

# ヒュウガナツの結果性と種子数に及ぼす受粉の影響

中島 芳和・尾上 弘之・村田 彰三

(農学部果樹園芸学研究室)

## Effects of pollination on the fruiting and number of seeds in Hyūganatsu (*Citrus tamurana Hort. ex Tanaka*)

Yoshikazu NAKAJIMA, Hiroyuki ONOE, and Shozo MURATA

Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture

**Abstract:** Self and cross hand pollination, open pollination and spraying of 10 ppm GA solution for the leafy flowers of Hyūganatsu (*Citrus tamurana Hort. ex Tanaka*) in the vinyl house set up in the winter were conducted to investigate the behavior of pollen tubes in the style and ovary, the fruiting and the number of seeds in fruit. Self pollen tubes stagnated in the middle or bottom of the styles and hardly penetrated into the ovaries at 10 days after pollination, but cross pollen tubes (*Citrus hassaku*) reached the outer and inner integument within 5 to 7 days after pollination. A few pollen tubes open pollinated penetrated into the ovaries, whereas a many of them elongated in the styles. Hyūganatsu insufficiently parthenocarpic set a many seedless fruit when the trees became vigor and their abundant leafy flowers appeared for keeping warmth in the winter. However, the fruit set of seedless fruit self or non-pollinated were lower than that of seedy fruit cross or open pollinated and of seedless fruit GA sprayed. As the set of seedy fruit increased, the set and weight of seedless fruit in the same tree decreased. Therefore, the tree not bearing seedy fruit tends to produce more and larger seedless fruit. The seedless fruit had 24 to 40% and the seedy fruit contained 1 to 6 seeds had 38 to 57% of the fruit set under open pollination respectively in this study. In this case, honey bees visited flowers about 40 times per 5 hours in the day, and the ratio of pollinator (*Citrus band*) to Hyūganatsu in number of flowers were about 2 to 7% in the vinyl house.

### 緒 言

ヒュウガナツの果実が翌年の第二次肥大期を迎えると、種子数の多い果実には、す上がりや回青などの生理障害が多く発生して品質が著しく低下しやすくなる。一方、少核果や無核果は第二次肥大が緩慢で、生理障害も発生しにくいことから収穫の適期が比較的長い<sup>(1)</sup>。本実験ではこれらの少核果や無核果の着生と受粉法との関係について試験した。

### 材 料 お よ び 方 法

実験 I ビニールハウス (間口 5.4m, 奥行き 20m, 中央の高さ 3m) で栽培しているコンクリートポットの 8 年生樹を供試した。開花期にはそれらのうちの 6 樹を木わくで囲い、その上を寒冷しゃで被覆した。この被覆樹を用いて樹ごとに次の処理を行なった。(i) 開花当日に自家受粉, (ii) 開花前日のつぼみをピンセットで除雄, (iii) 開花当日の午前中にジベレリン 10 ppm 液を雌ずい全体に噴霧。一方、被覆樹以外の樹の中から 2 樹を選んで開花当日のつぼみを袋かけし、翌日新鮮なバンオウカンの花粉を飽和状態になるまで人工受粉した。受粉後、再び被袋し、7~10日めに袋を取り除いた。ハウス内の樹がほぼ満開となった 4 月 26 日に、巣礎 10 枚を入れた約 1 万匹がなる巣箱をハウスの中に入れ、ミツバチによる放任受粉を行なった。なお、授粉樹としてバンオウカン幼樹を用いたが、バンオウカンの開花総数はヒュウガナツの全開花数のほぼ 7% であった。自

自家受粉と放任受粉を行なった樹の一部の花を、受粉後1, 3, 5および7日めに採取し、花柱と子房内の花粉管の行動について観察した。検鏡の方法は中島ら<sup>(7)</sup>と同じである。果実発育の季節的変化を調べるため、防虫区の果実と交雑区の中から大玉果と極小果をそれぞれ20果ラベルし、時期的に横径縦径を測定した。なお、果実採取後、種子数を調べて無核果を確認した。種子数に及ぼす受粉回数の影響については、同一ハウス内の4年生樹の夏花を用い、開花前日にそれらのつぼみを被袋して、翌日バンオウカンの花粉を0, 1および2回にわけて人工受粉した。そして7~10日後にそれぞれ袋を除去した。2回受粉区では最初の受粉から3時間後および24時間後の2通りの処理を行なった。受粉量を変化させた実験は野外で栽培している70l容ポットの8年生樹で行なった。まず、開花期に寒冷しゃをかけ、ハッサク花粉を人工受粉した。解剖針の先端にごく少量の花粉をつけ柱頭の中央部の一部分に添加した少量区と、柱頭全体が花粉の色を示すほどに十分に添加した多量区の2区を設けた。これらの一部の花についても花粉管の行動を観察した。

