

HENRYK FOBER

**Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na cechy wzrostowe i rozwojowe oraz na zawartość składników mineralnych w siewkach świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.\*)**

Wstęp . . . . .	135
Materiały i metodyka . . . . .	137
Wyniki . . . . .	143
Wpływ zaopatrzenia pożywki w badane składniki pokarmowe na cechy wzrostowe siewek świerka . . . . .	143
Wpływ zaopatrzenia pożywki w badane składniki pokarmowe na cechy rozwojowe siewek świerka . . . . .	150
Ocena koloru igliwia w zależności od poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywkach . . . . .	154
Procent obumarłych siewek świerka . . . . .	156
Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywkach na zawartość niektórych pierwiastków w siewkach świerka . . . . .	156
Stężenie badanych elementów w siewkach świerka . . . . .	161
Dyskusja . . . . .	167
Literatura . . . . .	175

WSTĘP

Praca dotyczy mineralnego żywienia siewek świerka głównymi pierwiastkami metalicznymi, tzn. potasem, magnezem i wapniem. Badano wzajemny wpływ tychże elementów na wzrost i rozwój siewek w pierwszym roku ich życia, począwszy od kiełkowania nasion.

W okresie młodocianym rośliny szybko reagują na zmienne warunki środowiskowe, a wszelkie ilościowe i jakościowe zmiany organizmów są łatwe do uchwycenia. Dlatego też badania żywienia mineralnego mające charakter testów wczesnych najdokładniej można przeprowadzić na siewkach. Z drugiej strony właściwe zaopatrzenie roślin w substancje odżywcze w początkowym stadium rozwoju rzutuje na ich dalszy wzrost. Według Baule'a i Frickera (1971) nawożenie w okresie młodocianym drzewostanu zwiększa jego odporność na mróz, suszę, działanie

\* Praca doktorska wykonana pod kierunkiem dra hab. Macieja Giertycha w Zakładzie Dendrologii i Arboretum Kórnickim PAN w Kórniku, częściowo finansowana przez Departament Rolnictwa USA w ramach umowy Fb-Po-174 na układzie PL-480.

szkodników i chorób oraz powoduje szybsze wyrośnięcie upraw ze stadium zagrożenia powodowanego przez zagłuszanie oraz przez zwierzynę. A zatem skutek prawidłowego żywienia mineralnego zwiększa się żywotność roślin.

Na podstawie licznych doświadczeń stwierdzono, że podawanie soli mineralnych podnosi produkcję suchej masy drzew. Dotychczas jednak nie zostały jeszcze gruntownie zbadane wszystkie podstawy fizjologiczne tego zagadnienia. Według K e l l e r a (1971) substancje mineralne mogą wywierać bezpośredni lub pośredni wpływ na wymianę gazową roślin i produkcję suchej masy. Najważniejsze fizjologiczne funkcje pierwiastków streszcza Keller następująco: 1) substancje mineralne mogą wchodzić w skład pigmentów lub enzymów, 2) mogą działać jako katalizatory i oddziaływać na aktywność enzymatyczną, 3) mogą wpływać na przepuszczalność błon, 4) mogą regulować zachowanie się szparek, 5) mogą zmieniać wielkość i liczbę ulistnienia, jego strukturę anatomiczną i przeżywalność, 6) mogą wpływać na uwodnienie roślin przez modyfikację pobierania i wydalania wody.

Pierwiastki metaliczne, takie jak potas, magnez i wapń, podobnie jak azot czy fosfor, występują w roślinach w stosunkowo dużych ilościach i spełniają ważną, bezpośrednią rolę w ich życiu. Niektóre pierwiastki, a szczególnie potas i wapń, mają też pośredni wpływ na rośliny. Według I n g e s t a d a (1959) na uwagę zasługują: wysokie stężenie soli w glebie bezpośrednio po nawożeniu, zmiany odczynu roztworu glebowego, zmiany rozpuszczalności substancji odżywczych w glebie i antagonizm jonów. Szczegółowe omówienie wpływu elementów metalicznych na wzrost i rozwój świerka zostało przedstawione osobno w przeglądzie literatury (w maszynopisie).

Obecnie w leśnictwie coraz częściej stosuje się mineralne nawożenie w celu zwiększenia produkcji drewna. Jak każde praktyczne działanie, także i to musi być poprzedzone szczegółowymi badaniami podstawowymi. W zakresie mineralnego żywienia świerka jest jeszcze sporo problemów niezupełnie poznanych, lub też, sądząc z przeglądu literatury kontrolersyjnych, zwłaszcza dotyczących zależności między intensywnością wzrostu a dostępnym zaopatrzeniem mineralnym.

Celem niniejszego doświadczenia było przebadanie reakcji siewek na różne stężenia makroelementów metalicznych w pożywkach, w wyrównanych warunkach hodowlanych w szklarni. Badano morfologiczne cechy jednorocznych siewek, jak również stężenie wymienionych pierwiastków w ich suchej masie. Zastosowanie w doświadczeniu mineralnie ubożego podłoża i pożywek o kombinacjach różnych stężeń pierwiastków metalicznych pozwoliło na zbadanie wpływu stężenia jednego pierwiastka na pobieranie drugiego oraz współzależności między równoczesnym różnicowaniem dawek dwóch, a nawet trzech elementów. Badano wzrost i rozwój siewek na pożywkach zbalansowanych, jak również na pożywkach



o niezrównoważonych stosunkach jonowych. Warunki tego doświadczenia dają zatem dużą skalę zmienności warunków środowiska mineralnego, w którym hodowano i obserwowano siewki świerka.

Prezentowana praca jest częścią ogólnych badań, w których opracowywano kolejno wpływ azotu (Fober i Giertych 1968), fosforu (Fober i Giertych 1970a), a w niniejszym doświadczeniu potasu, magnezu i wapnia na wzrost i rozwój siewek świerka. Ponieważ to doświadczenie jest ostatnim etapem badań, dlatego uzyskane w nim wyniki porównano i zestawiono razem z ważniejszymi wynikami poprzednich serii, w których siewki świerka rosły przy różnych stężeniach azotu i fosforu.

Prace dotyczące gospodarowania substancjami pokarmowymi związane są często z badaniami porównawczymi nad populacjami w poszukiwaniu tzw. ras glebowych (Langlet 1936/37, Gerhold 1959, Kral 1961, Giertych i Farrar 1962, Mergen i Worrall 1965, Steinbeck 1965, Giertych 1969, Brown 1970, Fober i Giertych 1970a). Do doświadczenia użyto zatem siewek świerka różnych polskich pochodzeń w nadziei znalezienia różnic proveniencyjnych w reakcji na żywienie mineralne.

#### MATERIAŁY I METODYKA

Nasiona świerka do doświadczenia pozyskano w okresie od 20 października 1964 r. do 13 lutego 1965 r. Zbierano je z drzewostanów, prawdopodobnie rodzimego pochodzenia, pozyskując jednakową ilość szyszek z co najmniej dziesięciu losowo wybranych drzew. Wyłuszczenie szyszek przeprowadzone zostało w Zakładzie Dendrologii PAN w Kórniku. Każdą porcję nasion umieszczono w słoiku szklanym, oznaczono numerem ewidencyjnym i przechowywano w fitotronie w temperaturze 3°C.

W tabeli 1 przedstawiono dokładny wykaz miejsc zbioru nasion, uwzględniający położenie geograficzne oraz numer ewidencyjny katalogu zbioru nasion. Do doświadczenia użyto zatem nasion pochodzących z północno-wschodniego oraz z południowego zasięgu występowania świerka w Polsce, a ponadto z kilku stanowisk w tzw. pasie bezświerkowym (Suwałki, Międzyrzec, Konstancjewo). Proweniencje z południowego zasięgu pochodziły najczęściej ze stanowisk górskich i to z różnych wysokości nad poziomem morza.

Należy zaznaczyć, że w poprzednich doświadczeniach wszystkie nasiona wykazały się wysokim procentem kiełkowania zapewniającym dostateczną ilość materiału. Zmienność wagi i wielkość nasion, jak również zawartość w nich azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia i sodu opracowano uprzednio (Fober i Giertych 1971 b).

Niniejsze doświadczenie zostało założone w lutym 1968 r. w cieplarni,

Wykaz badanych proveniencji świerkowych

Nr prow.	Miejsce zbioru nasion	Długość geogr.	Szerokość geogr.	Wzniesienie n.p.m.
1	2	3	4	5
S-16-96	Brody	14°53'	51°42'	80
S-15-98	Kowary	15°52'	50°48'	625
S-03-99	Istebna	18°52'	49°33'	630
S-03-100	Wisła	18°56'	49°37'	650
S-04-101	Rycerka	19°00'	49°32'	530
S-04-103	Nowy Targ	20°07'	49°31'	1000
S-09-104	Wetlina	22°30'	49°08'	700
S-10-106	Garbatka	21°36'	51°31'	130
S-10-107	Bliżyn	20°42'	51°05'	320
S-14-109	Konstancjewo	19°08'	53°11'	90
S-07-110	Itawa	19°34'	53°39'	116
S-07-111	Nowe Ramuki	20°34'	53°39'	143
S-07-112	Sadlowo	21°06'	53°55'	143
S-11-113	Myszyńiec	21°09'	53°22'	120
S-11-114	Sławki	21°07'	53°03'	130
S-07-115	Borki	22°05'	54°06'	155
S-07-116	Przerwanki	22°04'	54°08'	150
S-01-117	Gołdap	22°24'	54°20'	150
S-01-118	Suwałki	23°07'	53°59'	170
S-01-119	Augustów	23°11'	53°54'	130
S-01-120	Białowieża	23°47'	52°40'	160
S-01-121	Zwierzyniec	23°47'	52°43'	160
S-05-122	Międzyrzec	22°57'	52°03'	154
S-15-125	Stronie Śląskie	16°55'	50°18'	870
S-04-133	Dolina Chochołowska	19°48'	49°13'	1400

w wyrównanych warunkach. Zegar sterujący, samoczynnie włączający i wyłączający oświetlenie o ustalonych godzinach, zapewniał przedłużenie długości „dnia” do 16 godzin w miesiącach jesiennych i zimowych. Przed założeniem doświadczenia pomieszczenie cieplarni wydezynfekowano za pomocą dwóch lamp bakteriologicznych oraz przeprowadzono odgrzybianie preparatem „Fumatox DG”.

Do doświadczenia użyto doniczek glinianych o pojemności 150 ml, wypełnionych 1,5-centymetrową warstwą żwiru, a następnie białym, wielokrotnie płukanym, drobnym piaskiem technicznym. W dolny otwór każdej doniczki włożono watę, w celu nie dopuszczenia do wypłukiwania piasku. Doniczki ustawiono następnie na płytach perforowanych, aby woda czy pożywki podawane w nadmiarze podczas podlewania mogły swobodnie przepływać i ściekać w dół. Na każdej doniczce znajdował się opis uwzględniający numer pożywki, którą podlewano siewki danej doniczki, numer powtórzenia oraz proveniencji. Przez kilka dni doniczki polewano obficie wodą destylowaną w celu dokładnego przepłukania piasku i żwiru oraz ewentualnego wymycia znajdujących się w piasku, a rozpuszczalnych w wodzie związków mineralnych. Do tak przygotowanych doniczek pikowano podkiełkowane nasiona świerka w ilości 16 sztuk na doniczkę. Nasiona każdej proveniencji podkiełkowano na wilgotnych



Tabela 2

Stężenie badanych elementów w pożywkach w mg/litr

Pierwiastek	Stężenie pierwiastków		
	maksymalne w pożywkach	efektywne w doniczkach	proponowane przez Ingestada (1967)
N	150	50	50
P	19,5	6,5	6,5
K	97,5	32,5	32,5
Ca	10,5	3,5	3,5
Mg	12,75	4,25	4,25
Fe	1,05	0,35	0,35
S	62,9 - 74,9	21,0 - 25,0	4,5
Na	152,48 - 203,58	50,8 - 67,9	0,003

bibułach w temperaturze pokojowej; w tych warunkach kiełki osiągnęły dostateczną długość (około 1 - 2 cm w zależności od pochodzenia nasion) po 7 dniach. Ze względu na stosunkowo niską temperaturę w cieplarni, związaną z porą zakładania doświadczenia, kiełkowanie nasion bezpośrednio w doniczkach przeciągałoby się przez dłuższy czas i byłoby bardzo nierównomierne. Dzięki pikowaniu podkiełkowanych nasion nie zanieczyszczano kultur nieskiełkowanymi nasionami, a ponadto uzyskano równomierne rozmieszczenie siewek. Każda proweniencja była reprezentowana przez 54 doniczki z siewkami.

W początkowym okresie rozwoju, siewki podlewano codziennie tylko wodą destylowaną, w ilościach zapewniających stałą wilgotność piasku. Po 10 dniach dwa razy tygodniowo do doniczek dostarczano pożywkę mineralną w ilościach 10 ml na doniczkę. Pożywki charakteryzowały się różnymi zawartościami potasu, magnezu i wapnia w różnych wzajemnych proporcjach tych elementów. Maksymalne stężenia pierwiastków w pożywkach — 1 K, 1 Mg lub 1 Ca, to pełne ilości polecane przez Ingestada (1967) jako optymalne (tab. 2), podczas gdy  $\frac{1}{4}$  K,  $\frac{1}{4}$  Mg i  $\frac{1}{4}$  Ca oznaczało jedną czwartą część optymalnego stężenia, a 0 K, 0 Mg i 0 Ca zupełny brak tych elementów w pożywkach. W sumie przyrządzono 27 pożywek mineralnych, które zawierały wszystkie możliwe kombinacje tych stężeń ( $3 \times 3 \times 3 = 27$ ). Badane trzy pierwiastki podawano do pożywek w postaci siarczanów:  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  i  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Wyeliminowanie jakiegokolwiek pierwiastka lub jego części zastępowano siarczanem sodu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , aby wagowe stężenie soli w poszczególnych pożywkach było jednakowe. Ponadto do każdej pożywki dodawano w stałej ilości azot w formie amonowej i azotanowej ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  i  $\text{HNO}_3$ ) w stosunku 1 : 4, fosforan jednosodowy, siarczan żelazawy oraz roztwór mikroelementów o składzie podanym przez Ingestada (1959). Dodanie do pożywek odpowiedniej ilości wodorotlenku sodu (240,06 mg NaOH na 1 litr pożywki) obniżyło ich zakwaszenie do  $\text{pH} = 3,3$ , a w efekcie rozcieńczenia pożywek w doniczkach wodą destylowaną w stosunku 1 : 3 otrzymano odczyn  $\text{pH} = 4,5 - 5,0$ . Wagowe stężenie soli w pożywce wynosiło 971,8 mg/litr. Szczegółowy skład wszystkich pożywek przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Skład pożywek mineralnych używanych w doświadczeniu. Oprócz soli podanych w tabeli pożywka ponadto zawierała: 2,142 ml 1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 0,630 ml 1 M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 6,425 ml 1 M  $\text{HNO}_3$ , 240,06 mg NaOH, 1,9 ml 0,01 M  $\text{FeSO}_4$  i 1 ml roztworu mikroelementów, wszystko na 1 litr pożywki

Nr pożywki	Względna zawartość badanych elementów			Mililitrów roztworu/1 l pożywki			
	Ca	Mg	K	$\text{CaSO}_4$ 0,01 M	$\text{MgSO}_4$ 1 M	$\text{K}_2\text{SO}_4$ 0,5 M	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 1 M
1	1	1	1	26,20	0,524	2,494	—
2	1	1	1/4	26,20	0,524	0,624	1,147
3	1	1	0	26,20	0,524	—	1,530
4	1	1/4	1	26,20	0,131	2,494	0,333
5	1	1/4	1/4	26,20	0,131	0,624	1,480
6	1	1/4	0	26,20	0,131	—	1,863
7	1	0	1	26,20	—	2,494	0,444
8	1	0	1/4	26,20	—	0,624	1,591
9	1	0	0	26,20	—	—	1,974
10	1/4	1	1	6,55	0,524	2,494	0,188
11	1/4	1	1/4	6,55	0,524	0,624	1,335
12	1/4	1	0	6,55	0,524	—	1,718
13	1/4	1/4	1	6,55	0,131	2,494	0,521
14	1/4	1/4	1/4	6,55	0,131	0,624	1,668
15	1/4	1/4	0	6,55	0,131	—	2,051
16	1/4	0	1	6,55	—	2,494	0,632
17	1/4	0	1/4	6,55	—	0,624	1,779
18	1/4	0	0	6,55	—	—	2,162
19	0	1	1	—	0,524	2,494	0,251
20	0	1	1/4	—	0,524	0,624	1,398
21	0	1	0	—	0,524	—	1,782
22	0	1/4	1	—	0,131	2,494	0,584
23	0	1/4	1/4	—	0,131	0,624	1,731
24	0	1/4	0	—	0,131	—	2,114
25	0	0	1	—	—	2,494	0,695
26	0	0	1/4	—	—	0,624	1,842
27	0	0	0	—	—	—	2,225

Użycie do doświadczenia 25 proveniencji świerka, 27 pożywek mineralnych oraz 2 powtórzeń dało w sumie 1350 doniczek z siewkami. Doniczki ustawiono w 54 bloki, odpowiadające poszczególnym pożywkom i powtórzeniom. Każdy blok zawierał zatem 25 doniczek z siewkami 25 różnych proveniencji. Zarówno doniczki w poszczególnych blokach, jak również same bloki ustawiono losowo (randomizacja doświadczenia).

