

秋白輪ギク有望系統「111」の育成とジベレリン処理の効果および シンクロトロン放射光照射による茎長伸長性変異系統の特性

白石和弥*・巢山拓郎・村井かほり・瀬戸山修仁・安永智希・近藤孝治¹⁾・國武利浩²⁾・中村知佐子³⁾

交雑育種により育成した秋白輪ギク系統「111」は、草姿および頭花のボリューム感が優れ、無側枝性および低温管理下で開花が遅延しない有用特性を有する。しかし、茎長の伸長性が主力品種「神馬」に劣るため、ジベレリン処理による茎長伸長効果を検討した結果、茎長の伸長効果は認められるものの「111」に対する効果は十分でなかった。また、「111」の茎長の伸長性を向上させるために、シンクロトロン放射光照射による変異誘発を試みた。茎長が対照の「111」の平均茎長より11%以上長い90株(9.6%)を984株から一次選抜し、最終的に選抜した「111-9」の茎長は、対照の「111」より18~27cm長かった。しかし、「111-9」の茎長は、「神馬」と比較して、11月および2月開花作型で5cm短かった。2月開花作型における収穫までの日数は「神馬」より5日短く、低温管理下で開花が遅れない特性を有すると考えられた。一方、摘芽数は「111」より多く、「神馬」と同等であったことから、無側枝性は消失したと考えられ、「111」の二つの有用特性を併せ持つ茎長伸長性変異系統は得られなかった。しかし、ジベレリン処理では得られない茎長伸長性を示す複数の変異体が認められたことから、シンクロトロン放射光はキクの茎長の伸長性向上を目指す育種に有効であると考えられた。

[キーワード：育種，茎長，キク，シンクロトロン放射光，突然変異]

Growth of Elite Autumn-White Standard Type Chrysanthemum Line '111', Effect of Gibberellin Treatment and Characteristics of Stem Elongation Mutant Line irradiated Synchrotron Radiation. SHIRAIISHI Kazuya, Takuro SUYAMA, Kahori MURAI, Shuji SETOYAMA, Tomoki YASUNAGA, Koji KONDO, Toshihiro KUNITAKE and Chisako NAKAMURA (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 7: 53-59 (2021)

Chrysanthemum elite line '111', raised by crossbreeding, exhibits two desirable traits: poor lateral bud outgrowth and flowering under low temperature. However, stem elongation of '111' is inferior to that of the popular cultivar 'Jimba'. Foliar application of gibberellin has a positive but still inadequate effect on stem elongation of '111'. We irradiated cuttings of '111' with synchrotron radiation to generate mutants with improved stem elongation. Ninety plants (9.6%) were selected from among 984 plants for primary selection, among which the stem length of '111-9' was increased by 18-27 cm. Thus, synchrotron-radiation irradiation was effective in improving stem length. Compared with 'Jimba', the stem length of '111-9' was 5 cm shorter and the time to harvest in February was reduced by 5 days. Thus, '111-9' showed no delay under low temperature. However, the number of axillary shoots removed in '111-9' was higher than that of '111', which implied that the non-branching trait of '111' was lost. No irradiated lines retained both desirable traits of '111'. However, this study suggested that synchrotron-radiation irradiation was an effective means to generate mutant lines with elongated stems since the extent of elongation in some mutant lines was extremely larger than that of '111' treated gibberellin.

[Key words: breeding, chrysanthemum, mutation, stem length, synchrotron radiation]

緒言

本県におけるキクは、2017年度の栽培面積が242ha、産出額が43億円であり、花き類において最も重要な品目である(福岡県2018)。栽培の主体は秋白輪ギクである。輪ギクの生産において、側枝の摘芽作業は全労働時間の20%を占める作業で、多大な労力を要する(石川2011a)。また、低温管理下で開花が遅延しないことは暖房コスト削減の観点から重要とされる(石川2011a)。主力品種の「神馬」は、立葉の草姿で茎長の伸長性が優れるものの、側枝の発生が多く、低温管理下で開花が遅れる欠点があるため、これに替わる品種の育成が求められている。

そこで側枝の発生が少なく、低温管理下で開花が遅れないことを育種目標とし交雑育種に取り組み、系統「111」を育成した(第1図)。「111」は育種目標を達成してい

るものの、茎長の伸長性が「神馬」に劣る欠点がある。茎長を長くする手法として、ジベレリン処理が知られており(田中1993)、現地では茎長が短い品種に対する伸長性の促進策として実施されている。