実験Ⅱ 30l容ポリポットに栽植の4年生樹を前記と同じ程度の大きさのビニールハウスで栽培した。有葉花の開花数が多くなった4月16~17日と同月24~25日の2回に、それぞれ2日間、5本と7本の開花中のバンオウカンハウスに入れ、同時に約1万匹のミツバチを放飼した。ミツバチの訪花回数は4月16日と26日に調査したが、まず、レンズの視野に4花がはいるように約1.5m離れた位置にカメラを設置し、午前10時から午後3時までの5時間、4秒ごとに自動撮映した。なお、実験ⅠおよびⅡとも、調査の対象として開花後4~5日以内の強勢な有葉花をラベルした。

### 実験結果

ヒュウガナツの自家花粉管はバンオウカンやハッサクのそれと比べると花柱内の伸長速度が劣り、受粉後10日を経過しても子房内に侵入しなかった (Table 1~2)。一方、放任受粉した花粉

Table 1. Elongation of pollen tubes self and cross pollinated

	Pollinating method	Days after pollination		
		1	3	5
Maximum elongation in the style (mm)	Self	2.7±0.1	3.5±0.2	5.3±0.3
	Cross (open)	4.7±0.3	4.8±0.7	6.2±0.7
	Cross (hand)	3.2±0.2	4.3±0.3	4.8±0.8
Rate of elongation to style length (%)	Self	35.3±1.6	42.7±2.0	58.8±3.1
	Cross (open)	57.1±3.8	57.8±2.6	64.9±6.6
	Cross (hand)	42.2±2.1	56.0±3.0	65.3±6.5

Table 2. Situation of pollen tubes in the ovaries

Situation of ovary	Days after pollination						
	5			7			10
	Self	Cross (open)	Cross (hand)	Self	Cross (open)	Cross (hand)	Self
Non-penetration	100	75.0	22.2	100	78.6	0.0	100
Upper part of ovary	0	0.0	0.0	0	14.3	0.0	0
Placenta	0	0.0	22.2	0	0.0	0.0	0
Hairs from stylar canal	0	0.0	0.0	0	0.0	11.1	0
Outer integument	0	12.5	33.4	0	0.0	55.6	0
Inner integument	0	12.5	22.2	0	7.1	33.3	0
Ovary number	8	8	9	6	14	9	9

Values in the situation rank are percentages of ovary number

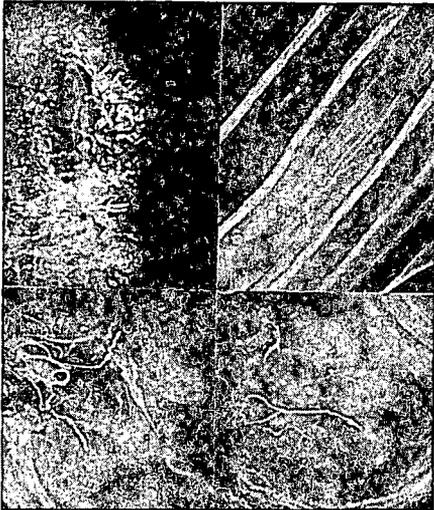


Fig. 1. Behavior of pollen tubes at various days after open pollination.

Upper left : one day, upper right: three days, bottom left: five days, bottom right: seven days.

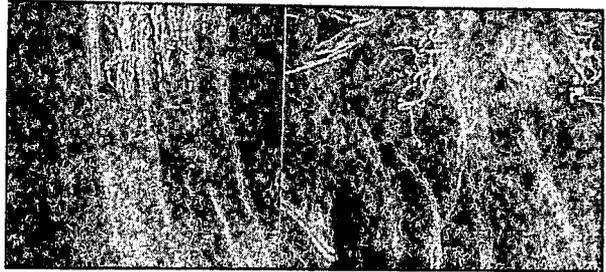


Fig. 2. Behavior of pollen tubes at five days after self and cross pollinations.

