

論	文
---	---

イエギク *Chrysanthemum morifolium* Ram.

## の成長におよぼす低線量中性子の影響

池田 秀雄<sup>\*1</sup>, 竹内 基<sup>\*1</sup>, 圓木 稔幸<sup>\*1</sup>  
 渡邊 重義<sup>\*2</sup>, 伊藤 哲夫<sup>\*3</sup>, 藤川 和男<sup>\*3</sup>  
 近藤 宗平<sup>\*3</sup>

**Effect of low doses of fission neutrons on the growth  
 of garden chrysanthemum *C. morifolium* Ram.**

Hideo IKEDA<sup>\*1</sup>, Motoi TAKEUCHI<sup>\*1</sup>, Toshiyuki MARUKI<sup>\*1</sup>,  
 Shigeyoshi WATANABE<sup>\*2</sup>, Tetsuo ITOH<sup>\*3</sup>, Kazuo FUJIKAWA<sup>\*3</sup>  
 and Sohei KONDO<sup>\*3</sup>

(Received : 30 November, 1994)

## ABSTRACT

Cuttings of *Chrysanthemum morifolium* Ram. variety Seirosa were irradiated with fission neutrons in the 1 wattage reactor of Kinki Univ. and allowed to root in nursery beds for 19 days. Rooted cuttings were planted out in a field and their height was measured on day 44 post-irradiation. In the experiment conducted in 1991, where the plants grew well in the field, the mean height of plants irradiated at 0.4 Gy significantly increased over that of unirradiated, controls. In the experiment conducted in 1993, where much rain affected the growth, a significant increase over the control of the mean height was observed not only for plants irradiated at 0.4 Gy but also for those irradiated at 0.2 and 0.8 Gy. Thus, the low doses of neutrons exerted hormesis upon the growth of *C. morifolium* and the effect was manifested more markedly under a culture condition unfavorable to the growth than it was under a favorable one. We interpret the hormesis based on the hypothesis that cell death induced in the growing meristem tissue by neutrons stimulates proliferative activity of the healthy surviving cells.

\*1〒724 広島県東広島市鏡山1丁目1-2, 広島大学教育学部理科教育

\*2〒772 徳島県鳴門市鳴門町高島, 鳴門教育大学学校教育学部理科教育

\*3〒577 大阪府東大阪市小若江3丁目4-1, 近畿大学原子力研究所放射線生物

\*1Department of Science Education, Faculty of Education, Hiroshima University, Kagamiyama 1-1-2, Higashihiroshima, Hiroshima 724

\*2Department of Science Education, Naruto University of Education, Takashima, Naruto, Tokushima 772

\*3Laboratory of Radiation Biology, Atomic Energy Research Institute, Kinki University, Kowakae 3-4-1, Higashiosaka, Osaka 577, Japan

## はじめに

低線量の放射線照射は植物の成長を促進し、種子の発芽率を上昇させる。このような実験結果は数多く報告されている (Sax, 1963, Miller and Miller, 1987, 参照)。しかし、これらの結果は  $\gamma$  線や X 線などの低 LET 放射線を用いて得られたもので、速中性子などの高 LET 放射線も同様な効果を持つかどうかは不明であった。

1990年、私たちは、イエギクの花色変異を誘発する実験の過程で、低線量の核分裂中性子を照射した群の平均草丈が非照射対照よりも高いことに気付いた (池田他, 1991)。そこで、この現象が統計的に有意に再現されるかどうかを知るため、1991年と1993年に、同系統のイエギクを用いて実験を繰り返した。その結果、低線量の核分裂中性子はイエギクの伸長成長を有意に促進することが確認できた。本報告では、既報のデータ (池田他, 1991) を含めて、その実験的証拠を記載し、中性子のホルミシス効果のメカニズムを論ずる。

## 材料および方法

イエギク (*Chrysanthemum morifolium* Ram.) のスプレーグ品種セイローザ系統を用いた。セイローザは、1986年に育種された系統で、これを母系統として、 $\gamma$  線照射によって多数の色変わり突然変異系統が育成されている。本系統が  $\gamma$  線のみならず核分裂中性子に対しても感受性が高いことは、花色変異の誘発実験で確かめている (池田他, 1991)。

