MONOGRAPHIAE BOTANICAE
VOL. LV, 1977

HANNA WOŻAKOWSKA-NATKANIEC

EKOLOGICZNA PROMIENIOCZUŁOŚĆ *LEMNA MINOR* L. I *SPIRODELA POLYRRHIZA* L. SCHLEIDEN

Ecological radiosensitivity of *Lemna minor* L. and *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden

WSTĘP

Aktualny stan i zadania radioekologii kreślą między innymi Aleksachin (1968, 1972) i Verchovska (1971). Jednym z zagadnień dotychczas niedostatecznie poznanym jest wpływ ekologicznych czynników na promienioczułość roślin (Preobrażeńska 1972).

Pojęcie ekologicznej promienioczułości roślin podał Aleksachin (1968) podkreślając możliwość zmian tolerancji roślin wobec promieniowania pod wpływem szerokiego spektrum warunków środowiska. Pierwsi zwrócili uwagę na to zjawisko Sparrow, Schairer i Woodwell (1965) badając wpływ ciągłego promieniowania gamma na *Pinus rigida* Mill. w różnych warunkach uprawy oraz Woodwell i Oosting (1965) analizując przebieg naturalnej sukcesji roślinnej na hałdach kopalni uranu. Następnie Sarosiek i Wożakowska-Natkaniec (1968), badając wpływ ostrego promieniowania gamma na *Marchantia polymorpha* L., stwierdzili istotne różnice w promienioczułości roślin tego gatunku pochodzących z naturalnych anomalii radiacyjnych i z siedlisk bez podwyższonej radioaktywności. Podobnie wyższą odporność na ostre promieniowanie gamma z ^{60}Co wykazuje *Marchantia alpestris* Ness., pochodząca z sudeckich anomalii radiacyjnych (Sarosiek 1972).

Celem niniejszych badań było poznanie ekologicznej promienioczułości rzęsy drobnej (*Lemna minor* L.) i spirodeli wielokorzeniowej (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden) z rodziny *Lemnaceae*. Wybór gatunków

do badań ekologicznej promienioczułości roślin nie jest kwestią przypadku. Oba gatunki występują w dużej skali warunków ekologicznych i mają szerokie rozprzestrzenienie geograficzne (Hegelmaier 1868; Landolt 1957; Daubs 1965). Tworzą one zróżnicowane siedliskowo, naturalne, tj. ekologiczne populacje uwarunkowane różnicą istotnych czynników środowiska, wśród nich naturalną radioaktywnością wód (Wożakowska-Natkaniec 1977). Należało odpowiedzieć na pytanie: 1. Czy zróżnicowane ekologiczne populacje badanych gatunków wykażą istotne różnice w reakcji na ostre promieniowanie gamma z ^{60}Co?, 2. Czy ekologiczne populacje pochodzące z sudeckiej anomalii radiacyjnej wyróżniają się wśród pozostałych populacji zakresem tolerancji wobec promieniowania? Znane są bowiem ekotypy roślin uwarunkowane ciągłym, niskopoziomowym promieniowaniem podłoża naturalnych siedlisk (Mc Cormick i Platt 1963; Osburn 1961; Kovalski, Vorotniska i Lekarev 1967; Sarosiek i Wożakowska-Natkaniec 1967; Sarosiek, Koła i Orda 1973). Poznanie radioekologii roślin w warunkach naturalnych anomalii radiacyjnych ma szczególne znaczenie dla dalszego rozwoju tego kierunku badań, co podkreślają między innymi Grodzienski (1965), Polikarpov (1964) i Sarosiek (1972).

Za słusznością wyboru obu gatunków do niniejszych badań przemawiały również informacje ekologiczne z zakresu radiobiologii roślin z rodziny *Lemnaceae*. Rośliny wodne, a wśród nich *Lemna minor* L. i *Lemna trisulca* L., odznaczają się szczególną zdolnością akumulacji radioaktywnych pierwiastków, znacznie wyższą niż rośliny lądowe (Baranov i Kunaszeva 1954; Iskra i inni 1971). *Lemna minor* zdolna jest do akumulacji radiocezu nie zmieniając swej produkcji biomasy i może być wykorzystana do bioindykacji tego izotopu, a także do częściowej reaktywacji radioaktywnego skażenia wody (Włodek 1966).

Choć dotychczasowe badania radiobiologiczne roślin z rodziny *Lemnaceae* są skromne, to jednak informują nas w przybliżeniu o wrażliwości ich na promieniowanie. Badania Johnsona (1941) i Kasinova (1966a) z naturalnymi i doświadczalnymi populacjami *Lemna minor* wykazały, iż promieniowanie X i gamma ograniczają i opóźniają wegetatywne rozmnażanie tych roślin. Kasinov (1966b) analizując przeżywalność popromienną populacji określił 7 kR jako dawkę letalną (DL 50) dla *Lemna minor*, a Posner i Hillman (1960), badając wpływ promieni X na *Lemna perpusilla* Torr., określili 5 kR jako dawkę letalną (DL 50) dla tego gatunku, przy czym stwierdzili jako jedyne

trwałe następstwo napromienienia inwersję porządku rozwoju członów prawo- i lewostronnych. Dotychczas spirodela wielokorzeniowa nie była przedmiotem badań radiobiologicznych.

METODYKA BADAŃ

WYBÓR POPULACJI *LEMNA MINOR* I *SPIRODELA POLYRRHIZA*

Do przeprowadzenia niniejszych badań wybrano 14 ekologicznych populacji *Lemna minor* i 5 populacji *Spirodela polyrrhiza* z 16 siedlisk Dolnego Śląska na podstawie szczegółowych badań analitycznych i eksperymentalnych (Wożakowska-Natkaniec 1977). W poprzedniej pracy wykazano, że siedliska rozwoju *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* charakteryzuje różny stopień eutrofizacji, o czym świadczą stwierdzone istotne różnice między nimi pod względem charakterystyk chemicznych wody (pH, zawartość N, P, K, Ca, Mg i Fe). To zróżnicowanie siedlisk warunkuje w mniejszym lub większym stopniu swoistość ekologicznych populacji obu gatunków, która wyraża się kształtem i wielkością roślin, frekwencją roślin dwu-, trój- i czteroczłonowych, wartością stosunku roślin prawo- do lewostronnych oraz dynamiką wzrostu i produkcją biomasy. Na podstawie doświadczeń w stenotopowych warunkach dla wszystkich populacji ustalono, że zmienność wewnątrzgatunkowa *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* ma charakter dwóch układów uwarunkowanych zmiennymi czynnikami środowiska: układ zmienności ekofenów (12 populacji) i układ zmienności ekotypów (7 populacji).

Populacje *Lemna minor:*

1) ze stawu I w Radeczu, ekofen;
2) ze stawu II w Radeczu, ekotyp;
3) ze stawu w Jajkowie, ekofen;
4) ze stawu w Lipie Piotrkowskiej, ekofen;
5) ze stawu I w Radoniowie, ekotyp uwarunkowany naturalną radioaktywnością wody *;

---

* Siedliska z Radoniowa (5 i 6) różnią się od pozostałych siedlisk podwyższoną, tj. wyższą od tła, naturalną radioaktywnością. Są to wody radonowe. Średnia radoczynność badanych wód wynosi około 20 μCi i jest uwarunkowana obecnością radonu i produktów jego rozpadu — RaA, RaB, RaC, RaC', RaC'' (Sarosiek 1972). Koncentracja radonu w badanych wodach związanych z ciałem rudnym w strefie areacji ulega zmianom w ciągu roku, niekiedy od 50 do 2000 emanów (1 μCi = 10 emany) (Kaczmarek i J. Łuczejko 1961). Obok bardzo wysokich wartości koncentracji radonu w wodzie, rzędu setek emanów/1, koncentracja uranu nie przekracza wartości 5×10^{-6} g/l.

6) ze stawu II w Radoniowie, ekotyp uwarunkowany naturalną radioaktywnością wody;
7) ze stawu w Proszówce, ekofen;
8) ze stawu w Staniszowie, ekofen;
9) ze stawu w Paulinum k. Jeleniej Góry, ekofen;
10) ze stawu w Jeleniej Górze, ekofen;
11) ze stawu w Jelczu, ekofen;
12) z rzeki Widawki k. Wrocławia, ekotyp;
13) z rowu melioracyjnego w Wojszycach we Wrocławiu, ekotyp;
14) ze stawu w Złotnikach, ekotyp.

Populacje *Spirodela polyrrhiza:*

1) ze stawu w Ogrodzie Botanicznym we Wrocławiu, ekofen
2) ze stawu w Szczodrym k. Wrocławia, ekofen
3) ze stawu w Jelczu, ekofen
4) ze stawu w Paulinum k. Jeleniej Góry, ekofen
5) ze stawu w Staniszowie, ekotyp.

DOŚWIADCZENIA

W badaniach radioekologicznych oznaczenie promienioczułości roślin polega na określeniu właściwych reakcji rozwojowych roślin na promieniowanie oraz ich przeżywalności przy określonej dawce ekspozycji (Sparrow 1962). W radioekologii przy określeniu ekologicznej promienioczułości roślin przyjęło się używać pojęcia tolerancji roślin wobec promieniowania (Sparrow 1965), które jest na ogół czynnikiem dyskryminującym (Mericle 1965). Określenie promienioczułości *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* wymagało przeprowadzenia planowych doświadczeń z roślinami tych gatunków z różnych ekologicznych populacji.

Kultury *in vitro*

Rośliny z naturalnych populacji sterylizowano 0,1% roztworem sublimatu i 50% alkoholem zanurzając je na 30 do 60 s, zależnie od gatunku, zgodnie z Kandelerem (1955) i Czopkiem (1963). Po przemyciu roślin sterylną wodą destylowaną przenoszono je do kolb Erlenmayera ze sterylną pożywką. Powyższe czynności wykonano w warunkach aseptycznych, w komorze do szczepień. Po kilku dniach hodowli w termostacie świetlnym (około 1200 lx, 26°C), z ginących pędów macierzystych regenerują człony potomne, dające początek sterylnej hodowli. Tak uzyskane rośliny z poszczególnych populacji służyły do dalszych doświadczeń.

Kultury *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* rosły sterylnie w pożyw-

ce płynnej Hoaglanda w modyfikacji. W. Czerwińskiego (informacja ustna od autora modyfikacji pożywki) o następującym składzie: *

$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	0,252 g
KCL	0,447 g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,493 g
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	1,653 g
cytrynian żelazowy	0,005 g

W ilości 1 ml/l pożywki dodawano mikroelementy w zestawie Gorhama *:

H_3BO_3	2,86 g
$MnCl_2 \cdot 4\ H_2O$	3,62 g
$ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$	0,22 g
$Na_2MoO_4 \cdot H_2O$	0,17 g
$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$	0,08 g

Ponadto do pożywki dodawano 1% sacharozy. Odczyn pożywki ustalono na poziomie pH 5,9. Pożywki sterylizowano w autoklawie przez 45 min przy 0,5 atm. Doświadczenia przeprowadzono w stałych warunkach świetlnych i termicznych: oświetlenie ciągłe 1200 lx temperatura 26°C ± 1°. Rośliny doświadczalne umieszczano w kolbach Erlenmayera o pojemności 100 ml zawierających 50 ml pożywki. Doświadczenia trwały 14 dni.

Po upływie 14 dni od założenia doświadczenia zbadano liczbę członów, oznaczono suchą masę (wartość suchej masy podano w przeliczeniu na 10 członów wyjściowych). Rośliny sfotografowano i na podstawie zdjęć określono wielkość roślin, wyrażoną powierzchnią członów w mm², przy czym oddzielnie dokonano pomiaru powierzchni roślin dwu-, trój- i czteroczłonowych, bowiem znane są zależności wielkości członów macierzystych danej rośliny od liczby członów siostrzanych (Kasinov 1968b). Pomiary powierzchni członów wykonano metodą fotograficzno-planimetryczną, stosowaną przez Gorhama (1941), a następnie Czopka (1959) w ocenie wzrostu *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* w kulturach. Błąd planimetrowania nie przekraczał 0,2%. W czasie trwania doświadczenia obliczono szybkość rozmnażania V według wzoru Landolta (1957):

$$V = 0{,}4343 \lg \frac{N_t}{N_0} \cdot \frac{1}{t} \cdot 1000\,;$$

gdzie:

N_0 — początkowa liczba członów,

N_t — końcowa liczba członów w danym czasie t wyrażonym w dobach.

* W 1 l wody destylowanej.

Wartość *V* wyraża wzrost kultury. W ten sposób szybkość wzrostu kultury roślin z rodziny *Lemnaceae* wyrażali również Hillman i Posner (1960) oraz Kasinov (1966 b).

Doświadczenie I

Doświadczenie wstępne ze zróżnicowanymi dawkami promieniowania (wg Finka 1964 — dawki ekspozycji) miało na celu określenie przeżywalności roślin po napromienieniu i ustaleniu dawek letalnych DL 50, określających promienioczułość badanych roślin. Doświadczeniem objęto rośliny reprezentujące wszystkie naturalne populacje *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza*. Rośliny poddano promieniowaniu gamma ze źródła ^{60}Co w Samodzielnej Pracowni Radiobiologii IHAR w Radzikowie k. Warszawy. Dawki promieniowania zróżnicowano od 100 do 10 000 R, przy czym czas ekspozycji dla zastosowanych dawek wynosił: 100 R — 50 min, 200 R — 1 h 41 min, 300 R — 2 h 31 min, 500 R — 4 h 12 min, 700 R — 5 h 53 min, 1000 R — 8 h 24 min, 2000 R — 16 h 49 min, 3000 R — 25 h 14 min, 4000 R — 33 h 38 min, 5000 R — 42 h, 6000 R — 50 h 27 min, 7000 R — 58 h 52 min, 8000 R — 67 h 17 min, 10 000 R — 84 h 06 min. Moc promieniowania dla wszystkich zastosowanych dawek wynosiła 118,9 R/h. Aktywność źródła ^{60}Co wynosiła 144,8 g · r · Ra, co równa się 92,7 Ci. Rośliny napromieniono w dniach 19-23 maja 1972 r. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla każdej kombinacji. Powtórzenie stanowiły trzy trójczłonowe rośliny w jednej kolbie. Poza zróżnicowanymi dawkami promieniowania warunki doświadczenia zachowano takie same jak w doświadczeniu I. Podczas trwania doświadczenia (14 dni) liczono człony i ustalono dawki letalne DL 50. Ponadto poczyniono obserwacje nad popromiennymi zaburzeniami rozwojowymi.

Wyniki tego doświadczenia stanowiły podstawę wyboru 6 populacji *Lemna minor* i 3 populacji *Spirodela polyrrhiza*, różniących się dobitniej między sobą reakcją na promieniowanie, do doświadczenia II.

Doświadczenie II

W doświadczeniu tym, na podstawie wyników doświadczenia I, podwyższono dawki progowe promieniowania i zwiększono ich zakres (0,3 do 15 kR). Napromienienie roślin przeprowadzono w Instytucie Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej, przy czym poza zwiększoną mocą promieniowania dla zastosowanych dawek, warunki napromienienia pozostawały te same jak i w poprzednim doświadczeniu. (Według Posnera i Hillmana — 1960 reakcja roślin *Lemna perpusilla* na promieniowanie niezależna jest od mocy dawki). Moc promieniowania w tym doświadczeniu wynosiła 2000 R/h i pozwoliła skrócić czas ekspozycji całego doświadczenia do 8 godzin w listopadzie 1973 r.

Dla roślin reprezentujących dane populacje następująco zróżnicowano dawki ekspozycji:

1. Dawki 300, 500, 1000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 12 000 i 15 000 R dla populacji *Lemna minor* z siedliska w Radeczu (1), Radoniowie (5) i w Proszówce (7) oraz dla populacji *Spirodela polyrrhiza* z siedliska we Wrocławiu (1) i z Paulinum k. Jeleniej Góry (4).

2. Dawki 300, 1000, 3000, 5000, 8000 i 12 000 R dla populacji *Lemna minor* z siedliska w Radoniowie (6), w Jeleniej Górze (10) i w Wojszycach (13).

3. Dawki 300, 1000, 3000, 5000, 10 000, 12 000 i 15 000 R dla populacji pochodzących z siedliska w Paulinum k. Jeleniej Góry (4) i w Staniszowie k. Jeleniej Góry (5).

W tej kombinacji doświadczenia populację z Paulinum k. Jeleniej Góry, obok normalnych roślin, reprezentują formy roślin jesienno-zimowego kompleksu warunków.

METODY STATYSTYCZNO-MATEMATYCZNE

W opracowaniu danych empirycznych zastosowano następujące metody statystyczne: analizę wariancji z dwoma i trzema czynnikami, metodę korelacji dwóch zmiennych i korelacji wielokrotnej. Określono błąd średniej, półprzedział ufności i najmniejszą istotną różnicę (NIR), obliczając zmienność całkowitą, zmienność resztową, zmienność powtórzeniową oraz zmienność czynników. Istotność zróżnicowania określono testem F Snedecora przy poziomie prawdopodobieństwa 0,05 (Scheffe 1959).

Metodą korelacji dwóch zmiennych i korelacji wielokrotnej zbadano zależności między liczbą oraz biomasą roślin a wielkością dawki promieniowania gamma. Wyznaczono współczynniki korelacji i współczynniki regresji metodą najmniejszych kwadratów według algorytmu opisanego w pracy Beale, Kendall i Manna (1967). Istotność obliczonych współczynników korelacji sprawdzono testem F Snedecora, a współczynników regresji testem T Studenta, (sposób wyznaczania współczynników korelacji wielokrotnych oraz testowanie istotności podaje Rao 1965). Wykresami przedstawiono analizowane zależności (liniowe i kwadratowe) oraz podano ich równania wraz z naniesionymi danymi wyjściowymi (tab. 6).

WYNIKI

PROMIENIOCZUŁOŚĆ *LEMNA MINOR* I *SPIRODELA POLYRRHIZA*

Promienioczułość roślin przyjęto określać zmniejszoną przeżywalnością roślin, która jako biologiczny efekt napromienienia manifestuje się w określonym czasie frekwencją śmiertelności osobników (najczęściej

określa się 30, 50 lub 100%) w populacji przy określonej dawce promieniowania (Gunckel 1965; Sparrow 1962; Grodzieński 1969). W przypadku małych dawek napromienienia, nie wywołujących w krótkim czasie śmiertelności roślin, promienioczułość określa się najczęściej stopniem zahamowania wzrostu oraz występowaniem różnego rodzaju anomalii rozwojowych (Gunckel 1957).

W doświadczeniu I i II określono promienioczułość roślin każdej populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* wyznaczając dawki letalne DL 50 i DL 100%.

