

최 종
연구보고서

고밀식 키 낮은 사과원 수세안정화 기술개발

Growth Control Techniques of Vigorous Apple
Tree in a High Density Orchard

연구기관

주관연구기관 : 경 북 대 학 교

위탁연구기관 : 영천시농업기술센터

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고밀식 키 낮은 사과원 수세안정화 기술개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 7월 일

주관연구기관명 : 경북대학교

총괄연구책임자 : 윤태명

연 구 원 : 이인중

연 구 원 : 사공동훈

연 구 원 : 박현수

연 구 원 : 이수진

연 구 원 : 조병도

연 구 원 : 이재왕

위탁연구기관명 : 영천시농업기술센터

위탁연구책임자 : 최석원

연 구 원 : 박상은

연 구 원 : 조광현

요 약 문

I. 제목

고밀식 키 낮은 사과원 수세안정화 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

M9 대목의 우량묘목을 10a당 175-333주(재식거리 3-3.8 × 1.0-1.5m)로 고밀식하여 관리하는 키 낮은 사과재배는 조기 다수확, 품질 향상, 생산비 절감, 소득 향상 등이 가능한 새로운 재배체계로 최근 빠르게 확대되고 있다. 그러나 관행재배에 비해 재식밀도가 매우 높기 때문에 재배기술적인 오류나 이상 기상으로 영양생장과 결실 간의 균형이 깨어지면 심각한 수준의 밀식장해가 발생하는 취약점이 있다. 우리나라는 강전정의 습관, 과다한 시비, 생장 정지기의 장마, 개화기 서리 등 여러 가지 재배적, 기상적인 원인으로 영양생장이 지나치게 왕성하여 수고가 높고 수관 상단이 복잡할 뿐 아니라 중·하단부에 광 투과가 부족하여 생산성이 떨어지는 사과원이 늘어가고 있다. 또한, 묘목 생산과정에 있어서는 고밀식에 적합한 결가지 발생이 잘된 우량대묘를 생산하기 위하여 과다하게 시비함으로써 가을까지 성장하여 목질화가 되지 않고 저장양분도 부족한 부실묘목이 생산되고 있는데 이러한 묘목은 정식시 고사율이 높고 활착하더라도 생장이 불량하여 조기 다수확이라는 고밀식 재배의 목적 달성에 장애요인이 되고 있다.

키 낮은 사과원은 개원비가 ha당 5,000만원에 달할 정도로 투자비용이 많기 때문에 개원시 묘목이 불량하여 고사율이 높거나, 개원 후에 수세 조절에 실패할 경우 밀식장해로 인한 수량감소는 물론, 품질이 떨어지고 경제수명이 짧아지는 등 농가가 받는 경제적 손해는 관행재배와는 비교할 수 없을 정도로 크다.

따라서 키 낮은 사과재배에서의 이러한 기술적인 문제점을 해결하기 위하여 수행한 본 연구과제의 목적은 아래와 같다.

- 우량대묘를 생산하기 위하여 과다하게 시비함으로써 가을까지 성장하여 목질화가 되지 않고 저장양분도 부족한 부실묘목이 생산되는 문제점을 해결하기 위하여 생장조절제를 이용하여 묘목 생산시 8월 이후의 성장을 효과적으로 억제하여 내·외적으로 우량한 묘목을 생산할 수 있는 기술의 개발

- 수세가 지나친 유목 또는 결실기의 M9 대목 키 낮은 사과나무에서 적용할 수 있는 효과적인 환상박피와 뿌리전정 방법 개발
- 최근에 개발되어 과수 영양생장 억제에 탁월한 효과를 보이는 것으로 보고되고 있는 Prohexadione-calcium(Pro-Ca)을 이용한 고밀식 사과나무에서의 수세안정화 가능성 검토
- 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무에서 반발 생장을 최소화하면서 수고를 제한하고 상단부 세력을 안정시키기 위한 기술 개발

Ⅲ. 연구개발의 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제제를 이용하여 묘목 생산시 8월 이후의 생장을 효과적으로 억제하여 내·외적으로 우량한 소질의 묘목을 생산할 수 있는 기술 개발 (위탁연구과제) 	<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제기능이 있는 Pro-Ca, NAA를 공시하여 사과묘목의 후기생장과 가장 효과적으로 억제할 수 있는 방법을 모색함.
<ul style="list-style-type: none"> - M9대목의 키 낮은 사과나무에서의 효과적인 환상박피와 단근 방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 수세가 지나친 결실기의 후지/M9를 공시하여 단근과 환상박피의 시기를 달리하여 수세 안정효과와 과실특성에 미치는 영향을 무처리와 비교함.
<ul style="list-style-type: none"> - Pro-Ca을 이용한 수세 안정화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 최근에 개발되어 과수 영양생장 억제에 탁월한 효과를 보이고 있는 Pro-Ca을 공시하여 처리농도, 회수 및 시기별로 후지/M9의 수세안정과 과실품질에 미치는 영향을 파악함.
<ul style="list-style-type: none"> - 수고 제한 및 수관상단 과번무 방지기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무(후지/M9)에서 반발 생장을 최소화하면서 수고를 제한하고 상단부 세력을 안정시키기 위하여 주간 절단시기를 달리하고 추가로 NAA와 Pro-Ca을 처리하여 생장에 미치는 효과를 조사함.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

1. 연구개발 결과

가. Pro-Ca을 이용한 사과나무 수세 안정화

Pro-Ca의 영양생장 억제에 대한 효과는 처리농도가 높을수록 대체로 크게 나타나는 경향을 보여, Pro-Ca 50mg·L⁻¹은 신초억제효과가 5% 이하로 미미하였으나 Pro-Ca 100mg·L⁻¹은 17.3%, 150mg·L⁻¹은 23.1%, Pro-Ca 200mg·L⁻¹은 34.9%, Pro-Ca 250mg·L⁻¹은 38.1%의 신초생장억제를 보여 Pro-Ca 200mg·L⁻¹이상 300mg·L⁻¹까지는 신초생장 억제효과가 비슷한 수준이었다. 신초생장 초기에 1차로 살포하고 4주 후에 추가 살포한 경우 농도에 관계없이 신초생장 억제에 미치는 영향은 단일 살포와 효과 면에서 유의적인 차이가 없었다. 무처리에 비해 Pro-Ca처리에서 과중이 다소 가벼웠으나 그 외의 과실특성이나 저장력에 미치는 부정적 영향은 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. Pro-Ca 처리가 영양생장을 억제함에도 익년 개화율은 대조구와 비교시 큰 차이가 없었다. 따라서 과실품질에 악영향을 미치지 않고 신초생장을 효과적으로 억제할 수 있는 Pro-Ca의 적정 살포농도는 150~200mg·L⁻¹ 범위이며, 살포시기는 정단 신초길이가 4~10cm인 것으로 판단되었다.

나. 단근 및 환상박피를 이용한 사과나무 수세 안정화

1) 단근을 통한 수세 안정화

수관하부를 청경으로 관리하면서 점적관수를 하는 M.9/실생의 이중접목 사과나무에서 발아기, 만개기, 유과기에 각각 원줄기에서 30cm에서 양쪽으로 25cm 깊이 단근한 경우 단근시기에 관계없이 75% 내외였다. 과실품질에는 처리간의 뚜렷한 차이가 없었고, 익년개화율은 무처리 74.2%에 비해 유과기 단근이 81.1%로 다소 높았다.

수관하부를 polypropylene 필름으로 피복하고 스프링클러로 관수하는 M.9 자근 사과나무 발아기, 만개기, 유과기에 원줄기 30cm에서 양쪽으로 30cm 깊이 단근처리를 하였던 바, 발아기 양쪽과 만개기 양쪽 단근 처리의 경우 총 신초 성장량이 무처리의 54.4%와 58.4%에 불과할 정도로 수세가 지나치게 약화되었고 과실비대도 크게 떨어져 당년의 주당 수량이 무처리에 비해 75.4%

와 70.9%로 감소하였다. 그러나 만개기 또는 유과기에 한쪽만 단근하는 경우 양쪽 단근에 비해 영양생장 억제 효과는 낮았으나 과실비대 및 당년 주당 수량감소는 크지 않았다. 반면에 수관내 광환경은 뚜렷하게 개선되어 당도와 착색이 향상되었으며 익년 개화율도 높아졌다. 따라서 단근을 통한 수세조절은 해당 사과나무의 뿌리분포에 따라 단근의 강도를 조절하도록 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2) 환상박피를 통한 수세 안정화

발아기, 만개기, 유과기에 폭 3mm로 환상박피처리를 하여 무처리인 대조구의 영양생장과 비교한 결과 발아기와 만개기 박피는 무처리의 78% 또는 75%의 총신초생장량을 보였고 유과기 박피의 경우 무처리와 비슷한 수준이었다. 익년 개화율에 있어서는 무처리 48%에 비해 환상박피처리구가 53.6~63%로 다소 높았고 그 중 만개기 박피의 익년개화율이 가장 높았다.

1년차 보다 수세가 좀 더 강하여 환상박피 폭을 5mm로 넓힌 2년차 시험에서는 3mm 폭으로 박피한 경우에 비해 영양생장 억제가 더 크게 나타났다. 환상박피 처리시기 간에는 발아기 환상박피가 신초생장억제 효과가 가장 크게 나타나 총신초생장량이 무처리의 64%에 불과하였고 만개기 환상박피는 84%, 유과기 환상박피는 81% 수준이었다. 그러나 익년 개화율은 신초생장 억제정도와 무관하게 만개기 환상박피가 무처리 33.6%에 비해 86%로 가장 높았고, 의외로 생장억제가 가장 컸던 발아기 환상박피는 박피처리 중에서는 가장 낮은 66.5%였다.

발아기의 환상박피는 영양생장은 크게 억제시키나 화아분화에 미치는 영향은 떨어지고, 만개기 또는 유과기의 환상박피는 꽃눈분화는 현저히 촉진시키나 신초생장 억제에 미치는 영향은 적기 때문에 목적에 따라 박피의 폭은 물론 시기를 조절할 필요가 있는 것으로 생각된다.

다. 수세 강한 사과나무에서의 수고제한

휴면기 전정 시 관행에 따라 수고를 2.5m로 제한하는 방법에 비해 휴면기 전정을 하되 1차로 수고를 3.0m로 자른 다음 5월 중순에 2.5m로 낮춘 경우나, 만개기에 수고를 2.5m로 제한한 경우는 2m 높이에서의 주간직경 비대정도 또는 2m 이상의 상단부 총 신초생장이 무처리에 비해 떨어지기는 하나 통계적 유의성이 인정될 정도는 아니었다. 주간 2.5m 높이에서 절단한 후에 절단면에

NAA 2% 함유한 톱실페이스트 도포는 절단부위의 도장지 발생에 의한 반발 성장을 현저히 떨어뜨려 처리구 중에서 수고제한 방법으로 가장 적합하였는데 NAA 도포시기는 만개기 절단후 도포보다는 휴면기인 2월 중순이 더 효과적이었다. 휴면기 전정 시에 수고를 제한 후 신초가 5cm 내외로 자란시기에 Pro-Ca 250mg·L⁻¹을 살포한 처리의 경우 총신초생장의 억제는 현저하지 않았지만 상단부의 신초 길이는 크게 단축시켜 수고단축을 위한 적용 가능한 방법인 것으로 판단되었다.

라. 성장조절제를 이용한 사과묘목 후기 성장 억제 (위탁연구과제)

사과묘목 생산에 있어서 후기 성장 억제를 통해 신초생장을 일찍 정지시켜 목질화가 진행된 충실한 묘목을 만들기 위하여 Pro-Ca와 NAA를 공시하여 본 시험을 수행하였다. Pro-Ca의 경우는 처리시기별로는 7월 하순~8월 초순이, 처리농도별로는 300mg·L⁻¹까지 처리농도가 높을수록, 처리횟수는 3회까지 횟수가 많을수록 측지의 후기생장이 억제되었고 NAA의 처리도 비슷한 경향이나 측지의 후기성장 억제효과는 Pro-Ca에 비해 떨어지는 경향이었다. 결론적으로 사과묘목 생산 시 후기생장을 억제하여 목질화가 잘 된 건전한 묘목을 생산하기 위해서는 Pro-Ca 250~300mg·L⁻¹를 7월 하순부터 10일 간격으로 3회 살포하는 것이 바람직 한 것으로 판단되었다.

2. 결과활용에 관한 건의

1. 본 연구에서 탁월한 영양생장억제 효과가 입증된 Pro-Ca에 대한 사과나무 수세 조절용 성장조절제로 등록 추진
2. 과수묘목생산자를 대상으로 Pro-Ca을 이용한 8월 이후 성장억제로 충분한 목질화가 이루어진 건전 사과 대묘 생산기술 보급
3. 수세가 지나친 유목 또는 결실기의 M9대목 키 낮은 사과나무에서 Pro-Ca 살포, 환상박피, 단근 등을 통한 수세 안정화 기술의 대농민 보급
4. NAA 도포 및 Pro-Ca 살포를 통한 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무에서 반발 성장을 최소화하면서 수고를 제한할 수 있는 기술의 보급
5. 사과묘목 생산 시 후기 성장 억제하여 목질화가 잘 된 건전한 묘목을 생산하기위한 목적으로 Pro-Ca 처리방법을 묘목생산자들에게 보급

SUMMARY

I. Title

Growth Control Techniques of Vigorous Apple Tree in a High Density Orchard

II. Objectives and necessity

Nowadays, new apple orchards are established mostly on M.9 with a tree spacing of $3-3.8 \times 1.0-1.5\text{m} = 175-333$ trees per 10a, because this intensive planting system convinces our apple growers of the advantages of early and high yields, better fruit quality, lower costs and higher income. However, failure to control vegetative growth adequately by abnormal weather or by management mistakes, such as severe pruning, over N fertilization and failure in early fruiting, may result in poor fruit quality and low productivity and ultimately lead to economic loss. As apple trees mature, it is frequently necessary to make pruning cuts to restrict tree height of to contain trees within their allotted space. These cuts often stimulate the development and rapid growth of upright shoots that originate from latent buds within wood. They are very undesirable because they are unproductive, create unwanted shade within the canopy, impede distribution and coverage of spray materials and can foster the growth and development of insects and diseases. There is also some problem in nursery tree production, namely to put so much fertilizer for a larger and well-feathered maiden tree that it keeps to grow throughout all growing season. Excessive, undesirable shoot growth and not enough acclimatized nursery trees get serious transplanting shock and even leads to loss.

Therefore this project was carried out for finding these technical problems in high density apple growing with objectives given below;

- Development of late season shoot growth inhibiting methods of nursery trees using plant growth regulators.
- Determination of proper root pruning and girdling methods for appropriate growth control of vigorous apple trees.

- Examination of Prohexadione-calcium (Pro-Ca) effects on vegetative growth, reproductive performance of apple tree and fruit storageability, and determination of proper Pro-Ca application concentration, time and method.
- Evaluation of restricting methods by different heading cuts and plant growth regulator application on apple trees while minimizing repulsive growth by keeping balance.

III. Contents and scopes

1) Growth Control of Apple Trees by Use of Pro-Ca

- To evaluate effects of Pro-Ca on vegetative growth, reproductive performance and fruit storage-ability.
- To determine proper concentration, time and frequency of Pro-Ca application for growth control of apple trees

2) Growth Control of Apple Trees by Root Pruning and Girdling

- To evaluate effects of root pruning and girdling on vegetative growth, reproductive performance of apple trees
- To determine proper root pruning method for growth control of apple trees
- To determine proper girdling method for growth control of apple trees

3) Restricting the Height of Vigorous Apple Trees

- To evaluate effects of heading cut time for restricting the height of apple tree on repulsive growth
- To evaluate effects of plant growth regulators application after heading cut on repulsive growth of apple tree
- To determine proper restricting method the height of vigorous apple tree minimizing repulsive growth

4) Shoot Growth Inhibition of Nursery Trees in Late Season using Plant Growth Regulators.

- To determine proper concentration, time and frequency of Pro-Ca application for growth control of nursery trees in late season

IV. Results and Application

1. Results

1) Growth Control of Apple Trees by Use of Pro-Ca

Pro-Ca treatments provided effective control of vegetative growth, such as less than 5% in Pro-Ca $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 17.3% in Pro-Ca $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 23.1% in $150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 34.9% in Pro-Ca $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 38.1% in Pro-Ca $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, showing almost same efficiency from Pro-Ca $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Supplementary spray of respectively 4 weeks later after first application showed no significant growth reduction compared to one application in same concentrations, regardless of concentrations. Appropriate shoot growth reduction in response to Pro-Ca reduced fruit weight a little but did not certain negative effect on other fruit quality parameters, storage and return bloom rate in the following year. In conclusion, one foliar treatment of Pro-Ca $150\sim 200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ when terminal shoots had reached ca. 4~10cm might be one of reasonable growth control measurements in vigorous apple trees.

2) Growth Control of Apple Trees by Root Pruning and Girdling

(1) Root Pruning

Root pruning the depth of 25cm both sides parallel to the row of 30cm from the trunk reduced the total shoot growth ca. 15% than the control, regardless different pruning times such as bud break, full bloom or fruitlet stage in *M.9/Malus prunifolia* seedling double grafted apple trees which were irrigated by trickle irrigation. Return bloom rate of root pruning at fruitlet stage was 81.1% compared with 74.2% in the control, but no differences in fruit quality among all treatments. However, root pruning to the depth 30cm both sides at bud-break stage or at full bloom stage reduced vegetative growth so much as total shoot length by 54.4% or 58.4% and yield per tree by 75.4% or 70.9% with small size fruits

respectively, compared with the control in apple trees on M.9 which were covered 80cm wide with black polypropylene film under the canopy and irrigated by sprinkler. But, root pruning one side parallel to the row at full bloom or at fruitlet stage inhibited less vegetative growth than root pruning both sides at bud-break stage or at full bloom stage, and had little risk on excessive weakening of tree vigour and on yield loss possibility. Enhanced light transmission in the canopy by root pruning increased fruit color, soluble solids contents and return bloom rate in the following year. Therefore, intensity of root pruning should be adjusted according to root system development for appropriate effects

(2) Girdling

3mm girdling trunk of apple trees at bud break or full bloom reduced vegetative growth so much as total shoot length by 78% or 75% respectively compared with the control, but girdling at fruitlet stage was almost same as the control. Return bloom rate in different girdling treatments ranged from 53.6% to 63%, highest in girdling at full bloom, compared with the control of 48%.

5mm girdling in apple trees reduced vegetative growth more effectively than 3mm girdling. Total shoot growth of girdling at bud break was 64%, at full bloom 84%, at fruitlet stage 81% of the control. Return bloom at full bloom was 86% compared the control of 33.6%. However, girdling at bud break with less vegetative growth resulted in lowest return bloom rate of 66.5% among treatments contrary to expectation. Because earlier girdling caused high vegetative growth control but less return bloom, and just the opposit at later application, girdling wide and time should be adjusted according to the purpose.

3) Restricting the Height of Vigorous Apple Trees

Applying Topsin past having 2% NAA to the cut surfaces after dormant heading at 2.5m height inhibited the emergence of shoots from below the cut and total shoot growth significantly. Pro-Ca $250\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

spray when terminal shoots have reached ca. 5cm after dormant heading tended to decrease total shoot growth and had more short shoot (10cm or less) and fewer longer shoot(great than 30cm) than the other treatments. There was no significant effect on fruit quality and return bloom of both treatments. Based on these results, applying 2% NAA after dormant heading to vigorous apple trees was the most effective way to restrict the height of vigorous apple trees in a high density orchard and Po-Ca spray after dormant heading could be an alternative.

4) Shoot Growth Inhibition of Nursery Trees in Late Season by Use of Plant Growth Regulators (Commissioned Project)

Pro-Ca and NAA were sprayed on nursery trees in order to inhibit shoot growth in late season for well-acclimatization. Shoot growth in late season was more effectively inhibited when Pro-Ca was sprayed in late July to early August, higher concentration to $300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and oftener application to 3 times. NAA was not so effective in shoot growth inhibition as Pro-Ca. Therefore it is recommendable to spray Pro-Ca from late July 3 times at intervals of 10 days in concentration of $250\sim 300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for well-feathered and good acclimatized maiden trees.

2. Applications

- 1) Recommend to register Pro-Ca for vegetative growth control in apple trees.
- 2) Transfer of growth inhibition methods of nursery trees in late growing season to fruit tree nurseries.
- 3) Extension of growth control methods by girdling, root pruning and Pro-Ca in high density apple orchards to fruit tree growers.
- 4) Extension of restricting methods by different heading cuts and plant growth regulator application on apple trees while minimizing repulsive growth by keeping balance to apple growers.

Contents

Chapter 1. Outline of research development for project.....	17
Section 1. Necessity and objectives.....	17
1. Technologic aspect.....	17
2. Economic and industrial aspect.....	18
3. Social and cultural aspect.....	19
4. Prospect in the future.....	19
Section 2. Objectives and scopes.....	19
Chapter 2. Present state in related technology at home and abroad.....	21
Section 1. Home	21
Section 2. Abroad.....	22
Section 3. Propriety of induction of related technology from oversea.....	23
Chapter 3. Contents and results of research and development.....	24
Section 1. Growth control of apple trees by use of Pro-Ca.....	24
1. Introduction.....	24
2. Materials and methods.....	25
1) Effects of Pro-Ca application in different concentrations on vegetative growth, fruit quality and GA contents in shoots.....	25
2) Effects of Pro-Ca application in different concentrations and time on vegetative growth, fruit quality and return bloom of apple trees on M.9/ <i>Malus prunifolia</i> seedling.....	29
3) Effects of Pro-Ca application in different concentrations and time on vegetative growth, fruit quality and return bloom of apple trees on M.9.....	30
3. Results.....	32
1) Effects of Pro-Ca application in different concentrations on vegetative growth, fruit quality and GA contents in shoots.....	32
2) Effects of Pro-Ca application in different concentrations and time on vegetative growth, fruit quality and return bloom of apple trees on M.9/ <i>Malus prunifolia</i> seedling.....	37
3) Effects of Pro-Ca application in different concentrations and time on vegetative growth, fruit quality and return bloom of apple trees on M.9.....	39

4. Discussion.....	49
5. Summary.....	52
Section 2. Growth control of apple trees by root pruning and girdling.....	54
1. Introduction.....	54
2. Materials and methods.....	55
1) Vegetative growth control by root pruning.....	55
2) Vegetative growth control by scoring.....	57
3. Results.....	58
1) Growth control by root pruning.....	58
2) Growth control by girdling.....	70
4. Discussion.....	74
1) Growth control by root pruning.....	74
2) Growth control by girdling.....	77
5. Summary.....	79
1) Growth control by root pruning.....	79
2) Growth control by girdling.....	80
Section 3. Restricting the height of vigorous apple trees.....	81
1. Introduction.....	81
2. Materials and methods.....	82
3. Results and discussion.....	83
4. Summary.....	89
Section 4. Shoot growth inhibition of nursery trees in late season by use of plant growth regulators (commissioned project).....	90
1. Introduction.....	90
2. Materials and methods.....	92
3. Results and discussion.....	93
4. Summary.....	100
Chapter 4. Accomplishment and contribution for related field.....	101
Chapter 5. Practical use of research results.....	105
Chapter 6. Foreign scientific information related the project.....	106
Chapter 7. Reference.....	106

목 차

제1장 연구개발과제의 개요.....	17
제 1절 연구개발의 필요성.....	17
1. 기술적 측면.....	17
2. 경제·산업적 측면.....	18
3. 사회·문화적 측면.....	19
4. 앞으로의 전망.....	19
제 2절. 연구개발의 목표 및 내용.....	19
제 2장 국내외 기술개발 현황.....	21
제 1절 국내기술현황.....	21
제 2절 국외기술현황.....	22
제 3절 기술도입의 타당성.....	23
제 3장 연구개발 수행 내용 및 결과.....	24
제 1절 Pro-Ca을 이용한 사과나무 수세 안정화.....	24
1. 서론.....	24
2. 재료 및 방법.....	25
가. Pro-Ca 처리 농도가 영양생장, 과실품질 및 신초 내 GA 함량에 미치는 영향.....	25
나. M.9/실생의 2중 접목 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험.....	29
다. M.9 자근 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험.....	30
3. 결과.....	32
가. Pro-Ca 처리 농도 시험.....	32
나. M.9/실생의 2중 접목 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험.....	37
다. M.9 자근 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험.....	39
4. 고찰.....	49
5. 요약.....	52

제 2절. 단근 및 환상박피를 이용한 사과나무 수세 안정화.....	54
1. 서론.....	54
2. 재료 및 방법.....	55
가. 단근을 통한 수세 안정화 시험.....	55
나. 환상 박피를 통한 수세 안정화.....	57
3. 결과.....	58
가. 단근을 통한 수세 안정화.....	58
나. 환상 박피를 통한 수세 안정화.....	70
4. 고찰.....	74
가. 단근을 통한 수세 안정화.....	74
나. 환상 박피를 통한 수세 안정화.....	77
5. 요약.....	79
가. 단근을 통한 수세 안정화.....	79
나. 환상 박피를 통한 수세 안정화.....	80
제 3절 수세 강한 사과나무에서의 수고제한 방법.....	81
1. 서론.....	81
2. 재료 및 방법.....	82
3. 결과 및 고찰.....	83
4. 요약.....	89
제 4절 성장조절제를 이용한 사과묘목의 후기생장 억제 (위탁연구과제).....	90
1. 서론.....	90
2. 재료 및 방법.....	91
3. 결과 및 고찰.....	93
4. 요약.....	100
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	101
제5장 연구개발결과의 활용계획.....	105
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	106
제7장 참고문헌.....	106

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

M9 대목의 우량묘목을 10a당 175-333주(재식거리 3-3.8 × 1.0-1.5m)로 고밀식하여 관리하는 키 낮은 사과 재배체계는 생산비를 크게 줄이면서 고품질의 사과를 일찍부터 다수확 할 수 있기 때문에 최근 빠르게 보급되고 있다.

새로운 재배체계의 성공을 위해서는 자근대목에 곁가지 5개 이상의 우량대묘를 심고 고밀식 재배에 알맞는 정지전정, 시비, 결실관리 등을 통해 적정 수세의 유지와 안정결실이 절대적으로 필요하다.

ARPC의 연구비 지원으로 자근대목의 대량증식방법이 개발되고 생장조절제를 이용한 곁가지발생촉진 등 우량곁가지 묘목생산기술이 체계화되면서 이중점목에 의한 회초리묘목 생산의 관행적 방법에서 탈피하여 선진국 수준의 우량묘목의 생산이 보편화 되어가고 있다. 그러나 직경 13mm 이상, 곁가지 5개 이상, 수고 1.5m 이상의 대묘를 생산하기 위하여 시비를 지나치게 하는 상황에서 생장정지기에 장마와 고온이 겹치는 기상환경의 영향으로 대부분의 묘목이 2-3차 생장을 지속하여 목질화가 충분하지 못하고 저장양분의 축적이 부족한 부실묘목으로 육성되는 경우가 많다.

이러한 묘목은 겨울동안 동·건해를 받기 쉬울 뿐 아니라 굴취 되면 T-R율이 낮은데다 재식 후 관리가 소홀하면 건조한 봄 날씨에 노출되어 고사 위험이 매우 높다. 2000년 경북에 재식된 10개의 묘목생산업체에서 공급된 9,950주의 M9 묘목을 조사한 결과, 고사율이 17.6%에 달하였고 심한 경우 50%에 이르는 경우도 있었다.

묘목 생산포에 지나친 퇴비시용과 7월 이후에는 화학비료의 추비를 하지 않도록 권장하고 있으나, 이 방법만으로 2차 생장을 막는 데는 한계가 있다. 따라서 생장조절제를 이용하여 보다 효과적인 방법으로 2차 생장을 억제하여 외적으로 우량할 뿐 아니라 내적으로도 충실한 묘목을 생산하여 재식 후 고사를 최소화 할 필요가 있다.

한편 M9 묘목을 고밀도로 심은 키 낮은 사과원에서 재식 2-3년차의 조기결실에 실패하여 지나치게 수세가 왕성해지는 경우가 많다. 성과기에 달한 이후에라도 대과 생산을 목적으로 매년 시비를 많이 하는 경향이 있는데다 관행

의 강전정 방식을 버리지 못하여, 지나친 영양생장으로 문제가 나타나는 사과원을 흔히 볼 수 있다. 고밀식의 키 낮은 사과재배에서는 정밀한 수세 관리가 성공의 중요한 관건으로 나무를 심기 전부터 세심한 주의가 필요하다. 유인 중심의 전정기술, 시비량의 대폭 감량 등 관련 기술의 보급에 힘쓰고 있으나 수세가 지나치게 강해지는 과수원이 다수 나타나고 있다.

주간거리가 1.5m 이하로 좁기 때문에 수세가 강해지면 그에 따른 장해현상이 매우 크게 나타나기 마련인데 이 경우의 대책은 간벌하는 방법밖에 없으므로 농가로써는 큰 손실이 아닐 수 없다.

수세의 조절은 기본적으로 시비량 감량, 전정, 결실량 조절 등을 통해서 이루어져야 하나, 밀식장해를 피하기 위해서는 응급적인 방법의 적용도 필요하다. 우리나라에서는 절피나 박피를 통해 수세를 조절하는 것이 일반적이거나, 정도와 시기에 따라 효과가 다르게 나타나고 재식 주수가 많을 경우 작업에도 많은 노력이 소요되는 문제점이 있다. 외국의 경우 이러한 방법 이외에도 생육기 전정, 단근, 생장조절제의 이용 등의 다양한 방법이 응용되고 있다. 따라서 우리나라에서도 M9 대목의 고밀식 재배에서 적정 수준의 수세로 빠르고 효율적으로 안정시키고 결실을 유도하는 방법의 개발이 시급히 필요한 실정에 있다.

2. 경제·산업적 측면

M9 자근대목의 우량 묘목은 관행의 회초리 묘목에 비해 생산기간도 1년이 더 길고 단위면적당 생산주수도 현저히 적어 주당 묘목가격은 품종과 생산년도에 따라 차이가 있기는 하나 약 8,000-10,000원에 이르고 있다. 이러한 고가의 묘목이 내적조건이 부실하여 재식 후 고사율이 높을 경우 농민들의 피해는 매우 크고 고사 원인의 정확한 구명도 어려워 묘목 공급업자로부터 손해를 보전받기 또한 어렵다.

키 낮은 사과원은 개원비가 ha당 5,000만원에 달할 정도로 많이 소요되나, 생산량이 40-50톤에 달하기 때문에 소득율이 매우 높은 재배체계이다. 그러나 수세 조절에 실패할 경우 밀식장해로 수량감소는 물론, 품질이 크게 떨어져 경제적 손실이 매우 크고 그 영향도 당년에 그치지 않으며, 심할 경우 간벌을 하는 수밖에 없으므로 농가가 받는 경제적 손해는 관행재배와는 비교할 수 없을 정도로 크다.

키 낮은 사과원 재배체계의 보급에서 가장 문제가 되는 2가지 요인은 개원비가 높다는 것과 적정 수세를 유지하면서 안정생산이 기술적으로 쉽지 않다

는 점이다. 수세조절 또는 안정화 기술의 개발은 밀식장해에 의한 키 낮은 사과재배의 실패 위험을 경감시키는 매우 중요한 기술이다. 효율적인 수세 조절 방법이 개발되면 생산성이 낮은 재래 사과원을 키 낮은 사과 재배체계로 빠르게 바뀌게 할 수 있게 될 것이고, 가격이나 품질 및 안전성에서도 국제적 경쟁력을 확보할 수 있는 만큼 100년 역사의 우리나라 사과산업이 지속적으로 발전할 수 있을 것이다. 아울러 국내 사과시장의 고수는 물론 일본 등 해외 고급 사과시장의 개척도 기대할 수 있을 것이다.

3. 사회·문화적 측면

2차 생장 억제로 외적소질뿐 아니라 내적으로도 충실한 묘목의 생산은 정식시 결주가 거의 생기지 않을 뿐 아니라 활착 및 초기 생장이 양호하여 개원에 따른 농가부담을 줄이고 농가와 묘목업체와의 분쟁소지를 줄여 키 낮은 사과원 정착이 앞당겨질 것이다.

