



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사 학위 논문

시설재배 *Atemoya*(*Annona cherimola*
× *A. squamosa*) 'Hillary White'
품종의 개화·결실 및 과실발육 조절

제주대학교 대학원

원예학과

김시현

2010년 7월

시설재배 Atemoya(*Annona cherimola*
× *A. squamosa*) 'Hillary White'
품종의 개화·결실 및 과실발육 조절

指導教授 韓 尙 憲

金 時 賢

이 論文을 農學 博士學位 論文으로 提出함

2010年 7月

金時賢의 農學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

委 員 _____

委 員 _____

濟州大學校 大學院 園藝學科

2010年 7月

Control of Flowering, Fruit Set, and Fruit
Development of 'Hillary White' Atemoya (*Annona
cherimola* × *A. squamosa*) in Greenhouse cultivation

Si-Hyun Kim

(Supervised by Professor Sang-Heon Han)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Agriculture

July 2010

Department of Horticulture
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
Summary	iii
List of Table	viii
List of Figures	x
I. 서 언	1
II. 연구사	3
1. 재배조건에 따른 수체생육 및 개화특성	3
1-1. 전정 및 적엽시기별 수체생육 특성	3
1-2. 신초발아 및 개화특성	4
2. 화분발아 특성과 인공수분에 의한 과실 품질	5
2-1. 재배환경에 따른 화분발아 특성	5
2-2. 개화단계 및 인공수분 시기와 시간	6
2-3. 수확시기에 따른 과실 품질 변화	6
III. 재료 및 방법	8
1. 전정 및 적엽시기에 따른 생육특성	8
1-1. 전정 및 적엽처리	8
1-2. 생육특성 조사	9
2. 개화 및 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성	10
2-1. 개화에 따른 화분발아 특성	10

가. 개화시기 및 시간	10
나. 화분저장 및 화분발아	10
2-2. 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성	11
가. 인공수분 시기와 시간에 따른 결실을 및 과실 품질	11
나. 성장조절제 처리에 의한 과실비대	12
다. 수확시기에 따른 과실 품질	14
3. 통계분석	14
IV. 결과 및 고찰	16
1. 전정 및 적엽시기에 따른 발아 및 개화 반응	16
1-1. 봄 전정 및 적엽과 개화특성	16
1-2. 여름 전정 및 적엽과 개화특성	23
2. 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성	30
2-1. 개화시기에 따른 화분발아 특성	30
2-2. 화분저장 기간에 따른 화분발아 및 과실 품질 특성	35
2-3. 인공수분 시기와 시간에 따른 결실을 및 과실 품질 변화	38
2-4. 인공수분 후 성장조절제 처리에 의한 과실비대	46
2-5. 수확시기에 따른 수확 후 과실 품질 특성	49
V. 종합고찰	56
VI. 적 요	59
VII. 참고문헌	62

Summary

This paper presents the outcome of the study carried out for three years from 2007 to 2009 in order to establish more effective and systematic methods for better flowering and fruit-setting of the atemoya currently grown in the greenhouses in Korea. For this purpose, many aspects of atemoya 'Hillary White' such as flowering characteristics, pollen germination, artificial pollination, fruit-setting, harvesting, fruit growth, and fruit quality were examined and analyzed. The findings obtained through this study can be summarized as follows.

Pruning and defoliation were simultaneously executed in spring to promote even shoot germination and flowering because the leaves didn't spontaneously fall off when the temperature in the greenhouse had been maintained above 0°C during winter. Shoot germination started in 8 to 16 days, and flowering did in 50 to 55 days after pruning. For more efficient work in the greenhouse, pruning was applied to three different points in the 3-stem-trained tree. The measurement after 120 days from pruning ranked the shoot length in descending order of upper-, center-, and lower-part pruning. Other two characteristics, the number of nodes and the diameter at the base of the shoot, also showed the greatest growth in case of upper-part pruning. However, the opposite was observed in internode length. The number of flowers peaked in the period of from 10 to 25 days after the first flowering. It then gradually decreased, finally arriving at stability.

In greenhouse cultivation, it is important to determine a proper time for artificial pollination by scrutinizing the changes in the state of pistils and stamens happening over the flowering stages. In fine weather, little change

was observed in the state of petals and stigmas in the evening two days before full-bloom (D-2P), small hiatuses began to appear on the petals in the morning one day before full-bloom (D-1A), and petals began to split open around 17 o'clock one day before full-bloom (D-1P), with vigorous secretion on stigma. Stigma remained moist until 9 o'clock next morning, and then secretion began to decline. The state of petals and stigmas stayed unchanged until the morning of the day when the flower attained to full bloom. In the evening of the same day, fluid on the stigma could be barely noticed and the petals dehisced more widely so that petals and anther scattered off at a slight touch. Next morning, it was observed that petals turned rather dry or fell off, and stamens turned brown, with germination rate staying quite low.

High temperature in summer and the likes cause a smaller number of flowers and an unstable fruit-set rate on the branches in hypertrophy . Summer-season pruning/defoliation was tried to verify if it would raise the exuberance of flowering and fruit-set rate. Shoot development and initial flowering, respectively, took about 10 and 30 days. Better outcomes in the number of flowers and that of fruits, were observed in descending order of upper-, center-, and lower-part pruning. No significant difference was found between the pruning alternatives applied to either a point above the 3rd node or the 6th. Growth regulator soaking treatment was applied to the fruits in 30 or 40 days after artificial pollination in order to improve fruit-set rate. Higher fruit-set rate was realized in the treated fruits than in the non-treated ones. But the difference between those treated in 30 days and those treated in 40 days turned out to be insignificant.

Atemoya gives out flowers before new leaves sprout up, which induces markedly low germination rate of the pollens in early flowers, and thus makes timely artificial pollination utterly important. When pruning/defoliation

was carried out, the germination rate reached its peak 30 days after initial flowering, and began to drop in 50 days. Also, high proportion of tetrad pollens and low rate of pollen germination were seen among the pollens in early flowers. Examination on the growth of pollen tubes in pollen incubation uncovered that the pollen tubes barely grew at 10°C of temperature, and that they developed better at 25°C rather than at 15°C.

Atemoya is a plant whose pistils and stamens pass through different development stages. It also has a short flowering period and scanty anther dust, which makes artificial pollination quite difficult. To find out efficient pollination methods, pollen germination rate and viability of artificial pollination were studied for a set of pollen storage times. Pollen germination rate was highest for those pollinated on the collection day, but it showed a tendency to rapidly drop for those pollinated on the 3rd day of storage or later. Study on the fruit-set rate after artificial pollination, compared by the pollen storage time, disclosed that higher pollen germination rate tends to lead to the similar rate in fruit setting. Pollen germination rate showed a significant difference among those pollinated at different flowering stages such as D-1A, D-1P, D-0A, D-0P, and D+0A. Similar differences were also noticed among the pollens in different duration of incubation and those collected at different flowering time. Pollen germination rate was extremely low for those pollinated in early flowering stages. It also exerted significant effect on the fruit-set rate, but the effect on the fruit quality couldn't be concluded as significant. Fruit-set rate turned out to be the highest for the pollination done in the afternoon one day before full-bloom (D-1P), followed by the rates for the stages D-1A and D-0A. Conspicuous drop in the fruit-set rate was witnessed for the later flowering stages.

Artificial pollination is indispensable to the production of high-quality fruits. Right timing of artificial pollination is therefore extremely important in growing atemoya. Artificial pollination done 10 days after the initial flowering resulted in heavier weight but poorer shape of the fruits. Comparatively even distributions in shape index and fruit weight were gained for the fruits produced by pollinating the flowers opened 30 to 50 days after pruning. Fruit set rate showed similar tendency as pollen germination rate did, which means that pollination done 20 or 30 days after flowering caused high fruit-set rate, while that done at 10-day timelag led to a low rate. Comparison of fruit-set rates by the pollination time showed that the pollination practiced around 18 o'clock led to the highest fruit-set rate, and the rate was kept relatively high if the pollination was executed by around 10 o'clock next morning. Fruit droppage happened mostly around 20 days after pollination. Pollination failure could be visually identified in 4 days of pollination. Fruit-set rate eventually approached 38.2% 70 days after pollination.

Flowering and fruit-set could be boosted by exercising pruning and defoliation on the plants having scanty flowers and poor fruit-setting. Late fruit-setting, however, led to short fruit growth period and thus to lean fruit flesh. To stimulate early fruit growth, fruits were treated by soaking them in growth regulator. Widthwise thickening could be promoted with the treatment using GA 500 or GA 1000 mg·l⁻¹ regulators, compared to the results seen in the fruits, non-treated or GA 50 mg·l⁻¹-treated. It was also noted that fruit thickening started to accelerate around 30 days after pollination. In widthwise diameter of the fruits measured 100 days after pollination, no significant difference was identified between the two groups, non-treated and GA 500 mg·l⁻¹-treated. That diameter could be enhanced to 71.2mm with GA 500 mg·l⁻¹ treatment, and to 74.5 mm with GA 1000 mg·l⁻¹ treatment. Widthwise thickening continued to progress from the start right up to harvesttime.

It is beneficial for atemoya fruits to undergo a ripening treatment for a certain length of time after harvest. It is difficult to determine right time for harvest by visual inspection. In order to find out an appropriate time, four harvesttime alternatives, measured by the number of days after pollination, were tested. Harvested fruits were put on the after-ripening treatment for 8 to 10 days at 20°C of temperature. Comparing the fruit quality characteristics for the groups of different harvesttime revealed that the fruits in the groups with more than 140 days benefited stable result from after-ripening treatment and that incidents of skin browning were most frequently identified in the 120-day group. Level of sugar content turned out high in the groups of more than 140 days than that in the group of 120 days. It was observed that hexose content gradually increased in the days of after-ripening treatment and then began to decline around 9 days after the beginning of the treatment. Hexose gave out strong taste of sweetness, being made up mostly of fructose and glucose. Sucrose content was measured at a comparatively low level.

List of Tables

Table 1. Number of days to growth of atemoya 'Hillary White' grown under greenhouse condition after spring pruning and defoliation	17
Table 2. Shoot development characteristics for each spring pruning point in the three-layer trained tree	18
Table 3. Time lags from pruning to shoot germination and initial flowering	25
Table 4. Growth characteristics of the plant for each pruning point	26
Table 5. Pollen germination rates compared by pollen collection date and pollen storage time	36
Table 6. Pollen germination rate, fruit-set rate and fruit quality characteristics compared by pollen-collection data and pollen storage time	37
Table 7. Fruit quality characteristics after after-ripening for each flowering stage at the time of pollination	42
Table 8. Fruit quality characteristics after-ripening for each pollination time	43

Table 9. Fruit quality characteristics for each time lag from pollination to harvest51

Table 10. Effects of after-ripening on fruit quality for each time lag from pollination to harvest52



List of Figures

- Fig. 1.** Growth regulator soaking treatment of atemoya 'Hillary White' 13
- Fig. 2.** Shape index of fruit and fruit skin color. (Hue value) 15
- Fig. 3.** Changes in the number of flowers after spring pruning in each year
..... 21
- Fig. 4.** Petal shape and state of pistil and stamens at each flowering stage
..... 22
- Fig. 5.** Number of flowers, fruits and shoots for each shoot length (3rd and
6th node) left after pruning 27
- Fig. 6.** Shoot germination and flowering with summer pruning (left) and
without it (right) 28
- Fig. 7.** Fruit-set rate for the group shoot-top-cutted at 30 and 40 days after
pollination 29
- Fig. 8.** Pollen germination rate for the pollens collected at different days after
initial flowering 32
- Fig. 9.** Tetrad pollen grains with thick walls (left) and pollen germination 3
hours after incubation (right) 33

Fig. 10. Pollen tube length for each incubation growth of 'Hillary White' atemaya at different storage temperature	34
Fig. 11. Accumulate rate of fruit in each year	40
Fig. 12. Fruit set rates for each flowering stage at the time of pollination	41
Fig 13. Fruit set rates for each pollination time measured relative to full-bloom time	44
Fig 14. Fruit rates for each pollination time measured by the number of days after initial flowering	45
Fig 15. Fruit width for each concentration of used growth-regulator	47
Fig 16. Changes of fruit width over time for each concentration of used growth regulator	48
Fig 17. Fruit of atemoya 'Hillary White' right after harvesting and before after-ripening	53
Fig 18. Changes of fruit color before and after ripening of 'Hillary White' atemoya	54
Fig 19. Change in hexose content over time after harvest	55

I. 서 언

아떼모야(atemoya)는 Annonaceae(포포나무과), *Annona*속에 속하며 슈가애플(sugar apple, *Annona squamosa* L.)과 체리모야(cherimoya, *A. cherimola* Mill.)의 교잡종이다(Nakesone and Paul, 1998).

*Annona*속에는 세계적으로 약 100여종이 있는데 이중 호주에서 경제적으로 재배되고 있는 종은 체리모야, 스위트샵 그리고 아떼모야 3종이다. 아떼모야는 1850년대 호주에서 자연상태에서 발생한 잡종으로 발견되었으며, 1870년대 호주에서 재배되기 시작했고 이스라엘과 대만, 미국의 캘리포니아, 플로리다, 하와이에서 경제재배가 이루어지고 있다. 1908년 미국의 Wester에 의해 처음으로 인공 교배에 의해 아떼모야가 만들어졌는데 슈가애플(*A. squamosa*)의 브라질어 아따(ata)와 체리모야의 모야(moya)를 합해 아떼모야라고 명명되었다(Sanewski, 1998). 슈가애플의 원산지는 열대아메리카이며, 체리모야의 원산지는 해발 1,500~2,000m의 남미 안데스 산맥이다(Crane and Campbell, 1990; Morton, 1987).

우리나라 아떼모야 재배는 1990년초 제주대학교에서 시험적으로 도입되어 2001년에 서귀포지역에서 처음으로 재배가 시작되었다. 2008년 농가수는 17농가로 확대되었고 현재 재배되고 있는 아떼모야 주요 품종으로는 ‘힐러리 화이트’, ‘핑크스 맘모스’, ‘아프리카 프라이드’, ‘제프너’ 그리고 품종미상의 대만 도입종 등이다. 그러나 지금까지는 시설재배에 있어 과실 착과가 불안정하며 품질차이도 심한 편이다. 충분한 결실을 얻기에는 장기간에 걸쳐 다수의 꽃에 인공수분을 시행해야하는 어려움을 겪고 있다. 아떼모야 인공수분이 결실율에 미치는 요인으로 화분의 발아율, 자예의 수정 능력을 들 수 있다. 그러므로 화분발아에 미치는 환경요인의 영향이나 인공수분 시기 및 시간과 개화형태에 따른 결실율을 향상시키는 연구가 필요하다.

아떼모야 꽃은 자웅이숙으로 자예선숙형인데 수분은 화분 매개 곤충에 의해 이루어지지만 온실재배에서는 효과적인 방화곤충이 존재하지 않으므로 인공수분에 의존해야 한다(米本와 牧田, 1996). 이스라엘에서는 Nitidulidae과의 딱정벌레

류(*Glischrochilus hortensis*)가 곤충을 매개로 수분한다는 보고도 있지만(Gazit and Podoler, 1982), 호주에서는 경제재배에 있어서 인공수분이 필요하다고 하였다(George and Nissen, 1988). 또한 일본의 경우도 온실재배에서 인공수분하지 않으면 결실율이 아주 떨어지며 품질도 낮아 경제재배는 어려운 편이다(米本와 牧田, 1996).

인공수분의 경우 개화시기의 조만(Saavedra, 1977), 온도와 습도(George and Campbell, 1991) 등에 따라 화분 발아율과 결실율이 달라진다. 또한, 결실율은 인공수분 시기에 따라 변동하기 때문에 충분한 결실을 얻기에는 장기간에 걸쳐 다수의 꽃에 인공수분을 행하여야 한다. 특히, 시설재배가 필수적인 우리나라에서는 인공수분은 필수적이라 하겠다.

일반적으로 생육 기간 중 온도조건은 나무의 성장과 과실생산에 큰 영향을 준다는 것은 잘 알려져 있다. 기온이 생육적온 보다 너무 높게 되면 수체의 양분 소모가 촉진되어 착화와 착과가 불안정하게 된다. 그러므로 결실을 증진하여 농가 소득을 향상시키기 위해 시설재배시 개화시기 조절과 이에 따른 인공수분 적기를 구명하는 것이 무엇보다 중요하다.

따라서 이 연구는 시설재배시 아메모야 개화 및 결실 특성을 구명하고 효율적인 재배법을 확립하기 위하여 전정 및 적엽에 따른 개화반응, 인공수분 시기 및 시간, 수확시기에 따른 후숙 후 과실 품질 등에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구사

1. 재배조건에 따른 수체생육 및 개화특성

1-1. 전정 및 적엽시기별 수체생육 특성

체리모야는 세계 3대 미과의 하나로서 손꼽힐 만큼 매우 맛이 좋은 과실로 유명하지만 재배 적지가 극히 한정되어 있다(米本, 1990). 매년 온화하고 기온차가 적고, 우기와 건기가 분명해야 하는데, 이 때문에 체리모야의 재배에는 비교적 서늘하고 개화 결실기에 강우가 있는 기후가 적합하다고 여겨지고 있다. 체리모야의 원산지 이외에서의 재배는 스페인 사람이 원산지에서 묘목을 가지고가 재배를 시도한 것이 최초이다(Schroeder, 1945). 현재 세계에서 가장 경제재배가 발달해 있는 나라는 스페인으로 지중해에 접한 Malaga 지방에서 약 3000ha의 재배가 이루어지고 있다(sanewski, 1991).

슈가애플스위트샐(sugar apple, *Annona squamosa* L.)과 체리모야(cherimoya, *A. cherimola* Mill.)의 교잡종인 아떼모야는 체리모야와 비슷해서 맛도 좋으면서 나무는 더위에 강해 체리모야 보다 재배하기 쉽다(牧田, 1994). 아떼모야는 비교적 최근에야 재배가 되고 있는 과수로서 호주에서 재배되기 시작했고 이스라엘, 미국의 캘리포니아, 플로리다 그리고 하와이에서 경제재배가 이루어지고 있으며 아시아 국가에서는 대만에서 집약적으로 재배되고 있다.

아떼모야와 가장 흡사한 체리모야의 경우 나무의 생육에는 평균최저기온 7~18℃, 평균최고기온 15~28℃가 적합하며, 과실의 성숙에는 평균최저기온 8~12℃, 평균최고기온 18~22℃가 적합하다(Sanewski, 1991). 성목은 단기간이면 -4℃의 저온에도 견디지만, 어린 묘목은 -2℃에 냉해를 입는다(Yonemoto, 2002). 아떼모야의 경우도 어린묘목은 -1℃, 성목은 -3℃의 저온에서 고사하며, 과실의 경우 10℃ 이하의 기온에 장기간 노출되거나 4℃ 이하의 기온에 단시간 노출되면 과피의 변색과 열과가 발생한다(牧田, 1994).

