

RÓWNOWAGA KATIONOWA W LIŚCIACH WYBRANYCH GATUNKÓW MAKROHYDROFITÓW

AGNIESZKA KLINK

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Biologii Roślin, Zakład Ekologii i Ochrony Przyrody
ul. Kanonia 6/8, 50-328 Wrocław

Keywords: cationic interactions, cationic equilibrium, weighed sum, *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea*.

CATIONIC EQUILIBRIUM IN LEAVES OF CHOSEN SPECIES OF MACROPHYTES

In the paper the cationic equilibrium in the leaves of aquatic plants *Nymphaea alba* L. and *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. was studied according to Czarnowski method. Plant material was collected in 25 sites from littoral of fourteen eutrophic lakes of Pojezierze Leszczyńskie in West Poland. After the leaves had been cleaned, dried and pulverized, the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ni, Cd, Al, Co, Pb, Zn, and Ba in them were determined. Next, the relative concentrations of the examined elements (concentration of each element in relation to the sum of all elements) and their relationships were calculated. The values of weighed sums of square roots of the relative cation concentrations in *Nymphaea alba* L. and *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. varied from 13.2 to 13.8 and from 13.5 to 14.0, respectively. These values were higher than 12.5 given by Czarnowski because of high calcium and sodium concentrations. Significant positive correlations between relative concentrations of potassium and nitrogen, magnesium and zinc, cadmium and lead, iron and copper, iron and aluminium, aluminium and manganese, cadmium and manganese, cadmium and nickel, cadmium and zinc, as well as nickel and zinc were found, which proves the evidence for existence of synergism between these ions. However, substantial negative correlation between potassium and calcium testified to antagonism between these cations.

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań było określenie sum ważonych pierwiastków kwadratowych koncentracji względnych makro- i mikroelementów (według Czarnowskiego) w roślinach wodnych z gatunków *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm., pochodzących z 14 jezior Pojezierza Leszczyńskiego. Wartości sum ważonych mieszczą się w zakresie od 13,2 do 13,8 dla *Nymphaea alba* L. oraz od 13,5 do 14,0 dla *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. Z powodu wysokich zawartości wapnia i sodu w liściach badanych roślin, sumy ważone przekraczały wartość 12,5, podawaną przez Czarnowskiego. Istotna, ujemna korelacja między zawartościami względnymi potasu i wapnia świadczy o wzajemnym antagonizmie tych kationów. Z kolei dodatnie korelacje pomiędzy potasem i azotem, magnezem i cynkiem, kadmem i ołowiem, żelazem i miedzią, żelazem i glinem, glinem i manganem, kadmem i manganem, kadmem i niklem, kadmem i cynkiem oraz niklem i cynkiem potwierdzają możliwość wystąpienia oddziaływań synergistycznych.

WSTĘP

Nymphaea alba L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm., należące do rodziny Nymphaeaceae, są roślinami prawnie chronionymi. Wchodzą one w skład zbiorowisk makrohydrofitów o liściach pływających, które są ważnym składnikiem płytkich ekosystemów wodnych i mają istotny wpływ na strukturę zbiorowisk wodnych [16]. Kontaktują się one z powietrzem, wodą i dnem, dzięki czemu wspierają ekologiczną infrastrukturę zbiornika i pełnią rolę pomostów łączących między sobą dwa środowiska – powietrzne i wodne. Z tego powodu uważane są za szkielet biocenoz zbiorników wodnych. Rośliny te w istotny sposób regulują życie w środowisku wodnym [6] oraz przyczyniają się do obiegu pierwiastków pokarmowych [5, 17, 18] i metali ciężkich [23] w tych ekosystemach.

Celem niniejszych badań było: określenie sum ważonych pierwiastków kwadratowych koncentracji względnych makro- i mikroelementów w roślinach wodnych z gatunków *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. oraz określenie wzajemnych zależności pomiędzy oznaczonymi pierwiastkami.

