

花きの生育調節技術としての新たな試み

野菜・茶業試験場 腰岡政二

1. はじめに

花き需要の高まりと環境制御技術の進展により、この10年間に花き粗生産額は飛躍的に増加した(図-1)。これは偏に花き生産における施

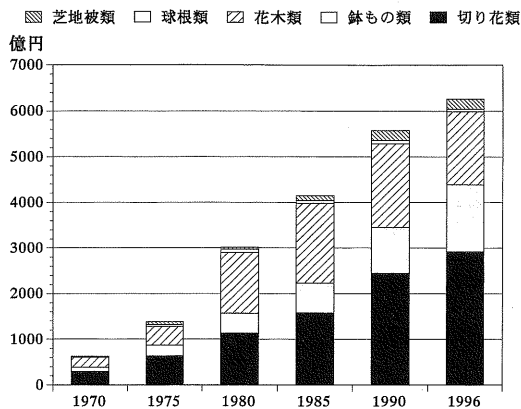


図-1 花き粗生産額の推移

設化率の向上と、生育調節技術の発達によるところが多い。現在用いられている各種の生育調節技術を表-1に示すが、近年、周年生産、大量一括苗生産、苗流通の場面に適した新しい生育調節技術の開発が求められているのも事実である。したがってここでは、花きの生育調節技術としての新たな試みについて、野菜・茶業試験場開花制御研究室で実施している研究を交えて紹介したい。

2. 植物成長調整剤処理による生育調節

花き分野において、現在用いられている植物

成長調整剤は表-1に示すとおりであるが、対象に限られた植物種であることから、適用拡大と新剤の開発が強く望まれている。表-2に過去5年間に日本植物調節剤研究協会の委託試験において花きの分野で実施された薬剤を示すが、花き需要に対するものとしては決して多いとは言えない。寧ろ、少な過ぎるくらいである。しかも、この中で適用性有りと判断されたものは、まだ僅かにすぎない。実験室レベルでは、アブシジン酸(ABA)、ジャスモン酸、ジベレリン(GA)などの植物ホルモンによる生育・開花調節に関する報告は多くあるが、何れもまだ研究の段階である。当研究室においても、種々のジベレリン関連物質の処理試験から、ストックにおいて茎伸長・開花に係わる活性ジベレリンはGA₄であること、GA₄およびその誘導体である2,2-dimethyl-GA₄の処理で、ストックの茎伸長の促進と開花の誘導が可能であることを明らかにした(図-2, 図-3, 写真-1)¹⁾。さらに、内生のGA₄の代謝を抑制するような薬剤を処理することによっても、内生のGA₄レベルを高め、GA₄あるいは誘導体処理と同等の効果が得られることを明らかにした²⁾。しかし実用の場面を考えると、品種、処理時期など解決すべき問題が数多く残っている。