생육기간중의 온도조건은 나무의 성장과 과실생산에 커다란 영향을 준다는 것은 잘 알려져 있다. 기온이 생육적온보다도 너무 높게 되면, 수체가 영양생장으로 기울어져 줄기의 비대와 가지와 잎의 생장이 촉진되지만, 착화와 착과는 역으로 불안정하게 되는 성질이 있다. 그러므로 시설재배에서 품질을 높이고 수량을 확보하기 위해서는 온도관리가 중요하다.

1-2. 신초발아 및 개화특성

경제재배에서는 인공수분이 행해지고 있지만 그 결실은 불안정하다. 인공수분을 효율적으로 행하고 결실을 보다 확실히 하기 위해서는 개화습성을 파악하고, 적절한 조건하에서 인공수분을 시행할 필요가 있다(米本와 牧田, 1996).

Schroeder(1943)은 체리모야는 자예선숙형이나 미국 캘리포니아에서는 자용동숙인 경우도 있다고 하였다. 그러나 Venkataratnam(1959)는 인도에서 재배되는 Annonaceae 수종의 꽃의 형태와 개화 습성에 대해 관찰하였는데, *Annona*속은 대부분 자용이숙임을 보고하였다.

*Annona*속 과수 대부분이 하나의 잎자루 안쪽에 여러 개의 잎눈과 꽃눈이 형성되어 있어 잎이 떨어지지 않으면 발아가 균일하게 되지 않는다(Nakasone and Paull, 2004). 따라서 발아를 균일하게 하기 위해 적절한 시기에 인위적으로 낙엽을 시켜야 발아 및 개화 유도가 가능한데 발아한 신초는 적엽이나 적심을 하지 않는 한 성장을 지속하며, 기온이 일정온도 이하로 떨어지면 가지 선단에 있는 성장점이 자연적으로 떨어져 생장이 정지한다(Nakasone and Paull, 1998). George and Nissen(1987)의 보고에 의하면 요소나 에세폰에 의해 인위적으로 낙엽을 시켜 신초발아를 유도할 수 있다고 하였고, 가벼운 전정만으로는 충분한 수의 눈을 확보하기 어렵기 때문에 강제 낙엽과 신초발아에 가장 효과적이라고 하였다.

그리고 Nakasone and Paull(1998)은 슈가애플 생산을 위해서 전정은 1년생 가지를 10 cm에서 절단하고 나무당 120~150개를 남기는 것이 효과적이며 개화하는 신초기부에서 시작된다고 하였다. Venkataratnam(1959)은 *Annona*속 과수는 일반적으로 정식 후 4~5년 후 정상적인 개화가 시작되고 라틴아메리카에서 체

리모야는 3~4년에 개화하며 개화는 수개월 동안 일어난다고 하였다. 이스라엘에서 아페모야 개화단계는 14:00부터 16:00에 걸쳐서 꽃잎의 선단이 조금 열려 암술이 성숙되며, 이 단계가 계속되어 다음날 15:00부터 17:00에 걸쳐 꽃잎이 더욱 열려 수술이 성숙단계로 되어, 화분이 방출된다고 하였다(Gazit 등, 1982). 페루에서의 체리모야는 15:30부터 18:00에 개화하고(Wester, 1910), 18:00부터 19:00에 화분의 방출이 관찰되었다(Saavedra, 1977). 이처럼 급속한 개화단계 변화는 꽃잎의 수분이동에 기인되는 것으로 小浦 등(2001)이 추측했는데, 특히 시설재배가 필요한 지역에서는 이러한 개화단계의 변화가 심하다.

2. 화분발아 특성과 인공수분에 의한 과실 품질

2-1. 재배환경에 따른 화분발아 특성

*Annona*속 과수의 화분은 고온, 저습도에서 급속히 발아력이 떨어지며(Sweet, 1985; Utsunomiya 등, 1995), 인공수분에 있어 암술보다도 화분이 고온에 크게 영향을 받는다고 보고되고 있다(Higuchie 등, 1998). 아페모야의 경우도 고온, 건조에서 인공수분의 결실율을 저하시킨다(George and Campbell, 1991). 화분 발아는 온도나 습도 등에 의해 크게 좌우된다(Sweet 1985). 화분 발아율은 수정에 영향을 끼치는 중요한 요인이다(Higuchi 등, 1998; 宇都宮 등, 1992).

Higuchi 등(1998)은 체리모야의 경우 주야간 온도를 30/25°C와 20/15°C로 처리한 결과, 30/25°C 처리구에서는 착과가 매우 낮았는데 이는 화분과 주두가 고온에 의해 피해를 입었기 때문이라고 하였다. 아페모야의 화분 발아의 최적조건은 온도 28°C, 습도 80% 정도이며, 고온 조건이나 건조 조건에서는 꽃이 건조해져 화분 발아력이 단시간에 소실되어 버린다고 하였으며, 개화시기는 5~9월로 길며 조기에 피는 꽃은 미숙한 화분이 차지하는 비율이 특히 높아 발아율이 낮다고 하였다(Makita,1998). 따라서 미숙한 화분으로 인공수분하면 결실율도 떨어지며 결실해도 과형이 나쁘다. 체리모야의 경우도 조기에 개화한 꽃들은 결실이 떨어지는데 이는 조기에 개화한 꽃의 화분은 사분자기 상태로 두꺼운 벽과 전분으로 쌓여 있어 화분 활동성이 낮아 결실율이 떨어진다고 하였다(Saavedra, 1977).

2-2. 개화단계 및 인공수분 시기와 시간

*Annona*속 과수의 결실율이 낮은 원인은 화분의 부족(Gazit 등, 1982), 개화 기간 중 고온과 건조(Rathore, 1990), 토양수분 부족 그리고 가지와 과실 간 발육에 따른 양분경합(George와 Nissen, 1988) 등이 보고되어 있다. 특히 조기에 개화한 꽃에서는 화기의 발육시기가 신초의 생육기와 겹쳐 화기와 신초사이에 양분경합이 발생하기 때문에 화분의 발육과 생존율이 낮다(牧田, 1994). 개화기간 중 조기에 개화한 꽃에서는 화분 발아율이 떨어지며 인공수분을 시켰을 경우 결실율도 상당히 떨어진다는 사실은 아메모야(Makita, 1998)와 체리모야(Yonemoto 등, 1992)에서 보고되었다.

아메모야 'Hillary white'의 경우 개화 이틀 전 채취한 화분(D-2P)은 17시간 후숙보다 24시간 후숙에서 발아율이 다소 증가한 반면 개화 당일 채취한 화분(D-0A와 D-0P)은 화분 후숙시간이 길어질수록 발아율이 낮아져 개화가 진전될수록 최대 발아율을 보이는 후숙시간은 짧아졌고 'Gefner' 품종에서도 비슷한 경향을 보였다. 'Hillary White', 'Gefner' 두 품종 모두 개화 이틀 전 채취한 화분(D-2P)과 개화당일 오후에 채취한 화분(D-0P)은 발아율이 10% 미만이고 개화 하루 전 오후에 채취하여 17시간 후숙한 화분이 발아율이 높았다고 하였다(Kim 등, 2005) 또한 체리모야 과실의 전체 가용성 고형물 함량과 당도는 수분시기에 따라 달라진다고 하였다(Nomura 등, 1997). 따라서 품질 높은 과실을 생산하기 위해서 개화단계별 인공수분 시기는 매우 중요하다.

2-3. 수확시기에 따른 과실품질 변화

*Annona*속 과수 중 아메모야와 체리모야가 가장 흡사한데 체리모야는 *Annona*속 과수 중에서 가장 달콤하다고 알려져 있으며 독특한 맛으로 세계에서 가장 좋은 후식 재료로 평가되고 있다(George 등, 1987). 그러나 조기에 수확한 과실은 과실 품질이 현저히 떨어진다는(Salunkhe and Desai, 1984). 품질 좋고 맛있는 과실을 수확하기 위해서는 수확시기가 무엇보다도 중요하다.

Venkataratnam(1959)에 따르면 *Annona*속은 정식 후 4~5년 이후 개화가 시

작된다고 하였으나 라틴아메리카에서 샤우어썬은 3년에 개화하며 체리모야는 3~4년에 개화한다. 수확 시기는 개화를 기본으로 하기 때문에 설정에 어려움이 있다. 전정 및 적엽과 인공수분 등이 재배적 기술을 이용하여 수확시기를 변경시킬 수 있고 품종을 이용할 수도 있다. 중국과 대만에서는 슈가애플의 전정을 1~2월에 실시하여 7~9월에 수확하며, 6~10월에 전정하여 10~3월에 수확한다(Nakasone and Paull, 1998). 온도는 열매의 성숙에 가장 중요한 요인으로 낮은 온도는 성숙을 지연시키며 반면에 고온은 과실을 나무에서 성숙시켜 낙과를 초래할 수 있다(George, 1984; George 등, 1987; Nakasone and Paull, 1998).

일반적으로 수확시기의 결정은 과피색으로 결정하는데 이는 생리적 성숙과 관련이 있기 때문으로 품종에 따라 다소 차이가 있으나 과실이 충분히 성숙하면 과피의 녹색이 yellow-green이 되거나, 과면의 불룩한 돌기의 경계부가 황색과 등색을 띠는 것으로 판별되며 과실은 딱딱한 상태이다(Nakasone and Paull, 1998). 과피가 20~40% 정도 황색일 때 수확하며 이것들은 4~6일 후에 성숙한다. 수출을 위해서는 10~20%가 녹색일 때 수확하며 수확 후 기간을 조금 더 늘릴 수 있다. 75% 이상 황색이 되어 수확된 열매는 1~3일 사이에 성숙하고, 5% 미만에서 수확된 과실은 완전히 성숙하지 않는다(George 등, 1987). 체리모야 열매는 일반적으로 과피색이 회색을 띠는 녹색에서 녹색으로 변하는 시기에 수확하며 일부 품종은 거의 갈색일 때 수확한다(Accorsi and Manica, 1994). 그러나 과피색에 의한 수확시기가 정확한 것은 아니다.

아메모야 'African Pride' 품종 등 일부 품종은 성숙 후에도 과실의 변화가 아주 적기 때문에 다소 판단하기 어려운 점이 있으며(牧田, 1994), 과피색 변화, 수분시기, 과실크기 등을 고려해 수확시기를 결정하는 것이 맛과 품질 등 좋은 과실을 얻을 수 있다(Palma 등, 1993; Alves 등, 1997; Nomura 등, 1997; Nakasone and Paull, 1998).

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 전정 및 적엽시기에 따른 생육특성

1-1. 전정 및 적엽처리

봄 전정 및 적엽 후 생육특성을 조사하기 위하여 제주시 화북동 소재 시설 하우스에 재식 되어있는 2007년에 4년생이 되는 ‘힐러리 화이트’ 품종중에서 수세가 비교적 안정된다고 판단되는 3단 유인 수형 5주를 선정하여 하였다.

아메모야는 전정 및 적엽을 실시해야 신초가 균일하게 생육하며 직립성으로 자라려는 특성을 가지고 있다. 특히 시설재배에서는 수체의 생육이 강해 영양생장으로 기울어져 줄기의 비대 및 가지, 잎의 생장은 촉진되지만 착화와 착과는 매우 불안정하게 될 수 있다.

2006년 11월부터 2007년 3월까지 최저온도 0℃를 유지하였고, 전정 및 적엽은 3월 27일에 실시하였다. 2007년 11월부터 2008년에 2월 10일까지는 최저온도 4℃로 유지하다가 2008년 2월 11일 부터 최저온도 10℃로 설정하여 가온을 시작하였다. 전정 및 적엽은 3월 2일에 실시하였다. 2008년 11월부터 2009년에는 무가온으로 온도관리를 하였으며 전정 및 적엽을 3월 27일에 실시하였다. 2007, 2008, 2009년에 걸쳐 발아기, 개화기, 개화기간 등을 조사하였다. 전정은 1년생 가지를 생육상태에 따라 3~6 마디만 남기고 절단전정을 하였으며 모든 잎을 전정가위를 이용하여 적엽을 하였다.

봄 전정 및 적엽을 실시한 후 개화 및 결실이 되지 않은 당해연도에 받아들인 신초를 여름에 다시 전정 및 적엽을 통해 개화를 유도하여 결실 가능성을 조사하였고 또한 시설내 작업의 효율성을 위해 지면으로부터 유인된 가지를 가지 위치에 따라 생육을 비교하였다. 2008년에 5년생이 되는 ‘힐러리 화이트’ 품종 3단 유인 수형에서 3월 2일 전정 및 적엽을 실시하였으나 미착화 되거나 인공수분 후 수정이 되지 않은 나무 중에서 수세가 비교적 비슷하다고 판단되는 5주를 선정하여 하였다. 6월 8일과 7월 8일에 미착화된 가지에 다시 전정 및 적엽을 실시하였다. 전정 및 적엽은 80~100 cm 정도의 당해연도에 발생한 신초를 기부에서

3마디와 6마디에서 절단한 후 모든 잎을 적엽하였다. 각 처리마다 1단, 2단, 3단에 15개씩을 대상으로 하였다.

1-2. 생육특성 조사

생육특성을 조사는 전정 및 적엽 후 신초 발아일, 신초수, 개화일, 개화량 등을 조사하였는데 발아일은 조사나무에서 가지의 끝 2~3개의 눈이 50% 정도 발아하였을 때로 하였으며 개화기는 최초 개화가 시작되어 개화가 멈추지 않고 지속적으로 일어났을 때의 첫 날을 기준으로 개화일로 하였다. 개화기간에 개화량 조사를 위해 최초 개화일부터 8주까지는 2~3일에 한번씩 8주 이후에서 종료까지는 7일에 한번 씩 꽃잎 끝이 벌어져 있는 상태인 D-1P(개화 1일전 오후) 개화단계의 꽃수를 카운터기를 이용하여 조사하였다.

봄 전정 및 적엽 후 개화와 결실이 불량한 가지에 여름 전정 및 적엽을 통해 개화를 유도하여 결실 가능성을 조사하였다. 시설재배에서 결과지의 수고를 낮춰 작업의 효율성을 위해 지면으로부터 유인된 가지를 가지 위치에 따라 생육을 비교하였다. 1단, 2단, 3단에서 각각 3마디, 6마디 처리구에 따라 신초 발아일, 신초수, 개화일 등을 조사하였다.

결실을 향상을 목적으로 여름철 적심을 실시하였다. 2009년 6년생이 되는 ‘힐러리 화이트’ 품종 중 수세가 비슷하다고 판단되는 3단 유인 수형 5주를 선정하였다. 신초와의 영양경합을 억제하여 결실을 향상 및 과실비대 촉진을 위하여 적심한 것과 무적심구를 비교하였다. 전정 및 적엽은 3월 27일에 실시하였으며 인공수분은 6월 8일~6월 10일, 7월 8일~7월 10일에 실시하였다. 적심은 해당 결과지를 10~12마디 남겨놓고 인공수분하여 30일과 40일 후에 가지 끝의 성장점을 적심하였다. 적심구와 무적심구 각각 15개씩 3반복으로 하였다. 인공수분에 필요한 화분은 화분 채취가 가장 용이한 D-0P(개화당일 저녁에 개화) 개화단계의 화분을 채취하여 당일 오후 4~6시 사이에 채취하여 이용하였고 인공수분은 미술용 붓을 이용하였다.

2. 개화 및 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성

2-1. 개화에 따른 화분발아 특성

가. 개화시기 및 시간

봄 진정 및 적엽 후 생육특성을 조사하기 위하여 제주시 화북동 소재 시설 하우스에 재식 되어있는 2007년에 4년생이 되는 '힐러리 화이트' 품종 중 비교적 수세가 비슷하게 안정된다고 판단되는 3단 유인 수형의 5주를 선정하여 하였다. 봄 진정 및 적엽 후 개화시기 및 개화시간 조사를 위해 최초 개화일부터 성숙에 가까워졌다고 판단되는 꽃 30개를 라벨로 표시하여 개화가 완전히 진행될 때 까지 당일 오전 9시부터 이튿날 오후 7시까지 개화단계의 변화를 조사하고 육안으로 관찰하고 사진과 실제 현미경을 이용하여 기록하였다.

개화시기 조사에서 최초 개화일로부터 8주까지는 2~3일에 한번씩, 8주 이후에서 종료까지는 7일에 한번 씩 꽃잎 끝이 벌어져 있는 상태인 D-1P(개화 1일 전 오후) 개화단계의 꽃수를 카운터기를 이용하여 조사하여 개화량 변화를 조사하였다. 개화시간은 꽃잎이 벌어지는 정도를 기준으로 6단계(I, II, III, IV, V, VI)로 나누었으며 꽃잎이 완전히 단혀있는 상태인 D-2P(개화 2일 전 오후)와 D-1A(개화 1일 전 오전), D-1P(개화 1일 전 오후), D+0A(개화 당일 오전), D+0P(개화 당일 오후), D+1A(개화 1일 후 오전) 개화단계까지 오전 9시부터 2시간 간격으로 주두액의 변화와 암술과 수술 상태를 조사하였다

나. 화분저장 및 화분발아

화분저장에 따른 화아율 조사는 개화단계별 D-2P(개화 2일 전 오후), D-1A(개화 1일 전 오전), D-1P(개화 1일 전 오후), D+0A(개화 당일 오전), D+0P(개화 당일 오후), D+1A(개화 1일 후 오전) 중에서 D-1P 개화단계의 꽃을 20개 이상 꽃을 채집하여 꽃잎을 제거한 후 샤아레에 넣어 식품용 호일을 덮고 20개의 통기 구멍을 뚫은 다음 인큐베이터(25℃±2)에 넣어 17시간 후숙과정을 거친 후 꽃가루를 채취하여 검정색 플라스틱 필름 통에 담아 냉장고의 냉장실(4℃)에 보관하면서 1일 간격으로 5일간 저장 화분의 발아율 변화 등을 조사하였다.

화분관 신장은 D-1P 개화단계의 꽃을 20개 이상을 채집하여 꽃잎을 제거한 후 샤아레에 넣어 식품용 호일을 덮고 20개의 통기 구멍을 뚫은 다음 인큐베이터(25°C±2)에 넣어 17시간 후숙과정을 거친 후 꽃가루를 채취하여 10, 15, 20°C의 온도에 각각 배양하여 받아낸 화분의 화분관 신장 길이를 조사하였다.

화분발아 검정은 BK배지(Brewbaker와 Kwack, 1963)를 기본으로 하였다. 즉, 5% sucrose, 100 mg/L H₃BO₃, 300 mg/L Ca(NO₃)₂·4H₂O, 200 mg/L MgSO₄·7H₂O, 100 mg/L KNO₃, pH 5.6 으로 조정된 액체배지를 이용하였다 (Kim and Moon, 2005). 피펫을 이용하여 샤아레(∅60×15mm)에 각각의 액체배지를 5 mL씩 넣은 후 샤아레에 배양하여 인큐베이터(25°C±2)에서 3시간 동안 배양방법으로 각종 화분발아 시험을 수행하였다. 배양한 화분이 골고루 혼합되게 잘 흔들어 준 후 피펫을 이용해 배양액 0.1 mL를 취해 슬라이드글라스 위에 놓고 커버 글라스를 덮은 후 safranin액과 70%의 알코올을 이용해 염색과 탈색 과정을 거쳐 광학현미경(Leica, Germany)으로 화분관 길이, 총화분수 발아 화분수를 세어 화분 발아율 등을 계산하였다.

