

HENRYK FOBER

## MINERALNE ŻYWIENIE

## WSTĘP

Rosnące zapotrzebowanie na surowiec drzewny zmusza gospodarkę leśną do intensyfikacji produkcji, co można między innymi osiągnąć przez właściwe i harmonijne odżywianie drzew. Z drugiej strony leśnictwo w coraz większym stopniu spychane jest na tereny o niższej żyzności, a także na siedliska zdegradowane, bowiem najbardziej żyzne gleby przeznaczane są pod uprawy rolne. Stąd duże zainteresowanie mineralnym żywieniem drzew i drzewostanów, czyli określeniem ich stanu odżywczego, wielkości substancji odżywczych potrzebnych dla osiągnięcia maksymalnego wzrostu, a także wydajności poszczególnych pierwiastków w produkcji biomasy.

Rodzaj *Larix* obejmuje kilkanaście gatunków drzew. W Europie duże znaczenie i dobre perspektywy w gospodarce leśnej ma modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), zarówno ze względu na szybki wzrost jak i wysoką jakość drewna. Stąd też w literaturze można znaleźć bardzo dużo wiadomości o odżywianiu tego gatunku. Przedmiotem licznym badań jest również modrzew japoński (*Larix kaempferi* Sarg.) i to zarówno w Japonii, gdzie stale wzrasta powierzchnia upraw tego gatunku, jak i w Polsce czy innych krajach europejskich, gdzie jest dość często stosowany w uprawach leśnych. W Związku Radzieckim zainteresowanie budzą przede wszystkim modrzew syberyjski (*Larix sibirica* Led.) o szerokim zasięgu geograficznym oraz modrzew Sukaczewa (*Larix sukaczewii* Dil.) i dahurski (*Larix gmelinii* Litvin.).

Doświadczenia nad mineralnym żywieniem drzew prowadzone są w formie kultur wodnych i piaszkowych, doświadczeń wazonowych oraz na powierzchniach leśnych w drzewostanach różnych klas wieku. W kulturach wodnych czy piaszkowych testuje się małe siewki w wyrównanych warunkach termicznych, wilgotnościowych i świetlnych w celu określenia optymalnego dla produkcji biomasy poziomu pierwiastków w pożywkach mineralnych. Wyeliminowanie wszelkich nie badanych wpływów środowiska zewnętrznego pozwala na precyzyjne określenie objawów niedostatku poszczególnych elementów. Natomiast do zagadnień badanych w doświadczeniach wazonowych należą między innymi: 1. Reakcje roślin na zmienne dawki substancji odżywczych w wyrównanych warunkach glebowych, wodnych i klimatycznych. 2. Zależności między poziomem odżywiania a produkcją biomasy, z równoczesnym badaniem możliwości wykorzystania analiz chemicznych aparatu asymilacyjnego dla oceny zaopatrzenia roślin w substancje odżywcze. 3. Określenie i wyjaśnienie objawów niedostatku substancji odżywczych. Badania terenowe, to typowe doświadczenia nawozowe z zastosowaniem różnych dawek i różnych kombinacji poszczególnych nawozów w drzewostanach różnych klas wieku. Pomiar cech wzrostowych drzew w tych doświadczeniach w połączeniu z wynikami analiz gleby i igieł, daje możliwość określenia wymagań drzew pod względem substancji odżywczych. Ważne jest właśnie to kompleksowe działanie, gdyż wymagań danego gatunku nie możemy mierzyć ilością elementów obecnych w glebie, lecz ilościami jakie mogą być pobierane przez roślinę. Obecnie tylko oznaczanie fosforu w glebie wydaje się przydatne do określania potrzeb nawozowych, natomiast dla azotu i potasu bardziej obiecujące są analizy igieł.

Van Goor (1970), na podstawie dużej liczby doświadczeń nawozowych, doszedł do wniosku, że nawet przy podobnych wynikach analiz gleby i liści reakcja drzew może się znacznie różnić. Przy interpretacji wyników analiz fosforanów w glebie należy uwzględnić typ gleby, gdyż przyswajalność fosforu przez drzewa jest różna na różnych glebach. Z kolei zawartość azotu

w igłach daje jasną wskazówkę podaży azotu, jednak reakcja wzrostowa jest determinowana także wpływem nawozu azotowego na poziom innych pierwiastków i w niektórych wypadkach może nastąpić deficyt potasu. Możliwość pobierania potasu przez drzewa zależy między innymi od zawartości potasu w glebie i kwasowości gleby. Wzrost nawożenia azotowego zwykle powoduje obniżenie zawartości potasu w liściach, ale nawożenie potasowe nie zmniejsza zawartości azotu. Reasumując, Van Goor stwierdza, że praktyka nawożenia w leśnictwie musi się opierać na analizach gleby i roślin w powiązaniu z wynikami doświadczeń nawozowych na podobnych siedliskach.

#### POZIOMY STEŻEŃ PIERWIASTKÓW W RÓŻNYCH ORGANACH MODRZEWIA

Zawartość poszczególnych elementów w różnych częściach roślin, a szczególnie w organach asymilacyjnych, daje nam informację o stanie odżywczym organizmu. Na podstawie licznych prac możemy uzyskać informację o stężeniu pierwiastków w igłach *Larix decidua* (Schreiber 1960/1961, Czerney, Fiedler 1968, Höhne 1970, 1973, Materna 1972, Truong 1975a, Schueller 1978), *L. kaempferi* (Tsuda 1968), *L. sibirica* (Fedorova 1971, Sudačkova i in. 1971, Bannov 1973, Pacukeyič, Gerasimova 1976), *L. sukaczewii* (Usova 1977), *L. gmelinii* (Pozdnjakov 1967) czy *L. laricina* (Dykeman, Sousa 1966, Stone, Timmer 1975, Truong 1975b).

Modrzew stanowi wyjątek wśród drzew iglastych, ponieważ co roku jesienią zrzuca wszystkie igły. Stąd na drzewach występują tylko młode igły, najwyżej półroczne. Poza tym aparat asymilacyjny modrzewia składa się z igieł na krótkopędach, rozwijających się na początku okresu wegetacyjnego i zebranych w pęczki po 15 - 50 sztuk, oraz pojedynczych igieł na właściwych pędach przyrostowych, tak zwanych długopędach, rozwijających się w czerwcu. Reprezentatywne próbki igieł do analiz chemicz-

nych powinny pochodzić z krótkopędów. Igły te rozwijają się wcześniej i jest ich więcej. Hö h n e (1973) podaje, że u 13-letniego modrzewia z dobrze rozwiniętą koroną, na igły z krótkopędów przypadało aż 87% łącznej suchej masy wszystkich igieł. Na nich zatem spoczywa główny ciężar procesów przemiany materii.

Pobierając próbki igieł w 16 drzewostanach *Larix decidua* pierwszej klasy wieku, Hö h n e (1973) stwierdził następujące zawartości pierwiastków w suchej masie igieł: 1,81 - 2,28% N, 0,13 - 0,29% P, 0,35 - 1,08% K, 0,09 - 0,23% Mg, 0,60 - 0,92% Ca, 0,01 - 0,26% Mn, 0,51 - 1,72% Si, 194 - 508 ppm Fe, 104 - 457 ppm Al, 42 - 110 ppm Zn i 3,2 - 6,2 ppm Cu. Podobne wartości uzyskał Mat e r n a (1972) w próbkach reprezentujących optymalne warunki wzrostu 17 drzewostanów zlokalizowanych w różnych miejscach w Górach Jesioniki, a mianowicie: 1,87 - 2,47% N, 0,16 - 0,37% P, 0,37 - 0,98% K, 0,22 - 0,32% Mg, 0,38 - 0,99% Ca, 0,02 - 0,07% Mn, 0,34 - 1,22% Si, 0,21 - 0,31% S, 81 - 175 ppm Fe, 25 - 58 ppm Zn i 2 - 8 ppm Cu. W młodym 12-letnim drzewostanie w prowincji Quebec w Kanadzie zawartość azotu wynosiła 1,38 - 2,78%, fosforu 0,13 - 0,39%, potasu 0,51 - 1,58%, magnezu 0,06 - 0,15%, wapnia 0,23 - 0,42%, manganu 0,02 - 0,08% i żelaza 60 - 226 ppm w suchej masie igieł (T r u o n g 1975a).

