

ZAWARTOŚĆ MIEDZI I MANGANU W SOŚNIE ZWYCZAJNEJ,
ŚWIERKU POSPOLITYM ORAZ BRZOZIE BRODAWKOWATEJ

Tadeusz Cybulko

Instytut Użytkowania Lasu i Inżynierii Leśnej AR, Poznań

WSTĘP

W wyniku przeprowadzonych badań, opublikowanych w 1967 r. [1], stwierdzono, że zawartość miedzi i manganu w poszczególnych częściach drzew sosny (*P. silvestris*), ściętych w okresie spoczynku wegetacyjnego, jest różna. W zasadzie najwyższą zawartość wymienionych mikroelementów wykazały części żywe drzewa, tzn. igliwie i łyko. W drewnie i korwinie zawartość ich — w zależności od pierwiastka — była od kilku do kilkunastu razy mniejsza, z wyjątkiem zawartości miedzi w drewnie korzeni i korwinie odziomka strzały. Takie rozmieszczenie zarówno miedzi, jak i manganu, nie jest przypadkowe. Wynika ono oczywiście z roli, jaką spełniają te pierwiastki w procesach życiowych roślin, w tym także i sosny.

W oparciu o te spostrzeżenia w niniejszych badaniach ograniczono się do analizy zawartości wymienionych pierwiastków w listowiu i łyku. Przebiegowi zmian zawartości miedzi i manganu w drzewach i krzewach dziko rosnących poświęcono wiele uwagi. Materiał badawczy stanowiło w zasadzie listowie, a celem wykonanych prac było wyjaśnienie zagadnień gromadzenia się i rozmieszczenia miedzi i manganu w zależności od biologicznych właściwości danego gatunku, warunków ekologicznych oraz nawożenia.

Biorąc pod uwagę wyniki, jakie dotąd na tym odcinku osiągnięto, wydawało się słuszne przeprowadzenie badań, których celem byłoby stwierdzenie, jak zmienia się zawartość miedzi i manganu w listowiu i łyku sosny (*P. silvestris*), świerka (*P. excelsa*) i brzozy (*B. verrucosa*) w okresie wegetacyjnym, oraz ustalenie, jak kształtuje się zawartość obu pierwiastków w drzewach rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie. Odpowiedź na drugie pytanie może być przydatna jako test w ustalaniu potrzeb nawozowych drzew leśnych, tworzących drzewostany mieszane.

METODA BADAŃ

Badania terenowe wykonano w Nadleśnictwie Doświadczalnym Zielonka AR w Poznaniu, położonym w pow. Oborniki Wlkp. Materiał do badań pobierano raz w miesiącu (w I dekadzie), od maja do października. Stanowiły go gałązki, posiadające średnicę u nasady od 1 do 2 cm oraz korzenie różnej grubości, których średnica w miejscu ucięcia nie przekraczała centymetra. Gałązki obcinano sektorem, a korzenie wypreparowywano z gleby ręcznie, rozpoczynając tę czynność od szyi korzeniowej. W jednym i drugim wypadku starano się tak pozyskiwać materiał, by w jak najmniejszym stopniu zakłócić dalszy rozwój drzewek. Każdorazowo z jednego drzewka pobierano jedną gałązkę i jeden rozgałęziony korzeń. Z obciętych gałązek obrywano liście (u sosny i świerka rozwijające się od wiosny — najmłodsze) oraz po zeskrobaniu korowiny — zdzierano łyko. Z korzeni obrywano włósniki, a następnie — poprzez zanurzenie ich w wodzie — usuwano przylegającą glebę. Po wysuszeniu korzeni na powietrzu zdejmowano z nich ręką korowinę, po czym oddzielano od drewna łyko. Zabieg pozyskania łyka nie sprawiał kłopotu, ponieważ był on wykonywany na świeżym materiale.

Otrzymane próbki listowia i łyka suszono w suszarce, w temperaturze nie przekraczającej 70°C. Proces suszenia przerywano wówczas, gdy umieszczone w płóciennym woreczku liście lub łyko, uderzane drewnianym młotkiem, ulegały rozdrobnieniu. Rozdrobniony materiał przesiewano przez sito z włosia o średnicy oczek 2 mm. Pozostałość na sicie kruszono ponownie. Kilkakrotne kruszenie i przesiewanie pozwalało na całkowite rozdrobnienie materiału. Do czasu wykonania analizy chemicznej materiał przechowywano w butelkach. Ciężar materiału w butelkach w stanie wysuszonym wahał się od 3 do 5 gramów. Całą zawartość butelki, niezależnie od ciężaru materiału, dzielono na trzy mniej więcej równe części. Stanowiły one w analizie chemicznej trzy powtórzenia oznaczeń danej próby.

