

カーネーションの突然変異育種に有効な シンクロトロン光の吸収線量及び波長

松野純子¹⁾・戸田浩子²⁾・山元俊輝²⁾・
山口徳之³⁾・新井和俊⁴⁾

摘要:カーネーションの穂木にシンクロトロン光を照射し、突然変異育種への利用を検討した。

白色光(波長0.248~0.062 nm)照射の花の突然変異率は、10 Gyで4.7%、20 Gyで5.4%、50 Gyで0%となり、適正な吸収線量は、10~20 Gy程度であると考えられた。

波長の長い光(0.248~0.124 nm)と短い光(0.177~0.062 nm)を照射したところ、長い光では、花の突然変異率は、0~1%であったが、短い光では、5 Gyで10%、10 Gyで21%であり、短い光の方が変異誘発に有効であると考えられた。波長の短い光(0.177~0.062 nm)を照射する場合の適正な吸収線量は、5~10 Gy程度であると考えられた。

キーワード:カーネーション、シンクロトロン光、突然変異育種

Effective Absorption Dose and Wavelength of Synchrotron Light for Mutation Breeding in Carnation

MATSUNO Junko, TODA Hiroko, YAMAMOTO Toshiki,
YAMAGUCHI Noriyuki and ARAI Kazutoshi

Abstract: We examined the optimal absorption dose and wavelength of the synchrotron light to induce a promising flower color mutation in carnation. When cuttings were irradiated at 10, 20, and 50 Gy (wavelength 0.248–0.062 nm), the flower mutation rates were 4.7%, 5.4%, and 0%, respectively. From this, we concluded that the appropriate absorption dose for mutagenesis was 10–20 Gy.

Subsequently, we irradiated a cutting with the long-wavelength light (0.248–0.124 nm) or short-wavelength light (0.177–0.062 nm). The long-wavelength light (0.248–0.124 nm) induced a flower mutation rate of 0–1%, while the short-wavelength light (0.177–0.062 nm) induced a flower mutation rate of 10% and 21% with absorbed doses of 5 and 10 Gy, respectively. Based on these results, we concluded that the short-wavelength light (0.177–0.062 nm) with an absorbed dose of 5–10 Gy is suitable for mutation breeding in carnation.

Key Words: Carnation, Synchrotron light, Mutation breeding

本研究の一部は、第26回育種学会中部談話会(2017年10月)において発表した。

本研究は「DNAマーカーを活用した耐暑性や良日持ち性を有するスプレーカーネーションの開発」(共同研究I型)により実施した。

¹⁾園芸研究部(現豊田加茂農林水産事務所) ²⁾園芸研究部 ³⁾園芸研究部(現副場長) ⁴⁾園芸研究部(現山間農業研究所)

(2020.9.9受理)

緒言

カーネーションの育種方法には、系統選抜、自然突然変異による枝変わりの利用、人為突然変異、倍数性育種、交雑育種がある¹⁾。人為突然変異育種には、これまで、ガンマ線照射²⁾、イオンビーム照射³⁻⁶⁾等が用いられてきた。

愛知県では、2013年にあいちシンクロトロン光センターの共用が始まり、化学状態・局所構造分析、結晶構造・薄膜構造分析、分散状態・高次構造分析等で広く利用されている⁷⁾。

シンクロトロン光は、ほぼ光速で直進する電子が電磁石によって進行方向を変えられた時に発生する光で、①極めて明るい(太陽の100万倍)、②細く絞られていて広がらない、③赤外線から硬X線までの幅広い波長領域を含むという特徴がある⁷⁾。そのため、極めて短い照射時間で、照射したい部分をピンポイントに、かつ波長領域を選んで照射することができ、突然変異育種への利用が期待される。しかし、シンクロトロン光を利用した植物の突然変異育種の研究は、イネ⁸⁾、イチゴ⁹⁾、キク¹⁰⁻¹²⁾、カンキツ^{13, 14)}、アスパラガス¹⁵⁾等の数品目のみと少なく、変異の誘発に有効な吸収線量^{注1)}等不明な点も多い。愛知県の育種品目であるカーネーションにおいては、シンクロトロン光照射による突然変異育種の事例はなく、変異個体が効率的に得られる吸収線量は明らかとなっていない。さらに、変異の誘発に有効な波長についての知見もない。そこで、本県育成品種であるスプレーカーネーション「カーネアイノウ1号」にシンクロトロン光を照射し、カーネーションの突然変異育種に有効なシンクロトロン光の吸収線量及び波長について検討した。