MATERIAŁY I METODY

Badania przeprowadzono na liściach *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm., pobranych w lipcu 2001 roku z 25 stanowisk, rozmieszczonych w strefie litoralnej 14 jezior Pojezierza Leszczyńskiego. Powierzchnia i średnia głębokość tych zbiorników wahały się w granicach od 16,4 do 343,9 ha oraz od 0,5 do 7 m [14]. Otoczenie jezior Grodzisko (stanowisko 3), Wojnowickiego (stanowisko 4), Witosławskiego (stanowisko 5), Wielkiego (stanowiska 7, 8 i 9), Małego (stanowiska 10 i 11), Boszkowskiego (stanowiska 12, 13 i 14), Miałkiego (stanowisko 22) i Lginia Małego (stanowiska 23 i 24) stanowią pastwiska, łąki i pola uprawne. Z kolei jeziora: Łoniewskie (stanowiska 1 i 2), Dominickie (stanowisko 6), Olejnickie (stanowiska 15 i 16), Górskie (stanowiska 17, 18 i 19), Osłonińskie (stanowiska 20 i 21) i Lgiń Duży (stanowisko 25) otoczone są lasami sosnowymi, wśród których położone są liczne prywatne domki letniskowe, ośrodki wypoczynkowe i pola namiotowe. W związku z tym większość tych zbiorników zanieczyszczana jest nieoczyszczonymi ściekami gospodarczymi lub spływami z pól i pastwisk. Ponadto wiele spośród badanych populacji narażonych jest na działanie zanieczyszczeń komunikacyjnych.

Pobrane liście dokładnie przemyto wodą destylowaną, wysuszone w 60°C i zmielono. W tak przygotowanym materiale roślinnym oznaczono zawartość azotu metodą Kjeldahla [20] oraz siarki zmodyfikowaną metodą Bardsleya-Lancastera [2]. Z kolei w celu oznaczenia zawartości fosforu metodą kolorymetryczną z molibdenianem amonu [1], rośliny spopielono na sucho w piecu muflowym w 450°C, a popiół rozpuszczono w 20% kwasie solnym. Dodatkowo 200 mg wysuszonych roślin trawiono w stężonym kwasie azotowym w temperaturze pokojowej przez 24 godziny, po czym podwyższono temperaturę do 95°C i dodawano nadtlenek wodoru do momentu uzyskania klarownego wyciągu. Otrzymany wyciąg rozcieńczono do 5 cm³ wodą destylowaną i wykorzystano do oznaczenia zawartości baru, chromu, cynku, glinu, kadmu, kobaltu, magnezu, manganu, miedzi, niklu, ołowiu, potasu, sodu, strontu, wanadu, wapnia i żelaza metodą atomowego spektrometru emisyjnego z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP) z wykorzystaniem spektrometru SIMSEQ.

Powtarzalność tych procedur oszacowano na poziomie 97±3%, w oparciu o wyniki

międzynarodowych badań prowadzonych na materiałach referencyjnych (Wageningen Evaluating Programmes for Analytical Laboratories, WEPAL). Materiał referencyjny składał się z igieł sosny i liści grzybieni białych.

Wszystkie próby roślin pobrano i przeanalizowano w trzech powtórzeniach, a uzyskane wyniki podano w odniesieniu do suchej masy roślin.

Według Czarnowskiego [9] zawartość określonego kationu w liściach roślin jest funkcją koncentracji innych kationów, a suma ważonych pierwiastków kwadratowych względnych koncentracji kationów jest wartością stałą dla danego gatunku. Zostało to przedstawione za pomocą wzoru:

$$\sum c_i \sqrt{\frac{[E_i]}{\sum [E]}} = \text{const}$$

gdzie c_i jest wagą współzależnościową kationu E_i [9].

Sumy ważone w liściach grzybieni białych i grążeli żółtych określono biorąc pod uwagę pierwiastki kwadratowe koncentracji względnych wapnia, potasu, sodu, magnezu, manganu, miedzi, żelaza i glinu, a więc tych pierwiastków, dla których Czarnowski [9] policzył wagi współzależnościowe, wynoszące odpowiednio 1,000; 0,701; 0,530; 0,342; 0,227; 0,049; 0,000 oraz 0,279. Dla wszystkich pozostałych oznaczonych pierwiastków wyliczono koncentracje względne, które według Czarnowskiego [9] lepiej obrazują układ kationowy roślin.

