

FIZJOLOGICZNE ASPEKTY NAWADNIANIA
I NAWOŻENIA ROŚLIN DRZEWIASTYCH
W DOŚWIADCZENIACH Z ZASTOSOWANIEM ŚCIEKÓW
KOMUNALNYCH

Emil Nalborczyk

Woda i składniki pokarmowe gleby stanowią obok światła, dwutlenku węgla i temperatury jedne z podstawowych czynników środowiska, warunkujących wzrost i rozwój roślin drzewiastych. Czynniki te posiadają szczególne znaczenie z uwagi na możliwość świadomej ich regulacji przez człowieka poprzez stosowanie zabiegów nawadniania i nawożenia. Specyficznym przykładem łączącym te zabiegi może być stosowanie ścieków komunalnych do jednoczesnego nawadniania i nawożenia gleby i roślin. Ścieki komunalne zawierają bowiem praktycznie wszystkie makro- i mikroelementy niezbędne dla roślin. Racjonalne stosowanie ścieków do nawodnienia i nawożenia roślin wymaga możliwie dokładnego oznaczenia zawartych w nich składników pokarmowych. Wymaga ono również bliższego określenia zapotrzebowania poszczególnych gatunków roślin na wodę i zawarte w niej składniki pokarmowe.

Zagadnienie optymalnego zaspokojenia wodnych i pokarmowych potrzeb roślin różnych gatunków i odmian było przedmiotem intensywnych badań prowadzonych w ramach Międzynarodowego Programu Biologicznego i w okresie kilku ostatnich lat uzyskano w tej dziedzinie wyraźny postęp [3, 4, 16, 17]. Stwierdzono przy tym, że deficyt wody jako czynnika wpływającego na wzrost produktywności roślin powoduje powstawanie gwałtownych zmian w submikroskopowej strukturze endoplazmatycznego retikulum i membran mitochondrialnych oraz polirybosomów [5], zahamowanie syntezy informacyjnego RNA [15], obniżenie mitotycznej aktywności komórek tkanki liściowej [21] oraz zmniejszenie elongacyjnego wzrostu komórek [1]. Wynikiem tych oddziaływań niedoboru wody u roślin drzewiastych jest głównie zahamowanie wzrostu ich powierzchni asymilacyjnej (liści, igieł), co prowadzi do obniżenia fotosyntetycznej aktywności roślin, a w końcowym efekcie do zmniejszenia przyrostu bio-

masy. Bezpośredni związek pomiędzy gospodarką wodną roślin a produkcją suchej masy stwierdzono badając wzajemną zależność fotosyntezy, potencjału wodnego gleby i roślin oraz transpiracji liści. W doświadczeniach Morrisa i Tranquillini [13] z siewkami sosny (*Pinus concorta*) fotosynteza netto zmniejszyła się wraz z obniżeniem potencjału wodnego roztworu glebowego do -3 bara i była całkowicie zahamowana przy -9 bara. Liniową zależność pomiędzy fotosyntezą siewek sosny zwyczajnej i wilgotnością gleby stwierdzili Schultz i Gatherum [20]. Stopień zaopatrzenia gleby w wodę i natężenie transpiracji wyznaczają wartość potencjału wodnego komórek tkanki liścia. Od wartości tej zależy wielkość oporów dyfuzyjnych liścia dla atmosferycznego dwutlenku węgla, a tym samym zdolność tego organu do fotosyntezy. Wydaje się, że największe znaczenie dla wymiany gazowej organów asymilacyjnych roślin posiada opór dyfuzyjny aparatów szparkowych uzależniony od stopnia ich rozwarcia. W warunkach suszy zamykanie aparatów szparkowych może być u niektórych roślin przyczyną całkowitego zahamowania fotosyntezy [14]. Niedobór wody może być również przyczyną obniżenia intensywności niektórych biochemicznych reakcji procesu fotosyntezy jak np. reakcji karboksylacji [2], fotosyntetycznej fosforylacji i redukcji NADP [18] oraz wydzielania tlenu [19].