なお、「カーネアイノウ1号」は、早生で茎が硬く、日持ち性が良いという有用な形質を保持¹⁶⁾しているため、この形質を維持したまま花色や花形の異なる変異個体の作出を目指して照射方法の開発を進めた。

注1) 吸収線量(Gyグレイ)とは、放射線が物質と相互作用した結果、物質に吸収されたエネルギーの単位。1 Gyは、放射線によって1 kgの物質中に1 Jのエネルギーが吸収されることを表す¹⁷⁾。

材料及び方法

供試材料は、愛知県と国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が共同で開発したスプレーカーネーション「カーネアイノウ1号」の穂木とした。穂木は20~35本とし、長さを約15 cmに揃え、40 mm×200 mmの2枚の板(試験1はプラスチック製、試験2はアルミ製)で挟み、厚さ24 mmになるようにステンレス製のボルトで調整した(図1)。

シンクロトロン光の照射は、あいちシンクロトロン光センターのBL8S2(X線トポグラフィビーームライン)で行った。シンクロトロン光は照射台上に設置した穂木の上



図1 カーネーション穂木の照射前の状態

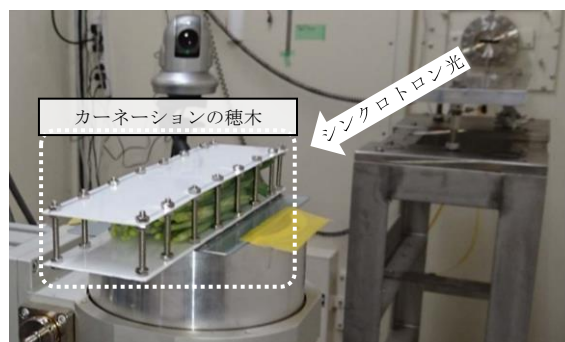


図2 カーネーション穂木へのシンクロトロン光(白色光)照射

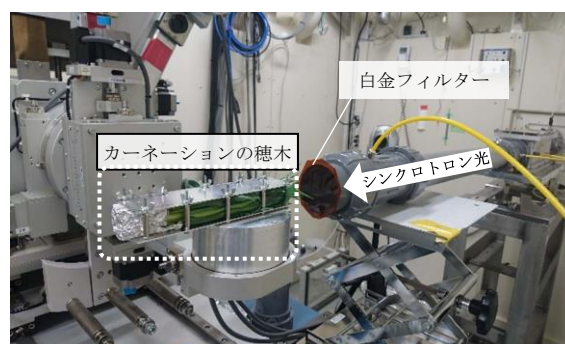


図3 白金フィルターを用いたシンクロトロン光照射

方から照射し(図2、図3)、ビーム幅が縦8 mm×横24 mmのため、照射は照射台の位置を8 mmずつずらし、3回(8 mm×3回=24 mm)に分けて行った。吸収線量は、照射時間を変えることで調整した。

照射後、同日に穂木を調整ピートモス(商品名プロミックスBXマイコライズ(プリミエ社、カナダ))とパーライト(商品名キングパール(三井金属工業株式会社、東京都))を3:1の割合で混合した用土を入れた128穴セルトレイ(300 cm×60 cm)に挿し芽し、終日50%の外部遮光、6~18時まで15分間隔で、ミストの15秒間噴霧を行い、冬季は最低温度20℃のガラス温室内のベンチで管理した。

