyrosty plonów około $0,45 t \cdot ha^{-1}$ (tab. 17), gleba charakteryzowała się dobrym zaopatrzeniem w makroelementy, przy czym zawartość molibdenu była średnia bądź na pograniczu niskiej i średniej (rys. 9 i 10). Natomiast w miejscowości Średnica (rys. 11) w sytuacji niedostatecznej zawartości makroelementów oraz niedostatku boru (indeksy < 100) i średniej zawartości molibdenu w glebie nie uzyskano zwyczajki plonu nasion (tab. 17). Z kolei w punkcie doświadczalnym Jezewo I, przy niedostatku fosforu, magnezu, boru i miedzi oraz dobrym zaopatrzeniu w molibden, oprysk tym składnikiem spowodował istotne obniżenie plonu nasion (rys. 12, tab. 17).



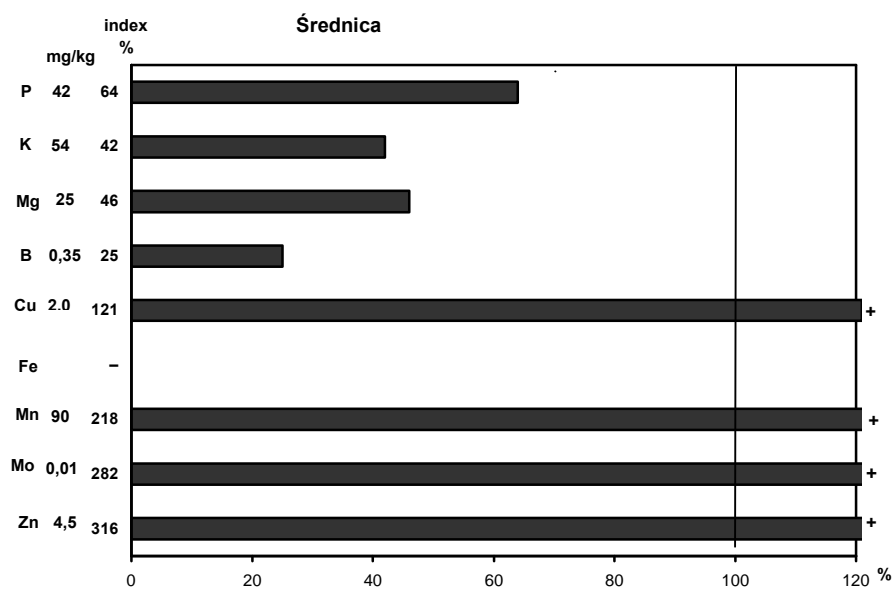
Rys. 9. Wycena zasobności gleby dla punktu doświadczalnego Komorów I – obraz wydruku komputerowego

Soil nutrient resources evaluation for Komorów I locality – computer printout



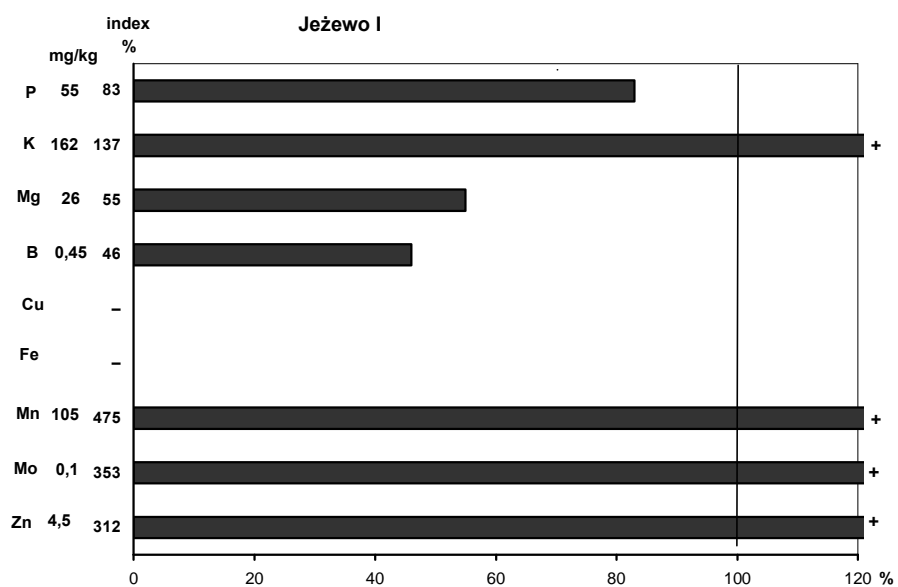
Rys. 10. Wycena zasobności gleby dla punktu doświadczalnego Klatka Orla – obraz wydruku komputerowego

Soil nutrient resources evaluation for Klatka Orla locality – computer printout



Rys. 11. Wycena zasobności gleby dla punktu doświadczalnego Średnica – obraz wydruku komputerowego

Soil nutrient resources evaluation for Średnica locality – computer printout



Rys. 12. Wycena zasobności gleby dla punktu doświadczalnego Jeżewo I – obraz wydruku komputerowego

Soil nutrient resources evaluation for Jeżewo I locality – computer printout

Wyniki wcześniejszych badań własnych z roślinami motylkowatymi (99, 100) świadczą o tym, że istotnym warunkiem uzyskania zwyczajki plonów na skutek nawożenia molibdenem była optymalizacja będących w deficycie niektórych składników pokarmowych, a zwłaszcza makroelementów. W warunkach słabego zaopatrzenia roślin w makroelementy nie uzyskano zwyczajki plonów lucerny w wyniku nawożenia molibdenem, mimo że jego zawartość w glebie była niska lub średnia i często niska w roślinach. Podobnie było w badaniach z koniczyną czerwoną, która tylko przy dobrym zaopatrzeniu gleby w składniki pokarmowe reagowała zwyczajką plonów, nawet przy wysokiej zasobności gleby w molibden. Wyniki te potwierdzają również badania Wallace'a (112), który uzyskał dużo większy wzrost plonów roślin wskutek jednoczesnego wyeliminowania kilku czynników ograniczających plony niż po wyeliminowaniu jednego z nich.

4.3. WPLYW DAWKI I TERMINU NAWOŻENIA Mo NA EFEKTY PLONOTWÓRCZE

Wpływ wielkości dawki oraz terminów stosowania Mo na plonowanie rzepaku został przedstawiony przy omawianiu czynników determinujących efekty plonotwórcze dolistnego dokarmiania roślin tym mikroelementem (tab. 8, 11–16, 19). Reasumując, na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych reakcja roślin, choć stosunkowo słaba, wystąpiła przy dawce $30 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dalsze zwiększanie poziomu nawożenia Mo w tych warunkach nie przyniosło korzystniejszych rezultatów. Ta sama dawka okazała się wystarczająca na glebach kompleksów pszennych, ale w tym przypadku efekt plonotwórczy był dwa razy większy od stwierdzonego na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych. Na glebach o $\text{pH} > 5,5$, jak również na glebach średnich i ciężkich lepsza niż $30 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ i zarazem wystarczająca okazała się dawka $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. W pozostałych grupach doświadczeń, a więc na glebach lekkich, glebach kompleksów żytnich, jak również w grupie doświadczeń zlokalizowanych w zachodnim rejonie kraju, nie można było jednoznacznie wskazać najlepiej działającej dawki Mo. Efekt plonotwórczy poszczególnych dawek był zróżnicowany w zależności od warunków siedliskowych punktu doświadczalnego. Reakcja roślin w tych grupach doświadczeń z pewnością była najsłabsza po zastosowaniu dawki $30 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najlepsze efekty uzyskiwano na ogół przy najwyższym poziomie nawożenia, ale niekiedy już dawka $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ była wystarczająca.

