

イオンビーム照射による新規花弁型キク突然変異系統の作出

浅見逸夫¹⁾・鈴木良地²⁾・長谷川 徹³⁾・辻 孝子⁴⁾・大野 徹²⁾・長谷純宏⁵⁾・野澤 樹⁵⁾

摘要：新規性の高いキクの新品種育成のために、丁字状のかがり花弁を持つキク系統への炭素イオンビーム照射を行ったところ、様々な突然変異個体が多数得られた。

その際の花型変異の発生率は1 Gy照射で1.6%、2 Gy照射で4.8%、花弁型変異の発生率は1 Gy照射で2.3%、2 Gy照射で6.2%だった。さらに、花色変異の発生率は1 Gy照射で5.4%、2 Gy照射で10.4%だった。

花型と花弁型が変異した4系統を選抜し、それらの一層の改良のため、2回目の炭素イオンビーム照射を行ったところ39本の突然変異個体が得られた。最終的に新規性が高い様々な花型・花弁型・花色の10系統を選抜した。

キーワード：キク、突然変異、イオンビーム、丁字状、かがり花弁、花弁型、花色

Mutation Breeding of Novel Chrysanthemum Lines with a Unique Shape of Ray Floret Using Ion-beam Irradiation

ASAMI Itsuo, SUZUKI Ryoji, HASEGAWA Toru, TSUJI Takako,
OHNO Tooru, HASE Yoshihiro and NOZAWA Shigeki

Abstract : In order to develop a new chrysanthemum variety by mutation breeding, we irradiated with carbon ion-beam to one chrysanthemum line, with a unique anemone-shaped laciniate fringed ray florets, and obtained many mutants. In the first experiment, irradiation at 1 and 2 Gy resulted in mutation rates of 1.6% and 4.8%, respectively, in the flower head type 2.3% and 6.2%, respectively, in the ray floret type. In addition, mutation rates of the flower color were 5.4% and 10.4% upon irradiation at 1 and 2 Gy, respectively. We then selected four lines exhibiting flower head type and ray floret mutations, irradiated with a second carbon ion-beam for further improvement, and obtained 39 lines. Finally, we selected 10 new chrysanthemum lines possessing a new flower head type with a unique shape of ray floret and exhibiting various colors of the flower.

Key Words : Chrysanthemum, Mutation, Ion-beam, Anemone Shaped, Laciniate Fringed Flower, Ray Floret Type, Flower Color

本研究の一部は高崎量子応用研究シンポジウム第7回大会(2012年10月)及び第8回大会(2013年10月)においてポスター発表した。

本研究は産学官共同研究「イオンビームを利用したキクとカンキツの有用遺伝子資源創成(2010年～2012年)」により実施した。

¹⁾環境基盤研究部(現農業大学校) ²⁾環境基盤研究部 ³⁾東三河農業研究所 ⁴⁾環境基盤研究部(現海部農林水産事務所) ⁵⁾量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所

(2016. 10. 12受理)

緒言

突然変異を利用した育種において、イオンビーム照射は軟X線やガンマ線照射等と比べて、①突然変異誘発効率が、②変異スペクトルが広い、③付随する変異が少ない、という特徴があるので、花き育種では既存品種と花色が異なるシリーズ化を目指し、栽培特性や花型が同一で、花色だけが異なるピンポイント改良が行われている¹⁾。既に、イオンビーム照射によって花色が変化した多数のキク品種が育成されており、花卉の花色変異出現に関する報告は多い²⁻⁴⁾。しかし、カーネーションで花型の変異についての報告⁵⁾があるように、キクにおいても花弁型や頭花全体の花型変異が出現する可能性があるが、実際に変異した個体・系統の出現に関する報告は少ない。

そこで、花弁型に特徴を持つ一輪ギク系統にイオンビームを照射し、新規性の高い愛知県オリジナル品種の候補となり得るキク系統を作出することを目標とした。

本試験ではイオンビーム照射した多数の個体を栽培し、元系統とは異なる花弁型や花色の変異個体の出現を調査した。この結果、今までに報告が少なかった様々な花型や花弁型変異の発生率を明らかにすることができた。さらに、一次選抜した花弁型・花色変異系統の一層の改良のため、それらに2回目のイオンビーム照射を行い、新たな変異個体を出現させた結果、複数の有望系統を作出することができたので報告する。

材料及び方法

本研究は愛知県農業総合試験場(当場)で2010年1月から2013年11月にかけて実施した。

1 イオンビーム照射による種々の変異花の出現割合と有望系統の1回目選抜(試験1)

