

Interpretacja wyników analizy składu mineralnego roślin

Apolonia Ostrowska
Instytut Ochrony Środowiska,
00-548 Warszawa, Krucza 5/11

Słowa kluczowe: skład chemiczny roślin, interpretacja

Wprowadzenie

W końcu XIX wieku Liebig, przyrównując skład chemiczny roślin do beczki składającej się z klepek różnej szerokości stwierdził, że rośliny w produkcji biomasy wykorzystują wiele różnych składników i każdy z nich jest jednakowo ważny, niezależnie od ilości, w jakiej jest pobierany [24]. Wielu autorów zajmowało się następnie ustaleniem, jakie pierwiastki i w jakiej ilości są konieczne do produkcji biomasy i z jakich źródeł roślina je pobiera. Ówczesne ograniczone możliwości analityczne umożliwiały oznaczenie głównie tych składników, które były akumulowane w roślinach w znacznej ilości, stąd uważano je za podstawowe. W miarę postępu chemii analitycznej można było ustalić, że określona grupa składników akumuluje się w roślinach w większych ilościach, inna zaś w mniejszych. Pierwszą grupę pierwiastków nazwano makro-, drugą mikroelementami i podział ten funkcjonuje w literaturze do dziś. Szybki rozwój metod analitycznych, zarówno pod względem procedury, jak i aparatury pomiarowej, zwiększył nieporównywalnie możliwości analizy m.in. składu chemicznego roślin. Obecnie materiał roślinny jest analizowany pod względem zawartości wielu pierwiastków jednocześnie, zawartości kilku wybranych pierwiastków, czy też tylko jednego z nich w zależności od rozwiązywanego problemu, np. określania wartości krytycznej zawartości składnika w roślinie [13].

Skład chemiczny roślin jest w sposób bezpośredni bądź pośredni wykorzystywany w ocenie różnych zjawisk zachodzących w środowisku ich wzrostu. Wiadomo m.in., że:

- roślina może pobierać składniki całą swoją powierzchnią,
- poszczególne składniki spełniają określone funkcje w roślinie,
- różne gatunki roślin pobierają różne ilości składników,

- zawartość składników w danym gatunku zależy zarówno od stadium jego rozwoju, jak i od zaopatrzenia roślin w poszczególne składniki,
- akumulacja składników w roślinach zależy od wszystkich czynników decydujących o wzroście i rozwoju rośliny,
- w stosunku do wszystkich czynników decydujących o produkcji biomasy, w tym też w stosunku do każdego składnika, działa prawo minimum.

Ciągle jeszcze nie zostało wyjaśnione, na ile skład chemiczny roślin odzwierciedla wzajemne interakcje między składnikami w procesie ich pobierania przez rośliny, a także interakcje między wszystkimi czynnikami decydującymi o produkcji biomasy, w tym też zaopatrzeniem w poszczególne składniki.

Podkreślić należy, że skład chemiczny roślin i jego wykorzystanie do ustalenia różnego rodzaju zależności rozpatrywany był (i ciągle jeszcze jest) w stosunku do każdego składnika oddzielnie. Tym samym pomijano wzajemne współdziałania między pierwiastkami. Jednocześnie już od wielu lat autorzy postrzegają potrzebę zmian tego typu interpretacji. W literaturze pojawia się coraz więcej prac, w których autorzy stwierdzają, że wzajemne relacje między pierwiastkami (najczęściej wyrażone w postaci stosunków każdego składnika z każdym) znacznie lepiej oddają np. związki między plonem a zawartością w nim składników niż zawartość każdego składnika rozpatrywana oddzielnie [9, 12, 25, 27, 28].

Inni autorzy uważają, że interakcje między składnikami wyrażają stosunki zawartości grup składników, np. kationów do anionów [1, 2, 7, 10, 29, 30], kationów do azotu [1, 2], czy np. kationów dwu- do jednowartościowych (Ca + Mg : K + Na) [5]. Uważa się, że stosunki zawartości np. Ca : Al czy Mg : Mn w roślinach lepiej wyrażają toksyczność Al i Mn dla roślin niż zawartość każdego z nich [11, 26]. Można więc ogólnie powiedzieć, że interpretacja składu chemicznego roślin powoli ulega zmianie, jakkolwiek ciągle jeszcze dominuje tzw. konwencjonalny sposób, tj. rozpatrywanie zawartości każdego składnika oddzielnie.