2-2. 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성

가. 인공수분 시기와 시간에 따른 결실을 및 과실 품질

인공수분은 화분 채취가 가장 용이한 D-0P(개화당일 저녁에 개화) 개화단계의 꽃가루를 수분시기마다 바로 채취한 것을 이용하였다. 인공수분 방법은 미술용 붓을 이용하였다. 인공수분한 꽃은 라벨에 인공수분 일자, 시간 등을 표시한 후 인공수분 시기에 따른 결실율과 과실품질을 조사하였다. 인공수분 시기는 최초 개화일로부터 10일 간격으로 6회 실시하였다. 인공수분은 매회 30개를 기준으로 실시하여 인공수분 시기에 따른 결실율, 과형지수, 과실크기 등을 조사하였다. 과형지수는 비대칭 돌기가 없고 좌우 대칭인 것(0), 과실 어깨부위만 불균형인 것(1), 과실 중앙부분이 패인 형태인 것(2), 과실 좌우가 비대칭인 것(3), 과피 표면의 돌기가 불균일하게 돌출된 것(4)으로 나누어 조사하였다.

인공수분 시간을 구명하기 위하여 시험수를 따로 선정하여 6월 18일, 6월 26일, 7월 2일 3회에 걸쳐 개화당일 오전 08~18시까지 2시간 간격으로 30개씩 인

공수분을 실시하였다. 수분시간에 따라 최종 결실율을 인공수분 20일 후 조사하였다.

나. 생장조절제 처리에 의한 과실비대

생장조절제 처리에 의한 과실비대 효과 시험을 위해 5월 30일~6월 3일에 인공수분을 실시하여 수정이 되었다고 판단되는 과실을 선정하여 처리농도 50, 500, 1000 mg·L⁻¹의 GA₃를 6월 18일, 7월 7일, 7월 27일에 3회 처리하여 과실비대 효과를 조사하였다. 처리방법은 과실을 침지처리하는 방법으로 실시하였다 (Fig. 1)

처리당 각 30과를 실시하였으며 과실비대 조사는 수세가 균일하다고 판단되는 3단 유인 수형 5주를 선정하여 각 나무에 착과된 중간크기의 과실 7~10개를 선발하여 라벨에 인공수분일자 및 시간 등을 표시하고 6월 18일, 7월 9일, 8월 6일, 8월 27일, 9월 10일에 과실 횡경 변화를 버니어캘리퍼스(Mitutoyo, Japan)를 이용해 조사하였다.



Fig. 1. Growth regulator soaking treatment.

다. 수확시기에 따른 과실 품질

인공수분 후 라벨에 인공수분일자, 시간 등을 표시하여 120, 140, 160, 180일째 되는 과실을 수확하여 수확 직후의 품질과 20℃ 인큐베이터에서 8~10일 동안의 후숙 과정을 거쳐 후숙된 과실은 당도, 과피후변 정도, 유리당 함량 등을 조사, 분석하였다. 수확 후 과실품질 조사를 위해 처리별 하나의 상자를 1반복으로 하여 3반복으로 실시하였다. 후숙 판별은 과실 연화상태를 손으로 만져서 사람의 귓볼 정도 경도가 되었을 때를 완숙상태로 판별하였다. 당도 측정은 과육을 2점의 가아제로 짜서 착즙하여 Calbiochem(18 in×50 ft)으로 여과시킨 후 휴대용 당도계(Atago, Japan)를 이용해 수행하였다. 과피색 및 갈변정도 측정은 색측색차계(Minilta CR-400, Japan)로 측정하여 Hue값으로 환산하였다(McLellan, 1994). Hue값은 $Hue=180+ATAN(M/L)*180/PI()$, 즉 M: 색차계 b값, L: 색차계 L값을 기준으로 계산하였다(Fig. 2).

후숙시기별 유리당 함량은 과즙을 착즙하여 여과한 과즙 5 mL를 취하여 25,000 ×g로 10분간 원심분리한 후 상정액을 0.45 μm micro membrane filter (Osmonics Inc. USA)로 여과한 후 500배로 희석하여 HPLC를 이용하여 분석하였다. HPLC 시스템은 Prevail carbohydrate ES 5u (4.6 × 250 mm Waters Co. USA)의 당 분석 컬럼, Waters 2690 XE(Waters Co.)의 시료주입 및 용매전달기, 그리고 Alltech ELSD 2000(Alltec Co.)의 검출기로 구성되었다. 이동상은 acetonitrile과 3차 증류수를 75 : 25의 비율로 혼합하고 유기용매용 0.25 μm 여과지로 여과한 후 이용하였다. 분석조건은 유속 1.0 mL · min⁻¹, 시료주입 10 μL, 그리고 분리시간 20분이었다. 표준곡선은 자당, 포도당, 그리고 과당의 표준용액을 이용하여 50, 100, 250 그리고 500 mg · L⁻¹의 수준에서 측정하여 계산하였다(Lee와 Nagy, 1988).

3. 통계분석

통계분석은 SAS Enterprise Guide 3.0 통계프로그램을 이용하여 t-검정법(P=0.05, 0.01, 0.001)과 던칸다중검정법(P=0.05)으로 처리간의 유의성을 분석하였다.

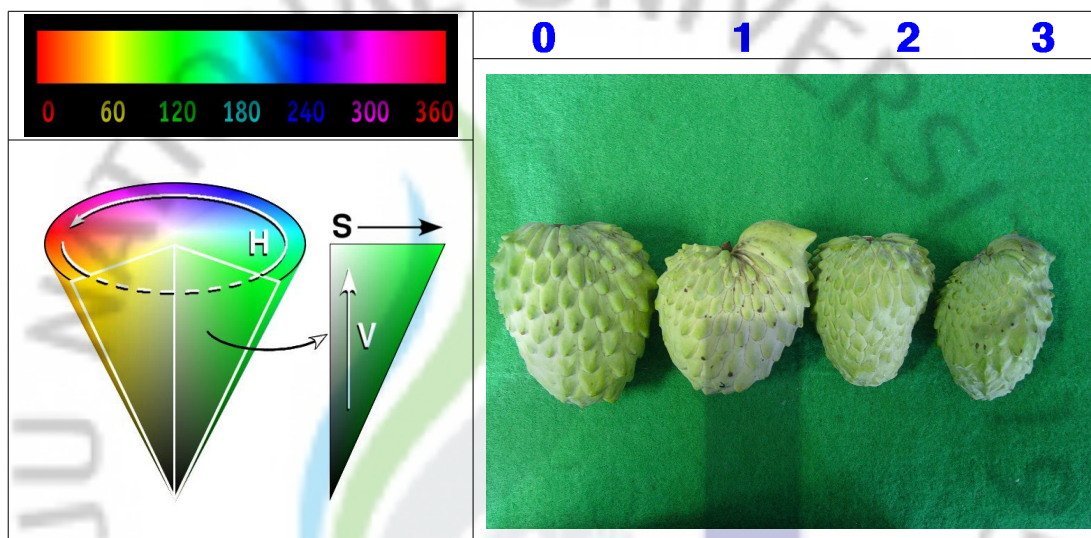


Fig. 2. Shape index of fruit and fruit skin color of atemoya 'Hillary White' (Hue value).

$$\text{Hue} = 180 + \text{ATAN}(M/L) \times 180/\text{PI}(), \text{ M: b value, L: L value}$$

IV. 결과 및 고찰

1. 전정 및 적엽시기에 따른 발아 및 개화 반응

1-1. 봄 전정 및 적엽과 개화특성

2007년부터 2009년까지 시설재배 온도(2006년 11월부터 2007년 3월 27일까지 최저온도 0℃, 2007년 11월부터 2008년에 2월 10일까지는 최저온도 4℃로 유지하다가 2008년 2월 11일 부터 최저온도 10℃로 설정, 2008년 11월부터 2009년까지 무가온 관리)에 따른 생육특성 결과(Table 1), 2008년 신초 발아일, 최초 개화일 인공수분 시기가 빨라져 전정 및 적엽 16일 후인 3월 18일 정도에 신초가 발아되었으며 최초 개화는 전정 및 적엽 50일 후가 되는 5월 1일로 조사 되었다.

2007년 조사한 결과는 전정 및 적엽 후 14일 정도되는 4월 10일이었으며, 최초 개화는 5월 25일로 전정 및 적엽 후 55일 정도 기간이 소요되었다. 2009년에는 4월 4일로 전정 및 적엽 8일 후에 신초가 발아되기 시작하였다. 최초 개화는 52일 정도가 소요되는 5월 29일로 조사되었다.

2007, 2008, 2009년 모두 겨울철 시설내 온도가 0℃ 이상에서 자연낙엽이 되지 않았다. 따라서 겨울눈이 잎자루에 쌓여 있기 때문에 균일한 발아와 개화 유도를 위해서는 적엽이 필요한데 3년간 모두 전정과 적엽을 같이 수행하여 균일한 산초 발아를 유도 하였다. 또한 발아한 신초는 전정이나 적심을 하지 않는 한 생장이 지속되며, 가을이후에 기온이 떨어지면 가지 선단에 있는 생장점이 자연적으로 떨어져 생장이 정지 하였다.

봄 전정 및 적엽을 통해 약 4개월 후 신초길이에 대한 조사를 보면 3단, 2단, 1단 순으로 길었으며 마디수, 절단가지의 선단 두께에서도 3단에서의 생육이 왕성했고 절간 길이에서는 이와 반대의 현상을 나타내었다(Table 2). 이는 맨 위의 3단 가지 보다는 2단, 1단의 가지에서 일조량이 떨어지기 때문으로 생각되는데 일조량 저하는 낙과 등이 우려가 있으므로 전정 및 적엽방법 등에 의한 3단 유인 수형에서는 전정 및 적엽 등의 방법을 이용하여 수형과 수세에 맞는 관리가 필요하다고 보아졌다.

Table 1. Number of days to growth of atemoya ‘Hillary White’ grown under greenhouse condition after spring pruning and defoliation.

Date of pruning	Shoot germination		Initial flowering		Artificial pollination	
	Date	Days shoot germination	Date	Days to flowering	Date	Days to artificial pollination
2007 (27. Mar.)	10. Apr.	14	21. May	55	25. May	59
2008 (2. Mar.)	18. Mar.	16	21. Apr.	50	1. May	60
2009 (27. Mar.)	4. Apr.	8	18. May	52	29. May	63

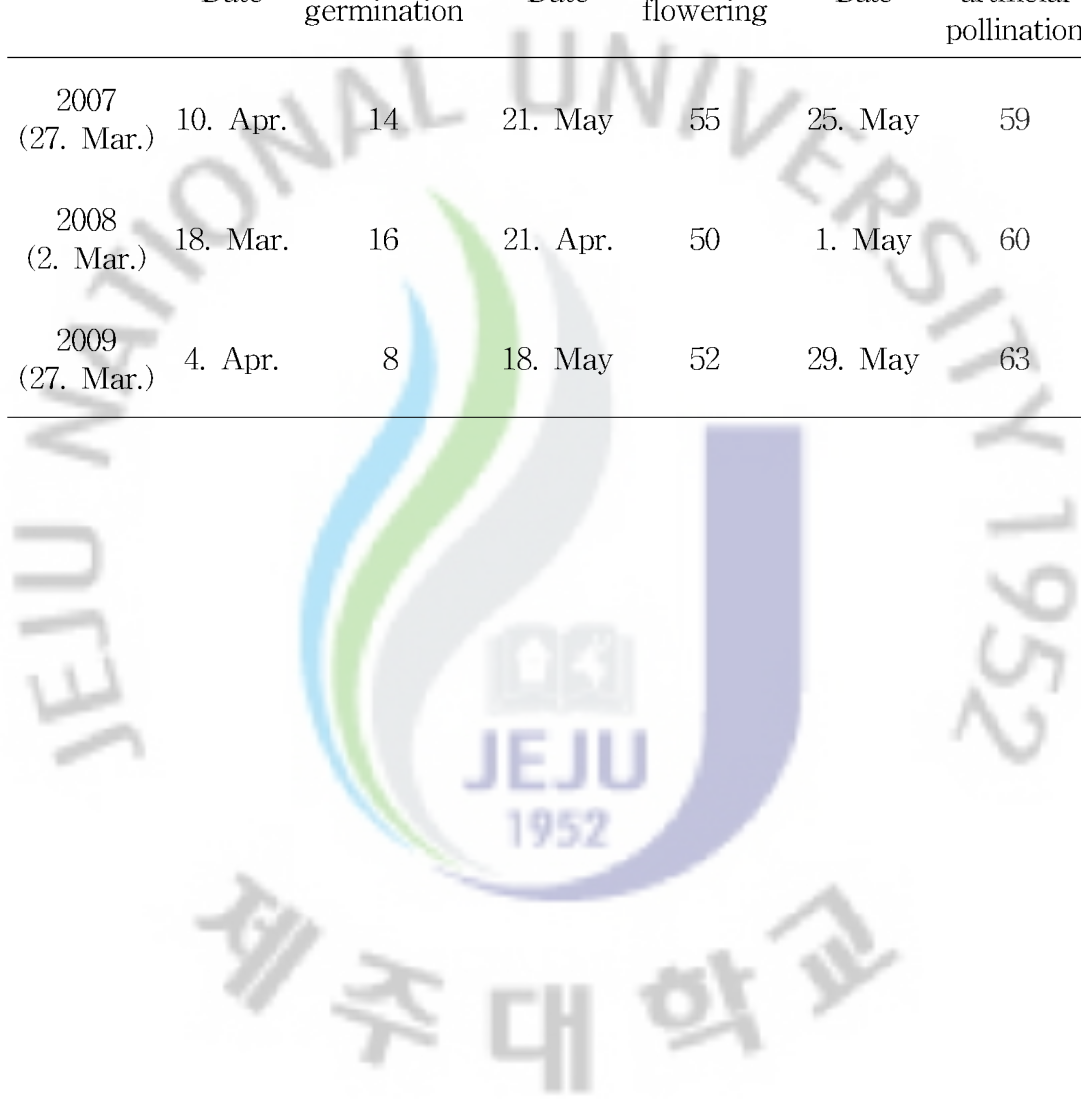
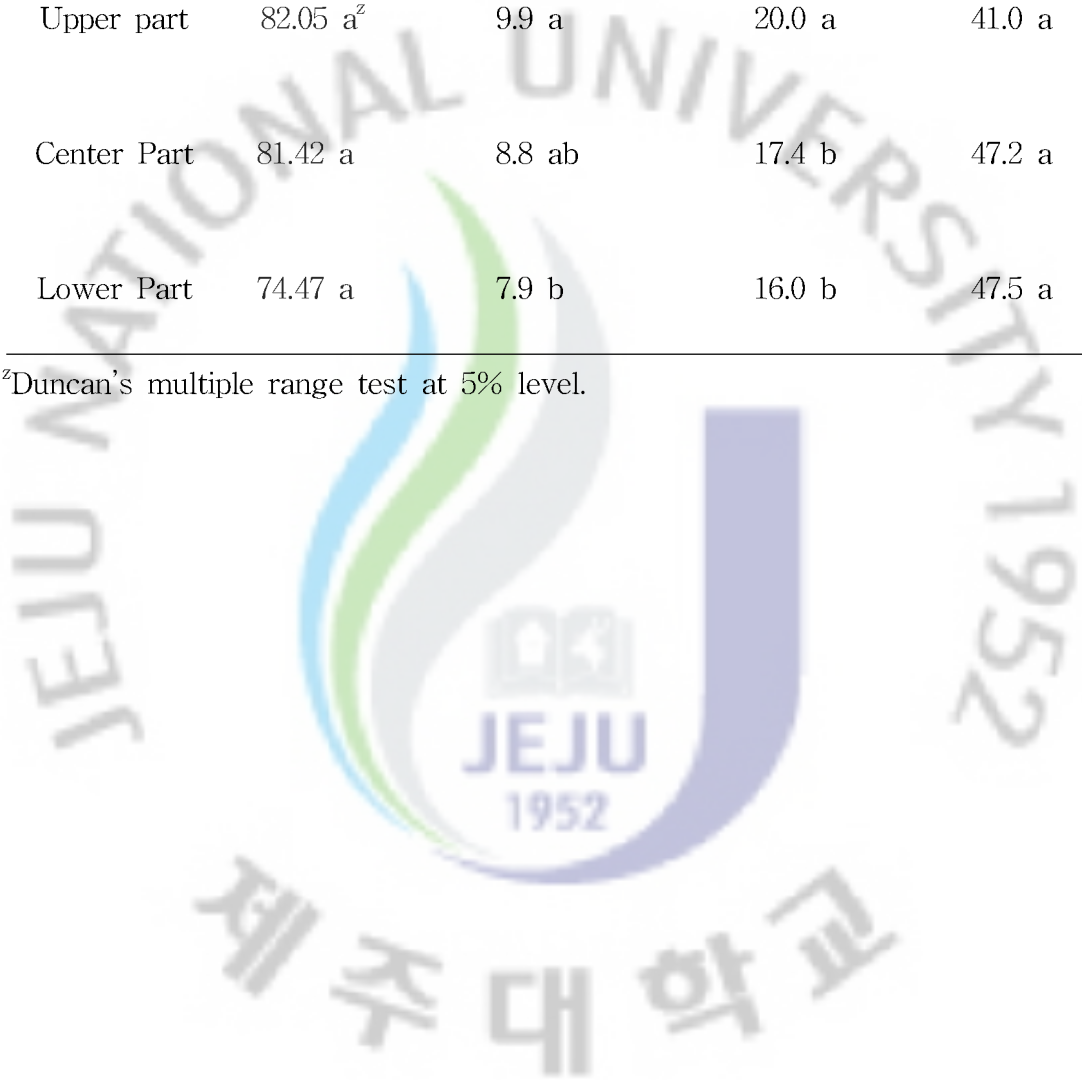


Table 2. Shoot development characteristics for each spring pruning point in the three-layer trained tree.

Pruning point	Shoot length (cm)	Basal part diameter of shoot (mm)	Number of nodes (no. per shoot)	Internode length (mm)
Upper part	82.05 a ^z	9.9 a	20.0 a	41.0 a
Center Part	81.42 a	8.8 ab	17.4 b	47.2 a
Lower Part	74.47 a	7.9 b	16.0 b	47.5 a

^zDuncan's multiple range test at 5% level.



아떼모야 'Hillary white' 품종의 개화량 변화를 보면 2008년 3월 2일 전정 및 적엽을 실시하였다. 최저온도 10℃ 관리구에서 전정 및 적엽 60일 후부터 개화량이 증가되면서 65일경에 나무당 20개 정도를 보였으며 이후 점차 감소하다가 개화량이 안정되어가는 모습을 보였다. 2007년도 최저온도 0℃, 2009년도 무가온 관리에서는 전정 및 적엽 후 각각 60일과 70일 정도부터 개화량이 점차 증가하여 2007년은 70일 정도에 나무당 22개 정도 개화량을 보였고 2009년에는 80일 정도에서 나무당 107개 정도의 개화량을 보이다가 이후 점차 개화량이 감소되다가 안정되는 경향을 보였다(Fig. 3).

