

JÓZEF MITKA

Eutrofizacja siedliska leśnego Puszczy Niepołomickiej

II. Zmiany składu chemicznego roślin runa*

Eutrophication of the Forest Site in the Niepołomicka Forest
II. Changes in the Chemical Composition of Ground-layer Plants

Wstęp

Postępujące zmiany siedlisk leśnych, mające przyczyny zarówno antropogeniczne, jak i naturalne (9), mogą znaleźć odzwierciedlenie nie tylko w przekształceniach parametrów fizyko-chemicznych gleby, lecz także w składzie mineralnym roślin. Zagadnienie wzajemnej relacji dynamiki zmian składu chemicznego gleb oraz zasiedlających je roślin jest dobrze poznane np. w agrobotanice (np. 13), natomiast o wiele słabiej w przypadku roślin zielnych runa leśnego (3, 6).

Celem pracy jest określenie długoterminowych zmian składu mineralnego wybranych roślin runa pod wpływem zróżnicowanego nawożenia mineralnego i dolomitowania. Zarysowujące się fluktuacje przeanalizowano na tle zmienności warunków pogodowych w poszczególnych latach badań.

Materiały i metoda

Badania przeprowadzono w Puszczy Niepołomickiej na trwałych powierzchniach założonych w wilgotnym wariantcie zespołu *Pino-Quercetum* (9,1). Materiał roślinny (pędy i liście *Vaccinium myrtillus* oraz pędy traw) zebrano w połowie lipca 1979, 1982, 1983, 1984 i 1986 z trzydziestu losowych próbek (11), z których otrzymano dwie próby mieszane dla każdego poletka. Ich skład chemiczny określono po zmineralizowaniu w stężonym H_2SO_4 ; zawartość azotu określono metodą Kjeldahla, fosforu i magnezu kolorymetrycznie (z wanado-molibdenianem) oraz potasu i wapnia fotometrycznie.

* Praca finansowana przez KBN, grant IB/91.

Frekwencję traw na poszczególnych poletkach ustalono za pomocą 100 systematyczno-losowych rzutów obręczą metalową o powierzchni $0,17 \text{ m}^2$ (10). Zmienność prób roślinnych opisano za pomocą analizy wielozmiennej, przez uporządkowanie ich na płaszczyźnie zdefiniowanej przez główne składowe (PCA), otrzymanej na podstawie macierzy korelacji pomiędzy zmiennymi (dane standaryzowane – 15). Analizę głównych składowych zastosowano również do wyjaśnienia związków zachodzących pomiędzy zawartością pierwiastków mineralnych w liściach *Vaccinium myrtillus* oraz traw na poletku kontrolnym a charakterystykami klimatycznymi kwietnia, czerwca i maja. Dane klimatyczne uzyskano ze Stacji Klimatycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego, położonej w Ogrodzie Botanicznym UJ w Krakowie, ok. 25 km na zachód od terenu badań. Istotność różnic pomiędzy poletkami oraz poszczególnymi latami określono za pomocą analizy wariancji.

Wyniki

Analiza chemiczna liści traw oraz liści i pędów *Vaccinium myrtillus* pochodzących z poszczególnych poletek wykazała różnice w zawartości badanych makroelementów (tab. 1). W przypadku pędów *V. myrtillus* różnice te dotyczą fosforu i potasu (wzrost odpowiednio o 36–48% oraz 16–40% na poletkach nawożonych, w porównaniu z kontrolą = 100%). W liściach tej krzewinki zawartość magnezu zmniejszyła się 12% na poletku dolomitowanym i 26% na poletku nawożonym NPK 200, w porównaniu z kontrolą. Zwiększyły natomiast koncentrację fosfor i potas, pierwszy z wymienionych o 8–24%, drugi — 26–40%. Podobną tendencję zmian stwierdzono w pędach *V. myrtillus*. Zawartość azotu w liściach traw zmniejszyła się na poletku dolomitowanym o 24%; podobny wynik, jakkolwiek statystycznie nieistotny, odnotowano dla pędów borówki. Intensywne nawożenie (NPK 200) spowodowało zwiększenie zawartości fosforu o 64% i potasu o 76% w liściach traw.