Materiał spalano na mokro, używając do tego celu kwasów: azotowego, siarkowego i nadchlorowego. Spalano go w kolbach Kjeldahla do czasu uzyskania płynu pozbawionego smołowego zabarwienia. Zawartość miedzi i manganu oznaczano metodami kolorymetrycznymi [6], stosując w pierwszym przypadku ditizon, a w drugim — nadsiarcezan potasu.

Otrzymane wyniki analiz chemicznych wyliczano w mg na 100 g materiału. Wyniki ostateczne, mówiące o zawartości miedzi i manganu w listowiu i łyku, opracowano statystycznie [5]. Wykonano analizę wariancji, oddzielnie dla każdego pierwiastka i materiału. Wyróżniono w niej dwa czynniki zmienności: gatunek drzewa i termin pobrania próby. Zróznicowanie istotne przyjęto na podstawie analizy zmienności i testu

F Snedecora. Najniższą istotną różnicę (NIR) dla średnich obliczono przez pomnożenie błędu standardowego różnicy przez współczynnik t Studenta przy poziomie ufności 0,05 i 0,01.

PRZYRODNICZA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAŃ

Za jednostkę badawczą przyjęto pojedyncze drzewo. Badania przeprowadzono w młodniku sosnowo-brzozowo-świerkowym, równowiekowym, w którym wybrano po 6 drzewek sosny, świerka i brzozy; w sumie 18 sztuk.

Doboru drzew dokonano, biorąc pod uwagę dwa warunki: pierwszy — musiały one posiadać zdrowy wygląd i w obrębie gatunku charakteryzować się zbliżonymi wymiarami i drugi — powinny znajdować się na jak najmniejszej powierzchni. Ostatecznie powierzchnia, na której wybrane drzewa rosły, wynosiła około 10 arów i w wypadku połączenia linią drzewek wysuniętych najdalej od środka uzyskiwałyby kształt nieregularnego wieloboku.

Opis taksacyjny [4]:

1. Leśnictwo Potasze, oddział 78a. Powierzchnia wydzielenia 4,30 ha, teren równy, na północnym krańcu fałisty.

2. Gleba porolna, piaski słabo gliniaste, z domieszką żwiru, średnio głęboka na piaskach luźnych, miejscami wkładki gliny lekkiej średnio spiaszczonej, kl. III.

3. Pokrywa mszysta. Płatami rókiet pospolity, ściola, miejscami poziomka, perz, kostrzewa owcza, szczaw polny, trzcinnik.

4. Drzewostan: sosnowy (gat. *P. silvestris*), miejscami, czasem kępowo lub pojedyncze świerk i brzoza (*P. excelsa* i *B. verrucosa*), sporadycznie dąb (sp.). Wszystkie trzy gatunki w wieku 21 lat. Zwarcie pełne.

Wymiary przeciętne drzew:

s o s n a: wysokość 8 m, pierśnica 7 cm; ś w i e r k: wysokość 6 m, pierśnica 5 cm; b r z o z a: wysokość 10 m, pierśnica 9 cm.

Siedliskowy typ lasu: BMśw.

Typ gospodarczy lasu: Bk-Db-So.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań zestawiono w tabelach 1, 2, 3. Spośród wyników otrzymanych w analizie wariancji (tab. 1) zestawiono tylko wartości F. Z porównania F obliczonego z F tabelarycznym wynika, że zawartość miedzi i manganu w listowiu i łyku w zależności od gatunku drzewa jest bardzo istotna. Podobnie bardzo istotnie zmienia się zawartość tych mikroelementów w wymienionych częściach drzewa w okresie wegetacyjnym. F dotyczące interakcji wskazuje, że różnice zawartości Cu i Mn w li-

Tabela 1

Zestawienie wartości F, obliczonych na podstawie analizy wariancji

Pierwiastek	Materiał	Gatunek drzewa A	Termin po- brania próby B	Interakcja A × B
Miedź	listowie	859,89**	1048,70**	193,29**
	łyko gałęzi	396,78**	4,45*	8,42**
	łyko korzeni	11,93**	8,08**	3,79**
Mangan	listowie	6320,41**	65,04**	95,63**
	łyko gałęzi	2423,04**	347,06**	88,83**
	łyko korzeni	1435,87**	11,01**	29,17**

* Zmiana śc istotna.

