三倍体ビワに対する GA₃ と CPPU 処理が無種子果の成長と品質に及ぼす影響

八幡茂木^{1*}・三輪正幸²・佐藤三郎¹・小原 均²・松井弘之²

¹ 千葉県農業総合研究センター暖地園芸研究所 294-0014 館山市山本

² 千葉大学園芸学部 271-8510 松戸市松戸

Effects of GA₃ and CPPU Applications on Growth and Quality of Seedless Fruits in Triploid Loquat

Shigeki Yahata^{1*}, Masayuki Miwa², Saburo Sato¹, Hitoshi Ohara² and Hiroyuki Matsui²

¹ Southern Prefectural Horticulture Institute, Chiba Prefectural Agriculture Research Center, Tateyama, Chiba 294-0014

² Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271-8510

Summary

To produce seedless loquat fruits, the effects of GA₃ and CPPU applications on growth and quality of seedless fruits in the triploid loquat 'Tanaka' strain were investigated. The triploid seedless fruits equal in weight to that of ordinary fruits with seeds grown on diploid 'Tanaka' were produced at harvest time by dipping flower and fruit clusters in an aqueous solution of 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU twice, at flowering time (the first treatment) and between 27 to 58 days after the first treatment (the second treatment). However, the annual concentration of soluble solids in triploid loquat seedless fruits was lower than that of diploid loquat fruits with seeds. The triploid seedless fruits had a longer shape and higher fruit shape index (fruit length/fruit width) than diploid fruits with seeds. The tissue size of the enlarged calyx base and the internal space of the calyx tube of triploid seedless fruits increased to about 2 times as large as those of diploid seeded fruits, in addition, the locule size of the seedless fruits was slightly longer than 1 cm in diameter. However, the locule was only 7% of total volume of the seedless fruits. Flesh thickness at the equator of the seedless fruits grew to about 2 times that of fruits with seeds, the flesh weight increased by approximately 20%, and the edible portion increased to 90% of total weight of the seedless fruits. The increase in flesh thickness resulted from both cell division and cell enlargement.

Key Words : fruit quality, fruit growth, plant growth substance

キーワード : 果実品質, 果実成長, 植物成長調節物質

緒 言

ビワ果実中には、数個の大きな種子が存在し、果実に占める種子の重量割合は 15 ~ 20% と他の果実と比較して極めて大きい。このことから、ビワの無種子化については以前から消費者のみならず生産者からも強い要望があった。

大畑・広瀬 (1962) は、ジベレリン (GA₃) 処理によるブドウ 'デラウェア' の無種子化技術を応用し、二倍体ビワの無種子化を初めて試みた。その後も GA₃ やその他の植物成長調節物質を用いた無種子化の研究が進められたが、いずれの報告 (千葉県農業試験場安房分場編, 1963; 松井・菅沼, 1971; 松本ら, 1990, 1993; 谷ら, 1991; 湯田ら, 1987) においても成熟した無種子果は小さく、また、高い割合で有種子果が混入するため商品価値のある果実生産には至っていない。

無種子果生産のための '田中' 由来の三倍体を作成するために、村西 (1979) および Muranishi (1983) は、コルヒチン処理して得られた '田中' の四倍体実生に '田中' (二倍体) を交配した。しかし、作出された '田中' 由来の三倍体実生のほとんどは結実しなかった。そこで、その花らいおよび幼果に GA₃ を処理したところ結実は促進されたが、得られた無種子果は '田中' (二倍体有種子) の果実に比べてやはり小さかったと報告している。

一方、合成サイトカイニンの一つであるホルクロルフェニュロン (CPPU) はブドウ、キウイフルーツの果実肥大やウリ類 (メロンなど) の着果促進を図ることが明らかとなっている (田中丸, 1989)。

そこで本実験では、'田中' 由来の三倍体を用い、二倍体有種子果に劣らない大果で高品質な無種子果を生産するために有効な GA₃ と CPPU の処理濃度、回数および処理時期を検討した。また、CPPU はキウイフルーツにおいて果肉細胞数を増加させ、細胞径も増大させる働きがあることが報告されていることから (平田ら, 1987)、ビワにおいても同様の影響があると考えられるために二倍体有種子果との

2005 年 8 月 15 日 受付。2006 年 1 月 10 日 受理。

本報告の一部は、平成10年度園芸学会秋季大会において発表した。

* Corresponding author. E-mail: s.yht@mc.pref.chiba.jp

組織形態学的違いを比較調査した。

材料および方法

実験材料には、千葉県農業総合研究センター暖地園芸研究所の施設（ビニルハウス）内および露地で栽培されているビワ樹を用いた。三倍体ビワとして‘田中’由来の三倍体実生の中から比較的樹勢が良好で着花性の優れた1系統（以後、三倍体）と、またそれと比較を行なうための対照樹として‘田中’（以後、二倍体）を供試した。すなわち、三倍体は露地栽培の2樹と施設栽培の3樹（いずれも1986年定植）を、二倍体は露地栽培の2樹（1974年定植）と施設栽培の1樹（1980年定植）を用いた。また、施設栽培では樹の開花が始まる11月上旬から翌年の収穫期である5月までは最低気温5℃以上、最高気温28℃以下に保った被覆・加温栽培を行った。