Dla wszystkich badanych pierwiastków (z wyjątkiem wapnia) stwierdzono ścisłą zależność pomiędzy ich koncentracją w pędach i liściach *V. myrtillus* (tab. 2). Podobna dodatnia korelacja, jednak słabiej zaznaczona, zaistniała pomiędzy koncentracją pierwiastków mineralnych w pędach borówki oraz liściach traw, najlepiej zaznaczona dla azotu i wapnia (tab. 3). Wyjątek stanowi potas, dla którego stwierdzono ujemną zależność (statystycznie nieistotną).

Oprócz zmienności międzypoletkowej stwierdzono też zmienność fluktuacyjną z roku na rok w koncentracji badanych pierwiastków w pędach naziemnych borówki i traw (ryc. 1). Analiza głównych składowych koncentracji pierwiastków na poletku kontrolnym oraz wybranych charakterystyk klimatu dowodzi ich współzależności (tab. 4 — składowa 2). Związek ten najwyraźniej uwidoczniał się dla ilości opadów w kwietniu oraz zawartości fosforu zarówno w pędach traw, jak i borówki (zależność dodatnia), a także zawartości potasu w pędach traw (zależność ujemna). Temperatura powietrza w maju skorelowana była ujemnie z ilością opadów w maju i czerwcu (tab. 4 — składowa 1, ryc. 1).

Tendencje zmian frekwencji traw na poletkach doświadczalnych wyraźnie dowodzą postępującej eutrofizacji, zarówno na poletkach nawożonych, jak i kontrolnym: zanik oligotroficznej *Molinia arundinacea* oraz rozwój mezo- i nitrofilnych traw *Milium effusum*, *Festuca gigantea* i *Poa trivialis* (ryc. 2).

TABELA 1

Analiza wariancji zawartości makroelementów (% s.m.) w pędach nadziemnych i liściach *Vaccinium myrtillus* oraz *Gramineae* na poszczególnych polkach (średnie za lata 1979, 1982, 1983, 1984 oraz 1986, w nawiasie błąd standardowy)

POLETKO	N	P	K	Ca	Mg
<i>VACCINIUM — PĘDY</i>					
Kontrola	1.175(0.074)	0.115(0.005)	0.567(0.034)	0.393(0.038)	0.092(0.005)
NPK 100	1.479(0.139)	0.170(0.002)	0.794(0.069)	0.422(0.048)	0.090(0.006)
NPK+Dol.	1.210(0.154)	0.156(0.005)	0.656(0.028)	0.369(0.041)	0.086(0.006)
NPK 200	1.360(0.086)	0.161(0.006)	0.697(0.093)	0.411(0.061)	0.074(0.013)
Test F	1.42	26.85***	3.00*	<1	1.07
<i>VACCINIUM — LIŚCIE</i>					
Kontrola	2.263(0.067)	0.153(0.008)	1.115(0.047)	0.555(0.079)	0.208(0.002)
NPK 100	2.800(0.140)	0.165(0.005)	1.540(0.040)	0.880(0.000)	0.210(0.010)
NPK+Dol.	2.556(0.209)	0.188(0.008)	1.408(0.081)	0.640(0.094)	0.185(0.015)
NPK 200	2.450(0.070)	0.190(0.010)	1.565(0.015)	0.530(0.010)	0.165(0.005)
Test F	2.35	4.69*	11.27**	2.04	3.82*
<i>GRAMINAE — LIŚCIE</i>					
Kontrola	2.049(0.075)	0.271(0.018)	1.725(0.057)	0.277(0.034)	0.156(0.011)
NPK 100	1.974(0.156)	0.251(0.015)	1.797(0.061)	0.262(0.022)	0.108(0.007)
NPK+Dol.	1.653(0.135)	0.311(0.020)	1.837(0.068)	0.295(0.027)	0.146(0.017)
NPK 200	2.156(0.125)	0.444(0.038)	3.041(0.562)	0.284(0.028)	0.117(0.026)
Test F	2.94*	12.12***	4.82**	<1	1.82

TABELA 2

Statystyki równania regresji liniowej $y = a + bx$ koncentracji makroelementów w pędach (x) i liściach (y) *Vaccinium myrtillus* (R — współczynnik determinacji)

Parametr	a	b	Test F	R(x100)
N	1.649	0.590	32.77***	73.2
P	0.105	0.467	5.13*	29.9
K	0.702	0.798	11.45**	48.3
Ca	0.429	0.459	<1	7.5
Mg	0.052	1.539	7.07*	37.1