植物成長調整剤関連研究として、植物ホルモン生成遺伝子あるいは分解酵素遺伝子の導入

表－１ 花きの生育・開花調節技術

生育・開花調節の手段		生理反応様式	適用される花き類
処理方法	処理技術		
温度処理	冷蔵	花成誘導	ストック、スイートピー、スターチス・シヌアータなどの一年草。フリージア、テッポウユリ、アイリスなどの球根類
		休眠(ロゼット)打破	ユリ、チューリップ、ダッチアイリスなどの球根類。ミヤコワレスなどの宿根草。花木類。休眠種子
		強制休眠	ユリ、チューリップなどの球根類。種子
	冷房、山上げ	脱春化回避	シュッコンカスミソウ、スターチスなどの宿根類。ラン類
	加(保)温	生育(苗齡)促進	花き一般
	加温	幼若期脱離	一、二年草、宿根草。球根類
		休眠延長	ダッチアイリス、スイセンなどの球根類
光処理	電照(暗期中断)	ロゼット打破・回避	シュッコンカスミソウ、キクなどの宿根類
		花芽分化抑制	キク、カランコエ、ペゴニア、シャコバサボテン、ポインセチアなどの短日植物
	シェード	花芽発達促進	ハナショーブ、バラ、マーガレットなどの短・長日植物
		花芽分化(発達促進)	キク、カランコエ、ペゴニア、シャコバサボテン、ポインセチア、アサガオなどの短日植物
		花芽分化抑制	トルコギキョウなどの長日植物
	補光	成熟化	キクなどの宿根草。ユリ、ダッチアイリスなどの宿根類。ラン類
植物成長調整剤	エテホン類	着花・開花促進	アナナス、フリーセア
		開花抑制	キク
	インドール酪酸剤	発根促進	カイズカイブキ、ツツジ、キンボウジュなどの花木類
	ナフチルアセトアミド剤	発根促進	ダリア、バラ、キクなどの花き類
	ジベレリン剤	開花促進	夏ギク、シクラメン、プリムラ、ミヤコワスレ、シラン、チューリップ
		茎・草丈伸長促進	サツキ、夏ギク、ミヤコワスレ、シラン
		休眠打破	テッポウユリ
		花芽分化抑制	サツキ
	アンシミドール剤	節間伸長抑制	キク、ユリ、ポインセチア、チューリップ
	ウニコナゾールP剤	節間伸長抑制	キク、ポインセチア、ツツジ、シャクナゲ
		着蕾数増加	ツツジ、シャクナゲ

表-1 (続き)

生育・開花調節の手段		生理反応様式	適用される花き類
処理方法	処理技術		
植物成長調整剤	クロルメコート剤	節間伸長抑制	ハイビスカス
	バクロブトラゾール剤	新梢伸長抑制	ツツジ, サザンカ, アベリア, シャクナゲ, イヌツゲ, ヤマモモなどの花木類
		節間伸長抑制	ポインセチア, キク, チューリップ, ツツジ, サツキ, 西洋シャクナゲ, ツバキ, ハイドランジア
		着蕾数増加	ツツジ, サツキ, 西洋シャクナゲ, ツバキ
	ダミノジッド剤	節間伸長抑制	キク, ポインセチア, ハイドランジア, ハボタン, ペチュニア, アザレア, アサガオ
栽培管理・その他	多肥	成熟化, 幼若化	花き一般
	かん水制限・断根	成熟化	キク, ブーゲンビレア, チューリップ, フェニックスなどの花き一般
	接ぎ木, 剥皮	成熟化	花木類などの木本性植物
	組織培養	幼若化	花き一般
	剪定, 刈り込み	幼若化	キク, カーネーションなどの宿根草。バラ, 花木などの木本性植物
	播種期, 定植期	開花期調節	種子繁殖性花き一般。宿根性花き一般
	品種選択		

表-2 過去5年間に日本植物調節剤研究協会の委託試験で実施された薬剤

供試薬剤	期待される効果	対象花き
ベニシリウム菌	初期生育促進, 花数増加	シクラメン, プリムラ, ベゴニア
クロレラ抽出物	初期生育促進	トルコギキョウ
V A (Vesicular arbuscular) 菌根菌	初期生育促進	ゼラニウム, リーガスベゴニア, シクラメン, 花き一般
アブシジン酸	萎凋防止, 移植苗の保存性向上	花き一般
アミノエチルピニルグリシン	徒長抑制	花き一般
銀イオン	延命, 保存効果	バラ
エポキシシクロ誘導体	苗移植時の活着促進	花き一般
GA ₃ + エポキシシクロ誘導体	長日性花きの生育・開花促進	長日性花き
GA ₃ + ホルクロルフエヌロン	花茎の生育肥大促進	チューリップ