試験1 シンクロトロン光の吸収線量の違いがカーネーションへ及ぼす影響

シンクロトロン光には白色光(トータルエネルギー5

～20 keV(波長:0.248～0.062 nm))を用い、2017年7月21日に照射した。

試験区は、吸収線量0・10・20・50・100・200 Gyの6区とした。試験規模は1区35本、3反復とした。

挿し芽後、18日目(8月8日)に、穂木の生存率、発根率及び発根量を調査した。発根した個体はミスト噴霧を停止した先述のガラス温室で管理し、8月20日にガラス温室内の90 cm幅の隔離ベンチ(商品名スーパードレンベッド(全農、東京都))へ、75株/m²の栽植密度で定植した。9月20日に株元から4節目で摘心、11月15日に活着率を調査した。11月15日から最低温度12℃で加温を開始した。肥料は、基肥としてエコロングトータル391・140タイプ(ジェイカムアグリ株式会社、東京都)を0.3 kg/m²施用した。2018年1月5日～4月16日に開花した一次側枝を採花し、花色及び花形を調査した。

10 Gy照射区から得られた有望な花色変異2系統「17-7A45B」、「17-7A99C」について、2019年に特性調査及び選抜を行った。変異2系統を、それぞれ約20 cmの高さに台刈りをし、5号鉢に鉢上げを行った。株から発生した側芽を採穂し、2019年5月20日に上記の方法で挿し芽し、6月27日に1系統につき30株を硬質プラスチックハウス内の90 cm幅の隔離ベンチ(商品名スーパードレンベッド(全農、東京都))へ、列植え6株(37.5株/m²)で定植した。7月15日に株元から5節目で摘心を行い、その後発生した側枝を4本に整枝し、9月3日に、うち1本を側枝発生部位から7節目で再度摘心した。11月12日から最低温度12℃で加温を開始した。灌水及び肥料は20 cmピッチの点滴チューブをベッド当たり4本設置し、養液土耕とした。肥料は7～8月は養液土耕2号(大塚化学株式会社、大阪府)の2000倍希釈液、9～10月は養液土耕3号(大塚化学株式会社、大阪府)の1200倍希釈液、11～12月は養液土耕3号(大塚化学株式会社、大阪府)の800倍希釈液を施用した。

2019年10～12月に切り花品質(草丈、節数、下垂度、総花蕾数、着色花蕾数、花径、花卉数、50 cm切り花重、花の日持ち)、年内収量及び秀品率を調査した。切り花品質調査は11～12月に各系統10本ずつ行った。

試験2 シンクロトロン光の波長の違いがカーネーションへ及ぼす影響

シンクロトロン光の波長を0.248～0.124 nm(トータルエネルギー5～10 keV)または、0.177～0.062 nm(トータルエネルギー7～20 keV)とし、2017年11月29日に照射した。

白金は、0.124 nm以下(10 keV以上)の短い波長を遮断する性質があり、アルミニウムは、0.177 nm以上(7 keV以下)の長い波長を遮断する性質がある。そのため、波長は照射時に白色光の入射口に白金ミラーフィルター又はアルミフィルターを設置することで調節し(図3)、白金ミラーフィルターを通して、0.248～0.124 nm(5～10 keV)の長い波長の光を照射した区を白金フィルター区、

アルミフィルターを通して0.177～0.062 nm(7～20 keV)の短い波長の光を照射した区をアルミフィルター区とした。

試験区は吸収線量5・10・20 Gyの3区と、フィルターの種類として白金ミラー・アルミの2区を組み合わせた6区と無処理区の計7区とした。試験規模は白金ミラーフィルター区は1区30本3反復、アルミフィルター区は1区20本反復なしとした。

挿し芽後、19日目(12月18日)に、穂木の生存率、発根率を調査した。発根した個体はミスト噴霧を停止した先述のガラス温室で管理した。約40日後に、頂芽を株元から4節目で摘心し、2018年3～5月に側芽(M2^{注2})を株あたり3～4本採穂した。得られた側芽(M2)は、照射した穂木と同様の方法で発根させ、2018年8月14～15日にビニールハウス内の60 cm幅の隔離ベンチ(商品名スーパードレンベッド(全農、東京都))へ75株/m²の栽植密度で定植した。肥料は、元肥としてエコロングトータル391・140タイプ(ジェイカムアグリ株式会社、東京都)を0.3 kg/m²施用した。無摘心で栽培し、2018年11月4日～2019年2月28日に開花した主茎を採花し、花色及び花形を調査した。冬季の加温は行わなかった。