また、特定の形質を改良する手法として、ガンマ線やイオンビームを利用した突然変異育種法がある。2000年以降の花きの突然変異育種では、イオンビームを利用した事例が複数あり(Hamatani *et al.* 2001, 永富ら2003, Okamura *et al.* 2004, 玉木ら2017)、キクに関しては、照射により開花期や摘芽数が変異したこと(Ueno *et al.* 2003)、茎長が短い個体や開花期が遅くなった個体が多く出現したこと(池上ら2005, 2006)、無側枝性の強い個体の出現割合が低かったこと(上野ら2013)などが報告されている。近年では、紫外線からX線までの幅広い波長範囲を持つシンクロトロン放射光を変異誘発に利用し

*連絡責任者(苗木・花き部:shiraiishi-k3228@pref.fukuoka.lg.jp)

受付2020年7月20日;受理2020年10月16日

1) 福岡県農林水産部園芸振興課

2) 福岡県農林水産部経営技術支援課

3) 福岡県筑後農林事務所八女普及指導センター

た事例が報告されており（西ら 2012a, 2012b, 坂本ら 2013, 阿部ら 2014）, 当场においても, 保有する輪ギク系統へシンクロトロン放射光を照射し, 花色や茎長伸長性の変異系統を複数獲得している（未発表）。従って, 「111」の茎長伸長性の向上に関して, シンクロトロン放射光が利用できると考えられる。

そこで, 本研究では, 系統「111」の育成経過とともにジベレリン処理の効果も含めた特性について複数作型で評価した結果を報告する。さらに, 「111」へのシンクロトロン放射光照射により茎長伸長性に変異した選抜系統の特性について報告する。

材料および方法

1 実験の栽培概要

3つの実験を行い, 各実験の栽培概要を第1表に示した。各実験の対照区には, 特に示さない限り, 福岡県内で主力品種として栽培されており, 伸長性評価の目安となる「神馬」を用いた。以下にすべての実験の共通事項を示した。供試株を13.5cm角5マスネットの中央1条を除く4条に1マス2株ずつ定植し, 無摘心で栽培した。定植日と同日にロングトータル花き1号100日タイプ(N:P₂O₅:K₂O=13:14:8)を窒素成分量で12kg/10aとなるように施肥した。アグリランプ(型式:FR-MP, 消費電力9W, 株式会社ディーマーケット)を用い, 深夜4時間(22:00~2:00)の暗期中断で電照した。栽培期間中の換気は25℃以上で実施した。最外花卉が水平になったとき調査した。茎長は切り口から花首先端までの長さとした。



第1図 「111(左)」と「神馬(右)」

2 系統「111」の育成経過と低温管理下における切り花特性およびジベレリン処理による茎長伸長(実験1)

「神馬」より側枝数が少なく, 低温管理下で開花が遅れないことを育種目標として, 2013年度冬に「神馬」, 「雪姫」, 「桃麗」等の輪ギク品種・系統を用いて人工交雑および自然交雑を行った。一次選抜は, 採種した2237粒の種子を用いて2014年11月開花作型で実施し, 花色が白で側枝の発生が少ない個体を13系統選抜した。二次選抜は, 2015年11月, 2016年3月および12月, 2017年3~4月開花作型で実施した。3~4月開花作型では, 「111」の低温管理下における収穫までの日数および切り花形質を確認するために, 消灯から4週間の夜間最低気温を15℃, それ以外の期間を10℃で管理した(第1表)。

ジベレリン処理が「111」の茎長の伸長性に及ぼす影響を明らかにするために, 「111」および対照品種「神馬」を2018年11, 12月および2019年5月開花作型で1区あたり40株供試し, 2~3反復で栽培試験を実施した。50および100ppmに調整したジベレリン水溶液および無処理区として水を定植1週間後および3週間後に株上位の葉面から滴り落ちる程度に茎葉散布した。収穫までの日数および切り花形質を調査した。

3 シンクロトロン放射光照射による「111」の茎長伸長性の変異誘発および変異株の一次選抜(実験2)