Left : self pollen tubes in the center of the style, right : cross pollen tubes penetrating into the outer integument.

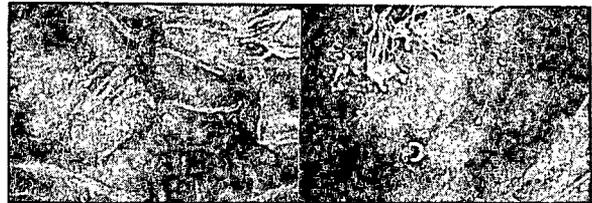


Fig. 3. Behavior of pollen tubes at seven days after self and cross pollinations.

Left : the ovary not penetrated by self pollen tubes, right : cross pollen tubes penetrating into the inner integument.

管は人工受粉したハッサクの花粉管に比べると、子房内への侵入速度が劣る傾向にあり、受粉5～7日後の子房内への侵入数は放任受粉区でわずか2割程度、人工受粉区では8～10割を占めた (Table 2, Fig. 1～3)。1977年の12月9日に測定した結果率は他家受粉区の50.0%を最高に、ジベレリン10ppm液噴霧区で44.5%、放任受粉区で35.6%であった。一方、除雄区は12.2%であったが、自家受粉区と無処理区では22～23%となった (Table 3)。翌年の1月23日に各ポットから標準的な果実8個を採取し、その形質を調査した (Table 3～4)。平均果重は他家受粉区で268.0gの大果となり、次に自家受粉区と除雄区が177～167gとなって、ジベレリン処理区と放任受粉区の141gをしのいだ。種子数は他家受粉区で37.5粒に対して放任受粉区では3.7粒とごくわずかであったが、その他の区ではすべて無種子であった (Fig. 4)。果汁の糖度と酸含量について、自家および他家受粉とジベレリン噴霧の3区を比較したが、処理間にほとんど差異はなかった。一方、

Table 3. Effect of pollinating method on the fruiting and seed content

Method	Flower number treated	Percentage of fruit set	Fruit weight (g)	Seed content
Non-pollination	78	23.1	141 ± 10.7	0
Castration	148	12.2	167 ± 8.4	0
Self pollination	196	22.4	177 ± 8.5	0
Spraying of 10 ppm GA	182	44.5	141 ± 7.1	0
Cross pollination	42	50.0	268 ± 7.0	37.5 ± 2.1
Open pollination	177	35.6	141 ± 8.9	3.7 ± 1.0

Cheese cloth and paraffin paper bag were used to the insect protection

Table 4. Effect of pollinating method on the fruit quality

Method	Brix index	Acid content(%)	Fruit form*	Rate of peel thickness**
Self pollination	10.3±0.3	2.71±0.11	1.18±0.02	0.18±0.01
Spraying of 10 ppm GA	10.5±0.2	2.87±0.13	1.16±0.01	0.16±0.01
Cross pollination	10.5±0.1	2.72±0.11	1.13±0.01	0.18±0.01

\* Transverse/longitudinal diameter. \*\* Peel thickness×2/transverse diameter of fruit.

Table 5. Relation between the set of parthenocarpic and seedy fruit

Method of pollination	Percentage of fruit set		Percentage of seedy fruit	Seed content*	Fruit weight (g)	
	Seedless	Seedy			Seedless	Seedy
Non	23.1	0.0	0.0	0.0	141±10.7	—
Open	14.1	21.5	60.3	5.0±1.4	120±8.2	154±9.3
Cross	0.0	50.1	100.0	41.4±2.2	—	268±7.0
Open, in the cross plots	1.0	15.1	94.1	19.2±2.0	87.6	144±8.0

\* Average for seedy fruit.