효율적 수세 조절 기술의 개발과 해거리 없는 적정 착과량의 조절은 키 낮은 사과재배 체계의 조기 정착에 크게 기여할 것이며 저비용 고품질 사과의 안정적 생산으로 농가 소득이 보장될 것이다. 따라서 농촌 사회의 안정은 물론 지역경제에 미치는 긍정적 영향은 매우 클 것으로 판단된다.

4. 앞으로의 전망

결가지 발생이 잘 된 대묘라 할지라도 늦게까지 2차 생장을 하여 성숙되지 않은 묘목이 유통될 경우, 결가지 묘목보다는 재식 후 고사 위험이 적은 회초리 묘목을 선호할 수 있어 키 낮은 사과재배체계의 조기 정착에 차질이 초래될 수도 있다. 재배관행과 기후적 특성상 우량묘목 생산시 웃자람 현상이 불가피하게 나타날 것인 바, 이를 효과적으로 억제할 수 있는 실용방법의 개발이 절실히 필요하다.

기존 준왜화재배의 관행을 떨쳐 버리지 않는 데다 대과를 생산하기 위해서는 사과나무의 수세가 다소 강해야 한다는 생각을 갖고 있는 한 키 낮은 사과나무에서 밀식장해가 나타날 가능성은 매우 높다. 그러나 이를 조절할 수 있는 기술의 개발과 보급은 매우 미약하여 농가에서 택할 수 있는 조치가 별로 없는 실정이다. 따라서 효과적인 수세안정화 기술이 개발, 보급되지 않으면 재식 거리를 넓히고 수고도 높이는 준왜화재배로의 회기가 일어날 수도 있을 것이다.

제 2절. 연구개발의 목표 및 내용

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제제를 이용하여 묘목 생산시 8월 이후의 생장을 효과적으로 억제하여 내·외적으로 우량한 소질의 묘목을 생산할 수 있는 기술 개발 (위탁연구과제) 	<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제기능이 있는 Pro-Ca, NAA를 공시하여 사과묘목의 후기생장을 가장 효과적으로 억제할 수 있는 방법을 모색함.
<ul style="list-style-type: none"> - M9대목의 키 낮은 사과나무에서의 효과적인 환상박피와 단근 방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 수세가 지나친 결실기의 후지/M9를 공시하여 단근과 환상박피의 시기를 달리하여 수세 안정효과와 과실특성에 미치는 영향을 무처리와 비교함.
<ul style="list-style-type: none"> - Pro-Ca을 이용한 수세 안정화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 최근에 개발되어 과수 영양생장 억제에 탁월한 효과를 보이고 있는 Pro-Ca을 공시하여 처리농도, 회수 및 시기별로 후지/M9의 수세안정과 과실품질에 미치는 영향을 파악함.
<ul style="list-style-type: none"> - 수고 제한 및 수관상단 과번무 방지기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무(후지/M9)에서 반발 생장을 최소화하면서 수고를 제한하고 상단부 세력을 안정시키기 위하여 주간 절단시기를 달리하고 추가로 NAA와 Pro-Ca을 처리하여 생장에 미치는 효과를 조사함.

제 2장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내기술현황

1996년 이래로 M9대목의 묻어 떼기, 깎기 눈접, 성장조절제를 이용한 곁가지 발생촉진 등 우량 곁가지 묘목의 대량생산에 관한 다양한 연구가 수행되어 우리의 환경과 경영여건에 맞는 기술체계가 마련되고 보급되어 비교적 양호한 소질의 대묘가 성공적으로 생산되고 있다. 그러나 세부적으로는 아직 문제점이 없지 않아 지나친 시비와 여름철 고온다습의 기상환경에 따라 생장이 가을까지 지속되어 애써 생산한 묘목이 부실화되고 있다. 8월 이후 생장을 중지시킬 수 있는 확실한 방법은 아직 개발되어 있지 못한 형편이다. 현재로는 7월 이후 추비금지, 관수량 경감 등을 추천하고 있으나 생장억제 효과는 매우 낮다.

재식 후 수세가 강한 사과나무를 안정시키는 방법으로는 절단 진정을 피하고 유인을 하여 결실을 유도하는 방법이 많이 이용되고 있다. 수세가 지나치게 강하여 급속하게 떨어뜨릴 필요가 있을 경우에는 6월 상순에 환상박피(girdling) 또는 절피(scoring)를 많이 하고 있다. 이 방법은 그 효과가 빠르고 확실하기는 하나 지나칠 경우 나무의 세력을 너무 급격하게 약화시켜 또 다른 문제를 야기 시키거나, 심하면 고사할 수도 있다. 따라서 작업이 간편하면서도 위험 부담이 크지 않고, 수령이나 나무의 성장상태에 따라 적용할 수 있는 보다 다양한 수세 조절 방법을 개발해야 할 필요가 있다.

2001년 8월 서울에서 국제원예학회와 한국원예학회 주관으로 '과실생산에 있어서의 식물생장조절제에 관한 9차 국제심포지엄'이 열려 세계 각국의 다양한 최신 연구결과가 소개되었고 특히 화학제를 이용한 영양생장조절에 관한 최신 동향을 접하는 기회가 되었다.

본 연구진은 최근에 개발되어 세계적 관심을 끌고 있는 Prohexadione-calcium(Pro-Ca)을 확보하여 재식 5년차의 후지/M.9에 처리하고 영양생장과 과실특성에 미치는 영향을 예비시험 하였던 바, 영양생장 억제 효과의 탁월함이 인정되어 본격적이고 체계적인 연구의 필요성을 인식하게 되었다.

제 2절 국외기술현황

유인이나 환상박피 또는 절피 외에 다양한 수세 조절방법이 개발되어 이용되고 있다. 전정방법을 개선하여 수세를 안정시키고 있는데 슈음 전정을 하되 가지를 찢어 내는 방법, 굵은 가지의 경우 개화기~ 6월 또는 수확 후에 잘라내는 방법 등이 여기에 속한다. 단근을 실시하여 손쉽게 수세를 안정시키는 방법도 많이 이용되고 있는데 만개기 전후 또는 유과기에 적당한 폭과 깊이로 뿌리를 절단하여 영양생장을 억제시키고 꽃눈분화를 조장시키고 있다.

화학적 방법을 이용한 수세 조절은, Daminozide, CCC, Paclobutrazole을 이용하는 방법 연구가 많이 시도되었으나 잔류문제, 낙과, 과실품질 저하, 효과의 불안정 등의 부작용으로 대부분 실용화되지 못하고 있다. 유목인 경우 NAA를 20-30ppm으로 신초생장 정지기 직전에 살포하여 조기에 정지시키거나 2차 생장이 없도록 하여 꽃눈을 분화시키는 방법이 있으나 농도가 높을 경우 과실비대가 불량해지므로 대과종이 아닌 경우 상품성이 떨어지는 문제가 있다. NAA 1-2%를 도포제에 섞어 1-2년생 가지 기부에 발라 수피에 일종의 약해를 유발하여 일정기간 통도조직의 기능장해를 가져와 새가지의 자람을 억제시키는 방법이 있다.

최근 분해가 잘되어 잔류가 거의 없고 결실, 수량, 과실품질 등에 나쁜 영향을 주지 않으면서 영양생장을 크게 억제시키는 새로운 약제인 Prohexadione-calcium(Pro-Ca)이 개발되어 미국과 유럽의 사과재배에서 실용화되기 시작하고 있다. 후지, 골든텔리셔스, 텔리셔스, 스타크림슨 등 다양한 사과품종에서 Pro-Ca의 효과를 검토하였던 바, 신초생장이 크게 감소하고 꽃눈착생이 증가하는가하면 과실의 품질과 저장력도 좋아졌다는 보고가 있다.

Pro-Ca은 식물호르몬 GA 생합성의 마지막 단계(3번째 단계) 즉 GA_{12} 에서 GA_1 으로의 전환단계 중 특히 GA_{20} 에서 GA_1 으로의 전환을 촉매하는 3 β -hydroxylase의 활성을 가장 강하게 억제하는 것으로 알려져 있다. 따라서 Pro-Ca은 GA 생합성의 첫 단계를 억제하는 mepiquate-Cl(후라스타)와 CCC, 또는 GA 생합성의 두 번째 단계를 억제하는 ancymidol과 uniconazole 보다 훨씬 더 효과적으로 신초생장을 조절하는 GA_1 생합성만을 억제하기 때문에 사과신초 생장억제제의 다른 부작용이 적을 가능성이 있다.

제 3절 기술도입의 타당성

농업은 기후와 토양 및 재배기술, 경영환경 등에 따라 다르게 이루어지므로 동일한 작물이라 하더라도 나라마다 지역마다 독자적 기술개발이 필요한 산업이다. 사과나무 수세 안정도 예외일 수는 없으므로 외국 기술을 바로 도입하여 적용할 수 없다.

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 Pro-Ca을 이용한 사과나무 수세 안정화

1. 서론

왜화성이 강한 M.9 대목을 이용한 고밀식의 키 낮은 사과재배는 1997년 경북의 7개 농가에서 시험적으로 시도된 이래로 빠르게 보급되어 2004년 현재 전국에 걸쳐 2,021ha에 이르고 있다(농림부 구두확인). 고밀식 키 낮은 사과재배를 통해 조기 다수확, 품질향상, 생산비 절감, 소득 향상 등 경영적인 측면에서 획기적인 성과를 이루고 있지만 고밀식이기 때문에 재배기술적인 오류나 이상 기상으로 영양생장과 결실간의 균형이 깨지면 심각한 수준의 밀식장해가 발생하는 문제가 있다(Yoon, 2001). 우리나라는 강전정의 습관, 과다한 시비, 생장 정지기의 장마, 개화기 서리 등 여러 가지 재배적, 기상적인 원인으로 영양생장이 지나친 고밀식 사과원이 늘어나고 있다(Yoon, 2001).

사과나무의 생장은 기본적으로 시비, 전정, 결실량 등을 통해 조절하는 것이 원칙이나 절피, 환상박피, 단근, 생장억제제의 이용 등의 방법으로 단기간에 효율적으로 수세를 안정시킬 수 있다(Myers & Savelle, 1996). 절피나 환상박피, 단근 등의 기계적인 방법은 노력이 많이 들고 과실이 작아지는가 하면 나무의 지지력을 떨어뜨리는 등의 문제점이 있다(Myers & Savelle, 1996). Daminozide, ethephone, paclobutrazole 등의 생장억제제는 값싸고 편리하게 사용할 수 있는 장점이 있으나 발암 위험성, 낙과와 품질저하, 지하수 오염 등의 이유로 사용이 금지되었거나 실용화에 한계가 있다(Petracek & Silverman, 2003).

최근 저농도로 처리될 뿐 아니라 분해가 잘되어 잔류가 거의 없고 결실, 수량, 과실품질 등에 나쁜 영향을 주지 않으면서 영양생장을 크게 억제시키는 Prohexadione-calcium(Pro-Ca)이 개발되어(Evans 등, 1999) 미국과 유럽의 사과재배지에서 수세 안정 목적으로 실용화되고 있다. Pro-Ca의 영양생장 억제 효과가 탁월한 것은 사실이지만 재배 품종과 대목, 결실량, 수분 및 영양관리 등의 재배적 요인과 토양 조건, 지역 기상 조건 등 환경적 요인에 따라 효과는 다르게 나타난다고 한다(Evans 등, 1997; Winckler, 1997; Medjdoub 등, 2004).

따라서 본 연구는 환경이나 과실에 잔류가 적어 인체에 미치는 영향이 극히 미미한 안전한 생장조절제로 평가받고 있는 Pro-Ca을 공시하여 우리나라의 재배 환경 하에서 수세 생장과 과실품질에 미치는 영향 등을 조사하여 고밀식 사과원에서 수세 안정을 위한 영양생장 억제제로써의 실용가능성을 검토하기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. Pro-Ca 처리가 영양생장, 과실품질 및 신초내 GA 함량에 미치는 영향

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

경북대학교 농업생명과학대학 부속과수원에 3.5× 1.5m로 재식된 5년차 M.9 사과 나무를 공시하여 본 시험을 수행하였다. 정단 신초의 길이가 5cm 내외에 달한 4월 15일에 배부식 분무기를 이용하여 Pro-Ca을 50 mg·L⁻¹, 100 mg·L⁻¹, 150 mg·L⁻¹, 200 mg·L⁻¹, 250 mg·L⁻¹의 농도로 각각 1회 수관 전체에 엽면 살포하였고 대조구로 무처리를 두었다.

착과량은 주간절단면적(trunk cross sectional area, TCA) cm²당 4 과를 기준으로 조절하였고 토양관리는 수관하부에 폭 80cm 흑색 polypropylene 필름을 4월 초순에 수열에 따라 주간을 중심으로 양쪽에 깔아 주었으며, 열간은 방임하여 자연 초생으로 관리하였다. 기타 시험포장의 관리는 경북대학교 부속과수원 일반 관리 기준에 따랐다.

2) 시험구배치

1주를 1구로 하여 완전임의배치법 5 반복으로 하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 주당 10 개의 정단의 발육 신초를 선정하여 4월 15일부터 7월 하순까지 2주 간격으로 길이변화를 조사하였고 낙엽 후 휴면기에 최종 길이를 조사하여 처리별 신초생장곡선을 구하였다. 낙엽 후에 모든 신초에 대해 각각의 길이를 조사하여 총신초 성장량, 총 신초 수, 평균 신초장 등을 구하였다. 접목부 10cm 위의 주간 직경을 생육개시 전과 생육 종료 후에 각각 조사하여 주간면적 비대량을 산출하였다.

과실 특성 : 과중과 과실수는 전수 조사하였고 기타 과실특성은 임의로 주당 5과를 택하여 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 착즙하여 굴절당도계(Atago PR-101, Japan)를 사용하여 조사하였으며, 산도는 과즙 5 mL 를 증류수 20 mL 로 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 pH 8.1-8.3이 되는 점을 중화점으로 한 적정치를 능금산으로 환산하여 산출하였으며, 경도는 11mm직경의 헤드를 가진 경도계(FHM-5, Japan)를 사용하여 붉게 착색된 부분과 녹색 부분의 과피를 제거 후 측정하였다.

전정량 및 익년 개화율 : 여름 전정은 하지 않고 겨울 전정시 각 처리구별로 나무 당 전정 후 전정목을 수거하여 무게를 측정하였다. 익년 개화율은 각 처리구별로 조사된 총 정아수에 대한 다음해 개화 정아수의 비를 퍼센트로 나타내었다.

Gibberellins(GA) 분석 추출 : 지베렐린 추출의 일반적인 과정은 Lee(1998) 등의 방법에 준하였다. 마쇄한 시료를 80%와 100% MeOH을 차례로 가하여 충분히 추출한 후 추출여액을 60% MeOH용액이 되게 증류수를 가한 다음 -70°C냉장고에 1~2시간 동안 얼룩소를 침전 여과하여 얼룩소를 제거하였다. 내부표준물질(Internal standard, ISTD)로는 30ng의 $^2\text{H}_2$ GA₁, $^2\text{H}_2$ GA₈, $^2\text{H}_2$ GA₁₂, $^2\text{H}_2$ GA₁₉, $^2\text{H}_2$ GA₄₄, $^2\text{H}_2$ GA₅₃을 추출하기 전에 첨가하였다. 추출여액의 pH를 2N NH₄OH를 이용해 8.0~8.3으로 지정한 다음 5g의 davisil C₁₈(90~130 μg , 60A pore size, Alltech) column을 통과시킨 후 감압 농축하였다.

농축된 잔사를 1g의 celite에 건조시킨 후 5g의 SiO₂(ICN Silica 32-100, aktiv 60A) 컬럼에 loading하여 formic acid로 포화된 95:5 EtOAc : Hexane을 이용해서 통과시켰다. 통과시킨 여액을 감압 농축한 후 인산완충액(pH8.0)에 녹인 다음 2N NaOH를 이용해서 pH를 8.0~9.0으로 조정하고 EtOAc를 이용하여 3회 분획하였다. 여액(인산완충액)에 1G의 polyvinylpyrrolidone(PVPP)을 첨가하여 1시간 동안 진탕시켰다. 진탕시킨 여액을 여과시킨 다음 6NHCl을 이용해 pH2.5로 조어한 후 ethyl acetate로 3회 분획한 후 감압 농축된의 정확한 머무름 시간을 결정하여 분획화하기 위하여 [1,2 ^3H] GA₂₀와 [1,2 ^3H]GA₉를 첨가하여 질소가스로 건조시킨 후 HPLC용 분석시료로 사용하였다.

High-Performance Liquid Chromatography(HPLC) : HPLC 시스템은 Waters model 680 automated gradient controller, U6K injector, model 510 pump와 Isco fraction collector로 구성되었다. HPLC column은 μ Bondapak C18(3.9×300mm)을 사용하였으며 각 GA는 1%의 acetic acid를 포함한 28% MeOH와 100% MeOH 용액의 농도구배로 분리하였다. 유속은 분당 1.5mL씩 총45분획으로 나누었다(Table. 1).

Table 1. HPLC operation conditions for the analysis of gibberellins.

HPLC	Waters model 510		
Column	μ Bondapak C18(3.9×300mm)		
Sovent A	28% MeOH in 1% HOAc		
Sovent B	100% MeOH		
Gradient	100% Sovent A → 100% Sovent B → 100% Sovent B (0~5min)	(5~36min)	(36~40min)
Flow rate	1.5mL/min		

각각의 지베렐린의 정확한 머무름 시간은 각 분획당 소량(15 μ l)을 취하여 Liquid Scintillation Counter(Beckman, LC 1801)로 ^3H -GA 표준물질의 유무를 확인하여 결정하였다(Table 2). 각 분획을 Savant Automatic Environmental Speedvac(model, AE2000)으로 건조한 후 동일 GA를 포함한 분획을 합하여 1mL의 reaction vial로 옮긴 후 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 질소가스로 건조시켰다. GA분획 중 불순물을 많이 함유한 분획은 NH_2 cartridge를 사용하여 GA외의 불순물을 제거한 후 reaction vial로 옮겼다.

Table 2. GC-MS analysis of HPLC fractions from acidic ethyl acetate fractions of apple leaves.

Fraction no. in HPLC	GAs identified	KRI ^a	m/z(%), relative intensity of base peak ^b			
12~14	GA ₁	2674	Sample	506(100)	448(20)	313(17)
		2674	Standard	508(100)	450(18)	315(15)
24, 25	GA ₂₀	2485	Sample	418(100)	375(45)	403(14)
		2485	Standard	420(100)	377(45)	405(13)
29~31	GA ₁₉	2600	Sample	434(100)	374(59)	402(41)
		2600	Standard	436(100)	376(57)	404(40)
37, 38	GA ₅₃	2450	Sample	448(47)	251(30)	235(30)
		2450	Standard	450(47)	253(29)	237(28)
43~46	GA ₁₂	2335	Sample	300(100)	240(31)	328(21)
		2335	Standard	302(100)	242(28)	330(20)

^aKRI, Kovats retention index. ^bIdentified as methyl ester trimethylsilyl ether derivatives by comparison with reference spectra and KRI data(GASKIN AND MacMillan, 1991.)

Gas Chromatograph-Mass Spectrometry-Selected Ion Monitoring(GC-MS-SIM) : GA를 포함한 분획을 건조시킨 다음 1mL의 reaction vial로 옮긴 후 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 질소가스로 건조시킨 다음 각 GA를 2차례 60 μ l ethereal diazomethane으로 methyl ester를 유도한 후 질소가스로 건조하였다. Silylation이 필요한 GA류는 30 μ l의 pyridine과 30 μ l의 N-D-bis(trimethyl silyl)-trifluoroacetamide(BSTFA, 1% TMCS dichloromethane에 녹인 후 1 μ l를 30m \times 0.25mm(i.d.) HP-1 capillary column이 장착된 GC-MS에 주입하였다. 5973N Mass Selective Detector(Hewlett-Packard)가 부착된 GC(Hewlett-Packard model 6890)를 사용하였으며 date는 HP5970C Chemstation(Hewlett-Packard)을 사용하여 처리하였다(Table. 3).

Table 3. GC/MS condition used for analysis and quantification of the gibberellic acids.

GC-MS	
Equipment	Hewlett-Packard 6890, 5973N Mass Selective Detector
Column	HP-1 capillary column (30×0.25mm i.d. 0.25 μ m film thickness)
Ccarrier gas	He(40mL/min)
Source temperature	250 $^{\circ}$ C
Oven conditions	GA : 60 $^{\circ}$ C(1 min.) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min. \rightarrow 200 $^{\circ}$ C(1min.) \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 285 $^{\circ}$ C(5min.)
Injector temperature	200 $^{\circ}$ C
Ionizing voltage	70 ev

내생 지베렐린의 정량 : 지베렐린류의 동정은 KRI 값과 mass spectrum을 비교하여 확인하였다. 정성과 정량을 분석하기 위해 hydrocarbon standard를 이용해 Kovats Retention Index(KRI)를 구하였으며, 각 GA와 [2 H $_2$]GA ISTD의 3개 주요 ion mass를 비교하여 확인하였다. 모든 GAFB의 동정은 Gaskin과 Macmillan(1991)이 보고한 KRI값과 mass spectrum을 비교함과 동시에 Australian National University의 Lewis N. Mander 교수로부터 구입한 deuterated된 각 GA 표준품의 KRI 및 spectrum을 비교하여 확인하였다.

Calculation of Kovats Retention Index(KRI)

$$=100 \times \frac{Rt(unknown) - Rt(preceding\ n\text{-alkane})}{Rt(following\ n\text{-alkane}) - Rt(preceding\ n\text{-alkane})} + Cn(preceding\ n\text{-alkane}) \times 100$$

또한, 지베렐린의 정량은 deuterated GAs와 endogenous peak 면적의 비율을 기본으로 하여 정량하였다. 즉, GA $_{53}$, GA $_{12}$, GA $_{19}$, GA $_{20}$, GA $_{1}$ 의 내생 함량은 448/450, 300/302, 434/436, 418/420, 506/508의 peak 면적의 비율로 계산하였다.

Calculation of endogenous GAs :

$$= \frac{\text{Endo peak area}}{\text{ISTD peak area}} \times \text{amount of ISTD} / \text{weight(DW or FW)}$$

나. M.9/실생의 2중 접목 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

경상북도 영주시 소재 농가 과수원에서 2003년에 본 시험을 수행하였다. 1999년 봄에 환엽해당에 접목한 M.9 대목을 3.5m × 1.5m로 접목부가 20cm 정도 묻히게 심어 M.9 대목부에서의 발근을 유도하였다. 2000년 봄에 지면 20cm 높에서 'Ryouka Fuji' 품종을 접목하여 세장방추형으로 양호하게 자랐으나 대목 재식 4년차(접목 3년차)에 하계진정, 유인작업등 관리를 소홀히 한데다 결실부족으로 인해 수세가 강하고 분화된 꽃눈의 수도 부족한 상태였다. Pro-Ca 처리는 정단신초가 10cm에 달한 5월 10일과 4주 후인 6월 7일로 나누어 실시하였다. 시험 1에서와 같은 방법으로 Pro-Ca을 100mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일 1회 처리(Pro-Ca 100-1), 100mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일과 6월 7일 2회 처리(Pro-Ca 100-2), 150mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일 1회 처리(Pro-Ca 150-1), 150mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일과 6월 7일 2회 처리(Pro-Ca 150-2), 200mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일 1회 처리(Pro-Ca 200-1), 250mg·L⁻¹ 농도로 5월 10일 1회 처리(Pro-Ca 250-1) 하였다. 대조구로 무처리를 두었다. 주당 착과수준은 결실량이 적었기 때문에 달리 조절하지 않고 건전한 단과지의 중심과를 남기는 방법으로 적과를 하였다. 토성은 점질토로 배수를 위해 열간에 암거배수를 하였고 점적관수로 수분관리를 하였다.

2) 시험구배치

4주를 1구로 하여 완전임의배치법 3반복으로 시험구를 배치하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 신초생장은 낙엽 후에 높이 2m까지 수관의 모든 신초에 대해 조사하였고 아울러 주관직경을 조사하여 주간면적 비대량을 산출하였다.

과실 특성 : 과중은 주당 10과 즉, 반복당 40과를 임의로 선정하여 조사하였으며, 이외 조사항목은 시험1과 같은 방법으로 조사하였다.

엽 특성 : 10월 18일에 발육지의 중앙 부위의 성엽을 주당 각각 20매의 잎을 채취하여 엽면적과 건물중을 조사하고, 비엽중을 산출하였다.

익년 개화율 : 높이 2m까지 수관내 각 처리구별로 조사된 총 정아수에 대한 다음해 개화 정아수의 비를 퍼센트로 나타내었다.

다. M.9 자근 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험

< 1년차 시험 >

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

경북 군위군 소재 경북대학교 농업생명과학대학 부속 과수원에서 4 x 1.5m로 재식된 6년차 '후지'/M.9 사과나무를 공시하여 수행하였다. 실험방법은 정단신초가 10cm 내외로 발육한 5월 9일에 Pro-Ca을 1차 살포 하였으며, 처리구에 따라 4주 후인 6월 5일에 추가 살포하였다. 시험처리는 100mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일 1회 처리(Pro-Ca 100-1), 100mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일과 6월 5일 2회 처리구(Pro-Ca 100-2), 150mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일 1회 처리구(Pro-Ca 150-1), 150mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일과 6월 5일 2회 처리구(Pro-Ca 150-2), 200mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일 1회 처리구(Pro-Ca 200-1), 250mg·L⁻¹ 농도로 5월 9일 1회 처리구(Pro-Ca 250-1)와 NAA을 20mg·L⁻¹ 농도로 6월 7일부터 2주 간격 4회 처리(NAA 20-4), NAA을 30mg·L⁻¹ 농도로 6월 7일부터 2주 간격 3회 처리(NAA 30-3)를 두었다. 점질토로 장마기에 배수가 불량한 상태이고 한발기는 스프링클러를 이용하여 토양수분을 관리하였다. 기타 일반관리는 경북대학교 부속과수원 키 낮은 사과나무 표준관리법에 준하여 실시하였다. 착과량은 60-70개를 목표로 적과시 주당 착과수를 TCA cm²당 약 2.5개로 조절하였다.

2) 시험구배치

1주를 1구로 하여 완전임의배치법 6반복으로 시험구를 배치하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 시험 2에서와 같은 방법으로 신초생장과 주간 비대량을 조사하였다. 신초생장곡선은 10개의 정단 신초를 선정하여 5월 28일부터 2주 간격으로 8월 하순까지 그 길이를 조사하여 나타내었다. 가지 직경은 10월 20일경에 신초 중간부분의 직경을 조사하였다.

엽 특성 : 발육지 성엽 30매를 시험 2와 같은 방법으로 조사하였다.

과실 특성 : 시험 2와 같은 방법으로 조사하였다.

익년 개화율 : 시험 2와 같은 방법으로 조사하였다.

< 2년차 시험 >

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

경상북도 영주시 소재 사과원의 3.5m × 1.5m로 재식된 세력이 다소 강한 재식 3년차 조숙계 ‘나리따 후지’/M.9 사과나무에서 본 시험을 수행하였다. 정단 신초가 5~6cm에 달한 4월 30일에 배부식 분무기를 이용하여 Pro-Ca을 150, 200, 250, 300mg·L⁻¹ 농도로 각각 1회 처리한 구(Pro-Ca 150, Pro-Ca 200, Pro-Ca 250, Pro-Ca 300)와 150mg·L⁻¹ 농도로 4월 30일에 1차 처리하고 4주 후인 5월 27일에 같은 농도로 2차로 처리한 구(Pro-Ca 150+150), 1차(4월 30일)에 200mg·L⁻¹, 2차(5월 27일)에 100mg·L⁻¹으로 처리한 구(Pro-Ca 200+100), 1차에 250mg·L⁻¹, 2차에 50mg·L⁻¹농도로 추가 처리한 구(Pro-Ca 250+50)와 대조구로 무처리를 두었다. 주당 착과량은 30-40개를 목표로 하여 적과시 주간단면적 cm²당 4과 수준으로 조절하였다.

2) 시험구배치

1주를 1구로 하여 완전임의배치법 6반복으로 시험구를 배치하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 시험 3과 같은 방법으로 신초 생장량, 주간비대량을 조사하였으며, 시기별 신초생장곡선은 1주 간격으로 신초길이를 조사하여 그림으로 나타내었다.

과실 특성 및 익년 개화율 : 시험 농가에서 추석 전 출하를 희망함에 따라 적기보다 약 1주일 이른 9월 18일에 수확하여 경도는 8mm 직경의 헤드를 가진 경도계(FHM-5, Japan)를 이용하였으며, 기타 조사는 시험 1과 같은 방법으로 조사하였다. Pro-Ca 처리가 저장성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 처리당 20과의 사과를 상온에서 20일간 보관한 다음 감모율, 당도, 경도, 산함량을 각각 조사하였다. 익년 개화율도 시험1과 같은 방법으로 조사하였다.

3. 결과

가. Pro-Ca 처리가 영양생장, 과실품질 및 신초내 GA 함량에 미치는 영향

1) 영양생장

시기별 정단 신초의 길이 변화를 조사한 결과(Fig. 1) 무처리의 경우 5월 한 달간 왕성하게 생장을 하다가 6월 중순에 거의 생장이 정지되는 양상을 보였다. Pro-Ca 처리는 현저하게 신초생장을 억제시켰는데 농도에 관계없이 처리 약 10일 후부터 이미 효과가 나타나기 시작하였고 50mg·L⁻¹ 또는 100mg·L⁻¹와 같이 저농도에서는 경미하여 6월 상순까지 생장이 지속되어 고농도에 비해 생장억제효과가 현저히 낮았다. 그러나 150mg·L⁻¹ 이상 농도에서는 초기에 이미 생장이 현저하게 억제되어 처리 1개월 후에는 1차 생장이 완전히 정지되는 양상을 보였다. 최종 선단 신초장을 조사하였던바 무처리 약 30cm에 비해 50mg·L⁻¹ 처리구는 10%, 100mg·L⁻¹ 처리구는 23.3%, 150mg·L⁻¹ 처리구와 200mg·L⁻¹ 처리구는 40% 내외, 250mg·L⁻¹ 처리구는 50%의 신초길이 억제 효과가 있었다.

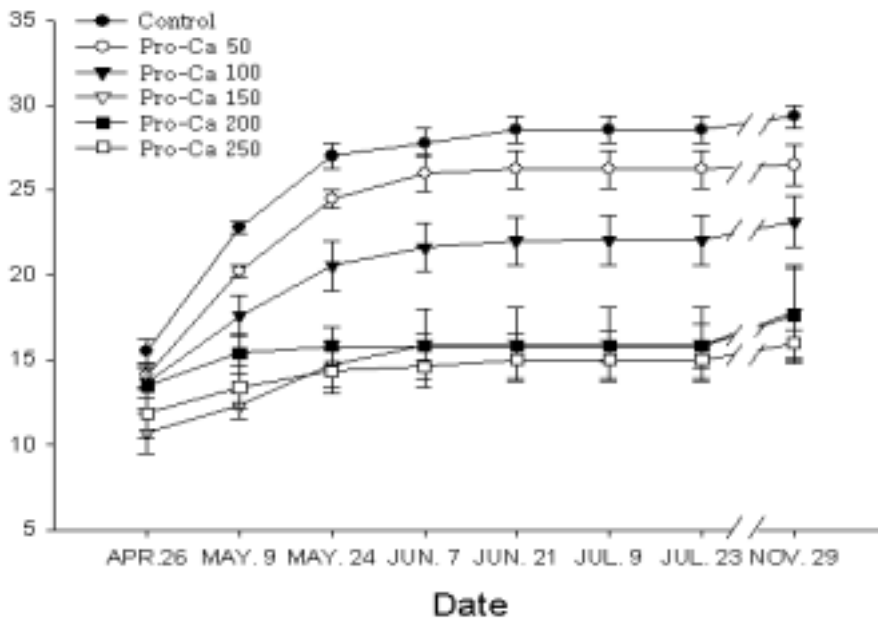


Fig. 1. Effects of Pro-Ca application on seasonal changes in shoot growth of 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied at 30 April when the shoots were reached on average 5cm long.

Pro-Ca 처리에 따른 신초 길이의 분포를 보면 무처리는 10cm 미만의 짧은 신초의 비율이 12.4%에 불과하였고, 40cm 이상 신초의 비율이 14.3%에 달하였으나, 처리농도가 높을수록 10cm 미만의 짧은 가지의 비율은 증가하였으나 40cm 이상의 도장성 신초는 줄어들었다(Table 4). 특히, Pro-Ca 250mg·L⁻¹ 처리구에서는 25cm 미만의 신초가 92.6%에 달했다.