W doświadczeniach nad wpływem ścieków komunalnych rzeki Ner na wzrost i rozwój siewek sosny i modrzewia oraz sadzonek topoli, w jednej z kombinacji wprowadzono nawadnianie gleby wodą studzienną. Zastosowano analogiczną jak w przypadku ścieków dawkę polewową (25 mm) i częstotliwość polewu (jeden raz w tygodniu) w okresie od maja do października.

Jak widać z tabeli 1, średni procent rocznego przyrostu suchej masy roślin dwuletnich (1974) i trzyletnich (1975) w przypadku nawadniania wodą studzienną wynosił zależnie od gatunku roślin 10-50% przyrostu roślin nawadnianych i nawożonych solami mineralnymi i ściekami [10]. Najslabiej na nawodnienie reagowały rośliny sosny a najsilniej topoli, co odpowiada różnicy w wartościach współczynnika transpiracji obu tych gatunków. U trzyletnich roślin modrzewia i topoli dodatkowe nawadnianie zwiększało dwukrotnie efektywność nawożenia solami mineralnymi. Należy przypuszczać, że woda również zwiększała efektywność oddziaływania na rośliny substancji pokarmowych zawartych w ściekach. Jednocześnie woda zmniejszała toksyczność jonów Na^+ i Cl^- występujących w ściekach w stosunkowo dużym stężeniu. Potwierdzeniem tego mogą być wyniki dotyczące wzrostu i rozwoju roślin w kombinacji nawożonej solami mineralnymi o składzie i ilości pierwiastków podobnym jak w ściekach, ale bez nawadniania [11]. Rośliny tej kombinacji wykazywały wyraźny wpływ stresu solnego, co uwidoczniło się m. in. w zahamowaniu

Tabela 1

Reakcja roślin na nawadnianie i nawożenie (średni % rocznego przyrostu suchej masy w stosunku do kontroli)

Gatunek	Kontrola	Nawożenie mineralne	Nawadnianie czystą wodą	Nawożenie mineralne + nawadnianie	Nawadnianie i nawożenie ściekami
doświadczenie 1974 r.					
Sosna	100	213	114	135	144
Modrzew	100	348	203	333	348
Topola	100	181	145	421	129
doświadczenie 1975 r.					
Sosna	100	202	123	211	179
Modrzew	100	300	193	443	330
Topola	100	294	367	755	719

ich wzrostu i gromadzenia biomasy, nekrotycznym porażeniu organów asymilacyjnych, zasychaniu wierzchołków wzrostu, a nawet wypadaniu całych roślin w przypadku topoli i modrzewia. Nieoczekiwanie sosna okazała się gatunkiem najbardziej odpornym na stres solny.

Dla zapewnienia warunków prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin wymagana jest nie tylko obecność w roztworze glebowym podstawowych makro- i mikroelementów w odpowiedniej ilości, ale również i właściwa proporcja pomiędzy nimi. Przykładem optymalnego składu jakościowego i ilościowego oraz fizjologicznego zrównoważenia pierwiastków niezbędnych dla siewek sosny może być pożywka Ingestada [6]. W zestawieniu z tą pożywką, skład jakościowy i ilościowy pierwiastków występujących w ściekach przedstawia się bardzo niekorzystnie (tab. 2). Uwidacznia się w nich niewłaściwa proporcja pomiędzy NPK (duży niedobór fosforu), dwukrotnie wyższa niż w pożywce zawartość wapnia i siarczanów oraz bardzo duży nadmiar chloru, a szczególnie sodu.