W badaniach niemieckich (29) opartych na 70 doświadczeniach z dolistnym nawożeniem rzepaku, prowadzonych na terenie całego kraju, generalnie nie uzyskano żadnych różnic w plonach między rzepakiem nawożonym molibdenem a kontrolą, z wyjątkiem kilku doświadczeń (11%), gdzie w liściach stwierdzono zawartość Mo poniżej $0,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, co według Bergmanna (8) jest zawartością niedoborową. Brak reakcji rzepaku na oprysk molibdenem w 89% doświadczeń tłumaczony jest przez autorów zasobnością gleb, która została wyceniona w oparciu o liczbę molibdenową jako wystarczająca, a często wysoka. Wydaje się jednak, że przyczyną mogła być również zbyt mała dla rzepaku dawka molibdenu,

która wynosiła $39 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobną dawkę, $40 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$, proponował Szukalski (104) niezależnie od gatunku rośliny. Mniejsze dawki mogą być skuteczne dla roślin o mniejszych wymaganiach w stosunku do molibdenu. Na przykład w badaniach czeskich (125) dla pszenicy ozimej, która charakteryzuje się małym zapotrzebowaniem na ten mikroelement (58, 59), najbardziej efektywną dawką okazało się $10 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$, szczególnie przy zawartości Mo w glebie $< 0,15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i L-Mo $< 8,0$ oraz stosowanych dawkach azotu powyżej $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Vitosh i in. (116) z Uniwersytetu w Michigan zalecają ogólnie dla wszystkich roślin dawki dolistne w zakresie $55\text{--}85 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Istniejące na polskim rynku nawozy dolistne z mikroelementami, nawet te specjalnie przeznaczone do nawożenia rzepaku ozimego (19), charakteryzują się na ogół śladową zawartością molibdenu. Przy zalecanych dawkach tych nawozów ilość molibdenu, jaką otrzymują rośliny rzepaku nie przekracza jednego grama na hektar. Stąd po ich zastosowaniu nie należy spodziewać się żadnych reakcji roślin na ten mikroelement.

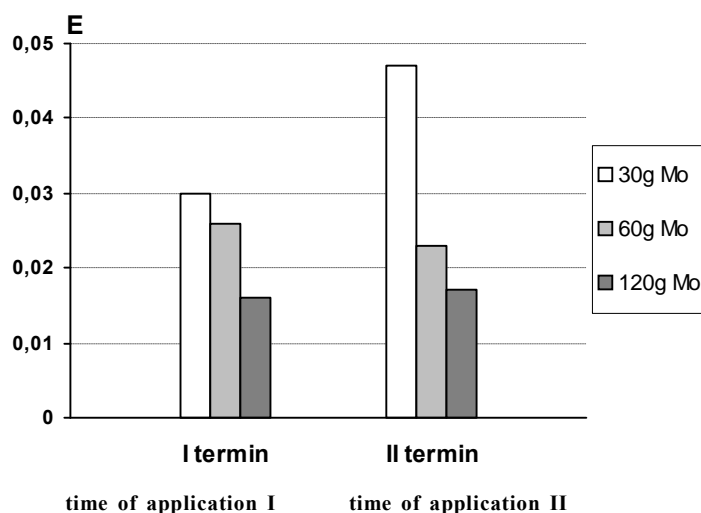
Wpływ terminu aplikacji Mo na plonowanie rzepaku średnio dla wszystkich doświadczeń, jak również w poszczególnych ich grupach, okazał się nieistotny. Można tylko mówić o niewielkiej tendencji lepszego działania dawki $30 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ stosowanej w późniejszym terminie, czyli w okresie początku formowania lodygi, niż tej samej dawki stosowanej wiosną w kilka dni po ruszeniu wegetacji (tab. 18). Dla wyższego poziomu nawożenia Mo wpływ terminu oprysku na plonowanie był obojętny. Fakt ten koresponduje z wynikami badań Rębowskiej (82), która stwierdziła, że rzepak ozimy, w przeciwieństwie do pszenicy ozimej, pobiera mikroelementy przez cały okres wegetacji, przy czym największa intensywność przypada na późniejsze fazy rozwojowe. Dlatego prawdopodobnie dla mniejszej dawki Mo nieco lepsze efekty dało zastosowanie jej w drugim terminie.

Niezależnie od faktu, że kolejna dawka Mo często powodowała dalszy wzrost plonu w stosunku do poprzedniej, to efektywność nawożenia tym mikroelementem zmniejszała się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia Mo. Efektywność (E) wyrażająca się wielkością plonu nasion przypadającą na 10 g zastosowanej dawki Mo wyliczono według następującego wzoru:

$$E = \frac{(\text{plon}_D - \text{plon}_K)}{D} \times 10$$

gdzie: $(\text{plon}_D - \text{plon}_K)$ – plon z obiektu nawożonego dawką Mo pomniejszony o plon z obiektu kontrolnego ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)

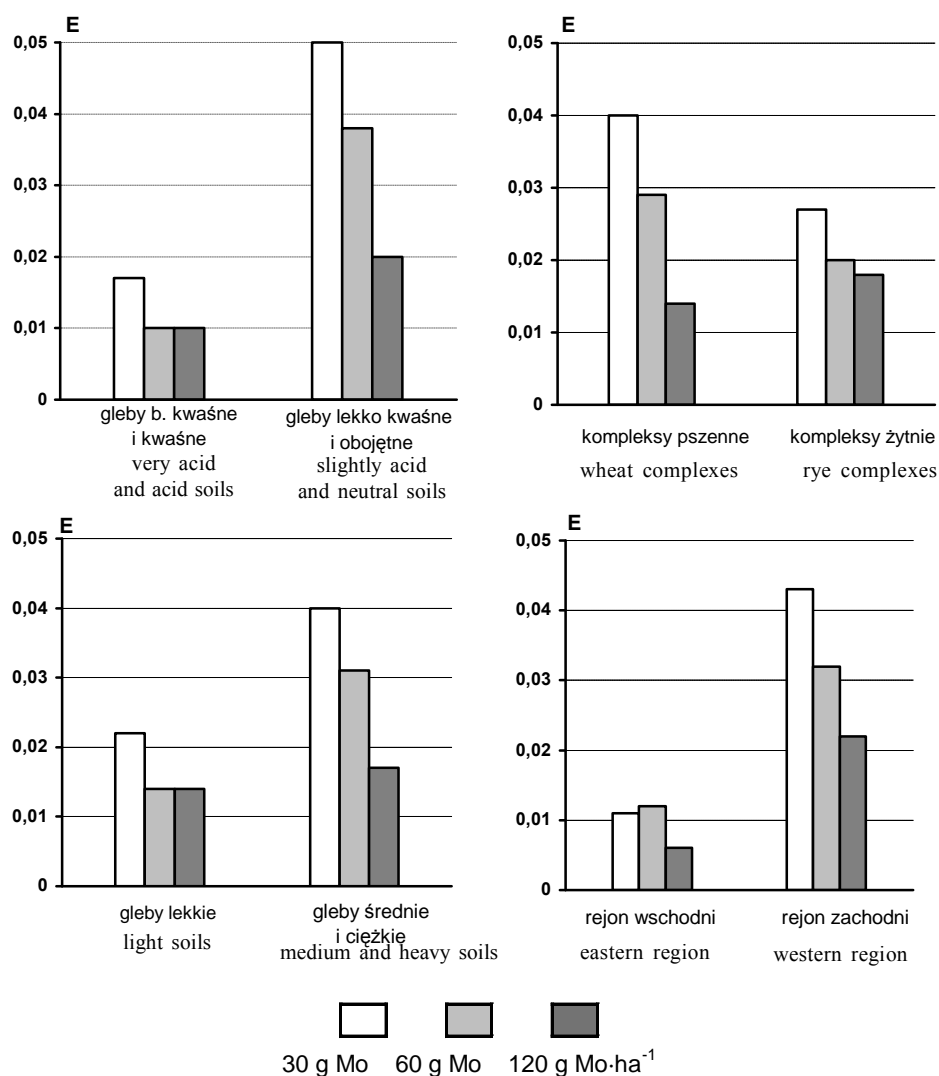
D – wielkość zastosowanej dawki Mo ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$)



Rys. 13. Średnia efektywność nawożenia rzepaku molibdenem (w t nasion na 10 g Mo) – E
Average efficiency of rape fertilization with Mo (t seeds per 10 g Mo) – E

Średnio dla wszystkich doświadczeń najwyższą efektywnością charakteryzował się poziom nawożenia $30 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$, przy czym tylko w przypadku tej dawki efektywność była o ponad 50% wyższa dla późniejszego terminu aplikacji. Dla pozostałych dawek różnice między terminami stosowania były bardzo małe (rys. 13).