Table 4. Effects of Pro-Ca application on percentage of shoots length in 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	Percentage of shoot length			
	<10	10-25	25-40	40≤
Control	12.4	40.6	32.8	14.2
Pro-Ca 50	32.3	35.8	22.9	9.0
Pro-Ca 100	33.0	44.6	13.4	6.0
Pro-Ca 150	38.7	42.5	13.6	5.2
Pro-Ca 200	32.2	54.0	11.0	2.8
Pro-Ca 250	41.2	50.4	6.8	1.6

2) 전정량과 익년개화율

겨울철 처리별 전정량을 조사한 결과(Table 5) Pro-Ca 농도가 높을수록 전정량의 감소가 현저하여 무처리 약 1.5kg에 비하여 Pro-Ca 150mg·L⁻¹ 처리구에서는 55% 이상, Pro-Ca 250mg·L⁻¹ 처리구에서는 70% 이상 전정량이 감소되어 전정 노력을 크게 줄일 수 있었다.

Table 5. Effects of Pro-Ca application on amount of pruning, TCA increase, total shoot growth and return bloom in 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	TCA increase (cm ²)	Total shoot growth (cm)	Number of shoot	Pruning weight (g)	Return bloom (%)
Control	4.9 a ^z	4.026 a	157.4 a	1489 a	56.6 a
Pro-Ca 50	4.7 a	3.863 ab	190.9 a	1355 b	57.0 a
Pro-Ca 100	5.3 a	3.480 ab	191.5 a	1043 c	54.6 a
Pro-Ca 150	4.8 a	3.156 ab	159.8 a	665 d	63.9 a
Pro-Ca 200	4.5 a	2.566 b	168.3 a	524 d	63.0 a
Pro-Ca 250	3.8 a	2.639 b	164.8 a	455 d	63.3 a

^zMean separation with columns by DMRT, P < 0.05

익년 개화율은 Pro-Ca $150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상의 농도에서 다소 높기는 하였으나 처리 간 통계적 유의차는 인정되지 않는 54.6~63.3.%의 범위에 있었다.

TCA 증가량과 신초수는 통계적 유의차가 인정되지 않았으며, 총신초 생장에서는 무처리 4.026 cm에 비해 처리농도가 높아질수록 생장억제효과가 높은 200-250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구는 대조구에 비해 36%정도 생장을 억제하는 것으로 나타났다(Table 5).

3) 과실의 품질

과중과 산함량, 경도에 있어서는 처리 간 차이가 없었고 가용성 고형물 함량에 있어서만 무처리에 비해 Pro-Ca $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리가 다소 떨어지는 결과를 보였으나 그 이하의 처리농도에서는 무처리와 비슷한 수준이었다(Table 6).

Table 6. Effects of Pro-Ca application on fruit characteristics of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Fruits per tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness (kg/cm^2)	Soluble solids content (° Brix)	Titrateable acidity (%)
Control	73 a ^z	331.1 a	6.7 a	14.2 a	0.39 a
Pro-Ca 50	65 a	333.0 a	6.9 a	13.8 ab	0.37 a
Pro-Ca 100	79 a	341.5 a	6.9 a	13.8 ab	0.38 a
Pro-Ca 150	95 a	341.9 a	6.7 a	13.9 ab	0.37 a
Pro-Ca 200	90 a	348.6 a	6.6 a	13.8 ab	0.39 a
Pro-Ca 250	75 a	330.0 a	6.8 a	13.2 b	0.36 a

^zMean separation with columns by DMRT, P < 0.05

4) 신초 내 GA 함량

사과나무에서 지베렐린(GAs)은 신초생장과 꽃눈분화에 복합적으로 작용하는 것으로 알려져 있는데(Ramdemacher, 1991), 그 중에서도 특히 GA₁은 신초생장과 관련한 활성이 가장 높은 것으로 알려져 있다(Looney, 1996). 고등식물체에서 주로 발견되는 GAs의 주생합성 경로는 Non 13-hydroxylation 경로(GA₁₂→GA₁₅→GA₂₄→GA₉→GA₄→GA₃₄) 또는 Early 13-hydroxylation 경로(GA₁₂→GA₅₃→GA₁₉→GA₂₀→GA₁→GA₈)중의 하나인 것으로 알려져 있으나 우리나라에 가장 많이 재배되고 있는 후지품종이 함유한 GA 종류와 함량은 보고된 바가 없는 실정이다. 본 연구에서 사과 신초를 동결건조한 후,

GA를 추출하여 GA류를 분리 동정 및 정량한 결과, 사과는 Early-13 hydroxylation 경로로 GA를 생합성하는 것으로 밝혀졌다.

Pro-Ca의 처리는 사과나무 식물체 내 GA 생합성 경로 ($GA_{12} \rightarrow GA_{53} \rightarrow GA_{19} \rightarrow GA_{20} \rightarrow GA_1$) 중 생리적으로 비활성을 나타내는 GA_{20} 에서, 고도로 생리적 활성이 뛰어난 GA_1 으로의 전환과정을 차단함으로써 신초생장을 억제하는 것으로 알려져 있다(Evans 등, 1999; Owens & Stover 1999).

본 실험에서도 Pro-Ca 처리 2주 후 신초 내의 GA 함량은 Table 7 에서와 같이 Pro-Ca 처리농도가 증가함에 따라 식물체내 생리 활성 GAs인 GA_1 의 함량은 처리 농도에 비례하여 감소하고 GA_1 의 생합성 전구체인 GA_{12} , GA_{53} , GA_{19} 및 GA_{20} 등의 함량은 다소 증가하는 것으로 나타났다.

Table 7. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on five years old apple trees at 15 April. Two weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg·L ⁻¹)	GAs				
	GA_{12}	GA_{53}	GA_{19}	GA_{20}	GA_1
	-----ng/g DW-----				
Control	14.11	12.09	43.66	9.81	4.32
Pro-Ca 50	10.67	10.12	49.26	8.62	3.98
Pro-Ca 100	12.38	10.64	44.72	11.02	2.96
Pro-Ca 150	11.37	11.16	47.78	12.68	1.96
Pro-Ca 200	14.61	14.67	50.76	11.44	1.08
Pro-Ca 250	15.79	13.78	47.06	13.62	0.45

이러한 결과는 Pro-Ca의 GA 생합성 과정중 3β-hydroxylase의 작용을 억제하는 것으로 알려져 있는 점(Evans 등, 1999)을 고려할 때 GA_1 의 전구체 GA류(GA_{20} , GA_{19} , GA_{53} , GA_{12})의 증가는 새로운 사실이 아니나, 일반 초본류의 경우 3β-hydroxylase를 억제하는 억제제를 처리한 후 식물체내 GA_{20} 을 비롯한 전구체가 수배 증가한다는 보고(Lee 등., 1998)와는 상이함을 보였다.

Pro-Ca처리 4주 후의 신초 내 GAs 함량은 농도가 높을수록 GA_{20} 은 증가하고 GA_1 은 감소하는 경향을 뚜렷이 나타낸 처리 2주 후의 결과와는 달리

GA₂₀을 비롯한 전구체가 증가하는 경향은 줄어들어 Pro-Ca 처리 효과가 줄어들는 것으로 볼 수 있으나, 처리 4주 후에도 생리활성 GA인 GA₁의 감소 경향은 유지되는 것으로 보아 Pro-Ca의 처리효과가 어느 정도는 지속되고 있음을 알 수 있었다(Table 8).

Table 8. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on five years old apple trees at 15 April. Four weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg·L ⁻¹)	GAs				
	GA ₁₂	GA ₅₃	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁
	-----ng/g DW-----				
Control	5.76	13.73	29.26	5.03	2.36
Pro-Ca 50	6.73	21.63	63.09	10.02	2.43
Pro-Ca 100	5.84	22.68	71.55	8.91	1.84
Pro-Ca 150	8.12	15.12	47.56	8.39	1.57
Pro-Ca 200	5.33	8.96	28.21	4.18	0.71
Pro-Ca 250	4.22	10.54	23.81	3.72	0.49

이러한 결과는 수체 내 Pro-Ca의 처리효과는 4-5주 지속되며, 처리효과가 불충분하여 재처리가 필요할 경우 2-3주 이후에 처리하는 것이 바람직하다는 결과(Unrath, 1999)와 대체로 일치하였다.

한편, Pro-Ca은 사과나무 내에서 작용 기작은 비슷하지만 과실내의 잔류량이 많아 인체와 환경에 유독하며, 과실의 크기와 모양에 부작용(Palmer, 1989)을 나타내는 daminozide와는 달리 고등식물체 내에서 4-5주 이내에 대사가 완료되며, 토양에서도 7일 이내에 분해되어 사람과 동물에 대해 상대적으로 독성이 거의 없는 것으로 보고되어 있고(Unrath, 1999; Evans, 등., 1999; Owens & Stover 1999; Basak & Rademacher, 2000), TRV(tree row spray volumes)가 20-25%정도 감소됨으로 농약 사용량을 줄일 수 있음이 보고(Winkler, 1997)되고 있음을 보아, 앞으로 우리나라에서도 사과재배의 주요한 관심사인 I.P.M(Integrated Pest Management)과 I.F.P(Integrated Fruit Production)에 적용이 충분히 될 수 있을 것으로 생각된다.

나. M.9/실생의 2중 접목 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험

1) 영양생장

주간면적의 비대생장에 있어 Pro-Ca 250mg·L⁻¹ 1회 처리(7.4cm²), 200mg·L⁻¹ 1회 처리(8.7cm²)가 타 처리(9.2-11.1cm²)에 비해 떨어졌으나 통계적 유의성이 인정되지 않았고 이보다 낮은 처리에서는 2회 처리의 경우라도 무처리와 비슷하거나 오히려 비대량이 많은 것으로 보아 Pro-Ca 처리에 의한 영향으로 보기는 어려웠다(Table 9).

신초생장에 있어서는 무처리에 비해 Pro-Ca에 의한 억제효과가 뚜렷하여 250mg·L⁻¹ 1회, 200mg·L⁻¹ 1회, 150mg·L⁻¹ 2회 순으로 처리농도가 높을수록, 1회 처리보다 2회 처리에서 총 신초 성장량이 적었고 평균 신초장도 비슷한 경향을 보였다. 주당 신초 수는 무처리에 비해 Pro-Ca 처리에서 적은 것으로 나타났으나 개체간 편차가 심하여 유의성은 인정되지 않았다(Table 9). 신초 길이별 분포에 있어서 농도가 높을수록 1회 보다는 2회 처리에서 20cm 미만의 짧은 가지의 비율이 높았다. 150mg·L⁻¹ 2회 살포는 200mg·L⁻¹ 1회 살포보다는 짧은 길이의 비율이 높았으나 250mg·L⁻¹ 1회 살포가 150mg·L⁻¹ 2회 살포보다 짧은 가지의 비율이 높아 수세안정에 가장 유리한 것으로 나타났다(Fig.2).

Table 9. Effect of Pro-Ca applied only once, on 10 May when the shoots were reached on average 10cm long, or a second time in 4 weeks after first application, on vegetative shoot and leaf growth of 'Ryouka Fuji' /M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees.

Treatments (mg·L ⁻¹)	TCA increase (cm ²)	Vegetable growth			Specific leaf weight (mg/cm ²)
		Total shoot (cm)	Number of shoot	Average shoot (cm)	
Control	9.2 a ^z	4,453 a	166 a	26.9 a	10.2 a
Pro-Ca 100-1	11.1 a	3,402 ab	148 a	23.6 ab	9.9 a
Pro-Ca 100-2	9.8 a	3,142 ab	161 a	21.6 b	11.6 a
Pro-Ca 150-1	9.0 a	3,478 ab	144 a	23.5 ab	10.5 a
Pro-Ca 150-2	10.3 a	3,061 b	150 a	20.1 bc	11.8 a
Pro-Ca 200-1	8.7 a	2,981 b	150 a	20.3 bc	9.9 a
Pro-Ca 250-1	7.4 a	2,281 b	129 a	17.3 c	10.4 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

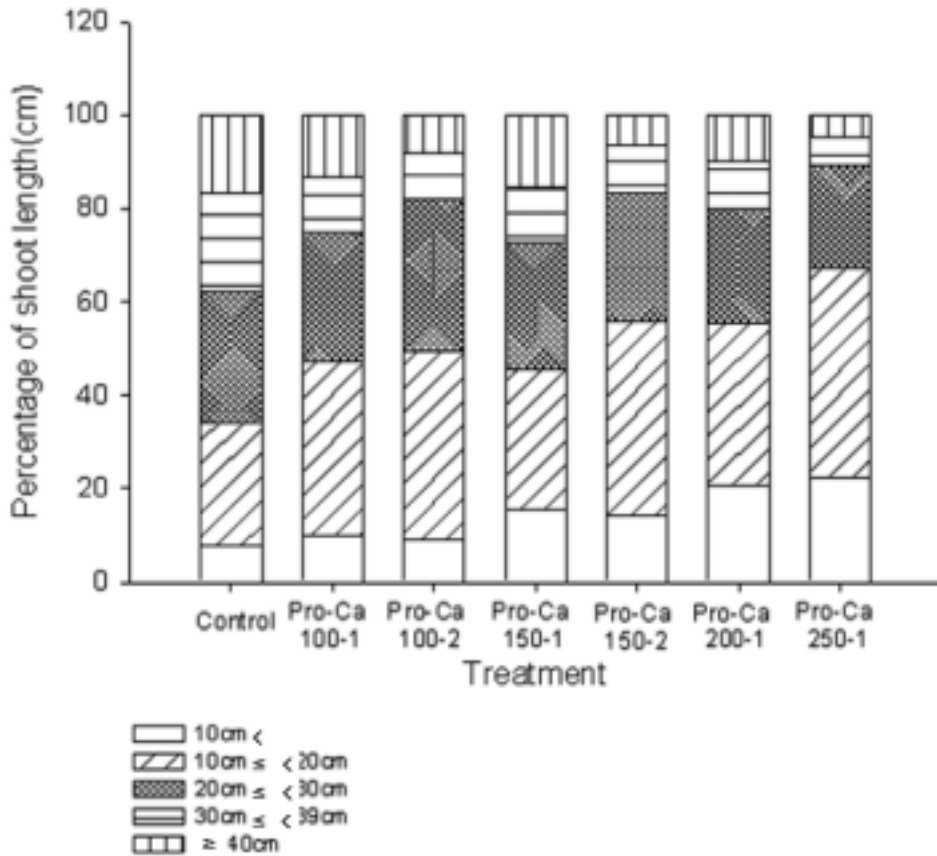


Fig. 2. Influence of Pro-Ca on distribution of shoot length of 'Ryouka Fuji' (8.7cm²) apple trees /M.9/*Malus prunifolia* seedlings.

2) 과신품질과 익년개화율

과실 특성에 미치는 영향을 살펴보면 주당 착과수를 TCA 기준으로 조정하지 않아서 처리 간 비교에 무리가 있기는 하지만 무처리에 비해 Pro-Ca 처리에서 과실이 다소 가벼웠고 Pro-Ca 처리 간에는 150mg·L⁻¹ 2회처리, 200mg·L⁻¹, 250mg·L⁻¹ 처리구에서 과실이 가벼웠다(Table 10). 가용성 무기물 함량에 있어서도 처리 간 차이를 보여 무처리에 비해 Pro-Ca 처리에서 낮았으나 Pro-Ca 농도간에는 100mg·L⁻¹ 처리구가 타 농도보다 가용성 고형물함량이 오히려 더 낮았다. 이듬해 개화율은 처리 간 차이를 보이지 않고 71.7-79.3% 범위로 비교적 높아 영양생장이 크게 억제된 Pro-Ca 250mg·L⁻¹ 처리구에서 특별히 꽃눈이 많이 분화되는 것은 아니었다.

Table 10. Effects of Pro-Ca on fruit quality and return bloom of 'Ryouka Fuji' /M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹ -times)	Fruits per tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness (kg/cm ²)	Soluble solids content (°Brix)	Titratable acidity (%)	Return bloom (%)
Control	43 a ^z	316 a	7.3 a	13.4 a	0.28 a	73.1 a
Pro-Ca 100-1	45 a	290 c	6.9 a	11.9 c	0.24 a	75.8 a
Pro-Ca 100-2	54 a	293 bc	6.8 a	12.0 c	0.28 a	76.0 a
Pro-Ca 150-1	47 a	313 ab	7.1 a	12.6 abc	0.27 a	76.3 a
Pro-Ca 150-2	42 a	281 c	6.9 a	13.3 ab	0.27 a	79.3 a
Pro-Ca 200-1	63 a	286 c	6.7 a	12.3 abc	0.25 a	71.7 a
Pro-Ca 250-1	64 a	281 c	7.2 a	12.0 bc	0.24 a	72.7 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

다. M.9 자근 사과나무에 있어서 Pro-Ca 처리 농도 및 회수 시험

< 1년차 시험 >

1) 영양생장

시기별 정단 신초의 생장변화를 조사하였던바(Fig 3.) Pro-Ca 살포 15일 후인 5월 24일에 이미 생장 차이가 뚜렷하게 나타났다. Pro-Ca의 농도가 높을수록 생장억제가 좋아 250mg·L⁻¹, 200mg·L⁻¹, 150mg·L⁻¹은 현저하게 신초생장이 억제되었으나 100mg·L⁻¹은 이보다 효과가 떨어졌다. NAA의 경우 신초생장 정지기에 임박한 6월 초에 처리가 시작되었기 때문에 신초생장억제 효과는 Pro-Ca 처리보다 현저히 떨어졌으나 무처리에 비해서는 다소 신초길이가 짧았다. 무처리에 비해 Pro-Ca 처리가 농도나 회수에 관계없이 7월 이후에 2차 생장이 많았으나 NAA 처리는 2차 생장이 적어 특히 NAA 200mg·L⁻¹ 4회 처리는 2차 생장이 거의 없었다(Fig. 3).

수고 2.0m 이하의 총 신초 생장량을 보면 무처리에 비해 Pro-Ca 처리의 효과가 뚜렷하게 나타나 Pro-Ca의 농도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 무처리의 총 신초 생장량 4,948cm 대비 생장감소율이 Pro-Ca 250mg·L⁻¹ 40%, 200mg·L⁻¹ 39%, 150mg·L⁻¹ 2회 처리는 30%에 달하였다. 그러나

NAA 처리와 Pro-Ca 100은 무처리 대비 성장 억제효과가 경미한 것(9~14%)으로 나타났다.

총 신초 성장량에서 2차 생장이 차지하는 비율을 보면 무처리는 110cm로 2.2%인데 비해 Pro-Ca은 처리 농도나 횟수에 관계없이 6.5~9.2%로 나타나 Pro-Ca에 의한 2차 생장이 다소 조장되는 것을 알 수 있었다(Table 11). NAA 20mg·L⁻¹을 6월 9일부터 8월 16일까지 2주 간격으로 4회 처리한 경우 2차 생장이 거의 없는 것으로 나타났고 NAA 30mg·L⁻¹ 4회 살포는 무처리와 비슷한 수준의 2차 생장을 보였다. 그러나 총 신초 수나 주간면적비대에 있어서는 처리 간 차이나 없었다. NAA 처리에서 평균 엽면적이 다소 작았으나 유의성은 인정되지 않았고 비엽중에서도 같은 결과를 보였다(Table 12). 신초길이 분포에서도 총 신초 성장량과 같은 경향으로 Pro-Ca 처리는 신초생장을 억제하여 짧은 가지의 비율이 높았으며 처리 농도가 높을수록 효과가 크게 나타났으나 기대와는 달리 추가살포의 효과는 뚜렷하지 않았다(Fig. 4). 그러나 NAA 처리구는 농도나 회수에 관계없이 대조구와 차이가 크지 않았다.

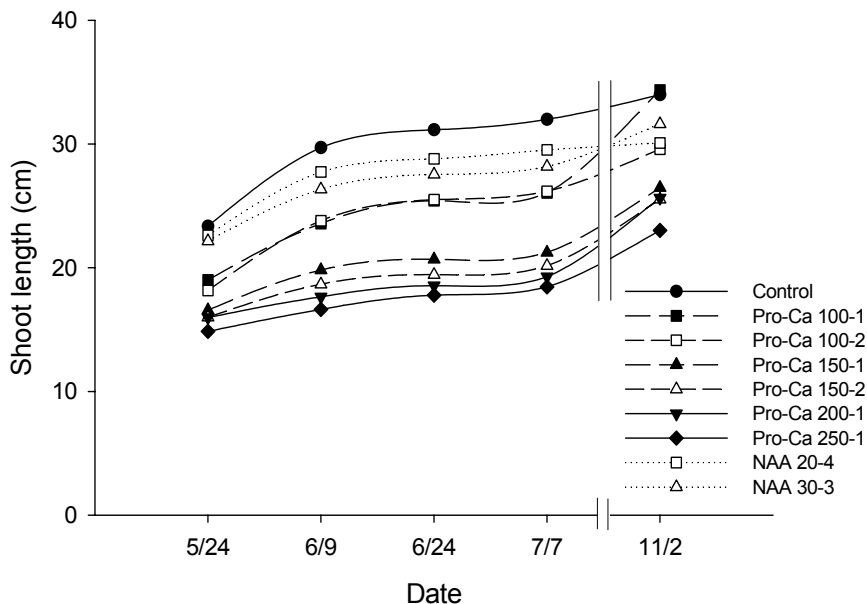


Fig. 3. Effects of Pro-Ca application and NAA applications on seasonal changes in terminal shoot growth of 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on 9 May when terminal shoots were reached on average 10cm long, and supplementary spray was applied 4 weeks after first application. NAA was sprayed at intervals of 2 weeks 3 or 4 times from 7 June.

Table 11. Effects of Pro-Ca and NAA applications on vegetative growth of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹ - times)	Total shoot growth (cm)			Average shoot length (cm)	Number of shoots	Ratio of 2nd growth (%)
	1st	2nd	Total			
Control	4.948 a ^z	110 bc	5.058 a	20.8 a	243 a	5.4 b
Pro-Ca 100-1	4.228 abc	297 a	4.525 abc	19.9 ab	237 a	11.9 a
Pro-Ca 100-2	4.436 ab	340 a	4.776 ab	19.4 ab	248 a	10.8 ab
Pro-Ca 150-1	3.695 bc	298 a	3.993 bc	17.4 abc	232 a	10.2 ab
Pro-Ca 150-2	3.621 c	255 abc	3.876 c	16.5 bcd	238 a	9.2 ab
Pro-Ca 200-1	2.892 d	219 abc	3.112 d	14.5 cd	219 a	9.4 ab
Pro-Ca 250-1	2.745 d	278 ab	3.024 d	13.8 d	222 a	11.0 ab
NAA 20-4	4.500 a	85 c	4.585 abc	20.7 a	223 a	8.3 ab
NAA 30-3	4.434 ab	111 bc	4.546 abc	19.1 ab	238 a	5.7 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 12. Effects of Pro-Ca and NAA applications on TCA, shoot diameter and leaf characteristics of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹ - times)	TCA increase (cm ²)	Shoot diameter increase (mm)	Average leaf area (cm ²)	Specific leaf area (mg/cm ²)
Control	5.9 a ^z	4.4 a	26.9 a	8.7 ab
Pro-Ca 100-1	6.8 a	3.9 a	26.9 a	8.8 ab
Pro-Ca 100-2	7.5 a	4.1 a	25.2 a	9.4 a
Pro-Ca 150-1	7.7 a	4.1 a	25.8 a	8.4 ab
Pro-Ca 150-2	6.1 a	4.0 a	25.3 a	8.4 ab
Pro-Ca 200-1	5.3 a	4.1 a	24.9 a	8.8 ab
Pro-Ca 250-2	5.4 a	4.0 a	22.8 a	9.1 a
NAA 20-4	5.3 a	4.3 a	20.9 a	7.3 b
NAA 30-3	5.6 a	4.1 a	22.3 a	7.8 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

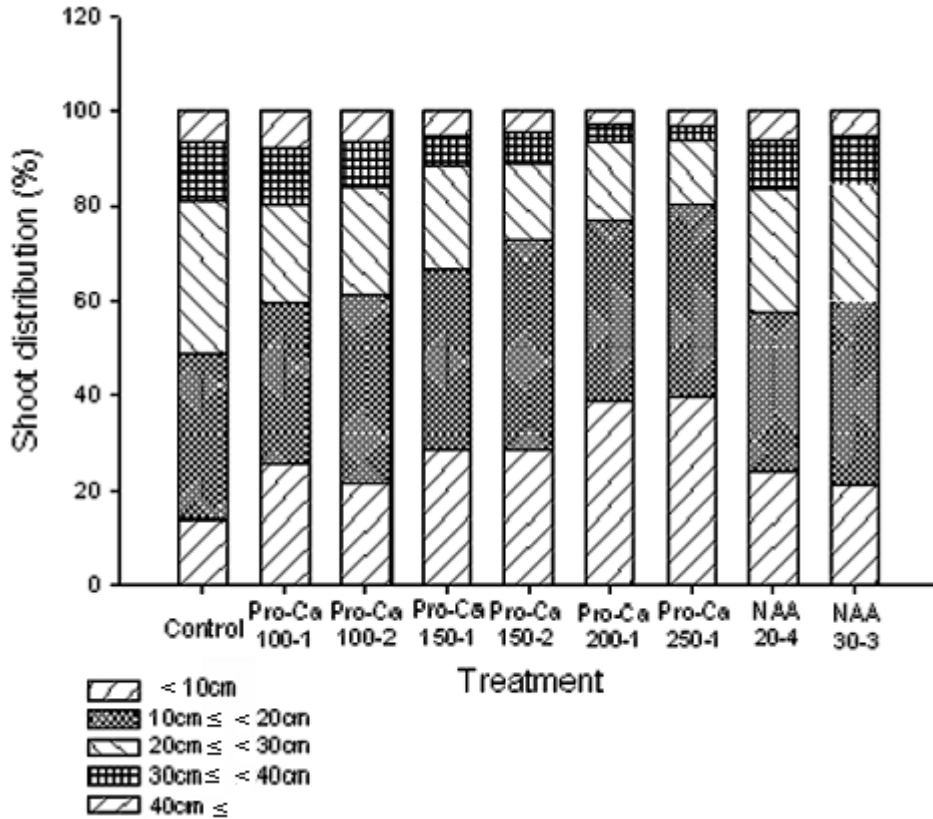


Fig. 4. Effects of Pro-Ca and NAA applications on distribution of shoot length in 'Fuji'/M9 apple trees.

2) 과실품질 및 익년개화율

주당 착과수는 TCA cm^2 당 착과수를 2로 맞추고 수확기 과실의 품질을 조사한 결과는 table 13과 같다. 무처리의 평균과중 290.3g에 비해 NAA $20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 4회 처리 272.3g, NAA $30\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 3회 처리 276.8g으로 과실이 현저하게 적었다. Pro-Ca 처리는 통계적 유의성은 없었으나 대체로 평균과중이 무처리보다 작았다. 가용성 고형물함량에서는 Pro-Ca 처리구가 대체적으로 대조구보다 낮았으며, 통계적으로 NAA $20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 4회 처리가 대조구와 유의성이 인정 되었을 뿐 다른 처리 간에는 뚜렷한 차이가 없었고 산도에서 처리 간 차이가 있었으나 경향성이 없어 Pro-Ca와 NAA의 영향으로 보기 어려웠다.

Table 13. Effects of Pro-Ca and NAA applications on fruit quality of 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹ - times)	Fruits of tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness ₂ (kg/cm ²)	Soluble solids content (°Brix)	Titratable acidity (%)	Return bloom (%)
Control	56 a ^z	290.3 a	6.8 a	13.4 a	0.39 a	48.0 a
Pro-Ca 100-1	46 a	290.0 ab	6.5 a	13.3 a	0.39 a	48.5 a
Pro-Ca 100-2	59 a	285.8 ab	6.9 a	12.9 ab	0.36 ab	44.7 a
Pro-Ca 150-1	60 a	281.0 ab	6.4 a	12.3 ab	0.31 b	48.7 a
Pro-Ca 150-2	60 a	281.3 ab	6.5 a	12.8 ab	0.35 ab	52.1 a
Pro-Ca 200-1	59 a	285.0 ab	6.9 a	12.7 ab	0.33 b	49.3 a
Pro-Ca 250-1	55 a	280.3 ab	6.7 a	13.0 ab	0.39 a	42.3 a
NAA 20-4	51 a	272.3 b	6.7 a	12.2 b	0.31 b	50.5 a
NAA 30-3	55 a	276.8 b	6.7 a	13.4 a	0.35 ab	42.3 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

< 2년차 시험 >

1) 영양생장

시기별 정단 신초의 길이 변화를 조사한 결과(Fig. 5), 무처리는 5월 한 달 간 왕성하게 생장을 하다가 6월 상순부터 정지되기 시작하여 6월 하순에 24.9cm에 이르렀으나 7월 하순부터 일부 2차 생장을 시작하여 최종 평균 신초의 길이가 32cm에 달하였다. Pro-Ca 처리구는 농도나 회수에 관계없이 처리 1주일 후인 5월 상순부터 이미 생장이 억제되기 시작하여 5월 하순에는 1차 생장이 거의 종료되는 탁월한 생장억제 효과를 보였다. 1차 생장이 종료된 시기인 6월 하순의 처리 농도 간 정단 신초의 길이는 Pro-Ca 150mg·L⁻¹, Pro-Ca 200mg·L⁻¹, Pro-Ca 250mg·L⁻¹은 각각 13.8cm, 14cm, 13cm로 무처리 24.9cm에 비해 43.6~47.8%의 억제효과가 있었고 Pro-Ca 300mg·L⁻¹은 더욱 짧은 11.4cm에 불과하여 54.2%의 생장억제 효과가 있었다. 농도별로 2회 처리한 구에서는 12.8~13.9cm로 처리 간 차이가 크지 않았다. Pro-Ca처리의 경우 7월 상순에 이미 2차 생장이 시작되어 무처리에 비해 빨랐을 뿐 아니라 그 정도도 심하였다. 2차 생장이 끝나고 최종 선단 신초장을 조사하였던 바 무처리와 Pro-Ca 처리 간 차이가 1차 생장에 비해 적어 졌다. 즉, 무처리 32.3cm에 비해 Pro-Ca 300mg·L⁻¹은 18.3cm로 여전히 43.3%의 억제 효과가 있었으나

그 외 농도별 1회 처리구는 23.8~27.5cm로 생장억제 효과가 14.9~26.3%로 낮아졌다. Pro-Ca을 농도별로 2회 처리한 경우 특이하게 Pro-Ca 250+50mg·L⁻¹는 최종 신초장이 29.9cm에 이를 정도로 2차 생장이 심하였고, Pro-Ca 150+150mg·L⁻¹과 Pro-Ca 200+100mg·L⁻¹은 각각 24.3cm, 22.4cm에 달하였다.

지면에서 2m까지의 모든 신초 수와 생장량을 조사하였던 바(Table 14) 1차 총 생장량은 처리 간 차이가 뚜렷하여 무처리 2,711cm에 비해 Pro-Ca 300mg·L⁻¹은 1,644cm로 39.4%의 생장억제 효과가 나타났고, Pro-Ca 150mg·L⁻¹, Pro-Ca 200mg·L⁻¹, Pro-Ca 250mg·L⁻¹은 무처리 대비 27.9~29.5%의 신초생장 억제 효과가 있었으나 개체간의 차이가 비교적 커 통계적 유의성은 인정되지 않았다. Pro-Ca을 농도별로 2회 처리한 경우 Pro-Ca 150+150mg·L⁻¹와 Pro-Ca 200+100mg·L⁻¹은 약 32%의 생장억제효과가 있었으나 2차 처리 농도가 낮은 Pro-Ca 250+50mg·L⁻¹의 경우 24.8%로 생장억제효과가 다소 낮았다. 총 신초 수는 무처리가 136개인데 반해 Pro-Ca 처리는 103~121개로 그 수가 적기는 하나 통계적 유의성이 인정될 정도는 아니었다.

