

아날로그와 디지털 음악이 식물생장 및 식물생장호르몬 지베렐린 함량 변화에 미치는 영향

김호연*, 강상모*, 나채인**

*경북대학교 식물생명과학부, **경북대학교 응용생물화학부

초록

인류 역사의 시작과 함께한 음악은 단 10년 전 까지만 해도 모두 아날로그 음악이었다. 아날로그 음악은 축음기의 개발과 함께 그 전성기를 맞이하게 되었다. 하지만 과학의 발전과 함께 CD와 MP3로 대표되는 0과1의 디지털로 녹음된 디지털 음악이 그 자리를 대신하게 되었다. 이런 상황은 정보통신기술의 발전과 함께 MP3가 등장하면서 더 심화된다.

디지털로 녹음된 음악도 우리에게 즐거움만을 주는 것인가라는 물음에는 우리는 확실한 답을 할 수 없다. 선진국에서는 **디지털 음악이 인간에게 정신적으로 매우 부정적인 영향을 준다는 많은 보고**를 내어놓고 있기 때문이다.

많은 연구자들에 의해 식물이 음악에 반응을 한다는 것이 밝혀져 있으며 농업생산성 증대를 목적으로 음악을 작물에게 들려주는 적용의 단계에 까지 와있다. 그러나 가장 중요한 부분인 음원(디지털 또는 아날로그)의 차이가 작물에게 어떤 영향을 주는가에 대해서는 거의 밝혀져 있지 않다.

본 실험에서는 작물의 생육 변화에 음원이 작물의 생육변화에 미치는 영향을 명확히 구명하고자 하였다. 장시간 노출시킨 디지털 음원(MP3)은 아날로그 음원(LP)에 비해 오이와 피망의 줄기신장과 생체중을 현저히 억제하는 것으로 나타났다. 또한 디지털 음악은 식물 생장과 밀접한 연관이 있는 식물호르몬 지베렐린의 생합성을 현저히 억제하는 것으로 나타났다.

본 연구 결과로 **음악이 작물의 생육과 밀접한 연관이 있음이 재확인** 되었으며 **식물에게 들려주는 음악의 파장영역(음파)은 식물의 생장호르몬 생합성에 영향을 미쳐 생장의 차이로 나타나는 것으로 사료된다.**

따라서 작물생육촉진을 위한 그린음악을 작물에게 들려줄 때 디지털(CD 또는 MP3)이 아닌 아날로그(LP)로 음악을 들려주어야만 생육촉진 효과를 극대화시킬 수 있을 것으로 생각된다.

아날로그와 디지털 음악이 식물생장 및 식물생장호르몬 지베렐린 함량 변화에 미치는 영향

I. 서언

II. 연구사

III. 연구의 이론적 배경 및 연구 목적

1. 연구의 이론적 배경
 - 1.1. 음원이 인간에 미치는 영향
 - 1.2. 음원에 따른 식물의 반응
 - 1.3. 식물생장과 식물호르몬 지베렐린의 연관성
2. 연구 목적

IV. 재료 및 방법

1. [실험 I] 아날로그와 디지털 음악에 의한 작물의 생장 변화
2. [실험 II] 아날로그와 디지털 음악에 의한 식물생장조절호르몬 지베렐린(GA) 함량 변화

V. 결과 및 고찰

1. 아날로그와 디지털음악에 의한 작물의 생장 변화
2. 아날로그와 디지털 음악에 의한 식물생장조절호르몬 지베렐린(GA) 함량 변화
 - 2.1 오이와 피망 식물체내의 GA 생합성 경로 구명
 - 2.2. 오이와 피망 식물체내의 GA 함량 변화
3. 고찰

VI. 적요

1. 아날로그와 디지털음악에 의한 작물의 생장 변화
2. 오이와 피망 식물체내의 GA 생합성 경로 구명
3. 오이와 피망 식물체내의 GA 함량 변화

VII. 사사

VIII. 참고문헌

I. 서언

만물을 길러내는 대지의 숨결, 자연에서 들을 수 있는 모든 소리는 아날로그 신화다. 인류도 그 시작과 함께 아날로그 소리와 역사를 같이 하였다. 비를 부르는 샤먼의 춤사위에 함께하던 음악에서부터 오페라에 이르기까지 아날로그 음악은 인류의 생활과 그 궤를 같이 하였다. 이런 아날로그 음악은 에디슨이 실린더형 축음기를 개발하면서부터 그 전성기를 맞이한다. 우리나라에서도 경제성장과 더불어 대중음악이 급속하게 퍼지면서 LP로 녹음된 아날로그 음악이 언제나 곁에 있게 되었다. 하지만 이런 화려한 역사도 잠시였다. 과학기술의 발전은 음악에도 큰 영향을 미쳤다. 잡음이 없는 보다 깨끗한 음질과 낮은 제작비용, 간편한 휴대를 장점으로 하는 디지털 음악이 CD를 필두로 해서 새롭게 자리 잡았기 때문이다. 여기에 정보통신기술의 발전에 힘입어 음반을 가지고 다닐 필요조차 없이 디지털 형식의 파일만 넣으면 되는 MP3 player를 이용한 음악이 등장 하면서 LP로 대표되는 아날로그 음악은 급격히 우리 생활의 곁에서 멀어져 갔다.

현대인이 접하는 음악은 거의 모두 디지털이다. 아침에 버스에서 듣는 라디오의 음악은 방송국에서 CD로 튜닝된 디지털 음악이다. 인터넷의 개인 블로그에서 흘러나오는 모든 배경음악은 디지털 음악이다. 휴대폰의 벨소리, MP3 player에서 들려나오는 음악, 음악전문 채널에서 흘러나오는 음악까지 자의든 타의든 우리는 매일 디지털 음악을 접하고 있는 것이다. 과연 우리가 매일 듣는 이 디지털 음악이 인간에게 흥겨움을 주고 또 아름다운 가치를 선사하는 역할만을 하는 것일까? 디지털로 만들어진 음악이 인간에게 해로울 수 있다는 반론이 제기되듯이 해로운 역할을 할 수도 있을 것이다.

백여 년에 걸친 음악이 작물에 미치는 영향에 관한 연구에도 불구하고 그 진전은 아직 미약한 수준이다. 더욱이 음악이 작물에게 어떤 생리적 변화를 일으키는 것인가에 대해서는 연구가 거의 이루어 지지 않았다. 이에 본 연구에서는 디지털 음악(MP3)과 아날로그 음악(LP) 음원의 차이가 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있음을 밝힘과 동시에 성장과 관련한 식물호르몬 생합성에 어떠한 영향을 미치는 지를 구명하고자 하였다.

본 연구를 통해서 음원의 차이가 작물의 성장반응과 명확히 연관되어 있음을 밝힌다면 농업에 있어서 음악을 보다 효과적으로 이용하는 방법을 찾을 수 있을 것이다. 또한, 본 연구를 계기로 음원이 인간에게 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구를 촉진시키는 계기가 될 수 있을 것이다.

II. 연구사

식물과 음악의 관계에 대해서 과학자들이 관심을 가지고 연구를 시작한 것은

150년 전으로 거슬러 올라간다. 진화론의 아버지인 Charlse R. Darwin은 1860년대에 미모사에 나팔을 불어주고 미모사의 잎의 변화를 관찰하여 보았으나 그 변화를 관찰하지는 못하였다고 한다.

현대에 이르러서도 이런 시도는 계속 이어져서 1950년대에 인도의 마드라스 아나말라이 대학의 T.C. Singh 교수는 소리굽쇠나 바이올린 소리를 식물에게 들려주는 실험을 통해 음악을 들려준 식물은 그렇지 않은 식물들과는 다른 기공 수, 표피의 두께, 세포의 크기 등 식물의 외적 변화가 나타났음을 밝혔다. 그의 연구는 계속되어서 1960년대에는 인도의 전통음악을 들려준 작물의 경우 벼에서는 25%~60%, 담배와 땅콩은 50%의 증수 효과를 나타냈다고 보고 하였다.

1968년 미국의 Dorothy Retellack는 음악가는 고전음악을 식물에게 들려주는 경우 호박덩굴이 스피커를 감싸면서 성장하는 것을 관찰하였고, 록음악의 경우에는 식물이 반대 방향으로 성장하는 것을 관찰하였다. 이를 통해서 식물이 음악의 장르에 따라서 다른 반응을 보인다는 것을 구명하였다.

1990년대 초반에 이르러서는 작물과 음악과의 관계를 규명하는 실험이 상용화에 이르게 되었다. Dan Carlson이라는 미국인은 1983년에 식물 생육촉진 음악인 sonic bloom을 개발하게 된다. 이를 상용화해서 30여 개 나라에 특허를 출원하고 우리나라를 포함한 15개국에서 sonic bloom이라는 상표명으로 판매를 하고 있다.