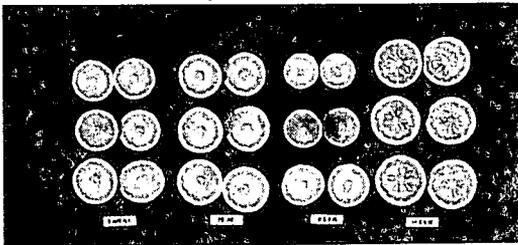


Fig. 4. Fruit characters related to various pollinations.  
From left to right: non pollination, castration, self and cross pollinations.

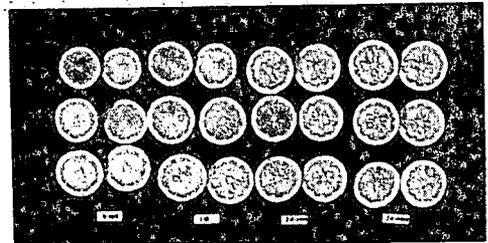


Fig. 6. Fruit characters related to the number of pollinating times.  
From left to right: non pollination, one time, two times at intervals of three hours, and 24 hours.

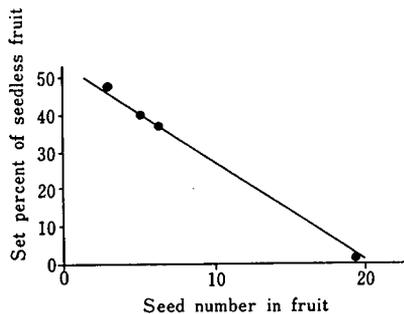


Fig. 5. Relation between the set of seedless fruit and seed content in fruit in the same tree.

果形指数は他家受粉区が最も低くなり、他の2区よりも腰高の果実になった。同一樹における無核果と有核果の結果性は Table 5 のとおりである。すなわち有核果の混在率が高くなるにつれて無核果の結果率および果重が低下する傾向にあった。特に混在率が非常に高い場合には有核果の種子数が多くなり、無核果は極端に小さくなった。Fig. 5は有核果の種子数と無核果の着生率との関係を示したもので、有核果の平均種子数が20粒に近くなると、無核果はほとんど着生しない傾向にあった。花粉親にハッサク

を用いて受粉回数を変化させると、果実の種子数は Table 6, Fig. 6のごとく、1回処理区の27.2粒に対して2回処理区では38.1~38.2粒とやや増加した。受粉間隔を3時間と24時間に変えた2回処理区では種子数にほとんど差異がなかった。さらに受粉量の多少と種子数などとの関係は Table 7

および Fig. 7 のとおりで、受粉量が多くなると、やや種子数が増加したが、少量区でもすでに 31.2 粒に達した。無核果および有核果の季節的な肥大状態は Fig. 8 のとおりで、防虫区の無核果に比べると有核果の混在する無核果の肥大は果実発育のかなり早い時期から抑圧されている。

実験Ⅱ 有葉花の開花期は Fig. 9 のとおりで、ハウス栽培の供試樹は実験Ⅰも同様に4月上旬から開花し始め、同月下旬に満開期となった。一方、野外の樹の開花期は5月中旬から下旬にかけての短期間であった。放任受粉を行なった時期の授粉樹とヒュウガナツの開花数は Table 8 のとおりである。4月16~17日から同月24~25日の間にヒュウガナツの開花数は約3倍増加した。またパンオウカンの開花数も1樹当たり約5倍に増加した。4月16日と25日のミツバチの訪花回数は午前10時から午後3時までの5時間で約40回であった (Table 9)。ヒュウガナツの結果性と授粉樹数との関係は Table

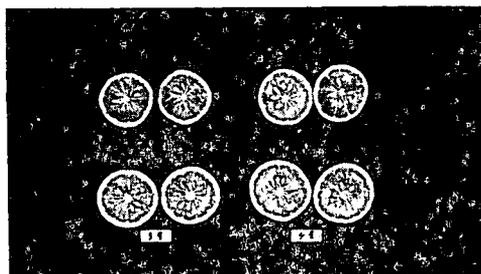


Fig. 7. Fruit characters related to the different application of cross pollen grains. Left : much, right : a little.

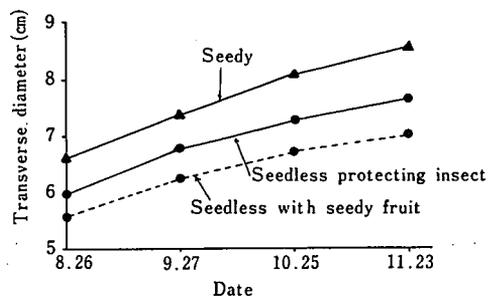


Fig. 8. Seasonal changes in the development of seedy and seedless fruit.