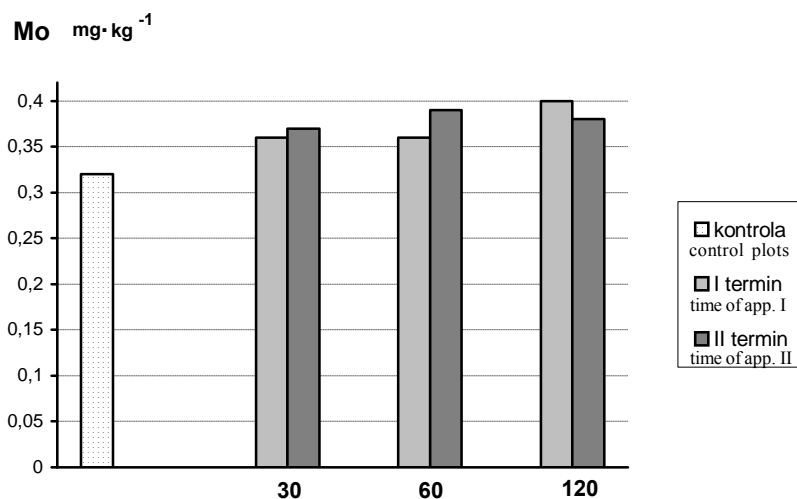
Duże różnice w efektywności nawożenia molibdenem stwierdzono między grupami doświadczeń wyodrębnionymi na podstawie odczynu gleb. Efektywność dawek 30 i $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ była 3–4-krotnie mniejsza dla doświadczeń zlokalizowanych na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych niż na lekko kwaśnych i obojętnych (rys. 14). Znaczne różnice w efektywności nawożenia Mo wystąpiły także dla rzepaku uprawianego w różnych rejonach kraju. Na wschodzie Polski efektywność ta była wyjątkowo niska, podczas gdy w rejonie zachodnim kilkakrotnie wyższa. W pozostałych grupach doświadczeń również wystąpiło, choć nieco mniejsze, zróżnicowanie tego wskaźnika. Stwierdzono większą efektywność nawożenia Mo na glebach kompleksów pszennych niż żytnich oraz na glebach średnich i ciężkich w porównaniu z glebami lekkimi (rys. 14).



Rys. 14. Efektywność nawożenia rzepaku molibdenem w różnych grupach doświadczeń (w t nasion na 10 g Mo) – E
 Efficiency of rape fertilization with Mo depending on group of experiments (t seeds per 10 g Mo) – E

4.4. WPLYW NAWOŻENIA Mo NA ZAWARTOŚĆ TEGO SKŁADNIKA W NASIONACH

Nawożenie molibdenem powoduje na ogół wzrost jego zawartości w roślinach, chociaż stopień gromadzenia tego pierwiastka zależy od gatunku, części rośliny i jej wieku oraz od wielkości zastosowanej dawki. W organach roślin motylkowatych molibden nagromadza się prawie proporcjonalnie do stosowanych dawek nawozowych, natomiast w organach zbóż w znacznie mniejszych ilościach. Według Burkina (11) nasiona owsa zawierały dwa razy mniej Mo niż nasiona wyki i peluski, a przy bardzo dużych dawkach nawozu molibdenowego – nawet 4–6 razy mniej. Szukałski (104) zwraca uwagę na korelację między zastosowanym nawożeniem Mo a zawartością tego pierwiastka w roślinach, przede wszystkim we wczesnych fazach rozwojowych. Różnice w koncentracji Mo w tkankach roślinnych zbóż między obiektami nawożonymi kolejnymi dawkami Mo, były znacznie większe w młodych roślinach niż w ziarnie. W badaniach Fabera (26) nasiona grochu po nawożeniu roślin dawkami doglebowymi $0,5\text{--}2\text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ zgromadziły molibden w ilości, która dyskwalifikowała przydatność paszową produktu. Natomiast Czyż (20) stwierdził, że nasiona grochu akumulowały molibden zależnie od jego dawki i sposobu stosowania (doglebowo czy dolistnie) oraz kategorii agronomicznej gleby (lekka czy średnia), a także od warunków wilgotnościowych w glebie (rok suchy lub mokry). Największą zawartość Mo w nasionach autor stwierdził na glebie lekkiej w roku suchym, przy doglebowym stosowaniu nawożenia molibdenem w ilości $0,4\text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na glebie średniej sposób stosowania miał znaczenie tylko w roku suchym, w którym najkorzystniejsze było dokarmianie dolistne w dawce jednorazowej $0,04\text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$.



Rys. 15. Średnia zawartość molibdenu w nasionach rzepaku w zależności od dawki i terminu stosowania Mo

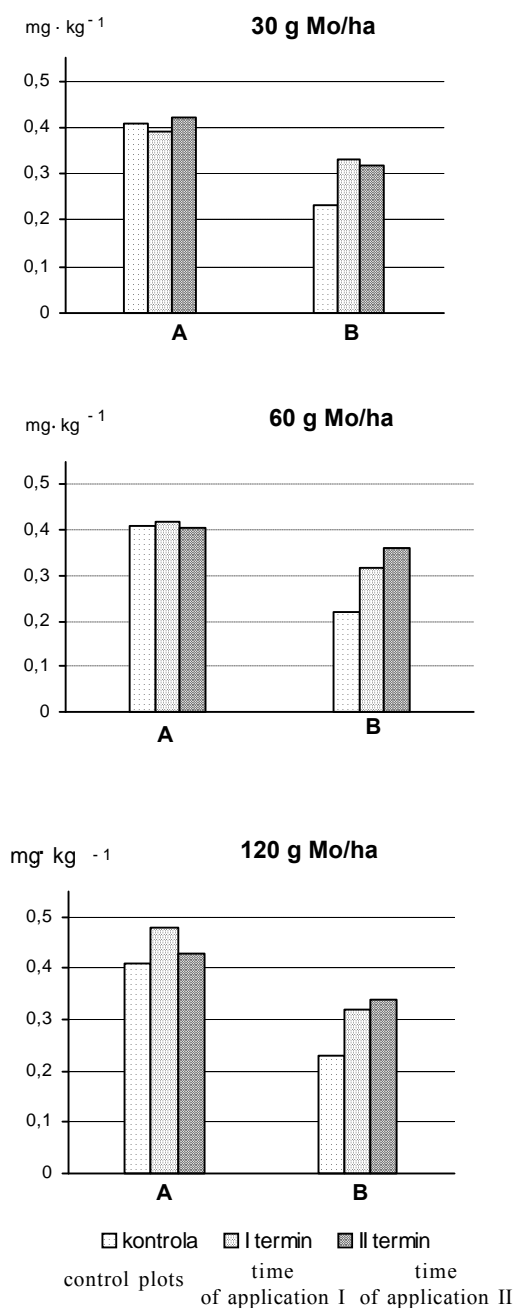
Molybdenum average content in rape seeds depending rate and application time

Ten sam autor (21) stwierdził różny stopień gromadzenia Mo w nasionach grochu pod wpływem nawożenia dolistnego, który był zależny od odmiany. Koncentracja molibdenu w nasionach rzepaku w badaniach Szukalskiego i in. (107) wzrosła w niewielkim stopniu, z 0,21 do 0,26 mg Mo · kg⁻¹, po zastosowaniu dawki dogłębowej w wysokości 0,4 kg Mo · ha⁻¹. W doświadczeniach własnych zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nie nawożonego tym mikroelementem wynosiła średnio 0,32 mg · kg⁻¹ (tab. 6) i była w pewnym stopniu zależna od wielkości plonu. Dolistne nawożenie rzepaku molibdenem, oprócz reakcji w plonach, spowodowało również zmiany zawartości tego mikroelementu w nasionach. Średnia dla wszystkich doświadczeń koncentracja molibdenu w nasionach rzepaku nawożonego Mo była większa w porównaniu z jego średnią zawartością w obiektach kontrolnych. W zależności od stosowanych dawek i terminów aplikacji Mo mieściła się w zakresie 0,36–0,40 mg Mo · kg⁻¹ (rys. 15).

Najmniejszą zawartość Mo stwierdzono w roślinach nawożonych dawkami 30 lub 60 g Mo · ha⁻¹ w I terminie, a największą w przypadku dawki 120 g Mo · ha⁻¹ stosowanej również w tym terminie.

