

최 종
연구보고서

등근마의 생력형 대량 종묘생산 체계와
휴면타파 방법 확립

Establishment of Dormancy Breaking Method in
Tuber and Mass Production System with Bulbil of
Chinese Yam

주 관 연 구 기 관
경 북 대 학 교

협 동 연 구 기 관
안 동 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “등근마의 생력형 대량 종묘생산 체계와 휴면타파 방법 확립” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

년 월 일

주관연구기간명 : 경 북 대 학 교

총괄연구책임자 : 이 인 중

연 구 원 : 강 태 동

협동연구기간명 : 안 동 대 학 교

협동연구책임자 : 정 형 진

연 구 원 : 박 재 호

요 약 문

I. 제목

등근마의 생력형 대량 종묘생산 체계와 휴면타파 방법 확립

II. 연구개발의 필요성

마속(*Dioscorea* spp.) 식물의 괴경은 주성분인 amylose 이외에도 인체의 소화기능 향상과 자양 및 거사작용 등의 약리효능을 가지고 있는 cholin, saponin 등의 화합물 뿐만 아니라, 특히 점액성 당류인 mucin 성분을 많이 함유하고 있어 장을 튼튼하게 하는 식품으로 선진외국을 포함하여 우리나라에서도 점차 소비가 늘어가고 있는 건강식품으로 세계적으로 재배면적이 증가하고 있으며 생산량도 매년 급증하고 있는 실정이다. 한편 한방에서는 마의 껍질을 벗겨 말린 것을 산약이라 부르며 자양, 익정, 보폐 등의 효과가 있어 신체허약, 폐결핵, 정력부족, 야뇨증, 설사, 당뇨병 등을 치료하는데 사용하고 있다.

마는 지하부인 괴경의 길고 짧음에 따라 장마와 단마로 구분하고 있으며, 원형형태의 마를 등근마라고 부르고 있다(Chang et al, 1997). 우리나라에서 재배되는 마는 장마, 단마 및 등근마로써 경북 안동권과 경남 진주권을 중심으로 장마가 대량으로 생산되고 있으며, 단마도 이들 지역을 중심으로 하여 부분적으로 재배되고 있다. 장마와 단마는 재배형태에 있어 차이는 없지만, 장마는 땅속 깊이(60cm~1m이상) 내려가는 특성이 있어 수확할 때 굴삭기를 사용하지 않고는 상품성이 높은 장마의 수확이 어려운 재배적 단점이 있다. 단마는 땅속깊이 약 30~40cm정도 내려가므로 장마보다는 수확이 용이하나 단마 또한 수확시 굴취기 등의 장비와 많은 노동력이 요구된다. 장마는 대규모 면적에서 대형 굴삭기를 이용하여 수확하는 기업농에 의해 일부 재배되고 있을 뿐, 대부분 마 재배 농가에서는 300~500평 정도의 소규모 경지에서 주로 단마를 생산하고 있다.

다행하게도 1997에 처음으로 도입된 등근마(괴경모양이 원형)는 장마나 단마에 비하여 괴경이 형성되는 심도가 아주 얇아(15cm 이내) 굴삭기나 굴취기 등의 대형 농기계를 사용하지 않고도 감자처럼 호미로 손쉽게 수확할 수 있다.

또한 둥근마는 점액성을 띠는 약리성분인 mucin도 장마 및 단마와 비교하면 약 40% 이상 높고(SCC 값이 490 이상) 가공특성이 좋아서 최근 일본에서는 가장 비싼 가격으로 소비자들에게 판매되고 있다.

이와 같이 둥근마는 현재 건강식품의 하나로 각광받고 있는 식용마(장마/단마/둥근마) 가운데에서 품질, 소비자의 선호도, 농가수익성 등의 모든 면에서 장마/단마보다 뛰어나 재배희망농가가 급증하고 있으나 비싼 종묘비용이 재배면적의 확대에 가장 큰 장해요인으로 작용하고 있어 둥근마의 새로운 종묘생산체계의 개발은 절실한 실정이라 생각된다.

마(둥근마 포함) 주로 지하영양기관인 괴경을 절단하여 번식시키거나 괴경상단에 붙어 있는 노두를 이용하여 번식시킨다. 한편 장마와 단마인 경우에는 잎 기부에서 발생하는 영양체인 영여자(零余子)를 이용하기도 한다. 그러나 둥근마는 장마나 단마와는 달리 지상부 영양체 번식기관인 영여자(주아)의 생성율이 매우 낮고, 형성된 영여자의 크기도 매우 작아 종묘로서의 이용이 불가능하므로 결국 둥근마의 종묘는 전적으로 전년도에 수확한 괴경에 의존해야하기 때문에 종묘비가 과다소요 되는 점이 둥근마 재배희망농가의 가장 큰 애로사항으로 지적되고 있다. 따라서 둥근마의 생력화재배는 영여자를 대량으로 생성시키는 방법과 함께 생성된 영여자의 크기를 종묘로 활용할 수 있을 정도의 크기인 직경 10~15mm 이상으로 영여자의 비대를 촉진시킬 수 있는 재배환경에 관한 연구 또는 화학적 방법의 구명이 선행되어야만 가능할 것이라 사료된다.

마(둥근마 포함)의 일반재배는 4월 초·중순에 정식하여 10월 하순경에 수확을 하므로 6개월 이상의 생육기간이 소요된다. 그러나 마는 5~6개월 이상의 휴면기간을 갖고 있어 4월 중순에 정식해도 싹의 지상부출현 시기는 매우 불규칙할 뿐만 아니라 일부 개체는 아주 긴 휴면으로 인해 6월 말경에 지상부로 출현하기도하여 결국 괴경의 비대에 필수적인 영양생장기간이 상대적으로 짧아 안정적인 수량 증수 및 고품질의 균일한 상품 생산의 큰 장해요인으로 작용하고 있다(Wickham et al., 1984 a,b,c, Yasunori et al., 1991). 실제로 마 재배농가의 경우 장마와 단마의 괴경을 절단하여 25℃로 유지되는 전열온상에서 최아 시키면 약 30-40일정도가 지나 출아가 되지만, 출아율이 70% 정도로 괴경의 약 30%는 2차 휴면으로 들어가 싹이 트는 얇은 단점이 있다.

일반적으로 작물의 휴면타파 방법은 종피파상, 습윤처리, 저온처리 등의 물리적인 방법과 지베렐린(GAs)과 같은 식물생장조절제 등이 실제로 이용되고 있으나 마에서는 지베렐린을 처리하면 휴면물질인 batatasins의 합성과 축적으로 오히려 휴면이 유

도되어 출아되는데 소요되는 기간이 더욱 길어지는 현상을 보인다(Hasegawa et al 1973, 1974, 1975; Okagami et al 1983, 1991, 1997a,b; Ireland 1985). 뿐만 아니라 마의 괴경에서 싹이 나올 무렵에 생육촉진을 유도하기 위하여 지베렐린을 처리할 경우, 생육이 중지됨과 동시에 2차 휴면으로 진행이 되어 다른 작물에서는 볼 수 없는 아주 특이한 생리적인 현상을 보인다.

따라서 등근마의 보급확대를 위해서는 이러한 마의 특이한 식물학적 휴면 특성의 이해를 바탕으로 실용성 있는 휴면타과방법의 개발과 영여자 형성 및 비대촉진을 통한 새로운 생력형 대량 종묘생산체계의 구축에 관한 연구가 절실히 필요하다고 사료된다.

Ⅲ. 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위
1차년 도 (2001)	<p>1) 등근마의 영여자 형성 유도법 개발(세부과제)</p> <p>2) 괴경휴면의 환경요인 조사(협동과제)</p>	<p>○ 영여자 착생유도에 대한 재배환경 설정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생육초기source 확보 후 후기 영여자로의 전류 조절이 영여자 착생 및 크기에 미치는 영향 구명 - 차광 50, 70%, 일장처리, 무지주와 활죽재배 - 지베렐린/지베렐린생합성 억제제, 한발 처리 (0.2 bar) - 일장이 영여자 착생에 미치는 영향조사 - 지베렐린(GA)과 지베렐린 생합성 억제제의 처리농도 및 시기의 결정 - 지베렐린(50, 100, 200, 400ppm: 6, 7월 초기 및 9, 10월 후기 엽면살포) - 지베렐린 생합성 억제제 및 지베렐린 처리가 영여자 형성에 미치는 영향 조사 <p>○ 괴경형성 전후의 재배 환경 조건에 따른 휴면성 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> - Batatasin, ABA의 함량과 분포 - 내생 지베렐린의 종류와 활성 지베렐린 함량 - 지베렐린 생합성의 각 단계별 저해와 휴면성과의 상관성 구명 - 재배 시기별 jasmonic acid 함량과 괴경 비대와의 연관성 구명

구 분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위
2차년 도 (2002)	1) 영여자 비대촉진 기술 개발 (세부과제) 2) 괴경의 휴면단축방법 구명 (협동과제)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 영여자로의 source/sink의 조절기능 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 생장조절제 혼용(오옥신/사이토키닌) - 광질(R/FR)이 영여자 착생 및 비대에 미치는 영향 구명 - 생육초기 생장촉진제 살포 후 생육후기 동화양분의 괴경 전류 억제를 통한 영여자 착생 유도 및 비대 촉진 효과 구명 - GA, Jasmonic acid(JA) 등의 식물호르몬 억제제 처리에 따른 영여자 비대 효과 구명 - 호르몬 신호전달 억제제 및 촉진제의 효과 구명 - Auxin/Cytokinin 처리에 따른 영여자로의 양분전류 - 등근마 식물체의 영여자 착생부위별 광량과 광질의 분포 양상 조사 ◦ 괴경 절편의 물리 화학적 처리 방법 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 온탕침지, 조기 절편화, 탈수 처리 - 지베렐린 생합성 억제제, 오옥신류 침지 - 침지 처리 후 물의 수용성 화학물질 동정 - 괴경절편의 표피에 대한 휴면물질 조사 (Batatasins, ABA, GAs) - 괴경 절단면/표피(눈) 부위의 광 조사 효과 (R, FR, B)
3차년 도 (2003)	1) 영여자 씨마의 이용성 증대 (세부과제) 2) 조기 축성 재배법 확립 및 눈 재배 실용화 연구 (협동과제) 3) 농가포장 실증시험 (협동과제)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 비대된 영여자의 씨마 이용체계 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 재식밀도, 시비체계 조절(인산, 가리비료) - 시비량의 기비 체계구명(인산, 가리비료) - 시비량의 추비 체계구명 ◦ 양질 다수확 괴경 생산 체계의 표준화 <ul style="list-style-type: none"> - 왕겨, 벧짚의 피복재료 설치(초기 온도유지) - 관수간격 설정(괴경형성 및 비대기) - 균일 괴경생산을 위한 적정 이랑높이 구명 ◦ 농가포장 실증시험 (진주, 대구, 안동의 3 개 지역) <ul style="list-style-type: none"> - 발 재배 대비 선충피해 발생 양상 및 품질 평가(mucin 함량 비교) - 눈 재배시 벼와의 생산성 및 경영비 비교 분석

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

제 1 절 연구개발 결과

1. 영여자 형성 유도법 개발 및 괴경 휴면의 환경요인 규명

가. 등근마의 영여자의 형성률, 영여자 생체중 및 영여자 직경 등을 고려할 때 포장 상태에서 등근마 영여자 형성 유도 및 비대촉진에 가장 효과적인 재배조건은 Solarig 하우스 재배였다.

나. 영여자의 착생 및 비대에 효과적인 조건하에서 자란 식물체내의 JA 함량이 대조구에 비해 수배 증가하는 것으로 나타나 영여자 형성 및 비대촉진에 JA가 관련됨을 입증하였다.

다. 등근마의 영여자 형성 및 비대촉진을 위한 성장조정제 선발에서 지베렐린의 생합성 1단계 억제제인 MC(mepiquat chloride)가 가장 효과적이었다.

라. 종묘용 등근마 괴경의 알맞은 저장온도는 저온인 4℃ 와 15℃인 것으로 생각되며, 이 온도에서 팽아율이 높았다. 괴경 휴면타파에 가장 효과적인 지베렐린 생합성 억제제인 Ancymidol과 MC의 2 종의 성장조정제를 선발하였다.

마. 마의 지베렐린 생합성은 Early C-13 hydroxylation 경로와 Non C-13 hydroxylation 경로 모두를 통해 합성되는 것으로 조사되었으며, 휴면이 타파됨에 따라 생합성 경로는 생리활성 GA₄가 많이 생합성 되는 Non C-13 hydroxylation 경로가 우세한 것으로 판명되었다.

2. 영여자 비대 촉진기술 개발 및 괴경의 휴면단축 방법 규명

- 가. 영여자 형성과 비대촉진에는 GA생합성 억제제인 mepiquat chloride가 아주 효과적임을 밝혀 현재 특허를 획득한 상태에 있으며 또 다른 호르몬의 효과를 검증하고 있다. GA 생합성 억제제외에 영여자의 형성유도를 위해서는 사이토키닌보다는 옥신이 다소 효과적임을 알 수 있었다.
- 나. 둥근마의 논 재배 가능성을 검토코자 논 재배시 둥근 마의 생육을 검토한 결과, 개화기 영여자 형성량 등에는 큰 차이가 없었으나, 밭 재배에 비하여 괴경 수량이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이는 장마철의 논에 과습과 고온에 의한 논 표토의 건조에 의한 물리성 악화 등에 의한 생육저하와 병 발생에 의한 생육장애에 의한 것으로 판단되어 현재 이 부분에 대한 연구를 계속 수행하고 있다.
- 다. 영여자내의 GA분석을 통해 영여자 최대 비대기인 9월 15일경까지 영여자 체내의 GA함량이 증가하는 것을 확인하였으며 이는 세포신장에 GA가 필수적임을 의미하는 것이므로 영여자에 GA를(특히 GA₄) 초기에 적절한 양을 공급하면 영여자의 비대를 촉진시킬 수 있을 것으로 기대된다.
- 라. 둥근마의 괴경휴면타파에는 ancymidol 1ppm 침적처리가 가장 효과적이었으며, 둥근마의 괴경 휴면타파에는 에틸렌도 밀접히 관련되어 있음을 밀폐용기 내에서의 맨아울 증가현상과 에테폰 처리에 의한 맨아울 증가를 통해 입증하였다. 그러나 이와 같은 맨아축진이 포장상태에서의 초기 생육 촉진현상과는 일치하지 않아 초기 생육촉진에 대한 연구가 절실한 것으로 판단된다. 즉, 이른 봄의 상대적 저온(마는 고온성 작물인 관계로 낮은 온도에서 생육이 저조함)에 의한 생육저하 현상을 극복시킬 수 있는 방법의 개발이 필요하다고 사료되어 현재 생육촉진 효과가 있는 GA₄에 대한 실험을 수행하여 상당한 결과를 얻었다.
- 마. GA₄와 BA의 혼합은 GA₃ 또는 GA₃와 BA의 혼합에 비해 생육 촉진효과가 월등하게 좋았다.

3. 영여자 씨마의 이용성 증대 및 논 재배 실용화 연구

가. 정식 후 60일째 에서는 50% 이상의 출아율을 보였다. 사이토카이닌류인 BA와 GA₄와 GA₇의 혼용제제인 프로말린(promalin)의 경우 정식 후 50일째 52.5 - 63.2%의 출아율을 보여 상대적으로 높은 출아율을 보이는 것으로 나타났다. 특히 정식 후 60일째 에서는 프로말린 > 지베렐린 > 무처리 순으로 영여자의 출아율이 높아 둥근마의 초기 생육촉진을 위한 출아율 증대에는 프로말린 처리가 효과적임을 알 수 있었다.

나. 영여자 착생기는 대구지역이 안동지역보다 약 9일정도 일찍 착생 되었으며, 영여자 크기별 착생량은 2mm 이하는 지역간 차이를 보이지 않았으나 영여자 씨마로 가능한 2-4mm 정도의 크기는 대구지역에서 다소 증가하였으며 특히 영여자 씨마로 사용가능한 4mm 이상되는 영여자는 대구지역이 안동지역보다 거의 2배 정도 많이 착생됨을 알 수 있었다. 결과적으로 지역간 영여자의 수량성을 조사한 결과 안동지역보다 대구지역에서 2배 이상의 높은 수량성을 보여 영여자의 착생은 어느 정도 재배지역의 온도에 따른 영여자의 조기착생 유도과 영여자 착생 후 비대가 개시되는 8월 하순에서 9월에 걸친 토양의 적습상태가 일정기간이 유지되어야 안전한 영여자 생산이 가능할 것으로 판단되었다.

다. 둥근마를 논 재배할 경우 배수불량에 의한 습해를 미리 방지하기 위하여 두둑 높이를 조절하여 괴경의 수량과 상품률을 조사한 결과 무휴재배에 비하여 두둑을 높이는 것이 괴경 수량이 증가하였다.

라. 둥근마의 관행재배시 사용되는 비료의 사용량은 주로 장마와 단마의 시비량에 중점을 두기 때문에 상대적으로 얇은 토심에서 자라는 둥근마에 대한 시비량으로는 과다한 것으로 지적되고 있으며 상품율 또한 시비량에 따라 다른 반응을 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 괴경수량 향상과 상품율 증대를 위하여 완효성 비료와 인산질이 없는 엔케이 비료에 대해 시비량을 달리하였을 때 괴경수량을 조사한 결과 관행재배에 비하여 완효성 비료와 엔케이비료 모두 괴경수량이 증가하였다.

제 2 절 활용에 대한 건의

1. 환경조절을 이용한 영여자 형성 및 비대 촉진방법을 이용하거나, 영여자 형성 및 비대 촉진용 생장조정제를 사용하여 영여자를 통한 생력형 대량 종묘증식법의 농가 보급이 가능함.
2. 영여자(지상부 영양체)로의 양분전류 메카니즘을 역이용하여 지하부의 비대촉진에 활용할 수 있을 것임.
3. 등근마외에 장마 및 단마의 휴면성 타파에도 응용할 수 있을 것임.
4. 등근마의 축성 또는 조기재배가 가능하므로 종자생산 및 마 신품종 육성시 육종 연한을 단축시키는데 활용될 수 있음.
5. 효과적인 괴경비대 요인을 부여할 수 있으므로 수확량 증대를 이룩할 수 있을 것임.

SUMMARY

I . TITLE

Establishment of Dormancy Breaking Method in Tuber and Mass Production System with Bulbil of Chinese Yam

II. OBJECTIVE AND NECESSITY

This study was conducted to investigate the effective physicochemical methods on shortening the dormancy periods in tubers and bulbils and to establish the large-scaled production systems on higher quality of tubers and bulbils of Chinese yam plants grown in a field conditions including paddy fields. Most chinese yam varieties cultivated in our country have been used to make processing foods and herbal medicines. Recently consumption on chinese yam as raw food has been increased over the ten years ago. The two chinese yam varieties cultivated in Korea are two types named Jang-ma (Korea common name, long tuber) and Dan-ma (Korea common name, short tuber). Tuber length is ranged from 30 cm to 120 cm and it grows well at the deep soils. In harvesting these tubers, excavators have been used to harvest the tubers grown in the deep soils spending higher cost in most farmers. Some farmers sometimes use the larger diggers. It is needed much harvesting times. Finally, farmers cultivating these chinese yams are placed at disadvantages for harvesting times and higher input. As a result, most of farmers hope to cultivate and find the labor-saving type and high quality on chinese yam. Dunggun-ma (introduced from Japan, 1997) has a round type and grows at shallow soils.

Mucilage property(mucin) that has used to estimate the quality index for foods processing are 7 or 8 times higher than that of conventional chinese yam varieties. However, in spite of these merits, the new varieties has relatively

lower tuber productivity and bulbils that is used as seed and seedling in chinese yams is scarce not formed in a natural environmental conditions. Finally, these problems have pointed out as an obstacle to spread the new varieties.

III. CONTENTS AND SCOPES OF THE STUDY

1. Several environmental factors affecting tuber dormancy and bulbil productions

- Solarig culture: bulbil formation rate and tuber yield
- Application of plant growth regulators: bulbil formation/production and tuber enlargement
- Investigation of gibberellin biosynthetic pathways

2. Methods on reducing tuber dormancy and promotion bulbil enlargement

- Comparison of mixed auxin and cytokinins: bulbil formation and production
- Estimation of possible paddy fields: tuber yield and bulbil production
- Analysis of endogenous plant hormones: jasmonic acid and gibberellins
- Dormancy-reducing physicochemical techniques: Ancymidol and air-tight pack
- Higher quality tuber production : gibberellin and cytokinins application

3. Improvement of bulbil as propagation purpose and introduction to paddy fields

- Promalin treatments: promoting the shortened dormancy periods
- Difference in regional culture: Andong and Daegu, bulbil formation/production
- Establishment of paddy field culture: fertilizer selection and disease control

IV. RESULTS AND APPLICATION

1. Results of this study

(1) Several environmental factors affecting tuber dormancy and bulbil productions

- In considering formation rate, fresh weight, and diameter of bulbils, the favorable cultural methods that induce a higher bulbil production and dramatic enlargement of bulbils are subjected to solarig condition in a field.
- When chinese yam grows in Solarig-greenhouses, endogenous jasmonic acid content was about 2 to 5 times more increased in Solarig condition than in a field showing that jasmonic acid is closely involved in bulbil enlargement in Chinese yam plants.
- Application of mepiquat chloride as one of the gibberellin biosynthetic retardant and commercial plant growth regulator promoted the formation and enlargement of bulbils in Chinese yam among tested commercial chemicals.
- The optimal storage temperature on tubers was ranged from low (15°C) to lower temperature (4°C), in these temperatures, sprouting rate was hastened. Two gibberellin biosynthetic retardants, ancymidol (AN) and mepiquat chloride (MC) was considered to be best dormancy breaking chemicals in Chinese yam tubers.
- Two different gibberellin biosynthetic pathways named an early C-13 hydroxylation and non C-13 hydroxylation were operated in Chinese yam. When dormancy periods in bulbils and tubers had been prolonged, non C-13 hydroxylation route having bioactive GA₄ was dominantly operated in these organs of Chinese yams.

(2) Methods on reducing tuber dormancy and promotion bulbil enlargement

- New cultural technique using mepiquat chloride in relation to formation and enlargement of bulbils took out a domestic patent on new invent. Related to tuber enlargement, application of auxin had more promising tools than cytokinins.
- Chinese yam were introduced to paddy fields in order to investigate the replaced availability with rice plant. Tuber yield grown in paddy fields was slightly decreased compared to the upland fields, whereas occurrence of diseases was reduced markedly in paddy field condition.
- Bulbil enlargement was closely related to endogenous gibberellin content, bulbil enlargement was kept to September 15, endogenous gibberellin content was kept to be maintained higher concentrations. In this result, it was suggested that bulbil or tuber enlargements might be controlled by an exogenous gibberellin with GA₄.
- Soaking treatment with ancymidol promoted the dormancy breaking in tubers. Sprouting rate of tubers stored in air-tight vinyl packs was increased temporarily emitting gaseous plant hormone, ethylene. Meanwhile, this result was not coincidence with that of field conditions.
- Application of hormonal combination rather than single gibberellic acid and/or benzyladenine as cytokinins had induced the good growth and higher yields.

(3) Improvement of bulbil as propagation purpose and introduction to paddy fields

- Over 59% in bulbil sprouting was observed at 60 days after seedling. Among these treatments, promalin led to higher sprouting rate at 50 days after seeding ranging from 52.5 - 63.2%. In particular, promalin was most effective

to promoting the sprouting rate at 60days after seedling. In these results, promalin is recommended to widely application in farmers cultivating chinese yam plants.

- Bulbils were set early about 9 days in Daegu region compared to the Andong region. Bulbil formation (2 mm in diameter size) was similar to two regions, otherwise bulbil formation rate in medium size (2-4 mm) was more promoted in Daegu region than that in Andong region. Furthermore, the largest bulbil formation rate above 4mm was dramatically increased in Daegu region compared to the Andong region. It was implied that amounts and formation rate of bulbil in two different regions might dependant on diverse environmental factors such as mean air temperature, rainfalls and soil moisture during bulbil formation and enlargement stages.
- One of detrimental problems to introduce chinese yam to paddy fields is severe soil moisture causing tuber decay and disease and lower productivity. Higher ridging was essential to protect root system of tubers from intermittent higher soil moisture, marginal irrigation and continuous precipitation. In field trials, 30 cm in ridging height was favorable to keep higher and good tuber yield.
- Conventionally recommended fertilizer amounts per 10 a are 43-28-32 kg as N-P₂O₅-K₂O. In practically farm yields, the amounts of fertilizer may cause soil contamination and lower nutrient availability from chinese yam plants. We selected newly the optimum fertilizer amounts and composition from several fertilizers. Controlled-releasing fertilizer and N-K fertilizer was promising fertilizers in cultivate chinese yam, in particular, round tuber type. Two different fertilizers promoted tuber yields and higher commercial productivity compared to the conventional amounts of fertilizer in paddy fields.

2. Applications of this study

From this project, we concluded that new technology to promote and enhance the tuber and bulbil enlargement leading higher yields was applicable to the farmers cultivating chinese yam plants including two different tuber types, Danma and Jangma. Forcing culture methods with plant growth regulators is recommended in developing new cultivar from chinese yam plant. As a result, chinese yam is introduced to paddy field instead of rices partly in our country.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of research development for project	26
Section 1. Necessity and objective	26
Section 2. Scope and content	29
Chapter 2. Present state in home and abroad for technology development	32
Section 1. Context for technology development in home and abroad	32
1. Present state of related technology	
2. Question at issue	
Section 2. Prospect in future and propriety of technology induction	34
1. Prospect in future	
2. Propriety of technology induction	
Chapter 3. Development of bulbil production technology	35
Section 1. Introduction	35
Section 2. Materials and methods	36
Section 3. Development of bulbil production technology	46

1. Growth characteristics and rate of bulbil production by different cultural regions	
2. Determination of GA biosynthetic pathways	
3. Endogenous JA content in leaves by different photoperiod	
4. Tuber yield and bulbil formation by irrigation levels	
Section 4. Environmental factors for tuber dormancy	51
1. Tuber yield in application of GA and GA biosynthesis inhibitors	
2. Sprouting rate for different stored temperature	
3. Sprouting characteristics by plant growth regulators during fully dormant periods	
4. Content of endogenous ABA and batatasins during tuber dormancy	
5. Endogenous gibberellins of tuber during storage	

Chapter 4. Technology on bulbil enlargement and reducing tuber

dormancy	57
Section 1. Introduction	57
Section 2. Materials and methods	58
Section 3. Technology for promoting bulbil enlargement	60

1. Enlargement response in tuber and bulbil by combined plant growth regulators	
2. Set and enlargement of tuber by GA and GA biosynthesis inhibitors	
3. Practical trials on paddy fields for chinese yam cultivation	
4. <i>In vitro</i> induction of bulbil formation and enlargement	
Section 4. Technology for dormancy-reducing methods in tuber	73
1. Dormancy responses by early tuber cut and physicochemical treatments	
2. Tuber dormancy as affected by different stored humidities	
3. Plant hormone balance in tubers at enlargement stage	
4. Effective dormancy-breaking methods in tuber and bulbil	
 Chapter 5. Practical application in paddy fields and improvement of	
seeded bulbil	84
Section 1. Introduction	84
Section 2. Materials and methods	85
Section 3. Labor-saved production technology in seeded bulbil	87
1. Development for an early growth hastening technology	
2. Environmental factors on bulbil formation under paddy filed	
Section 4. Cultural technology for enlargement and dormancy breaking of tube..	92

1. Selection of plant growth regulator with tuber enlargement and promotion	
2. Optimum environmental factors for paddy field culture	
Chapter 6. Accomplishment and contribution for related field	99
Section 1. General plans	99
Section 2. Accomplishment of the research development	100
Section 3. Contribution for related fields	102
Chapter 7. Practical use of research results	104
Section 1. Applicable fields and plans	105
1. Applicable fields	
2. Applicable plans	
Section 2. Added technological development and relevant facts.....	105
Chapter 8. Foreign scientific information related the project	106
Chapter 9. Reference	107

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
SUMMARY	12
CONTENTS	18
목 차	22
제 1 장 연구개발 과제의 개요	26
제 1 절 연구 개발의 목적 및 필요성	26
제 2 절 연구 개발의 내용 및 범위	29
제 2 장 국내·외 기술 개발의 현황	32
제 1 절 국내·외 기술 개발의 현황	32
1. 관련 기술의 현황	
2. 문제점	
제 2 절 앞으로의 전망과 기술도입의 타당성	35
1. 앞으로의 전망	
2. 기술도입의 타당성	

제 3 장 영여자 형성 유도법 개발	35
제 1 절 서 론	35
제 2 절 재료 및 방법	36
제 3 절 영여자 형성 유도법 개발	46
1. 재배조건에 따른 영여자의 형성률 및 생육 특성	
2. 등근마 식물체내의 GA 생합성 경로 구명	
3. 일장조절에 따른 잎의 내생 JA 함량 변화	
4. 관수 조절이 등근마의 영여자 형성 및 괴경수량에 미치는 영향	
제 4 절 괴경휴면의 환경요인 구명	51
1. 지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제 처리에 대한 괴경 수량	
2. 저장온도에 따른 괴경의 맹아율 변화	
3. 완전 휴면 기간에 성장조정제 처리에 따른 맹아 특성	
4. 휴면 기간중 괴경의 내생 ABA와 Batatasins 함량 변화	
5. 저장중 등근마 괴경의 활성 지베렐린의 함량 변화	
제 4 장 영여자 비대 촉진 기술개발 및 괴경의 휴면단축 방법 규명	57
제 1 절 서 론	57
제 2 절 재료 및 방법	58
제 3 절 영여자 비대촉진 기술 개발	60

1. 성장조정제 혼용조합에 따른 괴경과 영여자의 비대 반응	
2. 지베렐린 및 지베릴린 생합성 억제제가 처리된 괴경의 착생과 비대	
3. 논재배 실용화에 관한 연구	
4. 조직배양에 의한 영여자 형성유도 반응	
제 4 절 괴경의 휴면단축 방법 규명	73
1. 물리·화학적 방법 및 초기절편화에 따른 괴경의 휴면반응	
2. 저장 습도에 따른 괴경의 휴면반응	
3. 괴경 비대기의 등근마 체내 호르몬 성분 변화	
4. 효과적인 휴면타과 확립방법 확립	
제 5 장 영여자 씨마의 이용성 증대 및 논 재배의 실용화 연구	84
제 1 절 서 론	84
제 2 절 재료 및 방법	85
제 3 절 영여자를 통한 생력형 종묘 생산법	87
1. 영여자 초기 생육 촉진법 개발	
2. 논재배시 영여자 착생 환경 및 비대 연구	
제 4 절 휴면타과 및 괴경비대를 위한 재배법 확립	92
1. 초기생육 확보 및 괴경비대를 위한 성장조정제 선발 시험	
2. 논재배 적정 재배환경 설정	

제 6 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	99
제 1 절 총괄 추진 계획표	99
제 2 절 연구개발 목표의 달성도	100
제 3 절 관련분야에의 기술발전에 기여도	102
제 7 장 연구개발 결과의 활용계획	104
제 1 절 활용분야 및 활용방안	104
1. 활용분야	
2. 활용방안	
제 2 절 추가 기술개발 및 조치사항	105
제 8 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보	106
제 9 장 참고 문헌	107

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 기술적 측면

등근마와 같은 종(species)에 속하는 장마나 단마의 경우 영여자의 착생 수가 많고 영여자 또한 종묘로 이용할 수 있을 정도로 저장 영양분을 함유하고 있어 실제로 종묘생산에 이용하고 있으므로 등근마의 경우도 영여자의 종묘화가 가능하리라 사료되며 예비시험에서도 이를 입증하였음. 마의 품질지표인 mucin 함량을 높여 고품질의 등근마를 생산할 수 있는 재배법의 개발이나, 마의 휴면타과법 개발을 통한 조기재배로 안정적인 가격유지, 휴면타과를 통한 균일한 출아유도로 상품성이 높은 괴경 확보 등은 일본, 대만, 중국 등의 마 소비 국가로의 역수출을 위한 선행 연구로 필히 진행되어야 할 분야라 사료된다.