(1) 供試材料

本研究では、当場東三河農業研究所が保有する愛知県育成秋系系統「06-SF-31-1(以下、元系統)」(図1)を材料として用いた。元系統は2005年に県保有キク系統どうしを交配して得られた後代の中から見いだされた薄ピンク色花弁でデコラ型のキクである。頭花(花冠)の外側約三分の一の外周に、筒状の舌状花の先端に立体的な突起がある丁字状かがり花弁があることが特徴である。

(2) イオンビームの照射方法

元系統の成長点を培養して得られた無菌培養苗を大量増殖し、培養苗の葉を葉腋部分で除去し、茎部を節ごとに葉腋直上で切断した。それらを直径6cm厚さ1cmのプラスチックシャーレ内のホルモンを添加していないMurashige and Skoog⁶⁾(以下、MS)固体培地(シヨ糖3%、ゲルライト0.4%)に、切断した茎の腋芽部分を上方に向けて挿して固定した(図2)。



図1 供試した元系統「06-SF-31-1」



図2 節分割したキク組織培養苗の腋芽へのイオンビーム照射方法

注) 直径6cmのプラスチックシャーレ底の固体培地に腋芽を上に向けて分割した茎を刺した(左)。黄色いカプトンフィルムで覆い(右)、上方からイオンビームを照射した。

シャーレを日本原子力研究開発機構(現量子科学技術研究開発機構)高崎量子応用研究所のイオンビーム照射施設(TIARA)に搬送し、2010年9月6日、節分割した茎350本の葉腋腋芽(成長点)に1Gyの炭素イオンビーム($^{12}\text{C}^{6+}$ 320 MeV)を、同じく茎150本に2Gyを照射した。なお、イオンビーム照射線量は浅見ら⁷⁾の試験を参考にして決定した。

(3) 照射苗の培養方法

照射済みシャーレを当場に持ち帰り、ホルモンを添加していないMS固体培地(シヨ糖3%、ゲルライト0.3%)を15mlずつ分注した外径4cm高さ15cmのガラス製培養管に、照射した茎を1本ずつ移植した。

それぞれの腋芽から伸長、生育した培養苗の茎部を、1本につき連続する5節の葉腋直上で葉を付けたまま節毎に切断し、ホルモンを添加していないMS液体培地(シヨ糖3%)を含ませた各辺1cm角の発泡フェノール樹脂(oasis5710、ニッソーグリーン、東京)に挿し、1週間、室温25°C下に置いて発根させた。その後、同一腋芽由来で5本ずつ全て順調に生育した苗を選び、十分に発根しシュートの長さが4cmを超えた苗を順化した。

(4) 照射苗の栽培方法

イオンビームを1Gy照射した1350本と2Gy照射した500本、非照射60本の合計1910本の順化苗を、2010

年 11 月 3 日に 60 cm プランターに 10 本ずつ(同一腋芽由来の 5 本を 2 列)定植し、最低室温を 15℃に設定した温室内で電照栽培した。定植 36 日後の 12 月 9 日に消灯し、その後に発蕾した花芽は頂花蕾とその直下の上位 3 側蕾を残して下位節は全て摘蕾し、1 本につき 4 花ずつ開花させた。なお、比較のため非照射苗(対照区)60 本も同様に培養して、同じ温室内で栽培した。

(5) 変異花の評価と有望系統の 1 回目選抜

定植した 1,910 本の中から、消灯後 42 日後の 2011 年 1 月 20 日から 3 月 31 日までに開花した 1 Gy 照射苗 1,177 本、2 Gy 照射苗 454 本及び対照区 53 本の合計 1,684 本について開花日を調査した。また、蕾時から満開盛期過ぎまで元系統の花と比較観察し、花色変異ならびに頭花全体の花型と舌状花の形(花弁型)が変異した個体数を調査し、それぞれの出現割合を算出した。

さらに、元系統と明らかに変異した多数の個体を評価し、新規性の高い有望系統として、特徴的な花姿を持つ複数個体を有望系統として選抜した。

2 1 回目選抜系統への 2 回目のイオンビーム照射による有望系統の作出(試験 2)

(1) 供試材料及びイオンビームの照射方法

試験 1 において評価・選抜した「0822」、「1224」、「2233」、「3245」の 4 系統(以下、本文中では「系統」を略)の成長点を培養して得られた無菌培養苗について、それぞれ試験 1 と同じ方法による増殖と 2 回目の炭素イオンビーム照射(1 Gy)を行い再照射個体(系統)とした。