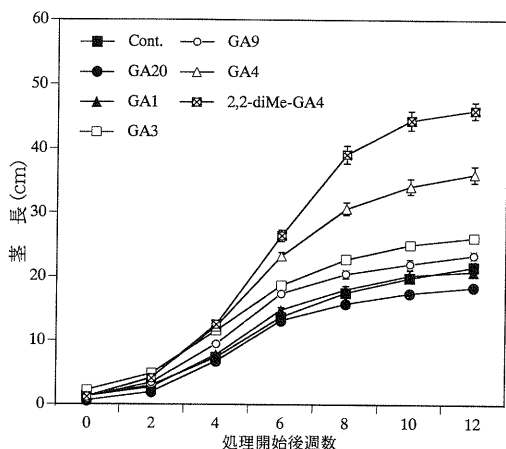


図-2 各種ジベレリンがストックの茎伸長に及ぼす影響¹⁾
ジベレリン類の処理は播種後4週後に開始し、週2回各1 μ g(全10 μ g)を茎頂に処理した。



写真-1 各種ジベレリン関連物質を処理したストックの生育・開花
調査は播種後110日目:左より、対照区(花芽未分化)、GA₄処理区(花芽分化、未開花)、GA₄+PCa(GA生合成阻害剤)処理区(開花)、GA₄+TNE(GA生合成阻害剤)処理区(花芽分化、未開花)、2,2-dimethyl GA₄処理区(開花)。

処理区	花芽分化段階 ²⁾								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
対照区	●●●●●●●●								
GA ₂₀	●●●●●●●●								
GA ₁	●●●●●●●●								
GA ₃	●●●●●●●●								
GA ₉	●●●●●●●●								
GA ₄	●●●●●●●●						●	●	●●●●●●●●
2,2-diMe-GA ₄							●	●	●●●●●●●●

2) 0: 未分化, 1: 膨大期, 2: 小花形成期, 3: がく片形成期, 4: 雄ずい形成期(一重)・花弁形成前期(八重),

5: 雌ずい形成期(一重)・花弁形成後期(八重), 6: 花弁伸長前期, 7: 花弁伸長後期, 8: 開花

図-3 各種ジベレリンがストックの花芽分化に及ぼす影響¹⁾
ジベレリン類の処理は図-2と同様である。調査は処理開始後12週目に行った。

による生育調節の可能性が探られている。花きの分野においては、エチレン生合成酵素 (ACC synthase) 制御遺伝子の導入による、花持ち性のよいカーネーションおよびトレニアの形質転換植物が作出されている^{3,4)}。当研究室において

も、カボチャ未熟種子のジベレリンC20-oxidase 遺伝子を導入することにより、矮性レタスを作成することに成功した(写真-2, 写真-3)⁵⁾。C20-oxidaseはイネ、トウモロコシ、インゲンマメなどにおいては活性型ジベレリンであるGA₄

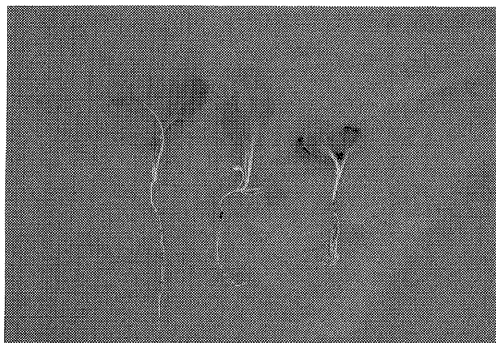


写真-2 カボチャ未熟種子のジベレリンC20-oxidase制御遺伝子を導入した形質転換レタス苗
写真左より、コントロール、形質転換植物(導入遺伝子が欠損している)。形質転換植物(導入遺伝子が発現している)