가. 등근마의 영여자 형성과 비대축진에 관한 연구는 전무한 실정이나, 장마/단마의 경우 이들 영양기관을 종묘생산에 이용하고 있을 뿐만 아니라 등근마의 경우도 본 연구책임자가 영여자의 착생 및 비대 축진을 시킬 수 있는 몇 가지 예비시험을 한 결과 실용적인 방법의 개발이 가능할 것으로 사료됨.

나. 마는 일부 종(*Dioscorea alata*)을 제외하면 영양번식을 하는 식물로 휴면기간이 5~6개월 이상 지속될 뿐만 아니라 개체 간에도 변이폭이 매우 커서 1년생으로 재배 할 경우 출아시기의 차이는 생육기간의 차이로 이어져 개체간의 괴경크기 및 품질 변이폭의 주원인이 되고 있음.

다. 휴면이 완전히 타과되지 않은 마를 정식기인 4월에 정식하면 초기생육이 늦어져 안정적인 수량성 확보에 걸림돌이 되고 있어 수량감소의 절대적인 변수로 작용함.

라. 등근마의 휴면관련 물질(일본에서는 Batatasins을 휴면물질의 하나로 추정하고 있음)과 이에 대한 축적억제를 위한 연구는 미흡한 실정임.

2. 경제·산업적 측면

등근마의 영여자 착생유도와 비대축진에 관한 실용적인 방법이 개발되어 종묘로 활용할 수 있는 기술이 구축된다면 종묘비의 절감뿐만 아니라 저렴하게 대량 종묘생산이 가능하므로 등근마의 재배확대가 이루어질 수 있을 것이므로 현재 재배되고 있는 장마/단마의 수확시의 과도한 노동력과 장비의 투여에서 기인하는 일반농가로의 마 재배 확대의 걸림돌이 제거될 것이다. 아울러 실용적인 휴면타과방법이 개발된다면 조기 출아를 목적으로 하는 전열온상을 설치할 필요가 없어 생산비 절감 효과가 크고, 피복재배에서 3월 초순에 정식이 가능하여 생육기간을 1개월 정도 연장하여 피경의 수량을 높일 수 있으며, 비닐하우스 재배시에는 2월 초순에 정식이 가능하여 2개월 정도 생육기간이 늘어나 고품질의 피경을 다수확 할 수 있을 것이며 이와 동시에 mucin함량을 높일 수 있는 다각적인 재배 환경기술이 개발된다면 고품질의 등근마를 생산할 수 있을 것이다. 또한 등근마는 장마 단마와는 달리 토심의 영향을 적게 받으므로 논으로의 재배확대가 가능하므로 모든 마의 재배에서 문제시되고 있는 선충피해를 줄일 수 있어 고품질의 등근마 생산과 함께 논외 휴경지에 대한 토지 이용율을 극대화할 수 있을 것으로 사료된다.

가. 현재 경북 북부지역과 충북 및 경남 진주를 중심으로 하여 재배중인 마의 품종은 주로 약용인 장마계통과 식용 및 약용 겸용으로 쓰이는 단마계통이 있지만 1990년대 후반에 도입중인 등근마는 일반 마에 비하여 kg당 10,000원 이상에 거래되고 있고, 특히 등근마는 건강식품으로 각광을 받고 있어 신수요에 맞는 새로운 마의 품종 모델로 대두되고 있음.

나. 등근 마는 다른 마 품종과는 달리 천근성 계통으로 초생력 재배시 일반 마의 수확 시간이 580시간인데 비해 171시간으로 단축할 수 있음.

다. 등근마 재배시 재배농가의 조수익은 10a 당 3,800,000원으로 다른 마 재배시의 2,500,000원 보다 높아, 약 65%의 소득증대 효과가 있음.

라. 마는 주로 한약재로 이용되며 국내소비의 대부분을 자급하고 있으며 매년 일본과 미국에 15톤 정도가 수출되고 있음.

- 마. 양질의 마를 대량 생산할 수 있는 재배법의 개발은 수출 증대효과로 이어질 것으로 사료됨.
- 바. 둥근마는 수확을 위한 경영비 절감효과가 매우 높으므로 우리나라의 대부분의 마 재배 희망농가가 소규모인 점을 감안할 때 수확노력이 적게 들고, 동시에 장마와 단마 보다 식미 및 가공적성이 좋아 마 재배 농가의 농가소득 증대에 기여하는 바가 매우 클 것으로 판단됨.
- 사. 둥근마의 경우는 논으로의 재배확대가 가능하므로 토지이용율 증대와 모든 마 재배 에서 나타나는 선충피해를 막아 품질이 좋은 둥근마를 생산할 수 있을 것임.

3. 사회·문화적 측면

- 가. 마는 신라시대 향가인 서동요의 소재로 이용될 만큼 오래 전부터 널리 이용되어 온 식물임.
- 나. 마의 껍질을 제거하여 말린 것을 산약이라 하며 보양재로 한방치료에 많이 이용되고 있음.
- 다. 최근 건강식품의 선호로 인하여 한약재와 식용으로의 마의 수요가 증가하고 있으며 특히 일본의 경우 둥근마는 회 전문점에서 뿐만 아니라 고급 제빵용, 국거리, 초무침용, 튀김용 등의 재료로 가장 높은 가격으로 판매되고 있음.
- 라. 재배하는 마의 생산비가 저렴하고(수확이 용이함) 논재배가 가능하므로 재배면적의 확대로 이어져 마의 안정적 가격 형성이 가능할 것이므로 건강식품으로 국민 건강증진에 기여할 것임.

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

현재 식용마는 포함한 약용식물에 대한 소비자들은 한방치료보다는 건강보조식품으로 인식이 되고 있어 식용 마 생산의 재배면적 확대로 이어질 것이다.

마는 경북 북부지역의 지역특화 신소득 작물로서 유망시 되는 특용작물로 휴면관련 물질의 생성을 억제 및 타파하는 기술과 보급된다면 비닐하우스에 의한 연중재배가 가능하여 재배지역의 확대와 함께 수량 및 상품성의 향상으로 농가 소득증대에 기여할 것이며 번식기관인 영여자의 종묘생산체계에 대한 기술이 확립되면 마를 재배하는 농가의 경영비를 획기적으로 절감할 수 있을 것이며 뿐만 아니라 마의 생산 종주국인 일본으로의 종묘판매와 기술료 (royalty) 획득이 가능할 것이다

건강보조 식품으로서 마의 소비는 증가하는 추세로 논 휴경지의 경지 이용을 증대와 함께 농가의 주된 소득원으로 대두될 것으로 확신된다.

마에 관한 연구의 대부분은 본 연구에서 목표로 삼고 있는 등근마가 아닌 다른 종류의 마를 대상으로 수행되고 있으며, 특히 열대지역은 저장 등의 문제로 휴면성을 유지하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

한편 등근마는 일본에서 상당부분 연구가 진행되고 있으나 대부분의 연구는 축성 또는 연중재배분야에 국한되어 있어, 본 연구에서 추구하고자하는 영여자(지상부 영양번식체)의 비대축진을 통한 종묘생산에 관한 연구는 진행된 바가 없어 기술도입은 현실적으로 불가능하며 오히려 본 과제가 성공적으로 수행된다면 기술을 수출할 수 있을 것으로 판단된다.

- 등근마의 영여자 착생유도와 비대축진에 관한 실용적인 방법 개발
- 등근마 괴경의 휴면타파방법 개발
- 등근마의 괴경비대 원인구명
- 등근마의 영여자 씨마 대량생산체계 구축

구 분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위
1차년 도 (2001)	<p>1) 둥근마의 영여자 형성 유도법 개발(세부과제)</p> <p>2) 괴경휴면의 환경요인 조사 (협동과제)</p>	<p>○ 영여자 착생유도에 대한 재배환경 설정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생육초기 source 확보 후 후기 영여자로의 전류 조절이 영여자 착생 및 크기에 미치는 영향 구명 - 차광 50, 70%, 일장처리, 무지주와 활죽재배 - 지베렐린/지베렐린생합성 억제제, 한발 처리 (0.2 bar) - 일장이 영여자 착생에 미치는 영향조사 - 지베렐린(GA)과 지베렐린 생합성 억제제의 처리농도 및 시기의 결정 - 지베렐린(50, 100, 200, 400ppm: 6, 7월 초기 및 9, 10월 후기 엽면살포) - 지베렐린 생합성 억제제 및 지베렐린 처리가 영여자 형성에 미치는 영향 조사 <p>○ 괴경형성 전후의 재배 환경 조건에 따른 휴면성 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> - Batatasin, ABA의 함량과 분포 - 내생 지베렐린의 종류와 활성 지베렐린 함량 - 지베렐린 생합성의 각 단계별 저해와 휴면성과의 상관성 구명 - 재배 시기별 jasmonic acid 함량과 괴경 비대와의 연관성 구명

구 분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위
2차년 도 (2002)	<p>1) 영여자 비대촉진 기술 개발 (세부과제)</p> <p>2) 괴경의 휴면단축방법 구명 (협동과제)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 영여자로의 source/sink의 조절기능 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 성장조절제 혼용(오옥신/사이토키닌) - 광질(R/FR)이 영여자 착생 및 비대에 미치는 영향 구명 - 생육초기 성장촉진제 살포 후 생육후기 동화양분의 괴경 전류 억제를 통한 영여자 착생 유도 및 비대 촉진 효과 구명 - GA, Jasmonic acid(JA) 등의 식물호르몬 억제제 처리에 따른 영여자 비대 효과 구명 - 호르몬 신호전달 억제제 및 촉진제의 효과 구명 - Auxin/Cytokinin 처리에 따른 영여자로의 양분전류 - 등근마 식물체의 영여자 착생부위별 광량과 광질의 분포 양상 조사 ◦ 괴경 절편의 물리 화학적 처리 방법 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 온탕침지, 조기 절편화, 탈수 처리 - 지베렐린 생합성 억제제, 오옥신류 침지 - 침지 처리 후 물의 수용성 화학물질 동정 - 괴경절편의 표피에 대한 휴면물질 조사 (Batatasins, ABA, GAs) - 괴경 절단면/표피(눈) 부위의 광 조사 효과 (R, FR, B)
3차년 도 (2003)	<p>1) 영여자 씨마의 이용성 증대 (세부과제)</p> <p>2) 조기 축성 재배법 확립 및 눈 재배 실용화 연구 (협동과제)</p> <p>3) 농가포장 실증시험 (협동과제)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 비대된 영여자의 씨마 이용체계 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 재식밀도, 시비체계 조절(인산, 가리비료) - 시비량의 기비 체계구명(인산, 가리비료) - 시비량의 추비 체계구명 ◦ 양질 다수확 괴경 생산 체계의 표준화 <ul style="list-style-type: none"> - 왕겨, 벧짚의 피복재료 설치(조기 온도유지) - 관수간격 설정(괴경형성 및 비대기) - 균일 괴경생산을 위한 적정 이랑높이 구명 ◦ 농가포장 실증시험 (진주, 대구, 안동의 3 개 지역) <ul style="list-style-type: none"> - 밭 재배 대비 선충피해 발생 양상 및 품질 평가(mucin 함량 비교) - 눈 재배시 벼와의 생산성 및 경영비 비교 분석

제 2 장 국내·외 기술 개발 현황

제 1 절 국내·외 기술 개발 현황

1. 관련기술의 현황

- 가. 우리나라에서 마를 연구하는 국가기관에서 1990년 초반까지는 생약으로의 연구가 일부 진행되었으나 1990년 중반부터는 건강보조식품으로 각광을 받으면서 식용화 하는 방향으로 전환되고 있음.
- 나. 국내에서 재배되는 마는 장마와, 단마 그리고 1997년도에 경북농업기술원에서 단마 계통의 “마1호”가 육성 보급되어 재배되고 있으며, 일부 농가에서는 1997년부터 일본에서 도입된 생력형 품종인 “등근마”가 도입되어 아주 적은 면적으로 재배되고 있음.
- 다. 일본의 경우 마 재배연구는 1960년대 초부터 시작되었으며, 1980년 중반부터 등근마에 관한 연구가 산발적으로 진행되고 있음.
- 라. 마의 휴면생리에 관한 국내의 연구는 전무하나 일본에서는 1970년대부터 Yamagata University(Tanno N. 교수) 및 Tohoku University(Okagami N. 교수)에서 몇몇 연구자들에 의해 연구가 수행되고 있으며 1998년에는 일본 전역의 마 연구 전문가로 구성된 RGDP(Research Groups of Dioscoreaceae Plant)가 결성되어 마에 대한 연구가 행해지고 있음.
- 마. 최근 일본에서는 등근 마에 대한 조기 축성재배법 개발에 관한 연구와 함께 비닐하우스에 의한 연중 재배하기 위한 새로운 재배법을 시도하고 있음(Kagoshima University).
- 바. 열대지방에서는 마에 관한 연구가 아주 많이 진행되고 있으나 이들 지역에서 재배되고 있는 마는 우리나라에서 재배되고 있는 마와는 종이 완전히 다르며, 연구 또한 우리나라와는 다른 측면에서 진행되고 있다. 인도와 아프리카 등에서의 마

연구에서는 온대성 계열인 *opposita* 종보다는 열대성 계열인 *alata* 종에 국한되어 괴경의 맹아율 증대와 출아와 관련된 생장조정제의 효과가 일부 수행되었으나 실용화가 미미한 실정이며(Farooqi et al,1989; Wickham et al 1984; Passam et al, 1982; Okagami et al, 1983; Barker et al, 1999a,b).

사. 최근(1990년대) 국외의 주요 연구는 마의 휴면유도 추정물질인 batatasinIII의 allelopathy 효과에 관한 연구와 마의 저장 단백질 특성, 마 괴경의 건물 생산량 변화에 대한 동화 물질의 전류 및 전이, 비대 반응에 관여하는 jasmonic acid의 반응, 열대마의 저장 기간의 연장을 위한 지베렐린의 실용화 등이 산발적으로 수행되고 있으나 연구의 큰 진전은 없는 실정임(Anna et al,1997; Wallstedt et al, 2000; Houet al, 1999; Barker et al, 1999; Chowdhury et al, 1998; Bazabakana et al, 1999; Sato, 1998; Girardin et al, 1998; Tanno et al, 1995).

아. 마의 휴면물질과 관련된 연구는 식물생장호르몬인 지베렐린과의 상호연관성이 높은 것으로 보고 되고 있음(Noriaki et al, 1992).

2. 문제점

가. 괴경 품질과 단위 면적당 수량이 절대적으로 높은 둥근마에 대한 안정적인 대량 종묘 생산체계에 대한 연구가 이루어지지 않고 있음.

나. 마의 주요 번식기관의 하나인 영여자의 착생률 증대와 비대 증진에 의한 종묘 이용성의 실용화 연구는 진무한 상태임.

다. 국내에서 재배되고 있는 마의 휴면기간은 약 5~6개월 이상인데 약 2~3개월로 줄일 수 있는 휴면타파 방법의 개발을 통한 조기 축성재배 기술이 개발 된다면 전열운상을 이용하는 최야 노력을 없앨 수 있을 것이나 이 분야의 연구는 미비함.

라. 마의 생육단계별 또는 저장기간 중의 호르몬의 변화와 휴면유도물질의 변화에 대한 연구는 미흡한 실정임.

마. 마의 품질 지표인 점액성 물질인 mucin 함량을 높이기 위한 종합적인 재배 연구가 수행되지 않고 있음.

제 2 절 앞으로의 전망과 기술도입의 타당성

1. 앞으로의 전망

현재 식용마는 포함한 약용식물에 대한 소비자들은 한방치료보다는 건강보조 식품으로 인식이 되고 있어 식용 마 생산의 재배면적 확대에 이어질 것이며 경북 북부지역의 지역특화신소득 작물로서 유망시 되는 특용작물로 휴면 관련물질의 생성을 억제 및 타파하는 기술과 보급된다면 비닐하우스에 의한 연중재배가 가능하여 재배지역의 확대와 함께 수량 및 상품성의 향상으로 농가 소득증대에 기여할 것이다.

번식기관인 영여자의 종묘생산체계에 대한 기술이 확립되면 마를 재배하는 농가의 경영비를 획기적으로 절감할 수 있을 것이며 뿐만 아니라 마의 생산 종주국인 일본으로의 종묘판매와 기술료(royalty) 획득이 가능할 것이며 건강보조 식품으로서 마의 소비는 증가하는 추세로 논 휴경지의 경지이용을 증대와 함께 농가의 주된 소득원으로 대두될 것이다.

2. 기술도입의 타당성

마에 관한 연구의 대부분은 본 연구에서 목표로 삼고 있는 등근마가 아닌 다른 종류의 마를 대상으로 수행되고 있으며, 특히 열대지역은 저장 등의 문제로 휴면성을 유지 하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 한편 등근마는 일본에서 상당부분 연구가 진행되고 있으나 대부분의 연구는 축성 또는 연중재배분야에 국한되어 있어, 본 연구에서 추구하고자하는 영여자(지상부 영양번식체)의 비대 축진을 통한 종묘생산에 관한 연구는 진행된 바가 없어 기술도입은 현실적으로 불가능하며 오히려 본 과제가 성공적으로 수행 된다면 기술을 수출할 수 있을 것으로 판단됨.

제 3 장 영여자 유도법 형성 개발과 괴경 휴면의 환경 요인 규명

제 1 절 서 론

둥근 마는 국내에서 재배되고 있는 장마 및 단마와는 달리 괴경의 모양이 둥근 것이 가장 큰 특징이다. 둥근마는 모양이 둥글고 얇은 토심에서 자라기 때문에 괴경 수확이 용이하다는 장점으로 농가의 선호도가 증가하고 있다. 하지만 둥근마는 장마와 단마에 비해 상대적으로 단위면적당 괴경 수량성이 다소 낮을 뿐만 아니라 일반마 재배종에서 볼 수 있는 독립영양 번식기관인 영여자(주아)가 거의 형성되지 않아 농가에서 대단위로 재배할 경우 종묘 생산비가 과다하게 투입되는 것이 경영상의 단점으로 지적되고 있다.

생리적인 측면에서는 일반 재배 마에서는 수확 후 이듬해 3월이면 괴경, 괴경 절편, 영여자 등 모든 기관에서 싹이 트는 데 반해 둥근마는 싹이 트지 않는 이른바 괴경 휴면이 가장 긴 품종으로 알려져 있다. 위와 같은 둥근 마의 재배 및 생리적인 문제점을 해결하기 위한 선결과제는 둥근마의 영여자 형성에 미치는 환경요인과 영여자 기관의 내부 영양 및 생리적인 변화와 함께 괴경 휴면에 관여하는 물리화학적 변화에 따른 생리적인 연구 고찰이 없이는 상품성과 가공적성 및 생력형인 둥근 마의 재배확대는 불가능한 실정이다.

우리나라에서 재배되고 있는 마는 감자처럼 괴경을 절단하여 소독한 다음 최아라는 재배과정을 거치는데 이러한 과정은 괴경의 휴면타파와 관련성이 높으며 최아 재배시 괴경의 맹아는 20일에서 39일정도 빠르며, 괴경 수량도 무최아 재배보다 높다고 하였다(임 등, 1994).

따라서 본 과제에서는 괴경 휴면을 단축하는 방법과 영여자 착생 및 비대에 관여하는 환경요인 구명하기위하여 광주기를 변화 시키거나 광량을 인위적으로 조절하는 차광처리와 식물의 생육과 분화에 영향을 주는 장파장 투과용 필름인 솔라릭 재배와 지베렐린 생합성 억제제 살포를 통한 인위적인 스트레스 유도에 의한 영여자 형성

유도에 관한 내생 식물호르몬 분석을 통한 접근을 시도하고자 하였으며 괴경의 휴면에 관여하는 요인을 알아보기 위하여 괴경의 저장 시기에 따라 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제, 밀봉처리 및 저장온도를 달리하였을 때 다양한 생리적인 변화를 조사하여 괴경 휴면의 가능한 생리적인 기작을 밝히고자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 영여자 착생 및 비대에 관여하는 환경요인 구명 시험

등근마 괴경을 2001년 3월 25일에 절편을 만들어 벤레이트 T와 재를 1:1로 혼합한 분말에 분의소독하여 음지에서 5일간 큐어링 처리한 다음 4월 2일에 재식거리를 30×30cm로 하여 정식하였고, 시비량(N-P₂O₅-K₂O / 10a)은 43-28-32로 하여 요소(기비/추비:7:3)와 가리(40:30:30)는 나누어 분시 하였다. 영여자 착생 및 비대에 미치는 환경요인을 구명하기 위하여 ① 일장조절: 인공 생장실에서 주야 길이(낮 10시간/밤 14시간, 낮 14시간/밤 10시간)를 인위적으로 조정하여 6월 초순부터 9월 하순까지 120일 동안 처리하였고, ② 차광재배: 75% (자연광에 대한 상대적인 조도비율) 흑색 차광막을 설치한 다음 무지주, 할죽, I형 등 3가지의 지주형태로 재배하였고, ③ 비닐하우스 재배: 장과장(FR)의 투과율이 높은 Solarig 재질을 사용하였고, ④ 한발처리: 자연강우를 대조구로 하여 4일, 8일, 12일의 관수 간격으로 하였고, ⑤ 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제 처리는 7월 하순과 8월 상순에 GA₃(50, 100, 250, 400, 500ppm), CGA 163 695(trinexapac-ethyl) (50, 100, 200, 400, 600ppm), mepiquat-Cl(50, 100, 200, 400, 600ppm)을 엽면살포 하였다.

영여자 형성 시기인 7월 상순에서 8월 하순까지 구당 영여자의 형성을 및 개체당 영여자 착생정도, 등근마 식물체내 내생 지베렐린(gibberellins) 및 jasmonic acid 함량 변화를 조사하였다.

2. 등근마의 식물체내의 지베렐린 생합성 경로구명

많은 고등식물의 지베렐린(GA) 생합성 경로는 여러 연구자들에 의해 비교적 자세히 밝혀져 있으나 등근마의 식물체내의 정확한 지베렐린 생합성의 경로는 보고된 바가 없어 본 시험에서는 먼저 등근마의 지베렐린 생합성 경로를 밝히는 실험을 우

선적으로 실시하였다.

고등식물체에서 발견되는 지베렐린의 주된 생합성 경로는 non 13-hydroxylation 경로 ($GA_{12} \rightarrow GA_{15} \rightarrow GA_{24} \rightarrow GA_9 \rightarrow GA_4 \rightarrow GA_{34}$) 또는 early 13-hydroxylation 경로 중의 ($GA_{12} \rightarrow GA_{53} \rightarrow GA_{19} \rightarrow GA_{20} \rightarrow GA_1 \rightarrow GA_8$) 하나인 것으로 알려져 있으므로 등근마 식물체내의 생합성 경로를 밝히기 위하여 위의 두 경로 상의 지베렐린류를 모두 조사하였다. 식물체내의 모든 GA류를 분리 동정하여야 생합성 경로를 구명할 수 있으므로 시료량을 충분히(잎을 포함한 식물체 50g) 준비하여 실험을 시작하였다.

내생 지베렐린 함량 측정을 위한 시료는 즉시 액체질소로 동결한 후 냉동 건조하여 -20°C 냉장고에 보관하면서 시료로 사용하였다. 지베렐린 추출은 냉동 건조하여 마쇄한 시료를 100% acetone으로 추출한 여액에 내부표준물질로 25ng의 $^2\text{H}_2$ GA_1 , $^2\text{H}_2$ GA_4 , $^2\text{H}_2$ GA_8 , $^2\text{H}_2$ GA_9 , $^2\text{H}_2$ GA_{12} , $^2\text{H}_2$ GA_{15} , $^2\text{H}_2$ GA_{19} , $^2\text{H}_2$ GA_{20} , $^2\text{H}_2$ GA_{24} , $^2\text{H}_2$ GA_{36} , $^2\text{H}_2$ GA_{44} , $^2\text{H}_2$ GA_{53} 등을 첨가하였다. 추출액을 감압농축한 후 60% MeOH에 녹여 C_{18} column을 통과시킨 후 감압 농축하였다. 또한 HPLC에서 각 지베렐린의 정확한 머무름 시간을 결정하여 분획화하기 위하여 $[1,2-^3\text{H}]$ GA_1 와 $[1,2-^3\text{H}]$ GA_4 를 추출용액에 첨가하였다. 농축된 잔사는 Celite/SiO₂ column(용매, formic acid로 포화된 95 : 5 EtOAc : Hexane)으로 통과시킨 여액을 감압 농축한 후 인산완충액(pH 8.0)에 녹인 다음 pH를 8.0으로 조정하고 EtOAc를 이용해 3회 분획하였다. 여액(인산완충액)에 PVPP를 가하여 1시간 동안 진탕하였다. 여과한 여액의 pH를 2.5로 조정한 후 ether로 3회 분획한 후 감압 농축하였다. 농축한 잔사를 MeOH로 용해하여 0.2 μm membrane filter로 여과한 후 HPLC용 분석시료로 사용하였다.