Doświadczenie I

(a) Przeżywalność popromienna

Przeżywalność roślin badanych populacji *Lemna minor* w kulturze in *vitro* po 14 dniach od napromienienia przedstawia Tab. 1.

Tabela 1 — Table 1

Przeżywalność populacji *Lemna minor*

Survival rate populations' *Lemna minor*

Populacje Populations	Liczba członów Number of fronds		Dawka letalna (R) Lethal dose (R)	
	kontrolna control	po napromienieniu after irradiation	DL 50	DL 100
1	30,5	14,0	4000	6000
2	30,2	13,5	5000	8000
3	34,6	16,2	5000	7000
4	28,3	11,5	5000	8000
5	29,1	13,1	10000	—
6	26,2	10,4	8000	—
7	42,8	18,7	6000	10000
8	38,5	14,6	7000	10000
9	42,2	19,4	6000	8000
10	39,4	16,8	5000	7000
11	38,8	10,5	5000	8000
12	30,9	13,2	5000	7000
13	40,2	18,5	7000	—
14	32,5	18,6	5000	8000

Śmiertelność 50% roślin (wartości średnie zbliżone) z badanych populacji *Lemna minor* występuje w przedziale dawek promieniowania od 4000 do 10 000 R (DL 50). Największą promienioczułość wykazują rośliny populacji z Radecza (1), dla których DL 50 wynosi tylko 4000 R. Naj-

mniej promienioczułymi są rośliny populacji z Radoniowa (5 i 6), dla których wartości DL 50 wynoszą odpowiednio 10 000 i 8000 R. Rośliny tych populacji odznaczają się wśród innych największą odpornością na promieniowanie gamma. Stwierdzono odpowiednio wyższe wartości dawek DL 100. Całkowita śmiertelność roślin z populacji najbardziej promienioczułej (z Radecza) nastąpiła już przy napromienieniu dawką 6000 R. Rośliny populacji z Radoniowa (5 i 6) oraz populacji z Wojszyc (13) w tym doświadczeniu przeżyły w ilości 17,5 do 23,3% ogółu po napromienieniu ich najwyższą zastosowaną dawką (10 000 R), aczkolwiek u roślin przeżywających obserwowano niemalże skrajne zahamowanie wzrostu na dłuższy okres. Mimo wyraźnie występujących anomalii rozwojowych roślin tych populacji, należy podkreślić względnie dużą tolerancję ich wobec ostrego promieniowania, jako czynnika dyskryminującego. Przeżywalność roślin z tych trzech populacji, przy wyższych dawkach promieniowania od 10 000 R, zbadano w następnym doświadczeniu.

Przeżywalność roślin populacji *Spirodela polyrrhiza* w kulturze *in vitro* po 14 dniach od napromienienia przedstawia tabela 2.

Tabela 2 — Table 2

Przeżywalność populacji *Spirodela polyrrhiza*

Survival rate populations' *Spirodela polyrrhiza*

Populacje Populations	Liczba członów Number of fronds		Dawka letalna (R) Lethal dose (R)	
	kontrolna control	po napromieniu after irradiation	DL 50	DL 100
1	76,5	28,7	7000	—
2	70,2	30,5	7000	10000
3	81,3	36,8	8000	—
4	90,5	40,5	8000	—
5	75,6	25,8	6000	10000

Śmiertelność 50% roślin (wartości średnie zbliżone) z badanych populacji *Spirodela polyrrhiza* występuje w przedziale dawek promieniowania od 6000 do 8000 R. Śmiertelność 50% roślin populacji ze Staniszowa (5) po napromienieniu dawką 6000 R wskazuje na ich największą promienioczułość względem pozostałych populacji i określa je jako najmniej odporne na promieniowanie. Najodporniejsze na promieniowanie są rośliny populacji z Jelcza (3) i z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), dla których wartość DL 50 wynosi 8000 R. Rośliny tych populacji wykazują więc największą tolerancję wobec ostrego promieniowania gamma wśród bada-

nych populacji. Całkowitą śmiertelność roślin tych populacji zbadano w następnym doświadczeniu, w którym zwiększono zakres dawek ekspozycji do 15000 R. Rośliny te przeżywały napromienienie dawką 10 000 R, w ilości od 27,0 do 31,5% ogółu, chociaż i w tym przypadku wyraźnie wystąpiły anomalie rozwojowe, a zahamowanie wzrostu i rozmnażania utrzymywało się przez dłuższy okres. Całkowita śmiertelność roślin populacji ze Szczodrego (2) i populacji ze Staniszowa (5) wystąpiła po napromienieniu dawką 10 000 R.

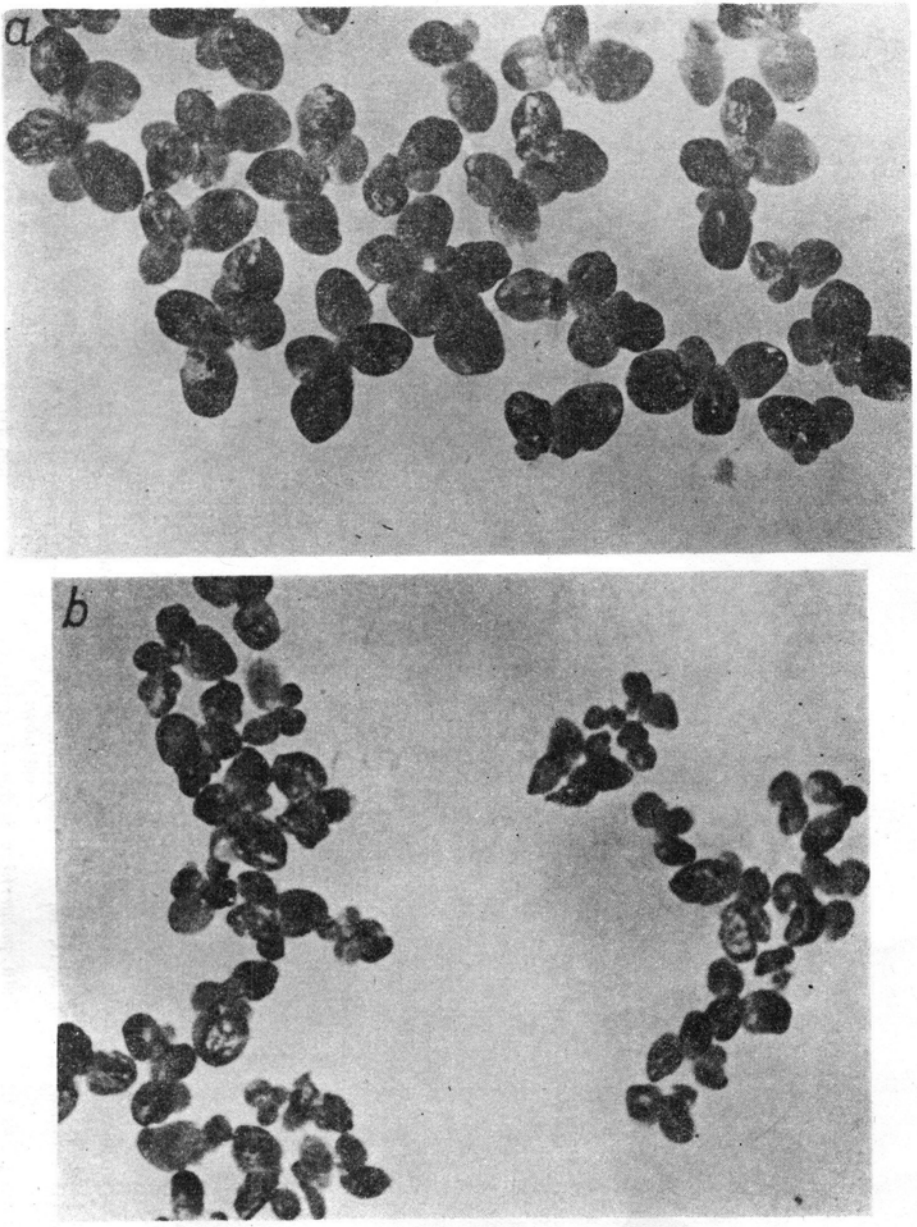
Określone dawki letalne DL 50 i DL 100 dla roślin populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* wskazują na względnie wyższą promieniowczułość populacji *Lemna minor* w stosunku do populacji *Spirodela polyrrhiza.*

W doświadczeniu tym, z uwagi na dużą liczbę badanych populacji (łącznie dla 2 gatunków 19) pod względem promienioczułości, niemożliwością było precyzyjne oznaczenie progu wrażliwości na promieniowanie, bowiem zdaniem Süssa i Haischa (1964) w przypadku małych dawek promieniowania z natury rzeczy trudno jest uchwycić granicę pomiędzy efektem stymulacji i inhibicji wzrostu. Przy tak dużej liczbie populacji niemożliwy byłby pomiar liczebności członów w krótkim czasie, w tymże samym terminie dla wszystkich populacji. Niemniej jednak nie stwierdzono efektu wzrostowego promieniowania w tym doświadczeniu przy dawkach 100 i 200 R. Pozwoliło to w doświadczeniu II podnieść próg działania do dawki 300 R. Dawkę 300 R jako próg wrażliwości ustalili również Posner i Hillman (1960).

(b) Indukcja anomalii rozwojowych (obserwacja)

Bezpośrednim wizualnym efektem ostrego napromienienia dawkami letalnymi roślin w badanych populacjach jest wyraźne zahamowanie wzrostu członów oraz zahamowanie rozmnażania wegetatywnego. Po upływie 8-12 dni od napromienienia roślin obserwuje się postępujące blednienie członów. (Na podstawie frekwencji postępującego blednienia członów, aczkolwiek z dużą tolerancją błędu, Posner i Hillman (1960) oznaczyli dawki letalne dla *Lemna perpusilla*).

U wszystkich badanych populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* promieniowanie gamma, poczynając od dawki 1000 R wzwyż, indukuje różne zmiany morfologiczne, nasilające się wraz ze wzrostem dawek promieniowania w swej naturze, jak i z frekwencją anomalnie rozwijających się członów w doświadczalnych koloniach. Większość z nich u gatunków z rodzaju *Lemna* już opisano (Johnson 1941; Wangermann i Lacey 1953; Posner i Hillman 1960; Kasinov 1966).

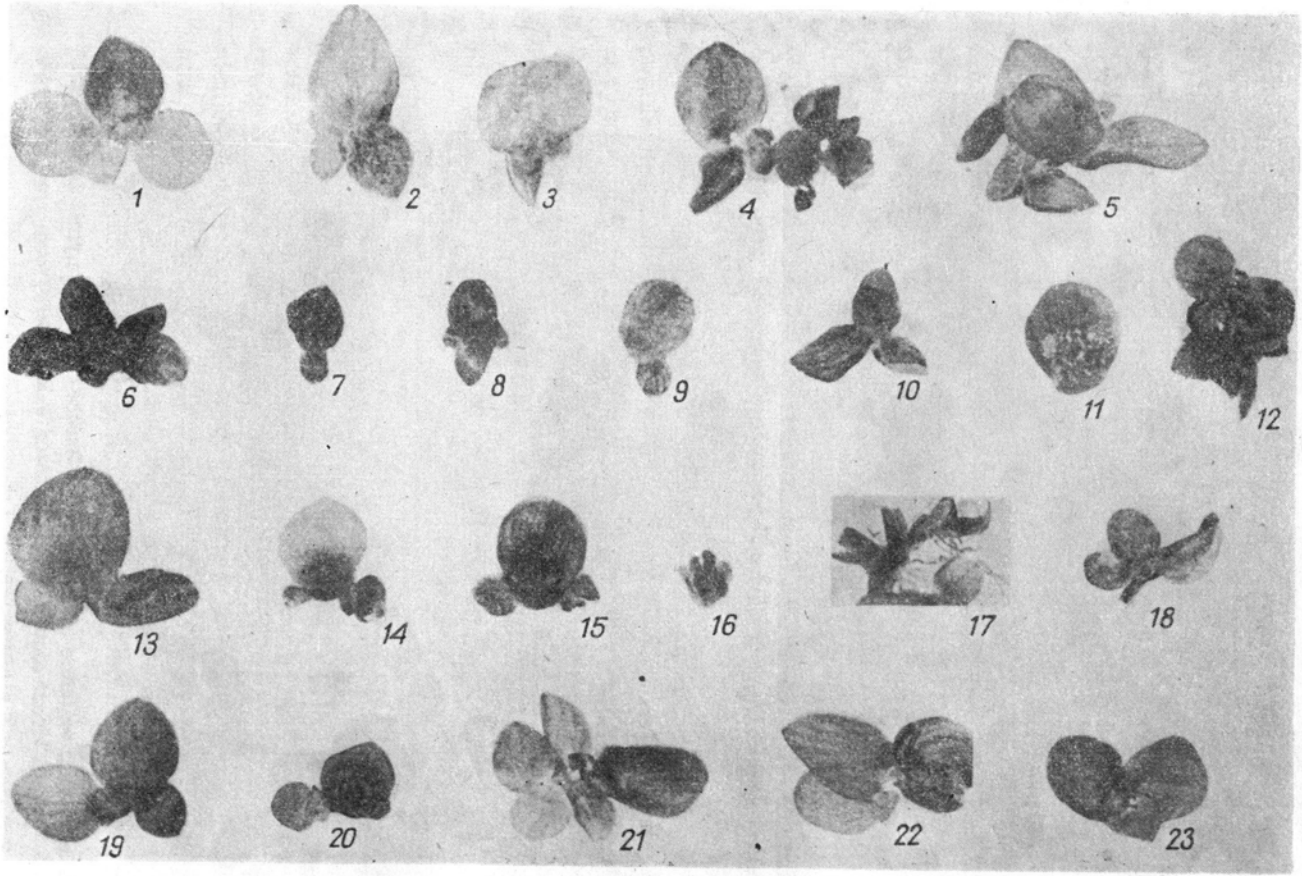


Rys. 1. Porażenia popromienne roślin *Lemna minor* z widocznymi anomaliami rozwojowymi, przy dawce 5 kR:

a — populacja z Radoniowa (5); *b* — populacja z Widawki (12)

Fig. 1. Stroke of plants *Lemna minor* after irradiation with sightly developing anomalies, at total dose 5 kR:

a — population from Radoniów (5); *b* — population from Widawka (12)

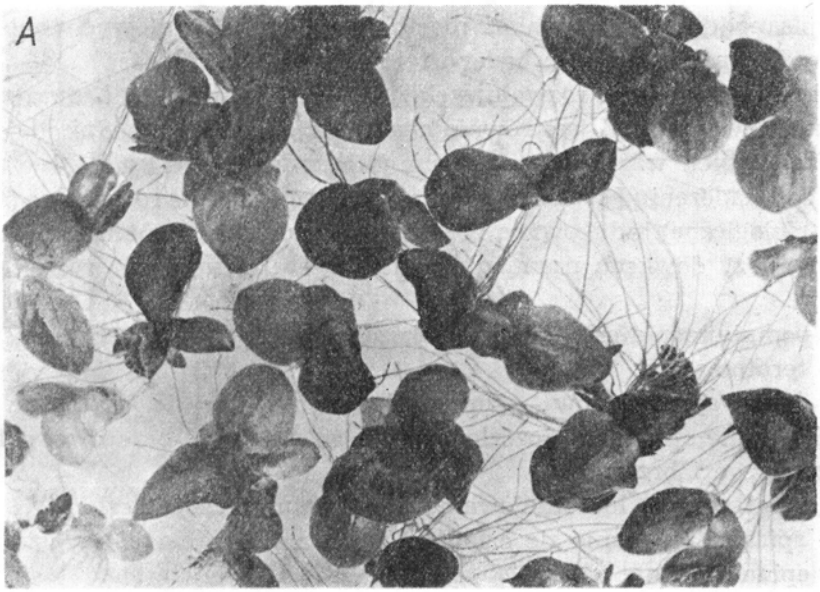


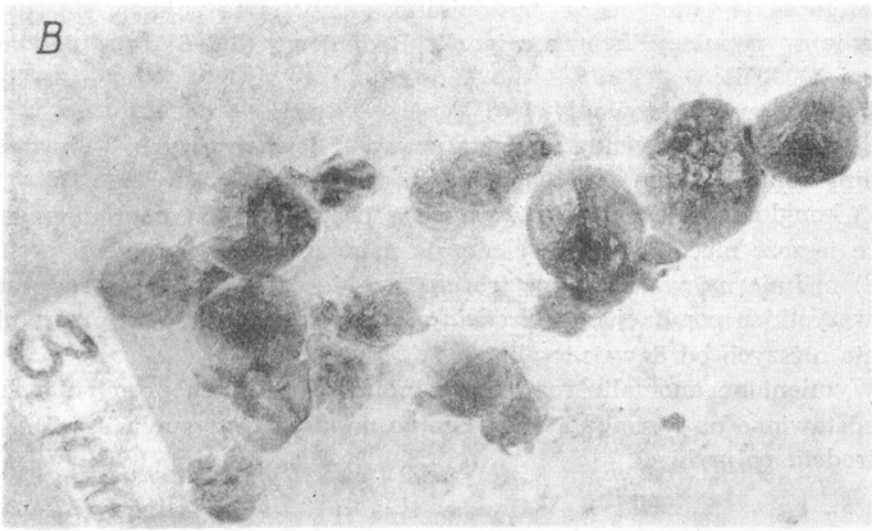
Rys. 2. Anomalie rozwojowe *Spirodela polyrrhiza* indukowane promieniowaniem gamma z ^{60}Co:

a — rośliny normalne: 1, 19; *b* — pomniejszenie członów (teratoma): 7, 8, 9, 18; *c* — deformacje członów — zmiana kształtu, asymetria, pofałdowania, apikalne pęknięcia członów: 2, 3, 4, 6, 14, 16; *d* — inwertant: 15; *e* — chlorozy punktowe: 2, 11, 12; *f* — heterotaksja: 23; *g* — skręcenia członów: 4, 5, 6, 12

Fig. 2. Developing anomalies of *Spirodela polyrrhiza* induced acute gamma irradiation from ^{60}Co:

a — normal plants: 1, 19; *b* — decrease of fronds: 7, 8, 9, 18; *c* — malformation of fronds — change of shape, asymmetric, wringling, apical cracked fronds: 2, 3, 4, 6, 14, 16; *d* — invertante: 15; *e* — point chlorosis (motted): 2, 11, 12; *f* — heterotaxis: 23; *g* — torsion of fronds: 4, 5, 6, 12





Rys. 3A. Porażenia popromienne roślin *Spirodela polyrrhiza*, przy dawce 6 kR, widoczne anomalie rozwojowe — populacja z Paulinum (4)

Fig. 3A. Stroke of plants *Spirodela polyrrhiza* after irradiation, at total dose 6 kR, with slightly anomalies — population from Paulinum (4)

Rys. 3B. Porażenia popromienne roślin *Spirodela polyrrhiza*, przy dawce 10 kR widoczne anomalie rozwojowe — populacja z Jelcza (3)

Fig. 3B. Stroke of plants *Spirodela polyrrhiza* after irradiation, at total dose 10 kR, with developing anomalies — population from Jelcz (3)

Nie opisano dotychczas zmian morfologicznych, rozwojowych anomalii u *Spirodela polyrrhiza*, nie badano też jej promienioczułości.