樹の開花始期に、二倍体および三倍体ともに慣行に従って摘房を行い、各花房とも下2段の側軸を残して他を摘らした。さらに、三倍体については、残した側軸の花らいの発育ステージを揃えるために、開花7日前～開花初期のステージの花らいのみを1花房当たり約10個を残して他は摘らした。

GA₃およびCPPU〔いずれも協和醗酵工業（株）製〕を用いて所定の濃度になるように処理液を調整し、処理液には展着剤として0.05%ポリオキシエチレンヘキサン脂肪酸エスレル〔花王（株）製〕を添加した。処理液を容量200 mLのプラスチック製のカップに入れ、その中に花（果）房を約20秒間浸漬した。

収穫期には、5～7日間隔で果面が完全着色に達した適熟果のみを収穫し、三倍体では実験に用いた全果実（150～200果）を、二倍体では50果を品質調査に供試した。各処理区の平均収穫日は処理区内各果実の収穫日を平均して算出し、生育日数は同様にして開花7日前～開花初期から収穫日までの所要日数を平均して算出した。

果実品質調査として、1果ごとに果径、果実重および果肉硬度〔KM-1、（株）藤原製作所製〕を測定した後に搾汁し、糖度は手持屈折計〔N-1、（株）アタゴ製〕で測定した。また、酸度は果汁を0.1 N 水酸化ナトリウムで中和滴定し、果汁100 mL当たりのリンゴ酸量（g）に換算して求めた。なお、三倍体無種子果および二倍体有種子果の重量の比較を容易にするため、二倍体有種子果の重さを100とした場合に対する三倍体無種子果の重量比を果実肥大指数として求めた。

実験1. 三倍体に対するGA₃およびCPPUの処理濃度と処理回数が果実品質に及ぼす影響

本実験は1989～1990年および1990～1991年に行い、露地栽培樹を用いて、第1表に示したGA₃およびCPPUの単用処理液あるいは混用処理液に三倍体の花（果）房を浸漬した。1989年および1990年ともに1回目処理は11～12月の開花7日前～開花初期に行い、2回目処理は1回目処理30日後に1果房当たり2～5個に摘果した後直ちに行っ

た。さらに、3回目処理は2回目処理約30日後に行った。その後、3月中下旬に、葉果比が20～25になるように摘果（1果房に1～2果を着生）した後に袋かけした。

実験2. 三倍体に対するGA₃およびCPPUの混用処理濃度が果実品質に及ぼす影響

本実験は1993～1994年に行い、施設栽培樹を用いた。GA₃の濃度は100 ppmと200 ppm、CPPUの濃度は10 ppmと20 ppmとし、第2表に示した混用処理液に三倍体の花（果）房を浸漬し、収穫期の果実品質に及ぼす影響を調査した。1回目処理は1993年11～12月の開花7日前～開花初期に行い、2回目処理は1回目処理40日後に行った。

実験3. 三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPUの1回目の処理時期が果実品質に及ぼす影響

本実験は1994～1995年に行い、施設栽培樹を用いた。第3表に示したように1994年の三倍体の開花15～20日前、開花7日前～開花初期または開花15～20日後に、三倍体の花房を200 ppm GA₃+20 ppm CPPU液に浸漬処理し、開花50日後の1995年1月中旬に果房に対して2回目の処理を行い、収穫期の果実品質に及ぼす影響を調査した。なお、いずれの処理区においても3月18日に果房当たり1～2果を残して摘果した。

実験4. 三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPUの2回目の処理時期が果実品質および内部形態に及ぼす影響

本実験は1992～1993年と1994～1995年に行い、施設栽培樹を用いた。三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPU液の1回目の処理時期は1992年および1994年ともに11～12月の開花7日前～開花初期とした。2回目の処理時期は、第4表に示したように1992～1993年では1回目の処理27日後、58日後および93日後、1994～1995年では14日後および35日後として処理を行い、収穫期の果実品質に及ぼす影響を調査した。加えて、1994～1995年の実験では、1回目処理35日後に三倍体幼果および同時期に着生している無処理の二倍体幼果を採取し、果実縦断面における内部形態（果心部の状況、花床の厚さ、子室およびがく孔の大きさ、がく片の厚さおよび幅）を調査した。さらに1回目処理35日後に2回目の処理を行った三倍体収穫果および無処理の二倍体収穫果においても同様に調査するとともに、果実の全容積を水を入れたメスシリンダー中にそれらを完全に押し沈めた際の増量分から求めた。同様にして果皮その他（果皮と子室周辺の心皮およびがく片・がく孔組織を含む）を取り除いた果肉部分および種子の容積を測定した。果肉、種子および果皮その他の部位別の重量も測定した。

実験5. 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU処理により得られた三倍体無種子果と二倍体有種子果の果肉の厚さ、細胞層数および細胞径の比較

本実験は2001～2002年に行い、三倍体は施設栽培樹を、二倍体は露地栽培樹を用いた。三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPU液の1回目処理は2001年12月1日の開花7