注2)シンクロトロン光を照射した穂木をM1とし、M1摘心後に発生した1次側芽をM2と記した。

試験結果

試験1 シンクロトロン光の吸収線量の違いがカーネーションへ及ぼす影響

1 穂木の生存率及び発根率

茎が緑色を保っているものを生存穂木、目視で茎からの発根が確認できたものを発根穂木とした。生存率は、0・10・20 Gyでは100%であったが、50 Gyでは81%、100 Gyで63%、200 Gyで0%となり、吸収線量が高いほど低くなった。発根率は、10 Gyで86.7%、20 Gyで68.6%であったが、50 Gyでは13.3%となり、50 Gy以上で大幅に低下した(図4)。

2 穂木の発根量と活着率

吸収線量が高くなるにつれて、発根量が減少し、定

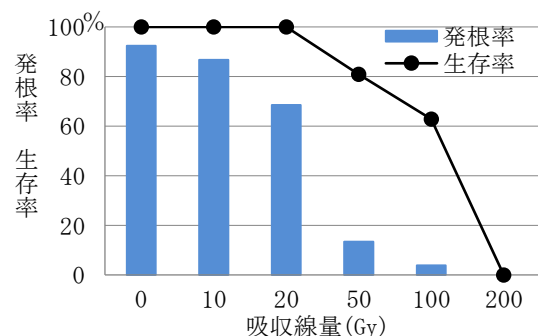


図4 吸収線量の違いがカーネーション穂木の生存率及び発根率に与える影響

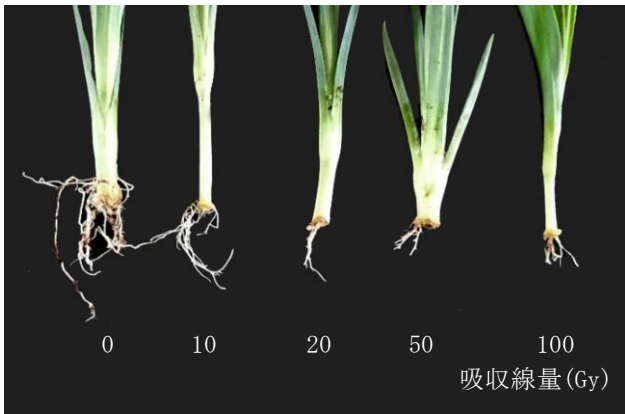


図5 吸収線量の違いがカーネーション穂木の発根量に及ぼす影響

表1 吸収線量の違いが定植後の活着に及ぼす影響

吸収線量 Gy	定植株数 ¹⁾ 株	活着株数 株	活着率 %
0	45	45	100
10	75	55	73.3
20	48	29	60.4
50	7	2	28.6
100	1	0	0
200	0	0	-

1) 照射後発根させた株(M1)を定植した。

表2 吸収線量の違いがカーネーションの花色及び花形に与える影響

吸収線量 Gy	照射数 本	採花本数 ¹⁾ (調査数) 本	変異した側枝数 ²⁾ 本	突然変異率 ³⁾ %
0	105	45	0	0
10	105	85	4	4.7
20	105	37	2	5.4
50	105	2	0	0
100	105	0	-	-
200	105	0	-	-

1) 照射後発根させた株(M1)を摘心し、発生した側枝(M2)を採花した。

2) 花色及び花形に変異のあったもの。

3) 変異した側枝数/採花本数(調査数)×100

植後の活着率も低下した(図5、表1)。

3 変異と変異率

変異した側枝本数は、10 Gyで4本、20 Gyで2本であり、突然変異率は、10 Gyで4.7%、20 Gyで5.4%であった(表2)。変異した側枝の全ての花で変異が認められ、花の変異は、色の淡色化、濃色化、花径の小型化であった(図6)。また、変異した側枝のうち10 Gyで1本、20 Gyで1本、茎葉変異が認められ、それぞれワックスの消失、斑の付加であった(図7)。