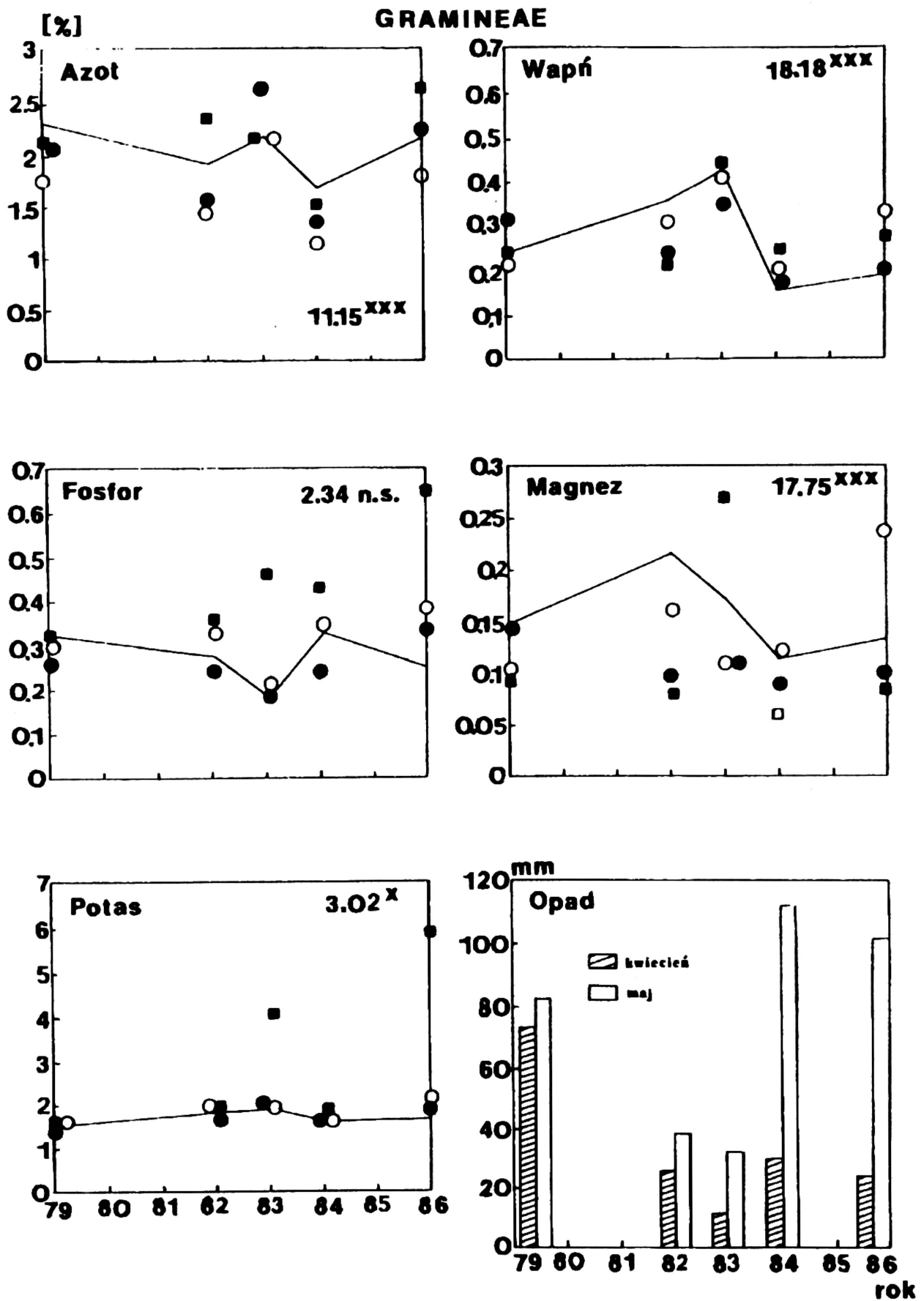
TABELA 3

Statystyki równania regresji liniowej $y = a + bx$ koncentracji makroelementów w liściach *Gramineae* (x) i pędach (y) *Vaccinium myrtillus* (R — współczynnik determinacji)