신초의 2차 생장률을 보면(Table 15) 무처리가 17.6%로 가장 낮았고 다음으로 Pro-Ca 200mg·L⁻¹ 19.8%, Pro-Ca 300mg·L⁻¹이 20.8%였으나 Pro-Ca 250mg·L⁻¹은 27.3%로 높게 나타났고, 농도별 2회 처리는 29.5~33.9%로 1회 처리보다 2차 발생률이 오히려 높았으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 그러나 전체 신초생장에서 차지하는 2차 생장량 역시 비슷한 결과를 보였다.

2) 과신품질 및 익년 개화율

과중에 있어서는 처리 간에 차이를 보여 무처리에 비해 Pro-Ca을 처리한 경우 다소 과중이 가벼운 경향을 보였고 1회 처리의 경우 Pro-Ca 농도가 높을수록 과실비대가 떨어졌으나, 2회 처리의 경우, 농도간의 차이는 찾아보기 어려웠다(Table 14). 가용성 고형물 함량, 산함량, 산함량, 착색, 과형지수 등 기타 품질요소는 처리 간 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 저장력에 미치는 영향을 보기위하여 상온에서 20일간 보관한 후 감모율과 과신품질을 조사한 결과 역시 처리 간 차이가 없었다(Table 16).

다음 해에 정아 수에 대한 꽃눈 비율을 조사하였던 바(Fig. 6) 정화 개화율이 무처리 54%에 비해 Pro-Ca 처리는 34.0~56.1%로 처리 농도나 횟수에 따른 뚜렷한 경향이 없었고, 반복 간 오차가 비교적 커 처리 간의 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

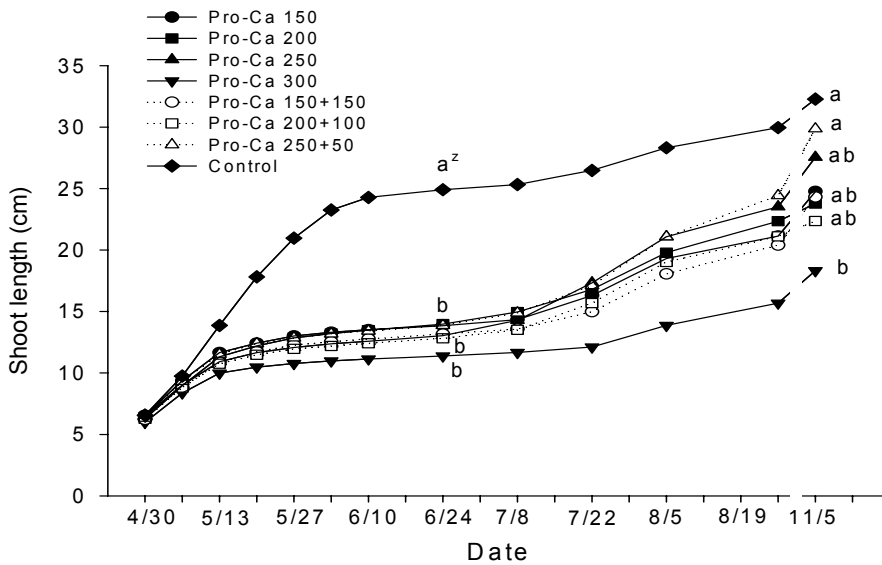


Fig. 5. Effects of Pro-Ca application on seasonal changes in terminal shoot growth from application concentration of ‘Fuji’/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on 30 April when terminal shoots were reached on average 5–6cm long, and supplementary spray was applied 4 weeks after first application. ^ZMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan’s multiple range test at 5% level.

Table 14. Effects of Pro-Ca application on vegetative growth of ‘Fuji’/M.9 apple trees.

Treatment ^y (mg·L ⁻¹)	Total shoot growth (cm)			Number of shoots	Ratio of 2nd growth (%)
	1st	2nd	Total		
Control	2,711 a ^z	333 a	3,045 a	136 a	17.6 d
Pro-Ca 150	1,956 ab	378 a	2,334 ab	117 a	24.6 abcd
Pro-Ca 200	1,910 ab	278 a	2,189 ab	109 a	19.8 cd
Pro-Ca 250	1,932 ab	360 a	2,293 ab	112 a	27.5 abc
Pro-Ca 300	1,644 b	280 a	1,924 b	121 a	20.8 bcd
Pro-Ca 150+150	1,837 ab	393 a	2,230 ab	120 a	29.5 ab
Pro-Ca 250+100	1,840 ab	369 a	2,210 ab	104 a	29.9 ab
Pro-Ca 250+50	2,038 ab	420 a	2,458 ab	116 a	33.9 a

^yPro-Ca was applied on 30 April when terminal shoots were reached on average 5–6cm long, and supplementary spray was applied 4 weeks after first application.

^zMean separation with columns by Duncan’s multiple range test at 5% level.

Table 15. Effects of Pro-Ca application on fruit quality of 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment ^y (mg·L ⁻¹)	Fruits per tree	Fruit weight (g)	Soluble solids content (°Brix)	Fruit firmness (kg/cm ²)	L/D ratio (%)	Titratable acidity (%)	Fruit color		
							L	a	b
Control	43 a ^z	284.2 a	12.7 a	6.8 a	84.8 a	0.32 a	45.9 a	20.2 a	14.6 a
Pro-Ca 150	44 a	266.8 ab	12.5 a	7.0 a	84.7 a	0.31 a	46.2 a	19.8 a	14.7 a
Pro-Ca 200	34 a	272.0 ab	12.7 a	7.2 a	85.1 a	0.34 a	47.8 a	17.4 a	16 a
Pro-Ca 250	33 a	250.9 b	12.7 a	6.8 a	84.5 a	0.32 a	46.4 a	19.7 a	15.3 a
Pro-Ca 300	39 a	259.4 ab	12.4 a	6.8 a	84.8 a	0.31 a	46.5 a	17.8 a	15.7 a
Pro-Ca 150+150	44 a	278.7 a	12.6 a	6.6 a	82.4 a	0.31 a	47.8 a	17 a	15.5 a
Pro-Ca 200+100	37 a	268.3 ab	12.5 a	6.8 a	85.1 a	0.32 a	45.8 a	17.3 a	15.1 a
Pro-Ca 250+50	36 a	261.0 ab	13.1 a	7.2 a	84.5 a	0.36 a	46.8 a	18.2 a	15.1 a

^yPro-Ca was applied on 30 April when terminal shoots were reached on average 5–6cm long, and supplementary spray was applied 4 weeks after first application.

^zMean separation with columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

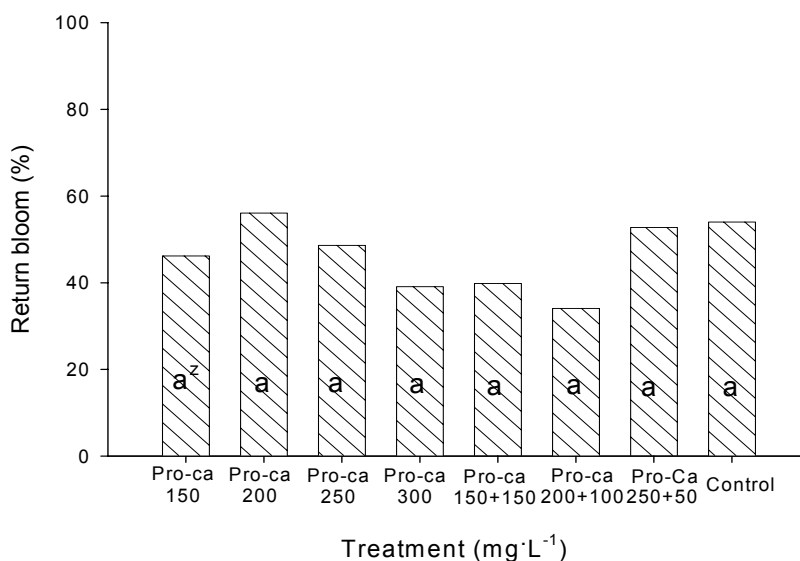


Fig. 6. Effects of Pro-Ca applications on fruit quality of 'Fuji'/M9 apple trees. Pro-Ca was applied on 30 April when terminal shoots were reached on average 5–6cm long, and supplementary spray was applied 4 weeks after first application. ^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 16. Effects of Pro-Ca applications on fruit quality at 20 days after storage in room temperature.

Treatment (mg·L ⁻¹)	Loss of fruit weight (%)	Fruit firmness (kg/cm ²)	Soluble solids content (°Brix)	Titrateable acidity (%)
Control	5.5 a ^z	7.2 ab	12.8 a	0.23 a
Pro-Ca 150	6.7 a	8.8 a	13.0 a	0.22 a
Pro-Ca 200	5.5 a	6.4 ab	13.2 a	0.26 a
Pro-Ca 250	8.9 a	7.2 ab	13.2 a	0.23 a
Pro-Ca 300	7.4 a	7.2 ab	12.4 a	0.20 a
Pro-Ca 150+150	5.9 a	6.8 ab	12.6 a	0.21 a
Pro-Ca 200+100	5.5 a	6.0 b	12.3 a	0.21 a
Pro-Ca 250+50	8.2 a	7.2 ab	13.2 a	0.24 a

^zMean separation with columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

3) 신초 내 GA 함량

경북대학교 과수원에서 수행한 5년생 자근 M9의 결과와 유사하게 실생 이중 접목 M9에 Pro-Ca을 처리한 경우도 처리농도가 높을수록 GA 생합성을 억제하는 정도가 높은 것으로 나타났다(Table 16). 자근과 비교시 실생 이중 접목의 세력이 왕성한 것으로 나타난 것과 유사하게 생리활성형 GA인 GA₁의 함량이 자근보다 다소 높은 것으로 나타났으며 GA 생합성을 억제하는 정도도 자근묘목보다 Pro-Ca의 처리 농도가 높아야 효과적으로 억제하였다. M9 자근에 100mg·L⁻¹의 Pro-Ca을 처리시 GA₁의 함량 감소가 30% 정도였으나 (Table 7), M9 이중실생의 경우 150mg·L⁻¹에서 30% 정도의 억제율을 보여 대목의 종류에 따라 신초생장에 관여하는 GA의 함량 억제 정도가 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 신초생장억제를 위한 Pro-Ca의 사용시 대목의 종류 또는 시비 수준에 따른 최적 사용량 구명에 관한 연구가 다양한 조건하에서 보다 폭넓게 진행되어야 할 것으로 사료된다.

Pro-Ca 처리 4주 후 시료를 채취하여 GA 생합성 억제 정도를 관찰한 결과 GA 생합성은 처리 후 4주에는 대부분 회복되어 무처리와 비슷한 수준을 보이는 것으로 나타났다(Table 17).

Table 17. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees. Pro-Ca was applied on three years old apple trees at 30 April. Two weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg*L ⁻¹)	GAs				
	GA ₁₂	GA ₅₃	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁
	-----ng/gDW-----				
Control	3.14	6.78	36.15	10.90	5.47
Pro-Ca 150	4.19	6.04	41.38	12.61	3.69
Pro-Ca 200	4.22	5.34	44.95	16.10	2.68
Pro-Ca 250	3.19	6.78	40.40	14.08	1.89
Pro-Ca 300	4.31	7.87	43.45	13.21	1.99

Table 18. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees. Pro-Ca was applied on three years old apple trees at 30 April. Four weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg*L ⁻¹)	GAs				
	GA ₁₂	GA ₅₃	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁
	-----ng/gDW-----				
Control	3.14	8.98	28.78	9.86	3.68
Pro-Ca 150	6.15	9.12	36.12	10.11	3.12
Pro-Ca 200	4.30	8.47	34.15	11.20	3.09
Pro-Ca 250	5.13	7.98	32.11	9.58	2.87
Pro-Ca 300	3.87	8.80	30.33	10.10	2.77

4. 고찰

Pro-Ca은 지베렐린 합성과정에서 불활성의 GA_{20} 이 활성이 높은 GA_1 으로 바뀌는 과정을 차단함으로써 신초의 길이생장을 억제하여 짧은 가지가 되도록 하는 것으로 알려져 있다(Evans 등, 1999; Rademacher, 2000). Pro-Ca을 엽면 살포하면 8시간 이내에 흡수가 완료되고 3-4주 동안 수체내 GA 농도가 낮게 유지되며, 이에 따른 생장 억제효과는 품종과 수세에 따라 3-6주간 지속된다고 한다(Evans 등, 1997, 1999; Unrath, 1999). 본 연구에서는 Costa 등(2004)이 관찰한 것처럼 처리 Pro-Ca 처리 7~10일 후(Fig. 1 & 7)에 이미 신초생장이 무처리에 비해 떨어지기 시작하여 Pro-Ca 처리 10~14일 후에 신초생장이 억제되기 시작한다는 보고(Greene, 1999; Privè 등, 2004)보다 신초 억제 효과가 다소 일찍 나타났다. 따라서 무처리에 비해 약 2주나 빠른 살포 1개월 후 인 5월 하순에 이미 1차 생장이 종료되었다.

Pro-Ca을 살포하면 신초생장이 크게 억제되지만 Pro-Ca의 GA 합성 억제 효과가 떨어지고 생장에 적합한 환경에 놓이게 되면 수세가 강한 나무는 일단 생장을 멈추었던 신초가 다시 자람을 시작하는데 그 정도와 시기는 품종, 수세, Pro-Ca 처리농도 및 처리 시기, 기상조건 등에 따라 달라진다고 한다(Evans 등, 1997; Winckler, 1997; Medjdoub 등, 2004). 우리나라는 기상적인 원인으로 2차 생장이 전혀 없는 것보다는 어느 정도 2차 생장을 하는 것이 적정 수세인 것으로 여기고 있을 정도이기 때문에 무처리의 수세가 강한 후지 품종에서 7월 하순부터 2차 생장이 일어나는 것은 우리나라의 재배환경에서는 보편적인 현상이라 할 수 있다. 처리농도나 5월 27일의 추가 살포에 관계없이 Pro-Ca을 처리한 모든 시험구는 2차 생장이 무처리에 비해 왕성하게 나타났는데(Fig. 1), 이는 Pro-Ca에 의해 생장이 억제되어 있던 신초가 Pro-Ca의 효과가 끝나면서 일종의 보상생장 양상을 보인 것으로 생각된다(Basak과 Rademacher, 2000; Elving 등, 2002).

1회 처리에 비해 추가로 Pro-Ca을 살포하면 신초생장 억제효과가 더 높게 나타나고 2차 생장률도 낮다는 보고(Byers와 Yoder, 1999; Basak와 Rademacher, 2000; Costa 등, 2004; Buban 등, 2004)가 있으나 본 연구의 결과는 이와 달랐다. 2003년에 1차로 $100mg \cdot L^{-1}$ 또는 $200mg \cdot L^{-1}$ 을 1차로 살포하고 4주 후에 같은 농도로 추가 살포한 경우나, 2004년에 $150mg \cdot L^{-1}$, $200mg \cdot L^{-1}$, $250mg \cdot L^{-1}$ 로 1회 처리를 한 다음, 4주 후에 각각 $150mg \cdot L^{-1}$, $100mg \cdot L^{-1}$,

50mg·L⁻¹을 추가로 살포했음에도 신초생장 억제에 미치는 영향은 단일 살포와 효과 면에서 유의적인 차이가 없는 의외의 결과를 얻었다(Table 9, 11). 4월 하순 또는 5월 상순에 Pro-Ca을 살포함에 따라 신초생장이 5월 중하순에 이미 거의 정지한 상태에서 6월 상순 또는 5월 하순에 Pro-Ca을 추가로 살포하더라도 농도에 상관없이 1차의 신초생장 억제에는 영향을 미치지 못했다는 것을 의미한다(Privè 등, 2004). 그 원인은 본 연구에서 2차생장이 7월 중순 이후에 시작되었는데(Fig. 5), Pro-Ca의 신초생장억제가 품종과 수세에 따라 3-6주간 지속된다는 기존의 보고(Evans 등, 1997, 1999; Unrath, 1999)로 보아 2회 처리한 Pro-Ca의 약효 지속기간이 2차 생장을 억제시키기에는 짧았기 때문으로 추정된다(Byers와 Yodar, 1999; Elving 등, 2002). 앞으로 2차생장 억제를 위해서는 Pro-Ca의 추가 살포시기를 6월 하순 또는 7월 상순으로 늦추고 그 반응을 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

처리별 신초생장 억제에 효과는 농도가 높을수록 대체로 크게 나타나는 경향을 보였다(Table 5). 그러나 Pro-Ca 50mg·L⁻¹ 처리는 신초억제효과가 5% 이하 나타나 처리 농도가 너무 낮은 것으로 확인이 되었고, Pro-Ca 100mg·L⁻¹은 17.3%(13.7~23.5%), 150mg·L⁻¹은 23.1%(21.6~25.3%), Pro-Ca 200mg·L⁻¹은 34.9%(28.2~41.6%), Pro-Ca 250mg·L⁻¹은 38.1%(24.8~48.8%)의 신초생장억제를 보여 Pro-Ca 200mg·L⁻¹이상 300mg·L⁻¹까지는 비슷한 수준이었다.

Table 19. The inhibition effect (%) of Pro-Ca application on total shoot growth in different experiments. 5-years-old 'Fuji'/M.9 apple trees were used for Exp. 1, 3-years-old 'Ryouka Fuji'/M.9/*Malus prunifolia* seedling for Exp. 2, 6-years-old 'Fuji'/M.9 for Exp. 3-1 and 3-year-old 'Narita Fuji'/M.9 for Exp. 3-2, respectively.

Treatment (mg·L ⁻¹)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3-1	Exp. 3-2	Mean
Pro-Ca 50	4.4	-	-	-	4.4
Pro-Ca 100	13.6	23.6	14.6	17.27	17.3
Pro-Ca 100×2	-	29.4	10.4	-	19.9
Pro-Ca 150	21.6	21.9	25.3	23.7	23.1
Pro-Ca 150×2	-	31.3	26.8	-	29.1
Pro-Ca 200	36.6	33.1	41.6	28.2	34.9
Pro-Ca 250	34.5	48.8	44.5	24.8	38.2
Pro-Ca 300	-	-	-	37.0	37.0
Pro-Ca 150+150	-	-	-	26.8	26.8
Pro-Ca 200+100	-	-	-	27.4	27.4
Pro-Ca 250+50	-	-	-	19.1	19.1

본 시험에서 후지의 경우 $150\sim 250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도로 1회 살포만으로도 28~29% 신초생장 억제효과가 있기 때문에 억제효과를 더 높이기 위해 4주 후에 추가 살포는 큰 의미는 없는 것으로 나타났다. 다만 2차생장을 억제하기 위해서는 2회 살포시기를 1회 살포 후 4주가 아니라 주기적으로 나무의 세력을 관찰하여 2차 생장이 개시되기 1-2주 전에 살포하는 것이 더 효과적일 것으로 추정된다. $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 고농도로 살포한 경우에는 1차 생장 억제효과도 타 농도에 비해 탁월할 뿐 아니라 2차 생장도 그리 많지 않기 때문에 신초생장을 보다 강하게 억제할 경우는 낮은 농도로 나누어 살포하는 것보다 후지에서는 살포 농도를 $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 높게 하여 1회 살포하는 것이 바람직 한 것으로 생각되었다. Pro-Ca은 총 신초 생장뿐 아니라 신초 수에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나(Basak & Rademacher, 2000; Basak, 2004; Clever, 2004), 본 연구의 경우 Pro-Ca 처리에서 무처리에 비해 신초 수가 적기는 하나 유의성이 있을 정도는 아니었다.

Pro-Ca 처리가 수량이나 과실품질에 미치는 영향은 그리 뚜렷하지 않은 것으로 알려져 있다. 과실의 크기나 착색, 당도, 경도, 산함량 등은 차이가 없고(Privè 등, 2004; Schuppe 등, 2003; Mayer & Schoeder, 2002) 신초가 일찍 정지됨에 따라 신초와의 칼슘 경합이 완화되어 과실내 Ca 함량이 높아지고 따라서 고두병과 같은 생리장해가 적게 발생한다는 보고는 있다. Basak(2000)에 따르면 Pro-Ca에 의해 40% 정도의 신초생장이 억제되는 경우에는 과실크기에 영향을 미치지 않았으나 70%까지 신초생장이 억제되면 엽면적이 지나치게 줄어들기 때문에 과실의 크기가 작아지고 다음해 개화율도 떨어진다고 한다. 이와 같이 Pro-Ca에 의해 엽면적이 다소 줄어들더라도 과실 품질에 영향을 미치지 않는 것은 수관내 광 투과율이 높아져 광합성이 증가할 뿐 아니라 Pro-Ca을 처리한 잎은 무처리 잎에 비해 엽색이 짙어지면서 두꺼워지고 광합성 능력도 향상되기 때문으로 해석되고 있다(Costa 등, 2004; Basak & Rademacher, 2000).

그러나 본 연구에서는 전체적으로 무처리에 비해 Pro-Ca처리에서 과중이 작았다(Schupp 등, 2003). 이와 같이 Pro-Ca 처리에서 과중을 제외한 다른 과실특성에는 처리 간 차이가 없었으므로 과실비대가 떨어진 원인이 신초생장의 조기 중지로 주당 엽면적이 줄어들었기 때문으로 보기에 무리가 있다고 본다. 이보다는 농가 포장에서 본 연구를 수행하였는데 수확시기를 과실의 성숙을 기준으로 하지 못하고 약 1주일 이른 추석 전에 수확했어야 한테 원인이 있어

보인다. 즉, Pro-Ca에 의해 GA합성이 억제되어 유과기에는 과실비대가 무처리에 비해 떨어져 있다가 신초생장이 조기에 정지되어 과실로의 동화양분전류가 개선되면서 후기에 과실비대가 촉진되는데 다소 일찍 수확한 관계로 과실의 후기 비대가 충분하게 이루어지지 못했기 때문일 것이라는 것이다.

익년개화에 미치는 영향에 대해서는 연구자에 따라 상이한 결과를 보고하고 있다. 익년개화에 영향을 미치지 않거나(Buban 등, 2004; Clever, 2004; Madjdoub 등, 2003), 증가한다(Costa 등, 2004)는 보고가 있는가 하면 고농도 살포에서 오히려 떨어진다(Greene 1999, Geuak 등, 2004)는 연구결과가 있다. 본 연구에서는 Pro-Ca 처리가 영양생장을 억제하는 것이 확실하지만 익년 개화율을 특별히 높이는 것은 아닌 것이 확인되었다.

5. 요약

새로운 생장조절물질인 Pro-Ca의 수체살포가 사과나무의 신초생장과 과실 품질 및 익년개화율에 미치는 영향을 알아보기로 본 연구를 실시하였다. 5~7년차 'Fuji'/M.9에 Pro-Ca $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 선단 신초길이가 4~10cm인 발아초기 1회 엽면 살포한 경우와 1회 살포 4주후 추가로 살포한 Pro-Ca $100+100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $150+150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $150+50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $200+100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $250+50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 엽면 처리한 경우 그리고 대조구로 무처리를 두었다.

Pro-Ca 처리 7~10일 후에 이미 신초생장이 무처리에 비해 억제되기 시작하였다. Pro-Ca 처리의 경우 무처리에 비해 약 2주 빠른 살포 1개월 후인 5월 하순에 이미 1차 신초생장이 종료되었다. 처리농도나 회수에 관계없이 Pro-Ca을 처리한 모든 시험구는 2차 생장이 무처리에 비해 조금 심한 것으로 나타났다. 신초생장 초기에 1차로 살포하고 4주 후에 추가 살포한 경우 농도에 관계없이 신초생장 억제에 미치는 영향은 단일 살포와 효과 면에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 따라서 2차 생장을 억제하기 위해서는 2회 살포 시기를 1회 살포 후 4주가 아니라 주기적으로 나무의 세력을 관찰하여 2차 생장이 개시되기 1-2주 전에 살포하는 것이 더 효과적일 것으로 추정된다. 처리별 신초생장 억제에 미치는 효과는 농도가 높을수록 대체로 크게 나타나는 경

향을 보였으나 Pro-Ca $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리시 신초억제효과가 5% 이하로 나타나 처리 농도가 너무 낮은 것으로 확인이 되었고, Pro-Ca $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 은 17.3%, $150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 은 23.1%, Pro-Ca $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 은 34.9%, Pro-Ca $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 은 38.1%의 신초생장 억제를 보였다. Pro-Ca $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상 $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지는 신초생장 억제효과는 비슷한 수준이었다. 고농도 Pro-Ca 처리시 무처리에 비해 과중이 다소 감소하였으나 그 외의 과실풍성이나 저장력에 미치는 부정적 영향은 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. Pro-Ca 처리가 영양생장을 억제하여 익년 개화율이 현저히 높아질 것으로 추정하였으나 개화율 증가폭은 크지 않은 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 과실품질에 악영향을 미치지 않고 신초생장을 효과적으로 억제할 수 있는 Pro-Ca의 적정 살포농도는 $150\sim 200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 범위이며 살포시기는 정단 신초길이가 4~10cm인 것으로 판단된다.

제 2절 단근 및 환상박피를 이용한 사과나무 수세 안정화

1. 서론

M.9 대목을 이용한 고밀식의 키 낮은 사과재배체계는 관리 노력이 적게 들어 생산비를 크게 줄일 수 있을 뿐 아니라, 기존의 재배체계에 비해 품질 좋은 사과를 조기 다수확 할 수 있어 최근 빠르게 보급되고 있다. 그러나 비교적 격년결실성이고 세력이 강해지기 쉬운 ‘후지’ 품종의 경우 재식밀도가 $3.0 \sim 3.5 \times 1.0 \sim 1.5\text{m}$ 에 불과하기 때문에 수세를 안정시켜 한정된 범위 내에 수관을 제한하지 못하면 밀식 장애가 나타날 가능성이 매우 높은 단점이 있다(Yoon, 2001).

사과나무의 생장은 기본적으로 시비, 전정, 결실량 등을 통해 조절하는 것이 원칙이나 절피, 환상박피, 단근, 생장억제제 이용 등의 방법으로 단기간에 효율적으로 수세를 안정시킬 수 있다(Myers & Savelle, 1996). 절피(scoring)나 환상박피(girdling)는 우리나라에서 많이 이용하고 있는 방법으로 수세 안정과 화아분화 촉진 효과가 확실하고 수세가 강한 나무에 대해 개별적으로 처리할 수 있는 장점은 있으나 재식 주수가 많을 경우 작업에 많은 노력이 소요되는 문제점이 있다. 생장억제제의 이용의 경우, 유해성으로 사용이 금지된 Daminozide를 대신하여 최근에 개발된 Pro-Ca은 인체나 환경에 대한 유해성이 거의 없으면서 영양생장 억제 효과가 탁월하여(Evans 등, 1999) 미국과 유럽에서 수세안정에 실용화되고 있으나 우리나라에서는 시험단계에 있다(Yoon & Sagong, 2005).

단근은 정상적인 근계의 발달을 제한함으로써 수체의 생장을 억제하는 방법으로 오래 전부터 과수나 정원수의 지나친 영양생장을 억제시키는 수단으로 활용되어 온 기술이다(Ferree & Shupp, 2003). 우리나라에서도 감귤(Hyun 등, 1993)과 포도(Lee & Kang, 1997)에서 단근 연구가 있었으나 사과의 경우 최근까지도 M.26 대목을 이용한 이중 접목묘로 나무를 크게 키워왔기 때문에 단근 처리가 쉽지 않았고, 단근을 한 후 적절한 수분관리가 되지 않으면 심각한 수준의 수분스트레스를 받게 된다. 지지력 또한 떨어져 태풍에 쉽게 도복이 될 수 있고 과실 크기가 작아지는 문제가 있어 단근에 대한 관심은 상대적으로 크지 않았다. 그러나 1990년대 후반부터 M.9 대목을 이용한 고밀식 재배가 빠르게 보급되면서 밀식장애가 심각하게 나타나는 과수원이 많아졌을 뿐 아니라 과수원에 트랙터 투입이 가능하게 되고 트랙터에 부착할 수 있는 뿌리 절단기의 제작이 저비용으로도 가능하므로 단근에 의한 수세 안정화 방법에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

환상박피의 경우 대부분 수세가 강한 이중접목 M26, MM106 또는 실생대목 사과나무에서 5월 중순~6월 초순에 3-10mm 폭으로 화아분화 촉진을 위해 관행적으로 행해지고 있으나(변, 1999) 왜화도가 강하여 고밀식 재배되고 있는 M.9 대목의 사과나무에 대해서는 환상박피에 관한 실용적 연구가 아직 수행된 바 없다.

따라서 본 실험은 M.9대목의 키 낮은 사과원에서 부적절한 관리로 수세가 지나치게 강해졌을 때 단근 및 환상박피 처리를 통하여 수세를 안정시킬 수 있는 실용기술을 개발하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 단근을 통한 수세 안정화 시험

< 1년차 시험 >

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

제 1절 시험 2에서와 동일한 포장에서 재식 4년차(접목 3년차)인 M9/실생이 2중 접목된 'Misima Fuji' 에 대해 본 시험을 실시하였다.

밭아기(4월 3일), 만개기(5월 2일), 유과기(5월 30일)에 각각 재식열을 따라 양쪽으로 원줄기에서 30cm 떨어지게 하여, 지표면으로부터 25cm 깊이로 삽을 연속적으로 찢러 넣어 근부를 절단한 3처리의 뿌리 전정구, Pro-Ca 150mg·L⁻¹ 농도로 정단신초가 10cm에 달한 5월 10일에 엽면살포한 Pro-Ca 처리구와 대조구로 무처리를 두었다.

2) 시험구배치

4주를 1구로하여 완전임의배치 3반복으로 시험구를 배치하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 제 1절 시험 2에서와 같은 방법으로 신초 성장량, 주간면적 비대량 등을 조사하였다.

엽 특성 : 제 1절 시험 2에서와 같은 방법으로 조사하였다.

과실 특성 및 익년 개화율 : 제 1절 시험 2에서와 같은 방법으로 조사하였다.

< 2년차 시험 >

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

경북대학교 농업생명과학대학 부속 과수원의 제1절 시험 3과 같은 포장에서 재식 7년차 ‘후지’/M.9 사과나무(재식거리 3.5×1.5m)에 대해 본 시험을 수행하였다. 과수원 토양은 점질토로 배수는 다소 불량하나 지력은 비교적 좋아 매년 양호한 성장을 보이는 상태였다. 이전 해에 개화기 일기불순으로 결실량이 적어 수세가 강하였기 때문에 기비로 과수용 복합 비료(21-17-17)를 주당 100g 시용하였으며 수분 관리는 한발기에 스프링클러로 수시로 관수하였다.

단근 처리는 발아기(3월 30일), 만개기(4월 13일), 유과기(5월 7일)에 두께 1cm, 길이 70cm, 너비 20cm인 날을 제작하여 트랙터에 부착한 후, 원줄기에서 약 30cm 떨어진 위치에서 30cm 깊이로 재식 열 방향에 따라 뿌리를 절단하였다. 생육단계에 따라 단근정도를 달리하여 발아기에는 양쪽, 만개기에는 양쪽과 한쪽, 유과기에는 한쪽에만 뿌리를 절단하였고 대조구로 무처리를 두었다. 적과는 관행에 따라 주당 70~80개 수준으로 착과량을 조절하였다.

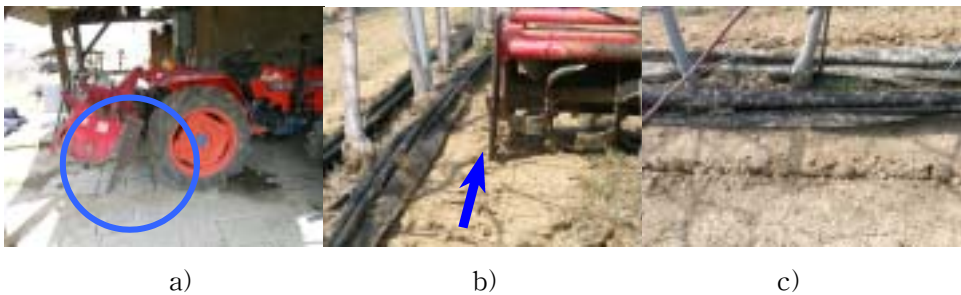


Fig.7. Root pruning procedure ; a) tractor mounted root pruner
b) root pruning
c) after root pruning.

2) 시험구배치

5주를 1구로 한 완전임의배치 3반복으로 시험구를 배치하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 제 1절 시험 3 2년차 실험에서와 같은 방법으로 시기별 신초 성장량, 신초 성장량, 주간비대량 등을 조사하였다.