Większość anomalii rozwojowych, jakie obserwowano u *Lemna minor* w tym doświadczeniu, jest równie charakterystyczna i dla *Spirodela polyrrhiza*. Z tych względów omawiam je łącznie.

W doświadczeniu I stwierdzono następujące anomalie rozwojowe (zmiany morfologiczne) indukowane przez promieniowanie, a manifestujące się dobitnie przy dawkach promieniowania DL 50 (różnych dla różnych populacji):

1) pomniejszenie członów, w większości harmonijne formy nanistyczne — teratoma *;

2) deformacje członów — zmiana kształtu w zarysie, asymetria oraz dotychczas nie opisywane rozczłonowanie, wrębna linia brzegowa, pęknięcia szczytowe i brzeżne,

— zmarszczenia lub sfałdowanie powierzchni i całych członów,

— spiralne skręcanie się członów (tylko u *Spirodela polyrrhiza*);

3) epinastie;

4) indukcja członów w niewłaściwym miejscu (zmiana położenia) czyli heterotaksja * (dotychczas nie opisano; anomalia ta pojawia się sporadycznie w populacji *Lemna minor* z Radoniowa (5 i 6) przy dawkach 8000 i 10000 R;

5) chlorozy punktowe;

6) zmiany w sekwencji członów prawo- i lewostronnych — inwersja (rośliny takie Kasinov (1966b) nazywa inwertantami);

7) konglomeracje członów występują przy dawkach napromienienia, które jeszcze niecałkowicie ograniczają namnażanie się członów;

8) nadmierny wzrost (hipertrofia) ** stwierdzono tylko sporadycznie we wszystkich populacjach *Spirodela polyrrhiza* przy dawkach napromienienia niższych od dawek letalnych DL 50.

Wymienione anomalie rozwojowe indukowane przez promieniowanie przedstawiono na rysunku 1 a, b (*Lemna minor*) i na rysunku 2 i 3 A, B, (*Spirodela polyrrhiza*).

Doświadczenie II

W doświadczeniu tym poddano promieniowaniu gamma z ^{60}Co 6 populacji *Lemna minor* i 3 populacje *Spirodela polyrrhiza* różniące się istotnie między sobą promienioczułością określoną w wyniku doświadczenia I oraz dodatkową populację *Spirodela polyrrhiza*, stanowiącą for-

---

* Określenie z klasyfikacji teratologii roślin Mastersa (1869) wg Muszyńskiego (1970).

** Termin podany przez Blocha (Muszyński 1970).

my roślin kompleksu jesienno-zimowego (populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry — 4 a). Z wybranych populacji do doświadczenia II, 3 populacje *Lemna minor* stanowią wyróżnione na podstawie szczegółowej analizy populacji naturalnych i doświadczalnych ekofeny, a 3 ekotypy (Wożakowska-Natkaniec 1977):

Ekofeny	Ekotypy
populacja z Radecza (1)	populacja z Radoniowa (5 i 6)
populacja z Proszówki (7)	populacja z Wojszyc (13)
populacja z Jeleniej Góry (10)	

Analogicznie postąpiono w wyborze populacji *Spirodela polyrrhiza*. Wybrano:

Ekofeny	Ekotyp
populacja z Wrocławia (1)	populacja ze Staniszewa (5)
populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4)	

Doświadczenie II jednoznacznie potwierdziło względną promienioczułość wybranych populacji oznaczoną w doświadczeniu I: dawki letalne DL 50 były takie same w tym doświadczeniu, jak w doświadczeniu I. Zwiększony zakres dawek promieniowania aż do 15 000 R pozwolił określić dawki letalne DL 100 dla tych populacji, w których całkowita śmiertelność roślin nie wystąpiła jeszcze przy maksymalnej dawce promieniowania w doświadczeniu I (10 000 R). Określono dla tych populacji następujące wartości dawek letalnych DL 100:

dla populacji *Lemna minor:*

z Radoniowa (5) — 12 000 R,
z Radoniowa (6) — 12 000 R,
z Wojszyc (13) — 15 000 R,

dla populacji *Spirodela polyrrhiza:*

ze Staniszowa (5) 15 000 R.
z Wrocławia (1) — (powyżej 15 000),
z Paulinum k. Jeleniej Góry (4) — (powyżej 15 000),
z Paulinum k. Jeleniej Góry (4 a) 15 000 R,

Rośliny *Spirodela polyrrhiza* populacji z Wrocławia (1) i populacji z Paulinum k. Jeleniej Góry (4) w niewielkiej frekwencji przeżyły maksymalną dawkę promieniowania — 15 000 R; odpowiednio 33,5% i 8,7% mimo silnej deformacji popromiennej, a co więcej, po okresie całkowitego zahamowania rozmnażania (18-23 dni) zaczęły stopniowo pojawiać się młode człony o niezmienionym fenotypie (normalne), produkowane przez człony zdeformowane. Rośliny te właściwie pasażowane i kultywowane utrzymywały się przez 6 miesięcy, do zlikwidowania kultury.

WPŁYW PROMIENIOWANIA NA SZYBKOŚĆ ROZMNAŻANIA, PRODUKCJĘ BIOMASY I POWIERZCHNIĘ ROŚLIN POPULACJI *LEMNA MINOR*

Liczebność populacji *Lemna minor* przy różnych dawkach promieniowania w 4 terminach (po 2, 4, 6 i 13 dobach) przedstawiono w tabeli 3. Analiza wariancji wykazała istotność zróżnicowania kombinacji, populacji, dawek i współdziałania populacji z dawkami we wszystkich czterech terminach.

Tabela 3 –

Zmiany liczebności populacji *Lemna minor*

Number changes of populations *Lemna minor*

Dawka Dose kR	I Termin (po 2 dobach) I Period (after 2 days)						II Termin (po 4 dobach) II Period (after 4 days)					
	populacje –											
	1	5	7	6	10	13	1	5	7	6	10	13
	liczba członów –											
0	1,96	1,73	1,71	1,74	1,86	1,60	3,38	3,13	3,33	3,45	3,27	3,27
0,3	1,46	1,54	1,57	1,81	2,20	2,15	2,77	2,62	3,18	3,49	4,50	4,31
0,5	1,45	1,70	1,55	–	–	–	2,99	3,0	2,62	–	–	–
1	1,66	1,87	1,86	1,79	1,75	2,41	3,22	3,21	3,47	3,61	3,20	4,16
3	1,46	1,41	1,35	1,68	1,66	1,77	2,28	2,40	2,46	2,68	2,71	3,31
4	1,22	1,31	1,36	–	–	–	1,90	2,31	2,45	–	–	–
5	1,28	1,36	1,44	1,50	1,54	1,56	1,55	1,74	2,64	2,44	2,43	2,67
6	1,20	1,15	1,32	–	–	–	1,27	2,73	1,42	–	–	–
8	1,44	1,40	1,37	1,52	1,23	1,45	2,02	2,16	1,48	1,89	1,30	2,07
10	1,15	1,24	1,35	–	–	–	1,39	1,62	1,57	–	–	–
12	1,23	1,14	1,20	1,16	1,16	1,23	1,31	1,22	1,61	1,36	1,16	1,62
15	1,13	1,20	1,15	–	–	–	1,22	1,43	1,27	–	–	–
$\bar{X}$ ogólna $\bar{X}$ total	1,40	1,41	1,43	1,60	1,63	1,74	2,11	2,30	2,29	2,70	2,65	3,06
Błąd średniej Error of mean	0,08	0,09	0,10	0,08	0,07	0,07	0,19	0,22	0,25	0,18	0,14	0,15
NIR – LSD	0,22	0,27	0,28	0,25	0,23	0,23	0,56	0,63	0,72	0,55	0,42	0,47
Test Snedecor $F_{emp.}$	9,57 ***	6,48 ***	4,70 ***	7,82 ***	23,50 ***	30,72 ***	17,38 ***	9,69 ***	10,37 ***	23,24 ***	70,56 ***	43,20 ***

Wśród 6 badanych populacji *Lemna minor*, najwyższą liczebnością roślin we wszystkich terminach wyróżnia się populacja z Wojszyc (13), a najmniejszą populacja z Radecza (1). Pod wpływem dawek promienio-

wania od 0,3 do 1 kR nie stwierdzono zahamowania wzrostu liczebności populacji we wszystkich terminach. Efekt stymulacji liczebności populacji stwierdzono w I terminie przy dawce 1 kR, w II terminie przy dawkach 0,3 i 1 kR. Dawka 3 kR i wyższe powodują obniżenie liczebności populacji tym wyższe, im wyższa jest dawka promieniowania (tab. 4).

Zróżnicowana promienioczułość badanych populacji *Lemna minor*

Table 3

pod wpływem promieniowania gamma ^{60}Co
under effect gamma irradiation from ^{60}Co

III Termin (po 6 dobach) III Period (after 6 days)						IV Termin (po 14 dobach) IV Period (after 14 days)					
populations											
1	5	7	6	10	13	1	5	7	6	10	13
number of fronds											
6,83	5,93	7,83	6,27	8,00	7,62	28,7	27,0	44,2	36,1	40,7	38,3
4,77	4,58	6,19	4,72	8,31	8,93	32,0	25,0	44,0	35,3	31,3	45,5
4,92	5,33	4,76	—	—	—	39,0	25,3	27,4	—	—	—
6,44	5,79	6,25	5,72	5,92	8,04	27,6	21,7	28,5	30,4	27,5	43,0
4,31	3,92	4,74	4,08	4,92	5,52	18,5	19,3	19,0	17,3	18,3	26,5
2,98	4,57	3,42	—	—	—	11,1	18,8	19,2	—	—	—
1,61	2,12	4,94	3,87	4,28	4,72	2,0	8,3	25,9	14,4	15,6	17,8
1,31	3,42	1,70	—	—	—	1,3	12,6	13,3	—	—	—
2,27	3,85	1,48	2,04	1,39	3,30	2,5	16,8	8,4	5,5	1,5	7,8
1,53	2,62	1,74	—	—	—	2,5	7,3	1,7	—	—	—
1,31	1,18	1,73	1,54	1,35	2,42	1,3	1,2	1,7	1,6	1,4	6,4
1,22	1,45	1,29	—	—	—	1,2	1,4	1,3	—	—	—
3,29	3,73	3,84	4,03	4,88	5,79	14,0	15,4	18,7	20,1	19,5	26,5
0,31	0,51	0,34	0,38	0,13	0,35	1,51	1,64	2,42	2,27	1,24	2,06
0,89	1,50	0,98	1,18	0,40	1,07	4,40	4,77	7,05	6,93	3,77	6,28
46,13 ***	9,91 ***	44,92 ***	20,76 ***	453,61 ***	50,34 ***	90,68 ***	31,0 ***	40,78 ***	38,42 ***	36,12 ***	63,08 ***

znajduje swój wyraz w przebiegu zmian liczebności roślin w poszczególnych terminach, przy porównaniu działania tych samych dawek. Zmiany w liczebności populacji są wyrazem względnie różnej szybkości rozmna-

Tabela 4 — Table 4

Porównanie średnich wartości liczby członów *Lemna minor* dla populacji (A) i dawek (B) promieniowania gamma ^{60}Co

Comparison average value fronds numbers of *Lemna minor* for populations (A) and doses (B) gamma irradiation from ^{60}Co

A Populacje Populations	Terminy — Periods			
	I	II	III	IV
	liczba członów — number of fronds			
1	1,50	2,36	3,94	16,2
5	1,48	2,35	3,91	17,1
6	1,60	2,70	4,03	20,1
7	1,55	2,60	4,74	24,5
10	1,63	2,65	4,88	19,5
13	1,74	3,06	5,79	26,5
Błąd średniej Error of mean	0,034	0,07	0,13	0,73
NIR — LSD	0,09	0,18	0,38	2,02
Test Snedecor $F_{emp.}$	7,92 ***	15,27 ***	29,87 ***	31,71 ***

B Dawki Doses kR	Terminy — Periods			
	I	II	III	IV
	liczba członów — number of fronds			
0	1,77	3,30	7,08	35,8
0,3	1,77	3,84	6,25	35,6
1	1,89	3,48	6,36	29,8
3	1,56	2,64	4,58	19,8
5	1,44	2,25	3,59	14,0
8	1,40	1,82	2,39	7,1
12	1,25	1,38	1,59	2,3
Błąd średniej Error of mean	0,037	0,072	0,15	0,78
NIR — LSD	0,10	0,20	0,41	2,18
Test Snedecor $F_{emp.}$	40,52 ***	137,0 ***	209,85 ***	298,3 ***

Współdziałanie A×B Interaction A×B				
	I	II	III	IV
Błąd średniej Error of mean	0,09	0,18	0,36	1,92
NIR — LSD	0,25	0,49	0,99	5,34
Test Snedecor $F_{emp.}$	4,37 ***	4,38 ***	6,35 ***	6,93 ***

Tabela 5 — Table 5

Szybkość rozmnażania *V* populacji *Lemna minor* po napromienieniu gamma ^{60}Co

The multiplikation rate *V* of populations *Lemna minor* after gamma irradiation from ^{60}Co

Dawka Dose kR	Populacje — Populations																							
	1				5				7				6				10				13			
	terminy (po 2, 4, 6 i 14 dobach) — periods (after 2, 4, 6 and 14 days)																							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	62	56	59	48	51	53	55	47	50	56	63	54	51	58	57	51	57	55	64	53	43	55	63	52
0,3	35	47	48	49	33	44	47	46	41	53	56	54	55	58	48	51	73	70	65	49	71	68	68	54
0,5	34	51	49	52	49	51	52	46	40	44	48	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	47	54	57	47	58	54	52	44	57	58	56	48	54	60	54	49	52	54	55	47	82	66	64	54
3	35	38	45	41	32	40	42	42	28	41	48	42	48	48	43	40	47	46	49	41	53	55	53	47
4	18	29	33	34	25	39	47	42	27	41	38	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	23	20	14	12	28	25	23	30	33	45	49	46	37	42	42	38	40	41	45	39	41	45	48	41
6	24	11	13	12	12	46	38	36	26	16	16	37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	33	32	25	9	31	35	41	40	29	18	12	30	38	30	22	24	19	12	10	6	34	33	37	29
10	12	15	13	5	19	22	29	28	27	20	17	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	19	12	8	4	12	9	5	2	16	22	17	7	13	14	13	6	13	6	9	4	19	22	27	26
15	11	9	6	2	16	16	11	5	12	11	7	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

żania roślin każdej z badanych populacji (tab. 5). Zmiany liczebności populacji *Lemna minor* przy różnych dawkach promieniowania przedstawiono wykresami (rys. 4 a, b, c, d, e, f).

Populacja z Radecza (1). W terminie I, tj. po 2 dobach od napromienienia, dawki od 0,3 do 3 kR powodują istotne zmniejszenie liczebności, a średnia szybkość rozmnażania roślin wynosi 38. Dawki 4, 5 i 6 kR powodują dalsze, wzrastające obniżanie liczebności populacji, a szybkość rozmnażania obniża się od 24 do 18. Silne zahamowanie wzrostu liczebności populacji powodują dawki 10, 12 i 15 kR. Szybkość rozmnażania roślin obniża się przy tych dawkach od 18 do 11. W II terminie (po 4 dobach) dawki 0,5 i 1 kR nie powodują reakcji w zmianach liczebności populacji. Pozostałe dawki powodują stopniowe obniżanie się liczebności populacji. W III terminie oprócz dawki 1 kR wszystkie pozostałe powodują obniżanie się liczebności populacji, silnie zaznaczające się już od dawki 4 kR. Szybkość rozmnażania roślin wyraża się spadkiem wartości od 57 do 6. W IV terminie przy dawce 0,5 kR występuje wyraźny efekt stymulacji wzrostu liczebności populacji (około 25%), przy szybkości rozmnażania $V = 52$. Dawki 0,3 i 1 kR nie wywołują reakcji w liczebności populacji. Już przy dawce 4 kR liczebność populacji zmniejsza się o ponad 50%. Wyższe dawki powodują prawie całkowite zahamowanie wzrostu liczebności populacji. Szybkość rozmnażania roślin zmniejsza się od 12 do 2. Zmiany liczebności tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 a). Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów tej populacji, co ma swój wyraz matematyczny w funkcji kwadratowej (tab. 6, rys. 5). Ze wzrostem dawki liczebność populacji maleje.

