ACTA AGROBOTANICA
Vol. 33, z. 1 — 1980
5-29

II. Wpływ różnych dawek promieni gamma ^{60}Co na kilka cech morfologicznych astra chińskiego (*Callistephus chinensis* Nees) w pokoleniu M_1 i M_2

ALICJA WOSIŃSKA

Instytut Produkcji Ogrodniczej, SGGW — Akademia Rolnicza w Warszawie *

(Otrzymano dn. 14.07.1977)

Abstract

A. Wosińska (*Institute of Horticulture Production, Warsaw Agriculture University, Nowoursynowska 166, 02-975 Warszawa, Poland*) Acta Agrobotanica 33 (1): 5-29, 1980.

II. The effect of various doses of gamma ^{60}Co radiation upon some morphological features of China aster (Callistephus chinesis Nees) in M_1 and M_2 generations

The present paper discusses the effect of antecedent gamma radiation upon 4 varieties of China aster in M_1 and M_2 generations. Studies were undertaken on the effect of various doses of radiation upon the following features: height of plants, maximal length of ramification of the Ist order, diameter of inflorescence, and number of set inflorescence.

In M_1 generation (plants from irradiated seeds) negative effect of radiation was noted in almost all features under study, usually the greater the radiation dose. Only in case of two varieties ('Agnieszka' and 'Goplana') positive effect of irradiation upon plant height was noted, at radiation dose of 3 kR. However, further increase of radiation dose was harmful also for these two varieties.

In M_2 generation (progeny of irradiated plants) the effect of gamma radiation upon most features under study was beneficial — in most cases stimulation overbalanced rare symptoms of depression. Reaction was different in all varieties under study.

WSTĘP

Alexander (1962) porównuje chorobę popromienną do zatrucia. Skutki jej są albo śmiertelne, albo powodują schorzenia, które po pewnym czasie przemijają.

---

* Obecny adres: Stacja Hodowli Roślin Ogrodniczych Zielonki-Ulrichów, Warszawa, ul. Górczewska 124.

Odczyn popromienny w organizmie żywym jest zawsze wynikiem złożonych zjawisk fizycznych, fizykochemicznych i biochemicznych, prowadzących do zaburzeń genetycznych, czynnościowych i zmian morfologicznych, które łącznie tworzą ostateczny obraz uszkodzenia. Uszkodzenia wywołane dawkami mniejszymi od śmiertelnych, mogą być długo- lub krótkotrwałe. Uszkodzenia krótkotrwałe, wywołujące bezpośrednie objawy choroby popromiennej, są wyraźnie zależne od mocy dawki, natomiast uszkodzenia ujawniające się w późniejszym okresie, gdy wszystkie bezpośrednie objawy napromienienia zniknęły, wykazują mniejszą zależność od dawki.

Zmiany wywołane napromienieniem nasion są prawie takie same, jak zmiany wywołane bezpośrednim napromienieniem roślin (Muszyński, 1970). U roślin ozdobnych rozmnażających się wegetatywnie, szkodliwy wpływ promieniowania na pokolenie M_1 obserwuje się równie często jak w przypadku roślin rozmnażających się przez nasiona. Głazurina i wsp. (1970) stwierdzili, że w pokoleniu M_1 *Galanthus plicatus* promieniowanie powodowało m. in. osłabienie wzrostu roślin. Grabowska i Mynett (1964) w pokoleniu M_1 dalii, wyrosłych z sadzonek i karp napromienionych, obserwowali zahamowanie wzrostu i zmniejszoną liczbę zawiązanych kwiatostanów. Haunold (1971) badając pokolenie M_1 13 odmian tulipanów stwierdził, że dawki wyższe od 500 R obniżały wysokość roślin. Buiatti i wsp. (1965) obserwowali u dwóch odmian goździków szkodliwy wpływ promieniowania na liczbę pędów kwiatowych, przy czym efekt szkodliwości wzrastał razem z dawką. Bors i Zimmer (1971) po wysokich dawkach promieniowania stwierdzili słabszy wzrost u goździków odmiany 'William Sim'. Czemarin i wsp. (1970) badając reakcję 13 gatunków *Clematis* na promieniowanie gamma donoszą, że u większości badanych gatunków promieniowanie osłabiało wzrost roślin, ale u 2 gatunków po niskich dawkach (250 i 500 R) wystąpił efekt stymulacji. Muszyński (1967) badając w pokoleniu M_1 następczy wpływ promieniowania na kilka cech u petunii nie uzyskał jednoznacznych wyników, z wyjątkiem obniżonej liczby owocków (efekt szkodliwości wzrastał razem z dawką).

U roślin wielokrotnie obserwowano występowanie popromiennych efektów biologicznych dopiero w pokoleniach późniejszych. Jednym z tych efektów jest radiostymulacja, dość często obserwowana u roślin w pokoleniu M_2 lub dalszym (Bresławiec, 1963; Kedrow-Zichman i Borisowa, 1963; Pala, 1965; Süs, 1966).

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki dotyczą wpływu różnych dawek promieni gamma na kilka cech morfologicznych u roślin astra chińskiego i obejmują badanie efektu popromiennego w populacjach roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych (pokolenie M_1) i u po-

tomstwa tych roślin (pokolenie M_2). Efekt popromienny oceniono, porównując wyniki pomiarów roślin napromienionych z kontrolnymi. Warto zaznaczyć, że w następstwie uszkodzeń popromiennych i wyeliminowania roślin najbardziej uszkodzonych populacje napromienione były w pewnym stopniu populacjami wyselekcjonowanymi.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie niniejsze stanowi dalszy ciąg badań nad biologiczną reakcją astra chińskiego na promieniowanie gamma (Wosińska, 1979), dlatego pomijam sposób napromieniowania nasion.

W drugiej połowie maja 1973 r. wszystkie siewki, które przeżyły po doświadczeniu szklarniowo-inspektowym, wysadzono na zagony, w układzie bloków losowych, w 4 lub 6 powtórzeniach. Było to pokolenie M_1. Liczba roślin w jednym powtórzeniu w poszczególnych kombinacjach była równa liczbie siewek, które przeżyły do okresu sadzenia. W pokoleniu M_1 nie stosowano chemicznych środków ochrony. Wszystkie rośliny z pokolenia M_1 były izolowane, a nasiona z poszczególnych kombinacji i powtórzeń z każdej rośliny zbierano indywidualnie.

W 1974 r. nasiona z każdej rośliny z pokolenia M_1 (przeważnie po 30 szt.) wysiewano do skrzynek z torfem. Po 15 maja (analogicznie jak w pokoleniu M_1) siewki wysadzano na zagony — w 3 lub 4 powtórzeniach dla każdej dawki promieniowania. Jedną rodzinę (potomstwo jednej rośliny) stanowiło na ogół 6 roślin lub mniej jeśli nasiona słabo wykiełkowały. Rośliny pokolenia M_2 jeden raz opryskano Folithionem i Ceresanem. Zarówno w pokoleniu M_1, jak i M_2 zastosowano nawożenie polecane dla astra chińskiego przez Kukułczankę (1962) i Korohodę (1972).

W celu scharakteryzowania efektu popromiennego u roślin w pokoleniu M_1 i oddalonego skutku popromiennego w pokoleniu M_2, wykonano pomiary u 4 odmian astra chińskiego ('Agnieszka', 'Goplana', 'Madonna', i 'Płomień') następujących cech:

wysokości roślin,
maksymalnej długości rozgałęzień I-go rzędu,
średnicy kwiatostanów,
liczby rozgałęzień I-go rzędu,
liczby zawiązanych kwiatostanów.

Wysokość roślin mierzono od podstawy rośliny do nasady najwyższego kwiatostanu, z dokładnością do 1 cm. Najdłuższe na danej roślinie rozgałęzienie I-go rzędu mierzono również do nasady kwiatostanu i z dokładnością do 1 cm. U każdej rośliny mierzono przeważnie 3 średnice kwiatostanów: średnice kwiatostanu pędu głównego i 2 kwiatostany na rozgałęzieniach bocznych I-go rzędu, z dokładnością do 0,5 cm.

W pokoleniu M_1 zmierzono 749 roślin należących do 4 odmian. Wielkość próby dla jednego powtórzenia w 1 kombinacji stanowiło 10 roślin wybranych losowo. Liczba powtórzeń w zależności od odmiany wynosiła 4 do 6.

W pokoleniu M_2 zmierzono 728 roślin. Z powodu wyjątkowo niekorzystnych warunków atmosferycznych, a także silnego atakowania roślin przez grzyby i wirusy, liczebność roślin na niektórych poletkach była znacznie obniżona, dlatego tam gdzie było to możliwe zwiększono liczbę roślin mierzonych z jednego poletka (maksymalnie do 30 roślin).

Wyniki uzyskane z pokolenia M_1 opracowano za pomocą dwukierunkowej analizy wariancji, z wyodrębnieniem efektów krzywoliniowych (Elandt, 1964; Oktaba, 1974) dla poszczególnych odmian. W obliczeniach posłużono się średnimi — przeważnie z 10 roślin.

W pokoleniu M_2 z powodu dużej nieortogonalności klasyfikacji (odmiany×dawki), wykonano jednokierunkową analizę wariancji, oddzielnie dla poszczególnych odmian. Efekty krzywoliniowe wyodrębniono stosując metodę klasycznej regresji. Obserwowano pojedyncze rośliny.

Zarówno dla wyników z pokolenia M_1, jak i M_2 dla każdej odmiany badano matematyczny model zależności poszczególnych cech od zastosowanej dawki promieniowania (model liniowy, paraboliczny lub 3-go stopnia). Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono przy poziomie istotności $p=0,01$ i $p=0,05$. W przypadku stwierdzenia istotności jednego z 3 badanych efektów, wyznaczono odpowiednie równanie regresji między daną cechą badaną a dawkami promieni gamma.

