

WPLYW ZRÓŻNICOWANEGO NAWADNIANIA I NAWOŻENIA NA GOSPODARKE NIEKTÓRYMI SKŁADNIKAMI MINERALNYMI U TOPOLI, MODRZEWIA I SOSNY

Maria Kosińska

WSTĘP

Prowadzenie racjonalnej gospodarki wodno-nawożeniowej na leśnych powierzchniach uprawowych nie jest łatwe z uwagi na złożony charakter układu, kształtowanego przez właściwości siedliska i rośliny drzewiaste. Trudności te występują również w stosowaniu zaleceń opracowanych dla poszczególnych gatunków drzew [1]. Sprawa komplikuje się jeszcze bardziej, gdy konwencjonalny sposób nawadniania i nawożenia próbujemy zastąpić zabiegami nietypowymi, posiadającymi wielorakie działanie uboczne. Przykładem może być próba wykorzystania w tym celu ścieków miejskich. Fakt, że dostarczają one wody i składników pokarmowych nie upoważnia do stosowania ich bez uprzednich dokładnych badań, obejmujących zarówno środowisko glebowe jak i rośliny.

We frakcji mineralnej ścieków miejskich rzeki Ner występują w zasadzie wszystkie niezbędne roślinom mikro- i makroelementy [4]. Zawartość ich ulega jednak wahaniom, wzajemne proporcje odbiegają od stanu wymaganej przez rośliny równowagi jonowej, a obecność dużych stężeń sodu i chloru może oddziaływać ujemnie na gospodarkę wodną i pokarmową. Wydawało się zatem celowe prześledzenie procesu gromadzenia składników mineralnych w topoli, modrzewiu i sosnie, nawożonych ściekami miejskimi, w porównaniu — przede wszystkim — z roślinami rosnącymi w optymalnych warunkach żywienia mineralnego. Informacje te mogą się okazać pomocne przy interpretacji całokształtu procesów wzrostu i gromadzenia biomasy u badanych gatunków drzew.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie z topolą, modrzewiem i sosną prowadzono w Puczniewie na izolowanych folią poletkach o wymiarach 5×5 m. Zgodnie z przyjętym schematem [9] zabiegami wodno-nawożeniowymi objęto 21 poletek, po 7 kombinacji pod każdym z badanych gatunków drzew. Nawadnianie (25 mm ścieków miejskich lub wody studziennej) i nawożenie (ściekopodobną dawką składników mineralnych) stosowano raz w tygodniu w okresie od maja do września. Nawożenie mineralne klasyczne zastosowano w całości (w dwóch dozach) przed fazą silnego wzrostu roślin, a więc w maju i w czerwcu. W przeliczeniu na cały okres wegetacji rośliny rosnące w warunkach ściekopodobnego nawożenia mineralnego, zbliżonego do ścieków pod względem składu frakcji mineralnej, otrzymały: azotu 153 g (w postaci $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ i NH_4Cl), fosforu 30 g (w superfosfacie), potasu 120 g (w KCl), wapnia 690 g (z wody, saletry wapniowej, superfosfatu i CaCl_2), magnezu 72 g (w $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sodu — 900 g (w NaCl) i chloru 2250 g (z NH_4Cl , KCl , NaCl i CaCl_2). Jednorazowa dawka tygodniowa wynosiła 1/20 wyżej wymienionych wartości.

W klasycznym nawożeniu mineralnym stosowano: azot w postaci $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 240 g/poletko/okres wegetacji, fosfor w superfosfacie — 300 g dla topoli i 270 g dla gatunków iglastych, potas w postaci KCl i K_2SO_4 — 350 g topola i 240 g iglaste oraz magnez w $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 90 g.

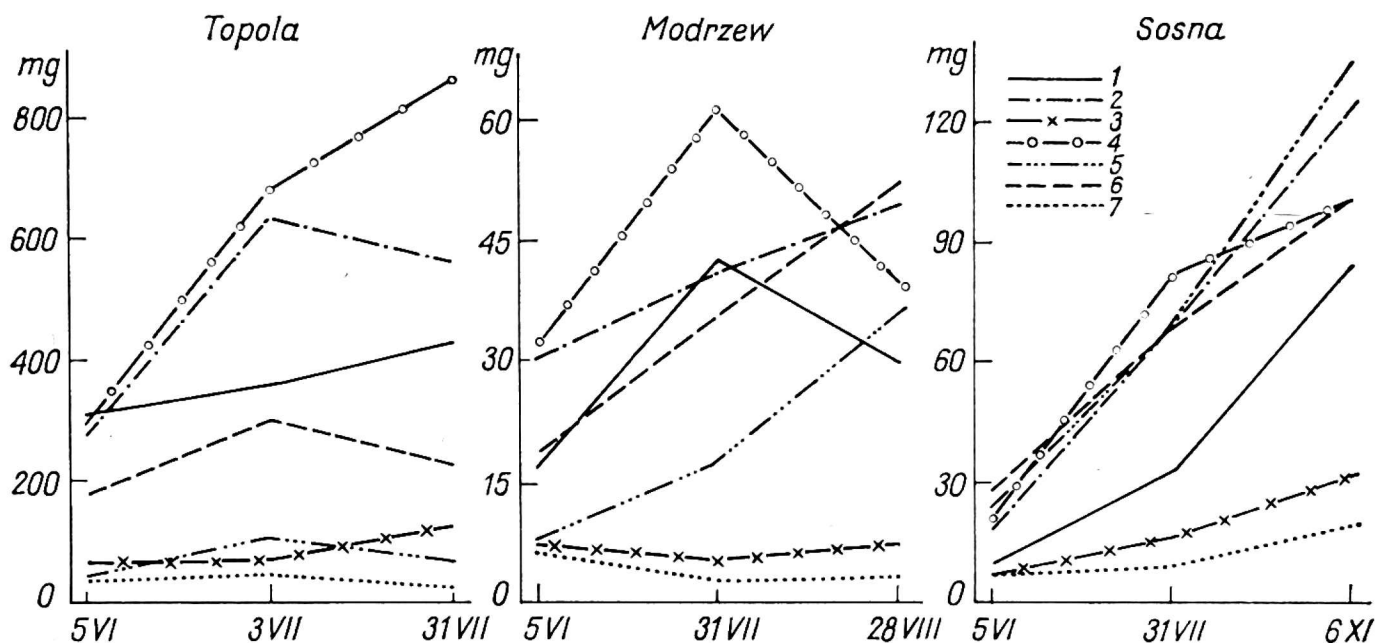
Badania zawartości niektórych makro- i mikrośladników wykonywano w materiale roślinnym, zbieranym do oznaczeń dynamiki wzrostu i gromadzenia biomasy [10]. W 1974 r. analizy przeprowadzono trzykrotnie, a w trzecim roku doświadczenia przebadano materiał roślinny w 5 z 11 zbiorów. W liściach i pędach topoli oraz w igliwiu, pędach i korzeniach modrzewia i sosny oznaczano zawartość K, Na, Ca, Mg, a także Fe, Mn, Zn i Cu, posługując się metodą absorpcji atomowej po spopiehleniu próbek w temperaturze 500°C i rozpuszczeniu popiołu w 20-procentowym HCl . W roku 1974 wykonano orientacyjne analizy na zawartość chloru w organach asymilacyjnych badanych gatunków oraz w korzeniach modrzewia i sosny. Zawartość chloru oznaczano metodą opartą na reakcji jonów Cl z kationami Hg w obecności dwufenylokarbazonu.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zależność sezonowej dynamiki gromadzenia składników mineralnych od zabiegów wodno-nawożeniowych ujawniła się w 1974 roku. Ponieważ w następnym sezonie wegetacyjnym uzyskano potwierdzenie dokonanych obserwacji, za podstawę niniejszego omówienia przyjęto dane z roku

1975. W tabelach 1, 2 i 3 przedstawiono procentową i absolutną zawartość oznaczanych makroelementów. Wykresy (rys. 1-4) obrazują sezonową dynamikę gromadzenia tych składników w organach asymilacyjnych roślin.