W maju 1968 r., czyli po 3 miesiącach wzrostu siewek, ich liczba została zredukowana do 5 sztuk na doniczkę.

Po jednym roku doświadczenie zostało zakończone. Siewki wyjęto z doniczek, korzenie wypłukano w wodzie destylowanej i wysuszono bibułą. Następnie wykonano liczne pomiary i obserwacje dotyczące cech wzrostowych i rozwojowych siewek, a mianowicie: określono kolor igliwia, liczbę siewek w doniczce (przeżycie), procent siewek z pączkiem szczytowym, liczbę pączków na siewkach, liczbę pędów bocznych, sumę długości pędów bocznych, wysokość siewek, świeżą i suchą masę siewek, jak również suchą masę igieł, łodyg i korzeni. Kolor igliwia oszacowano



Tabela 4

Źródła zmienności i rozbieżność stopni swobody dla analizy wariancyjnej

Źródło zmienności	Stopnie swobody
Całkowita	1349
M. grupami	674
Proweniencji	24
K	2
Ca	2
Mg	2
Prow. × K	48
Prow. × Ca	48
Prow. × Mg	48
K × Ca	4
K × Mg	4
Ca × Mg	4
Prow. × K × Ca	96
Prow. × K × Mg	96
Prow. × Ca × Mg	96
K × Ca × Mg	8
Prow. × K × Ca × Mg	192
Resztowa	675

za pomocą tablic kolorystycznych (Horticultural Colour Chart 1938), w których poszczególne kolory i ich odcienie oznaczone są liczbami. Kolor zielony posiada skalę od 53 (niebieskozielony) do 63 (żółtozielony). Wysokość siewek (od szyjki korzeniowej do pączka szczytowego) oraz długość pędów mierzono na papierze milimetrowym. Świeżą masę siewek ważono na wadze technicznej, a suchą masę — na wadze analitycznej, po uprzednim wysuszeniu siewek w suszarce w temperaturze 105°C przez 24 godziny.

Następnie przeprowadzono analizę zawartości niektórych głównych pierwiastków mineralnych w całych siewkach. Pierwiastki metaliczne, tzn. potas, magnez, wapń i sód oznaczano metodą fotometrii płomieniowej (Humphries 1956) na fotometrycznym płomieniowym „Flaphokol”. Przy oznaczaniu magnezu tą metodą otrzymywano na fotometrycznym bardzo małe odczyty, ale dzięki dużej liczbie próbek możliwe było wyliczenie średnich wartości dla wszystkich zmiennych doświadczalnych. We wszystkich 54 próbkach proveniencji Gołdap (S-01-117) oznaczono ponadto azot i fosfor. Azot całkowity oznaczano metodą Kjeldahla (Piper 1957), spalając próbki roślinne w kwasie siarkowym z dodatkiem siarczanu potasu i seleniu. Fosfor natomiast oznaczano zmodyfikowaną metodą Kuttnera i Lichtensteina (Fink 1963).

Wszystkie otrzymane wyniki poddano analizie wariancyjnej. W tabeli 4 przedstawiono rozbieżność stopni swobody na poszczególne źródła zmienności. Dzięki zastosowaniu układu ortogonalnego możliwe było wyliczenie ewentualnych interakcji między pierwiastkami metalicznymi (K, Mg i Ca) oraz interakcji między proveniencjami a tymi pierwiastkami. Wszystkie wyniki dotyczące zróżnicowania proveniencyjnego, niezależne od żywienia mineralnego, zostały opracowane w osobnej pracy (Fober

## Wyniki analizy wariancyjnej

Zródło zmienności	Kolor siewek	Śmiertelność	% siewek z pączkiem szczytowym	Liczba pączków na siewce	Liczba pedów bocznych na siewce	Ogólna długość pedów bocznych	Wysokość siewek	Świeża masa	Sucha masa	Sucha masa igieł	Sucha masa pedów	Sucha masa korzeni	% N w siewkach	% P w siewkach	% K w siewkach	% Mg w siewkach	% Ca w siewkach	% Na w siewkach	mg N w siewce	mg P w siewce	mg K w siewce	mg Mg w siewce	mg Ca w siewce	mg Na w siewce
N Prow. Prow. × N	× × × ×	—	× ×	× × × ×	× × × ×	× × —	× × —	—	× × —	× × —	× × —	× × —	× × —	—	—	—	—	—	× × —	—	—	—	—	—
P Prow. Prow. × P	× × —	× × —	—	—	× × —	× × —	× × —	—	× × ×	× × —	× × —	× × —	—	× × —	—	—	—	—	—	× × × × × ×	—	—	—	—
Prow. K Mg Ca Prow. × K Prow. × Mg Prow. × Ca K × Mg K × Ca Mg × Ca Prow. × K × Mg Prow. × K × Ca Prow. × Mg × Ca K × Mg × Ca Prow. × K × × Mg × Ca	× × × × — × × — — — × × × × × × — — — × × — — — — — —	— × × — × × —	× × — × × — × × —	× × — × × — × × —	× × — — — × × —	× × —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —			

× × różnice istotne przy poziomie 0,01,

× różnice istotne przy poziomie 0,05.



i Giertych 1971a). W dalszej części niniejszej pracy rozpatrywane są tylko różnice statystycznie istotne (tab. 5). Trudne w interpretacji interakcje trzeciorzędowe ( $K \times Ca \times Mg$ ) przedstawiono na rycinach za pomocą wykresów warstwicznych (Perkal 1958).

## WYNIKI

Jednoroczne siewki świerka wyhodowane na różnych pożywkach mineralnych o różnych stężeniach potasu, magnezu i wapnia, wykazały istotne zróżnicowanie pod względem wielu cech. Dotyczy to zarówno cech wzrostowych i rozwojowych, jak i niektórych innych, badanych w niniejszym doświadczeniu. Pod względem jednych cech siewki wykazały jednakową lub bardzo zbliżoną reakcję na zróżnicowanie stężenia poszczególnych pierwiastków metalicznych, natomiast pod względem innych reakcja ta różniła się zasadniczo. Z drugiej strony liczne cechy siewek świerka są równocześnie współzależne od zróżnicowania stężeń dwóch lub nawet trzech z badanych pierwiastków, co dzięki zastosowanemu schematowi doświadczenia było możliwe do wyliczenia jako interakcja.

W tej części pracy, w zależności od żywienia mineralnego, przedstawiona zostanie kolejno zmienność cech wzrostowych i rozwojowych siewek świerka, a następnie zawartość głównych pierwiastków mineralnych.

W załączonych tabelach przedstawiono wartości poszczególnych cech dla wszystkich trzech stężeń potasu, magnezu i wapnia w pożywce. Należy zaznaczyć, że liczby podane w tabelach są wartościami średnimi z dziewięciu pożywek, ponieważ przy określonym stężeniu jakiegoś pierwiastka istnieje tyleż możliwych kombinacji stężeń pozostałych dwóch elementów (tab. 3). Oprócz tego dla porównania podano wyniki otrzymane w doświadczeniach nad wpływem mineralnego żywienia siewek świerka azotem i fosforem (Fober i Giertych 1968, Fober i Giertych 1970a). W doświadczeniach tych pożywki różniły się czterema stężeniami badanego pierwiastka, podczas gdy wszystkie pozostałe składniki były dodawane w stałych, maksymalnych ilościach. Ponieważ były to warunki korzystniejsze niż w obecnym doświadczeniu należy je traktować tylko orientacyjnie. Porównywać można jedynie kierunek zmian przy wzroście czy obniżeniu zaopatrzenia w dany pierwiastek, ale nie absolutne wartości otrzymane dla poszczególnych cech.

### WPLYW ZAOPATRZENIA POŻYWKI W BADANE SKŁADNIKI POKARMOWE NA CECHY WZROSTOWE SIEWEK ŚWIERKA

W niniejszym doświadczeniu wykonano pomiary licznych cech wzrostowych takich jak: wysokość siewek, świeża i sucha masa siewek, sucha masa igieł, łodyg i korzeni oraz łączna długość pędów bocznych siewek.



Tabela 6

Wysokość siewek świerka (cm) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	—	6,0	6,0		6,1
Mg	xx	5,8	6,1		6,2
Ca	xx	5,8	6,0		6,3
N	xx	5,2	7,0	9,2	9,9
P	xx	4,6	5,1	5,4	5,4

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.

Wszystkie te cechy są uzależnione od stężenia poszczególnych pierwiastków metalicznych.

Wysokość siewek zależy od stężenia w pożywce wapnia oraz magnezu (tab. 6). Wzrost zaopatrzenia obydwu pierwiastków ma pozytywny wpływ na wartość tej cechy. Jeśli chodzi o magnez, to zaznacza się wyraźna tendencja do osiągania maksymalnej wysokości już przy niższych stężeniach tego pierwiastka w pożywce ( $\frac{1}{4}$  Mg). Na uwagę zasługuje fakt, że potas nie miał żadnego wpływu na osiąganie wysokości. Pierwiastki metaliczne w ogóle słabo różnicują siewki pod względem tej cechy. Siewki wyhodowane na pożywce z pełną dawką wapnia są wyższe tylko o 9% od siewek wyhodowanych przy braku tego pierwiastka w pożywce. Jeszcze mniejsze różnice otrzymujemy rozpatrując wpływ magnezu na wysokość siewek, która przy odpowiednim stężeniu tego pierwiastka w pożywce zwiększyła się maksymalnie tylko o 7%. Jak z tego widać, wysokość jednorocznych siewek świerka nie jest najlepszą cechą służącą do określenia wyników zróżnicowanego żywienia mineralnego pierwiastkami metalicznymi. Należy jeszcze zaznaczyć, że w pierwszym okresie wzrostu o wysokości decyduje głównie długość hypokotylu, która znów zależna jest od materiałów zapasowych nasienia. Pożywki mają wpływ dopiero na dalszy wzrost i zróżnicowanie wysokości odnosi się głównie do tej drugiej fazy wzrostu, toteż podane powyżej wartości procentowe są stosunkowo niskie.

Podobny wpływ na osiąganie wysokości przez siewki świerka mają azot i fosfor, przy czym zróżnicowanie pod wpływem azotu jest wielokrotnie większe od pozostałych pierwiastków.

Świeża masa siewek jest w dużym stopniu zależna od wysokości, a ponadto od wielu innych właściwości roślin, jak liczby i długości pędów bocznych, powierzchni aparatu asymilacyjnego, grubości łodyg itp. Stąd zróżnicowanie tej cechy jest większe, bardziej bowiem wpływają na nią zmiany stężeń poszczególnych pierwiastków w pożywkach. Dlatego też jest to cecha bardziej miarodajna przy ocenie żywienia mineralnego. Zaopatrzenie we wszystkie badane elementy, tzn. potas, magnez i wapń, posiada bezpośredni wpływ na świeżą masę siewek oraz



Tabela 7

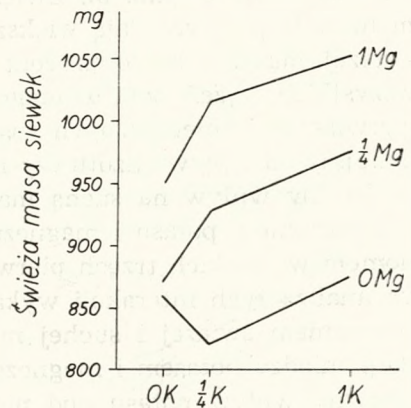
Świeża masa siewki świerka (mg) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	893	922		968
Mg	xx	851	926		1007
Ca	xx	866	899		1019

xx różnice istotne przy poziomie 0,01.

pośredni w postaci interakcji (tab. 5). Świeża masa siewek rośnie wraz ze wzrostem stężenia w pożywce każdego z tych trzech pierwiastków (tab. 7).

Przy maksymalnym stężeniu wapnia w pożywce świeża masa siewek jest o 18% wyższa od masy otrzymanej na pożywce bez tego pierwiastka.



Ryc. 1. Wpływ poziomu potasu i magnezu w pożywce na świeżą masę siewek świerka

Analogiczne wartości otrzymano przy podawaniu magnezu, podczas gdy przy zastosowaniu pełnej dawki potasu świeża masa zwiększyła się zaledwie o 8%. Masa siewek zależy również od interakcji między potasem i magnezem, potasem i wapniem oraz między tymi trzema pierwiastkami razem. Świeża masa siewek zwiększa się pod wpływem dawek magnezu przy każdym poziomie potasu, natomiast zwiększenie stężenia potasu w pożywce zwiększa masę tylko pod obecność magnezu ( $\frac{1}{4}$  Mg i 1 Mg), ponieważ przy braku magnezu (0 Mg) wpływ potasu jest znikomy lub negatywny (ryc. 1). Poza tym wpływ dawek potasu pod obecność wapnia jest wyraźnie inny niż przy braku wapnia lub jego niedostatku (0 Ca i  $\frac{1}{4}$  Ca). Niewielki wzrost poziomu potasu w pożywce bardziej wpływa na świeżą masę przy 0 Ca i  $\frac{1}{4}$  Ca niż przy 1 Ca, podczas gdy dalsze zwiększenie poziomu potasu z  $\frac{1}{4}$  K do 1 K działa najsilniej właśnie przy pełnym zaopatrzeniu w wapń. Należy jeszcze wspomnieć o istotnym wpływie interakcji między wszystkimi trzema pierwiastkami metalicznymi na omawianą cechę. Jest on spowodowany przede wszystkim specyficzną reak-

Tabela 8

Sucha masa siewek świerka (mg) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1
K	x	257,9	265,7		270,6
Mg	xx	244,5	264,7		284,9
Ca	xx	243,9	262,6		287,7
N	xx	96,7	195,4	320,8	364,0
P	xx	79,5	114,3	118,7	125,5

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05.