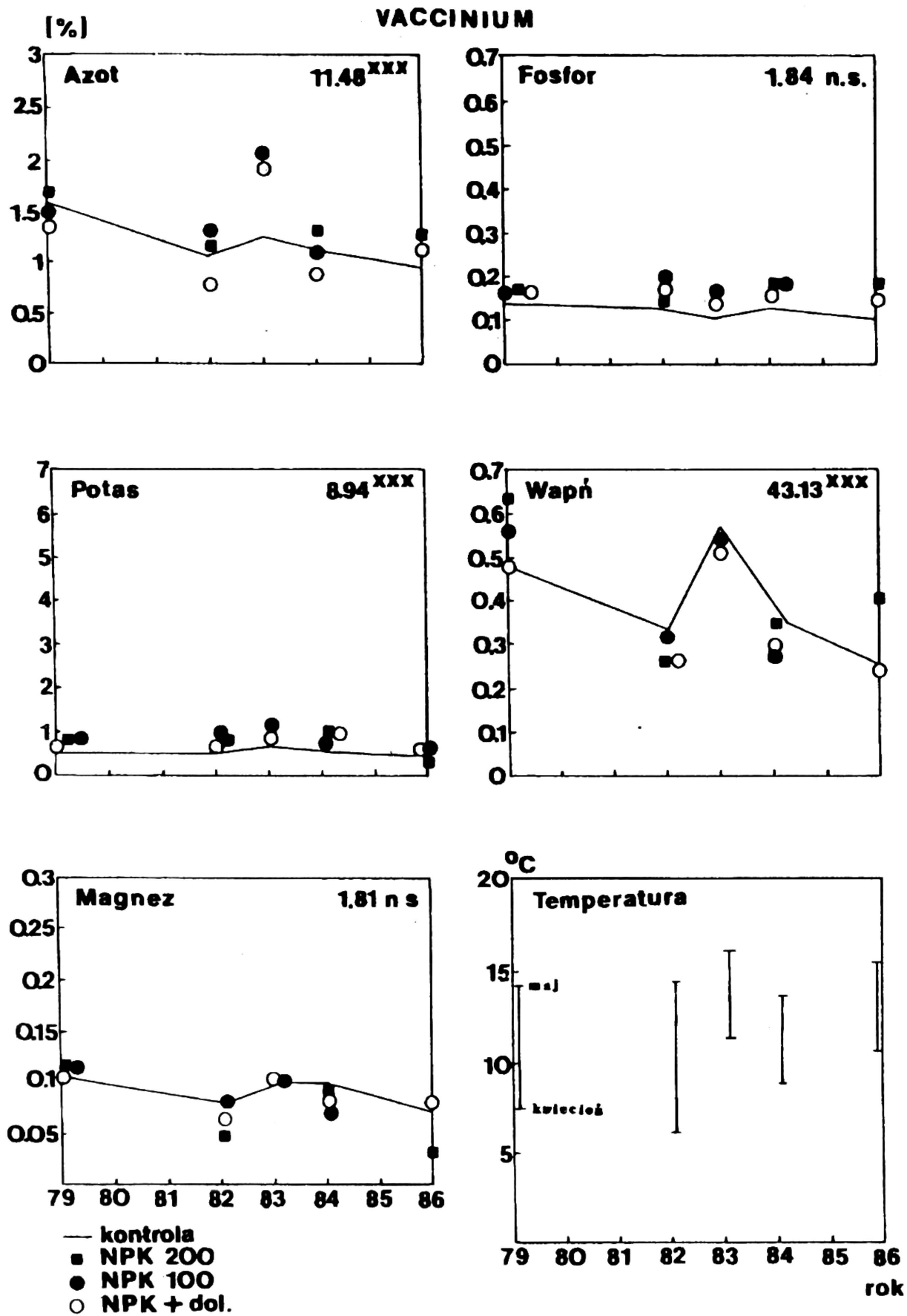
Parametr	a	b	Test F	R(x100)
N	0.355	0.488	18.87***	37.1
P	0.120	0.093	3.84	10.7
K	0.804	-0.070	2.98	8.5
Ca	0.190	0.756	9.61*	23.1
Mg	0.081	0.042	<1	0.7