(2) 再照射個体の栽培方法と一次選抜

4 系統の培養や 2 回目照射と栽培を全て同時期に行うことが困難であったため、順次、日程をずらして実施したが、その概要は結果欄に示した。再照射を行った「1224」を除く 3 系統は、照射した腋芽茎頂(成長点)から伸長したシュートを発根・順化後に 3 回以上摘心して得られた苗を温室内で栽培した。しかし、「1224」は再照射実験の開始が遅れたことから、栽培を急ぐため摘心は行わなかった。代わりに、多くの変異花を見いだす可能性を高めるため、試験 1 と同様、1 本につき頂花蕾とその直下の上位 3 側蕾の合計 4 花ずつを開花させた。

開花した花の変異について、「1224」は主に花型変異を評価した。その他の 3 系統は主に花色変異を評価したが、

花弁型変異個体も一次選抜の対象とした。その後、選抜した合計 39 系統を屋外のプランターに移植して次期作型用の親株として用いた。

(3) 再照射系統の二次選抜

2013 年春以降に親株から伸長し、採取・発根した挿し芽苗を 7 月 26 日にパイプハウス内の栽培ベッドに定植した。以降、電照開始は 8 月 13 日、消灯は 9 月 6 日とし、10 月 19 日から開花が始まった個体を調査し、11 月 13 日までに開花した中から有望系統を二次選抜した。

試験結果

1 イオンビーム照射による種々の変異花の出現割合と有望系統の 1 回目選抜(試験 1)

(1) 変異花の出現割合

栽培したキクの本数と消灯 119 日後の 2011 年 3 月 31 日までに開花した本数及び開花所要日数を表 1 に示した。培養苗を順化した小さな苗のためか、定植後の欠株がやや多かった。また、冬季の栽培であったため、対照区も含めて一部がロゼット化して開花が遅れ、開花所要日数が長くなる個体も多かった。その結果、評価期限までの開花率は、対照区で 88.3%、照射区で 87.2%~90.8% と大きな違いはなかった。また、イオンビーム照射によって開花所要日数の変異が報告⁸⁾されているので、早生化や晩生化も予想したが、開花遅れの発生の影響で開花所要日数のばらつきが全区で大きくなり、平均所要日数も違いはなかった。

照射区の変異花数と開花数に対する変異発生率を表 2 に示した。変異花の総数は 1 Gy 区が 66 本、2 Gy 区が 50 本、合計 116 本であり、変異発生率は 1 Gy 区が 5.6%、2 Gy 区が 11.0%、全体で 7.1%で、線量の大きい 2 Gy 区の方が高かった。その内、花色変異は合計 111 本で変異花総数のほとんどを占め、発生率は全体で 6.8%であった。

花色変異と重複して花弁の形などが変異した個体も得られた。形の変異については、花型変異(頭花全体に占める主要な花弁型の割合が変化)と舌状花の形が変化する花弁型変異の両方を調査した。その結果、花型変異は合計 41 本で発生率 2.5%、花弁型変異は合計 55 本で

表1 イオンビームを照射したキクの栽培本数、開花数及び開花所要日数

試験区	使用 茎頂数 個	栽培数 本	欠株数 本	未開		開花所要日数				
				花数 本	開花数 本	開花率 %	平均(標準偏差) 日	最小 日	最大 日	
照 射 区	1 Gy	270	1,350	105	68	1,177	87.2	74.6(12.9)	42	112
	2 Gy	100	500	22	24	454	90.8	72.6(14.9)	49	119
計		370	1,850	127	92	1,631	88.2	72.9(15.0)	42	119
対照区(0 Gy)		12	60	5	2	53	88.3	74.4(15.1)	53	106

注) 使用茎頂数とは栽培したキクの起源となる茎頂(成長点)数。照射後に伸長したシュートから連続した 5 節の腋芽を伸長させ、1 茎頂由来で 1 本ずつ栽培。未照射の対照区も同様の方法で栽培。
未開花数は消灯 119 日後までに開花しなかった本数。
開花所要日数は消灯後から開花までの日数。

表2 イオンビームを照射したキクの変異花数及び発生率

試験区	変異花総数		花色変異総数		花型・花弁型変異総数		花型変異数		花弁型変異数		
	発生率		発生率		発生率		発生率		発生率		
	本	%	本	%	本	%	本	%	本	%	
照射区	1 Gy	66	5.6	64	5.4	27	2.3	19	1.6	27	2.3
	2 Gy	50	11.0	47	10.4	28	6.2	22	4.8	28	6.2
計		116	7.1	111	6.8	55	3.4	41	2.5	55	3.4