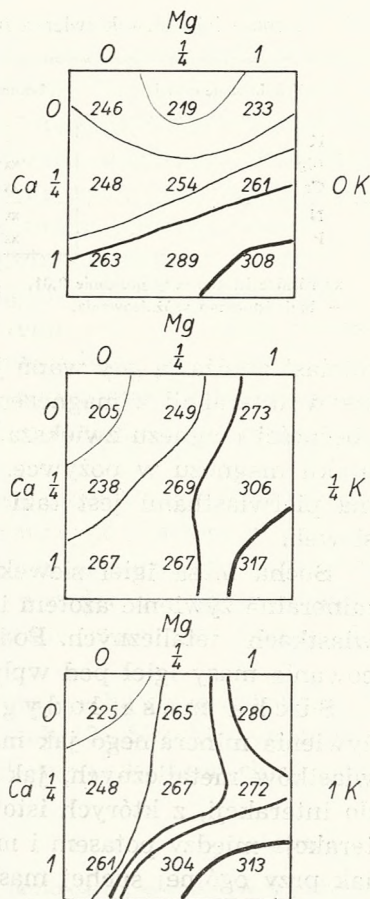
cją siewek na zmiany dawek potasu, przy różnych poziomach wapnia i magnezu.

Sucha masa siewek świerka wykazuje podobne zróżnicowanie jak świeża masa (tab. 8). Zwiększone stężenia każdego z badanych elementów w pożywce dają większą suchą masę siewek, proporcjonalnie do świeżej masy. Dlatego procent suchej masy stanowi stałą wartość dla wszystkich stężeń potasu, magnezu i wapnia i wynosi 28 - 29%. Wpływ pierwiastków metalicznych na suchą masę siewek jest wielokrotnie mniejszy od wpływu azotu czy fosforu.

Istotny wpływ na suchą masę siewek mają również interakcje między poziomem potasu i magnezu w pożywce oraz interakcja między poziomem wszystkich trzech pierwiastków metalicznych (tab. 5). Szczegółowa analiza tych interakcji wykazuje wielkie podobieństwo między zróżnicowaniem świeżej i suchej masy siewek. Jeśli chodzi o wpływ interakcji między potasem i magnezem, to zaznacza się jeszcze wyraźniej negatywny wpływ potasu pod nieobecność magnezu. Na rycinie 2 przedstawiono przykładowo wpływ interakcji między wszystkimi pierwiastkami metalicznymi na suchą masę. Bardzo wyraźnie zaznacza się tutaj różnorodny wpływ potasu. Wzrost stężenia wapnia i magnezu w pożywce konsekwentnie prowadzi do wzrostu ogólnej suchej masy, podczas gdy wpływ potasu polega na tym, że przy niższych stężeniach potasu silniejszy jest wpływ wapnia, a przy wyższych stężeniach potasu zaznacza się silniejszy wpływ magnezu.

Siewki poszczególnych pochodzeń mają podobną wartość suchej masy przy różnych poziomach potasu, magnezu i wapnia w pożywkach. Nie stwierdzono bowiem wzajemnego oddziaływania między którymkolwiek z tych pierwiastków a pochodzeniem siewek. Natomiast przy mineralnym żywieniu fosforem, siewki poszczególnych proveniencji osiągają maksymalną wartość suchej masy przy różnych poziomach fosforu w pożywce (istotny wpływ interakcji fosfor  $\times$  proveniencje, tab. 5). Siewki większości proveniencji rosły najlepiej przy pełnej pożywce fosforowej (1 P). Przy pożywce  $\frac{1}{3}$  P maksymalne wartości suchej masy osiągały zarówno proveniencje słabo rosnące, jak również siewki pochodzące z Istebnej





Ryc. 2. Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na suchą masę siewek świerka

i Wisły, charakteryzujące się bardzo dobrym wzrostem. Ponadto siewki niektórych słabo rosnących proveniencji, jak na przykład Dolina Chochołowska, Wetlina i inne, posiadały najlepszy wzrost przy pożywce  $\frac{1}{4}$  P, czyli przy słabym zaopatrzeniu w ten pierwiastek. Szczegóły tej interakcji przedstawione są w pracy Fobera i Giertycha (1970a).

Sucha masa igieł siewek świerka w warunkach niniejszego doświadczenia jest zawsze większa przy wyższych stężeniach wapnia i magnezu w pożywce (tab. 9). Wapń ma tutaj większy wpływ niż magnez, a poza tym pod wpływem tego pierwiastka stosunkowo szybciej wzrasta masa igieł niż masa całych siewek. Pod wpływem pełnej dawki wapnia (1 Ca) wartość suchej masy igieł zwiększyła się o 23% w stosunku do pożywki 0 Ca, gdy tymczasem masa całych siewek wzrosła tylko o 18%. Podawanie potasu nie wykazuje bezpośredniego wpływu na masę igieł, natomiast zaznacza się istotnie pośrednio w interakcjach z magnezem, wapniem oraz w interakcji trzeciorzędowej ( $K \times Mg \times Ca$ , tab. 5). Wzrost dawek potasu zwiększa suchą masę igieł przy braku wapnia, na-

Tabela 9

Sucha masa igieł siewek świerka (mg) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1
K	—	98,0	100,3		97,5
Mg	xx	92,0	97,3		106,6
Ca	xx	88,6	98,1		109,0
N	xx	26,6	68,8	126,0	158,7
P	xx	25,3	44,9	51,3	54,7

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,  
— brak istotnego różnicowania.

tomiast obniża ją gdy wapń jest podawany. Odwrotnie zachowuje się potas w interakcji z magnezem. Wzrost poziomu potasu w pożywce przy obecności magnezu zwiększa nieco masę igieł, a wyraźnie ją obniża przy braku magnezu w pożywce. Wpływ interakcji między wszystkimi trzema pierwiastkami jest taki sam jak przy ogólnej suchej masie całych siewek.

Sucha masa igieł siewek wykazuje identyczny kierunek reakcji na mineralne żywienie azotem i fosforem jak przy omówionych wyżej pierwiastkach metalicznych. Podobnie jak przy masie całych siewek, zróżnicowanie masy igieł pod wpływem azotu i fosforu jest znacznie większe.

Sucha masa łądyg jest podobnie zróżnicowana pod wpływem żywienia mineralnego jak masa igieł (tab. 10). Dotyczy to zarówno pierwiastków metalicznych, jak i azotu i fosforu. Nie odnosi się natomiast do interakcji, z których istotny wpływ na masę łądyg posiada tylko interakcja między potasem i magnezem (tab. 5). Jej wpływ jest identyczny jak przy ogólnej suchej masie siewek, tzn. że potas wpływa pozytywnie na masę łądyg tylko pod obecność magnezu.

Sucha masa korzeni siewek świerka, w odróżnieniu od masy igieł czy łądyg, zależy nie tylko od poziomu magnezu i wapnia w pożywce, ale również od poziomu potasu (tab. 11). Sucha masa korzeni osiąga najwyższe wartości zawsze przy pełnych dawkach tych pierwiastków w pożywkach. Potas posiada bezpośredni oraz pośredni wpływ w interakcji z magnezem (tab. 5). Zróżnicowanie suchej masy korzeni jest stosunkowo

Tabela 10

Sucha masa łądyg siewek świerka (mg) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1
K	—	56,0	55,9		55,3
Mg	xx	50,5	55,8		60,9
Ca	xx	51,0	55,1		61,1
N	xx	14,5	30,5	55,4	71,2
P	xx	18,7	26,3	29,8	30,8

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,  
— brak istotnego różnicowania.



niewielkie. Na przykład przy pełnych dawkach potasu masa korzeni jest większa zaledwie o 12,5<sup>0</sup>% w porównaniu z masą osiąganą przy pożywce bez potasu. Podobne wartości otrzymujemy przy analizowaniu wpływu magnezu czy wapnia. W zasadzie ze wzrostem stężenia potasu w pożywce wzrasta sucha masa korzeni przy każdym poziomie magnezu, i odwrotnie, większa dawka magnezu przy każdym poziomie potasu daje zwiększoną masę korzeni. Natomiast przy równoczesnym braku potasu i magnezu w pożywce sucha masa korzeni siewek jest względnie wysoka.

Inny jest wpływ azotu i fosforu na osiągnięcie suchej masy korzeni przez siewki świerka. Przy bogatym zaopatrzeniu w te elementy wzrost korzeni jest ograniczony, a substancje pokarmowe wykorzystywane są do budowy części nadziemnej roślin. Stąd maksymalna masa korzeni występuje u siewek wyhodowanych na pożywkach o mniejszym stężeniu tych pierwiastków.

Procentowy udział korzeni w ogólnej masie siewek maleje zatem zarówno pod wpływem zwiększania poziomu azotu, jak i fosforu w pożywkach. Natomiast wartość tej cechy rośnie wraz ze stężeniem potasu w pożywce (tab. 12), co niewątpliwie wiąże się z dodatnim jego wpływem na suchą masę korzeni, podczas gdy na pozostałe części roślin potas nie miał żadnego wpływu.

Długość pędów bocznych siewek jest cechą słabo zróżnicowaną pod wpływem pierwiastków metalicznych (tab. 13). Siewki wyhodowane w niniejszym doświadczeniu posiadały nieliczne pędy, których długość

Tabela 11

Sucha masa korzeni siewek świerka (mg) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	105,3	110,1		118,4
Mg	xx	103,3	112,1		118,5
Ca	xx	104,2	110,1		119,6
N	xx	55,6	96,1	139,4	134,1
P	xx	35,5	43,1	37,6	39,9

xx różnice istotne przy poziomie 0,01.

Tabela 12

Procentowy udział korzeni w suchej masie przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Stężenie pierwiastków w pożywce			
	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
K	41	42		44
Mg	42	42		42
Ca	43	42		42
N	57	49	43	37
P	45	38	32	32



Tabela 13

Suma długości pędów bocznych siewek świerka (cm) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1
K	—	0,91	0,87		0,99
Mg	x	0,80	0,90		1,07
Ca	—	0,86	0,94		0,97
N	xx	0,13	0,51	1,82	3,47
P	xx	0,24	0,64	0,58	0,93

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

— brak istotnego zróżnicowania.

uzależniona była tylko od stężenia magnezu w pożywce oraz od interakcji między wszystkimi trzema pierwiastkami metalicznymi (tab. 5).

Znacznie większe zróżnicowanie tej cechy stwierdzono w doświadczeniu nad mineralnym żywieniem siewek azotem oraz fosforem.

#### WPLYW ZAOPATRZENIA POŻYWKI W BADANE SKŁADNIKI POKARMOWE NA CECHY ROZWOJOWE SIEWEK ŚWIERKA

Środowisko, z którego rośliny czerpią pokarmy odgrywa decydujący wpływ nie tylko na wzrost czy osiągnięcie suchej masy, ale również na wszystkie cechy rozwojowe. W niniejszym doświadczeniu wykonano obserwacje następujących cech rozwojowych siewek: 1) obecności pączka szczytowego, 2) ogólnej liczby pączków oraz 3) rozwoju pędów bocznych. Cechy rozwojowe zależą niewątpliwie w dużym stopniu od takich czynników środowiskowych jak na przykład: temperatura, oświetlenie czy wilgotność. Warunki, w jakich rosły siewki nie przedstawiały przedmiotu badań niniejszego doświadczenia, a w miarę możliwości utrzymane były na wyrównanym poziomie. Natomiast w tej części pracy przedmiotem zainteresowania był rozwój cech siewek w zależności od zróżnicowanego żywienia mineralnego elementami metalicznymi.

Procent siewek z pączkiem szczytowym jest w dużym stopniu zależny od stężenia potasu w pożywce, a w mniejszym stopniu od stężenia magnezu (tab. 14). Przy wzrastających dawkach istnieje tendencja do zmniejszania się liczby siewek z pączkiem szczytowym, natomiast przy wzroście poziomu magnezu w pożywkach większa liczba siewek wykształcała pączek szczytowy, przechodząc tym samym w stan spoczynku wegetacyjnego. A zatem potas i magnez wywierają efekt przeciwny na wartość tej cechy. Zróżnicowanie poziomu wapnia w pożywce nie miało tu żadnego wpływu. Ogólnie występował bardzo wysoki procent siewek posiadających pączek szczytowy. Również w serii doświadczalnej ze zróżnicowanymi dawkami fosforu prawie wszystkie siewki w chwili



Tabela 14

Procent siewek z pączkiem szczytowym przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	92	93		90
Mg	x	90	92		92
Ca	—	91	92		91
N	xx	81	45	28	34
P	—	100	99	97	97

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

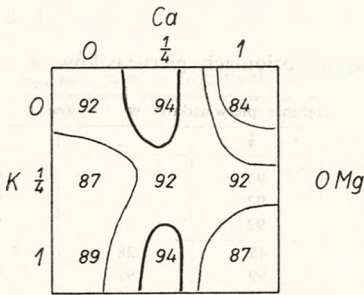
— brak istotnego zróżnicowania.

likwidacji doświadczenia posiadały pączek szczytowy bez względu na pożywkę. Może to wynikać z tego, że po pewnym okresie wzrostu, siewki świerka wykazują naturalną potrzebę przejścia w stan spoczynku wegetacyjnego, mimo że warunki środowiskowe, takie jak temperatura, oświetlenie czy nawodnienie roślin, nie uległy zmianie. Natomiast zaopatrzenie w niektóre pierwiastki opóźnia bądź uniemożliwia zawiązywanie pączka szczytowego. Dotyczy to głównie azotu oraz omówionego już wyżej potasu (tab. 14).

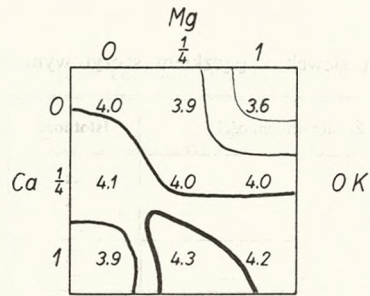
Na zawiązywanie się pączka szczytowego u siewek świerka mają ponadto wpływ niektóre interakcje (tab. 5), a mianowicie między potasem i wapniem, magnezem i wapniem oraz między wszystkimi trzema elementami ( $K \times Mg \times Ca$ ). Procent siewek z pączkiem szczytowym zmniejsza się bowiem przy wzroście zaopatrzenia w potas, ale tylko przy małych ilościach wapnia w pożywce ( $\frac{1}{4}$  Ca i 0 Ca), ponieważ przy pełnych dawkach wapnia (1 Ca) procent ten nieco rośnie. Podobnie większa liczba siewek z pączkiem szczytowym występuje przy większych dawkach magnezu, co widać szczególnie przy równoczesnym maksymalnym stężeniu wapnia.

Równoczesne oddziaływanie wszystkich trzech pierwiastków metalicznych na wartość tej cechy posiada podobny charakter jak przy cechach wzrostowych siewek i dotyczy specyficznej reakcji siewek na zmiany potasu przy różnych stężeniach magnezu i wapnia w pożywce. Otóż stwierdzony powyżej redukujący wpływ potasu na procent siewek z pączkiem szczytowym występuje jedynie przy wysokim poziomie magnezu i równoczesnym braku lub niedoborze wapnia w pożywce (ryc. 3). Ponadto najwyższy procent ogólnie występuje na pożywkach zbalansowanych pod względem potasu i wapnia, podczas gdy niezbalansowane pożywki stymulują większą liczbę siewek do wzrostu.