Wszystkie przytoczone przykłady dotyczą drzewostanów młodych i chociaż pochodzą one z różnych regionów geograficznych, wyniki analiz igieł są z zasady zgodne.

T s u d a (1968) podaje wyniki analiz chemicznych igieł *Larix kaempferi*. Jednoroczne i dwuletnie siewki posiadały średnio w suchej masie igieł 2,08% N, 0,40% P, 1,46% K, 0,12% Mg i 0,28% Ca.

W igłach młodych drzew *Larix sibirica* zebranych do analiz w sierpniu F e d o r o v a (1971) stwierdziła 1,55% N, 0,29% P i 1,91% K. Również u młodych drzew, bo 12 - 15-letnich, B a n n o v (1973) uzyskał następujące wyniki analiz igieł: 2,67 - 2,99% N, 0,38 - 0,42% P i 0,66 - 0,79% K. Natomiast P a c u k e v i č i G e r a s i m o v a (1976) badali skład popiołu igieł u 60-letnich drzew. W przeliczeniu na suchą masę igieł uzyskali

0,06% P, 1,10% K, 0,28% Mg, 0,46% Ca, 0,05% Mn, 0,56% Si, 0,10% Na, 0,02% S, 356 ppm Fe i 754 ppm Al. Na podstawie przytoczonych danych, u modrzewia syberyjskiego można stwierdzić znaczne zróżnicowanie składu chemicznego igieł, przynajmniej pod względem azotu, fosforu i potasu.

Usova (1977) badała skład chemiczny igieł u 15-20-letnich drzew *Larix sukaczewii* w ciągu dwóch sezonów wegetacyjnych. Po zakończeniu rocznego przyrostu igły zawierały 1,58 - 2,15% N, 0,38 - 0,62% P, 0,50 - 1,16% K, 0,03 - 0,34% Mg i 0,57 - 0,77% Ca.

U 60-letnich modrzewi dahurskich (*Larix gmelinii*) średnie z różnych typów lasu wartości zawartości podstawowych pierwiastków w igłach wynosiły: 1,75% N, 0,14% P, 0,68% K i 0,75% Ca (Pozdnjakov 1967). Baburin (1979) stwierdził, że w stanie równowagi „ekologicznej” stosunek N:P:K w igłach tego gatunku wynosi 65:8:27.

W igłach *Larix laricina* stwierdzono 2,30 - 2,89% N, 0,30 - 0,33% P, 0,50 - 0,75% K, 0,16 - 0,18% Mg i 0,37 - 0,47% Ca (Truong 1975b) oraz około 4 ppm Cu (Dykeman, Sousa 1966, Stone, Timmer 1975).

Wszystkie przedstawione wyżej wartości dotyczą igieł z krótkopędów, gdyż jak już zaznaczono stanowią one podstawową masę aparatu asymilacyjnego modrzewi. Na podstawie badań ustalono, że igły z długopędów i krótkopędów są z zasady różnie odżywiane. Szczególnie dotyczy to potasu, fosforu i żelaza. Przy równoczesnym zbiorze próbek igieł z krótkopędów i długopędów, w tych ostatnich stwierdzono mniejsze stężenie azotu, wapnia, manganu, żelaza i cynku, a więcej fosforu, potasu, magnezu, miedzi (Czerney, Fiedler 1968, Materna 1972, Höhne 1973), przy czym na przykład różnice w zawartości azotu są rzędu 10 - 20%, fosforu 40%, a potasu 50% i więcej.

Drewno modrzewia, niezależnie od tego czy badane były pędy małych siewek (Czell, Redlich 1966, Tsuda 1968, Sudačkova i in. 1971) czy też gałęzie lub pnie dojrzałych drzew (Pozdnjakov 1967, Pacukevič, Gerasimova 1976), zawsze posiada niższe stężenia pierwiastków niż igły.

I tak na przykład w drewnie 3-letnich siewek *Larix decidua* stwierdzono 1,05<sup>0</sup>/<sub>0</sub> N, 0,15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> P, 0,64<sup>0</sup>/<sub>0</sub> K, 0,49<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Ca, 0,05<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Mg i 0,06<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Na (Czell, Redlich 1966). Podobne, choć nieco wyższe wartości podaje Tsuda (1968) dla jednorocznych i dwuletich siewek *Larix kaempferi*. Natomiast drewno pni 60-letnich drzew *Larix gmelinii* zawierało bardzo niskie zawartości pierwiastków, a mianowicie 0,21<sup>0</sup>/<sub>0</sub> N, 0,03<sup>0</sup>/<sub>0</sub> P, 0,07<sup>0</sup>/<sub>0</sub> K i 0,33<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Ca (Pozdnjakov 1967). W korze tych samych drzew było nieco więcej azotu (0,28<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), trzykrotnie więcej fosforu (0,10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) i dwukrotnie więcej potasu (0,14<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Stężenie wapnia było na tym samym poziomie (0,31<sup>0</sup>/<sub>0</sub>).

Niezależnie od gatunku, korzenie modrzewia zawierają mniej azotu niż igły (Czell, Redlich 1966), a nawet mniej niż pędy czy drewno (Pozdnjakov 1967, Tsuda 1968, Sudačkova i in. 1971). Również stężenia pozostałych makroelementów są w korzeniach wielokrotnie nawet niższe niż w igłach i z zasady pozostają na poziomie wartości charakterystycznych dla drewna. Pewien wyjątek stanowią wyniki analiz chemicznych podawane przez Czella i Redlicha (1966). U 3-letnich siewek stężenia Ca, Mg, Mn i Cu były wyższe w korzeniach niż w igłach.

Przy interpretacji wyników analiz chemicznych materiału roślinnego należy pamiętać o wpływie różnych czynników na wartości stężeń pierwiastków w roślinach. Skład chemiczny roślin zależy od poziomu pierwiastków w podłożu i od zaopatrzenia w wodę, wieku drzewa, wieku analizowanego materiału i miejsca zbioru próbki w koronie drzewa. Istnieje silna zmienność sezonowa, a także zróżnicowanie proveniencyjne.

Zależność między poziomem pierwiastków w pożywce mineralnej, stosowanej w kulturach wodnych czy piaskowych, a stężeniem pierwiastków w roślinach jest oczywista i łatwa do uchwycenia. To samo dotyczy zresztą podawania soli mineralnych w doświadczeniach wazonowych czy szkólkach leśnych. Ze względu na młody wiek roślin oraz stosowanie w tych doświadczeniach stosunkowo bardzo szerokich zakresów stężeń, reakcja drzew jest szybka i wyraźna.

U siewek *Larix sibirica* na skutek postępującego 6-krotnego zwiększenia azotu w pożywce, nastąpiło zwiększenie stężenia azotu w igłach o 63<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, w pędzie o 47<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a w korzeniach o 46<sup>0</sup>/<sub>0</sub> (B a n n o v 1973). W tym samym doświadczeniu zwiększenie dawki fosforu powodowało zwiększenie stężenia P w badanych organach odpowiednio o 41<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> i 28<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a odpowiednie wartości dla potasu wynoszą 30<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, 16<sup>0</sup>/<sub>0</sub> i 9<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Dodać jeszcze należy, że największy wpływ odżywiania na koncentrację pierwiastków w igłach wystąpił na początku pędzenia oraz w okresie maksymalnego wzrostu.

