

有用植物に対する放射線照射効果

ヒマワリ、オクラ、マメ類について

西山安夫*¹・松尾英輔*²・石黒悦爾

稲永醇二*³・宮里 満

(農業物理学研究室・*¹共同利用 RI 実験室・*²観賞園芸学研究室・*³肥料学研究室)

昭和63年8月10 受理

Studies on the Irradiation Effects on Some Useful Plants — Sunflower, Okra and Beans —

Yasuo NISHIYAMA*¹, Eisuke MATSUO*², Etsuji ISHIGURO

Shunji INANAGA*³ and Mitsuru MIYAZATO

(Laboratory of Agricultural Physics, *¹Laboratory of Radioisotope, *²Laboratory of Ornamental Horticulture and Floriculture and *³Laboratory of Plant Nutrition)

結 言

種々の農作物および園芸植物の種子、苗、球根などの生殖質に対する放射線照射に関する研究の一環として、筆者らはこれまでに水稻¹⁾、ウリ類²⁾、麦類³⁾およびベニバナ、カブなど⁴⁾を用いて、放射線照射の影響を調査してきた。本研究は引き続き、ヒマワリ、オクラおよびマメ類に対する照射効果の実態を明らかにしようとするものである。

材 料 と 方 法

1. 供試材料と照射方法

種苗店で購入した乾燥植物種子 (Table 1) をプラスチック製円筒 (直径 3 cm, 高さ 5 cm) (1986 年) または紙筒 (直径 3.5 cm, 高さ 11 cm) (1987 年) に詰め、日本原子力研究所東海研究所 Co-60 照射室において 14 kCi (1986 年) または 5.9 kCi (1987 年) の Co-60 線源を使用して照射した。いずれの場合にも 1.0 kGy 以下の線量区では線量率が 0.37 kGy/h (1986 年) または 0.3 kGy/h (1987 年) の位置に試料を置き、照射時間を変えて所定の線量を照射した (Table 2)。3.0 または 3.6 kGy 以上の線量区では、照射時間を 18 時間に固定し所定の照射線量になるように線量率を変えて照射した (Table 2)。なお照射線量、照射位置、照射時間は、同研究所で発表された線量率表に基づいて決定した。

照射した種子は照射時の容器に詰めそのまま室内条

件下で保管し、必要に応じて実験に用いた。

2. 出芽および生育に関する実験方法と調査方法

砂を入れたプラントベッド (35×45×10 cm) に約 1 cm の深さに播種し、ビニルハウスまたは露地で出芽させ、ほぼ 40 日間栽培した (Table 1)。播種した種子数は、種子の大きさあるいは照射線量の大小によって異なるが、1 区当り 10~25 個×4 反覆または 15~35 個×3 反覆であった。出芽後最終調査までの間、ほぼ 10 日毎にハイポネックス 700 倍液を施与し、灌水は必要に応じて行った。この間出芽状況を毎日調査するとともに、必要に応じて葉色の違いや奇形の発生の有無など照射による影響を調査した。また最終調査時には、展開葉数、下胚軸長、草丈、生体重あるいは異常の発生程度などを原則として個体毎に調べた。

データをまとめるにあたって、出芽率は播種した種子数に対する出芽個体の割合、生存率は出芽個体に対する生存個体数 (最終調査時) の割合を、いずれも百分率 (%) で示した。葉や茎にみられる照射傷害の程度を示す指数 (Injury index) はその程度を無傷害から著しい傷害まで 5 段階にわけて 0, 1, 2, 3, 4 の数値を与え、原則として個体毎に調査して、その平均値を算出した。

結 果 と 考 察

1. ヒマワリ '黒龍' (*Helianthus annuus*, 'Kokuryu', Table 3)

出芽率は照射線量 0~0.7 kGy の範囲では 70% 以上であったが、1.0 kGy 以上になると著しく低下し、9.2 kGy 以上では 0% となった。平均出芽日数は照

Table 1. Experimentals

Plant materials	Date of irradiation	Sowing date	Date of final examination	Growing condition
<i>Helianthus annuus</i> , 'Kokuryu'	28~29 Jan., 1986	24 Apr., 1986	4 June, 1986	Outdoors
<i>Hibiscus esculentus</i> , 'Green Star'	28~29 Jan., 1986	11 June, 1987	11 July, 1987	Under vinyl
'Aka-Okura'	28~29 Jan., 1986	13 June, 1987	11 July, 1987	"
<i>Phaseolus angularis</i>	17~18 Aug., 1987	5 Sept., 1987	16 Oct., 1987	Outdoors
<i>Phaseolus vulgaris</i> , 'Uzuramame'	17~18 Aug., 1987	5 Sept., 1987	16 Oct., 1987	"
<i>Glycine max</i> , 'Sekka-Daizu'	28~29 Jan., 1986	21 Apr., 1986	4 June, 1986	"

Table 2. Irradiation data

Source	14kCi Co-60		5.9kCi Co-60	
	Dose (kGy)	Dose rate (kGy/h)	Dose (kGy)	Dose rate (kGy/h)
	0	-	0	-
	0.1	0.37	0.1	0.30
	0.2	0.37	0.2	0.30
	0.3	0.37	0.3	0.30
	0.4	0.37	0.4	0.30
	0.5	0.37	0.5	0.30
	0.7	0.37	0.7	0.30
	1.0	0.37	1.0	0.30
	3.6	0.20	3.0	0.20
	7.4	0.41	6.8	0.38
	9.2	0.51	10.0	0.56
	15.0	0.83	15.0	0.83
	20.7	1.15	20.0	1.11
	25.2	1.40	-	-
Irradiation date	27~28 Jan., 1986		17~18 Aug., 1987	