HPLC column은 μ Bondapak C_{18} (3.9×300mm)을 사용하였으며 각 GA는 1% acetic acid를 포함한 28% MeOH와 100% MeOH용액의 농도구배로 분리하였다. 유속은 분당 1.5ml로 유지하였으며 1.5ml씩 총 45분획으로 나누었다. 각 GA의 정확한 머무름 시간은 각 분획 당 소량 ($15\mu\text{l}$)을 취하여 Liquid Scintillation Counter로 ^3H -GA 표준물질의 유무를 확인하여 결정하였다. 각 분획을 Savant Speedvac으로 건조한 후 동일 GA를 포함한 분획을 합하여 1ml의 reaction vial로 옮긴 후 질소가스로 건조하였다. GA 분획 중 불순물을 많이 함유한 분획은 NH₂ PreSep extraction cartridge를 사용하여 GA외의 불순물을 제거한 후 reaction vial로 옮겼다. 각 GA는 2차레 ethereal diazomethane으로 methyl ester를 유도한 후 질소 가스로 건조하였다. Silylation이 필요한 GA는 $35\mu\text{l}$ 의 pyridine과 $35\mu\text{l}$ 의 N-D-Bis(trimethyl silyl)-trifluoroacetamide(1% TMCS 포함)로 65°C 에서 30분간 반응시킨 후 질소가스로 건조하였다. 시료는 무수 dichloromethane로 녹인 후 $2\mu\text{l}$ 를 30m×0.25mm(i.d.)

HP-1 Capillary Column이 장착된 GC-MS에 주입하였다(표 1-1). Hewlett Packard GC-MS(Model 5970N)를 사용하였으며 정성과 정량분석을 위해 hydrocarbon standard를 이용해 KRI를 구하여 비교한 후 각 GA와[²H₂] GA ISTD의 3개 주요 ion mass를 비교하여 정량하였다.

Calculation of Kovats Retention Index (**KRI**)

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

표 1-1. 내생 지베렐린 분석을 위한 HPLC와 GC/MS의 기기조건

HPLC	GC/MS
Equipment : Shimadzu	Equipment : Hewlett-Packard 6890, 5973 Mass Selective Detector
Column : μ Bondpak C ₁₈	Column : HP-1 capillary column (30×0.25mm i.d., 0.25 μ m film thickness)
Solvent A : 28%MeOH, 1%HOAc	Carrier gas : He, Flow rate : 40cm/sec
Solvent B : 100%MeOH	Source temperature : 200℃
Gradient : 28% MeOH (5 min)→ 86% MeOH (5~36 min)→ 100% MeOH (36~40 min)	Oven temp. : 60℃(1min)→15℃/min, 200℃→ 5℃/min, 280℃
Flow rate : 1.5ml/min	Ionizing voltage : 70 eV

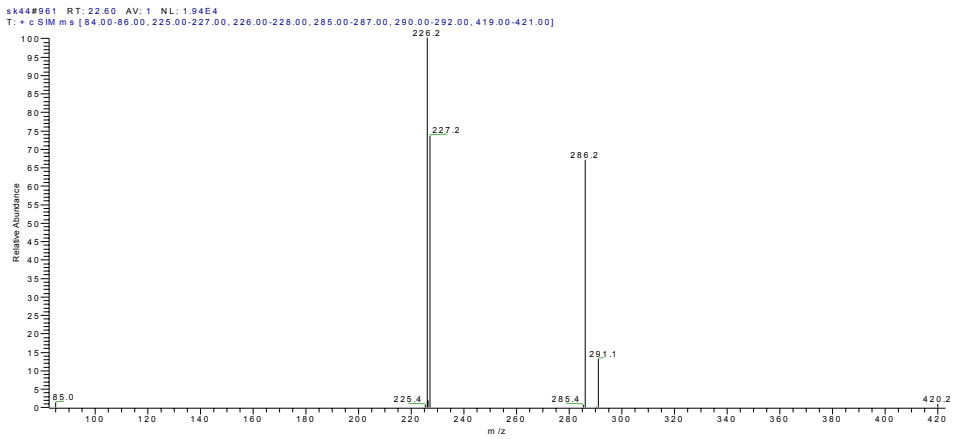
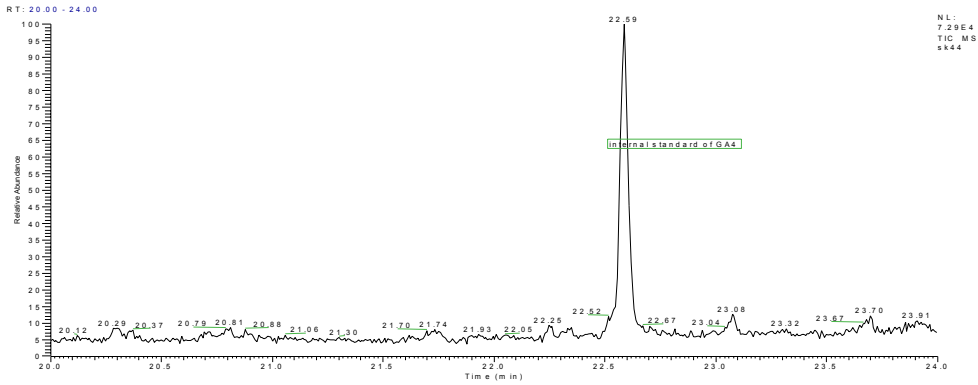


그림 1-1. 마 괴경의 주요 활성 지베렐린인 GA₄(위: chromatogram, 아래: mass spectrum)

지베렐린류의 화합물은 현재까지 136(2004) 종으로 보고 되고 있어 그 종류가 많고 이들 화합물의 구조 또한 아주 유사하여 HPLC상에서의 완전한 분리가 어렵고, GC에서의 retention time도 유사할 뿐만 아니라 일부 지베렐린의 경우 mass spectrum도 유사하여 하나의 분석기기로는 정확한 분리 동정이 불가능하였다. 따라서 이들 여러 기기상의 분리특성을 이용하여 HPLC로 먼저 일부 GA류들을 분리한 후 GC/MS로 각 GA류를 분리 동정하였다(표 1-1 참조).

지베렐린 생합성 경로를 확인하기 위해서는 GC/MS의 검출감도가 pg 또는 fg 수준 이상이 되어야 가능하므로 GC/MS의 검출한계가 pg 이상임을 확인한 후 분석하였으

며 그 결과 둥근마 괴경의 생리활성 GA의 수준은 건물 1g당 ng 수준 이하로 아주 낮은 양을 함유하는 것으로 조사되었다. 정량분석은 각 GA와 [²H₂] GA ISTD의 주요 ion mass를 비교하여 아래 식으로 정량하였다.

$$\text{GAs amount(ng/g D.W.)} = (\text{Endo. Response/ISTD Response}) \times \text{ISTD amount added(ng)/Sample weight(g)}$$

표 1-2. 둥근 마 잎의 ethyl acetate 분획에서 얻어진 HPLC 분획 순서와 지베렐린의 KRI 및 이온의 상대적인 비율

HPLC 분획 번호	지베렐린	KRI	<i>m/z</i> (% , 상대적인 비율)			
12-14	GA ₁	2669	Sample	506(100)	448(20)	313(17)
		2669	Standard	508(100)	450(16)	315(15)
24,25	GA ₂₀	2482	Sample	418(100)	375(45)	403(14)
		2482	Standard	420(100)	377(41)	405(13)
26-28	GA ₃₆	2596	Sample	284(100)	430(58)	312(47)
		2596	Standard	286(100)	432(56)	314(44)
26-28	GA ₄₄	2786	Sample	207(100)	432(63)	238(41)
		2786	Standard	209(100)	434(61)	240(40)
29-31	GA ₁₉	2596	Sample	434(100)	374(59)	402(41)
		2596	Standard	436(100)	376(57)	404(40)
32-33	GA ₄	2503	Sample	284(100)	225(80)	289(70)
		2503	Standard	286(100)	227(77)	291(67)
34-36	GA ₂₄	2442	Sample	314(100)	226(89)	286(77)
		2442	Standard	316(100)	228(87)	288(73)
37,38	GA ₁	2497	Sample	448(47)	251(30)	235(30)
		2497	Standard	450(47)	253(27)	237(26)
37,38	GA ₉	2303	Sample	298(100)	270(78)	227(48)
		2303	Standard	300(100)	272(73)	229(50)
39-40	GA ₁₅	2605	Sample	239(100)	284(50)	344(23)
		2605	Standard	241(100)	286(48)	346(21)
43-46	GA ₁₂	2333	Sample	300(100)	240(31)	328(21)
		2333	Standard	302(100)	242(29)	330(20)

3. ABA 분리 및 정량

ABA 분석(Browning과 Wignall 1987, Qi 등 1998, Kamboj 등 1999의 방법을 변형하여 사용)은 냉동건조하여 마쇄한 시료(1g)를 추출용액(95% isopropanol, 5% glacial acetic acid) 30ml를 첨가하여 추출한 다음 정량을 위하여 내부표준물질인 [(±)-3,5,5,7,7,7-d₆]-ABA를 100ng 넣고 여과하였다(그림 1-2). 여과된 추출액을 감압농축기로 농축한 다음 1N NaOH 용액 4ml로 녹인 다음 소수성 계열의 화합물을 제거하기 위하여 3ml의 methylene chloride로 3회 추출하였다. 수용층을 6N HCl을 사용하여 pH 3.5로 조정한 다음 EtOAc(ethyl acetate)로 3회 추출하였다. 추출된 여액을 감압농축기로 농축한 후 농축된 여액을 다시 인산완충액(pH 8.0)으로 녹인 다음 PVPP(polyvinylpolypyrrolidone) 칼럼으로 용리하였다. 용리된 여액을 dichloromethane에 녹여 'Sep-Pak' silica cartridge에 loading 하였다(10ml의 diethyl ether / methanol로(3:2) 일차 세척 후 10ml의 dichloromethane로 활성화시킴). ABA는 10ml의 diethyl ether / methanol (3:2) 혼합용액으로 용리하였다. ABA의 분리조건은 표 1-3과 같으며 정량 분석을 위한 이온 비교는 내생 ABA(190)와 ABA 표준물질(194)로 피크 면적을 환산하여 계산하였다(표 1-3, 그림 1-3).

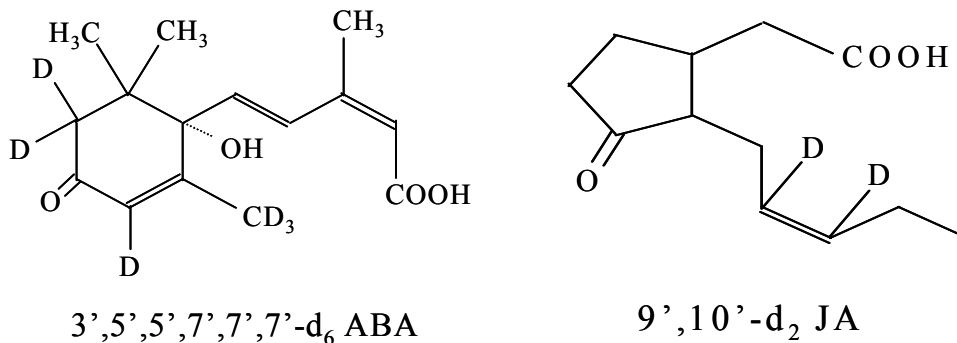


그림 1-2. 본 연구에서 식물호르몬의 정량분석을 위하여 내부표준물질로 사용한 ABA와 jasmonic acid (JA)의 화학구조

4. JA 분리 및 정량

Jasmonic acid(JA) 분석 (Baldwin 등 1994, Mueller와 Brodschlem 1974)은 생체잎(5g)을 100% acetone으로 추출하여 내부표준물질인 [9,10-²H₂]-JA 30ng을 첨가한 후 증류수 40ml을 추출액과 혼합하였다. 감압농축기를 이용하여 acetone을 제거한 여액에 0.1M potassium phosphate buffer(pH 7.5)를 첨가하여 잔사를 용해하여 6N HCl로 pH를 2.3으로 보정하였다. 산성을 띠는 수용층을 DEAE (diethylaminoethyl) cellulose 0.5g을 넣어 1시간 동안 교반한 다음 여과하였다.

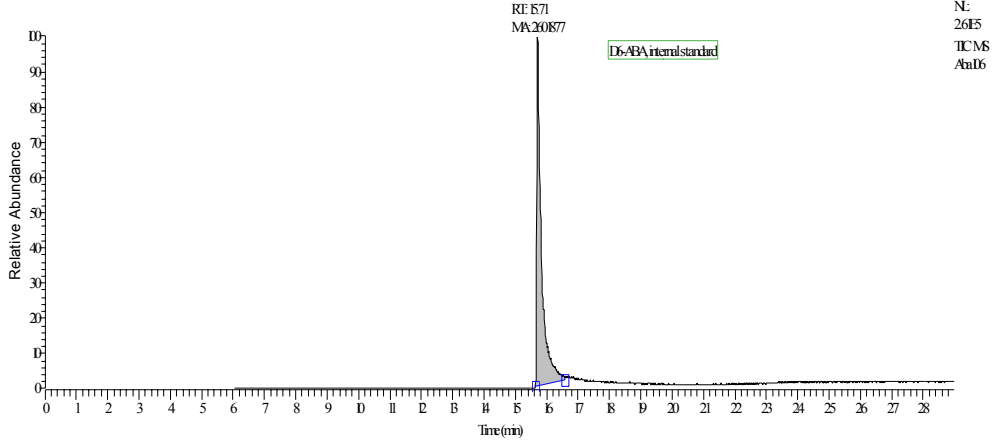
표 1-3. 식물호르몬 ABA, JA, Batatasin 분석을 위한 GC/MS 조건

GC/MS model	Finnigan MAT GCQ
Column	HP 1 capillary column (30×0.25mm i.d., 0.25 μ m film thickness)
Carrier gas	He (40ml/min)
Source temp.	200 $^{\circ}$ C
Oven temp.	ABA: 60 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 250 $^{\circ}$ C \rightarrow 10 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 280 $^{\circ}$ C JA(jasmonic acid): 80 $^{\circ}$ C(2min) \rightarrow 10 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 150 $^{\circ}$ C(3min) \rightarrow 3 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 170 $^{\circ}$ C \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 285 $^{\circ}$ C Batatasins: 60 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 250 $^{\circ}$ C \rightarrow 10 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 280 $^{\circ}$ C
Ionizing voltage	70 eV

C:\xdata\Aba06
std

052902081345

RF000-2898



Aba06#1289 RF: 1584 A/1 N: 94E4
T: +cSIMvs[1890-1910] 1930-1950]

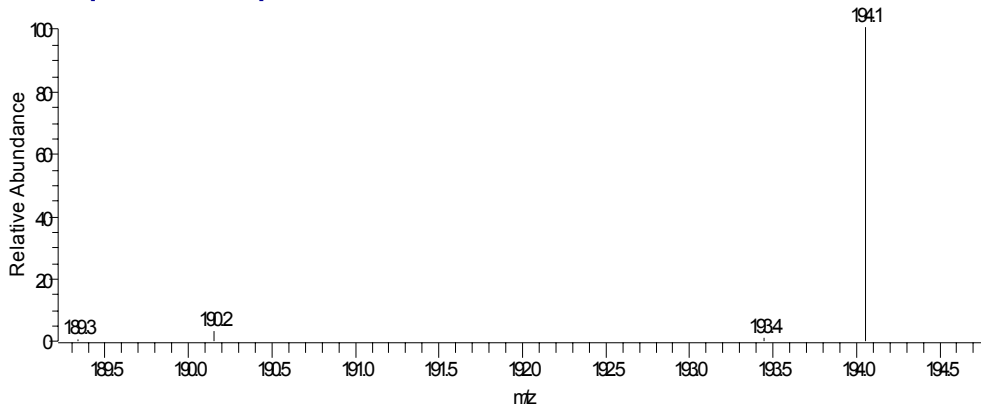
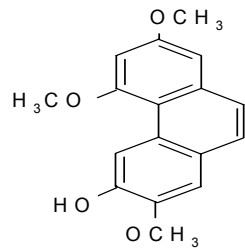


그림 1-3. 식물 호르몬 ABA 표준물질의 GC-MS 크로마토그램 및 질량스펙트럼
여과된 여액을 chloroform으로 3회에 걸쳐 분획한 다음 황산마그네슘으로 수분을 제거하였다. 감압농축기로 chloroform을 제거한 다음 diethyl ether로 녹여서 amino cartridge를 사용하여 추출용매(ether : acetic acid, 98 : 2, v/v)로 용리하였다. 용리된 액을 건조시킨 다음 diazomethane으로 methylation한 후 1 μ l을 취하여 GC-MS로 내생 JA를 정량하였다(표 1-3).

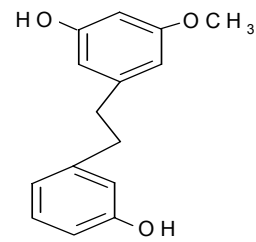
5. Batatasins 추출 / 정량

Batatasins 분석은 냉동 건조된 괴경분말(5g)을 acetone 30ml로 2회 추출한 다음 외부표준물질인 bisphenol을 첨가하여 여과하였다. 잔사는 다시 80% acetone으로 1회 추출하여 여과된 여액과 혼합하였다.

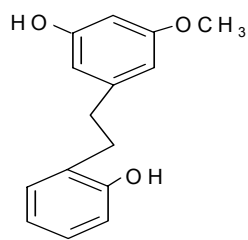
추출액을 감압농축기로 약간의 수분을 남긴 상태까지 농축한 후 1M 인산완충액 (pH 7.5) 20ml을 넣은 다음 ethyl acetate로 분획하였다. Ethyl acetate층을 감압 농축한 잔사를 methylation하여 GC-MS로 분석하였다(표 1-3). Batatasins류는 표준품의 머무름 시간과 표 1-4의 mass ions의 패턴을 비교하여 종류를 분리하였으며, 외부표준물질과의 상대적 비율로 정량하였다(그림 1-4, 그림 1-5).



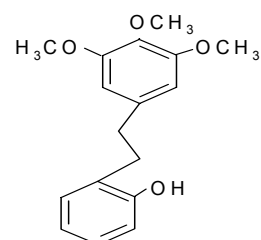
Batatasin-I (Minor)



Batatasin-III (Major)



Batatasin-IV



Batatasin-V (Minor)

그림 1-4. 마의 지베렐린 유도성 휴면물질로 알려진 Batatasin류.

표 1-4. GC-MS상에서의 Batatasins류의 머무름 시간과 mass ions.

Batatasins 종류	머무름 시간(min.)	mass ion(M ⁺)
Batatasin-III	20.11	388
Batatasin-V	20.45	360
Bataasin-I	27.91	356

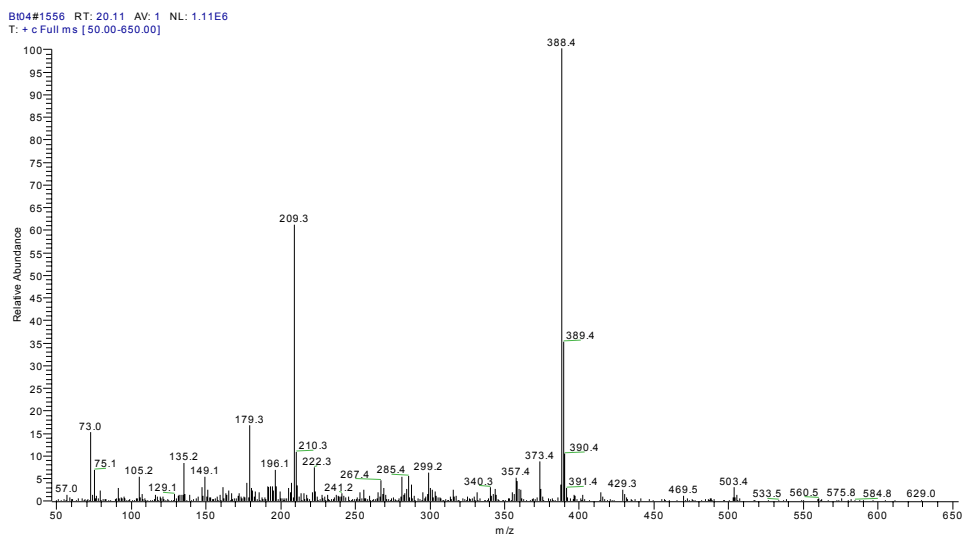
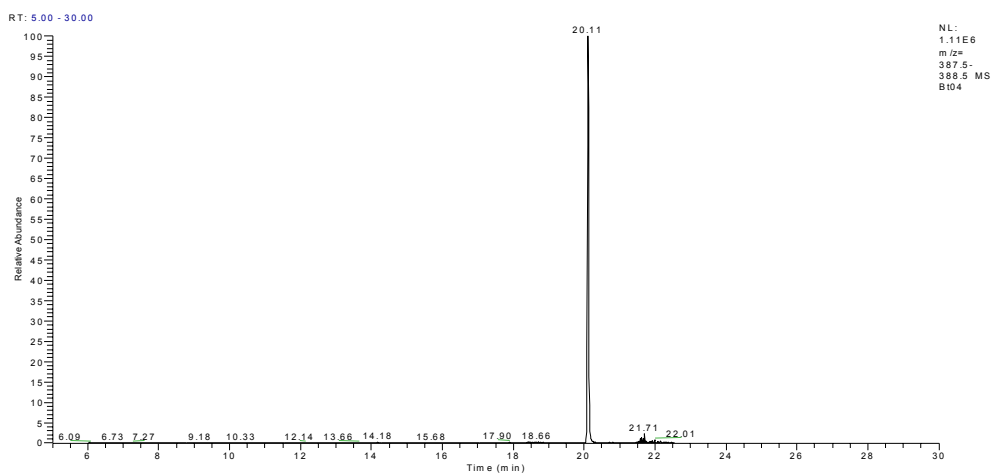


그림 1-5. 마의 주요 휴면물질인 Batatasin-III의 GC-MS 크로마토그램 (상), GC-MS 상의 질량 스펙트럼 (M⁺: 388)

제 3 절 영여자 형성 유도법 개발

1. 재배조건에 따른 영여자의 형성률 및 생육특성

둥근마의 영여자는 자연상태에서 자란 경우 영여자의 형성률이 1% 이하로 알려져 있어 둥근마의 영여자 형성을 유도하기 위한 다양한 재배양식을 도입하여 시험한 결과는 표 1-1과 같다. 영여자 형성률은 노지 재배와 비닐하우스 재배에서는 1% 이하로 매우 낮은 형성률을 보인 반면 인위적인 재배조건인 차광 75%, Solarig 및 일장 처리에서는 영여자 형성이 촉진됨을 알 수 있었다. 그 가운데에서도 차광 75%의 1.7%, 일장 10시간의 19.7%에 비하여 장과장의 투과율이 높고 단과장을 차단시키는 재료인 Solarig 재배하에서는 평균 25.4%로 영여자 형성률이 매우 높아짐을 알 수 있었다. 개체당 영여자의 생체중은 재배조건에 따라 큰 차이는 없었으나, 영여자 형성률이 가장 높은 Solarig 재배에서는 영여자 1개체 평균 1.35g 이었고, 차광 75%는 0.96g, 10시간 일장하에서는 0.88g의 순으로 나타났다.

한편 영여자 직경 증가는 영여자의 형성률과 생체중 증가 경향과 유사하여 Solarig 재배조건에서 가장 높았다. 이러한 현상은 둥근마의 영여자 형성과 비대가 광량보다는 광질의 변화에 크게 영향을 받는다는 것으로 해석되며 금후 광질에 따른 둥근마의 영여자 형성 및 비대촉진에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

표 1-5. 재배양식에 따른 둥근마 영여자의 형성률 및 특성 비교

특 성	재배양식 노 지	일 장		차광 ¹ (75%)	Solarig	비닐 하우스		
		10시간	14시간			무지주	할죽	I형지주
영여자 형성률 (%)	1>	19.7	1>	1.7	25.4±1.1	1>	1>	1>
영여자 생체중 (g/개)	0.7±0.6	0.8±0.3	0.5±0.3	0.9±0.3	1.4±0.6	0.8±0.2	0.8±0.2	0.8±0.4
영여자 직경 (mm)	4.4±0.3	6.8±0.5	3.9±0.5	6.5±0.6	8.2±0.4	4.2±0.5	4.3±0.6	4.1±0.5

¹ 흑색차광 조건하의 할죽재배(조사시기: 8월 중순), 성적은 60 주에 대한 SE임.

표 1-6는 등근마의 영여자 형성을 유도하기 위하여 시판용 지베렐린인 GA₃와 지베렐린의 생합성 억제제로 알려진 CGA(trinexapac-ethyl: GA₂₀→GA₁의 반응을 억제), MC (mepiquat chloride: GGPP→CPP의 경로를 차단)를 7월 상순(1차)과 7월 하순(2차)에 걸쳐 농도별로 엽면 살포하였을 때 영여자의 형성률, 영여자의 생체중 및 영여자의 직경을 조사한 결과이다. 영여자 형성률은 표 1-6에서와 같이 지베렐린 농도 50ppm에서 1.8%, 100ppm에서 1.5%인 것에 비해 고농도인 200ppm, 400ppm 및 500ppm에서는 0.5% 이하로 매우 낮은 형성률을 보였으며, CGA 처리에서도 농도와는 상관없이 지베렐린 고농도와 유사한 0.5% 이하의 영여자 형성률을 보였다.

한편 MC약제 처리에서는 농도 간에 뚜렷한 차이를 보였는데 200ppm을 중심으로 하여 고농도로 갈수록 영여자 형성률이 낮아진 반면에, 저농도로 갈수록 영여자 형성률이 증가하여 MC 50ppm에서는 평균 21.5%로 다른 약제들과 비교하여 볼 때, 영여자 형성에 효과적임을 알 수 있었다. 영여자 생체중 변화는 약제들의 처리농도와는 무관하게 전반적으로 MC > GA₃ > CGA의 순으로 증가됨을 알 수 있었다.

영여자 직경은 GA₃ 처리의 경우 2.4~3.3mm의 분포를 보였고, CGA 처리에서도 2.2~2.5mm 정도로 농도간에 큰 차이를 보이지 않았으나, MC 처리에서는 고농도인 MC 600ppm에서 7.4mm 인 것에 비하여 저농도인 100ppm에서 평균 9.5mm 로 영여자의 크기가 현저히 증가됨을 알 수 있었다. MC는 GGPP에서 ent-kaurene으로의 전환을 억제하는 화합물이므로 MC 처리는 체내에 GGPP의 함량을 증가시킬 것이고 그 결과 GGPP를 전구체로 하여 생합성 되는 화합물(예, carotenoid, ABA 등)의 합성이 촉진될 것이므로 향후 이 부분에 대한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

표 1-6. 생장조정제 처리에 따른 등근마의 영여자 형성률 및 특성

특 성	GA ₃ (ppm)					CGA(ppm)					MC(ppm)				
	50	100	200	400	500	50	100	200	400	600	50	100	200	400	600
영여자 형성률 (%)	1.8	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	21.5	20.4	19.6	5.5	6.3
영여자 생체중 (g/개)	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
영여자 직경 (mm)	2.8	2.6	2.4	2.7	3.3	2.4	2.5	2.2	2.5	2.2	7.8	9.5	8.6	8.7	7.4

약제처리시기 및 방법: 1차 (7월 상순), 2차 (7월 하순), 엽면살포.

2. 등근마 식물체내의 GA 생합성 경로 구명

일반적으로 고등식물체의 잎을 포함한 영양기관은 아주 낮은 함량의 GA를 함유하고 있는 것으로 알려져 있으므로 식물체내의 지베렐린 생합성 경로를 확인하기 위해서는 GC/MS의 검출감도가 pg 또는 fg 수준이상이어야 가능하므로 GC/MS의 검출한계가 pg 이상임을 확인한 후 분석하였다. 그 결과 등근마 식물체내에서 GA₄, GA₉, GA₂₄ 등의 non 13-hydroxylation 경로상의 GA류와 early 13-hydroxylation 경로상의(GA₁₂→GA₅₃ →GA₁₉ →GA₂₀ →GA₁ →GA₈)의 모든 GA류가 검출되었다. 이는 등근마가 상기의 두 가지 생합성 경로 모두를 통해 GA를 생합성한다는 것을 입증하는 결과로 사료된다. 이와 같은 결과를 확실히 뒷받침하기 위하여 radio-label(¹⁴C-GA₁₂)된 GA 전구체를 식물체에 feeding하여 생합성 경로를 재확인하였다. 그 결과 아래와 같은 생합성 경로가 존재함을 확인하였다.