Intensywne pobieranie i kumulację potasu stwierdzono u wszystkich badanych gatunków, rosnących w warunkach klasycznego nawożenia mineralnego z wodą (rys. 1). Odnosi się to zwłaszcza do fazy wykształcania



Rys. 1. Dynamika gromadzenia potasu w liściach topoli oraz igłach modrzewia i sosny w roku 1975; 1 — ścieki miejskie, 2 — nawożenie mineralne ściekopodobne z wodą, 3 — woda czysta, 4 — nawożenie mineralne klasyczne z wodą, 5 — nawożenie mineralne ściekopodobne, 6 — nawożenie mineralne klasyczne, 7 — kontrola

i wzrostu aparatu asymilacyjnego. Zaspokajanie zapotrzebowania na potas przebiegało również korzystnie na ściekopodobnej dawce składników mineralnych z nawadnianiem. Nieco mniej K znaleziono w organach asymilacyjnych roślin z kombinacji ściekowej. Zawartość tego składnika w pędach topoli nawożonej ściekami była znacznie niższa niż w warunkach żywienia mineralnego (tab. 1), co może wskazywać na zakłócenia w przemieszczaniu się potasu z liści do innych organów.

W niemałym stopniu gospodarka potasem w badanych gatunkach drzew uzależniona była od czynnika wody. I tak topole z nie nawadnianej kombinacji klasycznej pobrały go znacznie mniej niż rośliny zaopatrzone w wodę. U sosny nie stwierdzono wpływu nawadniania na gromadzenie się tego składnika. Dynamika kumulacji potasu w igłach modrzewia obu kombinacji klasycznych miała odmienny przebieg sezonowy, ale jego zawartość w końcowej fazie wegetacji była podobna w omawianych wariantach doświadczenia (rys. 1), a w pędach i korzeniach większa, mimo

T a b e l a 1

Zawartość makroelementów (Na, K, Ca i Mg) w części nadziemnej topoli
(w mg/organ i procentach suchej masy — średnie z 7 roślin)

Nr polet- ka	Kombinacja	Skład- nik	Liście						Pędy					
			5 VI		31 VII		5 VI		31 VII					
			mg	%	mg	%	mg	%	mg	%				
1.	Ścieki miejskie	Na	8,9	0,048	31,8	0,095	6,0	0,022	10,9	0,026				
		K	314,5	1,70	435,5	1,30	24,6	0,09	193,2	0,46				
		Ca	149,9	0,81	298,2	0,89	111,9	0,41	201,6	0,48				
		Mg	57,4	0,31	113,2	0,34	16,4	0,06	37,8	0,09				
	Sucha masa org. w g		18,5		33,5		27,3		42,0					
2.	Nawożenie mineralne ściekopodobne z wodą	Na	6,6	0,042	15,9	0,052	5,9	0,027	7,7	0,017				
		K	285,7	1,82	573,4	1,88	97,7	0,45	316,4	0,70				
		Ca	127,2	0,81	314,2	1,03	82,5	0,38	239,6	0,53				
		Mg	50,2	0,32	143,4	0,47	23,9	0,11	49,7	0,11				
	Sucha masa org. w g		15,7		30,5		21,7		45,2					
3.	Woda czysta	Na	2,2	0,017	6,3	0,025	6,1	0,038	4,4	0,014				
		K	66,6	0,52	120,0	0,48	111,1	0,69	74,6	0,24				
		Ca	99,8	0,78	300,0	1,20	74,1	0,46	155,5	0,50				
		Mg	42,2	0,33	152,5	0,61	22,5	0,14	34,2	0,11				
	Sucha masa org. w g		12,8		25,0		16,1		31,1					

4.	Nawożenie mineralne klasyczne										
	z wodą										
	Na	4,8	0,029	16,7	0,047	4,7	0,015	10,4	0,016		
	K	298,8	1,80	866,2	2,44	127,1	0,41	493,2	0,76		
	Ca	126,2	0,76	284,0	0,80	133,3	0,43	324,5	0,50		
	Mg	54,8	0,33	131,4	0,37	37,2	0,12	64,9	0,10		
	Sucha masa org. w g										
		16,6		35,5		31,0		64,9			
5.	Nawożenie mineralne ściekopodobne										
	Na	3,2	0,123	2,7	0,059	3,3	0,056	2,5	0,030		
	K	43,9	1,69	69,3	1,54	22,3	0,36	23,2	0,28		
	Ca	17,7	0,68	29,7	0,66	30,4	0,49	35,7	0,43		
	Mg	8,1	0,31	14,0	0,31	6,8	0,11	7,5	0,09		
	Sucha masa org. w g										
		2,6		4,5		6,2		8,3			
6.	Nawożenie mineralne klasyczne										
	Na	3,0	0,027	5,1	0,037	6,1	0,032	4,2	0,020		
	K	182,6	1,66	230,7	1,66	58,9	0,31	114,5	0,54		
	Ca	52,8	0,48	104,3	0,75	87,4	0,46	106,0	0,50		
	Mg	30,8	0,28	59,8	0,43	22,8	0,12	23,3	0,11		
	Sucha masa org. w g										
		11,0		19,0		13,9		21,2			
7.	Kontrola										
	Na	1,6	0,031	1,3	0,031	1,8	0,021	0,8	0,014		
	K	38,5	0,74	25,6	0,61	12,0	0,14	5,2	0,09		
	Ca	19,8	0,38	25,6	0,61	34,4	0,40	21,5	0,37		
	Mg	8,3	0,16	7,1	0,17	6,9	0,08	3,5	0,06		
	Sucha masa org. w g										
		5,2		8,6		4,2		5,8			

mniejszej masy organów (tab. 2). Nie tak intensywne, jak u sosny, gromadzenie potasu w igłach modrzewia, rosnącego na ściekopodobnej dawce mineralnej bez wody, prowadzi do zachwiania równowagi jonowej i jest prawdopodobnie jedną z przyczyn nekrozy igliwia i wierzchołków pędów.

Przebieg gromadzenia K w sezonie (rys. 1) oraz zawartość procentowa w organach asymilacyjnych roślin kontrolnych i nawadnianych jedynie wodą czystą (tab. 1, 2 i 3) wskazują na słuszność danych Koneckiej-Betley [9] o niskiej zasobności gleby w ten składnik.