2003년에 중국의 Wang Bochu 등은 벼 종자에 음악을 들려주어 400Hz 106dB에서 작물생육의 높은 활성을 나타내지만 더 높은 음에서는 생육을 저해한다고 밝혔다.

또한, 일본의 AKio Sakanishi, 중국의 Wang Xiujuan 등의 연구에서는 국화의 캘러스에 1000Hz, 100dB 강한 음악을 들려주자 환경스트레스에 의해서 식물의 방어효소가 크게 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다고 한다.

우리나라에서도 작물과 음악의 관계에 관한 연구가 10년 전부터 진행되어왔다. 1990년대부터 sonic bloom이 국내에 알려지면서 당시에 농촌진흥청 잠사곤충연구소 연구관이던 이완주 박사를 중심으로 많은 연구가 수행되었다. 이들은 음악이 식물의 생육에 미치는 아래와 같은 다양한 영향에 대해서 연구를 수행하였다.

[우리나라의 음악이 식물의 생육에 미치는 영향의 연구내용]

1. 음악에 따른 식물의 체내 전류 흐름의 차이
2. 해충에 대한 음악의 처리효과
3. 병의 발생 정도 차이
4. 음악에 따른 식물체내의 화학성분(flavonoid 종류)의 변화
5. 당도의 차이

이와 같은 실험을 통해서 음악이 작물에 상당부분 긍정적인 영향을 미친다는 것을 어느 정도 밝혔다. 특히, sonic bloom을 직접 도입해서 실험을 한 것을 통해서 큰 효과를 보지 못한 반면, 직접 개발한 [그린음악]을 통해 상당한 효과를 거두었다는 점에서 그 의미가 더욱 크다고 할 수 있다.

Ⅲ. 연구의 이론적 배경 및 연구 목적

1. 연구의 이론적 배경

1.1. 음원에 따른 인간의 반응

우리가 디지털 음악에 둘러 싸여 있는 상황에서 디지털 음악이 인간에 어떤 영향을 주는지에 대한 관심이 최근에 점점 높아지고 있다. 대구 MBC는 2005년 1월 16일 방송한 창사특집 2부작 다큐멘터리 <생명의 소리, 아날로그>라는 프로그램을 통해 디지털 음악과 아날로그 음악이 생명체에 미치는 영향을 탐색해 보려고 시도하였다.

음악을 이용한 정신과 치료 분야에서 가장 권위 있는 사람 중에 한명인 미국의 존 다이아몬드 박사는 수 십 년간 음악을 정신과 치료에 이용했다. 그 결과 같은 음악이라도 직접 연주를 해주거나 LP로 음악을 들려주는 것은 환자들의 치유에 큰 도움이 되지만 CD로 음악을 들려주면 전혀 효과를 보지 못하였다고 하였다.

방송에서 실험 대상이 된 몇몇 젊은 사람들은 CD나 MP3로 음악을 들으면 LP로 듣는 것보다 순간 몸의 근육에 많은 스트레스를 받아, 건강한 젊은 사람이 팔에 힘을 주고 뺨아서 버티려고 해도 약한 힘에도 견디지 못하고 무기력해지는 것을 보여 주었다. 이는 디지털이 인간에게 미치는 부정적인 영향을 간접적으로 나타내는 실험이었다. 이것은 인간에게 즐거움을 선사하는 음악이라도 음원에 따라 다양한 반응(긍정적 또는 부정적)을 유도할 수 있다는 것을 암시하는 것으로 다소 충격적인 내용이었다.

"LP는 녹음에서 재생에 이르기까지 아날로그 방식으로 이루어지기 때문에 우리가 듣기에 편안하다고 느낄 수 있다. 하지만 CD는 특정 주파수 배열만을 토막 내어 저장했기 때문에 우리가 듣기에 불편할 수도 있다."라고 일부 음악 전문가들은 음원에 따른 차이가 존재 할 수도 있음을 인정하고 있다.

이런 CD의 음악을 MP3는 더 생략해 버린다. MP3는 일종의 압축파일이다. MP3를 만드는 대표적인 방법인 손실압축은 대부분 지각코딩(Perceptual coding) 개념에 근거한 기술로 사람이 인지할 수 없는 부분을 생략함으로써 크기를 줄이는 압축방법이다. 먼저 가청 주파수 밖의 소리를 잘라내고, 남은 소리에서 또 청각이 감지할 수 있는 소리의 최소 크기인 최소가청한계 이하의 음을 버린다. 그리고 마스킹현상(소리가림, 여러 소리에 묻혀 작은 소리를 잘 듣지 못하는 현상)에 의해 가려지는 소리도 제거해서 우리 사람이 들을 수 있는 소리만 남겨놓는 방식이다. MP3는 이런 방법을 통해 CD가 가진 디지털 원음을 1/10 크기로 더 압축하는 것이다. 이렇게 제작된 디지털은 LP의 방대한 원음을 모두 담아 낼 수 없다. 따라서 음질 대신 편리함을 택한 디지털은 "디지털 피로"와 무관하지 않은 것으로 생각된다.

1.2. 음원에 따른 식물의 반응

음악이 식물에게 미치는 영향에 대해서는 어느 정도 연구가 이루어져 있는 실정이다. 그러나 아날로그나 디지털과 같은 음원의 차이에 따라서 생물이 다르게 반응하는지에 대해서는 알려진 바가 거의 없다.

국내에서 연구된 바에 따르면 우리나라에서 제작된 '그린음악(음파의 영역이 2,000Hz 미만인 경쾌한 소리)'을 들려주었을 때 다양한 긍정적인 효과를 관찰할 수 있었다고 하였다(Lee 등, 1996). 그린음악을 들려 준 작물에 N, Ca, Mg를 엽면시비한 결과 양분의 흡수가 66%까지 증가하는 것을 관찰할 수 있었다고 하였다.

또한, 식물체내의 특정 성분의 분석을 통해서 flavonoid류인 rutin, isoquercitrin, quajaverin의 함량이 증가하는 것을 관찰 할 수 있었는데 특히, rutin의 함량이 크게 증가하였다고 하였다. 다른 생리적 변화로는 밀, 보리, 귀리, 호밀의 경우에는 내병성 효소의 일종이라고 알려진 (1.3)- β -glucanase의 함량이 증가하였다고 하였다.

이런 내부적 변화 이외에도 여러 식물에서 다양한 긍정적인 생장의 변화를 관찰하였을 뿐만 아니라 해충을 접종하는 실험을 통해서 식물을 가해하는 진딧물의 수명이 17.2일에서 15.2일로 줄고 산자수가 마리당 42.2마리에서 30.3마리로 감소했다는 보고(Lee 등, 1996)도 있었다.

1.3. 식물 생장과 식물 호르몬의 연관성

식물은 자신에게 영향을 주는 여러 외부환경에 대처하고 가장 합리적인 생육 조건을 이끌어 나가기 위해서 체내의 호르몬 조절을 통해서 자신의 내외적 변화를 일으킨다. 음악이라는 것도 결국에는 긍정적이든 부정적이든 외부 자극의 하나이다. 따라서 음악이 식물에게 생장 변화를 가져온다면 내적 변화가 선행 되어야 할 것이고 내적 변화를 유도하는데 크게 관여하는 호르몬의 변화를 알아보아야 한다고 생각된다. 이에 본 실험에서 식물의 생장촉진과 변화에 가장 관련이 깊은 식물생장조절호르몬 지베렐린의 함량변화를 통해서 식물 내부에 어떤 변화가 있는지를 분석하고자 하였다.

지베렐린이 식물의 줄기신장과 관련이 있음은 멘델이 유전연구를 위해 사용한 완두의 형질중의 가장 두르러진 형질인 키의 크고 작음에 관여하는 유전자가 지베렐린 생합성 관련 유전자임이 최근 밝혀짐으로 보다 명확해졌다고 할 수 있다.

지베렐린은 세포의 신장에 관여하는 가장 대표적인 식물호르몬으로서 대부분의 식물은 GA처리에 의해 줄기신장이 촉진된다. 이와 반대로 식물에 GA생합성 억제제(왜화제)를 처리하면 줄기신장이 현저히 억제되는 현상도 GA와 줄기신장과의 연관성을 입증하는 것이라 할 수 있다.

지베렐린은 식물이 환경변화에 반응하여 생장을 조절하기 위해 사용되는 중간 신호전달물질로 잘 알려져 있다. 광질(적외선, 또는 근적외선)에 따른 상추종자의 발아 조절현상에서 GA생합성량의 조절이 발아와 밀접히 연관되어 있음은 광과 지베렐린의 연관성을 명확히 입증하는 근거자료이다.

또한 나무밀(그늘)에서 절간(줄기)신장이 촉진되는 현상도 광질에 따른 식물호르몬 GA생합성량의 차이에 기인하고 있다.