Biorąc pod uwagę poziom plonowania rzepaku jako cechę kształtującą w pewnym stopniu zawartość molibdenu w nasionach, doświadczenia podzielono na 2 równoliczne grupy. W grupie doświadczeń z plonem kontrolnym do 2,7 t z ha średnia zawartość Mo w nasionach kształtowała się na poziomie 0,41 mg · kg⁻¹. W tej grupie doświadczeń oprysk rzepaku molibdenem generalnie nie spowodował wzrostu zawartości Mo w nasionach, niezależnie od wielkości dawki i terminu jej aplikacji (rys. 16). Zwiększoną koncentrację Mo w stosunku do kontroli stwierdzono tylko dla dawki 120 g Mo zastosowanej w I terminie. W drugiej grupie doświadczeń, z plonem kontrolnym powyżej 2,7 t z ha, średnia zawartość molibdenu w nasionach obiektu kontrolnego wynosiła zaledwie 0,24 mg · kg⁻¹. Dolistne nawożenie rzepaku ozimego tym składnikiem spowodowało znaczny wzrost jego koncentracji w nasionach zależny od wielkości dawki i terminu oprysku. Po nawożeniu dawką 30 g Mo · ha⁻¹, dla obu terminów aplikacji, wzrost ten wynosił około 30% w stosunku do kontroli. Przy dawce 60 g Mo · ha⁻¹ wystąpiło natomiast zróżnicowanie w zawartości Mo między roślinami nawożonymi w różnych terminach. Zawartość Mo wzrosła o około 22% po nawożeniu w pierwszym terminie i 49% w drugim terminie. Dawka 120 g Mo · ha⁻¹ spowodowała odpowiednio 30 i 38% wzrost zawartości molibdenu w nasionach.

Nawożenie rzepaku molibdenem nie spowodowało zmian w zawartości innych składników pokarmowych w nasionach. Nie znaleziono również żadnych zależności regresyjnych między koncentracją molibdenu w nasionach rzepaku nawożonego Mo a cechami charakteryzującymi glebę bądź składem chemicznym nasion. Udowodniono jedynie w grupie doświadczeń z niższymi plonami ujemną korelację prostą między zawartością Mo i Mn w nasionach ($r = -0,62^*$) oraz dla rzepaku o większych plonach dodatnią korelację między zawartością Mo i Ca ($r = 0,68^{**}$).



Rys. 16. Średnia zawartość molibdenu w nasionach rzepaku na obiektach kontrolnych i po oprysku dolistnym Mo

A – plon kontrolny < 2,7 t · ha⁻¹, **B** – plon kontrolny > 2,7 t · ha⁻¹

Average Mo content in rape seeds on control plots and after Mo leaf application

A – control yields < 2,7 t · ha⁻¹, **B** – control yields > 2,7 t · ha⁻¹

4.5. WPŁYW NAWOŻENIA Mo NABIOLÓGICZNY PŁON BIAŁKA

Rzepak jest jedyną krajową rośliną oleistą, której nasiona po wytłoczeniu oleju stanowią poważne źródło białka. Nasiona rzepaku zawierają przeciętnie 20–24%, a śruta 30–40% białka o wysokiej wartości biologicznej, o czym świadczy dobrze zbilansowany i korzystny z punktu widzenia wartości paszowej skład aminokwasowy (59). W sytuacji rozprzestrzeniania się choroby BSE stosowanie pasz na bazie mączek kostnych zostało w dużym stopniu ograniczone, stąd też makuch i śruta obecnie uprawianych odmian uszlachetnionych rzepaku zaczynają nabierać większego znaczenia w żywieniu zwierząt.

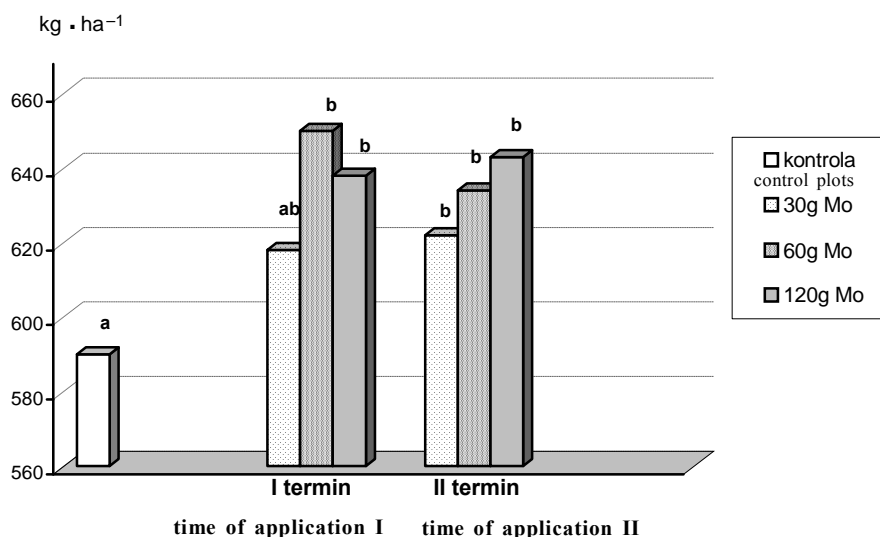
Dokarmianie roślin molibdenem może powodować wzrost zawartości azotu białkowego w roślinach oraz zwiększenie biologicznego plonu białka. W badaniach własnych stwierdzono, że zawartość białka ogólnego w nasionach obiektów kontrolnych (średnio we wszystkich 33 doświadczeniach) kształtowała się na poziomie 20,7%, a w obiektach nawożonych molibdenem nasiona zawierały go około 21,2% (tab. 19). Zawartość białka ogólnego w nasionach rzepaku nawożonego Mo wzrosła więc, choć w niewielkim stopniu, w porównaniu z zawartością jaką charakteryzował się rzepak nie nawożony tym mikroelementem. Znacznie lepiej niż średnia arytmetyczna obrazuje ten fakt modalna, jako wartość najczęściej występująca w zbiorze danych. Różnice w zawartości białka ogólnego w nasionach rzepaku nawożonego poszczególnymi dawkami Mo i w różnych terminach były niewielkie, choć można mówić o tendencji korzystniejszego działania dawki 60 g Mo · ha⁻¹ zastosowanej w pierwszym terminie (tab. 19).

Plon biologiczny białka determinowany był przede wszystkim wielkością plonu nasion. W wyniku nawożenia rzepaku ozimego molibdenem uzyskano około 9–10% wyższy plon biologiczny białka niż w obiekcie nie nawożonym Mo, co zostało udowodnione statystycznie (rys. 17). Jedynie różnica między obiektami kontrolnym i z dawką 30 g Mo · ha⁻¹, zastosowaną w pierwszym terminie, nie została jednoznacznie dowiedziona. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w plonie białka zarówno między poszczególnymi dawkami, jak i terminami aplikacji molibdenu.

Tabela 19

Zawartość białka ogólnego w nasionach rzepaku ozimego (%)
Total protein content in winter rape seeds (%)

Parametr Parameter	Obiekt kontrolny Control treatment	Dawka molibdenu (g Mo · ha ⁻¹) i termin stosowania Mo dose (g Mo · ha ⁻¹) and application time					
		30		60		120	
		I	II	I	II	I	II
Średnia arytmetyczna Average	20,7	21,2	21,3	21,6	21,1	21,2	20,9
Modalna Mode	17,6	20,7	20,2	21,1	19,6	18,4	18,3



Rys. 17. Wpływ nawożenia molibdenem rzepaku na plon białka ogólnego
Effect of Mo fertilization on the total protein yield of oilseed rape

W badaniach z lucerną Gorlachowie (43) uzyskali 10% przyrost plonu białka w wyniku dogłębowego zastosowania molibdenu ($2 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz aż 45% wzrost plonu białka wskutek oprysku dolistnego pod koniczynę (cyt. za 104). Molibden zastosowany dogłębowo w uprawie bobiku spowodował wzrost zawartości białka właściwego kosztem azotu niebiałkowego, przy czym wzrastał również udział białek konstytucyjnych w białku właściwym nasion. Ponadto uzyskano 15% przyrost plonu białka po nawożeniu dawką $1 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ (22).

W badaniach dotyczących efektów stosowania molibdenu w uprawie grochu, dodatni wpływ dolistnego nawożenia tym mikroelementem wyrażał się zwiększeniem zawartości białka ogólnego w nasionach i słomie oraz jego wydajności z jednostki powierzchni (51). Efekt ten zależał od zespołu warunków uprawy i nawożenia PK oraz indywidualnej reakcji odmian. W badaniach Czyża (21) odmiany grochu różniły się reakcją na dolistne nawożenie molibdenem wyrażającą się przyrostem plonu białka, który w stosunku do kontroli kształtował się w zakresie 0,7–18,4%.

5. WNIOSKI

1. Dolistne nawożenie rzepaku ozimego molibdenem powoduje wzrost plonu nasion i biologicznego plonu białka oraz wzrost koncentracji Mo w nasionach. Większa zawartość molibdenu w nasionach ma szczególne znaczenie w przypadku, gdy będą one stanowiły materiał siewny lub surowiec paszowy.

2. Zasobność gleby w przyswajalne formy molibdenu, oznaczona metodą obecnie stosowaną w stacjach chemiczno-rolniczych, nie jest dobrym wskaźnikiem do przewidywania reakcji rzepaku na dolistne nawożenie tym mikroelementem.