注) 花色変異数と花型及び花弁型変異数はそれぞれ延べ数で記す。変異が重複している個体もある。

発生率は開花数(1 Gy 照射区：1,177 本、2 Gy 照射区：454 本)に対する割合。以下、表 3、4、5 も同じ。

花型変異とは頭花(花冠)全体で元系統の丁字状かがり弁が占める割合(約 1/3)から増減したキクを指す。

花弁型変異は元系統の丁字状かがり弁の形状(特に先端)が変化した花弁を指す。それぞれの変異の内容は表 3、4、5 に記載。

表3 イオンビームを照射したキクの花色変異の発生数及び発生率

	照射線量	花色変異	
		数	発生率
		本	%
白(黄)	1 Gy	19	1.6
	2 Gy	19	4.2
	小計	27	2.3
白(薄ピンク)	1 Gy	15	1.3
	2 Gy	12	2.6
	小計	27	1.7
白(緑)	1 Gy	13	1.1
	2 Gy	0	0
	小計	13	0.8
濃ピンク	1 Gy	8	0.7
	2 Gy	14	0.7
	小計	22	3.1
ピンク	1 Gy	8	0.7
	2 Gy	2	0.4
	小計	10	0.6
黄	1 Gy	1	0.1
	2 Gy	0	0
	小計	1	0.1
計	1 Gy	64	5.4
	2 Gy	47	10.4
	計	111	6.8

表4 イオンビームを照射したキクの花型変異の発生数及び発生率

頭花の花型変異 頭花中割合	照射線量	花型変異	
		数	発生率
		本	%
1/1	1 Gy	10	0.8
	2 Gy	6	1.3
	小計	16	1.0
2/3	1 Gy	8	0.7
	2 Gy	15	3.3
	小計	23	1.4
1/5	1 Gy	1	0.1
	2 Gy	1	0.2
	小計	2	0.1
計	1 Gy	19	1.6
	2 Gy	22	4.8
	計	41	2.5

注) 頭花中割合はかがり弁の占有率

元系統は1/3。

1/1：頭花中心まで広がる。

2/3：中央までは広がらない。

1/5：外周だけに狭まる。

表5 イオンビームを照射したキクの花弁型変異の発生数及び発生率

舌状花の変異 舌状花の形状	照射線量	花弁型変異	
		数	発生率
		本	%
かがり弁先の 丁字が広がる	1 Gy	11	0.9
	2 Gy	13	2.9
	小計	24	1.5
かがり弁先の 丁字が尖る	1 Gy	11	0.9
	2 Gy	7	1.5
	小計	18	1.1
かがり弁先が さじ状	1 Gy	0	0
	2 Gy	4	0.9
	小計	4	0.2
太く管弁化し 先がさじ状	1 Gy	3	0.3
	2 Gy	2	0.4
	小計	5	0.3
細く管弁化し 弁先が変化	1 Gy	1	0.1
	2 Gy	1	0.2
	小計	1	0.1
細く管弁化	1 Gy	1	0.1
	2 Gy	1	0.2
	小計	2	0.1
計	1 Gy	27	2.3
	2 Gy	28	6.2
	計	55	3.4

発生率 3.4%であり、花型変異は必ず花弁型変異を伴っていた。花型・花弁型変異の発生率は花色変異より低かったが、2 Gy 区の方が高いのは同様であった。

花色変異で変化した色の詳細を表 3 に示した。元系統の花色は薄ピンク色で中心(花芯)部が橙色がかっているが、開花に伴いピンクが薄くなり白花になる。開花初期、堅い蕾から舌状花弁が展開した時に見える舌状花裏面は肌色があったピンク色であるが、照射花では開花初期に裏面が白い花が合計 78 本あり、発生率は 4.8%であった。それらが開花すると、中心(花芯)部が、多い順に黄色、

薄ピンク色、緑色の 3 種類に分類できた。開花した花色で次に多いのは濃ピンク色で合計 22 本、発生率 1.3%、その次にピンク色で合計 10 本、発生率 1.3%であった。黄色花変異は「0781(図 3)」の 1 本だけであったが、「0781」は区分キメラ花であり、開花した 4 花の内、頂花の一部と側花の 1 花全体が黄色で、それ以外の花は元系統と同花色であった。

元系統の頭花は 2 種類の花弁型の舌状花で構成され、頭花(花冠)の外周に丁字状かがり花弁がある(1/3 と表記)。花型変異の例を図 4 に、発生率を表 4 に示したが、