場内で栽培している「111」の親株から2018年6月18日に採種し, 下位節に展開葉を1枚のみ残して, 茎頂部の未展開葉も含め残りの葉を除去した。長さ5~10cmに調整した穂を10本ずつ輪ゴムで結束し, 湿らせたキムタオルを敷いた幅31cm, 高さ7cm, 奥行き5cm(外径)の亚克力容器内に成長点の高さを揃えて配置した。容器全体をビニール袋で覆い, シンクロトロン放射光照射まで3℃の冷蔵庫内に三波長形昼白色蛍光灯(型式:FHF32EX-N-HX, 消費電力32W, NECライティング株式会社)を用いて12時間日長で保管した。6月21日に佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター(The SAGA Light Source)のビームライン09にて, 586本の挿し穂の成長点にピーク強度4keVのシンクロトロン放射光を吸収線量11Gyで照射した。照射終了後, 場内のミスト室内に挿し芽した。

7月17日に発根苗を鉄骨硬質フィルムハウスに親株として定植し, 区分キメラ解消を目的とした摘心を8月に株あたり2~3回行った。その後伸長した側枝984本より採種後, 穂長約7cmに調整した。以後の管理は第1表

第1表 各実験の栽培概要

作型	実験1			実験2		実験3	
	低温管理下 3~4月	11月	GA処理の実験 12月	5月	2~3月	11月	2月
挿し芽		2018年8月2日	2018年8月29日		2018年10月12日	2019年7月24日	2019年9月24日
定植	2016年11月29日 (直挿し)	8月17日	9月12日	2019年2月5日 (直挿し)	11月9日	8月8日	10月11日
消灯	2月6日	10月1日	10月31日	4月3日	1月8日	9月25日	12月4日
温度管理	11月29日~2月5日まで最低10℃ 2月6日~3月5日まで最低15℃ 3月6日以降最低10℃	無加温	最低15℃加温	最低15℃加温	10月12日~1月8日まで最低12℃ 1月9日~1月31日まで最低15℃ 2月1日以降最低17℃	無加温	11月5日~12月12日まで最低12℃ 12月13日~12月27日まで最低15℃ 12月28日以降最低13℃

のとおりとした。対照区には無照射の「111」を用いた。2月下旬から3月に株元10cmを残して収穫し、茎長を調査した。茎長の伸長程度別に出現株数の割合を算出し、茎長の伸長性が向上した系統を一次選抜した。

4 茎長伸長性選抜系統と収穫までの日数および切り花形質 (実験 3)

茎長の伸長性が優れる系統を選抜するために、2018年度に一次選抜した10系統を2019年11月および2020年2月開花作型で供試し、栽培試験を実施した(第1表)。対照区には無照射の「111」と「神馬」を用いた。尚、選抜した10系統を増殖するため、実験2で収穫調査後の切り下株を2019年4月2日に6号鉢に鉢上げした。鉢上げ後に伸長した側枝を採穂後、挿し芽を行い、5月31日に発根苗を親株としてパイプハウスに定植した。上記の親株の側枝を採穂し、栽培試験に供試した。

11月開花作型では、反復を設けず、各選抜系統を32~64株、対照区の「111」を56株、「神馬」を40株栽培した。供試したすべての株の茎長を調査した。

2月開花作型では、各選抜系統を1区あたり32~56

株、対照品種・系統を1区あたり48株で3反復栽培した。1区あたり24株ずつ茎長を調査した。

両作型において対照区の「111」と比較して茎長が長い系統を茎長の伸長性が向上した系統とし、その中で最も茎長が長い系統を選抜し、この系統の収穫までの日数および切り花形質を調査した。

結 果

1 系統「111」の育成経過と低温管理下における切り花特性およびジベレリン処理による茎長伸長 (実験 1)

第2表に「111」の3~4月開花作型における収穫までの日数および切り花形質を示した。「111」と「神馬」の葉数には差が認められなかったが、他の形質では差が認められた。「111」の茎長は99cmで「神馬」と比較して15cm短く、茎葉重は15g軽く、摘芽数は5個少なかった。柳葉数は1.3枚少なく、花首長は3.4cm短かった。花径は0.9cm大きく、舌状花は32枚多かった。筒状花は35枚少なかった。収穫までの日数は14日短かった。