3. Efekty plonotwórcze nawożenia rzepaku molibdenem zależą od klimatyczno-glebowych warunków jego uprawy. Spośród badanych czynników środowiskowych największe znaczenie mają kolejno: odczyn gleby, rejon uprawy związany z warunkami klimatycznymi, kategoria agronomiczna gleby oraz kompleks glebowo-rolniczy. Niezależnie od wymienionych czynników efekty nawożenia Mo są modyfikowane zasobnością gleby w przyswajalne formy makro- i mikroelementów.

4. Wbrew powszechnej opinii o zasadności nawożenia molibdenem jedynie w warunkach gleb zakwaszonych, największe przyrosty plonów rzepaku ozimego, wskutek dolistnej aplikacji tego składnika, można uzyskać na glebach o $\text{pH} > 5,5$. Na glebach kwaśnych i bardzo kwaśnych efekty nawożenia Mo są znacznie mniejsze, a niekiedy nawet negatywne, wyrażające się obniżeniem poziomu plonowania.

5. Przyrosty plonów nasion w wyniku dolistnego nawożenia Mo występują przede wszystkim w rejonach kraju, gdzie rzepak nie jest narażony na niskie temperatury w okresie zimowym oraz zbyt małą ilość opadów w okresie wegetacji wiosenno-letniej.

6. Większych przyrostów plonów nasion rzepaku ozimego nawożonego molibdenem należy oczekiwać na glebach średnich i ciężkich, niż na lekkich oraz na glebach kompleksów pszennych, niż żytnich.

7. Warunkiem uzyskania korzystnych efektów dolistnego nawożenia Mo jest optymalne zaopatrzenie rzepaku w pozostałe składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy), przy czym duża zawartość fosforu w glebie może ograniczać reakcję roślin na dokarmianie molibdenem, a duża zawartość manganu może ją stymulować.

8. Reakcja rzepaku na dolistne nawożenie molibdenem, wyrażona przyrostem czy też obniżeniem plonów nasion, jest wypadkową działania czynników klimatyczno-glebowych. Największe efekty plonotwórcze występują w warunkach współdziałania kilku czynników korzystnych dla uprawy rzepaku.

9. Dotychczas zalecane w kraju dawki molibdenu do nawożenia dolistnego rzepaku ozimego są zbyt małe. Najlepsze rezultaty uzyskuje się na ogół przy poziomie nawożenia $60\text{--}120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$, niezależnie od terminu aplikacji w okresie od wiosny (kilka dni po ruszeniu wegetacji) do początku formowania łodygi. Termin nawożenia Mo może być więc dostosowany do ewentualnego przeprowadzenia go łącznie z odpowiednim zabiegiem ochrony roślin.

6. LITERATURA

1. A s e n I.: Zinc application to cereals, potatoes and red clover on a heavily limed zinc- deficient soil in Norway. The utilization of secondary and trace in agriculture. M. Nijhoff Pub. Dordrecht/ Boston /Lancaster, 1987, 161-172.
2. A n o n i m: Big responses to Mo on soyabean in South Africa. Micronutrient News and Information: 12/4, Micronutrient Bureau. Ed. Schorrock. London, 1992, 12-13.
3. A n o n i m: Clearly canola our choice for health, 2001, <http://www.canolainfo.org>.
4. A n o n i m: 2001 <http://www.indiana.edu/~health/cholest.html>
5. B a r s z c z a k Z., B a r s z c z a k T., G ó r c z y ń s k i J., K o t A.: Ocena wrażliwości genotypów rzepaku ozimego na zwiększone stężenie metali w glebie. Rośliny oleiste – Wyniki badań za rok 1990, cz. I, IHAR Radzików, 1991, 65-70.
6. B e n e d y c k a Z.: Studia nad działaniem nawozowym molibdenu. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., suppl. A, 1988, **45(321)**.
7. B e n e d y c k a Z., K r a u z e A.: Zastosowanie fosforu z mikroelementami (Zn, Mo, B) w dolistnym dokarmianiu bobiku. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1995, **61(496):** 31-37.
8. B e r g m a n n W.: Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Visuelle und analytische Diagnose. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena, 1986.
9. B h e l l a H. S., D a w s o n M. D.: The use of anion exchange resin for determining available soil molybdenum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1972, **36:** 177-179.
10. B o b r z e c k a D., S a l o m o n i k S.: Zależność między technologią nawożenia miedzią a plonem i zawartością tłuszczu w nasionach podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste, 1997, **18:** 219-225.
11. B u r k i n I.: Znaczenie molibdenu w produkcji rolniczej. PWRiL Warszawa, 1976.
12. Clayton G., Turkington K., Harker N., O'Donovan J., Johnston A.: High yielding canola production. Better Crops Whit Plant Food, 2000, **1:** 26-27.
13. C o e l h o F. C., V i e i r a C., M o s q u i m P. R., C a s s i n i S. T. A.: Nitrogen and molybdenum for sole-cropped and intercropped maize and beans. I. Effect on beans. Revista Ceres, 1998, **45(260):** 393-407.
14. C o x F. R.: Micronutrient Research in North Carolina, 1999, <http://agronomy.agr.state.nc.us/ssnc/cox.htm>
15. C z a r n o w s k a K.: Molibden w niektórych glebach Niziny Mazowiecko-Podlaskiej. Roczn. Nauk Rol., 1968, A, **94(4):** 510-543.
16. C z a r n o w s k a K.: Zinc, manganese, copper and molybdenum in alluvial soils. Pol. Ecol. Stud., 1978, **4(1):** 21-25.
17. C z u b a R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471:** 161-169.
18. C z u b a R., D u d z i a k S., M a l i ń s k a H.: Wstępne wyniki badań wojewódzkich stacji chemiczno-rolniczych nad zawartością mikroelementów w glebach Polski. II. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w profilach niektórych typów gleb. Roczn. Glebozn., 1974, **25(3):** 21-53.
19. C z u b a R., S z t u d e r H., Ś w i e r c z e w s k a M.: Dolistne dokarmianie rzepaku ozimego i gorczyca białej azotem, magnezem i mikroelementami. IUNG Puławy, 1995, **P(58)**.
20. C z y ż H.: Wpływ stosowania boru, manganu i molibdenu na plonowanie grochu siewnego (*Pisum sativum*) w uprawie na nasiona. Rozprawy AR Szczecin, 1992, **144:** 61.
21. C z y ż H.: Wpływ nalistnego nawożenia mikroelementami na plonowanie i jakość nasion grochu pastewnego. Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Nauk., 1991, **34:** cz. 1, 221-228.
22. D o m s k a D., K r a u z e A., B e n e d y c k a Z.: Wpływ nawożenia molibdenem na plon białka oraz zawartość związków azotowych w nasionach bobiku. Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Rol., 1983, **36:** 49-57.