図3 区分キメラ状の黄色花
変異「0781 系統」



図4 丁字状かがり花卉の占める割合が頭花全体に拡大(1/1)した花型変異の例
注) 左が元系統、右が丁字状かがり花卉が頭花(花冠)中心部まで拡大した「1234」
系統、中央はそれぞれの中心拡大。

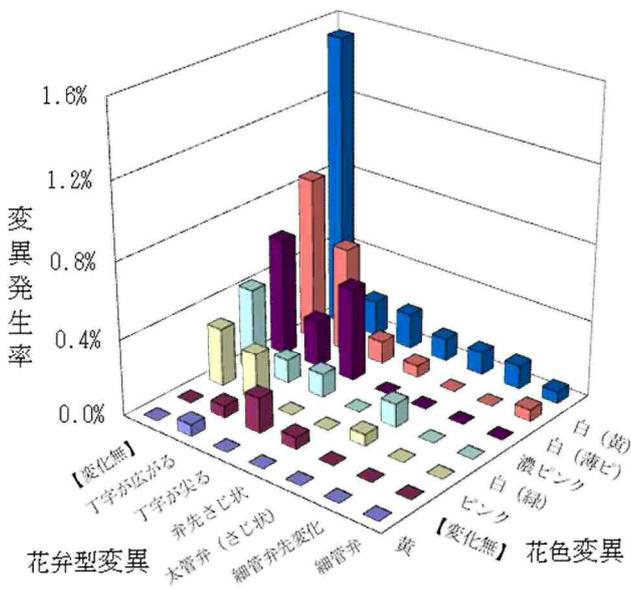


図5 花色と花卉型の変異が重複して発生した花の割合
注) 図中の変異の種類は結果及び表 3 と表 5 を参照。

①丁字状かがり弁の占める割合が頭花全体に拡大する(1/1 と表記)個体が合計 16 本で変異発生率 1%、②割合は増えたが花中心部まで広がらない(同 2/3)が合計 23 本で発生率 1.4%、③逆に割合が減る(同 1/5)が合計 2 本で発生率 0.1%で、総計 41 本、発生率 2.5%であった。

花卉型は様々な変異があったので形状別に 6 種類に分類した。表 5 に示したとおり、花卉先の丁字の形状が、広がる、尖る、さじ状に変化、管弁化する、など変化があった。花色変異と花卉型変異が重複して発生した花の割合を図 5 に示したが、花卉型が変異せず花色だけ変異する個体の割合(合計 3.7%)が、その逆の花卉型変異だけの割合(合計 0.3%)より高かった。

(2) 変異花の評価と有望系統の 1 回目選抜

照射した元系統の特徴である丁字状かがり花卉が頭花全体に広がった花型変異の 16 個体の中から、丁字の裂け方が頭花全体で揃いが良く、かつ丁字の裂け方と突起に

それぞれ特徴がある「0822」、「2233」及び「3245」を選んだ。また、花型変異は不十分であるが、濃ピンク色が鮮やかで頭花全体のボリュームがある「1224」も加え、合計 4 系統を 1 回目選抜系統とした。

選抜した 4 系統の主な特徴と花を表 6 と図 6 に示した。「0822」と「3245」の花色は元系統と同じ肌色がかった薄ピンク色であるが、満開の花姿が、「0822」は照射元系統に比べ丸くボリュームがあり柔らかい印象を与えるが、「3245」は照射元系統に比べ管弁が太く直線的で硬く強い印象を与えるので、2 回目の照射で発生率の高い花色変異を期待して選んだ。また、2233 系統は別色の花色変異を、1224 系統は一層の花型変異を期待して選んだ。

2 1 回目選抜系統への 2 回目のイオンビーム照射による有望系統の作出(試験 2)

(1) 再照射個体の栽培方法と一次選抜

1 回目選抜の 4 系統への再照射と栽培及び一次選抜に関する栽培概要を表 7 に示した。4 系統への 2 回目照射や栽培を全て同時期に行うことが困難であったため、「0822」と「3245」の茎頂培養を 2012 年 7 月 16 日から開始し、その他の系統は順次、ずらして実施した。

それぞれの再照射個体を栽培すると、「0822」由来や「3245」由来の再照射個体の中から開花初期から判別できる花色変異個体が多数、得られた。また、「1224」由来の再照射個体の中から、丁字状かがり花卉が頭花中心部までに拡大した花型変異個体が複数、得られた。