100 Gyは、定植後の活着が悪く採花できず、200 Gyは、照射後生存・発根せずに定植できなかったため、変異は、調査できなかった(表2)。

4 有望変異株の特性調査

「17-7A45B」及び「17-7A99C」は、いずれも10 Gy照射区から得られた花色が淡色化した突然変異個体であった。愛知県では、白色のカーネーションの作出を、育種目標の1つとしていることから、花色が淡色化し、茎葉に変異が認められない2系統「17-7A45B」、「17-7A99C」を有望系統として選抜した。

「17-7A45B」、「17-7A99C」及び「カーネアイノウ1号」の11月～12月期(一番花)の花色及び切り花品質を表3に、収量及び秀品率を表4に示した。

「17-7A45B」は、淡黄ピンクの花色(図6)であった。「カーネアイノウ1号」と比較して、花径が大きく、花弁数が少なく、50 cm切り花重が重かった。開花開始は12月3日で、「カーネアイノウ1号」よりも約1か月遅く、年内収量は0.8本/株と少なかった。

「17-7A99C」は、淡黄ピンクから淡橙黄のグラデーショナルの花色(図6)であった。草丈は「カーネアイノウ1号」と同程度であったが、節数が1節多く、花弁数も多かった。花の日持ちは約1週間短かった。これは、調査個体のばらつきが大きく、日持ち日数が短い個体は、エチレン生成が認められたためであった。開花開始は12月3日で、「カーネアイノウ1号」よりも約1か月遅く、年内収量は0.8本/株であった。

試験2 シンクロトロン光の波長の違いがカーネーションへ及ぼす影響

1 穂木の生存率及び発根率

穂木の生存率は、いずれの試験区も100%であった(データ省略)。いずれの波長においても吸収線量が多く

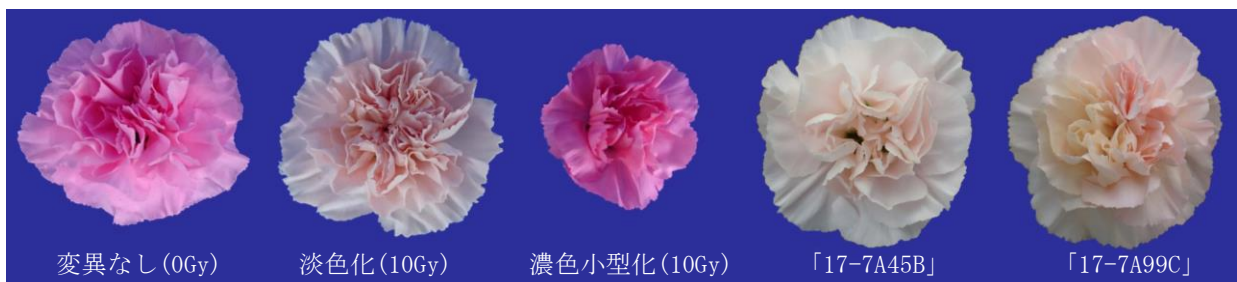


図6 シンクロトロン光(白色光)を照射したカーネーションの花色及び花形の変異



図 7 20Gy のシンクロトロン光(白色光)照射による
カーネーションの茎葉変異
左:変異なし(0Gy) 右:茎葉の斑の付加(20Gy)

なるにつれて、発根率が低下した。発根率の低下は、短い波長の光を照射したアルミフィルター区の方が顕著であった(図8)。

2 変異と変異率

白金ミラーフィルター区の変異本数は、10 Gy及び20 Gyで、それぞれ1本で、花の突然変異率はいずれも1%であった。

カーネアイノウ1号の花色は、淡ピンク～紫ピンクであるが、この照射区では、花色の淡黄ピンク色化・鮮ピンク色条の付加の変異が見られた。しかし花径に変異は認められなかった(表5、図9)。

アルミフィルター区の変異本数は、5 Gy及び10 Gyでそれぞれ3本、花の突然変異率は10%及び21%であった。色の変異は淡黄ピンク色化・鮮ピンク色化で、花径の変異は認められなかった(表5、図9)。