日前～開花初期に、2 回目処理は 1 回目処理 55 日後の 2002 年 1 月 25 日に行った。三倍体および二倍体果実ともに適熟期に収穫し、果径の測定後、直ちに固定液（ホルマリン：酢酸：アルコール：水＝1：1：9：9）に浸漬保存した。固定した果実の中から平均的な大きさの 5 果を選び、各果実を縦に 2 分割し、その赤道部（最大横径部）の一部の組織を切り取り、数日間流水中で固定液を除去した後、氷結マイクロトームで 25 μm の切片を作成した。ヘマトキシレンで染色後、光学顕微鏡下で果肉の厚さおよび細胞層数を計測した。果肉の平均細胞径は果肉の厚さを細胞層数で除すことによって求めた。

結 果

実験 1. 三倍体に対する GA_3 および CPPU の処理濃度と処理回数が果実品質に及ぼす影響

第 1 表に示したように、三倍体に対する 100 ppm GA_3 および 40 ppm CPPU の単用あるいは混用処理により得られた果実は、すべて無種子であった。三倍体無種子果の果実肥大指数は、1989～1990 年の GA_3 および CPPU の単用 2 回または 3 回処理区では 63～79 となり二倍体無種子果より小さく、また GA_3 と CPPU 処理の違いおよび処理回数の違いのいずれにおいても有意な差が認められなかった。果実肥大に対する処理回数の影響を GA_3 と CPPU との混用処理で比較すると、果実肥大指数は 1990～1991 年の 1 回処理区では 56、また 1989～1990 年の 2 回および 3 回処理区ではそれぞれ 97、112 で、両年を通じて処理回数が多くなるに従って果実の肥大が促進された。三倍体無種子果の糖度は、1989～1990 年ではいずれの処理区間ともに有意な差が認められなかったが、二倍体有種子果に比べて低かった。しかし、1990～1991 年の GA_3 と CPPU との混用 1 回処理区では二倍体有種子果との差異が認められなかった。酸度

は、1989～1990 年では GA_3 および CPPU の単用および混用のいずれの処理でも 3 回処理区の方が 2 回処理区より高くなる傾向がみられ、二倍体有種子果より有意に高かったが、1990～1991 年の混用 1 回処理区では二倍体有種子果との差異はみられなかった。果肉硬度は、CPPU 単用および GA_3 と CPPU との混用 3 回処理区で他の処理区よりやや高かった。平均収穫日は、1989～1990 年では GA_3 単用処理区でのみ他の処理区より 3～6 日早くなり、1990～1991 年では GA_3 と CPPU との混用 1 回処理区で二倍体有種子果に比べて 13 日早くなった。また、両実験年のいずれの処理区においても三倍体無種子果の果形指数は 1.18～1.59 で、二倍体有種子果の 1.09～1.19 に比べて大きくなり、縦長の果形となった。

実験 2. 三倍体に対する GA_3 および CPPU の混用処理濃度が果実品質に及ぼす影響

三倍体果実を用いた処理区ではすべて無種子果であった。 GA_3 および CPPU を低濃度で混用した 100 ppm GA_3 + 10 ppm CPPU の 2 回処理区の果実肥大指数は 69 であり、すべての処理区間で最も低かった（第 2 表）。これに対して GA_3 および CPPU を高濃度で混用した 200 ppm GA_3 + 20 ppm CPPU の 2 回処理区の果実肥大指数は 96 となり、二倍体有種子果とほぼ同じ大きさの果実が得られた。一方、 GA_3 と CPPU を 1 回目は低濃度で、2 回目は高濃度での組み合わせ、あるいはその逆の組み合わせの混用処理区の果実肥大指数は、それぞれ 85 および 79 となり二倍体有種子果より劣っていたが、両者間で有意な差は認められなかった。 GA_3 および CPPU の 2 回目の高濃度混用処理区では他の処理区に比べて糖度がやや低くなり、平均収穫日がやや遅くなる傾向が認められたが、酸度や果肉硬度に差異はみられなかった。また、いずれの処理区においても二倍体有種子果に比べて三倍体無種子果は縦長となった。

第 1 表 三倍体ビワの花らいや幼果に対する GA_3 および CPPU の単用、混用処理の回数の違いが果実品質に及ぼす影響（露地栽培）

実験年	倍数性 ^z	処理区		果実重 (g)	種子の 有無	果形指数 (縦径／横径)	糖度 (%)	酸度 (%)	果肉硬度 (kg・cm ⁻²)	平均収穫日 (果実生育日数) ^v (月・日)
		濃度 (ppm)	回数 ^y							
		GA ₃ +CPPU								
1989～ 1990	三倍体	100+0	2	49 a ^x (64 a) ^w	無	1.45 c	9.2 a	0.42 a	0.54 a	6.13 (175 a)
		0+40	2	48 a (63 a)	無	1.18 ab	9.3 a	0.46 a	0.53 a	6.18 (180 b)
		100+40	2	74 b (97 b)	無	1.25 b	9.3 a	0.42 a	0.54 a	6.17 (179 b)
		100+0	3	50 a (65 a)	無	1.59 c	9.5 a	0.50 ab	0.54 a	6.13 (175 a)
		0+40	3	60 a (79 a)	無	1.23 b	9.1 a	0.63 b	0.58 b	6.18 (180 b)
	100+40	3	85 b (112 b)	無	1.23 b	8.9 a	0.50 ab	0.59 b	6.16 (178 ab)	
	二倍体	無処理		76 b (100 b)	有	1.09 a	10.2 b	0.27 c	0.54 a	6.19 (181 b)
1990～ 1991	三倍体	100+40	1	43 a (56 a)	無	1.33 b	10.2 a	0.41 a	0.53 a	6.03 (166 a)
	二倍体	無処理		77 b (100 b)	有	1.19 a	10.4 a	0.37 a	0.54 a	6.16 (179 b)