それぞれ満開過ぎまで開花させ評価した結果、「0822」由来で花色変異個体を合計 11 個体、「1224」由来で花型変異個体を 6 個体、「2233」由来で花色変異 4 個体と花型変異個体を 12 個体の計 16 個体、「3245」由来で花色変異個体を 6 個体、合計 39 個体を一次選抜した。

(2) 再照射系統の二次選抜

一次選抜した 39 個体を移植した親株から得られた苗を 2013 年 7 月から栽培し、11 月 13 日までに開花した中から有望と思われる合計 10 系統を二次選抜した。

図 7 に二次選抜系統を示したが、「0822」由来では「0822」の花型を維持した白花、ピンク花、濃ピンク花の 3 系統、「1224」由来では、花色は濃ピンク色のまま花型変異した 2 系統を選んだ。「2233」由来では一次選抜系統

表6 1回目照射で選抜した4系統の主な特徴

系 統 名			
0822	1224	2233	3245
<ul style="list-style-type: none"> ・1 Gy照射 ・花色は元系統と同じ ・頭花中心までかがり弁 	<ul style="list-style-type: none"> ・1 Gy照射 ・花色は濃ピンク色 ・かがり弁の範囲は広がったが、不十分 ・花弁先端の丁字の裂け方が頭花全体で揃っていない ・花弁数が多くボリュームがあるが、中心部がやや抱え咲きの印象 	<ul style="list-style-type: none"> ・1 Gy照射 ・花色はほぼ白色 ・頭花中心までかがり弁 ・かがり弁の揃いが良く、花弁先端の丁字が小さく星状に細かく裂ける ・花弁数が少なく丁字が小さいので、花弁の隙間から直線的な細い管弁が見え、キクとは思えない硬い印象 	<ul style="list-style-type: none"> ・2 Gy照射 ・花色は元系統と同じ ・頭花中心までかがり弁 ・かがり弁の揃いが良く、花弁先端の丁字が大きく立体的に裂ける ・頭花全体にボリュームがあり、直線的な太い管弁と立体的な大きな丁字が強い印象を与える

注) 4系統の共通事項

照射元系統：愛知県育成秋系系統「06-SF-31-1」、茎頂培養日：2010年1月15日

炭素イオンビーム (¹²C6⁺、320 MeV) 照射日：2010年9月6日

定植日：2010年11月3日、電照開始日：11月3日、消灯日：12月9日、開花始め：2011年1月20日

親株移植日：2011年4月5日、最終選抜日：親株由来の秋作型で確認栽培した2011年11月11日



図6 1回目照射で選抜した4系統

の中に黄色みがかかったピンク色花変異などが含まれていたが、二次選抜では薄黄色とピンク花の2系統を選んだ。また、丁字の裂け方が少し変化した薄黄色系統も加えた。「3245」由来では、一次選抜系統には濃ピンク色花が含まれていたが、親株由来の次世代の栽培で濃ピンク色系統は失われ、別のピンク色の1系統と薄ピンク・花弁型変異の1系統を選んだ。

なお、それらを移植した親株由来の苗について翌年の2014年11月咲き作型で栽培し、それぞれ花色と花型・花弁型を維持していることを確認した。

考 察

1 花型・花弁型変異の出現について

本研究で照射した元系統「06-SF-31-1(図1)」は愛知県保有キク系統同士を交配して得られたが、両親には無かった丁字状かがり花弁が出現した。キクの農林水産植物種類別審査基準の特性表⁹⁾によれば、元系統は、頭花の型(舌状花の重ね)は八重、頭花の舌状花の形の数に2であり、頭花の舌状花の二次的な形が、通常の切花用一

輪ギクの分類には含まれない鑑賞ぎく用の分類である丁字(ちょうじ)状である。また、古典菊の一つの丁字菊は内側の筒状花が異常に発達して盛り上がるが、一部の品種では筒状花の先端が裂けて広がった丁字状の管弁であるので、本試験の丁字状かがり弁の舌状花の形状と似ているとも言える。

周知のとおり、江戸時代に様々な鑑賞菊の育種が進み、嵯峨菊、伊勢菊、美濃菊、肥後菊、江戸菊等、様々な形の管状花や舌状花が組み合わった菊や、特殊な形の舌状花を持つ古典菊が生み出された¹⁰⁾。本試験の元系統の祖先の系譜は不明であるが、六倍体を基本とする栽培ギクのゲノム組み合わせの中で、両親で隠されていた花弁の形質が現れたと推察できる。