Stopień kumulacji sodu w organach roślin wiąże się z poziomem udziału tego pierwiastka w stosowanym nawożeniu. Był on najwyższy w kombinacji ściekowej i w warunkach ściekopodobnego nawożenia mineralnego. Badane gatunki różniły się między sobą tak zawartością Na w poszczególnych organach (tab. 1, 2 i 3), jak i dynamiką gromadzenia tego składnika w liściach i igliwiu w sezonie (rys. 2). Największe ilości sodu stwierdzono w liściach topoli kombinacji ściekowej i na mineralnym nawożeniu ściekopodobnym z wodą. W tym wariacie intensywność gromadzenia Na w okresie wykształcania aparatu asymilacyjnego przewyższała wszystkie pozostałe kombinacje, by następnie spaść w fazie osiągnięcia pełnej dojrzałości liści. Natomiast kumulacja sodu w organach asymilacyjnych topoli na ściekach rosła w sposób ciągły (rys. 2), osiągając wartość dwukrotnie wyższą niż w kombinacjach nawożonych mineralną dawką ściekopodobną. Podobnie jak w przypadku potasu i — być może z tej samej przyczyny — w pędach topoli ze ścieków miejskich znaleziono stosunkowo małe ilości sodu (tab. 1).

Modrzew i sosna intensywniej pobierały sód w warunkach obu kombinacji ściekopodobnego nawożenia mineralnego niż ze ścieków miejskich. Zwłaszcza forma bezwodna tej kombinacji sprzyjała gromadzeniu się składnika w starszych igłach (rys. 2), co u modrzewia przyczyniało się do występowania silnego porażenia tych organów. Sosna, u której produkcja biomasy była tylko nieznacznie zaniżona w stosunku do pozostałych kombinacji nawożonych, wykazała objawy nekrotyczne na mniejszej liczbie osobników, a po zrzuconiu porażonych igieł rośliny kontynuowały wzrost. W przeciwieństwie do topoli gatunki iglaste, rosnące na poletkach nawożonych ściekopodobnie i na ściekach miejskich, kumulowały znaczne ilości sodu w pędach i korzeniach (tab. 2, 3).

Dynamikę sezonową gromadzenia wapnia i magnezu cechowało duże podobieństwo, dlatego też gospodarce tymi składnikami potraktowano wspólnie, uwzględniając jedynie różnice wynikające z wymagań badanych gatunków drzew. Oba składniki wprowadzane były nie tylko z nawożeniem, lecz również z wodą zawierającą znaczne domieszki tych kationów.

Jak widać z rysunku 3 i 4, w fazie wykształcania się liści u topoli

najdynamiczniej gromadzą Ca i Mg rośliny na ściekopodobnym nawożeniu mineralnym z wodą. Ścieki miejskie, klasyczne nawożenie mineralne z nawadnianiem, a także stosowanie samego polewu wodą stwarzały nie mniej korzystne warunki kumulacji tych składników, czego dowodem jest ich zawartość w dojrzałych liściach, jak również zawartość procentowa (tab. 1). W warunkach klasycznego nawożenia mineralnego bez nawadniania młode liście zawierały niemal dwukrotnie, a w okresie pełnej dojrzałości trzykrotnie mniej wapnia i magnezu niż rośliny na czystej wodzie. Najbardziej ubogie w Ca i Mg były liście i pędy topoli rosnącej na ściekopodobnym nawożeniu mineralnym bez wody i na kontroli.

Gromadzeniu się wapnia i magnezu w igliwiu modrzewia i sosny oraz wapnia w pędach i korzeniach (rys. 3 i 4, tab. 2 i 3) sprzyjało współdziałanie czynników nawożenia i nawadniania, ale zależność ta byłaznaczona dużo słabiej niż u topoli. Dowodem tego może być wysoka zawartość obu składników w dojrzałych igłach modrzewia i sosny na poletkach nawożonych klasycznie, ale nie nawadnianych. Wskazuje to na zdolność efektywnego wykorzystywania składników mineralnych w mniej sprzyjających warunkach zaopatrzenia w wodę. Rośliny kontrolne i żywione ściekopodobnie, nie nawadniane, pobrały najmniejsze ilości Ca i Mg.

Dysproporcje między makro- i mikroelementami oraz obecność dużych ilości sodu i chloru w ściekach miejskich i w ściekopodobnej dawce składników mineralnych mogły spowodować zachwianie równowagi jonowej w roślinach. Akumulacja Na powinna odbić się na stosunku $(Ca + Mg)$ do $(Na + K)$, będącym pewnym wskaźnikiem statusu jonowego testowanych gatunków. Jak widać z tabeli 4, na tle różnic gatunkowych zarysowała się zależność od nawożenia, obecności lub braku wody i wielkości liści czy igieł. Wszędzie tam, gdzie stosunek kationów dwu- do jednowartościowych był niski i utrzymywał się na równym poziomie w okresie wegetacji, stwierdzono silniejsze lub słabsze objawy porażenia roślin. Nie dotyczy to kombinacji klasycznej z topolą, gdzie nie zauważono żadnych oznak stresu, a wielkość stosunku kształtowana była gromadzeniem potasu a nie sodu. Wartością graniczną, poniżej której występuje u topoli porażenie nekrotyczne liści, jest prawdopodobnie stosunek $(Ca + Mg)$ do $(Na + K) = 0,5$; oczywiście w warunkach ściekopodobnego żywienia mineralnego. U modrzewia, nawet w obecności wody, pierwsze objawy zasychania igieł występowały przy stosunku równym 0,5, a spadek tej wartości do 0,3 w kombinacji nie nawadnianej zbiegał się z ostrymi oznakami nekrotycznymi. Mimo znacznego — jak się wydaje — zachwiania równowagi jonowej, sosna okazała się gatunkiem najodporniejszym na stres.

Rolę ochronną, zwłaszcza w przypadku topoli, odgrywał stopień za-

Tabela 2

Zawartość makroelementów (Na, K, Ca i Mg) w organach modrzewia
(w mg/organ i procentach suchej masy — średnie z 15 roślin)