射線量が増えるにつれて多くなる傾向がみられ、1.0 kGy 区では 10.7 日となり対照区 (0 kGy) のほぼ 2 倍となった。生存率は 0.1 kGy 区では対照区と同じく 100% であったが、照射線量が 0.2 kGy 以上にな

ると線量の増加につれて低下し、1.0 kGy 以上の区では生存率 0% となった。すなわち出芽したすべての個体が死滅した。

節数は対照区および 0.1 kGy 区では 2.1, 0.2~0.4 kGy 区では 2.6~2.8, 0.5~0.7 kGy 区では 3.0~4.1 と、線量の増加に伴って多くなる傾向がみられた。ヒマワリの葉は本来生育初期には対生であるが、放射線照射によってその対生がくずれて互生となったために節数が増えたものである。このような対生のくずれ方の程度は放射線照射の傷害の程度を示すものとして注目されよう。

下胚軸長はわずか 0.1 kGy の照射で対照区の半分以下の 1.6 cm となったが、さらに線量を増やしても下胚軸長は極端に短くはならなかった。

草丈は線量 0~0.3 kGy の範囲では 19.1~23.6 cm で大きな差異は認められなかったが、0.4~0.7 kGy では 9.0~11.9 cm と対照区に比べて著しく低くなった。

生体重は 0~0.5 kGy の範囲では線量と生体重の間に一定の傾向が認められなかったが、0.7 kGy 区では 1.0 g と対照区に比べてかなり小さかった。ただし、いずれの場合にも個体間のばらつきが大きく、生き残っている個体の栽植密度が個体の生長に影響を与えた可能性も示唆される。

傷害による奇形葉の数は線量が高いほど多く、また葉のねじれ、変形、モザイク症状などの照射の傷

害を示す傷害指数 (Injury index) も、線量が増えるにつれて増加した。ただし 0.7 kGy 区では展開した葉が少なく、0.5 kGy 区よりも傷害の現れる葉の数は少なかった。

2. オクラ 'グリーンスター', '赤オクラ' (*Hibiscus esculentus*, 'Green Star', 'Aka-Okura', Tables 4 ~ 6)
両品種とも照射した年 (1986 年) の実験では出芽

は順調だったが病害によってその後の生育が妨げられたので、保存していた種子をほぼ 1 年後に再度播種して出芽、生育状況を調査した。

1987 年の結果によると、'グリーンスター'の出芽率は 0 ~ 1.0 kGy の範囲では 76.6 ~ 90.2%, '赤オクラ'は 0 ~ 0.7 kGy の範囲で 75.3 ~ 96.3% と、これらの範囲では明らかな差は認められなかった。それ以上の線量になると、'グリーンスター'は 3.6 kGy では

Table 3. Experimental data of irradiated sunflower 'Kokuryu'

Dose (kGy)	Emergence percent	Days of emergence	Survival percent	Number of node per plant	Hypocotyl length (cm)	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Number of injured leaves per plant	Injury index*
0	97.5 ± 4.3	5.4 ± 0.6	100	2.1 ± 0.4	3.9 ± 0.9	23.6 ± 5.4	2.4 ± 1.2	0	0
0.1	97.5 ± 4.3	6.1 ± 1.0	100	2.1 ± 0.3	1.6 ± 1.0	14.4 ± 4.3	1.5 ± 0.7	1.0 ± 0.0	0.8 ± 0.4
0.2	92.5 ± 4.3	6.7 ± 0.9	94.8 ± 5.3	2.6 ± 0.5	1.1 ± 0.5	20.0 ± 7.0	2.7 ± 1.7	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.6
0.3	87.5 ± 10.8	6.9 ± 1.1	82.3 ± 4.4	2.8 ± 0.4	1.0 ± 0.4	19.1 ± 7.3	3.0 ± 1.9	2.3 ± 0.5	2.0 ± 0.4
0.4	77.5 ± 10.8	7.6 ± 1.9	60.3 ± 16.7	2.8 ± 0.5	0.8 ± 0.3	10.1 ± 4.1	1.7 ± 0.9	2.8 ± 0.4	2.2 ± 0.4
0.5	72.5 ± 8.2	8.2 ± 2.4	40.5 ± 19.8	4.1 ± 0.7	0.7 ± 0.3	11.8 ± 5.8	2.1 ± 1.9	3.7 ± 0.6	3.3 ± 0.5
0.7	80.0 ± 17.3	8.0 ± 1.5	11.0 ± 7.8	3.0 ± 0.0	1.1 ± 0.1	9.0 ± 2.9	1.0 ± 0.7	2.3 ± 0.5	3.7 ± 0.3
1.0	55.0 ± 15.0	10.7 ± 3.3	0	-	-	-	-	-	-
3.6	12.5 ± 8.2	11.6 ± 2.7	0	-	-	-	-	-	-
7.4	20.0 ± 0.0	12.3 ± 2.1	0	-	-	-	-	-	-
9.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
15.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
20.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-
25.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-

*Symptoms of individual plant ranged from 0 - 4, being the most severe. The average was calculated for each plot.