Wiadomo, że skład chemiczny roślin decyduje o ilościowo-jakościowym dopływie składników mineralnych do łańcucha troficznego, a więc w wypadku płodów rolnych, i nie tylko, oddziałuje bezpośrednio i pośrednio na organizm człowieka. Prace nad określeniem tego rodzaju związków koncentrują się głównie na ustaleniu tzw. wartości normatywnych zawartości składników (substancji), takich jak: metale ciężkie, pozostałości pestycydów, azotany i in. w aspekcie ich toksyczności [14, 31]. Brak jest natomiast prac dotyczących oceny składu mineralnego roślin z punktu widzenia zaopatrzenia człowieka w składniki mineralne. Podkreślić jednak należy, że coraz więcej autorów zwraca uwagę na zależności w przepływie składników w układzie gleba–roślina–zwierzę, zarówno z punktu widzenia nadmiaru, jak i niedoboru składników w organizmach zwierzęcych [3, 4, 23].

Interesujące, że nierzadko zaburzenia metabolizmu w organizmie przypisywane są niedoborom (częściej) bądź nadmiarom składników mineralnych [22, 32]. Jednocześnie brak jest jednoznaczności w ocenie przyczyn tego stanu, jakkolwiek można

znaleźć prace, w których zwraca się uwagę na konieczność badania związków między zawartością składników w glebie, roślinie i w organizmie człowieka [8]. W opinii obiegowej natomiast występowanie różnego rodzaju chorób, określanymi jako choroby cywilizacyjne, o trudnych do ustalenia przyczynach powstawania, wiązane jest przede wszystkim ze złą jakością płodów rolnych. Podkreślić należy, że dotychczas nie sprecyzowano, jaki skład chemiczny produktów rolnych można uznać za prawidłowy z punktu widzenia potrzeb organizmu człowieka, zarówno pod względem zawartości poszczególnych składników, jak i wzajemnych relacji między nimi.

Zastosowanie metody ANE do interpretacji składu chemicznego roślin

Autorka niniejszego artykułu wracając niejako do słynnej beczki Liebiga założyła, że roślinę mogą charakteryzować zarówno zawartości poszczególnych składników (szerokość klepek), jak i suma wszystkich akumulowanych składników (obwód beczki). Na podstawie zawartości składników w różnych gatunkach roślin obliczono więc sumę wszystkich składników w jednostce masy (plonie) roślin, charakteryzując ich skład chemiczny jedną wartością, tj. wartością sumy składników (Σ). Wartość ta obejmuje wielość składników, co wyrażono w postaci procentowego udziału każdego składnika w ich sumie. Można więc było w ten sposób rozpatrywać wszystkie analizowane składniki niejako w jednej płaszczyźnie, a więc we wzajemnych zależnościach.

W pierwszym okresie przeprowadzono badania składu chemicznego listowia drzew, wyrażając go w postaci sumy wszystkich analizowanych składników w jednostce masy i procentowego udziału każdego składnika w tej sumie. Okazało się, że listowie różnych gatunków drzew różni się między sobą pod względem wielkości sumy, natomiast udział poszczególnych składników, mimo różnych wartości sumy, był w porównywanych gatunkach zbliżony [16]. W odniesieniu do danego gatunku wraz z rozwojem liści malała wartość sumy akumulowanych składników, przy czym wraz ze starzeniem się listowia malał w niej udział azotu, a zwiększał się głównie udział wapnia [15].

Dalsze badania wykazały, że rośliny zielne także różnią się pod względem wielkości sumy składników w jednostce masy, ale skład jonowy sumy jest zbliżony. Ponadto odnotowano, że wraz ze starzeniem się rośliny maleje suma składników w jednostce masy, zaś w składzie jonowym tej sumy maleje udział azotu, a wzrasta udział wapnia [15]. Stwierdzono więc, że suma składników w jednostce masy jest cechą charakteryzującą dany gatunek i stadium rozwoju rośliny, nie negując jednocześnie znaczenia udziału poszczególnych składników w ich sumie. Ten nowy sposób interpretacji

Tabela 1. Ilość składników zużywana przez rośliny na wyprodukowanie jednostki masy [na podstawie danych Czuby 1976–1981 oraz wyników własnych]