WYNIKI

W pracy oddzielnie będą omawiane wyniki badań pokolenia M_1 i oddzielnie wyniki badań pokolenia M_2.

POKOLENIE M_1

Uzyskane średnie wartości z pomiarów badanych cech u poszczególnych odmian astra chińskiego w pokoleniu M_1 przedstawiono w tabeli 1.

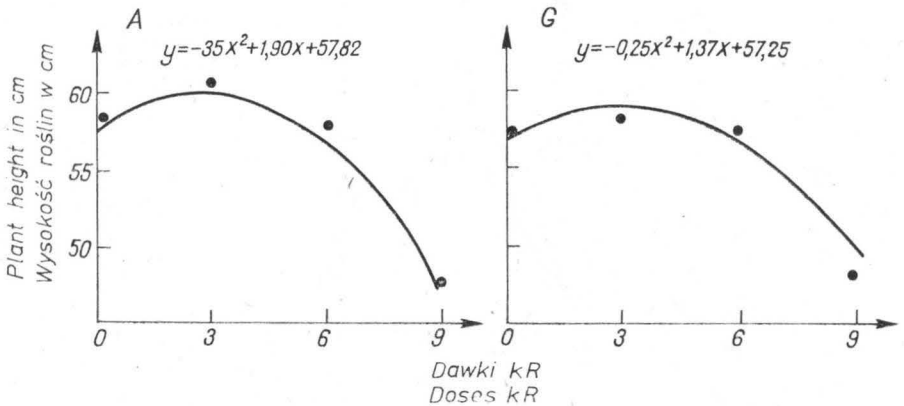
1. Wysokość roślin

Badając wpływ promieni gamma na wysokość roślin, stwierdzono niejednakową reakcję badanych odmian. Wykonane analizy wariancji i dalsze obliczenia statystyczne wykazały następujące zależności:

U odmiany 'Agnieszka' i 'Goplana' model reakcji — dawka promieniowania a wysokość roślin — odpowiadał krzywej 2-go stopnia. Po dawce 3 kR stwierdzono nieznaczny, ale istotny efekt stymulacji — rośliny napromienione były wyższe od kontrolnych przeciętnie o 2 cm

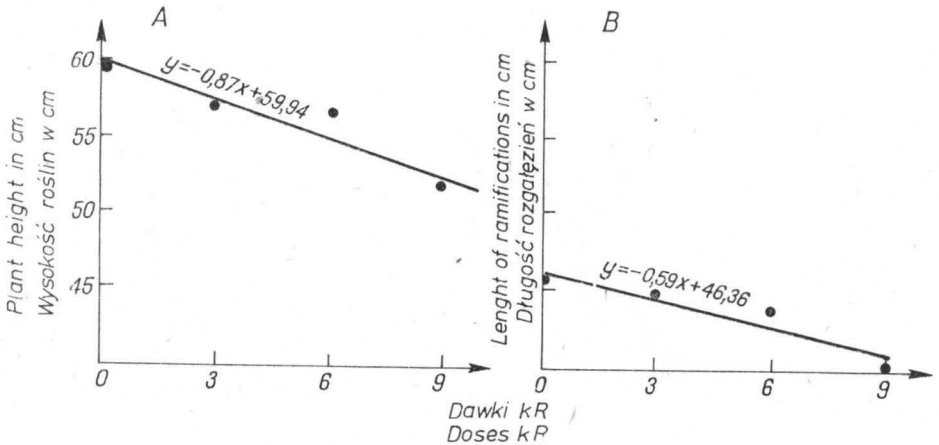
u 'Agnieszki' i o ok. 1 cm u 'Goplany'. Dalszy wzrost promieniowania był jednak szkodliwy (rys. 1) i powodował obniżenie wysokości roślin. Najbardziej szkodliwy efekt stwierdzono u 'Agnieszki' po dawce 9 kR — rośliny z tej kombinacji były średnio o 11,3 cm niższe od kontrolnych.

U odmiany 'Madonna' zależność wysokości roślin od dawki promieniowania miała charakter liniowy — w miarę wzrostu dawki wysokość roślin obniżała się (rys. 2). Po dawce 9 kR rośliny były przeciętnie o 7,1 cm niższe od kontrolnych.



Rys. 1. Zależność wysokości roślin astra chińskiego od dawki promieniowania w pokoleniu M_1 odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 1. Dependence of China aster height upon radiation dose in M_1 generation of 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) variety

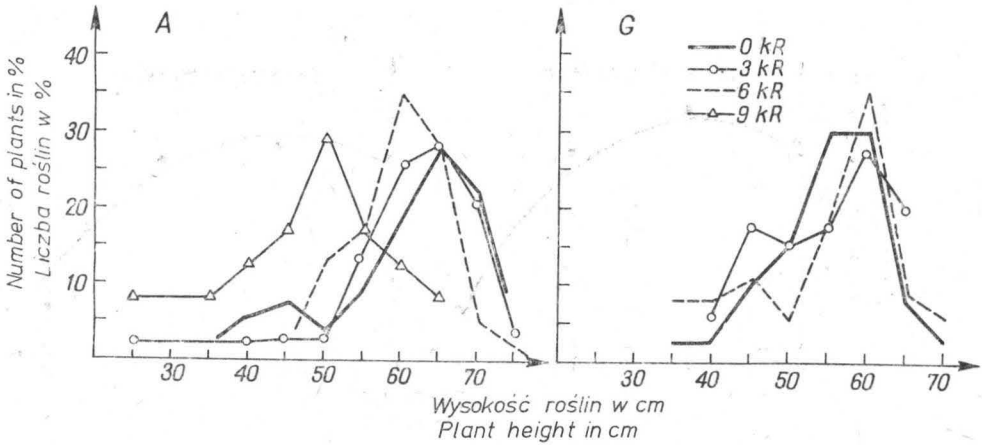


Rys. 2. Zależność wysokości roślin (A) i maksymalnej długości rozgałęzień I-ego rzędu (B) od dawki promieniowania w pokoleniu M_1 odmiany 'Madonna'

Fig. 2. Dependence of plant height (A) and maximal length of ramification of the Ist order (B) upon radiation dose in M_1 generation of 'Madonna' variety

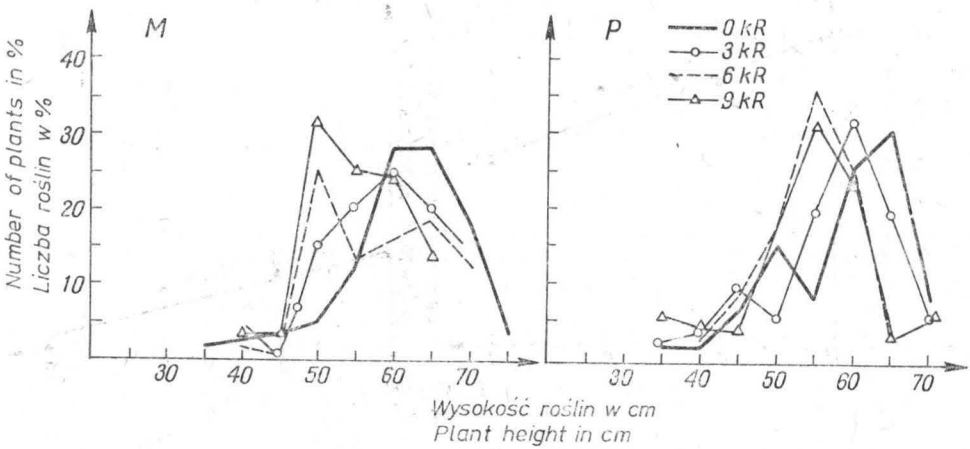
U odmiany 'Płomień' nie udowodniono statystycznie istotności wpływu promieni gamma na wysokość roślin w pokoleniu M_1. Porównując wyniki średnich z poszczególnych kombinacji, zauważono jednak pewną tendencję do obniżania się wysokości roślin w miarę wzrostu dawki (tab. 1).

Badając zakres zmienności wysokości roślin w pokoleniu M_1, stwierdzono, że pod wpływem promieniowania wzrastała częstotliwość występowania roślin niższych (rys. 3 i 4). Najbardziej było to widoczne



Rys. 3. Wysokość roślin w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 3. Height of plants in M_1 generation of China aster of 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) variety



Rys. 4. Wysokość roślin w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 4. Height of plants in M_1 generation of China aster of 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) variety

Tabela 1 — Table 1

Wpływ różnych dawek promieni gamma na kilka cech morfologicznych astra chińskiego w pokoleniu M_1

The effect of various doses of gamma radiation upon some morphological features of China aster in M_1 generation

Odmiana Variety	Dawka kR Dose kR	Liczba roślin mierzonych Number of measured plants	Liczba kwiatostanów mierzonych Number of in florescences measured	Wysokość roślin Plant height (cm)	Maksymalna długość rozgałęzień Maximal lenght of ramifications (cm)	Średnica kwiatostanów Inflorescence diameter (cm)	Liczba rozgałęzień I-go rzędu Number of ramifications of the Ist order	Liczba kwiatostanów Number of inflorescence
	0	55	123	58,5	39,6	11,1	7,5	14,9
'Agnieszka'	3	54	137	60,5	39,5	10,4	7,6	14,5
	6	55	132	58,0	39,2	10,9	7,1	13,6
	9	24	45	47,2	33,9	9,8	6,0	11,8
	0	40	114	57,3	42,5	7,0	10,4	16,4
'Goplana'	3	40	118	58,1	41,1	7,2	9,1	15,1
	6	37	110	57,2	40,2	6,9	10,2	17,1
	9	8	19	47,6	37,4	5,7	8,1	10,5
	0	61	173	59,3	45,8	10,2	7,0	10,8
'Madonna'	3	60	170	57,1	44,9	10,3	6,5	10,1
	6	60	172	56,8	43,9	10,4	7,1	12,0
	9	28	80	52,2	40,2	10,3	5,8	8,5
	0	58	120	57,1	43,7	8,9	8,6	23,0
'Płomień'	3	50	106	55,2	42,7	8,7	8,5	23,0
	6	58	127	53,1	40,3	8,8	8,5	23,3
	9	46	107	52,4	40,3	8,7	7,9	22,7
	12	15	30	7.2	18,7	34,7	9,4	48,3

u odmian 'Agnieszka', 'Madonna' i 'Płomień'. Wzmożoną częstotliwość występowania roślin niższych od kontrolnych stwierdzono u prawie wszystkich odmian po dawkach największych, a u 'Goplany' zwiększyła się ponadto liczba roślin z grupy najwyższych.