Nr polet- ka	Kombinacja	Skład- nik	Igły						Pędy						Korzenie					
			5 VI		28 VIII		5 VI		28 VIII		5 VI		28 VIII		5 VI		28 VIII			
			mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%		
9.	Ścieki miejskie	Na	2,0	0,063	2,0	0,038	1,9	0,049	6,7	0,072	1,8	0,166	4,8	0,210						
		K	17,0	0,53	30,2	0,57	29,6	0,78	23,3	0,25	2,0	0,18	3,5	0,15						
		Ca	2,6	0,08	15,9	0,30	6,1	0,16	16,7	0,18	2,2	0,20	4,6	0,20						
		Mg	6,1	0,19	11,7	0,22	4,6	0,12	6,5	0,07	0,8	0,07	1,4	0,06						
	Sucha masa org. w g	3,2		5,3		3,8		9,3		1,1		2,3								
10.	Nawożenie mineralne ściekopodobne z wodą	Na	3,3	0,139	2,9	0,067	5,5	0,144	12,3	0,132	2,2	0,321	6,2	0,280						
		K	30,5	1,27	49,9	1,16	23,9	0,63	35,3	0,38	2,4	0,34	5,3	0,24						
		Ca	7,0	0,29	14,6	0,34	6,8	0,18	16,7	0,18	1,8	0,25	4,2	0,19						
		Mg	5,5	0,23	10,3	0,24	4,2	0,11	6,5	0,07	0,5	0,07	1,5	0,07						
	Sucha masa org. w g	2,4		4,3		3,8		9,3		0,7		2,2								
11.	Woda czysta	Na	1,3	0,041	0,4	0,010	0,6	0,021	1,1	0,022	0,4	0,041	1,0	0,049						
		K	7,4	0,24	7,4	0,19	5,9	0,21	1,5	0,03	1,2	0,13	1,0	0,05						
		Ca	8,1	0,26	12,1	0,31	5,6	0,20	14,8	0,29	2,3	0,26	4,8	0,24						
		Mg	5,6	0,18	9,4	0,24	3,4	0,12	4,6	0,09	0,6	0,07	1,6	0,08						
	Sucha masa org. w g	3,1		3,8		2,8		5,1		0,9		2,0								

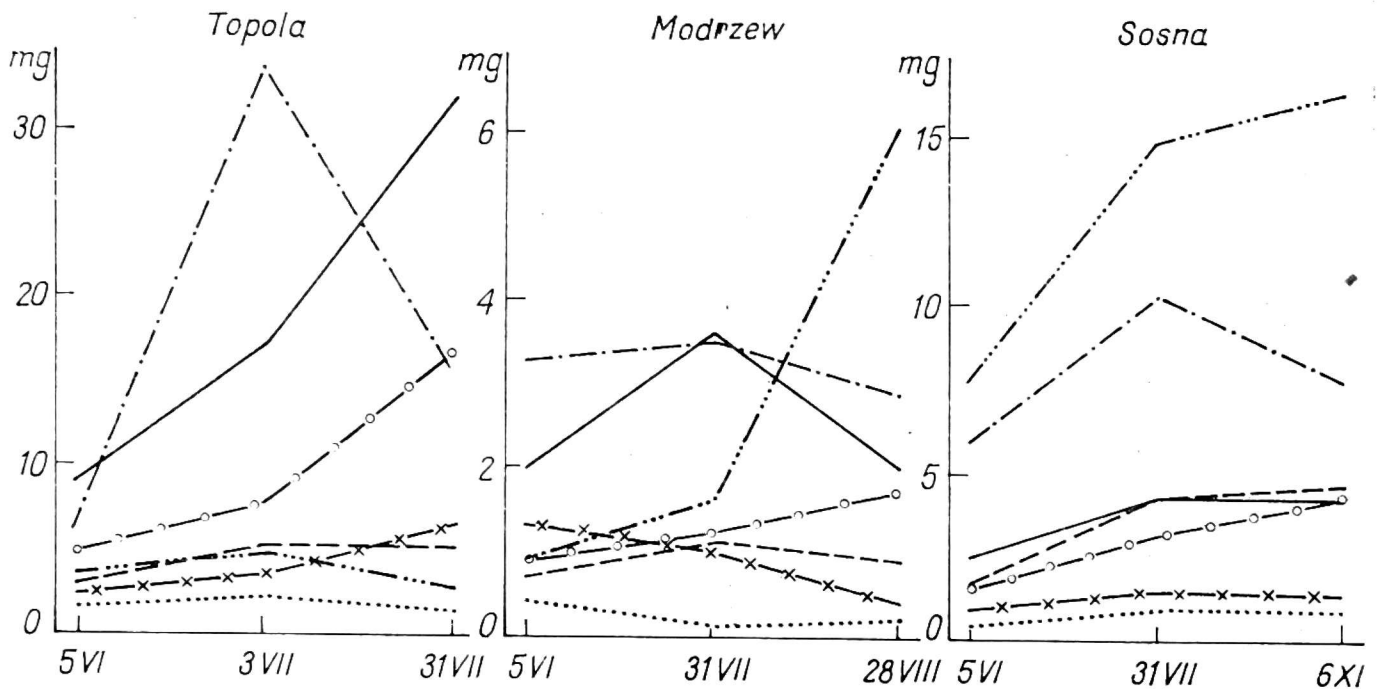
12.	Nawożenie mineralne klasyczne z wodą	Na	0,9	0,021	1,7	0,024	0,8	0,016	4,3	0,037	0,6	0,029	1,1	0,037
		K	32,3	0,77	40,7	0,59	20,8	0,40	17,3	0,15	4,0	0,21	4,7	0,15
		Ca	12,6	0,30	21,4	0,31	10,4	0,20	21,9	0,19	5,3	0,28	7,1	0,23
		Mg	8,4	0,20	15,9	0,23	5,2	0,10	8,1	0,07	1,3	0,07	2,5	0,08
	Sucha masa org. w g		4,2		6,9		5,2		11,5		1,9		3,1	
13.	Nawożenie mineralne ściekopodobne	Na	0,9	0,093	6,1	0,192	2,5	0,169	7,1	0,221	1,4	0,289	2,8	0,316
		K	8,0	0,80	36,2	1,13	8,1	0,54	17,9	0,56	1,3	0,26	2,2	0,24
		Ca	2,3	0,23	7,7	0,24	2,4	0,16	5,1	0,16	0,8	0,15	1,2	0,13
		Mg	1,3	0,13	6,4	0,20	1,7	0,11	2,6	0,08	0,3	0,06	0,5	0,06
	Sucha masa org. w g		1,0		3,2		1,5		3,2		0,5		0,9	
14.	Nawożenie mineralne klasyczne	Na	0,7	0,027	0,9	0,014	0,8	0,022	3,4	0,39	0,3	0,028	0,6	0,028
		K	19,0	0,76	52,3	0,83	9,3	0,25	24,1	0,28	2,5	0,23	5,3	0,24
		Ca	8,3	0,33	19,5	0,31	6,7	0,18	20,6	0,24	2,1	0,19	4,6	0,21
		Mg	4,8	0,19	15,1	0,24	3,3	0,09	6,9	0,08	0,8	0,07	1,5	0,07
	Sucha masa org. w g		2,5		6,3		3,7		8,6		1,1		2,2	
15.	Kontrola	Na	0,4	0,024	0,2	0,011	0,3	0,025	0,4	0,017	0,2	0,031	0,4	0,027
		K	6,5	0,43	3,6	0,19	1,8	0,15	0,8	0,03	0,9	0,13	0,7	0,05
		Ca	3,5	0,23	5,5	0,29	2,5	0,21	7,0	0,28	1,0	0,14	1,7	0,13
		Mg	1,7	0,11	2,2	0,12	0,8	0,07	1,5	0,06	0,3	0,04	0,7	0,05
	Sucha masa org. w g		1,5		1,9		1,2		2,5		0,7		1,3	

Tabela 3

Zawartość makroelementów (Na, K, Ca i Mg) w organach sosny
(w mg/organ i procentach suchej masy — średnie z 15 roślin)