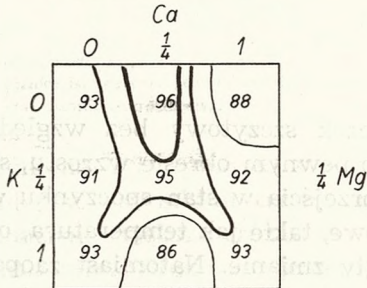
Odnosnie do tej cechy stwierdzono wzajemne oddziaływanie między proveniencją świerka a zaopatrzeniem w potas oraz między proveniencją świerka a zaopatrzeniem w wapń (tab. 5). W chwili likwidacji niniejszego doświadczenia wysoki procent siewek wszystkich badanych prove-



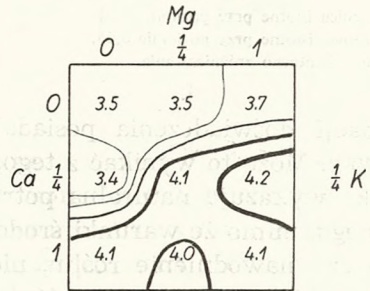
0 Mg



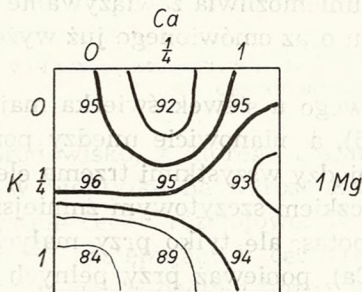
0 K



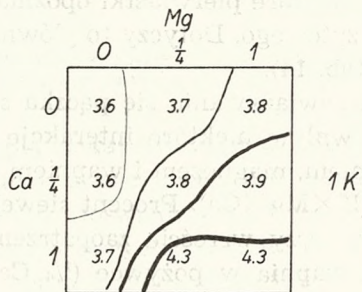
1/4 Mg



1/4 K



1 Mg



1 K

Ryc. 3. Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na procent siewek z pączkiem szczytowym

Ryc. 4. Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na liczbę pączków na siewkach świerka

nienieji świerka posiadał pączek szczytowy. Wyjątek stanowiły tu siewki pochodzące z Suwałk, wśród których właśnie przy wysokim stężeniu w pożywce potasu względnie wapnia stosunkowo dużo posiadało aktywny wierzchołek. Poza tym pewne proveniencje (Istebna, Sławki, Międzyrzec), które przy maksymalnym poziomie potasu w pożywce charakteryzowały się szczególnie wysokim procentem siewek rosnących, pod wpływem zwiększonych dawek wapnia przechodziły w stan spoczynku wegetacyjnego i odwrotnie, siewki proveniencji Kowary, Wisła, Konstancjewo, zawiązujące pączki szczytowe pod wpływem potasu, rosły aktywniej pod wpływem wapnia. Wysoki stosunek K : Ca w pożywce hamował zawiązywanie pączków szczytowych w pierwszej grupie proveniencji, a stymulował w drugiej.

Ogólna liczba pączków na siewkach świerka w danym



Tabela 15

Średnia liczba pączków na siewce świerka przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
K	—	4,00	3,86		3,85
Mg	xx	3,78	3,95		3,98
Ca	xx	3,70	3,90		4,10
N	xx	1,29	1,31	1,53	1,73
P	—	2,02	2,64	2,51	2,62

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.

stadium rozwoju jest niewątpliwie w wysokim stopniu zależna od wielkości części nadziemnej siewek, czyli wysokości. Stąd duże podobieństwo między wpływem żywienia mineralnego na obydwie te cechy (tab. 5). Liczba pączków na siewkach, podobnie jak wysokość siewek, zależy od stężenia magnezu i wapnia w pożywce (tab. 15) i zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia tych pierwiastków. Azot posiadał podobny wpływ na tę cechę, ale średnio większe siewki posiadały znacznie mniej pączków niż w doświadczeniu nad mineralnym żywieniem pierwiastkami metalicznymi. Świadczy to o tym, że korelacja nie jest prosta i w lepszych warunkach wegetacyjnych może nie być pączków na siewkach.

Badając wpływ wielkości dawek fosforu na liczbę pączków na siewkach, stwierdzono zależność między pochodzeniem siewek a poziomem fosforu w pożywce (tab. 5). Szczegółowe omówienie tej interakcji znajduje się w pracy F o b e r a i G i e r t y c h a (1970a).

Ponadto na wartość tej cechy istotny wpływ posiadało wzajemne oddziaływanie między potasem, magnezem i wapniem (tab. 5). Średnio najmniej pączków występuje na siewkach, którym nie podawano wapnia. Przy równoczesnym braku wapnia i potasu najmniejszą liczbę pączków stwierdzono przy pełnym zaopatrzeniu w magnez, natomiast przy braku wapnia i wysokim poziomie potasu w pożywce najmniejszą przy braku magnezu (ryc. 4). Tak więc pod nieobecność wapnia, magnez zmniejsza liczbę pączków na siewkach przy 0 K, a zwiększa przy 1 K.

Liczba pędów bocznych siewek świerka zależy od stężenia wapnia w pożywce, a ponadto wpływ na tę cechę posiada interakcja między poziomem potasu i wapnia w pożywce oraz między wszystkimi badanymi pierwiastkami metalicznymi (tab. 5).

Liczba pędów bocznych siewek jest zawsze większa przy wyższych stężeniach wapnia w pożywce (tab. 16). Pod względem tej cechy siewki świerka wykazywały podobną reakcję na zmiany stężeń azotu oraz fosforu w pożywce, ale zróżnicowanie pod wpływem tych dwóch pierwiastków było znacznie większe.

Wpływ interakcji potasu i wapnia polega na tym, że liczba pędów na siewkach zmniejsza się wskutek podawania potasu, ale tylko przy braku



Tabela 16

Średnia liczba pędów bocznych na siewce świerka przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	—	0,9	0,8		0,8
Mg	—	0,8	0,9		0,8
Ca	xx	0,7	0,8		0,9
N	xx	0,1	0,6	1,8	2,9
P	x	0,2	0,3	0,3	0,4

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

— brak istotnego zróżnicowania.

wapnia (0 Ca i  $\frac{1}{4}$  Ca). Natomiast interakcja potasu, magnezu i wapnia wykazuje podobny wpływ jak na poprzednią cechę, tzn. liczbę pączków na siewkach. Potas redukuje bowiem liczbę pędów bocznych siewek przy niskich stężeniach magnezu i wapnia w pożywce.

Ponadto pod wpływem mineralnego żywienia azotem obserwujemy zróżnicowaną reakcję siewek poszczególnych proveniencji (istotny wpływ interakcji azot  $\times$  proveniencje, tab. 5). Omówienie tej interakcji znajduje się w pracy Fobera i Giertycha (1968).

#### OCENA KOLORU IGLIWIA W ZALEŻNOŚCI OD POZIOMU POTASU, MAGNEZU I WAPNIA W POŻYWKACH

Kolor igliwia siewek świerka zależy od poziomu potasu i wapnia w pożywce, jak również od wszystkich możliwych interakcji między pierwiastkami metalicznymi (tab. 5).

Wpływ stężenia potasu w pożywce na kolor igliwia jest interesujący z tego względu, że największa chloroza igieł występuje przy niewielkich dawkach tego pierwiastka (największą wartością liczbową w tabeli 17 obserwujemy dla stężenia  $\frac{1}{4}$  K), podczas gdy siewki, którym nie podano potasu, jak również siewki podlewane pożywką pełną z maksymalnym stężeniem potasu posiadają igły ciemniejsze. Taki sam wpływ na kolor igliwia wykazuje poziom fosforu w pożywce. Inna jest natomiast reakcja siewek świerka pod tym względem na podawanie wapnia czy azotu. Otóż siewki lepiej zaopatrzone w te pierwiastki posiadają ciemniejsze zabarwienie igieł (mniejsza wartość liczbowa), przy czym podobnie zresztą jak przy wielu innych cechach, różnice w poziomie azotu w pożywce powodują większą rozpiętość wartości. Poza tym w doświadczeniu nad wpływem mineralnego żywienia pierwiastkami metalicznymi siewki wykazywały ogólnie nieco ciemniejsze zabarwienie igieł niż przy doświadczeniu z azotem.

Jeśli chodzi o interakcje między różnymi pierwiastkami należy omówić kilka charakterystycznych momentów. Otóż brak potasu lub brak



Tabela 17

Kolor igliwia siewek świerka przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	53,9	54,3		54,0
Mg	—	54,2	54,1		54,0
Ca	xx	54,3	54,0		54,0
N	xx	59,5	58,0	57,6	55,6
P	xx	57,3	58,7	58,0	58,3

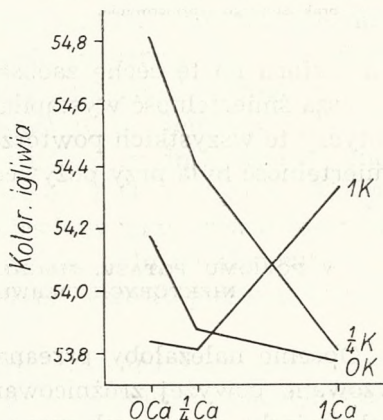
xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.

magnezu powoduje chlorozę, gdy drugi z tych pierwiastków jest dostępny. W przypadku braku obydwu pierwiastków igły siewek są ciemne.

Wzrost zaopatrzenia w wapń powoduje, że igliwie staje się ciemniejsze, gdy potasu jest mało, natomiast przy pełnym zaopatrzeniu w potas igliwie żółknie (ryc. 5).

Przy maksymalnym poziomie magnezu, wzrost dawek wapnia powo-



Ryc. 5. Wpływ poziomu potasu i wapnia w pożywce na kolor igliwia siewek świerka (wartości liczbowe koloru na podstawie Horticultural Colour Chart — 1938)

duje ciemniejsze zabarwienie igieł. Nie jest to jednak wyraźne przy niskim zaopatrzeniu w magnez.

Istotny wpływ wzajemnych oddziaływań między wszystkimi pierwiastkami komplikuje obraz do tego stopnia, że ich interpretacja jest niemożliwa. Zmienność koloru igliwia nie jest duża, gdyż wartości średnie dla pożywek mieszczą się w obrębie trzech sąsiednich tabel wzorcowych odcieni koloru zielonego. Biorąc pod uwagę fakt, że był to pomiar szacunkowy, wskutek zmiennego naświetlenia cieplarni wystąpić mogły stosunkowo wysokie błędy w ocenie koloru igliwia poszczególnych siewek, a stąd duże zróżnicowanie wartości dla poszczególnych zmiennych doświadczalnych. Dlatego też analiza wariancyjna wykazała istotny wpływ wszystkich możliwych, trudnych do zinterpretowania i w pewnym stopniu nielogicznych interakcji między badanymi pierwiastkami.

## PROCENT OBUMARŁYCH SIEWEK ŚWIERKA

Procent obumarłych siewek uzależniony jest od poziomu potasu, wapnia i fosforu w pożywce (tab. 5). Ogólnie należy stwierdzić, że przy lepszym zaopatrzeniu podłoża w pierwiastki metaliczne, tzn. potas i wapń, śmiertelność siewek jest mniejsza (tab. 18). Natomiast przy badaniu wpły-

Tabela 18

Wypad (śmiertelność) siewek świerka przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce (w procentach)

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	2,8	2,0		0,6
Mg	—	1,4	2,2		1,4
Ca	xx	2,8	1,8		0,6
N	—	2,0	0,0	0,8	2,4
P	xx	4,3	9,3	5,5	5,9

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.

wu fosforu na tę cechę zaobserwowano interesujące zjawisko. Otóż największa śmiertelność wystąpiła w doniczkach podlewanych pożywką  $\frac{1}{4}$  P. Dotyczy to wszystkich powtórzeń. Natomiast niespodziewanie najmniejsza śmiertelność była przy pożywce bez fosforu.

WPLYW POZIOMU POTASU, MAGNEZU I WAPNIA W POŻYWKACH NA ZAWARTOŚĆ  
NIEKTÓRYCH PIERWIASTKÓW W SIEWKACH ŚWIERKA

Obecnie należałoby przeanalizować przyczyny powodujące scharakteryzowane powyżej zróżnicowanie cech wzrostowych i rozwojowych siewek świerka w różnych warunkach mineralnego żywienia. Należy przypuszczać, że decyduje tu pobieranie soli mineralnych oraz sposób gospodarowania nimi przy zróżnicowanych w niniejszym doświadczeniu dawkach potasu, magnezu i wapnia.

Miarą pobierania poszczególnych pierwiastków będzie ich zawartość w siewkach, wyrażona w wartościach bezwzględnych, tzn. w miligramach na siewkę. Ilość pierwiastków zawarta w nasionach, z których rośliny czerpią substancje pokarmowe w pierwszym okresie wegetacji, jest bowiem stosunkowo mała i stanowi niewielki procent zawartości danego pierwiastka w jednorocznej siewce świerka. I tak na przykład średnio w jednym nasieniu znajduje się około 0,26 mg azotu, 0,08 mg fosforu, 0,05 mg potasu, 0,0023 mg wapnia, 0,03 mg magnezu i 0,00046 mg sodu (Fober i Giertych 1971b). A zatem w ogólnej zawartości pierwiastków w jednorocznych siewkach rosnących na pożywce pełnej, z nasion pochodzić może zaledwie około 7% fosforu, 4% azotu, 3% potasu, 3%



magnezu, 0,3<sup>0</sup>% wapnia i 0,1<sup>0</sup>% sodu. Są to ilości małe, nie mające większego znaczenia nawet przy rozpatrywaniu zawartości poszczególnych pierwiastków w siewkach rosnących na pożywkach 0 K, 0 Mg i 0 Ca, tzn. bez badanych elementów. Prawie cała zawartość mineralna siewek została więc pobrana z podłoża, tj. głównie z pożywek mineralnych i ewentualnie z piasku czy doniczek.

W rozważaniach nad pobieraniem substancji mineralnych przez siewki świerka nie uwzględniono też wymiany jonów, czyli oddawania przez siewki pewnej ilości pierwiastków z powrotem do podłoża, co zostało stwierdzone w innym doświadczeniu na przykładzie fosforu (F o b e r i G i e r t y c h 1970b). Dlatego przy opisie wyników mowa będzie o zawartości poszczególnych pierwiastków w siewkach, co w przybliżeniu odpowiada ilości pobranych elementów.

W niniejszym doświadczeniu analizowano siewki na zawartość potasu, magnezu, wapnia, sodu oraz azotu i fosforu. Analizę zawartości azotu i fosforu wykonano tylko dla siewek proveniencji Gołdap, charakteryzujących się w poprzednich doświadczeniach nad wpływem mineralnego żywienia azotem i fosforem (F o b e r i G i e r t y c h 1968, 1970a) wartościami stężeń tych dwóch pierwiastków zbliżonymi do wartości średnich wszystkich proveniencji. Pozostałe pierwiastki przeanalizowano w siewkach wszystkich proveniencji. Nie stwierdzono jednak zależności między wpływem pochodzenia nasion a zaopatrzeniem w te elementy i dlatego też w dalszej części pracy omawiane będą wartości średnie. Różnice między proveniencjami omówiono osobno (F o b e r i G i e r t y c h 1971 a). A zatem badano pobieranie różnych pierwiastków przy zróżnicowanych dawkach potasu, magnezu i wapnia, czyli wpływ jednych elementów na pobieranie drugich, w tym również ważnych dla wzrostu pierwiastków — azotu i fosforu.

Zawartość potasu w siewkach, w warunkach niniejszego doświadczenia, zależy głównie od potasu oraz w mniejszym nieco stopniu od poziomu wapnia w pożywce (tab. 5). Zawartość potasu w siewkach zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia tych pierwiastków w pożywce (tab. 19). Brak wapnia ogranicza więc pobieranie potasu.

Tabela 19

Zawartość potasu w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	½	1
K	xx	1,23	1,48	1,98
Mg	—	1,55	1,50	1,64
Ca	xx	1,41	1,57	1,71

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.



W jednej siewce znajdowało się średnio 1,56 mg czystego potasu, czyli przeszło dwukrotnie więcej niż któregośkolwiek z pozostałych pierwiastków metalicznych badanych w niniejszym doświadczeniu.