Dyskusja

Długoterminowe badania nad dynamiką zmian nawożonego runa, prowadzone na trwałych powierzchniach w latach 1979–1990, wykazały istotne zmiany składu gatunkowego oraz stosunków ilościowych roślin zarówno na poletkach nawożonych, jak i kontrolnym (8, 10, 11, 12). Największą trudność w interpretacji wyników sprawiło wyjaśnienie zmian zachodzących na poletku kontrolnym, których charakter dowodził postępującej eutrofizacji siedliska. Zjawisko to przypisano czynnikom znajdującym się poza zasięgiem manipulacji eksperymentalnej, przede wszystkim suszy lat 1982–1984 (2), powodującej prześwietlenie koron drzew, a także starzeniu się drzewostanu oraz wpływowi zanieczyszczeń powietrza (8, 10). Wyniki badań glebowych (9) sugerują prawdopodobny mechanizm zmian składu gatunkowego runa leśnego, w tym zaniku *Vaccinium myrtillus*, które zanotowano nie tylko na poletkach doświadczalnych, lecz również na obszarze całej Puszczy Niepołomickiej (7). Według przedstawionej interpretacji przesuszenie wierzchnich warstw organicznych gleby znacznie przyspieszyło tempo mineralizacji podpoziomu epihumusowego (AoH), co uwidoczniło się w zmniejszeniu jego miąższości średnio o 37% w latach 1985–1991 (9). Zarazem proces ten spowodował gwałtowne zwiększenie dostępności pierwiastków mineralnych, co znalazło odzwierciedlenie m.in. w rozwoju gatunków nitrofilnych, kosztem zaniku gatunków oligotroficznych (ryc. 2). Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy potwierdzają ten mechanizm postępującej eutrofizacji siedliska leśnego. Koncentracja azotu, w mniejszym stopniu wapnia i magnezu, w roślinach na poletku kontrolnym nie różniła się od koncentracji stwierdzonej na poletkach nawożonych. Nie dotyczy to fosforu



RYC. 1. Koncentracja makroelementów w liściach *Gramineae* i pędach nadziemnych *Vaccinium myrtillus* w 1979, 1982, 1983, 1984 i 1986 na poletkach doświadczalnych na tle zmienności warunków pogodowych (por. tab. 4). Podano wyniki analizy wariancji dla określenia istotności różnic w koncentracji poszczególnych pierwiastków w poszczególnych latach (zmienność fluktuacyjna)



RYC. 1 cd.

i potasu, które występowały w większym stężeniu w roślinach na poletkach nawożonych, w porównaniu z kontrolą (tab. 1, ryc. 1). Zarazem dynamika zmian koncentracji tych pierwiastków w roślinach była najmocniej skorelowana ze zmianami klimatycznymi (tab. 4). Najbardziej przekonujący jest wynik dotyczący potasu: dodatnia korelacja ze średnimi maksymalnymi temperaturami kwietnia oraz ujemna korelacja (u liści traw) z ilością