^z 二倍体は「田中」、三倍体は「田中」由来の系統

^y 1 回目処理は開花始期、2 回目および 3 回目処理は 1 回目処理の 30 日および 60 日後

^x 同じ実験年の異なる文字間には有意差あり (Turkey 法: $P < 0.05$)

^w 二倍体有種子果を 100 とした指数

^v 開花 7 日前～開花初期から収穫日まででの生育日数

第2表 三倍体ピワの花らいや幼果に対する GA₃+CPPU の2回目の処理濃度が収穫期の果実品質に及ぼす影響（施設栽培：1993～1994年）

倍数性 ^z	処理区 ^y		果実重 (g)	種子の 有無	果形指数 (縦径／横径)	糖度 (%)	酸度 (%)	果肉硬度 (kg・cm ⁻²)	平均収穫日 (果実生育日数) ^v (月・日)
	GA ₃ (ppm) +CPPU (ppm)								
	1 回目	2 回目							
三倍体	100+10	100+10	52 a ^x (69 a) ^w	無	1.45 b	11.8 ab	0.20 a	0.55 a	5.17 (166 a)
	100+10	200+20	64 b (85 b)	無	1.45 b	10.9 a	0.20 a	0.57 a	5.21 (170 ab)
	200+20	100+10	59 ab (79 ab)	無	1.41 b	11.3 ab	0.17 a	0.57 a	5.18 (167 ab)
	200+20	200+20	72 c (96 c)	無	1.41 b	11.0 a	0.17 a	0.56 a	5.21 (170 ab)
二倍体	無処理		75 c (100 c)	有	1.04 a	12.1 b	0.15 a	0.56 a	5.23 (172 b)

^z 二倍体は‘田中’，三倍体は‘田中’由来の系統^y 1回目と2回目の処理時期は開花7日前～開花初期およびその48日後^x 異なる文字間には有意差あり（Turkey法：P<0.05）^w 二倍体有種子果を100とした指数^v 開花7日前～開花初期から収穫日までの生育日数**第3表** 三倍体ピワの花らいや花に対する 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU の1回目の処理時期が果実品質に及ぼす影響（施設栽培：1994～1995年）

倍数性 ^z	1回目の処理時期 ^y	果実重 (g)	種子の有無	糖度 (%)	酸度 (%)	果肉硬度 (kg・cm ⁻²)
三倍体	開花15～20日前	60 a ^x (87 a) ^w	無	11.0 a	0.25 a	0.57 a
	開花7日前～開花初期	73 b (106 b)	無	10.7 a	0.25 a	0.57 a
	開花15～20日後	58 a (84 a)	無	10.8 a	0.27 a	0.58 a
二倍体	無処理	69 b (100 b)	有	11.1 a	0.21 a	0.57 a

^z 二倍体は‘田中’，三倍体は‘田中’由来の系統^y 2回目の処理時期は1回目処理の35日後^x 異なる文字間には有意差あり（Turkey法：P<0.05）^w 二倍体有種子果を100とした指数**第4表** 三倍体ピワの幼果に対する 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU の2回目の処理時期が果実品質に及ぼす影響（施設栽培）

実験年	倍数性 ^z	2回目処理時期 (1回目の処理後日数 ^y)	果実重 (g)	種子の 有無	糖度 (%)	酸度 (%)	果肉硬度 (kg・cm ⁻²)	平均収穫日 (果実生育日数) ^v (月・日)
1992～ 1993	三倍体	27	82 a ^x (94 a) ^w	無	10.4 a	0.26 a	0.55 a	6.02 (184 a)
		58	89 a (102 a)	無	10.8 a	0.29 a	0.56 a	5.31 (182 a)
		93	84 a (97 a)	無	10.9 a	0.44 b	0.61 b	6.07 (189 b)
	二倍体	無処理	87 a (100 a)	有	11.0 a	0.24 a	0.56 a	6.02 (184 a)
1994～ 1995	三倍体	14	60 a (87 a)	無	10.7 a	0.26 a	0.56 a	6.08 (197 a)
		35	71 b (103 b)	無	10.9 a	0.25 a	0.57 a	6.08 (197 a)
	二倍体	無処理	69 b (100 b)	有	11.1 a	0.21 a	0.57 a	6.09 (198 a)