上記イエギクの挿し穂 (茎頂成長点を含んだ若い茎の先端部で、長さ約 6~7cm, 展開葉 3~5 枚を含む) を用意し、この挿し穂に、出力 1W で運転している近

畿大学原子炉 (UTR-KINKI) の核分裂中性子を 1~6 時間照射した。この照射における速中性子のヒト組織吸収線量率は 0.2 Gy/hr である (安測他, 1989)。1990年の実験では、比較のため、X線照射も行った。X線照射は近畿大学原子力研究所の日立メディコ社製 X線発生装置 (MBR 1505R) を 140 kV, 4mA で作動させ、1.0mm の Al フィルターをかけて、線量率 0.5 Gy/min で行った。

照射した挿し穂、および無照射 (対照) の挿し穂は、翌日、東広島市広島大学教育学部実験圃場に持ち帰り、十分に吸水させた後、真砂の上に 1~2cm の川砂を敷き詰めた挿し床に挿し芽した。その後、十分に灌水し、直射日光が当たらないように寒冷紗でシェードした。灌水は、1日1回表面の川砂が乾燥しない程度に噴霧器を用いて行った。挿し穂から19日目に、植物を苗箱から取り出して発根率を測定し、発根の見られた個体を 20cm 間隔で定値し露地栽培した。定植後 24日目に、すべての個体について茎の長さ (地面から茎頂の成長点までの長さ) を測定した。

定植にあたっては、各個体の環境を均一にするために、あらかじめ土壌を耕し攪拌した。定植当日には各個体に対して十分灌水し、それ以後晴天の日には毎日夕方に灌水し、乾燥に対する水管理を行った。しかし、野外であるために降水による過剰な水分に対する管理はできなかった。また、光、温度等の他の環境条件についても管理できなかった。したがって、同一年度内に実験した各個体は、ほぼ同一の環境条件にあったものとみなされるが、年度が異なる場合には環境条件が異なる。露地栽培時の生育環境を比較するために、実験圃場から北西 2.0 km 離れた広島県立農業技術センターにおける1990~1993年の気象観測データを手入手して露地栽培期間中の平均気温、総降水量、総日照時間を求めた (表 1)。

**Table 1** Records of the weather for 24 day after rooted cuttings of *Chrysanthemum morifolium* were planted out in a field of Hiroshima University (data obtained in Hiroshima Agriculture Research Center located 2 km north-west from the field)

Expt.	Period	Mean temperature (°C)	Total precipitation (mm)	Total time of sunshine (hr)
1990	29 May~22 June	20.4± 2.2	193	156.1
1991	4 June~28 June	21.2± 1.8	150	31.2
1993	14 June~ 8 July	21.5± 2.0	494	34.9

## 結果および考察

挿し芽後19日目（照射後20日目）の発根率を表2に示す。いずれの実験年においても、非照射対照区および核分裂中性子照射のすべての実験区において、90～

100%の高い発根率を示し、用いた線量の範囲内（0.2～1.2 Gy）で核分裂中性子の有意な照射効果は認められなかった。

定植後24日目（照射後44日目）の茎の高さの測定結果を表3にまとめた。図1には平均草丈を線量に対してプロットした。1990年の実験で、対照区を含む全て

**Table 2** Rooting rate of cuttings of *Chrysanthemum morifolium* irradiated with fission neutrons or X-rays as measured 19 days later after they were planted in nursery beds (on day 20 post-irradiation)

Expt.	Irradiation (Gy)	No. of cuttings irradiated	% Rooted
1990	Control	95	98
	Neutrons 0.2	269	92.9
	0.4	217	86.6
	0.8	168	91.7
	X-rays 4.5	111	97.3
	9.0	111	100
	13.5	119	87.4
1991	Control	149	100
	Neutrons 0.4	151	100
	0.8	150	100
	1.2	200	99.0
1993	Control	198	99.5
	Neutrons 0.2	201	97.5
	0.4	199	98.5
	0.8	200	98.0