Obserwując w doświadczeniach lizymetrycznych korzystny wpływ ścieków na wzrost roślin należy przypuszczać, że wpływ tych niewłaściwych pod względem fizjologicznym proporcji pomiędzy pierwiastkami jest łagodzony przez obecność frakcji organicznej w ściekach, kompleks sorpcyjny gleby, wymywanie nadmiernych ilości sodu i chloru w głąb profilu glebowego, wybiórcze pobieranie jonów przez system korzeniowy i in. Należy również przypuszczać, że zwiększenie w ściekach zawartości fosforu mogłoby wpłynąć na lepsze wykorzystanie zawartych w nich pozostałych makroelementów, a tym samym zwiększyć efektywność nawożenia roślin ściekami komunalnymi rzeki Ner. Dodatkowym elementem, który należy uwzględnić w przypadku wykorzystywania ścieków

Tabela 2

Porównanie zawartości podstawowych pierwiastków występujących w pożywce Ingestada i w ściekach komunalnych rzeki Ner*

Pierwiastki	Pożywka	Ścieki	Pożywka	Ścieki
	w 1 litrze w mg		w stosunku do sumy %	
Azot	50,0	11,9	17,4	2,0
Fosfor	20,0	1,1	7,0	0,2
Potas	49,3	15,5	17,1	2,5
Wapń	40,1	93,5	13,9	15,7
Magnez	15,2	7,7	5,3	1,3
Siarka	20,0	42,3	7,0	7,1
Chlor	93,1	275,0	32,3	6,1
Sód	ślady	147,0	—	24,6
Żelazo	0,1	2,4	0,03	0,4
Razem	287,8	596,4	100,0	100,0

* W tabeli podano średnią zawartość pierwiastków w ściekach za rok 1975.

do nawożenia roślin, jest występowanie w nich jonów pewnych pierwiastków, wykazujących już przy stosunkowo niewielkich stężeniach dużą toksyczność dla roślin. Tego rodzaju jony w przypadku ich występowania w stężeniach toksycznych mogłyby być neutralizowane poprzez wprowadzenie przy polewie soli zawierających odpowiednie jony antagonistyczne (tab. 3) [12].

Tabela 3

Obserwowane u roślin zjawisko antagonizmu w stosunku do jonów toksycznych (wg J. Levitt, 1972)

Jon toksyczny	Jon antagonistyczny	Literatura
Se	SO ₄	Hurd-Karrer, 1939
As	P	„
Rb	K	„
Sr	Ca	„
J	Cl	Levis i Povers, 1941
Cu	Al	Liebig i inn, 1942
Mn	Fe	Shive, 1941
Fe	Mn	„
Mg	Ca	Proctor, 1970
Mo	SO ₄	Ramaiah i Shanmugasundaram, 1962
Cu	Mn	Nollendorf, 1969

Toksyczność poszczególnych jonów zależy nie tylko od obecności ich antagonistów, ale również od stopnia fizjologicznego zrównoważenia makroelementów, a szczególnie od odczynu roztworu glebowego (np. toksyczność Cu przy pH 5 jest znacznie niższa niż przy pH 8). Stosunkowo duże zróżnicowanie reakcji roślin na określony jon toksyczny występuje w obrębie gatunków, a nawet proveniencji. Stwierdzono, że gatunki iglaste w porównaniu z liściastymi są znacznie bardziej wrażliwe na zwiększone stężenie jonów toksycznych w glebie. Na podstawie analizy chemicznej ścieków rzeki Ner oraz obserwacji wzrostu roślin wydaje się, że stężenie jonów toksycznych występujących w tych ściekach jest stosunkowo niskie, a tym samym nie obniża wartości ścieków jako czynnika nawożenia gleby i roślin.

Jedną z przyczyn dodatniego wpływu ścieków komunalnych na wzrost i rozwój roślin jest, obok polepszenia warunków wodnych, wpływ bezpośredni i pośredni zawartych w nich makro- i mikroelementów na fotosyntetyczną produktywność roślin. Wpływ tych składników na fotosyntezę roślin drzewiastych, jak to wynika m. in. z badań Kellera [7, 8, 9], może polegać na: a) bezpośrednim udziale w wytwarzaniu barwników asymilacyjnych i enzymów procesu fotosyntezy; b) katalitycznym wpływie na syntezę tych związków; c) wpływie na przepuszczalność membran komórkowych; d) regulacji ruchów aparatów szparkowych; e) warunkowaniu wielkości i liczby liści i ich struktury anatomicznej; f) utrzymaniu tkanek liści w stanie wysokiej fotosyntetycznej aktywności.