^z 二倍体は‘田中’，三倍体は‘田中’由来の系統^y 1回目の処理時期は開花7日前～開花初期^x 同じ実験年の異なる文字間には有意差あり（Turkey法：P<0.05）^w 二倍体有種子果を100とした指数^v 開花7日前～開花初期から収穫日までの生育日数**実験3. 三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPUの1回目の処理時期が果実品質に及ぼす影響**

200 ppm GA₃+20 ppm CPPU の1回目の処理時期が三倍体収穫果の品質に対する影響を第3表に示した。いずれの処理区でも得られた三倍体果実はすべて無種子であった。果実肥大指数は、開花15～20日前および開花15～20日後処理区でそれぞれ84および87であったが、開花7日前～開

花初期処理区では106となり、有意な差はなかったものの二倍体有種子果よりやや大きかった。糖度、酸度および果肉硬度には処理区間に差異は認められなかった。

実験4. 三倍体に対する200 ppm GA₃+20 ppm CPPUの2回目の処理時期が果実品質および内部形態に及ぼす影響

1992～1993年では、27日後、58日後および93日後処理区

第 1 図 三倍体無種子果 (GA₃+CPPU 処理) と二倍体有種子果の縦断面 (1994 ~ 1995 年)

の果実肥大指数は、それぞれ 94, 102 および 97 となり、いずれも二倍体有種子果とほぼ同等に肥大した (第 4 表)。1994~1995 年の実験では、35 日後処理区の果実肥大指数は 103 となり、二倍体有種子果と同等であったが、14 日後処理区では 87 となり有意に果実肥大が劣った。1992~1993 年

の 27 日後および 58 日後処理区では、二倍体有種子果と比較して糖度、酸度および果肉硬度に差がみられなかったが、93 日後処理区では、酸度および果肉硬度が有意に高かった。1994~1995 年では 2 回目の処理時期がいずれの場合も二倍体を含め糖度、酸度および果肉硬度には処理間に有意な差がなかった。

1994~1995 年の 1 回目処理 35 日後の三倍体幼果の内部形態を同時期に着生していた二倍体有種子果と比較すると、三倍体幼果の子房は開花期の大きさで成長を停止しており、種子形成がなかった。また、花床 (果肉) のみが拡大して、果心部に直径約 7 mm の筒状の空隙を、さらにはがく孔も拡大して直径約 8 mm の空隙が生じ、付随しているがく片の肥大も顕著であった (第 1 図 A, B)。それに対して、二倍体幼果では種子の肥大が著しく、赤道部でみると直径の約 80% を種子が占め、子室およびがく孔は種子の肥大に押された状態で空隙がほとんど認められなかった。1 回目の処理 35 日後に 2 回目処理された三倍体無種子果の収穫期には、幼果時の形態的特徴をそのまま具え、子室には直径約 15 mm の空隙が、またがく孔には直径約 18 mm の空隙が残っていた (第 1 図 C, D) が、赤道部の果肉の厚さとがく片組織の厚さおよび幅は二倍体有種子果の約 2 倍に肥大していた (データ省略)。

収穫期の両果実を器官別容積で比較すると、三倍体無種子果では果心部の空隙の容積に果皮その他 (果皮と子室周辺の心皮およびがく片・がく孔組織を含む) を含めても果実全体の 7% で、果肉は 93% を占めた (第 5 表)。一方、二

第 5 表 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU 処理により得られた三倍体無種子果と二倍体有種子果の収穫期における器官別重量および容積の構成割合 (施設栽培 : 1994~1995 年)

品種・系統	果実重 (g)	重量比 (%)				容積比 (%)			
		果肉 (花床)	種子	果皮 ^z その他	計	果肉 (花床)	種子	果皮 ^z その他	計
‘田中’ 系三倍体 無種子果 ^y	66	90	0	10	100	93	0	7	100
‘田中’ (二倍体) 有種子果	68	70	16	14	100	74	16	10	100

^z 果皮, 子室周辺の心皮およびがく片・がく孔組織

^y 1 回目と 2 回目の処理時期は開花 7 日前~開花初期およびその 35 日後

第 6 表 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU 処理により得られた三倍体無種子果実と二倍体有種子果の収穫期の横径、果肉厚、果肉細胞層数および果肉細胞径 (2001~2002 年)

品種・系統	横径 (mm)	果肉厚 (mm)	果肉細胞層数	果肉細胞径 ^z (μm)
‘田中’ 由来三倍体 無種子果 ^y	48.9±2.8 ^x	18.0±0.5	105±1	172±4
‘田中’ (二倍体) 有種子果	49.6±2.9	8.7±0.3	75±3	117±4
有意性 ^w	NS	**	**	**

^z 果肉厚を細胞層数で除した

^y 施設栽培樹, 1 回目および 2 回目の処理時期は開花 7 日前~開花初期およびその 55 日後

^x 平均値±標準誤差 (n=5)

^w NS, **: 有意差なし, 1% レベルで有意差あり (t 検定)

倍体有種子果は種子が 16%で、果皮その他が 10%を占め、果肉は 74%であった。両者を重量で比較すると、三倍体無種子果は果皮その他が 10%で果肉が 90%を占めたのに対して、二倍体有種子果は種子が 16%、果皮その他が 14%で、果肉が 70%を占めた。従って、重量比あるいは容積比のいずれに換算しても三倍体無種子果の可食率は二倍体有種子果より約 20%多かった。