Zawartość magnezu w siewkach zależy przede wszystkim od ilości dostarczonego magnezu w pożywce (tab. 5), co znaczy, że pobieranie tego pierwiastka zwiększa się wraz ze wzrostem jego stężenia w pożywce (tab. 20). Zależność ta jest uwarunkowana w niewielkim stopniu obecnością potasu w podłożu. Pełne dawki magnezu powodują największe pobieranie tego pierwiastka przy niewielkim stężeniu potasu w pożywce ( $\frac{1}{4}$  K), a nieco mniejsze przy 0 K i 1 K. Właśnie przy takim stosunku potasu do magnezu w pożywce ( $\frac{1}{4}$  : 1) siewki osiągną największą suchą masę (ryc. 11), pobierając równocześnie największą ilość magnezu.

Na pobieranie magnezu stymulujący wpływ ma również podawanie wapnia (tab. 5 i 20). Przeciętnie jedna siewka zawierała 0,655 mg magnezu.

Zawartość wapnia w siewkach świerka zależy wyłącznie od wielkości dawek tego pierwiastka (tab. 5 i 21). Średnio w jednej siewce znajdowało się 0,76 mg wapnia, czyli nieco więcej niż magnezu.

Zawartość sodu w siewkach jest niewielka, mimo że pierwiastek ten był dostarczany do doniczek w znacznych ilościach jako element zastępczy w pożywkach o niepełnych stężeniach potasu, magnezu czy wapnia (tab. 3). Średnio jedna siewka zawierała 0,34 mg sodu. W miarę zwiększania dawek potasu, maleje zawartość sodu w siewkach (tab. 22).

Tabela 20

Zawartość magnezu w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{4}$	1
K	—	0,641	0,669	0,656
Mg	xx	0,465	0,613	0,888
Ca	x	0,626	0,641	0,700

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

— brak istotnego zróżnicowania

Tabela 21

Zawartość wapnia w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{4}$	1
K	—	0,78	0,75	0,77
Mg	—	0,79	0,77	0,73
Ca	xx	0,61	0,76	0,91

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.



Tabela 22

Zawartość sodu w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{4}$	1
K	xx	0,377	0,389	0,267
Mg	—	0,341	0,346	0,346
Ca	x	0,373	0,344	0,316

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

— brak istotnego zróżnicowania.

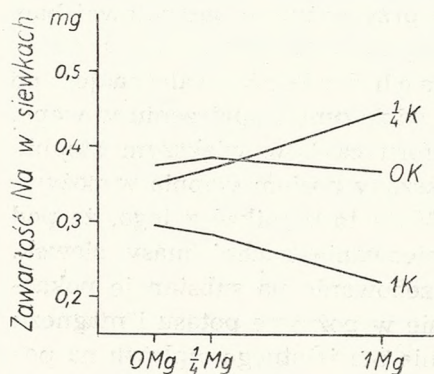
Podobny wpływ, chociaż w znacznie mniejszym stopniu, wykazuje również wapń.

Stwierdzono także istotny wpływ równoczesnego oddziaływania potasu i magnezu (tab. 5). Wpływ ten polegał na stosunkowo wysokiej zawartości sodu w warunkach równoczesnego niewielkiego podawania potasu ( $\frac{1}{4}$  K) i maksymalnych dawkach magnezu (ryc. 6).

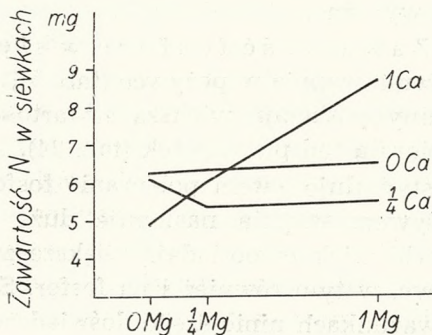
Istnieje również pozytywna korelacja między ilością pobranego sodu a jego stężeniem w pożywce.

Zawartość azotu w siewkach świerka zależy tylko od interakcji między wapniem i magnezem (tab. 5). Przy pełnym zaopatrzeniu w wapń (1 Ca) zwiększona dostawa magnezu wpływa stymulująco na pobieranie azotu, podczas gdy przy braku i niedostatku wapnia w podłożu dostawa magnezu nie ma wpływu na zawartość azotu w siewkach (ryc. 7). A zatem wysoka zawartość azotu (aktywność metaboliczna) występuje tylko w warunkach wysokiego poziomu wapnia i magnezu w pożywce, podczas gdy przy braku któregośkolwiek z nich lub obydwu siewki pobierają mniejsze ilości azotu.

W niniejszym doświadczeniu rośliny pobrały stosunkowo dużo azotu



Ryc. 6. Wpływ poziomu potasu i magnezu w pożywce na zawartość sodu w siewkach świerka (mg Na w siewce)



Ryc. 7. Wpływ poziomu magnezu i wapnia w pożywce na zawartość azotu w siewkach świerka (mg N w siewce)

Tabela 23

Zawartość azotu w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1
K	—	6,03	6,55		5,92
Mg	—	5,74	5,89		6,88
Ca	—	6,32	5,65		6,54
N	xx	0,96	2,48	4,31	6,66

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

— brak istotnego zróżnicowania.

(tab. 23). W jednej siewce znajdowało się średnio około 6,2 mg tego pierwiastka. Nie stwierdzono natomiast bezpośredniego wpływu żadnego z badanych pierwiastków metalicznych na zawartość azotu w jednorocznych siewkach świerka. Azot podawany był roślinom w równych, optymalnych ilościach i nie mógł być czynnikiem ograniczającym wzrost. W doświadczeniu nad wpływem mineralnego żywienia azotem na wzrost i rozwój siewek świerka (F o b e r i G i e r t y c h 1968), rośliny rosnące w warunkach pełnego zaopatrzenia w azot (1 N) pobrały nieco więcej tego pierwiastka, ale było to mało w stosunku do osiągniętej przez siewki suchej masy. Siewki osiągnęły suchą masę o 37% wyższą niż w doświadczeniu z pierwiastkami metalicznymi, a pobrały tylko o 8% więcej azotu. Tak więc przy korzystniejszych warunkach wzrostowych rośliny te lepiej gospodarowały tym pierwiastkiem.

Pod wpływem mniejszego zaopatrzenia, zawartość azotu w siewkach znacznie maleje. Zapotrzebowanie na ten pierwiastek jest bardzo duże, a źródła, z których rośliny mogą go czerpać poza pożywką, są niewielkie. Stąd zróżnicowanie zawartości azotu, w odróżnieniu od badanych tu pierwiastków metalicznych, przy różnych stężeniach tego pierwiastka w pożywce było bardzo duże, a objawy braku przy pożywce bezazotowej bardzo wyraźne.

Zawartość fosforu w siewkach świerka zależna jest od stężenia wapnia w pożywce (tab. 5). Przy większym zaopatrzeniu w wapń, rośliny posiadają większą zawartość fosforu czyli w większym stopniu pobierają ten pierwiastek (tab. 24). Zwiększony poziom wapnia w pożywce stymuluje zatem pobieranie fosforu. Może to wynikać z tego, że pod wpływem wapnia następuje duże zróżnicowanie suchej masy siewek. Siewki większe posiadają większe zapotrzebowanie na substancje pokarmowe, w tym również i na fosfor. Stężenie w pożywce potasu i magnezu w warunkach niniejszego doświadczenia nie ma istotnego wpływu na pobieranie fosforu przez siewki świerka.

Natomiast zróżnicowanie zawartości fosforu w siewkach pod wpływem jego stężenia w pożywce jest bardzo duże (F o b e r i G i e r t y c h 1970a).



Tabela 24

Zawartość fosforu w siewkach świerka (w mg na jedną siewkę) przy różnych poziomach pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1
K	—	1,17	1,28		1,10
Mg	—	1,14	1,14		1,26
Ca	x	1,10	1,12		1,32
P	xx	0,10	0,28	0,34	0,41

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05,

— brak istotnego różnicowania.

Siewki rosnące na pożywce 1 P zawierają czterokrotnie więcej fosforu od siewek hodowanych na pożywce bezfosforowej. W badanym zakresie stężeń, pobieranie fosforu zwiększa się zatem wraz z jego stężeniem w pożywce.

Ponadto na uwagę zasługuje fakt, że siewki w doświadczeniu z elementami metalicznymi posiadają średnio wielokrotnie większą zawartość fosforu niż siewki rosnące na pożywce 1 P w doświadczeniu z fosforem.

#### STĘŻENIE BADANYCH ELEMENTÓW W SIEWKACH ŚWIERKA

Wartości stężeń pierwiastków w siewkach są wypadkową suchej masy siewek oraz bezwzględnej zawartości tych pierwiastków. Stężenia pierwiastków charakteryzują w pewnym stopniu wydajność w gospodarowaniu nimi. Z tej samej ilości pobranych soli mineralnych rośliny bardziej wydajne produkują więcej suchej masy.

Stężenie potasu w siewkach zależy od ilości dostarczonego do pożywki potasu, jak również od stężenia w pożywce magnezu i wapnia. Wpływ na wartość tej cechy ma również interakcja między potasem i wapniem oraz między wszystkimi trzema pierwiastkami metalicznymi, tzn. potasem, magnezem i wapniem (tab. 5).

Zwiększenie dawek potasu lub wapnia powoduje zwiększenie stężenia potasu w siewkach. Obecność tych pierwiastków w pożywce stymulowała bowiem pobieranie potasu i mimo zwiększenia się suchej masy, jego koncentracja również się zwiększyła. Natomiast obecność w pożywce magnezu zwiększała masę siewek, nie wpływając na pobieranie potasu, wskutek czego stężenie tego pierwiastka w siewkach malało (tab. 25).

Wpływ wapnia uzależniony jest również od równoczesnej ilości potasu w pożywce. Otóż pod obecność maksymalnej ilości potasu wapń obniża, a przy niedostatku potasu zwiększa procentową zawartość potasu w siewkach. Niezależnie bowiem od bezwzględnej ilości potasu w siewkach, wapń w większym stopniu stymuluje pobieranie potasu przy braku po-



Tabela 25

Stężenie potasu w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	0,48	0,55	0,73
Mg	xx	0,63	0,56	0,57
Ca	x	0,57	0,60	0,59

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05.

tasu w pożywce niż przy jego obecności. Interakcja ta nie znalazła jednak odbicia ani w zawartości potasu w siewkach, ani w ich suchej masie (tab. 5).

Oddziaływanie któregokolwiek z badanych pierwiastków metalicznych, tj. potasu, magnezu i wapnia, na pobieranie i następnie akumulację w siewkach każdego z nich, nie jest zjawiskiem odosobnionym, lecz zależy od całościowego układu i wzajemnych stosunków między tymi trzema pierwiastkami. Świadczy o tym istotny wpływ wzajemnego oddziaływania podawanych pierwiastków na stężenie w siewkach potasu, magnezu, wapnia i sodu. I tak na przykład przy pełnym stężeniu potasu i magnezu wzrost dawek wapnia zmniejsza stężenie potasu, natomiast przy pożywce bezpotasowej wzrost dawek wapnia ma efekt odwrotny (ryc. 8).

Stężenie magnezu w siewkach świerka zależy od poziomu potasu, magnezu oraz wapnia w pożywce (tab. 26), a ponadto na wartość tej cechy istotny wpływ posiadają wszystkie możliwe interakcje między wymienionymi pierwiastkami (tab. 5).

Pod wpływem zwiększonych dawek magnezu rośnie oczywiście stężenie tego pierwiastka w siewkach. Natomiast pod wpływem zwiększonych dawek potasu bądź wapnia następuje rozcieńczenie magnezu w siewkach, ponieważ osiągają one większą suchą masę (tab. 8), a pobieranie magnezu jest jednakowe (pod wpływem potasu, tab. 20) lub zwiększa się w niewielkim tylko stopniu (pod wpływem wapnia, tab. 20).

Tabela 26

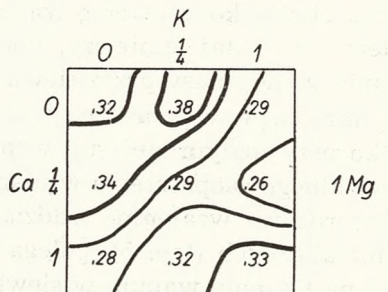
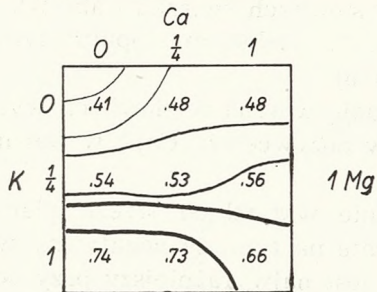
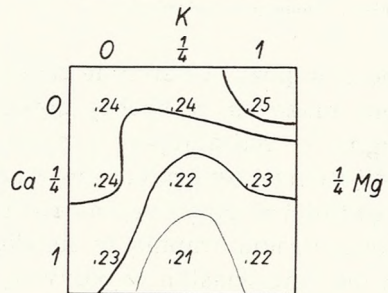
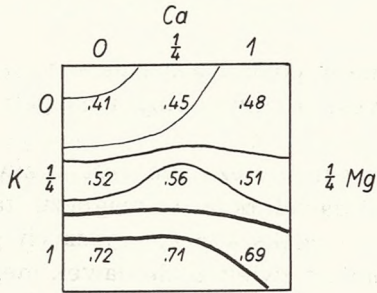
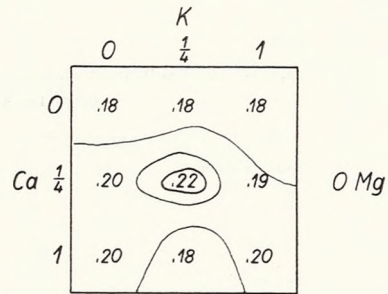
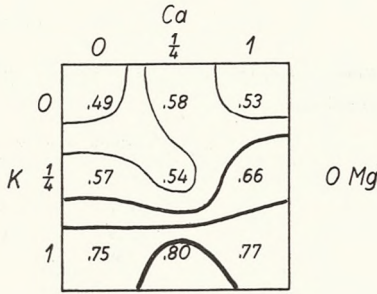
Stężenie magnezu w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{2}$	1
K	x	0,25	0,25	0,24
Mg	xx	0,19	0,23	0,31
Ca	xx	0,25	0,24	0,24

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,

x różnice istotne przy poziomie 0,05.





Ryc. 8. Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na procentową zawartość potasu w siewkach świerka (% suchej masy)

Ryc. 9. Wpływ poziomu potasu, magnezu i wapnia w pożywce na procentową zawartość magnezu w siewkach świerka (% suchej masy)

Analizując szczegółowo wzajemne oddziaływanie potasu i wapnia, należy stwierdzić, że ujemny wpływ stężenia w pożywce potasu bądź wapnia na procentową zawartość magnezu w siewkach występuje tylko wówczas, gdy zwiększamy dawkę jednego z tych pierwiastków przy równoczesnym braku lub niedoborze drugiego. Natomiast przy maksymalnych dawkach jednego, tzn. potasu lub wapnia, równoczesne zwiększenie dawki drugiego z nich powoduje zwiększenie stężenia magnezu w siewkach.

Jak już wspomniano wyżej, dodanie do pożywki potasu lub wapnia powoduje obniżenie procentowej zawartości magnezu w siewkach świerka (tab. 26). Wpływ ten jest jednak bardzo zależny od poziomu magnezu w pożywce (interakcje  $K \times Mg$ ,  $Ca \times Mg$  i  $K \times Ca \times Mg$ ) i możliwy do zaobserwowania tylko przy średnim zaopatrzeniu w magnez. Przy braku

Tabela 27

Stężenie wapnia w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{4}$	1
K	xx	0,30	0,28	0,29
Mg	xx	0,32	0,29	0,26
Ca	xx	0,26	0,30	0,32

xx różnice istotne przy poziomie 0,01.

magnezu w pożywce średnie zaopatrzenie w potas i wapń daje najwyższy procent magnezu w suchej masie siewek, a przy pełnym zaopatrzeniu w magnez — najmniejszy (ryc. 9).