이와같이 광환경변화 인식과 지베렐린과의 상관을 비교적 명확히 구명되어 있다. 그러나 파장(특히 음파)에 따른 식물의 반응 또는 이들 반응과 식물호르몬 지베렐린과의 연관성에 관한 연구는 전혀 수행된바가 없다.

2. 연구 목적

국내에서 발표된 식물의 생육에 음악이 촉진적인 영향을 미친다는 많은 연구 결과는 대부분 디지털 음악인 CD로 재생되는 음악을 사용하여 수행되었다.

이들 연구 결과에서도 가장 효과적인 음악처리 시간은 1~2시간이라고 알려져 있으며, 한편 최근 몇몇 연구자들에 의해 제기되고 있는 디지털 음악의 인간에 대한 유해성 여부의 논란에서 짐작 할 수 있듯이 디지털 음악은 식물에게도 부정적인 효과를 나타낼 수도 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 작물(오이와 피망)을 재료로 하여 디지털 음악의 유해성을 보다 명확히 구명 할 목적으로 장시간(8시간/일) 동일 음악의 반복처리를 30여 일 동안 수행하였다. 처리 후 10일 간격으로 30일 동안 줄기 신장 및 생체중 증감에 미치는 영향을 구명함과 동시에 음악 처리 10일 후에 식물체내의 지베렐린 함량 변화를 조사하여 음원에 따른 식물의 내·외적 반응차 유무를 밝히고자 하였다.

이와 같은 연구를 통해 본 연구자들이 추구하는 연구 목표는 아래와 같다.

- 인체를 대상으로 한 특정 음악의 장시간 노출은 거의 불가능하여 피시험자에게 부작용이 있을시 심각한 문제를 야기하므로 식물을 재료로 하여 자연의 소리 아날로그와 기계적 재가공음인 디지털의 효과를 명확히 구명하고자 함.
- 장시간의 노출에 따른 식물의 성장반응과 식물호르몬 함량변화는 인체에 대한 디지털의 유해성을 간접적으로 증명할 수 있는 자료로 제시 될 것임.
- 최근 휴대폰 등 디지털 장비의 유해성이 제기되고 있는 시점에서 식물을 대상으로 하는 디지털 음에 대한 폭넓은 연구 수행 동기를 부여하여 디지털 음으로부터 인류의 건강을 해할 수 있는 위험성에 대한 조기 경보적 의미 제공.
- 향후 식물생장촉진/ 병해충저항성 증대/ 수확량 증대 등의 목적으로 농업적 응용 시 디지털 음이 아닌 아날로그 음을 들려주어 실질적 농업생산성 향상에 적용
- 디지털 음에 과다 노출되어 있는 우리나라 청소년에 대한 경각심 고취

IV. 재료 및 방법

1. [실험 I] 아날로그와 디지털 음악에 의한 식물체의 생육 변화 관찰

[작물재료 및 성장조건]

본 실험은 2004년 경남 밀양시 부북면 소재 농우그린텍 육묘장에서 오이(삼남청장)와 피망(뉴에이스)을 재료로 사용하여 실시하였다.(그림 1) 농우그린텍의 표준 재배법에 의해 오이는 접목 후 1주된 묘종, 피망은 이식 후 1주된 묘종을 재료로 사용하였다. 디지털과 아날로그 음악이 식물에게 미치는 영향을 조사하기 위해서 3개월에 걸쳐 2반복으로 실험을 실시하였다. 모든 실험은 빛의 양과 습도가 일정한 ISO 표준인증 비닐하우스 안에서 시행되었고, 음악은 베토벤 피아노 협주곡 5번 "황제"를 2m 거리에서 하루 8시간 씩 반복하여 일정한 음압(75dB)이 유지되도록 들려주었다.



그림 1. 실험전경

[음원 처리 및 시료채취]

실험 그룹은 아날로그음인 LP와 디지털음인 MP3 그리고 음악을 들려주지 않은 무처리로 모두 3개 그룹으로 나누었다. 동일한 환경을 갖춘 실험동에서 충분한 거리로 격리된 3곳을 택하여 2004년 10월 말부터 시작하여 하루 8시간씩 음악을 10일

간 들려주고 생육 변화를 계속 관찰하였다. 무처리구에는 아무런 음악자극을 주지 않았다. 실험 시작 10일 후에 식물체내 호르몬의 변화를 측정하기 위한 시료를 채취하였다.

또한, 식물체 줄기신장 및 생체중을 알아보기 위해서 처리 후 10일 간격으로 3회 (11/8, 11/18, 11/28) 시료를 채취하여 조사하였다. 시료는 식물체 중에서 가장 큰 것과 가장 작은 것을 제외한 중간 크기의 것만을 사용했다.

2. [실험 II] 아날로그와 디지털 음악에 의한 식물생장 조절 호르몬 지베렐린(GA) 함량 변화

[Gibberellins(GA)의 추출 및 정량]

지베렐린 추출의 일반적인 과정은 Foster & Morgan (1995)과 Lee 등(1998)의 방법에 준하였다. 시료 채취 즉시 액체질소로 급속냉동시킨 후 냉동건조한 시료를 마쇄하여 사용하였다. 마쇄한 시료 1g을 80%와 100% MeOH을 차례로 가하여 충분히 추출한 후 추출 여액을 60% MeOH 용액이 되게 증류수를 첨가한 다음 -70°C 냉장고에 1~2시간 동안 얼룩소를 침전시켜 GF/A 필터를 이용하여 얼룩소를 제거하였다. 내부표준물질(Internal standard, ISTD)로는 20ng의 $^2\text{H}_2$ GA₁, $^2\text{H}_2$ GA₄, $^2\text{H}_2$ GA₉, $^2\text{H}_2$ GA₁₂, $^2\text{H}_2$ GA₁₉, $^2\text{H}_2$ GA₂₀, $^2\text{H}_2$ GA₂₄, $^2\text{H}_2$ GA₅₃을 첨가하였다. 추출 여액의 pH를 2N NH₄OH를 이용해 8.0~8.3으로 조정하고 다음 5g의 davisil C₁₈ (90~130 micron, 60A, Alltech) column을 통과시킨 후 감압·농축하였다.

농축된 잔사를 1g의 celite에 건조시킨 후 5g의 SiO₂ (ICN Silica 32-100, Aktiv 60A[®]) 컬럼에 loading하여 formic acid로 포화된 95:5 EtOAc : hexane을 이용해서 용출시켰다. 통과시킨 여액을 감압·농축한 후 phosphate buffer (pH 8.0)로 녹인 다음 2N NaOH를 이용해서 pH를 8.0~9.0으로 조정하고 EtOAc를 이용하여 3회 분획하였다. 여액(phosphate buffer)에 1g의 polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)을 첨가하여 1시간 동안 진탕시켰다. 진탕시킨 여액을 여과시킨 다음 6N HCl을 이용해 pH 2.5로 조정하고 EtOAc로 3회 분획하였다. 분획된 EtOAc 층을 pH 2.5 증류수로 3회 세척하여 phosphate를 제거한 다음 감압·농축하였다. 농축한 잔사를 100% MeOH에 용해시켰으며, HPLC에서 각 지베렐린의 정확한 머무름 시간을 결정하여 분획하기 위하여 [1,2 ^3H] GA₂₀와 [1,2 ^3H]GA₉를 첨가하여 질소가스로 건조시킨 후 HPLC 분석시료로 사용하였다.

[High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)]

HPLC 시스템은 Waters model 680 automated gradient controller, U6K injector, model 510 pump와 Isco fraction collector로 구성되었다. HPLC column은 μ Bondapak C₁₈ (3.9×300mm)을 사용하였으며 각 GA는 1%의 acetic acid를 포함

한 28% MeOH와 100% MeOH 용액의 농도 구배로 분리하였다. 유속은 분당 1.5ml로 유지하였으며 1.5ml씩 총 45 분획으로 나누었다(표 1).

각 지베렐린의 정확한 머무름 시간은 각 분획 당 소량(15 μ l)을 취하여 Liquid Scintillation Counter(Beckman, LC 1801)로 ^3H -GA 표준물질의 용출시간을 확인하여 결정하였다. 각 분획을 Savant Automatic Environmental Speedvac (model, SPD 2010)으로 건조한 후 동일 GA를 포함한 분획을 취합하여 1ml의 reaction vial로 옮긴 후 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 질소가스로 건조시켰다. GA 분획중 불순물을 많이 함유한 분획은 NH_2 cartridge를 사용하여 GA외의 불순물을 제거한 후 reaction vial로 옮겼다.

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

HPLC	Waters model 510		
Column	μ Bondapak C_{18} (3.9 \times 300mm)		
Solvent A	28% MeOH in 1% HOAc		
Solvent B	100% MeOH		
Gradient	100% Solvent A \rightarrow (0~5 min.)	100% Solvent B \rightarrow (5~36 min.)	100% Solvent B (36~40 min.)
Flow rate	1.5 ml/min.		