2. Maksymalna długość rozgałęzień I-go rzędu

Istotny wpływ promieniowania na maksymalną długość rozgałęzień I-go rzędu stwierdzono tylko u odmiany 'Madonna'. Był to efekt zależności liniowej — szkodliwość promieniowania wzrastała razem z dawką (rys. 2). U pozostałych odmian nie udowodniono istotnego wpływu promieniowania na tę cechę, ale zauważono pewną prawidłowość, mianowicie najwyższe średnie wartości były u roślin kontrolnych, podczas gdy w kombinacjach napromienionych obniżały się ze wzrostem dawki (tab. 1) — różnice te jednak znajdowały się w granicach błędu.

3. Średnica kwiatostanów

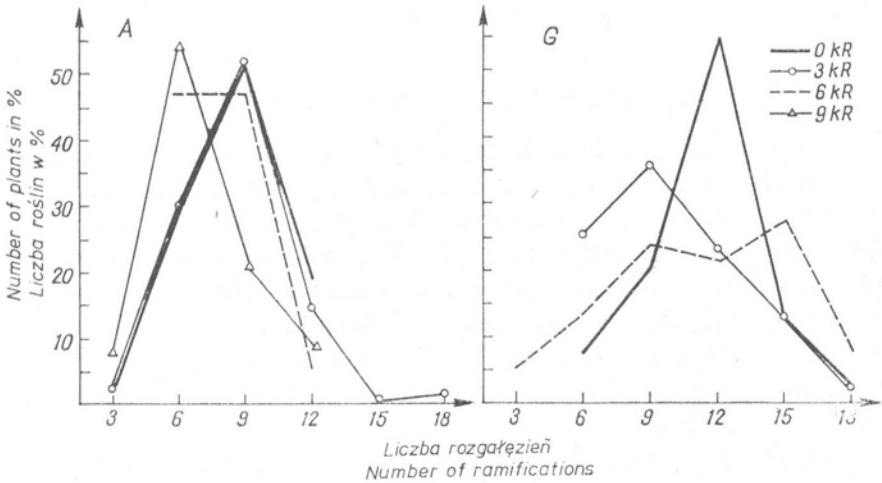
Istotnego wpływu promieniowania na średnice kwiatostanów u roślin pokolenia M_1 nie wykazano. Do uzyskanych wyników należy jednak ustosunkować się nieco ostrożnie. Wydaje się bowiem, że pomiary średnic kwiatostanów, a szczególnie u odmian o kwiatostanach wypukłych lub „zwichrzonych", np. odmian 'Goplana' i 'Płomień', z przyczyn obiektywnych (trudności dokładnych pomiarów) mogły być obarczone dużym błędem.

4. Liczba rozgałęzień I-go rzędu

Analiza statystyczna uzyskanych wyników dla roślin pokolenia M_1 wykazała przy $p=0,05$, istotnie szkodliwy wpływ promieniowania na liczbę rozgałęzień I-go rzędu tylko u odmiany 'Agnieszka' (model zależności liniowej) — efekt popromienny wzrastał razem z dawką. Funkcję regresji liczby rozgałęzień od dawki promieniowania wyznaczało równanie: $y=-0,17x+7,82$. Największą szkodliwość w stosunku do kontroli ($\bar{x}=7,5$) stwierdzono dla dawki 9 kR ($\bar{x}=6,0$). Analizując zakres zmienności omawianej cechy (rys. 5), można zauważyć, że w kombinacji napromienionej dawką 3 kR były nieliczne rośliny o większej liczbie rozgałęzień I-go rzędu niż w kontroli. Pozostałe dawki, a szczególnie dawka 9 kR, spowodowały znaczne odchylenia od kontroli, ale w kierunku zwiększonej częstotliwości występowania roślin o najmniejszej liczbie rozgałęzień.

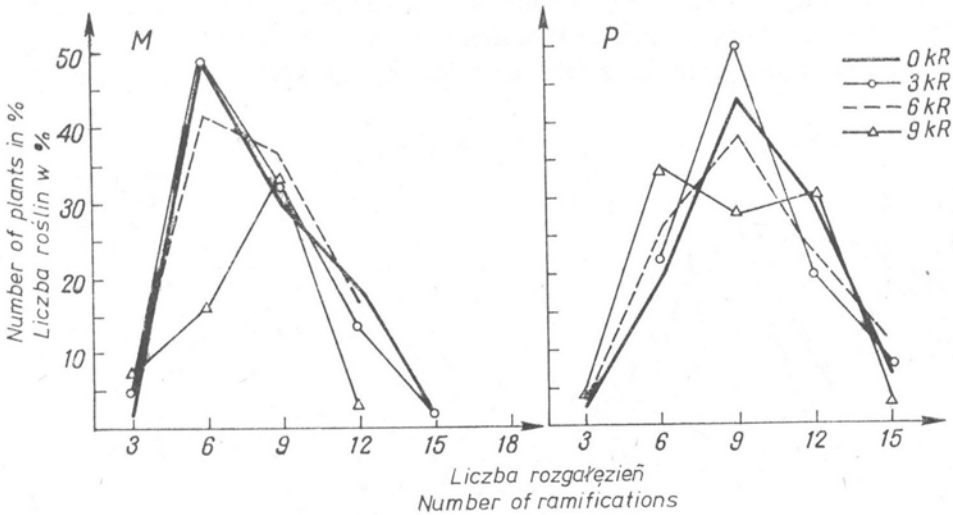
U innych odmian nie udowodniono statystycznie istotnie szkodliwego wpływu promieniowania na liczbę rozgałęzień I-go rzędu. Można

jednak i u tych odmian zauważyć pewną tendencję, mianowicie najwyższe średnie wartości badanej cechy stwierdzono u roślin kontrolnych (u odmiany 'Goplana' — 10,4; 'Madonna' — 7,0; 'Płomień' — 8,6); a najniższe po dawkach najwyższych ('Goplana' — 8,1; 'Madonna' — 5,8;



Rys. 5. Liczba rozgałęzień I-go rzędu w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 5. Number of ramifications of the Ist order in M_1 generation of China aster, 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) varieties



Rys. 6. Liczba rozgałęzień I-go rzędu w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 6. Number of ramifications of the Ist order in M_1 generation of China aster, 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) varieties

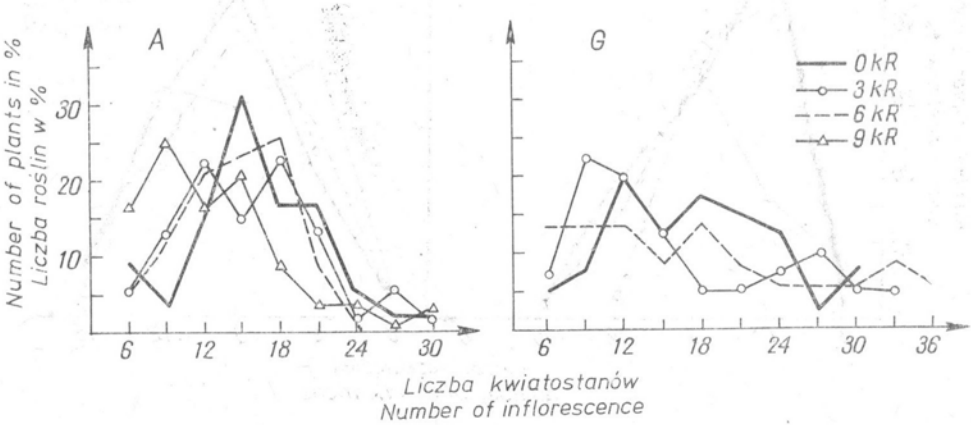
'Płomień' — 7,2). Na rys. 5 i 6 przedstawiono zakres zmienności liczby rozgałęzień I-go rzędu dla badanych odmian. Z charakteru krzywych wynika, że w populacjach napromienionych w porównaniu z kontrolnymi wzrastała częstotliwość występowania roślin o mniejszej liczbie rozgałęzień, a szczególnie u odmian 'Goplana' i 'Płomień' po dawkach 6 i 9 kR.

5. Liczba zawiązanych kwiatostanów

Obserwując rośliny pokolenia M_1 dosyć często w kombinacjach napromienionych znajdowano rośliny z uszkodzonym wierzchołkiem wzrostu. W późniejszym okresie u niektórych z tych roślin następował nadmierny rozwój pędów bocznych: I-go, II-go, a czasem i III-go rzędu.