ジベレリン処理が「111」の切り花形質に及ぼす影響を

第2表 「111」の3~4月開花作型における収穫までの日数および切り花形質

品種・系統名	収穫までの日数 ¹⁾ (日)	茎長 (cm)	葉数 (枚)	摘芽数 (個)	茎葉重 (g)	柳葉数 (枚)	花首長 (cm)	花径 (cm)	小花数	
									舌状花	筒状花
111	118	99	47	10	67	0.2	1.1	15.1	250	33
神馬	132	114	48	15	82	1.5	4.5	14.0	218	68
t検定 ²⁾		***	n. s.	***	*	***	***	***	*	*

1) 試験区の7割の株が収穫期に達するのに要した日数

2) t検定により、***: 0.1%, *: 5%水準で有意差あり, n. s.: 有意差なし

第3表 ジベレリン処理が「111」の切り花形質に及ぼす影響

作型 (開花期)	品種・系統名	GA処理	茎長 (cm)	葉数 (枚)	摘芽数 (個)
2018年11月	111	50 ppm	89 bc ²⁾	54 bc	15 b
		100ppm	90 b	55 ab	16 b
		無し	88 c	51 c	13 b
	神馬	無し	111 a	56 a	25 a
	分散分析 ¹⁾		**	**	**
2018年12月	111	50 ppm	99 b	56 a	13 b
		100ppm	99 b	55 a	12 b
		無し	95 c	53 bc	14 b
	神馬	無し	110 a	54 ab	23 a
	分散分析		**	**	**
2019年5月	111	50 ppm	100 b	58 a	30
		100ppm	102 b	57 a	27
		無し	94 c	54 b	31
	神馬	無し	110 a	52 c	30
	分散分析		**	**	n. s.

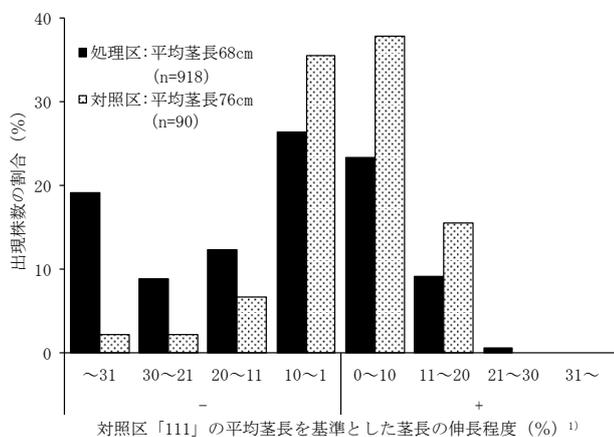
1) 一元配置分散分析により、**：1%で有意差あり, n. s.: 有意差なし

2) tukeyの多重比較により、同列異文字間に5%で有意差あり

第 3 表に示した。ジベレリン 100ppm 処理区の茎長は、いずれの作型においても無処理区の「111」と比較して 2～8cm 長かった。但し、「神馬」と比較すると、100ppm 処理区の茎長は 8～21cm 短かった。100ppm 処理区の葉数は、いずれの作型においても無処理区の「111」と比較して 2～4 枚多かった。ジベレリン処理区と無処理区の「111」との差は、いずれの作型においても摘芽数およびその他の形質では認められなかった(一部データ略)。尚、無処理区の「111」の茎長はいずれの作型においても「神馬」より 15～23 cm 短かった。また、11 月および 12 月開花作型における無処理区の「111」の摘芽数は、「神馬」の 23～25 個に対して、13～14 個で 9～12 個少なかったが、5 月開花作型では差は認められなかった。

2 シンクロトロン放射光照射による「111」の茎長伸長性の変異誘発および変異株の一次選抜(実験 2)

「111」へのシンクロトロン放射光照射によって得られた株の茎長の伸長程度別の出現株数の割合を、対照区の平均茎長 76cm を基準として第 2 図に示した。対照区では、基準から前後 10%の茎長を示した株は 73% (66 株)、31%以上短い株は 2% (2 株)、21%以上長い株はなかった。これに対し、処理区では基準から前後 10%の茎長を示した株は 46% (456 株)、31%以上短い株は 18% (176 株)、21%以上長い株は 0.6% (6 株) 出現した。処理区では全体的に茎長が短い株が多かったが、長い株も出現した。基準から茎長が 11%以上長い合計 90 株 (9%) の中から上位 10 株を一次選抜し、系統番号 1～10 を付与した(データ略)。