[Gas Chromatograph-Mass Spectrometry-Selected Ion Monitoring (GC-MS-SIM)]

GA를 포함한 분획을 건조시킨 다음 1ml의 reaction vial로 옮긴 후 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 질소가스로 건조시켰다. 각 GA를 2차례 60 μ l ethereal diazomethane으로 methyl ester를 유도한 후 질소가스로 건조하였다.

Silylation이 필요한 GA류는 30 μ l의 pyridine과 30 μ l의 N-D-bis (trimethyl silyl)-trifluoroacetamide (BSTFA, 1% TMCS 포함)로 70 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 반응시킨 후 질소가스로 건조하였다. 시료는 무수 dichloromethane에 녹인 후 1 μ l를 30m \times 0.25 mm(i.d.) HP-1 capillary column이 장착된 GC-MS에 주입하였다. 5973N Mass Selective Detector (Hewlett-Packard)가 부착된 GC(Hewlett-Packard model 6890)를 사용하였으며, Data는 HP 5970C Chemstation (Hewlett-Packard)을 사용하여 처리하였다(표 2).

[내생 Gibberellin의 정량]

지베렐린의 동정은 KRI 값과 mass spectrum을 비교하여 확인하였다. 정성과 정량 분석을 위해 hydrocarbon standard를 이용해 Kovats Retention Index (KRI)를

구하였으며, 각 시료의 내생 GA와 [²H₂]GA ISTD의 3개 주요 ion mass를 비교하여 확인하였다(표 3).

표 2. GC-MS conditions used for analysis and quantification of gibberellins,

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

모든 GA류의 동정은 Gaskin & MacMillan (1991)이 보고한 KRI 값과 mass spectrum을 비교함과 동시에 Australian National University의 Lewis N. Mander 교수로부터 구입한 deuterated된 각 GA 표준품의 KRI 및 mass spectrum을 비교하여 확인하였다.

Calculation of Kovats Retention Index(KRI)

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

또한, 지베렐린의 정량은 deuterated GA와 endogenous peak 면적의 비율을 기본으로 하여 정량하였다. 즉, GA₅₃, GA₁₉, GA₂₀, GA₁의 내생 함량은 448/450, 434/436, 418/420, 506/508의 peak 면적의 비율로 계산하였다(그림 2).

Calculation of endogenous GA

$$= \frac{\text{Endo. peak area}}{\text{ISTD peak area}} \times \text{amount of ISTD} / \text{weight (D.W.)}$$

표 3. GC-MS analysis of HPLC fractions from acidic ethyl acetate fractions of extracts.

Fraction no.	GAs	KRI ^z		<i>m/z</i> (% relative intensity of base peak) ^y				
12-14	GA ₁	2674	sample	506(100)	448(20)	313(17)	491(13)	377(12)
		2674	standard	508(100)	450(19)	315(14)	493(11)	379(13)
24, 25	GA ₂₀	2485	sample	418(100)	375(45)	403(14)	359(12)	301(13)
		2485	standard	420(100)	377(45)	405(13)	361(10)	303(11)
29-31	GA ₁₉	2600	sample	434(100)	374(59)	402(41)	462(10)	375(57)
		2600	standard	436(100)	376(57)	404(40)	464(9)	377(55)
32, 33	GA ₄	2506	sample	284(100)	225(80)	289(70)	224(76)	418(26)
		2506	standard	286(100)	227(76)	291(71)	226(75)	420(23)
34-36	GA ₂₄	2444	sample	314(100)	226(89)	286(77)	342(42)	374(4)
		2444	standard	316(100)	228(87)	288(75)	344(40)	376(3)
37, 38	GA ₅₃	2450	sample	448(47)	251(30)	235(30)	389(25)	241(18)
		2450	standard	450(47)	253(28)	237(28)	391(25)	243(19)
37, 38	GA ₉	2305	sample	298(100)	270(78)	227(48)	243(43)	330(6)
		2305	standard	300(100)	272(77)	229(48)	245(42)	332(6)

^{z)} KRI, Kovats retention index. ^{y)} Identified as methyl ester trimethylsilyl ether derivatives by comparison with reference spectra and KRI data (Gaskin and MacMillan, 1991).

V. 결과 및 고찰

1. 아날로그와 디지털음악에 의한 작물의 성장 변화

일반적으로 작물의 경우 음악을 들려주었을 때 생육촉진, 생체중 증가 등의 촉진 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 일반적인 실험 환경에서 하루에 1시간 정도 음악을 들려 줄 경우 식물 생육이 가장 촉진되는 것으로 보고되고 있다(Lee 등, 1996). 그러나 본 실험의 경우는 작물을 장시간의 음악에 노출시키는 처리를 통하여 디지털음악의 유해성을 보다 명확히 평가하고자 하루에 8시간 동안 35일에 걸쳐 음악을 들려주는 실험을 통해 식물체의 생체중과 줄기신장에 미치는 영향을 조사하였다.

[음원에 따른 식물체 생체중 변화]

오이의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 생체중이 음원의 차이에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 오이에게 음악을 들려주기 시작한 2004년 10월 28일부터 35일(8h/일) 동안 LP와 MP3 음악에 노출시킨 경우 무처리구에 비해 LP 처리구의 경우 11%, MP3 처리구의 경우 20%의 생체중 감소를 보였다.

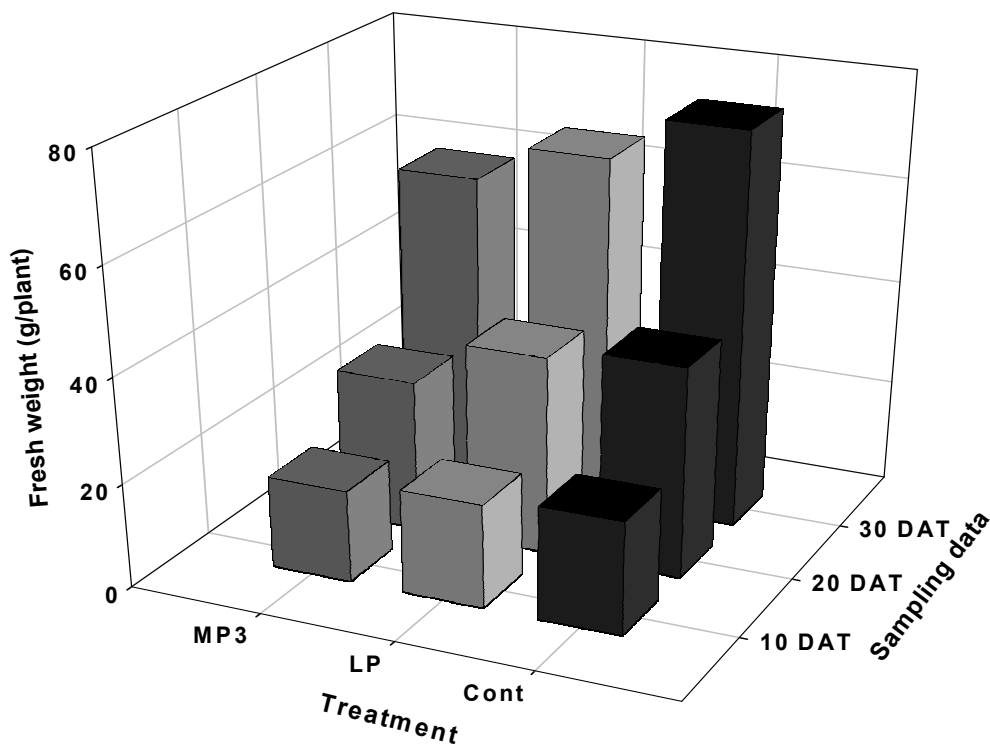


그림 2. 오이의 생체중에 미치는 음원의 영향(DAT: Days After Treatments)

피망의 경우에도 그림 3에서 보는 바와 같이 생체중이 음원의 차이에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 피망의 경우 음원에 따른 생체중의 변화 양상은 오이보다 큰 것으로 나타났다. 35일(8h/일) 동안 LP와 MP3 음악에 노출시킨 경우 피망의 생체중은 무처리구에 비해서 LP 처리구는 19%, MP3 처리구에서는 30%의 감소를 보였다.