시설재배에서 아떼모야 꽃은 맑은 날을 기준으로 할 때 개화 하루전날 아침까지도 꽃잎 끝부분이 완전히 닫혀있는 상태였다가 오후부터 조금씩 벌어지기 시작하여 저녁에는 끝부분이 서로 떨어질 정도로 벌어졌다(Kim 등, 2005). Gazit 등(1982)은 이스라엘에서 14:00부터 16:00에 걸쳐 꽃잎 끝부분이 조금 열려서 자예성숙 단계가 되고, 그 상태가 지나서 익일 15:00부터 17:00에 걸쳐서 꽃잎이 완전히 열리는 응예성숙 단계가 되어 약에서 화분이 방출된다고 하였다. 페루에서도 체리모야는 15:30부터 18:00에 개화하고(Wester, 1910), 18:00부터 19:00에 화분 방출이 관찰되었다(Saavedra, 1977).

체리모야의 경우 개화전날 18~19시 사이에 주두분비액이 가장 많이 분비되며(Yomemoto 등, 2002), 화분방출 시간은 개화당일 18~19시로 이 때 인공수분을 하면 성공율이 아주 낮으며(Kahn and Araipa, 1991), 맑은 날을 기준으로 할 때 적정 인공수분 시기는 화분방출 24시간 전부터 다음날 오전 중인데 이 시기에 주두표면에 점질분비액은 소실되지 않고 촉촉한 상태로 유지된다(小浦 등, 2001)고 하였다.

본 연구 결과(Fig. 4)를 보면 시간은 다소 차이를 보였지만 개화단계에서는 비슷한 경향을 보였는데 개화 2일전 저녁(D-2P)에서는 화관 및 주두 상태의 변화가 거의 없으며 개화 1일전 아침(D-1A) 상태가 되면서 화관이 약간 틈이 생기면서 개화 1일전 저녁(D-1P) 17시경에 화관이 벌어지기 시작했으며 주두 분비액이 가장 많이 관찰되었으며 다음날 9시경 까지 주두가 촉촉한 상태임이 관찰되다가 점차 감소하는 경향을 보였다. 이후 화번 및 주두 상태는 개화 당일아침(D-0A)까지 어느 정도 유지 되다가 개화 당일저녁(D-0P) 상태에서는 주두액은

거의 관찰되지 않았으며 화관은 더욱 벌어졌고 손으로 살짝 건들어도 화관 및 꽃가루 날리는 상태가 되었다. 개화 다음날 아침(D+1A) 상태에서는 화관이 다소 마른 상태로 변하고 수술은 갈색으로 변한다.

암술의 주두액은 화분의 부착을 용이하게 하고 수분 후 화분의 발아신장을 촉진하는 여러 가지 화학물질을 지니고 있다(岩波, 1985). 또한 Passion fruit에서도 주두 분비액을 첨가한 배지에서 화분 발아율이 증대(石畑, 1983)했고, 체리묘에서는 주두 분비액량이 인공수분의 성공을 좌우하였다(宇都宮 등, 1992). 인공수분시 암술에 주두액은 수정율에 많은 영향을 미치는데 본 연구결과에서도 암술이 성숙 단계에는 대부분 암술에 주두액 발생되었으며 수술이 성숙단계에서는 주두액이 거의 없는 상태로 인공수분시 결실율이 떨어졌다.



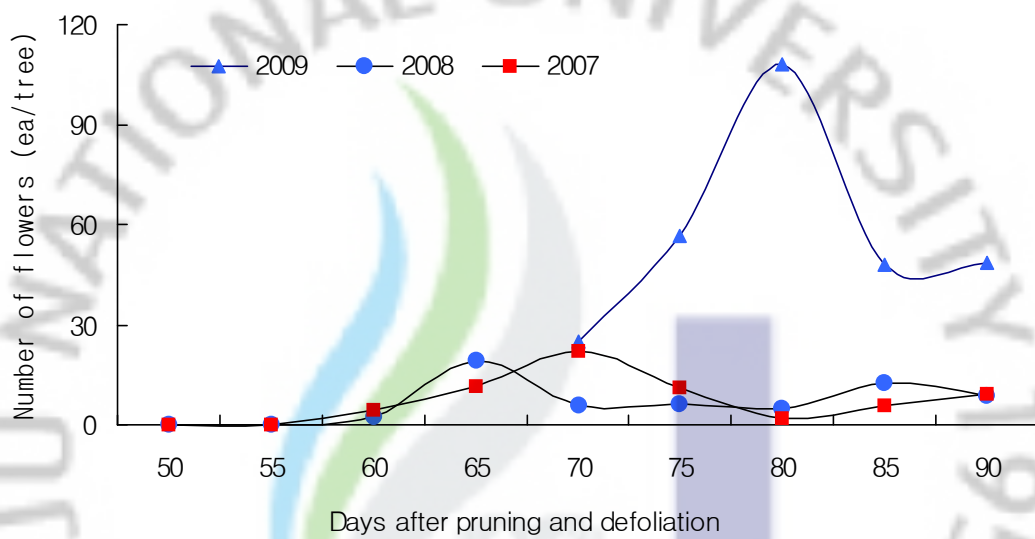


Fig. 3. Changes in the number of flowers after spring pruning in each year.

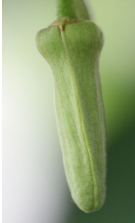


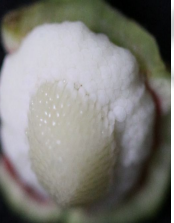




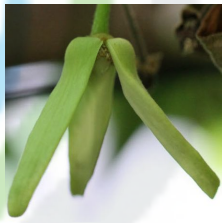

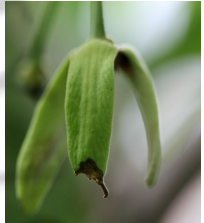

Flowering stage	Petal shape	Stigma development	Flowering stage	Petal shape	Stigma development	Flowering stage	Petal shape	Stigma development
D-2P ^Z (I)			D-1A (II)			D-1P (III)		
D+0A (IV)			D+0P (V)			D+1A (VI)		

Fig. 4. Petal shape and state of pistil and stamens at each flowering stage.

^ZD-2P : P.M. of two days before full-bloom.

D-1A : A.M. of one day before full-bloom.

D-1P : P.M. of one day before full-bloom.

D+0A : A.M. of full-bloom day.

D+0P : Full-bloom day.

D+1A : One day after full-bloom,

A : 09:00 A.M.

P : 19:00 P.M.

1-2. 여름 전정 및 적엽과 개화특성

아페모야 시설재배시 생육이 왕성하여 가지유인, 적심, 적엽, 여름철 전정 등으로 수형을 바로 잡고 도장지와 혼잡한 부분의 가지, 지면에 닿은 가지를 중심으로 솎아내야 한다. 여름전정을 충분히 하지 않으면 과실주변의 통풍이 나쁘게 되어 각지벌레류 발생이 쉽게 된다. 당해년도에 신장하는 가지에 다시 가지를 발생시키고 싶은 경우에는 적심과 함께 적엽을 실시하면 가능한데 가지를 발생하고 싶은 위치의 잎을 가위로 잎자루 부분에서 잘라 낙엽시킨 경우는 1주정도면 잎자루가 자연적으로 떨어져 눈이 신장한다. 이 방법은 수세가 강해 가지가 도장하기 쉬운 품종이나 결실이 부족한 나무에 개화유도와 결과모지 확보가 필요한 경우에 효과적인 방법으로 판단되어 그 가능성을 조사하였다.

6월 8일 및 7월 8일 2회에 걸쳐 여름철 전정을 실시하여 가지 선단 끝에서 3개 잎을 적엽한 후 전정 시기별 발아일과 개화일을 조사하였다. 신초발아는 6월 16일과 7월 13일로 발아기간이 적엽 후 8일과 5일정도가 소요되었다. 개화소요일수는 6월 8일 처리구가 7월 5일로 27일 정도가 걸렸으며 7월 8일 처리구에서는 8월 6일로 28일 정도가 소요되었다(Table 3).

여름 전정시 봄 전정보다 발아 및 개화소요일수가 빨라짐을 알 수 있다. 위치를 달리하여 전정과 적엽을 실시하여 신초특성, 꽃수, 결과수 조사에서는 유의차는 없었지만 3단, 2단, 1단 순으로 높게 나타났다(Table 4). 따라서 여름 전정 시에는 6월과 7월 시기 및 위치에는 큰 영향을 주지 않는다. 또한, 여름 절단 위치 선정에 있어서도 가지 선단 끝에서 3, 6마디에서 자른 위치에 따라 신초수, 개화수, 착과수에 영향을 주지 않았다(Fig. 5). 따라서 여름철 미착과 가지에 개화유도 및 결과지를 확보해 결실시키는 방법으로 응용이 가능하며 수체 생육상태를 고려해 3마디 또는 6마디에서 전정과 적엽을 병행하면 될 것으로 판단되었다(Fig. 6).

아페모야 시설재배에서는 7, 8월 주간 기온이 30℃ 이상이고, 야간 기온도 20℃ 이상이 되어 시설내 고온에 의한 낙과율이 높은 편이다. 인공수분 후에 결실율을 높이고 품질 좋은 과실을 생산하기 위해서는 고온 저감을 위한 차광이나 환기장치 등으로 하우스 안의 기온을 최대한 낮추는 노력이 필요하다.

본 실험에서는 시설내 고온 등에 의한 영양생장으로 낙과율을 낮추고 결실율을 높이기 위한 하나의 방법으로 인공수분을 실시하여 30일, 40일 후에 각각 가지 선단부분의 성장점 적심을 하여 영양생장을 줄인 결과 무처리구에 비해 적심구의 결실율이 높았다. 인공수분 후 적심하지 않았을 경우 결실율이 27%정도였으며 인공수분 30일째에서는 결실율이 50%로 높았으며 인공수분 40일째 적심구에서도 51% 이상으로 높게 나타나 무처리구보다는 인공수분한 후 적심을 처리한 구에서 높은 결과율을 보였다. 30일과 40일째에서는 처리간에 유의차는 없었다(Fig. 7).



Table 3. Time lags from pruning to shoot germination and initial flowering.

Date of pruning and defoliation	Shoot germination		Initial flowering	
	Date	Days No. of days after pruning	Date	Days initial flowering
8. Jun	16. Jun	8	5. Jul.	27
8. Jul.	13. Jul.	5	6. Aug.	28

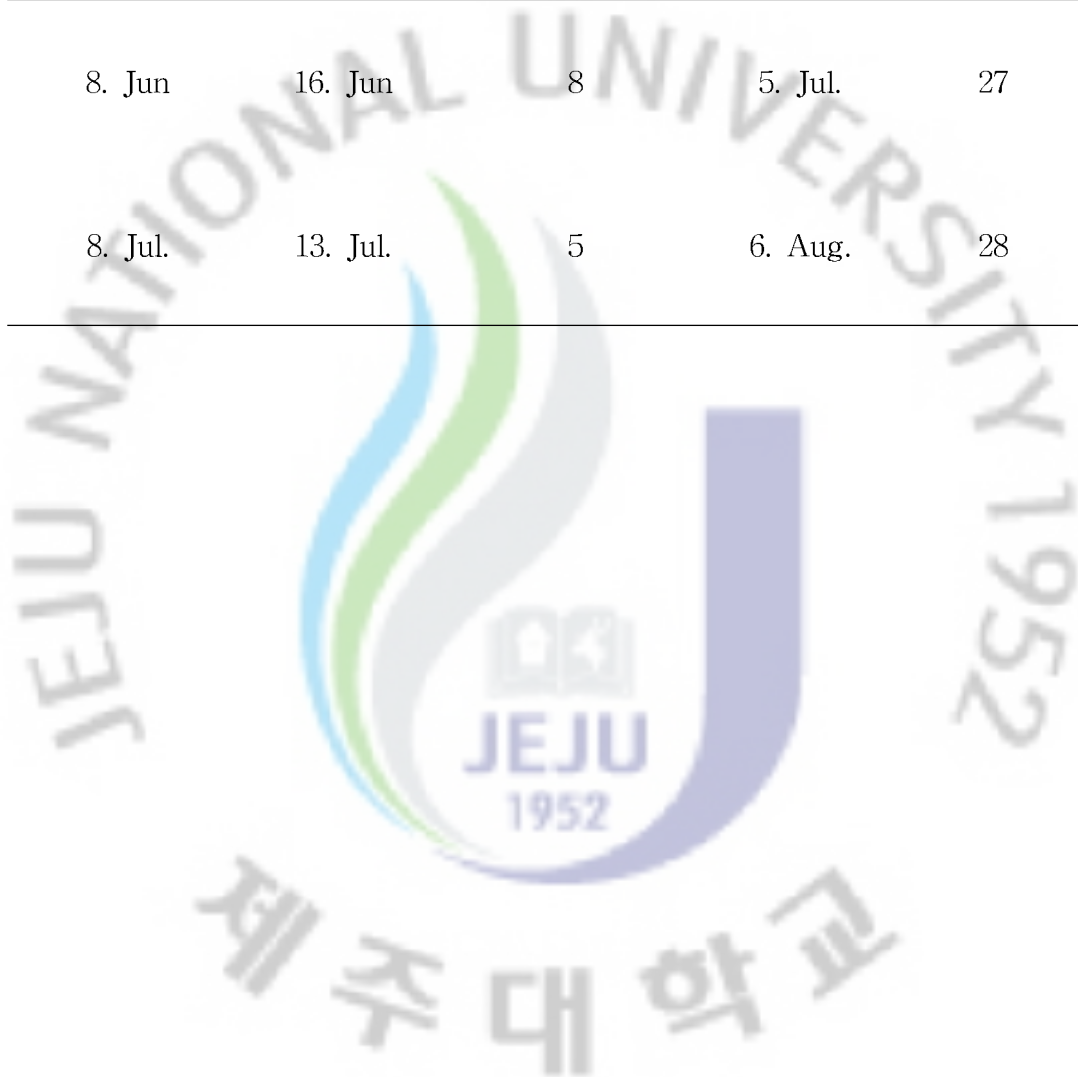
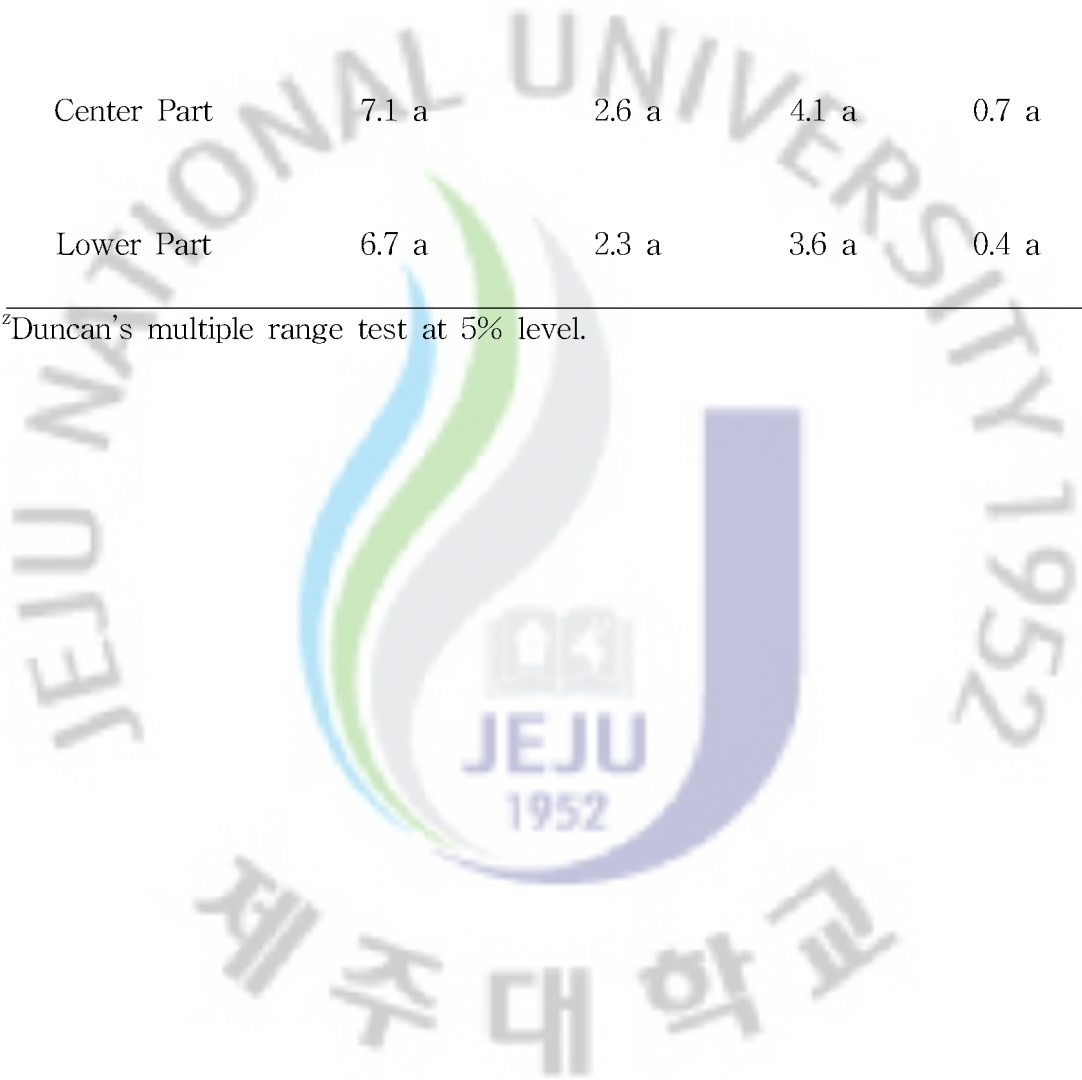


Table 4. Growth characteristics of the plant for each pruning point.

Pruning point	Initial thickness of basal part (mm)	Number of branches	Number of flowers	Number of fruits
Upper part	7.7 a ^z	2.7 a	4.1 a	0.7 a
Center Part	7.1 a	2.6 a	4.1 a	0.7 a
Lower Part	6.7 a	2.3 a	3.6 a	0.4 a

^zDuncan's multiple range test at 5% level.