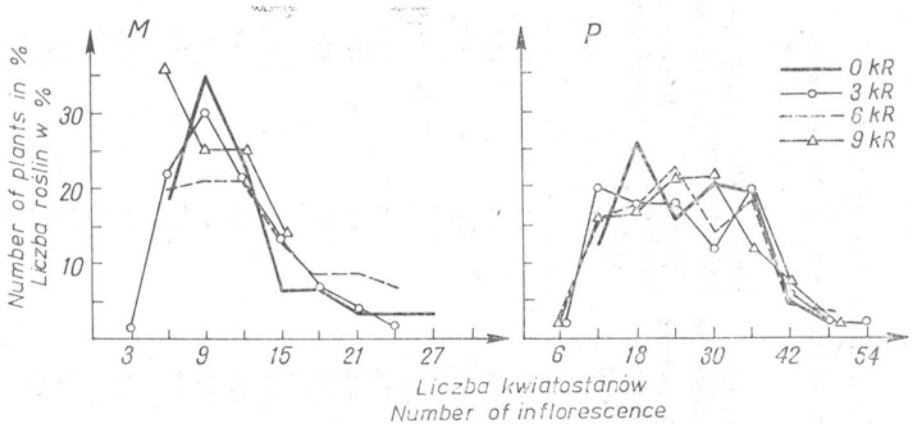
Przedstawione w tabeli 1 wyniki z pomiarów liczby zawiązanych kwiatostanów, wskazują u wszystkich odmian na tendencję do występowania najniższych średnich wartości w kombinacjach traktowanych dawkami najwyższymi. Różnice te nie zostały jednak udowodnione statystycznie jako istotne.

Interesującym okazało się zbadanie zakresu zmienności dla liczby zawiązanych kwiatostanów u roślin napromienionych na tle roślin kontrolnych (rys. 7 i 8). Pod wpływem różnych dawek promieniowania wzrastała częstotliwość występowania roślin tak o większej, jak i o mniejszej liczbie zawiązanych kwiatostanów. Było to szczególnie widoczne u odmian 'Goplana', 'Madonna' i 'Płomień'. Ponadto u odmiany 'Madonna' po dawce 3 kR i u 'Płomienia' po wszystkich dawkach wzrastał zakres występowania roślin o najmniejszej liczbie kwiatostanów.



Rys. 7. Liczba zawiązanych kwiatostanów w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 7. Number of set inflorescence in M_1 generation of China aster, 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) varieties



Rys. 8. Liczba zawiązanych kwiatostanów w pokoleniu M_1 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 8. Number of set inflorescence im M_1 generation of China aster, 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) varieties

U 'Agnieszki' po wszystkich dawkach promieniowania obserwowano zwiększoną częstotliwość występowania roślin o mniejszej liczbie zawiązanych kwiatostanów.

Obserwowana tendencja do występowania po dawkach najwyższych najniższych wartości badanej cechy oraz częstsze pojawianie się w kombinacjach napromienionych roślin z małą liczbą kwiatostanów wskazuje na szkodliwy, chociaż nie udowodniony statystycznie wpływ promieniowania na omawianą cechę. Być może, że występowanie po napromieniowaniu pojedynczych roślin nadmiernie krzewiących się, utrudniło statystyczne udowodnienie wpływu promieniowania na tę cechę.

POKOLENIE M_2

Uzyskane średnie wartości z pomiarów badanych cech u 4 odmian astra chińskiego w pokoleniu M_2 przedstawiono w tabeli 2.

1. Wysokość roślin

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że oddalony wpływ promieniowania gamma na wysokość roślin badanych odmian astra chińskiego w pokoleniu M_2 był niejednakowy.

U odmiany 'Agnieszka' wykazano liniową zależność wysokości roślin od dawki promieniowania. Był to efekt stymulacji (rys. 9). Po daw-

Tabela 2—Table 2

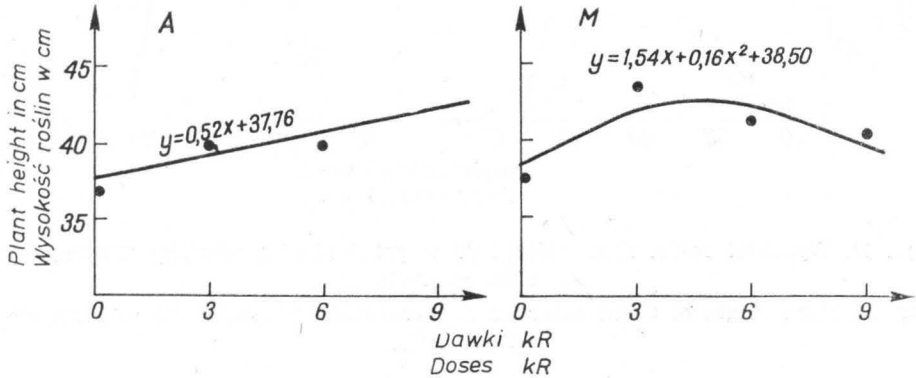
Wpływ różnych dawek promieni gamma na kilka cech morfologicznych astra chińskiego w pokoleniu M_2

The effect of various doses of gamma radiation upon some morphological features of China aster in M_2 generation

Odmiana Variety	Dawka kR Dose kR	Liczba roślin mierzonych Number of measured plants	Liczba kwiatostanów mierzonych Number of inflorescences measured	Wysokość roślin Plant height (cm)	Maksymalna długość rozgałęzień Maximal length of ramifications (cm)	Średnica kwiatostanów Inflorescence diameter (cm)	Liczba rozgałęzień I-rzędu Number of ramifications of the Ist order	Liczba kwiatostanów Number of inflorescences
	0	19	57	36,7	26,8	9,6	5,7	11,2
'Agnieszka'	3	51	152	40,1	29,7	9,7	6,4	14,1
	6	37	109	39,6	30,0	9,6	5,9	12,7
	9	5	15	43,6	33,6	10,6	6,4	13,0
	0	24	70	41,6	33,4	8,3	6,7	12,0
Goplana'	3	54	155	40,2	32,1	8,2	6,4	13,0
	6	71	209	42,2	34,9	8,3	6,7	13,8
	0	31	31	37,4	32,1	11,6	2,3	3,8
'Madonna'	3	91	112	43,7	39,7	12,6	2,6	4,6
	6	90	106	41,1	37,8	12,6	2,6	4,9
	9	65	82	40,4	35,7	11,4	3,2	5,9
	0	39	101	35,5	26,3	9,1	6,7	17,7
'Płomień'	3	27	74	38,9	28,4	8,8	6,7	15,9
	6	64	179	37,5	26,5	8,5	8,7	21,9
	9	60	169	36,9	25,7	9,0	8,5	20,8

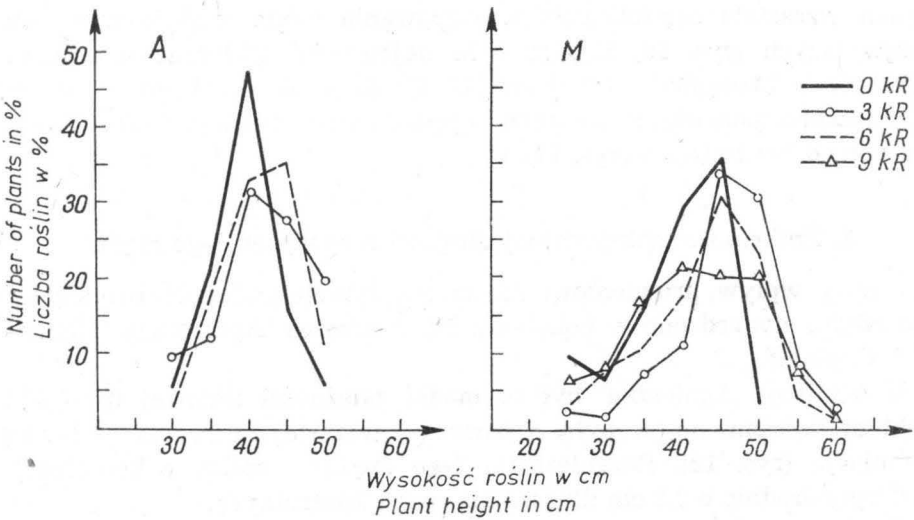
kach 3 i 6 kR rośliny były średnio o ok. 3 cm wyższe od kontrolnych (z powodu małej liczby roślin pomijam omawianie dawki 9 kR).

U odmiany 'Madonna' model zależności wysokości roślin od dawki promieniowania odpowiadał krzywej 2-go stopnia. Aczkolwiek stwierdzono po wszystkich dawkach promieniowania stymulację, to jednak największy efekt był w zakresie 3-6 kR, a dalszy wzrost dawki powodował już zmniejszenie stymulacji (rys. 9).