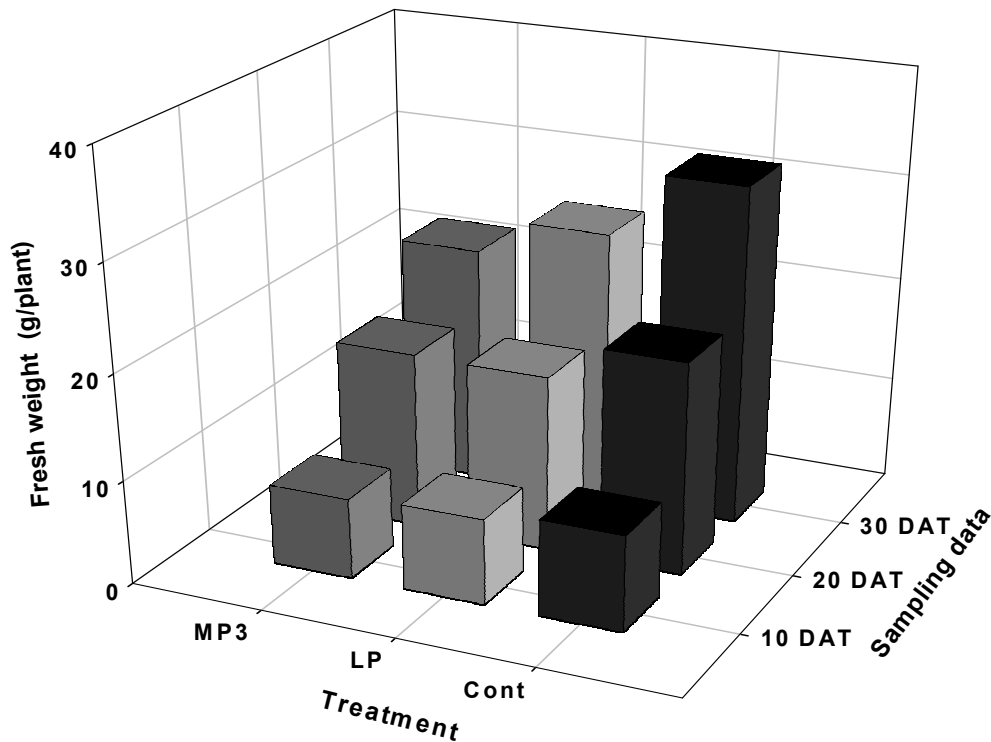


그림 3. 피망의 생체중에 미치는 음원의 영향(DAT: Days After Treatments)

오이의 경우 그림 4,5에서 보는 바와 같이 줄기신장은 음원의 차이에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 초장의 변화 또한 생체중과 유사하게 음원에 따라서 큰 차이를 보였다. 오이를 LP와 MP3 음악에 노출시킨 경우 무처리구에 비해 LP 처리구의 경우 10.5%, MP3 처리구의 경우 22.1%의 줄기신장 억제를 보였다. 초장의 변화뿐만이 아니라 오이 생육의 지표가 될 수 있는 덩굴손의 전개속도는 MP3 처리구에서 보다 LP 처리구에서 2일 정도 앞서는 것으로 관찰되었다(자료 미제시). 한편, MP3 처리구의 경우 LP 처리구에는 발생하지 않은 꽃눈의 분화가 나타났다.

일반적으로 식물의 꽃눈분화는 외부환경조건이 다소 열악한 조건하에서 촉진되므로 MP3에 의한 꽃눈분화 촉진현상은 장시간 MP3에 노출되는 것이 오이에게는 일종의 스트레스로 작용하고 있음을 암시한다고 사료된다.



그림 4. 음원에 따른 오이의 줄기신장 차이(처리 35일후)

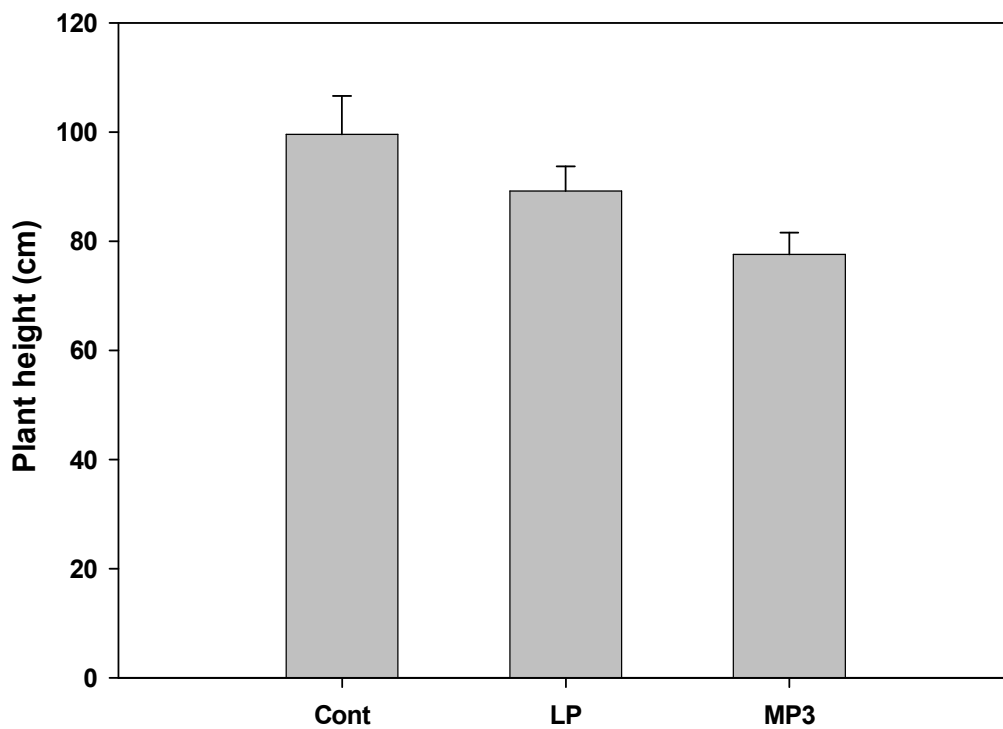


그림 5. 오이의 줄기신장에 미치는 음원의 영향(처리 35일 후)

피망의 경우에도 그림 6에서 보는 바와 같이 줄기신장은 음원의 차이에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 초장의 변화가 음원에 따라서 비교적 큰 차이를 나타내었다. 오이와 같이 2004년 10월 28일부터 35일(8h/일) 동안 LP와 MP3 음악에

노출시킨 경우 무처리구에 비해서 LP 처리구는 3%, MP3 처리구에서는 20%의 줄기신장 억제를 보였다. 피망도 마찬가지로 장시간 MP3에 노출되는 것이 식물체에게 일종의 스트레스로 작용하고 있음을 암시한다고 사료된다

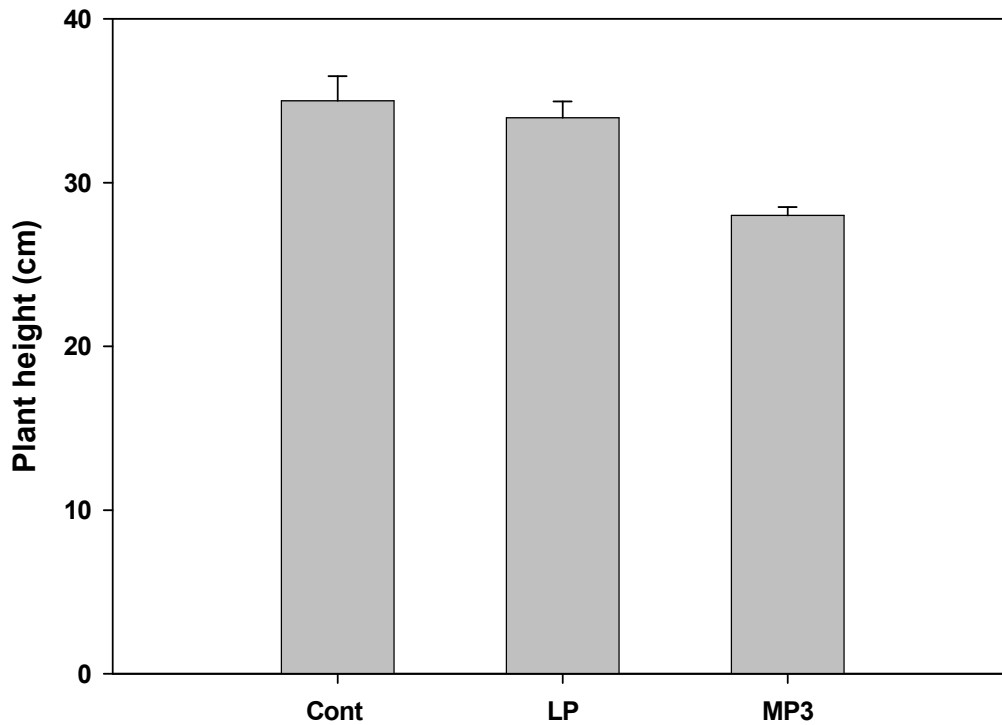


그림 6. 피망의 줄기신장에 미치는 음원의 영향(처리 35일후)

본 실험을 통해 나타난 생체중과 줄기신장의 변화를 종합하여 볼 때 동일시간, 같은 음악에 노출시켰을 경우 아날로그에 비해 디지털 음악에서 작물의 생육억제현상이 현저하게 나타났다. 이는 음원에 따라 작물의 생육에 미치는 영향이 다를 수 있다. 이것은 디지털 음악이 작물의 생산성에 큰 손실을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때 그린음악이 작물생육을 촉진하는 것이 사실이라면 음악을 디지털(CD 또는 MP3)이 아닌 아날로그(LP)로 들려줄 경우 작물 생산에 유용한 효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 생각된다.