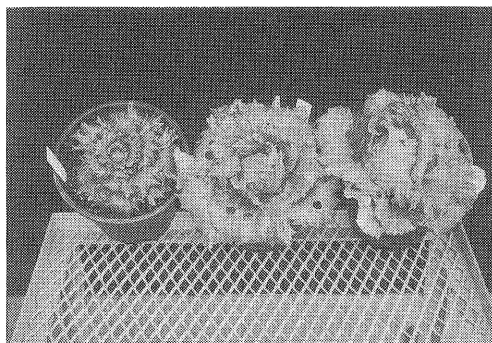
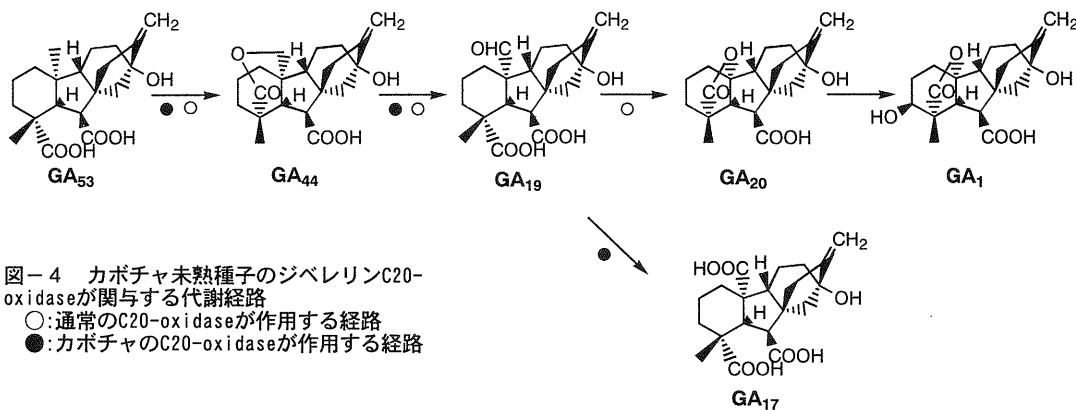


写真-3 カボチャ未熟種子のジベレリンC20-oxidase制御遺伝子を導入した形質転換レタス
写真左より、形質転換植物(導入遺伝子が発現している)。形質転換植物(導入遺伝子が欠損している)。コントロール



の前駆体であるGA₂₀の生合成を支配するが、カボチャ未熟種子中のC20-oxidaseはそれらとは異なり、不活性型ジベレリンであるGA₁₇の生合成を支配する(図-4)。したがってセンス方向に遺伝子を導入した形質変換レタスにおいては、GA₁₉からGA₁₇への代謝が促進されることにより矮性を呈するものと考えられる。このように植物ホルモン関連遺伝子を花きに導入することにより、新しい形質を有する花きの出作が期待できる。しかし、花においては二三の植物を除いてはまだ形質転換に関する研究が進んでおらず、今後の研究の展開が望まれる。

3. 温度処理による生育調節

植物の草丈伸長が昼夜温度差により制御されることは古くから知られていたが、1980年代の後半にHeinsらの研究グループは、DIF=昼夜一夜温と定義し、DIFで花の草丈伸長の調節ができることを明らかにした⁶⁻⁹⁾。DIFはDifference between day and night temperaturesの略であり、昼温が夜温より10℃高い場合は+10℃DIF(+DIF)、昼温と夜温が等しい場合は0℃DIF(0 DIF)、昼温が夜温より10℃低い場合は-10℃DIF(-DIF)と表される。DIFと植物の生育とのかかわりは、次のように纏められる。

1) 日平均気温を同一とした時、伸長生長はDIFに対し量的な反応を示し、同一生育ステージでは、DIFが大きくなるほど伸長生長が促進し、

小さくなるほど抑制される¹⁰⁾。2) DIFに対する伸長生長の反応は、-DIFから0DIFに変化するときよりも、0DIFから+DIFに変化するときの方がより大きい¹⁰⁾。3) DIFによる伸長生長制御効果は、成長曲線（シグモイド曲線）上での急速伸長段階に最も大きくなる¹⁰⁾。4) DIFの効果は期待できるのは、あくまでも生育適正温度内においてである¹⁰⁾。したがって、花芽分化に影響を及ぼす温度域でのDIFの利用は不適切である。5) DIFの影響を受ける植物は、短日、長日および中日植物を含む広い範囲にわたるが、影響を受けにくい植物種もある¹⁰⁾。DIF処理技術は施設園芸が盛んな欧米では研究が進み、テッポウユリ、ポインセチア、ポットマムなどの鉢物花きの生育調節に利用されている。しかし我が国においては、施設化率が欧米に比べて低いことや夏季の高温時での施設利用に維持費がかかることもあってDIF処理の試験例は極めて少なく、その生理的解明についてもまだ不十分である。このようなことから、当研究室においても花き苗を対象としたDIF利用の検討を始めた。図-