Table 4. Experimental data of irradiated okra 'Green Star' and 'Aka-Okura'

Cultivar	Dose (kGy)	Emergence percent	Days of emergence	Survival percent	Number of expanded leaves per plant	Hypocotyl length (cm)	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Topping percent	Injury index*
Green Star	0	79.7 ± 17.7	6.2 ± 0.4	97.3 ± 3.8	4.0 ± 0.3	4.9 ± 0.5	17.2 ± 1.7	8.3 ± 2.2	0	0
	0.1	81.0 ± 12.8	6.6 ± 0.9	81.3 ± 13.2	3.7 ± 0.6	4.3 ± 0.5	12.8 ± 1.8	5.5 ± 2.4	0	1
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.3	90.2 ± 10.6	7.0 ± 1.3	85.0 ± 5.7	3.8 ± 0.5	3.8 ± 0.7	10.8 ± 2.1	4.0 ± 1.7	0	2
	0.4	76.6 ± 10.6	6.8 ± 1.1	76.7 ± 2.6	3.7 ± 0.5	3.4 ± 0.8	9.7 ± 1.9	3.6 ± 2.0	10.3	2
	0.5	83.4 ± 12.8	7.3 ± 1.3	82.0 ± 2.8	3.0 ± 0.7	2.6 ± 0.8	7.1 ± 2.7	1.7 ± 1.2	30.8	3
	0.7	86.7 ± 10.8	7.1 ± 1.0	82.0 ± 2.8	3.2 ± 0.5	2.1 ± 0.8	4.3 ± 1.9	1.1 ± 0.8	66.7	4
	1.0	80.4 ± 4.7	7.5 ± 0.6	48.7 ± 15.2	1.5 ± 1.1	1.6 ± 0.4	2.4 ± 1.2	0.4 ± 0.3	100	4
	3.6	59.6 ± 10.2	9.8 ± 0.7	0	-	-	-	-	-	-
	7.4	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	20.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	25.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Aka-Okura	0	95.0 ± 4.1	5.2 ± 0.5	100	3.5 ± 0.5	6.2 ± 0.6	18.9 ± 1.8	4.8 ± 1.2	0	0
	0.1	85.0 ± 4.1	5.4 ± 0.6	98.0 ± 2.8	3.1 ± 0.5	5.7 ± 0.6	19.8 ± 1.7	5.1 ± 2.0	0	1
	0.2	86.7 ± 4.7	5.3 ± 0.6	98.0 ± 2.8	3.3 ± 0.6	5.2 ± 0.5	18.2 ± 2.6	4.7 ± 2.1	3.9	2
	0.3	81.3 ± 6.5	5.6 ± 1.1	88.4 ± 2.9	3.3 ± 0.6	5.2 ± 0.6	18.3 ± 2.5	4.5 ± 2.5	10.5	2
	0.4	86.7 ± 8.5	5.6 ± 0.9	82.3 ± 1.7	3.0 ± 0.7	3.7 ± 0.5	10.8 ± 3.4	3.0 ± 1.7	13.3	3
	0.5	76.7 ± 8.5	5.7 ± 0.8	89.0 ± 3.7	2.6 ± 0.6	4.1 ± 0.6	12.1 ± 2.7	3.0 ± 1.5	17.1	3
	0.7	96.3 ± 2.2	6.1 ± 0.8	89.5 ± 7.4	2.8 ± 0.6	3.4 ± 0.5	10.8 ± 2.4	1.9 ± 1.0	25.7	4
	1.0	75.3 ± 8.5	6.6 ± 0.8	77.0 ± 14.4	2.3 ± 0.8	2.8 ± 0.6	4.2 ± 1.6	1.1 ± 0.5	58.5	4
	3.6	57.1 ± 0.0	7.7 ± 0.9	0	-	-	-	-	-	-
	7.4	0.6 ± 0.3	9.0	0	-	-	-	-	-	-
	9.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	20.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	25.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-

*Refer to Table 3.

59.6%, '赤オクラ'は1.0 kGyで75.3%, 3.6 kGyで57.1%, 7.4 kGyで0.6%と出芽率は線量の増加に伴って低下した (Table 4).

一方, 'グリーンスター'および'赤オクラ'の出芽日数は線量が増えるにつれてわずかに長くなる傾向がみられ (Table 4), この傾向は1986年も同じであった.ところが1986年の結果と比較すると, 1987年の出芽率は明らかに低下する傾向がみられたので, 1986年の各区の平均出芽率および平均出芽日数に対する1987年のそれらの割合 (%) を示したのが Table 5 である.

1987年の'グリーンスター'の出芽率は0~1.0 kGyの範囲で1986年に比べて10~23%, 3.6 kGy区では40%も低下した.一方, '赤オクラ'の出芽率は0.7 kGy区を除くと各区とも低下する傾向にあったが, 'グリーンスター'に比べるとその低下の割合が少なかった.

しかし7.4 kGy区では1986年に比べ1987年の出芽率は著しく低下した.これらは照射された種子が貯蔵によって出芽率の低下をきたすことを示唆している.ただし, 両年度の出芽日数を比べると, 'グリーンスター'は3.6 kGy区では10%ほど短縮されたが, 他の区ではほぼ同じかむしろ長くなった (0, 0.1, 1.0 kGy区).一方, '赤オクラ'では10%以上短縮される区が多かった (0, 0.4, 0.5, 3.6, 7.4 kGy区) (Table 5).