2. 아날로그와 디지털 음악에 의한 식물생장조절호르몬 지베렐린(GA) 함량 변화

2.1 오이 및 피망 식물체내의 GA 생합성 경로 구명

현재까지 고등식물과 균류 및 박테리아에서 발견된 GA 종류는 136 종으로 알려져 있다. 그러나 이들 대부분의 GA는 활성형 GA를 생합성하는 과정중의 중간 대사산물로 알려진 생리적 불활성형인 것으로 간주되며 생리 활성을 가진 것은 GA₁과 GA₄를 비롯한 몇몇의 소수인 것으로 알려져 있다(MacMillan, 2002). 많은 고등식물의 지베렐린 생합성 경로는 여러 연구자들에 의해 비교적 자세히 밝혀져 있다.

그러나 본 연구에서 사용한 오이와 피망 식물체내 GA 생합성 경로 또는 GA함량 변화에 관한 연구는 전무하다. 오이의 경우에 지베렐린과 유사한 물질이 발견되었고(Dan 등, 1968), 성숙된 종자에서 일부 GA류에 대한 분리, 정량에 대한 시도가 있었으나(Hemphill DD 등, 1972), 자라고 있는 식물체의 잎 또는 줄기에 함유된 GA에 관한 연구는 없는 실정이다. 피망의 경우에는 현재까지 지베렐린에 관한 연구가 전혀 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구에서 밝히고자 하는 음원에 따른 지베렐린 함량변화와 생장과의 연관성 구명을 위해서는 이들 식물체내의 GA생합성 경로 및 함량에 관한 연구가 선행되어야 하므로 **본 실험을 통해 오이와 피망의 식물체로 지베렐린의 생합성 경로를 구명하고자 하였다.**

고등식물체에서 발견되는 지베렐린의 주된 생합성 경로는 non 13-hydroxylation 경로 (GA₁₂ → GA₁₅ → GA₂₄ → GA₉ → GA₄ → GA₃₄) 또는 early 13-hydroxylation 경로 중의 (GA₁₂ → GA₅₃ → GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁ → GA₈) 하나인 것으로 알려져 있으므로 이들 경로 상 모든 GA류를 동정함과 동시에 GA 함량을 정확히 분석하여 오이와 피망 식물체내의 GA 생합성 경로를 구명하고자 하였다.

오이와 피망 식물체내 GA를 분리·동정하고 정량한 결과(그림 7), 오이와 피망 식물체에서 non C13-hydroxylation (NCH) 경로상의 GA류와 early C13-hydroxylation (ECH) 경로상의 모든 GA류를 동정할 수 있었다. 이는 오이와 피망이 앞의 두 가지 생합성 경로 모두를 통해 GA를 생합성한다는 것을 입증하는 결과로 사료된다.

NCH 경로상의 생리 활성형인 GA₄ 함량이 오이는 최고 42.31ng/g D.W., 피망은 13.25ng/g D.W.인 반면 ECH 경로의 GA₁ 함량은 오이는 4.34ng/g D.W., 피망은 2.65ng/g D.W.로 나타나 오이와 피망에서 GA₄를 생합성하는 NCH경로가 GA생합성의 주경로인 것으로 나타났다. 그러나 GA₁도 함량은 적으나 비교적 많은 양을 함유하고 있는 것으로 나타났다(그림 8).

또한, 음원에 따른 이들 두 경로상의 GA함량 변화를 조사하여 GA 생합성 경로 중 어떤 단계가 이들 음원 인식에 대한 식물의 반응과 상관이 있는지를 구명하는 것은 식물의 환경변화인식 메카니즘 구명 측면에서도 아주 유용한 자료를 제공할 것으로 생각된다.