Stężenie wapnia w siewkach uzależnione jest oczywiście od jego ilości w pożywce, jak również od dawek potasu i magnezu (tab. 5).

Koncentracja wapnia w siewkach jest większa przy wyższych stężeniach tego pierwiastka w pożywce, natomiast zwiększenie dawek magnezu i potasu obniża koncentrację wapnia w siewkach świerka (tab. 27). Efekt magnezu jest tutaj silniejszy, ponieważ w większym stopniu stymuluje osiągnięcie suchej masy przez siewki (tab. 8).

Ujemny wpływ potasu na koncentrację wapnia w siewkach występuje tylko przy małym stężeniu wapnia w pożywce ( $\frac{1}{4}$  Ca) i w warunkach maksymalnego zaopatrzenia w magnez.

Stwierdzone wzajemne oddziaływanie wszystkich trzech pierwiastków metalicznych (tab. 5), polega właśnie na tym, że negatywny wpływ potasu na stężenie wapnia w siewkach jest najwyraźniejszy przy pożywkach niezbalansowanych pod względem wapnia i magnezu.

Stężenie sodu w siewkach świerka zmienia się pod wpływem zróżnicowanych stężeń potasu, magnezu i wapnia w pożywce oraz wszystkich możliwych interakcji między tymi pierwiastkami (tab. 5). Sód nie stanowił zmiennej niniejszego doświadczenia, ale jako element zastępczy dodawany był do pożywek w zróżnicowanych ilościach w zależności od dawek badanych trzech pierwiastków, tzn. potasu, magnezu i wapnia. A zatem w pożywce było tym więcej sodu, im mniejsze było sumaryczne stężenie potasu, magnezu i wapnia. I odwrotnie, w miarę wzrastania dawek któregośkolwiek z tych pierwiastków, malało stężenie sodu w pożywce, mniejsze było zatem pobieranie tego pierwiastka przez siewki świerka, a w efekcie mniejsze stężenie w roślinach (tab. 28).

Procentowa zawartość sodu w siewkach świerka w tym doświadczeniu waha się dla poszczególnych pożywek w granicach od 0,067% do 0,199% i jest pozytywnie skorelowana ze stężeniem tego pierwiastka w pożywce. Na rycinie 10 przedstawiono również wartości suchej masy siewek. Jak wynika z rysunku, do poziomu 163 mg Na/litr pożywki, stężenie sodu w siewkach koreluje się pozytywnie z suchą masą siewek. Natomiast przy



Tabela 28

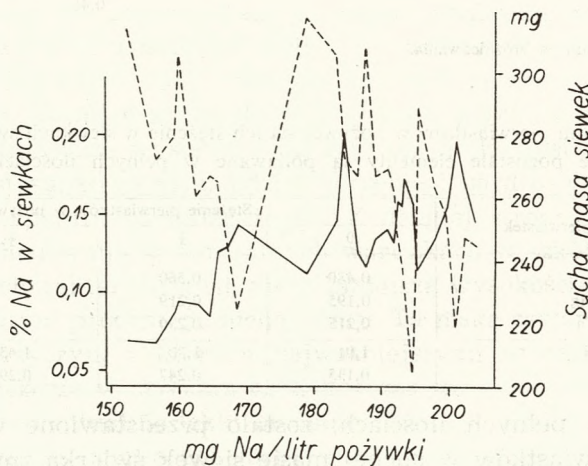
Stężenie sodu w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{2}$	1
K	xx	0,15	0,15	0,10
Mg	xx	0,14	0,13	0,12
Ca	xx	0,15	0,13	0,11

xx różnice istotne przy poziomie 0,01.

wyższych stężeniach sodu w pożywce, czyli mniejszych dawkach potasu, magnezu i wapnia, występuje korelacja negatywna.

Stężenie azotu i fosforu w siewkach świerka w doświadczeniu nad wpływem mineralnego żywienia pierwiastkami metalicznymi jest stosunkowo wysokie. W suchej masie siewek znajduje się około 2,4% azotu oraz 0,45% fosforu.



Ryc. 10. Wpływ poziomu sodu w pożywce na stężenie sodu w siewkach świerka oraz na ich suchą masę (— % Na, --- sucha masa siewek)

Koncentracja azotu w siewkach świerka zależy tylko od dawek wapnia (tab. 5) i maleje istotnie, gdy poziom wapnia w pożywce rośnie (tab. 29). Spośród badanych pierwiastków metalicznych, wapń w największym stopniu wpływał na wzrost siewek (tab. 8). W siewkach tych w wyniku wzrostu następowało rozcieńczenie pobranego azotu.

Stężenie fosforu w siewkach jest natomiast niezależne od dawek wszystkich trzech badanych w niniejszym doświadczeniu pierwiastków metalicznych, tzn. potasu, magnezu i wapnia (tab. 5 i 30).

Stężenie pierwiastków w siewkach w zależności od ich indywidualnych dawek, gdy wszystkie pozostałe elementy są po-

Tabela 29

Stężenie azotu w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{2}$	1
K	—	2,32	2,40	2,39
Mg	—	2,36	2,34	2,41
Ca	xx	2,70	2,27	2,14

xx różnice istotne przy poziomie 0,01,  
— brak istotnego zróżnicowania.

Tabela 30

Stężenie fosforu w siewkach świerka (% suchej masy) przy różnych poziomach badanych pierwiastków w pożywce

Źródło zmienności	Istotność	Stężenie pierwiastków w pożywce		
		0	$\frac{1}{2}$	1
K	—	0,444	0,466	0,446
Mg	—	0,464	0,451	0,440
Ca	—	0,468	0,453	0,435

— brak istotnego zróżnicowania.

Tabela 31

Wpływ poziomu pierwiastków w pożywce na ich stężenie w siewkach świerka (% suchej masy), gdy wszystkie pozostałe elementy są podawane w pełnych ilościach

Badany pierwiastek	Stężenie pierwiastków w pożywce			
	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
K	0,480	0,560		0,664
Mg	0,195	0,219		0,328
Ca	0,215	0,230		0,284
N	1,01	1,30	1,43	1,89
P	0,135	0,247	0,291	0,339

dawane w pełnych ilościach, zostało przedstawione w tabeli 31. Stężenie pierwiastków w suchej masie siewek świerka zmienia się w zależności od ilości podawanych pierwiastków w pożywce. Odnośnie do wszystkich badanych elementów ich stężenie w siewkach rośnie wraz ze wzrostem stężenia w pożywce. Największe zróżnicowanie stężeń w siewkach dotyczy fosforu, przy pożywce pełnej jest ono 2,5 razy większe niż przy pożywce bezfosforowej. Najmniejsze zróżnicowanie występuje natomiast przy wapniu i potasie. Największe stężenie tych pierwiastków jest tylko 1,3 razy większe od stężenia przy pożywkach zerowych.

Ogólnie z analizowanych pięciu pierwiastków, w siewkach świerka znajduje się najwięcej azotu (powyżej 1% suchej masy). Poza tym w siewkach występuje stosunkowo dużo potasu (około 0,5%), a procentowe zawartości pozostałych pierwiastków, tzn. fosforu, magnezu i wapnia, są niewielkie i wahają się w granicach od 0,1% do 0,3% w zależności od pierwiastka i jego stężenia w pożywce.



## DYSKUSJA

Niektóre wyniki przedstawionych tutaj badań można porównać z wynikami podobnych doświadczeń przeprowadzonych przez innych badaczy. W tabeli 32 przedstawiono kilka wartości charakteryzujących wzrost siewek świerka w badaniach własnych oraz w doświadczeniach Ingesta (1959) i Krala (1961).

Tabela 32

Charakterystyka siewek świerka z różnych doświadczeń (przy optymalnym żywieniu mineralnym)

Autor	Czas wyrastania siewek	Wysokość siewek (cm)	% suchej masy	Sucha masa korzeni	% suchej masy igieł
				Sucha masa części nadziemnych	
Ingestad (1959)	6 miesięcy	18,2	26	0,26	55
Kral (1961)	2 lata	12,6	44	0,36	45
Własne badania (doświadczenie z makroelementami metalicznymi)	11 miesięcy	6,6	27	0,78	35

Średnie wartości z tych doświadczeń są nieporównywalne ze względu na różną rozpiętość stężeń poszczególnych pierwiastków w podłożu, dlatego w tabeli przedstawiono dane tylko dla optymalnych warunków żywienia mineralnego. Najmłodsze siewki wyhodowane przez Ingesta (1959) posiadają największą wysokość, jak również najkorzystniejsze parametry wzrostu, stosunkowo niski udział korzenia i bardzo wysoki procent suchej masy aparatu asymilacyjnego. Z drugiej strony dwuletnie siewki świerka wyhodowane w naturalnych warunkach w szkółce w Austrii (Kral 1961) charakteryzują się nieco mniejszą wysokością oraz stosunkowo bardzo dużym procentem suchej masy. Ta niska zawartość wody wynika z wielu przyczyn, z których najważniejszymi wydają się być: likwidacja doświadczenia w styczniu czyli podczas spoczynku wegetacyjnego, wiek siewek, ewentualnie lekki niedobór potasu w glebie w szkółce.

Istnieją też sugestie, że procent suchej masy zmienia się wraz z szerokością geograficzną. Langlet (1960) podaje na przykład, że dla świerka wartość ta rośnie w miarę przesuwania się w kierunku północnym. Porównanie danych ze Szwecji (Ingestad 1959) i Austrii (Kral 1961) tego nie potwierdza (tab. 32), ale może to być spowodowane różnym wiekiem siewek i różnymi warunkami hodowli.

W świetle przedstawionych tu doświadczeń (tab. 32) jednoroczne siewki świerka z niniejszego doświadczenia wykazują stosunkowo słaby wzrost na wysokość, a równocześnie bardzo dużą wartość stosunku masy korzenia do części nadziemnej i niski procent suchej masy igieł. Według Krala (1961) w wyrównanych warunkach hodowlanych procentowy udział igieł nie zmienia się wraz z wysokością siewek. A zatem w naszym przypadku niska wartość tego procentu nie wynika bezpośrednio z małej wysokości siewek, lecz z innych przyczyn.



Z kolei z badań In g e s t a d a (1959) wynika, że wysoka wartość stosunku masy korzenia do części nadziemnej występuje u siewek rosnących na pożywkach z brakiem azotu lub fosforu, gdyż przy braku pierwiastków metalicznych, a szczególnie potasu, wartość tego stosunku nieco maleje. Stosunkowo duży system korzeniowy oraz niski procent suchej masy aparatu asymilacyjnego siewek w naszym doświadczeniu mogłyby zatem oznaczać niedostateczne zaopatrzenie w azot lub fosfor. Pierwiastki te były dostarczane zgodnie z definicją optymalnej pożywki podaną przez In g e s t a d a (1967), z zachowaniem odpowiedniej proporcji między azotem oznaczać niedostateczne zaopatrzenie w azot lub fosfor. Pierwiastki wiastków nie była ograniczona, gdyż ich pobieranie i stężenie w siewkach jest wysokie (tab. 29 i 30). Należy zatem szukać innych przyczyn względnie słabego wzrostu siewek.

Warunki klimatyczne hodowli siewek w omawianych trzech doświadczeniach były bardzo różne. Jak już wyżej wspomniano, K r a l hodował siewki w naturalnych warunkach w szkółce. In g e s t a d prowadził doświadczenie w komorze klimatyzacyjnej, w optymalnych warunkach temperatury powietrza, wilgotności, fotoperiodu i natężenia oświetlenia. Natomiast w niniejszym doświadczeniu siewki rosły w cieplarni od lutego do stycznia następnego roku. W okresie letnim na skutek dużego usłonecznienia temperatura w cieplarni była bardzo wysoka, duże były ponadto różnice między temperaturą dnia i nocy, co powoduje u świerka osłabienie wzrostu. W badaniach nad wpływem foto- i termoperiodu na wzrost świerka najlepszy wzrost wykazywały siewki rosnące w temperaturze powietrza 20°C, równej w dzień i w nocy (D o r m l i n g i inni 1968, D o r m l i n g 1970, informacja nie opublikowana).

L e d i g i n n i (1970) w swej pracy wysuwają ogólny wniosek, że u siewek drzew iglastych w ciągu kilku pierwszych lat wartość stosunku masy części nadziemnej do korzenia maleje. Wyższy, w porównaniu z badaniami In g e s t a d a (1959), wiek siewek w niniejszym doświadczeniu mógł też między innymi determinować większą wartość stosunku korzeń/ /część nadziemna.

W tabeli 33 przedstawiono suchą masę siewek osiąganą przy różnych poziomach poszczególnych pierwiastków w pożywkach, w trzech seriach

Tabela 33

Wpływ poziomu pierwiastków w pożywce na suchą masę siewek świerka (pozostałe elementy w pożywkach w optymalnych ilościach)

Pierwiastek	Rok założenia doświadczenia	Stężenie pierwiastków w pożywce			
		0	½	½	1
K	1968	308,5	317,5		313,3
Mg	1968	261,4	303,5		313,3
Ca	1968	280,5	271,9		313,3
N	1966	96,7	195,4	320,8	364,0
P	1967	79,5	114,3	118,7	125,5



doświadczalnych: azotowej (F o b e r i G i e r t y c h 1968), fosforowej (F o b e r i G i e r t y c h 1970a) oraz z pierwiastkami metalicznymi. Znamienne są tutaj dość znaczne różnice w wartościach, jakie otrzymano przy hodowli siewek na pożywkach pełnych. Różnice te mogą wynikać z kilku powodów. Otóż doświadczenia te zakładano w różnych latach, różne zatem były warunki klimatyczne, takie jak temperatura i wilgotność powietrza w cieplarni, nasłonecznienie itd.

Na podstawie danych stacji meteorologicznej w Kórniku (K a c z m a r e k 1967, 1968, 1969) sumaryczne usłonecznienie w miesiącach wiosennych i letnich było największe w 1967 r. podczas trwania doświadczenia fosforowego, a najmniejsze podczas doświadczenia azotowego w 1966 r. A zatem istnieje tutaj wyraźna jednokierunkowa zależność między osiąganą masą siewek w doświadczeniu a nasłonecznieniem w danym okresie. Z powodu dużego nasłonecznienia, a tym samym wysokiej temperatury w cieplarni, mimo codziennego podlewania, piasek w doniczkach ulegał szybkiemu wysuszeniu. Podane w tabeli wartości suchej masy są wielkościami średnimi z różnych proveniencji. Jednak różnice w doborze proveniencji do poszczególnych serii były niewielkie. Proveniencje o najlepszym wzroście (Istebna, Brody), jak i słabo rosnące (Dolina Chochołowska, Wetlina) były reprezentowane we wszystkich doświadczeniach, dlatego też wynikające stąd różnice w wartościach średnich nie mogą być duże.

W doświadczeniu z pierwiastkami metalicznymi siewki posiadały bardzo wysokie stężenie fosforu i azotu, wyższe niż siewki w poprzednich doświadczeniach (tab. 34). Wysokie stężenie tych elementów wynika zapewne z wysokiej wagi korzeni w stosunku do części nadziemnej siewek, gdyż według badań I n g e s t a d a (1959) korzenie siewek świerka posiadają wyższe niż igły stężenie fosforu i azotu.

Zewnętrzne zaopatrzenie w badane pierwiastki ma różny wpływ na wzrost siewek świerka, różne jest także znaczenie tych pierwiastków w osiąganiu suchej masy, o czym świadczą różnice między masą siewek osiaganą na pełnych pożywkach a masą otrzymaną w kulturach bez poszczególnych elementów (tab. 33). Pod tym względem można pierwiastki uszeregować w następującej kolejności: N, P, Mg, Ca i K. A zatem w warunkach niniejszego doświadczenia azot był najważniejszym pierwiastkiem dla wzrostu siewek.