以上のように'グリーンスター'と'赤オクラ'とは, 照射線量がある一定量を越えると, 出芽率は低下し,

線量が増えると, 出芽日数は長くなるという傾向があるという点では一致したが, 次の点でやや異なった.まず第一に, 'グリーンスター'は0.7 kGyで出芽しなかったが, '赤オクラ'は25%の出芽率を示した (1986年, 未発表データ).第二に, 照射1年後の出芽率の低下は'赤オクラ'よりも'グリーンスター'がやや大きかった (Table 5).例えば, 0~1.0 kGy区における1986年の出芽率に対する1987年の出芽率の割合を単純平均すると, 'グリーンスター'は82.6%, '赤オクラ'は92.5%と約10%のひらきがあった.第三に, 1986年と1987年の出芽日数は'グリーンスター'ではほぼ同じであったのに対し, '赤オクラ'では1986年よりも1987年の方が短かった (Table 5).例えば線量0~1.0 kGyの範囲で1986年と1987年との比を単純平均してみると, 'グリーンスター'は104.3, '赤オクラ'は92.4となり, '赤オクラ'では照射当年より1年後の出芽日数がわずかながら短くなった.このように1年後の出芽日数が当年度のそれより短くなる, つまり当年より1年後の方が早く出芽する傾向は'赤オクラ'の3.6 kGyおよび7.4 kGy区で著しかった.

以上の結果から照射1年後にみられる出芽率の低下や出芽日数の短縮が品種によってかなり異なることは明らかであったが, '赤オクラ'でみられるような出芽日数の短縮がすべての植物でおこるかどうかは疑わしい.というのはオクラの場合, 1986年には4月, 1987年には6月に播種しており, 温度条件としては1987年のそれがオクラの出芽には好適だった

Table 5. Relative value of emergence rate or days of emergence in 1987 to that in 1986 in okra

Dose (kGy)	Relative value of emergence rate* ¹		Relative value of days of emergence* ²	
	Green Star	Aka-Okura	Green Star	Aka-Okura
0	80	100	119	91
0.1	81	87	108	98
0.2	-	94	-	95
0.3	90	88	100	97
0.4	77	94	96	88
0.5	83	81	100	79
0.7	87	110	97	91
1.0	80	86	110	100
3.6	60	82	90	78
7.4	-	2	-	57

*¹ Mean emergence % in 1987/mean emergence % in 1986.

*² 100 × mean days of emergence in 1987/mean days of emergence in 1986.

と考えられるからである。

以下オクラの生存率ならびに生長については、1987年の実験結果 (Table 4) について述べる。

‘グリーンスター’の生存率は0~0.7 kGy区では76.7~97.3%で、線量による差は明らかではなかったが、1.0 kGy区では48.7%に減少し、3.6 kGy区では0%となった。‘赤オクラ’の生存率は、0~0.7 kGyの範囲では82.3~100%と‘グリーンスター’よりもわずかに高かったが、‘グリーンスター’と同じく線量による差は認められなかった。また1.0 kGy区では77%に低下し、3.6および7.4 kGy区では0%となった。

葉数は、0~0.4 kGyの範囲では、‘グリーンスター’で3.7~4.0枚、‘赤オクラ’で3.0~3.5枚であった。しかし、0.5および0.7 kGy区では‘グリーンスター’は3.2~3.0枚、‘赤オクラ’は2.6~2.8枚とやや減少した。1.0 kGy区の‘グリーンスター’には後述する‘石化ダイズ’と同じように本葉がまったく発生しない個体が認められた。下胚軸長および草丈は線量が高くなるに伴い短くなった。この傾向がもっとも顕著であったのは‘グリーンスター’の草丈で、対照区では17.2 cmであったのに対し、0.5 kGy区では7.1 cmと半分以下、1.0 kGy区ではわずか2.4 cmとなり、対照区の14%であった。生体重についても下胚軸長や草丈とほぼ同じ傾向がみられた。

照射傷害の一つである芯止り (Topping) 現象は、‘グリーンスター’では0~0.3 kGy区で認められず、0.4 kGy区で10.3%、0.5 kGy区で30.8%、0.7 kGy区で66.7%、1.0 kGy区で100%と、0.7 kGy以上で急激に増加した。‘赤オクラ’では0.2 kGy区でわずか

に認められ、それ以上線量が増えるとともにその割合が徐々に増え、1.0 kGy区で58.5%となった。

葉のねじれやモザイク症状など葉に認められる奇形現象を傷害指数で示すと、‘グリーンスター’、‘赤オクラ’のいずれも線量が増えるほどその指数は大きくなった。またその奇形は線量が高いほど、より上位の葉にも観察された。なお、‘赤オクラ’ではアントシアン色素によって葉が赤味を帯びるが、6月31日の調査では、照射線量が増すにつれて赤味は明らかに濃かった。ところが、最終調査時にはかなり褪色し、6月31日ほど明らかではなかった。このことは生育全期間にわたって着色度合が一定ではないことを示しており、照射効果としての着色の変異を観察する際にはその時期に注意する必要があることを示唆している。