第 2 図 シンクロトロン放射光照射が「111」の茎長に与える影響

- 1) 対照区「111」の平均茎長を 0% として、-: 平均茎長より短かったことを、+: 平均茎長より長かったことを示す

3 茎長伸長性選抜系統と収穫までの日数および切り花形質(実験 3)

第 4 表に供試した 10 系統の 11 月および 2 月開花作型における茎長を示した。対照区の「111」より茎長が長い

系統は 111-1, 3, 9, 10 の 4 系統であった。これらの茎長は、11 月開花作型では、「111」の 68cm に対し 6～27cm 長く、2 月開花作型では「111」の 84cm に対し 8～18cm 長かった。両作型で茎長が最も長かった「111-9」を選抜した。

「111-9」の 11 月および 2 月開花作型における収穫までの日数および切り花形質を第 5 表に示した。11 月開花作型において、「111-9」の茎長は 95cm で「111」より 27cm 長く、葉数は 8 枚多く、茎葉重は 28g 重かった。摘芽数は 41 個で 16 個多かった。収穫までの日数に差は認められなかった。11 月開花作型における「111-9」の茎長は「神馬」の 100cm より 5 cm 短かった。

2 月開花作型において、「111-9」の茎長は 102cm で「111」より 18cm 長く、葉数は 7 枚多く、茎葉重は 9g 重かった。摘芽数は 20 個と 10 個多く、舌状花および筒状花は 16 枚少なかった。収穫までの日数は 102 日で 1 日短かった。2 月開花作型における「111-9」の茎長は「神馬」の 107cm より 5 cm 短かった。

第 4 表 一次選抜系統の 11 月および 2 月開花作型における茎長

品種・系統名	茎長	
	11 月	2 月
	(cm)	
111-1	82 b ²⁾	97 c
-2	67 f	83 g
-3	74 cd	97 c
-4	49 g	73 h
-5	72 de	91 d
-6	70 def	87 ef
-7	69 def	86 ef
-8	70 def	88 e
-9	95 a	102 b
-10	79 bc	92 d
111	68 ef	84 fg
神馬	100 a	107 a
分散分析 ¹⁾	***	***

- 1) 一元配置分散分析により、***: 0.1% で有意差あり
2) holm の多重比較により、同列異文字間に 5% で有意差あり

考 察

「111」は、花色が純白で草姿は立葉であり、3～4 月開花作型において、「神馬」と比較して柳葉数は少なく、花首長は短かった。また、花径が大きく、舌状花が多いため、頭花のボリューム感が優れている。「111」の収穫までの日数は、消灯から 4 週間の夜間最低気温を 15℃、それ以外の期間を 10℃の低温管理下で栽培した結果、「神馬」より 14 日早かった(第 2 表)。このことから、「111」は低温管理下で開花が遅れない特性を持つと考えられる。

無側枝性の評価は、栽培期間が高温となる 11, 12 月開花作型で行うことが好ましい(今給黎ら 2006)。今給黎ら(2006)は、12 月開花作型における摘芽数が「神馬 2 号」(「神馬」と同等の切り花形質を有し、低温管理下で

第5表 茎長伸長性変異系統「111-9」の11月および2月開花作型における収穫までの日数および切り花形質

作型 (開花期)	品種・系統名	収穫までの 日数 (日)	茎長 ¹⁾ (cm)	葉数 (枚)	摘芽数 ²⁾ (個)	茎葉重 (g)	小花数	
							舌状花 (枚)	筒状花 (枚)
11月	111-9	90 c ⁴⁾	95 b	58 a	41 a	83 a	-	-
	111	91 b	68 c	50 b	25 b	55 b	-	-
	神馬	92 a	100 a	57 a	39 a	69 ab	-	-
	分散分析 ³⁾	**	***	***	***	***	-	-
2月	111-9	102 c	102 b	54 a	20 b	63 a	204 b	18 c
	111	103 b	84 c	47 c	10 c	54 b	220 a	34 b
	神馬	107 a	107 a	50 b	27 a	62 a	204 b	49 a
	分散分析	***	***	***	***	**	***	***