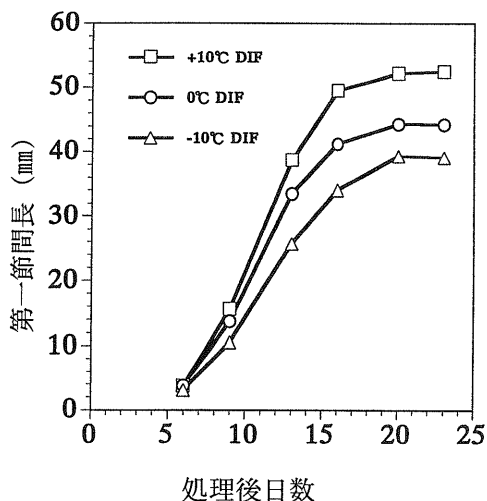


図-5 キンギョソウの第一節間伸長に及ぼすDIFの影響¹¹⁾

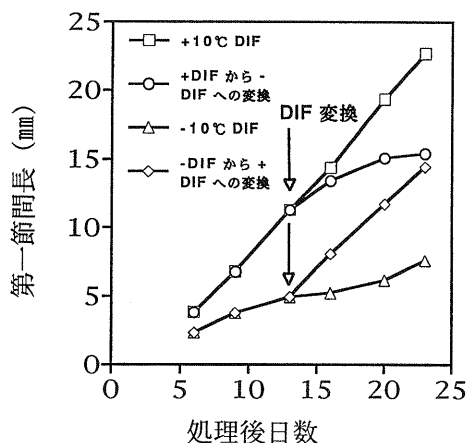


図-6 インパチェンスの第一節間伸長に及ぼすDIFの反転処理の影響¹²⁾

5に12時間日長条件で、昼温25℃夜温15℃の+10℃DIF処理、昼夜温20℃一定の0℃DIF処理、昼温15℃夜温25℃の-10℃DIF処理を施したキンギョソウの第一節間の成長曲線を示す。図に示すように処理開始後6日目には生育量に差が表れ、-DIF、0DIF、+DIFの順に成長曲線の傾きが大きくなった。しかし日平均気温が同一の20℃であることから、生育速度にはいずれの処理区間にも差は認められなかった¹¹⁾。同様の結果がインパチェンス、キンギョソウの第一節間伸長、パンジーの第一葉柄伸長においても認められた¹¹⁾。以上の結果は、前述の1)に示す事例となる。次に、インパチェンスにおけるDIFの反転処理の結果を図-6に示す。ここでの実験条件は図-5と同様であるが、DIF処理開始後13日目に一部の処理区を入れ替えた。処理区を入れ替えることによって処理前後で生育量に大きな差が認められたが、同一処理(+DIFあるいは-DIF)における生育量(成長曲線の傾き)には差が認められなかった¹²⁾。このようにDIFの効果は可逆的であることが明らかになり、DIF処理では化学物質の利用場面とは異なり、栽培前歴がその後のDIF処理にはほとんど影響しないものと思われた。実際写真-4に示すように、