Nr polet- ka	Kombinacja	Skład- nik	Igły						Pędy						Korzenie					
			5 VI		6 XI		5 VI		6 XI		5 VI		6 XI		5 VI		6 XI			
			mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%		
17.	Ścieki miejskie	Na	2,5	0,075	4,3	0,029	0,7	0,038	2,7	0,026	1,0	0,122	4,3	0,083						
		K	9,9	0,30	83,4	0,56	6,1	0,32	13,7	0,13	1,0	0,13	17,2	0,33						
		Ca	7,9	0,24	50,7	0,34	3,0	0,16	20,0	0,19	1,4	0,18	8,3	0,16						
		Mg	3,3	0,10	22,4	0,15	1,3	0,07	9,5	0,09	0,5	0,06	2,1	0,04						
		Sucha masa org. w g	3,3		14,9		1,9		10,5		0,8		5,2							
18.	Nawożenie mineralne ściekopodobne z wodą	Na	5,9	0,152	7,8	0,040	4,6	0,158	5,2	0,043	1,6	0,179	6,0	0,091						
		K	19,9	0,51	123,5	0,63	16,8	0,58	9,8	0,08	1,7	0,19	27,1	0,41						
		Ca	10,9	0,28	60,8	0,31	4,4	0,15	24,4	0,20	1,9	0,21	12,5	0,19						
		Mg	5,5	0,14	31,4	0,16	2,0	0,07	9,8	0,08	0,9	0,10	3,3	0,05						
		Sucha masa org. w g	3,9		19,6		2,9		12,2		0,9		6,6							
19.	Woda czysta	Na	0,9	0,029	1,3	0,015	0,8	0,044	0,9	0,015	0,3	0,052	0,6	0,027						
		K	7,8	0,25	31,7	0,36	4,0	0,21	8,9	0,15	0,7	0,11	6,6	0,30						
		Ca	10,2	0,33	38,7	0,44	3,6	0,19	15,3	0,26	1,3	0,21	7,7	0,35						
		Mg	4,0	0,13	15,0	0,17	1,3	0,07	5,3	0,09	0,6	0,10	1,3	0,06						
		Sucha masa org. w g	3,1		8,8		1,9		5,9		0,6		2,2							

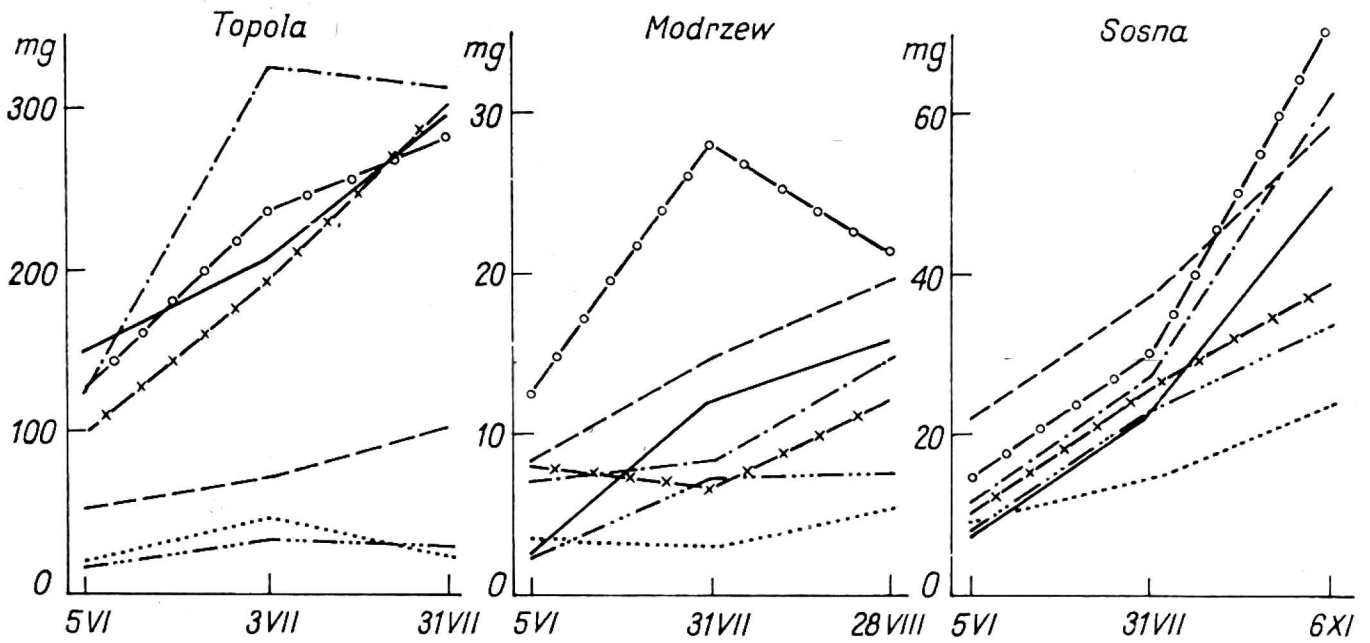
20.	Nawożenie mineralne	Na	1,5	0,031	4,3	0,023	0,4	0,011	2,0	0,014	0,4	0,037	1,3	0,022
	klasyczne z wodą	K	20,2	0,43	100,4	0,54	14,6	0,43	20,3	0,14	2,0	0,18	22,0	0,38
		Ca	14,6	0,31	70,7	0,38	6,8	0,20	29,0	0,20	2,2	0,20	18,0	0,31
		Mg	5,6	0,12	27,9	0,15	2,4	0,07	11,6	0,08	1,1	0,10	2,9	0,05
	Sucha masa org. w g		4,7		18,6		3,4		14,5		1,1		5,8	
21.	Nawożenie mineralne	Na	7,8	0,212	16,4	0,138	4,4	0,231	7,3	0,111	1,6	0,174	7,0	0,207
	ściekopodobne	K	24,4	0,66	134,5	1,13	12,2	0,64	19,8	0,30	1,2	0,13	17,0	0,50
		Ca	8,5	0,23	33,8	0,28	2,7	0,14	7,3	0,11	1,3	0,14	5,8	0,17
		Mg	4,4	0,12	16,7	0,14	1,3	0,07	4,6	0,07	0,6	0,07	1,4	0,04
	Sucha masa org. w g		3,7		11,9		1,9		6,6		0,9		3,4	
22.	Nawożenie mineralne	Na	1,6	0,022	4,5	0,024	1,1	0,026	1,6	0,014	0,5	0,028	1,1	0,020
	klasyczne	K	27,7	0,39	100,2	0,53	13,1	0,32	19,7	0,17	3,4	0,20	21,2	0,40
		Ca	22,0	0,31	58,6	0,31	7,4	0,18	16,2	0,14	2,6	0,15	10,1	0,19
		Mg	6,4	0,09	22,7	0,12	2,9	0,07	9,3	0,08	1,5	0,09	2,7	0,05
	Sucha masa org. w g		7,1		18,9		4,1		11,6		1,7		5,3	
23.	Kontrola	Na	0,4	0,016	0,8	0,012	0,2	0,013	0,5	0,012	0,2	0,040	0,6	0,024
		K	7,3	0,26	17,4	0,26	1,4	0,10	3,9	0,10	0,4	0,06	7,9	0,33
		Ca	9,5	0,34	23,5	0,35	2,9	0,21	6,2	0,16	0,8	0,14	3,6	0,15
		Mg	2,5	0,09	6,0	0,09	1,0	0,07	2,7	0,07	0,7	0,12	2,6	0,05
	Sucha masa org. w g		2,8		6,7		1,4		3,9		0,6		2,4	