Gatunek Liczba pomiarów	Część rośliny	Suma składników [mmol _c · kg ⁻¹]	% składnika w sumie						
			N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn + Fe + Zn + Cu
Żyto n = 215	słoma + ziarno	1187	61,2	5,0	18,8	6,9	6,2	0,6	0,7
Pszennica jara n = 42	słoma + ziarno	1405	66,4	4,8	14,2	7,3	6,0	0,6	0,7
Jęczmień n = 222	słoma + ziarno	1490	63,0	5,3	15,6	8,0	6,3	1,0	0,7
Kukurydza n = 47	słoma + ziarno	1693	59,0	4,7	21,5	7,1	6,5	0,5	0,7
Kukurydza n = 32	zielona masa	2545	58,0	4,1	20,0	10,0	6,4	0,5	1,0
Trawy mieszane n = 199	siano	2790	56,5	3,3	20,3	11,0	6,3	1,8	0,8
Buraki pastewne n = 292	liście + korzeń	2552	50,8	2,8	21,0	11,0	8,4	5,5	0,5
	liście	4638	45,0	2,2	23,0	11,1	10,8	7,3	0,6
Koniczyna n = 89	plon	3320	52,6	2,5	18,8	18,4	6,8	0,4	0,5
Rzepak	ziarno + słoma	2032	60,4	5,6	11,2	14,5	7,3	0,5	0,5
Kapusta głowiasta	pełna dojrzałość	5437	44,0	3,1	19,8	27,2	4,3	0,6	1,0
Tytoń	cz. nadziemne	5637	53,7	3,2	24,3	11,1	6,5	1,5	no
Ziemniaki	pędy + bulwy	2645	42,0	2,8	34,3	14,4	4,5	1,3	0,7
	bulwy	1912	56,5	4,5	31,2	2,2	4,8	0,4	0,4
Pomidory	owoce	3400	52,9	4,0	29,9	8,0	4,6	0,4	0,2
	liście	6789	47,4	2,3	12,0	33,0	5,6	0,7	0,7
Chryzantema	cz. nadziemne	5065	59,0	5,5	24,3	7,2	4,0	no	no
Perz n = 8	cz. nadziemne	3177	61,8	2,9	21,0	7,3	5,2	1,8	0,7
Trzcinnik n = 5	cz. nadziemne	2042	62,3	3,3	22,1	4,7	6,9	0,7	no

składu chemicznego roślin nazwano metodą ANE (Accumulation Nutrient Elements) i pod tą nazwą funkcjonuje on w literaturze [16, 19].

W kolejnych pracach wykorzystując wyniki badań własnych oraz dane z literatury dotyczące składu chemicznego różnych gatunków roślin w różnych warunkach wzrostu sprawdzono przydatność ANE do oceny zależności między glebą i rośliną, w tym zwłaszcza przepływu jonów w układzie gleba–roślina [20], a następnie rośliną–zwierzę [21]. Stwierdzono m.in., że :

- suma składników w jednostce masy roślin w ich pełnej dojrzałości wyraża wymagania pokarmowe gatunku w zakresie ilości składników zużywanych na wyprodukowanie tej masy (tab. 1);
- suma składników w jednostce masy danego gatunku w różnym stadium rozwoju charakteryzuje wymagania pokarmowe rośliny w danym stadium rozwoju (tab. 1);
- suma składników w plonie danego gatunku wyraża związki między stanem zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe i innymi czynnikami decydującymi o produkcji plonu (tab. 2);
- suma składników w plonach różnych gatunków uprawianych w zmianowaniu na określonej powierzchni wyraża przepływ składników między glebą i rośliną w zależności od jakości gleby i tym samym dopływ składników do łańcucha troficznego (tab. 3).

Skład jonowy sumy składników akumulowanych przez różne gatunki roślin jest podobny, tj. różnice między gatunkami są znacznie mniejsze niż różnice wewnątrz danego gatunku w danym stadium rozwoju i w różnych warunkach wzrostu. Skład jonowy odzwierciedla bowiem przede wszystkim warunki wzrostu roślin, w tym zwłaszcza pod względem ich zaopatrzenia w składniki pokarmowe (tab. 1, 2, 3).

W środowisku leśnym wartość sumy składników zakumulowanych w igliwiu sosny drzewostanów siedlisk boru suchego, boru świeżego i boru mieszanego świeżego wzrasta wraz ze wzrostem zasobności siedliska, natomiast skład jonowy tych sum jest prawie jednakowy [17]. W ramach danego gatunku uprawianego w różnych warunkach pod względem zaopatrzenia w składniki pokarmowe, wartości sumy składników w jednostce masy są znacznie mniej zróżnicowane niż ich skład jonowy (tab. 4). Podkreślić należy, że wartości średnie z dużej liczby wyników składu chemicznego roślin danego gatunku w danym stadium rozwoju wskazują, że zarówno wartość sumy akumulowanych składników w jednostce masy, jak i wartości udziału poszczególnych składników w ich sumie cechują współczynniki zmienności w granicach od kilku do kilkudziesięciu procent, przy czym małe wartości odnotowano w odniesieniu do sumy składników, a największe w odniesieniu do udziału poszczególnych mikroskładników w tej sumie [20].