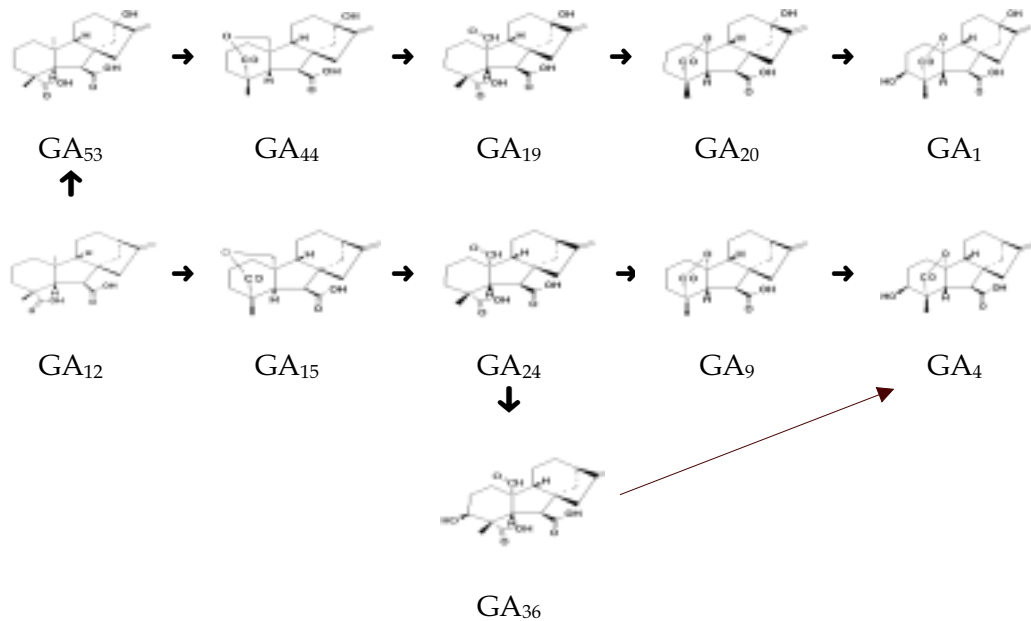


그림 1-6. 본 연구를 통해 밝힌 등근마 잎에 존재하는 지베렐린의 생합성 경로

식물체에서 생리활성형 GA로 알려져 있는 GA₁과 GA₄의 함량 비교시, 등근마의 GA 생합성 경로는 non 13-hydroxylation 경로가(GA₁₂→GA₁₅ →GA₂₄ →GA₉ →GA₄ →GA₃₄) 주 생합성 경로인 것으로 나타났으며, GA₁도 미량이지만 함유하고 있는 것

으로 나타났다(표 1-7). 따라서 추후 이들 두 경로의 상대적 비율조절이 영여자의 비대 촉진 또는 괴경 휴면과 어떤 연관이 있는지를 구명하면 둥근마의 괴경 및 영여자의 휴면과 비대의 메카니즘을 구명하고 실용적 측면으로 이용하는데 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1-7. 둥근마 식물체 잎의 내생 GA 종류와 함량 비교

Harvest dates	GA contents (ng g ⁻¹ , fresh wt.)										
	GA ₅₃	GA ₄₄	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₁	GA ₁₂	GA ₁₅	GA ₂₄	GA ₃₆	GA ₉	GA ₄
Oct. 5	0.04	0.23	0.41	0.016	0.037	0.31	n.d.	1.85	1.17	0.18	0.11
Oct. 25	0.01	n.d.	0.07	0.011	0.012	0.17	n.d.	1.16	0.04	0.02	0.01

3. 일장조절에 따른 잎의 내생 Jasmonic acid 함량 변화

영여자의 특성과 관련하여 표 1-5에서 살펴 본 바와 같이 일장재배(10/14시간) 조건에서 영여자의 형성률과 영여자의 생체중이 증가됨을 알 수 있었는데, 일반적으로 괴경과 영여자를 비롯한 대부분의 영양기관 비대는 jasmonic acid에 의해 촉진되는 것으로 알려져 있어, 일장을 단일조건으로 하였을 때 영여자 생체중의 증가에 따른 시기별 둥근마 잎의 JA함량을 조사한 결과는 표 1-8에서 보는바와 같이 단일조건인 10/14시간(낮/밤)의 일장 처리하에서의 JA 함량이 증가됨을 알 수 있었는데, 특히 처리 75일째(8월 중순)에서는 장일조건인 13.1 μ g에 비해 9.6배나 더 높은 125.8 μ g으로 급속하게 높아짐을 알 수 있어 표 1-6의 영여자 생체중 및 영여자 직경과 비교할 때 JA가 마의 영여자 비대에 밀접히 관여함을 알 수 있었다.

표 1-8. 일장조절에 따른 둥근마 잎의 내생 Jasmonic acid 함량 변화

일 장 조 건 (낮/밤, 시간)	Jasmonic acid 함량 (μ g/g 생체중)			
	15 일	45 일	75 일	105 일
10/14	14.5 \pm 3.2	44.9 \pm 5.2	125.8 \pm 11.6	86.0 \pm 12.5
14/10	9.8 \pm 2.8	12.8 \pm 3.5	13.1 \pm 3.1	12.1 \pm 2.8

비고: 성적은 3반복의 평균값에 대한 SE임.

4. 토양수분(관수) 조절이 등근마의 영여자 형성 및 괴경 수량에 미치는 영향

토양의 수분조절(인위적인 한발)을 통하여 등근마의 영여자 형성 유도에 미치는 토양수분의 영향을 조사하기 위하여 실시한 시험에서 얻어진 결과는 표 1-9와 같다. 영여자 형성률은 자연강수의 경우 0.7%이었으나, 관수 처리에서는 4일 관수간격에서 1.2% 로서 상대적으로 형성률이 증가하였으나 큰 차이는 보이지 않았다. 영여자 생체중 역시 0.7~0.9g으로 모두 1g 이하로 매우 작음을 알 수 있었으며 영여자 직경도 3.8~4.1mm의 분포로 나타나 관수간격에 따른 영여자의 생육특성은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편 괴경수량 또한 자연강수에 비하여 관수처리에서 증가되었으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다. 한편 상품률은 자연강수에서 54.5%인 것에 비하여 관수간격이 짧을수록 높았는데 4일 관수 간격에서는 73.7%로 가장 높아짐을 알 수 있었다. 따라서 영여자 형성 유도에는 토양의 수분 조절이 크게 관여하지 않는 반면 괴경수량은 토양수분에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

표 1-9. 수분함량 조절에 따른 등근마의 영여자 형성 및 괴경 수량

조 사 항 목	자연 강수	관 수 간 격 (일)		
		4 [‡]	8	12
영여자 형성률 (%)	0.7±0.3 [‡]	1.2±0.7	0.7±0.5	0.9±0.6
영여자 생체중 (g/개)	0.8±0.2	0.9±0.5	0.8±0.0	0.7±0.3
영여자 직경 (mm)	4.1±0.2	3.8±0.5	3.9±0.4	4.1±0.5
괴경 수량 (kg/10a)	2,439ns	2,555ns	2,477ns	2,453ns
괴경 상품률(%) [‡]	54.5	73.7	65.3	50.3

[‡]성적은 3반복의 평균값에 대한 SE임.

[‡]상품률은 괴경모양이 둥글고 균일하면서 생체중이 100g이상.

[‡] 1일 관수량은 0.6톤/10a.

이상의 결과를 종합해 보면 지베렐린 처리에서는 영여자 형성(표 1-6)과 괴경 수량 증대를 위한 적정 농도는 100~250ppm으로 판단되었다. 반면 지베렐린 생합성 억제제인 MC와 CGA 처리에서는 특이한 현상을 볼 수 있었는데 MC의 경우 영여자 착생은 고농도, 괴경 수량 증대는 저농도 에서, CGA에서는 영여자 착생은 저농도, 괴

경 수량은 고농도에서 증수되었다. 그러나 GA 처리(식물체내 GA가 증가할 것임)와 GA 생합성 억제제 처리(식물체내 GA가 감소할 것임)에서의 결과는 일관성이 없는 것으로 나타나(2년에 걸친 시험에서 결과는 재현성이 있는 것으로 나타났음) 이 부분에 대한 깊은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

한편 수확 후 30일이 경과된 괴경의 내생 지베렐린을 조사한 결과, 활성 지베렐린인 GA₁과 GA₄가 함께 존재함을 확인하였으며 이들 두 종류 지베렐린 가운데 GA₁/GA₄ 비율이 시기에 따라 변화하는 것으로 나타나 영양자 형성과 괴경비대는 식물체내 내생의 활성지베렐린인 GA₁과 GA₄의 상호조절을 통하여 이루어지고 있다는 것을 시사하여 금후 이에 관한 연구를 구체적으로 수행코자 한다.

제 4 절 괴경 휴면의 환경요인 구명

1. 지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제 처리에 대한 괴경 수량

대부분 식물의 지베렐린(GAs)에 의해 휴면이 타파되나 마에서는 지베렐린을 처리하면 휴면물질인 batatasins의 합성과 축적으로 오히려 휴면이 유도되어, 출아되는데 소요되는 기간이 더욱 길어지는 현상을 보인다(Hasegawa et al 1973, 1974, 1975; Okagami et al 1983, 1991, 1997a,b; Ireland 1985). 뿐만 아니라 마의 괴경에서 싹이 나올 무렵에 생육촉진을 유도하기 위하여 지베렐린을 처리할 경우, 생육이 중지됨과 동시에 2차 휴면으로 진행이 되어 다른 작물에서는 볼 수 없는 아주 특이한 생리적인 현상을 보인다. 따라서 본 연구에서는 GA 또는 GA 생합성 억제제에 대한 괴경의 수량 증대효과와 휴면과의 상관성을 밝히는 연구를 우선적으로 수행하였다.

식물호르몬 GA는 pyruvate / glyceraldehyde 3phosphate로부터 isopentenyl pyrophosphate의 경로를 거쳐서 생합성되며, 1) IPP로부터 GGPP를 거쳐 *ent*-Kaurene의 합성, 2) *ent*-Kaurene으로부터 GA₁₂-aldehyde합성, 3) GA₁₂-aldehyde로부터 서로 다른 GA로의 변환 등 3단계로 대별할 수 있다. 1단계의 GGPP에서 *ent*-kaurene의 합성은 CCC, mepiquat-Cl, Amo 1618 등에 의해 억제되며, 2단계의 *ent*-kaurene에서 GA₁₂ aldehyde의 합성은 tetcyclacis, ancymidol, paclobutrazol, uniconazol, inabenfide 등에 의해 억제되며, 3단계의 GA₁₂에서 GA₁ 또는 GA₄로의 전환은 prohexadione-Ca, trinexapac-ethyl 등에 의해 억제된다.

지베렐린 수용제(GA₃: 50, 100, 250, 400, 500ppm)와 지베렐린 생합성 억제제인 MC(Mepiquat chloride: 50, 100, 200, 400, 600ppm), CGA (trinexapac-ethyl: 50, 100, 200, 400, 600ppm)를 괴경 비대 개시기인 7월 상순(처리일자: 7월 1일)과 괴경비대 전기인 7월 하순(처리일자: 7월 28일)에 엽면 살포한 결과(총 2회), 이들 생장조정제 처리에 인한 등근마 괴경 증수는 표 1-10 및 1-11와 같다. 지베렐린 250ppm 처리에서 10a 당 괴경 수량이 3,245kg, MC 50ppm 처리에서 2,845kg, 그리고 CGA 500ppm 처리에서는 3,000kg 이상으로 대조구에 비해 증수됨을 확인하였다.

표 1-10. 지베렐린 엽면살포 처리에 따른 괴경 수량

GA	무처리	처 리 농 도 (ppm, 1 ℓ/4.8m ²)				
		50	100	250	400	500
----- kg/10a -----						
GA ₃	2,742 d	2,775 d	2,839 c	3,245 a	3,080 b	2,350 e

DMRT(5%).

표 1-11. 지베렐린 생합성 억제제의 엽면살포에 따른 괴경 수량

약제종류	무처리	처 리 농 도(ppm, 1 ℓ/4.8m ²)				
		50	100	250	400	500
----- kg/10a -----						
MC	2,742 b	2,845 a	2,762 b	2,746 b	2,438 d	2,621 c
CGA	2,742 b	2,568c	2,457 d	2,453 d	2,529 c	3,184 a

DMRT(5%).

2. 저장 온도에 따른 괴경의 멩아울 변화

괴경 휴면의 주요한 외부적인 요인으로 판단되는 온도에 대한 영향을 구명하기 위하여 괴경을 수확(전년도 10월 30일) 후 저장온도를 4℃, 15℃, 25℃, 30℃, 및 35℃로 저장한 다음 완전휴면(60일), 반휴면(105일) 및 무휴면(140일)으로 나누어 멩아울을 조사한 결과는 표 1-12와 같다. 완전휴면상태인 60일에서는 저장온도와는 무관하

게 맹아가 전혀 이루어지지 않았으며, 반휴면 상태인 저장 후 105일에서는 모든 저장온도에서 2% 이하로 매우 낮은 맹아율이 관찰되었으나 부분적으로 저장온도 30℃에서 약간 높아지는 결과를 보였다. 한편 무휴면 기간인 140일에서는 맹아율의 변화가 뚜렷하게 관찰되었는데 낮은 온도인 4℃와 15℃의 저장온도가 맹아율이 각각 17.3%와 18.2%로 가장 높아 장기간의 저장기간 동안 맹아율을 높이기 위해서는 저온저장이 다소 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 맹아된 괴경은 전체 괴경 가운데 20% 이하로 매우 낮아 휴면타파에 관한 보다 심도 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되어 2차년도에서는 성장조정제(지베렐린, 지베렐린 생합성억제제, Ethrel 등)를 분무 처리한 다음 저장온도를 달리하여 시험을 수행하였다.

표 1-12. 저장온도에 따른 등근마 괴경의 맹아율(%)

저 장 일 수 (일)	저 장 온 도 (℃)				
	4	15	25	30	35
60	-	-	-	-	-
105	1.8±1.5	1.5±2.2	1.3±1.5	1.9±1.2	1.1±0.5
140	17.3±4.5	18.2±4.3	14.1±3.2	13.1±2.2	9.5±2.9

비고: 맹아율 조사를 위한 괴경의 치상온도는 30℃가 유지되는 인공생장실에서 실시하였고, 성적은 45개체에 대한 평균값의 SE임. 조사는 치상 후 30일째 전체 괴경에 대한 맹아된 개체를 백분율로 표기하였음.

3. 완전휴면기간에 성장조정제 처리에 따른 맹아특성

등근 마의 괴경 휴면에 관여하는 환경요인을 구명하기 위하여 2001년 10월 30일에 수확된 괴경을 재료로 사용하였다. 지베렐린 생합성 억제제 처리는 1차 휴면기간(완전휴면상태)인 저장 후 1개월째(12월 24일)에 GA, IAA, Ethylene, CGA 163-695, ancymidol, mepiquat-Cl (MC)을 2일간 침지 처리하여 25℃의 연속적인 암상태의 조건하에서 휴면과 출아 반응을 조사하였다(표 1-13).

표 1-13. 약제 침지 처리에 따른 둥근마의 괴경의 멥아율 (%)

무처리	MC			Ancymidol			CGA			Ethrel		
	10 ¹⁾	100	1000	1	10	100	5	50	500	2.5	25	250
----- 멥아율(%) -----												
0	30	30	70	90	50	60	30	60	40	20	30	40

¹⁾ ppm.

생장조정제 처리 7일 후에 괴경의 멥아율은 ethrel보다는 지베렐린 생합성 억제제 처리에서 멥아율이 증가됨을 알 수 있었는데, GA 생합성의 2단계를 억제하는 (*ent*-kaurene→GA₁₂-aldehyde) 억제제인 ancymidol에서 가장 낮은 1ppm에서 90%로 가장 높았다. 지베렐린 생합성의 첫단계(GGPP→*ent*-kaurene)를 억제하는 억제제인 MC에서는 ancymidol과는 달리 가장 높은 농도인 1000ppm에서 멥아율이 70%이었다. 반면 활성 지베렐린인 GA₁의 생합성을 억제하는 저해제인 CGA에서는 일정한 경향이 없이 50ppm에서 60%로 나타났다. 따라서 완전휴면상태의 괴경 휴면을 타파하기 위한 최적의 약제는 GA₁₂ aldehyde 합성 전단계 억제제인 ancymidol을 저농도, 또는 MC(mepiquat-Cl)를 고농도로 하여 2일간 처리하는 것이 휴면타파에 효과적인 것으로 판단되었다. 동시에 예비시험 결과에서 얻어진 휴면기간 중 밀봉처리에서 괴경의 휴면타파 현상이 나타난 것에 대하여 개화, 후숙에 주로 관여하며 일부 식물의 휴면성과도 밀접한 연관이 있는 기체성 식물 호르몬인 에틸렌(ethylene)의 관련성을 알아보기 위하여 상기의 시험과 동일하게 성장조정제를 침지 처리한 다음 1.5리터의 플라스틱 밀폐용기에 괴경을 넣어 25℃의 암상태에서 방치한 다음 표 1-13의 멥아율에 기초하여 에틸렌 발생량을 조사한 결과는 표 1-14와 같다. 성장조정제 처리 결과 발생 가능한 에틸렌 량과 멥아율의 관련성을 알아보기 위하여 에틸렌 발생량을 측정 한 결과, MC와 CGA 처리에서는 멥아율 증가에 따른 에틸렌 발생량이 증가되는 경향을 보이지 않았으나 2단계 지베렐린 생합성 저해제인 ancymidol의 경우, 1ppm 처리에서 침지 후 4일째 에틸렌 발생량이 급격히 증가되어 괴경의 휴면타파에 어느 정도 에틸렌이 관여하는 것으로 추측되었다. 따라서 이들 괴경에 대한 휴면관련 식물 성장 호르몬인 ABA, batatasin, GA 등을 분석하여 휴면반응에 대한 식물호르몬의 상호관련성을 조사하였다.

표 1-14. 약제처리별 에틸렌 발생량

약제종류 및 농도	에틸렌 발생량 ($\mu\text{l}/\text{kg}/\text{시간}$)		
	처리 후 3일	처리 후 4일	처리 후 5일
무 처리	11.2±1.5	13.7±1.2	16.7±2.3
Ancymidol 1 ppm	21.9±1.9	1615.5±6.1	1822.5±6.6
10 ppm	20.8±1.7	630.9±4.2	673.2±3.7
100 ppm	3.9±0.6	111.5±4.2	135.4±4.2
MC 10 ppm	9.5±1.6	499.0±6.4	564.3±5.3
100 ppm	7.3±1.3	143.7±5.1	162.5±5.7
1,000 ppm	1.9±0.5	1.7±4.8	2.2±0.4
CGA 5 ppm	11.9±1.2	692.8±4.2	707.5±3.3
50 ppm	10.7±1.4	632.8±6.3	645.1±4.1
500 ppm	3.6±0.7	269.0±5.4	283.5±2.9

4. 휴면 기간중 괴경의 내생 ABA와 Batatasins 함량 변화

4°C에서 저장중인 괴경에 대한 내생 ABA의 함량변화를 알아보기 위하여 완전휴면, 반휴면, 무휴면 상태로 나누어 조사한 결과는 표 1-15과 같다. 등근마 괴경의 내생 ABA는 100ng 이하로 존재하였으며, 완전휴면 상태보다는 반휴면 상태인 1월 30일에 52.8ng으로 높은 함량을 보였으나 무휴면 기간인 3월 15일에서는 11.5ng으로 나타나 저온저장 중 저장기간이 길어짐에 따라 내생 ABA 함량이 감소됨을 알 수 있었다.

표 1-15. 휴면기간중 괴경의 내생 ABA 함량 변화

휴면 기간 (조사일)	내생 ABA 함량 (ng · g, 건물중)
완전휴면(12월 24일)	40.5
반휴면 (1월 30일)	52.8
무휴면 (3월 15일)	11.5

5. 저장중 등근마 괴경의 활성 지베렐린의 함량 변화

등근마 괴경의 지베렐린은 활성 지베렐린인 GA₁과 GA₄를 포함하여 총 11종류의 지베렐린이 존재한다는 것을 공동연구팀이 확인하였다. 마에 대한 지베렐린의 생리적인 역할은 다른 식물에서 볼 수 없는 지베렐린 유도성 휴면을 한다는 것에 착안하여 휴면기간 중 저장기간에 따른 활성 지베렐린의 함량을 조사한 결과는 표 1-16과 같다.

Early C-13 hydroxylation 경로상의 생리활성인 GA₁은 휴면기간 중 큰 함량변화를 보이지 않았으나, Non C-13 hydroxylation 경로의 생성물인 GA₄는 저장기간이 길어질수록 함량이 증가하는 경향을 보였다. 저장기간이 길어질수록 자연적 휴면타파가 진행됨을 감안하면 지베렐린 유도성 휴면은 GA₁에 의해 유도되며(괴경비대), 체내의 GA₄ 함량이 증가됨에 따라 휴면이 타파되면서 맹아 하는 것으로 추정할 수 있을 것이다. 따라서 금후 ¹⁴C-GA₁₂를 feeding하여 시간대 별로 지베렐린의 정확한 함량변화 및 주요 지베렐린류의 변화추이를 구명하여야 보다 명확한 괴경내 GA의 역할을 구명할 수 있을 것으로 판단된다.

표 1-16. 휴면기간 중 괴경의 내생의 활성 지베렐린 함량 변화

휴면 상태 (조사일)	활성 지베렐린 함량 (pg · g, 건물중)	
	GA ₁	GA ₄
완전휴면(12월 24일)	0.01	0.11
반휴면 (1월 30일)	0.02	0.34
무휴면 (3월 15일)	0.02	0.84

제 4 장 영여자 비대 촉진 기술개발 및 괴경의 휴면 단축 방법 규명

제 1 절 서 론

마와 같이 괴경 식물인 감자의 경우, 괴경 휴면은 식물호르몬 처리보다는 CO₂ 처리에 의해 맹아율이 촉진되고 괴경의 부패율이 감소한다고 하였다(김 등, 1996). 감자의 소괴경 비대에 있어서 기내 소괴경 형성에 영향을 주는 요인은 온도로서 20℃에서 소괴경 형성률이 가장 촉진된다고 보고하였다(최 등 1993).

식물의 생장과 분화는 내생 호르몬에 의해 조절되어 진다. 식물 영양기관의 비대는 비료, 토양수분, 광조건 등의 외부적인 환경요인과 식물의 영양상태, 식물 호르몬 균형 등과 같은 내부적인 요인에 의해서 조절된다. 앞서 설명한 바와 같이 마찬가지로 괴경의 휴면단축을 위한 재배상의 장점은 영양생장기간을 길게 함으로서 초기에 source내의 영양분을 대량 생합성하여 생육 후기에 sinks인 괴경과 영여자에 양분축적을 촉진함으로서 비대를 유도할 수 있다. 둥근 마의 영여자의 형성은 생육 중 평균기온이 20℃ 내외로서 특히 괴경 비대기인 8월 하순경과 9월 중순까지 토양내의 수분이 충분할 때 촉진되었다. 이와 같은 조건하에서 식물호르몬의 균형은 내생 자스몬산과 지베렐린에 의해 조절됨이 확인되었다.

마는 영양번식을 하는 작물로 분할된 절단괴경에 의해 증식하며, 절단된 괴경은 저장 중에 부정아가 나와서 발아하지만 정아 보다는 발아가 다소 늦은 편이다. 또한 마는 휴면기간이 비교적 길며 지상부의 발아 일수도 많이 걸린다. 그리고 경영 신장기(5월-7월)는 새로운 괴경의 비대 준비 기간으로 이 때에는 괴경의 비대가 적다. 괴경의 형성 및 비대는 단일조건에 의해 촉진된다. 괴경의 비대는 최초에는 서서히 시작하여 경영이 최대가 되었을 때부터 수 주간에 급격히 비대하고(8월 중순- 9월 중순) 생육말기(9월 하순- 10월 중순)에 다시 한번 천천히 비대 되는 특징을 가지고 있다.

이러한 생리적인 반응을 바탕으로 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제 혼용 조합에 대한 괴경과 영여자의 비대 촉진 기술개발과 함께 영여자의 비대에 관여하는 요

인을 구명하기 위하여 식물 조직배양을 통한 영여자 형성 유도를 수행하고자 하며, 괴경 휴면을 단축하기 위하여 물리화학적인 방법을 처리하여 조기에 발아를 촉진시킴으로서 충분한 영양생장 기간을 유도하여 괴경의 안전생산과 영여자 비대를 통한 씨마 이용 가능성을 검토코자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 생장조정제 혼용 조합에 대한 괴경과 영여자의 비대반응

저온저장중인 둥근마 괴경을 2002년 3월 27일에 4-6개로 괴경을 분할하여 벤레이트 T와 재를 1:1의 비율로 혼합한 분말에 분의 소독하여 통기가 잘되는 음지에서 5일간 큐어링 처리한 다음 4월 7일에 재식거리를 30×30cm로 하여 정식하였고, 시비량 (N-P₂O₅-K₂O / 10a)은 43-28-32로 하여 요소(기비/추비: 7:3)와 가리(40:30:30)는 나누어 분시 하였다. 생장조정제 혼용 조합에 따른 괴경 및 영여자 비대를 유도하기 위하여 재배조건은 1년차 시험결과 얻어진 솔라릭 필름으로 덮어씌운 하우스에서 재배하였다. 생장조정제는 Auxin류인 IAA와 Cytokinin류인 BA(benzyl adenine)를 각각 10% : 5%, 5% : 10%, 5% : 5% 및 10% : 10%로 조성물을 혼합하여 1,000배 희석한 후 사용하였다. 처리 시기는 7월 15일과 8월 15일에 연속 2회에 걸쳐 누적으로 엽면살포 하여 영여자와 괴경의 비대 반응을 조사하였다.

2. 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제가 처리된 괴경비대 및 영여자 착생 반응

1 차년도에서 지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제로 처리된 괴경을 2001년 10월 27일에 저온창고에 보관중인 괴경을 2002년도에 시험1의 조건과 동일하게 실시하였는데, 이 경우 솔라릭 재배의 효과를 배제하기 위하여 노지조건에서 실시하여 지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제의 잔류효과를 비교 검토하였다.

3. 논 재배 실용화에 관한 연구

본 시험은 안동시 북후면 소재의 논에서 실시하였다. 저온저장중인 둥근마 괴경을 2003년 3월 27일에 4-6개로 괴경을 분할하여 벤레이트T와 재를 1:1의 비율로 혼합

한 분말에 분의 소독하여 통기가 잘되는 음지에서 5일간 큐어링 처리한 다음 4월 7일에 재식거리를 30×30cm로 하여 정식하였고, 시비량(N-P₂O₅-K₂O/10a)은 43-28-32로 하여 요소(기비/추비:7:3)와 가리(40:30:30)는 나누어 분시 하였다. 둥근마의 포장 출아가 약40% 정도 출현될 때 철재 I형 지주를 3m간격으로 설치한 다음 덩굴유인을 위하여 그물망을 설치하여 재배하였다.

4. 조직배양에 의한 영여자 형성 유도 반응

포장조건에서는 영여자 착생 및 비대에 관한 환경요인에 대한 평가가 다소 어렵다는 것을 감안(솔라릭 재배는 제외)하여 포장상태에서 생육중인 둥근마의 어린 줄기에서 얻어진 생장점을 조직배양 하였으며 영여자 형성을 유도하기 위하여 일차적으로 MS 기본배지와 1/2 MS배지에서 실시하였다. 생육조건은 주야온도를 28℃/25℃, 광주기는 주야를 12/12시간으로 하여 생장시켜 영여자의 형성유무를 조사하였다.

5. 물리화학적 방법 및 조기 절편화에 괴경의 휴면반응

괴경의 휴면단축과 조기출아를 위하여 물리적 방법 처리는 온수 온도를 20, 40, 60 및 80℃로 하여 침지 시간을 동일하게 5분 동안 실시하였는데, 이때 괴경의 상태는 휴면성이 가장 높은 시기인 저장 후 60일경인 12월 24일에 저온 저장고에 보관중인 것을 사용하였다. 괴경의 휴면단축을 위한 조기 절편화 처리는 괴경휴면이 가장 깊은 시기인 12월 24일, 1월 24일, 2월 24일, 3월 24일의 30일 간격으로 4회에 걸쳐 괴경을 약 40-50g 정도로 절단 분할하여 분의 소독한 다음, 대기온도 28℃, 상대습도 80%가 유지되는 항온기에서 출아 유무를 조사하였다.

6. 저장습도에 따른 괴경의 휴면반응

1차년도 에서는 저장온도와 저장일수를 달리하여 괴경의 맹아율을 검토하였으나 2차년도 에서는 저장일수를 1차년도와 동일한 60, 105 및 140일로 하였으며 저장습도를 25-30%(상온저장), 60% 및 80%의 3수준으로 괴경의 휴면반응을 조사하였다.