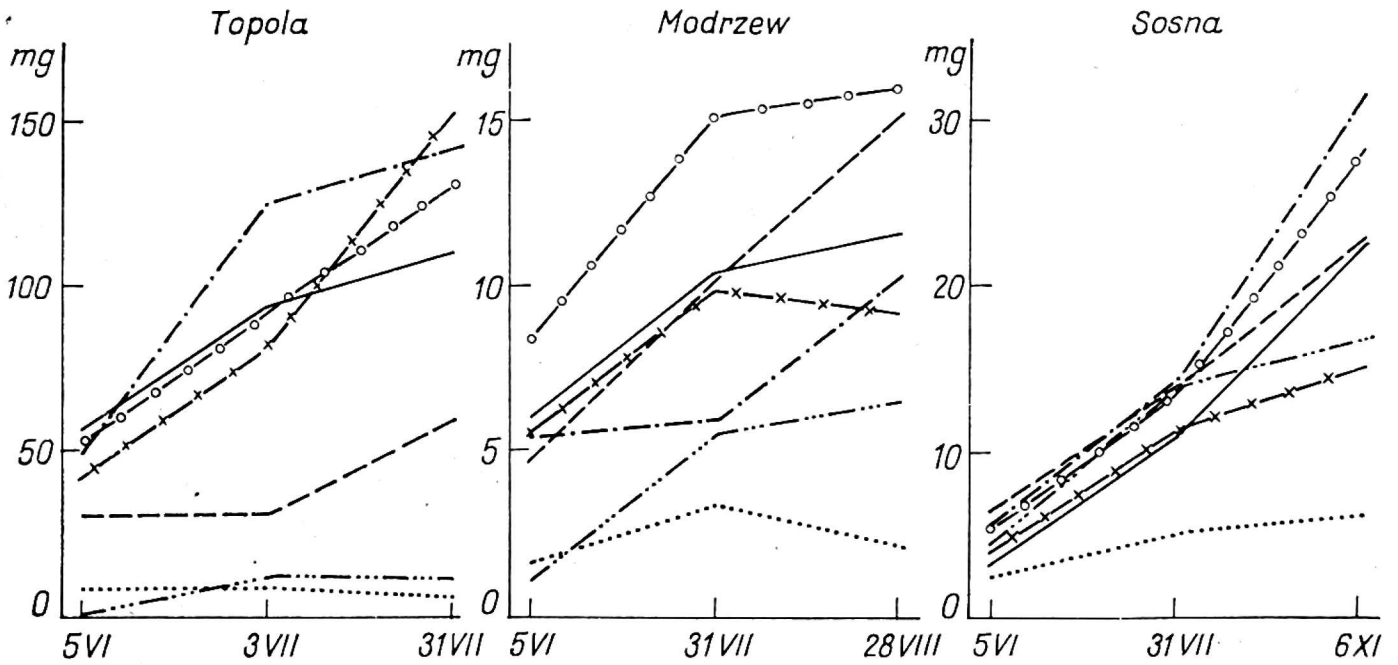
Rys. 2. Dynamika gromadzenia sodu w liściach topoli oraz igłach modrzewia i sosny w roku 1975; objaśnienia jak na rys. 1

opatrzenia roślin w wodę. Przy siedmiokrotnie mniejszej masie liści (tab. 1), wyprodukowanej w warunkach ściekopodobnego nawożenia mineralnego bez wody, organy te nagromadziły siedmiokrotnie mniej potasu, wapnia i magnezu, a tylko dwukrotnie mniej sodu niż rośliny bliźniaczej kombinacji nawadnianej. U gatunków iglastych niedobór wody ograniczał w większym stopniu gromadzenie wapnia i magnezu niż potasu. W porównaniu z wariantem nawadnianym pierwiastek ten pobierany był przez modrzew w niewiele mniejszych, a przez sosnę nawet w większych ilościach. Kumulacja sodu i zachwianie równowagi jonowej mogło wpłynąć na gospodarkę wodną i wzmóc bierne pobieranie chloru [14]. Według danych z 1974 r. zawartość procentowa Cl w liściach topoli oraz igliwiu modrzewia i sosny, rosnących na ściekach, wynosiła odpowiednio 2,6 2,2 i 3,4%. W warunkach ściekopodobnego nawożenia mineralnego z wodą wartości te równały się: topola — 3,0, modrzew 3,0, sosna 2,5%, zaś bez nawadniania — 3,0, 2,5 i 3,4%. Mimo wysokiej i zbliżonej w omawianych kombinacjach zawartości chloru efekt toksyczny ujawnił się u topoli i sosny jedynie w wariantach nie nawadnianych. Modrzew okazał się gatunkiem najbardziej podatnym na stres.

Wahania w zawartości niektórych mikroelementów w organach testowanych roślin (tab. 5) nie wskazują raczej na powiązanie ze stosowanymi zabiegami wodno-nawożeniowymi. Na ściekach miejskich wzrasta nieco kumulacja cynku u topoli, a kontrolny modrzew i sosna gromadzą znaczne ilości manganu.



Rys. 3. Dynamika gromadzenia wapnia w liściach topoli oraz igłach modrzewia i sosny w roku 1975; objaśnienia jak na rys. 1



Rys. 4. Dynamika gromadzenia magnezu w liściach topoli oraz igłach modrzewia i sosny w roku 1975; objaśnienia jak na rys. 1

Tabela 4

Wpływ zabiegów wodno-nawożeniowych na stosunek kationów dwuwartościowych do jednowartościowych (Ca+Mg):(K+Na) w liściach topoli i igliwiu modrzewia i sosny (mg/g suchej masy)

Roślina	Ścieki miejskie	Nawożenie mineralne ściekopodobne z wodą	Woda czysta	Nawożenie mineralne klasyczne z wodą	Nawożenie mineralne ściekopodobne	Nawożenie mineralne klasyczne	Kontrola
Topola							
5 VI	0,6	0,6	2,0	0,6	0,5	0,4	0,7
31 VII	0,9	0,8	3,5	0,5	0,6	0,7	1,2
Modrzew							
5 VI	0,5	0,4	1,5	0,6	0,4	0,6	0,7
28 VIII	0,9	0,5	2,7	0,9	0,3	0,7	2,0
Sosna							
5 VI	0,9	0,6	1,6	0,9	0,4	0,9	1,5
6 XI	0,8	0,7	1,6	0,9	0,3	0,8	1,3

W przedstawionym doniesieniu zajęto się wybranym fragmentem gospodarki składnikami pokarmowymi u topoli, modrzewia i sosny, dotyczącym dynamiki gromadzenia kationów jedno- i dwuwartościowych. Chodziło mianowicie o ewentualne uchwycenie przyczyn, dla których niezrównoważone jonowo i zawierające duże ilości sodu i chloru ścieki miejskie nie działają toksycznie na traktowane nimi rośliny, nawet przy wysokich dawkach polewowych [3]. Czynnikiem buforującym może być wymykająca się, jak dotąd, spod kontroli frakcja organiczna, a także fakt, że ścieki miejskie są swoistą pożywką płynną, w której substancje łatwo rozpuszczalne występują w postaci roztworu, co z jednej strony wpływa na ich pobieranie przez rośliny, z drugiej zaś może przyspieszać proces wmywania.