Table 6. Effect of the number of pollinating times on the seed content in fruit

Pollinating time	Average	Minimum	Maximum
0	0	0	0
1	27.2 ± 1.6	7	38
2 at intervals of 3 hours	38.2 ± 1.8	27	45
at intervals of 24 hours	38.1 ± 2.1	31	47

Table 7. Effect of pollinating volume on the fruit characters

Volume	Number of seeds	Fruit weight	Fruit form
Much	39.2 ± 3.4	221.5 ± 23.6	1.16 ± 0.02
A little	31.2 ± 2.0	237.1 ± 11.0	1.15 ± 0.01

Table 8. The number of flowers of Hyūganatsu and Banō at open pollination

Flying days of honey bees*	Number of flowers		Banō/hyūganatsu %
	Hyūganatsu	Banō	
Apr. 16-17	2,490	50	2.01
24-25	7,150	370	5.17

\* A nest box containing about 10,000 bees was transferred in the vinyl house at every flying day.

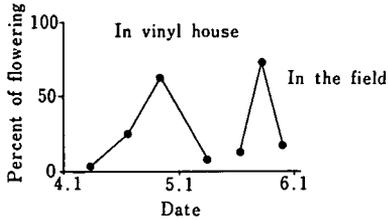


Fig. 9. Seasonal changes in the flowering of leafy shoots.

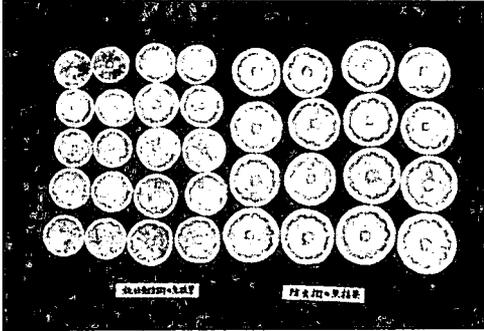


Fig. 10. Seedless fruit in the tree with and without seedy fruit.

Left: produced by open pollination,  
right: by insect protection.

10のとおりで、授粉樹数が多くなると結果率および種子数が増加した。しかし種子数は2%区で4.7粒、5%区で6.7粒となりかなり少なかった。そして種子数別果数の割合は0~6個の種子を含む果実が2%区で90%、5%区で84%となった。果実品質と種子数との関係を Table 11の放任受粉区で見ると種子数が多くなることで果重が増加するが、果形指数や果皮の肥厚率、糖酸含量の間に一定の傾向はみられなかった。防虫区の無核果は実験Iと同様に放任受粉区の無核果よりも大きくなった (Fig. 10)。

Table 9. The number of visiting times of honey bees to the flowers (four flowers)

	27	36	40	41	Average
Apr. 16					39
	25	27	38	41	60

Photographed from 10 a. m. to 3 p. m. every four seconds

Table 10. Effect of the number of pollinators on the fruiting

The number of pollinators *	Flower number labelled	Percentage of fruit set	Seed content	Percentage of fruit number in the range of seed content		
				0	1-6	Over 10
0	285	13.4	0.0	100	0.0	0.0
2	283	18.0	4.7±1.5	23.8	56.7	10.0
5	1,202	25.3	6.7±1.7	36.5	37.9	16.1

\* Banō/Hyūganatsu, see table 8.

Table 11. Relation between the number of seeds and fruit quality

Pollination	Seed content	Fruit weight	Fruit form* index	Rate of * peel thickness	Brix index	Acid content
Non	0	140±7.9	1.16±0.04	0.12±0.004	10.5±0.15	2.4±0.20
Open	0	120±8.4	1.18±0.02	0.13±0.004	10.4±0.16	2.4±0.21
	1-6	135±6.5	1.17±0.03	0.15±0.005	10.2±0.11	2.6±0.07
	Over 10	211±9.7	1.13±0.02	0.14±0.004	10.8±0.22	2.6±0.16

\* See table 4.