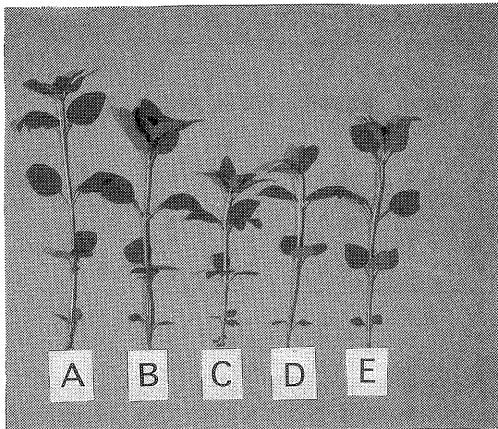


写真-4 各種DIFを施したキンギョソウ苗
A: +10°C DIF, B: 0°C DIF, C: -10°C DIF,
D: +→-DIF変換処理, E: -→+DIF変換処理,
日平均気温は全ての処理区で20°C。

日平均気温を同一としたDIF処理を組み合わせることによって、生育速度を変えることなく草丈伸長を制御することが可能である。DIF処理の応用として、日昇直後の短時間低温処理（施設内を夜間に暖房し、日昇とともに数時間天窗あるいは側窓を開放し、冷たい外気を導入して一気に施設内温度を下げる処理）によって、-DIFと同様な効果が得られる¹³⁾。以上から我が国においても、花き品質に及ぼす影響や地域気象資源の利用などを研究することによって、DIFを新しい生育調節技術の一つとして花

き生産に役立てることが期待できる。

4. 光質処理による生育調節

植物が可視光の中で利用する光は、1) 光合成反応に關与する赤色光、2) 高エネルギー反応系に關与する青色光、3) フィトクロム系に關与する赤色光および遠赤色光と考えられているが、これら3種の光が形態形成、生育制御に關与しているのもよく知られている。特にフィトクロム系に關与する赤色光と遠赤色光の比率(R/FR比)は、自然光環境ではR/FR=1.1前後であるが、この値が大きくなると伸長生長が抑制され、小さくなると促進される。この性質を利用してR/FR透過比を変化させる被覆資材の利用により花き類の生育制御を試みる研究がなされ、ヒマワリ、インパチェンス、サルビア、ハボタン、マリーゴールド、パンジーなどにおいては、FR抑制(R/FR比が大きい)処理で茎伸長抑制が、R抑制(R/FR比が小さい)処理で茎伸長促進が認められた¹⁴⁻¹⁶⁾。当研究室での研究結果の一部を表-3、表-4に示すが、育苗期におけるパンジーの生育に及ぼす光質処理の影響(表-3)では、品種により差はあるものの、草丈、株幅は、ともにR抑制区で大きく、FR抑制区で小さくな

表-3 R/FR比を変化させるフィルム被覆がパンジー苗の生育に及ぼす影響¹⁴⁾

品種名	処理区	R/FR比	遮光率 (%)	草丈(a) (mm)	株幅(b) (mm)	株張り a/b	節数	葉色 (SPAD)	乾物重(mg)		T/R比
									地上部	地下部	
マキシム ディープブルー	対照区	1.24	—	25.1	32.8	0.77	3.5	26.8	20.0	7.3	2.8
	R抑制区	0.68	18.1	40.5	51.1	0.81	3.7	24.4	25.1	6.5	3.9
	FR抑制区	1.75	19.3	25.1	33.8	0.67	3.4	28.7	21.9	7.9	3.1
	FR抑制区	2.36	18.1	23.9	32.8	0.74	3.6	29.7	19.4	7.6	2.6
	FR抑制区	2.54	21.7	23.2	36.6	0.75	3.8	29.3	19.5	7.7	3.0
マキシム イエロー	対照区	1.24	—	21.9	33.8	0.65	4.0	30.5	24.3	9.5	2.6
	R抑制区	0.68	18.1	36.1	50.8	0.72	4.0	25.0	22.4	6.9	3.3
	FR抑制区	1.75	19.3	27.0	39.8	0.68	4.3	29.2	25.2	9.0	3.1
	FR抑制区	2.36	18.1	24.7	38.0	0.65	4.1	29.4	22.3	9.1	2.6
	FR抑制区	2.54	21.7	23.2	36.6	0.64	3.8	31.4	19.2	7.3	2.7