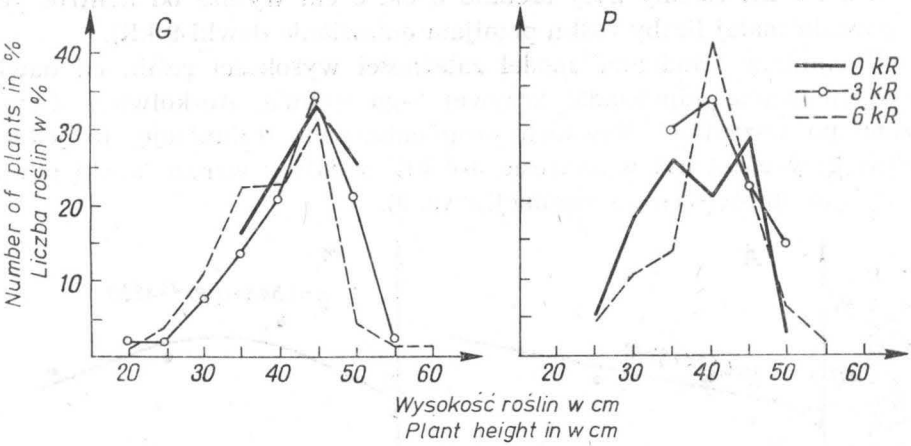
Rys. 9. Zależność wysokości roślin od dawki promieniowania w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Madonna' (M)

Fig. 9. Dependence of plant height upon radiation dose in M_2 generation of China aster. 'Agnieszka' (A) and 'Madonna' (M) varieties



Rys. 10. Wysokość roślin astra chińskiego w pokoleniu M_2 odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Madonna' (M)

Fig. 10. Plant height of China aster in M_2 generation, 'Agnieszka' (A) and 'Madonna' (M) varieties



Rys. 11. Wysokość roślin astra chińskiego w pokoleniu M_2 odmiany 'Goplana' (G) i 'Płomień' (P)

Fig. 11. Plant height of China aster im M_2 generation, 'Goplana' (G) and 'Płomień' (P) varieties

U odmian 'Goplana' i 'Płomień' nie udowodniono statystycznie istotnego wpływu promieniowania na wysokość roślin w pokoleniu M_2.

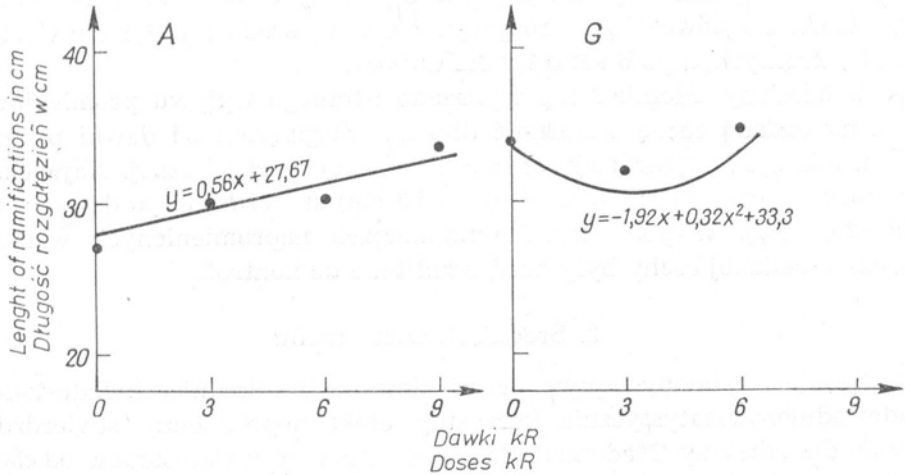
Badając zakres zmienności wysokości roślin w pokoleniu M_2, stwierdzono, że w kombinacjach napromienionych u wszystkich badanych odmian wzrastała częstotliwość występowania roślin średnio wysokich i najwyższych (rys. 10, 11), co było najbardziej widoczne u odmian 'Agnieszka', 'Madonna' i 'Płomień'. U 'Goplany' po dawkach 3 i 6 kR obserwowano ponadto zwiększoną częstotliwość występowania roślin niższych od kontrolnych (rys. 11).

2. Zmienność maksymalnej długości rozgałęzień I-go rzędu

Istotny wpływ promieniowania na maksymalną długość rozgałęzień I-go rzędu, stwierdzono w pokoleniu M_2 u odmian 'Agnieszka', 'Madonna' i 'Goplana'.

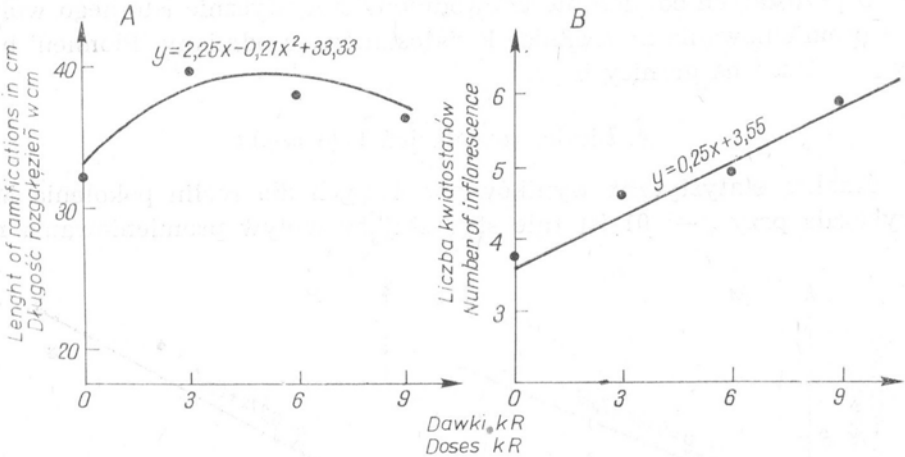
U odmiany 'Agnieszka' był to model zależności liniowej ($p=0,05$). Efektem popromiennym była nieznaczna, wzrastająca razem z dawką stymulacja (rys. 12). Rozgałęzienia I-go rzędu u roślin z kombinacji 6 kR były średnio o 3,2 cm dłuższe niż roślin kontrolnych.

U odmiany 'Madonna' (przy $p=0,01$) po każdej z zastosowanych dawek ujawnił się korzystny chociaż zróżnicowany wpływ promieniowania (rys. 13). Największy efekt stymulacji stwierdzono po dawkach 3-6 kR. Dawki z tego zakresu spowodowały wzrost wartości badanej cechy w porównaniu do kontroli średnio o ok. 7 cm. Dalszy wzrost



Rys. 12. Zależność maksymalnej długości rozgałęzień I-go rzędu od dawki promieniowania w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 12. Dependence of maximal lenght of ramification of the Ist order upon radiation dose in M_2 generation of China aster, 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) varieties



Rys. 13. Zależność maksymalnej długości rozgałęzień I-go rzędu (A) i liczby kwiatostanów (B) od dawki promieniowania w pokoleniu M_2 odmiany 'Madonna'

Fig. 13. Dependence of maximal lenght of ramification of the Ist order (A) and number of inflorescence (B) upon radiation dose in M_2 generation of 'Madonna' variety

dawki obniżał efekt stymulacji (po 9 kR różnica dla badanej cechy w stosunku do kontroli wynosiła już tylko 3,6 cm).

Również u odmiany 'Goplana' zależność badanej cechy od dawki promieniowania miała charakter paraboliczny (rys. 12). Różnice między

roślinami napromienionymi a kontrolnymi były niewielkie, ale istotne (p=0,05). Po dawce 3 kR rozgałęzienia były średnio o 1,4 cm krótsze od kontrolnych, a po 6 kR o 1,5 cm dłuższe.

U odmiany 'Płomień' nie wykazano istotnego wpływu promieniowania na badaną cechę. Zależność długości rozgałęzień od dawki promieniowania była najbardziej zbliżona do funkcji parabolicznej. Największą różnicę w stosunku do kontroli ($\bar{x}$=26,3 cm) stwierdzono po dawce 3 kR ($\bar{x}$=28,4 cm). W pozostałych kombinacjach napromienionych wartości średnie badanej cechy były bardzo zbliżone do kontroli.

3. Średnice kwiatostanów

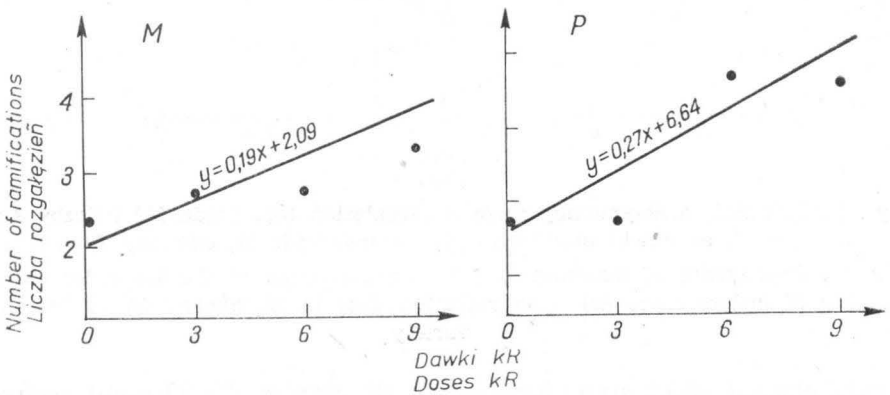
Badając oddalony wpływ promieniowania na średnice kwiatostanów udowodniony statystycznie korzystny efekt popromienny stwierdzono tylko dla odmiany 'Madonna'. Zależność średnicy kwiatostanów od dawki promieniowania odpowiadała krzywej 2-go stopnia (model paraboliczny). Niewielką, ale istotną różnicę w stosunku do kontroli stwierdzono po dawkach 3 i 6 kR (tab. 2). Funkcję regresji zależności średnicy kwiatostanów od dawki promieniowania wyznaczało równanie:

$$y=0,47x-0,05x^2+11,58.$$

U pozostałych odmian nie udowodniono statystycznie istotnego wpływu promieniowania na średnice kwiatostanów (u odmiany 'Płomień' były to różnice na granicy błędu).