## 考 察

ヒュウガナツは自家不和合性のうえに、単為結果性が弱い品種とされている<sup>(3)</sup>。三輪はその不和合性の原因を子房内に侵入した自家花粉管が胎座部で停滞することにあるとしているが、本実験では山下<sup>(13)</sup>の観察と同様に、子房内部への自家花粉管の侵入は認められなかった。したがって、柱頭上の埋没や発芽の遅延、ならびに花柱内の伸長の遅延などが自家不和合性の一つの原因と思われる。しかし、ヒュウガナツの単為結果性は冬季に保温をして樹勢を強くし有葉花を多く出させることによって増加する<sup>(5)</sup>。本実験でも、有葉花の結果率は有核無核をとわずかなり高くなった。したがって、ヒュウガナツ栽培にあたって、冬季の低温を回避し、樹勢を強くして有葉花を多く出させることが生産の安定に大きく役立つものと考えられる。ジベレリン 100 ppm 液の施用でヒュウガナツの単為結果性は増加する<sup>(6)</sup>が、施用方法として樹園を全面散布する場合には、この濃度では落葉を起こす危険があり<sup>(6,11)</sup>、経済的にも実用化しにくい。本実験では 10 ppm の濃度でも、はっきりと単為結果性が増加し、果形もほとんど影響を受けないことから全面散布で施用する場合には、この程度の低濃度が適用できるものと考えられる。Powell ら<sup>(8)</sup>は開花期のカンキツにジベレリンを施用して無核果を結果させたが、その果実は自家受粉した有核果と似通った転流のパターンを示している。すなわちジベレリン処理や自家受粉を行なうと除雄した時よりも C<sup>14</sup> の代謝産物が若い子房や幼果に、より強く転流する。したがって、この代謝産物の果実への転流が着果や果実の発育に重要な要因となるわけである。Goldwin ら<sup>(2)</sup>は単為結果性の弱いリンゴ品種に対して完全に他家受粉を妨げると、有核果と変わらない大きさの無核果を得ている。また Soost<sup>(10)</sup>は自家不和合性のブントンを防虫して他家受粉を妨げることにより無核果を生産した。本実験でも一樹の中で有核果の混在率が高くなると、種子数の多い大玉の果実が得られる半面、無核果の結果率は低くなり、その果実の大きさも次第に小さくなる傾向にある。そして種子数の多い有核果が混在する場合の無核果では、果実発育のかかなり早い時期から生育が抑制されている。したがって有核果を着生しない樹の無核果では比較的結果率が高く、果実も大きくなりやすい。今回の人工受粉の回数や受粉量の試験では、いずれも多種子の果実が得られ、種子数に及ぼす処理間の影響がはっきりとは認められなかった。しかし Brown ら<sup>(1)</sup>は解剖顕微鏡のもので 10~20 粒の受粉により少核果を生産している。一方、放任受粉で得られた果実は実験 I で平均 3.7 粒の種子数、有核果のみの平均では 5.0 粒であった。また実験 II においても授粉樹の混植率に差異はあったが、収穫果の平均種子数は 4~7 粒の範囲にあり、そのうちの無核果は全体の 24~37% を占めている。放任受粉における柱頭上の花粉添加量は第 1 図のごとく、多量に人工受粉した場合と劣らないものと考えられるが、花粉管の子房内への侵入がごくわずかなことから、放任受粉した花粉には自家花粉が多数を占めていることが分る。したがって、今回のミツバチによる放任受粉の場合には、まず自家受粉が主となり、その後で他家受粉が行なわれることによって他家花粉の埋没や発芽、伸長が抑制された結果、種子数の少ない果実が多くできたものと考えられる。種子数は授粉樹の種類や環境、生理的な要因などによって影響を受ける<sup>(9,12)</sup>が、本実験のミツバチの訪花回数は柱頭上の授粉量からみて十分なものと考えられる。今後は供試本数に対するミツバチの数、放任受粉の期間、授粉樹の混植率および栽植距離など相互の関係を調べる必要がある。グレープフルーツやスイートオレンジでは 0~6 個の種子を含む果実を管利的な無核果と呼んでいる<sup>(4)</sup>。ヒュウガナツでもこの少核果の品質は純粋な無核果と大差なく、す上がりや回青などの老化が起こりにくい<sup>(4)</sup>。しかし本実験で 1 月 30 日に測定した果実品質は果重を除いて有核果と無核果との間にほとんど差異を示していない。このことは収穫時期が十分な成熟期に達していなかったことによるものと考えられる。