Populacja z Radoniowa (5). W I terminie dawki 0,3 i 0,5 kR nie wywołują reakcji w liczebności populacji, a przy dawce 1 kR stwierdza się tendencję populacji do wzrostu liczebności przy szybkości rozmnażania roślin $V = 58$. Dawki od 3 do 8 kR obniżają liczebność populacji. Dawki 10, 12 i 15 kR silnie hamują wzrost liczebności populacji, a szybkość rozmnażania spada od 19 do 12. W II terminie nie obserwuje efektu działania dawek 0,3, 0,5, 1 i 6 kR. Dawki 3, 4, 5 i 8 kR obniżają liczebność populacji, przy czym szybkość rozmnażania spada od 40 do 25. Dawki 10, 12 i 15 kR powodują dalsze, stopniowe obniżenie liczebności populacji, a szybkość rozmnażania jej roślin spada od 22 do 9. W terminie III dawki 0,3, 0,5, 1 i 4 kR nie wywołują reakcji zmian w liczebności populacji. Dawki 3, 6 i 8 kR powodują obniżenie liczebności o 37%, przy szybkości rozmnażania $V = 40$. Wyższe dawki powodują dalsze, stopniowe obniżenie liczebności populacji, a szybkość rozmnażania spada od 29 do 5. W terminie IV przy dawkach 0,3 i 0,5 nie stwierdzono reakcji w liczebności populacji przy szybkości rozmnażania $V = 46$. Dawki 1, 3 i 4 kR obniża-

Tabela 6 — Table 6

Korelacje między dawką promieniowania gamma ^{60}Co a liczbą członów i biomasą populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza*

Relationships between dose gamma irradiation from ^{60}Co and number of fronds and biomass for populations *Lemna minor* and *Spirodela polyrrhiza*

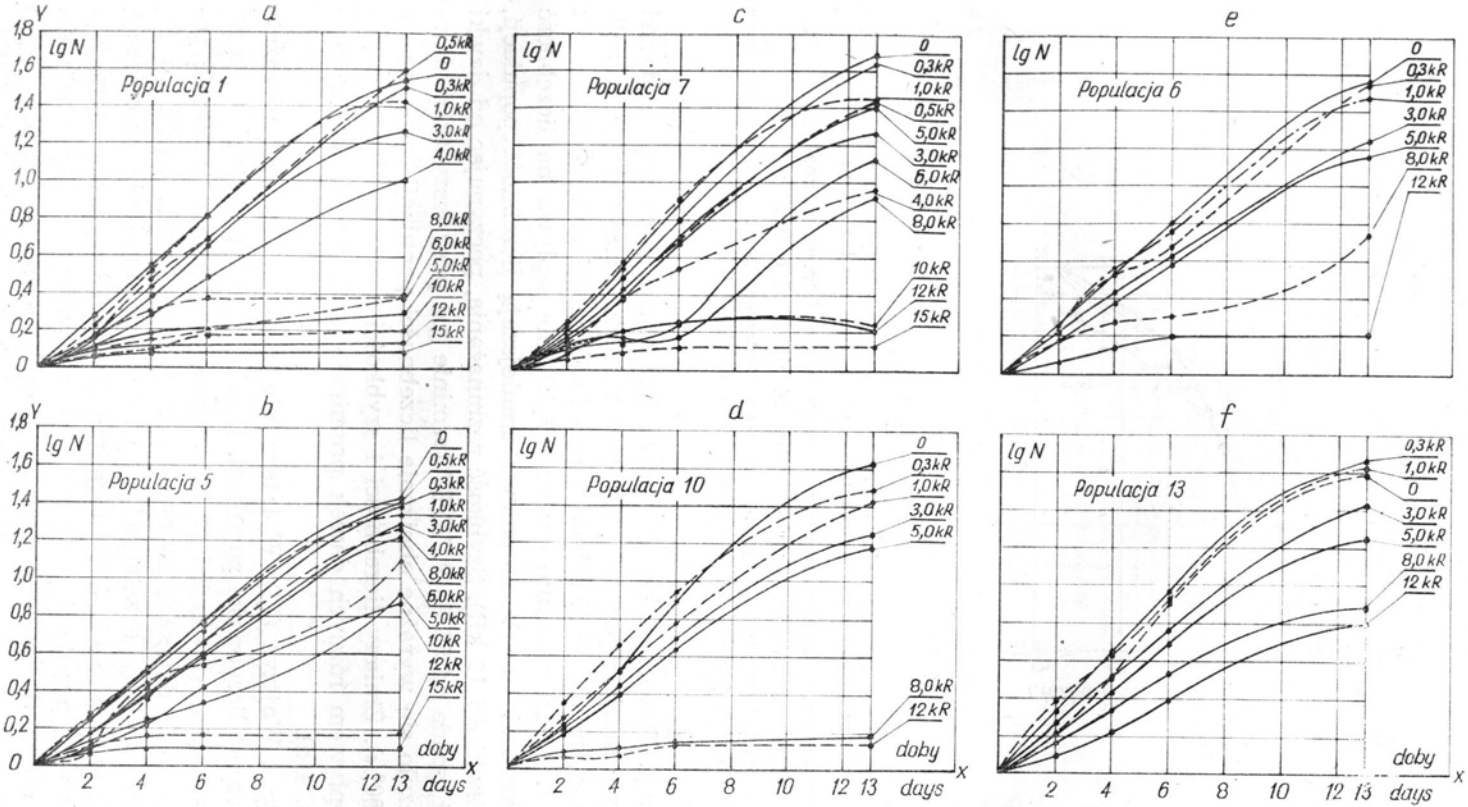
Relacje Relationships	Populacje Populations	Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Istotność* korelacji Significant correlation	Współczynniki regresji Regression coefficient			Równanie regresji Equation of regression $y = b_0 + b_4x^2 + b_1x$	Współczynnik korelacji wielokrotnej Coefficient of multiple correlation T Stud.		$F_{emp.}$ $F_{exp.}$
				b_0	b_1	b_4		T_1	T_4	
					Lemna minor					
Dawka promieniowania a liczba członów Dose of radiation and number of fronds	1	−0,91	istotna significant	30,27	−5,04	0,21	$y = 30,27 + 0,21\,x^2 - 5,04x$	34,99	21,42	1393,8
	5	−0,89	istotna	25,5	−2,13	0,047	$y = 25,5 + 0,047\,x^2 - 2,13x$	2,09	6,52	114,6
	7	−0,90	istotna	35,14	−4,36	0,15	$y = 35,14 + 0,15\,x^2 - 4,36x$	10,39	4,98	187,5
	6, 10 i 13	−0,85	istotna	34,53	−4,85	0,19	$y = 34,53 + 0,19\,x^2 - 4,85\,x$	9,59	4,53	177,6
Dawka promieniowania a biomasa Dose of radiation and biomass	1	−0,83	istotna	34,01	−6,74	0,32	$y = 34,01 + 0,32\,x^2 - 6,74x$	18,2	12,25	199,9
	5	−0,93	istotna	25,65	−2,34	0,046	$y = 25,65 + 0,046\,x^2 - 2,34x$	8,22	2,33	130,14
	7	−0,91	istotna	38,57	−5,29	0,18	$y = 38,57 + 0,18\,x^2 - 5,29x$	11,40	5,72	210,51
	6, 10 i 13	−0,92	istotna	38,93	−6,38	0,28	$y = 38,93 + 0,28\,x^2 - 6,38x$	18,07	9,57	538,1
					Spirodela polyrrhiza					
Dawka promieniowania a liczba członów Dose of radiation and numbres o f fronds	1 i 4	−0,895	istotna	142,56	−6,81	0,039	$y = 142,56 + 0,039\,x^2 - 6,81x$	7,12	0,58	236,79
	4a i 5	−0,783	istotna	105,46	−5,80	0,033	$y = 105,46 + 0,033\,x^2 - 5,8x$	2,98	0,25	61,1
Dawka promieniowania a biomasa Dose of radotion and biomass	1 i 4	−0,953	istotna	99,99	−7,81	0,114	$y = 99,99 + 0,114\,x^2 - 7,81x$	13,19	2,76	615,48
	4a i 5	−0,931	istotna	84,72	−8,35	0,18	$y = 84,72 + 0,18\,x^2 - 8,35x$	8,35	0,18	659,28

ją liczebność populacji o 26%, a szybkość rozmnażania do 42. Podobną reakcję wywołuje dawka 8 kR. Dawki 5 i 10 kR obniżają liczebność populacji o około 37%. Silne zahamowanie szybkości rozmnażania i wzrostu liczebności populacji wywołują dawki 12 i 15 kR. Zmiany w liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji przy różnych dawkach promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 b). Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów tej populacji, której wyraz matematyczny podano w tabeli 6. Zależność tę przedstawiono wykresem (rys. 5).

Populacja z Proszówki (7). W I terminie przy dawce 0,3 i 0,5 kR nie obserwuje się zmian w liczebności populacji. Dawka 1 kR powoduje tendencję do stymulacji wzrostu liczebności populacji przy szybkości rozmnażania $V = 57$. Dawki od 3 do 15 kR powodują stopniowe obniżanie liczebności populacji, a szybkość rozmnażania roślin przy tych dawkach spada od 33 do 12. W II terminie zmiany liczebności populacji przebiegają analogicznie jak w terminie I. W III terminie ze wzrostem dawek od 0,3 do 5 kR następuje stopniowe, lecz nie tak silne obniżenie liczebności populacji. Dawki od 6 do 15 kR silnie hamują wzrost liczebności populacji, a szybkość rozmnażania spada od 17 do 7. W IV terminie przy dawce 0,3 nie obserwuje się wpływu promieniowania na liczebność populacji. Dawki od 0,5 do 5 kR obniżają liczebność populacji od 37 do 41%. Przy dawce 8 kR liczebność populacji obniża się aż o 80% przy szybkości rozmnażania $V = 30$. Bardzo silne zahamowanie wzrostu liczebności populacji wywołują dawki 10, 12 i 15 kR. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 c). Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów tej populacji (tab. 6, rys. 5).

Populacja z Radoniowa (6). W I terminie dawki 0,3, 1 i 3 kR nie wywołują zmian w liczebności populacji. Dawki 5 i 8 kR powodują nieznaczne obniżenie liczebności populacji przy szybkości rozmnażania $V = 37,5$. Dawka 12 kR silnie hamuje wzrost liczebności populacji. W II terminie dawki 0,3 i 1 kR nie wpływają na zmiany w liczebności populacji przy szybkości rozmnażania $V = 59$. Pozostałe dawki wraz ze wzrostem stopniowo obniżają liczebność populacji, podobnie jak w terminie I. W III terminie zmiany w liczebności i w szybkości rozmnażania przebiegają podobnie jak w terminie II, a w terminie IV analogicznie do przebiegu zmian w terminie I. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 e).

Populacja z Jeleniej Góry (10). W I terminie dawka 0,3 kR stymuluje wzrost liczebności populacji, a dawki 1 i 3 kR nie wpływają na liczeb-

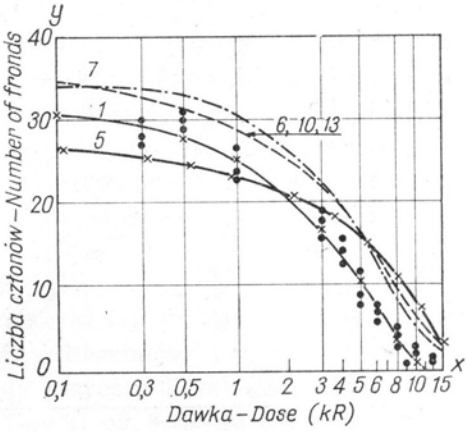


Rys. 4. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania populacji *Lemna minor* pod wpływem różnych dawek promieniowania gamma ^{60}Co:

a — populacja z Radecza (1); *b* — populacja z Radoniowa (5); *c* — populacja z Proszówki (7); *d* — populacja z Jeleniej Góry (10); *e* — populacja z Radoniowa (6); *f* — populacja z Wojszyc (13); gdzie: $Y = \lg N$; N — liczba członów; $X = t$ — czas w dobach

Fig. 4. Changes of numbers and multiplikation ratio of populations *Lemna minor* under effect of various doses gamma irradiation from ^{60}CO:

a — population from Radecz (1),; *b* — population from Radoniów (5); *c* — population from Proszówka (7); *d* — population from Jelenia Góra (10); *e* — population from Radoniów (6); *f* — population from Wojszyce (13); where: $Y = \lg N$; N — number of fronds; $X = t$ — time in days



Rys. 5. Zależność liczby członów populacji *Lemna minor* od dawki promieniowania gamma (po 14 dniach hodowli):

1 — populacja z Radecza (1), *5* — populacja z Radoniowa (5), *7* — populacja z Proszówki (7), *6, 10, 13* — populacje z Radoniowa (6), Jeleniej Góry (10) i Wojszyc (13)

Fig. 5. Relation between fronds number of population *Lemna minor* and various doses gamma irradiation (after 14 days of culture):

1 — population from Radecz (1), *5* — population from Radoniów (5), *7* — population from Proszówka (7), *6, 10, 13* — populations from Radoniów (6), Jelenia Góra (10) and Wojszyce (13)

ność populacji. Dawka 5 kR zmniejsza liczebność populacji, a dawki 8 i 12 kR powodują silne zahamowanie wzrostu liczebności populacji. W II terminie zmiany w liczebności populacji przebiegają podobnie jak w terminie I. W III terminie dawka 0,3 kR nie wpływa na liczebność populacji. Pozostałe dawki stopniowo zmniejszają liczebność populacji, (najsilniej dawki 8 i 12 kR). Szybkość rozmnażania, poczynając od dawki 1 kR wzwyż, spada od 55 do 9. W IV terminie już przy wszystkich dawkach zaznaczyło się wyraźne obniżenie liczebności populacji (przy dawce 5 kR aż o 50%). Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 d).

Populacja z Wojszyc (13). W I terminie dawki 0,3 i 1 kR wyraźnie stymulują wzrost liczebności populacji. Dawki 3 i 5 kR nie wpływają na liczebność populacji, dawki 8 i 12 kR stopniowo obniżają liczebność populacji. Przy tych dawkach szybkość rozmnażania spada od 34 do 19. W II terminie zmiany liczebności i szybkości rozmnażania przebiegają podobnie jak w terminie I. W III terminie dawka 0,3 wyraźnie stymuluje wzrost liczebności populacji, a dawka 1 kR nie wpływa na jej liczebność. Dawki od 3 do 12 kR obniżają stopniowo liczebność populacji, przy czym szybkość rozmnażania spada od 53 do 27. W IV terminie zmiany liczeb-

ności populacji i szybkości rozmnażania przebiegają analogicznie do zmian w terminie III. Dawka 5 kR obniża liczebność populacji już o 50%. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 4 f).

Tabela 7 — Table 7

Biomasa populacji *Lemna minor* po napromienieniu gamma ^{60}Co

Biomass of populations *Lemna minor* after gamma irradiation from ^{60}Co

Dawka Dose kR	Populacje — Populations			$\bar{X}$ dawek $\bar{X}$ doses
	1	5	7	
	biomasa — biomass, mg			
0	30,0	26,0	39,3	31,7
0,3	27,3	24,3	40,3	30,7
0,5	30,3	30,0	30,3	30,2
1	25,0	22,7	25,0	24,2
3	18,0	14,7	21,0	17,9
4	14,7	13,3	14,7	14,2
5	8,0	13,3	27,0	16,1
6	6,0	16,7	13,3	12,0
8	4,3	18,7	9,0	10,6
10	2,3	7,3	5,3	4,9
12	2,3	2,7	4,0	3,0
15	2,0	8,0	2,3	4,1
$\bar{X}$ populacji $\bar{X}$ populations	13,6	16,6	19,3	16,5

	Populacje Populations	Dawki Doses	Współdziałanie populacje × dawki Interaction populations × doses
Błąd średniej Error mean	0,60	1,20	2,08
NIR — LSD	1,69	3,40	5,86
Test Snedecor $F_{emp.}$	17,82 ***	67,67 ***	6,88 ***

Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów populacji z Radoniowa (6), z Jeleniej Góry (10) i z Wojszyc (13). Dla tych trzech populacji zależność ta znajduje wyraz w funkcji kwadratowej (tab. 6), której przebieg przedstawiono wykresem (rys. 5).

Biomasę populacji *Lemna minor* przy różnych dawkach promieniowania, po 14 dniach hodowli, przedstawiono w tabeli 7. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie kombinacji, populacji, dawek oraz współdziałania populacji z dawkami (tab. 7 a).

Dawki 0,3 i 0,5 kR nie zmniejszają plonu (biomasy), gdy tymczasem już dawka 1 kR istotnie zmniejsza biomasę. Dawki 3, 4 i 5 kR obniżyły biomasę o około 50%, a dawki 6 i 8 kR o około 60%. Wyższe dawki 10, 12 i 15 kR obniżają biomasę od 75 do 90%.

Tabela 7a — Table 7a

Biomasa populacji *Lemna minor* po napromienieniu gamma ^{60}Co

Biomass of populations *Lemna minor* after gamma irradiation from ^{60}Co

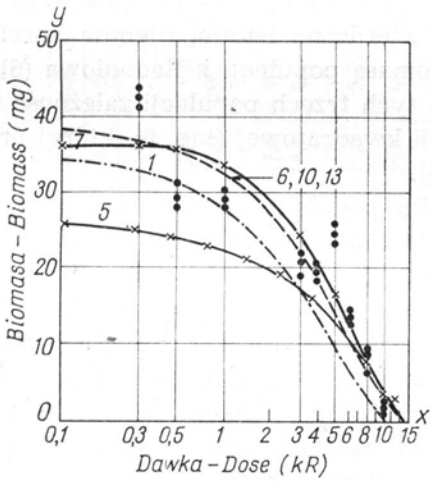
Dawka Dose kR	Populacje — Populations						$\bar{X}$ dawek $\bar{X}$ doses
	1	5	6	7	10	13	
	biomasa — biomass, mg						
0	30,0	27,0	26,0	39,3	38,0	36,7	33,3
0,3	27,3	24,3	25,0	40,3	28,7	43,0	31,5
1	25,0	22,7	29,3	25,0	22,3	46,5	28,5
3	18,0	14,7	18,0	21,0	16,3	28,0	19,3
5	8,0	13,3	15,0	27,0	12,0	19,0	15,7
8	4,3	18,7	10,3	9,0	3,0	11,0	9,4
12	2,3	2,7	3,7	5,3	2,3	7,0	3,9
$\bar{X}$ populacji $\bar{X}$ populations	16,0	17,6	18,2	23,8	17,5	27,3	20,1

	Populacje Populations	Dawki Doses	Współdziałanie populacje × dawki Interaction populations × doses
Błąd średniej Error mean	0,60	0,64	1,58
NIR — LSD	1,66	1,79	4,38
Test Snedecor $F_{emp.}$	55,11 ***	301,17 ***	9,63 ***

Populacja z Radecza (1). Dawki 0,3, 0,5 i 1 kR nie wpływają na produkcję biomasy tej populacji, aczkolwiek przy dawce 0,5 kR zaznacza się pewna tendencja stymulacji. Dawki 3 i 4 kR obniżają biomasę populacji od 33 do 45%. Dawka 5 kR i wyższe silniej obniżają biomasę, przy czym dawka najwyższa (15 kR) obniża ją ponad 90%. Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a biomasą tej populacji, co ma swój wyraz matematyczny w funkcji kwadratowej (tab. 6, rys. 6). Ze wzrostem dawki promieniowania biomasa populacji maleje.

Populacja z Radoniowa (5). Dawki 0,3, 0,5 i 1 kR nie wpływają również na produkcję biomasy tej populacji, przy czym i w tym przypadku można było stwierdzić pewną tendencję do stymulacji wzrostu biomasy

przy dawce 0,5 kR. Dawki 3, 4 i 5 kR obniżają produkcję biomasy około 50%. Przy dawkach 6 i 8 kR wystąpiła u tej populacji nieoczekiwana tendencja do stymulacji produkcji biomasy. Wyższe dawki (10, 12 i 15 kR) obniżają produkcję biomasy odpowiednio od 70 do 90%. Stwierdzono istotną korelację ujemną między dawką promieniowania a biomasą tej populacji, dla której podano wzór funkcji kwadratowej (tab. 6). Ze wzrostem dawki promieniowania biomasa populacji maleje (ryc. 6).