Zróznicowanie sum ważonych pomiędzy roślinami pochodzącymi z różnych stanowisk określono za pomocą współczynnika zmienności [29]. Natomiast wzajemne zależności między pierwiastkami zbadano metodą korelacji prostej Pearsona [22]. Wszystkie obliczenia matematyczno-statystyczne wykonano przy pomocy programu CSS: Statistica [27].

WYNIKI

Wartości sum ważonych mieszczą się w zakresie od 13,2 do 13,8 dla *Nymphaea alba* L. (średnio $13,53 \pm 0,19$ SD) (Tab. 1) oraz od 13,5 do 14,0 dla *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. (średnio $13,84 \pm 0,12$ SD) (Tab. 2), przy czym najwyższe wartości zanotowano dla grzybieni białych i grążeli żółtych ze stanowiska 9, a najniższe dla grzybieni ze stanowiska 21 oraz grążeli ze stanowiska 2.

Niskie wartości współczynnika zmienności (1,37% dla *Nymphaea alba* L. oraz 0,83% dla *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm.) wskazują na brak istotnego zróżnicowania sum ważonych dla poszczególnych gatunków.

Przeprowadzona analiza zależności pomiędzy zawartościami względnymi oznaczonych pierwiastków wykazała wiele istotnych statystycznie korelacji, które przedstawiono w tabeli 3.

DYSKUSJA

Wartości sum ważonych, uzyskane dla liści *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm., przekraczały wyraźnie wartość 12,5, podawaną przez Czarnowskiego [9], jako charakterystyczną dla roślin lądowych. Przyczyną może być wysoka zawartość wapnia

Tabela 1. Koncentracje względne pierwiastków w liściach *Nymphaea alba* L. [%]
The relative concentrations of elements in leaves of *Nymphaea alba* L. [%]

Stano- wisko Study sites	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Sr	V	Cu	Cr	Mn	Ni	Cd	Al	Co	Pb	Zn	Ba	Suma ważona Weighed sum
4	32.8	2.82	16.1	19.3	1.60	21.7	5.45	0.076	0.009	0.0027	0.0021	0.0054	0.11	0.0035	0.0014	0.040	0.0046	0.0071	0.038	0.006	13.34
5	34.2	3.34	16.9	17.9	1.60	21.1	4.61	0.101	0.011	0.0027	0.0059	0.0061	0.10	0.0043	0.0015	0.047	0.0049	0.0078	0.041	0.007	13.31
6	25.5	2.07	8.46	30.1	2.12	24.6	6.58	0.141	0.011	0.0006	0.0010	0.0094	0.25	0.0046	0.0018	0.088	0.0069	0.0078	0.060	0.009	13.38
7	32.0	2.65	10.4	26.7	2.75	18.6	5.77	0.172	0.024	0.0044	0.0034	0.0113	0.66	0.0078	0.0026	0.105	0.0086	0.0184	0.067	0.018	13.70
8	37.9	2.98	14.9	17.8	2.91	17.5	5.21	0.181	0.018	0.0035	0.0028	0.0097	0.42	0.0068	0.0021	0.083	0.0066	0.0153	0.056	0.012	13.58
9	36.2	2.88	14.9	22.3	3.45	14.3	5.18	0.138	0.015	0.0038	0.0036	0.0103	0.38	0.0068	0.0022	0.099	0.0079	0.0172	0.070	0.010	13.81
10	33.3	2.87	11.3	25.0	2.65	17.9	6.08	0.167	0.012	0.0024	0.0019	0.0102	0.60	0.0062	0.0020	0.070	0.0075	0.0124	0.060	0.014	13.70
12	33.3	2.63	11.3	23.5	3.34	19.4	5.78	0.226	0.008	0.0022	0.0020	0.0084	0.38	0.0069	0.0014	0.103	0.0086	0.0179	0.022	0.008	13.62
14	30.7	3.13	11.5	25.3	2.80	19.5	6.25	0.300	0.013	0.0027	0.0017	0.0117	0.41	0.0043	0.0022	0.063	0.0059	0.0101	0.023	0.011	13.62
15	32.5	2.20	9.96	25.6	1.92	20.7	6.37	0.103	0.007	0.0029	0.0027	0.0068	0.14	0.0040	0.0018	0.049	0.0064	0.0082	0.047	0.006	13.47
17	35.4	3.24	12.4	24.8	2.60	14.5	6.70	0.136	0.011	0.0007	0.0009	0.0066	0.14	0.0033	0.0019	0.080	0.0051	0.0104	0.070	0.005	13.77
19	35.7	2.96	9.53	24.2	2.69	17.9	6.60	0.076	0.007	0.0007	0.0011	0.0112	0.15	0.0050	0.0011	0.095	0.0074	0.0145	0.062	0.005	13.61
20	34.0	2.71	13.2	18.3	2.66	21.6	6.93	0.120	0.022	0.0007	0.0004	0.0091	0.19	0.0040	0.0010	0.094	0.0040	0.0016	0.049	0.053	13.38
21	32.3	2.40	9.11	19.8	2.53	25.7	7.56	0.104	0.014	0.0013	0.0009	0.0074	0.33	0.0040	0.0013	0.074	0.0051	0.0099	0.044	0.010	13.17
25	39.4	4.05	15.7	17.6	1.38	15.0	6.48	0.075	0.010	0.0033	0.0029	0.0052	0.11	0.0034	0.0015	0.050	0.0052	0.0103	0.034	0.062	13.54