考察

1 吸収線量について

50 Gy以上となる吸収線量のシンクロトロン光(白色光)：トータルエネルギー5～20 keV(波長:0.248～

表 3 シンクロトロン光を照射した有系統の花色及び一番花の切り花品質

系統・品種名	花色(JHSカラーチャート)	草丈 cm	節数 節	下垂度 ¹⁾	着色花蕾数 個	花径 mm	花弁数 枚	50cm切り花重 g	花の日持ち ²⁾ 日
17-7 A45B	淡黄ピンク(1301)	80.9 n.s.	17.6 n.s.	1.0 n.s.	4.4 n.s.	61.3*	28.3**	35.9**	18.6±2.3 n.s.
17-7 A99C	淡黄ピンク+淡橙黄(1002+2202)	87.3 n.s.	19.1*	1.0 n.s.	3.7 n.s.	54.8 n.s.	43.5**	26.4 n.s.	15.7±2.4**
カーネアイノウ1号	紫ピンク(9703)	84.0	18.1	1.0	4.3	56.3	39.2	28.9	23.9±1.5

系統ごとにカーネアイノウ1号とt検定を行った。n.s.は有意差なし。*は5%水準で有意差あり。**は1%水準で有意差あり。

- 1) 切花頂部より45 cmの位置で茎を水平に支え、先端の下垂角度が水平面0～10°となるものを1、10～20°となるものを2、20～30°となるものを3、30～40°となるものを4とした。
- 2) 満開になった小花の花柄を5 cm残して水道水に挿し、25℃、湿度60%、1000ルクス12時間日長の条件下で試験を行い、目視での観察により花の観賞価値が失われるまでの日数を調査した。値は平均±標準誤差を示す(n=10)。

表 4 シンクロトロン光を照射した有望系統の開花開始日、年内収量及び秀品率

系統・品種名	開花開始日 ¹⁾	年内収量	年内秀品率 ²⁾
	月/日	本/株	%
17-7 A45B	12/3	0.8	13.0
17-7 A99C	12/3	0.8	13.0
カーネアイノウ1号	10/30	2.0	15.7

- 1) 全供試株の2割以上が開花した日。
- 2) 切花長60cm以上、着色花蕾数4個以上、下垂度1の切花を秀品とした。

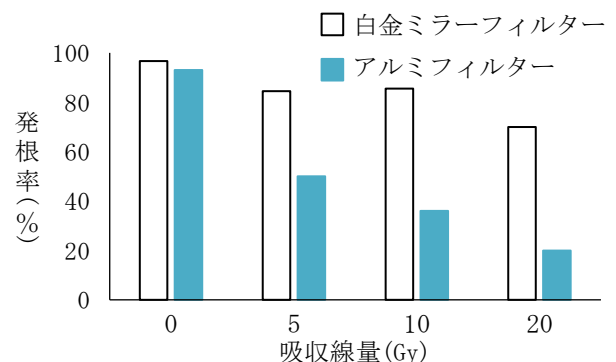


図 8 シンクロトロン光の波長の違いがカーネーション穂木の発根率に与える影響

表5 波長の違いがカーネーションの花色及び花形に与える影響

試験区	定植株数 ¹⁾	採花本数 ²⁾ (調査数)	変異した枝数	突然変異率 ³⁾	JHSによるカラー識別		
					淡黄ピンク	鮮ピンク	鮮ピンク条入
	株	本	本	%	本	本	本
0 Gy	66	59	0	0	-	-	-
白金ミラー・5 Gy	172	159	0	0	-	-	-
白金ミラー・10 Gy	183	168	1	1	1	0	0
白金ミラー・20 Gy	160	152	1	1	0	0	1
アルミ・5 Gy	35	31	3	10	1	2	0
アルミ・10 Gy	15	14	3	21	1	2	0
アルミ・20 Gy	9	9	0	0	-	-	-

1) 照射後発根させた株(M1)を摘心し、伸長した側芽(M2)から発根苗を育成し、定植した。

2) 定植したM2を無摘心で栽培し、採花した。

3) 変異した枝数/採花本数(調査数)×100



図9 異なる波長のシンクロトロン光を照射したカーネーションの花色の変異

左から変異なし(JHS チャート 9703) (0Gy)、淡黄ピンク(JHS チャート 1301) (アルミ 5Gy)、淡黄ピンク(JHS チャート 1002) (アルミ 10Gy)、鮮ピンク(JHS チャート 0104) (アルミ 5Gy)、紫ピンクの地色に鮮ピンク条入り(JHS チャート地色:1301、条:0104) (白金ミラー20Gy)