Rys. 6. Zależność biomasy populacji *Lemna minor* od dawki promieniowania gamma (po 14 dniach hodowli):

1 — populacja z Radecza (1), *5* — populacja z Radoniowa (5), *6, 10, 13* — dla populacji z Radoniowa (6), Jeleniej Góry (10) i Wojszyc (13), *7* — populacja z Proszówki (7)

Fig. 6. Relation between value biomas of populations *Lemna minor* and various doses gamma irradiation (after 14 days culture):

1 — population from Radecz (1), *5* — population from Radoniów (5), *7* — population from Proszówka, *6, 10, 13* — populations from Radoniów (6), Jelenia Góra (10) and Wojszyce (13)

Populacja z Proszówki (7). Dawka 0,3 kR nie wpływa na produkcję biomasy tej populacji. Dawki 0,5, 1 i 3 kR obniżają biomasę od 21 do 36,3%, a dawki 4, 5, 6 i 8 kR — od 31,2 do 74,4%. Dawki 10, 12 i 15 kR obniżają biomasę tej populacji około 90%. Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a biomasą tej populacji (tab. 6, rys. 6), analogicznie jak w przypadku populacji z Radecza (1) i z Radoniowa (5).

Populacja z Radoniowa (6). Efekt zróżnicowanych dawek promieniowania w produkcji biomasy tej populacji jest bardzo podobny do analogicznego w populacji z Radoniowa (5).

Populacja z Jeleniej Góry (10). Populacja ta wykazuje najmniejszą

tolerancję wobec promieniowania, gdy się zważy fakt, iż dawka 0,3 kR powoduje już obniżenie produkcji biomasy około 25%. Wraz ze wzrostem dawek następuje dalsze obniżenie biomasy tej populacji, przy czym już dawka 8 kR obniża ją ponad 90%.

Populacja z Wojszyc (13). Populacja ta wyróżnia się wśród innych tolerancją wobec promieniowania, bowiem dawki 0,3 i 1 kR wyraźnie stymulują wzrost produkcji biomasy wyrażający się około 20%. Dawka 3 kR obniża już produkcję biomasy o 25%. Wyższe dawki stopniowo obniżają biomasę, i tak dawka 5 kR — o 50%, dawka 8 kR o 70%, a dawka 12 kR o 80%. Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a biomasą populacji z Radoniowa (6), Jeleniej Góry (10) i z Wojszyc (13). Dla tych trzech populacji zależność ta znajduje również swój wyraz w funkcji kwadratowej (tab. 6), której przebieg przedstawiono wykresem (rys. 6).

Powierzchnię roślin populacji *Lemna minor* przy różnych dawkach promieniowania, po 14 dniach hodowli, przedstawiono w tabeli 8. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie kombinacji, populacji, dawek oraz współdziałania populacji z dawkami (tab. 9).

Największą powierzchnią roślin wyróżnia się populacja z Wojszyc (13), najmniejszą natomiast populacja z Jeleniej Góry (10). Względnie małą powierzchnią roślin charakteryzują się populacje z Radoniowa (5 i 6). Pośrednie miejsce pod względem wielkości powierzchni zajmują populacje z Radecza (1) i z Proszówki (7).

Dawki 0,3 i 1 kR nie ograniczają wzrostu roślin dwuczłonowych, ograniczają natomiast wzrost roślin trójczłonowych. W przypadku roślin 4-członowych nie stwierdzono ograniczającego działania dawki 0,3 kR na wzrost roślin. Dawki wyższe 3 i 5 kR wyraźnie zmniejszają powierzchnię roślin 2-, 3- i 4-członowych.

Populacja z Radecza (1). Dawki 03, i 0,5 kR nie ograniczają powierzchni roślin 2-, 3-, i 4-członowych. Dawki wyższe wraz ze wzrostem powodują stopniowe pomniejszenie powierzchni roślin.

Populacja z Radoniowa (5). Dawki 0,3 0,5 kR ograniczają powierzchnię roślin 2- i 3-członowych, nie wpływają natomiast istotnie na powierzchnię roślin 4-członowych. Dawki wyższe (1, 3, 4 i 5 kR) wraz ze wzrostem powodują pomniejszenie powierzchni roślin 2-, 3- i 4-członowych.

Populacja z Proszówki (7). Dawki 0,3 i 0,5 kR istotnie zwiększają powierzchnię roślin 2-, 3- i 4-członowych tej populacji. Dawki 1, 3 i 5 kR nie ograniczają jeszcze powierzchni roślin 2- i 3-członowych. Dawki od 1 do 5 kR pomniejszają rośliny 4-członowe tej populacji.

Populacja z Radoniowa (6). Dawka 0,3 kR nie wpływa na wielkość powierzchni roślin 2-, 3- i 4-członowych. Przy wyższych dawkach stwier-

Tabela 8 — Table 8

Powierzchnia roślin *Lemna minor* po napromieniowaniu gamma ^{60}Co

Area of plants *Lemna minor* after gamma irradiation from ^{60}Co

Dawka Dose kR	Populacje — Populations																	
	1			5			7			6			10			13		
	powierzchnia roślin, mm² — area of plants (2-, 3- and 4 frond, mm²)																	
	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-
	członowych			członowych			członowych			członowych			członowych			członowych		
0	13,9	19,6	26,4	12,6	19,6	25,5	11,8	18,3	23,8	10,9	14,4	20,4	11,6	20,3	25,8	14,7	25,2	28,6
0,3	14,2	22,1	29,0	10,9	16,9	23,2	17,3	19,8	27,4	10,5	15,0	20,0	10,2	12,8	18,4	15,6	21,7	30,5
0,5	15,7	21,9	28,7	10,2	15,1	17,3	15,3	21,0	26,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	14,4	19,5	25,7	8,7	10,8	14,9	12,2	18,0	20,2	9,4	11,6	17,6	9,3	11,9	16,7	21,0	33,8	43,5
3	10,5	16,5	21,8	8,7	11,0	15,1	13,0	17,9	17,9	6,0	11,6	14,2	8,4	12,5	18,9	14,6	21,6	28,3
4	6,1	11,1	15,2	8,4	9,1	14,4	14,9	11,0	13,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	5,1	9,0	10,5	7,8	12,6	15,8	11,7	16,9	18,9	9,0	14,3	16,4	9,6	14,4	16,8	16,9	22,7	30,1
$\overline{X}$ ogólna $\overline{X}$ total	11,2	17,1	22,5	9,5	13,6	18,0	11,9	17,2	20,7	9,2	13,4	17,7	9,8	14,4	19,3	16,6	25,0	32,2
Błąd średniej Error mean	0,64	0,80	1,23	0,51	0,93	0,85	0,67	0,67	0,87	0,53	0,93	0,61	0,58	0,43	1,20	1,07	1,40	1,41
NIR — LSD	1,85	2,30	3,55	1,46	2,68	2,44	1,94	1,94	2,51	1,54	2,71	1,78	1,70	1,26	3,49	3,10	4,08	4,12
Test Snedecor $F_{emp.}$	40,76 ***	42,29 ***	33,18 ***	12,27 ***	15,95 ***	27,75 ***	34,41 ***	28,42 ***	43,29 ***	13,25 ***	3,18 *	17,54 ***	4,17 *	61,66 ***	9,84 ***	6,30 **	13,45 ***	20,53 ***

Tabela 9 — Table 9

Porównanie wartości średnich powierzchni *Lemna minor* dla populacji (A) i dla dawek (B) promieniowania gamma ^{60}Co

Comparison average value of area *Lemna minor* for population (A) and doses (B) gamma irradiation from ^{60}Co

A Populacje Populations	Powierzchnia roślin — Area of plants, mm²		
	a 2-członowych 2-frond	b 3-członowych 3-frond	c 4-członowych 4-frond
1	11,7	17,3	22,7
5	9,8	14,1	18,9
6	9,2	13,4	17,7
7	12,6	17,2	21,6
10	9,8	14,4	19,3
13	16,6	25,0	32,2
Błąd średniej Error mean	0,32	0,41	0,49
NIR — LSD	0,89	1,13	1,37
Test Snedecor $F_{emp.}$	76,3 ***	112,4 ***	114,3 ***

B Dawka — Dose kR	Powierzchnia roślin — Area of plants, mm²		
	a	b	c
0	12,6	19,6	25,1
0,3	13,1	18,0	24,8
1	12,6	17,3	23,1
3	9,7	15,2	19,4
5	10,0	15,0	18,1
Błąd średniej Error mean	0,29	0,37	0,45
NIR — LSD	0,81	1,03	1,25
Test Snedecor $F_{emp.}$	30,1 ***	24,93 ***	49,3 ***

Współdziałanie A×B Interaction A×B			
	a	b	c
Błąd średniej Error mean	0,71	0,91	1,10
NIR — LSD	1,98	2,52	3,07
Test Snedecor F_{emp}	10,15 ***	16,02 ***	15,73 ***

dzono tylko tendencję do pomniejszenia powierzchni roślin, najwyraźniejszą w przypadku roślin 4-członowych.

Populacja z Jeleniej Góry (10). Wszystkie zastosowane dawki promieniowania ograniczają powierzchnię roślin, najdobitniej roślin 3-członowych.

Populacja z Wojszyc (13). Dawki 0,3 i 0,5 kR nie wpływają na wielkość powierzchni roślin tej populacji. Dawka 1 kR istotnie zwiększa powierzchnię wszystkich roślin. Wyższe dawki (3 i 5 kR) nie ograniczają jeszcze powierzchni roślin tej populacji.

WPŁYW PROMIENIOWANIA NA SZYBKOŚĆ ROZMNAŻANIA, PRODUKCJĘ BIOMASY I POWIERZCHNIĘ ROŚLIN POPULACJI *SPIRODELA POLYRRHIZA*

Liczebność populacji *Spirodela polyrrhiza* przy różnych dawkach promieniowania w 4 terminach (po 2, 4, 6 i 14 dobach) przedstawiono w tabeli 10. Analiza wariancji wykazała istotność zróżnicowania kombinacji, populacji, dawek i współdziałana populacji z dawkami we wszystkich 4 badanych terminach (tab. 11).

Wśród 4 badanych populacji najwyższą liczebnością roślin we wszystkich terminach wyróżnia się populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), najmniejszą zaś populacja ze Staniszowa (5). Pod wpływem dawek promieniowania od 0,3 do 1 kR nie stwierdzono zahamowania wzrostu liczebności badanych populacji w I, II i III terminie, w czwartym terminie przy dawce 1 kR stwierdzono stymulację wzrostu liczebności około 10% w odniesieniu do kontroli. Poczynając od dawki 3 kR wzwyż, pomieniowanie obniża liczebność badanych populacji we wszystkich 4 terminach; obniżenie liczebności jest tym wyższe, im wyższa jest dawka promieniowania.

Zróżnicowana promienioczułość badanych populacji *Spirodela polyrrhiza* znajduje swój wyraz w przebiegu zmian liczebności roślin w poszczególnych terminach przy porównaniu działania tych samych dawek promieniowania (tab. 10). Zmiany liczebności populacji przedstawiono wykresami (rys. 7 a, b, c, d). Zmiany w liczebności tych populacji są wyrazem względnie różnej szybkości rozmnażania roślin uwarunkowanej w naszym przypadku zróżnicowanymi dawkami promieniowania (tab. 12).

Populacja z Wrocławia (1). Po dwu dobach od napromienienia (I termin), dawki od 0,3 do 6 kR nie wpływają na zmianę liczebności tej populacji, przy czym średnia szybkość rozmnażania w tym terminie wynosi 69,5. Dawka 8 kR i wyższe w tym terminie obniżają liczebność populacji od 25 do 35%. W tym zakresie dawek promieniowania szybkość rozmnażania maleje od 37 do 25. Po 4 dobach (termin II) dawki od 0,3 do 4 kR nie obniżają liczebności populacji, z tym że zaznacza się pewna tendencja stymulacji przy dawkach 0,5 i 1,0 kR (różnice nie udowodnione). W tym

Tabela 10 — Table 10

Zmiany liczebności populacji *Spirodela polyrrhiza* pod wpływem promieniowania gamma ^{60}Co

Number changes of populations *Spirodela polyrrhiza* under effect gamma irradiation from ^{60}Co

Dawka Dose kR	I Termin (po 2 dobach) I Period (after 2 days)				II Termin (po 4 dobach) II Period (after 2 days)				III Termin (po 6 dobach) III Period (after 6 days)				IV Termin (po 14 dobach) IV Period (after 14 days)			
	Nr populacji — No. populations															
	1	4	4a	5	1	4	4a	5	1	4	4a	5	1	4	4a	5
	liczba członów — number of fronds															
0	2,0	2,94	2,0	1,78	3,79	5,09	3,95	3,58	8,5	12,1	8,2	9,4	84,7	100,1	85,5	75,6
0,3	1,93	2,03	1,64	1,53	4,08	4,60	3,64	3,11	8,6	9,1	7,8	8,8	88,0	97,5	80,4	73,2
0,5	2,31	2,14	—	—	4,45	4,28	—	—	10,1	8,6	—	—	92,5	95,4	—	—
1	1,90	2,75	2,08	1,46	4,37	5,29	4,06	3,07	8,6	12,2	8,0	7,6	84,0	118,5	94,2	68,2
3	2,23	2,43	1.50	1,62	4,11	4,24	3,26	3,47	8,3	8,1	—	—	82,4	78,9	—	—
4	2,33	1,84	—	—	3,81	3,80	—	—	8,3	7,7	5,4	7,6	80,0	75,7	72,5	65,4
5	2,10	1,80	1,62	1,22	2,66	3,76	2,87	2,70	6,6	7,4	4,7	5,3	65,0	70,8	55,2	46,2
6	1,49	1,59	—	—	3,0	3,27	—	—	5,6	8,4	—	—	52,1	68,7	—	—
8	2,05	1,73	—	—	2,98	3,62	—	—	4,5	5,6	—	—	35,2	40,4	—	—
10	1,43	1,19	1,03	1,09	2,73	2,26	1,99	1,73	4,0	3,2	2,6	2,5	30,4	19,0	13,7	10,7
12	1,36	1,17	1,01	1,10	2,28	2,12	1,83	1,70	3,5	2,8	2,4	2,5	28,0	12,6	7,7	8,6
15	1,31	1,15	1,02	1,07	2,20	2,05	1,63	1,49	3,1	2,3	2,1	1,7	18,2	9,8	5,8	4,7
$\overline{X}$ ogólna $\overline{X}$ total	1,87	1,90	1,49	1,33	3,37	3,70	2,90	2,61	6,64	7,03	5,1	5,7	61,46	65,90	50,6	43,1
Błąd średniej Error mean	0,14	0,11	0,06	00,5	0,25	0,25	0,06	0,10	0,60	0,64	0,31	0,48	1,23	1,18	0,79	0,69
NIR—LSD	0,40	0,34	0,17	0,15	0,74	0,73	0,18	0,29	1,74	1,87	0,93	1,44	3,60	3,45	2,37	2,05
Test Snedecor F_{emp}	7,34 ***	29,94 ***	54,74 ***	29,62 ***	10,46 ***	19,18 ***	274,4 ***	74,24 ***	16,71 ***	26,77 ***	70,89 ***	41,34 ***	482,14 ***	960,4 ***	1945,9 ***	1824,1 ***

Tabela 11 — Table 11

Porównanie wartości średnich liczby członów *Spirodela polyrrhiza* dla populacji (A) i dla dawek (B) promieniowania gamma ^{60}Co

Comparison average value fronds number of *Spirodela polyrrhiza* for populations (A) and doses (B) gamma irradiation from ^{60}Co

A Populacje Populations	Terminy — Periods			
	I	II	III	IV
	liczba członów — number of fronds			
1	1,79	3,28	6,3	59,2
4	1,94	3,68	7,2	64,0
4a	1,49	2,90	5,2	50,6
5	1,33	2,61	5,7	43,1
Błąd średniej Error mean	0,036	0,07	0,17	0,30
NIR — LSD	0,10	0,20	0,48	0,84
Test Snedecor $F_{emp.}$	58,22 ***	44,36 ***	26,86 ***	965,6 ***

B Dawka — Dose kR	Terminy — Periods			
	I	II	III	IV
	liczba członów — number of fronds			
0	2,18	4,10	9,6	86,5
0,3	1,78	3,86	8,6	84,8
1	2,05	4,20	9,1	91,3
3	1,95	3,77	7,5	74,8
5	1,71	3,00	6,0	59,3
10	1,20	2,18	3,1	18,6
12	1,15	1,98	2,8	14,2
15	1,15	1,84	2,3	9,6
Błąd średniej Error test	0,051	0,10	0,24	0,45
NIR — LSD	0,14	0,28	0,68	1,26
Test Snedecor $F_{emp.}$	67,91 ***	102,21 ***	155,67 ***	197,41 ***

Współdziałanie A×B
Interaction A×B

	I	II	III	IV
Błąd średniej Error test	0,10	0,20	0,48	0,89
NIR — LSD	0,29	0,56	1,36	2,52
Test Snedecor $F_{emp.}$	6,62 ***	3,09 ***	3,81 ***	75,39 ***

Tabela 12 — Table 12

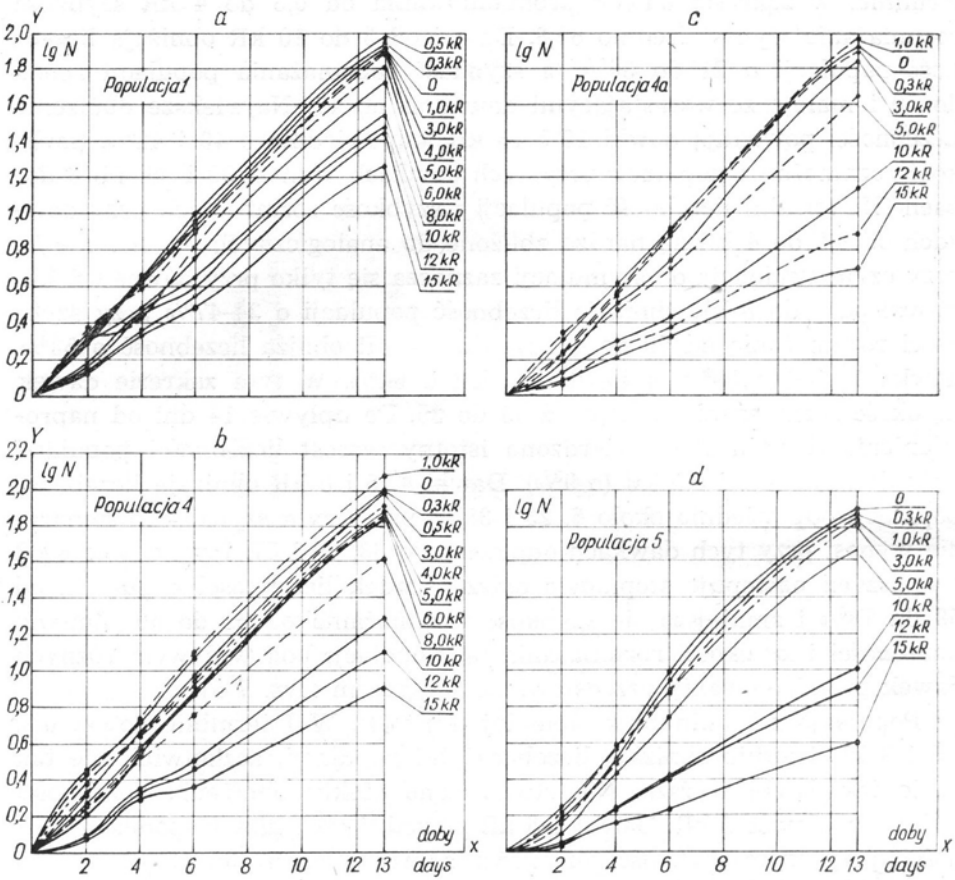
Szybkość rozmnażania (V) populacji *Spirodela polyrrhiza* po napromienieniu gamma ^{60}Co