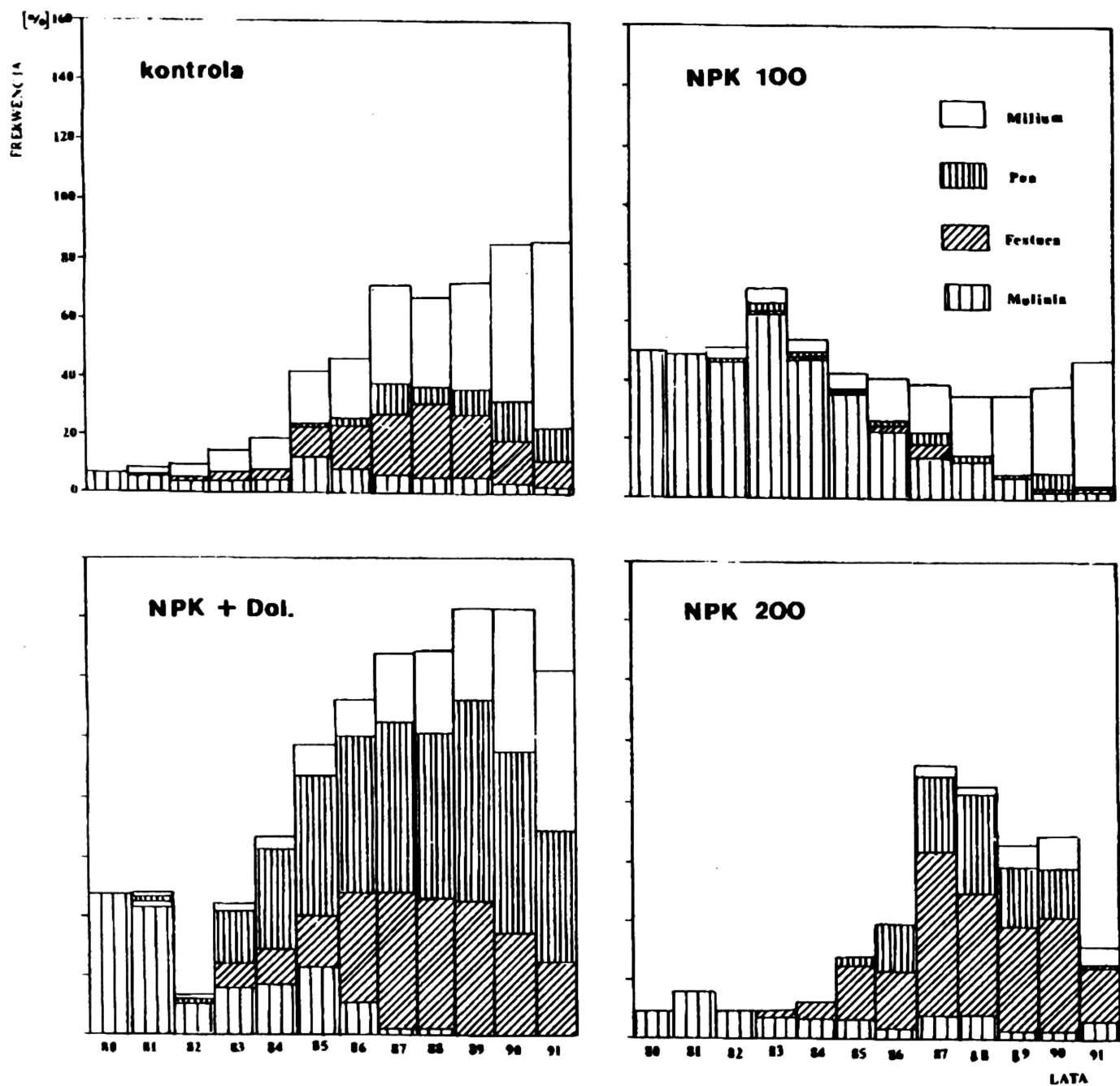
TABELA 4

Analiza głównych składowych zawartości pierwiastków mineralnych w liściach traw i borówki czernicy oraz wybranych charakterystyk klimatycznych dla kwietnia, maja i czerwca. OPAD4, OPAD5, OPAD6 — ilość opadów atmosferycznych w kwietniu, czerwcu i maju (mm); TMAX4, TMAX5, TMAX6 — średnia temperatura maksymalna (°C) kwietnia, czerwca i maja; TMIN4, TMIN5, TMIN6 — średnia temperatura minimalna przygruntowa (°C) czerwca, kwietnia i maja; N, P, K, Ca, Mg — koncentracja pierwiastków mineralnych w liściach *Vaccinium myrtillus* (%); N*, P*, K*, Ca*, Mg* — koncentracja pierwiastków mineralnych w liściach traw (%)

	Składowa 1	Składowa 2
Procent wariacji	47,0	28,1
Zmienna		
N	0,185	-0,264
P	0,135	-0,380
K	0,277	0,115
Ca	0,274	0,028
Mg	0,225	-0,237
N*	0,000	0,018
P*	-0,050	-0,399
K*	0,140	0,388
Ca*	0,242	0,262
Mg*	0,180	0,159
OPAD4	0,020	-0,392
OPAD5	-0,240	-0,242
OPAD6	-0,327	0,000
TMAX4	0,259	0,111
TMAX5	0,319	-0,033
TMAX6	0,311	-0,109
TMIN4	-0,272	0,192
TMIN5	-0,224	0,195
TMIN6	-0,275	-0,027

opadów atmosferycznych w tym samym miesiącu. Wynik ten potwierdza znaną podatność potasu na wymywanie z tkanek roślinnych. Trudniejsza do wytłumaczenia jest dodatnia korelacja pomiędzy zawartością fosforu w liściach badanych roślin, a ilością opadów w kwietniu. Prawdopodobnie w najbardziej krytycznym okresie rozwoju roślin (wczesna wiosna) ilość opadu decyduje o dostępności tego pierwiastka. Możliwość istnienia tego zjawiska sugerują wyniki badań wpływu nawadniania i nawożenia mineralnego na skład chemiczny liści *Vaccinium uliginosum* i *V. vitis-idaea* (4), gdzie stwierdzono istotny wzrost koncentracji fosforu po zastosowaniu zwiększonego o 20–35%, w stosunku do kontroli, nawodnienia poletek doświadczalnych.