** Zmienność wysoko istotna.

2

stowiu i łyku, wynikające z porównania gatunków oraz terminów pobrania próbki, należy także uznać jako bardzo istotne.

Analiza wariancji wykazała dobitnie, że zawartość zarówno miedzi, jak i manganu, w listowiu oraz łyku gałęzi i korzeni, pobranych z rosnących obok siebie drzew sosny, świerka i brzozy, różni się bardzo istotnie. Powierdziła ona ponadto, iż w okresie wegetacyjnym zawartość wymienionych pierwiastków zmienia się bardzo istotnie w obrębie i między gatunkami.

ZAWARTOŚĆ MIEDZI W LISTOWIU

Najwyższą zawartość Cu posiadało igliwie świerka (średnio 1,794 mg^{0/0}), najniższą liście brzozy (1,178 mg^{0/0}, tab. 2); igliwie sosny w przybliżeniu tyle ile igliwie świerka (1,717 mg^{0/0}). Różnica 0,077 mg według wyliczeń jest jednakże bardzo istotna. Zawartość miedzi w igliwiu sosny najwyższa jest w maju, w kolejnych następnych miesiącach systematycznie spada, by w październiku osiągnąć zawartość na poziomie 0,71 mg^{0/0}. Podobne zjawisko zachodzi w igliwiu świerka, natomiast w liściach brzozy występuje od maja do sierpnia spadek zawartości miedzi. We wrześniu i październiku koncentracja wzrasta, nie osiąga jednak poziomu z maja. Przebieg zmian zawartości Cu w listowiu badanych gatunków jest zgodny z wynikami uzyskanymi przez Wachowską-Serwatkę [8].

Jeżeli wszystkie trzy gatunki potraktujemy jako jedną populację, wówczas można przyjąć, że zawartość miedzi w listowiu najwyższa jest w maju, najniższa w październiku. W przebiegu zmian zawartości miedzi można wyróżnić trzy jak gdyby poziomy koncentracji: I — maj-czerwiec, w przybliżeniu zawartość 2,105 mg^{0/0}, II — lipiec-sierpień (1,550 mg^{0/0}) i III — wrzesień-październik (1,000 mg^{0/0}).

Tabela 2

Zawartość miedzi w listowiu oraz w łuku gałęzi i korzeni, wyrażona w mg % s.m.