23. Donald C., Prescott J.: Trace elements in Australian crop and pasture production. In: Trace elements in soil-plant-animal systems. Acad. Press Ins., New York, San Francisco, London, 1975, 7-37.
24. Dubiel W.: Zawartość przyswajalnych form B, Mn, Cu, Mo w zależności od ilości części spławialnych i materii organicznej oraz odczynu gleb południowo-wschodniej Polski. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rozprawy, 1978, **147(60)**.
25. Dudziak S., Bednarek W.: Przyswajalny bor i molibden w czarnoziemach hrubieszowsko-tomaszowskich. Rocz. Glebozn., 1980, **31(1)**: 37-62.
26. Faber A.: Bezpośrednie i następcze działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**.
27. Field B.: An evaluation of a range of Australian Canola varieties in Tasmania. New Horizons for an old crop. Proc. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra, Australia, 1999.
28. Finck A.: Rapsdüngung – Bericht über deutsche Literatur. Beiträge zur Düngung von Winter-raps. UFOP-Schriften, 1997, **9**:
29. Finck M., Sauer mann W.: Molybdändüngung zu Winter-raps. Beiträge zur Düngung von Winter-raps. UFOP-Schriften, 1996, **9**: 91-105.
30. Foty ma M., Mercik S.: Nawożenie w technologiach uprawy roślin. Chemia rolna. Wyd. Nauk. PWN Warszawa, 1995, 233-297.
31. Gemb arzewski H.: Chemiczne testy zasobności gleb w dostępne dla roślin mikroelementy. Post. Nauk Rol., 1982, **4**: 73-95.
32. Gemb arzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 171-179.
33. Gemb arzewski H., Korzenio wska J.: Ocena zasobności gleby w mikroelementy według „starych” i „nowych” liczb granicznych a doradztwo nawozowe. Prace Kom. Nauk. PTG, 1989, **110**: 24-37.
34. Gemb arzewski H., Si enkie wicz U.: Wpływ wzrastających dawek saletry amonowej na plonowanie i zawartość Mo i Mn w kupkówce pospolitej. Mat. VII Symp. „Mikroelementy w Rolnictwie”, Wrocław, 1992, 343-346.
35. Gemb arzewski H., St anisł awska E.: Potrzeba nawożenia molibdenem i miedzią w Polsce na podstawie badań gospodarstw kontrolnych IUNG. Rocz. Glebozn., 1987, **38(2)**: 161-174.
36. Gemb arzewski H., Kamińska W., Korzenio wska J.: Zastosowanie 1 M roztworu HCl jako wspólnego ekstrahenta do oceny zasobności gleby w przyswajalne formy mikroelementów. Prace Kom. Nauk. Pol. Tow. Glebozn., 1987, **99**: 1-9.
37. Gemb arzewski H., St anisł awska E., Kamińska W., Andruszczak E., Kozłowska H.: Badania nad dostępnością dla roślin molibdenu. Pam. Puł., 1984, **82**: 1-18.
38. Gorlach E.: Zawartość molibdenu w niektórych glebach Polski Południowej. Rocz. Glebozn., 1963, **13**: 213-225.
39. Gorlach E.: Opewnym uproszczeniu metody Grigga. Rocz. Glebozn., 1964, **14(1)**: 15-26.
40. Gorlach E.: Molibden w glebach i jego przyswajalność dla roślin. Acta Agr. Silv., Agr., 1967, **7(1)**: 79-149.
41. Gorlach E.: Zawartość azotanów w rzepaku jako wskaźnik zasobności gleby w przyswajalny molibden. Rocz. Nauk Rol., 1967, A, **92(4)**: 559-573.
42. Gorlach E.: Rola mikroelementów w redukcji azotanów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **440**: 109-119.
43. Gorlach E., Gorlach K.: Wpływ nawożenia molibdenem na plony i skład chemiczny lucerny. Rocz. Glebozn., 1970, **21(2)**: 356-364.
44. Gorlach E., Gorlach K., Compała A.: Investigations of the effect of phosphates on the adsorption of molybdenum by plants. Pol. J. Soil. Sci., 1971, **4**: 47-54.
45. Gorlach E., Gorlach K., Karkanis M.: Reakcja lucerny i rzepaku na nawożenie molibdenem na glebach o różnej zawartości przyswajalnego molibdenu. Rocz. Glebozn., 1965, **15(2)**: 607-625.

46. Gos podarczyk F., Hrynczewicz Z., Nowak W., Sowiński J.: Rozwój i plonowanie nasienne lucerny mieszańcowej (*Medicago media* L.) pod wpływem nawożenia mikroelementami (B, Mo, Co) i szczepienia nasion bakteriami brodawkowymi. Roczn. Pozn. Rol., 1993, **42(247)**: 175-185.
47. Grzebisz W., Gaj R.: Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. (W:) Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 83-98.
48. Henkens Ch. H.: Molybdenum uptake by beets in Dutch soils. Centre for Agric. Pub. and Document., Agric. Res. Reports 775, Wageningen, 1972.
49. Hunashikatti M. G., Channal H.T, Sarangamath P. A., Manjunath H. M.: Effect of sulphur and molybdenum on the dry matter yield and uptake of S and Mo by cabbage. Karn. J. Agricult. Sci., 2000, **13(4)**: 840-845.
50. Hussien-Ea, Bayoumi-Na, Badr-Ma.: Molybdenum adsorption on iron and aluminium hydroxides. Egypt. J. Soil Sci., 2000, **40(1-2)**: 177-190.
51. Jasińska Z., Kotecki A.: Wpływ molibdenu na rozwój i plonowanie grochu. Roczn. Nauk Rol., 1991, A, **108(3)**: 163-172.
52. Jones J. B. Jr, Wolf B., Mills H. A.: Plant analysis handbook. Micro-Macro. Publishing Inc. Athens, Georgia, USA, 1991.
53. Kabata-Pendias A.: Biogeochemia miedzi i molibdenu. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 11-19.
54. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1979.
55. Kac-Kacas M., Różyczka T., Kabata-Pendias A.: Badania nad nawożeniem molibdenem gleb o różnej kwasowości. Roczn. Nauk Rol., 1964, A, **88(4)**: 773-789.
56. Kamińska W., Kardasz T., Szymborska H.: Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. IUNG Puławy, 1976.
57. Karimian N., Cox F. R.: Molybdenum availability as predicted from selected soil chemical properties. Agron. J., 1979, **71(1)**: 63-65.
58. Katal J. C., Randhawa N. S.: Micronutrients. FAO, Fert. & Plant. Nutr. Bull., 1983, 7.
59. Kerschberger M., Marks G.: Nichts in Blaue hinein düngen. Neue Trends in der Düngung, 2000, **2**: 22-23.
60. Klepacka M., Nitecka E.: Białka nasion rzepaku. Post. Nauk Rol., 1982, **4**: 53-72.
61. Krauze A., Benedycka Z., Domska D., Bobrecka D.: Wpływ wzrastających dawek molibdenu na plonowanie bobiku i zawartość molibdenu w roślinach i glebie. Zesz. Nauk. AR-T Olsztyn, Rol., 1983, **36**: 39-47.
62. Krauze A., Domska D., Bobrecka D., Benedycka Z.: Dynamika zawartości przyswajalnego molibdenu w różnych rodzajach gleb użytkowanych rolniczo. Roczn. Glebozn., 1993, **44(3/4)**: 63-68.
63. Kruczyńska H.: Zapotrzebowanie zwierząt na mikroelementy. Prace Kom. Nauk. PTG, 1985, **93**: 37-42.
64. Kolarz B., Gembarzewski H.: Szacowanie zasobności gleby i potrzeb nawożenia wspomagane komputerem PC. Mat. I Konf. Środow. „Komputerowe wspomaganie badań naukowych” KOWBAN '94. Wrocław, 1994, 169-172.
65. Kolarz B., Gembarzewski H.: Opis programu Soil Fert do oceny zasobności gleby w składniki pokarmowe. IUNG Puławy, 1995.
66. Krzymuski J., Siemion E.: Rejonizacja rzepaku ozimego w świetle wyników produkcyjnych i doświadczeń. IUNG Puławy, 1977, **S(25)**.
67. Liu D., Clark J. D., Crutchfield J. D., Sims J. L.: Effect of pH of ammonium oxalate extracting solutions on prediction of plant available molybdenum in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1996, **27 (11/12)**: 2511-2541.
68. Lowe R. H., Massey H. F.: Hot water extraction for available soil molybdenum. Soil Sci., 1965, **100**: 238-243.

69. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Próba wykorzystania składu chemicznego roztworu glebowego w diagnostyce nawożenia mikroelementami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 45-52.
70. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Zmienność stężenia mikroelementów w roztworze glebowym w warunkach trwałego doświadczenia nawozowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 113-120.
71. Mat. Konf. nt.: Produkcja biopaliw na bazie surowców roślinnych szansą polskiej gospodarki i rolnictwa. NOT Wrocław, listopad 2001 r.
72. M a s s u m i A., F i n c k A.: Molybdängehalte einiger Acker- und Grünlandpflanzen Schleswig-Holsteins in Abhängig von Bodenfaktoren. Z. Pfl. Ernah. Bodenk., 1973, **134(1)**: 56-65.
73. M e n g e l K., K i r k b y E.: Podstawy żywienia roślin. PWRiL Warszawa, 1983.
74. Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I-IV. IUNG Puławy, 1980.
75. Micronutrient News. Boron. Canola responds in USA, 1994, **13(14)**: 5.
76. M r ó w c z y ń s k i M., W a c h o w i a k H., S e t a G.: Łączenie zabiegów ochrony rzepaku z dolistnym dokarmianiem roślin. (W): Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 121-128.
77. M s i a ł W., O t o l i ń s k i E.: Alternatywne wykorzystanie rzepaku w celach energetycznych. Aura, 1994, **4**: 5.
78. M u ś n i c k i Cz.: Rośliny oleiste. (W): Szczegółowa uprawa roślin. T. II. Praca zbiorowa pod red. Z. Jasińskiej i A. Koteckiego, AR Wrocław, 1999, 365-493.
79. N o w o s i e l s k i O.: Metody oznaczania potrzeb nawożenia molibdenem. (W): Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL Warszawa, 1968, 600-619.
80. P i o t r o w s k a M.: Występowanie boru, miedzi i molibdenu w glebach wytworzonych z lessów Wyżyny Sandomiersko-Opatowskiej. Pam. Puł., 1967, **30**: 99-114.
81. R e i d R. J.: Mechanisms of micronutrient uptake in plants. Aust. J. Plant Physiol., 2001, **28(7)**: 659-666.
82. R ę b o w s k a Z.: Wpływ nawożenia NPK, wapnowania i nawadniania na pobieranie kilku mikroelementów przez pszenicę ozimą i rzepak ozimy. Pam. Puł., 1983, **80**: 33-47.
83. R ę b o w s k a Z., K u s i o M.: Wpływ nawożenia NPK i wapnowania gleby na zawartość i pobieranie mikroelementów przez rzepak jary. Pam. Puł., 1986, **86**: 97-114.
84. Roczniki statystyczne. Wyd. GUS Warszawa, 2001.
85. R u s z k o w s k a M.: Badania nad przyswajalnością molibdenu. Cz. I, II, III. Pam. Puł., 1968, **33**: 5-76.
86. R u s z k o w s k a M.: Mikroelementy. (W): Fizjologia mineralnego żywienia roślin. Praca zbiorowa pod red. A. Nowotny-Mieczyskiej. PWiRL Warszawa, 1976, 361-447.
87. R u s z k o w s k a M., Ł y s z c z S.: Różne kryteria oceny zaopatrzenia gleb w przyswajalne formy manganu, molibdenu i miedzi. Pam. Puł., 1971, **47**: 5-31.
88. R u s z k o w s k a M., W o j c i e s k a - W y s k u p a j t y s U.: Fizjologiczne i biochemiczne funkcje miedzi i molibdenu w roślinach. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 104-110.
89. R u s z k o w s k a M., S y k u t S., K u s i o M.: Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 43-47.
90. Rynek rzepaku – stan i perspektywy. IERiGŻ Warszawa, 2000, **18**: 7.
91. S c h r ö d e r G., F a l k e H.: Zur Bor- und Molybdändüngung zu Winterraps. Landwirtschaft, 1992, **4**: 46-47.
92. S e l i g a H.: Zawartość i rozmieszczenie miedzi oraz molibdenu w łubinie żółtym w warunkach niedoboru miedzi. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 148-152.
93. S h o r r o c k s V. M.: Micronutrient assessment at country level an international study. FAO Soils Bulletin, 1990, **63**: 20.
94. S i e n k i e w i c z U., G e m b a r z e w s k i H.: Stan zaopatrzenia w mikroelementy rzepaku ozimego z pól wysokoprodukcyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 365-370.

95. Sienkiewicz - Cholewa U., Gembarzewski H.: Badania nad potrzebami nawożenia mikroelementami podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. IUNG Puławy, 1997, **S(81)**.
96. Sienkiewicz - Cholewa U., Gembarzewski H.: Wpływ nawożenia rzepaku ozimego borem i molibdenem na plony. (W): Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 175-180.
97. Soltau P. N.: Determination of nutrient availability and element toxicity by AB-DTPA soil test and ICPS. Adv. Soil Sci., 1991, **16**: 165-190.
98. Spiak Z.: Mikroelementy w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, cz. I, **471**: 29-34.
99. Stanisławska - Głubiak E.: Potrzeby nawożenia molibdenem koniczyny czerwonej uprawianej na glebach górskich. IUNG Puławy, 1989.
100. Stanisławska - Głubiak E.: Badania nad działaniem molibdenu zastosowanego doglebowo pod lucernę. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 537-542.
101. Stanisławska - Głubiak E., Strączyński S.: Wpływ nawożenia molibdenem na jego zawartość w koniczynie. Zesz. Nauk. PAN, Kom. Nauk Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 162-166.
102. Stanisławska - Głubiak E., Strączyński S., Sienkiewicz - Cholewa U.: Wpływ zróżnicowanego poziomu plonów na zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, cz. I, **434**: 77-81.
103. Szukalski H.: Wpływ wzrastających dawek nawozów fosforowych i potasowych na plony i zawartość makro- i mikroskładników w glebie i roślinach. Roczn. Nauk Rol., 1974, A, **100(1)**: 69-86.
104. Szukalski H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979.
105. Szukalski H., Sikora M., Szukalska - Gołąb W.: Potrzeby uszlachetnionych odmian rzepaku w stosunku do składników mineralnych. Cz. 3. Bor, miedź, mangan, molibden, cynk. Zesz. Probl. IHAR, 1985, 182-189.
106. Szukalski H., Sikora M., Szukalska - Gołąb W.: Die Ansprüche vom Winterraps auf Makro- und Mikroelemente. 7 Intern. Rapeseed Congress, Poznań-Poland, 1987, Proc. **3**: 676-681.
107. Szukalski H., Sikora H., Pytla J., Chróst J.: Kształtowanie się zawartości boru, miedzi, manganu, molibdenu i cynku w glebie i roślinach w zależności od dawek i częstotliwości ich stosowania w płodozmianie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1976, **179**: 65-72.
108. Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D.: Molybdenum. (In): Soil fertility and fertilizers. Fourth ed. Macmillan Pub. Co. New York, Collier Macmillan Pub. London, 1985, 378-381.
109. Tomaszewska T.: O wpływie warunków klimatycznych na plony rzepaku ozimego w Polsce. Roczn. Nauk Rol., 1968, A, **94(3)**: 313-340.
110. Torszin S. P., Jagodin B. A., Udelnowa T. M., Golubkina N. A., Dudetskij A. A.: Wlijanije mikroelementow Se, Zn, Mo pri raznoj obespečennosti poczwy makroelementami i seroj na soderżanije Se w rastenijach jarowoj pszenicy i rapsa. Agrochimija, 1996, **5**: 54-64.
111. Tyksiński W.: Dynamika niektórych frakcji molibdenu pod wpływem zmiennych czynników glebowych. I: Zmiany frakcji molibdenu pod wpływem zróżnicowanego odczynu podłoża i nawożenia fosforowego. Prace Kom. Nauk Rol. Leś. PTNP, 1979, **49**: 265-274.
112. Wallace A.: The next agricultural revolution. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1984, **15(3)**: 191-197.
113. Wałkowski T., Krzymański J., Mrówczyński M.: Rzepak ozimy. IHAR Poznań, 1998.
114. Vieira R. F., Vieira C., Cardoso E. J. B. N., Mosquim P. R.: Foliar application of molybdenum in common bean. II. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of low fertility. J. Plant Nutr., 1998, **21(10)**: 2141-2151.

115. Vieira R. F., Cardoso E. J. B. N., Vieira C., Casini S. T. A.: Foliar application of molybdenum in common bean. III. Effect on nodulation. J. Plant Nutr., 1998, **21(10)**: 2153-2161.
116. Vitosh M. L., Warncke D. D., Lucas R. E.: Molybdenum. (In): Secondary and micronutrients for vegetables and field crops. Extension Bulletin, 1994, E-486. Internet: Michigan State University Extension, Soils & Soil Management- Fertilizer- 05209710, 07/10 /97. <http://www.msue.msu.edu/msue/imp/modfl/05209710.html>
117. Warchołowa M., Kusio M., Kocóń A.: Wpływ mikroelementów na plon i skład mineralny gryki (*Fagopyrum esculentum* Moench). Cz. 2: Miedź, molibden, bor. Pam. Puł. 1991, **98**: 95-112.
118. Wielebski F.: Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. (W): Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 262-276.
119. Wiśniewska-Kielian B.: Ocena przydatności metody Grigga do ekstrakcji przyswajalnego molibdenu z gleby. Cz. 1: Zależność między ilością molibdenu ekstrahowanego metodą Grigga a właściwościami gleb. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rol., 1987, **27**: 3-16.
120. Wiśniewska-Kielian B.: Ocena przydatności metody Grigga do ekstrakcji przyswajalnego molibdenu z gleby. Cz. 2: Akumulacja azotanów o poziom molibdenu w rzepaku w zależności od Mo ekstrahowanej metodą Grigga i właściwości fizykochemicznych gleb. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rol., 1987, **27**: 17-33.
121. Wiśniewska-Kielian B.: Skład chemiczny rzepaku w zależności od kwasowości gleby. Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Nauk., 1991, cz. 1, **34**: 361-367.
122. Witkowski K. J.: Przyrodnicze podstawy rejonizacji uprawy rzepaku ozimego w Polsce. Pam. Puł., 1964, **15**: 1-53.
123. Wróbel S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. Monogr. Rozpr. Nauk, IUNG Puławy, 2002, **2**.
124. Zeleny F.: Direct and residual effects of molybdenum on winter wheat yield and grain quality. Annals of the Besearch Institute for Crop Production Prague-Ruzyně, 1986, **24**: 309-321.
125. Zeleny F., Fiala J., Blazkova S.: Influence of molybdenum foliar application on winter wheat. (In): 6th Intern. Trace Element Symposium. Molybdenum, Vanadium. 1989, **1**: 264-270.
126. Żółdek J., Kalmbasa S.: Wpływ nawożenia molibdenem na plonowanie roślin i zawartość molibdenu w roślinach i glebie. Arch. Ochr. Środ., 1987, **1-2**: 111-122.