Wprowadzenie do doświadczenia kombinacji odpowiadającej w przybliżeniu frakcji mineralnej ścieków i zastosowanie dwóch jej wariantów (z dodatkiem wody i bez nawadniania) pozwoliło przynajmniej częściowo scharakteryzować gospodarkę składnikami mineralnymi u badanych gatunków, poddanych nietypowym zabiegom nawożeniowym. Porównanie z roślinami, dysponującymi optymalną dawką składników pokarmowych [1, 2, 7] dowiodło, że procesy wzrostu, gromadzenia biomasy i kumulacji kationów przebiegały prawidłowo [8, 11, 13], pod warunkiem dostarczenia wody, zwłaszcza gatunkom wrażliwym na jej niedobór (topola i modrzew). Nawadnianie sprzyjało intensywnemu pobieraniu zarówno potasu jak wapnia i magnezu w takim stopniu, że gromadzenie związków

Tabela 5

Zawartość mikroelementów (Fe, Mn, Zn, Cu) w organach asymilacyjnych topoli, modrzewia i sosny w ppm — średnie z 7 (topola) i 15 (modrzew i sosna) roślin

Kombinacja	Topola				Modrzew				Sosna			
	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu
Ścieki miejskie	85	175	526	6	65	155	40	3	60	265	54	5
Nawożenie mineralne ścię- kopodobne z wodą	90	120	207	5	85	120	37	5	75	170	53	6
Woda czysta	75	85	341	5	95	335	30	4	55	375	62	3
Nawożenie mineralne kła- syczne z wodą	105	110	111	4	110	255	29	1	45	110	37	4
Nawożenie mineralne ścię- kopodobne	100	140	569	3	135	320	27	3	55	255	45	3
Nawożenie mineralne kła- syczne	60	455	192	4	90	380	36	3	60	315	54	4
Kontrola	40	375	250	2	140	840	37	3	55	550	48	3

U w a g a. Dane z dnia 31 VII 1975 r.

szonych ilości sodu nie naruszało równowagi jonowej roślin. Jednocześnie obecność wody przyczyniała się prawdopodobnie do obniżenia stężenia Cl w roztworze glebowym poniżej progu toksyczności dla roślin [9].

Topola, modrzew i sosna, rosnące w warunkach ściekopodobnego nawożenia mineralnego bez nawadniania, charakteryzowały się nadmierną akumulacją Na, niskim stosunkiem kationów dwu- do jednowartościowych, słabą dynamiką wzrostu i gromadzenia biomasy. Są to objawy towarzyszące stresowi solnemu. Na temat tego zjawiska istnieje obszerna literatura, dotyczy jednak głównie gatunków zielnych. Odczucie wrażliwości roślin drzewiastych dane są skąpe i fragmentaryczne. Badania Dobrzańskiego i in. [6] nad wpływem zanieczyszczeń w aglomeracjach miejskich na glebę i kompleksy terenów zielonych oraz Brogowskiego i in. [5], dotyczące oddziaływania emisji NaCl, są zgodne z uzyskanymi w toku niniejszego doświadczenia danymi o obniżaniu się stosunku $(Ca + Mg) : (Na + K)$, wzroście zawartości Na i Cl w organach asymilacyjnych i występowaniu objawów porażenia liści. Cytowani autorzy stwierdzili również, że reakcja badanych gatunków na te same czynniki toksyczne nie była jednakowa.

Przeprowadzając bardzo ostrożną analogię z roślinami zielnymi rosnącymi w warunkach stresu solnego, u których zasolenie powoduje zahamowanie wzrostu [12], fotosyntezy oraz zakłócenia w transporcie [15], można by tą samą przyczyną tłumaczyć reakcję badanych gatunków na ściekopodobne nawożenie bez wody. Są to wszakże rozważania czysto spekulatywne, gdyż uzyskane i prezentowane tu wyniki nie obejmują całokształtu gospodarki składnikami mineralnymi i jej powiązań z innymi procesami fizjologicznymi w stosowanych warunkach doświadczenia. Badania tego typu przewidziane są na najbliższe lata.

Kol. Jolancie Getner serdecznie dziękuję za ofiarną i niezwykle sprawną pomoc techniczną.

LITERATURA

1. Baule H., Fricker C.: Nawożenie drzew leśnych. PWRiL 1971.
2. Benjian B.: Experiments on nutrition problems in forest nurseries. Bull. For. Comm. Lond. HMSO, I/II, 1965, 251, 265.
3. Białkiewicz F.: Możliwości wykorzystania ścieków miejskich w gospodarstwie leśnym (doświadczenia lizymetryczne). Prace IBL, 487, 1974, 80-108.
4. Białkiewicz F., Rytel Z.: Zawartość składników pokarmowych w wodach rzeki Ner w latach 1957-1974. Zesz. probl. Post. Nauk rol., z. 204, 1978.
5. Brogowski Z., Czerwiński Z., Tuszyński M.: Wpływ emisji NaCl na gleby i roślinność okolic żupy solnej w Wieliczce. Roczn. glebozn., XXVI, 3, 1975, 257-276.
6. Dobrzański B., Czarnowska K., Czerwiński Z., Konecka-Betley K., Pracz J.:

- Badania gleboznawcze Parku Łazienkowskiego w Warszawie w nawiązaniu do ochrony środowiska. Roczn. Nauk rol., ser. A., T. 101, 1, 1975, 141-158.
7. Ingestad T.: Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Medd. F. St. Skogsf., 51/1, 1962/1963, 1-131,
 8. Keller T.: The influence of fertilization on gaseous exchange of forest trees species. Proc. Coll. For. Fert., 1967, 65-79.
 9. Konecka-Betley K., Czepińska-Kamińska D., Janowska E.: Wpływ nawodnienia, nawożenia i roślin drzewiastych na zawartość i dynamikę niektórych składników w glebach wytworzonych z piasków. Zesz. probl. Post. Nauk rol., z. 204, 1978.
 10. Kosińska M.: Badania porównawcze dynamiki wzrostu i gromadzenia biomasy u drzew leśnych, rosnących w warunkach zróżnicowanego nawodnienia. Zesz. probl. Post. Nauk rol., z. 204, 1978.
 11. Kozłowski T. T., Kramer P. J.: Physiology of forest trees. N. Y., Toronto, Lond., 1960.
 12. Levitt J.: Responses of plants to environmental stresses, Aca. Press. N. Y., Lond., 1972.
 13. Leyton L., Armson K. A.: Mineral composition of the foliage relation to the growth of Scots pine. Forest Sci., 1, 210-218.
 14. Łotocki A.: Wpływ aeracji podłoża i formy żywienia azotowego na produktywność fotosyntezy siewek sosny zwyczajnej (*Pinus silv.* L.). Praca doktorska IPPL SGGW—AR, 1973.
 15. Starck Z., Karwowska R., Kraszewska E.: The effect of several stress conditions and growth regulators on photosynthesis and translocation of assimilates in the bean plant. Acta Soc. Bot. Pol., XLIV, 4, 1975, 567-588.