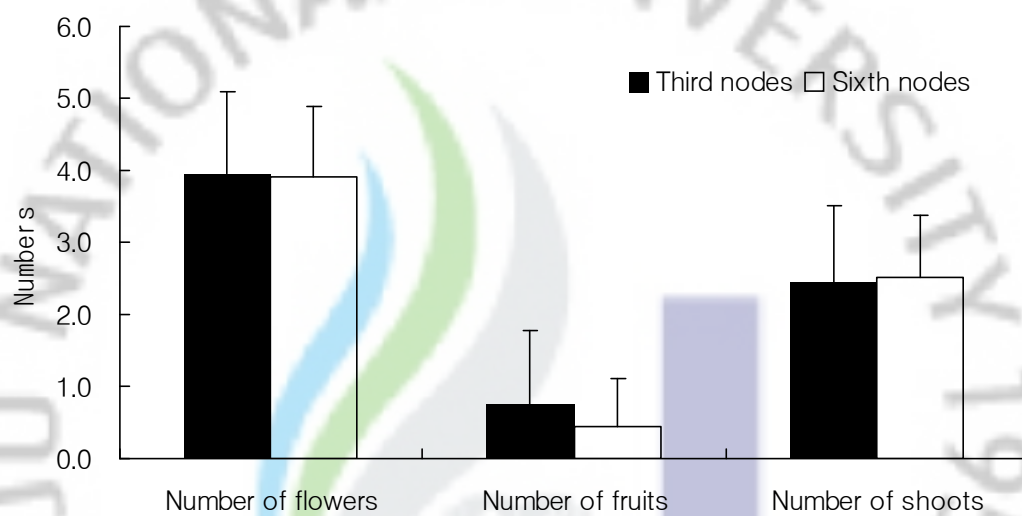


Fig. 5. Number of flowers, fruits and shoots for each shoot length (3rd and 6th node) left after pruning. Vertical bars show standard errors (n=5)

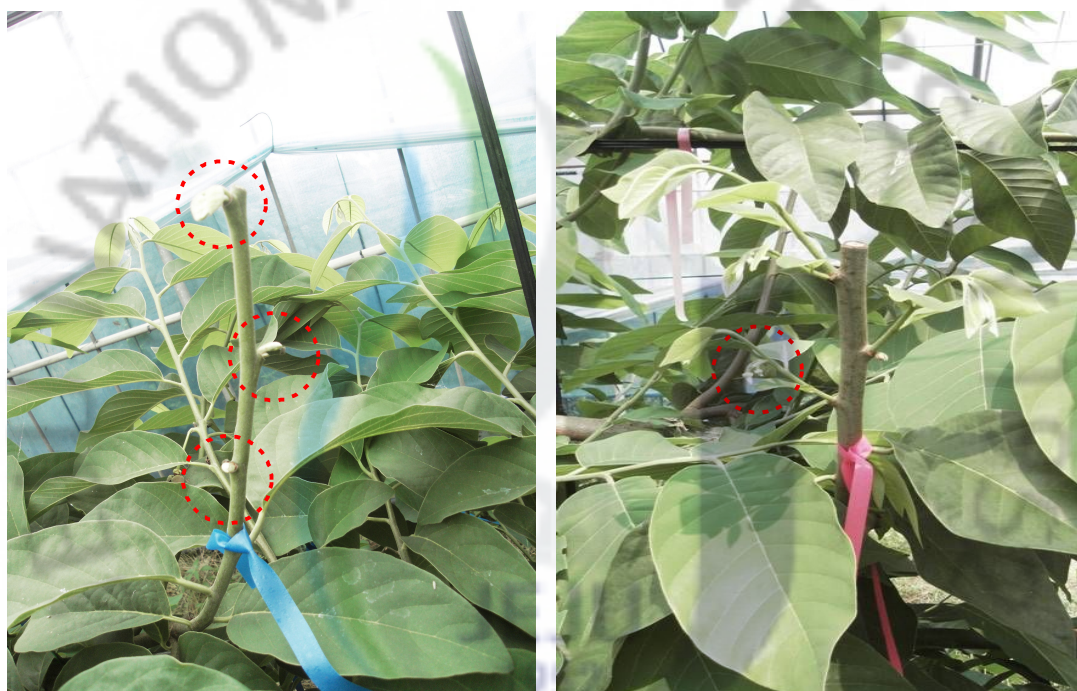


Fig. 6. Shoot germination and flowering with summer pruning (left) and without it (right).

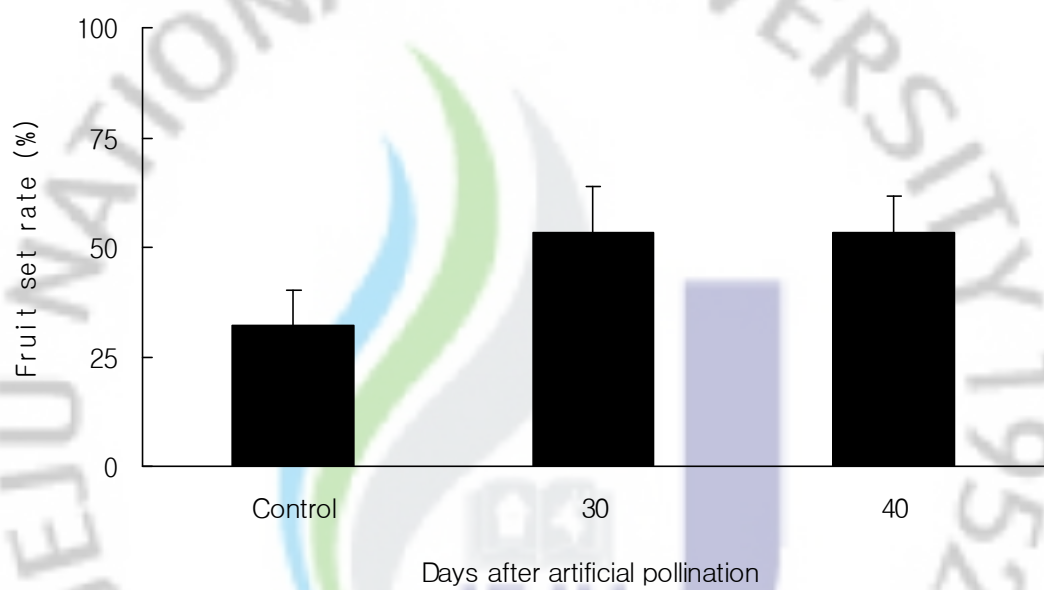


Fig. 7. Fruit-set rate for the group shoot-top-cutted at 30 and 40 days after pollination.

Vertical bars show standard errors (n=5).

2. 인공수분에 따른 결실 및 과실 발육 특성

2-1. 개화시기에 따른 화분발아 특성

아떼모야 화분 발아의 최적조건은 온도 28℃, 습도 80% 정도이며, 고온조건이나 건조 조건에서는 꽃이 건조해져 화분 발아력이 단시간에 소실되어 버린다(Makida, 1998). 또한 개화시기는 5~9월로 길며 조기에 피는 꽃은 미숙한 화분이 차지하는 비율이 특히 높아 발아율이 낮다고 하였다. 본 연구결과에서도 조기에 개화한 꽃의 화분에서는 발아율이 현저히 떨어졌고, 이후 개화 30일 후의 꽃에서 발아율이 가장 높게 나타났으며 50일이 지나면서 발아율이 떨어지는 것으로 나타났다(Fig. 8). 따라서 최초로 개화한 꽃에서 인공수분을 할 경우 화분 발아율이 떨어져 결실에 영향을 주므로 보다 높은 결실율을 위해서는 최초로 개화하여 30일 정도가 좋을 것으로 판단되었다.

체리모야는 조기에 개화한 꽃들은 결실이 떨어지며 이는 조기에 개화한 꽃의 화분은 사분자기 상태로 두꺼운 벽과 진분으로 쌓여 있기 때문에 화분 활동성이 낮아 결과적으로 결실율이 떨어진다고 하였다(Saavedra, 1977). 아떼모야의 경우도 조기에 개화한 꽃은 사분자기 화분 비율이 높고 발아율도 저하되는 경향을 보였다(Fig. 9). 고온, 건조 조건에서의 인공수분은 결실율을 저하시킨다(George and Campbell, 1991). 또한 화분발아는 온도나 습도 등에 의해 크게 좌우되고(Sweet 1985), 화분의 발아율과 수정에 영향을 끼치는 중요한 요인이다(Higuchi 등, 1998; 宇都宮 등, 1992).

화분 발아율 및 화분관 신장은 온도에 영향을 받는데 사과는 10℃에서 화분 발아 및 화분관의 신장이 양호하고, 25℃에서 발아가 억제되었다고 보고하고 있다(奥瀬, 1972). 또한, 비교적 고온에서 화분이 발아하는 과수에는 레몬(Ganeshan and Alexander, 1991), 아보카도, 키위후르츠 등이 있고 각각의 발아적온은 25℃, 25℃~30℃라고 보고되고 있다(Loupassaki 등, 1997).

Higuchi 등(1998)는 체리모야의 경우 주야간 온도를 30/25℃와 20/15℃로 처리한 결과, 30/25℃ 처리구에서는 착과가 매우 낮았는데 이는 화분과 주두가 고온에 의해 피해를 입었기 때문이라고 하였다. 아떼모야 ‘힐러리 화이트’ 품종의 경우 10℃에서 화분 배양 후 화분관 신장을 보면 화분관 신장이 거의 되지 않았

으나 15℃보다는 25℃에서가 화분관 신장이 높아 인공수분 후 충분한 화분관 신장을 위해서는 저온보다는 이보다 높은 온도가 요구되었다(Fig. 10).



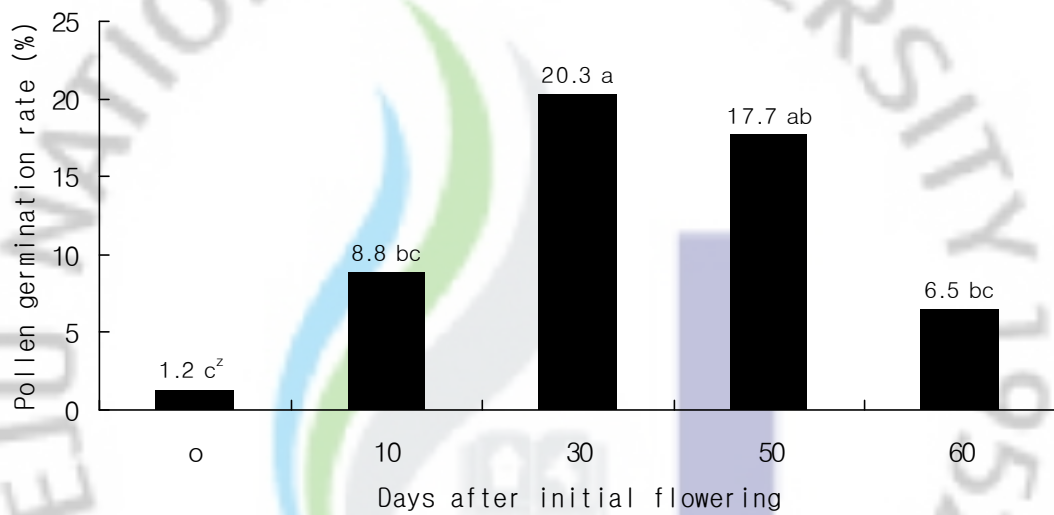


Fig 8. Pollen germination rate for the JESU pollens collected at different days after initial flowering.

^zDuncan's multiple range test at 5% level.



Fig. 9. Tetrad pollen grains with thick walls (left) and pollen germination 3 hours after incubation (right).

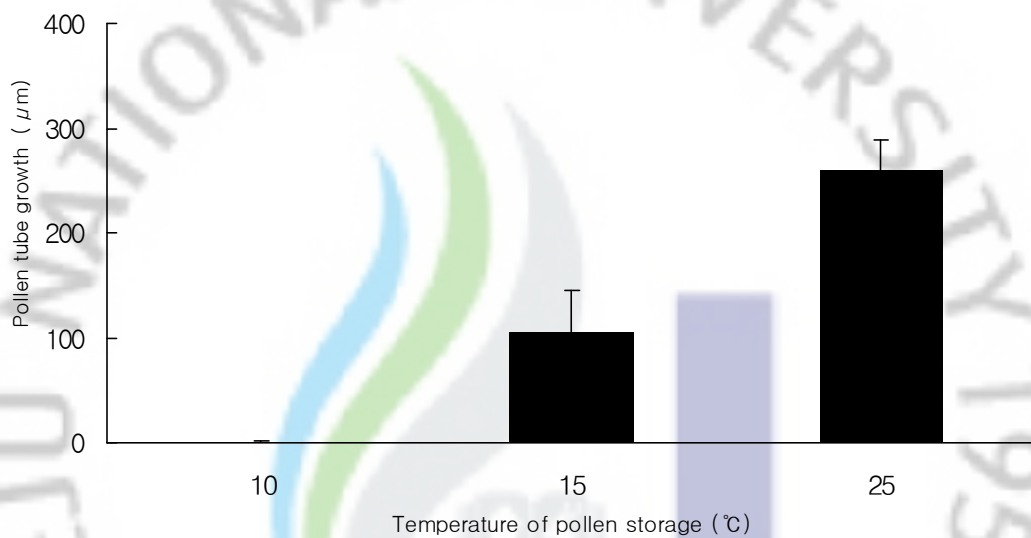


Fig 10. Pollen tube length for each incubation growth of 'Hillary White' atemaya at different storage temperature. Vertical bars show standard errors (n=5)

2-2. 화분저장 기간에 따른 화분발아 및 과실 품질 특성

*Annona*속 과수는 화분이 고온, 저습도에서 급속히 발아력이 떨어지며 (Sweet, 1985; Hirokazu and Naoki, 1999) 인공수분에 있어 암술보다도 화분이 고온에 영향을 받는다고 하였다(Higuchi 등, 1998). Kim 등(2005)은 개화 1일전 저녁(D-1P)에 채집한 꽃을 25℃에서 17시간의 후숙하면 화분 발아율이 높게 나타난다고 하였는데 본 실험에서도 개화 1일전 저녁단계(D-1P)의 꽃을 채집하여 17시간 후숙한 화분을 사용하여 발아율을 조사하였다.

후숙시킨 화분의 냉장저장 기간에 따른 발아율의 변화는 화분 저장기간에 따라 차이가 많았다. 화분 채취 당일에 발아율이 가장 높았으며 점차 떨어지다가 저장 3일째부터 급격히 떨어지는 경향을 보였다(Table 5). 화분 저장기간이 경과되면서 화분 발아율은 감소하는데 화분 발아율이 높을수록 결실율도 높게 나타났다. 그러나 과중, 당도, 종자수에서는 유의차가 없는 것으로 조사되었다 (Table 6).

체리모야 화분의 경우 냉장고를 이용해 5℃에서 1~10일간 저장했을 때 2일까지는 발아율에 큰 변화가 없었고, 3일째부터 발아율이 떨어진다고(米本 등, 1989). 아페모야 화분은 상온에서 저장하기 어려울 정도로 급속히 발아율이 저하되고, 10℃와 15℃저장에서도 2일후에 발아율이 급속히 떨어지기 때문에 인공수분시 화분의 발아율 유지는 매우 중요하다(立田와 稻森, 1998).

따라서 주두의 분비액 상태 변화와 화분 발아율을 고려하면 꽃잎 끝 부분이 열리는 개화 전날 저녁(D-1P) 개화단계의 꽃을 채취하여 꽃잎을 제거한 다음 25℃에서 17시간 후숙시키고 수집한 화분을 4℃에 저장하면 3일 정도 이용이 가능할 것으로 판단되며 저녁에 꽃잎 끝 부분이 열리는 개화단계의 암술(D-1P)에 인공수분하면 좋을 것으로 판단되었다.

Table 5. Pollen germination rates compared by pollen collection date and pollen storage time.

Flowering stage	Pollen collection date	Pollen storage time (%)					
		0 (Collection day)	1 day later	2 day later	3 day later	4 day later	5 day later
D-1P17h ^z	10. Jun	17.1	15.8	14.2	9.9	8.0	6.6
	11. Jun	22.0	20.6	18.8	13.3	9.5	7.6
	12. Jun	19.4	19.0	17.9	12.0	9.8	5.8
	15. Jun	18.8	17.3	16.5	11.9	8.4	7.6
	20. Jun	28.9	28.5	26.3	15.3	11.7	10.1
	27. Jun	25.1	23.3	19.8	16.6	10.4	8.1
Average		21.9 a ^y	20.8 a	18.9 a	13.2 b	9.6 bc	7.6 c

^zPollen were collected and incubator for 17 hours at 25 °C.

^yDuncan's multiple range test at 5% level.

Table 6. Pollen germination rate, fruit-set rate and fruit quality characteristics compared by pollen-collection data and pollen storage time.

Pollen collection data	Storage time	Pollen germination rate (%)	Fruit set rate (%)	Fruit weight (g)	TSS (° Brix) ^y	Number of seeds (100g)
D-1P17h ^z (2008. Jul. 10)	0hr	22.0	35.7	305.0	17.9	19.8
	24hr	18.8	27.1	311.8	17.1	19.3
	48hr	13.3	19.0	279.6	18.1	18.1
D-1P17h (2008. Jul. 11)	0hr	17.1	40.2	331.2	18.9	20.4
	24hr	14.2	28.8	345.1	16.9	18.9
	48hr	9.9	19.3	334.9	19.0	19.2
Average	0hr	19.6 a ^x	38.0 a	318.1 a	18.4 a	20.1 a
	24hr	16.5 a	28.0 a	328.5 a	17.0 a	19.1 a
	48hr	11.6 a	19.2 a	307.3 a	18.6 a	18.7 a

^zPollen were collected and incubator for 17 hours at 25 °C.

^yMeasure by extracting a half of the fruit cut lengthwise after-ripening at 20°C for 8~10 days.

^xDuncan's multiple range test at 5% level.

2-3. 인공수분 시기와 시간에 따른 결실율 및 과실 품질 변화

아메모야는 개화시기가 길고 개화단계가 짧아 인공수분 방법에 따라 결실율에도 영향을 미친다(Kim 등, 2005). 따라서 개화단계에 따라 인공수분이 가장 효과적인가를 명확하게 해야 인공수분이 효율적이므로 인공수분 시기와 시간에 따라 개화단계별로 인공수분을 실시하고 결실율과 과실 품질을 조사하여 적정 인공수분 시기와 방법 등을 구명하였다.

2007년부터 2009년까지 3년간 인공수분한 후 일자별 낙과율을 조사하였는데 4~5일이면 수정 유무가 결정되며 이후 낙과율이 계속 증가하여 인공수분 20일 후부터는 완만해지는 경향을 보였다(Fig. 11). Kim 등(2005)에 따르면 아메모야 시설재배의 경우 수술상태 및 암술의 주두분비액 변화를 고려할 때 인공수분에 적합한 시간대는 개화 전날 오후에 암술 꽃잎 끝 부분이 서로 떨어질 정도의 상태에서 부터 개화당일 아침까지가 가장 좋다고 하였다.