Stwierdzono, że kontrolowane (nawozy) i niekontrolowane (emisje) wprowadzenie do środowiska wzrostu roślin określonego składnika, czy nawet trzech tzw. podstawowych składników (NPK), deformuje skład jonowy sumy składników. Przewaga jednego składnika w środowisku w stosunku do pozostałych powoduje jego zwięk-

Tabela 2. Średnie wartości składników wyznaczonych z plonem wyrażone w postaci sumy składników i jej składu jonowego [na podstawie danych Czuby 1976–1981]

Roślina	Parametr	Plon ¹ t · ha ⁻¹ · r ⁻¹	Σ ogółem ² mmol _c · kg ⁻¹ s.m.	Σ mikro ³ kmol _c · ha ⁻¹ · r ⁻¹	Udział składników w ich sumie Σ ogółem [%]						
					N	P	K	Ca	Mg	Na	Σ mikro
Żyto n = 160	x_{sr} v%	8,23	1186	9,76	61	5,6	18,8	6,9	6,2	0,6	0,9
		30	30	10,6	15	40	40	40	50		
Owies n = 81	x_{sr} v%	7,81	1520	11,87	56,7	4,8	23,3	7,3	5,8	1,3	0,8
		32	19	12,3	18	30	40	40	40		
Jęczmień n = 201	x_{sr} v%	7,5	1490	11,18	63	5,3	15,6	8	6,3	1	0,8
		23	20	11,9	15	30	34	36	28		
Pszemica ozima n = 217	x_{sr} v%	8,33	1387	11,55	66	5,1	14,2	6,2	7,2	0,6	0,7
		28		10,1	14	28	30	40	36		
Rzepak n = 36	x_{sr} v%	7,1	2032	14,42	60,4	5,6	11,2	14,2	7,3	0,7	0,6
		30	23	13,2	14	29	30	30	30		
Kukurydza n = 28	x_{sr} v%	17,2	1693	29,12	58,9	4,7	21,5	7,1	6,5	0,5	0,8
		50	20	13,8	16	50	36	50	36		
Buraki cukrowe n = 142	x_{sr} v%	12,5	2275	28,43	47,6	2,7	22,5	13,2	9	4,3	0,7
		25	23	16,5	12	38	32	30	30		
Ziemniaki n = 292	x_{sr}	8	2200	17,6	56,5	4,5	26,6	6,4	5,2	0,4	0,4

¹ (ziarno + słoma) lub (korzenie + liście)

² Σ ogółem (N + P + K + Ca + Mg + Na + B + Cu + Mn + Zn + Fe)

³ Σ mikro (B + Cu + Mn Zn + Fe)

n – liczba powtórzeń; x_{sr} – wartość średnia; v% – współczynnik zmienności.

Tabela 3. Wynoszenie składników z plonami roślin uprawianych w zmianowaniu [na podstawie danych Czuby 1976–1981]

Region	Żyzność gleby	Uprawiane rośliny	Σ ogółem [kmol _c · ha ⁻¹ · r ⁻¹] v%	Udział składników w ich sumie Σ ogółem [%]						
				N v%	P v%	K v%	Mg v%	Ca v%	Na v%	Σ mikro v%
Lublin	kompleks pszenno-buraczany	buraki cukrowe, pszenica,	23,27	53,8	3,6	21,8	7,7	10,1	2,3	0,7
		buraki pastewne, jęczmień, ziemniaki przemysłowe, kukurydza, motylkowe	5,3	2,6	4,6	8,8	13,5	9,3	11,7	10,5
	kompleks żytnio-dobry	buraki cukrowe, pszenica,	16,49	56,7	4,6	21,0	6,6	9,1	1,4	0,6
		buraki pastewne, jęczmień, kukurydza, rzepak, owies, ziemniaki, motylkowe	5,9	2,1	3,1	5,0	5,6	4,4	17,5	6,9
	kompleks żytnio-słaby	ziemniaki, żyto, owies,	10,76	59,0	4,8	22,2	5,9	6,4	1,0	0,7
		motylkowe	7,9	1,4	4,2	5,4	3,7	8,4	19,8	4,9

Tabela 4. Suma składników i jej skład jonowy w zielonej masie łobody (*Chenopodium* sp.) z różnych podłoży [na podstawie wyników własnych]