Multiplication rate (V) of populations *Spirodela polyrrhiza* after gamma irradiation from ^{60}Co

Dawki Doses kR	Populacje — Populations															
	1				4				4a				5			
	terminy (po 2, 4, 6 i 14 dobach) — periods (after 2, 4, 6 and 14 days)															
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	65	62	67	64	100	76	78	66	65	64	65	64	53	59	69	62
0,3	61	66	68	64	66	71	69	66	46	60	64	63	26	52	67	62
0,5	78	70	72	65	71	68	67	65,5	—	—	—	—	—	—	—	—
1	60	69	68	64	93	79	78	69	68	65	64	65	35	52	62	61
3	75	66	66	63	83	67	65	63	38	55	52	61	44	58	63	60
4	79	62	66	63	57	62	64	62	—	—	—	—	—	—	—	—
5	69	50	59	60	55	60	62	61	44	49	48	54	18	46	51	55
6	67	52	53	57	51	55	64	61	—	—	—	53	—	—	—	51
8	37	50	46	51	43	38	53	53	—	—	—	—	—	—	—	—
10	33	47	43	49	16	35	36	42	2,8	32	30	38	7	25	28	33
12	29	39	39	48	15	35	32	36	1,1	28	26	28	8	24	28	29
15	25	36	35	40	13	33	26	31	1,5	22	22	23	6	18	16	18

terminie, w zakresie dawek promieniowania od 0,3 do 4 kR szybkość rozmnażania wynosi średnio 65,8, Dawki od 5 do 10 kR obniżają liczebność populacji o 21 do 30%, a szybkość rozmnażania populacji spada do 50 i maleje ze wzrastającymi dawkami do 47. Największe obniżenie liczebności powodują dawki 12 i 15 kR, odpowiednio o 40 i 42%. Szybkość rozmnażania populacji przy tych dawkach wynosi 39 i 36. Po 6 dobach (III termin) liczebność populacji i szybkość rozmnażania przy dawkach od 0,3 do 4 kR są bardzo zbliżone do analogicznych w terminie II, przy czym tendencja do stymulacji zaznacza się tylko przy dawce 0,5 kR. Dawki od 5 do 8 kR obniżają liczebność populacji o 34-47% przy szybkości rozmnażania od 59 do 46. Dawka 10 kR obniża liczebność o 53%, dawka 12 kR o 59%, a dawka 15 kR o 64%. W tym zakresie dawek szybkość rozmnażania maleje od 43 do 35. Po upływie 14 dni od napromienienia (termin IV) stwierdzono istotny wzrost liczebności populacji przy dawkach 0,3 i 0,5 kR (o 9%). Dawki 4, 5 i 6 kR obniżają liczebność populacji odpowiednio około 6, 23 i 38%, przy czym szybkość rozmnażania wynosi przy tych dawkach odpowiednio 63, 60 i 57. Przy dawce 8 kR i wyższych następuje stopniowo dalszy spadek liczebności populacji, od 58 do 78% i zmniejsza się szybkość rozmnażania od 51 do 40. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 7 a).

Populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4). W I terminie dawki 0,3, 0,5 i 3 kR istotnie obniżają liczebność tej populacji, aczkolwiek nie tak silnie jak dawki wyższe. Nie stwierdzono efektu obniżenia liczebności tylko przy dawce 1 kR. Dawki 4-8 kR powodują stopniowy spadek liczebności, przy czym szybkość rozmnażania maleje od 57 do 43. Dawki od 10 do 15 kR obniżają liczebność populacji około 60%, a szybkość rozmnażania spada do 13. W terminie II dawki 0,3, 0,5 i 3 kR nie obniżają liczebności populacji, a przy dawce 1 kR stwierdza się tendencję do stymulacji wzrostu liczebności przy szybkości rozmnażania $V = 79$. Dawki od 4 do 8 kR powodują istotne obniżenie liczebności populacji. W tym zakresie dawek średnia szybkość rozmnażania $V = 62$. Dawki 10, 12 i 15 kR silnie hamują wzrost liczebności populacji, a szybkość rozmnażania w tym zakresie dawek maleje i wynosi od 38 do 33. W III terminie dawki 0,3, 0,5, 3, 4, 5 i 6 kR powodują niewielkie, ale istotne obniżenie populacji, przy szybkości rozmnażania od 69 do 62. Dawka 8 kR powoduje obniżenie liczebności o 54% (szybkość rozmnażania $V = 53$). Przy dawkach 10, 12 i 15 kR następuje dalszy spadek liczebności populacji i obniża się szybkość rozmnażania odpowiednio do 36, 32 i 26. W IV terminie dawka 0,5 kR powoduje niewielkie obniżenie liczebności populacji przy prędkości rozmnażania $V = 65,5$. Dawka 1 kR stymuluje wzrost liczebności populacji o 18% przy szybkości rozmnażania $V = 69$. Dawka 3 kR i wyż-



Rys. 7. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania populacji *Spirodela polyrrhiza* pod wpływem różnych dawek promieniowania gamma ^{60}Co:

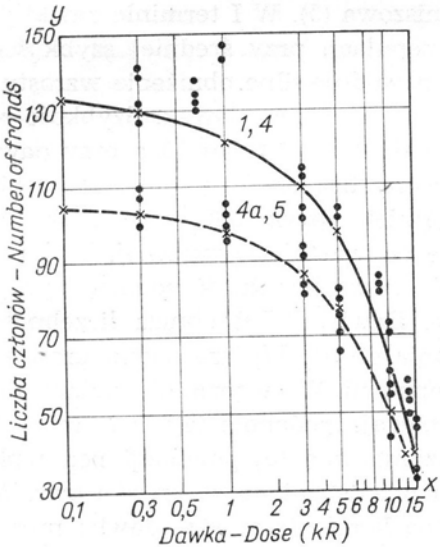
a — populacja z Wrocławia (1); *b* — populacja z Paulinum (4); *c* — populacja z Paulinum (4a); *d* — populacja ze Staniszowa (5)
gdzie: Y = lgN; N — liczba członów, X = *t* — czas w dobach

Fig. 7. Changes of numbers and multiplikation ratio of populations *Spirodela polyrrhiza* under effect of various doses gamma irradiation from ^{60}CO:

a — population from Wrocław (1); *b* — population from Paulinum (4); *c* — population from Paulinum (4a); *d* — population from Staniszów (5)
where: Y = lgN; N — number of fronds, X = *t* — time in days

sze powodują stopniowe obniżenie liczebności populacji i szybkości jej rozmnażania. I tak, dawki 3 i 4 kR obniżają liczebność o 20-24% przy szybkości rozmnażania $V = 62{,}4$, dawki 5 i 6 kR obniżają liczebność populacji o około 30% przy szybkości rozmnażania $V = 61$, a dawka 8 kR obniża liczebność o 60% przy szybkości rozmnażania $V = 53$. Dawki 10, 12 i 15 kR obniżają liczebność populacji od 80 do 90%, a szybkość roz-

mnażania maleje do 31. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (ryc. 7 b). Stwierdzono istotną ujemną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów populacji z Wrocławia (1) i z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), co znajduje swój wyraz matematyczny w funkcji kwadratowej (tab. 6, rys 8). Ze wzrostem dawki liczebność populacji maleje.



Rys. 8. Zależność liczby członów populacji *Spirodela polyrrhiza* od dawki promieniowania gamma (po 14 dniach hodowli):

1 i 4 dla populacji z Wrocławia (1) i Paulinum (4), 4a i 5 dla populacji z Paulinum (4a) i Staniszowa (5)

Fig. 8. Relation between numbers fronds of populations *Spirodela polyrrhiza* and various doses gamma irradiation (after 14 days of culture):

1 and 4 for populations from Wrocław (1) and Paulinum (4), 4a and 5 for populations from Paulinum (4a) and Staniszów (5)

Populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4 a). Zmiany w liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji w I i II terminie przebiegają bardzo podobnie. Dawki 0,3, 3 i 5 kR istotnie obniżają liczebność populacji przy szybkości rozmnażania od 68 do 44. Ostre zahamowanie wzrostu liczebności populacji zaznacza się przy dawce 10 kR i wzrasta przy dawce 12 i 15 kR, przy czym szybkość rozmnażania populacji spada aż do 1. Dopiero w III terminie dawki 3 i 5 kR powodują istotne obniżenie liczebności populacji przy szybkości rozmnażania odpowiednio 52 i 48. Tak jak w poprzednich terminach, po 6 dobach od napromieniowania dawki 10, 12 i 15 silnie hamują wzrost liczebności populacji, a szybkość rozmna-

żania w tym zakresie dawek spada od 30 do 22. W terminie IV zaznaczają się różnice w reakcji populacji na dawki niższe. Dawka 1 kR stymuluje wzrost liczebności populacji o 10%, przy szybkości rozmnażania $V = 94$. Pozostałe dawki wraz ze wzrostem obniżają stopniowo liczebność populacji i szybkość jej rozmnażania. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 7c).

Populacja ze Staniszowa (5). W I terminie dawki 0,3, 1 i 3 kR istotnie obniżają liczebność populacji przy średniej szybkości rozmnażania $V = 35{,}0$. Dawka 5 kR powoduje silne obniżenie wzrostu liczebności populacji postępujące wraz ze wzrostem dawek. Szybkość rozmnażania tej populacji przy dawce 5 kR wynosi tylko 18, a przy dawce 15 kR wynosi 6. W II terminie zmiany w liczebności populacji przebiegają podobnie jak w terminie I, z wyjątkiem dawki 3 kR, przy której liczebność populacji nie różni się istotnie od wartości kontrolnej. W III terminie dawki 0,3, 1 i 3 kR obniżają stopniowo liczebność populacji przy średniej szybkości rozmnażania $V = 65$. Dawka 5 kR obniża liczebność populacji o 33% i szybkość rozmnażania do 51. Wyższe dawki prawie całkowicie hamują wzrost liczebności populacji. W IV terminie zmiany liczebności i szybkości rozmnażania przebiegają podobnie jak w terminie III. Zmiany liczebności i szybkości rozmnażania tej populacji pod wpływem różnych dawek promieniowania przedstawiono wykresem (rys. 7d).

Stwierdzono istotną korelację między dawką promieniowania a liczbą członów populacji z Paulinum k. Jeleniej Góry (4a) reprezentowanej przez formy roślin kompleksu jesienno-zimowego i populacji ze Staniszowa (5), co znajduje również swój wyraz matematyczny w funkcji kwadratowej (tab. 6, rys. 8). Ze wzrostem dawki liczebność tych populacji maleje.

Biomasę populacji *Spirodela polyrrhiza* przy różnych dawkach promieniowania, po 14 dniach hodowli, przedstawiono w tabeli 13. Analiza wariancji wykazała istotność zróżnicowania kombinacji, populacji, dawek oraz współdziałania populacji z dawkami. Dawki 0,3, 0,5 i 1 kR zmniejszają biomasę. Przy dawkach 3, 4, 5, 6 i 8 następuje stopniowe zmniejszenie biomasy. Wyższe dawki, 10, 12 i 15 kR, powodują silne obniżenie biomasy wyraźnie postępujące ze wzrostem dawki. Wśród 4 badanych populacji, największą wartością biomasy wyróżnia się populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), a najmniejszą — populacja ze Staniszowa (5).

Populacja z Wrocławia (1). Dawki 0,3 i 0,5 kR wyraźnie stymulują wzrost produkcji biomasy wyrażający się około 30%. Przy dawkach od 1 do 8 kR obserwuje się tendencję do obniżenia biomasy. Dawki 10, 12 i 15 kR stopniowo obniżają biomasę od 44 do 50%. Populacja ta w porównaniu z następnymi wydaje się być odporna na promieniowanie,

Tabela 13 — Table 13

Biomasa populacji *Spirodela polyrrhiza* po napromienieniu gamma ^{60}Co

Biomass of population *Spirodela polyrrhiza* after gamma irradiation from ^{60}Co

a

Populacje Populations	Dawka — Dose kR												$\bar{X}$ populacji $\bar{X}$ populations
	0	0,3	0,5	1	3	4	5	6	8	10	12	15	
	biomasa — biomas, mg												
1	110,0	142,5	146,2	107,1	103,0	117,1	78,2	109,0	93,5	85,4	62,0	57,2	100,9
4	157,0	152,0	150,0	161,1	126,0	118,0	116,0	123,0	98,0	67,0	65,0	43,1	114,6
$\bar{X}$ dawek $\bar{X}$ doses	133,5	147,2	148,1	134,1	109,5	117,5	97,1	116,0	95,2	76,2	63,5	50,1	107,7

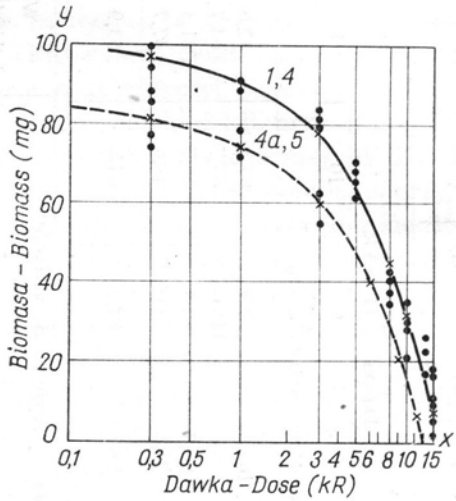
b

Populacje Populations	Dawka — Dose kR								$\bar{X}$ populacji $\bar{X}$ populations
	0	0,3	1	3	5	10	12	15	
	biomasa — biomass, mg								
1	110,0	142,0	106,8	103,3	77,7	85,3	62,0	57,3	93,0
4	157,0	152,3	161,0	126,0	116,0	66,7	64,7	43,0	110,6
4a	123,0	117,3	166,0	90,7	90,3	58,7	41,3	25,0	89,0
5	90,0	70,0	66,7	72,5	55,0	48,6	47,7	20,7	59,4
$\bar{X}$ dawek $\bar{X}$ doses	120,0	120,4	125,1	98,1	84,7	64,8	53,9	36,5	88,0

	Analiza zmienności — Analysis of variance				Współdziałanie populacje × dawki Interaction populations × × doses	
	populacje — populations		dawki — doses			
	a	b	a	b	a	b
Błąd średniej Error mean	3,48	2,82	8,52	3,99	12,05	7,98
NIR — LSD	9,89	7,97	24,23	11,27	32,27	22,55
Test Snedecor $F_{emp.}$	5,92 ***	55,59 ***	12,81 ***	69,25 ***	2,07 *	5,53 ***

bowiem dawki do 10 kR nie wpływają tak silnie na zmniejszenie produkcji biomasy, jak w przypadku innych populacji.

Populacja z Paulinum (4). Dawki 0,3, 0,5 i 1 kR nie wpływają na produkcję biomasy tej populacji. Dawki od 3 do 8 kR obniżają biomasę od 20 - 38%. Dawki 10, 12 i 15 kR powodują obniżenie biomasy od około 60 - 75%. Stwierdzono istotną korelację ujemną między dawką promieniowania a biomasą populacji z Wrocławia (1) i z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), co ma swój wyraz w funkcji kwadratowej (tab. 6, rys. 9). Ze wzrostem dawki biomasa tych populacji maleje.



Rys. 9. Zależność biomasy populacji *Spirodela polyrrhiza* od dawki promieniowania gamma (po 14 dniach hodowli):

1 i 4 dla populacji z Wrocławia (1) i Paulinum (4), 4a i 5 — populacje z Paulinum (4a) i Staniszowa (5)

Fig. 9. Relation between value biomass of populations *Spirodela polyrrhiza* and various doses gamma irradiation (after 14 days of culture):

1 and 4 for populations from Wrocław (1) and Paulinum (4), 4a and 5 for populations from Paulinum (4a) and Staniszów (5)

Populacja z Paulinum (4a). Stwierdzono stymulację produkcji biomasy przy dawce 1 kR. Dawki 3 i 5 kR obniżają biomasę o około 25%. Dawki 10 i 12 kR obniżają biomasę od 50 - 66%, a dawka 15 kR o 80%.

Populacja ze Staniszowa (5). Populacja ta wykazuje najmniejszą tolerancję wobec promieniowania, bowiem już pod wpływem dawek 0,3, 1 i 3 kR produkcja biomasy tej populacji obniża się o 22%. Dawki 5, 10 i 12 kR obniżyły biomasę do połowy, zaś dawka 15 kR obniża plon prawie o 80%. Stwierdzono istotną korelację ujemną między dawką promieniowania a biomasą populacji z Paulinum k. Jeleniej Góry (rośliny je-

Tabela 14 — Table 14

Powierzchnia roślin *Spirodela polyrrhiza* po napromienieniu gamma ^{60}Co

Area of plants *Spirodela polyrrhiza* after gamma irradiation from ^{60}Co

Dawka Dose kR	Populacje — Populations											
	1			4			4a			5		
	powierzchnia roślin w mm² — area of plants (2-, 3- and 4-frond in mm²)											
	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-	2-	3-	4-
	członowych			członowych			członowych			członowych		
0	39,76	54,0	76,0	45,5	65,0	88,5	43,0	63,0	76,5	32,0	38,0	59,0
0,3	38,65	64,0	83,0	43,0	64,0	84,0	40,0	56,0	73,0	30,0	44,0	56,0
0,5	41,49	59,0	82,0	44,0	63,5	81,0	—	—	—	—	—	—
1	39,96	54,0	71,5	45,0	59,0	89,0	42,0	62,0	79,0	32,0	42,0	51,0
3	36,01	51,0	64,0	41,5	57,0	77,0	34,5	53,0	73,0	31,0	41,0	49,5
4	30,60	48,0	61,0	41,0	56,0	74,0	—	—	—	—	—	—
5	27,18	42,0	52,0	27,0	48,0	55,5	32,5	51,0	55,0	26,0	38,0	44,0
$\bar{X}$ ogólna $\bar{X}$ total	36,24	53,14	69,97	41,00	58,93	78,42	38,40	57,00	71,30	30,20	40,60	51,90
Błąd średniej Error mean	1,32	2,24	2,21	3,65	2,98	3,59	2,40	3,01	2,97	2,678	1,61	2,51
NIR — LSD	3,80	6,456	6,38	10,52	8,61	10,35	7,009	8,79	8,649	7,80	4,71	7,31
Test Snedecor $F_{emp.}$	16,64 ***	10,20 ***	24,96 ***	2,98 **	4,09 **	9,70 ***	3,71 *	3,01 *	2,05 0	1,53 0	2,85 *	5,23 **

sienno-zimowego kompleksu warunków) i populacji ze Staniszowa (5). Zależność ta ma swój wyraz w funkcji kwadratowej (tab. 4, rys. 9).