Tabela 2. Koncentracje względne pierwiastków w liściach *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. [%]
 The relative concentrations of elements in leaves of *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. [%]

Stano- wisko Study sites	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Sr	V	Cu	Cr	Mn	Ni	Cd	Al	Co	Pb	Zn	Ba	Suma ważona Weighed sum
1	35.8	3.84	18.8	22.5	3.23	8.23	7.02	0.075	0.038	0.0028	0.0026	0.0064	0.24	0.0038	0.0017	0.046	0.0061	0.0103	0.046	0.151	13.85
2	33.3	4.82	26.8	21.4	2.22	4.27	6.64	0.065	0.038	0.0025	0.0015	0.0048	0.21	0.0036	0.0014	0.044	0.0062	0.0110	0.041	0.130	13.51
3	36.6	4.60	23.3	19.6	2.56	6.75	6.15	0.072	0.016	0.0031	0.0036	0.0056	0.25	0.0039	0.0017	0.042	0.0056	0.0109	0.044	0.028	13.66
8	41.3	4.03	18.3	21.3	3.11	5.54	5.85	0.098	0.026	0.0036	0.0025	0.0080	0.29	0.0053	0.0020	0.108	0.0069	0.0140	0.057	0.038	13.87
9	37.2	4.80	14.0	26.8	3.01	7.25	6.06	0.128	0.022	0.0028	0.0029	0.0085	0.45	0.0053	0.0023	0.085	0.0079	0.0118	0.066	0.061	13.98
11	35.7	4.37	16.5	27.3	3.53	6.12	5.78	0.156	0.041	0.0026	0.0030	0.0092	0.23	0.0054	0.0022	0.073	0.0082	0.0176	0.067	0.191	13.91
12	36.6	4.56	15.9	28.5	4.05	3.18	6.58	0.114	0.032	0.0024	0.0025	0.0094	0.21	0.0053	0.0020	0.076	0.0078	0.0126	0.067	0.121	13.79
13	35.9	4.30	17.0	26.3	4.16	5.67	5.97	0.179	0.027	0.0026	0.0022	0.0106	0.31	0.0058	0.0021	0.094	0.0091	0.0133	0.077	0.099	13.91
15	39.3	4.64	14.4	26.4	2.65	5.28	6.68	0.109	0.034	0.0022	0.0036	0.0056	0.19	0.0052	0.0024	0.051	0.0088	0.0150	0.051	0.178	13.90
16	36.1	4.96	12.5	31.1	2.84	5.38	6.38	0.055	0.047	0.030	0.0031	0.0064	0.19	0.0031	0.0015	0.061	0.0068	0.0104	0.056	0.232	13.89
18	38.8	5.07	10.5	28.5	2.79	6.12	7.67	0.087	0.036	0.0033	0.0030	0.0074	0.17	0.0042	0.0021	0.059	0.0073	0.0116	0.058	0.177	13.91
22	37.1	4.34	15.6	24.2	1.99	9.66	6.55	0.081	0.022	0.0028	0.0043	0.0060	0.19	0.0036	0.0016	0.041	0.0059	0.0116	0.047	0.150	13.87
23	34.9	4.10	11.9	30.5	2.72	8.72	6.63	0.087	0.022	0.0047	0.0028	0.0065	0.19	0.0038	0.0028	0.059	0.0081	0.0151	0.059	0.132	13.91
24	34.9	4.16	14.1	32.3	2.50	4.35	7.12	0.096	0.028	0.0009	0.0030	0.0082	0.14	0.0013	0.0013	0.061	0.0071	0.0117	0.051	0.180	13.83
25	33.1	4.02	14.4	32.6	2.37	5.12	7.80	0.087	0.038	0.0032	0.0035	0.0070	0.18	0.0038	0.0020	0.054	0.0075	0.0095	0.054	0.252	13.86