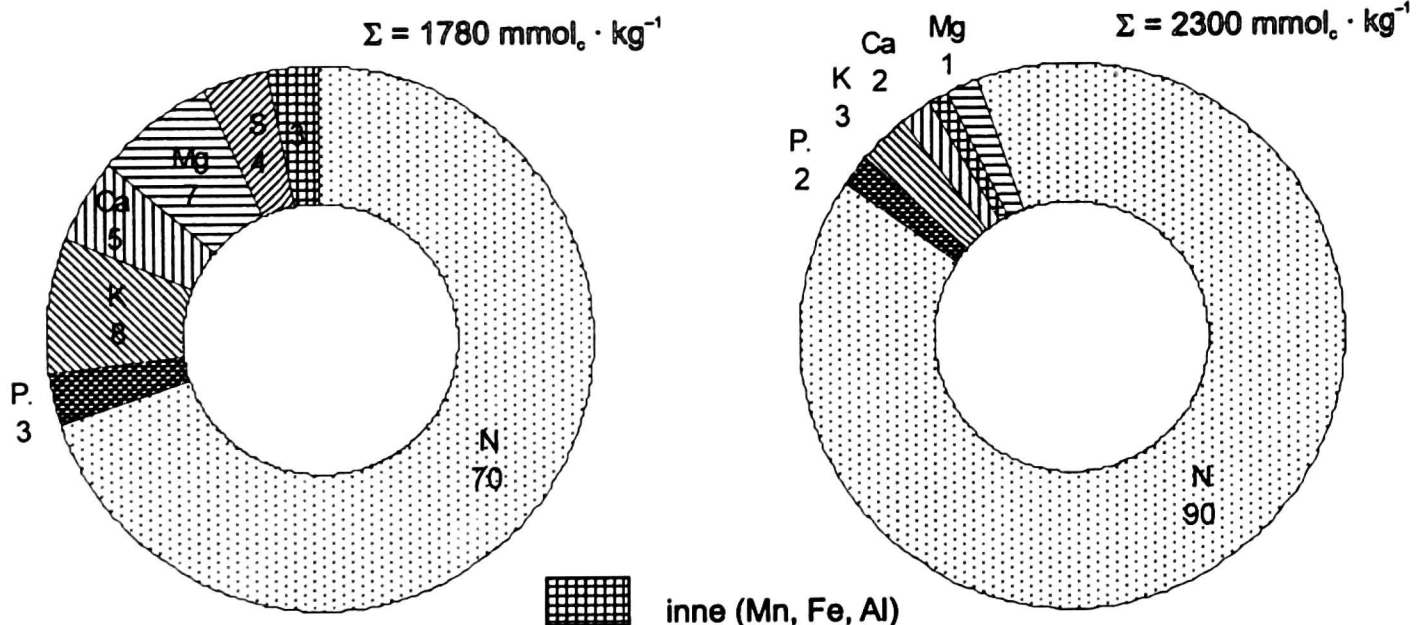
Podłoże	Suma składników [mmol _c · kg ⁻¹ s.m.]	Udział w sumie [%]						
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Σ mikro
1	7796	40,3	1,8	10,1	3,1	19,6	24,0	1,2
2	6721	40,2	1,8	31,3	7,4	8,1	10,2	1,0
3	6608	41,8	2,3	11,2	12,0	9,2	23,0	0,5
4	5820	37,4	2,8	7,0	7,9	14,1	29,4	1,4
5	5364	25,7	2,0	36,5	9,4	12,7	12,2	1,5
6	6060	39,8	2,0	26,1	8,8	14,6	8,1	0,6
7	5578	34,3	3,0	29,2	3,8	17,8	11,0	0,9
8	8814	40,0	2,0	19,0	5,7	17,0	15,7	0,6
x_{sr}	6595	37,3	2,2	21,3	7,3	14,1	16,7	1,0
$v\%$	18	13	19	48	38	25	43	37

Objaśnienia: x_{sr} – wartość średnia, v – współczynnik zmienności, Σ mikro = Fe + Mn + Zn + Cu + Pb + Cd + Ni + Cr.