実験 5. 200 ppm GA₃+20 ppm CPPU 処理により得られた三倍体無種子果と二倍体有種子果の果肉の厚さ、細胞層数および細胞径の比較

本実験に用いた二倍体有種子果と三倍体無種子果の収穫期の横径は、それぞれ約 50 mm および 49 mm で有意な差は認められずほぼ同じ大きさであった（第 6 表）。しかし、三倍体無種子果の果肉の厚さは 18 mm で二倍体有種子果の約 2 倍であった。また、三倍体無種子果の果肉の細胞層数および細胞径は二倍体有種子果のそれぞれ 1.4 倍、約 1.5 倍であった。

考 察

二倍体ビワ品種を用いた果実の無種子化は、植物成長調節物質を処理し、他動的単為結果を誘起させる方法で研究が進められてきた。用いられた植物成長調節物質は GA₃、サイトカイニンとしてベンジルアデニンおよび CPPU、オーキシンとしてナフタレン酢酸および 2,4,5-トリクロロフェノキシ酢酸などであったが、花らい期の GA₃ 処理によって高い割合でビワの単為結果が誘起されることが明らかにされた（松本ら, 1993; 松井・管沼, 1971）。しかし、二倍体有種子果と同等の大きさの単為結実果が得られなかったことから、単為結実果の肥大促進を目的にオーキシンあるいはサイトカイニンとの混用処理効果が検討され、それらの中で CPPU が最も肥大促進効果のあることが明らかにされた（清川, 1989; 高木ら, 1993）。ただし、二倍体ビワを用いた無種子化では、有種子果が混入する可能性があり、実用化を図る上での問題点となっている。一方、三倍体ビワは、自然状態では種子形成がほとんど起こらないためにその結実率は 0.1%程度と極めて低い（八幡ら, 2005）。そのため、三倍体ビワの単為結果を誘起できれば、ほぼ 100%の無種子化を図ることができ、さらに、二倍体有種子果と同等の大きさの無種子化を形成できれば、安定したビワ無種子果生産技術を確立することが可能となる。

本実験では、三倍体ビワに 100 ppm GA₃ および 40 ppm CPPU をそれぞれ単用で処理し無種子果を得たが、同じ処理を 3 回繰り返しても二倍体有種子果の大きさには達しなかった。一方、100 ppm GA₃ に 40 ppm CPPU を混用して 2 ～ 3 回繰り返して処理したところ、二倍体有種子果とほぼ同等かそれ以上の大きさの果実が得られた。しかし、3 回繰り返して処理を行うと、糖度の低下とともに酸度および果肉硬度の増加がみられ、品質低下が認められた。高木ら（1994）は、開花・結実後の低温による寒害により胚（種子）

の成長が停止した二倍体ビワ幼果に 500 ppm GA₃ と 20 ppm CPPU との混用処理を行って無種子果の作出を図ったが、処理時期によっては糖度が低下すると報告し、CPPU の処理濃度を 5 ～ 10 ppm に下げれば糖含量の低下が軽減されることを示唆している。

そこで、本実験では CPPU の処理濃度を 20 ppm あるいは 10 ppm に下げ、100 ppm あるいは 200 ppm GA₃ と混用処理したところ、1 回目および 2 回目処理ともに CPPU が 10 ppm では果実は小さく、どちらかの処理を 20 ppm にしても二倍体有種子果の大きさに至らなかったが、1 回目および 2 回目処理ともに CPPU 20 ppm に 200 ppm GA₃ を混用処理することで二倍体有種子果と同等の果実を得ることができた。糖度は 2 回目処理に 20 ppm CPPU を混用した処理で二倍体有種子果より約 1%低くなったが、2 回目処理の CPPU 濃度を 10 ppm に下げるとやや改善されることから、特に 2 回目の CPPU 濃度が糖の蓄積に関係していると推察された。

自然状態において、三倍体ビワは開花後数週間以内にほとんど落花（果）する（八幡ら, 2005）。従って、確実な着果を確保するためには落花（果）が起こる以前に植物成長調節物質を処理する必要がある。本実験結果では、200 ppm GA₃ と 20 ppm CPPU との混用 2 回処理の場合、二倍体有種子果と同等以上の果実重を得るためには、1 回目の処理時期は開花 7 日前～開花初期が好適と考えられた。一方、2 回目の処理は大果生産に不可欠であるため、2 回目処理の適期を明らかにすることも重要である。そこで、2 回目処理を 1 回目の処理 14 ～ 93 日後に行ったところ、27 ～ 93 日後の間で処理すれば二倍体有種子果と同等の大きさの果実が得られることが明らかとなった。しかし、最も遅い 93 日後処理では酸度および果肉硬度が高く、さらに収穫期が遅れる傾向が認められた。ブドウに対する CPPU 処理は果実肥大に関して極めて効果的な作用を示すが、一方では処理方法（濃度、時期）が適切でないと着色の遅れや糖度の低下などの果実品質を損なうことが指摘されている（柴, 1990）。ビワ三倍体果実に対する 2 回目処理の遅れは成熟期を遅延させる効果があると考えられ、2 回目の処理が早かった果実と、同じ収穫時期で比較すると品質が劣ることになり、結果的には収穫期の果実品質を低下させる要因になると考えられた。