注) 1996年9月3日播種、10月7日掘り上げ調査。播種後よりR/FR比のみ異なる条件下で栽培。

表-4 R/FRを変化させるフィルム被覆が鉢上げ後のパンジーの生育に及ぼす影響¹⁴⁾

品種名	処理区	R/FR比	遮光率 (%)	平均開花日	茎長 (cm)	花梗長 (cm)	着花節位	分枝数	地上部重	
									新鮮重 (g)	乾物重 (g)
マキシム ディーブルー	対照区	1.24	—	11/16	5.4	8.3	9.6	9.4	11.73	1.41
	R抑制区	0.68	18.1	11/20	7.3	10.5	10.6	7.0	9.99	1.21
	FR抑制区	1.75	19.3	11/22	4.6	7.7	10.0	8.4	9.36	1.11
	FR抑制区	2.36	18.1	11/24	4.3	7.8	10.4	7.6	9.65	1.22
	FR抑制区	2.54	21.7	12/10	3.6	5.1	9.3	3.8	5.45	0.74
マキシム イエロー	対照区	1.24	—	11/18	4.7	9.4	11.2	6.8	11.37	1.45
	R抑制区	0.68	18.1	11/19	5.8	10.9	11.0	4.4	9.14	1.15
	FR抑制区	1.75	19.3	12/5	4.3	9.0	10.8	6.6	10.13	1.32
	FR抑制区	2.36	18.1	11/3	4.1	8.0	10.6	5.2	7.93	1.08
	FR抑制区	2.54	21.7	12/20	2.9	7.4	11.0	6.2	9.63	0.86

注) 1996年8月26日播種, 9月26日鉢上げ, 11月20日調査。鉢上げ後よりR/FR比のみ異なる条件下で栽培。

表-5 R/FR比を変化させるフィルム被覆がストック‘雪波’の切り花品質に及ぼす影響¹⁷⁾

処理区	R/FR比 (%)	遮光率	開花日(月・日)			切花重 (g)	切花長 (cm)	花穂長 (cm)
			始	平均	終			
対照区	1.24	—	9/30	10/12	10/28	124.4	76.5	11.9
R抑制区	0.68	18.1	9/30	10/13	10/28	108.1	80.6	18.6
FR抑制区	1.75	19.3	9/30	10/12	10/28	115.3	69.3	11.8
FR抑制区	2.36	18.1	10/2	10/12	10/28	124.7	70.9	12.7
FR抑制区	2.54	21.7	10/4	10/16	10/28	122.8	66.0	11.1
分散分析			NS	NS	NS	NS	**	**

処理区	評価指数						
	小花径 (mm)	茎径 (mm)	花蕾数	葉数	小花密度	花穂堅さ	分枝発生
対照区	5.0	8.4	33.3	59.6	50	70	23
R抑制区	5.1	8.2	32.5	58.2	25	16	34
FR抑制区	5.0	8.2	32.9	57.7	55	73	28
FR抑制区	5.0	8.7	34.0	57.1	58	81	21
FR抑制区	5.1	8.5	33.5	57.9	71	94	33
分散分析	NS	NS	NS	NS	**	**	NS

注) 1996年7月2日播種, 7月31日定植, 10月28日調査収量。発蕾直後よりR/FR比のみ異なる条件下で栽培。

評価指数: 小花の密度, 花蕾の堅さを2:良, 1:普通, 0:不良の3段階, 分枝の発生を2:無し, 1:少, 0:有りの3段階に評価。
評価指数 = (指数 × 本数) × 100 / (2 × 調査個体数)

りコンパクトな苗になった。鉢上げ後のパンジーの生育に及ぼす光質処理の影響(表-4)においても同様であったが, 花色には影響を及ぼさないものの, 平均開花日はFR抑制区で遅れる傾向があった¹⁴⁾。表-5にはR/FR比が鉢上げ後のストック‘雪波’の切り花品質に及ぼす影響を