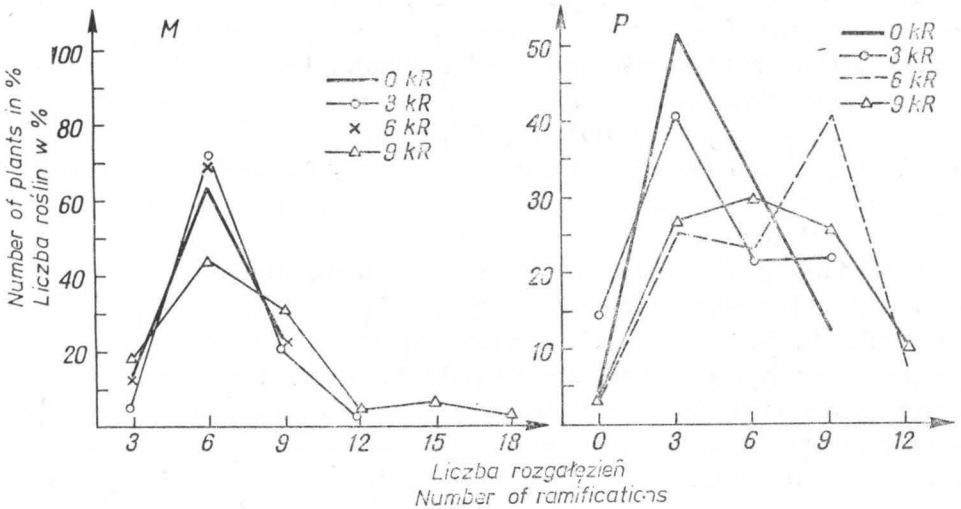
4. Liczba rozgałęzień I-go rzędu

Analiza statystyczna wyników uzyskanych dla roślin pokolenia M_2, wykazała przy p=0,01 istotnie stymulujący wpływ promieniowania na



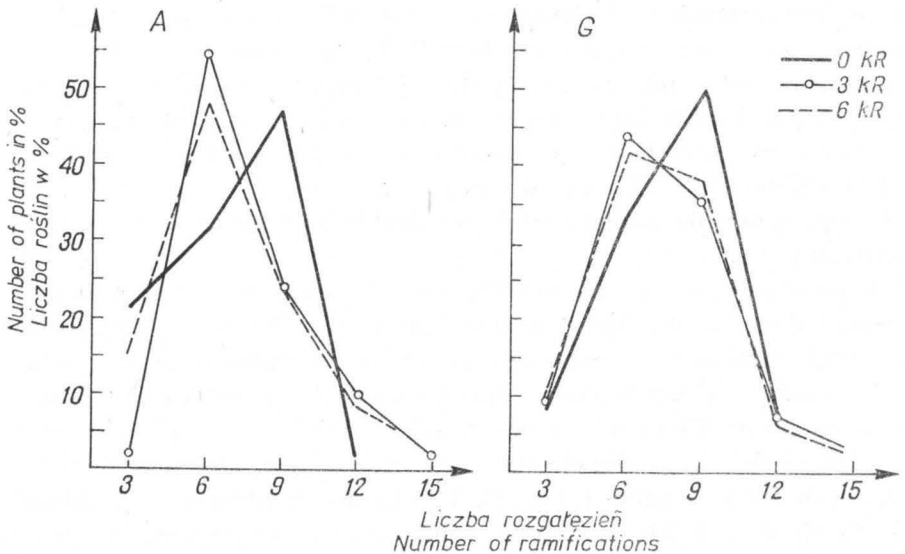
Rys. 14. Zależność liczby rozgałęzień I-go rzędu od dawki promieniowania w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 14. Dependence of the number of ramifications of the Ist order on radiation dose in M_2 generation of China aster, 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) varieties



Rys. 15. Liczba rozgałęzień I-go rzędu w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 15. Number of ramifications of the Ist order in M_2 generation of China aster, 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) varieties



Rys. 16. Liczba rozgałęzień I-go rzędu w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 16. Number of ramifications of the Ist order in M_2 generation of China aster, 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) varieties

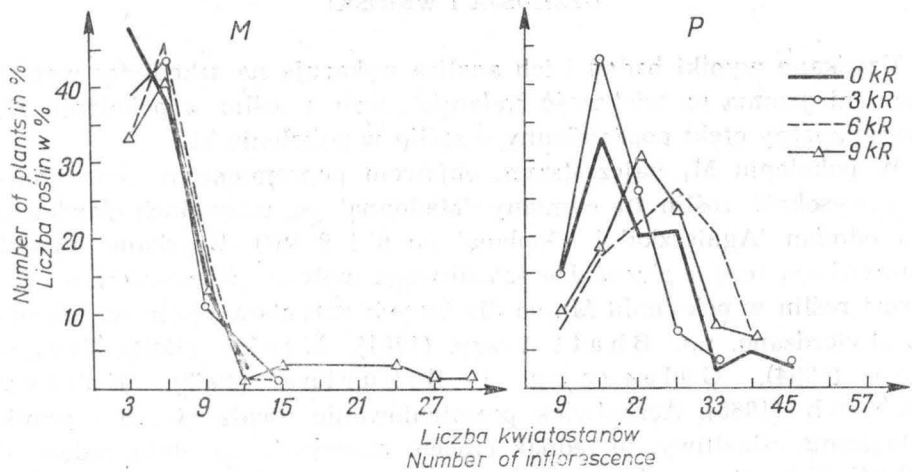
liczbę rozgałęzień I-go rzędu dla odmian 'Madonna' i 'Płomień'. U obydwu tych odmian był to model zależności liniowej — efekt popromienny wzrastał razem z dawką (rys. 14). Analizując zakres zmienności badanej cechy (rys. 15) stwierdzono, że pod wpływem promieniowania wzrastała u tych odmian częstotliwość pojawiania się roślin o większej liczbie rozgałęzień (w porównaniu do roślin kontrolnych), a jednocześnie nieco wzrastała częstotliwość występowania roślin o najmniejszej liczbie rozgałęzień.

Dla odmiany 'Agnieszka' i 'Goplana' nie udowodniono statystycznie istotności oddalonego wpływu promieniowania na badaną cechę u roślin pokolenia M_2. Wartości średnie z kombinacji napromienionych tylko nieznacznie różniły się od kontrolnych (tab. 2). Analizując u tych odmian zakres zmienności liczby rozgałęzień I-go rzędu (rys. 16) stwierdzono jednak tendencję do większej zmienności badanej cechy u roślin w populacjach napromienionych, mianowicie po dawkach 3 i 6 kR znaleziono rośliny o największej liczbie rozgałęzień (w porównaniu do kontroli). Jednocześnie wskazane dawki u odmiany 'Agnieszka' powodowały zmniejszoną częstotliwość występowania roślin o najmniejszej liczbie rozgałęzień.

5. Liczba zawiązanych kwiatostanów

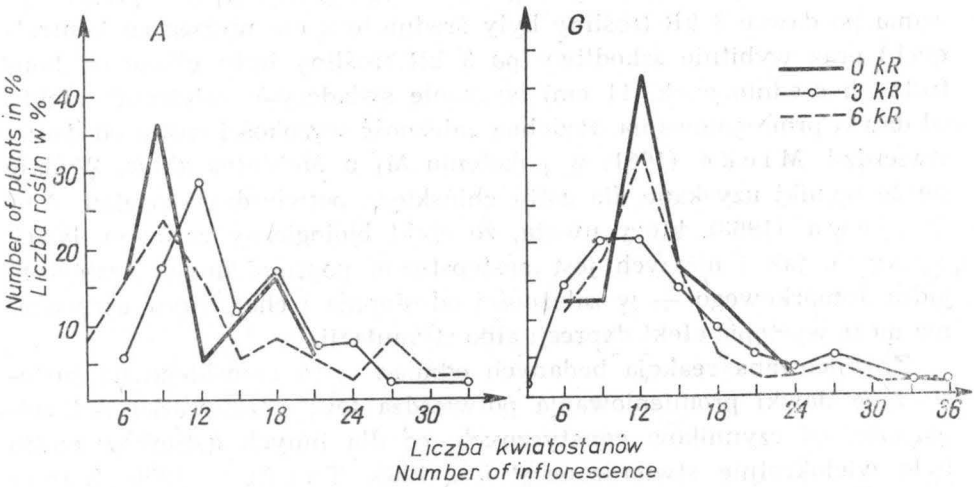
Udowodniony statystycznie oddalony wpływ promieniowania gamma na liczbę kwiatostanów, stwierdzono w pokoleniu M_2 tylko u odmiany 'Madonna'. Obliczenie statystyczne ($p = 0,01$) i przebieg wyliczonej prostej wykazały, że w miarę wzrostu dawki istotnie zwiększała się u tej odmiany liczba kwiatostanów (rys. 13). Najsłabiej zawiązały kwiatostany rośliny kontrolne ($\bar{x} = 3,8$), a najlepiej rośliny z kombinacji 9 kR ($\bar{x} = 5,2$). Po dawce 9 kR znacznie zwiększyła się u tej odmiany częstotliwość występowania roślin o większej liczbie kwiatostanów niż u roślin kontrolnych (rys. 17).

U pozostałych odmian wprawdzie nie udowodniono istotnego wpływu promieniowania na liczbę kwiatostanów u roślin w pokoleniu M_2, ale i u tych odmian zauważono pewną tendencję, mianowicie wszystkie wartości średnie z kombinacji napromienionych (z wyjątkiem dawki 3 kR u odmiany 'Płomień'), przewyższały średnie wartości wyliczone dla kontroli (tab. 2). Tendencję tę potwierdza analiza zmienności liczby zawiązanych kwiatostanów (rys. 18). U odmian 'Agnieszka' i 'Goplana' po dawkach 3 i 6 kR wzrastała częstotliwość występowania roślin o większej liczbie kwiatostanów niż u roślin kontrolnych. Jednakże dawka 6 kR u 'Agnieszki' i 3 kR u 'Goplany' spowodowały równocześnie nieznaczne zwiększenie zakresu zmienności w kierunku mniejszej liczby kwiatostanów niż u roślin kontrolnych. U odmiany 'Płomień' po daw-



Rys. 17. Liczba zawiązanych kwiatostanów w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Madonna' (M) i 'Płomień' (P)

Fig. 17. Number of set inflorescence in M_2 generation of China aster, 'Madonna' (M) and 'Płomień' (P) varieties



Rys. 18. Liczba zawiązanych kwiatostanów w pokoleniu M_2 astra chińskiego odmiany 'Agnieszka' (A) i 'Goplana' (G)

Fig. 18. Number of set inflorescence in M_2 generation of China aster, 'Agnieszka' (A) and 'Goplana' (G) varieties

kach 3 i 6 kR stwierdzono mniejszą częstotliwość występowania roślin w grupie o najmniejszej liczbie kwiatostanów, a jednocześnie zwiększoną częstotliwość występowania roślin o większej liczbie kwiatostanów, niż w kontroli.