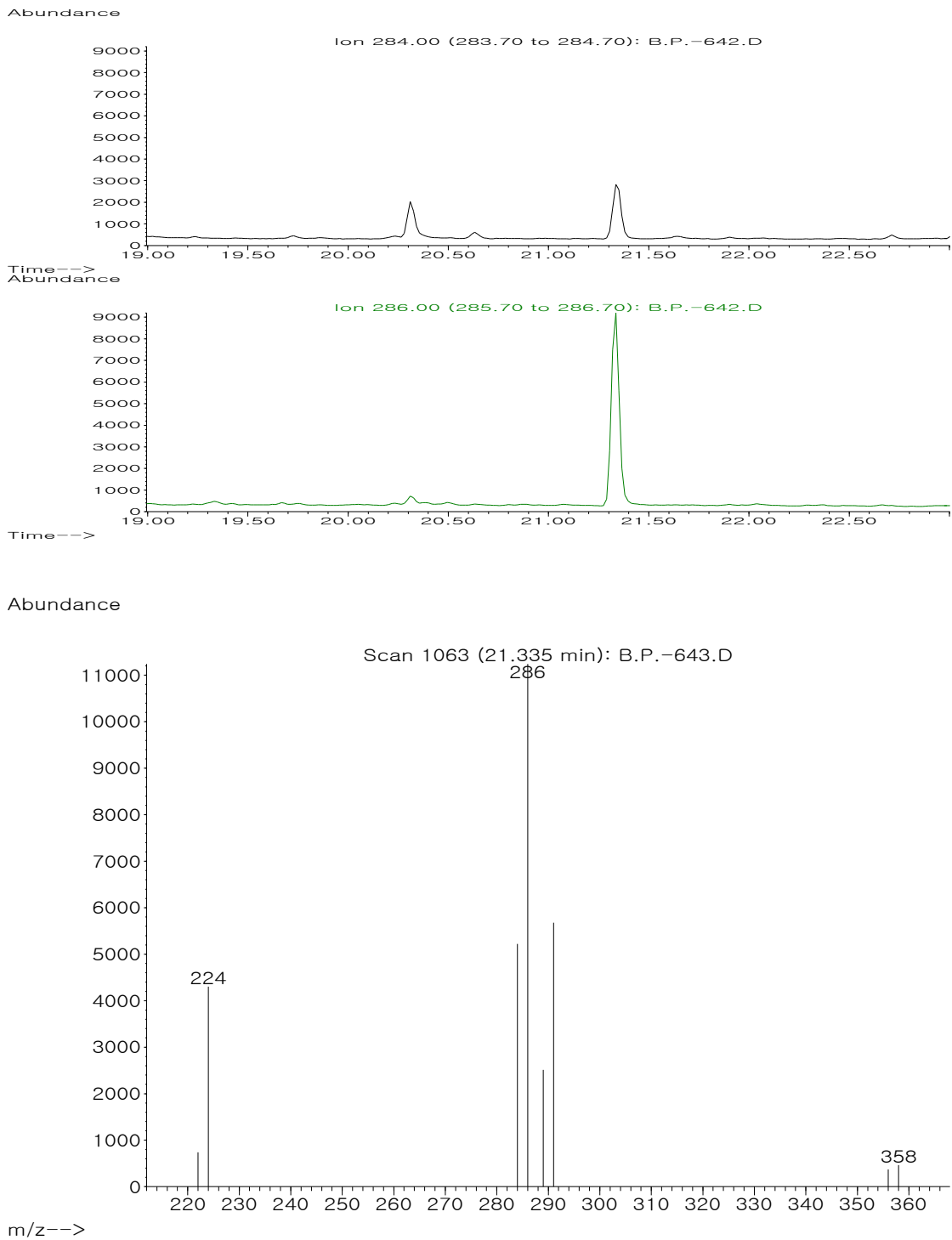


그림 7. 피망에서 분리한 GA4의 GC-MS chromatogram

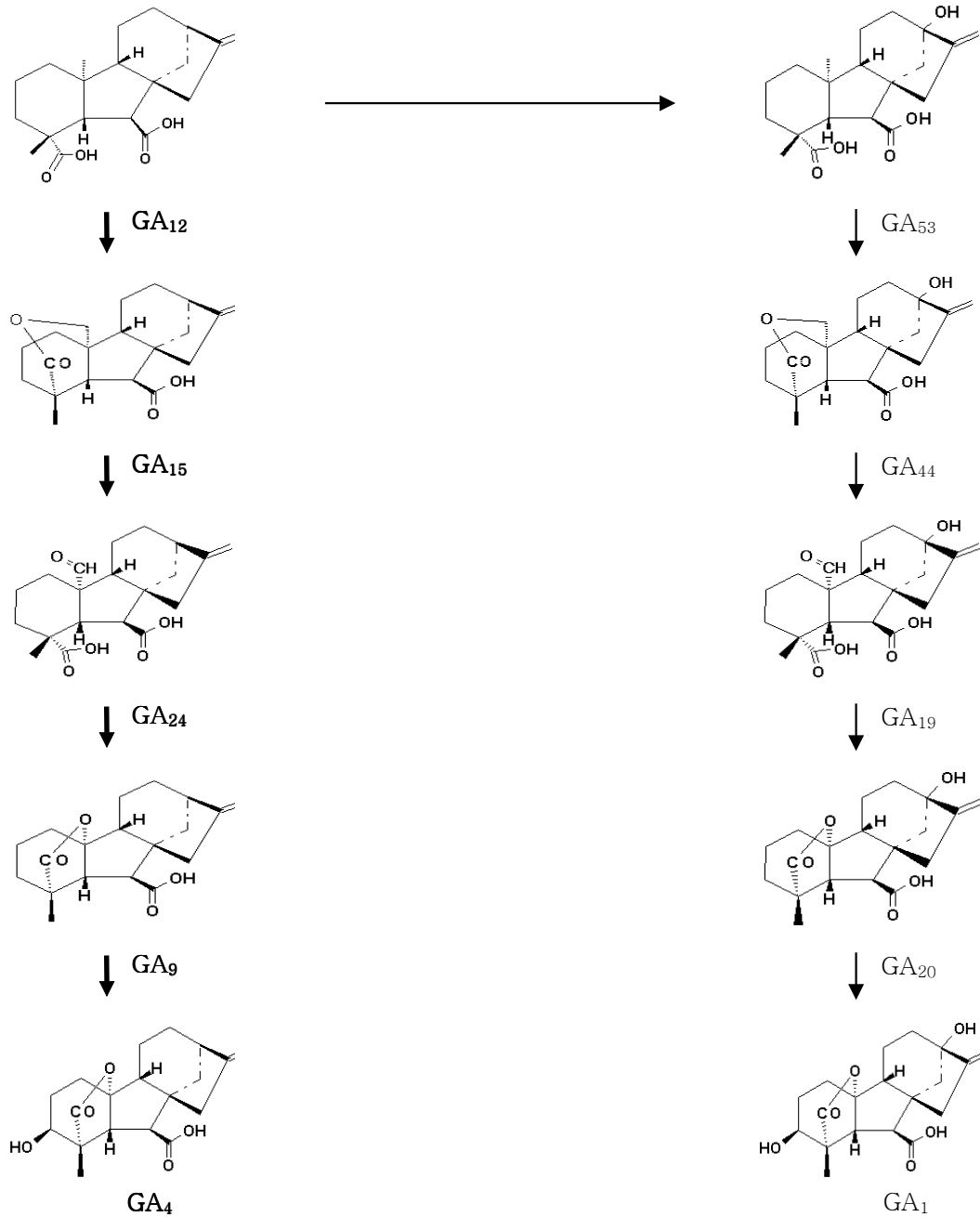


그림 8. 본 연구 결과를 바탕으로 추정된 오이와 피망의 GA 생합성 경로
(붉은 화살표는 주생합성 경로, 검은 화살표는 부생합성 경로)

2.2. 음원에 따른 오이 및 피망 식물체내의 GA 함량 변화

미생물을 포함한 136종의 분리된 GA 중 대부분이 중간대사 물질로써 작용을 하고 생리 활성을 보이는 것은 적은 수에 불과하다. 그 중 식물에서 가장 많은 생리 활성을 보이는 것은 GA₁과 GA₄다. 따라서 본 실험은 이 두 호르몬의 양을 비교, 분석함과 동시에 이들 생리활성 GA의 전구체들을 분석하여 음원에 따른 작물의 생리적 변화 원인을 구명하고자 한다.

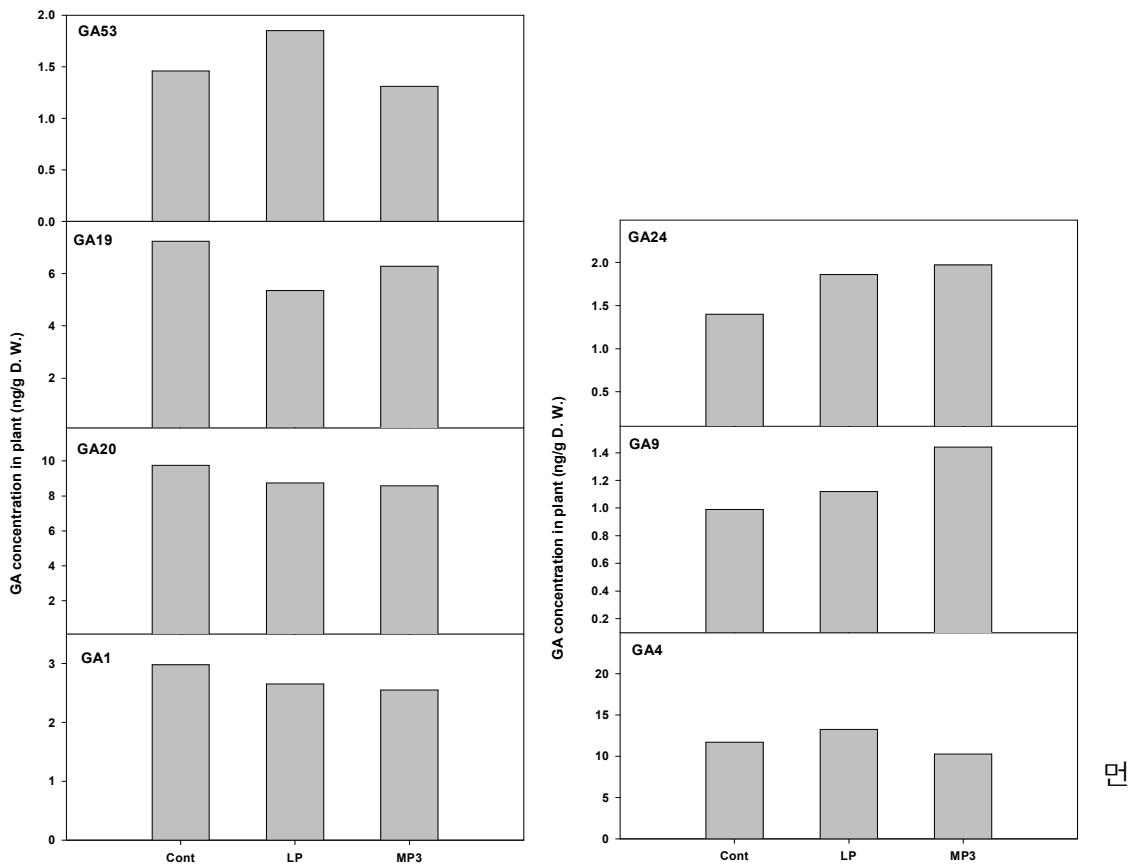


그림 9. 아날로그와 디지털 음악에 따른 피망의 지베렐린 함량 변화(처리 10일후)

먼저, 피망의 GA 함량 변화를 보면 GA₁의 경우 무처리구가 가장 높은 경향치를 나타냈고 다음으로 LP 처리구, MP3 처리구의 순으로 나타났다. LP 처리구의 경우 무처리구에 비해서 11%, MP3 처리구는 무처리구에 비해 14.5% 생합성 억제를 보였다. 또한, GA₄의 경우에는 LP 처리구가 무처리구에 비해 13%의 증가를 보인 반면 MP3 처리구는 무처리구에 비해서 12.5%의 생합성 억제를 나타냈다.(그림9).