Przy zastosowaniu pożywki mineralnej bez tego elementu otrzymano suchą masę siewek aż o 73<sup>0</sup>/o mniejszą niż w pożywce pełnej. Wszystkie pozostałe pierwiastki wpływają w znacznie mniejszym stopniu na wzrost, gdyż wskutek braku fosforu, magnezu, wapnia czy potasu w pożywce masa siewek była odpowiednio mniejsza o 37<sup>0</sup>/o, 17<sup>0</sup>/o, 10<sup>0</sup>/o i 1<sup>0</sup>/o. Kolejność ta może nie tyle świadczyć o tym, który z tych pierwiastków ma większe znaczenie dla wzrostu, ile o zapotrzebowaniu siewek na dany element i o korzyściach wynikających z nawożenia poszczególnymi pierwiastkami.



Tabela 34

Stosunek suchej masy korzenia do części nadziemnej oraz stężenie azotu i fosforu w siewkach, w trzech seriach doświadczalnych przy optymalnym poziomie pierwiastków w pożywce

Doświadczenie	Sucha masa korzeni		% N	% P
	Sucha masa części nadziemnych			
Doświadczenie azotowe (1 N)	0,58		1,89	
Doświadczenie fosforowe (1 P)	0,47			0,339
Doświadczenie z makroelementami metalicznymi (1 K, 1 Mg, 1 Ca)	0,78		2,82	0,415

Mały wpływ potasu na wzrost wynika niewątpliwie z tego, że zapotrzebowanie na ten pierwiastek jest początkowo niewielkie, a jego ilości w materiale zapasowym nasion czy też w postaci zanieczyszczeń podłoża wystarczają na osiąganie stosunkowo wysokiej suchej masy przez jednoroczne siewki świerka. Z porównania zawartości potasu w nasionach (F o b e r i G i e r t y c h 1971b) i siewkach rosnących na pożywce bezpotasowej wynika, że około 10<sup>0</sup>/o potasu otrzymały siewki z nasion, a reszta pochodzi z zanieczyszczeń. Siewki rosnące w glinianych doniczkach na pożywce 0 K nie były więc zupełnie pozbawione potasu.

Niezależnie od tego brak pierwiastków metalicznych zaznacza się dopiero w późniejszym okresie rozwoju, gdy siewki osiągnęły już stosunkowo wysoką masę, podczas gdy azot i fosfor ograniczają wzrost siewek już we wczesnych stadiach ich rozwoju.

W porównaniu z innymi gatunkami drzew iglastych, na przykład sosnami (*Pinus contorta* Dougl., *P. banksiana* Lamb., *P. resinosa* Ait.), a nawet świerkami (*Picea mariana* (Mill.) BSP, *P. rubens* Sarg., *P. glauca* (Moench) Voss) siewki świerka pospolitego (*Picea abies*) w znacznie mniejszym stopniu reagowały na zmienne warunki żywieniowe (S w a n 1972).

Na podstawie porównania tabel 31 i 33 można obliczyć stopień wykorzystania poszczególnych pierwiastków do wzrostu. Pod wpływem zwiększonej dostawy każdego z tych pierwiastków, wzrasta jego stężenie w siewkach, co nie zawsze jest równoznaczne z proporcjonalnym wzrostem suchej masy. Porównując we wspomnianych tabelach wartości przy granicznych stężeniach elementów w pożywce widzimy, że spadek zawartości azotu w siewkach o 86<sup>0</sup>/o był równoznaczny ze zmniejszeniem masy siewek o 73<sup>0</sup>/o; przy zmniejszeniu zawartości fosforu o 75<sup>0</sup>/o otrzymujemy masę siewek mniejszą o 37<sup>0</sup>/o; zmniejszenie zawartości magnezu o 50<sup>0</sup>/o redukuje masę siewek o 17<sup>0</sup>/o; zmniejszenie zawartości wapnia o 32<sup>0</sup>/o pociąga za sobą redukcję masy siewek o 10<sup>0</sup>/o, a zmniejszenie zawartości potasu o 29<sup>0</sup>/o redukuje masę siewek tylko o 1,5<sup>0</sup>/o. Proporcjonalnie zatem zmniejszenie zawartości N, P, Mg, Ca czy K w siewkach o 1<sup>0</sup>/o byłoby równoznaczne ze zmniejszeniem suchej masy siewek odpowiednio o 0,85<sup>0</sup>/o, 0,49<sup>0</sup>/o, 0,34<sup>0</sup>/o, 0,31<sup>0</sup>/o i 0,05<sup>0</sup>/o.

W porównaniu z pozostałymi elementami, azot jest więc najbardziej ekonomicznie wykorzystywany do wzrostu przez siewki. Spośród pier-

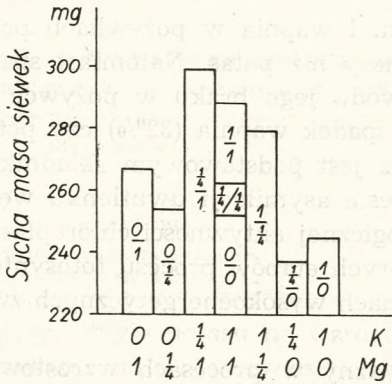


wiastków metalicznych poziom magnezu i wapnia w pożywkach posiadały większy wpływ na plon suchej masy niż potas. Natomiast spadek zawartości magnezu w siewkach z powodu jego braku w pożywce był o wiele wyższy (50%) niż analogiczny spadek wapnia (32%) czy potasu (29%). Jest to zrozumiałe, gdyż magnez jest podstawowym składnikiem chlorofilu i spełnia ważną rolę w procesie asymilacji dwutlenku węgla. Poza tym magnez przedłuża okres biologicznej aktywności chloroplastów i jest biologicznym aktywatorem niektórych etapów procesu fotosyntezy, biorąc udział w powstawaniu i przemianach wysokoenergetycznych związków fosforowych.

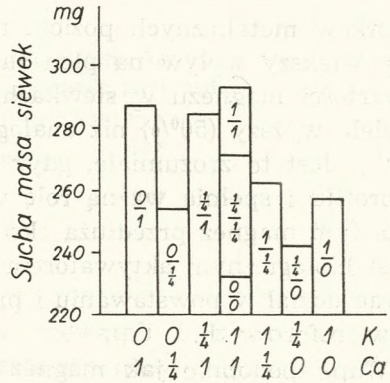
Wapń podobnie jak magnez jest ważny w procesach wzrostowych (wpływ na suchą masę), ale tak jak w przypadku potasu jego zawartość w roślinie jest mniej zależna od wielkości dawek. Świadczyć to może o większym znaczeniu wapnia w środowisku niż wewnątrz rośliny. Jak wiadomo rośliny posiadają niewielkie wymagania w stosunku do wapnia jako czynnika odżywczego, jednak ich prawidłowy wzrost i rozwój uzależniony jest od odpowiedniej zawartości wapnia w środowisku. Jony wapnia warunkują utrzymanie selektywności w pobieraniu i transporcie kationów jednowartościowych. Ważna jest także rola tego pierwiastka we wzroście roślin. Z jednej strony, jest on składnikiem budulcowym ścian komórkowych, a z drugiej strony, od wapnia zależy podział komórek w tkankach merystematycznych oraz utrzymanie jądra w stanie aktywności biologicznej. Specyficzne działanie wapnia polega również na jego wpływie na rozciągliwość komórek, co pozostaje w związku ze zdolnością jonów wapnia do tworzenia połączeń chelatowych.

Wpływ zaopatrzenia w potas na suchą masę siewek był najmniejszy i, jak wykazała analiza wariancyjna, statystycznie nieistotny. Oczywiście nie można tu właściwie mówić o braku potasu. W warunkach naszego doświadczenia mineralna zasobność podłoża wyjściowego była niejednolita dla różnych pierwiastków. Szczególnie słabo zaznaczył się deficyt potasu. Przy wszystkich poziomach potasu w pożywce pierwiastek ten był wystarczająco dostępny dla wzrostu świerka. Jednakże jest godne uwagi, że gdy przy redukcji zawartości potasu w siewkach o 1% sucha masa była mniejsza tylko o 0,05%, to odpowiednia wartość dla świeżej masy wynosiła 0,25%. Podkreśla to ważność tego pierwiastka raczej dla osiągnięcia wzrostu elongacyjnego przez powiększanie komórek (absorbacja wody jest regulowana turgorem wewnątrz komórki zależnym od stężenia potasu) niż dla metabolicznej akumulacji suchej masy. Znany jest bowiem wpływ potasu na fizykochemiczne własności plazmy. Działanie jonów potasu powoduje silne pęcznienie koloidów plazmy, czyli zwiększenie ich uwodnienia. Bardziej uwodniona plazma posiada mniejszą lepkość i większą przepuszczalność. Jony potasu zwiększają wartość osmotyczną komórki, przez co do niej łatwiej przenika woda utrzymując ją w stanie turgoru.



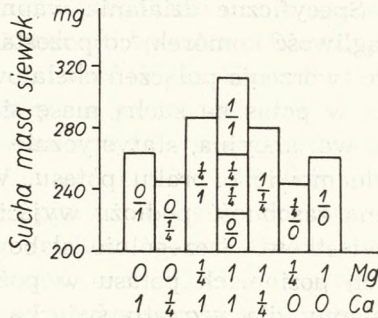


Ryc. 11. Wpływ wartości stosunku K :Mg w pożywce mineralnej na suchą masę siewek świerka



Ryc. 12. Wpływ wartości stosunku K :Ca w pożywce mineralnej na suchą masę siewek świerka

Jednym z celów tego doświadczenia było przebadanie wpływu niezbalansowanego odżywiania elementami metalicznymi na wzrost i inne cechy młodych siewek świerka. Na rycinach 11, 12 i 13 przedstawiono kolejno zależność suchej masy siewek od stosunku K :Mg, K :Ca i Mg :Ca w pożywce. Na podstawie tych trzech wykresów można ogólnie powiedzieć, że wzrost dostawy któregośkolwiek pierwiastka powoduje wzrost



Ryc. 13. Wpływ wartości stosunku Mg :Ca w pożywce mineralnej na suchą masę siewek świerka

suchej masy siewek, gdy pozostałe dwa są na stałym poziomie. Jest to wyraźne dla magnezu i wapnia, a mniej wyraźne dla potasu. Jednakże ze względu na to, że potas najmniej wpływał na wzrost, zaobserwowane wahania posiadają niewielką rozpiętość.

Interakcja między magnezem i potasem na suchą masę była istotna (tab. 5). Polegała ona na znikomym czy nawet negatywnym wpływie potasu w warunkach braku magnezu (ryc. 11). Może to po prostu oznaczać, że gdy wzrost jest ograniczony brakiem magnezu, wahania poziomu po-



tasu w pożywce w warunkach tego doświadczenia były bez znaczenia. Nie zaprzecza to ogólnej konkluzji, że wpływ każdego z tych trzech elementów na wzrost jest niezależny od poziomu pozostałych pierwiastków w pożywce, czyli że pożywka zbalansowana nie daje specjalnych korzyści w porównaniu z pożywką niezbalansowaną. Zaopatrzenie w pewne elementy na poziomie optymalnym nie staje się szkodliwe dla wzrostu z powodu nieobecności któregośkolwiek z pozostałych, może jednak nie mieć wpływu na wzrost, gdy brakujący pierwiastek jest czynnikiem limitującym.

Ze wzrostem stężenia sodu w pożywce w niewielkim stopniu obniża się sucha masa siewek (ryc. 10). Jest to spowodowane tym, że poziom sodu w pożywce wzrastał, gdy poziom odżywiania makroelementami metalicznymi obniżał się (tab. 3). Stąd obniżenie suchej masy siewek było spowodowane uboższym odżywianiem. Natomiast interesująco przedstawia się porównanie wykresów dla suchej masy i dla stężenia sodu w siewkach (ryc. 10). Otóż przy małych dawkach sodu istnieje pozytywna zależność między suchą masą a stężeniem sodu w siewkach, chociaż sól nie może być czynnikiem ograniczającym wzrost roślin ze względu na jego dużą ilość w pożywce. Przypuszczalnie dobremu wzrostowi towarzyszy tu bierne pobieranie większej ilości sodu. Przy wyższych dawkach sodu koncentracja tego pierwiastka w siewach negatywnie koreluje z suchą masą. Następuje tutaj rozcieńczenie sodu w siewkach osiągających wyższą wartość suchej masy, sugerujące selektywne pobieranie innych pierwiastków, a nie sodu.

Sól spełnia pewne funkcje fizjologiczne przypisywane kationom jednowartościowym. Wpływa na koloidalny stan plazmy i związaną z nim jej lepkość i przepuszczalność, zwiększa uwodnienie koloidów komórkowych, a ponadto wpływa na utrzymywanie ciśnienia osmotycznego, bilansu jonowego i odpowiedniego odczynu wewnątrz komórki. Roślina jednak wybiórczo raczej pobiera potas do tej funkcji.

Oprócz wpływu na wzrost i masę, mineralne żywienie siewek świerka elementami metalicznymi posiada również wyraźny wpływ na liczne cechy rozwojowe, takie jak przechodzenie siewek w stan spoczynku wegetacyjnego, zawiązywanie pączków, liczbę pędów bocznych oraz ich długość czy kolor igliwia. Z zasady charakter zmian poszczególnych cech spowodowanych dostarczaniem elementów metalicznych jest taki sam jak przy żywieniu siewek azotem czy fosforem, ale skala zmienności jest tu znacznie mniejsza. Spośród badanych cech rozwojowych najważniejszą wydaje się być procent siewek z pączkiem szczytowym. Czas przejścia siewek w stan spoczynku wegetacyjnego decyduje bowiem w dużym stopniu o wzroście siewek, a więc o osiąganych wartościach wysokości czy masy. Godny uwagi jest fakt, że wzrost dawek magnezu, w przeciwieństwie do innych pierwiastków, powodował w warunkach naszego doświadczenia szybsze zakończenie wegetacji i przechodzenie siewek w stan spo-



czynku wegetacyjnego (tab. 14). Poza tym, jeśli chodzi o tę cechę, stwierdzono wpływ interakcji między pochodzeniem świerka a poziomem potasu czy wapnia w pożywce. Są to jedyne interakcje między genotypem a żywieniem mineralnym pierwiastkami metalicznymi, jakie uzyskano w warunkach doświadczenia, co sugeruje, że w zasadzie wszystkie rasy świerka podobnie reagują na zróżnicowane warunki żywieniowe.

Rozwój systemu korzeniowego siewek uzależniony jest niewątpliwie od warunków odżywczych, a stosunek masy korzenia do części nadziemnej dobrze odzwierciedla stan odżywiania; przy zmianach poziomu niektórych elementów mineralnych w pożywce wartość tego stosunku ulega zmianie. Kierunek tych zmian w naszych doświadczeniach był z zasady zgodny z badaniami przeprowadzonymi przez Ingestada (1959). Pod wpływem zwiększonych dawek azotu, fosforu i wapnia wartość stosunku korzeń/pęd jest mniejsza, a przy zwiększonych dawkach potasu większa.

Na uwagę zasługuje także wpływ mineralnego żywienia na przeżywalność siewek (tab. 18). Ogólnie w lepszych warunkach żywienia mineralnego śmiertelność siewek jest mniejsza.