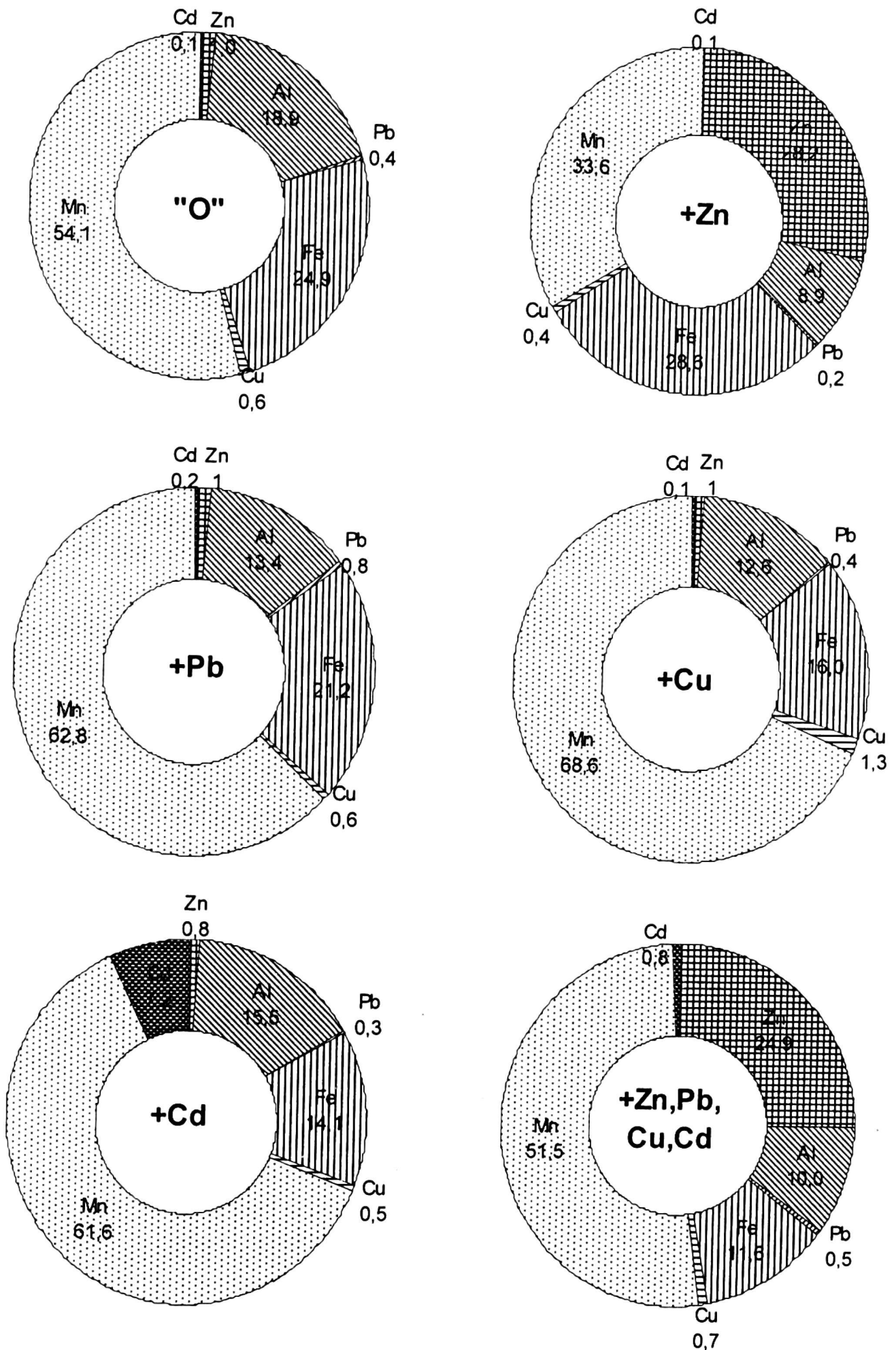
szone pobieranie, czemu na ogół nie towarzyszy proporcjonalny wzrost pobierania innych składników. W rezultacie w sumie składników akumulowanych w roślinie udział składnika nawozowego wzrasta, a udziały pozostałych maleją. Przykładowo, stosowanie wyłącznie nawożenia azotowego, jak to nierzadko ma miejsce w praktyce rolniczej, a także dopływ azotu do środowiska w postaci emisji powodują, że udział azotu w sumie składników akumulowanych w roślinach może stanowić 90 i więcej procent (rys. 1), a wszystkie inne składniki w porównaniu z azotem występują w war-

A. Drzewostany sosnowe poza zasięgiem oddziaływania emisji

B. Drzewostany sosnowe w zasięgu oddziaływania emisji zakładów azotowych



Rysunek 1. Akumulacja składników w igliwiu sosny ok. 60-letnich drzewostanów: suma składników mmol_c · kg⁻¹ s.m. i procentowy udział składników



Rysunek 2. Akumulacja składników w sośnie w zależności od dodatku poszczególnych składników do pożywki; suma i procentowy udział poszczególnych składników

tościach śladowych [18]. W ten sposób można więc stwierdzić, że skład mineralny takich roślin został zdeformowany pod względem wzajemnych proporcji między składnikami. Rozpatrując natomiast skład chemiczny roślin w postaci zawartości poszczególnych składników stwierdza się w takich przypadkach, że np. rośliny są luksusowo zaopatrzone w azot oraz optymalnie zaopatrzone w pozostałe składniki.

Deformację składu mineralnego roślin pod względem proporcji między składnikami mogą powodować różne pierwiastki. W badaniach prowadzonych w doświadczeniach modelowych stwierdzono, że dodatek kadmu do pożywki powoduje zwiększenie udziału Cd i Mn w sumie składników oraz zmniejszenie udziału Fe i Al (rys. 2). Dodatek cynku do pożywki zwiększa z kolei jego udział, a także udział żelaza, zmniejsza natomiast udział Mn i Al [18]. W roślinach tego samego gatunku na różnych podłożach pod względem ich zasobności w składniki pokarmowe odnotowano prawie takie same wartości sumy składników akumulowanych w jednostce masy, ale skład jonowy tych sum był bardzo zróżnicowany (tab. 4). Ogólnie można więc powiedzieć, że relacje, a także interakcje między składnikami w środowisku wzrostu roślin uwidaczniają się w proporcjach między składnikami w sumie akumulowanych składników.