## 摘 要

ヒュウガナツの有葉花に対して、自家および他家の人工受粉、ミツバチによる放任受粉ならびにジベレリン 10 ppm 液噴霧を行ない、その結果性と種子数に及ぼす影響を調べた。ヒュウガナツの自家花粉管は花柱内での伸長がおそく、花柱の中下部で停滞した。そして受粉後10日を経ても子房内に侵入しなかったが、他家花粉管(ハッサク)は受粉後5~7日めには外珠皮および内珠皮に到達した。放任受粉した花粉管は数多く花柱内を伸長したが、子房内に侵入した数はごくわずかであった。したがって、本実験の放任受粉の場合には自家受粉が多くなされたことになる。ヒュウガナツを冬季に保温し、樹勢を強くすると、有核果ばかりでなく無核果の着生率が高くなった。その中で、自家受粉や無受粉によって得られた無核果の結果率よりも、他家の人工受粉や放任受粉による有核果およびジベレリン 10 ppm 液噴霧による無核果の結果率の方がそれぞれ高くなった。一方、同一樹の中で有核果の数が多くなるにつれて、無核果の結果率および果重が低下した。したがって、有核果を着生しない樹の無核果では比較的結果率が高く、果実も大きくなりやすい。

本実験の放任受粉の条件はミツバチの訪花回数が日中の5時間あたり約40回、そして授粉樹の混植率が2~7%であったが、結果した果実の24~40%は無核果、そして38~57%が1~6個の種子を含む少核果であった。

## 引 用 文 献

1. Brown, H. D., and A. H. Krezdorn. 1969. Hand pollination tests and field evaluation of pollinators for Citrus. Proc. Fla. Hort. Sci. 82 : 43-48.
2. Goldwin, B. K., and W. W. Schwabe. 1975. Parthenocarpic fruit in Cox's Orange Pippin apples, obtained without hormones. J. Hort. Sci. 50 (2) : 175-178.
3. 三輪忠珍. 1951. 日向夏蜜柑の授粉, 受精現象と落果問題に就いて. 宮崎大学時報. 2. 1-67.
4. 中島芳和. 1976. 日向夏ミカンにおける第二次肥大期の果実品質に及ぼす種子数の影響. 高知大学学術研究報告. 25 (11) : 93-97.
5. \_\_\_\_\_. 1977. 日向夏ミカンの単為結果性に及ぼす夜温と施肥の影響. 園芸学会春季大会発表要旨. 104-105.
6. \_\_\_\_\_. 川添真知子, 川村一成, 吉村不二男. 1976. 日向夏ミカンの単為結果性に及ぼすジベレリンの影響. 高知大学学術研究報告. 25 (6) : 51-57.
7. \_\_\_\_\_. 尾上弘之, 村田彰三. 1977. 晩柑類幼樹の結果性に及ぼす交雑の影響. 高知大学学術研究報告. 26 (19) : 183-190.
8. Powell, A. A., and A. H. Krezdorn. 1977. Influence of fruitsetting treatment on translocation of  $^{14}\text{C}$ -metabolites in Citrus during flowering and fruiting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102 (6) : 709-714.
9. Reece, P. C., and R. O. Register. 1961. Influence of pollinators on fruit set on Robinson and Osceola tangerine hybrids. Proc. Fla. Hort. Soc. 74 : 101-106.
10. Soost, R. K. 1963. Self-incompatibility in Citrus grandis Osbeck. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84 : 137-140.
11. \_\_\_\_\_. and R. H. Burnett. 1961. Effect of gibberellin on yield and fruit characteristics of Clementine mandarin. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 77 : 194-201.
12. Wong Cheon-yin. 1939. The influence of pollination on seed development in certain varieties of Citrus. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 37 : 161-164.
13. 山下研介. 1977. 晩柑類の栽培・育種に関する基礎的研究. 園芸学会春季大会発表要旨. 102-103.

(昭和53年9月20日受理)

(昭和54年2月13日発行)