**Table 3** Mean height of *Chrysanthemum morifolium* irradiated with fission neutrons or X-rays as measured on day 44 post-irradiation

Expt.	Irradiation (Gy)	No. of rooted cuttings	Mean height $\pm$ SD (mm)
1990	Control	93	169 $\pm$ 37
	Neutrons 0.2	249	175 $\pm$ 45
	0.4	188	177 $\pm$ 47
	0.8	152	137 $\pm$ 42 *
	X-rays 4.5	107	176 $\pm$ 31
	9.0	111	124 $\pm$ 42 *
	13.5	99	99 $\pm$ 38 *
1991	Control	150	234 $\pm$ 41
	Neutrons 0.4	146	248 $\pm$ 43 *
	0.8	147	235 $\pm$ 39
	1.2	191	217 $\pm$ 46 *
1993	Control	193	125 $\pm$ 44
	Neutrons 0.2	196	152 $\pm$ 42 *
	0.4	193	150 $\pm$ 43 *
	0.8	193	147 $\pm$ 33 *

\* Significant at  $p < 0.001$  from the control.

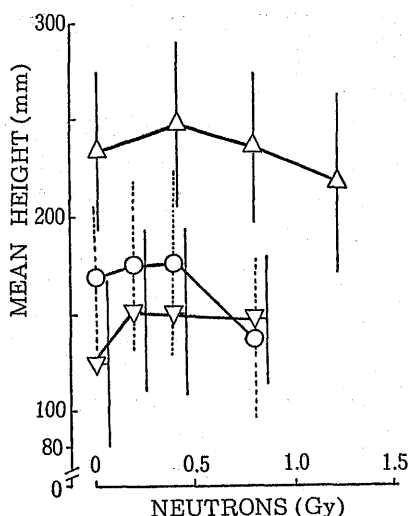


Fig. 1 Effects of fission neutrons on the growth of *Chrysanthemum morifolium*. Symbols ○, △ and ▽ represent data obtained in 1990, 1991, and 1993, respectively (see Table 1).

の実験区のなかで、平均草丈の最高値は 0.4 Gy 照射区で認められたが、対照区との差は有意ではなかった ( $0.1 < P < 0.3$ )。1991年の実験においても、最高値は 0.4 Gy 照射区で認められた。この場合、対照区の平均草丈との差は統計的に高度に有意であった ( $P < 0.001$ )。1993年の結果では、0.2, 0.4, 0.8 Gy のすべての照射区で、対照区と比べて有意に高い平均草丈が記録された (いずれも  $P < 0.001$ , 表 3)。これらの結果より、低線量核分裂中性子はイエギクの伸長成長にホルミシス効果を及ぼすと結論する。

対照区に対する相対的草丈は 1990年の 0.4 Gy 照射区で 1.05, 1991年の 0.4 Gy 照射区で 1.06 であるのに対して、1993年の実験では、0.2, 0.4, 0.8 Gy のいずれの照射区でも相対草丈が 1.2 となり、成長促進が比較的顕著に現れた。但し、対照区の平均草丈はこの年の実験で最も低かった (図 1)。これは 1993年の実験における定植後の栽培条件が最も悪かったことを示す。事実、この年の定植から草丈測定までの降雨量は他の実験と比べて顕著に多く (表 1)、茎の高さを測定する時点において、対照区の植物は葉が巻き込んで色が悪く、根腐れの初期症状が観察された。照射区では、葉の色はよくないものの、葉の巻き込みは見られなかった。また、草丈測定後、対照区の植物は枯死するものがかなりみられたが、照射区では枯死はわずかで、10月の開花時点までの生存率は、対照区で 70

%であったのに対して、0.2, 0.4, 0.8 Gy の照射区の生存率は、それぞれ、95%, 97%, 96%であった。1991年の開花までの生存率は対照区で 95%, 0.4, 1.8, 1.2 Gy の照射区で、それぞれ、91%, 89%, 93%で、このような顕著な差は認められなかった。従って、1993年の実験でホルミシス効果が比較的顕著に現れたのは、低線量中性子の照射を受けた植物体が根腐れに対する抵抗性を獲得した結果と解釈できる。