Podane przez Kellera przykłady nie wyczerpują wszystkich możliwości wpływu składników mineralnych na fotosyntezę. Na ich podstawie można jednak wnioskować o dużej roli jaką spełniają one w warunkowaniu wysokiej fotosyntetycznej produktywności roślin. Wykorzystanie ścieków do takiego nawożenia roślin, aby stanowiło podstawę ich wysokiej fotosyntetycznej produktywności, wymaga ścisłego określenia wpływu zawartych w ściekach makro- i mikroelementów na budowę i aktywność aparatu fotosyntetycznego. Wyniki tego rodzaju badań mogą dostarczyć informacji odnośnie doboru takich dawek i terminów polewu oraz takiego ewentualnego dodatkowego nawożenia, które w sumie stworzą optymalne warunki dla wysokiej fotosyntetycznej produktywności roślin drzewiastych, a tym samym zapewnią ich intensywny wzrost i rozwój.

Stosując ścieki do nawadniania i nawożenia roślin, nie można jednak zapominać, że stanowią one jeden z czynników antropogennych, do którego rośliny nie przystosowały się w procesie ewolucji. Wpływ ścieków na rośliny wieloletnie może posiadać charakter kumulatywny, a rzeczywisty efekt ich oddziaływania może uwidocznić się dopiero po stosunkowo długim okresie. Dlatego też wydaje się przedwczesne dokonywanie biologicznej oceny oddziaływania ścieków na rośliny wieloletnie. Dla do-

konania takiej oceny niezbędne jest dalsze prowadzenie kompleksowych badań ze szczególnym uwzględnieniem wpływu ścieków na skład chemiczny i aktywność metaboliczną roślin na każdym z poziomów ich organizacji, poczynając od poziomu molekularnego a kończąc na poziomie ekosystemu.

LITERATURA

1. Boyer J. S.: Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology*, 46, 1970, 233-5.
2. Chartier P., Chartier M., Čatsky J.: Resistances for carbon dioxide diffusion and for carboxylation as factors in bean leaf photosynthesis. *Photosynthetica*, 4, 1970, 48-57.
3. Cooper J. P. (ed.): *Photosynthesis and productivity in different environments*. Cambridge University Press, London 1975.
4. Duvigneaud P. (ed.): *Productivity of Forest Ecosystems*. Proceedings of the Brussels Symposium, UNESCO, Paris 1975.
5. Hsiao T. C.: Rapid change in levels of polyribosomes in *Zea mays* in response to water stress. *Plant Physiology*, 46, 1970, 281-5.
6. Ingestad T.: Makroelement nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solution. *Medd f. St. Skogsf.*, 51/7, 1962, 1-131.
7. Keller T.: The influence of fertilization on gaseous exchange of forest tree species. *Proceeding of the Colloquium on Forest Fertilization*, Jyväskylä, Finland 1967, 65-79.
8. Keller T.: Gaseous exchange a good indicator of nutritional status and fertilizer response of forest trees. *Proceedings of the 6th International Colloquium on Plant Analysis and Fertiliser Problems*, Tel Aviv 1970, 669-78.
9. Keller T.: Der Einfluss der Stickstoff ernahrung auf den Gaswechsel der Fichte. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 142, 1971, 89-93.
10. Kozińska M.: Badania porównawcze dynamiki wzrostu i gromadzenia biomasy u drzew leśnych rosnących w warunkach różnicowanego nawadniania i nawożenia. *Zesz. probl. Post. Nauk rol.*, 204, 1978.
11. Kozińska M.: Wpływ różnicowanego nawadniania i nawożenia na gospodarkę składnikami mineralnymi u topoli, modrzewia i sosny. *Zesz. probl. Post. Nauk rol.*, 204, 1978.
12. Levitt J.: *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York and London 1972.
13. Morris J. I. and Tranquillini W.: Uber den Einfluss des osmotischen Potentials des Wurzelsubstrates auf die Photosynthese von *Pinus contorta* Samlingen im Wechsel der Jahreszeiten, *Flora*, B 158, 1969, 277-87.
14. Nalborczyk E., LaCroix L. J., Hill R. D.: Environmental influences on dark CO₂ fixation by *Kalanchoe daigremontiana*. *Canadian Journal of Botany*, 53, 1975, 1132-38.
15. Nir J., Poljakoff-Mayber A., Klein S.: The effect of water stress in maize root tips. *Israel Journal of Botany*, 19, 1970, 451-62.
16. Reichle D. E. (ed.): *Ecological Studies. Vol. 1. Analysis of Temperate Forest Ecosystems*, Chapman a. Hall, London 1970.