なお、本報告で用いた「かがり弁」はサクラ草等の花弁型分類で用いられている他、鑑賞菊を紹介する文献¹¹⁾中に「観賞用の小ギクには、文人菊、貝咲き菊、魚子菊、薊咲き菊、毛差菊、かがり弁菊およびみどり菊などがある。」「文人菊、貝咲き菊以外はほとんど目にする機会がない珍しいキク」と紹介されているが、具体的な花弁の形状が不明なため、本報告では「丁字状かがり(花)弁」と称した。

表7 1回目選抜の4系統へのイオンビームの再照射と栽培の概要ならびに一次選抜系統数

	照射系統			
	0822	1224*	2233*	3245
茎頂培養	2011年 7月26日	2012年 9月14日	2011年 8月11日	2011年 7月26日
培養苗腋芽へのイオンビーム照射	2012年 1月18日	2012年12月13日	2012年 5月16日	2012年 1月18日
摘心の有無	3回以上	無し	3回以上	3回以上
定植	2012年 7月26日	2013年 1月 4日	2012年11月29日	2012年 8月10日
栽培本数	660本	260本	230本	1,280本
電照開始	2012年 8月10日	2013年 1月 4日	2012年11月29日	2012年 8月17日
電照消灯	2012年 8月29日	2013年 1月31日	2012年12月28日	2012年 9月 7日
開花始め	2012年10月17日	2013年 3月22日	2013年 2月15日	2012年10月26日
評価・選抜	2012年11月20日	2013年 4月17日	2013年 3月11日	2012年11月20日
一次選抜した系統数	白花 : 5	花型変異 : 6	ピンク花 : 4	白花 : 1
	ピンク花 : 4		花弁型変異 : 12	ピンク花 : 3
	濃ピンク花 : 2			濃ピンク花 : 2
次作型用親株移植	2012年11月21日	2013年 4月18日	2013年 3月12日	2012年11月21日

注) 「1224」と「2233」は最低気温 15℃に設定した温室での加温栽培。他は温室での無加温栽培。



図7 二次選抜したイオンビーム再照射系統とその特徴

2 花色変異の発生について

花色変異の原因の一つとして、一般に周縁キメラ構造を有していることが知られており、アントシアニンとカロテノイド色素が別々の層で異なる発現による色の組み合わせで複数の色が現れる¹²⁾。また、花色の変異には方向性があることが知られており、白色からは黄色になるが、その逆は少ないこと、ピンク色花起源の突然変異が最も幅広いことが報告されている¹³⁾。

オランダでは交雑品種で得られた優れた品種を放射線育種で様々な花色の品種群を販売することが日常的に行われており、スプレーギク品種「セイローザ」(オランダでは「レーガン」)では既に20以上の花色変異体が生産されている¹⁴⁾。鹿児島県においても育成品種「サザンチェルシー」への突然変異誘発により7色の色変異を生産しているが、変異の方向性を利用し、1回の変異誘発では作出できなかった黄色花を2回の変異誘発(桃色→

白色→黄色)で作出している¹⁵⁾。

白色花から黄色花が出現するのは、花弁中のカロテノイド色素が通常は開花中のカロテノイド酸化開裂酵素遺伝子(*CmCCD4a*)の発現によって分解するが、本酵素が失活あるいは発現しない場合、黄色色素が蓄積する¹⁶⁾仕組みである。大宮らは一輪ギク品種「神馬」の自然突然変異体への2回の炭素イオンビーム照射によって黄色の濃い変異体を生産している¹⁷⁾。本試験で用いた元系統の花色は肌色がかかったピンク色なので、アントシアニンとカロテノイド色素を有しており、1回の照射で白色から濃いピンク色、さらに1個体だけであったが黄色まで、様々な花色変異が得られた。黄色花は花弁型変異をしていなかったため選抜しなかったが、花型と花弁型が変異した黄色以外の4系統に2回目の照射を行ったところ、薄い黄色は得られたので、さらに照射すれば濃い黄色花を生産できる可能性がある。

3 花色及び花型・花弁型変異の発生率について

イオンビーム育種で様々な花きの花色変異が報告されているが、岡村らのキクの花色変異発生率は炭素イオンビーム 1 Gy 照射で 5%、3 Gy 照射で約 12%であった³⁾。近年の田之頭らによるスプレーギクへの炭素イオンビーム(0.5~3 Gy)照射では 5.7~7.9%であり⁴⁾、本試験における花色変異発生率とほぼ同じ割合であった。