上記の実験結果を次のモデルで説明する。中性子のホルミシス効果は、分裂組織において誘発された少数の細胞死が、まわりの健全細胞の代謝活性を上昇させた結果である。代謝活性の上昇は、健全細胞の分裂増殖を促進すると同時に根腐れのような組織障害に対する抵抗性をもたらす。健全細胞の分裂が、細胞死による細胞欠損を埋める以上に活性化されると、対照以上に草丈が伸長する。健全細胞の分裂による細胞新生が埋めることができる限度以上に細胞死が誘発されると、逆に、成長抑制が起きる。中性子照射による有意な成長抑制は、1990年の実験では 0.8 Gy 照射区で、1991年の実験では 1.2 Gy 照射区で観察された (図 1)。

成長促進の原因は、成長抑制の原因と同様に、細胞死にあるというアイデアは次の 2 組のデータに基づく。1) 図 2 は 1990年の実験で得られた中性子照射と X 線照射の結果を、横軸の中性子線量、あるいは中性子線量の 10 倍で設定した X 線量に対してプロットしたものである。図中の中性子線量・平均草丈関係の曲線

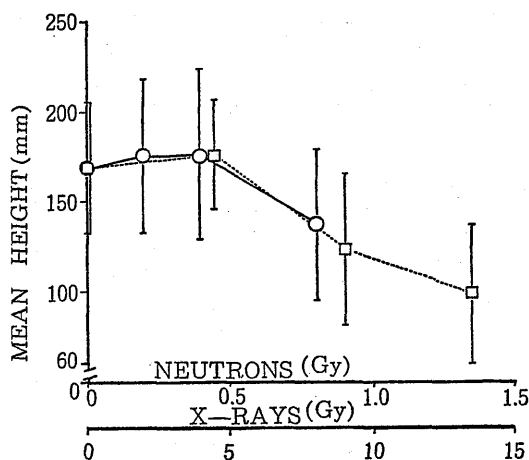


Fig. 2 Comparative effects of fission neutrons (○) and X-rays (□) on the growth of *Chrysanthemum morifolium* (data obtained in 1990, see Table 1)

はX線量・平均草丈関係の曲線とほぼ重なりあっている。これは、同程度の成長促進に必要な中性子の線量も、同程度の成長抑制に必要な中性子の線量も、X線の線量の約1/10であることを示唆している。即ち、この図のデータは、成長促進と成長抑制に関する中性子のRBEはともに約10で、これらの相反する現象が共通の原因によることを教える。2) このRBE値は、ソラメ根端細胞とショウジョウバエ体細胞における細胞致死性の染色体異常の誘発に関して得られた値(藤川他, 未発表データ)とほぼ一致する。

以上、放射線による体細胞突然変異誘発に高い感受性を示すセイローザ系統のイエギクの成長に対して低線量中性子がホルミシス効果を及ぼした証拠を記載し、その機構を論じた。今後の研究において、放射線感受性の異なる別系統のイエギクや他種の植物でも同様な効果がみられるかどうかを明らかにし、高LET放射線のホルミシス効果の発現条件を検討したい。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり、精興園より大量のイエギク

挿し穂の提供を受けた。広島県立農業技術センター企画情報部からは気象観測データの提供を受けた。記して深謝する。

#### 引用文献

- 池田秀雄, 渡辺重義, 脇屋祥子, 近藤宗平, 伊藤哲夫, 森本幸弘, 1991. 核分裂中性子線またはX線の照射を受けたイエギク *Chrysanthemum morifolium* Ram. における花色変異体の出現様相. 近畿大学原子力研究所年報. 28: 9-18.
- Miller, M.W and W.M. Miller, 1987. Radiation hormesis in plants. *Health Physics*, 52(5): 607-616.
- Sax, K., 1963. The stimulation of plant growth by ionizing radiation. *Radiation Botany*, 3: 179-186.
- 安淵四郎, 星 正治, 伊藤哲夫, 久永小枝美, 丹羽建夫, 三木良太, 近藤宗平, 1989. プラスチック飛跡検出器 TS 16 N による極低出力原子炉内速中性子のドシメトリ. *Radioisotopes*, 38: 359-365.