S u d a c k o v a i in. (1971) donoszą o istotnym zwiększeniu azotu w igłach 2-letnich siewek *Larix sibirica* po nawożeniu NPK, ale tylko wówczas, gdy azot podawano w formie azotanowej. Podwójna dawka tego nawozu, jak również takie warianty nawożenia, w których azot występował w formie amonowej lub mocznika, nie wpłynęły istotnie na stężenie N w siewkach. Natomiast przy wszystkich wariantach tego doświadczenia wzrosło w porównaniu z kontrolą stężenie fosforu w igłach, a zmniejszyło się w pędach i korzeniach.

U młodych drzew *Larix decidua* stężenie azotu w igłach wzrosło po nawożeniu wapniem, a jeszcze mocniej po nawożeniu NCa (C z e r n e y, F i e d l e r 1968). Natomiast jednoroczne siewki rosnące w wazonach z glebą (C z e r n e y i F i e d l e r 1969a), po pełnym nawożeniu (NPKMgCa) zwiększyły w porównaniu z kontrolą stężenie w igłach P, K i Ca, a zmniejszyły stężenie Mn. Przy nawożeniu bez fosforu stwierdzono mocny wzrost zawartości azotu w igłach siewek i odwrotnie — wysoką zawartość fosforu w igłach przy braku azotu w nawozie.

Wydaje się, że wraz z wiekiem drzewostanów zmniejsza się zależność między poziomem pierwiastków w glebie a składem chemicznym igieł. W drzewostanach *Larix decidua* reprezentujących optymalne warunki wzrostu w Jesionkach, M a t e r n a (1972) stwierdził taką zależność tylko w stosunku do fosforu.

Poziom pierwiastków w igłach zależy między innymi od wilgotności podłoża. Wzrost modrzewi w warunkach suchych powoduje zwiększenie stężenia azotu w igłach (C z e r n e y, F i e d-

ler 1969a, Tilton 1976), a obniżenie stężenia potasu (Czerney, Fiedler 1969a). W stosunku do innych pierwiastków opinie są podzielone.

Skład chemiczny modrzewi zmienia się również wraz z wiekiem roślin. Porównanie jednorocznych i dwuletnich siewek *Larix kaempferi* pozwoliło stwierdzić, że u tych ostatnich jest wyraźnie mniejsze uwodnienie tkanek oraz ogólnie mniejsze stężenie N, P, K, Mg, a większe Ca (Tsuda 1968). Pacukevič i Gerasimova (1976) porównywali natomiast 35-, 60- i 100-letnie drzewa *Larix sibirica*. Wraz z wiekiem zmniejszał się procent popiołu w igłach oraz stężenie Si, a bardzo mocno, bo aż trzykrotnie, wzrosło stężenie Ca. Potwierdza się zatem ogólna zasada, że wraz z wiekiem drzewa rośnie w tkankach koncentracja wapnia, a maleje koncentracja pozostałych makroelementów. Bannov (1973) wykazał ponadto, że próbki igieł zebrane z pędów przyrostowych ubiegłorocznych i starszych zawierały istotnie niższe stężenia N, P i K niż igły z pędów bieżącego przyrostu.

Stwierdzono zmiany koncentracji pierwiastków w igłach pochodzących z różnych miejsc korony. U 12-letnich sadzonek modrzewia syberyjskiego igły z 5 okółka od wierzchołka od strony wschodniej miały wyraźnie mniejsze stężenia pierwiastków (2,67% N, 0,38% P i 0,66% K) niż od pozostałych trzech stron świata (2,73 - 2,99% N, 0,41 - 0,42% P i 0,74 - 0,79% K), ale najmniejsze wahania w zawartości elementów w igłach występowały w południowej i zachodniej części korony drzewa (Bannov 1973). Höhne (1973) wykazał pionowe zróżnicowanie w koronie *Larix decidua* pod względem zawartości pierwiastków w igłach. Zawartość N, P, K i Cu zmniejszała się w sposób ciągły z wierzchołka korony w kierunku podstawy, podczas gdy inne analizowane elementy (Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Al i Si) zachowywały się bardziej lub mniej obojętnie. Igły w dolnej części korony u badanych modrzewi europejskich, japońskich i syberyjskich zawierały więcej wody, a popiół tych igieł wykazywał większą alkaliczność (Schreiber 1960/1961). Natomiast pro-



centowa zawartość popiołu w suchej masie igieł była wyższa w górnej części korony u *Larix decidua*, a w dolnej części korony u *L. sibirica*.

Zmiany tempa wzrostu i rozwoju roślin zachodzące w czasie sezonu wegetacyjnego znajdują odzwierciedlenie w składzie chemicznym poszczególnych organów, a szczególnie aparatu asymilacyjnego. W zależności od częstotliwości wykonywania analiz chemicznych, podawane są przez różnych autorów mniej lub bardziej szczegółowe informacje o zmianach koncentracji poszczególnych pierwiastków w okresie wegetacyjnym w igłach różnych gatunków modrzewia. Badania obejmują najczęściej okres od maja do września bądź października, czyli od rozwoju igieł na krótkopędach do początków przebarwiania się igieł przed ich jesiennym opadem. W tym czasie ogólnie stwierdzano obniżanie się stężenia N, P, K, Zn, Cu, Na, Pb, Ba, Sr, Ni, natomiast zwiększanie się stężenia Ca, Mg, Mn, Al, Si, Mo, Ti w igłach (Materna 1972, Bannov 1973, Höhne 1973, Derjużkin i in. 1974, Schueller 1978, Repyakh i in. 1979). Jest to oczywiście obraz bardzo uproszczony, gdyż istnieją okresowe wahania. Różne jest też tempo wzrostu lub spadku stężenia poszczególnych pierwiastków. I tak na przykład różnice między wartościami minimalnymi a maksymalnymi w sezonie wegetacyjnym dla azotu nie przekraczają 30%, dla fosforu dochodzą do 80%, dla potasu wynoszą około 70%, dla magnezu i siarki dochodzą do 100% (Materna 1972), natomiast dla żelaza, manganu, miedzi i cynku wynoszą odpowiednio 40%, 16%, 32% i 25% (Mezenceva i in. 1976). Zawartość pierwiastków w igłach *Larix decidua* najmniej się zmienia w sierpniu (Komlenović 1971). Kolesničenko i in. (1971) badali sezonowe rytmy absorpcji i stwierdzili maksymalne pobieranie przez siewki znaczonego fosforu w okresie między 10 i 20 sierpnia.

W porównaniu z igłami, sezonowa zmienność stężenia pierwiastków w zdrewniałych pędach jest stosunkowo mała (Materna 1972). Stężenie popiołu w suchej masie pędów *Larix*

*sukaczewii* wahało się w ciągu sezonu wegetacyjnego od 3,2 do 6,0‰, podczas gdy graniczne wartości dla igieł wahały się od 4,3 do 11,1‰ (Usova 1977).

W ciągu sezonu wegetacyjnego, a szczególnie w jego końcowej części, następuje przemieszczanie pierwiastków ruchomych między różnymi organami. Mutoh (1968, 1972) badał szczegółowo pobieranie i przemieszczanie fosforu u małych siewek *Larix kaempferi*. Na początku sezonu wegetacyjnego większa część absorpcji (85‰) była zatrzymywana w korzeniach i w tym stadium 92‰ fosforu potrzebnego do wzrostu igieł pochodziło z zapasów. W drugiej połowie sezonu wegetacyjnego proporcja fosforu akumulowanego w ciągu bieżącej absorpcji stopniowo się zwiększała. Przed opadaniem igieł, 67‰ zawartego w nich fosforu zostało wycofane do organów przezimowujących. Stąd też całkowita zawartość tego pierwiastka w całych siewkach pozostawała prawie stała w końcowej części sezonu wegetacyjnego, pomimo strat suchej masy spowodowanych opadaniem igieł.