Tabela 3. Zależności między koncentracjami względnymi pierwiastków *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm.Relations between relative concentrations of elements in *Nymphaea alba* L. and *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm.

	Zależności Relations	Poziom istotności Significance level	R _{obliczone} R _{estimated}
<i>Nymphaea alba</i>	potas i wapń potassium and calcium	0,044	-0,53
	azot i potas nitrogen and potassium	0,016	0,61
	azot i fosfor nitrogen and phosphorous	0,002	0,73
	kadm i ołów cadmium and lead	0,047	0,52
	kadm i mangan cadmium and manganese	0,008	0,66
	kadm i nikiel cadmium and nickel	0,043	0,53
	<i>Nuphar lutea</i>	potas i wapń potassium and calcium	0,001
magnez i cynk magnesium and zinc		0,000	0,79
kadm i cynk cadmium and zinc		0,042	0,53
kadm i ołów cadmium and lead		0,013	0,63
kadm i nikiel cadmium and nickel		0,015	0,61
żelazo i miedź iron and copper		0,000	0,83
żelazo i glin iron and aluminium		0,011	0,64
glin i mangan aluminium and manganese		0,028	0,56
nikiel i cynk nickel and zinc		0,014	0,62

i sodu w badanych roślinach oraz wysokie wagi współzależnościowe tych kationów. Zawartości wapnia w liściach grzybieni białych wynosiły od 17,8 do 30,1% (Tab. 1), a w liściach grążeli żółtych od 19,6 do 32,6% (Tab. 2). Były one wyraźnie wyższe od wartości, podawanych przez Bernatowicza [4] i Markerta [19]. Według wspomnianych autorów przeciętna koncentracja tego pierwiastka w roślinach wynosi kolejno 0,15% i 1%. Najwyższą

wartość sumy ważonej dla *Nymphaea alba* L. zanotowano dla roślin ze stanowiska 9, które charakteryzowały się stosunkowo wysoką zawartością wapnia i potasu. Ponadto zawartości sodu w badanych makrohydrofitach (Tab. 1 i 2) przekraczały kilkakrotnie zakres, podawany przez Markerta [19]. Istotny wpływ na wartość sumy ważonej grzybieni białych i grążeli żółtych ma również zawartość innych metali. Najwyższą wartość sumy ważonej uzyskano dla *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. ze stanowiska 9, które cechowały się wysokimi zawartościami odpowiednio manganu i glinu.

W liściach *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. stwierdzono ujemne korelacje pomiędzy zawartościami względnymi potasu i wapnia, co potwierdza dane o spadku poboru wapnia przy podwyższonej podaży potasu [12] i wzajemnym antagonizmie tych jonów [24, 25]. Zanotowano również dodatnią korelację potasu z azotem w liściach grzybieni białych, co związane jest ze ścisłym uzależnieniem pobierania i magazynowania potasu z poziomem zaopatrzenia roślin w azot [3].