以上オクラのデータから、同じオクラでも、‘グリーンスター’よりも‘赤オクラ’の方が照射の影響は少ないことがわかる。すなわち出芽率は‘グリーンスター’より‘赤オクラ’のそれが高かった (特に2年目) (Table 4)。芯止り現象は‘グリーンスター’では1.0 kGy区で100%となったのに対して、‘赤オクラ’では58.5%と約6割にすぎなかった (Table 4)。生存率、草丈および生体重をみると、‘グリーンスター’では線量の増加に伴い著しく減少したのに対して、‘赤オクラ’では緩やかに減少した。このことをよりはっきりさせるために、対照区の生存率、草丈および生体重の値に対する各線量区の値の割合を Table 6 に示した。対照区の草丈を100としたとき、0.5 kGy区の比草丈は‘グリーンスター’の41に対して‘赤オクラ’は64、0.7 kGy区では‘グリーンスター’の

Table 6. Relative value of survival percent, plant height or fresh weight to that of control lot in okra

Dose (kGy)	Relative survival percent		Relative plant height		Relative fresh weight	
	Green Star	Aka-Okura	Green Star	Aka-Okura	Green Star	Aka-Okura
0	100	100	100	100	100	100
0.1	84	98	74	105	66	106
0.2	-	98	-	96	-	98
0.3	87	88	63	97	48	94
0.4	79	82	56	57	43	63
0.5	84	89	41	64	20	63
0.7	84	90	25	57	13	40
1.0	50	77	14	22	5	23

25 に対して‘赤オクラ’は 57 となり、その減少の割合は‘グリーンスター’の方が大きかった。またどの照射区でも‘赤オクラ’の値は‘グリーンスター’を常に上回った。このような傾向は生存率、下胚軸長ささらに生体重にも認められた (Table 6)。これらは‘グリーンスター’よりも‘赤オクラ’の方が放射線照射に対して抵抗性が大きいことを示すものと考えられる。

3. アズキ (*Phaseolus angularis*, Table 7)

出芽率は 0~0.3 kGy 区では 90% 以上であり、線量による差は認められなかったが、0.4 kGy 区では 79.0%, 0.5 kGy 区では 25.0%, 0.7 kGy 区では 8.8%, 1.0 kGy 区では 1.8% と線量の増加と共に低下し、また 3.0 kGy 区以上ではまったく出芽しなかった。出芽日数は対照区で 10.4 日であったが、線量の増加につれて長くなる傾向がみられ、1.0 kGy 区では 14 日であった。生存率は 0~0.3 kGy 区で 100%, 0.4~0.7 kGy 区で 60~70%, 1.0 kGy 区で 0% と大きく段階的に低下した。

葉数についてみると、対照区では 3.1 枚であったが、照射区では 0.5 kGy 区を除き対照区より多かった。ただし、照射区間には有意差は認められなかつ

た。

下胚軸長は対照区と 0.1 kGy 区ではそれぞれ 6.0, 5.8 cm とほぼ同じ値であったが、0.2~0.7 kGy 区までは線量が増すにつれて短くなり、特に 0.7 kGy 区では 1 cm にもみだなかった。草丈は 0~0.2 kGy 区の範囲では 8.5~8.8 cm とほぼ同じ値であったが、0.3 kGy 区以上では下胚軸長の場合と同様に、線量の増加につれて草丈は短くなった。生体重は 0~0.2 kGy 区では 2.7~3.6 g であったが、0.3 kGy 区以上ではほぼその半分程度に減少した。このように生体重は下胚軸長や草丈の場合と異なり、0~0.2 kGy 区、0.3~0.5 kGy 区および 0.7 kGy 区の 3 段階に分かれて減少した。

葉に認められる奇形は主にねじれや変形が多く、モザイク症状はあまり認められなかった。奇形の程度は照射線量の増加と共に著しく大きくなった。

アズキでは最終調査時には開花した個体も観察された。その割合は対照区で 30.0%, 0.1 kGy 区で 50.0% であったが、0.2 kGy 以上の区では線量の増加につれて減少し、0.5 kGy 区以上になると、開花した個体は観察されなかった。

Table 7. Experimental data of irradiated red bean

Dose (kGy)	Emergence percent	Days of emergence	Survival percent	Number of expanded leaves per plant	Hypocotyl length (cm)	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Injury index*	Flowering percent
0	91.5±4.3	10.4±0.3	100	3.1±0.4	6.0±0.8	8.6±1.1	2.7±1.1	0	30.0
0.1	91.8±6.0	10.9±0.3	100	3.8±0.6	5.8±0.6	8.8±1.2	3.4±1.3	1.7±0.6	50.0
0.2	94.0±3.5	11.1±0.3	100	4.0±0.6	4.5±1.0	8.5±1.8	3.6±1.8	2.3±0.7	17.4
0.3	93.8±7.0	11.5±0.9	100	3.9±0.7	3.7±1.7	7.0±2.1	1.6±1.0	3.1±0.8	4.7
0.4	79.0±4.0	12.7±1.6	68.5±7.9	4.1±0.6	3.0±1.8	6.2±2.0	1.5±0.8	2.9±0.6	7.7
0.5	25.0±5.7	12.3±2.2	62.5±24.8	3.1±1.0	1.9±1.8	4.0±2.7	1.0±1.1	3.4±0.7	0
0.7	8.8±5.8	14.2±2.2	66.7±47.1	3.8±1.1	0.7±0.4	3.4±2.0	0.7±0.4	3.9±0.2	0
1.0	1.8±3.0	14.0	0	-	-	-	-	-	-
3.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
6.8	0	-	-	-	-	-	-	-	-
10.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
15.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
20.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

*Refer to Table 3.