Rozpatrując wartości sumy składników i ich skład jonowy w różnych gatunkach na tej samej powierzchni (w warunkach leśnych) oraz uprawianych w zmianowaniu na glebach o zbliżonej zasobności można było ustalić przepływ składników między glebą i rośliną. Średnia wartość sumy składników w plonie różnych gatunków zależy od zasobności gleby i w warunkach polskich waha się od 5–7 $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na glebach najslabszych do 30–35 $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na glebach najżyźniejszych. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że średni skład jonowy tych sum, niezależnie od ich wartości jest zbliżony. Odnotowano, że w roślinach uprawianych na glebach lekkich, mniej zasobnych w składniki pokarmowe i na glebach cięższych, zasobnych w składniki dostępne dla roślin przy tej samej stosowanej dawce nawozów ($250 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), w sumie składników akumulowanych w plonach udział azotu był większy w wypadku gleb lekkich (tab. 3). Nie dziwi więc fakt, że w ziarnie żyta udział wapnia w sumie akumulowanych składników stanowi nierzadko wartości śladowe [Ostrowska, dane niepublikowane].

Tak więc tu i teraz do łańcucha troficznego wchodzi strumień składników, w którym poszczególne składniki występują w określonych proporcjach. Sprawdzone, czy i na ile proporcje te są zachowane w kolejnym ogniwie łańcucha, tj. w tkankach i odchodach zwierzęcych [21]. Okazało się, że są one zbliżone do proporcji między składnikami w materiale roślinnym, jakkolwiek udokumentowanie tego zagadnienia wymaga dalszych badań. Wydaje się jednak, że o prawidłowym zaopatrzeniu organizmów zwierzęcych, a także człowieka, w składniki mineralne decydują przede wszystkim wzajemne proporcje między składnikami w żywności, w tym zwłaszcza w płodach rolnych spożywanych bezpośrednio.

Podsumowanie

Podsumowując można stwierdzić, że:

- skład chemiczny roślin wyraża się sumą wszystkich akumulowanych składników oraz zawartością każdego z nich w jednostce (plonie) masy;
- wartości sumy składników akumulowanych w jednostce masy różnicują gatunki roślin i stadium ich rozwoju, akumulowane w plonach roślin różnicują produktywność gleb;
- skład sumy składników akumulowanych przez różne gatunki roślin jest zbliżony pod względem udziału poszczególnych składników w tej sumie, gdy warunki wzrostu roślin są zbliżone pod względem zaopatrzenia w składniki pokarmowe;
- proporcje między składnikami w ich sumie mogą być znacznie zróżnicowane nawet przy tej samej wartości sumy składników akumulowanych w danym gatunku roślin jeśli do środowiska dopływają poszczególne składniki (nawozy, emisje).

Literatura

- [1] Brogowski Z. i in. 1993. Stan równowagi jonowej w różnych fazach rozwojowych niektórych gatunków roślin uprawnych. Cz.I. Stan równowagi jonowej w różnych fazach rozwojowych ziemniaka. *Rocz. Nauk Rol. Seria A*, 109(4): 49–55.
- [2] Brogowski Z. i in. 1993. Stan równowagi jonowej w różnych fazach rozwojowych niektórych gatunków roślin uprawnych. Cz.III. Stan równowagi jonowej w różnych fazach rozwojowych żyta ozimego odmiany Dańkowskie. *Rocz. Nauk Rol. Seria A*, 109(4): 57–66.
- [3] Curzydło J., Mundała P., Gambuś., Curzydło M. 2001. Ołów i kadm w łańcuchu troficznym: gleba, rośliny, zwierzęta w terenach o różnym stopniu zanieczyszczenia metalami ciężkimi. W: *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. I*, IOŚ, Warszawa: 195–202.
- [4] Curzydło J., Mundała P., Gambuś F., Wieczorek J., Curzydło M. 2003. Ołów, kadm, chrom i cynk w łańcuchu troficznym: gleba, rośliny i zwierzęta na terenach o różnym stopniu zanieczyszczenia metalami ciężkimi. W: *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. II*, IOŚ, Warszawa: 71–75.
- [5] Czerwiński Z., Praczk J. 1995. Content of mineral components in the herb layer plants of the alderwood *Carici elongatae-Alnetum*. *Pol Ecol. Studies* 21(2): 171–176.
- [6] Czuba R. 1976–1981. Wyniki wieloletnich badań w przykładowych gospodarstwach chłopskich IUNG (dane niepublikowane).
- [7] Dechnik I., Filipek T. 1990. Równowaga jonowa w jęczmieniu jarym nawożonym zróżnicowanymi dawkami azotu i potasu. *Rocz. Nauk. Rol. Seria A* 108: 139–151.
- [8] Huzior-Bałajewicz A., Pietrzyk J.J. 2001. Children health risks of heavy metals in the food chain of industrial areas in Central and Eastern Europe. W *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. I*, IOŚ, Warszawa: 275–279.
- [9] Kenworthy A.L. 1967. Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Pub.*, t.2.