Według kryterium zaproponowanego przez Kwiatkowską (6) zaopatrzenie borówki w Puszczy Niepołomickiej, ustalone na podstawie analizy składu chemicznego liści, było przeciętne dla azotu, fosforu i potasu, natomiast niedostateczne dla wapnia i magnezu. Zastosowany dolomit nie podwyższył koncentracji tych pierwiastków zarówno w liściach borówki, jak i traw, pomimo zwiększenia ilości Ca i Mg w glebie (9). W przypadku magnezu stwierdzono wręcz istotny spadek jego koncentracji w liściach borówki na poletkach nawożonych (tab. 1), gdzie równocześnie nastąpił regres tego gatunku. Według Chapin'a (1), koncentracja pierwiastków w liściach roślin dziko rosnących jest o wiele



RYC. 2. Frekwencja czterech gatunków traw: *Molinia arundinacea*, *Festuca gigantea*, *Poa trivialis* i *Milium effusum* na poletkach doświadczalnych w 1980–1991

słabszym wskaźnikiem dostępności pierwiastka w glebie w porównaniu do roślin uprawnych. Wniosek ten nie dotyczy jednak badanych traw leśnych, które zwiększają akumulację fosforu i potasu w swoich tkankach (tab. 1) wraz ze wzrostem dostępności tych pierwiastków w glebie. Przechwytywanie potasu przez trawy jest tak duże (zwłaszcza przez korzenie — 12), iż może doprowadzić do jego niedoboru i wzmożonej konkurencji. Dowodzi tego ujemna korelacja pomiędzy koncentracją potasu w liściach traw i borówki (statystycznie nieistotna) oraz brak różnic w ilości potasu w poziomie mineralno-próchnicznym na poletkach nawożonych, w porównaniu z kontrolą (9).

Wzbogacenie ubogiego siedliska leśnego w pierwiastki mineralne, przede wszystkim w azot, powoduje zmiany natężenia kolonizacji, a także niekiedy całkowity zanik symbionta mikoryzowego roślin runa. Badania przeprowadzone na poletku kontrolnym i intensywnie nawożonym wykazały (14), iż wśród roślin pozytywnie reagujących na nawożenie mine-

ralne znajdują się zarówno nitrofilne rośliny bezmikoryzowe (np. *Milium effusum*), jak i niektóre tracące mikoryzę pod wpływem zabiegu (np. *Festuca gigantea*). Rezultaty dowodzą, że wysycenie gleby leśnej pierwiastkami mineralnymi (zwłaszcza azotem) prowadzi do utraty symbionta mikoryzowego, i w konsekwencji do zaniku *Vaccinium myrtillus*.

Konkluzja

Trawy leśne, występujące na poletkach badawczych w Puszczy Niepołomickiej, mają możliwość akumulowania potasu oraz fosforu pochodzących z nawozów mineralnych. Zarazem dynamika koncentracji tych pierwiastków w tkankach roślin w skali wieloletniej wydaje się w znacznej mierze kontrolowana czynnikami pogodowymi. Zastosowane nawożenie nie poprawiło zaopatrzenia badanych roślin w azot. Jedną z przyczyn może być wysycenie siedliska leśnego tym pierwiastkiem, czego dowodzą zmiany składu gatunkowego roślin runa na poletku kontrolnym. Obserwowana eutrofizacja, obok czynników pochodzenia antropogenicznego, ma prawdopodobnie również przyczynę naturalną, tzn. okresową suszę 1982–1985, która spowodowała przyspieszoną mineralizację podpoziomu humifikacyjnego gleby leśnej (9).