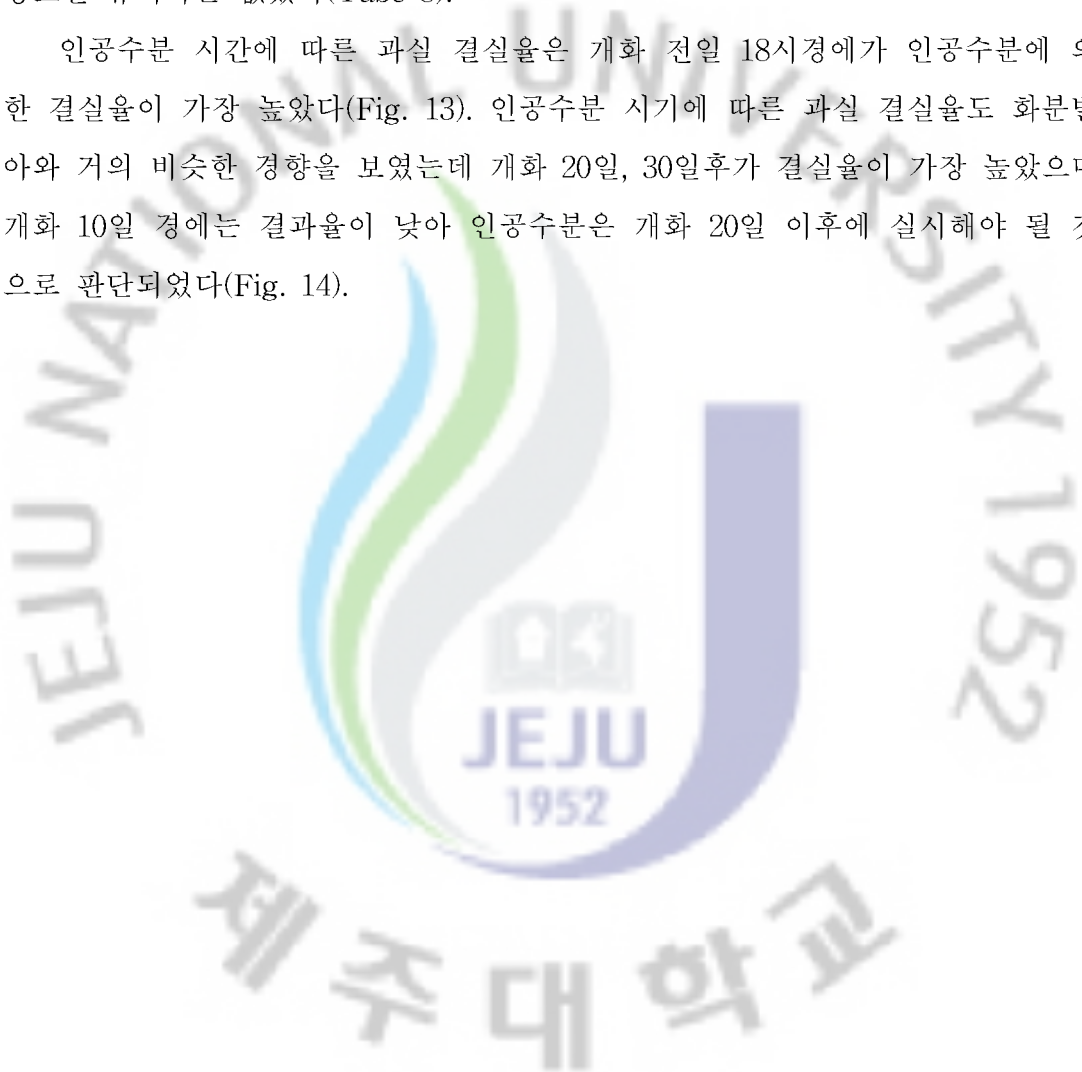
본 연구 결과 개화 전날 저녁인 D-1P 개화단계에서 결실율은 가장 높았으며, D-1A 단계가 다음으로 높았고 D-0A 단계가 다음으로 높았다. 이후의 개화단계에서는 결실율이 현저히 떨어지는 것으로 나타났다(Fig. 12). 하지만 D-1A 단계에서는 인공수분에 의한 결과율은 높게 나타났지만 꽃잎 제거가 까다롭고 주두에 주두액이 적어 인공수분에 시간이 걸리고 번거롭다. 그러므로 인공수분은 암술이 D-1P, D-0A 단계에 실시하는 것이 가장 효과적이라 판단되었다.

무가운 하우스에서 암술이 개화단계인 D-1P, A-0A, A-0P, D-0P, D+1A에 인공수분을 한 후 인공수분 150일째 되는 과실을 수확하여 20°C에서 8~10일간 후숙한 후 과실 품질을 조사하였는데 개화단계에 따라 수확 후 과실품질에는 유의차가 없게 나타났다(Table 7). 화분 발아율은 개화단계에 따라 차이를 보이지만 과실품질에는 영향이 크지 않은 것으로 조사되었다.

개화 후 적정한 인공수분 시기를 구명하기 위하여 첫 개화 후 10일 간격으로 60일간 인공수분을 하여 이에 따른 과실품질을 조사하였다. 과피색 Hue값은 Fig. 2를 참고하여 $Hue=180+ATAN(M/L)*180/PI()$, 즉 M: 색차계 b값, L: 색차계 L값을 기준으로 계산하였다(McLellan, 1994).

인공수분 시기에 따른 과실 품질을 보면 횡경과 과중은 개화 후 10일째 인공수분한 구에서가 가장 증가하였으나, 과형은 가장 좋지 않은 것으로 조사되었다. 이는 조기에 개화한 꽃에서 화분발아율 저하 등에 의해 과형지수를 떨어지게 하는 원인으로 판단되었다. 화분 발아율이 비교적 높게 나타나는 개화시기인 30~50일에는 과형지수가 비교적 균일하게 나타나는 경향을 보였다. 당도에서는 상호간 유의차는 없었다(Tabe 8).

인공수분 시간에 따른 과실 결실율은 개화 전일 18시경에 인공수분에 의한 결실율이 가장 높았다(Fig. 13). 인공수분 시기에 따른 과실 결실율도 화분발아와 거의 비슷한 경향을 보였는데 개화 20일, 30일후가 결실율이 가장 높았으며 개화 10일 경에는 결과율이 낮아 인공수분은 개화 20일 이후에 실시해야 될 것으로 판단되었다(Fig. 14).



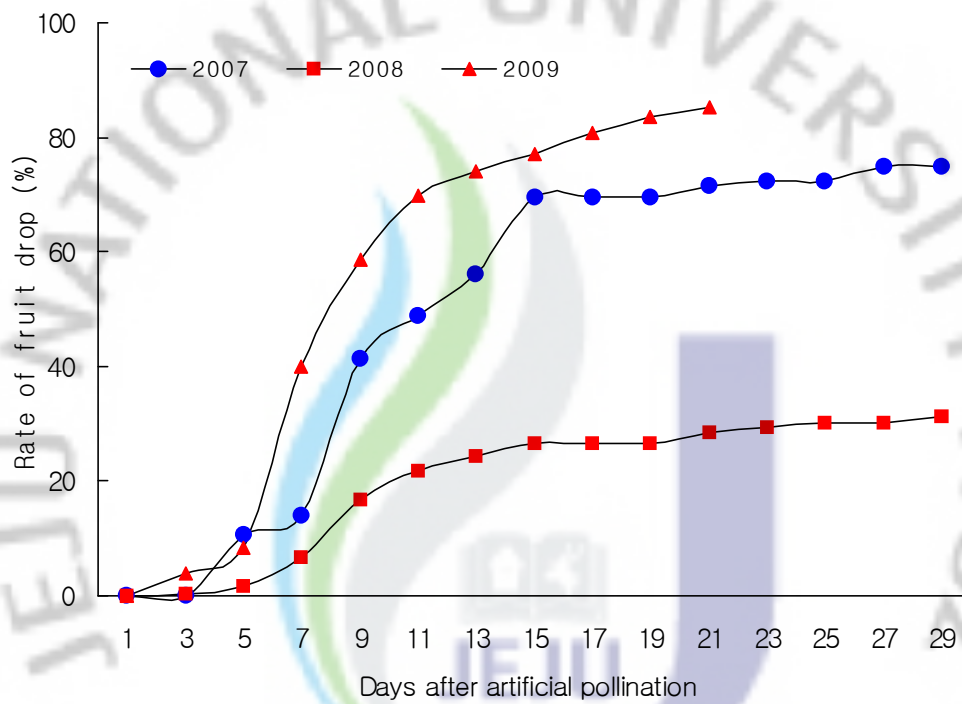


Fig. 11. Accumulate rate of fruit in each year.

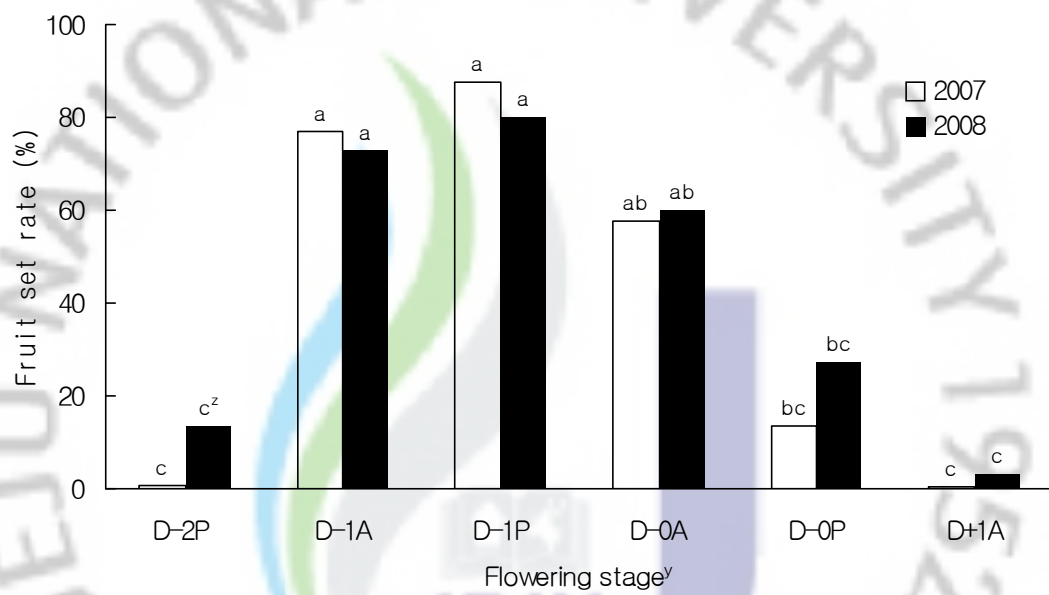


Fig. 12. Fruit set rates for each flowering stage at the time of pollination.

^zDuncan's multiple range test at 5% level.

^ySee Fig. 4.

Table 7. Fruit quality characteristics after after-ripening for each flowering stage at the time of pollination.

Pollination time	Width (mm)	Fruit weight (g)	Degree of skin browning ^z	Fruit shape ^y	Fruit skin color (Hue) ^x	TSS (°Brix) ^w
D-1P ^v	89.7 a ^u	371.7 a	1.3 a	0.8 a	113.7 a	17.9 a
D-0A	93.0 a	426.8 a	1.4 a	0.8 a	114.0 a	17.1 a
D-0P	99.6 a	477.8 a	1.9 a	0.4 a	112.2 a	18.1 a
D+1A	91.7 a	429.9 a	2.7 a	1.8 b	109.0 a	17.6 a

^zDegree of skin browning 0(nothing) → 9(serious)

^y0(normal fruit shape), 1(asymmetrical fruit shoulder), 2(center of the fruit hollowed), 3(almost nothing in either left or right part of the fruit), 4(some projections joined together to be blunt).

^xFruit skin color. Color by HSV color space.

^wMeasure by extracting a half of the fruit cut lengthwise after subsequent ripening at 20°C for 8~10 days.

^vSee Fig. 4.

^uDuncan's multiple range test at 5% level.

Table 8. Fruit quality characteristics after after-ripening for each pollination time.

Pollination time (number of days from initial)	Dimeter (mm)	Fruit weight (g)	Fruit shape ^z	TSS (°Brix) ^y	Fruit skin color (Hue) ^x
10	121.1 a ^w	794.6 a	2.6 a	18.3 a	109.3 ab
20	102.4 bc	528.1 bc	0.6 b	17.9 a	110.7 ab
30	94.2 bc	396.8 c	0.0 b	18.2 a	113.0 a
40	98.8 bc	475.8 bc	0.0 b	17.5 a	112.5 a
50	108.9 ab	616.4 ab	0.0 b	18.0 a	104.4 b
60	84.6 c	321.4 c	1.0 b	17.1 a	115.8 a

^z0(normal fruit shape), 1(asymmetrical fruit shoulder), 2(center of the fruit hollowed), 3(almost nothing in either left or right part of the fruit), 4(some projections joined together to be blunt).

^yMeasured by extracting a half of the fruit cut lengthwise after-ripening at 20°C for 8~10 days.

^xFruit skin color. Color by HSV color space.

^wDuncan's multiple range test at 5% level.

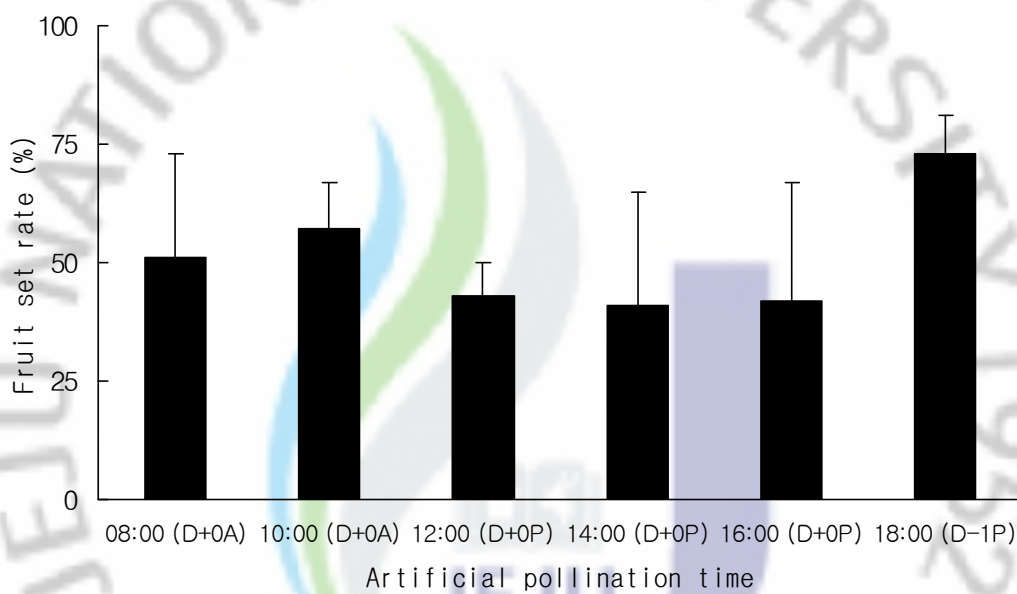


Fig. 13. Fruit set rates for each pollination time measured relative to full-bloom time.

Vertical bars show standard errors ($n=5$).

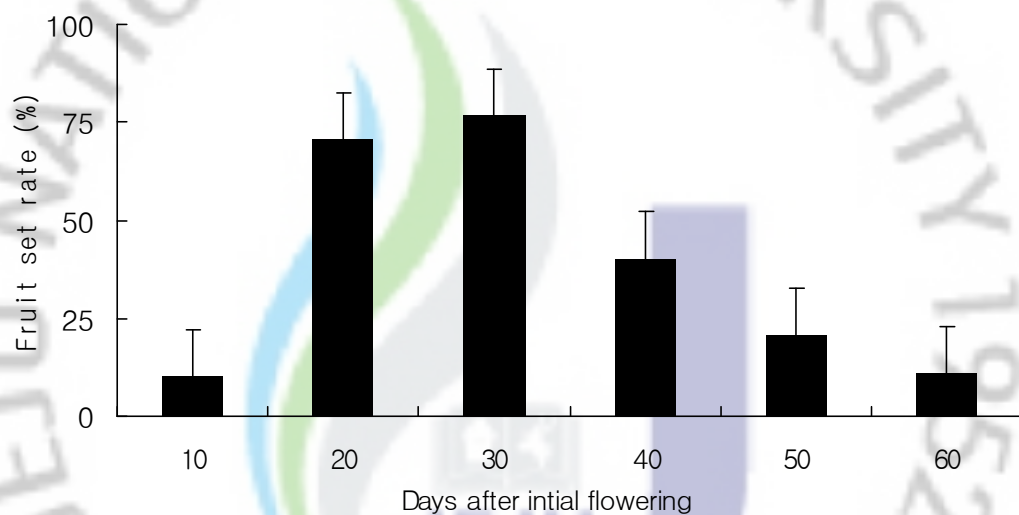


Fig. 14. Fruit rates for each pollination time measured by the number of days after initial flowering. Vertical bars show standard errors (n=5).

2-4. 인공수분 후 성장조절제 처리에 의한 과실비대

수세가 강하고 도장지 발생이 심한 결과지는 여름철 전정과 적엽을 통하여 개화 및 결실이 가능한데 늦은 결실은 생육기간이 짧아져 과실비대가 원활치 않고 품질이 떨어지는 경향이 있다. 특히 우리나라처럼 수확기가 겨울철에 가까워지면 과실이 저온에 노출되어 생육 불량 등에 의해 과실비대가 되는 경우가 종종 발생되는데, 수확기 과실을 조기 비대를 목적으로 성장조절물질을 인공수분 후 침지하여 과실 비대를 7일 간격으로 조사 하였다. 성장조절제 처리에 의한 환경 변화를 보면 무처리구와 GA 50 mg·L⁻¹ 처리구에 비해 GA 1000 mg·L⁻¹, GA 500 mg·L⁻¹ 처리구에서 비대가 증가하였다. 또한, 인공수분 20일부터 비대가 빨라지는 경향을 보였다(Fig. 3-5). 인공수분 100일후 환경 크기를 보면 무처리 56.8 mm로 가장 작았고 GA 500 mg·L⁻¹에서는 71.2 mm, GA 1000 mg·L⁻¹ 처리구에서는 74.5mm로 비대가 컸으며 상호간 유의차는 없었다(Fig. 15).

*Annona*속 과수의 비대는 종마다 차이를 보이는데 체리모야의 경우 'Concha Lisa' 품종에서 인공수분한 과실의 비대는 인공수분 후 120일 정도에 1차비대 peak가 있으며, 약 40일의 비대가 완만하다가 160일 정도에 2차 비대 성장을 한다(Saavedra, 1979). 아페모야의 경우 비대곡선을 보면 peak가 확연하게 구별되지는 않았지만 무처리구와 처리구 모두 이와 비슷한 형태의 비대 곡선을 그리면서 비대가 이루어졌다(Fig. 16). 이 처럼 과실 비대가 완만해 지는 것은 고온에 의한 광합성 양의 저하(Higuchi 등, 1998)와 종자에 광합성생산물의 전류의 증가에 의한 것으로 판단된다. 또한 수확기 비대 저하는 종자 안에 배유에 양분이 충분히 축적되지 않은 상태에서 기온 저하로 나무가 휴면상태에 들어가 광합성 양이 저하했기 때문이다(Higuchi, 1999).