17. Rossvall T. (ed.): System Analysis in Northern Coniferous Forests, Swedish Natural Science Council, Stockholm 1971.
18. Santarius K. A.: Das Verhalten von CO₂ — Assimilation, NADP- und PGS-Reduktion und ATP-Synthese intakter Blattzellen in Abhängigkeit vom Wassergehalt. *Planta*, 73, 1967, 228-42.
19. Santarius K. A., Ernst R.: Das Verhalten von Hill-Reaktion und Photophosphorylierung isolierter Chloroplasten in Abhängigkeit vom Wassergehalt. *Planta*, 73, 1967, 109-37.
20. Schultz R. C., Gatherum G. E.: Photosynthesis and distribution of assimilate of Scotch pine seedlings in relation to soil moisture and provenance. *Botanical Gazette*, 132, 1971, 91-6.
21. Terry N., Waldron L. J., Ulrich A.: Effects of moisture stress on the multiplication and expansion of cells in leaves of sugar beet. *Planta*, 97, 1971, 281-9.

Э. Нальборчик

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОРОШЕНИЯ И УДОБРЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ОПЫТАХ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Резюме

Вода и минеральные удобрения являются, рядом со светом и температурой, одними из основных показателей среды, обуславливающими рост и развитие древесных растений. Эти показатели имеют особенное значение из-за возможности сознательного применения приемов орошения и удобрения. Особенным примером соединяющим эти приемы, может быть применение городских сточных вод. Использование сточных вод для орошения и удобрения древесных растений принимает во внимание много новых вопросов. Они касаются, между прочим, влияния на растения, отличающегося от классического удобрения количественного и качественного состава так макро как микроэлементов в сточных водах, предполагаемого присутствия физиологически активных органических соединений, сравнительно большого содержания Na, Cl и т.п. В докладе рассматривается физиологическое значение орошения и удобрения древесных растений городскими сточными водами на основании породного различия растений с точки зрения потребности на воду и кормовые составные части.

E. Nalborczyk

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE IRRIGATION AND FERTILIZATION OF WOODY PLANTS IN EXPERIMENTS WITH THE USE OF MUNICIPAL SEWAGE

Summary

Water and mineral nutrients, besides of light and temperature, provide fundamental environmental factors conditioning the growth and development of woody plants. These factors are of particular importance owing to the possibility of their

conscious manipulation by man through the application of irrigation and fertilization treatments. The application of municipal sewage provides a specific example combining both treatments. The use of sewage for irrigation and fertilization of woody plants requires, however, the consideration of numerous new problems. They include, among other things, the impact of different than in classic fertilization qualitative and quantitative composition of both macro- and microelements occurring in sewage upon plants, possible presence of physiologically active organic compounds, relatively high content of NaCl, etc. The paper discusses physiological aspects of irrigation and fertilization of woody plants with municipal sewage on the background of specific variation in plants in respect to demands for water and nutrients.

Doc. dr *Emil Nalborczyk*

Instytut Biologii Roślin SGGW-AR

Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30

Dyrektor: doc. dr Emil Nalborczyk