200 ppm GA₃+20 ppm CPPU 処理（1 回目処理は開花 7 日前～開花初期、2 回目処理は 1 回目処理の 27 ～ 58 日後）で処理された三倍体無種子果と二倍体有種子果の品質について、本実験で行った 3 年間（1993 ～ 1995 年）の平均値と比較すると、果実重は約 77 g で両者ほぼ同じであったが、二倍体有種子果に比べて三倍体無種子果では糖度は 10.8% と 0.6% 低く、酸度は 0.24% と 0.04% 高く、二倍体有種子果を上回る品質には達しなかった。また、果実品質の年次による変動および果実間のばらつきが二倍体有種子果より大きいこと、特に糖度は年次によって著しく異なることから、

経済栽培を目指すには、これらの解決が今後の課題となる。ただし、このような変動が生じる要因として、処理に用いた GA_3 および CPPU に起因するものと、供試した三倍体の特性に起因するものとが考えられる。本実験において、果実の肥大効果が高く、かつ品質の低下が少ない処理方法を検討した結果、200 ppm GA_3 +20 ppm CPPU 処理（1 回目処理は開花 7 日前～開花初期、2 回目処理は 1 回目処理の 27～58 日後）が最も好適と考えられたが、今後はこの処理方法に適した三倍体無種子果生産用の品種開発が必要と考える。筆者らは、すでに新しい四倍体ビワを作出し、さらにそれらの四倍体ビワに二倍体ビワを交雑して、新しい多数の三倍体ビワの作出に成功し、大果で高品質果実生産が可能な三倍体ビワの選抜を行なっている（八幡ら, 2004; 八幡ら, 2005）。

本実験で得られた三倍体無種子果は二倍体無処理果より果形指数が高く、縦長であった。 GA_3 単用処理では著しく縦長の果実が得られたが、これは供試した三倍体においてまれに生じる有種子果の果形が長卵形であり、果形指数が高いことを考え合わせると、 GA_3 の処理によって果形指数の高い特性が強調されたためと考えられる。

湯田（1988）は、一般的に GA_3 によって誘起された果実は果形指数が高くなり、甚だしい場合には商品性に影響を与えるが、それを改善するためにサイトカイニンの混用が有効になることを示唆している。本実験でも CPPU の混用によって横径の肥大が促進され、 GA_3 単用処理果より果形指数が低下して果形が改善される傾向がみられた。

収穫期の三倍体無種子果実の形態的な特徴をみると、がく片基部組織の大きさおよびがく孔の内径が二倍体有種子果の約 2 倍に拡大し、果心部の子室に直径 1 cm 強の空洞ができたが、この果実内部に生じた空隙の容積は果実全体の容積の 7% にすぎなかった。また、果肉は赤道部で二倍体有種子果の 2 倍程度に厚くなり、重量割合で 20% 増加した。子室を取り囲む心皮は軟らかい薄皮で食べられることから、果皮を取り除くとがく片・がく孔組織以外はすべて可食部となる。このため、有種子果に比較して極めて食べやすい果実構造となった。

三倍体無種子果の肥大促進を図るにあたって、 GA_3 に CPPU を混用処理することによって顕著な肥大効果が得られ、二倍体有種子果と同等の大きさの無種子果の作出が可能になったが、その肥大は果肉組織の増大によるものであった。CPPU が果実肥大に及ぼす作用性に関して、平田ら（1987）はキウイフルーツにおいて果肉細胞数の増加作用があることを明らかにするとともに、果肉細胞肥大を促進する作用も一部に関与していることを示唆し、併せて GA_3 との混用が果実肥大をさらに促進する作用があることを報告している。黒崎・望月（1990）もまたキウイフルーツにおいて CPPU による細胞数の増加作用を認め、これにより果実肥大が促進されることを明らかにした。

本実験では、三倍体無種子果および二倍体有種子果の果

肉を組織形態学的に調査した結果、三倍体無種子果では二倍体有種子果に比べて細胞数が増加し、細胞の大きさも増大していることが明らかとなった。高木ら（1994）は二倍体ビワに対する GA_3 および CPPU の果実肥大効果について、CPPU の細胞数増加作用と GA_3 の細胞肥大促進作用が相乗的に働いていると推察したが、この見解は本実験結果を裏付けているものと考えられた。

本実験では、三倍体ビワを利用して無種子果を得るための GA_3 および CPPU の処理方法を明らかにした。これにより二倍体有種子果と比較すると、糖度の低下が若干問題として残るものの、ほぼ同等の大きさを具えた無種子果を得ることができた。これにより完全な無種子化が図られ、同時に作出された無種子果では果実全体に占める果肉の割合が増大したことから、三倍体無種子果はビワの無種子化を望む消費者の要求に十分応えるものと思われる。現在、著者らは本実験に供試した‘田中’由来の三倍体系統よりも果実品質の優れた三倍体品種を開発（品種登録出願中）しており（八幡ら, 2005）、この三倍体品種に本実験で得られた無種子化技術を応用することによって、ビワ無種子果生産の実用化技術を確立して行く予定である。