7. 괴경비대기의 등근마 체내 호르몬 성분변화

괴경의 휴면과 비대에 관여하는 요인을 구명하여야만 정확한 휴면타과 방법에 관한 정보를 얻을 수 있을 것이므로 괴경형성·비대기의 식물체내의 식물호르몬의 변화를 조사하였다. 괴경형성 비대 및 휴면과 아주 밀접한 GA류의 생합성 변화를 1차년도에 확립한 GA 분석법으로 분석하였다. 등근마 식물체내의 GA 생합성은 아주 복잡한 경로[(non 13-hydroxylation 경로($GA_{12} \rightarrow GA_{15} \rightarrow GA_{24} \rightarrow GA_9 \rightarrow GA_4 \rightarrow GA_{34}$))와 early 13-hydroxylation 경로($GA_{12} \rightarrow GA_{53} \rightarrow GA_{19} \rightarrow GA_{20} \rightarrow GA_1 \rightarrow GA_8$)]의 두 경로 모두를 분석하였다.

제 3 절 영여자 비대촉진 기술 개발

1. 생장 조정제 혼용조합에 대한 괴경과 영여자의 비대반응

등근 마의 영여자 착생 및 유도과 괴경비대를 통한 종묘 생산비 절감을 위하여 식물생장조정제인 오옥신과 사이토키닌의 혼용비율을 달리하여 7월 15일과 8월 15일에 연속적으로 2회에 걸쳐 엽면 살포한 결과 영여자와 괴경의 생육반응 및 수량성을 비교한 결과는 표 2-1과 같다.

개화기는 무처리에 비하여 오옥신과 사이토키닌을 낮은 농도로 혼용한 처리구와 오옥신은 높은 농도 및 사이토키닌은 낮은 농도로서 각각 5:5 및 10:5로 혼용 처리한 구에서 개화기가 1-2일 정도 빠른 것으로 나타났으며, 영여자 형성기도 개화기와 동일한 결과를 보였다. 영여자 착생량은 무처리에서 구당 28.6g인 것에 비하여 오옥신과 사이토키닌 조합인 10:5 및 5:10의 혼용에서 각각 43.2g, 32.8g으로 가장 많이 착생되었다. 10a 당 영여자 수량은 영여자의 착생량과 마찬가지로 무처리보다 10:5 및 5:10의 혼용조합에서 각각 9.0kg 및 6.8kg였다. 한편 괴경수량은 영여자의 결과와는 상이한 것으로 나타났는데, 무처리에 비하여 오옥신과 사이토키닌의 혼용조합 비율이 가장 높은 10:10과 5:5에서 각각 1,632kg 및 1,548kg으로 나타났다. 이상의 결과를 볼 때, 영여자의 형성유도를 위해서는 사이토키닌보다는 오옥신이 다소 효과적임을 알 수 있었으며, 아울러 괴경의 수량증대를 위해서는 혼용조합의 비율을 높이는 것이 양호한 것으로 나타나 종묘생산 측면에서는 고농도의 혼용도 유용한 것으로 판단되었다.

2. 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제가 처리된 괴경의 영여자 착생과 괴경비대 연구

2001년도에 지베렐린과 지베렐린 생합성억제제로 처리된 괴경을 2002년도에 노지에 정식하여 이들 생장조정제의 잔류효과를 시험한 결과, 포장 출아율의 변화는 표 2-2에서 보는 바와 같이 무처리에 비하여 지베렐린 처리는 전반적으로 낮은 출아율을 보인 반면에 지베렐린 생합성억제제인 MC와 TNE의 경우 정식 후 15일째 매우 높은 출아율을 보였으며, 특히 정식 후 20일째에서는 MC의 경우 무처리에 비하여 약 2배 정도의 높은 출아율을 보이는 것으로 나타났다.

표 2-1. 생장조정제 혼용비율에 따른 영여자와 괴경의 수량성

혼용비율 ¹⁾ (%)	개화기 ²⁾ (월. 일)	영여자 형성기 (월.일)	영여자 착생량 ³⁾ (g/4.8m ²)	영여자 수량 (kg/10a)	괴경 수량 (kg/10a)
무처리	8. 12	8. 14	28.6bc	6.0	1,480cd
10 : 5	8. 11	8. 9	43.2a	9.0	1,447cd
5 : 10	8. 14	8. 11	32.8b	6.8	1,506bc
5 : 5	8. 10	8. 9	26.1c	5.4	1,548b
10 : 10	8. 17	8. 14	30.9b	6.4	1,632a

¹⁾ 혼용비율은 auxin과 cytokinin의 부피:부피의 비율. ²⁾ 개화기는 구당 전체 재식주수에서 40% 이상의 개체에서 꽃이 핀 것을 기준으로 하였음. ³⁾ 구당 주수는 26주.

한편 정식 후 30일째에서는 무처리보다 지베렐린 생합성억제제인 MC와 TNE에서 12%이상의 높은 출아율을 보이는 것으로 나타나 맹아촉진을 위해서는 전년도에 반드시 지베렐린 생합성억제제를 처리하여 재배하는 것이 이듬해 포장 출아율 향상에 효과적임을 알 수 있었다.

표 2-2. 지베렐린(GA) 및 GA 생합성 억제제 처리에 따른 포장 출아율 변화

약제농도 (ppm)	정식 후 일수 (일)					
	5	10	15	20	25	30
	----- % -----					
무처리	n.s. ²	8.7±0.8	20.2±0.9	47.0±1.1	73.1±0.9	84.6±1.2
GA ¹⁾	1.1±0.1	3.3±0.5	13.7±2.3	52.3±0.7	81.0±1.5	88.8±2.6
MC	6.3±0.9	16.9±1.6	38.5±2.6	84.2±3.6	91.4±2.3	96.6±0.7
TNE	5.2±0.9	9.8±0.8	28.8±1.9	56.3±1.4	90.8±1.8	96.9±1.0

¹⁾GA, gibberellic acid; MC, mepiquat chloride; TNE, trinexapac-ethyl. ²⁾n.s. = 미출아. 4월 7일 정식.

지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제가 처리된 괴경의 영여자 형성일은 무처리와 지베렐린 처리에서 차이가 없이 8월 2일 이었으나 지베렐린 생합성 억제제 처리에서는 TNE 처리보다는 MC처리의 괴경에서 7월 26일로 TNE보다 3일, 무처리 및 지베렐린보다는 7일 정도 단축됨을 알 수 있어 영여자 형성을 유도하기 위해서는 지베렐린 생합성억제제 가운데 MC가 가장 효과적임을 알 수 있었다.

표 2-3. 지베렐린 및 지베렐린 생합성 억제제 처리에 따른 영여자 형성일

처리내용	영여자 형성일자 (월. 일)
무처리	8월 2일
GA	8월 2일
MC	7월 26일
TNE	7월 29일

지베렐린으로 처리된 괴경의 영여자 크기 비율 및 수량성은 표 2-4와 같다. 영여자의 비대 (직경이 4mm이상 되는 영여자의 비율)는 지베렐린의 농도가 높을수록 증가하였으며 괴경수량은 무처리와 비교시 지베렐린의 효과는 인정되었으나 농도 간에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 2-4. 지베렐린 처리된 괴경의 영여자 형성 비율 및 괴경과 영여자의 수량성

지베렐린 농도 (ppm)	영여자 크기 비율 (%)			수량 (kg/ha)	
	<2mm	2-4mm	>4mm	영여자	괴경
무처리	75.6±1.6	18.1±2.8	6.3±1.9	8.6d	14,500b
50	52.1±0.9	27.1±1.8	20.8±2.3	11.4c	14,959a
100	49.5±1.6	24.2±1.3	26.3±2.1	15.2b	15,111a
250	45.2±1.1	24.4±1.4	30.4±1.1	13.8bc	15,378a
400	40.5±1.0	25.7±1.1	33.8±2.5	15.7b	15,145a
500	39.3±2.0	26.1±0.4	34.6±1.5	20.5a	15,223a

Means with the same letter within a column are not significantly different (P<0.05).

표 2-5는 메피쿼트 클로라이드(MC)로 처리된 괴경의 영여자 크기 비율과 괴경 수량을 나타낸 것으로 영여자 직경이 4mm 이상 되는 비율은 MC의 처리농도가 높을 수록 증가하였는데, 특히 가장 높은 농도인 MC 600ppm의 경우 무처리에 비하여 12배 정도 높은 영여자 비대율을 보였다. 한편 괴경 수량은 MC의 처리농도와는 무관하게 평균적으로 약 15,505kg/ha로 무처리에 비하여 약 6% 정도 증수되는 결과를 보였다.

표 2-5. 메피쿼트 클로라이드 (MC) 처리된 괴경의 영여자 형성 비율 및 괴경과 영여자의 수량성

MC 농도 (ppm)	영여자 크기 비율 (%)			수량 (kg/ha)	
	<2mm	2-4mm	>4mm	영여자	괴경
무처리	75.6±1.6	18.1±2.8	6.3±1.9	8.6d	14,500c
50	32.1±2.0	22.8±2.4	45.1±4.1	75.2c	14,967b
100	27.5±1.5	23.6±1.1	48.9±2.5	95.4b	15,389ab
200	24.3±2.1	22.0±1.5	53.7±1.6	94.8b	15,756a
400	19.4±0.6	16.3±0.7	64.3±1.1	111.4a	15,545ab
600	14.6±1.9	7.3±2.9	78.1±2.8	94.7b	15,867a

Means with the same letter within a column are not significantly different (P<0.05).

표 2-6은 TNE 처리된 괴경의 영여자 형성비율 및 괴경과 영여자의 수량성을 나타낸 것으로 무처리에 비하여 TNE 200ppm 처리에서 급격한 영여자 비대현상을 보였으며, 특히 가장 높은 농도인 TNE 600ppm에서는 평균 32.6%로 무처리에 비하여 약 5.6배 정도의 높은 영여자 비대율을 보였다.

괴경 수량에 있어서는 무처리에 비하여 TNE 600ppm 처리의 경우 약 1,400kg 이상 높은 괴경 증수현상을 보이는 것으로 나타나 금후 포장조건 (논, 밭 재배)에 따른 생장조절제의 효과를 검토해야 할 것으로 판단되었다.

표 2-6. 트리넥사팍 에틸(TNE) 처리된 괴경의 영여자 형성 비율 및 괴경과 영여자의 수량성

TNE 농도 (ppm)	영여자 크기비율 (%)			수량 (kg/ha)	
	<2mm	2-4mm	>4mm	영여자	괴경
Control ²	75.6±1.6	18.1±2.8	6.3±1.9	8.6c	14,500c
50	50.7±2.9	36.2±1.2	13.1±2.0	62.8a	15,378b
100	53.1±3.1	31.7±4.2	15.2±1.5	54.3b	15,656b
200	40.7±1.5	40.0±2.2	19.3±2.5	64.3a	15,589b
400	36.8±1.1	35.7±1.6	27.5±2.9	60.0a	16,111a
600	32.2±2.8	35.2±1.2	32.6±1.8	65.2a	15,978a

Means with the same letter within a column are not significantly different (P<0.05).

지상부 번식기관의 일종인 영여자의 유도과 비대촉진법을 개발하기 위한 기초 자료를 얻고자 영여자가 착생된 후 2주 정도 후부터 일정간격으로 영여자를 채취하여 영여자 내의 호르몬을 분석하였다. 영여자내의 주 GA 생합성경로는 생리활성형 GA₄를 생합성하는 non C-13 hydroxylation 경로인 것으로 밝혀졌으며 GA₁에 비해 GA₄가 10배 이상 많이 존재하는 것으로 조사되었다. 주아 비대기인 9월 중순경 총 지베렐린 함량이 증가하였으며, 활성 지베렐린도 잎과 괴경의 경우와 마찬가지로 GA₁ 함량보다는 GA₄ 함량이 높았으나, 그룹별 지베렐린 함량은 Non C-13 hydroxylation 경로보다는 Early C-13 hydroxylation 경로가 더 높았다. 이와 같은 결과는 영여자의 초기 비대촉진을 위해서는 GA₄를 살포해야만 기대하는 효과를 얻을 수 있음을 시사하고 있다. 즉 1차년도에 살포한 GA₃보다는 GA₄의 효과가 보다 탁월할 수 있음을 짐작할 수 있다. 현재 GA₄를 구입하여 살포한 결과 식물체의 생장이 GA₃에 비해

현재까지 촉진됨을 관찰하고 있으며 영여자의 착생과 비대에도 GA₄의 효과가 있을 것으로 기대하고 있다. 그림 2-1과 2-2에 나타난 것과 같이 9월 15일경까지 영여자 체내의 GA함량이 증가하는 것은 세포신장에 GA가 필수적임을 의미하는 것이므로 영여자에 GA를(특히 GA₄) 초기에 적절한 양 공급하면 영여자의 비대를 촉진시킬 수 있을 것으로 기대된다.

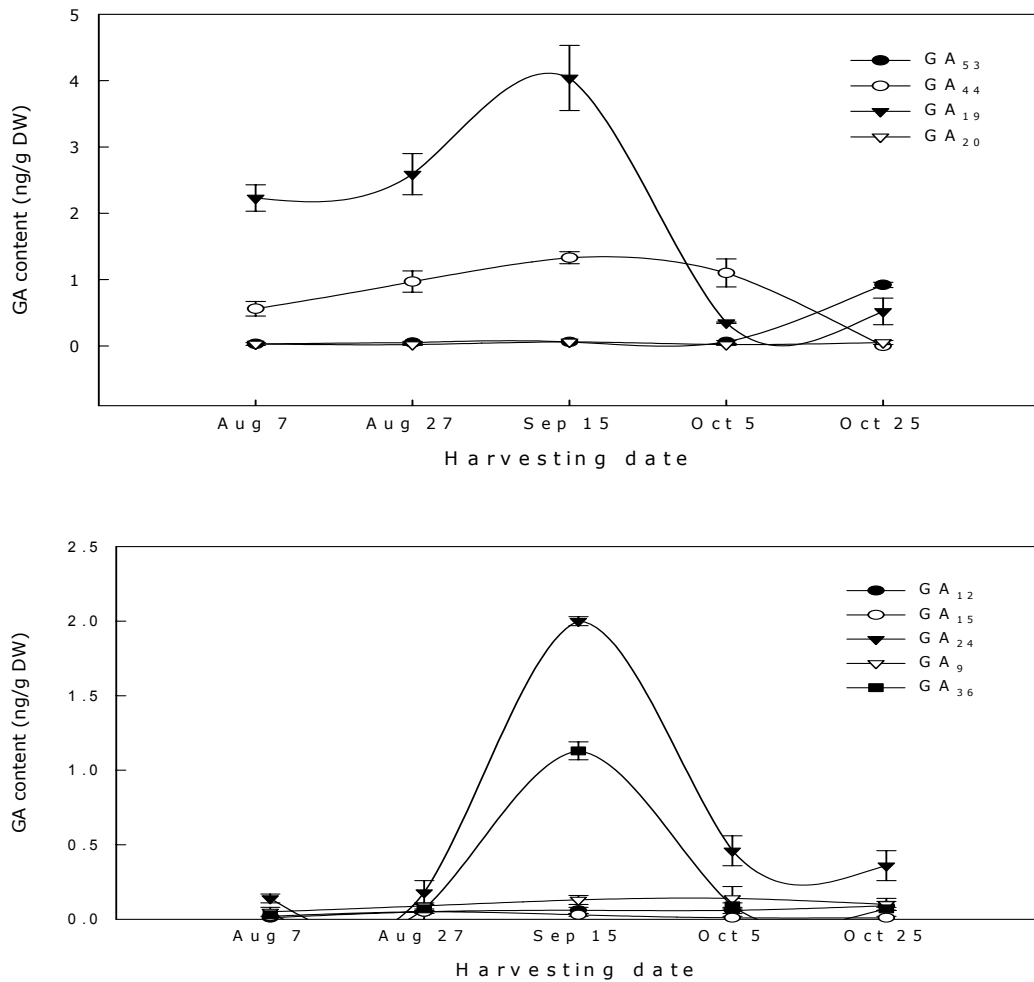


그림 2-1. 둥근마 영여자 비대기의 영여자내의 GAs 함량변화. GAs for an early C-13 hydroxylation(up) and non C-13 hydroxylation(down) in the bulbils of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

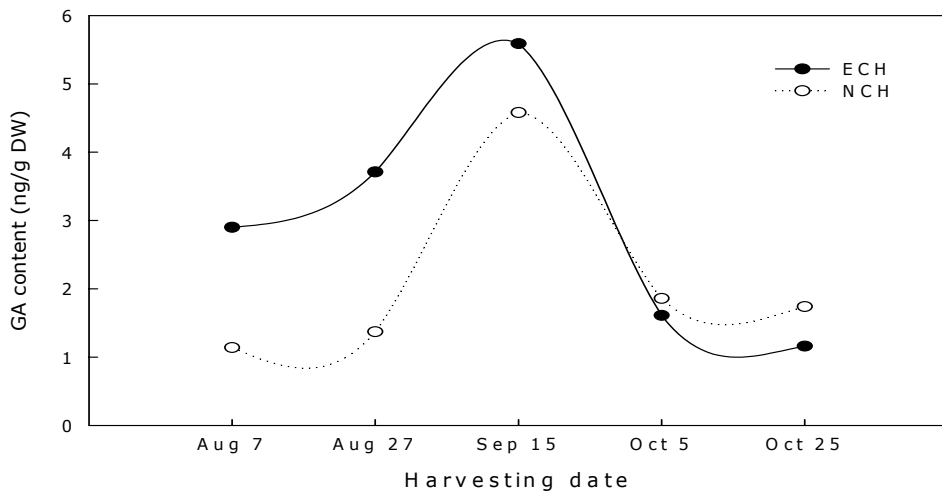
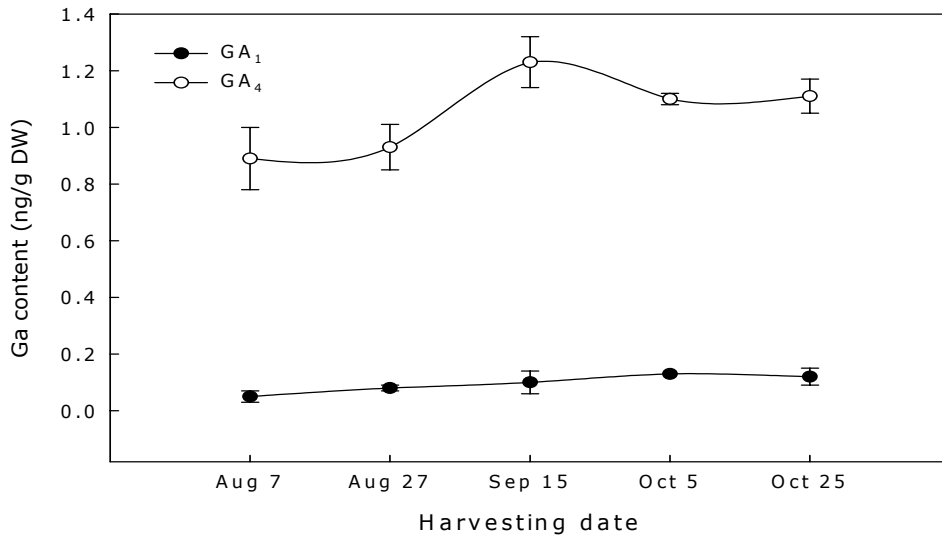


그림 2-2. 둥근마 영여자 비대기의 영여자내의 GAs 함량변화. Changes of bioactive GAs, GA₁ and GA₄ and group of ECH and NCH in the bulbils of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

3. 논 재배 실용화에 관한 연구

우리나라에서 재배되는 마는 크게 장마와 단마와 대별될 수 있는데, 경북 북부지역의 안동지역은 주로 토심이 30cm정도에서 잘 자라는 단마와 낙동강의 퇴적층으로 이루어진 안동의 풍천지역의 장마로 대별될 수 있다. 그러나 퇴적층을 중심으로 한 지역은 면적이 적을 뿐만 아니라 장마품종만이 유일하게 재배가 가능하므로 인하여, 상대적으로 토심이 얇은 지역에서는 단마와 최근에 도입된 둥근 마가 유일한 적 품종이라고 할 수 있다. 아울러 몇 년 전부터 논의 휴경지가 늘어남에 따라 휴경지에 심을 수 있는 대체작물은 옥수수, 콩 등 일부 작물의 도입이 전부라고 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구에서는 새로운 약용 및 식용으로서 재배가치가 매우 높은 둥근 마에 대한 논 재배 가능성을 검토코자 밭 재배를 통한 둥근 마와 논 재배시 둥근 마의 생육을 검토한 결과를 보면 표 2-7과 같다. 개화기는 논 재배에서 약 2일 정도 빨랐으며, 영여자 형성기는 밭 재배에 비하여 5일정도 단축된 8월 9일이었다. 한편 영여자 착생량은 밭 재배보다 다소 높았으나 통계적인 유의성은 없었다. 괴경 수량은 밭 재배 조건에서 10a 당 평균 수량이 1,480kg인 것에 비해 논 재배에서는 밭 재배보다 낮은 1,222kg으로 나타났는데, 이러한 결과는 논의 포장조건이 다른 논보다 낮은 표층에 위치한 것으로 판단되어 차기년도(3년차) 시험에서는 포장조건을 달리 하면서, 특히 두둑 높이를 관행보다 약 15-20cm 정도 높여 둥근마를 정식해야 할 것으로 판단되었다(그림 2-3).

표 2-7. 논 재배에 따른 둥근마 괴경 수량과 영여자 형성율.

재배 조건	개화기 (월. 일)	영여자 형성기 (월. 일)	영여자 착생량 (g/4.8m ²)	영여자 수량 (kg/10a)	괴경 수량 (kg/10a)
밭	8. 12	8. 14	28.6a	6.0a	1,480a
논	8. 10	8. 9	32.3a	6.7a	1,222b

Means with the same letter within a column are not significantly different (P<0.05).



그림 2-3. 논 재배 전경. (상단부의 노란색을 띠는 부분은 습해현상임).

4. 조직배양에 의한 영여자 형성 유도 반응

등근 마의 영여자 착생 및 비대는 자연 상태에서는 매우 낮으며, 인위적인 영여자 착생 및 유도는 부분적으로 솔라릭 재배에서 가능성을 1차년도 에서 보고한 바 있다.

그러나 실제로 둥근 마 영여자의 대량 착생 방법은 인위적으로 외부적인 환경요인을 제한함으로써 영여자 착생의 가능성이 판단되어 줄기의 성장점 배양을 통하여 virus-free 개체 및 영여자 형성을 유도하기 위하여 조직배양 기법을 이용하여 MS 기본배지와 1/2 MS 배지 조건을 이용하여 둥근 마를 배양한 결과(표 2-8), 둥근마 줄기의 액아를 성장점 배양하였을 때, 영여자 형성일수의 경우 MS 배지가 1/2 MS 배지보다는 약 3일 정도 빨랐으며, 영여자 형성 수 역시 약 2.5개 더 많았고, 특히 주당 영여자 무게는 평균적으로 약 1.5배 높은 것으로 나타나, 금후 MS배지에 식물 성장조정제인 auxin, cytokinin, gibberellin, jasmonic acid 등의 다양한 호르몬 조합을 통한 영여자 형성 및 착생수 증대에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었으며 현재 실험을 수행하고 있다.

표 2-8. 배지조건에 따른 둥근마 성장점 배양에 의한 영여자 형성 유무 및 형성률

배지조성	영여자 형성일수 (치상후 일수)	영여자 형성수 (개/주)	영여자 무게 (g/주)
MS	68	5.3	3.6
1/2 MS	71	2.1	2.4



<1/2 MS배지>

<MS배지>

그림 2-4. 배지 조건에 따른 둥근 마 성장점 배양에 의한 영여자 형성

마의 조직 배양시 배지의 오염이 많았으며 조직배양시 발생하는 virus를 그대로 방치 했을 때 기내에서 오염되지 않은 것 보다 괴경 형성률이 증대되는 것을 발견할 수 있었다.

이 균체를 NB 배지로 배양하여 기내배양시 배지에 침종하여 본 결과 대조구보다 지상부와 지하부 모두 괴경 발생율이 촉진되었고 주당 발생 괴경수도 증대되었다(표 2-9). 그 균이 생산해 내는 물질이 식물의 성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

표 2-9. MA-8 접종에 의한 등근마의 괴경형성 촉진 효과

Treatment	기내괴경 발생율(%)			주당 발생 괴경수		
	지하	지상	Total	지하	지상	Total
Control	20.8	45.8	66.7	1	1.5	1.3
Cru-1	30.4	87.0	87.0	1	1.7	2.1
Cru-2	30.4	95.7	95.7	1	2.3	2.6

Curtobacterium

Total: 지상부나 지하부에 괴경을 형성한수/총주수

오염된 배지에서 추출한 균을 배양한 배양액을 분석해 본 결과 식물 뿌리 주변에 서식하는 근권 미생물은 식물의 생육을 촉진시키는 미생물(식물생장촉진미생물, plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)중의 하나인 MJ-1 과 비슷한 수준의 GAs를 생산하였다. 그중 GA₃와 GA₄가 괴경형성 촉진에 가장 관여 하는 것으로 판단된다(표2-10).

표 2-10. Gibberellins(GAs) contents in the culture broth of the isolated MA-8

GAs	GA ₁	GA ₃	GA ₄	GA ₉	GA ₁₂	GA ₁₉	GA ₂₀	GA ₂₄	GA ₃₄	GA ₃₆	GA ₄₄	GA ₅₃
ng/ ℓ	15.3	122.5	85.9	18.12	277.6	0.2	N.D	16.7	1.7	53.6	1.3	0.05

배양된 균을 처리한 마의 뿌리를 주사형 전자 현미경을 이용하여 관찰한 결과, 주로 뿌리 끝부분에 잘 정착하여 있었다(그림 2-5).

위의 결과들을 토대로 하여 배지의 성분을 달리하여 기내배양을 했을때 괴경의 형성율을 조사하였다. MA-8 배양액을 원심분리 하여 나온 상층액과 균체인 하층액과 MA-8 배양액을 처리 하였을 때 다른 처리구 보다 괴경 형성율이 증가하였으며 균체인 하층액에서 괴경형성율이 가장 높았다(표 2-11).

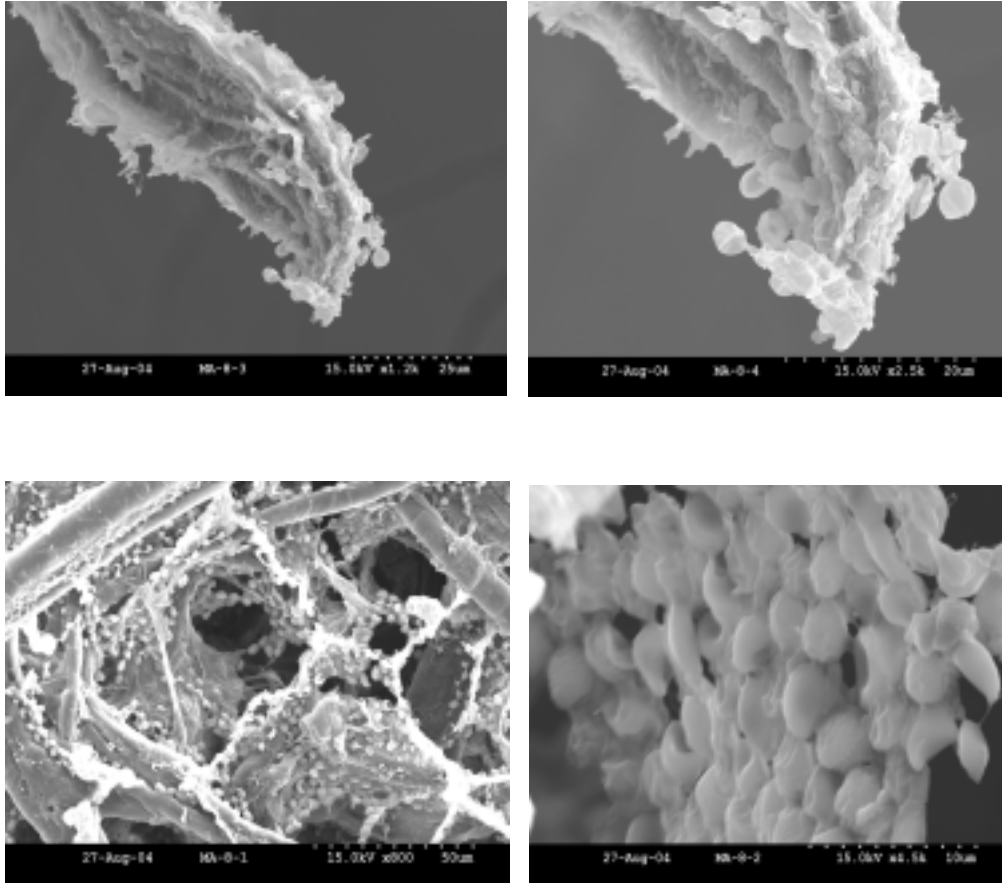


그림 2-5. Scanning electron microscopy of Chinese Yam root colonized with MA-8 strain

표 2-11. 기내배양시 배지의 성분에 따른 괴경의 발생율(%)

	Control	H ₂ O	NB배지	상층액	하층액	MA-8
지상부	13	33	25	50	67	67
지하부	47.8	41.7	75	91.7	100	75
Total	52	67	75	92	100	92

배지에 각 1mℓ 씩 처리, 균체를 배양한 MA-8을 원심 분리 한 상층액과 하층액을 처리.