뿌리 분포 : 단근처리 안쪽과 바깥쪽 토양간의 뿌리 분포비율을 조사하였다. 2004년 11월말에 직경 34mm의 토양시료채취기를 이용하여 단근부 안쪽 10cm 위치(원줄기에서 20cm)와 단근부 바깥쪽 10cm 위치(원줄기에서 40cm)에서 양방향으로 주당 각각 2회에 걸쳐 30cm 깊이로 시료를 채취하였다. 채취한 토양시료에서 뿌리만 가려내어 건조시킨 후 건물중을 측정하여 단근부 안쪽 10cm 위치(원줄기에서 20cm)에서의 뿌리 건물중에 대한 단근부 바깥쪽 10cm 위치(원줄기에서 40cm)에서의 뿌리 건물중의 비율로 단근처리에 따른 뿌리 분포를 나타내었다.

엽 특성과 질소함량 : 7월 15일 주당 성엽 30매씩 채취하여 각각의 엽면적과 건물중을 조사하여 비엽중을 산출하였고 이들 엽은 분쇄하여 Kjeldahl법으로 엽내 질소함량을 측정하였다. 6월, 7월, 8월 상순에 주당 10개 성엽을 취해 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)로 시기별 엽록소 수준을 측정하였다.

수관 하부 광 투과율 : 수관하부의 광 투과율은 9월 초 맑은 날을 택해 정오 무렵에 Line Quantum Sensor(LI-191SA, LI-COR, USA)를 이용하여 수관하부 높이 50cm의 위치에서 주간을 중심으로 남북, 동서 2위치, 주간에서 바깥쪽 50cm지점에서 남북, 동서 2위치로 4회에 걸쳐 광합성 유효복사량(photosynthetically active radiation, PAR)을 측정하고 같은 시각 열린 공간의 입사되는 PAR에 대한 백분율로 나타내었다.

기공컨덕턴스, 증산량 및 수분포텐셜의 일변화 : 잎의 기공 컨덕턴스, 증산량 및 수분포텐셜의 일변화를 8월 10일과 9월 3일에 해뜨기 전부터 해가 지기까지 반복당 2주에 대해 조사하였다. 기공 컨덕턴스와 증산량은 steady state porometer (Li-1600, LI-COR, USA)를 이용하여 수관 외부의 건진 엽 5매를 택해 측정하였고, 수분포텐셜은 pressure chamber (Model 3005, Soilmoisture Equipment, USA)를 이용하여 2매의 건진 엽을 택해 측정하였다.

과실 특성 및 익년 개화율 : 제 1절 시험1에서와 같은 방법으로 조사하였다.

나. 환상 박피를 통한 수세 안정화

1) 공시 재료, 처리 내용 및 포장관리

1차 연도는 경상북도 군위군소재 경북대학교 부속농장 사과원에서 4×1.5m로 재식된 5년차 'Fuji'/M.9을 공시재료로 사용하였다. 균일한 생육상을 보이면서 수세가 강한 나무를 선별하여 발아기(3월 20일), 만개기(4월 30일), 유과기(5월 28일)에 접목부 상단 약 10cm 높이에서 두께 3mm로 환상박피한 처리

구를 두고 만개기(4월 30일)에 주간 30cm 거리에서 25cm 깊이 열을 따라 양쪽으로 뿌리를 자른 단근구와 대조구로 무처리를 두었다.

2차 연도는 대구소재 경북대 부속 사과원에서 3.5×1.5m로 재식된 7년차 'Fuji'/M.9을 공시재료로 사용하였다. 1년차 시험에서와 같은 방법으로 발아기(4월 1일), 만개기(4월 12일), 유과기(5월 7일)에 박피를 하되 1년차에서 환상박피 효과가 기대보다 낮았는데다 선정한 나무의 수세가 더 강하였기 때문에 박피폭은 5mm로 하였다. 1년차의 단근구를 대신하여 정단신초가 5cm쯤 자란 4월 15일경에 Pro-Ca 150mg·L⁻¹을 살포한 처리구를 두었고 대조구로 무처리를 두었다. 1년차 시험의 포장관리는 제 1절 시험 3에서와 같은 방법으로 2년차 시험의 포장관리는 제 2절 시험 2에서와 같은 방법으로 하였다.

2) 시험구 배치

1주를 1구로 하여 1년차는 완전임의 6반복으로 2년차는 5반복으로 하였다.

3) 조사항목 및 방법

영양생장 : 1년차 시험은 제 1절 시험 3에서와 같은 방법으로 하였으며, 2년차 시험은 제 2절 시험 2와 동일하게 조사하였다.

엽 특성 : 1년차 시험은 제 1절 시험 3에서와 같은 방법으로 조사하였으며, 2년차 시험은 제 2절 시험 2와 동일하게 조사하였다.

과실 특성 및 익년 개화율 : 1년차 시험은 제 1절 시험 3에서와 같은 방법으로 조사하였으며, 2년차 시험은 제 2절 시험 2와 동일하게 조사하였다.

3. 결과

가. 단근을 통한 수세안정화

< 1년차 시험 >

1) 영양생장

TCA 증가량에 통계적 유의차는 인정되지는 않았으나 무처리 12.4cm³ 비해 단근처리가 다소(1.8~3.3cm³) 적게 자라는 것으로 나타났고 Pro-Ca은 비슷하였다(Table 20). 총 신초 성장량에 있어 단근의 경우 처리시기에 관계없이 무처리 3,152cm²의 75% 내외의 성장을 보였고 Pro-Ca 150mg·L⁻¹ 1회 처리는

신초생장을 현저하게 억제시켜 무처리의 55.4%에 불과하였다. 평균 신초장은 통계적 유의성은 없으나 단근구가 무처리보다 다소 짧았고, Pro-Ca 처리에서는 무처리 26.9cm에 비해 19.3cm에 불과하여 신초생장이 현저하게 억제됨을 확인할 수 있었다. 신초 수는 무처리에 비해 단근 또는 Pro-Ca 처리가 적었으나 개체간 차이가 비교적 커 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

각 처리에서 가지 길이별 분포를 살펴보면 발아기 단근구가 무처리보다 다소 짧은 가지의 비율이 높았는데 단근 시기 간에는 발아기보다는 만개기 또는 유과기 단근구에서 짧은 가지의 비율이 다소 높은 것으로 나타났다. 앞에서 살펴본 바와 같이 Pro-Ca 150mg·L⁻¹처리는 신초생장을 현저하게 억제하여 20cm 미만의 짧은 가지의 비율은 가장 높은 반면 40cm 이상의 도장성 가지는 가장 적은 것으로 나타났다(Fig. 8).

단근이나 Pro-Ca 처리가 과중, 경도, 당도, 산도 등 과실특성에 미치는 영향은 뚜렷하지 않았다(Table 21). 단근의 시기가 늦을수록 익년 개화율이 무처리에 비해 높은 경향이었으나 Pro-Ca 처리는 무처리와 비슷한 수준이었다(Table 21).

Table 20. Influence of root pruning and Pro-Ca application on shoot growth and specific leaf weight of 'Misima Fuji' on M.9/*Malus runifolia* seedling apple trees.

Treatment	Time	TCA increase (cm ²)	Vegetable growth			Specific leaf weight (mg/cm ²)
			Total shoot length (cm)	Number of shoot	Average shoot (cm)	
Control		12.4 a ²	3,153 a	117 a	26.9 a	9.5 b
Root pruning	Bud break	9.1 a	2,365 b	87 a	27.8 a	10.0 ab
	Full bloom	9.7 a	2,349 b	96 a	24.9 a	10.3 ab
	Fruitlet	10.6 a	2,422 b	96 a	25.6 a	10.7 a
Pro-Ca (150mgL ⁻¹)	10 May	12.5 a	1,747 b	91 a	19.3 b	9.5 b

²Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% level.

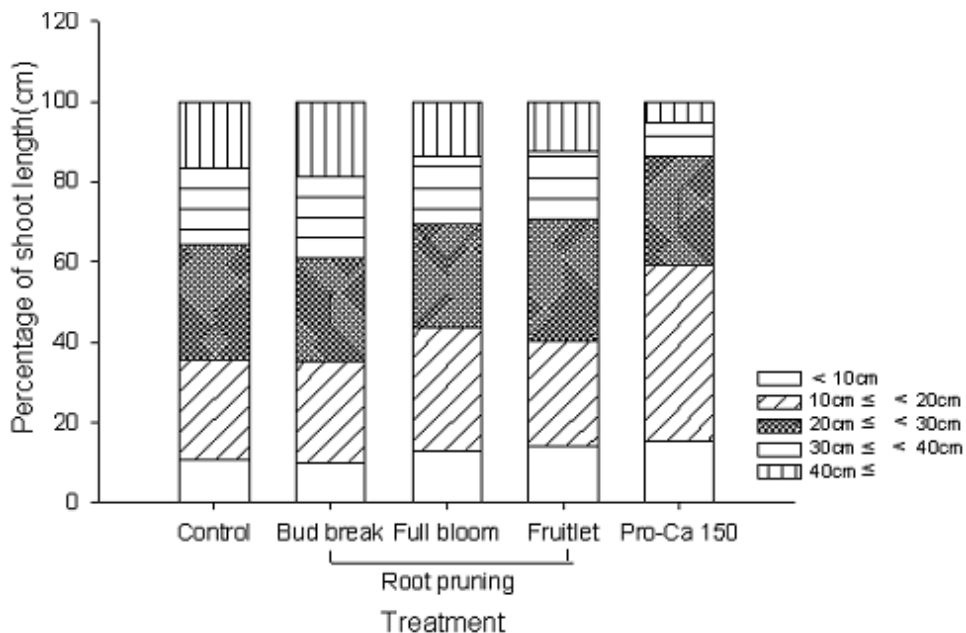


Fig. 8. Influence of root pruning and Pro-Ca application on distribution of shoot length of 'Fuji' /M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees .

Table 21. Influence of root pruning and Pro-Ca application on fruit quality of 'Misima Fuji' on M.9/*Malus prunifolia* seedling apple trees.

Treatment	Time	Fruits per tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness (kg/cm ²)	Soluble solids content (°Brix)	Titrateable acidity (%)	Return bloom (%)
Control		37 ab ^z	277 a	7.0 a	13.7 ab	0.26 a	74.2 b
Root pruning	Bud break	31 ab	285 a	7.0 a	13.5 b	0.24 a	74.5 b
	Full bloom	26 b	291 a	7.6 a	14.2 a	0.27 a	77.4 ab
	Fruitlet	39 ab	295 a	7.0 a	14.1 a	0.23 a	81.1 a
	Pro-Ca(150mgL ⁻¹)10 May	41 a	287 a	7.4 a	13.8 ab	0.27 a	76.1 b

^zMean separation with columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

< 2년차 시험 >

1) 영양 생장

단근처리에 따른 선단 신초생장 양상을 보면(Fig. 9), 무처리는 30cm까지 자랐으나 발아기와 만개기에 양쪽단근 처리는 4월 하순부터 타 처리에 비해 신초생장이 현저히 억제되면서 5월 하순에 거의 생장을 멈추어 최종 길이가 만개기 양쪽 단근처리의 경우 19cm, 발아기 양쪽 단근처리의 경우 20.5cm에 불과하였다. 그러나 만개기와 유과기에 한쪽만 단근 처리한 경우 5월 중순까지는 무처리와 비슷한 생장 양상을 보이면서 최종 신초길이가 만개기 한쪽 단근 27.5cm, 유과기 한쪽 단근 28.5cm로 생장억제 효과가 비교적 적었다.

총 신초 생장량도 비슷한 경향으로 발아기와 만개기 양쪽 단근처리의 경우 무처리 3,380cm에 비해 각각 45.5%, 41.5%에 달하는 현저한 생장억제 효과가 있었으나 만개기와 유과기 한쪽 단근처리는 9.2%와 6.1%로 억제효과가 적었다(Table 22). 평균 신초장과 줄기 비대에 있어서도 같은 경향을 보여 시기에 관계없이 양쪽 단근은 영양생장을 현저하게 약화시켰고 한쪽 단근은 무처리보다 다소 낮은 생장을 보였다. 수고 2m 이하의 총 신초 수에 있어서는 발아기 양쪽 단근이 109.6개에 불과하여 무처리 141.1개에 비해 현저하게 적었고, 만개기 양쪽과 한쪽 단근도 신초 수가 적기는 하나 개체간 차이가 비교적 커 통계적 유의성이 인정되지는 않았다.

단근처리를 한 경우 무처리에 비해 원줄기 비대가 억제되는 경향을 보여 단근이 나무의 자람을 억제한다는 사실을 확인할 수 있었다(Table 22). 특히 만개기 양쪽 단근과 발아기 양쪽 단근의 TCA증가량은 무처리 3.93cm²의 59.8%와 70.5%에 불과하였다

신초 길이별 분포를 보면(Fig. 10), 한쪽 단근의 경우 만개기나 유과기에 관계없이 무처리와 비슷한 경향을 보였으나 양쪽 단근의 경우 짧은 가지 분포 비율이 현저히 높아졌다. 즉, 무처리는 20cm 미만의 가지 비율이 49%였으나 만개기 양쪽 단근의 경우 72.6%, 발아기 양쪽 단근 역시 65.6%로 나무의 세력이 크게 떨어짐을 알 수 있었다.

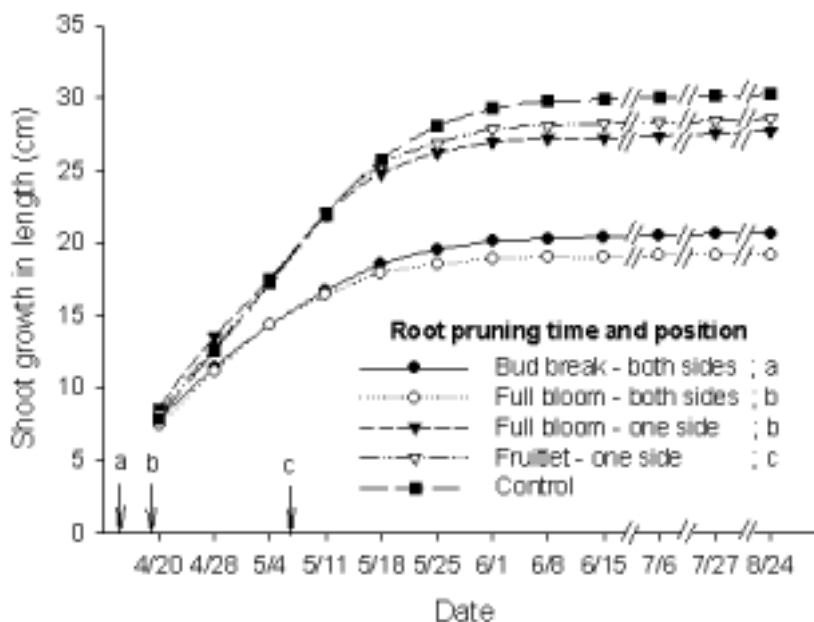


Fig.9. Weekly pattern of shoot growth on different root pruning treatments in 'Fuji' /M.9 apple trees. Trees were root pruned with tractor-mounted root pruner, parallel to the row of 30cm from the trunk, to the depth of 30cm, one or both sides at different stages of development.

Table 22. Shoot growth and trunk cross-sectional area (TCA) increment on different root pruning treatments in 'Fuji' /M.9 apple trees.

Root pruning time & position	Total shoot length (cm)	Average shoot length (cm)	Number of shoot per tree	TCA increment (cm ²)
Control	3,380 a ^z	23.5 a	141.1 a	3.93 a
Bud break-both sides	1,841 b	16.5 b	109.6 b	2.77 ab
Full bloom-both sides	1,978 b	14.9 b	130.6 ab	2.35 b
Full bloom-one side	3,069 a	23.0 a	131.1 ab	3.67 ab
Fruitlet-one side	3,174 a	21.2 a	145.9 a	3.44 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

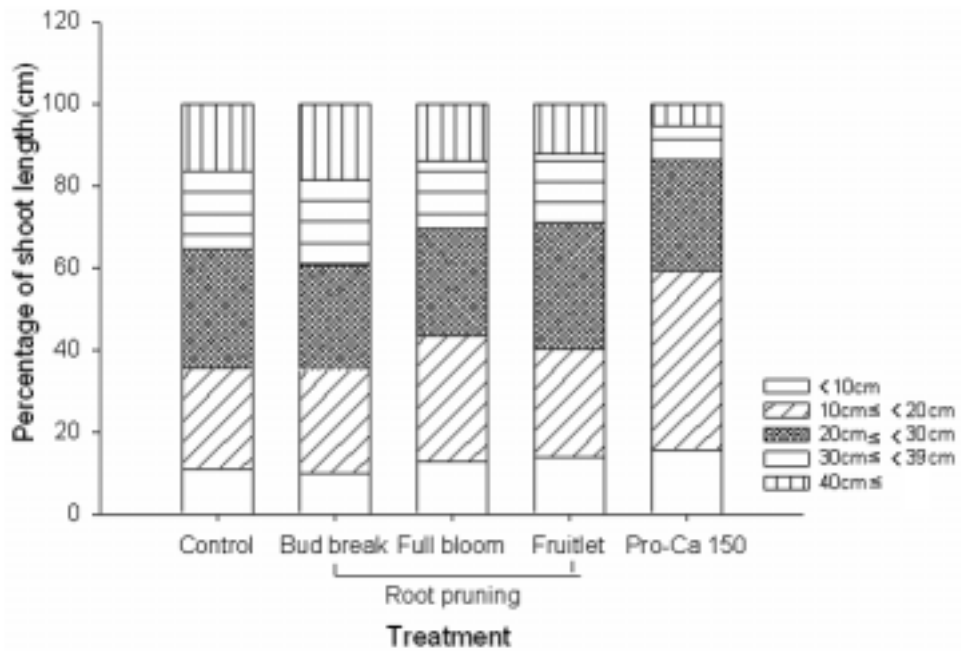


Fig.10. Distribution of shoot length on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees.

2) 뿌리 분포

단근부 안쪽 10cm 위치(원줄기에서 20cm)에서의 뿌리 건물중에 대한 단근부 바깥쪽 10cm 위치(원줄기에서 40cm)에서의 뿌리 건물중의 비율을 조사하였던 바, 무처리 76.5%에 비해 발아기 양쪽 단근처리와 만개기 양쪽 단근처리는 각각 62.3%와 56.1%로 단근부 바깥쪽의 뿌리 분포가 단근부 안쪽보다 현저히 낮음을 알 수 있었다. 만개기 한쪽 단근처리와 유과기 한쪽 단근처리에서는 각각 69.4%와 71.3%로 발아기 양쪽 단근처리와 만개기 양쪽 단근처리보다는 높은 수준이었으나 무처리보다는 낮았다(Fig. 11).

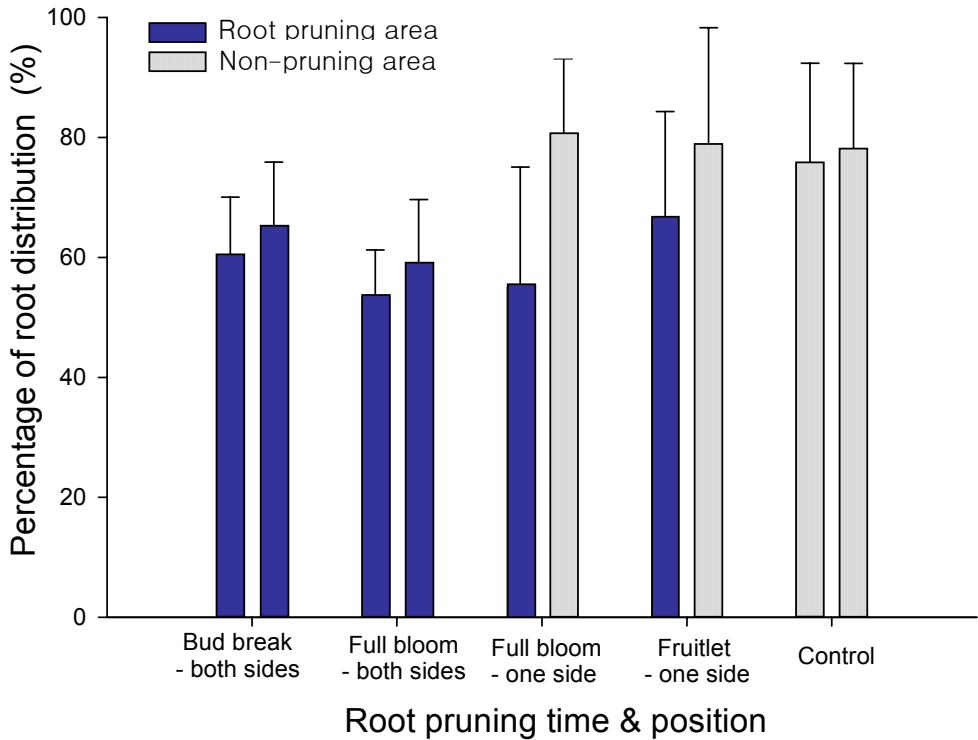


Fig. 11. Relative root distribution between root pruned area or 40cm from the trunk according to different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees. Roots in 2 replicate 34mm diameter samples in depth of 30cm per block were dry-weight and relatively compared dry weight in root pruned or 40cm from the trunk to those in 20cm from the trunk in the end of season.

3) 수관 하부의 광 투과율

단근처리에 의해 생장이 억제됨에 따라 수관하부 광 투과는 크게 높아지는 경향을 보였다(Fig. 12). 발아기와 유과기에 양쪽단근 처리를 한 경우, 수관 하부의 광 투과율이 32~34%에 달하여 무처리의 19.9%에 비해 수관 내 광환경이 크게 향상되었다. 단근에 의한 영양생장 억제가 비교적 적어 무처리와 통계적 유의성이 인정되지 않았던 만개기 및 유과기 한쪽 단근처리에서도 25% 내외의 광투과율을 보여 무처리에 비해 수관 내 광 조건이 뚜렷이 개선되었다.



Fig.12. Light penetration through the canopy on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees. ^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

4) 잎의 특성, 기공 컨덕턴스, 증산량과 수분포텐셜의 일변화

평균 엽면적을 보면(Table 23) 발아기 양쪽 단근처리가 24.8cm², 만개기 양쪽 단근처리가 25cm²로 무처리 27.8cm²에 비해 현저히 적어졌으나 생장 억제효과가 적었던 만개기 한쪽 단근처리, 유과기 한쪽 단근처리는 무처리와 비슷한 잎 크기를 보였다. 그러나 비엽중이나 시기별 엽록소 함량에 있어서는 처리 간 뚜렷한 경향은 없었다.

Table 23. Leaf characteristics on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees.

Root pruning time & position	Leaf area (cm ²)	Specific leaf weight (g/cm ²)	Nitrogen content (%)	SPAD value		
				Jun	Jul	Aug
Bud break - both sides	24.8 b ^z	7.9 a	2.8 a	45.4 a ^z	49.9 a	50.7 ab
Full bloom - both side	25.0 b	7.6 a	2.9 a	45.9 a	50.1 a	50.9 ab
Full bloom - one side	25.0 b	7.9 a	2.9 a	45.9 a	50.3 a	51.0 ab
Fruitlet - one side	28.8 a	7.7 a	2.9 a	45.4 a	50.8 a	51.9 ab
Control	27.8 a	7.9 a	2.8 a	44.0 a	49.7 a	50.5 b

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

기공 컨덕턴스의 일변화를 보면 이른 오전에 최대치에 달했다가 기온이 올라가고 증기압차가 커지면서 한낮에는 떨어지는 전형적인 양상을 보였다(Fig. 13a). 하루 중 무처리의 기공 컨덕턴스가 가장 높게 유지되었고 다음으로 만개기 한쪽 단근, 유과기 한쪽 단근 순이었다. 양쪽 단근의 경우 단근 시기에 관계없이 오전에는 무처리의 약 1/2, 한낮에는 약 1/3에 불과할 정도로 기공 컨덕턴스가 낮게 유지되었다.

증산량의 일변화를 보면 무처리는 오후에도 기공이 비교적 넓게 열려있어 기온이 높고 증기압차가 최대에 달한 12:30~15:30에 9.6~8.3mmol·m⁻²·s⁻¹의 높은 증산량을 보였으나 유과기 한쪽 단근, 만개기 한쪽 단근 순으로 기공이 일찍부터 부분적으로 닫힘에 따라 최대 증산량도 이에 비례해서 떨어지는 양상이었다(Fig. 13b). 발아기와 유과기 양쪽 단근의 경우 8시 30분 또는 9시 30분 부터 16시 30분까지 2.1~4.0mmol·m⁻²·s⁻¹에 불과하여 증산이 크게 제한되었다.

엽 수분포텐셜의 일변화는 처리별 차이가 그리 뚜렷하지 않았다(Fig. 13c). 일출 후 기공이 열려 증산이 시작되면서 모든 처리에서 엽 수분포텐셜이 급속히 떨어져 오전 10시부터 오후 3시까지는 2.0~2.6MPa 범위의 낮은 수분상태가 유지되다가 해가 기울어 기공이 닫히면서 서서히 수분포텐셜이 높아지는 양상을 보였다. 기공 컨덕턴스가 낮아 증산이 적게 이루어진 발아기와 만개기 양쪽 단근 처리구는 다른 처리에 비해 오히려 한낮의 수분포텐셜이 다소 높게 유지되었고 늦은 오후부터 수분회복은 타 처리에 비해 완만하게 진행되는 경향을 보였다.

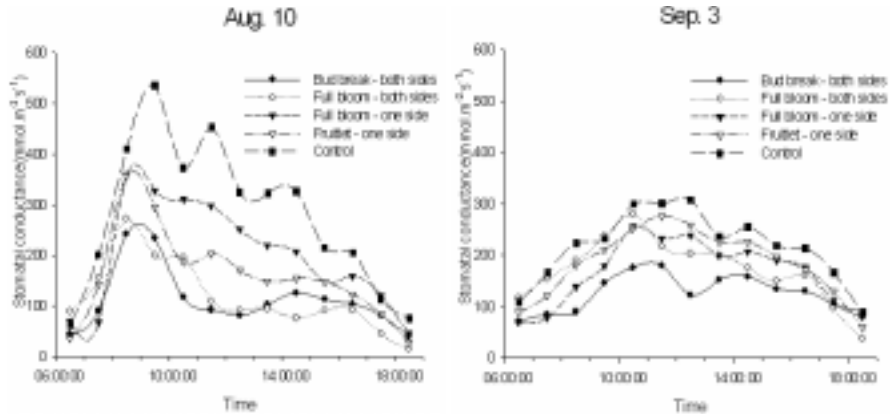


Fig. 13a. Diurnal change of stomatal conductance of 'Fuji' apple trees on M.9 rootstock according to the different root pruning treatments, on 10 August and 3 September in 2004.

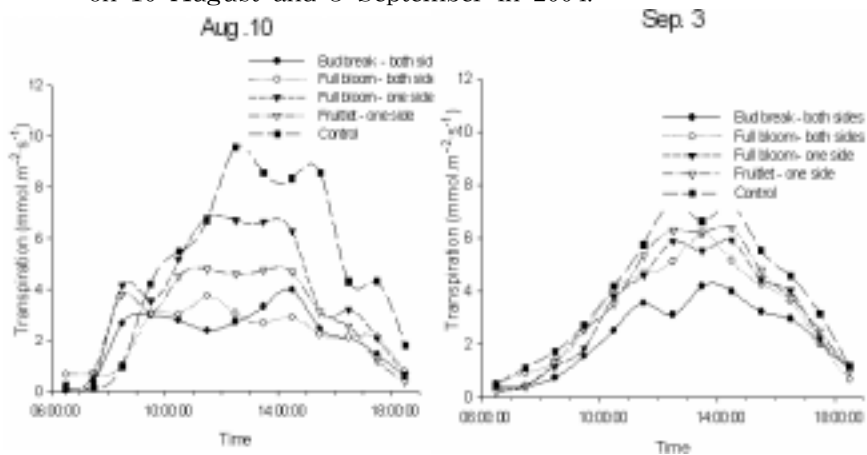


Fig. 13b. Diurnal change of transpiration of 'Fuji' apple trees on M.9 rootstock according to the different root pruning treatments, on 10 August and 3 September in 2004.

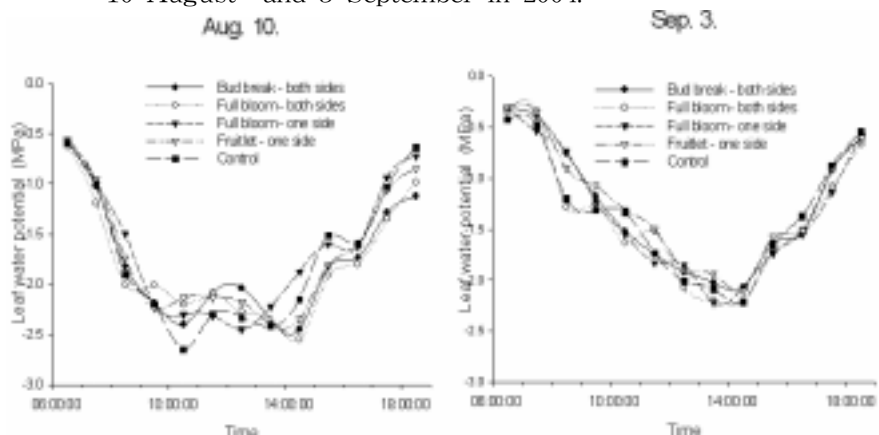


Fig. 13c. Diurnal change of leaf water potential of 'Fuji' apple trees on M.9 rootstock according to the different root pruning treatments, on 10 August and 3 September in 2004.

5) 수량, 과실 품질 및 익년 개화율

주당 수량을 보면(Table 24), 유과기 한쪽 단근이 24.8kg, 만개기 한쪽 단근이 22.5kg으로 무처리26.1kg에 비해 주당 1.3~3.6kg 감소하였으나 발아기 또는 만개기 양쪽 단근처리의 경우 19.8kg와 18.9kg에 불과하여 무처리와 비교하여 수량감소가 24.1% 또는 27.6%에 달하였다.

무처리는 평균 과중이 334.6g에 달할 정도로 비대가 양호하였고 만개기 또는 유과기 한쪽 단근 처리구의 경우 과중이 다소 떨어지기는 했으나 통계적 유의성이 인정될 수준은 아니었다(Table 24). 그러나 발아기 또는 만개기 양쪽 단근처리구의 경우는 281.3g과 294.1g으로 과실이 현저하게 작아졌다. 가용성 고형물의 함량은 단근의 강도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 경도는 과실이 작은 양쪽 단근처리구가 타 처리에 비해 높았으며 착색에 있어서도 단근의 강도가 높아 수관 내부로의 광 투과율이 높을수록 Hunter L과 b 값은 낮은 반면 a 값은 높게 나와 착색이 향상됨을 알 수 있었다(Table 25).

익년 개화율은 무처리 50.9%에 비해 단근처리구가 대체로 높게 나타나 유과기 한쪽 단근이 68.8%로 가장 높았고, 영양생장 억제가 현저하였던 발아기와 만개기 양쪽단근의 경우 각각 60.2%, 62.1%였다(Fig. 14).

Table 24. Yield per tree and fruit quality on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees.

Root pruning time & position	Number of fruit/tree	Yield/tree (kg)	Fruit weight (g)	Fruit L/D ratio	Fruit firmness (kg/cm ²)	Soluble solids content (°Brix)	Titratable acidity (%)
Control	78 a ^z	26.1 ab	334.6 a	0.86 a	5.8 a	14.3 d	0.30 ab
Bud break -both sides	70 a	19.8 b	281.3 c	0.85 a	5.6 bc	15.3 ab	0.29 b
Full bloom -both sides	67 a	18.9 b	294.1 c	0.85 a	5.2 c	15.5 a	0.30 ab
Full bloom -one side	69 a	22.5 bc	327.8 ab	0.86 a	6.2 a	14.9 bc	0.31 a
Fruitlet -one side	80 a	24.8 a	314.1 ab	0.86 a	6.2 a	14.7 dc	0.31 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

Table 25. Hunter value of fruit on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees.