W przypadku grzybieni zawartość azotu była dodatnio skorelowana z zawartością fosforu, co potwierdza dane Fernandez-Alaeza i innych [10] o wzajemnej zależności między tymi dwoma pierwiastkami u wyższych roślin wodnych. Na drodze porównania koncentracji azotu i fosforu w częściach nadziemnych makrohydrofitów można określić, który z tych pierwiastków jest czynnikiem ograniczającym produkcję biomasy. Jeżeli zawartość azotu jest, co najmniej 16 razy większa od zawartości fosforu ($N:P > 16$), to czynnikiem ograniczającym jest fosfor. Z kolei, kiedy koncentracja azotu jest 14 razy mniejsza od zawartości fosforu ($N:P < 14$), to azot staje się czynnikiem ograniczającym [13]. Według Christmasa i Whittona [7] oraz Conleya [8] to fosfor jest czynnikiem ograniczającym produkcję pierwotną w ekosystemach jeziornych. Z kolei Gerloff i Krombholz [11] podają, że pierwiastkiem ograniczającym jest ten, którego zawartość w roślinach jest niższa od poziomu krytycznego. Według wspomnianych autorów poziomy azotu i fosforu krytyczne dla wzrostu roślin wodnych wynoszą odpowiednio 1,3% i 0,13%. W liściach *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. zawartość azotu przekraczała poziom krytyczny, ale stosunek azotu do fosforu był mniejszy od 14, co sugeruje, że rośliny bytują w warunkach eutroficznych i inne czynniki, na przykład zaopatrzenie w węgiel, a nie zasobność w pierwiastki pokarmowe, są czynnikami ograniczającymi [26].

Dodatnie korelacje między magnezem i cynkiem w liściach grążeli żółtych oraz kadmem i ołowiem w liściach obu badanych gatunków potwierdzają odpowiednio dane Szkolnika [28] oraz Kabaty-Pendias i Pendiasa [15] na temat synergizmu tych par jonów. Według Millera i innych [21] u roślin wodnych oddziaływania synergistyczne istnieją również między kadmem i cynkiem. Znalazło to potwierdzenie w niniejszej pracy w dodatnich korelacjach między koncentracjami względnymi kadmu i cynku w badanych makrohydrofitach. Według Kabaty-Pendias i Pendiasa [15] między żelazem i miedzią, żelazem i glinem, glinem i manganem, kadmem i manganem, kadmem i niklem oraz niklem i cynkiem w roślinach możliwe są zarówno oddziaływania synergistyczne jak i antagonistyczne. W liściach *Nymphaea alba* L. i *Nuphar lutea* (L.) Sibith. & Sm. stwierdzono jedynie dodatnie korelacje pomiędzy tymi metalami.

LITERATURA

- [1] Babko A.K., A.T. Pilipienko: *Analiza kolorymetryczna*, PWT, Warszawa 1995.
- [2] Bardsley C.E., J.D. Lancaster: *Determination of reserve sulphur and soluble sulphates in soils*, Soil. Sci. Proc., **24**, 265–268 (1960).