- [10] Kirkby E.A. 1968. Influences of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solution. *Soil Sci.* 105(3): 133–141.
- [11] Le Bot J., Goss M.J., Carvalho M.J.G.P.R., Van Beusichem M.L., Kirkby E.A. 1990. The significance of the magnesium to manganese ratio in plant tissues for growth and alleviation of manganese toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*) plants. *Plant and Soil* 124: 205–210.
- [12] Mercik S., Sommer K., Rossing K. 1993. Normy oceny stanu odżywiania pszenicy ozimej w różnych fazach rozwoju metodą DRIS. *Rocz. Nauk Rol. Seria A*, 110(12): 33–57.
- [13] Nowosielski O. 1974. Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa: 721 ss.
- [14] Obiedziński M.W., Węgrzyn E., Borys M., Bartnikowska E. 1997. Monitoring jakości gleb, surowców rolnych i żywności w aspekcie pozostałości metali ciężkich. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Mat. II Międzynarodowej Konferencji Warszawa, 27–29.10.1997, IOS, Warszawa: 75–96.
- [15] Ostrowska A. 1985. Wpływ warunków żywienia na układy jonowe w roślinach na przykładzie sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.). Rozprawa habilit., Skierniewice: 94 ss.
- [16] Ostrowska A. 1987. Application of ANE value and of shares of individual elements in this value for determining the difference between various plant species. Genetic aspects of plant mineral nutrition. Martinus Nijhoff Public.: 27–43.
- [17] Ostrowska A., Szczubiałka Z. 1988. Comparison of the ion system in the needles of pine of various age and various growth conditions. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, Forestry and Wood Technology* 37: 21–30.
- [18] Ostrowska A. 1997. Element cycling in the environment, distortions and environmental risk involved. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Mat. II Międzynarodowej Konf. Warszawa 27–29.10.1997, IOŚ, Warszawa: 105–116.
- [19] Ostrowska A. 1999. Metoda ANE i jej zastosowanie w analizie składu chemicznego roślin uprawnych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 16: 99–112.
- [20] Ostrowska A., Porębska G. 2002. Skład chemiczny roślin, jego interpretacja i wykorzystanie w ochronie środowiska. Monografia. IOŚ, Warszawa: 11–65.
- [21] Ostrowska A. 2003. Obieg składników w środowisku – bioakumulacja. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. II, IOŚ, Warszawa: 49–52.
- [22] Pasternak K. 1997. Causes of magnesium deficit in humans. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Mat. II Międzynar. Konf. Warszawa, 27–29.10.1997, IOŚ, Warszawa: 117–120.
- [23] Sapek B. 2003. Wapń – jego niedobór lub nadmiar w świetle ryzyka środowiskowego. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. II, IOŚ, Warszawa: 62–70.
- [24] Steward F.C. 1963. Plant Physiology. V.III: Inorganic Nutrition of Plants. Academic Press, New York, London: 811 ss.
- [25] Sumner M.E. 1981. Diagnosing sulfur requirements of corn and wheat using foliar analysis. *Soil Sci. Amer. J.* 45: 87–90.
- [26] Van Praag H.J., Weissen F., Dreze P., Cogneau M. 1997. Effects of aluminium on calcium and magnesium uptake and translocation by root segments of whole seedlings of Norway spruce (*Picea abies* KARST.). *Plant and Soil* 189: 267–273.
- [27] Walworth J.L., Sumner M.E. 1986. Foliar Diagnosis: A review. *Adv.Plant Nutr.* 3: 193–241.

- [28] Walworth J.L., Sumner M.E. 1987. The Diagnosis and Recommendation System (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6: 149–188.
- [29] Warchałowa M. 1977. Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego zapotrzebowania w potas i magnez. *IUNG R/117/*: 1–78.
- [30] Warchałowa M. 1981. Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Wpływ nawożenia na jakość plonów. *Mat. Symp. Puławy*: 21–38.
- [31] Wesołowski M., Radecka I., Barca G., Maron J. 2003. Oszacowanie skażenia rtęcią liści owoców, nasion i korzeni roślin leczniczych. W: *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. II*, IOŚ, Warszawa: 259–268.
- [32] Wiąckowski S. 2001. Interakcje troficzne i ich wpływ na zdrowie. W *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia t. I*, IOŚ, Warszawa: 203–211.

Interpretation of plant chemical composition

Key words: plant chemical composition, interpretation

Summary

On the basis of authors' own study and literature review the ways for interpreting plant chemical composition were discussed as well as the possibility of utilizing the chemical composition to evaluate interrelationships between environmental quality and the quantity and quality of biomass produced. To evaluate these interrelationships various authors proposed diverse approaches with respect to the expression of component accumulation in plants departing from so-called conventional interpretation based on the separate analysis of each component content. Author presented the ways of applying her own ANE method (Accumulation (of) Nutrient Elements method) which enables to express the plant chemical composition as the sum of all analyzed elements per mass unit and to use the percentage of each element in above sum. The examples of the above method of application were also given and its suitability was discussed, in particular to evaluate the element flow in a trophic chain.