Powierzchnię roślin populacji *Spirodela polyrrhiza* przy różnych dawkach promieniowania, po 14 dniach hodowli, przedstawiono w tabeli 14. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie kombinacji, populacji, dawek i współdziałania populacji z dawkami (tab. 15).

Największą powierzchnią roślin wyróżnia się populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4), najmniejszą natomiast populacja ze Staniszowa (5). Dawki 0,3 do 3 kR nie ograniczają wielkości powierzchni roślin dwuczłonowych. Pod wpływem dawki 0,3 kR rośliny trójczłonowe wykazują tendencję do zwiększenia powierzchni, natomiast dawka ta u roślin czteroczłonowych istotnie zwiększa ich powierzchnię i można tu mówić o stymulacji wielkości wzrostu. Dawka 3 kR powoduje istotne zmniejszenie powierzchni roślin trójczłonowych. Dawka 5 kR w przypadku wszystkich czterech analizowanych populacji zmniejsza bardzo silnie wielkość powierzchni 2-, 3- i 4-członowych roślin.

Populacja z Wrocławia (1). Dawki 0,3 i 1 kR nie ograniczają wzrostu roślin 2-członowych, a przy dawce 3 kR obserwuje się już niewielkie, lecz istotne zmniejszenie powierzchni. Dawka 4 kR zmniejsza powierzchnię tych roślin o 25%. Rośliny 3- i 4-członowe reagują podobnie. Dawki 0,3 i 0,5 kR, a w przypadku 4-członowych i dawka 1 kR, istotnie zwiększają powierzchnię roślin. Nie obserwuje się wpływu dawek 3 i 4 kR na wielkość powierzchni tych roślin. Natomiast dawka 5 kR zmniejsza powierzchnię wszystkich roślin: 2-członowych o 32%, 3-członowych o 22% i 4-członowych o 21%.

Populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4). Dawki 0,3, 0,5, 1, 3 i 4 kR nie ograniczają powierzchni roślin 2-członowych. Dopiero dawka 5 kR zmniejsza powierzchnię tych roślin około 40%. Dawki 0,3, 0,5 i 1 kR nie ograniczają powierzchni roślin 3- i 4-członowych. Przy dawkach 3 i 4 kR obserwuje się tendencję do zmniejszenia powierzchni tych roślin. Dawka 5 kR zmniejsza powierzchnię członów o 26%.

Populacja z Paulinum k. Jeleniej Góry (4a). Dawki 0,3 i 1 kR nie wpływają na wielkość powierzchni roślin 2- i 3-członowych. Wyższe dawki, 3 i 5 kR zmniejszają powierzchnię tych roślin o około 18 i 26% (odpowiednio). Nie stwierdzono wpływu dawek 0,3 do 3 kR na wielkość roślin 4-członowych. Dopiero dawka 5 kR obniża wielkość powierzchni tych roślin o 28%.

Populacja ze Staniszowa (5). U roślin dwuczłonowych obserwuje się wraz ze wzrostem dawki pewną tendencję do zmniejszenia powierzchni. Rośliny 3- i 4-członowe reagują podobnie. Dawka 0,3 kR nie wpływa na wielkość ich powierzchni, natomiast dawki 1 do 5 kR powodują zmniejszenie powierzchni.

Tabela 15 — Table 15

Porównanie średnich wartości powierzchni *Spirodela polyrrhiza* dla populacji (A) i dla dawek (B) promieniowania gamma, ^{60}CO

Comparison average value of area *Spirodela polyrrhiza* for populations (A) and doses (B) gamma irradiation from ^{60}Co

A Populacje Population	Powierzchnia roślin — Area of plants, mm²		
	a 2-członowych 2-frond	b 3-członowych 3-frond	c 4-członowych 4-frond
1	36,3	53,2	67,4
4	40,3	58,4	78,8
4a	38,4	57,2	71,2
5	29,1	41,7	52,0
Błąd średniej Error mean	1,09	1,25	1,23
NIR — LSD Test Snedecor	3,0	3,5	3,4
$F_{emp.}$	16,75 ***	47,7 ***	65,7 ***

B Dawka — Dose kR	Powierzchnia roślin — Area of plants, mm²		
	a	b	e
0	40,1	56,8	72,3
0,3	36,5	56,1	74,1
1	38,3	54,2	72,6
3	37,1	51,1	65,8
5	28,2	44,9	51,8
Błąd średniej Error mean	1,22	1,26	1,38
NIR — LSD Test Snedecor	3,4	3,5	3,8
$F_{emp.}$	13,11 ***	12,3 ***	31,72 ***

Współdziałanie A×B Interaction A×B			
	a	b	c
Błąd średniej Error mean	2,44	2,52	2,76
NIR — LSD Test Snedecor	6,77	6,98	7,65
$F_{emp.}$	1,94 *	3,54 ***	3,46 ***

OBSERWACJE ANOMALII ROZWOJOWYCH *LEMNA MINOR* I *SPIRODELA POLYRRHIZA*

W doświadczeniu tym stwierdzono te same anomalie rozwojowe *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza,* które opisano na podstawie doświadczenia I. W kombinacjach z wyższymi dawkami promieniowania niż w doświadczeniu I (12 i 15 kR) dało się stwierdzić nasilenie anomalii, przy czym w kombinacjach z najwyższymi dawkami wszystkie rośliny ujawniły anomalie rozwojowe.

DYSKUSJA

W świetle otrzymanych wyników badań nad przeżywalnością popromienną roślin *Lemna minor* z różnych ekologicznych populacji (tabele na str. 60 i 68), nie można przyjąć dawki 7 kR podanej przez Kasinova (1966b) jako dawki letalnej (DL 50) dla tego gatunku. Jak wykazano w niniejszych badaniach, śmiertelność 50% roślin *Lemna minor* z 14 naturalnych populacji występuje w zakresie od 4 do 10 kR. Największą tolerancją wobec promieniowania gamma wyróżniają się populacje *Lemna minor* pochodzące z anomalii radiacyjnej, z Radoniowa (5 i 6), dla których dawki DL 50 wynoszą 10 i 8 kR. Podobnie wyższą tolerancję wobec ostrego promieniowania gamma odznaczają się rośliny *Marchantia* sp. sp., pochodzące z sudeckich anomalii radiacyjnych (Sarosiek i Wożakowska-Natkaniec 1968; Sarosiek 1972). Wysoka frekwencja anomalii rozwojowych roślin stwierdzona w populacjach *Lemna minor* z Radoniowa nie jest kwestią przypadku, bowiem zjawisko manifestacji anomalnych roślin w populacjach różnych gatunków z terenów o podwyższonej, tj. wyższej od tła radioaktywności, jest znana i opisana przez różnych autorów (Osburn 1961; Kovalsky i wsp. 1967; Sarosiek i Wożakowska-Natkaniec 1967; Sarosiek, Koła i Orda 1973). Zgodnie z Mc Cormickiem i Plattem (1963), Grodzienskim (1965) czy Masłovem i jego wsp. (1970) można uważać, że w przypadku populacji *Lemna minor* z Radoniowa mamy do czynienia z ekotypami uwarunkowanymi podwyższoną naturalną radioaktywnością siedlisk ich rozwoju.

O istotności zróżnicowania ekologicznych populacji badanych gatunków pod względem promienioczułości świadczą podobnie przebiegające u tych samych populacji efekty wzrostowe w I i II doświadczeniu, jednakże w różnym zakresie dawek promieniowania u różnych populacji (tab. 3 - 15, rys. 4a - f, 7a - d). Różnic w reakcjach wzrostowych poszczególnych populacji nie można uzasadniać efektem populacyjnym, aczkolwiek oczywisty jest fakt, że przeżywalność popromienna populacji przy najwyższych dawkach napromienienia jest efektem populacyjnym i zgodnie z Grodzienskim (1965) należy efekt ten tłumaczyć heterogen-

nością roślin pod względem ich promienioczułości w obrębie każdej populacji. Za słusznością tego wnioskowania przemawia fakt popromiennego przeżywania roślin poddanych działaniu wysokich dawek promieniowania gamma w różnym procencie w próbach tej samej populacji, jak również w analogicznych kombinacjach doświadczenia I i II.

Gdy się zważy fakt, że zaburzenia rozwojowe roślin, a nade wszystko zahamowanie wzrostu, czy też przy niskich dawkach stymulacja wzrostu, wywołane promieniowaniem, są następstwem zaburzeń w naturalnym układzie regulatorów wzrostu (Skoog 1935; Gordon i Weber 1950 i 1955; Medvedev 1970; Riley 1954), to można przypuszczać zgodnie z Gołubkovą i Grodzienskim (1970), że i w naszym przypadku hormony regulujące dynamikę populacji mogą wywołać swoistą reakcję ich na promieniowanie.

Zróżnicowanie naturalnych populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* w warunkach dolnośląskich akwenów (układy zmienności — ekofeny i ekotypy) uwarunkowane chemizmem siedlisk, tj. różnicami w poziomie podstawowych makroelementów, ma niewątpliwie istotne znaczenie w zróżnicowaniu tych populacji pod względem ich reakcji na ostre gamma promieniowanie. Znana jest bowiem zależność radiobiologicznych efektów w plonowaniu roślin od warunków środowiska, między innymi od poziomu mineralnego odżywiania (Riza-Zade i wsp. 1970; Żunusov 1970). Wszak warunki mineralnego odżywiania roślin w dużym stopniu decydują o ich ekologicznej konstytucji (Walter 1951; Marczonek i Sarosiek 1969). O istotnym znaczeniu chemizmu siedlisk *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* w ich zróżnicowanej tolerancji wobec promieniowania świadczyć może stwierdzona w niniejszych badaniach zależność szybkości rozmnażania roślin z różnych ekologicznych populacji *Lemna minor*, przy krytycznych dawkach promieniowania (4 - 6 kR), od poziomu wapnia w siedlisku (rys. 10). Zależność ta wyraża się następującą funkcją kwadratową:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2; \tag{1}$$

gdzie:

y — szybkość rozmnażania roślin (V), współczynniki regresji — $b_0 = 0{,}925$, $b_1 = 0{,}931$, $b_2 = 0{,}005$

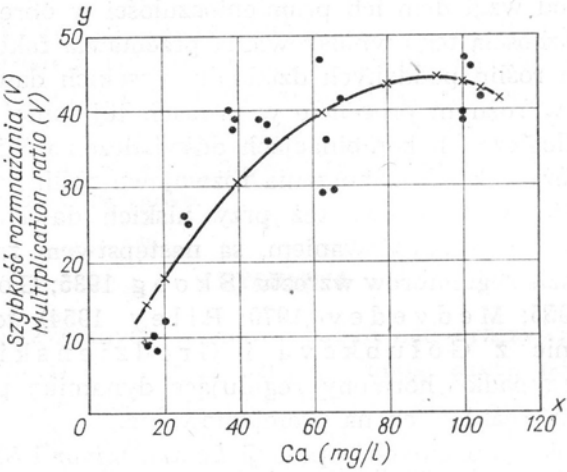
x — Ca w mg/l wody,

czyli:

$$V = 0{,}925 + 0{,}931 \cdot \mathrm{Ca} - 0{,}005 \cdot \mathrm{Ca}^2 \tag{2}$$

Wierzchołek wykresu funkcji kwadratowej ($y = ax^2 + bx + c$) ma współrzędne:

$$x_w = \frac{-b}{2a} \text{ i } y_w = \frac{-\Delta}{4a}$$



Rys. 10. Zależność szybkości rozmnażania (V) populacji *Lemna minor* przy krytycznych dawkach promieniowania gamma (4-6 kR) od zawartości wapnia w siedlisku

Fig. 10. Relation between multiplication ratio (V) of populations *Lemna minor* at critical radiation doses (4-6 kR) and contens of calcium in habitat

gdzie:

$$\Delta = b^2 - 4\,ac.$$

W naszym przypadku funkcja kwadratowa dana jest wzorem 2, więc:

$$a = -0{,}005; \qquad b = 0{,}931; \qquad c = 0{,}925.$$

Współrzędne wierzchołka wykresu naszej funkcji wynoszą więc:

$$\mathrm{Ca} = 93{,}07 \quad \text{i} \quad V = 44{,}16.$$

Zatem wraz ze wzrostem zawartości wapnia w wodzie do 93,07 mg/l szybkość rozmnażania roślin wzrasta jeszcze przy krytycznych dawkach promieniowania.

Powyższa zależność nie może dziwić, bowiem wapń jako czynnik deaktywacji radioaktywności, jak stwierdzono doświadczalnie, obniża skutki popromiennego porażenia roślin, podobnie jak i magnez (Ilina i wsp. 1970; Miller i wsp. 1970; Kalam 1970). Można więc przypuszczać, że podobna zależność szybkości rozmnażania badanych roślin przy krytycznych dawkach promieniowania istnieje i w przypadku magnezu w siedlisku, a także i azotu, bowiem w poprzedniej pracy stwierdzono dodatnią korelację między zawartością magnezu a zawartością wapnia w badanych siedliskach, a także między zawartością wapnia a zawartością azotu i magnezu łącznie (Wożakowska-Natkaniec 1977). Należy nadmienić, iż o roli wapnia, magnezu i azotu w modyfikowaniu promienioczułości roślin świadczy wzrost zawartości tych pier-

wiastków w liściach napromieniowanych roślin (Šarkovskij i wsp. 1970; Ilina i wsp. 1970).

Z przedstawionych wyników widać, że *Spirodela polyrrhiza* wykazuje względnie wyższą tolerancję wobec ostrego promieniowania gamma w stosunku do *Lemna minor*, co można tłumaczyć zgodnie z Sparrowem (1962), Sparrowem, Thompsonem i Schairerem (1965) różnicą jąder komórkowych obu badanych gatunków. Według Broksa *Lemna minor* charakteryzuje się 42 chromosomami, natomiast *Spirodela polyrrhiza* według Blackburna 40 chromosomami (cyt. za Daubsem 1965).

Specjalnej uwagi wymagają formy jesienno-zimowego kompleksu *Spirodela polyrrhiza*, które są bardziej promienioczułe, niż normalne rośliny tego gatunku. Mniejszą ich odporność na promieniowanie należy tłumaczyć tym, iż ujemne działanie promieniowania potęguje się wraz z innymi czynnikami ograniczającymi, w naszym przypadku wraz z obniżeniem temperatury. Potwierdza to badanie Preobrażenskiej (1970, 1971, 1972), która wykazała, że rośliny tego samego gatunku wyrosłe z nasion otrzymanych z północnych regionów są mniej odporne na promieniowanie. Ponadto Orav, Remmelg (1965) są zdania, że nie sprzyjające rozwojowi roślin warunki meteorologiczne nasilają szkodliwe działanie promieniowania.

Anomalie rozwojowe *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* indukowane ostrym promieniowaniem gamma można sprowadzić do typowych anomalii popromiennych roślin (omawia Gunckel 1965), z wyjątkiem inwersji sekwencji rozwoju członów potomnych. Zdaniem Kasinova (1973) inwersja związana jest bądź z opóźnieniem, bądź z przyspieszeniem rozwoju jednego z potomnych członów w stosunku do normalnego, dziedzicznie uwarunkowanego następstwa rozwoju. Synchronizacja rozwoju potomnych osobników z lewej i z prawej kieszonki członu macierzystego daje obraz symetryczny rośliny macierzystej (konfiguracja S). Jak można było stwierdzić, stan symetryczny roślin *Lemna minor* czy *Spirodela polyrrhiza* nie jest stały i utrzymuje się najwyżej do trzeciego pokolenia. Podobnie jak Kasinov i Pavłova (1970) i w niniejszych badaniach obserwowano, zarówno u roślin *Lemna minor*, jak i u *Spirodela polyrrhiza*, pozostawanie roślin w konfiguracji symetrycznej S aż do ich naturalnej śmierci, które to rośliny nadal jednocześnie wytwarzały człony potomne i z lewej i z prawej strony. Podkreślić należy za Kasinovem (1970), iż niewątpliwie mamy tu do czynienia z niemutagennym wpływem promieniowania, ujawniającym się w potomstwie (w dwóch pokoleniach F_1 i F_2), związanym wyłącznie ze strukturą merystemów, a nie z molekularno-genetycznymi właściwościami organizmu.

WNIOSKI

1. Ekologiczna promienioczułość *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* dokumentuje się w zróżnicowanych reakcjach roślin różnych ekologicznych populacji tych gatunków na ostre promieniowanie gamma ^{60}Co:

a) zróżnicowane w naturze populacje, w kulturze wykazują zróżnicowanie w reakcji progowej na ostre promieniowanie; dawki progowe wynoszą 0,3 i 0,5 kR (tab. 3, 4, 10 i 11);

b) stwierdzony efekt stymulacji wzrostu populacji i produkcji biomasy występuje w zakresie dawek od 0,3 do 1 kR (tab. 7, 7a i 13);

c) przeżywalność popromienna *Lemna minor* występuje w zakresie od 4 do 10 kR (DL 50%) i od 6 do 15 kR (DL 100%) a *Spirodela polyrrhiza* od 6 do 8 kR (DL 50%) oraz od 10 do 15 i więcej kR (DL 100%);

d) populacje *Lemna minor* z siedlisk o naturalnie podwyższonej radioaktywności odznaczają się większą tolerancją wobec ostrego promieniowania gamma (DL 50% od 8 do 10 kR).

2. Ostre promieniowanie gamma jest czynnikiem ograniczającym rozwój *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza*, poczynając od dawki 1 kR, indukującym anomalie rozwojowe, nasilające się wraz ze wzrostem dawki w różnej frekwencji u różnych populacji: pomniejszenie członów, (formy nanistyczne — teratoma), deformacje — asymetria, rozczłonowanie, pęknięcia, zmarszczenia i sfałdowania powierzchni, epinastie, heterotaksja, chlorozy punktowe, inwersja sekwencji rozwoju członów prawo- i lewostronnych, konglomeracje członów oraz tylko u *Spirodela polyrrhiza* spiralne skręcenia członów i nadmierny wzrost — hipertrofia (rys. 1, 2 i 3).