Często zakładane są doświadczenia proveniencyjne modrzewia w warunkach siedliskowych, które odbiegają od naturalnych warunków dla tego gatunku pod względem klimatu, gospodarki wodnej i dostępności elementów odżywczych. Stąd konieczność bliższego scharakteryzowania różnic proveniencyjnych pod względem odżywczym. Istnieją wskazania na to, że modrzew europejski posiada uzależniony od warunków świetlnych stanowisk rodzimych, genetycznie utrwalony typ igliwia, który objawia się między innymi zawartością wody w igłach (Fiedler i in. 1973). Schreiber (1960/61) i Kral (1963, 1967) zakładają, że mniejsza zawartość wody wskazuje na większe wymagania igieł względem światła, natomiast wyższa zawartość wody w igłach jest charakterystyczna dla proveniencji mających ograniczone wymagania na warunki świetlne, które się zmieniają, podobnie jak zawartość wody w igłach, wraz z szerokością geograficzną i wysokością nad poziomem morza. Różnice proveniencyjne mogą objawiać się również w postaci zawartości pierwiastków w igłach (Schreiber 1960/61, Tsuda 1968, Nebe, Rzeźnik 1982). W igłach 3-letnich modrzewi,

w zależności od proveniencji, zawartości poszczególnych pierwiastków w suchej masie wahały się następująco: 1,99 - 2,63‰ N, 0,10 - 0,19‰ P, 0,49 - 0,83‰ K i 0,36 - 0,54‰ Ca, przy czym polskie proveniencje (Bliżyn i Góra Chełmowa) charakteryzowały się stosunkowo niskim stężeniem azotu, średnimi stężeniami fosforu i potasu i wysokim wapnia, w porównaniu z proveniencjami alpejskimi (Schreiber 1960/1961). Alkaliczność popiołu i zawartości w igłach K, P i Ca u tych proveniencji miały tym wyższe wartości im bardziej szerokość geograficzna miejsca pochodzenia była zbliżona do szerokości geograficznej miejsca wysadzenia, a także im bardziej warunki świetlne oraz długość okresu wegetacyjnego były podobne. Również Mezenceva i in. (1976) stwierdzili wyższe zawartości badanych mikroelementów (Fe, Mn, Cu, Zn) u tych ekotypów *Larix sibirica* i *L. sukaczewii*, których cechy dziedziczne ukształtowały się w warunkach najbardziej zbliżonych do warunków w rejonie doświadczenia.

Aby poznać warunki odżywcze drzew na podstawie analiz chemicznych igieł, należy przestrzegać określonych warunków zbioru próbek, takich jak mniej więcej równy wiek drzew, porównywalny termin zbioru próbek, równy wiek igieł wszystkich próbek oraz ta sama pozycja miejsca zbioru w koronie drzewa (Höhne 1973). Do analiz najlepiej pobierać igły z górnych części koron (Goto 1977), a najlepszą porą zbioru jest koniec sezonu wegetacyjnego, między okresem kończenia wzrostu a jesiennym żółknięciem igieł, ze względu na mniejszą w tym czasie fluktuację poziomu większości pierwiastków (Fedorova 1971, Materna 1972). Bannov (1973) poleca pobierać próbki igieł do analiz chemicznych z południowej i zachodniej części korony drzewa.

#### OBJAWY NIEDOBORU PIERWIASTKÓW

Przy prawidłowym zaopatrzeniu roślin w składniki pokarmowe, każdy element występuje w pewnym naturalnym zakre-

sie zmienności. Przekroczenie tego zakresu prowadzi do zakłóceń reakcji fizjologicznych przejawiających się w postaci mniej lub bardziej wyraźnych symptomów niedoboru lub nadmiaru, w zależności od tego czy zawartość będzie za mała lub za duża. Podobnie jak u innych gatunków, u modrzewia najczęściej występuje niedostateczne zaopatrzenie w podstawowe składniki pokarmowe, niemniej jednak w literaturze podawane są również przykłady objawów braku mikroelementów (G o o r 1968, 1970, Z e c h 1968, B i n n s i n. 1980).

Brak azotu zawsze jest związany ze zmniejszeniem wzrostu, niedostatecznym rozwojem pędów, ale ze stosunkowo silnym wzrostem korzeni (B a u l e, F r i c k e r 1973). Igły są mniejsze i przebarwione na kolor od jasnozielonego do żółtozielonego (G o o r 1970). Z brakiem azotu łączy się zmniejszona zawartość chlorofilu (Č i ž k o v á 1981), co wiąże się ze stratami w ogólnej wydajności fotosyntetycznej.

U modrzewia w razie niedoboru fosforu igły stają się szare lub niebieskoszare (B a u l e, F r i c k e r 1973). Rzadko jednak występuje tak duży deficyt fosforu aby wywołać objawy.

Brak potasu objawia się żółknięciem igieł. U małych siewek *Larix decidua* rosnących w kulturach wodnych igły żółkną od końców i od wierzchołka siewki, a następnie opadają (Č i ž k o v á 1981). Również u dojrzałych drzew obserwuje się częściowo żółte przebarwienie igieł, lub zupełne odbarwienie igieł na końcach pędów (G o o r 1970). Z zasady podstawa igły pozostaje zielona, a tylko koniec jest żółty, przy czym przejście od strefy żółtej do zielonej jest stopniowe. Odbarwienia są głównie ograniczone do igieł z krótkopędów (Z e c h 1968, G o o r 1970), a występują wówczas, gdy zawartość potasu na końcu sezonu wegetacyjnego spada poniżej 0,50%. Przy większym braku potasu od końców igieł postępują również nekrozy (Z e c h 1968). Niedobór potasu hamuje wzrost drzew i rozwój systemu korzeniowego (B a u l e, F r i c k e r 1973).

Brak magnezu jest mniej ważny u drzew iglastych, ponieważ nie stwierdza się związanego z nim zmniejszenia wzrostu drzew.

Również objawy niedoboru wapnia są rzadkie. Wzrost drzew

iglastych jest jeszcze zadowalający przy zawartości dochodzącej do 0,002% wymiennego wapnia w glebie (Baule, Fricker 1973). Č i ž k o v á (1981) stwierdziła przebarwienie na kolor brązowy końców korzeni siewek modrzewia europejskiego rosnących w kulturach wodnych z niedoborem wapnia.

Z e c h (1968) opisuje chlorozę modrzewia spowodowaną nadmiarem wapnia. Charakterystycznym objawem jest równomierne zabarwienie najmłodszych, rozwijających się igieł na kolor białawożółty. Na glebach zasobnych w wapń utrudnione jest pobieranie żelaza, obserwujemy wówczas brak żelaza, a czasem również manganu, co prowadzi często do nekroz występujących najwyraźniej na najmłodszych częściach roślin (Z e c h 1968).

Objawy braku miedzi u modrzewia, występujące przy zawartości miedzi poniżej 2,5 - 3 ppm suchej masy, polegają na zamieraniu końców pędów i późniejszym krzaczastym wzroście drzew (G o o r 1970).

Ogólny brak mikroelementów, takich jak bor, cynk bądź miedź, wyraża się w ograniczonej reakcji na pełne nawożenie NPK oraz w postaci nekroz występujących jesienią na końcach pędów (G o o r 1968). Najczęściej żółkną igły na końcach pędów i opadają przed czasem, a pozostałe igły są ciemnozielone z połyskiem. Pędy drzew wykazują najczęściej mocne wykrzywienia, przy czym powstaje rodzaj form płaczących.