Root pruning time & position	Hunter value		
	L	a	b
Control	47.0 ab ^z	19.7 b	14.4 ab
Bud break-both sides	41.0 d	22.8 a	12.0 d
Full bloom-both sides	44.0 c	21.0 ab	13.2 c
Full bloom-one side	46.2 bc	21.0 ab	14.0 bc
Fruitlet-one side	48.9 a	19.2 b	15.1 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

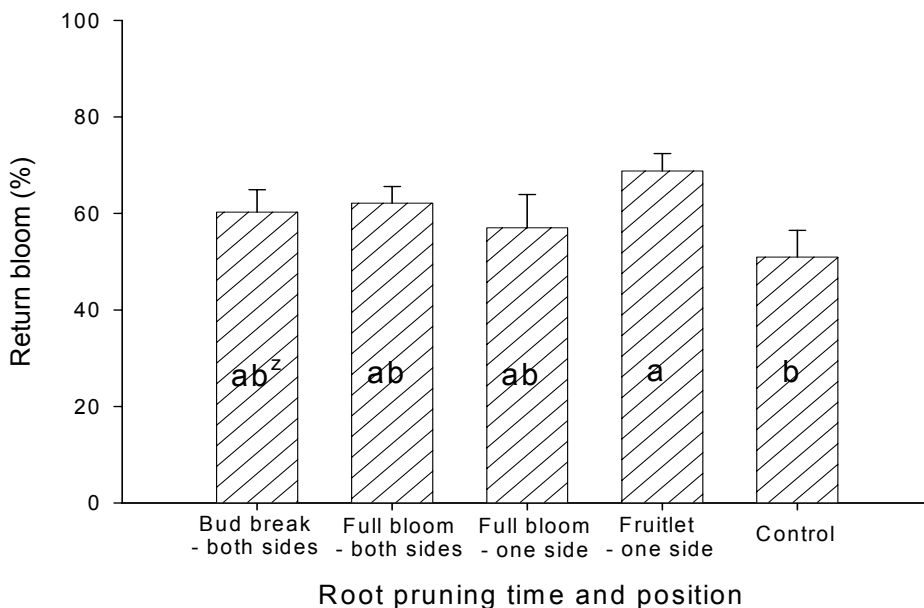


Fig. 14. Return bloom on different root pruning treatments in 'Fuji'/M.9 apple trees. ^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

나. 환상 박피를 통한 수세 안정화

< 1년차 시험 >

폭 3mm로 발아기, 만개기, 유과기에 환상박피처리를 한 처리구, 주간 30cm에서 양쪽으로 25cm 깊이로 단근한 처리구와 무처리인 대조구의 영양생장을 비교한 결과는 Table 26과 같다. 무처리의 영양생장이 가장 왕성하여 총 신초생량이 5,059cm에 이른 반면에 원줄기 30cm 거리에서 양쪽 단근처리구는 3,500cm에 불과하였다. 박피에 따른 신초생장 억제효과는 기대했던 것보다는 다소 떨어져 발아기와 만개기는 무처리의 78% 또는 75%의 총 신초생장량을 보였고 유과기 박피의 경우 무처리와 비슷한 수준이었다. 평균 신초장에 있어서도 단근처리구만 현저하게 짧았을 뿐 박피처리구는 무처리와 평균 신초장이 비슷하였다.

2차 생장에 있어서는 만개기 박피처리와 단근처리구가 가장 낮았다. 기타 TCA 증가, 신초직경, 엽특성 등에서는 처리 간 차이가 뚜렷하지 않았다.

익년 개화율에 있어서는 무처리 48%에 비해 박피처리구가 53.6~63%로 다소 높았고 그중 만개기 박피의 익년개화율이 가장 높았다. 단근처리구는 무처리와 비슷한 익년 개화율을 보였다(Table 27). 과실특성에 있어서는 처리 간 뚜렷한 경향을 보기가 어려웠다(Table 28).

Table 26. Effects of girdling at different phenological stages and root pruning, parallel to the both side-row of 30cm from the trunk to the depth of 25cm at full bloom, on vegetative growth and return bloom of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	Total shoot growth (cm)			Average shoot length (cm)	Number of shoots	Ratio of 2nd growth (%)
	1st	2nd	Total			
Control	4,949 a ^z	110 a	5,059 a	20.8 a	243 ab	5.4 ab
Bud break-3mm	3,783 ab	165 a	3,948 ab	20.4 a	190 b	8.1 a
Full bloom-3mm	3,761 ab	56 a	3,806 ab	17.6 ab	216 ab	2.1 b
Fruitlet-3mm	4,663 ab	153 a	4,817 ab	20.4 a	236 ab	5.4 ab
Root pruning	3,449 b	41 a	3,500 b	15.8 b	224 ab	2.4 b

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

Table 27. Effects of girdling at different phenological stages and root pruning on TCA increase, leaf characteristics and return bloom of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	TCA increase (cm ³)	Shoot diameter growth (mm)	Average leaf area (cm ²)	Specific leaf weight (g/cm ²)	Return bloom (%)
Control	5.8 a ^z	4.2 ab	26.0 a	8.7 a	48.0 b
Bud break-3mm	5.6 a	4.5 ab	23.8 a	8.7 a	53.6 ab
Full bloom-3mm	6.3 a	4.1 ab	26.2 a	9.3 a	63.8 a
Fruitlet-3mm	6.5 a	4.7 a	25.6 a	9.0 a	54.3 ab
Root cutting	6.7 a	3.6 b	23.8 a	8.2 a	56.5 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

Table 28. Effects of girdling at different phenological stages and root pruning on fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	Fruits of tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness (kg/cm ³)	Soluble solids content (°Brix)	Titrateable acidity (%)
Control	56 a ^z	290.3 a	6.7 a	13.4 ab	0.35 ab
Bud break-3mm	54 a	293.6 a	6.6 a	13.8 ab	0.34 ab
Full bloom-3mm	46 a	270.3 a	7.2 a	14.3 a	0.47 a
Fruitlet-3mm	57 a	292.6 a	6.9 a	12.8 b	0.33 b
Root cutting	45 a	274.8 a	6.7 a	14.4 a	0.37 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

< 2년차 시험 >

1년차 보다 수세가 좀 더 강하여 환상박피 폭을 5mm로 넓힌 2년차 시험에서는 3mm 폭으로 박피한 경우에 비해 영양생장 억제가 더 크게 나타났다. 환상박피 처리시기 간에는 발아기 환상박피가 신초생장억제 효과가 가장 크게

나타나 총신초 생장량이 무처리의 64%에 불과하였고 만개기 환상박피는 84%, 유과기 환상박피는 81% 수준이었다. Pro-Ca 200mgL⁻¹을 처리한 경우는 총신초 생장량이 무처리의 45% 수준에 불과할 정도로 생장억제가 탁월하였다. 평균신초장 역시 Pro-Ca 200mgL⁻¹ 처리와 발아기 환상박피처리가 타 처리에 비해 현저히 짧았다. 엽 특성 중에는 발아기 환상박피구가 타 처리에 비해 비엽중이 낮았고 질소함량도 낮은 경향을 보였다(Fig. 15).

2차 생장율은 환상박피시기가 가장 늦은 유과기 박피가 가장 낮았고 다음으로 Pro-Ca 200mgL⁻¹ 처리구였다(Table 29). 그러나 익년 개화율은 신초생장 억제정도와 무관하게 만개기 환상박피가 무처리 33.6%에 비해 86%로 가장 높았고, 의외로 생장억제가 가장 컸던 발아기 환상박피는 박피처리 중에서는 가장 낮은 66.5%였다. 영양생장이 가장 적었던 Pro-Ca 200mgL⁻¹ 처리구는 무처리와 비슷한 44.3%의 익년개화율을 보였다(Table 30). 과실품질에 있어서는 처리 간 뚜렷한 경향이 없었다(Table 31).

Table 29. Effects of girdling at different phenological stage and Pro-Ca application on vegetative growth of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	Total shoot growth (cm)			Average shoot length (cm)	Number of shoots	Ratio of 2nd growth (%)
	1st	2nd	Total			
Control	5,507 a ^z	432 a	5,939 a	28.5 a	211 a	8.5 a
Bud break-5mm	3,749 bc	68 b	3,817 bc	18.0 b	207 a	4.2 ab
Full bloom-5mm	4,843 ab	146 b	4,989 ab	25.2 a	199 a	5.3 ab
Fruitlet-5mm	4,719 ab	83 b	4,801 ab	28.4 a	167 a	1.5 b
Pro-Ca (200mgL ⁻¹)	2,501 c	145 b	2,645 c	15.5 b	169 a	3.8 ab

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

Table 30. Effects of girdling at different phenological stage and Pro-Ca application on TCA increase, leaf characteristics and return bloom of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	TCA increase (cm ²)	Average leaf area (cm ²)	Specific leaf area (g/cm ²)	Nitrogen (%)	Return bloom (%)
Control	4.4 a ^z	29.1 a	8.6 a	2.6 ab	33.6 b
Bud break-5mm	4.5 a	32.9 a	7.3 c	2.4 b	66.5 a
Full bloom-5mm	7.2 a	31.0 a	8.2 ab	2.5 ab	86.0 a
Fruitlet-5mm	3.3 a	33.6 a	7.8 bc	2.6 ab	74.8 a
Pro-Ca (200mgL ⁻¹)	4.5 a	29.1 a	7.7 c	2.8 a	44.3 b

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

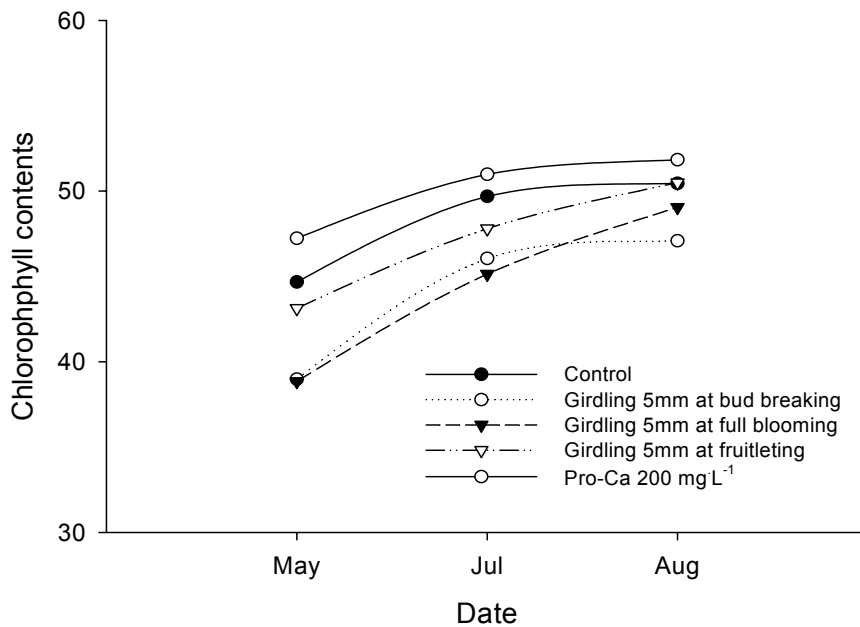


Fig. 15. Seasonal change of leaf chlorophyll content in girdling 'Fuji'/M.9 apple trees.

Table 31. Fruit quality from different girdling type of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	Fruits of tree	Fruit weight (g)	Fruit firmness (kg/cm ³)	Soluble solids content (°Brix)	Titrateable acidity (%)
Control	90 a ^z	342.9 a	7.2 b	14.3 a	0.29 a
Bud break-5mm	91 a	333.2 ab	7.8 a	14.5 a	0.30 a
Full bloom-5mm	80 a	333.9 ab	7.8 a	14.7 a	0.28 a
Fruitlet-5mm	95 a	302.6 b	7.4 b	15.0 a	0.28 a
Pro-Ca (200mgL ⁻¹)	78 a	322.1 ab	7.2 b	14.2 a	0.31 a

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

4. 고찰

가. 단근을 통한 수세 안정화

원줄기에 가깝게 단근을 하여 잘리는 뿌리의 양이 많을수록 그 효과는 크게 나타나기 때문에 대목의 종류와 수세에 따라 원줄기 15cm에서부터 100cm 까지 양쪽 또는 한쪽을 절단하여 단근의 강도를 조절하는 것이 일반적이다 (Geisler & Ferree, 1984; Bradlwarter & Knoll, 1996; Ferree & Schupp, 2003; Beratungsring, 2005). 대부분의 사과나무 뿌리가 작토층에 분포하므로 단근의 깊이에 따른 수체 생장 억제에 있어 뚜렷한 차이는 없다 (Shupp & Ferree, 1988). 단근에 의한 신초생장 억제효과는 해에 따라 달리 나타나기 때문에 재배지, 품종, 토양조건, 수세 등을 고려하여 단근정도를 결정하여야 한다 (Beratungsring, 2005). 우리나라에서 M.9 대목을 이용한 고밀식 사과 재배체계의 모델로 삼고 있는 이태리 남티롤의 경우, 토심이 깊은 토양에서 수세가 강하고 대과인 품종에서는 원줄기에서 30~40cm 거리에서 양쪽으로 절단하는 것을 추천하고, 경사지나 배수가 잘되는 토양, 중소과인 품종에서는 원줄기 15~20cm 거리에서 한쪽만 뿌리를 자르도록 추천하고 있다 (Beratungsring, 2005).

원줄기 30cm 거리에서 25cm 깊이로 양쪽을 단근한 1년차 시험에서 발아기,

만개기, 유과기 등 단근의 시기에 관계없이 총 신초생장 억제 효과가 15% 내외로 다소 적었음에 비하여 발아기와 유과기에 원줄기 30cm 거리에서 30cm 깊이로 양쪽을 단근한 2년차 시험에서는 무처리 대비 각각 45.5%, 41.5%에 달하는 현저한 생장억제 효과가 있었다. 1년차 시험의 경우 이중접목묘로 20cm 이하에 실생대목의 뿌리가 분포하고 있는데다 점적관수를 하였기 때문에 관수라인을 따라 대부분의 뿌리가 분포하기 때문에 단근처리로 잘려나간 뿌리의 비율이 비교적 적은 반면, 2년차 시험의 경우 M.9 자근 대목 사과나무인데다 polypropylene 필름으로 피복된 상태에서 스프링클러 관수를 하여 근계가 얇고 넓게 분포되어 절단된 뿌리가 상대적으로 많았기 때문에 이러한 상반된 결과가 나온 것으로 판단된다.

뿌리가 잘리면 엽수가 적어질 뿐 아니라 잎의 크기가 작아지기 때문에 총 엽면적이 줄어들고 따라서 신초의 생장과 뿌리의 발달은 물론 줄기의 비대생장이 억제되면서 단가지(spur)의 비율이 높아진다는 사실은 잘 알려져 있다 (Shupp & Feree, 1987, 1988; Feree, 1992; Bradlwarter & Knoll, 1996; Khan 등, 1998). M.9 자근대목 사과나무에 대한 2년차 시험에서 원줄기 30cm 거리에서 30cm 깊이로 양쪽 단근을 했을 때 세력이 지나치게 떨어지는 문제가 있었으나 만개기 한쪽 단근의 경우 무처리에 비해 총 신초생장 9.2%, 총 신초수 7.1%와 TCA 증가량이 6.6% 정도 떨어져 급격한 수세 저하는 없었다. 그러나 M.9/실생의 이중접목 사과나무에서 비슷한 수준의 (원줄기 30cm 거리, 25cm 깊이) 단근에서는 무처리 대비 약 15% 수준의 생장억제 효과가 있었다.

우리나라는 M.9 대목을 이용한 고밀식 사과원에서 평균 신초 길이가 20~25cm 범위를 적정 수세기준으로 보고 있다 (Shin 등, 2004). 이러한 기준에서 보면 2년차 M.9 자근 사과나무에서 발아기와 만개기의 양쪽 단근의 경우 평균 신초장이 각각 16.5cm와 14.9cm에 불과하므로 단근의 정도가 지나치게 강했으나 만개기 또는 유과기 한쪽 단근의 경우 적절한 수세 범위에 있었다. 그러나 M.9/실생의 이중접목 사과나무에서 양쪽 단근의 경우는 평균 신초장이 만개기 24.9 ~ 발아기 27.8cm로 수세가 여전히 강하였으나 Pro-Ca 150 mgL⁻¹ 처리구는 19.3cm로 적정 수세 범위에 있었다.

본 시험에서와 같이 단근을 통해 지상부와 지하부간 균형이 깨지면 이의 복원을 위해 가지의 자람에 우선하여 뿌리가 자라는 특성을 갖고 있다 (Krammer & Kozlowsky, 1979). 본 연구에서도 11월 말에 단근 바깥쪽의 뿌리의 밀도가 단근 안쪽 밀도의 56~62% 수준까지 달하여 단근에 따른 사과나

무 뿌리의 복원력이 매우 큼을 확인할 수 있었다.

영양생장이 억제됨에 따라 수관내 광환경이 개선되는 것은 당연한 결과이다(Schupp & Ferree, 1987, 1988; Retamales 등, 2004). Han과 Yoon(2001)은 '후지' 품종에서 상품화가 가능한 과실을 생산하기 위해서는 결실부 광투과율이 적어도 30% 이상이어야 한다고 하였는데 본 연구의 2년차 시험에서는 수관 하단부의 투광율이 시기에 관계없이 양쪽 단근의 경우 32~34%, 한쪽 단근의 25%에 달하여 수관내 광환경이 개선되었다. 따라서 단근으로 과실의 크기는 작아졌으나 착색과 당도는 향상되었으며 익년 개화율도 높아졌다(Faby & Themann, 1996; Khan 등 1998).

사과나무는 토양으로부터 수분 흡수가 여의치 않아 일정 수준의 엽 수분 유지가 어려워지면 feedforward 기작으로 기공을 닫아 수분의 손실을 최소화하는 특성이 있고(Yoon & Richter, 1991), 심한 수분 스트레스 조건하에서도 팽압을 유지할 수 있다(Yoon, 1995). 본 연구에서도 단근처리구의 경우 공중 습도가 높고 기온이 낮은 이른 아침에는 기공을 열어 광합성을 하다가 기온이 올라가고, 대기와 엽간의 증기압차가 커지면 광합성에는 불리하더라도 미리 기공을 닫아 증산을 억제함으로써 무처리와 비슷한 수준의 엽 수분포텐셜을 유지하였다. 양쪽 단근 처리구에서 영양생장이 억제되어 수세가 크게 떨어지고 과실비대도 불량한 것은 신초 생장억제와 엽의 발달 부진으로 엽면적이 크게 줄어들었을 뿐 아니라 수분유지를 위해 하루 중 기공이 닫혀있는 기간이 길어 동화물질 생산이 무처리에 비해 크게 저하된데 그 원인이 있는 것으로 판단된다(Geisler & Ferree, 1984; Retamales 등, 2004; Schupp 등, 1992; Schupp & Ferree, 1990).

단근 처리시 과실비대가 억제되고 수량이 떨어진다는(Ferree, 1992; Khan 등 1998; Schupp & Ferree, 1987, 1992). 그러나 과실의 크기는 우리나라에서 사과 상품성을 결정짓는 중요한 요인이므로 단근 정도가 심한 양쪽 단근 처리가 수세안정의 효과는 커지만 과실이 크기가 작아지면 문제가 된다. M.9/실생의 이중 접목사과나무에서 양쪽으로 단근처리를 한 경우 영양생장 억제가 다소(15% 내외) 이루어지면서 과실 크기나 품질에 미치는 부정적 영향도 없어 문제가 되지 않았으나 M.9 자근대목의 사과나무에서 행한 2년차 시험에서 만개기 양쪽 단근의 경우 당도와 착색 등 과실 품질은 좋아지나 주당 수량이 무처리의 72.4%, 발아기 양쪽 단근은 75.9%에 불과하고 과중도 무처리보다 40~53g이나 감소하므로 경제적인 관점에서 바람직하지 않았다. 그러나 한쪽

단근의 경우 평균 과중이 다소 떨어지기는 하나 착색이나 당도에서 유리하고 주당 수량도 무처리 85~90%에 달하여 수세가 강한 경우 적용이 가능할 것으로 생각된다.

결론적으로 점적관수하고 있는 M.9/실생 사과나무의 경우 수세가 강할 경우 원줄기 30cm 거리에서 열을 따라 양쪽으로 25cm 깊이로 단근을 하면 과실품질이나 수량에 나쁜 영향을 미치지 않고 15% 내외의 영양생장을 억제하면서 화아분화에도 유리하게 작용을 하여 응용 가능한 것으로 판단되었다. 그러나 스프링클러로 관수하는 M.9 자근 사과나무의 경우 발아기나 유과기에 원줄기에서 30cm 거리에서 30cm 깊이로 양쪽으로 단근을 하는 것은 과실비대 뿐만 아니라 수세를 지나치게 약화시키므로 바람직하지 않고, 만개기에 한쪽만 단근하는 것은 과실의 비대나 영양생장에 최소한의 영향을 미치면서 수관내 광환경 개선되고 익년개화율을 높여주므로 수세가 강한 '후지' 품종에서 단기간에 수세를 안정시키고자 할 경우 적용 가능한 기술로 판단되었다.

나. 환상박피를 통한 수세 안정화

환상박피는 사과나무의 수세를 떨어뜨리고 꽃눈형성과 착과를 촉진시키는 데 아주 유용하게 이용되는 오래된 재배기술 중의 하나이다(Forshey & Elfving, 1989). 환상박피는 꽃눈분화가 개시되기 3~5주 전(5월 중순~6월 초순)에 실시하면 꽃눈형성이 많아진다고 한다(변, 1999). 그러나 Knoll과 Österreicher(1996)에 따르면 생장억제를 위한 절피 적기는 휴면기 동안이며 절피 시기가 늦어질수록 즉, 발아 후 만개기까지는 상처가 일찍 아물기 때문에 생장억제 효과가 그 만큼 줄어들었다고 하였다. 본 연구에서도 이와 같은 경향을 보여 박피시기가 빠를수록 즉, 발아기 환상박피가 신초생장이 일찍 정지되어 영양생장이 적음을 확인할 수 있었다(Ferree & Palmer, 1982). 이는 절피로 인해 뿌리부분의 저장양분이 발아하여 자라는 신초로 전류되지 못하여 신초의 생장이 일찍 정지될 뿐 아니라 전개된 잎의 엽록소 함량이 낮고 엽내 질소함량도 낮아 동화양분을 충분히 만들지 못했기 때문으로 추정된다(Miller & Tworkoski, 2003). 더구나 발아기는 사과나무의 대사 작용이 아직 왕성하지 않은데다 기온도 낮아 상처조직이 만개기 또는 유과기에 비해 늦게 아무는 것도 한 원인으로 보여 진다. 발아기 환상박피에서 영양생장이 가장 적음에도 2년차의 익년개화율이 66.5%로 무처리 33.6%에 비해서는 높았으나 만개기 또는 유과기 환상박피의 86%와 74.85에 비해 낮았는데 화아분화와 화기 발달이

이루어지는 7월과 8월에 아직 엽록소 함량이 타 처리에 비해 낮고 엽내 질소 함량도 낮아(Fig. 15) 상대적으로 동화능력이 떨어진데 그 원인이 있는 것으로 추정된다(Ferree & Palmer, 1982).

유과기 환상박피에서 평균 신초장이 무처리와 차이를 보이지 않는 것은 박피를 한 5월 7일은 신초생장이 왕성하게 이루어지는 시기로 이때는 양분전환기를 지나 앞에서 합성된 동화양분으로 신초생장이 이루어지기 때문에 환상박피의 영향으로 신초생장이 영향을 받기전인 5월 하순에 신초가 거의 정지하였기 때문에 신초생장 억제에 미치는 환상박피의 효과가 경미하였던 것으로 추정된다(Miller & Tworkoski, 2003).

박피의 폭이 넓을수록 새로운 박피가 자라나 원상으로 회복되기까지 걸리는 시간이 길기 때문에 그 만큼 박피효과는 커진다. 그러나 지나치게 박피폭이 넓으면 뿌리로의 양분공급이 차단되므로 뿌리의 세력이 급격히 떨어지고 나아가 나무 전체의 세력이 약해진다. 왜성대목의 적정 박피 폭은 3-5mm라고 한다(변, 2002). 본 연구에서 1년차의 3mm 폭의 절피처리구가 2년차의 5mm 절피에 비해 영양생장 억제가 크지 않았고, 익년개화율도 높지 않았다. 절피시기간에도 익년개화율의 차이가 없었던 것은 절피폭이 좁아 신초생장 초기에 상처가 아물었기 때문으로 생각된다.

만개기(5월 2일) 박피의 경우 신초가 다소 일찍 정지하고 절피에 따른 엽록소 함량이 크게 떨어졌으나 상처가 아물면서 8월에는 무처리와 비슷한 수준으로 회복된 것으로 보아 늦어도 8월에는 광합성이 정상적으로 이루어져 신초생장이 억제되어 동화양분의 신초 내 축적이 일찍부터 이루어지고 더구나 환상박피 상부에서 생성된 동화양분이 수피부를 통하여 내려가지 못하게 되므로 동화양분이 지상부의 가지와 눈에 다량 축적되어 꽃눈분화가 충분하게 이루어진 것으로 생각된다.

따라서 발아기의 환상박피는 영양생장은 크게 억제시키나 화아분화에 미치는 영향은 떨어지고, 만개기 또는 유과기의 환상박피는 꽃눈분화는 확실하게 촉진시키나 신초생장 억제에 미치는 영향은 적기 때문에 목적에 따라 박피의 폭은 물론 시기를 조절할 필요가 있는 것으로 생각된다.

5. 요약

가. 단근을 통한 수세 안정화

1년차는 M.9/실생의 2중 접목된 'Misima Fuji' 에 대해 발아기, 만개기, 유과기에 각각 원줄기에서 30cm에서 양쪽으로 25cm 깊이 단근한 처리구, Pro-Ca 150mg·L⁻¹를 받아 초기(정단신초 10cm)에 엽면 살포한 처리구, 대조구로 무처리를 두고 영양생장과 과실품질 및 익년개화율 등을 조사하였다. 신초생장은 Pro-Ca 150mg·L⁻¹처리의 경우 총신초생장이 무처리 대비 55.4%에 불과하였으나 단근처리는 시기에 관계없이 75% 내외였다. 과실품질에는 처리간의 뚜렷한 차이가 없었고 익년 개화율은 무처리 74.2%에 비해 유과기 단근이 81.1%로 다소 높았다.

2년차는 자근의 '후지'/M.9에서 발아기, 만개기, 유과기에 원줄기에서 30cm에서 양쪽으로 30cm 깊이 단근처리를 하였던 바 발아기 양쪽과 만개기 양쪽 단근 처리의 경우 총 신초 성장량이 무처리의 54.4%와 58.4%에 불과할 정도로 수세가 지나치게 약화되었고 과실비대도 크게 떨어져 당년의 주당 수량이 무처리의 75.4%와 70.9%로 감소하였다. 그러나 만개기 또는 유과기에 한쪽만 단근하는 경우 양쪽 단근에 비해 영양생장 억제 효과는 낮았으나, 과실비대 및 당년 주당 수량에서 감소는 크지 않았다. 반면에 수관내 광환경은 뚜렷하게 개선되어 당도와 착색이 향상되었으며 익년 개화율도 높아졌다.

M.9/실생의 이중접목 사과나무의 경우 지면 20cm 이하의 실생대목의 뿌리가 아직 퇴화하지 않은데다 점적관수를 하였기 때문에 관수라인을 따라 대부분의 뿌리가 분포하기 때문에 단근처리로 잘려나간 뿌리의 비율이 비교적 적은 반면, 2년차 시험의 경우 M.9 자근 대목 사과나무인데다 polypropylene 필름으로 피복된 상태에서 스프링클러 관수를 하여 근계가 얇고 넓게 분포되어 절단된 뿌리가 상대적으로 많았기 때문에 이러한 상반된 결과가 나온 것으로 판단된다.

결론적으로 점적관수를 하여 근계의 폭이 좁고 깊게 발달한 M.9/실생의 이중접목묘에서는 원줄기 30cm 거리의 양쪽단근 처리가 수세 안정에 효과적인 방법이 되나, 수관하부를 피복하고 스프링클러로 관수한 M.9 자근대목에서는 과실비대 뿐 아니라 수세를 지나치게 약화시키므로 바람직하지 않다. 그리고 만개기에 한쪽만 단근하는 것은 과실의 비대나 영양생장에 최소한의 영향을 미치면서 수관내 광환경 개선되고 익년개화율을 높여주므로 수세가 강한 '후지' 품종에서 단기간에 수세를 안정시키고자 할 경우 적용 가능한 기술로 판단되었다.

나. 환상박피를 통한 수세 안정화

1년차에는 폭 3mm로 발아기, 만개기, 유과기에 환상박피처리를 한 처리구, 주간 30cm에서 양쪽 25cm 깊이로 단근한 처리구와 무처리인 대조구의 영양생장을 비교한 결과 박피에 따른 신초생장 억제효과는 기대했던 것보다는 다소 떨어져 발아기와 만개기는 무처리의 78% 또는 75%의 총신초 성장량을 보였고 유과기 박피의 경우 무처리와 비슷한 수준이었으며, 단근처리는 70% 수준의 생장억제를 보였다. 익년 개화율에 있어서는 무처리 48%에 비해 박피처리구가 53.6~63%로 다소 높았고 그 중 만개기 박피의 익년개화율이 가장 높았다. 단근처리는 무처리와 비슷한 익년 개화율을 보였다.

1년차 보다 수세가 좀 더 강하여 환상박피 폭을 5mm로 넓힌 2년차 시험에서는 3mm 폭으로 박피한 경우에 비해 영양생장 억제가 더 크게 나타났다. 환상박피 처리시기 간에는 발아기 환상박피가 신초생장억제 효과가 가장 크게 나타나 총신초 성장량이 무처리의 64%에 불과하였고 만개기 환상박피는 84%, 유과기 환상박피는 81% 수준이었다. 발아기 환상박피구가 타 처리에 비해 비엽중이 낮았고 엽내 질소함량도 낮은 경향을 보였다. 2차 성장율은 환상박피시기가 가장 늦은 유과기 박피가 가장 낮았고 다음으로 Pro-Ca 200mgL⁻¹ 처리구였다. 그러나 익년 개화율은 신초생장 억제정도와 무관하게 만개기 환상박피가 무처리 33.6%에 비해 86%로 가장 높았고, 의외로 생장억제가 가장 컸던 발아기 환상박피는 박피처리 중에서는 가장 낮은 66.5%였다. 영양생장이 가장 적었던 Pro-Ca 200mgL⁻¹ 처리구는 무처리와 비슷한 44.3%의 익년개화율을 보였다.

결론적으로 발아기의 환상박피는 영양생장은 크게 억제시키나 화아분화에 미치는 영향은 떨어지고, 만개기 또는 유과기의 환상박피는 꽃눈분화는 확실하게 촉진시키나 신초생장 억제에 미치는 영향은 적기 때문에 목적에 따라 박피의 폭은 물론 시기를 조절할 필요가 있는 것으로 생각된다.

제 3절 고밀식 사과원 수세 강한 사과나무에서의 수고제한 방법

1. 서 론

M.9 대목을 이용한 고밀식 키 낮은 사과재배에서의 추천 재식거리는 3.0~3.5 × 1.0~1.5m이고 세장방추형을 기본 수형으로 하고 있다. 같은 재식거리에서는 수고에 따라 수관용적이 결정되기 때문에 수고를 높이면 수량이 높아지는 반면 전정, 적과, 병해충 방제, 수확 등 관리 작업은 그만큼 어려워지는 문제가 있다. 또한 수고가 높아지면 나무의 세력을 자람 방향으로 자연스럽게 흡수할 수 있어 수세를 안정되게 유지하는 것이 쉬운 반면 하단부에 그늘을 많이 지워 이 부분에 결실된 사과의 품질이 나빠질 수 있다.