Miesiąc	Sosna			Świerk			Brzoza			Średnia (B) zawartość w m-cu
	min.	max.	śr. A	min.	max.	śr. A	min.	max.	śr. A	
Listowie										
V	2,54	2,83	2,665	2,47	2,63	2,547	1,42	1,64	1,538	2,250
VI	2,36	2,50	2,458	2,38	2,56	2,440	1,20	1,34	1,273	2,044
VII	1,75	1,96	1,857	1,90	2,07	1,980	0,90	1,05	0,953	1,597
VIII	1,52	1,80	1,640	1,87	2,01	1,920	0,94	1,05	0,990	1,519
IX	0,90	1,04	0,948	0,92	1,04	0,985	0,99	1,16	1,078	1,004
X	0,71	0,82	0,777	0,80	1,00	0,887	1,15	1,30	1,237	0,967
Śr. C	—	—	1,717	—	—	1,794	—	—	1,178	—
Sd dla śr. A = 0,040 mg, NIR — P 0,05 = 0,08 mg, P 0,01 = 0,10 mg										
Sd dla śr. B = 0,023 mg, NIR — P 0,05 = 0,04 mg, P 0,01 = 0,06 mg										
Sd dla śr. C = 0,016 mg, NIR — P 0,05 = 0,03 mg, P 0,01 = 0,04 mg										
Łyko gałęzi										
V	0,97	1,17	1,062	1,13	1,30	1,237	0,75	0,94	0,832	1,043
VI	0,94	1,12	1,025	1,10	1,40	1,287	0,70	0,92	0,783	1,032
VII	0,80	0,96	0,883	1,10	1,26	1,168	0,68	0,96	0,815	0,956
VIII	0,75	0,95	0,855	1,35	1,50	1,412	0,67	0,90	0,805	1,024
IX	0,85	1,00	0,927	1,32	1,63	1,487	0,70	0,80	0,737	1,050
X	0,93	1,04	0,975	1,36	1,70	1,493	0,63	0,94	0,785	1,084
Śr. C	—	—	0,954	—	—	1,347	—	—	0,793	—
Sd dla śr. A = 0,050 mg, NIR — P 0,05 = 0,10 mg, P 0,01 = 0,13 mg										
Sd dla śr. B = 0,029 mg, NIR — P 0,05 = 0,06 mg, P 0,01 = 0,08 mg										
Sd dla śr. C = 0,020 mg, NIR — P 0,05 = 0,04 mg, P 0,01 = 0,05 mg										
Łyko korzeni										
V	0,75	0,90	0,812	0,75	0,92	0,855	0,76	0,84	0,807	0,824
VI	0,70	0,87	0,803	0,76	0,90	0,825	0,65	0,90	0,780	0,803
VII	0,75	0,94	0,837	0,64	0,83	0,728	0,54	0,80	0,652	0,739
VIII	0,70	0,91	0,820	0,76	0,90	0,812	0,63	0,90	0,783	0,805
IX	0,60	0,88	0,742	0,73	0,94	0,830	0,56	0,82	0,710	0,761
X	0,96	1,13	1,035	0,76	0,90	0,833	0,70	0,88	0,793	0,887
Śr. C	—	—	0,841	—	—	0,814	—	—	0,754	—
Sd dla śr. A = 0,045 mg, NIR — P 0,05 = 0,09 mg, P 0,01 = 0,12 mg										
Sd dla śr. B = 0,026 mg, NIR — P 0,05 = 0,05 mg, P 0,01 = 0,07 mg										
Sd dla śr. C = 0,018 mg, NIR — P 0,05 = 0,04 mg, P 0,01 = 0,05 mg										

Tabela 3

Zawartość manganu w listowiu oraz łyku gałęzi i korzeni wyrażona w mg % s.m.

Miesiąc	Sosna			Świerk			Brzoza			Średnia (B) zawartość w m-cu
	min.	max.	śr. A	min.	max.	śr. A	min.	max.	śr. A	
Listowie										
V	75,0	94,0	80,5	149,0	180,0	160,8	573,0	630,0	599,8	280,5
VI	94,0	115,0	100,8	170,0	205,0	190,3	572,0	630,0	607,5	299,6
VII	100,0	140,0	125,8	230,0	290,0	262,5	537,0	580,0	556,3	314,9
VIII	130,0	170,0	150,8	305,0	360,0	328,3	530,0	580,0	553,7	344,3
IX	148,0	185,0	167,0	365,0	410,0	381,9	525,0	562,0	544,3	364,4
X	140,0	172,0	160,3	345,0	385,0	365,7	470,0	510,0	492,0	339,3
Śr. C	—	—	130,9	—	—	281,6	—	—	558,9	—
Sd dla śr. A = 9,5 mg, NIR — P 0,05 = 18,6 mg, P 0,01 = 24,6 mg										
Sd dla śr. B = 5,5 mg, NIR — P 0,05 = 10,8 mg, P 0,01 = 14,4 mg										
Sd dla śr. C = 3,9 mg, NIR — P 0,05 = 7,7 mg, P 0,01 = 10,2 mg										
Łyko gałęzi										
V	60,0	74,0	63,2	118,0	135,0	128,0	160,0	192,0	177,8	123,0
VI	65,0	94,0	81,3	275,0	326,0	296,2	125,0	158,0	138,2	171,9
VII	75,0	102,0	91,7	309,0	360,0	331,3	148,0	200,0	177,7	200,1
VIII	115,0	130,0	120,5	384,0	425,0	401,5	182,0	220,0	197,7	239,9
IX	130,0	160,0	143,7	420,0	480,0	445,8	215,0	260,0	233,3	274,3
X	125,0	150,0	140,2	425,0	475,0	452,2	252,0	300,0	275,7	289,3
Śr. C	—	—	106,8	—	—	342,5	—	—	200,0	—
Sd dla śr. A = 8,4 mg, NIR — P 0,05 = 16,6 mg, P 0,01 = 22,0 mg										
Sd dla śr. B = 4,8 mg, NIR — P 0,05 = 9,5 mg, P 0,01 = 12,6 mg										
Sd dla śr. C = 3,4 mg, NIR — P 0,05 = 6,7 mg, P 0,01 = 8,9 mg										
Łyko korzeni										
V	113,0	147,0	132,8	175,0	213,0	193,8	105,0	131,0	117,8	148,2
VI	109,0	142,0	124,0	215,0	260,0	241,8	105,0	130,0	118,8	161,6
VII	85,0	127,0	104,8	280,0	315,0	295,8	105,0	142,0	126,3	175,7
VIII	95,0	113,0	106,2	270,0	315,0	290,7	100,0	140,0	126,0	174,3
IX	75,0	106,0	92,2	300,0	342,0	318,7	105,0	142,0	120,8	177,2
X	83,0	122,0	98,2	280,0	320,0	295,7	110,0	140,0	121,5	171,8
Śr. C	—	—	109,7	—	—	272,8	—	—	121,9	—
Sd dla śr. A = 8,3 mg, NIR — P 0,05 = 16,4 mg, P 0,01 = 21,7 mg										
Sd dla śr. B = 4,8 mg, NIR — P 0,05 = 9,5 mg, P 0,01 = 12,6 mg										
Sd dla śr. C = 3,4 mg, NIR — P 0,05 = 6,6 mg, P 0,01 = 8,8 mg										