DYSKUSJA I WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań i ich analiza wskazują na szkodliwy wpływ promieni gamma na większość badanych cech u roślin w pokoleniu M_1 i na korzystny efekt popromienny u roślin w pokoleniu M_2.

W pokoleniu M_1 najczęstszym objawem popromiennym była obniżona wysokość roślin (u odmiany 'Madonna' po wszystkich dawkach, a u odmian 'Agnieszka' i 'Goplana' po 6 i 9 kR). Uzyskane wyniki potwierdzają tezę o przewadze szkodliwego wpływu promieniowania na wzrost roślin w pokoleniu M_1, co dla innych gatunków roślin wielokrotnie stwierdzano, np. Bhatt i wsp. (1961), Mické (1961), Berezina (1964), Gałaczowa i Szkurina (1963), Halevy i Shoub (1965). Aczkolwiek promieniowanie uważa się za czynnik biologicznie szkodliwy, to jednak czasem obserwuje się efekt radiostymulacji. Korzystny wpływ promieniowania na wysokość roślin w pokoleniu M_1 stwierdzili Sparnaaj i Demmink (1970) u goździków, a Seregina (1973) u cynii. W doświadczeniu z astrem chińskim poradiacyjną stymulację wysokości roślin (po dawce 3 kR) stwierdzono u odmiany 'Agnieszka' i 'Goplana'.

Obserwowany u odmiany 'Agnieszka' korzystny wpływ promieniowania po dawce 3 kR (rośliny były średnio o 2 cm wyższe od kontrolnych) oraz wybitnie szkodliwy po 9 kR (rośliny były niższe od kontrolnych średnio o ok. 11 cm) wyraźnie świadczy o zależności efektu od dawki promieniowania. Podobną zależność wysokości roślin od dawki stwierdził Mické (1961) w pokoleniu M_1 u *Melilotus albus*. Wydaje się że wyniki uzyskane dla astra chińskiego potwierdzają pogląd Andrejewa (1963), który uważa, że efekt biologiczny zarówno dawek wyższych, jak i niższych jest następstwem popromiennych uszkodzeń jądra komórkowego — w zależności od stopnia i charakteru uszkodzenia może wystąpić efekt depresji albo stymulacji.

Zróżnicowana reakcja badanych odmian astra chińskiego na zastostowane dawki promieniowania potwierdza tezę o zależności radioodporności od czynników genetycznych, co dla innych gatunków roślin było wielokrotnie stwierdzone (Süs, 1966; Tavčar, 1966; Saric i wsp., 1961).

Efekt popromienny dla innych badanych cech nie był już tak oczywisty. Istotnie wzrastający razem z dawką, szkodliwy wpływ promieni gamma na długość rozgałęzień I-go rzędu stwierdzono tylko u odmiany 'Madonna'. Seregina (1973), badając w pokoleniu M_1 długość rozgałęzień u cynii, uzyskała odmienne wyniki, mianowicie po dawkach 2 i 4 kR stwierdziła efekt stymulacji.

Istotne obniżenie liczby rozgałęzień I-go rzędu u roślin napromienionych odmiany 'Agnieszka', tendencja do występowania najniższych

średnich wartości tej cechy u pozostałych odmian, oraz zwiększona częstotliwość występowania w populacjach napromienionych roślin o małej liczbie rozgałęzień, wskazuje na szkodliwy wpływ promieniowania w pokoleniu M_1 również i na tę cechę. Podobnie szkodliwy wpływ promieniowania na liczbę pędów u *Arachis hypogea*, stwierdził w pokoleniu M_1 Bhatt i wsp. (1961). U astra chińskiego u odmiany 'Agnieszka' po dawce 3 kR obserwowano również rośliny o zwiększonej liczbie rozgałęzień I-go rzędu. Jak wiadomo w następstwie napromieniania wierzchołek wzrostu bywa często uszkodzony i dalszy wzrost rośliny odbywa się przez wzrost pędów bocznych.

W różnym okresie wzrostu astra chińskiego u niektórych roślin napromienionych obserwowano uszkodzenia lub zanik pędu głównego i w następstwie, niekiedy nadmierny rozwój rozgałęzień I-go, II-go, a nawet III-go rzędu. O nadmiernym rozwoju pędów bocznych, jako efekcie popromiennym donosi Berezina (1964) i Walewa (1967).

W pokoleniu M_1 astra chińskiego obserwowano również dosyć często różnego rodzaju anomalie w rozwoju. Były to m. in. dichotomicznie rozwidlone pędy główne lub pędy boczne. Tego rodzaju anomalie popromienne są dosyć często obserwowane i u innych gatunków roślin, o czym donosi np. Mické (1961) i Ibragimow (1963). Mické wśród napromienionych roślin *Melilotus albus* obserwował w pokoleniu M_1 aż 10% roślin o pędach głównych rozwidlonych. Autor ten przypuszcza, że merystem wierzchołkowy pędu głównego w następstwie promieniowania traci zdolność syntezy DNA, co powoduje rozwój dodatkowych pączków bocznych z warstw głębszych, które nie utraciły zdolności do syntezy DNA. Sparrow (cyt. za Mické 1961) uważa, że tego rodzaju anomalie są następstwem fizjologicznych, a nie genetycznych uszkodzeń (zaburzenia w poziomie auksyn).

Reakcja roślin astra chińskiego w pokoleniu M_2 była w pewnym sensie odwrotna do zachowania się roślin w M_1. U wszystkich odmian, dla co najmniej jednej spośród pięciu badanych cech, stwierdzono efekt udowodnionej stymulacji. Dla większości uzyskanych wyników, najniższe średnie wartości badanych cech znajdowano dla roślin kontrolnych lub napromienionych dawką 3 kR, a najwyższe dla kombinacji napromienionych dawkami najwyższymi, tj. 6 lub 9 kR.

Bardzo interesujący pogląd na efekty poradiacyjne przedstawił cytowany już uprzednio Andrejew (1963), który uważa, że zarówno w przypadkach depresji, jak i stymulacji są to przejawy uszkodzeń jądra komórkowego. Dawki wywołujące depresję w M_1, w dalszych pokoleniach mogą być stymulujące. Stymulacja jest wynikiem zmian zachodzących w chromosomach, a głównie powstawania mutacji punktowych, które nie są związane z aberacjami chromosomowymi. Pod wpływem promieniowania zmienia się także prawdopodobnie i budowa in-

nych struktur komórkowych. W następstwie zaindukowanych w różnych komórkach zmian, organizm staje się chimerą, zachodzą przy tym nowe zależności — zarówno wewnątrz jądra, jak i między zmienionym jądrem a cytoplazmą, a nawet między oddzielnymi komórkami wewnątrz oddzielnych części organizmu. Całokształt tych zmian wpływa na pewnego rodzaju „heterozygotyczność". Promieniowanie staje się więc w określonych warunkach przyczyną heterozji. Do wywołania heterozji wystarczy czasem różnica jednego lub dwóch genów. Jak wiadomo liczba mutacji punktowych jest wprost proporcjonalna do dawki. Stymulację prawdopodobnie wywołują mutacje punktowe, a aberacja chromosomów prowadzi do depresji.

Mutacje genów kumulatywnych, warunkujących cechy ilościowe są trudno dostrzegalne u jednej rośliny i można je uchwycić tylko przy pomocy pomiarów i analizy statystycznej. Gaul (1963), a także Pala (1965) badając zmienność kilku cech w pokoleniach M_2 i dalszych u jęczmienia, stwierdzili znaczny wzrost częstotliwości występowania mutacji punktowych (mikromutacji), m. in. dla takich cech jak wysokość roślin, rozkrzewienie i długość kłosa.

Wydaje się jednak, że w przypadku astra chińskiego, tak często obserwowany w pokoleniu M_2, efekt stymulacji był wynikiem nałożenia się efektów powodujących właściwą radiostymulację, czyli efektów genetycznych według przedstawionych wyżej poglądów Andrejewa (1963), na efekt poradiacyjnej wzmożonej selekcji naturalnej, jako prawdopodobnie miała miejsce w pokoleniu M_1. Wyjątkowo niekorzystne warunki atmosferyczne w okresie wegetacji roślin w pokoleniu M_2, pogłębiły wywołane promieniowaniem efekty i umożliwiły ich wykrycie. Niniejszy pogląd omówiony zostanie nieco dokładniej.