摘 要

‘田中’由来の三倍体ビワを用いてビワ無種子果を作出するため、 GA_3 および CPPU の処理回数、濃度および処理時期について検討した。200 ppm GA_3 と 20 ppm CPPU との混用液に、開花 7 日前～開花初期とその 27～58 日後の計 2 回、花（果）房を浸漬処理することによって、果形が縦長であるが完全な無種子で‘田中’（二倍体有種子果）と同等の大きさの果実が得られた。しかし、糖含量は年次変動によって二倍体有種子果より低い場合があった。

三倍体無種子果のがく片の大きさおよびがく孔の内径は二倍体有種子果の約 2 倍に拡大し、果心部の子室に直径 1 cm 強の空洞が生じたが、その容積は果実全体の容積の 7% であった。果肉は赤道部で二倍体有種子果の約 2 倍厚くなり、重量割合で約 20% 増加したことから、三倍体無種子果の可食率は 90% となった。三倍体無種子果の果肉の肥大は、 GA_3 および CPPU によって細胞数の増加と細胞の肥大が促進されたためと考えられた。

引用文献

- 千葉県農業試験場安房分場編. 1963. ジベレリンによるビワの無核果の造成. 昭和 35 年度, 昭和 36 年度, 昭和 37 年度果樹試験成績 : 30–38.
- 平田尚美・饒 景萍・東條浩章. 1987. キウイフルーツの果実の発育生理に関する研究. (第 1 報) 果肉細胞の分裂・肥大と果実生長に及ぼす KT-30 の影響. 園学要旨. 昭 62 秋 : 164–165.
- 清川薫雄. 1989. 寒害によるビワ無種子果実の生長におよぼす植物ホルモン処理の効果. 園学雑. 58 (別 2) : 124–

- 125.
- 黒崎敏晴・望月てる代. 1990. キウイフルーツ‘モンティ’果実の生育と含有成分に及ぼすKT-30処理の影響. 園学雑. 59: 43-50.
- 松井鑄一郎・菅沼広美. 1971. ビワの単為結実について. 農及園. 46: 529-530.
- 松本和紀・大庭義材・矢羽田第二郎・津田勝男. 1990. ビワ果実の寒害対策に関する研究. (第1報) ビワ果実の寒害の実態並びに被害果実の植物生育調節剤処理による肥大促進. 福岡農総試研報. B-10: 61-64.
- 松本和紀・大庭義材・矢羽田第二郎. 1993. 開花期前後のジベレリン処理によるビワの無核果作出. 福岡農総試研報. B-12: 61-64.
- 村西三郎. 1979. 枇杷の人為倍数体に関する研究. (第1報) ジベレリン処理無核果形成について. 園学要旨. 昭54秋: 68-69.
- Muranishi, S. 1983. Effect of gibberellic acid (GA) on the seedless fruiting of artificial polyploids in loquats. Acta Hortic. 137: 343-347.
- 大畑徳輔・広瀬和栄. 1962. ジベレリン処理がビワの無核果形成に及ぼす影響. 園学要旨. 昭37秋: 4.
- 柴 寿. 1991. ブドウにおけるフルメット液剤使用の注意点. 果実日本. 46(3): 66-69.
- 高木敏彦・池田竜司・向井啓雄・鈴木鐵男. 1993. ビワの寒害果の肥大に及ぼすジベレリンおよびホルクロルフェニユロンの影響. 園学雑. 62 (別2): 10-11.
- 高木敏彦・向井啓雄・池田竜司・鈴木鐵男. 1994. 寒害によって生じたビワ種子枯死果の肥大発育に及ぼすジベレリンならびにホルクロルフェニユロンの処理効果. 園学雑. 62: 733-738.
- 田中丸邦彦. 1989. 新植物成長調整剤「フルメット液剤」の開発経緯と特性. 農薬. 36(3): 40-46.
- 谷 秀樹・堀内昭作・段 正幸・加藤彰宏. 1991. ビワ無種子果実生産に関する研究. 近畿中国農研. 81: 35-38.
- 八幡茂木・佐藤三郎・小原 均・松井弘之. 2004. アミプロフォスメチルおよびコルヒチンによるビワ四倍体の作出. 園学研. 3: 339-344.
- 八幡茂木・佐藤三郎・小原 均・松井弘之. 2005. ビワの倍数性による形態および結実特性の差異と二倍体と四倍体の交雑による三倍体の獲得. 園学研. 4: 379-384.
- 八幡茂木・佐藤三郎・赤山喜一郎・小出 香. 2005. ビワ新品種‘希房’について. 園学雑. 74 (別1): 248.
- 湯田英二・石谷雅子・中川昌一. 1987. ビワ果実の肥大に及ぼすジベレリン補助物質の添加効果. 園学要旨. 昭62秋: 116-117.
- 湯田英二. 1988. 生理活性物質利用による果樹の単為結果誘起. 植物の化学調節. 23: 66-75.