Z Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Literatura

1. **Chapin III F.S.:** The mineral nutrition of wild plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1980 no. 11, 233–260.
2. **Chylarecki H., Filipiak M.:** Susza w latach 1982–1984 w świetle metody Gaussen-Waltera. 1987, *Sylvan* 4, 1–14.
3. **Falkengren-Grerup U.:** Biometric and chemical analysis of five herbs in a regional acid-base gradient in Swedish beech forest soils. *Acta Oecol.* 1990 no. 11, 755–766.
4. **Karlsson P.F.:** Effects of water and mineral nutrient supply on a deciduous and an evergreen shrub: *Vaccinium uliginosum* L. and *V. vitis-idaea* L. *Holarc. Ecol.* 1988 no. 8, 1–8.
5. **Kowalkowski A., Król H., Ostrowska A., Sytek J., Szczubiałka Z.:** Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych. 1973, BULiGI, IBL, Warszawa, Sękocin.
6. **Kwiatkowska A.:** Możliwość oceny stanu odżywiania i potrzeb nawozowych drzewostanów sosnowych na podstawie analiz składu chemicznego wybranych roślin runa. 1988. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Biologia XXXII*, zeszyt 69, 139–166.
7. **Lesińska E., Mączyński M.:** Zmniejszenie zbiorów i pogorszenie jakości owoców czernicy w Puszczy Niepołomickiej, 1981. *Stud. Ośrod. Dok. Fizjogr.* nr 9, 385–392.
8. **Mitka J.:** Fitocenotyczna i populacyjna reakcja roślin runa boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) w Puszczy Niepołomickiej na nawożenie mineralne. Dysertacja, Instytut Botaniki UJ, 1990.

9. **Mitka J.:** Eutrofizacja siedliska leśnego Puszczy Niepołomickiej. I. Wpływ na poziom organiczny i mineralno-próchniczny. *Sylvan* 4, 1993.
10. **Mitka J.:** The effect of mineral fertilization on quantitative ratios in the herb layer of the mixed oak-pine forest (*Pino-Quercetum*) in the Niepołomice Forest Area. 1987, *Acta Agr. et Silv.*, Ser. Silv. 26, 75–85.
11. **Mitka J., Szczepanek K., Zemanek B.:** Changes in a herb layer biomass of the mixed oak-pine forest (*Pino-Quercetum*) in the Niepołomice Forest Area effected by mineral fertilization with NPK and dolomite. 1987, *Acta Agr. et Silv.*, Ser. 26, 61–74.
12. **Mitka J., Zemanek B.:** Wpływ nawożenia mineralnego na runo boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) w Puszczy Niepołomickiej. 1986, *Sylvan* 8, 49–58.
13. **Nowak M., Kolera H.:** Wpływ nawożenia azotowego na plony oraz skład botaniczny i chemiczny runa pastwiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1975 nr 175, 111–124.
14. **Turnau K., Mitka J., Kędziarska A.:** Mycorrhizal status of plants in the fertilized oak-pine forest. *Plant and Soil* 1992 vol. 143 no. 6, 148–152.
15. **Ueberla K.:** Faktorova analyza. 1976, Alfa, Bratislava.

Summary

The chemical composition of plants from fertilized mixed oak-pine forest of pine and oak in the Niepołomicka Forest has been investigated. It has been discovered that there are no differences in concentration of nitrogen and calcium in tissues of *Vaccinium myrtillus* on the fertilized and control plot. Phosphorus and potassium occurred in this species in great concentration in the conditions of fertilization. It has been observed the decrease of magnesium content in leaves of *V. myrtillus* together with the decrease of the specimen vitality and of population density (8, 10, 11). The grass used mainly potassium and phosphorus and in a smaller degree — nitrogen from fertilizers (tab. 1). The concentration of examined elements in stem and leaves of *V. myrtillus* was correlated excluding calcium (tab. 2). The negative correlation (statistically insignificant) between the concentration of potassium in leaves of *Gramineae* and *V. myrtillus* suggests the competition for this element (tab. 3). Fluctuations of the concentration of elements in the tissues of the examined plants in the control plot are correlated with the changes in the weather conditions from year to year: phosphorus — positively and potassium — negatively with the amount of rainfall in April (Fig. 1, tab. 4).

It has been stated that meso- and nitrophilous grasses (*Milium effusum*, *Festuca giganteas*, *Poa trivialis*) was developing, at the cost of on the oligotrophic *Molinia arundinacea* on the control as well as in the fertilized plots (Fig. 2). This result proves the progressing eutrophication of the forest site as a result of the joint influence of anthropogenic and natural factors, eg. periodical drought, accelerating the mineralization of soil humus (9).