0.062nm))を照射すると、発根率が大幅に低下し、発根状態も悪く、定植後の活着株数も少なかった。特に100 Gy以上の照射では、1株も活着しなかった。このことから50 Gy以上となる吸収線量の照射は適さないと考えられた。

ガンマ線やX線照射による突然変異誘発では、半数致死線量(LD50)で突然変異の選抜を行う¹⁸⁾。今回照射に用いたシンクロトロン光はX線の波長域であることから、半数致死線量(LD50)を選抜の基準と考えた。穂木への照射では、発根しないと其後の栽培に進めないことから、「発根しなかった株」を「致死」と考えると、20 Gyを照射した場合の未発根率が31.4%と50%に最も近くなった。また、花の突然変異率が最も高かったのは20 Gyであった。しかし、有望な花色変異系統が得られたのは10 Gyであったことから、カーネーションの穂木へシンクロトロン光(白色光(トータルエネルギー5~20 keV、波長0.248~0.062 nm))を照射し、突然変異育種を行う場合の適正な吸収線量は、10~20 Gy程度であると考えられた。

宮崎ら(2011)は、輪ギク「佐系1号」の腋芽に5、10、20、45 Gyのシンクロトロン光を照射し、花色変異誘発試験を行ったところ、照射後の腋芽の生育率から、「佐系1号」における変異誘発に有効な線量は10~20 Gyの間であるとしている¹⁰⁾。また、Sakamoto, K. et al. (2019)

は、5系統のスプレーギクの挿し穂に11・23・51・87 Gyのシンクロトロン光を照射し花色変異誘発をしたところ、様々な変異が認められた11~23 Gyの線量が有効である¹²⁾としているが、カーネーションの穂木への照射でも、同程度の吸収線量が適すると考えられた。

2 波長について

穴井ら¹⁹⁾は、波長の異なるシンクロトロン光がダイズの種子に与える影響を検討するため、白色光、アルミニウムフィルター透過光、銅フィルター透過光を照射したところ、フィルターの有無や種類により、発芽率及び生存率に違いがなかったと報告している。

一方、西ら¹⁵⁾は、アスパラガスから誘導したカルスに、アルミニウムのフィルターの厚さを変えることにより、照射エネルギー(波長)の異なる光を照射したところ、照射エネルギーが高くなるほど(波長が短くなるほど)、カルスの増殖倍率及び植物体再生率が低くなるとしている。

本研究では、アルミフィルターを用いて短い波長の光を照射した方が、白金ミラーフィルターを用いて長い波長の光を照射したものよりも発根率が低く、花の突然変異率は高くなった。このことから、カーネーションの穂木に対しても、波長の短い光の方が、波長の長い光に比べ、生育への影響が大きいと考えられた。さらに、同

じ吸収線量であっても、アルミフィルターを用いて短い波長の光を照射する方が変異誘発には有効であり、その有効吸収線量は5~10 Gy程度であると考えられた。

3 有望変異株の選抜について

白色光10 Gy照射により得られた「17-7A45B」及び「17-7A99C」は、花色以外にも、節数、花径、花卉数、切り花重、日持ち日数、開花開始日、年内収量と多岐にわたって変異が認められた。このことから、シンクロトロン光(白色光(トータルエネルギー5~20 keV、波長0.248~0.062 nm))照射により、花色を決定する遺伝子以外の複数の遺伝子に変異が発生し、花色以外の形質も変異したと考えられた。

花色の変異が得られたことから、シンクロトロン光は、カーネーションの突然変異育種に利用できることが示唆された。しかし、シンクロトロン光は極めて明るい光をピンポイントで照射することから、染色体への影響が大きいことが示唆され、花色以外の有用な形質の変異が起こる可能性があることから、今後は、目的とする形質に対して変異率が高く、それ以外の形質への影響が小さくなる適切な波長等の条件を検討する必要がある。