Podobnie do cech wzrostowych, interakcje między makroelementami metalicznymi na ich stężenie w siewkach nie wskazują na szczególne znaczenie zbalansowania pożywek. Ogólnie stężenie jakiegoś pierwiastka jest najwyższe, gdy jest on podawany w pełnych ilościach, a dawki pozostałych są ograniczone (ryc. 8, 9). Wiele niejasnych interakcji jest związanych ze zmianami poziomu potasu w pożywce. Można to wyjaśnić faktem, że w rzeczywistości potas nie był pierwiastkiem limitującym w warunkach tego doświadczenia i dlatego reakcje na trzy różne poziomy odżywiania potasem mogły być również dobrze związane z nadmiarem, jak i niedoborem.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na fakt istotnego wpływu wielu interakcji w żywieniu elementami metalicznymi (tab. 5), co dotychczas nie było badane w takim zakresie. Zostały one wyliczone w niniejszej pracy dzięki statystycznemu opracowaniu wyników doświadczenia, a ich interpretacja była możliwa dzięki zastosowaniu metody histogramów i przedstawieniu wartości różnych cech za pomocą wykresów warstwicznych. Wpływ tak licznych interakcji pozwala uzmysłwić złożoność samego procesu żywienia mineralnego. Podawanie jakiegoś pierwiastka, nawet poniżej poziomu optymalnego, w określonych warunkach niejednokrotnie wpływa negatywnie na pewne cechy, jak na przykład wpływ potasu opóźniający zawiązywanie pączków szczytowych przy braku wapnia. W tym aspekcie pod pojęciem pożywki optymalnej należy rozumieć optymalne proporcje pierwiastków różne dla różnych cech. Najbardziej interesuje nas wzrost na wysokość i do tej cechy są opracowywane optymalne pożywki. Gdyby miarą była inna cecha, to skład pożywki byłby inny. Ingestad opracował swoje pożywki na podstawie składu chemicznego maksymalnie rosnących siewek w warunkach fitotronowych.



Natomiast w warunkach terenowych najzdrowsza siewka, która zawiera pączki śpiące przed przymrozkami może mieć inny wewnętrzny skład chemiczny (na przykład potrzebować będzie więcej magnezu), a więc i inna pożywka byłaby dla niej optymalna.

## LITERATURA

1. Baule H., Fricker C. — 1971. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL Warszawa.
2. Brown J. H. — 1970. Seedling growth of three Scotch Pine provenances with varying moisture and fertility treatments. For. Sci. 16 (1): 43 - 45.
3. Dormling I., Gustafsson Å., Wettstein D. — 1968. The experimental control of the life cycle in *Picea abies* (L.) Karst. I. Some basic experiments on the vegetative cycle. Silv. Genet. 17 (2 - 3): 44 - 64.
4. Fink J. — 1963. Wstęp do biochemii fosforu roślin. PWRiL Warszawa.
5. Fober H., Giertych M. — 1968. Zróżnicowanie siewek świerka polskich proveniencji w zależności od stężenia azotu w pożywce i stopnia konkurencji z trawą. Arboretum Kórnickie 13 : 217 - 260.
6. Fober H., Giertych M. — 1970a. Phosphorus uptake by Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings of various provenance. Arboretum Kórnickie 15 : 99 - 115.
7. Fober H., Giertych M. — 1970b. The uptake of <sup>32</sup>P by spruce seedlings (*Picea abies* (L.) Karst.) growing in competition with grass. Acta Soc. Bot. Pol. 39 (1) : 115 - 121.
8. Fober H., Giertych M. — 1971a. Variation among Norway spruce of Polish provenances in seedling growth and mineral requirements. Arboretum Kórnickie 16 : 107 - 120.
9. Fober H., Giertych M. — 1971b. Variability of *Picea abies* (L.) Karst. seed size, weight and mineral content in Poland. Arboretum Kórnickie 16 : 121 - 130.
10. Gerhold H. D. — 1959. Seasonal variation of chloroplast pigments and nutrient elements in the needles of geographic races of Scotch Pine. Silv. Genet. 8 : 113 - 123.
11. Giertych M. — 1969. Growth as related to nutrition and competition. FO-FTB-69-2/4 : 1 - 18.
12. Giertych M., Farrar J. L. — 1962. A provenance study of Jack pine seedlings. Silv. Genet. 11 (4) : 111 - 114.
13. HORTICULTURAL COLOUR CHART — 1938. The British Colour Council, The Royal Horticultural Society.
14. Humphries E. C. — 1956. Mineral components and ash analysis. ex Modern Methods of Plant Analysis. Ed. Paech and Tracey vol. 1 : 468 - 502.
15. Ingestad T. — 1959. Studies on the nutrition of forest tree seedlings. II. Mineral nutrition of Spruce. Physiol. Plant., 12 (3) : 568 - 593.
16. Ingestad T. — 1967. Methods for uniform optimum fertilization of forest tree plants. Proc. 14th Congr. IUFRO, Munich Pt. III, Sect. 22 : 265 - 269.
17. Kaczmarek C. — 1967. Wyniki obserwacji meteorologicznych w Kórniku w roku 1966. Arboretum Kórnickie 12 : 329 - 345.
18. Kaczmarek C. — 1968. Wyniki obserwacji meteorologicznych w Kórniku w roku 1967. Arboretum Kórnickie 13 : 303 - 321.
19. Kaczmarek C. — 1969. Wyniki obserwacji meteorologicznych w Kórniku w roku 1968. Arboretum Kórnickie 14 : 291 - 309.



20. Keller T. — 1971. Production processes in relation to edaphic factors. Report from the IUFRO Congr. Gainesville, Sect. 21 : 12 - 25.
21. Kral F. — 1961. Untersuchungen über den Nährstoffhaushalt von auf gleichem Standort erwachsenen Fichtenjungpflanzen in Abhängigkeit von ihrer Wuchsenergie und Herkunft. Cbl. ges. Forstw. 78 (1) : 18 - 38.
22. Langlet O. — 1936/37. Studier över tallens fysiologiska variabilitet och dess samband med klimatet. Ett. bidrag till kännedomen om tallens ekotyper. Medd. Stat. Skogsförsöksanstalt 29 : 219 - 470.
23. Langlet O. — 1960. Mellaneuropeiska granprovenienser i svenskt Skogsbruk. Kungl. Skogs och Lantbr Akad. Tidskr. Stockh. 99 (5/6) : 259 - 329.
24. Ledig F. T., Bormann F. H., Wenger K. F. — 1970. The distribution of dry matter growth between shoot and roots in Loblolly pine. Bot. Gaz. 131 (4) : 349 - 359.
25. Mergen F., Worrall J. — 1965. Effect of environment and seed source on mineral content of Jack pine seedlings. For. Sci. 11 (4) : 393 - 400.
26. Perkal J. — 1958. Matematyka dla przyrodników i rolników. PWN Warszawa. Część III, ss. 239.
27. Piper C. S. — 1957. Analiza gleby i roślin. Warszawa PWN.
28. Steinbeck K. — 1965. Variations in the foliar mineral content of five widely separated seedlots of Scotch pine. Quart. Bull. Mich. Agric. Exp. Sta. 48 (1) : 94 - 100.
29. Swan H. S. D. — 1972. Foliar nutrient concentrations in Norway spruce as indicators of tree nutrient status and fertilizer requirement. Wldds. Rept., Pulp Pap. Res. Inst. Can., No. 40 : 1 - 20.

HENRYK F O B E R

*The effect of potassium, magnesium and calcium supply on the growth, development and mineral composition of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) seedlings*

S u m m a r y

One year old seedlings of Norway spruce have been cultivated on a medium with three different levels of potassium, magnesium and calcium supply in all possible combinations ( $3 \times 3 \times 3 = 27$ ). On the seedlings obtained observations were conducted concerning growth and development and the content of mineral elements in them was analysed. The following results were obtained. They are compared with those obtained earlier on the effect of N and P supply.

1. As regards the sensitivity of the dry matter crop to quantity of a mineral element supplied the macroelements can be arranged in a declining order:  $N > P > Mg > Ca > K$ .

2. Ratio of the dry weight of root to the dry weight of aerial plant part reflects to some extent the nutrition conditions. Value of this ratio declined as the level of nitrogen, phosphorus and calcium supply in the medium was increased and the level of potassium was decreased, while the level of magnesium supply has not affected the ratio.

3. The nutrition conditions have had a significant effect on some of the developmental characters in the spruce seedlings. When the level of nitrogen and potassium in the medium was high a greater number of seedlings have had an active growing point, while a higher concentration of magnesium in the medium



induced an earlier termination of the activity of the growing point. High magnesium and calcium level increased the overall number of buds on the seedling while nitrogen, phosphorus and calcium increased the number of lateral shoots and nitrogen, phosphorus and magnesium the length of these shoots.

4. The influence of potassium and calcium supply on the entering of seedlings into a state of dormancy is dependent to some extent on the origin of the seeds. In particular seedlings from Suwałki were characterized by having their stem apices active for a longer period of time when the supply of potassium and calcium was high.

5. The absolute content of an element in a seedling was dependent in the first place on the level of its supply to the medium, but also on the supply of some other elements.

6. Of the studied three metallic elements calcium supply has had the greatest influence on the content of other elements in the seedlings. Its high supply stimulated the absorption of phosphorus, potassium and magnesium.

7. Similarly the concentration of mineral elements in the spruce seedlings expressed as a percentage of the dry weight depended on their supply. Generally speaking the concentration of an element was highest when its supply was at the highest level and the supply of other elements was limited.

8. Numerous interactions were observed between the influences of the level of supply of various metallic elements on the performance of spruce seedlings. Thus for example:

- when potassium was not supplied the dry weight depended primarily on the supply of calcium, and when the maximal level of potassium was supplied the level of magnesium determined the overall dry weight.
- potassium supply increased the weight of the whole seedlings (but not of the roots) in the presence of magnesium, but decreased it when magnesium was limiting.
- similarly an increase in the supply of potassium increased the dry weight of needles when calcium was deficient, but decreased it when calcium was supplied.
- the reducing effect of potassium supply on the percentage of seedlings with a terminal bud was observed only when the level of magnesium was high and calcium was deficient in the medium.
- an increased supply of potassium has reduced the concentration of calcium in the seedlings, and this effect was most readily observable in the media that were unbalanced with respect to calcium and magnesium supply.

The differential supply of potassium has had the most irregular effects and provided interactions that were difficult to interpret.

9. The level of sodium in the medium, which was used to replace the deficient metallic ions, as well as its content in the seedlings were negatively correlated with the dry weight of the seedlings. This however is not evidence for inhibitive action of sodium but is only a reflection of the fact that there is a negative correlation of sodium concentration in the medium with the concentration of the other elements. At very low concentrations of sodium in the medium its effect on dry weight was positive.

10. Under the conditions of this experiment, an optimal level of magnesium, potassium or calcium, while any of the other was insufficient, has had a positive effect on the growth of the seedlings or had no effect at all, when the missing element had a limiting effect, but generally it did not have a negative effect. This indicates that seedlings of spruce are very tolerant to unbalanced media with respect to the metallic ions.



Thus the ill effects of overfertilizing nurseries will depend primarily on the loss of an investment but not on a reduction in the crops.

11. The optimal medium has to be defined as the proportion of elements to be supplied to obtain an optimum expression of a given character. For various characters these proportions will be different. Usually we are interested in the maximal production of dry weight, but for example in conditions where an earlier bud setting is required the optimal medium would have a higher proportion of magnesium supplied.

12. As a rule spruce seedlings of various provenance have reacted similarly to the various differences in the nutritional conditions.

#### ХЕНРЫК ФОБЕР

*Влияние уровня калия, магния и кальция в питательной среде, оказываемое на особенности роста и развития а также на содержание минеральных компонентов в сеянцах ели обыкновенной*

#### Резюме

Сеянцы ели росли на песчаной почве в продолжение одого года, начиная от прорастания семян. Минеральная питательная смесь, которой подливались сеянцы два раза в неделю, характеризовалась растущими уровнями калия, магния и кальция во всевозможных комбинациях. На одногодичных сеянцах наблюдались признаки роста и развития, а их сухие вещества подвергнуты были анализу содержания исследуемых элементов.

Полученные результаты сравнивались и сопоставлялись с результатами прежних серий испытаний, во время которых сеянцы ели росли при разных концентрациях азота и фосфора.

1. Подытоживая результаты исследований влияния изменений запасов отдельных элементов на рост сухих веществ сеянцев ели, можно составить следующий ряд элементов:  $N > P > Mg > Ca > K$ .

2. Отношение сухих веществ корня к сухим веществам надземной части характеризует питательную среду сеянцев ели. Значение этого отношения уменьшалось при повышении уровня азота, фосфора кальция в питательных веществах, и увеличивалось вместе с ростом уровня калия, но не изменялось при разных уровнях магния.

3. Химический состав питательной среды оказывал существенное влияние на некоторые свойства развития сеянцев ели. При высшем уровне азота либо калия в питательной смеси больше сеянцев отличалось растущим верхушечным побегом, тогда как высший уровень магния стимулировал завязку верхушечной почки; магний и кальций увеличивали число боковых побегов; азот, фосфор и магний — длину этих побегов.

4. Влияние доз калия а также кальция на переход сеянцев в состояние вегетационного покоя до некоторой степени зависело от происхождения семян ели. В особенности сеянцы из Сувалок отличались более поздним завершением роста при высоких дозах калия и кальция.

5. Абсолютное содержание какого-нибудь элемента в сеянце зависело прежде всего от его уровня в минеральной питательной среде, но также и от величины доз некоторых иных элементов.

6. Из трёх исследованных металлических элементов самое большое влияние на содержание в сеянцах иных элементов оказывало содержание в питательной среде кальция. Оно стимулировало поглощение фосфора, калия и магния.

7. Подобным образом концентрация элементов в сеянцах ели, выраженная в про-



центе сухого вещества, зависела от их уровня в питательной среде. Как правило, концентрация какого-нибудь элемента была самой высокой, если его подавали в полных количествах, а подача иных была ограничена.

8. Установлено частое воздействие отдельных металлических элементов на некоторые свойства сеянцев ели. Например:

- при недостатке калия в питательной среде сухие вещества сеянцев зависели главным образом от уровня кальция в питательной среде, при максимальном же количестве калия — от уровня магния.

- калий увеличивал массу сеянцев в целом (но не корней), когда подавали его с магнием и уменьшал при недостатке магния в питательной среде.

- так же рост доз калия увеличивал сухие вещества игл при недостатке кальция в питательной среде, но уменьшал при подаче кальция.

- наличие калия в питательной среде редуцировало процент сеянцев с верхушечной почкой, но только лишь при высоком уровне магния и одновременном отсутствии либо недостатке кальция в питательной среде.

- увеличенные дозы калия уменьшали процентное содержание кальция в сеянцах и влияние это было самым выразительным при питательной смеси небалансированной в отношении кальция и магния.

Влияние калия было очень нерегулярным, приводя к разным, трудным для выяснения воздействиям.

9. Уровень натрия в питательной среде и его содержание в сеянцах негативно коррелировали с сухим веществом сеянцев. Однако, это не свидетельствует о невыгодном влиянии высоких доз натрия, но является следствием негативной корреляции насыщенности натрия с насыщенностью остальных металлических элементов в питательной среде. При низком уровне натрия в питательной среде его влияние на сухое вещество было позитивное.

10. В условиях проводимого опыта оптимальный уровень магния, натрия и кальция, при недостатке какого-нибудь из остальных элементов, влиял позитивно на рост сеянцев, либо не оказывал никакого влияния, если недостающий элемент был лимитным фактором. Полные дозы одного элемента при условиях отсутствия другого в общем не влияли негативно на сеянцы. Это свидетельствует о большой толерантности сеянцев ели на минеральную питательную среду, небалансированную в отношении металлических элементов.

11. Понятие оптимальной питательной среды следует определять как самую выгодную пропорцию элементов для получения желательного эффекта. Обычно нас интересует максимальная продукция сухого вещества, но напр. в условиях требуемой ранней завязи спящих почек оптимальная питательная среда будет содержать высший уровень магния.

12. Отдельные образования ели в общем одинаково реагировали на изменчивые условия питания в отношении металлических элементов.





Kwiaty bzu czarnego (*Sambucus nigra* L.)

<http://rcin.org.pl>

Fot. K. Jakusz