4. インゲンマメ ‘ウズラマメ’ (*Phaseolus vulgaris*, ‘Uzura-Mame’, Table 8)

対照区の出芽率は 73.3% と他の植物に比べて低かったが、0.3 kGy 区では 13.3% と急減し、0.4 kGy 以上ではまったく出芽しなかった。このように 0.4 kGy 区で出芽しなかった点は他の植物と著しく異

なった。

出芽日数は他の植物と同様に線量の増加に伴ってわずかに長くなった。生存率は 0.2 kGy 区で 67.3%, 0.3 kGy 区では 0% となった。このような低線量での生存率が 0% という現象は、ソバやエンドウで得られた 0.5 kGy 区での生存率 0%⁴⁾ を下回るもので

ある。

展開葉数は対照区 6.2 枚に対して、0.1 kGy 区では 6.1 枚、0.2 kGy 区では 4.5 枚であったが、有意差はなかった。草丈は対照区と 0.1 kGy 区ではそれぞれ 24.0、22.4 cm とほぼ同じ値であったが、0.2 kGy 区では 8.6 cm と著しく低くなった。生体重は、草丈と同様に、対照区および 0.1 kGy 区ではそれぞれ 19.7、22.2 g であったが、0.2 kGy 区では 6.6 g と対照区に比べて著しく小さかった。このように草丈や生体重では対照区と 0.1 kGy 区との間に差が認められなかったが、

葉の奇形の程度は対照区と 0.1 kGy 区とは著しく異なり、0.1 kGy 区では明らかに照射の傷害が認められた。アズキと同様に開花した個体もあり、その割合は、対照区の 75.0% に対して、0.1 kGy 区では 66.7%、0.2 kGy 区では 38.5% と線量の増加につれて低くなった。

5. ダイズ '石化ダイズ' (*Glycine max*, 'Sekka-Daizu', Table 9)

出芽率は 0~1.0 kGy の範囲では 70~90% で線量の違いによる差異は明らかでなかったが、3.6 kGy

Table 8. Experimental data of irradiated kidney bean 'Uzuramame'

Dose (kGy)	Emergence percent	Days of emergence	Survival percent	Number of expanded leaves per plant	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Injury index*	Flowering percent
0	73.3±4.7	11.1±0.3	91.3±6.18	6.2±2.0	24.0±11.5	19.7±8.0	0	75.0
0.1	50.0±16.3	11.4±0.7	100	6.1±2.2	22.4±9.5	22.2±13.3	2.0±0.7	66.7
0.2	63.3±12.5	12.0±0.7	67.3±6.1	4.5±2.0	8.6±5.2	6.6±6.7	3.2±0.4	38.5
0.3	13.3±4.7	12.5±0.9	0	-	-	-	-	-
0.4	0	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0	-	-	-	-	-	-	-
0.7	0	-	-	-	-	-	-	-
1.0	0	-	-	-	-	-	-	-
3.0	0	-	-	-	-	-	-	-
6.8	0	-	-	-	-	-	-	-
10.0	0	-	-	-	-	-	-	-
15.0	0	-	-	-	-	-	-	-
20.0	0	-	-	-	-	-	-	-

*Refer to Table 3.

Table 9. Experimental data of irradiated soybean 'Sekka-Daizu'

Dose (kGy)	Emergence percent	Days of emergence	Survival percent	Number of expanded leaves per plant	Plant without true leaf (%)	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Injury index ¹⁾
0	80.0±14.1	5.2±0.5	100	6.0±1.2	0	23.7±2.5	4.7±1.2	0
0.1	92.5±4.3	5.3±0.7	100	6.1±1.0	0	26.3±3.6	4.3±1.4	2.1±0.5
0.2	85.0±5.0	5.6±0.9	100	7.2±1.6	0	20.2±4.6	3.9±1.5	3.7±0.4
0.3	85.0±11.1	5.5±1.1	100	7.0±1.2	3.1	14.7±2.9	3.3±1.4	3.9±0.3
0.4	82.5±10.8	6.0±1.7	100	6.5±1.9	7.1	11.5±3.6	2.8±1.3	3.9±0.3
0.5	70.0±15.8	5.5±0.7	84.5±16.8	6.0±1.8	10.0	8.9±2.5	2.4±1.0	4.0
0.7	75.0±11.1	6.1±1.1	76.8±4.4	5.0±2.7	28.0	5.5±2.2	2.0±0.6	4.0
1.0	80.0±7.0	6.7±1.8	55.8±21.1	0	100	1.0±0.2	0.2±0.1	2)
3.0	52.5±12.9	7.0±0.7	0	-	-	-	-	-
7.4	7.5±8.2	8.3±0.5	0	-	-	-	-	-
10.0	0	-	-	-	-	-	-	-
15.0	0	-	-	-	-	-	-	-
20.0	0	-	-	-	-	-	-	-

1) Refer to Table 3.

2) There was no true leaf to be observed.