ZAWARTOŚĆ MIEDZI W ŁYKU GAŁĘZI

Najwyższą koncentrację miedzi stwierdzono w łyku świerka (tab. 2), wynoszącą średnio dla okresu wegetacyjnego 1,347 mg^{0/0}. Łyko sosny zawiera tego pierwiastka 0,954 mg^{0/0}, a brzozy najmniej — 0,793 mg^{0/0}. Kolejność ułożyła się w tym wypadku podobnie jak w listowiu, z tą tylko różnicą, że łyko świerka zdecydowanie góruje nad łykiem sosny i brzozy. Kierunek zmian zawartości miedzi w łyku gałęzi przebiega u każdego gatunku odmiennie. U sosny najwyższy poziom Cu jest w maju i czerwcu, spada istotnie w lipcu i sierpniu i wzrasta we wrześniu i październiku. U świerka utrzymuje się na nie zmienionym poziomie przez maj, czerwiec i lipiec. W sierpniu, wrześniu i październiku koncentracja istotnie wzrasta, ale nie ulega żadnym wahaniom. U brzozy natomiast zawartość miedzi w łyku gałęzi nie wykazuje w przeciągu okresu wegetacyjnego istotnych zmian.

ZAWARTOŚĆ MIEDZI W ŁYKU KORZENI

Przeciętna zawartość miedzi w łyku korzeni jest taka sama u sosny i świerka: 0,841 i 0,814 mg^{0/0}. Różni się jednak istotnie od poziomu zawartości w łyku korzeni brzozy (0,754 mg^{0/0}). Różnica wypada więc na korzyść gatunków iglastych. W okresie wegetacyjnym najwyższa zawartość miedzi jest w październiku (0,887 mg^{0/0}), najniższa w lipcu (0,739 mg^{0/0}). Różnice między miesiącami są istotne lub bardzo istotne. Kierunek zmian jest nieregularny, od maja do lipca zawartość spada, w sierpniu nieco wzrasta, we wrześniu ponownie spada i szczyt osiąga w październiku. Przebieg zmian średnich zawartości (A) w poszczególnych gatunkach jest w zasadzie zbliżony.

ZAWARTOŚĆ MANGANU W LISTOWIU

Obserwując dane zawartości manganu w listowiu (tab. 3) widać wyraźnie, że jest go najwięcej w liściach brzozy — średnio w okresie od maja do października 558,9 mg^{0/0}. Igliwie świerka zawiera go o połowę, a igliwie sosny przeszło czterokrotnie mniej. U sosny zawartość wzrasta od maja (80,8 mg^{0/0}) do sierpnia (150,8 mg^{0/0}), później utrzymuje się na jednakowym poziomie; w ocenie przeciętnej poziom zawartości osiąga 160,0 mg^{0/0}. Podobnie wzrasta zawartość manganu w igliwiu świerka; wzrost trwa jednak dłużej, bo do września. U brzozy natomiast spadek w okresie wegetacyjnym jest systematyczny i trwa aż do października. Być może, dzieje się tak dlatego, że brzoza traci na zimę liście. Ustalony przez Wachowską-Serwatkę wzrost zawartości manganu w liściach brzozy w okresie wegetacyjnym nie został w niniejszych badaniach potwierdzony.