사과나무의 수고는 기후조건, 재배기술, 경영여건에 따라 달라진다. 위도가 높아 햇빛이 제한요인으로 작용할 수 있는 네덜란드, 북독일 등에서는 수고를 낮추어 수관하부의 채광이 좋도록 하는 반면, 햇빛이 충분하고 일소 위험이 있는 이태리, 프랑스, 미국 워싱턴주 등에서는 수고를 높게 하는 경향이 있다. 유럽에서는 일반적으로 열간 거리/2+1m를 적정수고로 삼고 있는데 이러한 관점에서 보면 우리나라의 적정수고는 2.5~2.75m라고 볼 수 있다. 일반적으로 작업의 효율성으로 본다면 주 결실부위가 2.5m로 제한하는 것이 바람직하므로 원줄기의 높이를 이 범위로 제한하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

사과나무는 정부우세현상이 강하여 해가 지날수록 위쪽은 복잡해지고 아래쪽까지는 노쇠하게 되는데 이렇게 되면 지나치게 왕성한 선단에 의해 아래 부분에 그늘이 많아져 품질이 떨어지고 나무는 더욱 위로 자라게 된다. 이러한 나무에서 자연스럽게 수고를 제한하면서 세장방추형의 수형을 유지하기 위해서는 전정과 유인을 통해 나무의 형태를 세장방추형으로 만들고 유지시켜야 한다. 자연스럽게 수고를 제한하기란 쉽지 않고 대개의 경우 일정 높이 이상으로 수고가 높아지면 연차적으로 수고를 제한하여 반발생장을 최소화하는 것이 좋다.

본 실험은 고밀식 재배과원에서 세력이 왕성하거나 적정 수고 이상으로 자란 나무에서 나무의 반발을 최소화하면서 수고를 제한하고 선단의 생장을 안정시킬 수 있는 방법을 모색하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

경북대학교 농업생명과학대학 부속 과수원의 재식 7년차 '후지'/M.9 사과 나무(재식거리 3.5×1.5m)에 대해 본 시험을 수행하였다. 수고가 약 3.5m에 달하고 비교적 수세가 강하면서 균일한 나무를 선정하여 2월 상순에 수고 2m까지는 관행에 따라 전정을 한 다음 아래와 같은 처리를 하였다.

TR-1 : 2월 11일에 지면 2.5m에서 주간을 절단하여 관행대로 전정하고 대조구로 삼았다.

TR-2 : TR-1과 같이 전정하고 NAA 2%를 섞은 톱신 페이스트를 절단부위에 도포하였다.

TR-3 : TR-1과 같이 전정을 한 다음, 상단부 신초가 약 5cm 자란 4월 23일에 1.5m 높이에서부터 Pro-Ca 250mg·L⁻¹을 살포 하였다.

TR-4 : TR-1과 같은 방법으로 전정을 하되 주간 절단을 3m 높이에서 하였다가 유과기인 5월 11일에 2차로 2.5m에서 주간을 절단하였다.

TR-5 : 2월 11일에 주간을 그대로 둔채 2.5m 높이 까지 관행에 따라 전정을 하고 만개기에 지상부 2.5m에서 주간을 절단하였다.

TR-6 : TR-5와 같은방법으로 전정을 하고, NAA 2%를 섞은 톱신페이스트를 절단면에 도포하였다.

시험구배치는 1주를 1블록으로 하여 완전임의 7반복으로 하였다.

생장조사는 2m 높이에서의 주간직경을 발아전과 낙엽후에 각각 조사하여 직경 성장량을 산출하였고 휴면기 때 2m 높이 이상에서 자란 신초 수와 길이를 높이별로 조사하였다. 각각 주간직경은 실험 시작과 끝나기 전에 겨울에 수고 2m 높이에서 조사하였으며, 신초수와 총신초 성장량은 낙엽기에 조사였다. 익년 개화율은 지면 2m 이상에서의 정아 수에 대한 화아 수의 비율로 나타내었다.

과실품질은 높이 1.5m 이상 수관에서 착과된 과실을 수확하여 시험 1에서와 같은 방법으로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

휴면기 관행에 따라 전정한 대조구 TR-1이 타 처리에 비해 지면 2m 높이 즉, 절단면 50cm 아래쪽 주간 단면적비대량이 6.5cm^2 로 가장 많았고 휴면기에 3m 높이로 주간을 절단했다가 유과기에 추가로 2.5m 높이까지 절단한 TR-4이 4.2cm^2 로 가장 적었으나 처리 간 유의성은 인정되지 않았다. 전정처리인 주간절단에 따른 반발생장이 가장 적은 처리구는 휴면기 때 2.5m 높이에서 주간을 절단하고 절단면에 NAA 2%를 도포한 TR-2였다(Table 32). 2m 이상 높이에서의 신초수가 20.9개로 대조구 42.4개에 비해 현저히 적었고 평균 신초 길이도 24.2cm에 불과하여 총신초 성장량도 감소하였다. 관행에 따라 전정한 Pro-Ca $150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 처리한 후 TR-3, 주간을 휴면기와 유과기 2회에 걸쳐 절단한 TR-4, 만개기 절단후 NAA 2%를 도포한 TN-6이 휴면기에 관행에 따라 주간을 절단한 TR-1에 비해 다소 신초 성장량이 적은 경향을 보였으나 통계적 유의성이 인정될 정도로 차이가 크지는 않았다. 각 처리별 대표적인 나무에서의 2m 이상 높이에서의 신초의 길이별 분포를 보면 그림 16~17과 같다. 휴면기 전정후 NAA 2% 도포한 TR-2에서 신초 수가 현저히 적으면서 그 길이도 짧은 것을 알 수 있었고 전정후 4월 23일에 지베렐린 생합성 억제제인 Pro-Ca을 살포한 처리에서도 짧은 가지의 비율이 현저히 높았다.

Blacon Brana and Jackson(1982)에 따르면 절단면에 NAA를 도포하면 절단면을 통해 흡수어 하단부로 30cm까지 이동해 가면서 도장지 발생을 억제한다고 한다. 여러 연구자들이 사과나무에서 보고한 바와 같이(Miller & Ware 1980; 심 등, 1983; Poniedzialek & Nosal, 1986; Vigl, 1999) 본 연구에서도 NAA의 절단면 도포가 도장지 발생을 억제하여 나무의 수세를 안정시킨다는 결과를 얻었다. 그러나 본 연구에서 휴면기에 NAA를 도포한 경우는 도장지 발생이 크게 억제되었으나 만개기에 주간을 절단하고 NAA를 도포한 경우에는 도장지 발생억제 효과가 크지 않았는데 이는 심 등(1983)의 보고와는 다소 상반되는 결과로 이에 대한 추가 시험이 필요하다고 본다.

Pro-Ca 살포가 신초의 성장을 억제한다는 보고는 많고(Medjdoub 등, 1998; Blanco, 2003; Bask & Rademacher, 2000) 제 3장 1절의 연구에서도 이러한 사실이 확인되었다. 그러나 주간을 강하게 절단하고 Pro-Ca을 처리한 본 연구에서는 짧은 가지의 비율이 높았음에도(Fig. 17) 총 신초 성장량이 비교적 많고 평균 신초장은 무처리와 비슷한 결과를 보인 것은 Pro-Ca이 성장

초기에는 신초생장을 크게 억제하였으나 Pro-Ca의 효력이 끝난 후에는(처리 약 3주 후) 강 전정에 따른 도장지의 왕성한 생장을 억누르지 못하여 일부 세력 좋은 가지가 늦게 까지 자람을 계속했기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 Pro-Ca을 이용한 주간 절단후 수관 상단부 생장에 관한 연구는 살포회수에 대한 추가 시험이 있어야 할 것으로 생각된다.

휴면기 전정 후 NAA 2% 도포 처리구는 대조구에 비해 2m 이상 수관의 익년 개화율이 높았고 타 처리구는 오히려 낮았으나 개체 간에 편차가 심해 처리구간에 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

Table 32. Effects of different heading methods on vegetative growth and return bloom in upper canopy part above 2m in height of 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment ^y	TCA increase at 2m height (cm ²)	Total shoot length (cm)	Average shoot length (cm)	Number of shoots	Return bloom in over 2m (%)
TR-1	6.5 a ^z	1,663 a	37.8 a	42.4 a	71.8 a
TR-2	5.2 a	589 b	24.2 a	20.9 b	77.3 a
TR-3	5.6 a	1,389 a	31.8 a	45.1 a	60.3 a
TR-4	4.2 a	1,354 a	35.5 a	35.0 ab	60.6 a
TR-5	6.0 a	1,664 a	37.7 a	43.1 a	56.7 a
TR-6	6.0 a	1,239 ab	36.6 a	34.5 ab	59.0 a

^z means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

^y : Trees were headed to 2.5m in height on 11 Feb.(TR-1), to 2.5m in height on 11 Feb + 2% NAA (Naphthaleneacetic acid) pasting to cutting surfaces(TR-2), to 2.5m in height on 11 Feb. + 250ppm Pro-Ca spray on 23 April(TR-3), to 3.0m in height on 11 Feb. + re-headed to 2.5m in height on 11 May(TR-4), to 2.5m in height at full bloom(TR-5) or to 2.5m in height at full bloom + 2% NAA pasting to cutting surfaces(TR-6).

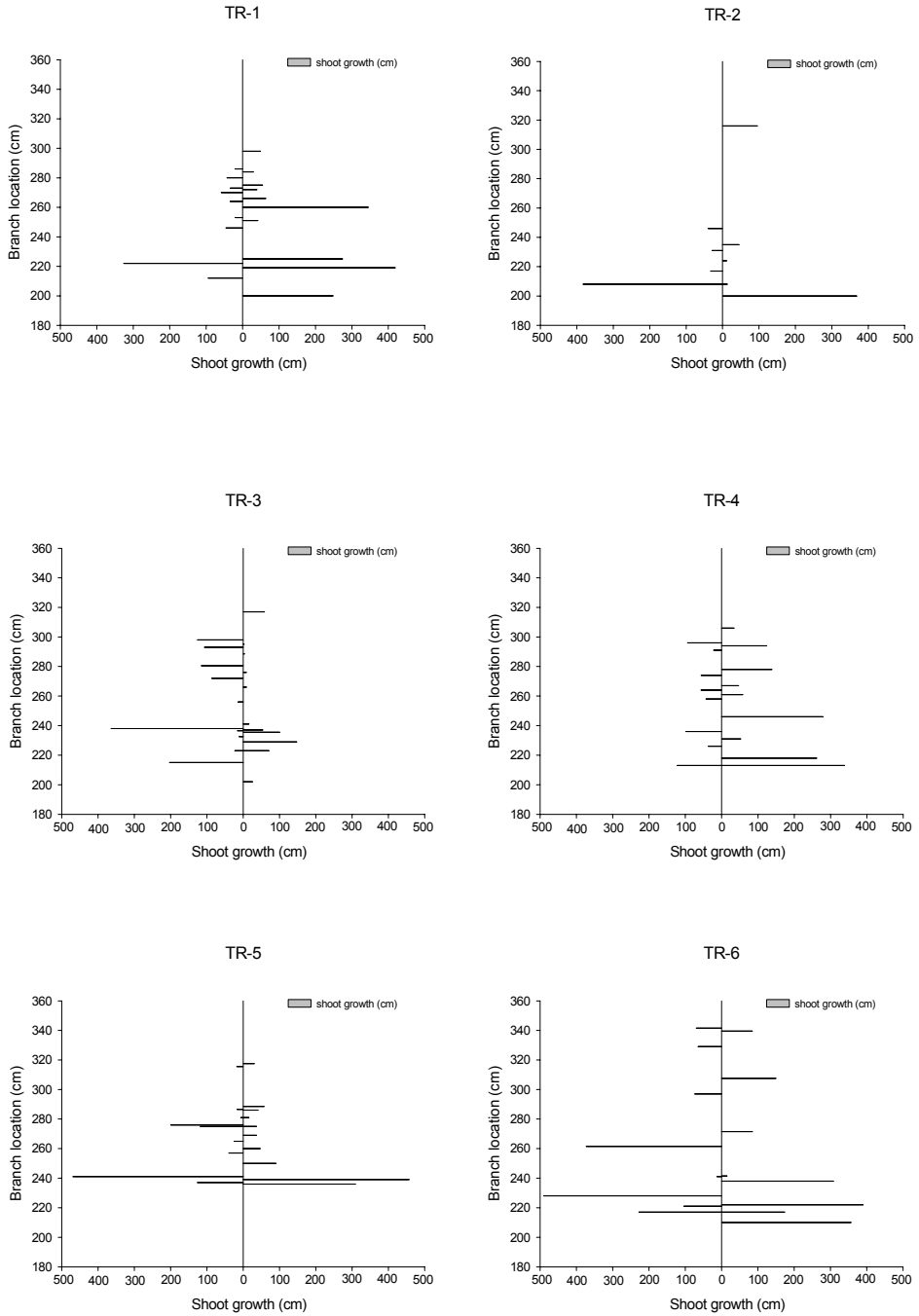


Fig. 16. Schematic illustration of new shoots in upper canopy part above 2m in height of 'Fuji'/M.9 apple trees treated with different heading methods

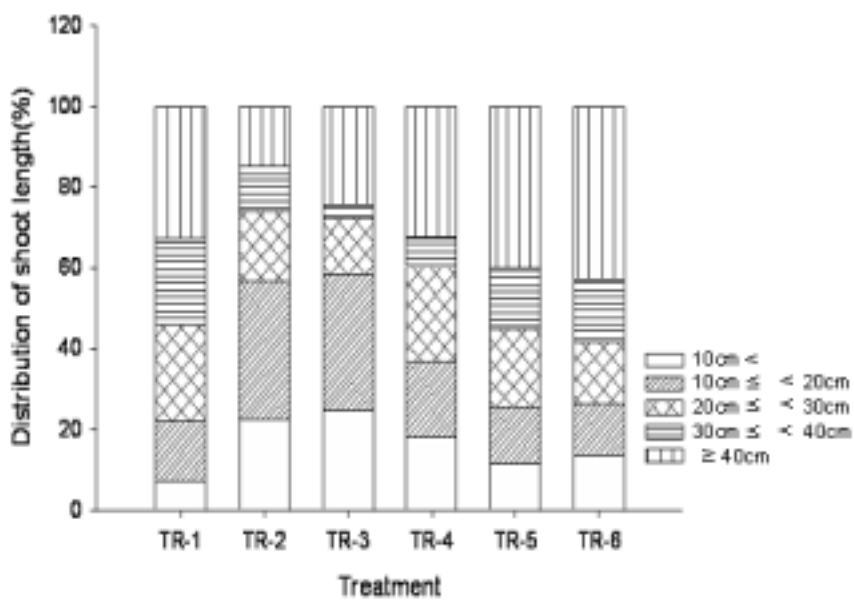


Fig.17. Distribution of shoot length on different heading methods on total shoot growth of upper canopy part above 2m in height of 'Fuji'/M.9 apple tree.



Fig.18. Growth of an apple tree that was headed at 2.5m height on 11 Feb.

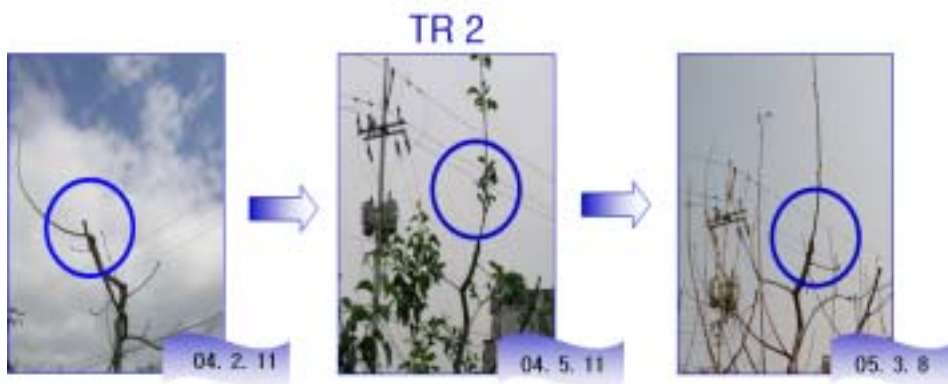


Fig.19. Growth of an apple tree that was pasted with 2% NAA on cutting surface after heading on 11 Feb.

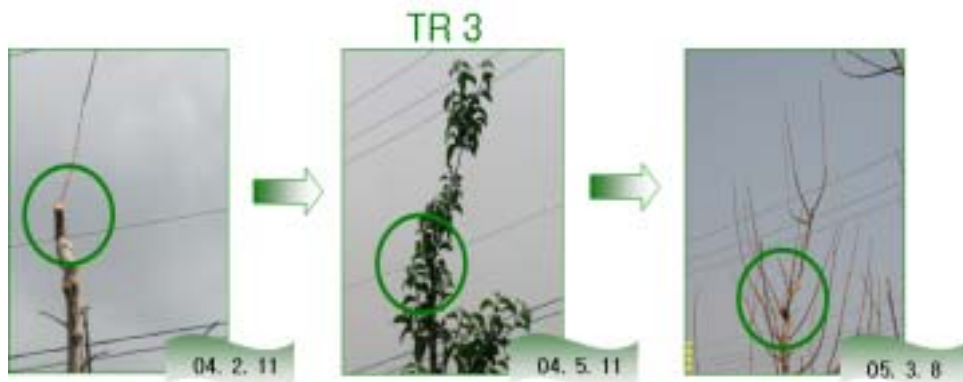


Fig.20. Growth of an apple tree that was sprayed with Pro-Ca 250mg · L⁻¹ on 23 April after heading at 2.5m height on 11 Feb.



Fig. 21. Growth of an apple tree that was reheaded on 11 May after heading at 3.0m height on 11. Feb.

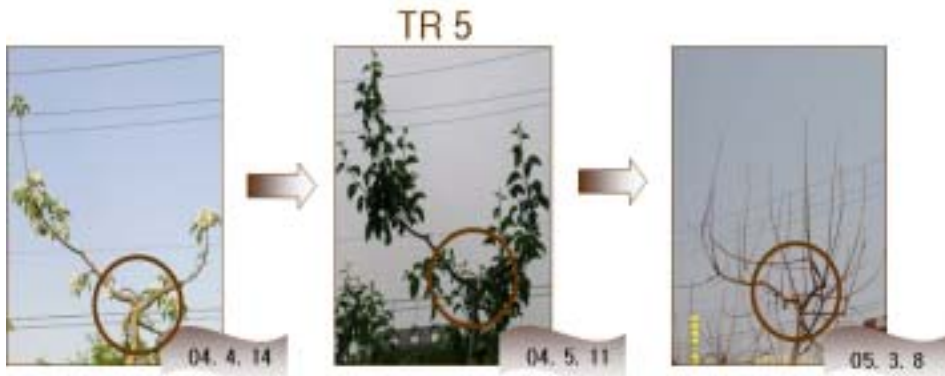


Fig. 22. Growth of an apple tree that was headed at 2.5m height at full bloom.



Fig. 23. Growth of an apple tree that was pasted with 2% NAA on cutting surfaces after heading at 2.5m height at full bloom.
 각 처리가 수관 1.5m 이상 높이에 결실된 사과품질에는 뚜렷한 영향을 미

치지 않았다(Table 33). 다만 Pro-Ca을 처리한 TR-2에서는 당도가 떨어지고 과실이 다소 작아지는 결과는 제 3장 1절에서도 확인된바 있다.

Table 33. Effects of different pruning treatment on fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees.

Treatment	Fruit weight (g)	Soluble solids content (°Brix)	Fruit firmness (kg/cm ²)	L/D ratio (%)	Titratable acidity (%)	Fruit color		
						L	a	b
TR-1	353.6 a ^z	15.7 a	6.8 a	85.3 a	0.360 a	45.6 a	20.6 a	13.9 a
TR-2	344.5 a	15.2 ab	7.2 a	83.8 a	0.354 a	43.9 a	22.2 a	13.5 a
TR-3	340.7 a	14.7 b	6.8 a	84.3 a	0.351 a	42.5 a	21.3 a	13.6 a
TR-4	380.4 a	15.6 a	7.4 a	84.9 a	0.371 a	46.4 a	18.4 a	16.3 a
TR-5	344.6 a	15.2 ab	7.0 a	85.3 a	0.363 a	46.3 a	18.8 a	14.8 a
TR-6	362.8 a	15.0 ab	7.2 a	87.2 a	0.344 a	46.3 a	19.2 a	14.2 a

^z means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

4. 요약

수고가 3.7-4.0m에 달하고 수세가 다소 강한 7년생 '후지'/M.9 사과나무에서 2월 중순 전정시 주간을 2.5m 높이에서 절단을 하는 관행의 수고 제한을 대조구로 하여 다양한 수고제한 방법을 처리하여 반발생장 정도를 비교하였다. 휴면기 전정 시 관행에 따라 수고를 2.5m로 제한하는 방법에 비해 휴면기 전정을 하되 1차로 수고를 3.0m로 자른 다음 5월 중순에 2.5m로 낮춘 경우나 만개기에 수고를 2.5m로 제한한 경우는 2m 높이의 주간직경비대나 2m 이상의 상단부 총 신초생장이 무처리에 비해 떨어지기는 하나 통계적 유의성이 인정될 정도는 아니었다. 주간 2.5m 높이에서 절단한 후에 절단면에 NAA 2% 함유 톱실페이스트 도포는 절단부위의 도장지 발생에 의한 발발생장을 현저히 떨어뜨려 수고제한 방법으로 처리구 중에 가장 적합한 것으로 판단되었는데 도포시키는 만개기 절단후 도포보다는 휴면기인 2월 중순이 더 효과적이었다. 휴면기 전정 시에 수고를 제한 후 신초가 5cm 내외로 자란시기에 Pro-Ca 250mg·L⁻¹을 살포한 처리의 경우 총신초생장의 억제는 현저하지 않았지만 상단부의 신초 길이는 크게 단축시켜 수고단축을 위한 적용 가능한 방법인 것으로 판단되었다.

제 4절 생장조절제를 이용한 사과묘목 후기 생장 억제 (위탁연구과제)

1. 서 론

사과의 저수고 밀식재배가 성공하기 위해서는 왜화성이 강한 자근대목에 접목된 곁가지가 많고 충실한 묘목을 재식하는 것이 기본요건이다. 유럽에서 밀식재배에 알맞은 묘목이란 M9 또는 그와 비슷한 왜화도를 가진 뿌리의 발육이 우수한 대목에 바로 접목된 것으로, 지면 15~20cm 내외의 높이에 품종이 접목되어 접목부 상단의 줄기직경이 13mm 이상이고, 지면 60cm 높이에서부터 적어도 5~6개의 분지각도가 넓은 덧가지가 부착된 묘목을 말한다(Yoon, 2001).

최근 우리나라에서도 우량한 묘목을 생산하기 위한 연구가 상당히 진행되고 실용화가 되고 있으나, 일부에서는 지상부와 지하부의 균형을 고려하지 않고 과도한 질소시비로 측지가 너무 길고 9월 이후에도 2차 생육이 계속된 묘목을 생산하여 묘목 재식 후 활착이 불량하여 고사주의 발생이 많아 큰 피해를 입는 과원이 많은 실정이다. 또한 우량한 묘목을 심었다고 하더라도 재식 후 1~2년차에 과실을 달 수 있는 결과지와 결과모지를 확보하기 위해서는 주어진 공간을 벗어나지 않는 범위 내에서 수관이 유지되도록 수세를 조절하여야 함에도 불구하고 사과유목의 영양생장과 생식생장에 가장 크게 영향을 주는 질소시비량을 조절하지 못하여 유목기에 이미 과번무하고 과실을 생산하지 못하는 과원이 많은 실정이다.

본 시험에서는 최근 외국에서 사람과 동물에 대해 상대적으로 독성이 거의 없고, TRV(tree row spray volumes)가 20-25% 정도 감소되는 것으로 보고(Byers & Yoder 1998; Blanco, 2003; Bask & Rademacher 2000)되고 있는 Pro-Ca과 과실에는 몇 가지 단점이 있지만 신초생장을 효과적으로 억제할 수 있는 것으로 보고(Miller & Ware 1980; 심 등 1983; Poniedzialek & Nosal 1986)되고 있는 NAA를 공시하여 생장조절제가 측지발생단계의 묘목과 묘목 재식 후 유목의 신초생장과 2차 생장 및 익년 개화율에 미치는 영향을 알기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 1년차 시험

2002년 8월 하순에 영천시 농업기술센터에서 임차한 금호읍 소재 포장에서 깎기눈접하여 2003년 측지 발생 단계의 ‘후지’/M9 묘목을 이용하였다. 토양은 강변의 배수가 양호한 사양토였다. 2003년 4월에 돈분이 함유된 퇴비를 10a당 8톤 전면시용하고, 6월 하순에 복합비료를 10a당 30kg 전면 시용하였다. 덧가지 발생을 촉진하기 위하여 묘목의 길이가 지면 약 70cm 내외 일 때부터 BA 400ppm을 1주일 간격으로 3회 처리하였다. 기타 관리는 일반적인 묘목생산 관행에 준하였다.

생장조절제 처리시기 구명을 위해 03년 7월 15일, 7월 24일, 8월 5일 및 8월 15일에 측지부분에 Pro-Ca $350\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,와 NAA $40\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 을 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었다. 생장조절제 처리농도 구명시험을 위해 Pro-Ca 200, 250, $350\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 및 NAA 20, 30, $40\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 을 8월 5일에 측지부분에 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었다. 생장조절제 처리회수 구명시험을 위해 Pro-Ca은 $250\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NAA는 $30\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 을 기준농도로 하여 무처리, 1, 2 및 3회 엽면살포 하였다. 처리일시는 1회 7월 24일, 2회 8월 5일, 3회는 8월 15일이였다. 시험구는 10주를 1반복으로 하여 완전임의배치 3반복으로 하였다. 묘목의 생육은 낙엽 후 12월 하순에 신초길이, 묘목의 키, 대목 직경 및 접수직경을 조사하였다.

가. 2년차 시험

영천시 고경면 동도리 소재 농가에 $3.8 \times 1.8\text{m}$ 로 재식된 접목 2년차 ‘후지’/M9묘목 및 3년차(재식 2년차)‘후지’/M9유목을 이용하였다. 토양은 하천 주변으로 배수가 양호한 사양토였다. 2004년 3월에 양파를 발효시킨 퇴비를 10a당 4톤 전면시용하고, 6월 하순에 복합비료를 10a당 30kg 전면 시용하였다.

토양관리는 수관하부에 폭 80cm 흑색 Polypropylene 필름을 4월 초순에 수열에 따라 주간을 중심으로 양쪽에 깔아주었으며, 열간은 방임하여 자연 초생으로 관리하였다. 관수 및 병해충방제는 관행에 따라 실시하였고, 수형은 Slender spindle형을 목표로 하였다. 접목 2년차 묘목에 대한 생장조절제 처리시기 구명을 위해 04년 6월 1일, 7월 1일, 7월 10일 및 7월 30일에 측지부분에 Pro-Ca $300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,와 NAA $20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 을 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었다. 생장조절제 처리농도 구명시험을 위해 Pro-Ca 150, 200, $300\text{mg} \cdot$

L^{-1} 및 NAA 10, 20, $30mg \cdot L^{-1}$ 을 7월 10일에 측지부분에 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었으며, 성장조절제 처리회수 구명시험을 위해 Pro-Ca은 $200mg \cdot L^{-1}$, NAA는 $20mg \cdot L^{-1}$ 을 기준농도로 하여 무처리, 1, 2 및 3회 엽면살포 하였다. 처리일시는 1회 7월 1일, 2회 7월 10일, 3회는 7월 30일이었다. 재식 2년차 유목에 대한 성장조절제 처리시기 구명을 위해 04년 5월 20일, 6월 1일, 6월 10일에 측지부분에 Pro-Ca $200mg \cdot L^{-1}$,와 NAA $15mg \cdot L^{-1}$ 을 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었다. 성장조절제 처리농도 구명시험을 위해 Pro-Ca 150, 200, $250mg \cdot L^{-1}$ 및 NAA 10, 15, $20mg \cdot L^{-1}$ 을 6월 1일에 측지부분에 엽면살포 하였고 대조구로 무처리를 두었다. 성장조절제 처리회수 구명시험을 위해 Pro-Ca은 $150mg \cdot L^{-1}$, NAA는 $20mg \cdot L^{-1}$ 을 기준농도로 하여 무처리, 1, 2회 엽면살포 하였다. 처리일시는 1회 5월 20일, 2회 6월 6일이었다.

시험구 모두 5주를 1반복으로 하여 완전임의배치 3반복으로 하였다. 묘목과 유목의 성장조절제 처리농도 구명 시험구 중에서 무처리구 및 Pro-Ca 처리구의 신초를 처리 2주 후 신초 끝 5cm부위를 주당 2개씩 채취하여 신초 내의 지베렐린 함량을 조사하였다. 묘목 및 유목의 생육은 낙엽 후 12월 하순에 신초길이, 묘목의 키, 대목직경 및 접수직경을 조사하였으며, 익년 봄(2005년 5월) 화아율을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

시험 1차년도 측지발생단계 묘목의 실험에서 Pro-Ca 처리는 묘목의 지상 60~100cm 부위의 신초생장을 유의하게 억제하였다. 처리시기별로는 7월 하순~8월 초순까지가, 처리농도별로는 처리농도가 높을수록, 처리횟수는 3회 처리구가 타처리구 보다 신초생장을 효과적으로 억제하는 경향을 나타내었다. NAA처리도 묘목의 지상 60~100cm 부위의 신초생장을 억제하였으나, Pro-Ca 처리구 보다 그 효과가 좋지 못하였다. 또한 40ppm 이상의 고농도는 약해의 증상이 일부 나타나기도 하였다.

따라서, 7월 하순경부터 10일 간격으로 2~3회의 250~300ppm농도의 Pro-Ca 살포는 측지발생단계 묘목의 2차 생장을 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 판단되었다. 시험 2차년도의 접목 2년차 묘목과 재식 2년차의 실험에서도 Pro-Ca 처리는 사과나무의 신초생장을 유의하게 억제하였다. 처리시기별로는 신초의 생장이 평균 10cm 내외인 5월 하순 또는 6월 초순에 처리하는 것이 그 이후에 처리하는 것 보다 효과가 우수하였으며, 처리 농도별로는 처리농도가 높을수록 그 효과가 우수하였으나, 유목기 착과가 시작되는 재식 2년차에는 250ppm 이상의 고농도 살포는 신초의 생육이 과다하게 억제되는 경향을 보였다. 처리횟수도 3회 처리구가 다른 처리구 보다 신초생장을 효과적으로 억제하는 경향을 나타내었으나, 1회 처리 또는 2회 처리 효과만으로도 충분한 신초생장 억제효과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 Pro-Ca의 처리는 사과나무 식물체 내 GA 생합성 경로 ($GA_{12} \rightarrow GA_{53} \rightarrow Ga_{19} \rightarrow GA_{20} \rightarrow GA_1$) 중 생리적으로 비활성을 나타내는 GA_{20} 에서, 고도로 생리적 활성이 뛰어난 GA_1 으로의 전환과정을 차단함으로써 신초생장을 억제한다는 보고(Evans 등 1999; Owens & Stover 1999)와 대체로 일치하였다. 2005년 봄 화총수를 조사한 결과 Pro-Ca 처리구는 유의하게 화총수를 증가 시켰는데 이러한 결과는 일반적으로 성장이 왕성한 사과나무나 과다 착과한 사과나무에서는 꽃눈 유도가 늦추어지기 쉽고(Cleland, 1969), 과대지 끝의 눈이나 측지 끝의 눈은 여름 이후와 성장이 중지된 후 꽃눈이 형성되지만 단과지는 만개 후 3주에서 6주 사이에 꽃눈분화가 유도(Luckwill, 1974; Forshey, 1986)되므로, 조기에 신초생장을 멈추는 것은 꽃눈 분화와 단과지 형성에 유리하여 익년 개화율을 높인 것으로 추정되었다.