示すが, R抑制区で切り花長, 特に花穂長が長くなるとともに, 小花の密度の低下と花穂の軟化が認められ, FR抑制区では, 切り花長, 花穂長が短くなり, 小花の密度と花穂の硬度の向上が認められた。ここでの処理は出蕾後の処理であったが, 切り花重, 茎径, 葉数に対する影響は見られなかった¹⁷⁾。一方, ペチュニア, プリムラなどではFR抑制により, 着蕾腋芽率, 総花蕾数の増加が認められている^{18, 19)}。さらに, 花きの種類, 品種, 処理時期, 花芽分化等に対する影響のほか, 光強度な

などについても検討することにより, より効果的な利用技術の開発が期待できる。

最近, 光質制御の新しい試みとして, 発光ダイオード(Light Emitting Diode, LED)による植物の生育制御の可能性²⁰⁾や半導体レーザーを植物栽培用人工光源として利用する可能性²¹⁾が

検討されているが、各種光波長に対する植物の反応が種によって異なることから、実用化に向けては研究の集積が必要である。

5. おわりに

花きの生育調節技術としての新しい試みについて述べた。我が国のように土壌や気象に地域性がある場合には、普遍的な生育調節技術を確立するのは難しいように思われるが、薬剤の新たな利用法の開発や環境制御技術の開発は生育調節に係わる重要な技術であり、より一層の研究開発が望まれる。

参 考 文 献

- 1) Hisamatsu, T. et al. (1997) 第24回米国植物成長調節学会において発表
Plantarum, accepted for publication.
- 2) Hisamatsu, T. et al. (1998) Acta Horticulturae, in press.
- 3) Savin, K.S. et al. (1995) HortScience, 30, 970-972.
- 4) Aida, R. et al. (1998) Plant Science, 138, 91-101.
- 5) Niki, T., et al (1998) 16th IPGSA Abstract, 107.
- 6) Berghage, R.D. and Heins, R.D. (1991) J. Am. Soc. Hort. Sci. 116, 14-18.
- 7) Erwin, J.E. et al. (1989) Am. J. Bot. 76, 42-52.
- 8) Erwin, J.E. and R.D. Heins (1990) J. Am. Soc. Hort. Sci. 115, 644-646.
- 9) Karlsson, M.G. et al. (1989) J. Am. Soc. Hort. Sci. 144, 158-163.
- 10) Greenhouse Grower編 (1992) 大川清・古在豊樹 監訳 DIFで花の草丈調節, 農文協, 東京.
- 11) Ito, A. et al. (1997) J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65, 809-816.
- 12) Ito, A. et al. (1997) J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65, 817-823.
- 13) Nishijima, T. et al. (1997) Biosci. Biotech. Biochem. 61, 1362-1366.
- 14) 鷹見敏彦ら (1997) 園学雑. 66 (別1), 484-485.
- 15) 催海信ら (1995) 生物環境調節. 33, 37-42.
- 16) 須藤憲一 (1996) 園学雑. 65 (別1), 444-445.
- 17) 腰岡政二 (1998) 農業および園芸. 41, 70-73.
- 18) 窪田聡ら (1998) 園学雑. 67 (別2), 143.
- 19) 鷹見敏彦ら (1998) 園学雑. 67 (別2), 383.
- 20) Bula, R.J. et al. (1991) HortScience. 26, 203-205.
- 21) 山崎文ら (1997) 園学雑. 66 (別2), 440-441.

最新 除草剤・生育調節剤解説 1998年版

企画・編集／財団法人 日本植物調節剤研究協会
B5判 285頁 本体5,000円(税別)

ジャンボ剤、フロアブル剤、1キロ粒剤など最近の水田除草剤16剤。畑地・非農耕地除草剤5剤。水稻倒伏軽減剤1剤について、特長、使い方、性質、試験成績などを解説。

全国農村教育協会 〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665