謝辞:本研究を行うにあたり、あいちシンクロトロン光センター東博純氏、花田賢志氏、吉村倫拓氏にご指導いただいたので、ここに感謝の意を表する。

引用文献

1. 宇田明. カーネーションを作りこなす. 農山漁村文化協会. 東京. p. 217-220(2010)
2. 平井弓子, 霞正一, 鈴木一典, 坂井佳代子, 常見高士, 喜多晃一, 石井亮二. ガンマ線を用いた誘発突然変異によるカーネーション新品種「きらり」の育成. 茨城農総生工研研報. 15, 59-63(2015)
3. 岡村正愛. 新花色・花形のカーネーション品種シリーズの育成. 第1回イオンビーム生物応用ワークショップ論文集. 19-22(2003)
4. 新井正善. カーネーションへのイオンビーム照射による変異誘導. 東北農業研究56. p. 235-236 (2003)
5. 長谷純宏. イオンビーム育種技術の特長と産業利用. 化学と生物52(10), p. 659-664(2014)
6. 平野智也, 市田裕之, 阿部知子. 重イオンビームで広がる花きの新品種作出原子核は花の品種改良を加速する. 化学と生物55(11), p. 775-782(2017)
7. 科学技術交流財団あいちシンクロトロン光センター. あいちシンクロトロン光センター. p. 2-7(2018)
8. 吉田桂一郎, 西美友紀, 石地耕太郎, 松本和夫, 広田雄二. シンクロトロン光を用いた水稲における突然変異育種法. 日本作物学会九州支部会報. 78, 8-9(2012)
9. 九州ブランドを世界に! -突然変異育種の挑戦-. 阿部知子, 風間裕介, 西美友紀, 永吉実孝. 育種学研究16, 67-71(2014)
10. 宮崎雄太, 西美友紀, 石地耕太郎, 高取由佳, 大藪榮興. シンクロトロン光照射によるキク「佐系1号」の花変異誘発. 九州農業研究発表専門部会発表要旨集. 74, 160(2011)
11. 坂本健一郎, 西美友紀, 石地耕太郎, 高取由佳, 千綿龍志, 大藪榮興. スプレーギクにおけるシンクロトロン光照射による花色変異誘発. 園芸学研究12別紙2, 205(2013)
12. Sakamoto, K., Nishi, M., Ishiji, K., Takatori, Y. and Chiwata, R. Induction of flower-colour mutation by synchrotron-light irradiation in spray chrysanthemum. ISHS Acta Horticulturae 1237. 73-78(2019)
13. 松尾洋一, 長谷純宏, 野澤樹, 石地耕太郎, 竹下大樹. カンキツ類へのイオンビーム及びシンクロトロン光照射による突然変異誘発. 第8回イオンビーム育種研究会大会. (2012)
14. 松尾洋一, 石地耕太郎, 竹下大樹, 野中美穂子. カンキツ類におけるシンクロトロン光照射の感受性程度把握. 九州農業研究発表専門部会発表要旨集. 74, 175(2011)
15. 西美友紀, 石地耕太郎, 木下剛仁, 中島寿亀. 放射光を用いた育種法の検討. 北九州産業学術推進機構・九州シンクロトロン光研究センター合同シンポジウム実施報告書. 30-34(2009)
16. 堀田真紀子, 服部裕美, 平野哲司, 久米貴志, 奥村義秀, 犬伏加恵, 稲吉由佳, 二村幹雄, 松野純子, 小野崎隆, 八木雅史, 山口博康, 山口徳之. 日持ち性の優れるスプレーカーネーション「カーネ愛農1号」の開発とその特性. 愛知農総試研報48, 63-71(2016)
17. 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター. 放射線の豆知識暮らしの中の放射線. p38(2013)
18. 玉木克知. イオンビームを利用した突然変異誘発—花きの突然変異育種を中心に—作物研究61, 63-66(2016)
19. 穴井豊昭, 鈴木章弘, 江上由佳. X線の波長および照射量がダイズの突然変異集団に及ぼす影響についての分子生物学的解析. 九州シンクロトロン光研究センター県有ビームライン利用報告書. (2018). http://www.sagals.jp/site_files/file/Publication/Experiment20Report/H30/T/1805028T_anai.pdf