М. Козиньска

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО ОРОШЕНИЯ И УДОБРЕНИЯ
НА ХОЗЯЙСТВОВАНИЕ НЕКОТОРЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ У ТОПОЛЯ, ЛИСТВЕННИЦЫ И СОСНЫ

Резюме

На лесном опытном объекте в Пучневе применено различное орошение и удобрение на 31 участках площадью 25 м² каждый, в культуре тополя, лиственницы и сосны, т.е.: орошение городскими сточными водами, чистой водой, минеральное удобрение, соответствующее по значению сточным водами, классическое минеральное удобрение, минеральное удобрение соответствующее сточным водам с одновременным орошением чистой водой, орошение чистой водой, орошение чистой водой с классическим минеральным удобрением. Орошение было применено в вегетационном периоде, с поливкой еженедельно дозой 25 мм. Для контроля были оставлены растения не орошаемые и не удобряемые. Совокупность опытов охватывала 7 вариантов (комбинации) для каждой древесной породы. Не менее трех раз во время вегетации было испытано состояние катионов фосфора и некоторых микроэлементов в листьях и побегах тополя а также в хвое, побегах и корнях лиственницы и сосны. В 1974 г. было обозначено тоже содержание хлора.

Общее стремление в хозяйствованию минеральными элементами были похожие в трех очередных годах опытов (1973-1975), а незначительные отклонения сезонной динамики касались чаще хвойных пород чем тополя. Накопление натрия и в меньшей степени калия в листьях тополя, хвои и корнях лиственницы и сосны наиболее ярко проявлялось у растений произрастающих на стокоподобных дозах минерального удобрения. Особенно в условиях недостатка воды бело это к задерживанию роста и накоплению биомассы а даже к некротическому заболеванию ассимиляционных органов, засыханию верхушек и гибели целых тополей и лиственницы. Сосна оказалась более прочной породой на соляной стресс. Сравнение двух комбинации минерального стокоподобного питания с классическим минеральным удобрением + вода, в котором содержание всех испытываемых элементов данной породы, показывает что процентная доля натрия в листьях и хвои была 2-5 кратно, а в корнях 10-кратно больше. В органах растений удобряемых и орошаемых сточными водами накапливается примерно 2 раза больше натрия. Накопление и хозяйствование калием у тополя происходило наиболее успешно в условиях классического минерального питания с водой (свыше 2% К в сухом веществе листьев), а потом в стокоподобной дозе минеральных элементов в водой (немного менее 2%) и на городских сточных водах (1,5%). Самое высокое процентное содержание калия обнаружено в хвои лиственницы, произрастающей на стокоподобном минеральном удобрению с водой (1,0-1,5%) по сравнению с ок. 0,25% у контрольных растений. Хвоя сосны классически удобряемой и стокоподобной дозой минеральных элементов с водой содержат 0,6% К, а удобряемые сточными водами 0,3%. В случае калия наблюдается положительная зависимость между удельным весом этого элемента а приростом биомассы. Влияние применяемых приёмов на содержание кальция, магния, а тоже фосфора в органах растений — незначительное. Только у лиственницы, в контрольных условиях и орошаемой водой сконстатировано в конце вегетации рост (до 0,7%) а в двух комбинациях удобряемых, но не орошаемых уменьшение (до 0,2%) доли фосфора в хвои. Анализ содержания Fe, Mn, Cu, Zn — в органах растений проявил существование незначительных сезонных отклонений. Применяемые приёмы оросительно-удобрительные не имеют существенного влияния на хозяйствование микроэлементами.

M. Kozińska

EFFECT OF DIFFERENTIATED IRRIGATION AND FERTILIZATION
UPON THE MANAGEMENT OF POPLAR, LARCH, AND PINE
WITH SOME MINERAL COMPONENTS

S u m m a r y

Differntiated irrigation and fertilization, namely: irrigation with municipal sewage, tap water, mineral fertilization equivalent in fertilizing value to sewage, classic mineral fertilization, mineral fertilization equivalent to sewage with simultaneous irrigation with tap water, and irrigation with tap water plus classic mineral fertilization, was applied in the forest experimental object at Puczniew on 31 plots with the area of 25 m² each, under the plantation of poplar, larch, and pine. Irriga-

tion was applied during vegetative season at the rate of 25 mm weekly. The control plants were unirrigated and unfertilized. The whole experiment included 7 combinations for each plant species. The content of cations, phosphorus, and certain microelements in leaves and shoots of poplar, in the foliage, shoots, and roots of larch and pine has been examined at least on three times during a vegetative season. Chloride content was also determined in 1974.

General trends in the metabolism of mineral components were similar during the three consecutive years of experiment (1973-1975), and slight deviations in seasonal dynamics concerned rather coniferous species than poplar. The accumulation of sodium, and to a lesser extent potassium, in leaves of poplar, leaves and roots of larch and pine was most obvious in plants growing on sewage-like doses. Particularly in water deficiency conditions, it resulted in growth suppression and biomass accretion, and even to necrotic infestation of assimilation organs, drying of tops, and mortality of entire plants of poplar and larch, especially under conditions of water deficit. Pine appeared more resistant to salt stress. The comparison of both combinations of the mineral sewage-like nutrition with classic mineral fertilization + water, where the content of all components studied was normal for definite species, indicates that the percentage sodium content in leaves was by 2-5 times and in roots 10 times higher. On the other hand on average twice as much sodium accumulates in organs of plants fertilized and irrigated with sewage. The uptake and metabolism of potassium was in poplar most favourable under conditions of classic mineral nutrition plus water (more than 2% K of the dry matter of leaves), then in the sewage-like dose of mineral components plus water (slightly below 2%) and on municipal sewage (1.5%). The highest percentage potassium content was found in needles of larch growing on sewage-like mineral fertilization plus water (1-1.5%) versus ca 0.25% in control plants. Needles of pine receiving classic fertilization and sewage-like dose of mineral components plus water contained 0.6% of K and those fertilized with sewage — 0.3%. In the case of potassium a positive correlation was noted between the percentual content of this component and biomass accretion. The effect of treatments applied upon the content of calcium, magnesium, as well as phosphorus in plant organs was negligible. It was only in larch under control conditions and with tap water where an increase (up to 0.7%) was found at the end of vegetation and in both combinations fertilized, but unirrigated — a decline (to 0.2%) of the percentual content of phosphorus was found in needles. Analyses of the content of Fe, Mn, Cu, Zn in plant organs revealed slight seasonal fluctuations. Irrigation and fertilization treatments applied did not exert any significant influence upon the uptake of microelements.

Dr inż. *Maria Kozińska*

Instytut Biologii Roślin SGGW—AR

Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30

Dyrektor Instytutu: doc. dr Emil Nalborczyk