ANALYSIS OF SELECTED FACTORS GOVERNING THE EFFECT OF FOLIAR FERTILIZATION OF WINTER RAPESEED WITH MOLYBDENUM**Summary**

The aim the study was to:

- determine the effect of foliar application of molybdenum to the winter rapeseed crop on yield and chemical composition of seeds,
- identify and analyze the environmental factors influencing the yield-forming impact of foliar application of molybdenum in rapeseed,
- define rate and date of foliar application of molybdenum in rapeseed.

Replicated on-farm trials were run in a total of 33 experiment sites localized in eight provinces in the years 1987 and 1988. The experiment layout included 0-molybdenum treatment and three foliar molybdenum rates, 30, 60, and 120 g Mo · ha⁻¹ applied as water solution of ammonium molybdenate, and 2 application dates: a few days after the resumption of spring growth and at the beginning of stem formation. The data were analyzed statistically by ANOVA and by multivariate analysis i.e. by regression and cluster analysis.

Rapeseed was grown mainly on medium-heavy and heavy soils (61% of experiments) but also on light soils (39% of experiments). The soils were acidic or lightly acidic (72% of the experiments), neutral (16%) or very acidic (12%). Experiment sites varied for nutrient content of the soils. The yields of rapeseed grown at a molybdenum rate of 0 were from 1,9 to 4,0 t · ha⁻¹ depending on the agricultural capability of the soil involved, economic category, soil pH and geographical region, the latter providing a climatic factor.

The response of rapeseed to Mo fertilization was analyzed across the experiments and within experiment groups that were grouped according to the characteristic soil and climatic features. The response became manifest as an average yield increase of 0,15 t · ha⁻¹ ranging from -0,15 to +0,46 t · ha⁻¹. The yield-boosting effects of Mo fertilization were not dependent on molybdenum content of soil as determined in the 1 mol · dcm⁻³ HCl extract. Nor were they dependent on soil Mo content index calculated from high/low range classes for soil molybdenum. The response of rapeseed to Mo fertilization was primarily related to crop management conditions. The impact of environmental conditions involved the following factors in their order of importance: geographical region, soil pH, economic category and agricultural capability of soil. Those factors set aside, plant response was modified by soil supply of available nutrients. The highest Mo application-related yield increases were found under conditions that favoured rapeseed growth, especially if several beneficial factors were involved simultaneously. On average, higher Mo application-dependent yield increases were obtained at experiment sites located in the west of the country compared to those obtained in the east. The impact of Mo fertilization was modified by soil pH, being more beneficial on soils with pH > 5,5 and much worse or even negative on acidic and very acidic soils. Mo-dependent yield increases were higher on heavy and medium-heavy soils than on light soils and higher on wheat-suitable soil complexes than on rye soil complexes. One of the pre-conditions for beneficial effect of Mo fertilization was the optimum supply of macro- and micro-nutrients to plants, high soil phosphorus being to some extent a limiting factor.

Foliar Mo fertilization of rapeseed, apart from increasing seed yields, raised the biological yield of protein. In addition, with low initial Mo concentration of seeds, Mo fertilization increased Mo content of seeds by 22% to 49% depending on rate and date of molybdenum

application. In a trial group with initial Mo content of seeds twice of that of the low Mo group Mo fertilization did not change Mo content of seeds.

The best effects of foliar Mo applications were found to be brought about by rates from 60 to 120 g Mo · ha⁻¹, regardless of application date.

ZAŁĄCZNIKI
Enclosuers

Załącznik 1

Skrócona tabela analizy wariancji dla syntezy doświadczeń podzielonych według odczynu gleby
Shortened data of variance analysis of the synthesis of experiments according to soil reaction

Zmienność Variability	Gleby kwaśne i bardzo kwaśne Acid and very acid soils		Gleby lekko kwaśne i obojętne Slightly acid and neutral soils	
	poziom istotności probability level	NIR LSD	poziom istotności probability level	NIR LSD
Kontrast; Contrast	0,048	0,075	0,000	0,098
Czynnik I; Factor I	0,076	0,463	0,000	0,474
Czynnik I x lata/miejscowości Factor I x years/localities	1,000		1,000	
Czynnik II; Factor II	0,044	0,07	0,009	0,078
Czynnik II x lata/miejscowości Factor II x years/localities	1,000		0,157	
Interakcja cz. I x cz. II Interaction factor I x factor II	0,500	0,099 0,083	0,093	0,110 0,092

Załącznik 2

Skrócona tabela analizy wariancji dla syntezy doświadczeń podzielonych
według kategorii agronomicznej gleby
Shortened table of variance analysis of the synthesis of experiments according
to agronomic category of soils

Zmienność Variability	Gleby lekkie Light soils		Gleby średnie i ciężkie Medium and heavy soils	
	poziom istotności probability level	NIR LSD	poziom istotności probability level	NIR LSD
Kontrast; Contrast	0,025	0,093	0,001	0,089
Czynnik I; Factor I	0,030	0,485	0,000	0,411
Czynnik I x lata/miejscowości Factor I x years/localities	1,000		1,000	
Czynnik II; Factor II	0,019	0,092	0,006	0,061
Czynnik II x lata/miejscowości Factor II x years/localities	0,002		0,609	
Interakcja cz. I x cz. II Interaction factor I x factor II	0,817	0,130 0,103	0,141	0,087 0,079

Załącznik 3

Skrócona tabela analizy wariancji dla syntezy doświadczeń podzielonych według kompleksów glebowych

Shortened table of variance analysis of the synthesis of experiments according to soil suitability complexes

Zmienność Variability	Kompleksy pszenne Wheat complexes		Kompleksy żytnie Rye complexes	
	poziom istotności probability level	NIR LSD	poziom istotności probability level	NIR LSD
Kontrast; Contrast	0,011	0,113	0,001	0,074
Czynnik I; Factor I	0,005	0,468	0,000	0,487
Czynnik I x lata/miejscowości Factor I x years/localities	1,000		1,000	
Czynnik II; Factor II	0,047	0,060	0,001	0,080
Czynnik II x lata/miejscowości Factor II x years/localities	0,947		0,000	
Interakcja cz. I x cz. II Interaction factor I x factor II	0,450	0,083 0,086	0,451	0,114 0,090

Załącznik 4

Skrócona tabela analizy wariancji dla syntezy doświadczeń podzielonych według lokalizacji

Shortened table of variance analysis of the synthesis of experiments according to localization

Zmienność Variability	Rejon zachodni Western region		Rejon wschodni Eastern region	
	poziom istotności probability level	NIR LSD	poziom istotności probability level	NIR LSD
Kontrast; Contrast	0,000	0,086	0,307	0,117
Czynnik I; Factor I	0,000	0,463	0,500	0,494
Czynnik I x lata/miejscowości Factor I x years/localities	1,000		1,000	
Czynnik II; Factor II	0,004	0,09	0,208	0,059
Czynnik II x lata/miejscowości Factor II x years/localities	0,000		0,167	
Interakcja cz. I x cz. II Interaction factor I x factor II	0,271	0,123 0,097	0,222	0,084 0,100

Skrócona tabela analizy wariancji dla syntezy 33 doświadczeń
Shortened data of variance analysis of 33 experiments synthesis

Zmienność Variance	Poziom istotności Probability level	NIR LSD
Kontrast; Contrast	0,000	0,062
Czynnik I; Factor I	0,000	0,331
Czynnik I x lata/miejscowości Factor I x years/localities	1,000	
Czynnik II; Factor II	0,000	0,050
Czynnik II x lata/miejscowości Factor II x years/localities	0,458	0,071
Interakcja cz. I x cz. II Interaction factor I x factor II	0,458	0,062