#### KORELACJE MIĘDZY CECHAMI WZROSTOWYMI A STĘŻENIEM PIERWIĄTKÓW W ROŚLINACH

Liczne prace mają na celu ustalenie ewentualnych zależności między wzrostem drzew a ich stanem odżywczym, czyli poziomami stężeń pierwiastków w różnych organach. N e b e i R z e ź n i k (1982) ustalili, że u niektórych proveniencji modrzewia europejskiego w wieku 11 lat, najlepszy wzrost wysokości był związany z wysoką zawartością azotu w igłach, natomiast T r u o n g (1975a) wykazał korelację między wzrostem wysokości a stężeniem w igłach Fe, K, Mg i P.

Leyton (1956, 1957, 1958) badał szczegółowo to zagadnienie na przykładzie modrzewia japońskiego. Dla 8-letnich drzew tego gatunku uzyskał statystycznie istotne, wysokie wartości współczynników korelacji w stosunku do azotu, fosforu i potasu, a nieistotną wartość w stosunku do wapnia. Goto (1977) donosi o wyraźnej korelacji między wzrostem drzew *Larix kaempferi* a stężeniem potasu w igłach.

U *Larix laricina* wzrost był pozytywnie skorelowany z N i P (Tilton 1976), natomiast w badaniach Truonga (1975b) z K, a nie z innymi testowanymi elementami (N, P, Mg i Ca).

Na podstawie badań różnych gatunków rodzaju *Larix*, Menceva i in. (1976) stwierdzili istotne pozytywne korelacje między wysokością drzew a stężeniem w igłach mikroelementów: Zn, Cu, Fe i Mn, przy czym współczynniki korelacji miały najwyższe wartości w maju i stopniowo zmniejszały się w lipcu i wrześniu.

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że cechy wzrostowe modrzewi mogą korelować ze stężeniem w igłach różnych elementów, jednak wartości współczynników korelacji uzależnione są od badanego siedliska, a ściślej od tego, w jakim stopniu dany element jest czynnikiem limitującym wzrost na danym siedlisku.

#### WPLYW MINERALNEGO NAWOŻENIA NA CECHY WZROSTOWE MODRZEWINA

Na podstawie licznych doświadczeń nawozowych, można prześledzić wpływ poszczególnych pierwiastków na cechy wzrostowe. Jak wynika z literatury, wpływ ten jest najbardziej wyraźny u roślin młodych, kilkuletnich lub kilkunastoletnich.

W doświadczeniu wazonowym z glebą leśną, siewki *Larix decidua* w drugim roku po nawożeniu azotem zwiększyły przyrost o 120% w porównaniu z nienawożoną kontrolą (Charitonov, Ermolaeva 1969). Natomiast Grom (1977) badał

w ciągu trzech kolejnych lat efekt nawożenia azotowego kilkuletnich upraw modrzewia europejskiego i stwierdził zwiększenie wysokości sadzonek o 16-39<sup>0</sup>/o, średnicy szyjki korzeniowej o 19-25<sup>0</sup>/o, a biomasy o 25-33<sup>0</sup>/o. Bardzo dobre efekty nawożenia azotowego uzyskali Jung i Riehle (1966) w doświadczeniu wazonowym, w którym najwyższe dawki azotu podawane w ciągu pięciu kolejnych lat sadzonkom *Larix kaempferi* zwiększyły masę igieł, drewna i korzeni aż o około 250<sup>0</sup>/o, w porównaniu z kontrolą bez azotu. Ponadto wzrastające dawki azotu powodowały zwiększenie wysokości tych sadzonek maksymalnie o 132<sup>0</sup>/o oraz grubości o 128<sup>0</sup>/o. Młodniki *Larix sibirica* w wieku 6-8 lat oraz 12-14 lat zareagowały na nawożenie azotowe zwiększeniem wysokości odpowiednio o 15 i 22<sup>0</sup>/o, średnicy o 17 i 24<sup>0</sup>/o, a także przyrostu miąższości na jednostce powierzchni o 30 i 9<sup>0</sup>/o (Lisenkov, Nipa 1969).

Istnieją również dość liczne przykłady negatywnego wpływu azotu na wzrost, zarówno modrzewia europejskiego (Thomasius 1970, Fiedler i in. 1974), jak i japońskiego (Goor 1953, 1957, Holstener-Jørgensen 1963, 1970). Jednostronne nawożenie azotem, szczególnie na siedliskach ubogich w fosfor, najprawdopodobniej powoduje zakłócenie stosunku N/P wewnątrz drzew (Fiedler i in. 1974). Tylko na glebach bogatych w fosfor, azot nie ogranicza wzrostu.

Fosfor wykazuje bardzo korzystny wpływ na wzrost modrzewi i praktycznie we wszystkich doświadczeniach nawożenie fosforowe poprawiało wzrost wysokości. W literaturze znajdujemy szczególnie liczne przykłady nawożenia modrzewia japońskiego. Fosfor przyspieszał wzrost zarówno w doświadczeniach wazonowych (Goor 1953), jak również na młodych, kilkuletnich uprawach (Holstener-Jørgensen 1963, 1970, Asada 1966). W Holandii założono 200 powierzchni doświadczalnych i na podstawie wyników stwierdzono, że przez nawożenie fosforem można uzyskać około 30<sup>0</sup>/o przyrost wzrostu modrzewia (Goor 1957). W młodnikach *Larix kaempferi* poprawę wzrostu przypisywaną traktowaniu fosforem uzyskali Carey i Barry

(1975). W doświadczeniu w północnych Niemczech nawożenie tomasyną w dawkach 12 i 16 q/ha, spowodowało zwiększenie wzrostu wysokości odpowiednio o 12 i 24<sup>0</sup>%, w porównaniu z nienawożoną kontrolą (Mayer-Krapoll 1968). Grom (1977) donosi natomiast o początkowo słabym wpływie fosforu w doświadczeniu nawozowym *Larix decidua* w rejonie Lwowa, ale w czwartym roku trwania doświadczenia reakcja modrzewia była już wyraźna i wysokość drzew nawożonych była o 14<sup>0</sup>% większa niż w kontroli.

Baule i Fricker (1973) podają przykłady doświadczeń z pozytywnym wpływem nawożenia kalimagnezją na wzrost modrzewi. Są jednak w literaturze przykłady braku wpływu nawożenia potasowego (Holstener-Jørgensen 1963) czy wręcz negatywnego wpływu potasu na osiąganie masy przez siewki (Jung, Riehle 1966).

Stosowanie nawozów wapniowych na niektórych typach gleb również daje pozytywną reakcję u modrzewia. Aplikowanie wapniaka w dawce 2-3 t/ha polepszyło wzrost i rozwój siewek, powodując większy niż w kontroli przyrost wysokości i pędów bocznych, średnicy szyjki korzeniowej i suchej masy części nadziemnej (Charitonov 1970), a także przyrosty miąższości w starszych młodnikach i młodych drzewostanach (Charitonov 1973, 1978). W doświadczeniu w Wermsdorfer Wald, wapnowanie drzewostanu *Larix decidua* zwiększyło wzrost wysokości drzew (Thomasius 1970). Nawożenie żużlem hutniczym, zawierającym 47-50<sup>0</sup>% CaO, oraz marglem zwiększyło w porównaniu z kontrolą wysokość siewek modrzewia europejskiego i japońskiego (Themlitz, Lauenstein 1969). Holmen (1979) stwierdził natomiast, na podstawie różnych doświadczeń wykonanych w Szwecji, zupełny brak reakcji lub bardzo małą reakcję modrzewia na wapnowanie. Charitonov (1973) z kolei informuje o ujemnym wpływie gipsu na roczne przyrosty 27-letniego drzewostanu modrzewiowego.

Na ubogich siedliskach duże korzyści wzrostowe uzyskuje się przy nawożeniu kompleksowym, czyli przy równoczesnym zastosowaniu kilku makroelementów (Czerney, Fiedler



1969a, b, Lisenkov, Nipa 1969, Kudašova 1971, Gussone 1972, Stebakova, Dan'shin 1978, Melzer, Hertel 1981). Pozytywną reakcję siewek pod względem wzrostu wysokości uzyskano również przy nawożeniu ściekami przemysłowymi, zawierającymi między innymi azot, fosfor, potas, wapń i magnez (Sopper 1971, Keller 1973). Tribunskaja (1973) wykorzystywała do nawożenia popiół ze spalonego torfu, który polepszał wzrost siewek modrzewiowych.