그림2-6. 각 처리별 기내배양중인 마

하층액(균체)에서 괴경은 무처리구 보다 2배가 넘는 발생율을 보였으며 배양액 자체 처리에서도 발생율이 높았다. 모든 처리구들의 생육 상태를 조사해본 결과 하층액과 MA-8의 처리구에서는 생육이 다른 처리구에 비해서 좋지 않았다(그림2-7).



H₂O NB배지 상층액 하층액 MA-8



H₂O NB배지 상층액 하층액 MA-8
 그림 2-7. 기내 배양시 각 처리별 생육상태와 괴경형성 여부
 (화살표는 영여자.)

제 4 절 괴경의 휴면 단축방법 구명

1. 물리·화학적 방법 및 조기 절편화에 따른 괴경의 휴면반응

등근 마는 장마 및 단마와는 달리 괴경의 휴면이 상대적으로 긴 휴면특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 표 2-12은 온수의 온도 조건에 따른 괴경 절편의 맹아율을 조사한 결과로 온수의 온도가 증가함에 따라 맹아율은 증가하였으나, 부패율은 오히려 80℃보다는 60℃에서 치상된 괴경에서 증가하였는데, 이러한 결과는 장기간 동안 곰팡이 및 세균 등이 잘 자랄 수 있는 조건이 유도되어 발생한 것으로 판단되어 금후 온수조건 후의 치상조건에 대한 연구가 부분적으로 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

표 2-13은 괴경의 맹아율 향상을 위하여 괴경을 조기 절편 분할하였을 때 맹아율을 조사한 것으로 괴경의 휴면이 가장 깊은 13월 24일, 괴경의 휴면이 거의 종결되는 3월 24일보다는 오히려 다소 휴면성이 유지되는 2월 24일경 괴경을 절단하는 것이 맹아율 향상에 효과적인 것으로 판단되어 금후 이러한 조건들에 대한 내생 호르몬의 함량변화를 검토해야 할 것으로 판단되었다.

표 2-12. 온수의 온도 조건에 따른 괴경 절편의 멧아율

온수 온도 (°C)	20	40	60	80
멧아율 (%)	15.9 (45.7)	24.8 (12.9)	32.5 (34.3)	43.2 (4.5)

비고: 침지시간은 5분, 괴경조건 (12월 24일에 저온 저장고에서 나온 괴경).

치상조건: 온도 28°C, 상대습도 80%의 항온기에서 90일간 방치.

처리당 괴경수: 45개, ()는 부패된 괴경 수.

표 2-13. 조기 절편 시기에 따른 괴경의 멧아율

절편시기(월. 일)	12월 24일	1월 24일	2월 24일	3월 24일
멧아율 (%)	15.4	35.1	45.7	32.9

비고: 생장조건 (대기온도, 28°C, 상대습도, 80%).

멧아율 결정 시기: 괴경 절단 후 60일.(단, 3월 24일 절편은 4월 25일).

2. 저장 습도에 따른 괴경의 휴면반응

1년차 시험의 경우 저장온도를 달리 하였을 때 괴경의 멧아율은 저장일수가 길어질수록, 저장온도는 저온조건에서 다소 멧아가 촉진되는 것으로 나타났으나 멧아율은 매우 낮은 20% 이하였다. 본 시험에서는 저장습도를 달리하여 괴경의 멧아율을 검토한 결과(표 2-14), 저장습도가 60%(상온조건) 및 70% 조건에서는 전혀 멧아가 없었으나 저장 습도 80%에서는 저장일수 60일에 비하여 저장일수가 경과 될수록 멧아율이 촉진되는 결과를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 1차년도와 유사하게 저장습도 역시 멧아율이 20% 이하 인 것으로 나타나 금후 저장 온습도의 조건을 함께 변형하여 괴경의 휴면반응을 검토해야 할 것으로 판단되었다.

표 2-14. 저장습도에 따른 등근마 괴경의 멩아율(%)

저 장 일 수 (일)	저 장 습 도 (%)		
	60	70	80
60	-	-	2.8
105	-	2.2	11.3
140	-	3.4	17.0

비고: 멩아율 조사를 위한 괴경의 치상온도는 30℃가 유지되는 인공 성장실에서 실시하였고, 성적은 45개체에 대한 평균값의 SE임. 조사는 치상 후 30일째의 성적임.

3. 괴경비대기의 등근마 체내 호르몬 성분변화

괴경비대는 휴면현상의 일종으로 이해할 수 있으므로 괴경의 휴면과 비대에 관여하는 요인을 구명하여야만 정확한 휴면타과 방법에 관한 정보를 얻을 수 있을 것이므로 괴경형성·비대기의 식물체내의 식물호르몬의 변화를 조사하였다. 괴경형성비대 및 휴면과 아주 밀접한 GA류의 생합성 변화를 1차년도에 확립한 GA 분석법으로 분석한 결과, 등근마 식물체내의 GA 생합성은 [(non 13-hydroxylation 경로($GA_{12} \rightarrow GA_{15} \rightarrow GA_{24} \rightarrow GA_9 \rightarrow GA_4 \rightarrow GA_{34}$))와 early 13-hydroxylation 경로($GA_{12} \rightarrow GA_{53} \rightarrow GA_{19} \rightarrow GA_{20} \rightarrow GA_1 \rightarrow GA_8$)]의 두 경로 모두를 통해 생합성 된다.

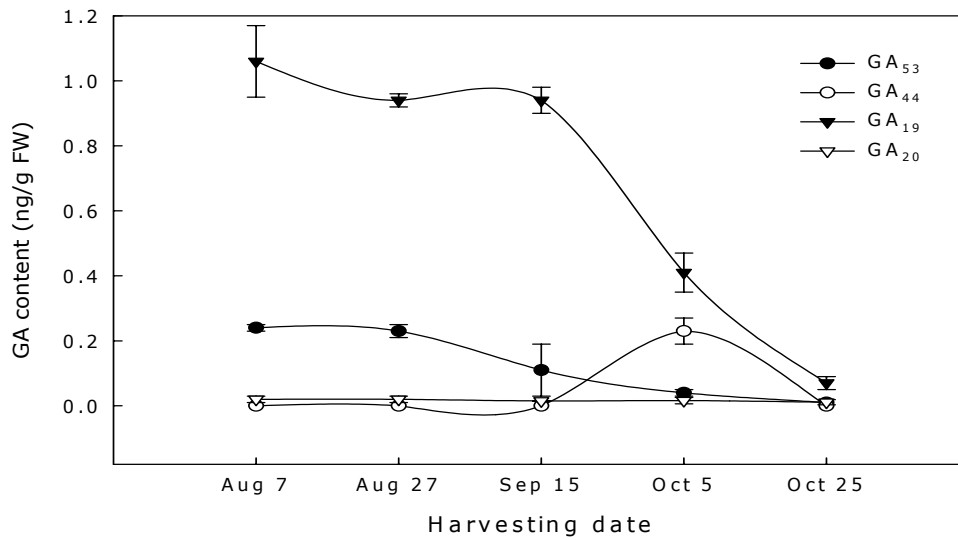
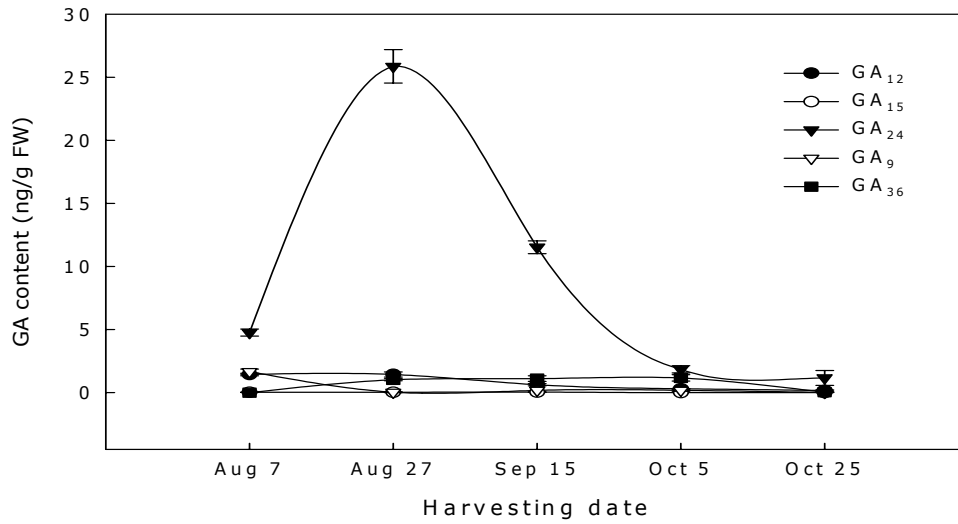


그림 2-8. Changes of endogenous GAs for an early C-13 hydroxylation(up) and non C-13 hydroxylation(down) in the leaves of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

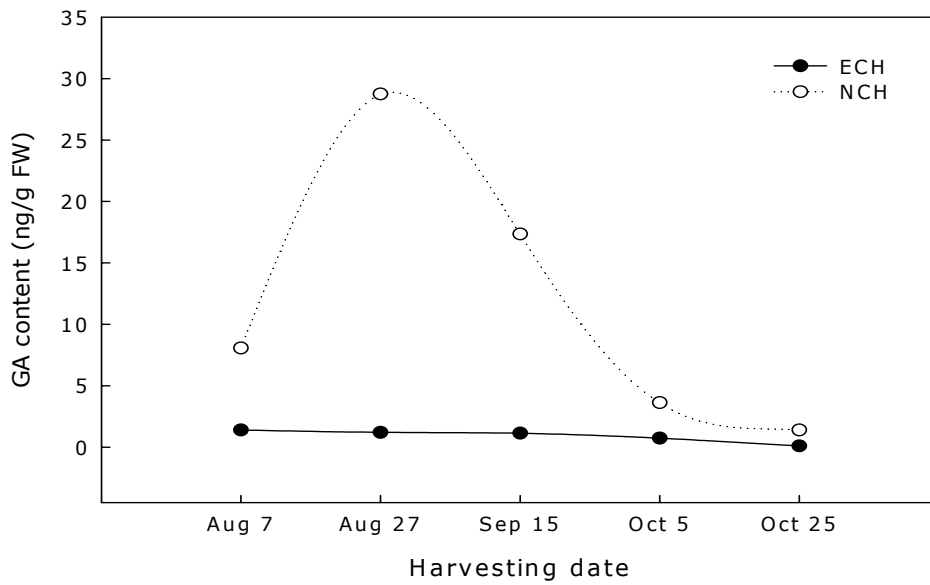
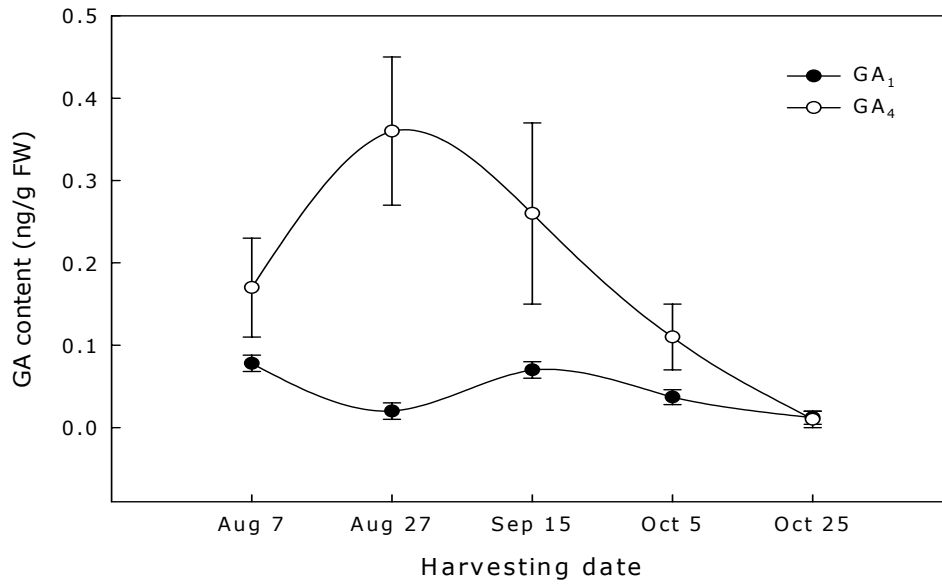


그림 2-9. Changes of bioactive GAs, GA₁ and GA₄ and GA members of ECH and NCH in the leaves of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

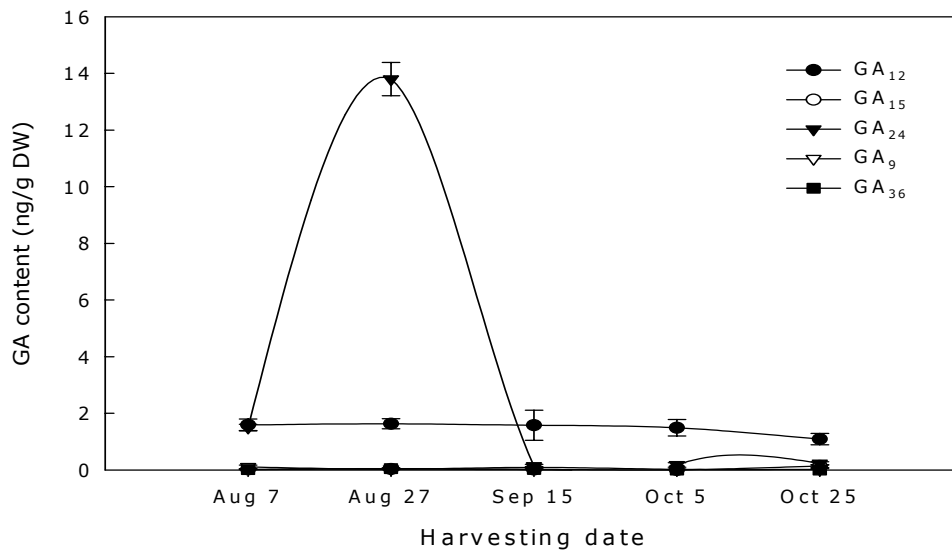
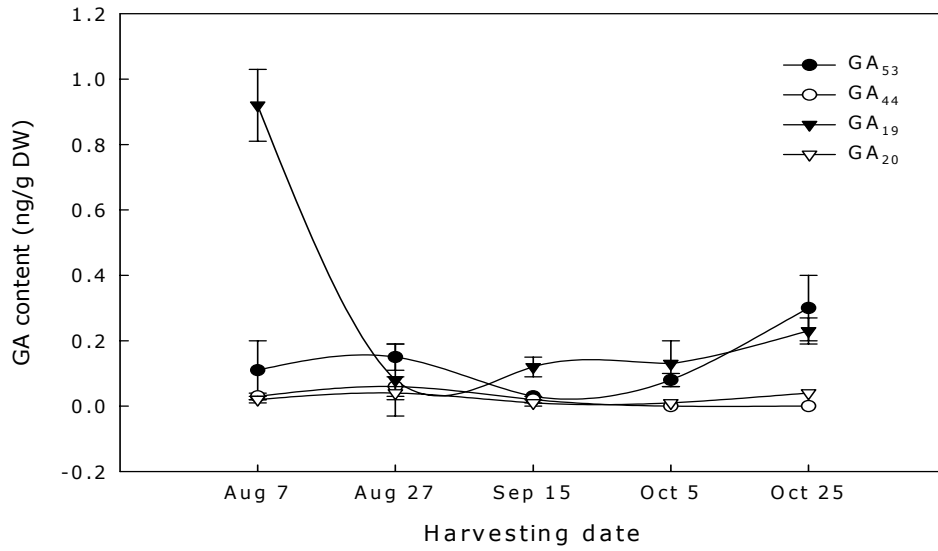


그림 2-10. Changes of endogenous GAs for an early C-13 hydroxylation(up) and non C-13 hydroxylation(down) in the tubers of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

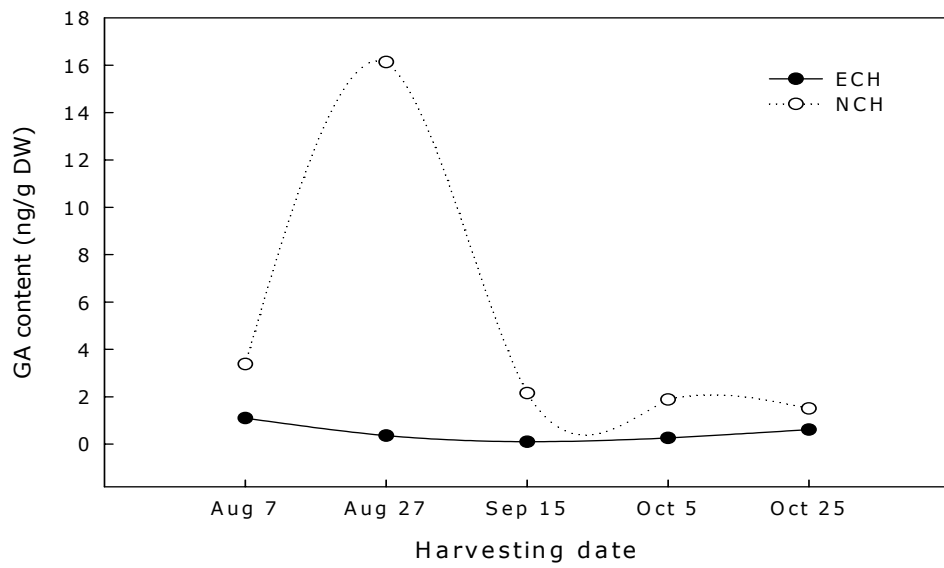
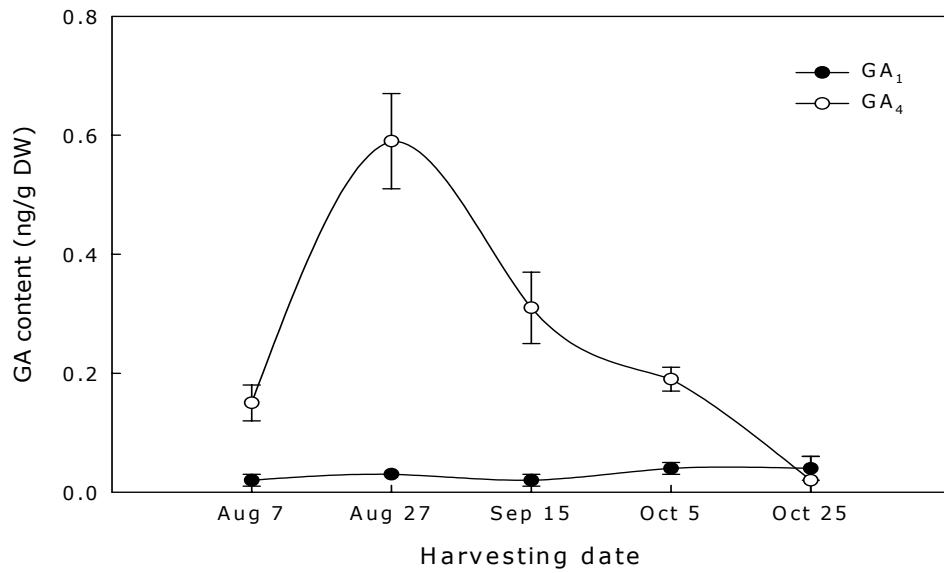


그림 2-11. Changes of bioactive GAs, GA₁ and GA₄ and ECH and NCH in the tubers of *Dioscorea opposita* var. Tsukune during growth. Data presented are mean values of two replicates±SE.

정확한 생합성경로를 구명하기 위하여 [14C]Gibberellin A12를 기질로 하여 시간대별 등근마의 지베렐린 생합성 경로를 조사한 결과, GA₁을 활성형으로 하는 Early C-13 hydroxylation(ECH: GA₅₃→ GA₄₄→ GA₁₉→ GA₂₀→ GA₁) 경로와 GA₄를 활성형으로 하는 Non C-13 hydroxylation(NCH: GA₁₂→ GA₁₅→ GA₂₄→ GA₉/GA₃₆→ GA₄)가 존재하였으며, 주된 지베렐린 생합성 경로는 GA₄를 활성형으로 하는 Non C-13 hydroxylation임을 알 수 있었다. 마의 생육기간 중 잎의 지베렐린 함량은 괴경 형성기보다 괴경 비대기인 8월 하순경에 총 지베렐린 함량이 가장 높았으며 아울러 지베렐린 함량도 GA₁보다는 GA₄ 함량이 급격히 증가하였다. 이 시기에 괴경 체내의 지베렐린 함량도 잎과 동일한 결과를 보였다. 괴경 형성이 유도된 후 비대기에 식물체내(잎과 괴경)에서 GAs 함량이 급격히 증가한 다음 괴경충실기(휴면 유도현상의 일종) GAs 함량이 급격히 감소함을 보였다.

이는 괴경수량 증대와 휴면 타과의 상반된 두 생리현상 모두에 GA가 깊이 관련되어 있으며 식물체내 GA 함량을 적절히 조절함으로써 이들 상반된 두 생리현상을 이용할 수 있음을 시사한다고 생각된다. 즉 초기에는 충분한 양의 GA가 있어야만 괴경수량을 확보할 수 있을 것으로 생각되는 반면 후기 또는 괴경 휴면타과에는 GA양을 감소시킬 수 있는 방법을 모색하여야 할 것으로 사료된다.

4. 효과적인 휴면타과 방법확립: GA 생합성억제제의 효과

일반적으로 작물의 휴면타과 방법은 종피과상, 습윤처리, 저온처리 등의 물리적인 방법과 더불어 지베렐린(GAs) 처리가 실제로 이용되고 있으나 마에서는 지베렐린을 처리하면 오히려 휴면이 유도되어 출아되는데 소요되는 기간이 더욱 길어지는 현상을 보인다. 뿐만 아니라 마의 괴경에서 싹이 나올 무렵에 생육촉진을 유도하기 위하여 지베렐린을 처리할 경우, 생육이 중지됨과 동시에 2차 휴면으로 진행이 되어 다른 작물에서는 볼 수 없는 아주 특이한 생리적인 현상을 보인다. 따라서 마의 휴면타과효과를 GA 생합성 억제제를 사용하여 조사하였다. 지베렐린 유도성 휴면에 대하여 괴경과 영여자의 휴면성이 가장 깊은 시기인 수확 후 12월 하순에 지베렐린과 지베렐린 생합성 억제제를 처리하였을 때, 지베렐린 처리에서는 맹아가 되지 않았으나 지베렐린 생합성 억제제 처리에서는 ancymidol(ANC), MC 및 TNE 순으로 맹아율이 촉진되었고, 특히 ANC 1ppm처리에서는 90% 이상 맹아율을 보여 이때 에틸렌

의 발생량과는 정의 상관성이 있음을 알 수 있었다(그림 2-12).

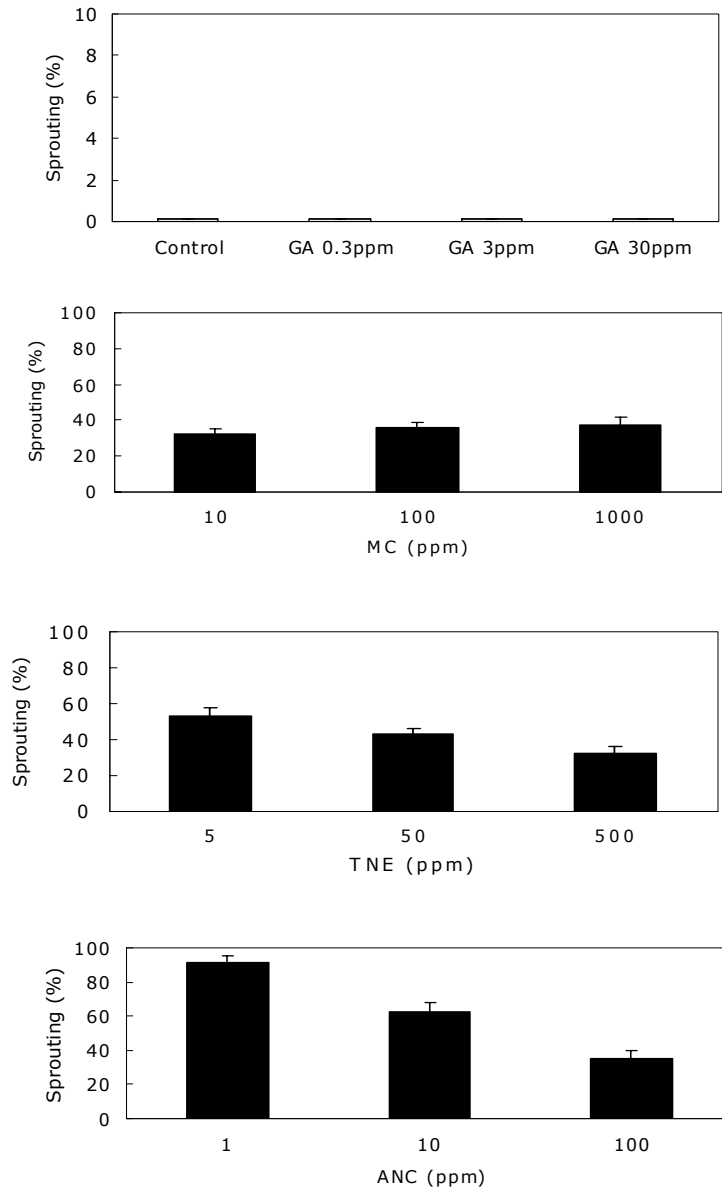


그림 2-12. Effects of GA biosynthesis inhibitors, MC, ANC and TNE on sprouting rates in the dormant tubers of *Dioscorea opposita*. GA: gibberellic acid; MC, mepiquat chloride ANC, ancymidol; TNE, trinexapac-ethyl. Sprouting rate was checked at the five days after incubation.

저장 기간중 괴경과 주아의 지베렐린 함량 변화에서 괴경은 저장기간이 경과될수록 GA₁과 GA₄는 증가한 반면, 주아에서는 급격히 감소하여 저장 중 식물체 기관별 지베렐린 함량은 서로 다르게 진행됨을 알 수 있었고, 대표적인 휴면 유도성 식물호르몬인 abscisic acid (ABA)는 괴경 및 주아 모두 저장기간이 진행될수록 급격히 감소하였으며, 괴경보다는 주아의 ABA 함량이 상대적으로 높은 경향을 보였다.



<Gibberellin A3 처리구>



<Gibberellin A4+7 처리구>

그림 2-13. 지베렐린 종류에 따른 등근 마의 지상부 줄기 및 잎의 반응

(사진설명: 지베렐린 처리 후 17일째의 생육반응으로 지베렐린 A3보다는 지베렐린 A4+7 처리에서 지상부의 줄기와 신초생장이 왕성함을 알 수 있음)



<줄기의 신초형성 효과없음>



<줄기의 신초형성 촉진>

그림 2-12에서 관찰된 맹아촉진이 포장상태에서의 초기 생육 촉진현상과는 일치하지 않아 초기 생육촉진에 대한 연구가 절실한 것으로 판단된다. 즉, 이른 봄의 상대적 저온(마는 고온성 작물인 관계로 낮은 온도에서 생육이 저조함)에 의한 생육저하 현상을 극복시킬 수 있는 방법의 개발이 필요하다고 사료되어 현재 생육촉진효과가 있는 GA₄에 대한 실험을 수행하여 상당한 결과를 얻었다. 2003년 현재 등근마에 GA와 BA의 생육 촉진효과를 검증한 결과, GA₄와 BA의 혼합은 GA₃ 또는 GA₃와 BA의 혼합에 비해 생육 촉진효과가 월등하게 좋았다(그림 2-13).

제 5 장 영여자 씨마의 이용성 증대 및 논 재배 실용화 연구

제 1 절 서 론

우리나라의 마 재배 면적과 생산량은 최근 급격히 늘어나고 있다. 최근에는 생약 용 이외에 건강식품(생즙, 분말)으로도 소비가 늘고 있어 수요량이 급증하고 있는 실정이다.

마 재배의 주산지를 보면 경북의 안동, 영주지역과 경남의 진양 등지로서 전국 재배면적의 90%이상을 차지하고 있어 주요 약용작물과 함께 이 세 지역은 1992년 8월 농림수산부고시에 의해 주산지로 지정된 바 있다. 이와 같이 특정지역에 특화작물로 발전시킴은 재배의 집단화에 따라 기술의 보급이나 생산물의 가공·출하 등 여러 면에서 유리한 위치에 있다.