체리모야의 경우 9월에 인공수분하여 수상월동 시킨 후 과실은 다음해 봄에 기온이 상승하면 다시 비대하여 대과가 되었지만 가용성 고형물함량이 낮고, 인공수분 후 90~100일 정도부터 전분 및 당이 축적되지만 이 시기가 겨울철에 해당하는 9월 수분한 과실에서는 광합성 양의 저하로 충분한 전분 및 당의 축적이 되지 않는데(宇都宮 등, 1991) 이것도 이러한 원인에서 기인한 것으로 판단된다.

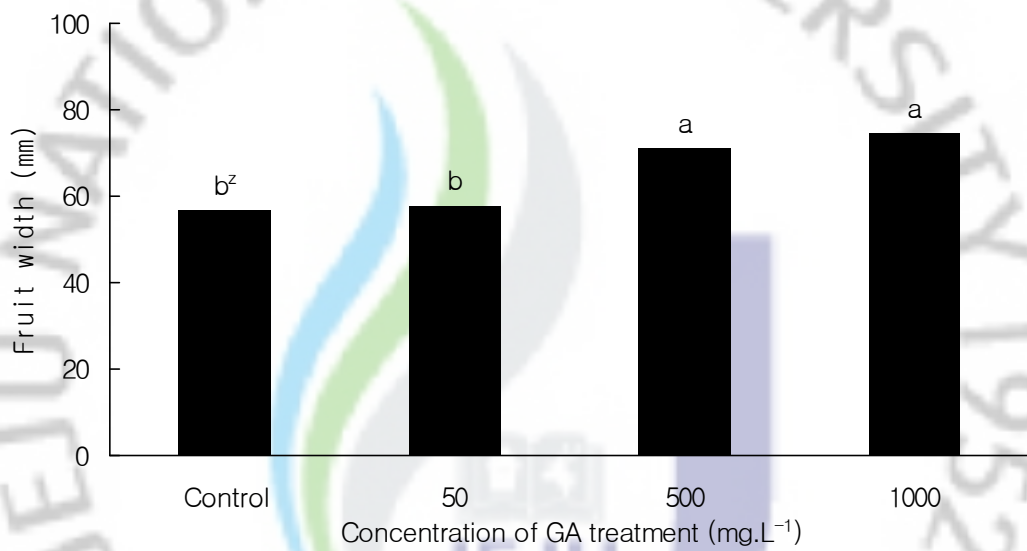


Fig. 15. Fruit width for each concentration of used growth-regulator.

²Duncan's multiple range test at 5% level.

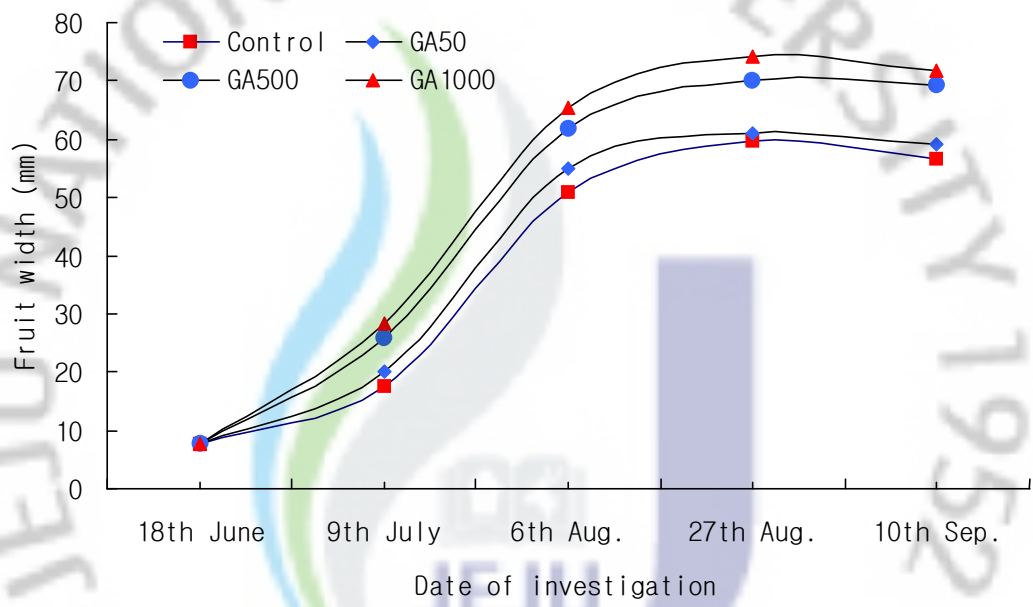


Fig. 16. Changes of fruit width over time for each concentration of used growth regulator.

2-5. 수확시기에 따른 수확 후 과실 품질 특성

인공수분 후 기간에 따라 과실을 수확한 후 과실 품질을 조사한 결과를 보면 대부분 수확시기가 늦을수록 과실 황경 및 과중은 증가하고 있으며 과피흑변은 180일에 수확한 과실이 좋지 않았다(Table 9).

적정 수확시기 설정을 위해 인공수분 기간별로 20℃에서 8~10일간 후숙처리 후 과실품질을 조사한 결과, 140일 이상에서는 안정적으로 후숙이 되었으며 과피흑변은 120일에서 가장 많이 나타났다(Table 10). 가용성 고형물 함량에서는 인공수분 후 120일에서는 후숙이 정상적으로 되지 않아 가용성 고형물 함량, 과피흑변 정도, 후숙 상태도 좋지 않았으며 140, 160, 180일에서는 정상적인 후숙이 되어 가용성 고형물 함량이 높게 나타났다. 그러나 인공수분 180일에서 수확하는 경우 수확시기가 겨울철 저온에 노출되어 수상상태에서 과피갈변 및 낙과 현상이 발생하는 것으로 조사되어 겨울철 저온에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

인공수분 일자별 과피색(Hue값)은 인공수분 120일에서가 녹색에 가까운 색을 나타내어 인공수분 일수가 경과될 수록 황색에 가까워지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 17). 수확직후 20℃에서 8~10일간 후숙과정을 거치면 후숙이 완료되어 딱딱한 과실이 말랑말랑해지며 과피색도 다소 갈색으로 나타나는 것을 볼 수 있었다(Fig. 18).

슈가애플 과실은 인공수분 15~17주 후에 생리적으로 성숙하며 이때 당과 산 함량 증가가 가능하다(Pal and Kumar, 1995; Mosca 등, 1997). 성숙한 슈가애플 열매는 28~30℃에서는 수확 후 2~5일에 익는다. 성숙의 완료되면 열매가 부드럽고 당도는 28 °Brix, 산함량은 0.3%로 먹기에 좋다(Pal and Kumar, 1995; Mosca 등, 1997). 아메모야에서 후숙이 완료되면 유리당이 증가 되는데 대부분 과당, 포도당 성분이며 자당성분이 상대적으로 낮게 나타났다(Kim and Moon, 2006).

본 실험에서도 20℃에서 13일간 후숙하면서 유리당 성분의 변화를 조사하였는데 후숙이 경과 될수록 유리당 함량이 높아지다가 후숙 9일경 부터 점차 감소되었으며 과당과 포도당 성분이 높고 상대적으로 자당 성분은 낮게 나타났다(Fig.

19). 수확시기는 개화 및 인공수분을 기본으로 하기 때문에 정확한 설정이 어렵다. 중국과 대만에서는 슈가애플의 전정을 1~2월에 실시하여 7~9월에 수확하며, 6~10월에 전정하여 10~3월에 수확한다(Nakasone and Paull, 1998). 체리모야 과실은 가용성 고형물 함량과 당함량은 수분시기에 따라 달라진다(Nomura 등, 1997). 온도는 *Annona*속 과실의 성숙에 가장 중요한 요인으로 낮은 온도는 성숙을 지연시키며 반면에 고온은 과실을 나무에서 성숙시켜 낙과를 초래할 수 있다(George, 1984; George 등, 1987; Nakasone and Paull, 1998). 수확시기는 과피의 색으로 결정하며 이는 생리적 성숙과 관련이 있기 때문이다. 샤우어썩의 수확시기는 과피가 짙은 녹색에서 약간 노란 녹색으로 변할 때이며, 체리모야와 슈가애플, 아떼모야는 회색의 도는 녹색에서 노란색이 나타나는 녹색이 된다. 그러나 모든 경우에 과육은 매우 딱딱한 상태이다(Nakasone and Paull, 1998).

과피색 지수는 지역에 따라 수확시기를 결정하는 요인이 된다. 과피색에 따른 수확시기는 과피가 20~40% 정도 황녹색일 때 수확하며 이것들은 4~6일 후에 성숙한다. 수출시장을 위해서는 10~20%가 녹황색일 때 수확하며 수확 후 기간을 조금 더 늘릴 수 있다. 75% 이상 황녹색이 되어 수확된 열매는 1~3일 사이에 성숙하고, 5% 미만에서 수확된 과실은 완전히 성숙하지 않는다(George 등, 1987). 그러나 과피색에 의한 수확시기가 정확한 것이 아니다. 아떼모야 ‘아프리칸프라이드’ 품종과 같은 몇 품종은 성숙 후에도 과실의 변화가 아주 적기 때문에 다소 판단하기 어려운 점이 있으며(牧田, 1994), 과피색 변화, 수분시기, 과실 크기 등을 고려해 수확시기를 결정하는 것이 맛과 품질 등 좋은 과실을 얻을 수 있다(Palma 등, 1993; Alves 등, 1997; Nomura 등, 1997; Nakasone and Paull, 1998).

Table 9. Fruit quality characteristics for each time lag from pollination to harvest.

No. of days from pollination	Fruit width (mm)	Fruit shape	Fruit weight (g)	Fruit skin browning ^z	Degree of malformation ^y	Fruit skin color (Hue) ^x
120	77.9 b ^w	84.7 a	206.1 b	0.0 b	1.0 b	120.0 a
140	81.6 b	84.8 a	302.7 b	0.8 b	1.2 b	115.9 ab
160	100.1 a	88.8 a	502.3 a	1.2 ab	0.6 b	112.2 b
180	99.0 a	92.7 a	461.9 a	2.2 a	3.6 a	113.3 b

^zDegree of skin browning 0(Normal) → 9(Serious).

^y0(Normal fruit shape), 1(Asymmetrical fruit shoulder), 2(Center of the fruit hollowed), 3(Almost nothing in either left or right part of the fruit), 4(Some projections joined together to be blunt).

^xFruit skin color. Color by HSV color space.

^wDuncan's multiple range test at 5% level.

Table 10. Effects of after-ripening on fruit quality for each time lag from pollination to harvest.

No. of days from pollination	Degree of postmaturity ^z	dryness of fruit skin ^y	Fruit splitting ^x	Fruit skin browning ^w	TSS(°Brix) ^v
120	0.3 b ^u	1.0 a	0.0 a	8.3 a	10.3 b
140	1.0 a	0.8 a	0.0 a	6.0 b	16.3 a
160	1.0 a	0.5 a	0.0 a	5.8 b	17.3 a
180	1.0 a	1.0 a	0.0 a	6.3 b	15.9 a

^z0(No ripening), 1(Ripening).

^yDryness of fruit skin normal(0) → Serious(3).

^x0(Nothing), 1(Fruit splitting).

^wDegree of skin browning 0(Normal) → 9(Serious).

^vMeasure by extracting a half of the fruit cut lengthwise after subsequent ripening at 20°C for 8 days.

^uDuncan's multiple range test at 5% level.



120 days

140 days

160 days

180 days

Time from pollination to harvest

Fig. 17. Fruit of atemoya 'Hillary White' right after harvesting and before after-ripening.



Before



After

Fig. 18. Changes of fruit color before and after ripening of atemoya 'Hillary White'.

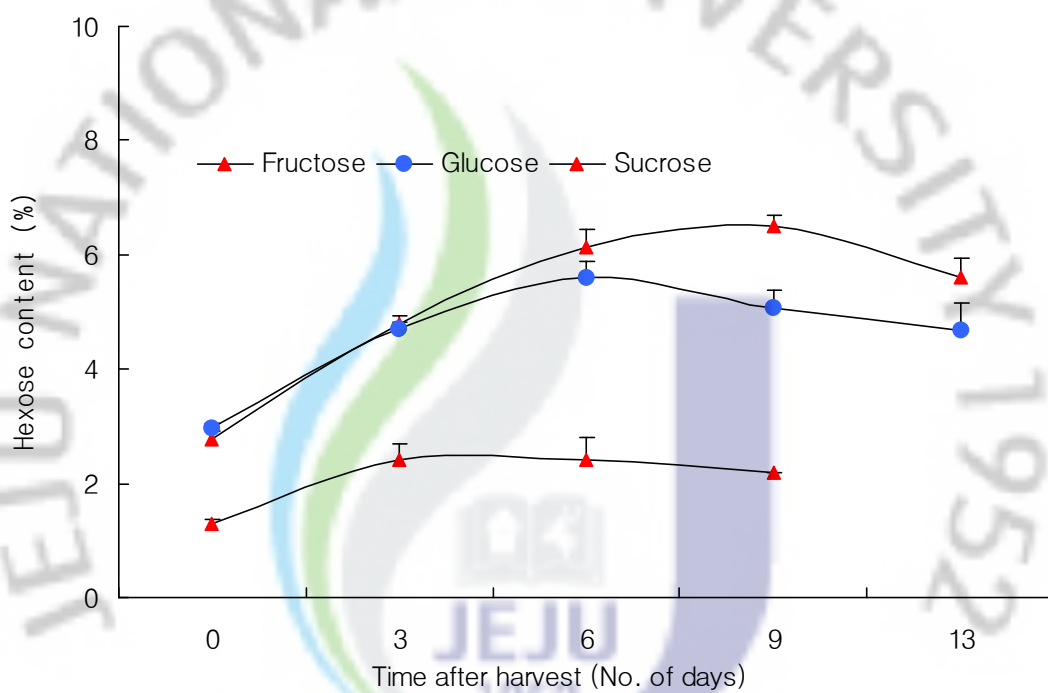


Fig. 19. Change in hexose content over time after harvest. Vertical bars show standard errors (n=5).

V. 종합고찰

이 연구는 시설재배 아페모야 'Hillary White' 품종의 개화·결실 및 과실 발육 조절 등을 구명하기 위하여 2007년부터 2009년까지 수행한 결과이다.

*Annona*속 과수 대부분이 하나의 잎자루 안쪽에 여러 개의 잎눈과 꽃눈이 형성되어 있어 잎이 떨어지지 않으면 발아가 균일하게 되지 않는다(Nakasone and Paull, 1998). 따라서 발아를 균일하게 하기 위해 적절한 시기에 인위적으로 낙엽을 시켜 발아 및 개화 유도가 가능한데 발아된 신초는 적엽이나 적심을 하지 않는 한 성장을 지속하며, 기온이 일정온도 이하로 떨어지면 가지 선단에 있는 생장점이 자연적으로 떨어져 생장이 정지된다(Nakasone and Paull, 1998). 우리나라 시설재배의 경우도 영상의 온도에서는 낙엽이 되지 않으며 일반적으로 전정과 적엽을 함께 실시한다. 균일한 신초발아와 개화 유도를 위해서는 적엽이 효과적이다. 또한 발아한 신초는 적엽이나 적심을 하지 않는 한 성장이 지속되며, 가을 이후에 기온이 떨어지면 가지 선단에 있는 생장점이 자연적으로 떨어져 생장이 정지한다. 또한 일조량 저하 및 낙과 우려가 있는 경우에 전정 및 적엽을 통한 수형관리가 필요하다고 판단되었다.

생육이 왕성한 가지를 대상으로 개화유도나 예비지 확보 가능 여부를 시험하였는데 6월 8일, 7월 8일에 2회에 걸쳐 여름철 전정을 실시하여 절단부위에서 아래쪽으로 3개 잎을 적엽하여 시기별 최초 발아일과 개화일을 조사한 결과, 이른 봄 전정 및 적엽 후 생육에 비해 여름철 전정 및 적엽이 빠른 특성을 보였다. 여름철 전정 및 적엽 후 시기별로 6월, 7월 전정 및 적엽시 최초 발아는 적엽 후 10일 전후며 최초 개화는 적엽 후 30일 전후에 이루어졌는데 고온기 전정 및 적엽 후 생육주기는 거의 비슷한 특성을 보여주는 것으로 판단되었다. 여름철 전정시 3단 유인 수형의 전정 위치를 1단, 2단, 3단으로 나누어 발생하는 신초 특성과 꽃수, 과실수는 서로 비슷했으며 순길이, 마디수, 가지 선단부 두께에서는 3단에서 생육이 높았고 절간 길이에서는 1단에서 가장 길었는데 이는 일조량이 3단보다 떨어지기 때문으로 판단되었다. 전정위치에 있어서도 3마디에서 자른 것

과 6마디에서 자른 것이 차이는 크지 않았으나 결실수에서는 3마디에서 자른 것이 높게 나타났으며 결과지가 길었을 경우에는 개화량이 적었다.

*Annona*속 과수는 화분이 고온, 저습도에서 급속히 발아력이 떨어지며 (Sweet, 1985; 宇都宮 등, 1992), 인공수분에 있어 암술보다도 화분이 고온에 영향을 받는다고 보고되고 있다(Higuchi 등, 1998). 아페모야의 경우도 고온, 건조에서 인공수분이 결실율을 저하시킨다(George and Campbell, 1991). 화분 발아는 온도나 습도 등에 의해 크게 좌우된다(Sweet 1985). 화분 발아율은 수정에 영향을 끼치는 중요한 요인이다(Higuchi 등, 1998; 宇都宮 등, 1992). 전정 및 적엽을 실시하여 개화 30일 후에 화분 발아율이 가장 높게 나타났으며 50일이 지나면서 발아율이 떨어지는 것으로 나타났다.

화분 배양 후 화분관 신장을 보면 10℃에서는 화분관이 거의 신장되지 않았으며 15℃보다는 25℃에서가 화분관 신장이 잘 되었는데 온도가 낮으면 화분관 신장이 불량하게 되어 초기에 개화한 꽃에서 인공수분한 과실은 과형이 좋지 않을 수 있다. 인공수분을 위한 적절한 암술상태 구멍을 위해 D-1P 단계에서 D-0P 단계의 꽃가루를 채취하여 인공수분을 실시하였는데 낙과율은 화분발아율과도 거의 비슷한 경향을 보여 화분 발아율이 낙과에 많은 영향을 주었다. 낙과의 정도는 다르게 나타났지만 낙과가 이루어지는 시기는 대부분 인공수분 후 15일 정도에 이루어졌는데 결실율 향상을 위해서는 온도관리 등을 통한 결실율을 높이기 위한 시설관리가 중요하다. 인공수분 70일후의 최종적인 결실율은 38.2%였다.

개화단계별 착과율은 개화전날 저녁인 D-1P 단계에서 가장 높았으며, 육안으로 주두액이 관찰되지 않은 D-1A 단계가 다음으로 높았고 다음으로 D-0A 단계가 높았다. 이후에는 개화단계에서는 결실율이 현저히 떨어졌다. 하지만 D-1A 단계에서는 인공수분시 꽃잎 제거가 까다롭기 때문에 인공수분은 암술이 D-1P, D-0A 단계에 실시하는 것이 가장 효과적이다.