1) 11月開花作型では株元10cmを残して収穫，2月開花作型では地際部より収穫

2) 収穫調査までに摘芽した芽の合計値

3) 一元配置分散分析により，***: 0.1%，**：1%で有意差あり

4) tukeyの多重比較により，同列異文字間に5%で有意差あり

「神馬」より早く開花する系統)の56%だった系統を，無側枝性を持つ系統として選抜している。従って，11，12月開花作型における摘芽数が，「神馬」の約60%程度であれば無側枝性系統として実用性があると考えられる。

「111」の11，12月開花作型における摘芽数は約14個で，「神馬」の約24個に対しておよそ60%であった(第3表)。このように「神馬」の摘芽数に対する「111」の摘芽数の割合は，今給黎ら(2006)が報告している無側枝性系統とほとんど差がなかったため，「111」は無側枝性を有すると考えられる。尚，「111」の無側枝性は，腋芽の消失ではなく，腋芽が伸長しないことに起因している(近藤ら 2019)。一般的に，無側枝性は高温遭遇による腋芽の消失に起因しており，無側枝性の強い品種では夏秋季の挿し穂増殖が困難になる(松野ら 2013，上野ら 2013)。一方，「111」の腋芽は，栽培期間が高温となる11月開花作型で消失しない(近藤ら 2019)。増殖の観点からも，「111」の無側枝性は優れた特性であると考えられる。以上のことから，「111」は育種目標を達成した系統で，秋冬季開花作型におけるキク生産において，「神馬」より省力的で低温管理が可能な系統である。

しかし，「111」の茎長はいずれの作型においても「神馬」と比較して15cm以上短かった(第2表，第3表)。「神馬」では収穫時の茎長90cmを確保するために，電照を行う栄養成長期間を50日程度としている。茎長確保のための栄養成長期間の延長は在圃期間の延長につながり，年間の作付け回数を確保することが難しくなる。また，冬季の栽培では暖房コストの増加を招き，収益性の低下が懸念される。

茎長を長くする手法には，栽培管理上の対応策として生育時のジベレリン処理，遺伝的形質の改善策として突然変異育種法がある。ジベレリン処理に関しては，実際に現地で茎長が短い品種に対して行われている(石川 2011b)。本実験では，50および100ppmに調整したジベ

レリン水溶液を定植1週間後および3週間後に茎葉散布した結果，茎長はいずれの作型においても100ppm処理で無処理より長くなった。但し，その差は2~8cmで，茎長伸長性の目標とする品種「神馬」の茎長よりも8~21cm短かった。従って，50および100ppmのジベレリン処理は，茎長の伸長効果が認められるものの，「111」に対する効果は十分でないことが明らかとなった(第3表)。

一方で，シンクロトロン放射光を利用した突然変異育種により「111」の茎長の伸長性が向上した系統の獲得を目指した。

本実験では，対照の「111」の平均茎長を基準として，基準から11~20%および21~30%の範囲で長い系統群から茎長が長い上位10系統を一次選抜し，さらに「111」より茎長が長い4系統を得た(第4表)。イオンビーム照射に関して，茎長は短くなる方向へ変異しやすいとされ(池上ら 2006)，照射により茎長が長くなった系統を得たという報告はない。本実験においても，シンクロトロン放射光照射により茎長が短くなった系統が多く出現したが，一方で，茎長が長くなった系統も得られた(第2図)。このことは，シンクロトロン放射光照射は茎長の伸長性を向上させる変異を誘発できることを示している。

最終的に選抜した「111-9」の茎長は11月および2月開花作型において「神馬」より5cm短かったが(第5表)，100ppmジベレリン処理と組み合わせることで「神馬」と同等の茎長を確保できる可能性が示唆された。また，「111-9」の収穫までの日数は両作型において「111」および「神馬」より短かった。特に栽培期間が低温となる2月開花作型では，「神馬」より5日短かった。従って，「111-9」は低温管理下で開花が遅れない有用特性を保持していると考えられた。ところが，「111-9」の摘芽数は，両作型で「111」より多かった。また，「神馬」と比較して，2月開花作型では少なかったものの，無側枝性の評価において重要な11月開花作型では「神馬」の39個に対して