花きの突然変異育種では、花型変異や花弁型変異も同時に出現していると思われるが、上記のとおり商業的な花き品種育成では花色だけが異なるシリーズ化を目指しているため、花型変異は生じるものの、特に商品性が高くない限り実例報告は少ないように思われる。しかし、岡村⁵⁾はカーネーションの変異誘発でイオンビームと軟X線、ガンマ線や化学変異源との比較を行い、イオンビームが様々な花色変異が多いことに加えて、丸弁やナデシコ型の花型変異が多いこと、しかも剣弁からやや剣弁、やや丸弁、丸弁などと連続した変異が得られたことを報告している。本試験では花型変異の発生率は花弁型変異より低かった。花型変異は必ず花弁型変異も伴っており、花型変異だけが出現することは無かったので、花型が変わるほどの変異は花弁型変異より多数の遺伝子あるいは環境因子が変化した結果と思われる。

以上の結果から、新規性の高い愛知県オリジナルキク品種育成の第一歩として、イオンビームの1回目照射によって花型や花弁型が既存の品種とは明らかに異なるキク系統を、2回目の照射によってそれらの花色変異系統を多数、作出することができた。今回の育成系統は一輪咲きでは満開までの姿を楽しむ大輪のフルブルームマムとして、その他、スプレータイプやポットマム用など幅広い利用も期待される。

引用文献

1. 田中淳. イオンビーム育種技術の開発と特徴. 放射線と産業 99, 4-10(2003)
2. Nagatomi, S., Tanaka, A., Watanabe, H. and Tano, S. Enlargement of potential chimera on chrysanthemum mutants regenerated from $^{12}\text{C}^{5+}$ ion beam irradiated explants. TIARA Annual Report 1996, 48-50(1997)
3. Okamura, M., Yasuno, N., Takano, M., Tanaka, A., Shikazono, N. and Hase, Y. Mutation Generation in Chrysanthemum Plants Regenerated from Floral Organ Cultures Irradiated with Ion Beams. TIARA annual report 2001, 42-43(2002)
4. 田之頭優樹, 永吉実孝, 遠嶋太志, 長谷純宏. イオンビーム照射によるスプレーギクの花色変異の育種. JAEA Takasaki Annual Report 2013, 109(2015)
5. 岡村正愛. イオンビーム育種の実用化—カーネーション品種シリーズの育成. 放射線と産業. 95, 57-63(2002)
6. Murashige, T. and Skoog, F.. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. Physiologia Plantarum 15, 473-497(1962)
7. 浅見逸夫, 辻孝子, 三宅律幸. キク組織培養苗への軟X線照射が不定芽分化や腋芽の生育に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 47, 111-114(2015)
8. Ueno, K. Nagayoshi, S. Shimonishi, K. Hase, Y. Shikazono, N and Tanaka, A. Effects of Ion Beam Irradiation on Chrysanthemum Leaf Discs and Sweetpotato Callus. TIARA annual report 2001, 44-46(2002)
9. 農林水産植物種類別審査基準(きく編). 農林水産省 食料産業局知的財産課種苗審査室編(2012)
10. 小西国義. 花卉園芸大百科 8 キク. 農山漁村文化協会. 東京. p. 20-24(2002)
11. 菊畑へようこそ〜キクが語るハーブの世界〜. 東京農業大学「食と農」博物館展示案内. 43(2009)
12. 柴田道夫. 花卉品種—キク—. 農業及び園芸. 69(1984)
13. Machin, B. and Scopes, N. Chrysanthemums, year-round growing. Blandford Press. Dorset. p. 30-39(1978)
14. 柴田道夫. 花卉園芸大百科 8 キク. 農山漁村文化協会. 東京. p. 52-53(2002)
15. 田之頭優樹, 永吉実孝, 渡辺剛史, 長谷純宏. スプレーギク“サザンチェルシー”におけるイオンビーム照射による黄色変異体の効率的な育種. JAEA Takasaki Annual Report 2014, 98(2016)
16. Ohmiya, A., Kishimoto, S., Aida, R., Yoshioka, S. and Sumitomo, K. Carotenoid Cleavage Dioxygenase (*CmCCD4a*) Contributes to White Color Formation in Chrysanthemum Petals. Plant Physiol. 142, 1193-1201(2006)
17. Ohmiya, A., Toyoda, T., Watanabe, H., Emoto, K. and Hase, Y. Mechanism behind Petal Color Mutation Induced by Heavy-Ion-Beam Irradiation of Recalcitrant Chrysanthemum Cultivar. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81(3), 269-274(2012)