Należy również wspomnieć o stosowaniu mikroelementów w nawożeniu modrzewi, i to z pozytywnymi rezultatami (Eneacu i in. 1968, 1970, Žuravleva, Savina 1976).

#### OKREŚLENIE WYMAGAŃ POKARMOWYCH MODRZEWIA ORAZ ZALECENIA NAWOZOWE

Przez jeden rok wzrostu dwuletnia siewka *Larix kaempferi* zaabsorbowała średnio 420 mg N, 140 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 275 mg K<sub>2</sub>O, 77 mg CaO i 23 mg MgO (Tsuda 1968). Horváth (1964) z kolei podaje wymagania siewek w stosunku do podstawowych makroelementów przy produkcji materiału szkółkarskiego. Otóż jednoroczne siewki *Larix decidua* zużywają na 1 hektarze 45,9 kg N, 11,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 12,6 kg K<sub>2</sub>O, a dwuletnie siewki odpowiednio 85,1, 33,0 i 32,9. Drzewa w okresie maksymalnych przyrostów bieżących na wyprodukowanie 1 m<sup>3</sup> drewna zużywają 1,3 kg N, 1,1 kg P, 0,8 kg K i 8,1 kg Ca (Ljamberšaj 1968).

Ogólnie przyjmuje się, że rodzaj *Larix* posiada względnie niskie wymagania w stosunku do azotu i potasu, a wysokie w stosunku do fosforu (Goor 1970).

Dawki nawozowe polecane na uprawach w czasie sadzenia modrzewia japońskiego, to 10 - 14 g N, 7 - 8 g P i 5 - 8 g K na jedną siewkę (Kawana 1969). Dla upraw leśnych *Larix decidua* w Karpatach, Charitonov i Ermołajeva (1969) polecają następujący schemat nawożenia: w pierwszym roku w czasie sadzenia 2 - 3 g na roślinę superfosfatu, po czym na

początku wegetacji pierwszego względnie drugiego roku 2-3 g saletry amonowej i, też w drugim roku, 2 g soli potasowej. Na młodych uprawach modrzewiowych (*Larix decidua*) w rejonie Lwowa w zachodniej Ukrainie, jako optymalne okazały się następujące dawki nawozów: 5 g saletry amonowej na roślinę, podawanej w dwóch porcjach, na początku i na końcu czerwca, 6 g superfosfatu, aplikowanego w końcu maja i 2 g soli potasowej w pierwszej połowie czerwca (Grom 1977).

Przy występowaniu objawów braku poszczególnych pierwiastków, van Goor (1970) zaleca odpowiednie nawożenia w dawkach 20 g saletrzaku na każdą roślinę lub 200 kg/ha siane rzutowo, 500 kg tomasyny i 150-300 kg kalimagnezji. Gleby z niedostateczną zawartością fosforu, czyli poniżej 18 mg P na 100 g gleby, powinno się traktować tomasyną przed sadzeniem lub w czasie sadzenia. Przy nawożeniu azotowym bardzo ważna jest kontrola zachwaszczenia.

Instytut Dendrologii PAN  
ul. Parkowa 5  
62-035 Kórnik

#### LITERATURA

- Asada S. 1966. (Studies on inferior stands of second reforestation (rotations) of Larch.) Bull. Shinshu Univ. For., Ina, Nagano 4: 1-65 (For. Abstr. 1967, 28, nr 3479).
- Baburin A. A. 1979. Biogeochemičeskie osobennosti rastenij Dal'nego Vostoka i ich taksonomičeskoe značenie. Lesovedenie 1979 (1): 45-51.
- Bannov M. G. 1973. Diagnostika mineral'nogo pítanija listvennicy sibirskoj. Agrochimija 1973 (4): 140-148.
- Baule H., Fricker C. 1973. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Binns W. O., Mayhead G. J., MacKenzie J. M. 1980. Nutrient deficiencies of conifers in British forests. Leaflet, Forestry Commission, UK 1980 No. 76: 1-23.
- Carey M. L., Barry T. A. 1975. Coniferous growth and rooting patterns on machine sod-peat bog (cutover) and Trench 14, Clonsast. Irish Forestry 32 (1): 18-29.

- Charitonov G. A. 1970. Značenje izvestkovanja i gipsovanija pri vyrašćivanii lesnyh kul'tur v Karpatach. Izvestija Vysšich Učebnyh Zavedenij, Lesnoj Žurnal 13 (4): 5 - 7.
- Charitonov G. A. 1973. Vlijanie izvestkovanja i gipsovanija na prirost lesnyh nasaždenij v Karpatach. Les. Chozj. 1973 (7): 25 - 29.
- Charitonov G. A. 1978. Gips — udobrenie lesnyh počv. Les. Chozj. 1978 (11): 32 - 34.
- Charitonov G. A., Ermolaeva V. N. 1969. Perspektivy primeneniija mineral'nyh udobrenij v lesnyh kul'turach Karpat. Les. Chozj. 22 (6): 52 - 56.
- Čižková R. 1981. Growth and chlorophyll content of spruce, larch and pine seedlings as related to nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition deficiencies. Photosynthetica 15 (4): 442 - 446.
- Czell A., Redlich G. C. 1966. Die Beeinflussung des Gebrauchswertes von Junglärcchen durch kombinierte Wurzel-Gründung (KWGD). Cbl. ges. Forstw. 83 (2): 65 - 84.
- Czerney P., Fiedler H. J. 1968. Zur Mineralstoffdynamik in den Assimilationsorganen gedüngter und ungedüngter Baumarten auf einem Pseudogley-Standort. Arch. Forstw. 17 (12): 1263 - 1278.
- Czerney P., Fiedler H. J. 1969a. Gefäßversuch mit Wermisdorfer Staublehm zum Einfluss der Düngung und des Wasserhaushaltes auf die Ertragsleistung und den Ernährungszustand der Lärche (*Larix decidua*). Arch. Forstw. 18 (3): 243 - 257.
- Czerney P., Fiedler H. J. 1969b. Gefäßversuch mit Wermisdorfer Staublehm zum Einfluss der Düngung auf einige Nadel- und Laubbölzer. Arch. Forstw. 18 (2): 133 - 153.
- Derjužkin R. I., Mezenceva V. T., Mirošnikova Z. P., Ryčkova A. G. 1974. Mineral'nyj sostav chvoi listvennicy po dannym èmissionnogo spektral'nogo analiza. Lesn. Žurn. 17 (5): 110 - 116.
- Dykeman W. R., Sousa A. S. de 1966. Natural mechanisms of copper tolerance in a copper swamp forest. Can. J. Bot. 44 (7): 871 - 878.
- Enescu V., Giurgiu V., Florescu I., Varga D., Duran V. 1968. Studii asupra îngrijirii rezervațiilor de semințe de larice și pin silvestru. Stud. cerc. Silv. 26 (1): 53 - 70.
- Enescu V., Badea N., Constantin A., Costea G., Dobrescu Z., Voinescu L. 1970. Cercetări privind stimularea germinației semințelor și creșterii puieților cu microelemente. Stud. Cerc., Silv. 27 (2): 217 - 248.
- Fedorova A. I. 1971. Vlijanie udobrenij na soderžanie osnovnyh makroèlementov i chlorofilla v chvoe listvennicy sibirskoj. Fiziologo-biohimičeskie osobennosti drevesnyh rastenij Sibiri. IN, Moskva: 47 - 54.