41 個 (105%) で、「神馬」と差が認められなかった (第 5 表)。従って、「111-9」は「111」の無側枝性という有用性を保持していないと考えられた。特定の形質を段階的に改良した事例として、上野ら (2013) は、キク葉片へイオンビームを再照射し、育種目標に合わせて無側枝性を段階的に改良したことを報告している。一方、紫外線から X 線までの波長範囲を持つシンクロトロン放射光を再照射した事例はない。シンクロトロン放射光の持つ波長範囲のうち、変異原として主に有効な波長範囲は、突然変異育種に X 線が利用されてきたこと (山口 1997) を考慮すれば、X 線の波長範囲であると推測される。イオンビームと X 線やガンマ線のもっとも大きな違いは、放射線が軌跡に沿って物質に与えるエネルギーの大きさ、すなわち LET (線エネルギー付与) である (阿部・平野 2013)。この LET の違いは、変異誘発の作用範囲にも影響を及ぼすと考えられている (阿部ら 2012)。X 線やガンマ線のような低 LET 放射線では照射により二次的に発生したラジカルが細胞核全体に広がり化学反応で DNA 一本鎖を切断するため、遺伝子上の全領域が影響を受ける。一方、イオンビームのような高 LET 放射線では、イオンの飛程に沿って高密度の電離領域を形成し、局所的に密な DNA 損傷を誘発する (阿部ら 2012, 阿部・平野 2013)。これらのことから、シンクロトロン放射光はイオンビームと異なり、ゲノムの様々な位置に変異を誘発する可能性が高い。シンクロトロン放射光の再照射は、イオンビームと比べてゲノム中に誘発される変異により生存率が低下する可能性が高いと推測される。また、半田 (2017) はコムギを例に、倍数性作物の遺伝子領域は遺伝子の持つ機能を維持するための保存性が高いこと、田中ら (2019) は、倍数性作物では遺伝子に変異が起きたとしても、同祖染色体の遺伝子による補償作用により表現型に現れにくいこと、柴田 (2017) は、栽培ギクは同質六倍体であることを述べている。以上の可能性と知見を考慮すると、特定の形質のみを改良するには、より LET の高い線種を利用する必要があると考えられる。従って、「111-9」の摘芽数に関して、イオンビーム照射による改良の余地があると考えられた。加えて、前述の理由から、栽培ギクのような高次倍数性作物の特定の形質の改良には、基本的にはイオンビームの方が適していると考えられる。尚、本研究の結果から、茎長の伸長性向上を目指す場合にはシンクロトロン放射光が利用できると考えられる。

以上のことから、交雑により育成した「111」は無側枝性および低温管理下で開花が遅れない有用特性を持つが、ジベレリンを処理しても茎長が「神馬」に劣ること、シンクロトロン放射光照射による茎長伸長性選抜系統「111-9」は低温管理が可能であるが、茎長は「神馬」より短く、無側枝性が消失していることが明らかとなった。

今後、秋白輪ギクの品種育成における突然変異育種では、シンクロトロン放射光照射により茎長が伸長した「111-9」等の系統にイオンビーム照射を行い、無側枝性を示す変異系統作出を目指す方向性が考えられる。また、交雑育種においては、無側枝性および低温管理下で開花が遅れない有用特性を有する「111」を交配母本として、