인공수분 후 수확 적기 판단은 매우 중요한데 조기에 수확한 과실은 과실 품질이 현저히 떨어지며(Salunkhe and Desai, 1984), 품질 좋고 맛있는 과실을 수확하기 위해서는 수확시기가 무엇보다도 중요하다. 또한 인공수분 후 수확은 수확시기가 늦을수록 과실은 커지는 경향을 나타냈다. 인공수분 시기별로 20℃에

서 8~10일간 후숙처리 후 과실품질을 조사한 결과, 140일 이상에서는 안정적으로 후숙이 되었으며 과피흑변은 120일에서 가장 많이 나타났는데 이는 조기에 수확에 따라 과실 품질이 떨어지는 것으로 생각된다. 가용성 고형물 함량도 140일 이상에서가 120일 보다는 높게 나타나 과실 수확 시기는 몇 가지 요인을 검토 해야겠지만 인공수분 후 140일 이상에서 가능할 것으로 판단되었다. 후숙기간에 따라 유리당 성분은 후숙이 진행되면서 점차적으로 증가되며 유리당 성분중 과당과 포도당 성분이 대부분으로 강한 단맛을 느끼게 했다. 자당 성분은 상대적으로 낮게 나타났고 후숙 9일경부터 유리당 성분은 점차 감소되는 것으로 분석되었다.



VI. 적 요

이 연구는 현재 우리나라에 시설재배되고 있는 아페모야의 개화 및 결실에 대해 보다 효과적이고 체계적인 재배방법을 구명하여 품질 좋은 과실 생산과 체계적인 관리를 위해 2007년부터 2009년까지 3년간 'Hillary White' 품종을 공시 재료로 하여 개화특성, 화분발아, 인공수분, 결실, 수확 및 과실 발육과 품질 등을 조사, 분석하여 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

겨울철 시설내 온도가 0℃ 이상에서 자연낙엽이 되지 않아 균일한 신초 발아와 개화를 유도하기 위하여 봄에 전정과 적엽을 동시에 실시하였다. 신초의 발아는 8~16일 후에 시작되었고 50~55일 후에 개화가 시작하였다. 또한 시설내 작업의 효율성을 위해 1, 2, 3단으로 유인한 수형에서 전정 및 적엽을 실시하여 120일 후의 신초 생육은 3단, 2단, 1단 순으로 길었으며 마디수, 신초 두께에서도 3단에서가 생육이 왕성했다. 신초의 절간 길이에서는 이와 반대의 현상을 나타냈으며 개화량은 개화가 시작되어 10~25일 후부터 개화량이 많았다. 이후 점차 개화량이 감소되다가 안정되는 경향을 보였다.

시설재배에서 개화단계에 따라 암술과 수술의 변화를 관찰하여 인공수분 적기 판별의 중요한데 맑은 날을 기준으로 할 때 개화 2일전 저녁(D-2P)에서는 화판 및 주두상태의 변화가 거의 없으며 개화 1일전 아침(D-1A) 상태가 되면서 화판이 약간 틈이 생기면서 개화 1일전 저녁(D-1P) 17시경에 화판이 벌어지기 시작했으며 주두 분비액이 가장 많이 관찰되었다. 다음날 9시경 까지 주두가 축축한 상태임이 관찰되다가 점차 감소하는 경향을 보였다. 화판 및 주두상태는 개화 당일 아침(D-0A)까지 어느 정도 유지되다가 개화 당일 저녁(D-0P) 상태에서는 주두액은 거의 관찰되지 않았으며 화판은 더욱 벌어졌고 손으로 살짝 건들어도 화판 및 꽃가루가 날리는 상태가 되었다. 개화 다음날 아침(D+1A) 상태에서는 화판이 다소 마른 상태로 변하거나 떨어져 버린 상태로 관찰되었으며 수술은 갈색으로 변하고 화분 발아율도 매우 낮았다.

여름철 고온 등으로 영양생장이 강한 가지에 개화량이 적고 결실도 불안한데 여름철 전정 및 적엽을 통해 개화유도 및 결실 가능성 보기 위하여 여름철 절단 전정을 실시하였다. 신초발아는 10일, 개화는 30일 정도가 소요되었다. 신초생육, 꽃수, 결과수에서 3, 2, 1단순으로 높게 나타났다. 3마디와 6마디 절단위에서는 유의차가 없게 나타났다. 여름철 결실율을 높이기 위하여 인공수분 30, 40일 후에 적심처리를 하였는데 무처리구보다 적심을 실시한 처리구에서가 결실율이 높게 나타났다. 30일과 40일 처리구에서는 유의차가 없었다.

아메모야는 잎이 전개되기 전에 꽃이 먼저 발생하는데 개화초기의 화분에서는 발아율이 현저히 떨어져 인공수분 적기 설정이 필요하다. 전정 및 적엽을 실시하여 개화 30일 후에 발아율이 가장 높게 나타났으며 50일이 지나면서 발아율이 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 조기에 개화한 화분에서는 사분자기 화분 비율이 높게 나타났고 발아율도 떨어지는 경향을 보였다. 화분 배양후 화분관 신장을 보면 10℃에서는 화분관이 거의 신장되지 않았으며 15℃보다는 25℃에서가 화분관 신장이 잘 되었다.

아메모야 꽃은 암술과 수술 성숙단계가 다른 자웅이숙성이다. 또한 개화단계가 짧고 꽃가루가 적어 인공수분에 어려움이 있다. 효율적인 수분과 위해 꽃가루 저장에 따른 화분 발아율과 인공수분 가능성을 조사하였다. 꽃가루는 당일에 발아율이 가장 높았으며 저장 3일째부터 화분 발아율이 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 화분저장기간에 따라 인공수분 후 결실율을 보면 화분 발아율이 높을수록 결실율도 높게 나타났다. 개화단계별 화분 발아율은 암술이 D-1P, D-0A, D-0P, D-0P, D+1A의 개화단계와 화분 후숙시간, 개화시기에 따라 차이를 보였다. 개화초기의 화분에서는 화분 발아율이 매우 떨어졌으며 화분 발아율은 결실율에는 영향을 주었지만 과실 품질과는 유의차가 크지 않은 것으로 나타났다. 개화단계에 따른 결실율은 개화전날 저녁인 D-1P 단계에서 가장 높았으며, D-1A 단계가 다음으로 높았으며 다음으로 D-0A 단계가 높았다. 이후에는 개화단계에서는 결실율이 현저히 떨어졌다.

인공수분은 고품질 과실 생산을 위해서는 필수적이다. 그러므로 인공수분시기와 시간 설정은 아메모야 재배에 있어 매우 중요하다. 개화 10일 후에 인공수분하면 과중이 가장 무거웠으나 과형은 가장 좋지 않았다. 30~50일 후에 개화한 꽃에 인공수분한 과실에서 과형지수, 과중 등이 비교적 균일하게 나타났다. 인공수분 시기에 따른 과실 결실율도 화분 발아율과 비슷한 경향을 보였는데 개화 20일, 30일 후에 인공수분한 것이 결실율이 높았고 개화 10일 경에는 결실율이 낮았다. 인공수분 시간에 따른 과실 결실율은 18시경이 결실율이 가장 높았으며 다음날 오전 10시 정도까지도 결실율이 비교적 높았다. 낙과는 대부분 인공수분 후 20일 정도까지 이루어졌다. 인공수분 후 수정이 되지 않았을 경우는 4일 정도면 눈으로 확인이 가능하였다. 인공수분 70일후의 최종 결실율은 38.2%로 나타났다.

개화량이 적고 착과가 불량한 나무에 전정 및 적엽을 실시하여 개화유도 및 결실이 가능한데 늦은 결실은 생육기간이 짧아져 과실비대가 잘 되지 않는 경우가 있어 과실의 조기 비대를 위해 성장조절제를 처리하였다. 횡경 비대는 무처리구와 GA 50 mg·L⁻¹에 비하여 GA 500 mg·L⁻¹, GA 1000 mg·L⁻¹에서 비대가 증가 하였으며 인공수분 30일 정도부터 비대가 빨라지는 경향을 보였다. 인공수분 100일 후 횡경 크기를 보면 무처리구와 GA50 mg·L⁻¹ 처리에서는 유의차가 없었으며 GA 500 mg·L⁻¹에서는 71.2 mm, GA 1000 mg·L⁻¹에서는 74.5 mm로 과실 크기가 증가하였다. 횡경 비대는 초기부터 후기까지 꾸준히 비대가 이루어 졌으며 수확직전까지 비대가 계속되었다.

아메모야는 수확 후 일정기간 후숙과정이 필요하다. 수확전에 육안으로 수확적기 판단 쉽지 않다. 인공수분기간에 따라 수확적기 판단을 위하여 기간에 따라 20℃에서 8~10일 동안 후숙하여 과실품질을 조사한 결과, 140일 이상에서는 안정적으로 후숙이 되었으며 과피흑변은 120일에서 가장 많이 나타났다. 당도는 140일 이상에서가 120일 보다는 높게 나타났다. 후숙 후 유리당 성분은 후숙이 진행되면서 유리당은 증가 되는데 대부분 과당 및 포도당 성분으로 강한 단맛을 나타냈으며 자당성분은 상대적으로 낮게 나타났고 후숙 9일경 부터 유리당 성분은 점차 감소되는 것으로 분석되었다.

VII. 참고문헌

- Accorsi, M.R. and I. Manica. 1994. Colheita, armazenamento e utilizacao. In: Fruticultura-Cultivo das Anonaceas: Ata-Cherimolia-Graviola. Ed. Manica, I., Evangraf, Porto Alegre. p. 92-116.
- Alves, R.E., H.A.C. Filgueira, and J.L. Mosca. 1997. Colheita and pos-colheita de annonaceas. In: Annonaceas: Producao e Mercado(Pinha, Graviola, Atemoia and Cherimolia). Eds. Jose, A.R.S., Souza, I.V.B., Rebouças, T. N.H. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitoria da Conquist A. p. 240-256.
- Brewbaker, J.L. and B.H. Kwack. 1963. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. A.J.B 50: 859-865.
- Crane, J.H. and C.W. Campbell. 1990. Origin and distribution of tropical and subtropical fruits. p. 1-65. In: S. Nagy, P.E. Shaw, and W.F. Wardowski (eds.). Fruits of tropical and subtropical origin, FSS. Lake Alfred. FL. USA.
- Ganeshan, S. and M.P. Alexander. 1991. Cryogenic preservation of lemon (*Citrus limon* Burm.) pollen. Gartenbauwissinschaft 56: 228-230
- Gazit, S., I. Galon, and H. Podoler. 1982. The role of *Nitidulid* beetles in natural pollination of *Annona* in Israel. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 849-852.
- George, A.P. and J. Campbell. 1991. Hand pollination in subtropical Australia. California Grower. 15: 36-38.

- George, A.P. 1984. *Annonaceae*. In: Tropical Tree Fruit for Australia, Queensland Department of Primary Industries, Brisbane. Ed. Page, P. E. p. 35-41.
- George, A.P. and Nissen, R.J. 1987. Propagation of *Annona* species: a review. *Scientia Horticulturae*. 33: 75-85.
- George, A.P. and R.J. Nissen. 1988. The effects of temperatures, vapour pressure deficit and soil moisture stress on growth, flowering and fruit set of custard apple 'African pride' *Sci. Hort.* 34: 183-191.
- Higuchi, H., N. Utsunomiya, and T. Sakuratani. 1998. High temperature effects on cherimoya fruit set, growth and development under greenhouse conditions. *Sci. Hor.* 77: 23-31.
- Higuchi, H. 1999. Environmental physiology of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) under heat stress conditions. Doctoral thesis, Kyoto University. p. 1-103. (In Japanese)
- Hirokazu, H. and U. Naoki. 1999. Floral differentiation and development in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) under warm (30/25°C) and cool (20/15°C) day/night temperatures. *J Japan. Soc. Hort. Sci.* 68: 707-716.
- 石畑清武. 1983. 紫果物時計草の花粉発芽に関する研究. 鹿大農学術報告. 33: 7-11.
- 岩波洋适. 1985. 花粉学. (第4版) 講談社(東京). p. 212.
- Kiyotake, I. 1983. On the pollen germination of purple passion fruit, *Passiflora edulis* Sims. *Ibusuki Experimental Botanic Garden*. 33: 7-11.

- Kahn, T.L. and M.L. Araipa. 1991. Methods of cherimoya hand pollination. Cherimoya Assoc. Newsletter 3(1): 1-3.
- Kim, S.H., J.W. Byun, and D.K. Moon. 2005. Flowering and pollen germination in (*Annina squamosa* × *A. cherimola*). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23): 418-422.
- Kim, S.H. and D.K. Moon. 2006. Effects of artificial pollination on percent fruit set and fruit characteristics atemoya (*Annina cherimola* × *A.squamosa*). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24: 77-80.
- 小浦誠吾・長谷川和史・鈴木英喜・山本雄介・米本仁巳. 2001. チェリモヤの結実に及ぼす高温および柱頭分泌液量の影響. 熱帯農業 45(4): 275-280.
- Lee, H.S. and S. Nagy. 1988. Quality changes and non-enzymatic browning intermediates in grapefruit juice during storage. J. Food Sci. 53: 168-172
- Loupassaki, M., M. Vasilakakis, and I. Androulakis. 1997. Effect of pre-incubation humidity and temperature treatment on the in vitro germination of avocado pollen grains. Euphytica. 94: 247-251.
- 牧田好高. 1994. アテモヤ. 農業技術大系 果樹編 7 特産果樹. 農文協 (東京). p. 1-4.
- Makita, Y. 1998. Effects of pollen grain stage at the time of hand pollination on fruit set atemoya (*Annona cherimola* × *A. squamosa*). Bull. Shizuoka Citrus Exp. Sta. 27: 61-66. (In Japanese)

- McClellan, M.R., L.R. Lind. and R.W. Kime. 1994. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant hunter L,a,b data. Department of Food Sci. and Technol. Insti. of Food Sci. Cornell univer. Geneva New York. 14456.
- Morton, J.F. 1987. White Sapote In: Fruits of Warm Climates. Media Incorporated, Greensboro (North Carolina). p. 191-196.
- Mosca, J.L., J.S. Assis., R.E. Alves., H.A.C. Filgueiras, and A.F. Batista. 1997. Physical, physical-chemical and chemical changes during growth and maturation of sugar apple(*Annona squamosa* L.). Memorias, Congresso Internacional de Anonaceae, Chapingo, Mexico. p. 304-314.
- Nakasone, H.Y. and R.E. Paull. 1998. *Annonas*. In: Tropical Fruits. Chapter 3. CAB International, London. p. 45-75.
- Nomura, K., H.K. Terai., M. Yabe., M.S. Maeda., M.S. Rahman., M. Yoshida, and J.Y. Yonemoto. 1997. Comparison of changes in sugars and ethylene production of cherimoya fruit grown at different seasons. J. Hort. Sci. 72: 617-622.
- 奥瀬一郎. 1972. リンゴ花粉の発芽と花粉管の伸長に関する研究. 第1報. 発芽温度について. 弘大農報. 18:114-128.
- Pal, D.K. and Kumar, P.S. 1995. Changes in the physio-chemical and biochemical compositions of custard apple(*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. Journal of Hort. Sci. 70: 569-572.

- Palma, T., J.M. Aguilera, and D.W. Stanley. 1993. A review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology*. 2: 187-208.
- Rathore, D.S. 1990. Custard apple. p. 449-468. In: T.K Bose and S.K. Mitra (ed.) *Fruits, tropical and subtropical*. Naya Prokash. Calcutta.
- Rosell, P., M. Herrero, and V. Galan Saucó. 1999. Pollen germination of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). *In vivo* characterization and optimization of *in vivo* germination. *Sci. Hort.* 81: 251-265.
- Saavedra, E. 1977. Influence of pollen grain stage at the time of hand pollination as a factor of fruit set of cherimoya. *Hort.* 12: 117-119.
- Saavedra, E. 1979. Set and growth of *Annona cherimola* Mill. fruit obtained by hand-pollination and chemical treatments. *Journal of American Hort. Sci.* 104: 668-673.
- Salunkhe, D.K. and B.B. Desai. 1984. Custard apple and jujube. In: *Postharvest Biotechnology of Fruits*, vol. II. CRS Press, Boca Raton, p. 133-135.
- Saavedra, E. 1979. Set and growth of *Annona cherimola* Mill. fruit obtained by hand-pollination and chemical treatments. *Journal of American Hort. Sci.* 104: 668-673.
- Sanewski, G.M. 1991. Custard apples: cultivation and crop protection. queensland department of primary industries information series; QI 90031.

- Sanewski, G.M. 1998. Growing custard apples. Queensland Department of Primary Industries information series QI87014. Brisbane, Australia. p. 212-215.
- Schroeder, C.A. 1943. Hand pollination studies of the cherimoya. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 43: 39-41.
- Schroeder, C.A. 1945. Cherimoya culture in California. Mimeographed Circular Series No. 15.
- Schroeder, C.A. 1949. White sapote varieties in California. Fruit Var and Hort. Digest 4: p. 7.
- Sweet, C. 1985. The hard to pollinate cherimoya. Calif. Rare Fruit Grow. 9: 31-33.
- 立田芳伸・稲森博行. 1998. アテモヤの栽培技術確立. (7)花粉の貯蔵温度. 果樹試報. IV-2: 401-402.
- 宇都宮直樹・樋口浩和・米本仁巳・山下重良. 1991. ハウス栽培下の成熟期におけるチェリモヤ果実の発育と葉における光合成速度. 園学雑. 60(別1): 38-39.
- 宇都宮直樹・樋口浩和・米本仁巳・山下重良. 1992. チェリモヤにおける花粉の貯蔵性と着果に及ぼす相対湿度影響. 園学雑. 172-173(別1): 84-85.
- Utsunomiya, N., K. Sogawa, and K. Sasaki. 1995. Sex expression of cv. Irwin mango flowers affected by temperature, soil water stress and plant bioregulators. Acta Hort. 394: 183-190.

Wester, P.J. 1910. Pollination experiments with *Annonas*. Bull. Torrey Bot. Club. 37: 529-539.

Venkataratnam, L. 1959. Floral morphology and blossom biology studies in some *Annonaceae*. Indian Journal of Agronomy Sci. 29: 69-75.

米本仁巳. 1990. チェリモヤ. 農業技術大系 果樹編 7 特産果樹. 農文協. p. 1-10.

米本仁巳 牧田好高. 1996. 導入果樹品種特性調査事業報告書 (チェリモヤ・アテモヤ). (社)日本果樹種苗協会. (東京) p. 33, 46.

米本仁巳・中屋英治・山下重良. 1989. チェリモヤの施設栽培に関する研究. (第2報) 花粉の発牙, 花粉管伸長に関する温度と培地条件並びに貯蔵花粉の発牙試験. 園学雑. 58(別 2): 174-175.

Yoshimi, Y., H. Hirokazu, and K. Yoshinobu. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71: 643-650.