- Fiedler H. J., Nebe W., Hoffmann F. 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Fiedler H. J., Hunger W., Wiesner J. 1974. Ergebnisse eines Düngungs- und Meliorationsversuches zu Lärche und Eiche auf einem Pseudogleystandort des nordwestsächsischen Niederlandes. Beiträge f. d. Forstwirtschaft 8 (1): 17 - 24.
- Goor C. P. van 1953. The influence of nitrogen on the growth of Japanese larch (*Larix leptolepis*). Plant a. Soil 5, 1954: 29 - 35.
- Goor C. P. van 1957. Standort und Düngung von japanischer Lärche (*Larix leptolepis*) in den Niederlanden. Düngung in der Forstwirtschaft, Tellus-Verlag Essen: 114 - 124.
- Goor C. P. van 1968. Spurenelemente bei der Ernährung von Kohiferen. Dt. Akad. Landwirtschaft. Wiss. Berlin, Tag.-Ber. 84: 147 - 155.
- Goor C. P. van 1970. Fertilization of conifer plantations. Irish Forestry 27 (2): 68 - 80.
- Goto K. 1977. Some Considerations on the Diagnosis of Nutritive Condition on Forest Trees by Leaf Analysis. Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 290: 35 - 75.
- Grom N. N. 1977. Primenenie mineral'nych udobrenij pri uchodach za listvennicej evropejskoj v kulturach. Lesnoj Žurnal 20 (3): 29 - 33.
- Gussone H. A. 1972. 3. Bericht über den Düngungsversuch Boitzenhagen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 143 (3/4): 63 - 67.
- Höhne H. 1970. Blattanalytische Untersuchungen an einem mit hohen Stickstoffgaben gedüngten Mischbestand. Dt. Akad. Landwirtschaft.-Wiss. Berlin, Tag.-Ber. 103: 147 - 165.
- Höhne H. 1973. Blattanalytische Untersuchungen an jüngeren Lärchenbeständen (*Larix decidua* Mill.). Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 22 (2): 369 - 370.
- Holmen H. 1979. Vilken roll kan kalken spela i framtidens svenska skogsbruk? Skogs- o. Lantbr.-akad. Tidskr. Suppl. 13: 58 - 61.
- Holstener-Jørgensen H. 1963. Et gødningsforsøg i en kultur med rødgran og japansk laerk på Klosterheden. Forstl. Forsøgsv. Danmark 28 (2): 67 - 95.
- Holstener-Jørgensen H. 1970. Gødningsforsøg i seks jyske rødgrankulturer. Forstl. Forsøgsv. Danmark 32 (3): 295 - 311.
- Horváth E. 1964. Adatok a fenyőcsemeték tápanyagigényéhez. Erdész. kutatás. 60 (1 - 3): 111 - 131.
- Jung J., Riehle G. 1966. Mehrjährige Düngungsversuche mit Forstpflanzen in Gefäßen. Forstwiss. Cbl. 85 (3/4): 107 - 120.
- Kawana A. 1969. Forest fertilization in Japan. J. For. 67 (7): 485 - 487.
- Keller T. 1973: Über den Einfluss von Industrieklärschlamm auf die Nettoassimilation junger Forstpflanzen. Forstwiss. Cbl. 92 (3): 105 - 111.

- Kolesničenko M. V., Spachov Ju. M., Spachova A. S. 1971. Osobnosti sezonnogo ritma i skorosti poglošćenija fosfora drevsnymi porodami pri sovместnom proizrastanii. Izvestija Vyssich Učebnyh Zavedenij. Lesnoj Žurnal 14 (5): 10 - 15.
- Komlenović N. 1971. Istraživanje godišnjih promjena sadržaja hraniiva u iglicama evropskog ariša, američkog borovca i zelene duglazije. Šum. List 95 (7/8): 256 - 265.
- Kral F. 1963. Über Reaktionsweisen von Fichten- und Lärchenherkünften auf Änderung des Lichtfaktors. Cbl. ges. Forstw. 80 (4): 217 - 232.
- Kral F. 1967. Untersuchungen zur Physiologie und Ökologie des Wasserhaushalts von Lärchenrassen. Ber. Dt. bot. Ges. 80: 145 - 154.
- Kudašova F. N. 1971. Vlijanje mineralnogo udobrenija na rost dvuchletnich sejancev chvojnyh. Fiziologo-Biohimičeskie Osobnosti Drevnyh Rastenij Sibiri. IN, Moskva: 14 - 21.
- Leyton L. 1956. The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch (*Larix leptolepis* Murr.). Plant a. Soil 7 (2): 167 - 177.
- Leyton L. 1957. The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch. II. Evidence from manurial trials. Plant a. Soil 9, 1958: 31 - 48.
- Leyton L. 1958. The relationship between the growth and mineral nutrition of conifers. Imperial Forestry Instit. Univ. of Oxford, Institute Paper No. 15: 323 - 345.
- Lisenkov A. F., Nipa L. R. 1969. Rasčet norm udobrenij dlja kul'tur listvennicy sibirskoj na EVM. Lesn. Chozj. 22 (8): 12 - 14.
- Ljameboršaj S. Ch. 1968. Rasčet koëfficientov vynosa azota i zol'nyh èlementov raznymi drevsnymi porodami. Dokl. Mosk. s.-ch. akad. K. A. Timirjazeva, vyp. 13: 411 - 415 (Refer. Žurn. 1968, 9.56.59).
- Materna J. 1972. Některé poznatky o výživě modřínu. Práce VÚLHM 42: 73 - 86.
- Mayer-Krapoll H. 1968. Empfehlungen für die Walddüngung. Eine Auswertung langjähriger Versuche. Düsseldorf: 1 - 52.
- Melzer E. W., Hertel H. J. 1981. Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) auf Buntsandstein und ihr Einfluss auf den Zuwachs der forstlich wichtigsten Koniferen. Arch. f. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde. 25 (5): 319 - 325.
- Mezenceva V. T., Popova N. I., Derjužkin R. I. 1976. Dinamika soderžanija mikroèlementov v chvoe otdel'nyh vidov i èkotipov listvennicy v tečenie vegetacii. Biologičeskie Nauki Nr 11 (155): 96 - 101.
- Mutoh N. 1968. Phosphorus economy in seedlings of *Pinus densiflora*