区では52.5%, 7.4 kGy区では7.5%と著しく低下し, 10.0 kGy区では0%となった。出芽日数は0.5 kGy以下の線量区ではほぼ同じであった。しかし, 0.7 kGy以上の線量区では出芽日数は線量の増加につれて, わずかながら長くなる傾向がみられた。生存率は0.4 kGy以下の線量区では対照区と同じ100%であった。しかし0.5 kGy以上の区では線量の増加につれて生存率は低下し, 3.6 kGy区以上では0%, すなわちすべて枯死してしまった。

展開葉数は0~0.7 kGy区の範囲ではほぼ5~7枚で差異は認められなかったが, 1.0 kGy区では0枚となった。すなわち, 1.0 kGy区の個体は生き残ったものの子葉だけが展開し本葉はまったく発生しなかった。このように子葉だけが展開して本葉の発生しない個体は線量の低い区にも若干ながら発生した。これは照射によって頂芽だけでなく, 子葉の側芽も傷害を受けたことを意味する。インゲンとダイズは同じように子葉が地上部に出てくるマメ科植物であるが, インゲンは0.4 kGyで出芽不能になるのに対して, ダイズは1.0 kGyでは出芽し, その後も本葉が展開せずに生存するというように, インゲンとダイズではかなり異なっていた。これは両作物の下胚軸の伸長力や根部の傷害の受け方に差異があるためと考えられる。

下胚軸を含めた草丈は0~0.2 kGy区では20.2~26.3 cmの範囲で有意差はなかったが, 0.3 kGy区以上では, 線量が増えるほど明らかに低くなった。生体重には草丈ほど顕著な差はなかったが, 照射量が増えるにつれて減少した。

葉にみられるねじれ, 変形, 斑入りなどの奇形は0.1 kGy区でも観察されたが, 0.2 kGy以上の線量区では特に著しかった。

‘石化ダイズ’は, 石化した茎の面白さが鑑賞の対象となるので, これを早期に誘発できるかどうかは鉢物としての利用の点からも興味がある。調査時点の結果では石化の兆しである茎の曲がりや肥大化の発生は0.2および0.3 kGy区で多く, 約70%の個体に認められたが, それより低い線量(0.1 kGy)区および高い線量(0.4~0.7 kGy)区ではむしろ少なくなり, およそ10%以下の個体に認められただけであった。また, 本品種は最終的には石化するが, 調査時の対照区では石化の兆しはまったく認められなかった。これらの事実は石化に対する放射線の影響について二つの可能性を示唆している。まず一つは0

~0.3 kGyの範囲では照射線量によって石化の兆しが見られるまでの生育期間が短縮されること, 次には照射線量が高くなると, 石化能力が失われることであるが, これらについてはあらためて検討を加えたい。

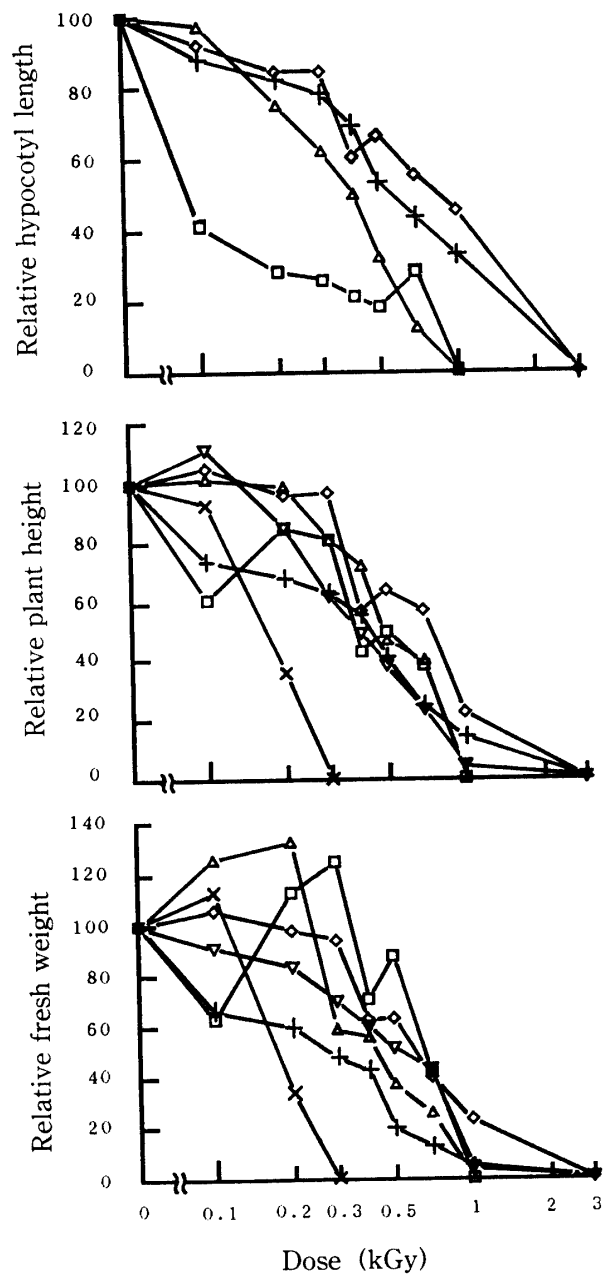


Fig 1. γ -irradiation effect on hypocotyl length, plant height and fresh weight in some plants.