W pokoleniu M_1 wyższe dawki promieniowania jako biologicznie szkodliwe, stanowiły zarazem kierunkowy czynnik selekcji naturalnej. Po napromienieniu nasion, selekcja słabych organizmów zaczęła się bardzo wcześnie — od fazy nasion, poprzez siewki, a następnie okres wzrostu w warunkach polowych — aż do pokolenia M_2. Przy jednakowych uszkodzeniach popromiennych większą szansę „wyzdrowienia" miały rośliny silniejsze, bardziej żywotne. Można przypuszczać, że rośliny słabe giną pod wpływem niewielkich uszkodzeń popromiennych. Spośród roślin napromienionych szansę przetrwania choroby popromiennej miały tylko rośliny najmocniejsze. Przy tym założeniu należy oczekiwać, że selekcja naturalna w materiale napromienionym jest znacznie większa niż wśród roślin kontrolnych. Pod koniec okresu wegetacyjnego w pokoleniu M_1 populacje napromienione w następstwie choroby popromiennej zostały niejako oczyszczone z organizmów słabszych. Dzięki takiej selekcji w pokoleniu M_2 populacje roślin napromienionych były bardziej żywotne niż populacje roślin nienapromienionych (kontrol-

nych). W populacjach nienapromienionych miały bowiem szansę przetrwania również rośliny słabsze. Zakładając, że populacja roślin nienapromienionych w pokoleniu M_2 składała się z pewnej liczby roślin słabszych, można przypuszczać, że populacja taka będzie gorzej znosiła niesprzyjające warunki atmosferyczne.

Wydaje się zatem bardzo prawdopodobne, że ujawniona w pokoleniu M_2 przewaga populacji napromienionych nad kontrolnymi, była skutkiem zarówno zwiększonej przez promieniowanie selekcji naturalnej, jak i zaindukowanych mutacji genów kumulatywnych.

STRESZCZENIE

W pracy omówiono wpływ różnych dawek promieniowania gamma na rośliny 4 odmian astra chińskiego w pokoleniu M_1 (rośliny wyrosłe z nasion napromienionych) i w M_2. Pomiary biometryczne badanych cech (wysokości, maksymalnej długości rozgałęzień I-go rzędu, średnicy kwiatostanów, liczby rozgałęzień I-go rzędu i liczby zawiązanych kwiatostanów) wykonano w okresie kwitnienia roślin.

W pokoleniu M_1 dla większości badanych cech stwierdzono szkodliwy efekt popromienny, przeważnie wzrastający razem z dawką. Reakcja badanych odmian była zróżnicowana. Najbardziej odporną okazała się odmiana 'Płomień', u której dla żadnej z badanych cech nie stwierdzono istotnego wpływu promieniowania.

W pokoleniu M_1 najczęstszym objawem popromiennym była obniżona wysokość roślin. U odmiany 'Madonna' szkodliwość popromienna wzrastała razem z dawką (rys. 2A), a u odmian 'Agnieszka' i 'Goplana' efekt popromienny był zróżnicowany: po dawce najniższej tj. po 3 kR stwierdzono niewielki efekt stymulacji, dalszy jednak wzrost dawki był szkodliwy (rys. 1).

Wpływ promieniowania na pozostałe cechy badane nie był już tak wyraźny. U odmiany 'Madonna' stwierdzono istotnie szkodliwy i wzrastający razem z dawką wpływ promieniowania na maksymalną długość rozgałęzień I-go rzędu (rys. 2B). U odmiany 'Agnieszka' efektem popromiennym była obniżona liczba rozgałęzień I-go rzędu — był to efekt zależności liniowej.

U większości badanych odmian w populacjach napromienionych w pokoleniu M_1 wzrastała częstotliwość występowania roślin zarówno o większej, jak i o mniejszej liczbie zawiązanych kwiatostanów (rys. 7 i 8).

Oddalony wpływ promieniowania na większość badanych cech morfologicznych w pokoleniu M_2 był korzystny — przeważał efekt stymu-

lacji nad nielicznymi przejawami depresji. Reakcja badanych odmian była następująca:

Korzystny wpływ promieniowania na wysokość roślin stwierdzono u odmiany 'Agnieszka' — efekt liniowy i u 'Madonny' — efekt parabolityczny (rys. 9). U pozostałych odmian nie stwierdzono istotnego efektu popromiennego na wysokość roślin.

U 3 odmian stwierdzono korzystny wpływ promieniowania na długość rozgałęzień I-go rzędu — u 'Madonny' i 'Goplany' był to efekt paraboliczny, a u 'Agnieszki' stymulacji linowej (rys. 12, 13).

Popromienny wzrost liczby rozgałęzień I-go rzędu stwierdzono u odmiany 'Madonna' i 'Płomień' — był to efekt stymulacji liniowej (rys. 14).

U odmiany 'Madonna' stwierdzono korzystny wpływ promieniowania na liczbę i średnicę zawiązanych kwiatostanów. Zależność średnicy kwiatostanów od dawki promieniowania odpowiadała krzywej 2-go stopnia (niewielką ale istotną różnicę stwierdzono po dawkach 3 i 6 kR). Efekt popromienny dla liczby zawiązanych kwiatostanów był znaczny i wzrastał razem z dawką (rys. 13B).

Uzyskane wyniki badań nad reakcją astra chińskiego na promieniowanie gamma, potwierdziły tezę o przewadze szkodliwych objawów popromiennych u roślin pokolenia M_1 i o zależności efektu popromiennego od dawki, odmiany, i czynnika czasu. Autorka przypuszcza, że tak często obserwowana w pokoleniu M_2 przewaga populacji napromienionych nad kontrolnymi była wynikiem nałożenia się efektów powodujących właściwą radiostymulacją (mutacje genów kumulatywnych) na efekt poradiacyjnej, wzmożonej selekcji naturalnej, jaka prawdopodobnie miała miejsce w pokoleniu M_1. Można bowiem przypuszczać, że w następstwie choroby popromiennej populacja roślin M_1 została niejako „oczyszczona" z organizmów słabszych i dzięki takiej selekcji potomstwo tych roślin (pokolenie M_2) było bardziej żywotne od roślin kontrolnych. Wyjątkowo niekorzystne warunki atmosferyczne w okresie wegetacji roślin w pokoleniu M_2, pogłębiły wywołane promieniowaniem efekty i umożliwiły ich wykrycie.

Panu Prof. dr A. Rejmanowi za udzieloną mi pomoc w czasie wykonywania niniejszej pracy składam serdeczne podziękowania.

LITERATURA

Alexander P., 1962. Promieniowanie a życie. PWN, Warszawa.

Andrejew W., 1963. Priedposiewnoje obłuczienije s/ch kultur. AN SSSR, Moskwa, 28-38.

Berezina N., 1964. Priedposiewnoje obłuczienije siemian s/ch rastienij. Atomizdat, Moskwa.

Bresławiec L., 1963. Priedposiewnoje obłuczienije siemian s/ch kultur. AN SSSR, Moskwa, 39-41.

Bhatt B. Y., Bore K. C., Gopal-Ayengar A. R., Patil S. H., Rao N. S., Shama Rao H. K., Subbaiach K. C., Thacare R. G., 1961. Effects of ionizing radiations on seeds. IAEA, Vienna, 591-607.

Bors J., Zimmer K., 1971. Gartenbauwissenschaft. 36: 209-214.

Buiatti M., Ragazzini R., D'Amato E., 1965. Suppl. to Rad. Bot., 5: 719-723.

Czemarin N. G., Dawidiuk L. O., Beskarawajnaja M. A., 1970. Biul. Gosud. Nikit. Bot. Sada. 3: 64-67.

Elandt R., 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. PWN, Warszawa.

Gałaczowa Z. N., Szkurina A. M., 1963. Priedposiewnoje obłuczienije siemian s/ch kultur. AN SSSR, Moskwa, 83-88.

Gaul H., 1963. Zeitschrift dür Pflanzenzüchtung. 2.

Głazurina A. N., Klimienko K. T., Czemarin N. G., 1970. Biul. Gosud. Nikit. Bot. Sada. 3: 46-51.

Grabowska B., Mynett K., 1964. Biuletyn IHAR. 5/6: 17-26.

Halevy A. H., Shoub J., 1965. Rad. Bot., 5: 29-37.

Haunold E., 1971. Die Bodenkultur. 22: 387-392.

Ibragimow Sz. I., 1963. Priedposiewnoje obłuczienije siemian s/ch kultur. AN SSSR, Moskwa, 204-210.

Kedrow-Zichman O. N., Borisowa N. J., 1963. Priedposiewnoje obłuczienije siemian s/ch kultur. AN SSSR, Moskwa, 119-125.

Korohoda J., 1972. Produkcja nasion roślin ozdobnych. PWRiL, Warszawa.

Kukułczanka K., 1962. Prace Botaniczne Acta Univ. Vratislaviensis. 5, 33.

Mické A., 1961. Effects of ionizing radiation on seeds. IAEA, Vienna, 403-410.

Muszyński S., 1967. Badania nad eksperymentalnie wywołanymi, promieniowaniem jonizującym, mutacjami u petunii. Praca doktorska, Katedra Genetyki SGGW, Warszawa.

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

Oktaba W., 1974. Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN, Warszawa.

Pala J., 1965. Hodowla roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo. 4: 353-380.

Sarić M., Curić I., Hadzijew D., 1961. Effects of ioniradiation on seeds. IAEA, Vienna, 503-517.

Seregina M. T., 1973. Biul. Nauczno Tiechniczeskoj Informacji po Agronomiczieskoj Fizikie. 7/8: 81-84.

Sparnaaj L. D., Demmik J., 1970. Euphytica. 19: 310-316.

Süs A., 1966. Effects of ionizing radiations on seeds. IAEA, Vienna, 1-11.

Tavčar A., 1966. Effects of ionizing radiations on seeds. IAEA, Vienna, 16-25.

Walewa S. A., 1967. Princypy i metody primenenija radiacii w selekcii rastienij. Atomizdat. Moskwa.

Wosińska A., 1979. Acta agrobot., 32: 109-131.