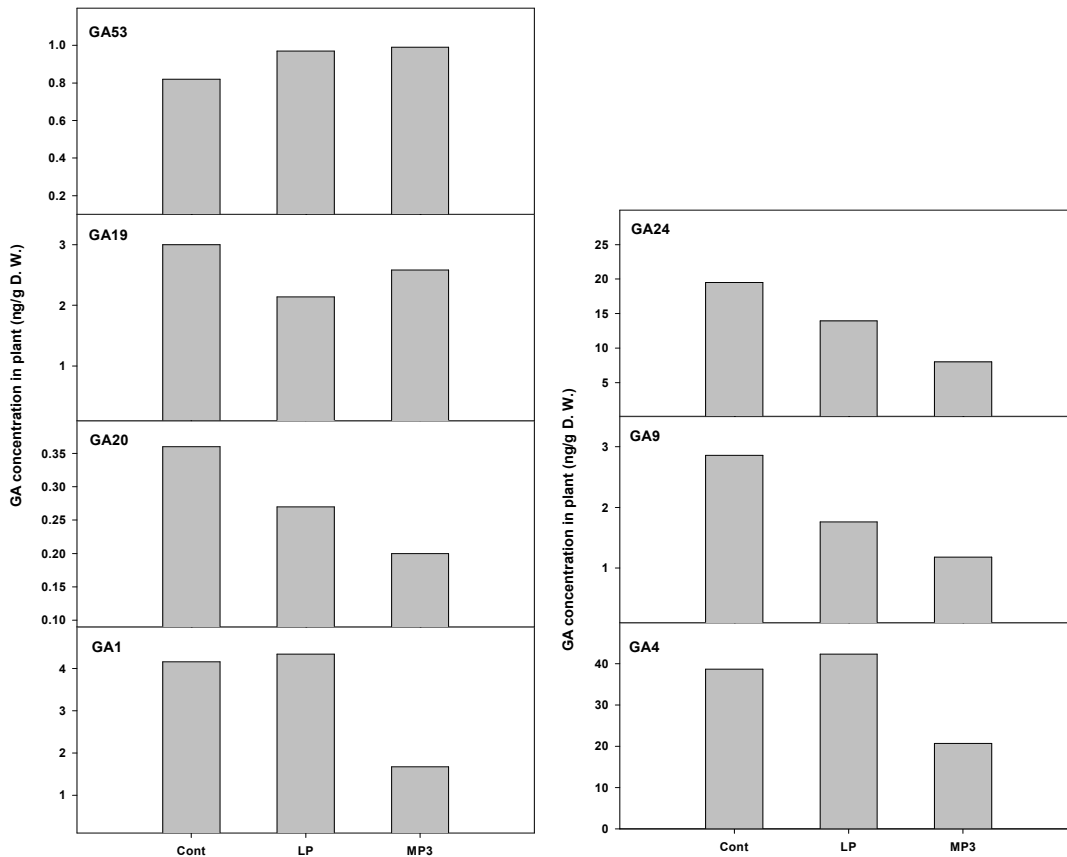


그림 10. 아날로그와 디지털 음악에 따른 오이 지베렐린 함량 변화(처리 10일후)

오이의 GA 함량 변화를 보면 GA₁의 경우 LP 처리구가 무처리구에 비해서 4.3%의 증가를 보인 반면 MP3 처리구는 무처리구에 비해 60%의 현저한 생합성 억제작용을 보였다. 또한, GA₄의 경우에도 이와 비슷한 경향치를 보였다. LP 처리구가 무처리구에 비해서 9.4%증가를 보인 반면 MP3 처리구는 무처리구에 비해서 46.5%의 큰 생합성 억제를 보여 디지털이 아날로그 음악에 비해 작물체내의 생합성 억제작용에 효과가 큰 것으로 사료되어진다(그림10).

3. 고찰

본 연구를 통해서 음원(LP, MP3)에 따른 작물의 생장에 영향을 미치는 정도가 다르다는 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 아날로그에 비해 디지털 음악이 작물에 스트레스를 주어 작물의 생체중, 줄기신장 등의 생육 변화뿐만 아니라 식물생장조절호르몬인 지베렐린의 생합성 억제에도 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

동일 음악을 장시간 노출 시킬 경우 무처리구와 별 차이를 보이지 않는 LP 처리구에 비해 MP3 처리구는 현저한 생육억제 현상을 보여 작물에 더 많은 부정적 요인

으로 작용하는 것을 알 수 있었다.

따라서 작물의 생육에 있어서 자연의 소리인 아날로그 보다 인공적으로 깎아서 만든 디지털이 생장 및 체내 호르몬 생합성에 억제정도가 더 큰 것으로 사료되어진다.

이것은 작물에게 아날로그음악이 디지털음악에 비해서 생육 촉진 및 체내 호르몬의 생합성 촉진에 더 효과적으로 작용할 수 있다는 것을 보여준다. 현재 행해지고 있는 음악을 이용한 농법을 한 단계 발전시켜서 아날로그를 그 음원으로 하여 작물에게 들려준다면 더 높은 효과를 얻을 수 있을 것이다. 아날로그 음악의 꾸준한 농가 보급과 친환경에 걸 맞는 생장조절제와의 조화는 농가의 소득 증대 및 노동력 절감에 조금이나마 도움이 될 것으로 사료되어진다.

인간은 식물보다 훨씬 외부의 자극에 민감한 고등생물체이다. 비교적 외부의 자극에 둔감한 식물체도 음원의 차이에 의해 식물호르몬 및 생장이 차이를 보임을 감안하면 디지털 음악이 인간에게도 생리적 변화를 일으킬 가능성은 매우 높다. 따라서 이번 식물을 대상으로 한 실험이 하나의 계기가 되어서 인간에게 디지털음악이 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구 동기를 제공하는 계기가 될 수 있을 것으로 생각된다.

VI. 적요

오이와 피망을 재료로 하루동안 8시간씩 장시간 동일음악에 노출시키는 실험을 통해 음원(디지털과 아날로그)이 작물의 생장과 식물체내 식물생장 호르몬인 지베렐린의 함량 변화에 미치는 영향을 구명하기 위해 본 연구를 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 아날로그와 디지털음악에 의한 작물의 생장 변화

동일조건에서 같은 음악을 장시간 들려주었을 때, 각각의 음원에 대한 반응 정도가 다른 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 아날로그에 비해 디지털 음악이 오이와 피망의 생육을 현저하게 억제하는 것으로 나타났다.

2. 오이 및 피망 식물체내의 GA 생합성 경로 구명

오이와 피망 식물체(잎과 줄기)의 GA 함량을 GC-MS로 동정한 결과 오이와 피망 식물체에서 10여종의 GA를 확인하였다. GA 함량은 오이와 피망 모두에서 고등식물체에 주로 존재하는 두 생합성 경로가 모두 존재하는 것으로 확인되었으며, 생리활성 GA₄(오이-42.31ng/g D.W., 피망-13.25ng/g D.W.)를 생합성하는 non C-13 hydroxylation pathway (NCH)가 GA₁(오이-4.34ng/g D.W., 피망-2.65ng/g D.W.)을 생합성하는 early C-13 hydroxylation pathway (ECH) 보다 우세한 것으로 조사되었다.

3. 오이 및 피망 식물체내의 GA 함량 변화

MP3 처리구가 LP 처리구에 비해 작물생장 호르몬 지베렐린의 생합성이 현저히 억제되는 것으로 나타났다. 오이에서 생리활성의 GA₄ 함량에 경우 LP 처리구가 42.31ng/g D.W.인 반면 MP3 처리구는 20.70ng/g D.W.에 불과 했다. 이러한 결과는 같은 음악을 작물에게 들려주더라도 그 음원에 따라서 작물의 반응정도 차이가 날 수 있음을 시사하는 결과로 사료된다.

VII. 사사

이번 실험과정 중 일부는 대구 문화방송과 과제를 함께 수행한 것임을 밝힌다. 실험을 하도록 허락해주시고 과제의 방향과 실험의 편의를 도와주신 경북대학교 식물생명과학부 이인중 교수님, 생물학과 추연식 교수님, 계명대학교 환경대학 김학운 교수님 및 본 연구실원들과 KT&G 장수원 연구원에게 감사의 말씀을 전한다.

VIII. 참고문헌

국내서 단행본

- 곽상수 외 (1996) 식물생장조절물질
- 농촌진흥청 농업기술연구소(1991) 식물호르몬 분석법

국내 논문

- 이완주 외 (1996) 음악에 의한 식물 생육 촉진 및 성분 함량의 변화 한국정신과학회지
- 이근영 외 (1996) 작물의 음향 신호에 대한 반응 분석에 관한 연구 성균관대학 논문집 제 47집 No.2
- 이완주 외 (2002) Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures Ultrasonics 41(2003)407-411
- 손은영 (2004) Roles of Plant Growth Substances on Growth and Development in Garlic (*Allium sativum* L.) 경북대 박사학위 논문

국외 단행본 및 논문

- Dan Atsmon, Anton Lang, and Elliot N. Light (1968) Contents and Recovery of Gibberellins in Monoecious and Gynoecious Cucumber Plants.
- Hemphill DD, Baker LR, Sell HM. (1972). Isolation and identification of the gibberellins of *Cucumis sativus* L. and *Cucumis melo* L. Planta
- Yang Xiaocheng, Wang Bochu, Duan Chuanren(2002) Effects of sound stimulation on energy metabolism of *Actinidia chinensis* callus Colloids and SurFaces B: biointerfaces 30 67-72
- Wang Xiujuan , Wang Bochu , Jia Y (2002) Effects of sound stimulation on protective enzyme activities and peroxidase isoenzymes of chrysanthemum Colloids and SurFaces B: biointerfaces 27 59-63
- Wang Bochu, Chen Xin, Wang Zhen (2003) Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds Colloids and SurFaces B: biointerfaces 32 29-34
- Judy Edworthy*, Rachael Hards (1997) Learning auditory warnings: The effects of sound typeverbal labelling and imagery on the identification of alarm sounds. International Journal of Industrial Ergonomics 24 603-618
- Peter J Davies (2004) Plant Hormones (biosynthesis, Signal Rransduction,

Action) Kluwer Academic Publishers

기타자료

- 대구 MBC 창사특집 HD2부작 생명의 소리-아날로그 2005년 1월 17일