- [3] Barko J., R.M. Smart, D.G. McFarland, R.L. Chen: *Interrelationships between the growth of Hydrilla verticillata (L. F.) Role and sediment nutrient availability*, Aquatic Botany, **32**, 205–216 (1988).
- [4] Bernatowicz S.: *Macrophytes in the Lake Warniak and their chemical composition*, Ekologia Polska – Seria A, **XVII(2)**, 447–467 (1969).
- [5] Brock Th.C.M., M.C.M. Bongaerts, G.J.M.A. Heijnen, J.H.F.G. Heijthuijsen: *Nitrogen and phosphorus accumulation and cycling by Nymphoides peltata (Gmel.) O. Kuntze (Menyanthaceae)*, Aquatic Botany, **17**, 189–214 (1983).
- [6] Brock Th.C.M.: *Remarks on the distribution, survival biology and ecological role of the white, yellow and fringed waterlily*, [w:] Ecological studies on Nymphaeid water plant with emphasis on production and decomposition, Krips Repro Meppel, 17–35 (1985).
- [7] Christmas M., B.A. Whitton: *Phosphorus and aquatic bryophytes in the Swale-Ouse river system, north-east England. 1. Relationship between ambient phosphate, internal N:P ratio and surface phosphatase activity*, The Science of the Total Environment, **210/211**, 389–399 (1998).
- [8] Conley D.J.: *Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies*, Hydrobiologia, **410**, 87–96 (2000).
- [9] Czarnowski M.S.: *Równowaga kationowa w liściach roślin łądowych*, Archiwum Ochrony Środowiska, **2**, 49–59 (1977).
- [10] Fernandez-Alaez M., C. Fernandez-Alaez, E. Becares: *Nutrient content in macrophytes in Spanish shallow lakes*, Hydrobiologia, **408/409**, 317–326 (1999).
- [11] Gerloff G.G., P.H. Krombholz: *Tissue analysis as a measure of nutrient availability for growth of angiosperm aquatic plants*, Limnol. Oceanogr., **11**, 529–537 (1966).
- [12] Gumiński S.: *Ogólna fizjologia roślin*, PWN, Warszawa 1976.
- [13] Güsewell S., W. Koerselman, J.T.A. Verhoeven: *The N:P ratio and the nutrient limitation of wetland plants*, Bulletin of the Geobotanical Institute ETH, **64**, 77–90 (1998).
- [14] Joachimiak B.: *Jeziora województwa leszczyńskiego*, Leszczyńska Oficyna Wydawnicza, Leszno 1995.
- [15] Kabata-Pendias A., H. Pendias: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1993.
- [16] Kok C.J., G. Van der Velde, K.M. Landsberger: *Production, nutrient dynamics and initial decomposition of floating leaves of Nymphaea alba L. and Nuphar lutea (L.) Sm. (Nymphaeaceae) in alkaline and acid waters*, Biogeochemistry, **11**, 235–250 (1990).
- [17] Kuehn K.A., M.O. Gessner, R.G. Wetzel, K. Suberkropp: *Decomposition and CO₂ Evolution from Standing Litter of the Emergent Macrophyte Erianthus giganteus*, Microb. Ecol., **38**, 50–57 (1999).
- [18] Kuehn K.A., M.J. Lemke, K. Suberkropp, R.G. Wetzel: *Microbial biomass and production associated with decaying leaf litter of the emergent macrophyte Juncus effusus*, Limnol. Oceanogr., **45(4)**, 862–870 (2000).
- [19] Markert B.: *Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems*, Vegetatio, **103**, 1–30 (1992).
- [20] Mejsbaum-Katzenelenbogen W., I. Mochacka: *Kurs praktyczny z biochemii*, PWN, Warszawa 1968.
- [21] Miller G.E., I. Wile, G.G. Hitchin: *Patterns of accumulation of selected metals in members of the soft water macrophyte flora of Central Ontario Lakes*, Aquatic Botany, **15**, 53–64 (1983).
- [22] Parker R.E.: *Introductory Statistics for Biology*, Edward Arnold Publishers Ltd., London 1983.
- [23] Pip E.: *Cadmium, copper and lead in aquatic macrophytes in Shoal Lake (Manitoba-Ontario)*, Hydrobiologia, **208**, 253–260 (1990).
- [24] Samecka-Cymerman A.: *Interakcje kationów w Scapania undulata (L.) DUM*, Archiwum Ochrony Środowiska, **3-4**, 127–133 (1988).
- [25] Samecka-Cymerman A.: *Rtęć i inne pierwiastki w Butomus umbellatus L. i Polygonum amphibium L.*, Prace Botaniczne LXIII, Acta Universitatis Wratislaviensis, 125–138 (1995).
- [26] Spink A.J., K.J. Murphy, D.F. Westlake: *Distribution and environmental regulation of species of Ranunculus subgenus Batrachium in British river*, Arch. Hydrobiol., **139(4)**, 509–525 (1997).
- [27] StatSoft Inc.: *STATISTICA for Windows (data analysis software system)*, version 6, www.statsoft.com (2001).
- [28] Szkolnik M.: *Mikroelementy w życiu roślin*, PWRiL, Warszawa 1980.
- [29] Żuk B.: *Biometria stosowana*, PWN, Warszawa 1989.