한편 NAA처리도 묘목과 유목의 신초생장을 억제하였으나, Pro-Ca 처리구 보다 그 효과가 좋지 못하였고, NAA처리는 신초생장 억제 효과가 해에 따라서

변동이 심하기도 하며, 적과효과를 유발하기도 하고, 과실의 연화를 유발하기도 하며, '후지'품종에 대한 pygmy 과실을 유발할 수 있음(Byers, 1982; Westwood, 1978)이 보고되어 있으므로 Pro-Ca 처리가 안전하게 사과나무의 묘목과 유목의 신초생장을 억제하고 익년 개화율을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 측지발생 단계의 묘목에서는 7월 하순경부터 10일 간격으로 2~3회의 250~300ppm 농도의 Pro-Ca 살포는 효과적으로 신초생장을 억제할 수 있으며, 접목 2년차 묘목과 재식 2년차 유목의 경우에는 신초의 생장이 평균 10cm 내외인 5월 하순 또는 6월 초순에 Pro-Ca 250ppm 이하의 농도로 1~2회 처리는 충분한 신초생장 억제효과와 익년 개화율을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

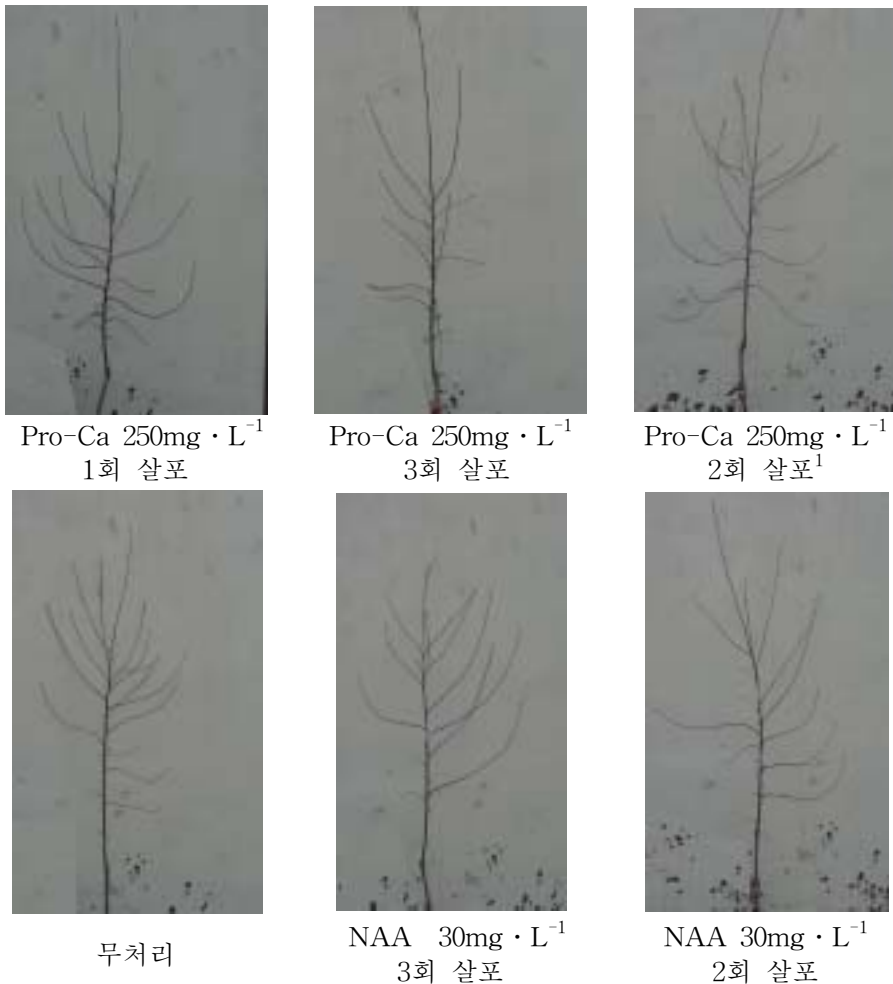


Fig. 24. 묘목 굴취 후 처리구별 사진

Table 34. Effects of time of Pro-Ca and NAA application on final shoot length(cm) in 'Fuji'/M9 nursery apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	7/15	7/24	8/5	8/15
Control	48.2	48.2	48.2	48.2
Pro-Ca 350	35.6	32.7	34.7	42.2
NAA 40	38.7	35.7	36.6	40.1

※ Data was collected on Dec. 27, 2003.

Table 35. Effects of concentration of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth in 'Fuji'/M9 nursery apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)*	Tree- Height (cm)	Scion Diameter (cm)	Root Stock Diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	176.4	13.0	20.7	48.2
Pro-Ca 200	183.2	13.7	20.6	35.7
Pro-Ca 250	181.9	14.2	21.1	33.1
Pro-Ca 300	184.2	13.9	20.8	29.9
NAA 20	180.2	13.9	21.2	39.4
NAA 30	178.0	13.6	20.8	34.9
NAA 40	182.7	13.6	20.5	29.4

※ Treated on Aug. 5, 2003.

Table 36. Effects of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth in 'Fuji'/M9 nursery apple trees(2003).

Treatment (mg·L ⁻¹)	Tree height (cm)	Scion diameter (cm)	Root stock diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	176.4	13.0	20.7	48.2
Pro-Ca 250	181.9	14.2	21.1	33.1
Pro-Ca 250-2	183.5	14.4	22.1	31.2
Pro-Ca 250-3	189.8	14.9	23.4	25.7
NAA 30	178.0	13.6	20.8	34.9
NAA 30-2	179.3	13.7	20.9	34.4
NAA 30-3	182.7	13.9	21.3	32.2

※First application: 7/24; Second application: 8/5; Third application: 8/15

Table 37. Effects of time of Pro-Ca and NAA application on final shoot length(cm) in one-year-old 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	6/1	7/1	7/10	7/30
Control	30.3	30.3	30.3	30.3
Pro-Ca 300	24.1	26.0	27.1	28.1
NAA 200	26.5	28.0	28.3	28.5

※ Data was collected on Dec. 27, 2004.

Table 38. Effects of concentration of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth in one-year-old 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	Tree- Height (cm)	Scion Diameter (cm)	Root Stock Diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	197.3	2.4	2.8	30.3
Pro-Ca 150	198.5	2.4	2.8	26.8
Pro-Ca 200	207.2	2.5	2.9	26.0
Pro-Ca 300	201.2	2.3	2.8	21.8
NAA 10	195.4	2.3	2.7	29.1
NAA 20	199.7	2.4	2.8	28.0
NAA 30	200.5	2.3	2.7	27.2

※ Treated on July 10, 2004.

Table 39. Effects of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth(cm) in one-year-old 'Fuji'/M9 apple trees(2004).

Treatment (mg·L ⁻¹)	Tree- Height (cm)	Scion Diameter (cm)	Root Stock Diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	197.3	2.4	2.8	30.3
Pro-Ca 200	200.5	2.5	2.8	25.3
Pro-Ca 200-2	198.4	2.4	2.8	22.5
Pro-Ca 200-3	197.3	2.3	2.7	21.7
NAA 20	198.7	2.4	2.8	26.9
NAA 20-2	203.2	2.5	2.9	25.8
NAA 20-3	199.5	2.4	2.8	26.1

※First application: 7/1; Second application: 7/10; Third application: 7/30

Table 40. Effects of time of Pro-Ca and NAA application on final shoot length(cm) in two-year-old 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	5/20	6/1	6/10
Control	34.6	34.6	34.6
Pro-Ca 200	26.4	29.7	30.1
NAA 15	30.4	31.7	32.9

※ Data was collected on 27 Dec, 2004.

Table 41. Effects of concentration of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth and number of flower cluster per tree in two-year-old 'Fuji'/M9 apple trees.

Treatment (mg·L ⁻¹)	Flower cluster per tree	Scion diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	45.3	3.1	34
Pro-Ca 150	55.2	2.9	30.2
Pro-Ca 200	56.4	2.8	29.5
Pro-Ca 250	55.0	2.7	26.7
NAA 10	48.8	2.8	35.6
NAA 15	49.0	2.8	33.5
NAA 20	49.2	2.9	29.2

※ Treated on June 1 2004.

Table 42. Effects of Pro-Ca and NAA application on vegetative growth(cm) and number of flower cluster per tree in two-year-old 'Fuji'/M9 apple trees(2004).

Treatment (mg·L ⁻¹)	Flower cluster per tree	Scion Diameter (cm)	Shoot length (cm)
Control	45.3	3.1	34
Pro-Ca 150	52.0	3.0	32.1
Pro-Ca 150-2	53.6	3.1	22.9
NAA 20	49.5	3.0	29.0
NAA 20-2	50.3	2.9	26.4

※First application: May 20; Second application: June 6.

Table 43. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on nursery stock on July 10. Two weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg·L ⁻¹)	GAs				
	GA ₁₂	GA ₅₃	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁
	-----ng/gDW-----				
Control	3.10	5.78	28.90	6.51	6.60
Pro-Ca 150	3.63	10.30	34.62	9.20	3.60
Pro-Ca 200	3.78	8.45	39.87	8.56	2.37
Pro-Ca 300	4.11	7.40	45.44	6.75	1.44

Table 44. Effects of Pro-Ca application on GAs contents of the terminal shoot in 'Fuji'/M.9 apple trees. Pro-Ca was applied on two years old apple trees on June 1. Two weeks after application terminal shoot including leaves were collected for GA analysis.

Treatment (mg·L ⁻¹)	GAs				
	GA ₁₂	GA ₅₃	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁
	-----ng/gDW-----				
Control	5.30	10.08	43.61	11.20	4.71
Pro-Ca 150	4.30	14.20	50.19	15.61	3.69
Pro-Ca 200	5.38	16.71	48.33	13.10	1.54
Pro-Ca 250	6.08	15.21	47.61	12.08	1.32

4. 요약

사과묘목 생산에 있어서 후기 성장 억제를 통해 신초생장을 일찍 정지시켜 목질화가 진행된 충실한 묘목을 만들기 위하여 Pro-Ca와 NAA를 공시하여 본 시험을 수행하였다. Pro-Ca의 경우는 처리시기별로는 7월 하순~8월 초순이, 처리농도별로는 300mg·L⁻¹까지 처리농도가 높을수록, 처리횟수는 3회까지 횟수가 많을수록 측지의 후기생장이 억제되었고 NAA의 처리도 비슷한 경향이나 측지의 후기성장 억제효과는 Pro-Ca에 비해 떨어지는 경향이었다. 결론적으로 사과묘목 생산 시 후기생장을 억제하여 목질화가 잘 된 건전한 묘목을 생산하기 위해서는 Pro-Ca 250~300mg·L⁻¹를 7월 하순부터 10일 간격으로 3회 살포하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 연도별 연구개발 목표의 달성도

1. 연도별 연구 개발 목표와 범위

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도	- 생장억제제를 이용하여 묘목 생산시 8월 이후의 생장을 효과적으로 억제하여 내·외적으로 우량한 소질의 묘목을 생산할 수 있는 기술 개발. (위탁연구과제)	- 생장억제기능이 있는 Pro-Ca, NAA를 공시하여 사과묘목의 후기생장을 가장 효과적으로 억제할 수 있는 방법을 모색함.
	- M9대목의 키 낮은 사과나무에서의 효과적인 환상박피와 절피방법 및 뿌리전정 방법 개발	- 수세가 지나친 결실기의 후지/M9를 공시하여 뿌리전정과 원줄기절피의 시기를 달리하여 수세 안정효과와 과실특성에 미치는 영향을 무처리와 비교함.
	- Pro-Ca을 이용한 수세안정화 기술 개발	- 최근에 개발되어 과수 영양생장 억제에 탁월한 효과를 보이고 있는 Pro-Ca을 공시하여 처리농도, 회수 및 시기별로 후지/M9의 수세안정과 과실품질에 미치는 영향을 파악함.
	- 수고 제한 및 수관상단 과번무 방지기술 개발	- 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무(후지/M9)에서 반발 생장을 최소화하면서 수고를 제한하고 상단부 세력을 안정시키기 위하여 주간 절단시기를 달리하고 추가로 NAA와 Pro-Ca을 처리하여 생장에 미치는 효과를 조사함.

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차 년도	<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제제를 이용하여 묘목 생산시 8월 이후의 생장을 효과적으로 억제하여 내외적으로 우량한 소질의 묘목을 생산할 수 있는 기술 개발. (위탁연구과제) 	<ul style="list-style-type: none"> - 생장억제기능이 있는 Pro-Ca, NAA를 공시하여 사과묘목의 후기생장을 가장 효과적으로 억제할 수 있는 방법을 모색함.
	<ul style="list-style-type: none"> - M9대목의 키 낮은 사과나무에서의 효과적인 환상박피와 절피방법 및 뿌리전정 방법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 수세가 지나친 결실기의 후지/M9를 공시하여 뿌리전정과 원줄기절피의 시기를 달리하여 수세 안정효과와 과실특성에 미치는 영향을 무처리와 비교함.
	<ul style="list-style-type: none"> - Pro-Ca을 이용한 수세 안정화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 최근에 개발되어 과수 영양생장 억제에 탁월한 효과를 보이고 있는 Pro-Ca을 공시하여 처리농도, 회수 및 시기별로 후지/M9의 수세안정과 과실품질에 미치는 영향을 파악함.
	<ul style="list-style-type: none"> - 수고 제한 및 수관상단 과번무 방지기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 목적 수고 이상의 세력 강한 사과나무(후지/M9)에서 반발 생장을 최소화하면서 수고를 제한하고 상단부 세력을 안정 시키기 위하여 주간 절단시기를 달리하고 추가로 NAA와 Pro-Ca을 처리하여 생장에 미치는 효과를 조사함.

2. 연구개발목표의 달성도

가. 생장조절제를 이용한 사과묘목 후기 2차 생장 억제기술개발 연구에서 Pro-Ca와 NAA 처리농도, 처리 횟수 등을 달리하여 시험한 결과 7월 하순경부터 10일 간격으로 3회의 250~300ppm 농도의 Pro-Ca 살포하는 것

이 효과적인 방법이라는 결과를 얻었음.

- 나. Pro-Ca을 공시하여 4개의 단위 시험을 실시하여 과실품질에 악영향을 미치지 않고 신초생장을 효과적으로 억제할 수 있는 Pro-Ca의 적정 살포 농도는 $150\sim 200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 범위이며 살포시기는 정단 신초길이가 4~10cm 인 것이란 결과를 얻어 당초 설정한 연구목표를 달성하였음
- 다. 점적관수의 M.9 이중접목 사과나무의 경우와 스프링클러관수 수관하부 피복의 M.9 차근 대목 사과나무의 경우에 대해 단근시험을 수행하여 근계의 발달에 따른 단근방법 설정 기준을 확보하여 설정한 목표를 달성하였음.
- 라. 박피폭을 3mm와 5mm로 하여 시기별 박피효과를 2년간 검토한 결과 발아기의 환상박피는 영양생장은 크게 억제시키나 화아분화에 미치는 영향은 떨어지고, 만개기 또는 유과기의 환상박피는 꽃눈분화는 확실하게 촉진시키나 신초생장 억제에 미치는 영향은 적기 때문에 목적에 따라 박피의 폭은 물론 시기를 조절할 필요가 있다는 결론을 얻어 연구개발목표를 달성하였음.
- 마. 고밀식 키 낮은 사과원에서 수고의 제한은 휴면기에 주간 2.5m 높이에서 절단한 후에 절단면에 NAA 2%함유 톱신페이스트를 도포하면 절단부위의 도장지 발생에 의한 반발생장을 현저히 떨어뜨려 수고제한 방법으로 처리구 중에 가장 적합하며, 휴면기 전정 시에 수고를 제한 후 신초가 5cm 내외로 자란시기에 Pro-Ca $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 살포한 처리의 경우 총신초생장의 억제는 현저하지 않았지만 상단부의 신초 길이는 크게 단축시켜 수고단축을 위한 적용 가능한 방법이라는 결과를 얻었음.

3. 관련분야 기술발전의 기여도

- 곁가지 묘목생산시 기상 환경과 지나친 시비로 불가피하게 나타나는 후기생장을 효과적으로 억제시킬 수 있는 방법의 개발로 목질화가 잘되고 저장양분의 축적이 많은 건전한 묘목의 생산, 공급

-> 묘목 채식 후 고사율 경감과 초기생장 양호, 농가의 경제적 손실 경감

- 필지 내에서 개체 간 수세 차이가 클 경우 해당 나무에 대해서는 환상박피 기술을 적용하고 필지 전체 또는 집단적으로 수세가 강할 경우는 단

근을 통한 수세 안정화 가능

- 최근에 개발되어 인체나 환경에 유해하지 않으면서 식물의 영양생장 효과가 탁월한 것으로 평가되고 있는 Pro-Ca에 대해 우리나라에서는 처음으로 실증시험이 이루어졌고 이를 통해 Pro-Ca를 이용한 수세안정화 기술의 실용화가 가능하게 되었음.
- 키 낮은 사과원에서 수관관리, 영양관리, 결실조절 등이 합리적으로 되지 않을 경우 수세가 안정되지 않음은 물론 특히 수고가 지나치게 높아지고 상단부의 세력이 강해질 것인바 반발생장을 최소화하면서 수고를 적절히 제한할 수 있게 되었음.

-> 밀식장해 예방, 안정생산, 품질저하 및 경제수명 단축 방지

따라서 키 낮은 사과재배체계가 안정적으로 정착, 확대되고 우리나라 사과산업의 국제경쟁력이 확보될 것임.

제5장 연구개발결과의 활용계획

제 1절 활용분야 및 활용방안

1. 활용분야

- 가. 과수묘목 생산업체에 대해 8월 이후 지나친 영양생장 억제를 통한 사과 건진대목 생산기술로 보급
- 나. 고밀식 키 낮은 재배농민에 대해 밀식재해 예방을 위한 수세 안정화 및 효과적인 수세 제한 기술로 보급
- 다. 사과주산지 농업기술센터 및 능금농협 등에 고밀식 키 낮은 사과원 수세 관리 기술로 보급
- 라. 연구기관의 경우 수세안정화와 관련한 생리연구, 품질향상 및 안정생산 기술개발의 기초 기술로 활용이 가능함

2. 활용방안

- 가. 한국원예학회 정기 학술대회에 1편의 논문을 발표하였고 2005년 추계 학술발표대회에 2편을 추가로 발표 할 예정임
- 나. 원예과학기술지 23호 3권에 2편의 논문이 게재 예정(“Prohexadione-Calcium 을 이용한 ‘후지’사과나무의 생장조절”, “단근처리가 ‘후지’/M.9 사과나무의 수체 생장과 과실 품질에 미치는 영향”)
- 다. 한국과수묘목협회 회원업체에 대한 기술 교육
- 라. 한국과수, 경북능금지 등 과수관련 기술지에 연구결과를 투고
- 마. 대농민 현장 기술교육에 활용

제 2절 추가연구의 필요성

영년생 작물인 사과는 환경과 재배기술에 따라 개체간 생육 및 생리 상태의 차이가 클 뿐 아니라 해에 따라 편차가 크기 때문에 신뢰할 수 있는 안정된 연구결과를 얻기 위해서는 반복 연구가 필요하다. 아울러 품종, 대목, 재배환경, 경영여건 등에 따라 처리에 따른 효과가 다르게 나타나기 때문에 보편적으로 응용할 수 있는 관리기술을 개발하기 위해서는 상이한 조건에서 반복적 연구가 필요하다. 본 과제에서는 Pro-Ca를 이용한 수세 안정화에 주력을 두었으나 단근처

리, 수고단축방법에 관한 연구는 연구기간이 짧고 여력이 부족해 충분하게 다루지 못한 아쉬움이 있다. 따라서 본 과제가 종결되더라도 반복 및 보완연구를 수행하여 현장에서 실용성을 높이도록 노력할 계획이다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 과제는 사과수세조절에 관한 실용기술의 개발을 목표로 한 연구로 수집된 자료와 내용이 과학기술정보 수준에 이르는 특기할 사항이 없음

제7장 참고문헌

- Balkhoven-Baart, J.M.T. 1995. Pruning and tree shapes-growth control conference-. Annual report 1995: 28-30. Research Station for Fruit Growing Wilhelminadorp, The Netherlands.
- Basak, A. 2004. Growth and fruiting of 'Elstar' apple trees in response to prohexadione calcium depending on the rootstock. Acta Hort. 653:117-125.
- Basak, A. and W. Rademacher. 2000. Growth regulation of pome and stone fruit trees by use of Prohexadione-Ca. Acta Hort. 514:41-50.
- Blanco Brana, A. and J.E. Jackson. 1982. Effects of applying growth-regulating hormones following fruit tree pruning. I. Effects of different types and concentrations of auxin and GA4+7 and 6-benzylamino purine on shoot emergence and wound healing of apple trees. J. Hort. Sci. 57:17-30.

- Bootsma, J.H. 1995. Growth control with a retardant. Annual report 1995: 26-28. Research Station for Fruit Growing Wilhelminadorp, The Netherlands.
- Bradlwarter, M. and M. Knoll. 1996. Wurzelschnitt – Der Erfolg hängt von vielen Faktoren ab. *Obstbau Weinbau* 33: 297-299
- Buban, T., L. Csiszar, P. Sallai and V. Varga. 2004. Experiences with the bioregulator prohexadione-Ca used in apple and pear orchards. *Acta Hort.* 636:67-74.
- Byers, R.E. and K.S. Yoder. 1999. Prohexadione-Ca inhibits apple, but not peach, tree growth, but has little influence on apple fruit thinning or quality. *HortScience* 34:1205-1209.
- Cheong, J.K., J.G. Park, S.J. Yang, Y.Y. Song and Y.U. Shin. 2004. Training and pruning the standard slender spindle for high density apple growing. Apple Research Station, Korea. p.66.
- Clever, M. 2004. Wachstumsregulierung im Apfelanbau an der Niederelbe. Teil 1: Versuchsergebnisse mit Regalis. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 59:124-129.
- Costa, G., E. Sabatini, F. Spinelli, C. Andreotti, C. Bomben and G. Vizzotto. 2004. Two years of application of prohexadione-Ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Hort.* 653:35-40.
- Crocker, S.J., P. Hedden and W. Rademacher. 2000. Effects of prohexadione-Ca on gibberellin levels in young apple shoots. *HortScience* 35: 422.
- Drahorad, W. 1996. Physiologie des Triebwachstums – Einfluß der Nährstoffe. *Obstbau Weinbau* 33: 275-277.
- Ebner, E. 1996. Reißen oder schneiden? *Obstbau Weinbau* 33: 295-296
- Elfving, D.C., D. Sugar and D. Faubion. 2002. Pear tree shoot growth patterns in relation to chemical control of vegetative growth with prohexadione-calcium (Apogee®). *Acta Hort.* 596:711-716.
- Elfving, D.C., E.C. Lougheed and R.A. Cline. 1991. Daminozide, root pruning, trunk scoring, and trunk ringing effects on fruit ripening and storage behavior of 'McIntosh' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:

195-200.

- Evans, J.R., R.R. Evans, C.L. Regusci and W. Rademacher. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125W, prohexadione-calcium. *HortScience* 34:1200-1201.
- Evans, R.R., J.R. Evans and W. Rademacher. 1997. Prohexadione calcium for suppression of vegetative growth in eastern apples. *Acta Hort.* 451:663-666.
- Faby, R. and O. Themann. 1996. Wurzelschnitt bei Äpfeln Möglichkeiten und Grenzen. *Obstabau* 21:224-228,
- Ferree, D.C. 1992. Time of root pruning influences vegetative growth, fruit size, biennial bearing and yield of 'Jonathan' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:198-202.
- Ferree, D.C. 1994. Root distribution following 9 years of root-pruning 'Melrose'/M.26 apple trees. *HortScience* 29: 76-78.
- Ferree, D.C. and S.C. Myers. 1992. Root pruning and root restriction of fruit trees-current review. *Acta Horticulturae* 322: 153-166.
- Forshey, C. G. 1982. Effects of fruiting, pruning, and nitrogen fertilization on shoot growth of Empire apple trees. *J. Amer. Soc Hort. Sci.* 107:1092-1097.
- Forshey, C.G., R.W. Weires and J.R. Vankirk. 1987. Seasonal development of the leaf canopy of 'Macspur McIntosh' apple trees. *HortScience.* 20:881-883.
- Forshey, C.G. and D.C. Elfving. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hort. Rev.* 11:229-287.
- Gaskin P. and MacMillan J. 1991 GC-MS of Gibberellins and Related Compounds: Methodology and a Library of Reference Spectra. Cantocks Enterprises, Bristol, UK.
- Geisler, D. and D.C. Ferree. 1984. Response of plants to root pruning. *Hort. Rev.* 6:155-188.
- Greene, D.W. 1999. Tree growth management and fruit quality of apple trees treated with Prohexadione-Calcium (BAS 125). *J. Hort. Sci.* 34:1209-1212.

- Guak, S., M. Beulah and N.E. Looney. 2004. Controlling of super-spindle 'Gala' apple trees with prohexadione-calcium, NAA and ethephon. *Acta Hort.* 653:139-144.
- Han, S.G. and T.M. Yoon. 2001. Light distribution within the canopy and fruit quality in dwarf apple orchards. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:78-82.
- Hoying, S.A. 1992. Effects chain saw girdling and rootpruning of apple trees. *Acta Hort.* 322:167-175.
- Hyun, H.N., H.C. Lim, H.R. Han and D.G. Moon. 1993. Effects of polyethylene film mulching and root pruning on soil water and fruit quality of Satsumura mandarin (*Citrus unshiu*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 34:368-377.
- Khan, Z.U., D.L. McNeil, and A. Samad. 1998. Root pruning reduces the vegetative and reproductive growth of apple trees growing under an ultra high density planting system. *Scientia Hort.* 77:165-176.
- Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg. Versuchsbericht 1997. Sektion Obstbau. Südtirol, Italy.
- Lee I.J, Foster K.R and Morgan P.W. 1998 Photoperiod control of gibberellin metabolism and flowering in a phytochrome B mutant of *Sorghum bicolor*. *Plant Physiol.* 116:1003-1011.
- Lee, Y.C. and S.M. Kang. 1997. Vine and fruit growth of Seibel 9110 grapes for two years as affected by ecodormant root pruning. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:47-54.
- Looney, N. E. 1996. Role of endogenous plant growth substances in regulating fruit tree growth and development. pp. 35-36. In : Maib, K.M., P.K. Andrews., G.A. Lang., K. Mullinix(ed.). *Tree fruit physiology: growth and development.* Good fruit grower. Yakima, Washington.
- Mayr, U. and M. Schroeder. 2002. Influence of calcium sprays with different concentrations; spray timing and combinations with prohexadione-Ca on the mineral content in 'Boskoop' and 'Elstar' apples. *Acta Hort.* 594:553-556.
- McArtney, S.J. and R.P. Belton. 1992. Apple shoot growth and cropping

- responses to root pruning. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 20:383-390.
- Medjdoub, R., J. Val and A. Blanco. 2004. Prohexadione-Ca inhibits vegetative growth of 'Smooth Golden Delicious' apple trees. *Scientia Hort.* 101:243-253.
- Mika A. 1986. Result of a 10-year trial of high-density planting of McIntosh and Macspur apple trees. *Acta Hort.* 160:293-305.
- Miller, S.S. and G.O. Ware, 1980. Naphtaleneacetic acid as sprout inhibitor on pruning cuts and scaffold limbs Delicious apple trees. *HortScience* 15:745-747.
- Miller, S.S. and T. Tworkoski. 2003. Regulating vegetative growth in deciduous fruit trees. *PGRSA Quarterly* 31:8-46.
- Myers, S.C. and A.T. Savelle. 1996. Coordination of vegetative and reproductive growth: root restriction, branch manipulation, and pruning. In; *Tree Fruit Physiology: Growth & Development* ed. by K.M. Maib, P.K. Andrew, G.A. Lang, K. Mullinix. Good Fruit Gower, Yakima, Washington.
- Owens, C. L. and Ed Stover. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *Hortscience*, 34:1194-1196.
- Österreich, J. 1996. Ruhiges Wachstum in Junganlagen durch sachgerechte Erziehung. *Obstbau Weinbau* 33:290-291.
- Österreich, J. and M. Knoll. 1996. Streichen, eine wachstumshemmende Sondermaßnahme. *Obstbau Weinbau* 33: 301-303
- Petracek, P.D., P. Silverman and D.W. Greene. 2003. A history of commercial plant growth regulators in apple production. *HortScience* 38:937-942.
- Poniedzialek, W., and K. Nosal. 1986. Effect of NAA application after the pruning of apple trees on the growth of shoots and the quality of fruit. *Acta Hort.* 179:273-274.
- Privè, J-P., E. Fava, J. Cline, M. Byl, C. Embree and D. Nichols. 2004. Preliminary results on the efficacy of apple trees treated with the

- growth retardant prohexadione-calcium(Apogee®) in eastern Canada. *Acta Hort.* 636:137-144.
- Proeftuin Zeewolde. 1996. Excursiegids '96
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Ann. Rev. of Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 51:501-531.
- Rademacher, W. 2001. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. Extended Abstracts of the 9th International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 1-6.
- Retamales, J.B., N.A. Hipps and C.J. Atkinson. 2004. Effect of timing of root pruning and root IBA application on leaf mineral concentration and canopy light interception of 'Cox's orange pippin' apple trees. *Acta Hort.* 636:51-57.
- Rom, C. R, Ken Kupperman, Joseph Naraguma and R. Andy Allen. 1994. Establishing A Replant High Density Apple Orchard: A study of replant Soil Preparation and Fertilizer Practices. Compact fruit tree. vol 27. 69-72.
- Schupp, J.R. and D.C. Ferree. 1987. Effect of root pruning at difference growth stages on growth and fruiting of apple trees. *HortScience* 22:387-390.
- Schupp, J.R. and D.C. Ferree. 1988. Effect of root pruning at four levels of severity on growth and yield of 'Melose'/M.26 apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:194-198.
- Schupp, J.R. and D.C. Ferree. 1990. Influence of time of root pruning on growth, mineral nutrition, net photosynthesis and transpiration of young apple trees. *Sci. Hort.* 42:299-306.
- Schupp, J.R., D.C. Ferree, and I.J. Warrington. 1992. Influence of root pruning and deblossoming on growth, development and yield of 'Golden Delicious' apple. *J. Hort. Sci.* 67:465~480.
- Schupp, J.R., T.L. Robinson, W.P. Cowgill and J.M. Compton. 2003. Effect of water conditioners and surfactants on vegetative growth control and fruit cracking of 'Empire' apple caused by prohexadione-calcium.

- HortScience 38:1205-1209.
- Sim, K.K., S.B. Kim and J.K. Kim. 1983. Effect of NAA treatment on the water sprout and sucker control of apple trees. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 24:30-34.
- Stover Ed, Mike Farigon, Richard Risio. Xiaoe Yang, Terence Robinson. 2001. Fruit weight, cropload, and return bloom of 'Empire' apple following thinning with 6-Benzyladenine and NAA at several Phenological stages. HortScience 36:1077-1081.
- Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau. 2005. Leitfaden 2005 (Integrierter Pflanzenschutz, Frostschutz, Fruitsausdünnung, Laubarbeiten, Bodenpflege und Düngung). Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau, Italy. p. 127.
- Thomann, M. and B. Botzner. 1996. Sind Spritzungen mit NAA für die Wachstumsregulierung geeignet? Obstbau Weinbau 33: 304-306.
- Unrath, C.R. 1999. Prohexadione-Ca: a promising chemical for controlling vegetative growth of apple. HortScience 34:1197-2000.
- Vigl, J. 1996. Warum und wann, was wie schneiden? Obstbau Weinbau 33: 291-293.
- Winkler, V.W. 1997. Reduced risk concept for prohexadione-calcium, a vegetative growth control plant growth regulator in apples. Acta Hort. 451:667-671.
- Yoon, T. M. 1995. Effect of water stress on water relation parameters and stomatal conductance of 'Fuji' apple trees. Gartenbauwissenschaft 60:16-21.
- Yoon, T.M. 2001. Integrated production of good quality apple. Proc. Symp. on sustainable development of apple industry in Kyeong-Buk Province. Andong Nat'l Univ. and Kyeong-Buk Province 9-30
- Yoon, T.M. and D.H. Sagong. 2005. Growth Control of 'Fuji' Apple Trees by Use of Prohexadione-Calcium. Kor. J. Hort. Technol. Submitted.
- Yoon, T.M. and H. Richter. 1991. Stomatal conductance and leaf water parameters of apple, pear, sweet cherry and plum in an orchard.

Gartenbauwissenschaft 56:75-81.

경북대, 경북도. 1996-1998. 신경북형 사과생산체계 개발에 관한 연구 I, II, III

변재균. 1997. 사과나무 고밀식 재배시의 효율적인 질소관리. Kor. J. Hort.

Ind. Sci. 1(1): 49-62.

변재균. 1999. 왜성사과 재배를 위한 수세조절 기술(II). 경북농금 567:20-24.

윤태명(역). 1998. 사과나무 세장방추형 전정방법. 안동대학교 농업과학기술연
구소

윤태명. 1998. M9 대목을 이용한 사과 저수고 고밀식재배의 문제점과 대책.

한국과수연구회지 1: 3-19