3. Różne populacje obu gatunków wykazują różną, zależną od dawki promieniowania, liczebność i szybkość rozmnażania (tab. 3, 5, 10 i 12, rys. 4a - f i rys. 7a - d). Ujemna zależność liczebności populacji i biomasy od dawek promieniowania znajduje wyraz matematyczny w funkcji kwadratowej danej wzorem:

$$y = b_0 + b_1x^2 + b_2x$$

Ze wzrostem dawek promieniowania liczebność i biomasa populacji obu gatunków maleje (tab. 6, rys. 5, 6, 8 i 9).

4. *Spirodela polyrrhiza* wykazuje wyższą tolerancję wobec ostrego promieniowania gamma niż *Lemna minor* (DL 100 > 15 kR).

5. O istotnym znaczeniu chemizmu siedlisk *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* w ich zróżnicowanej tolerancji wobec promieniowania świadczy stwierdzona zależność szybkości rozmnażania roślin z różnych ekologicznych populacji *Lemna minor* przy krytycznych dawkach promieniowania (4 - 6 kR) od poziomu wapnia w siedlisku (rys. 10). Zależność ta znajduje swój matematyczny wyraz w funkcji kwadratowej danej wzorem:

$$V = 0{,}925 + 0{,}931 \cdot Ca - 0{,}005 \cdot Ca^2.$$

Im zawartość wapnia w siedlisku *Lemna minor* jest większa, maksymalnie do 93,07 mg Ca/l, tym szybkość rozmnażania roślin przy krytycznych dawkach promieniowania 4 - 6 kR jest wyższa. Rośliny tego gatunku z siedlisk o większej zawartości wapnia wykazują wyższą tolerancję wobec ostrego promieniowania gamma ^{60}Co.

Zakład Ekologii i Ochrony Przyrody
Instytut Botaniki
Uniwersytetu Wrocławskiego
im. B. Bieruta

SUMMARY

The present study was undertaken to gain some information on the effect of ecological factors on the radiosensitivity of such plants and *Lemna minor* L. and *Spirodela polyrrhiza* (L). Schleiden. In the preceding paper (Wożakowska-Natkaniec 1977) significant differences were reported between ecological populations of both these species, due to the chemism of the waters (pH, the levels of N, P, K, Ca, Mg and Fe) and their natural radioactivity. It was demonstrated experimentally that these populations in natural conditions constitute a system of ecotype or ecophene variability (syn. epharmones, ecads). The ecotypic differences between *Lemna minor* and *Spirodela polyrrhiza* concern individual and population characters such as: shape and size of the plants, frequency of two- three- and four-membered plants, ratio of dextrorse to sinistorse plants and dynamics of growth and biomass production.

The *L. minor* and *S. polyrrhiza* populations from 16 sites in Lower Silesia were subjected to actue gamma irradiation with ^{60}Co in experiments I and II in *in vitro* cultures to establish whether: 1) the ecologically differing populations of the species investigated will show significant differences in the reaction to acute gamma radiation and 2) the ecological populations growing in the area of the Sudetes radiation anomaly (ecotypes conditioned by natural radioactivity of the waters) exhibit any differences from other populations in their range of tolerance to radiation.

In experiment I the radiosensitivity of plants of 14 populations of *L. minor* and 5 populations of *S. polyrrhiza* was determined and the lethal DL 50 and DL 100 per cent doses were established. The range of doses 100-10 000 R proved too low for several populations to cause 100 per cent mortality. The results of this experiment indicate differences in radiosensitivity of the populations as well as a relatively higher radiosensitivity of *Lemna* populations as compared with those of *Spirodela*. In all populations gamma radiation (beginning with a 1000 R dose) induce morphological changes which become more pronounced with increasing doses and the frequency of anomalously developing plants increases.

In experiment II 6 *Lemna minor* populations and 4 *Spirodela polyrrhiza* populations differing significantly as established in exp. I in radiosensitivity were irradiated with 300 R as threshold dose and the range of doses was increased to 15 kR. In this experiment the influence of gamma radiation on propagation, population size, biomass production and surface area of the plants was investigated.

This allowed to establish the differences in radiosensitivity of the populations under study and led to the following conclusions:

1. The ecological radiosensitivity of *L. minor* and *S. polyrrhiza* is manifested in a different reaction of the plants of different ecological populations of these species to acute gamma radiation:

(a) The populations differing in natural conditions show in culture differences in the threshold reaction to acute radiation. The threshold doses were 0.3 and 0.5 kR (Tables 3, 4, 10 and 11).

(b) The observed effect of population growth and biomass production stimulation occurs within the range of doses 0.3-1.0 kR (Tables 7, 7a and 13).

(c) Radiation is lethal to *L. minor* within the limits of 4-10 kR (DL 50%) and 6-15 kR (DL 100%); it is lethel to *S. polyrrhiza* within the limits of 6-8 kR (DL 50%) and 10-15 and more kR (DL 100%), this indicating a higher resistance of *Spirodela* as compared with *Lemna*.

(d) *L. minor* populations from sites with naturally elevated radioactivity show a higher tolerance to acute gamma radiation (DL 50% 8-10 kR).

(e) Acute gamma radiation restricts the development of *L. minor* and *S. polyrrhiza* beginning with a dose of 1 kR which induces developmental anomalies. These become more pronounced with increasing doses and their frequency may vary in different populations (Figs 1, 2 and 3).

2. Various populations of both species show dose-dependent changes in population size and propagation (Tables 3, 5, 10 and 12, Figs 4*a-f* and 7*a-d*). The negative relation between population size and biomass and the irradiation dose can be expressed by a square function as follows

$$y = b_0 + b_1x^2 + b_2x.$$

With increase of the radiation doses the population size and biomass decrease in both species (Table 6, Figs 5, 6, 8 and 9).

The important role of the chemism of the *L. minor* and *S. polyrrhiza* sites, affecting their sensitivity to acute gamma radiation is indicated by the relation between the propagation rate of plants originating from different ecological populations and the calcium level in the habitat (Fig. 10) in the case of exposure to critical irradiation doses (4-6 kR). This relation can be expressed as a square function by the formula:

$$V + 0.925 + 0.931 \cdot \mathrm{Ca} - 0.005\ \mathrm{Ca}^2,$$

where: V — rate of plant propagation, Ca — calcium content in water.

The higher the calcium level in the habitat (maximum 93.07 mg/l) the higher the rate of plant propagation at critical irradiation doses. Plants from habitats with a high calcium content in the water are more tolerant to acute gamma radiation.

LITERATURA

Aleksachin R. M., 1968. Sovremennoe sostojanie i zadači radiaciotnoj biogeocenologii. Voprosy radioekologii. Atomizdat, Moskwa, 1 : 8-30.

Aleksachin R. M., 1972. Ispolzovanie principov i metodov radioekologii v rešenii nekotorych aktualnych problem vozdejstvija čeloveka na okružajuščuju sredu. Ekologija 4 : 51-56.

Baranov V. J. i Kunaševa K. G., 1954. Soderžanie radioaktivnych elementov torievogo riada v nazemnych rastieniach. Trudy Biogeochimičeskoj Laboratorii 10 : 94-97.

Beale E. M. L., Kendall M. G., Mann D. W., 1967. The discarding of variables in multivariate analysis. Biometrica 54 : 357-366.

Mc Cormick J. F. and Platt R. B., 1963. Ecotypic differentiation in *Diamorpha cymosa* Nutt. ASB Bull. 10(2) : 1-33.

Czopek M., 1963. Metody hodowli *Lemnaceae*. Wiad. Bot. 7(2) : 153-164.

Daubs F. H., 1965. A monograph of *Lemnaceae*. Illinois Biol. Monographs 34, The Univ. of Illinois Prass — Urbana, s. 118.

Fink J., 1964. Promieniowanie gamma Co^{60}: charakterystyka źródła i dawki. Biul. Inst. Hod. Rośl., 5-6 (62-63) : 7-11.

Gołubkova M. G. i Grodzienski D. M., 1970. Vlijanie produktov žizniedejatelnosti *Plectonema boryanum* na vosstanovlenije populacii posle gamma oblučenija. Mat. I Vsesojuz. Simpoz. po Radiobiol. Rastitel. Organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 30.

Gordon S. A. i Weber R. P., 1955. Studies on the mechanizm of ionizing radiation. Plant Physiol. 30 : 200-210.

Gorham P., 1941. Measurements of the response of *Lemna* to growth promoting substances. Am. Jour. Bot. 28 : 98-101.

Grodzienski D. E., 1969. Radiobiologia. PWN. Podstawy biologii współczesnej. Warszawa, s. 313.

Grodienski D. M., 1965. Jestestvennaja radioaktivnost rastenij i počv. Nauk. Dumka, Kijev, s. 216.

Gunckel J. E., 1957. The effect of ionizing radiation on plants: Morphological effects. The Quarterly Review of Biol. 32 (1). U.S.A.

Gunckel J. E., 1965. Modification of plant growth and development induced by ionizing ratiations. Encyclop. of plant physiol., Vol. XV, 2: 365-387. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Hegelmaier F., 1968. Die Lemnaceen, eine monographische Untersuchung. Leipzig, s. 169.

Ilina i wsp., 1970. Rost i rozvitie rastenij v uslovijach chroničeskogo gammaobłučenija i vlijanie nekotorych zaščitnych faktorov na snizenie radiacionnogo poraženija. Mat. I Vsesojuz. Simpoz. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev,: 150.

Iskra A. A., Bachurov V. G., Kulikov N. V., Gileva E. A., 1971. Metodika i osnovnye rezultaty eksperimentalnogo izučenija nakoplenija ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra presnovodnymi rastenijami. Metody radioekologičeskich issledovanij. Atomizdat, Moskva, : 87-93.

Johnson E. L., 1941. Effect of X-radiation upon the growth of *Lemna minor*. Colorado Univ. Studies. Ser. D 1: 165-175.

Kaczmarek A. i Łuczejko J., 1961. Zdjęcia radiohydrogeologiczne w świetle nowych prac doświadczalnych nad zmiennością niektórych parametrów. Kowary (maszynopis).

Kalam J., 1970. K voprosu o dejstvii dvuchvetentnych metallov v processach postradiaconnogo vosstanovlenija. Tat. I Vsesojuz. Simpoz. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 153.

Kandeler R., 1955. Über die Blütenbildung bei *Lemna gibba* L. Kulturbedingungen und Tageslagenabhängigkeit. Zeitschr. Bot. 43 : 61-71.

Kasinov V., 1966 a. Obraščenie porjadka razvitija ščitkov v oblučennych kolonijach riaski *Lemna minor*. Doklady Akad. Nauk SSSR 167 : 201-214.

Kasinov V., 1966 b. Skorost razmnoženija i vyživaemost riaski *Lemna minor* posle gamma oblučenija. Radiobiologia 6 (4) : 605-612.

Kasinov V., 1968 a. Izmienienie specifičeskoj radiočuvstvitelnosti i determinacja morfologičeskich osej v processe razvitija osobi *Lemna minor*. Probl. Radiočuvstelnosti, L. v sb.: 53-57.

Kasinov V., 1968 b. Vzaimodejstve materinskogo i dočernego ščitkov v processe rosta kolonii riaski *Lemna minor* L. But. žurnal 53 (11): 1558-1967.

Kasinov V., Pavlova P. E., 1970. Vzaimodejstve sestrinskich ščitkov v kolonii riaski *Lemna minor* L., v svjazi s javlenem levizny-pravizny. Bot. žurnal 55 (22): 1748-1762.

Kasinov V., 1970. Vyzvannye oblučenijem nasledstvennye izmenenija nemutacionnogo charaktera u riaskovych. Mat. I Vsesojuz. Sympoz. po Radiobiol. Rast. organizma. Kijev: 39-41.

Kasinov V., 1973. Biologičeskaja izomeria. Izd. Nauka, Leningrad s. 265.

Kovalsky V. V., Vorotniskaja L. E. and Lekarev V. S., 1967. Biogeochimical food chains of uranium in aquatic and terraneous organisms. Radioecol. Conc. Processes-Procendings of an Intern. Symp. held in Stockholm. Ed. by Bertil Aberg and F. P. Hungate: 329-332.

Landolt E., 1957. Physiologische und Ökologische Untersuchungen an Lemnaceen. Ber. Schweiz. Ges. 67: 269-410.

Maslov V. I. i wsp., 1970. Stroncij^{90} i cesij^{137} v rastenijach prirodnych biogeocenozov krajnogo severa. Mat. I Vsesojuz. Sympoz. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijew, : 196.

Marczonek A. i Sarosiek J., 1969. Zagadnienie konstytucji ekologicznej roślin. Ekol. Pol. seria B, 15 (2): 161-166.

Medvedev A. I., 1970. O radiacionnom poraženii regulacii rosta rastenij. Mat. I Vsesojuz. Symp. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 177.

Mericle L. W. and Mericle R. P., 1965. Biological descrimination of differences in natural background radiation level. Radiation Botany, 5 (6): 475-492.

Miller A. T. i współpr., 1970. Rol dvuchvalentnych kationov v radiozaščite rastenij. Mat. I Vsesojuz. Sym. po Radiobiol. Rast. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 158.

Muszyński S., 1970. Zarys radiacyjnej hodowli roślin. PWRiL, Warszawa.

Orav T. A., Remmelg Ch. J., 1965. Ionizirujušče izlučenija v biologii. Zinatne, Riga, s. 63.

Osburn W. M., 1961. Variation in clones of *Penstemon* growing in natural areas of differing radioactivity. Science 134 (3475).

Polikarpov G. G., 1964. Radioekologia morskich organizmov. Atomizdat, Moskva, s. 131.

Posner H. H. and Hillman W. S., 1960. Effects of X-irradiation on *Lemna perpusilla*. Am. J. Bot. 47 (6): 506-511.

Preobraženskaja E. I., 1970. Ekologo-geografičeskije i fitogenetičeskije aspekty radioustrojčivosti rastenij. Mat. I Vsesojuz. Symp. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 134.

Preobraženskaja E. I., 1971. Radioustojčivost semjan rastenij. Moskva, Atomizdat, s. 230.

Preobraženskaja E. I., 1972. Značenije ekologo-geografičeskogo faktora dlja radiočuvstvitelnosti rastenij. Metody Radioekol. issledovanij. Atomizdat, Moskva, : 79-83.

Rao C. R., 1965. Linear statistical inference and its applications. Willey. London.

Riley E. F., 1954. The effect of X-rays upon the growth of *Avena* seedlings. Radiation Res. 1: 227-228.

Riza-Zade P. P. i wsp., 1970. Izmenenie uslovij sredy i radiobiologičeskij efekt. Mat. I Vsesojuz. Symp. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 106.

Sarosiek J. and Wożakowska-Natkaniec H., 1967. Response of *Marchantia polymorpha* L. to chronic gamma radiation under natural conditions. Acta Soc. Bot. Pol. 36 (1) : 187-197.

Sarosiek J. and Wożakowska-Natkaniec H., 1968. The effect of lowlevel acute gamma radiation on the growth of *Marchantia polymorpha* L. originating from various ecological populations. Acta Soc. Bot. Pol. 37 (3): 413-426.

Sarosiek J., 1972. Radioekologia *Marchantia polymorpha* L. w Sudetach. Monogr. Bot. 28: 161-203.

Sarosiek J., Koła W. and Orda A., 1973. The radioecology of *Pogonatum urnigerum*. Acta Soc. Bot. Pol. 42 (2): 241-252.

Scheffe H., 1959. The analysis of variance. J. Willey, New York.

Skoog F., 1935. The effect of X-irradiation on auxin and plant growth. J. Cell. Comp. Physiol., 7: 227-270.

Sparrow A. H., 1962. The role of the cell nucleus in determining radiosensitivity. Brookhaven Lecture Series, 17 s. 29.

Sparrow A. H., Schairer L. A. and Woodwell G. M., 1965. Tolerance of *Pinus rigida* trees to a ten-year exposure to chronic gamma irradiation from Co^{60}. Radiation Botany 5 (1): 7-22.

Sparrow A. H., Thompson K. H. i Schairer L. A., 1965. Relative radiosensitivities of woody and herbaceous *Spermatophytes*. Science 147, 3664: 1449-1451.

Süssa A., Haischa A., 1964. Der Einfluss einer Saatgutbestrahlung mit kleinen Strahlendosen auf die Jugendentwicklung von Weizen und Gerste. Radiation Botany 4: 439-453.

Šarkovskij P. A. i współprac., 1970. Nekotorye biochimičeskie sdvigi obmena veščestv u oblučennych rastenij. Mat. I Vsesojuz. Symp. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 89.

Verchovskaja I. N., 1971. Zadači, metody i perspektivy radioekologičeskich issledovanij v različnych biogeocenozach. Metody radioekologičeskich issledovanij, Atomizdat, Moskva, : 3-15.

Walter H., 1951. Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Teil I — Standortslehre, Stuttgart, s. 88.

Wangerman E. and Lacey H., 1953. Some effect of ultraviolet radiation on *Lemna minor*. New. Phytol. 52: 298-311.

Włodek S., 1966. The behaviour of ^{137}Cs in reservoirs, with particular reference to the reactions of plant communities to contamination. Radioecol. concentr. proces. (sympos.) Oxford.

Woodwell G. M. and Oosting J. K., 1965. Effects of chronic gamma irradiation on the development of old field plant communities. Radiation Botany 5 (3): 205-222.

Wożakowska-Natkaniec H., 1977. Ecological differentiation of *Lemna minor* L. and *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden populations. Acta Soc. Bot. Pol. Vol. 46 (2): 201-229.

Žunusov R. S., 1970. Vlijanie ionizirujuščej radiaci na urožaj i kačestvo selskochozjajstvennych kultur. Mat. I Vsesojuz. Symp. po Radiobiol. Rastit. organizma. Izd. Nauk. Dumka, Kijev, : 101.

SPIS TREŚCI

Wstęp 53

Metodyka badań 55
Wybór populacji *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* 55
Doświadczenia 56
Metody statystyczno-matematyczne 59

Wyniki 59
Promienioczułość *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* 59
Doświadczenie I 60
a) przeżywalność popromienna 60
b) indukcja anomalii rozwojowych 62
Doświadczenie II 66
Wpływ promieniowania na szybkość rozmnażania, produkcję biomasy i powierzchnię roślin populacji *Lemna minor* 68
Wpływ promieniowania na szybkość rozmnażania, produkcję biomasy i powierzchnię roślin populacji *Spirodela polyrrhiza* 83
Obserwacje anomalii rozwojowych *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* . 94

Dyskusja 96

Wnioski 99

Summary 101

Literatura 102