- : Sunflower + : Okra 'Green Star'
- △ : Red bean × : Kidney bean
- ◇ : Okra 'Aka-Okura'
- ▽ : Soybean

団野らの実験⁴⁾では、多くの植物は6.3 kGy、ペニバナが9.5 kGyまで出芽し、ソバだけは10 kGyまで出芽した。ところが、ダイズ、ヒマワリ、オクラ‘赤オクラ’は6.8または7.4 kGy、オクラ‘グリーンスター’は3.6 kGy、アズキは1.0 kGy、インゲンは0.3 kGyの線量区までは出芽した。このように、今回用いた材料は団野ら⁴⁾のものに比べると全般的に照射によって出芽が阻害され易いものが多かったといえよう。

生存率についてみると、1.0 kGyで生き残った植物はオクラ‘グリーンスター’、‘赤オクラ’およびダイズであるが、オクラ‘グリーンスター’とダイズには本葉がまったく発生せず、結実を前提とした生育を考える場合には問題とならないことは明らかである。0.7 kGy区で生き残り個体が得られた植物は上記のほかはヒマワリとアズキであった。これに対して0.3 kGyという低い線量でも生存個体が認められなかったのがインゲンであり、これは団野ら⁴⁾が得たソバやエンドウの生存限界の線量0.4 kGyよりもさらに低かった。

下胚軸長、草丈、生体重に対する放射線照射効果をまとめて第1図に示した。

今回用いた植物に共通しているのは、勾配の緩急こそあるものの、下胚軸長は線量の増加につれて指数関数的に短くなるのに対して、草丈や生体重ではある程度の線量までは顕著な差異が認められないが、その線量以上になると著しく減少した。すなわち草丈や生体重はシグモイド曲線を書いて減少したことである (Fig. 1)。しかも、個体差は下胚軸長よりも草丈や生体重に大きいこと (Tables 4, 7) である。これは、下胚軸長には照射の直接的効果 (傷害) があらわれるのに対し、草丈や生体重の場合には伸長に対する照射傷害の程度の個体間差、展葉後の同化開始時期の早晚、葉の傷害による同化能力の個体間差、あるいは栽植密度などの効果が累積された結果としてあらわれてくるためであろう。

要 約

ヒマワリ、オクラ、ダイズ、アズキ、インゲンの乾燥種子をCo-60 γ 線で照射し、それらの出芽および生育状況を調査した。

10 kGy以上の照射区では、どの供試植物も出芽しなかった。出芽率が0%となった線量は、インゲンが0.4 kGy、アズキが3.0 kGy、オクラ‘グリーンスター’が7.4 kGy、ヒマワリおよび‘赤オクラ’が9.2 kGy、ダイズが10.0 kGyであった。オクラに対する照射の影響は、‘赤オクラ’よりも‘グリーンスター’に顕著に認められた。

1.0 kGyのダイズは、本葉がまったく発生しないまま生存し続けた。

草丈、生体重にみられる照射効果は植物によってその線量の違いはあるが、ある線量以上になると顕著に発現する傾向がみられた。これに対して下胚軸長の短縮、芯止り、葉のモザイクなどの傷害は線量が増加するにつれて著しくなった。

謝辞 本研究の遂行にあたって、照射にご協力いただいた日本原子力研究所東海研究所Co-60照射室の長山尚氏、大久保隆氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 団野皓文・植木健至・小倉弘司・宮里 満・石黒悦爾：水稲種子に対する放射線照射効果の研究。鹿大農学術報告, No.29, 1-10 (1979)
- 2) 団野皓文・小倉弘司・植木健至・宮里 満・石黒悦爾：2・3のウリ科植物に対する放射線照射効果の研究。鹿大農学術報告, No.30, 23-33 (1980)
- 3) 団野皓文・宮里 満・松尾英輔・石黒悦爾：コムギおよびハダカムギに対する放射線照射効果の研究。鹿大農学術報告, No.33, 165-169 (1983)
- 4) 団野皓文・松尾英輔・石黒悦爾・宮里 満：有用植物に対する放射線照射効果—ソバ、ブラック・マッペ、エンドウ、カブ、ペニバナについて—。鹿大農学術報告, No.35, 205-214 (1985)

Summary

This study was carried out to investigate the effects of γ -irradiation on to the seeds of sunflower (*Helianthus annuus*), okra (*Hibiscus esculentus*), kidney bean (*Phaseolus angularis*), red bean (*Phaseolus vulgaris*) and soybean (*Glycine max*) for their emergence and growth. Their dry seeds were irradiated by γ -ray from Co-60 source. Those were seeded in plastic boxes (45×10×35cm) filled with sand and grown approximately 40 days under vinyl cover or outdoors. Their emergence and growth were examined.

No plants emerged in the treatment plots where their seeds were irradiated with more than 10 kGy. No emergence was observed at 0.4 kGy in kidney bean, 3.0 kGy in red bean, 7.4 kGy in okra 'Green Star', 9.2 kGy in sunflower and okra 'Aka-Okura', or 10.0 kGy in soybean, respectively.

The effects of γ -irradiation were observed more remarkably in okra 'Green Star' than in okra 'Aka-Okura'.

When soybean seeds were irradiated with the dose of 1.0 kGy, they emerged well and survived during the period of the experiment without giving any true leaf.

Various symptoms of irradiation effects on plants, such as shortening of the hypocotyl length, mosaic or topping, increased as irradiation dose increased.

Concerning the plant height and fresh weight no difference was observed among the irradiation doses varying from low to middle. Near the critical dose for survival, however, these were noted to be low and small, compared with those of the dose-treatments varying from lower to middle.