- and *Larix leptolepis*. Bot. Mag., Tokyo 81 (965): 535-544 (For. Abstr. 1970, 31, nr 104).
- Mutoh N. 1972. Further studies on the phosphorus economy of the Larch tree seedling by the use of  $^{32}\text{P}$ . Jap. J. Bot. 20 (5): 339-367.
- Nebe W., Rzeźnik Z. 1982. Zur Ernährung der Lärche im 11 jährigen Provenienzversuch Siemianice. Beitr. Forstwirtschaft. 16 (1): 40-46.
- Pacukevič Z. V., Gerasimova M. I. 1976. Osobennosti zol'nogo sostava chvojnyh porod Altajskogo Kraja. Biologičeskie Nauki 19 (6): 122-128.
- Pozdnjakov L. K. 1967. Elementy biologičeskoj produktivnosti svetlochvojnyh lesov Jakutii. Lesoved. 1967 (6): 36-42.
- Repyakh S. M., Lebedeva O. I., Naumenko N. K., Purits V. A. 1979. (Mineral composition of *Larix sibirica* needles.) Khimiya Drev. (1979) No. 4: 97-99 (For. Abstr. 1981, 42, nr 3030).
- Schreiber M. 1960/1961. Zur physiologischen Reaktionsweise von Provenienzen der Europäischen Lärche (*Larix decidua* Mill.), der Japanlärche (*Larix leptolepis* Gord.) und der sibirischen Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) auf gleiche Umweltsbedingungen. Cbl. ges. Forstwes. 77 (1960): 18-26; 78 (1961): 1-17, 93-105.
- Schueller J. 1978. Évolution de la teneur en éléments minéraux des microphylls du Mélèze (*Larix decidua* Mill.) dans les Alpes internes. Rev. For. Franç. 30 (2): 115-123.
- Sopper W. E. 1971. Disposal of municipal waste water through forest irrigation. Environm. Pollut. 1 (4): 263-284.
- Stebakova V. N., Dan'sin I. I. 1978. Vlijanie substratov i mineral'nych udobrenij na rost sejancev chvojnyh v teplice. Lesn. Chozj. 1978 (5): 40-42.
- Stone E. L., Timmer V. R. 1975. On the copper content of some northern conifers. Can. J. Bot. 53 (15): 1453-1456.
- Sudačková N. E., Osetrova G. V., Varaksina T. N. 1971. Izmenenie biochimičeskogo sostava sejancev chvojnyh porod pod vlijaniem mineral'nych udobrenij. Fiziologo-Biochimičeskie Osobennosti Drevesnyh Rastenij Sibiri. IN, Moskva: 22-35.
- Themlitz R., Lauenstein A. 1969. Beitrag zur Hüttenkalkanwendung in der Forstwirtschaft. Allg. Forst- u. Jagdztg. 140 (1): 13-18.
- Thomasius H. 1970. Über den Informationsgehalt polyvarianter Experimente — dargestellt an einem Düngungsversuch auf Pseudogley im Wermsdorfer Wald. Dt. Akad. Landwirtschaft. Wiss. Berlin, Tag.-Ber. 103: 113-131.
- Tilton D. L. 1976. The growth and nutrition of Tamarack (*Larix laricina* (Du Roi) Koch). Diss. Abstr. Internat. B 36 (7): 3211 (For. Abstr. 1977, 38, nr 711).
- Tribunskaja A. Ja. 1973. O vozmožnosti ispol'zovanija torfjanoy zoly

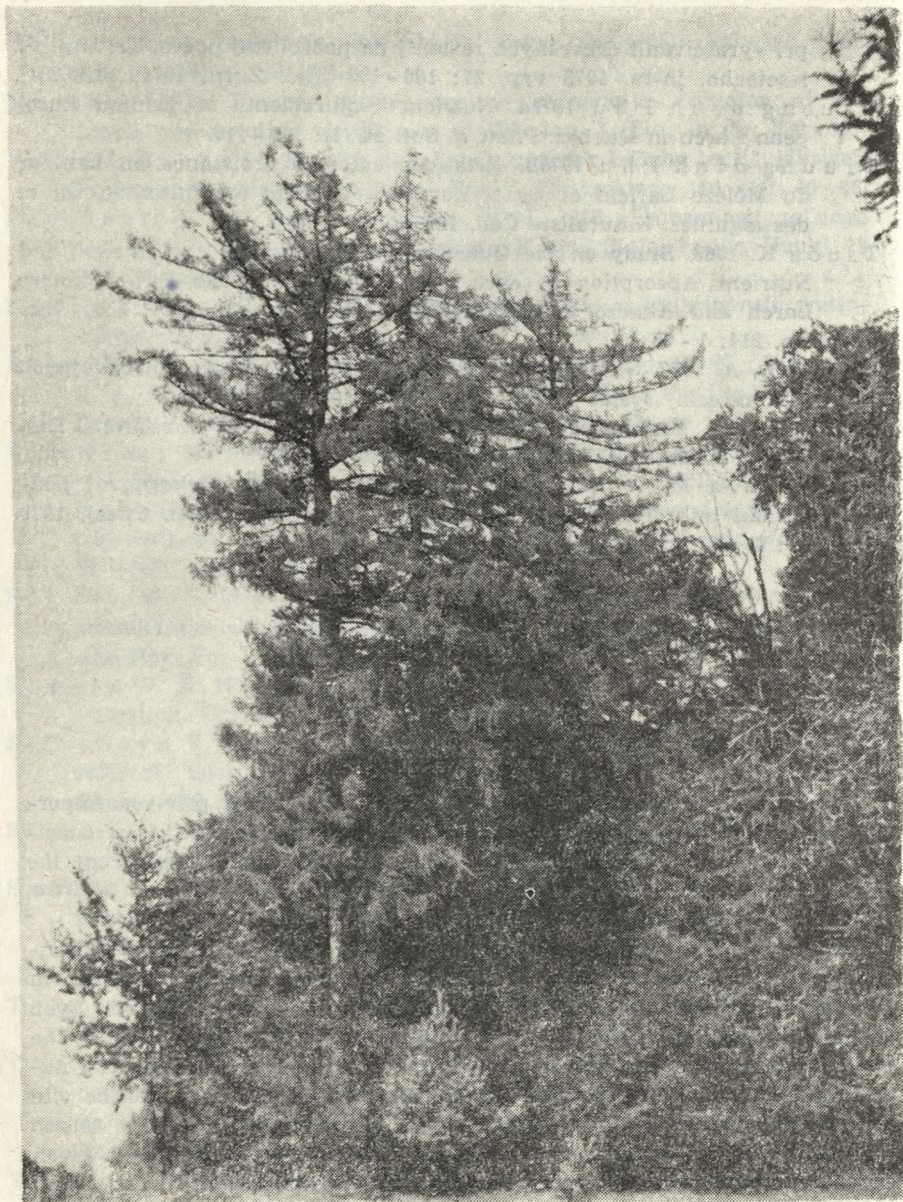
- pri vyraščivanii drevesnych rastenij na podzolistoj počve. Tr. Ural'sk. lesotechn. in-ta. 1973 vyp. 27: 180 - 182 (Ref. Žurn. 1974, 10.56.231).
- Truong dinh Phu 1975a. Nutrient requirements of planted European Larch in Quebec. Plant a. Soil 42 (1): 109 - 117.
- Truong dinh Phu 1975b. Relations entre la croissance en hauteur du Mélèze Laricin et les teneurs en éléments minéraux du sol et des aiguilles. Naturaliste Can. 102 (1): 99 - 108.
- Tsuda K. 1968. Study on the Quantitative Variation of the Growth and Nutrient Absorption in each Seedling-age by Todo Fir, Japanese Larch and Akaezo Spruce Seedlings. Bull. Govern. For. Exp. Sta. No. 214: 1 - 76.
- Usova D. A. 1977. Sezonnij ritm soderžanija zoly u podrosta chvojnyh i chimičeskij sostav chvoj. Lesn. Žurn. 1977 (1): 23 - 31.
- Zech W. 1968. Kalkhaltige Böden als Nährsubstrat für Koniferen. Dissert. a. d. Naturw. Fak. Univ. München.
- Žuravleva M. V., Savina A. V. 1976. Vlijanie vnekornevoj podkormki mikroelementami na drevesnye rastenija. Lesn. Chozj. 1976 (1): 60 - 63.

## MINERAL NUTRITION

### Summary

Proper and balanced nutrition of forest trees is of primary importance for the intensification of productivity. Thus there exists a considerable interest in the question of mineral nutrition of trees from the genus *Larix*, and in particular of *L. decidua*, *L. kaempferi*, *L. sibirica*, *L. × sukaczewii* and *L. gmelinii*.

On the basis of rich literature a summary is given of the concentrations of mineral nutrients in various organs of the tree growing in optimal conditions of mineral nutrition and then a discussion is given of the influence of various factors on the nutritive state of trees. The most important of these factors is the level of supply of mineral nutrients and water, age of trees, age of the studied material and the site of collection of the material in the crown of the tree, as well as season variability and provenance differentiation. A detailed description is given of the symptoms of deficiency for various elements and the relationship between state of nutrition and growth is discussed. Examples are given of the influence of mineral fertilization on the growth of trees and stands and the nutritive requirements of larch trees are characterized.



Roztoczański Park Narodowy — modrzew polski w rezerwacie „Bukowa Góra” (Fot. S. Kasprzyk)