한편 우리나라의 논 면적은 점차 줄어드는 추세에 있으며 벼를 대신할 수 있는 새로운 작물의 대체 요구도 증가하고 있는 실정이다. 답전윤환용으로 재배되고 있는 콩은 단위면적당 수확량이 높지만, 토양수분의 과다로 인한 병 발생, 뿌리 근권의 습해 발생 등 새로운 재배대책이 요구되고 있다. 등근 마는 약용식물로 인식되고 있으나 최근 들어 소비자들의 건강에 대한 중요도가 높아짐에 따라 점차적으로 식용으로 이용률이 증가하고 있다.

앞서 설명한 바와 같이 고소득 작물로서 벼를 대체할 수 있는 답전윤환용 등근마 재배는 그 가능성이 매우 높은 것으로 평가되었다. 답전윤환용 콩과는 달리 습해에 강한 생육습성을 보였으며 병 발생 또한 밭 재배 보다 낮아 새로운 답전윤환용 대체 작물로 가능성이 매우 높다고 하겠다.

그러나 등근 마를 논 재배 하기 위해서는 단위면적당 수량성 확보가 중요하나 지금까지 마를 논에 재배할 경우 적정 시비량, 시료 종류, 병 발생 등 재배 전반에 관한 연구는 매우 실정이다. 이와 더불어 논 재배가 가능하다면 앞으로 전개될 등근 마 종묘 확보가 선결과제로 지적되고 있는바 등근 마는 번식기관이 괴경으로 한정되어 있어 일반 마에서 대량으로 형성되는 영여자의 착생 및 생산을 재배기술이 급선무라

고 할 수 있다.

따라서 본 과제에서는 영여자를 자연 상태에서 화학적 방법을 통하여 대량으로 착생하여 비대하는 방법과 논 재배 실용화를 위하여 비료종류, 지주설치 방법, 토양수분 과다로 발생하는 습해 방지를 위한 두둑높이, 생육 초기에 둥근 마의 지상부 생육을 촉진시켜 괴경 수량을 높이는 방법 등을 수행하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 영여자 초기 생육 촉진법 개발

실험재료는 전년도 시험연구포장에서 수확된 영여자(지베렐린 생합성 억제제 처리)를 사용하였다. 수확한 영여자의 굵기가 균일하지 못하여 영여자의 직경을 기준으로 하여 2 mm(A), 2-4mm(B), 4mm이상(C)의 3그룹으로 나눈 다음 초기생육검정은 균일도가 가장 높은 4mm이상의 것을 영여자 수량 검정은 3그룹을 모두 실험재료로 사용하였다. 벤레이트-T로 분의 소독된 영여자를 4월 20일에 고추 육묘 트레이에 구멍 당 3개를 파종하였다. 상토 및 복토는 원예용 상토를 사용하였으며 토양의 수분유지를 위하여 부직포를 3겹으로 깐 다음 비닐하우스에서 재배하였으며 출아가 된 후에는 부직포를 제거 하였다. 영여자의 초기 생육을 촉진시키기 위하여 성장조정제 처리는 파종 후 30일에 토양관주처리, 출아 후 3일 간격으로 5회에 걸쳐 토양관주 및 엽면살포를 동시에 처리하였다. 성장조정제의 처리 농도는 지베렐린(GA_3)과 프로말린(Promalin : GA_{4+7} 와 사이토키닌류인 BA가 1:1의 비율로 혼용, 활성 성분비: 1.8 : 1.8%) 모두 100, 200 및 400ppm으로 하였으며 처리 당 10반복으로 실시하였다. 시비는 시험포장에서 실시하는 것과는 달리 별도로 실시하지 않았으며 마지막 성장조정제 처리 후 7일째 0.3% 요소를 관주처리 하였다. 영여자의 수량성 평가를 위한 처리는 지베렐린 (GA_3)과 프로말린(Promalin : GA_{4+7} 와 사이토키닌류인 BA가 1:1의 비율로 혼용, 활성 성분비: 1.8 : 1.8%) 모두 100, 200 및 400ppm으로 하여 7월 15일과 8월 15일에 각각 누적처리 하였으며 별도의 단용처리를 실시하지 않았다.

미생물 제제의 효과를 알아보기 위한 시험은 와그너 포트(1/5,000 a)에 영여자의 직경인 중간크기인 2-4mm(B)그룹을 사용하였으며 포트 당 50립씩 파종하였으며 상토와 시비는 성장조정제의 처리와 동일하게 실시하였다. 미생물 제제는 Gisera(토양미생물제제)를 사용했으며, 처리농도는 1, 2, 4g/L로 하여 토양 관주처리 하였다.

2. 논 재배시 영여자 착생환경 및 비대 연구

영여자의 착생에 영향을 미치는 온도 및 강수량 등의 착생환경과 비대를 위한 지역 간 차이를 알아보기 위한 시험은 안동과 대구의 2개소에서 실시하였다. 실험재료는 저온저장중인 괴경을 2003년 3월 27일에 벤레이트T와 재를 1:1의 비율로 혼합한 분말에 분의 소독한 다음 4월 20일에 재식거리를 30×30cm로 하여 정식하였고, 시비량(N-P₂O₅-K₂O/10a)은 43-28-32kg을 사용하였고, 요소(기비/추비=7:3)와 가리는 지상부 최성기와 괴경형성기에 분시 하였다. 괴경형성기와 비대기의 알맞은 수분조건을 알아보기 위한 처리는 별도의 비닐하우스를 설치하지 않고, 괴경이 생육하는 두둑의 높이를 조절하여 실시하였는데 2년차에서 얻어진 성적결과를 바탕으로 괴경비대 및 습해방지를 유도할 수 있는 두둑높이인 15, 30 및 45cm 로 실시하였다. 지주설치는 둥근마의 포장 출아가 약 40% 정도 출현될 때 철재 I형 지주를 4m 간격으로 설치한 다음 덩굴유인을 위하여 그물망을 설치하여 재배하였다.

3. 초기생육확보 및 괴경비대를 위한 성장조정제 선발시험

생육초기에 지상부 생육을 촉진하여 괴경비대 유도를 위한 성장조정제는 지베렐린과 프로말린을 각각 100, 200, 400ppm 으로 하여 괴경형성기인 7월 15일과 괴경비대기인 8월 15일에 1회 및 2회 엽면살포 처리하였다. 영여자 안전착생 유도를 위한 성장조정제는 Pro-Ca, BA(사이토키닌류), JA(jasmonic acid), MC(mepiquat-Cl), 리테인(에틸렌 생합성억제제) 및 에세폰(에틸렌 발생제)을 사용하였다. 성장조정제의 처리농도는 Pro-Ca 100, 200, 400ppm, BA 100, 200, 400ppm, MC 200, 400, 600ppm, 리테인 100, 200, 400ppm, 에세폰 100, 200, 400ppm으로 하여 괴경형성기인 7월 15일과 괴경비대기인 8월 15일에 1회 및 2회 엽면살포 처리하였다. 전년도에서 우수한 괴경비대 효과를 나타낸 지베렐린(GA₃)은 JA와 함께 혼용처리 하였는데 GA₃ 5ppm + JA 5, 10, 25ppm, GA₃ 100ppm + JA 5, 10, 25ppm, GA₃ 200ppm + JA 5, 10, 25ppm로 하여 괴경형성기인 7월 15일과 괴경비대기인 8월 15일에 1회 및 2회에 걸쳐 누적으로 엽면살포 처리하였다.

4. 논 재배시 적정 재배환경 설정

등근마 괴경 절편시 초기에 빠른 맹아와 품질이 우수한 상품 생산과 논 재배에 알맞은 피복 재료를 선발하기 위하여 투명비닐, 톱밥 및 왕겨를 사용하였다. 투명비닐은 한 겹으로 피복한 다음 괴경 절편을 파종하였으며 톱밥과 왕겨는 토양표층으로부터 1cm 두께로 고르게 피복하였다. 지주설치는 관행인 철재 I형과 농가에서 많이 사용하는 대나무 X형, 0.3mm 철사와 할죽을 각각 〇형으로 하여 총 4가지 형태로 실시하였다.

생력형 등근마 재배를 위하여 논재배에 알맞은 비료선발을 위하여 관행으로 사용되는 시비량(N-P-K=43-28-32kg/10a)을 대조구로 하여 완효성 비료와 엔케이 비료를 처리하였다. 완효성 비료(CDU: N-P-K, 12-12-12kg)는 6, 12, 18kg, 엔케이비료(N 18kg-K 15kg-고토 3kg-붕소 0.3kg)를 10a당 6, 12, 18kg 정식전 7일에 전량기비로 살포하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 실시하였다.

제 3 절 영여자를 통한 생력형 종묘 생산법

1. 영여자 초기 생육 촉진법 개발

영여자의 출아율 향상은 등근마 초기생육에 있어 입묘확보와 아울러 수량향상에 큰 영향을 준다. 표 3-1은 영여자를 파종한 다음 일수별 지베렐린과 프로말린 처리에 따른 출아율을 비교한 것이다. 영여자의 출아율은 무처리의 경우 정식 후 50일이 경과할 때 46.8%로 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 아울러 초기생육 향상을 위한 지베렐린 효과에서도 농도와는 무관하게 파종 후 50일까지는 50%이하를 보였으나 정식 후 60일째에서는 50%이상의 출아율을 보였다. 한편 사이토키닌류인 NA와 지베렐린 GA₄와 GA₇의 혼용제제인 프로말린의 경우 정식 후 50일째 52.5 - 63.2%의 출아율을 보여 상대적으로 높은 출아율을 보이는 것으로 나타났다.

특히 정식 후 60일째에서는 프로말린 > 지베렐린 > 무처리 순으로 영여자의 출아율이 높아 등근마의 초기 생육촉진을 위한 출아율 증대는 프로말린의 처리가 효과적임을 알 수 있었다.

표 3-1. 지베렐린과 프로말린 농도별 처리에 따른 영여자의 출아율

생장조정 제	농도 (ppm)	정식 후 일수 (일)			
		30	40	50	60
		----- % -----			
무처리		5.9c	11.3c	46.8b	63.2b
지베렐린	100	11.4	24.7	45.2	59.9
	200	10.0	28.2	44.8	54.7
	400	9.5	23.9	41.6	55.0
	평균	10.3b	25.6b	43.9c	56.5c
프로말린	100	23.7	28.8	52.5	69.9
	200	25.8	29.4	59.6	73.5
	400	24.4	30.3	63.2	80.2
	평균	24.6a	29.5a	58.4a	74.5a

비고: 실험에 사용된 영여자의 크기는 >4mm직경.

The same letter in means within columns are significantly different at the 5% level by DMRT.

지베렐린과 프로말린의 누적처리에 따른 영여자의 수량을 알아보기 위하여 지베렐린과 프로말린을 각각 7월 15일과 8월 15일 2회에 걸쳐 누적처리 하였다.

표 3-2에서 보는 바와 같이 무처리의 경우 영여자 크기에 따른 수량은 영여자의 크기가 클수록(직경기준) 수량이 증가하였다. 그러나 지베렐린 처리에서는 낮은 농도인 100ppm처리에서 1.5kg인 것에 비하여 200ppm 및 400ppm 처리에서는 수량차이를 보이지 않았으나 100ppm 처리보다 높은 수량을 보임을 알 수 있었다. 프로말린 처리에서는 급격한 영여자의 수량이 증가됨을 알 수 있었는데, 가장 낮은 농도인 100ppm의 경우 2.1kg으로 무처리 및 지베렐린의 평균 수량과 비슷하였으며, 특히 200ppm 및 400ppm 처리에서는 10a 당 각각 4.9kg 및 8.5kg으로 영여자의 수량이 증가됨을 알 수 있었다. 특히 프로말린의 평균 영여자 수량은 5.2kg으로 무처리 및 지베렐린의 수량보다 2.5배 정도 높은 것으로 나타나 영여자의 수량성 향상을 위해서는 지베렐린과 사이토카이닌 혼용처리가 가장 효과적임을 알 수 있었다.

표 3-2. 지베렐린과 프로말린 누적 처리에 따른 영여자 수량

생장조정제	농도 (ppm)	영여자 크기 (mm)	영여자 수량 (kg/10a)
무처리		<2	1.2
		2-4	1.8
		>4	3.4
		평균	2.1b
지베렐린	100	<2	1.5
	200	2-4	2.4
	400	>4	2.3
		평균	2.1b
프로말린	100	<2	2.1
	200	2-4	4.9
	400	>4	8.5
		평균	5.2a

The same letter in means within columns are significantly different at the 5% level by DMRT.

영여자의 조기 출아는 영여자의 영양상태, 발근력, 내생 식물호르몬 균형 및 비료, 수분, 온도 등의 토양환경 등에 의해 영향을 받는다. 아울러 영여자는 괴경과 마찬가지로 지베렐린에 의한 휴면현상을 보이는 것으로 알려져 있으나 생육중일 때는 오히려 생육을 조장하는 것으로 또한 알려져 있다. 따라서 토양환경 요인 가운데 토양미생물의 밀도를 달리하여 영여자의 출아율을 검토한 결과는 표 3-3과 같다.

토양미생물 제제인 기세라를 토양관주로 하여 처리하였을 때, 영여자 과종 후 30일째는 평균 10% 로 기세라 농도 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 정식 후 50일째는 기세라 농도 1g/l 에서 50.9% 을 보인 반면에 2g/l 및 4g/l 처리에서는 75% 정도 급격히 출아율이 증가됨을 알 수 있었으며, 특히 정식 후 60일째는 평균 79.8% 로 정식 후 50일째보다 약 13% 정도 증가됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로 비추어 볼 때, 영여자의 출아율 향상을 위해서는 지상부에 처리되는 성장조정제와 마찬가지로 토양미생물 제제 또한 적정 농도(2g/l)가 있음을 알 수 있었다.

표 3-3. Gisera 토양관주처리에 따른 영여자 출아율

처 리 명	농도 (g/L)	정식 후 일수 (일)			
		30	40	50	60
		----- % -----			
무처리		5.9	11.3	46.8	63.2
Gisera	1	7.9	28.0	50.9	70.5
	2	11.9	32.5	75.2	89.4
	4	10.1	29.5	74.5	79.6
	평균	10.0	30.0	66.9	79.8

그림 3-1은 토양 미생물 제제인 기세라의 토양관주 처리에 따른 영여자의 수량을 나타낸 것으로 무처리에 비하여 기세라 처리에 의해 영여자 수량이 증가됨을 알 수 있었다. 특히 효과적인 영여자 수량 효과는 기세라 처리농도 2g/l 에서 가장 높음을 알 수 있어 영여자의 수량과 토양 미생물과의 상호 작용 및 미생물의 밀도가 깊게 관련되어 있음을 알 수 있었다.

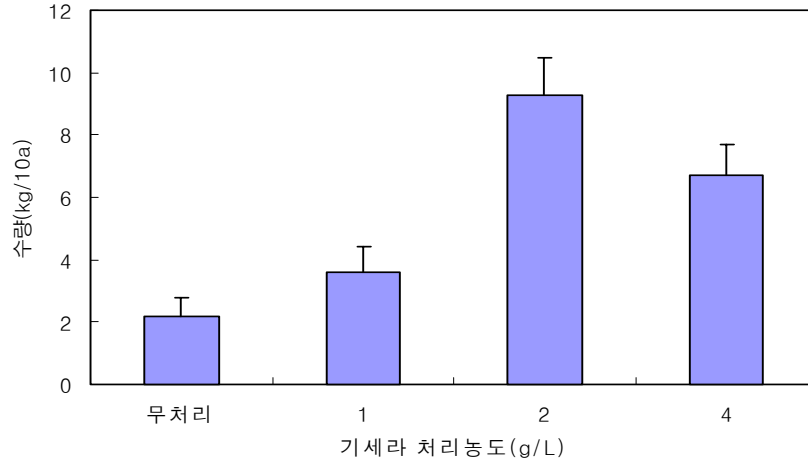


그림 3-1. 기세라 처리농도에 따른 영여자 수량의 변화

2. 논 재배시 영여자 착생환경 및 비대 연구

영여자의 착생은 유전적인 형질에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 그러나 2년간 연구를 수행해 오면서 다양한 재배적인 방법에 의해서도 영여자의 착생정도와 수량성의 상이함을 관찰하였던 바 본 시험에서는 재배환경 요인 가운데 재배장소(위도, 온

도, 강수 등의 기상요인)를 달리하였을 때 둥근마 영여자의 착생량과 수량을 검토하고자 수행하였다.

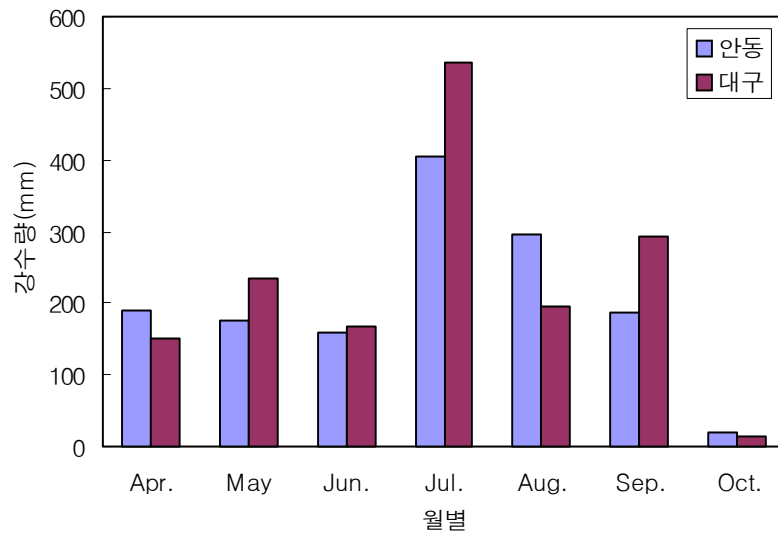
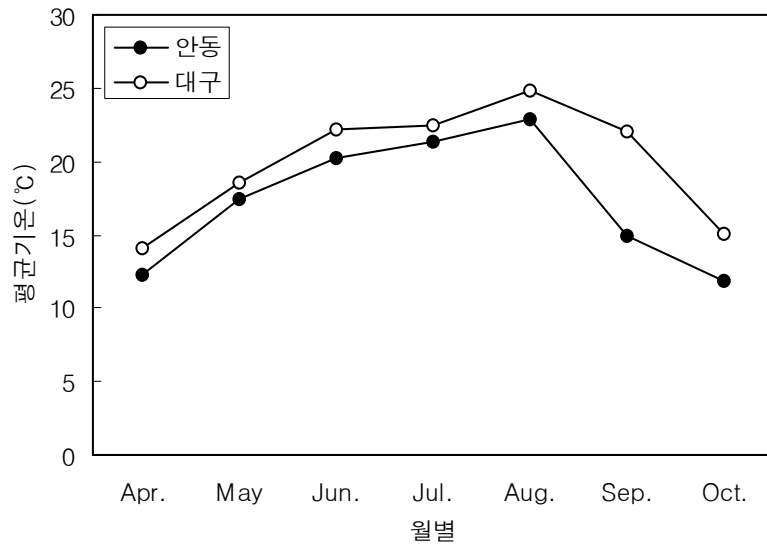


그림 3-2. 재배장소(안동, 대구)의 생육기간중 평균기온 및 강수량 분포.

그림 3-2는 재배장소인 대구와 안동의 평균 온도와 강수량을 생육기간동안 조사한 것을 나타낸 것이다(대구 및 안동 기상대 자료: 2003년). 평균 기온을 비교해 보면

안동지역보다 대구지역이 항상 높음을 알 수 있었고 특히 8월 이후에는 대구지역보다 안동지역의 기온이 급격히 낮음을 알 수 있었다. 강수량은 8월의 경우 대구지역이 안동지역보다 낮은 강수량을 보였으나 마의 동화물질 축적기간인 9월에는 오히려 대구지역에서 강수량이 안동보다 많음을 알 수 있었다.

표 3-4는 두 지역간의 영여자 착생정도와 수량을 나타낸 것으로 영여자 착생기는 대구지역이 안동지역보다 약 9일 정도 일찍 착생되었으며, 영여자 크기별 착생량은 2mm 이하의 지역간 차이를 보이지 않았으나 영여자 씨마로 가능한 2-4mm 정도의 크기는 대구지역에서 다소 증가하였으며 특히 영여자 씨마로 사용가능한 4mm 이상 되는 영여자는 대구지역이 안동지역보다 거의 2배 정도 많이 착생됨을 알 수 있었다. 결과적으로 지역간 영여자의 수량성을 조사한 결과 안동지역보다 대구지역에서 2배 이상의 높은 수량성을 보여 영여자의 착생은 어느 정도 재배지역의 온도에 따른 영여자의 초기착생 유도과 영여자 착생 후 비대가 되는 8월 하순에서 9월에 걸친 토양의 적습상태가 일정기간이 유지되어야 안정적인 영여자 생산이 가능할 것으로 판단되었다.

표 3-4. 재배지역(대구, 안동)에 따른 영여자 착생반응 및 수량

재배지역	영여자 착생기 (월. 일)	영여자 크기별 착생량(g/주)			영여자 수량 (g/10a)
		<2mm	2-4mm	>4mm	
대구	7.14	1.1	3.4	7.6	3.5
안동	7.25	1.3	2.8	4.5	1.9

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

제 4 절 휴면 타파 및 괴경비대를 위한 재배법 확립

1. 초기생육확보 및 괴경비대를 위한 성장조정제 선발시험

둥근마의 초기생육을 촉진시키면서 괴경을 효율적으로 비대시키기 위하여 지베렐린을 괴경형성기인 7월 1일과 괴경비대기인 8월 15일에 각각 단용 및 누적처리를 실시한 결과는 표 3-5과 같다. 무처리에 비하여 괴경형성기에 1회 처리한 구에서 괴경수량이 증가됨을 알 수 있었다.

누적처리의 경우 100ppm 처리에서는 오히려 급격한 괴경 감소 현상을 볼 수 있었으며, 이러한 현상은 200ppm까지 나타나다가 가장 높은 농도인 400ppm에서는 사라짐을 알 수 있었다. 이러한 현상은 지베렐린이 괴경의 수량증가에도 영향을 미치지 만 수확 후 휴면이라는 생리적인 반응의 조절에 관여하기 때문에 생육시기에 따라서 다른 괴경 수량을 보이는 것으로 판단되었다.

한편, 등근마에 지베렐린과 사이토키닌류인 NA의 혼용제제인 프로말린을 처리하였을 때, 괴경수량을 조사한 결과는 표 3-6와 같다. 본 시험은 프로말린 제제가 함유된 BA의 효과를 차단하기 위하여 별도로 BA를 동일한 처리시기에 살포하여 단독의 GA₄₊₇의 효과를 검토하였다. 프로말린은 저농도인 100 및 200ppm에서는 괴경수량의 증가효과가 나타나지 않았으나 가장 높은 농도인 400ppm 처리에서는 1,556kg으로 무처리에 비하여 괴경 수량이 증가됨을 알 수 있었으며, 지베렐린의 경우처럼 누적처리보다는 단용처리가 효과적으로 나타났다.

표3-5. 지베렐린의 처리횟수에 따른 등근마의 괴경 수량

지베렐린 (ppm)	괴 경 수 량 (kg/10a)	
	7월 15일	7월 15일 + 8월 15일
무처리	1,185 c	1,185 b
100	1,972 a	648 c
200	1,593 b	1,241 b
400	1,435 b	1,574 a
평균	1,667	1,154

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

표3-6. 프로말린 처리횟수에 따른 등근마의 괴경 수량

처리농도 (ppm)	괴 경 수 량 (kg/10a)					
	7월 15일			7월 15일 + 8월 15일		
	GA4+7	BA	Promalin	GA4+7	BA	Promalin
무처리	1,185 a	1,185 a	1,185 b	1,185a	1,185 a	1,185 b
100	343 b	620 b	963 c	328 d	829 b	1,157 b
200	417 b	648 b	1,065 b	421 c	625 c	1,046 c
400	1,195 a	625 b	1,556 a	884 b	338 d	1,222 a
평균	652	631	1,195	544	597	1,141

Means with the same letter within columns are not significantly different(P<0.05).

표3-7. 자스몬산 처리횟수에 따른 등근마의 괴경 수량

처리농도 (ppm)	괴 경 수 량 (kg/10a)	
	7월 15일	7월 15일 + 8월 15일
무처리	1,185 c	1,185 c
5	1,583 a	1,463 b
10	1,361 b	1,667 a
25	917 d	1,148 c
평균	1,287	1,426

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

표 3-7은 괴경 작물인 감자에서 괴경이 형성됨과 비대될 때 잎에서 급격한 증가를 보이는 내생 호르몬인 자스몬산을 등근마의 잎에 엽면살포 하였을 때 괴경의 수량을 검토한 것이다. 지베렐린과 프로말린의 경우와는 다르게 자스몬산 처리는 저농도인 5ppm 및 10ppm 에서 괴경 수량이 증가되는 현상을 보였으며, 특히 지베렐린과 프로말린의 처리효과가 단용처리에서 나타난 것과는 다르게 자스몬산 처리에서는 2회에 걸친 누적처리에서 괴경 수량이 증가함을 보여 이들 두 식물 호르몬은 괴경의 비대에 관여하지만 서로 다른 괴경비대의 작용기작이 있는 것으로 판단되어 금후 이에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료되었다.

표 3-8는 괴경 비대에 관여하는 식물생장조정제인 지베렐린과 자스몬산의 농도를 달리한 혼용조합의 효과를 알아 보기위한 것으로 지베렐린 50ppm, 100ppm, 200ppm 과 자스몬산 5 ppm, 10ppm, 25ppm을 엽면살포 하였다. 이전의 연구 결과에서는 단용처리의 경우 처리농도가 다소 높을수록 괴경수량이 증가됨을 관찰하였으나 이들 두 성장조정제 혼용처리에서는 가장 낮은 농도인 지베렐린 50ppm과 조합된 자스몬산의 혼용조합에서 평균 괴경수량이 가장 증가함을 알 수 있었다. 특히 이들 혼용조합에서 지베렐린 50ppm과 자스몬산 5ppm이 가장 높은 괴경수량을 보였다. 단용처리와 누적처리에 따른 이들 식물생장조정제의 괴경비대 효과는 지베렐린 50ppm과 200ppm에서 자스몬산 혼용조합은 괴경형성기 1회 처리에서 증가하였으나, 지베렐린 100ppm에서 자스몬산 혼용조합은 오히려 2회에 걸쳐 살포된 누적처리에서 괴경수량이 증가됨을 알 수 있어 금후 이들 반응에 대한 심도 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

표3-8. 지베렐린과 자스몬산 혼용처리 및 처리횟수에 따른 둥근마의 괴경 수량

처 리 명	괴 경 수 량 (kg/10a)	
	7월 15일	7월 15일 + 8월 15일
무 처 리	1,185 e	1,185 e
GA 50ppm + JA 5ppm	1,917 a	1,213 d
GA 50ppm + JA 10ppm	1,741 b	1,676 a
GA 50ppm + JA 25ppm	1,259 d	1,454 c
평 균	1,639	1,448
GA 100ppm + JA 5ppm	1,102 e	1,519 b
GA 100ppm + JA 10ppm	1,157 e	1,445 c
GA 100ppm + JA 25ppm	1,574 c	1,287 d
평 균	1,278	1,417
GA 200ppm + JA 5ppm	1,898 a	1,167 e
GA 200ppm + JA 10ppm	1,426 d	843 f
GA 200ppm + JA 25ppm	1,157 e	1,602 a
평 균	1,494	1,204
전체평균	1,470	1,356

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

2. 논 재배 적정 재배환경 설정

논 재배시 벼를 대체할 수 있는 작물은 콩, 옥수수 등이 유망한 답전유환 작물로 인식되어 오고 있다. 한편 약용작물로 인식되어온 마는 점차 식용작물로 인식이 전환되고 있으며 실제로 최근에는 대형 할인점에서도 마를 식용으로 취급하여 식품코너에 비치되고 있는 실정이다. 따라서 본 시험은 둥근마를 논 재배로 도입할 경우 재배기술의 확립과 문제점을 알아 보기위하여 논재배에 따른 두둑높이, 피복재배, 지주종류별 및 비료 종류를 달리하였을 때 괴경수량, 상품성 및 병 발생률을 조사하였다. 표 3-9는 둥근마를 논 재배할 경우 배수불량으로 습해를 미리 방지하기 위하여 두둑높이 조절에 따른 괴경의 수량과 상품률을 조사한 것으로 무휴재배에 비하여 두둑을 높이는 것이 괴경수량이 증가하였다.

특히 두둑높이 30cm의 경우 피경수량이 1,500kg으로 고품인 45cm 보다 증가하였는데 이러한 결과는 토양수분의 의한 차이인 것으로 추측되었으며 상품률 또한 29.5%로 무처리에 비하여 92%정도 높은 것으로 나타났다. 따라서 논 재배시 등근마의 알맞은 두둑 높이는 30cm가 알맞은 것으로 판단되었다.