ZAWARTOŚĆ MANGANU W ŁYKU GAŁĘZI

Przeciętna zawartość manganu w łyku gałęzi u trzech badanych gatunków zasadniczo różni się między sobą (tab. 3). Najwięcej jest go w łyku świerka (342,5 mg^{0/0}), kolejną, niższą pozycję pod względem zawartości wykazuje łyko brzozy (200,0 mg^{0/0}), ostatnią najniższą zajmuje łyko sosny (106,8 mg^{0/0}). W okresie wegetacyjnym najwięcej jest manganu w październiku (289,3 mg^{0/0}). Wzrost jest systematyczny od maja. Podobnie kształtują się zmiany u wszystkich trzech gatunków, z wyjątkiem łyka brzozy, ale tylko na przestrzeni maj—lipiec. W tym wypadku mamy do czynienia ze spadkiem zawartości.

ZAWARTOŚĆ MANGANU W ŁYKU KORZENI

Zawartość manganu w łyku korzeni kształtuje się podobnie, jak w łyku gałęzi. Jest go jednakże znacznie mniej w łyku świerka i brzozy, w łyku sosny zawartość tego pierwiastka jest podobna, jak w łyku gałęzi. W łyku korzeni sosny zawartość manganu systematycznie spada w okresie wegetacyjnym; od wartości 132,8 do 98,2 mg^{0/0}. U brzozy utrzymuje się na jednakowym poziomie, a u świerka zmienia się w przeciągu tego czasu nieregularnie.

UWAGI KOŃCOWE

1. Próbkę listowia oraz łyka gałęzi i korzeni pobrane z drzewek sosny, świerka i brzozy w wieku 21 lat, rosnących obok siebie w kilkumetrowej odległości, zawierały miedź i mangan w ilościach istotnie różniących się między sobą. Fakt ten potwierdza znane zjawisko wybiórczej zdolności gromadzenia mikroelementów przez poszczególne gatunki drzew. W tym wypadku odgrywa także rolę wielkość systemu korzeniowego [2]. Wywierają na to wpływ również właściwości gleby, np. uwilgotnienie [3] lub obecność w niej innych pierwiastków [7].

2. Bogatsze w miedź i mangan od łyka jest listowie. Może zachodzić jednak taki przypadek, że malejącym zawartościom danego pierwiastka w listowiu towarzyszy wzrost jego zawartości w łyku, przy czym niekoniecznie poziom zawartości w łyku musi przewyższać zawartość w listowiu. Takie zjawisko zaobserwowano w badaniu zawartości manganu.

3. Wyniki analiz wskazują, że potrzeby nawozowe kilku gatunków, rosnących w zmieszaniu, nie mogą być ustalone na podstawie analizy materiału pobranego tylko z drzew jednego, dowolnego gatunku. Analizę należy objąć wszystkie gatunki rosnące na danej powierzchni.

LITERATURA

1. Cybulko T.: Z badań nad zawartością niektórych pierwiastków śladowych u sosny pospolitej (*Pinus silvestris*). Fol. for. pol. Seria A, z. 13. 1967.
2. Czarnowska K.: Zawartość miedzi w glebach wytworzonych z piasków różnej genezy. Zesz. probl. Post. Nauk rol. nr 50b, 1964.
3. Musajewa L. D., Kozłowa G. I.: Nakoplenie manganca w czernikie (*Vaccinium myrtillus* L.) w swiazi u usłowiami miestoobitanija. Biol. Nauki, nr 8, 1973.
4. Operat Urządzeniowy Nadleśnictwa Zielonka. 1963 (maszynopis).
5. Perkal J.: Matematyka dla przyrodników i rolników, cz. III. Warszawa 1963.
6. Rinkis G. J.: Metody uskorennogo kolorimetriczeskiego opredielenija mikroelementow w biologiczeskich obiektach. Riga 1963.
7. Sarosiek J. i Wachowska K.: Badania nad zawartością manganu, miedzi i kobaltu w glebie oraz w roślinach lasu bukowego w Muszkowicach na Dolnym Śląsku. Acta Soc. Bot. Pol. t. 29, nr 1, 1960.
8. Wachowska-Serwatka K.: Zmiany zawartości niektórych makro- i mikroelementów w okresie wegetacyjnym. Acta Univ. Wratisl. nr 16, 1963.