茎長の伸長性が優れる系統と交雑を行い、後代から有望系統を選抜していく必要があると考えられる。

引用文献

- 阿部知子・平野智也・風間裕介 (2012) 重イオンビームによる品種改良法の開発から遺伝子機能解明へ (交流). 日本物理学会誌 67 : 680-684.
- 阿部知子・平野智也 (2013) 突然変異 (イオンビーム) 育種. 農業技術大系 花卉編. 農山漁村文化協会, 東京. 第 5 巻. p124 の 2-12.
- 阿部知子・風間裕介・西 美友紀・永吉実孝 (2014) 九州ブランドを世界に！—突然変異育種の挑戦—. 育種学研究 16 : 67-71.
- 福岡県 (2018) 第 5 章付属統計・資料-II 主要品目の生産動向. 福岡県農林水産業・農山漁村の動向. p5-13.
- Hamatani M, Itsuka Y, Abe T, Miyoshi K, Yamamoto M and Yoshida S (2001) Mutant flowers of dahlia (*Dahlia pinnata* cav.) induced by heavy-ion beams. RIKEN Accel. Prog. Rep. 34 : 169-170.
- 半田裕一 (2017) コムギのゲノムを読む-ゲノム研究はコムギ研究とともに始まった-. 化学と生物. Vol. 55. No. 2 : 105-112.
- 池上秀利・國武利浩・平島敬太・坂井康弘・中原隆夫・長谷純宏・鹿園直哉・田中 淳 (2005) キクのプロトプラストへのイオンビーム照射による突然変異誘発. 福岡農総試研報 24 : 5-9.
- 池上秀利・巢山拓郎・國武利浩・黒柳直彦・松野孝敏・平島敬太・谷川孝弘・坂井康弘・長谷純宏・田中 淳・中原隆夫 (2006) イオンビーム照射による秋ギク「神馬」の突然変異誘発と新系統「JCH1029」の育成. 福岡農総試研報 25 : 47-52.
- 今給黎征郎・永吉実孝・郡山啓作・上野敬一郎 (2006) 無側枝性輪ギク「新神」の育成. 鹿児島農試研報 34 : 15-19.
- 石川高史 (2011a) キクの作型の特徴とコスト削減対策. キクを作りこなす. 大石一史. 農文協, 東京, p. 23-40.
- 石川高史 (2011b) 成長調整剤の処理法. キクを作りこなす. 大石一史. 農文協, 東京, p. 146-151.
- 近藤孝治・中村知佐子・巢山拓郎・國武利浩・村井かほり (2019) 輪ギクにおける腋芽発生様相の品種・系統間差と作型に応じた変化. 園学研 18 (別 1) : 210.
- 松野孝敏・坂井康弘・黒柳直彦・谷川孝弘・巢山拓郎・國武利浩・中村知佐子・佐伯一直・中村新一 (2013) 秋ギク「雪姫」の育成と生育開花特性. 福岡農総試研報 32 : 63-69.
- 永富成紀・渡辺 宏・田中 淳・山口博康・出花幸之助・森下敏和 (2003) イオンビームによるキク突然変異 6 品種の育成. 放育場テクニカルニュース. 65.
- 西 美友紀・石地耕太郎・木下剛仁・中島寿亀・伊藤寛史・岡和彦 (2012a) シンクロトロン放射光照射によるイチゴ「さがほのか」の突然変異体作出. 園学研 11 (別

- 1) : 114.
- 西 美友紀・石地耕太郎・伊藤寛史・阿部知子・岡和彦 (2012b) シンクロトロン放射光および重イオンビーム照射したイチゴ‘さがほのか’における突然変異率の比較. 園学研 11(別 2) : 179.
- Okamura M, Yasuno N, Takano M, Tanaka A and Hase Y (2004) Mutation generation and the development of new varieties in ornamentals by ion beam breeding. TIARA Annal Report. 2003 : 51-52.
- 坂本健一郎・高取由佳・千綿龍志(2013) シンクロトロン放射光を用いた効率的な突然変異育種法の開発と実用形質を有するスプレーギクの育成. 九州シンクロトロン放射光研究センター年報(2013) : 24-25.
- 柴田道夫(2017) キクの原産地と野生種. 農業技術大系 花卉編. 農山漁村文化協会, 東京. 第 6 巻 : 11-16.
- 玉木克知・山中正仁・林 依子・阿部知子・小山佳彦(2017) キクの品種特性が炭素イオンビーム照射による花色突然変異体の出現に及ぼす影響. 園学研 16:117-123.
- 田中 宏(1993) 生長調節物質の利用. 農業技術大系 花卉編. 農山漁村文化協会, 東京. 第 1 巻 : 271-273.
- 田中 剛・磯部祥子・門田有希・石川吾郎・瀬々 潤(2019) 倍数性作物における NGS 利用. 育種学研究 21 巻 1 号 : 55-60.
- Ueno K, Nagayoshi S, Hase Y, Shikazono N and Tanaka A (2003) Effects of Ion Beam Irradiation on the Mutation Induction from Crysanthemum Leaf Disc Culture. TIARA Annual Report. 2002 : 52-54.
- 上野敬一郎・永吉実孝・今給黎征郎・郡山啓作・南 公宗・田中 淳・長谷純宏・松本敏一(2013) イオンビームの再照射によって秋輪ギク‘神馬’の複数形質を改良した新品種‘新神 2’の育成. 園学研 12 : 245-254.
- 山口 隆(1997) 突然変異育種. 農業技術大系 花卉編. 農山漁村文化協会, 東京. 第 5 巻 : 115-124.