표 3-9. 두둑높이 조절에 따른 피경 수량성

두둑높이 (cm)	피경 수량 (g/10a)	상품률 (%,150g이상)	상품률 지수
무휴	1,250	15.4	100
15	1,394	23.2	151
30	1,500	29.5	192
45	1,452	26.8	174

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

등근마 피경 절편의 출아는 토양의 수분에 따라 좌우되며 등근마 피경 절편을 파종할 당시의 토양수분은 초기 출아율 향상에 큰 영향을 미친다. 따라서 표 3-10은 등근마의 출아율 향상과 상품성이 우수한 피경생산을 목적으로 피복재료를 달리하였을 때 결과를 나타낸 것으로 출아율은 무처리에 비하여 피복한 구에서 높았으며 왕겨> 톱밥> 비닐 순으로 나타났다. 피경수량은 출아율과는 다소 다르게 톱밥> 왕겨> 비닐 순으로 나타나 왕겨와 톱밥의 피복재료 간에는 출아율이 피경수량에 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 상품률도 노지와 비교하면 차이가 있었으며, 특히 피복재료 간에서는 톱밥> 왕겨> 비닐 순으로 톱밥에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 아울러 피복재배에 따른 병 발생률은 피복재료 간에는 큰 차이를 보이지 않았으나 무처리인 노지재배의 경우 탄저병과 점무늬병 발생률이 각각 45%, 43%로 매우 높음을 알 수 있어 등근마를 논 재배할 경우에는 반드시 피복재배를 필수적으로 해야 됨을 알 수 있었다.

표 3-10. 피복재배에 따른 괴경 수량과 병 발생률

피복재배	출아율 (%)	괴경 수량 (g/10a)	상품률 (%,150g이상)	병 발생률(%)	
				탄저병	점무늬병
노지	70.5b	1,300d	15.6d	45	43
비닐	89.2ab	1,450c	17.8c	16	13
툽밭	94.3a	1,845a	27.4a	11	15
왕겨	95.2a	1,788b	26.3b	13	11

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05)

지주 형태를 달리하였을 때 둥근마의 영여자 착색량과 괴경수량을 검토한 결과는 표 3-11과 같다. 영여자 착생률은 무지주에서 가장 높은 45.5% 를 보인 반면에 일반 농가에서 가장 많이 사용되는 철재 I형 지주 재배에서는 11.2% 로 급격히 낮아지는 현상을 보였다. 대나무를 이용한 X형 지주재배에서는 14.6%, ㄱ형 지주재배는 38.4% 로 지주형태에 따른 영여자 착생은 대나무를 이용한 ㄱ형에서 가장 많은 영여자 착생량을 보이는 것으로 나타났다.

한편 괴경수량은 지주재배의 효과가 뚜렷하였는데 무지주에 비하여 철재 I형 재배에서 1,743kg으로 가장 높았으며 그 다음은 X형 재배에서 1,698kg으로 나타났으며 ㄱ형 지주재배는 지주형태별에서 가장 낮은 수량을 보이는 것으로 나타났다. 병 발생률은 철재 I형 지주재배에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지주형태를 달리하였을 때 빛을 받는 수광상태가 서로 다르기 때문에 영여자의 착생률에도 영향을 주는 것으로 추측되었다.

표 3-11. 지주설치방법에 따른 괴경 수량과 병 발생률

지주형태	영여자	영여자	괴경 수량 (g/10a)	병 발생률(%)	
	착생률 (%)	착생량 (g/주)		탄저병	점무늬병
무지주	45.5	6.5	1,285	43	40
I	11.2	2.2	1,743	11	9
X	14.6	2.8	1,698	14	13
ㄱ	38.4	4.5	1,402	31	27

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

동근마의 관행재배시 사용되는 비료의 사용량은 주로 장마와 단마의 시비량에 중심을 두기 때문에 상대적으로 얇은 토심에서 자라는 동근마에 대한 시비량은 과다한 것으로 지적되고 있으며 상품률 또한 시비량에 따라 다른 반응을 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 괴경수량 향상과 상품률 증대를 위하여 완효성 비료와 인산질이 없는 엔케이 비료에 대해 시비량을 달리하였을 때 괴경수량을 조사한 결과를 표 3-12에서 살펴보면, 관행재배에 비하여 완효성 비료와 엔케이 비료 모두 괴경수량이 증가하였다. 시비량간의 차이에 있어서는 두 가지 비료 모두 10a 당 12kg을 시비하는 것이 수량이 가장 많이 증가되었으며 상품률 또한 증가되었다.

한편 두 가지 비료 중에서 상품률과 괴경수량 증대에 효과적인 것은 토양의 용해도가 낮은 완효성 비료에서 높은 것으로 나타나 동근마를 논 재배할 경우 알맞은 비료인 것으로 판단되었다.

표 3-12. 비료종류별에 따른 괴경 수량과 상품률

비종	시비량 (kg/10a)	괴경 수량 (g/10a)	상품률 (%,150g이상)	상품지수
관행		1,285	16.3	100
완효성 (CDU)	6	1,385	17.5	107
	12	1,660	32.3	198
	18	1,541	25.1	154
엔케이 (N-K)	6	1,442	18.7	115
	12	1,797	28.2	173
	18	1,843	20.4	125

Means with the same letter within columns are not significantly different (P<0.05).

제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 총괄추진계획표

세부과제 및 주요내용	연 도			가중치	비 고
	2000년 (1차년도)	2001년 (2차년도)	2002년 (3차년도)		
○ 둥근마의 영여자 씨마 생산 체계 구축 - 둥근마의 영여자 형성 유도 요인 구명	←→	←→		10	
- 영여자로의 source/sink의 조절 기능 연구	←→	←→		10	
- 영여자 비대 촉진 기술 개발		←→	←→	15	
- 영여자 씨마의 이용성 증대	←→		←→	15	
○ 둥근마의 실용적 휴면타파법 개발					
- 피경 휴면유도 환경요인 조사		←→	←→	10	
- 피경의 휴면단축방법 구명	←→	←→		15	
- 피경 비대요인 구명	←→	←→	←→	10	
- 조기 축성 재배법 확립 및 논 재배 실용화 연구		←→	←→	15	
사 업 진 도(%)	40	30	30	100	
소 요 인 원(명)	7	7	7		
소 요 예 산 (천원)	40,000	40,000	40,000	120,000	
주 요 연 구 결 과	영여자 착생/ 비대방법 개발	영여자의 중요활용 기술개발	영여자 씨마 생산체계 확립	생력형 대량종묘 생산체계 구축	
	피경휴면 타파법 구명	실용적 휴면 타파법개발	고상품성 둥근마 생산 체계 구축		

제 2절 연구개발 목표의 달성도

1. 둥근마의 영여자의 형성률, 영여자 생체중 및 영여자 직경 등을 고려할 때 포장상태에 둥근마 영여자 형성 유도 및 비대축진에 가장 효과적인 재배조건은 Solarig 하우스 재배였다.
2. 영여자의 착생 및 비대에 효과적인 조건하에서 자란 식물체내의 JA 함량이 대조구에 비해 수배 증가하는 것으로 나타나 영여자 형성 및 비대축진에 JA가 관련됨을 입증하였다.
3. 둥근마의 영여자 형성 및 비대축진을 위한 성장조정제 선발에서 지베렐린의 생합성 1단계 억제제인 MC(mepiquat chloride)가 가장 효과적이었다..
4. 종묘용 둥근마 괴경의 알맞은 저장온도는 저온인 4℃와 15℃인 것으로 생각되며, 이 온도에서 맹아율이 높았다. 괴경 휴면타파에 가장 효과적인 지베렐린 생합성 억제제인 Ancymidol과 MC의 2종의 성장조정제를 선발하였다.
5. 마의 지베렐린 생합성은 Early C-13 hydroxylation 경로와 Non C-13 hydroxylation 경로 모두를 통해 합성되는 것으로 조사되었으며, 휴면이 타파됨에 따라 생합성 경로는 GA₄가 활성인 Non C-13 hydroxylation 경로가 우세한 것으로 판명되었다.
6. 식물호르몬 에틸렌도 괴경 휴면타파와 연관이 있음을 입증하였다. 1차년도에서 둥근마의 영여자의 형성률, 영여자 생체중 및 영여자 직경 등을 고려할 때 포장상태에서 둥근마 영여자 형성 유도 및 비대축진에 가장 효과적인 재배조건은 Solarig 하우스 재배(차광 재배) 이었음을 구명하였고, 둥근마의 영여자 형성 및 비대축진을 위한 성장조정제 선발에서 지베렐린의 생합성 1단계 억제제인 MC(mepiquat chloride)가 가장 효과적임을 구명하였다.
7. 한편 괴경 수량 증대와 차년도의 휴면타파 효과적인 방법을 찾는 실험의 일환으로 GA 생합성 억제제를 7월과 8월 2회에 걸쳐 엽면살포 한 후 10월 말에 수확한

결과 GA 생합성억제제는 수량증대에도 다소 효과가 있었다.

또한 억제제를 살포했던 피경을 다음해 4월 정식하여 출아율을 조사한 결과, 포장 출아율은 무처리에 비하여 지베렐린 처리 는 전반적으로 낮은 출아율을 보인 반면에 지베렐린 생합성 억제제인 MC와 TNE의 경우 무처리에 비하여 약 2배 정도의 높은 출아율을 보이는 것으로 나타났다. 즉 차년도의 출아율 향상을 위해서는 생합성 억제제를 수확 전에 살포 하는 것이 효과가 있음을 입증하였다.

8. 등근마의 수량증대와 영여자 착생 등의 효과를 얻기 위해서는 생육 초기의 지상부 생육확보가 필수적인데 GA₄가 매우 효과적임을 확인하였다. 정식 후 60일째에서는 50% 이상의 출아율을 보였다. 사이토카이닌류인 BA와 GA₄와 GA₇의 혼용제제인 프로말린의 경우 정식 후 50일째 52.5 - 63.2%의 출아율을 보여 상대적으로 높은 출아율을 보이는 것으로 나타났다. 특히 정식 후 60일째에서는 프로말린 > 지베렐린 > 무처리 순으로 영여자의 출아율이 높아 등근마의 초기 생육촉진을 위한 출아율 증대는 프로말린의 처리가 효과적임을 알 수 있었다.
9. 영여자 착생기는 대구지역이 안동지역보다 약 9일 정도 일찍 착생되었으며, 영여자 크기별 착생량은 2mm 이하는 지역간 차이를 보이지 않았으나 영여자 씨마로 가능한 2-4mm 정도의 크기는 대구지역에서 다소 증가 하였으며 특히 영여자 씨마로 사용 가능한 4mm 이상 되는 영여자는 대구지역이 안동지역보다 거의 2배 정도 많이 착생됨을 알 수 있었다. 결과적으로 지역간 영여자의 수량성을 조사한 결과 안동지역보다 대구지역에서 2배 이상의 높은 수량성을 보여 영여자의 착생은 어느 정도 재배지역의 온도에 따른 영여자의 조기착생 유도과 영여자 착생 후 비대가 되는 8월 하순에서 9월에 걸친 토양의 적습 상태가 일정기간이 유지되어야 안전한 영여자 생산이 가능할 것으로 판단되었다.
10. 등근마를 논 재배할 경우 배수불량으로 습해를 미리 방지하기 위하여 두둑높이 조절에 따른 피경의 수량과 상품률을 조사한 것으로 무휴재배에 비하여 두둑을 높이는 것이 피경수량이 증가하였다.
11. 등근마의 관행재배시 사용되는 비료의 사용량은 주로 장마와 단마의 시비량에 중심을 두기 때문에 상대적으로 얇은 토심에서 자라는 등근마에 대한 시비량은 과다한 것으로 지적되고 있으며 상품률 또한 시비량에 따라 다른 반응을 보이는

것으로 알려져 있다. 따라서 괴경수량 향상과 상품률 증대를 위하여 완효성 비료와 인산질이 없는 엔케이 비료에 대해 시비량을 달리하였을 때 괴경수량을 조사한 결과 관행재배에 비하여 완효성비료와 엔케이 비료 모두 괴경수량이 증가하였다. 시비량간의 차이에 있어서는 두 가지 비료 모두 10a 당 12kg을 시비하는 것이 수량이 가장 많이 증가되었으며 상품률 또한 증가되었다.

제 3 절 관련분야의 기술발전에 기여도

1. 둥근마의 영여자 형성 및 비대축진을 통해 영여자를 종묘로 활용할 수 있는 획기적인 기술개발이 예상된다.
2. 둥근마의 괴경비대 및 휴면생리에 대한 식물학적 특성의 파악을 통하여 효과적인 재배 및 관리대책의 수립이 가능해질 것임.
3. 둥근마의 효과적이고 실용적인 휴면타파방법 개발은 마의 균일한 출아로 이어져 상품성이 우수한 양질의 마를 생산할 수 있는 기술개발로 이어질 수 있을 것임.
4. 다른 구근류 작물의 괴경비대 및 휴면타파 기술개발로 이어질 수 있을 것임.
5. 장마/단마의 재배시 가장 큰 애로사항으로 간주되는 수확시의 노동력과 장비 투입문제를 둥근마 재배로 해결할 수 있으므로 경제적으로 많은 비용을 절감할 수 있을 것임.
6. 둥근마의 재배확대에 가장 큰 애로사항인 종묘생산비를 절감할 수 있을 것이므로 둥근마의 재배확대가 가능할 것임.
7. 둥근마는 장마/ 단마 보다 건강식품으로의 이용가치가 높으므로 새로운 건강식품으로 개발 가능성이 높을 것임.
8. 둥근마는 일본인들이 선호하는 건강식품이므로 둥근마의 재배확대로 대량수출이 가능할 것임.

9. 국내에 재배되고 있는 마는 괴경의 길이가 30cm 이상으로 수확시 노동력이 집중 투하되므로 생산비 절감 또는 기계화에 난제로 대두되고 있으나 둥근마는 감자처럼 천근성이고 괴경 크기가 10cm 이하로 괴경 모양이 둥글기 때문에 수확이 매우 쉬울 것이며 기계화가 가능할 것이다.

10. 영여자를 종묘로 활용할 수 있어 종묘저장에 소요되는 경비를 절감할 수 있을 것임.

제 7 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 활용분야 및 활용방안

1. 활용분야

- 가. 솔라릭 재배조건에서 식물생장조정제를 처리하여 영여자의 형성 및 비대가 유도될 경우 대규모의 시설재배를 통하여 안정적인 영여자의 종묘생산 구축 체계가 확립되며 아울러 영여자 비대촉진용 생장조정제를 선발하여 농가에 확대보급이 가능
- 나. 휴면 단축을 위한 물리·화학적 방법을 개발하여 포장 출아율을 극대화함으로써 조기 축성재배를 통한 단경기 수확이 가능하여 안정적인 가격형성을 유도하여 농가 소득 향상에 기여
- 다. 괴경 비대촉진법 개발을 통한 농가소득 증대에 기여

2. 활용방안

- 가. 환경조절을 이용한 영여자 형성 및 비대 촉진방법 개발하여 영여자 형성 및 비대 촉진용 식물 생장조정제 선발해서 실용적 괴경비대법을 농가에 보급 가능함.
- 나. 영여자(지상부 영양체)로의 양분전류 메카니즘을 역이용하여 지하부의 비대촉진에 활용할 수 있음.
- 다. 등근마외에 장마 및 단마의 휴면성 타파에도 응용할 수 있음.
- 라. 등근마의 축성 또는 조기재배가 가능함으로 종자생산 및 마 신품종 육성시 육종 연한을 단축시키는데 활용할 수 있음.
- 마. 효과적인 괴경비대 요인을 부여할 수 있으므로 수확량 증대를 이룩할 수 있음.

제 2 절 추가기술 개발 및 조치사항

현재 본 연구과제를 수행하여 얻은 연구결과를 토대로 특허를 출원하여 "둥근마의 주아형성제 및 그 주아형성제를 이용한 둥근마의 주아형성방법"을 특허등록을 획득하였다(10-2003-0018282). 상기특허를 농약제조업체에 기술 이전할 계획이며 농협 또는 농민단체에게 기술교육 또는 영농활용자료로 활용할 계획임. 아울러 현재 수행 중인 둥근마의 수량증대법 개발에 관한 연구도 성공하면 특허 등록이 가능할 것으로 사료됨.

연구결과 발표 논문

Dormancy-related change in endogenous ABA, batatasin, and sugar in stored tuber and bulbil of Chinese yam. 2002. Sang-Kuk Kim, Sang-Chul Lee, Tae-Shik Park, Soon-Tae Kwon, In-Jung Lee. Korean Journal of Crop Science. 47(4):297-300

Identification of endogenous gibberellins by feeding of [14C]GA₁₂ in Chinese yam, *Dioscorea opposita*. 2003. Sang-Kuk Kim, Sang-Chul Lee, Bong-Ho Lee, Soo-Won Jang, Tae-Shik Park, In-Jung Lee. Korean Journal of Crop Science. 48(2):68-72

Changes of Endogenous Gibberellins on Tubers of Chinese Yam (*Dioscorea opposita*) During Storage Periods. 2003. Sang-Kuk Kim, Sang-Chul Lee, Bong Ho Lee, Hyung-Jin Jeong, and In-Jung Lee. Korean Journal of Crop Science. 48(4):280-285

Effect of Gibberellic Acid and Gibberellin Biosynthesis Retardants on Ethylene Production, Batatasins, and Free sugars in Dormant Tubers of Chinese yam. 2004. Sang-Kuk Kim, Sang-Chul Lee, Kil Ung Kim and In-Jung Lee. Korean Journal of Crop Science.(인쇄중)

Endogenous gibberellins in buibils of Chinese yam during growth and storage. 2004. Sang-Kuk Kim, Tae Kwon Shon, Shin Young Park, Sang-Chul Lee, Kil Ung Kim and In-Jung Lee. Plant Production Science.(인쇄중)

제 8 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 원기둥(円柱) 재배기술을 이용한 기계일관화 작업체계 구축: 오비히로 축산대

연구배경 및 목적 : 마 괴경 절편의 파종을 위한 토양준비는 관행적으로 굴삭기에 전동 체인을 부착하여 일괄적으로 본포를 준비함으로써 괴경절편을 파종한 후 자연적 또는 강수에 의해 토양의 경도가 증함으로 인해 괴경비대 및 모양이 불균일하여 상품성 저하로 인한 가격하락이 발생됨.

신기술 : 원기둥(円柱) 재배기술을 이용한 기계일관화 작업체계 구축

요지 : 본포에서 괴경절편을 파종할 때 파종위치에만 단독으로 1 m 이상 굴취하여 주위의 토양이 무너짐을 방지하며 수확시에는 지상부를 제거 후 노두 부분을 기계로 일괄 수확한다.

실제의 예: 일본의 최대 마 생산지역인 靑森縣과 제 2위 생산지인 북해도의 十勝지방에서 대단위로 재배하고 있으며 장마(괴경길이: 1m 이상)의 상품률은 90% 이상이다.

松田清明, 宮本啓二, 佐藤禎稔: 2001. ナガイモ掘取り機の收穫作業体系と作業性能および負担面積, 農作業 研究 (日本農作業學會誌) Vol.36,3,p163-170

2. 친환경 대죽 기둥을 이용한 사구지 적응 기술: 토토리대학 농학부

연구배경 및 결과 : 양질 마 생산을 위한 파이프 재배는 이미 1990년 후반부터 대만지역에서 실시되고 있으나, 문제점은 45도로 파이프를 토양속에 묻기 때문에 토심을 깊게 해야 하는 단점과 토양수분의 이동이 불가능하여 생육중인 괴경이 부패하는 현상이 일어남에 따라 토토리대학 농학부에서는 대나무를 이용하여 대나무 외부를 드릴로 구멍을 뚫어 토양배수를 용이하게 하여 대나무의 토양 정식 각도를 10도로 하여 재배하였을 때, 토양온도의 상승과 수분과다를 막아 45%의 수량증수를 얻었다.

제 9 장 참고문헌

1. Adams R, Weiler EW (1991) Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935 (Cimetacarb). In Karssen CM, van loon LC, Vreugdenhil D (eds.) Progress in Plant Growth Regulation, Kluwer Academic Publ, Dordrecht, The Netherlands, pp 818-827.
2. Baldwin IT, Schmelz EA and Ohnmeiss TE (1994) Wound-induced changes in root and shoot jasmonic acid pools correlate with induced nicotine synthesis in *Nicotiana sylvestris*. J. Chem. Ecol. 20:2139-2157.
3. Baldwin IT, Zhang JP, Diab N, Ohnmeiss TE, McCloud ES, Lynds GY and Schmelz EA (1997) Quantification, correlation and manipulations of wound-induced changes in jasmonic acid and nicotine in *Nicotiana sylvestris*. Planta 201:397-404.
4. Barker, D.J. Keatinge, J.D.H. Asiedu, R. 1999b. The potential of physical means for the manipulation of yam tuber dormancy. Tropical Science. 39(4):204-213.
5. Bazabakana, R. Fauconnier, M.L. Diallo, B. Dupont, J.P. Homes, J. Jaziri, M. 1999. Control of *Dioscorea alata* microtuber dormancy and germination by jasmonic acid. Plant Growth Regulation. 27(2):113-117.
6. Chang K.J., H.J. Kim and M. Hayashi. 1997. Eco-physiological studies on growth and enlargement of tuber yam. III. Detection of activity of the endogenous substances related to the growth and enlargement of tubers. Korean J. Plant Res. 10:50-57.
7. Chowdhury, S.R. 1998. Characteristics of dry matter production and partitioning in edible yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. Tropical Agriculture. 75(4):434-439.

8. Farooqi, A.H.A. Shukla, Y.N. Sharma, S. Bangerth, F. 1989. Endogenous inhibitors and seasonal changes in abscisic acid in *Dioscorea floribunda* Mart. & Gal. Plant Growth Regulation. 8(3):225-232.
9. Girardin, O. Nindjin, C. Farah, Z. Escher, F. Stamp, P. Otokore, D. 1998. Use of gibberellic acid to prolong dormancy and reduce losses during traditional storage of yams. Journal of the Science of Food & Agriculture. 77(2):172-178.
10. Hasegawa, K and T. Hashimoto. 1974. Gibberellin induced dormancy and batatasin content in yam bulbil. Plant Cell Physiol. 15:1-6.
11. Hasegawa, K. and Tohru Hashimoto. 1973. Quantitative changes of batatasins and abscisic acid in relation to the development of dormancy in yam bulbils. Plant Cell Physiol. 14:369-377.
12. Hasegawa, K. and Tohru Hashimoto. 1975. Variation of abscisic acid and batatasin content in yam bulbils-effects of stratification and light exposure. J. of Experimental Botany, 26(94):757-764.
13. Hou, W.C. Chen, H.J. Lin, Y.H. 1999a. Dioscorins, the major tuber storage proteins of yam (*Dioscorea batatas* Decne), with dehydroascorbate reductase and mono-dehydroascorbate reductase activities. Plant Science. 149(2):151-156.
14. Hou, W.C. Liu, J.S. Chen, H.J. Chen, T.E. Chang, C.F. Lin, Y.H. 1999b. Dioscorin, the major tuber storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) with carbonic anhydrase and trypsin inhibitor activities. Journal of Agricultural & Food Chemistry. 47(5): 2168-2172.
15. Ireland, C.R., 1985. Effect of exogenous batatasin, batatasin analogues and gibberellins on the dormancy of stored yam tubers. Trop. Agric. 62(1):41-46.

16. Mueller MJ and Brodschelm W (1994) Quantification of jasmonic acid by capillary gas chromatography–negative chemical ionization–mass spectrometry. *Anal Biochem.* 218:425–435.
17. Noriaki Tanno, T. Yokota, M. Abe and N. Okagami. 1992. Identification of endogenous gibberellins in dormant bulbils of Chinese yam, *Dioscorea opposita*. *Plant Physiol.* 100:1823–1826.
18. Okagami, N and N. Tanno. 1997. Dormancy in *Dioscorea*: Generality of gibberellin–induced dormancy in asexual dormant organs. *Plant Cell Physiol.* 18:309–316.
19. Okagami, N., N. Tanno, M. Kawai, A. Hiratsuka, K. Satoh and K. Terui. 1997. Expansion of trait of gibberellin–induced dormancy in the tertiary relict species of the genus *Dioscorea*(Dioscoreaceae). *Plant Growth Regulation* 22:137–140.
20. Okagami, N. and Noriaki Tanno. 1991. Dormancy in *Dioscorea* : comparison of dormant characters in bulbils of a northern species(*D. opposita*) and a southern species(*D. bulbifera* var. *vera*). *J. Plant Physiol.* 138:559–565.
21. Okagami, N. Kawai, M. 1983. Dormancy in *Dioscorea*: range, duration and timing of high–temperature treatment in germination inhibition of *Dioscorea tokoro* seeds [Yams]. *Plant & Cell Physiology.* 24(3):509–515.
22. Passam, H.C. Wickham, L.D. Wilson, L.A. 1982. A note on the relationship between maturity and dormancy in tubers of *Dioscorea alata* L. [Yams, sprouting, Trinidad]. *Tropical Science.* 24(1):47–51.
23. Sato, T. Seeds and seedlings of *Dioscorea opposita* through natural crossing. 1998. *Tropical Agriculture.* 75(1/2):314–316.

24. Tanno, N. Tanno, M. Yokota, T. Abe, M. Okagami, N. 1995. Promotive and inhibitory effects of uniconazole and prohexadione on the sprouting of bulbils of Chinese yam, *Dioscorea opposita*. Plant Growth Regulation. 16(2):129-134.
25. Wallstedt, A. M-C. Nilsson, O. Zackrisson, and G. Odham. 2000. A link in the study of chemical interference exerted by *Empetrum hermaphroditum* : Quantification of batatasin-III in soil solution. Journal of Chemical Ecology. 26(6):123-130.
26. Wickham, L.D. Passam, H.C. Wilson, L.A. 1984a. Dormancy responses to post-harvest application of growth regulators in *Dioscorea* species. 1. Responses of bulbils, tubers and tuber pieces of three *Dioscorea* species [Germination]. Journal of Agricultural Science. 102:427-432.
27. Wickham, L.D., H.C. Passam and L.A. Wilson. 1984b. Dormancy response to post-harvest application regulators in *Dioscorea* species. 2. Dormancy responses in ware tubers in *D. alata* and *D. esculenta*. J. Agric. Sci. 102:433-436.
28. Wickham, L.D., H.C. Passam and L.A. Wilson. 1984c. Tuber development, storage and germination in yams(*Dioscorea* spp.) in response to pre-harvest application of plant growth regulators. J. Agric. Sci. Camb. 102:437-442.
29. Yasunori Koda and Yoshio Kikuta. 1991. Possible involvement of jasmonic acid in tuberization of yam plants. Plant Cell Physiol. 32(5):629-633.
30. 최영환, 조정래. 1993. 감자 기내소괴경의 생산효율 향상과 실용화에 관한 연구. 유식물의 증식조건과 기내소괴경 형성. 한국원예학회지. 35(1):20-24.
31. 박세원, 전재홍, 김현순, 정혁. 1995. 감자 기내소괴경의 저온저장시 발아특성과 당함량의 변화. 한국원예학회지.36(1):46-50.

32. 최동진, 최준화, 서상곤, 정희돈. 2000. 감자 소피경 형성시 식물생장조절제가 단백질 향상에 미치는 영향. 한국원예학회지.41(6):579-583
33. 김승열 정진철 김정간 임영순.1996. 기내 생산된 대지 감자 소피경의 휴면타파를 위한 화학물질의 처리효과. 한국원예학회지. 37(1):19-23.
34. 강종구, 양승열, 김승열. 1996. 질소수준이 분무경재배 감자의 생장과 피경형성 및 품질에 미치는 영향. 한국원예학회지. 37(6): 761-765.
35. 민성란, 이은모, 나상욱, 이영복. 1996. 마늘조직배양묘의 기내인경형성과 비대. 한국식물 조직배양학회. 19(3):133-137.
36. 김일, 박일룡, 황용수, 이재창. 2002. 시토키닌 활성물질 Thidiazuron 처리가 포도 '캠벨얼리'(Vitis labruscana)의 과립비대 및 품질에 미치는 영향. 한국원예학회지. 43(4):457-461.
37. 김정곤, 오윤진, 주영희, 김강권. 1993. 마 괴근의 절편 부위와 크기가 출아 및 수량에 미치는 영향. 한국국제농업개발학회. 5(1):43-47.
38. 임재하, 이우승. 1994. 마(*Dioscorea opposita* Thunb.)의 최아재배에 관한 연구. 한국원예학회. 35(3):220-224.