

## 특강2

### Reaction of Plants by Sonic Stimulation

Won-Chu Lee

Department of Sericulture and Entomology,  
The National Institute of Agricultural Science &  
Technology, Rural Development Administration,  
Suwon 441-100, Korea

음파를 식물에 노출시키면 물리적인 자극이 식물체에 가해져 세포벽을 거쳐 세포막에 전달되고 세포질을 자극하여 세포내 전기적인 반응과 화학적 변화를 일으킨다.

음악을 들려주거나 때리는 등의 물리적 자극은 식물체내에서 전압의 변화를 일으키며, 바람과 같은 자연에 의한 자극과 때림과 같은 인공적인 자극을 식물이 구별할 수 있는 것으로 판단되었다.

음파는 식물의 생육을 촉진시키며 해충의 발생을 억제한다. 특정음파범위에서 수량이 증가되며, 당도가 높아지며, 생체활성물질(flavonoids, GABA)의 함량이 증가하고, 내병성효소(1,3- $\beta$ -glucanase)의 함량이 높아지며 잎에 시비한 무기성분(N, Ca, Mg, Fe 및 Zn)의 흡수가 증가했다.

해충의 발생이 억제되는 원인은 해충의 섭식 저해물질(hexane 분획), 탈피저해활성물질(hexane, H<sub>2</sub>O, methanol 분획), 해충의 생리활성을 해치는 물질(flavonoid류와 GABA)의 식물체 내 생성, 해충 체내의 홀몬 변화(dopamine 감소) 등에 의한 것으로 나타났다.

음파가 언제나 위와 같은 긍정적인 영향을 식물에 미치는 것은 아니며, 반대로 자람을 억제한다든지 하는 부정적인 영향을 미치기도 하는데 음의 특징에 대해서는 과학적으로 밝혀지지 못했다.

#### 1. 음파와 식물

음파 (音波)란 발음체에 접촉한 공기나 기타 매질(媒質)이 발음체의 진동을 받아서 생기는 파동으로, 사람이 들을 수 있는 음역은 주파수 16Hz부터 2kHz 범위이다. 그러나 실제로는 1.8kHz 이상이 되면 거의 들을 수 없다.

식물체에 음파를 이용하는 연구가 한국, 일본, 미국 등에서 소수이나마 수행되었다. 그 결과 2~20kHz의 음파로 식물체에 물리적인 자극을 가하면 식물의 생체 전위에 변위를 일으켜 조기성숙, 성장력 향상, 항병해충성 증가, 맛 향상 등의 효과가 있다고 하였다.

식물은 동물과 달리 청각기관이 없어 들을 수 없는데 어떻게 이런 결과를 보일

수 있을까. 음파가 식물의 몸에 닿으면 세포벽에 물리적인 자극을 주고, 자극이 세포막에 전달되고 내부의 세포질을 떨게 해 전기적인 반응과 화학적인 반응으로 전환된다.

음파가 식물에게 주는 영향은 긍정적인 면과 부정적인 면으로 나눌 수 있다.

긍정적인 면으로는 식물체에 전달된 음파는 세포질 유동을 활성화하여 증산과 광합성 등 기본대사를 증진하고, 기공을 많이 열게 하여 호흡과 양분흡수를 높인다. 미토콘드리아에서 ATP 생산을 촉진하고, 내병성과 조직발달에 관여하는 효소 1,3-β-glucanase 활성을 증가, 해충의 발생을 억제하는 성분의 생성 등이 있는 것으로 밝혀졌다. 그 결과 식물의 자람은 촉진되고 병해충에 강해진다.

부정적인 면으로는 발아율을 떨어뜨리고 자람을 억제하는 것으로 나타나고 있다. 이런 영향을 주는 음파는 소음, 록이나 헤비메틀로 지목되고 있으나 정확히 어떤 음이 이런 결과를 가져오는지에 대해서 과학적인 해명은 되어 있지 않다.

## 2. 음파에 대한 식물의 반응

### 1) 전기적인 반응

식물의 몸속에는 10~50mV의 약한 전압이 흐르고 있다. 외부에서 잎을 때리거나, 음파를 들려주는 등 물리적인 자극을 주면 식물체 체내의 전압이 강하고 직접적인 반응을 보이는 데 이런 현상은 식물이 환경 변화에 적응해 가는 증거로 파악된다.

또한 특정작물이 특정한 음악이나 특정 주파수 성분을 갖는 음향신호에서 보다 더 민감하게 반응한다. 예를 들면 미나리의 경우 음악이 가해지는 구간과 전후의 구간에 변화를 보이는데(그림 1), 그린음악(Green music; 저자가 '92년부터 3년에 걸쳐 개발한 식물을 위한 음악)에 대해 48~63Hz에서 민감한 반응을 보였다.

(그림 1)에서 그린음악을 들려주기 전 미나리 체내의 전압은 변화를 보이지 않았지만, 음악을 들려주는 10분 동안 심한 변화를, 그리고 음악을 끈 후에도 변화를 보였다.

### • Green music에 대한 응답 : 미나리

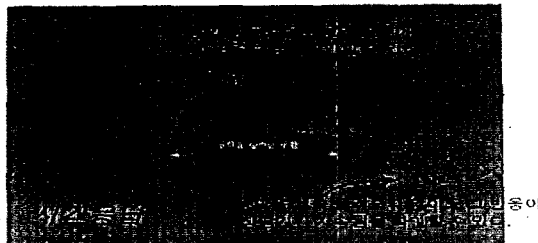


그림 1. 그린음악에 대한 미나리 체내 전압의 시간 응답도

식물이 외부 자극에 항상 반응하는 것은 아니다. 때리거나 태우거나 하는 직접적인 자극에 대해서는 그 자극이 중지될 때까지 반응을 보이지만(그림 2), 바람을 불어주는 경우에는 2~3분 후에는 정상적인 수준으로 되돌아오는 것으로 보아(그림 3) 식물이 바람과 다른 종류의 자극을 구별하는 것으로 보인다.

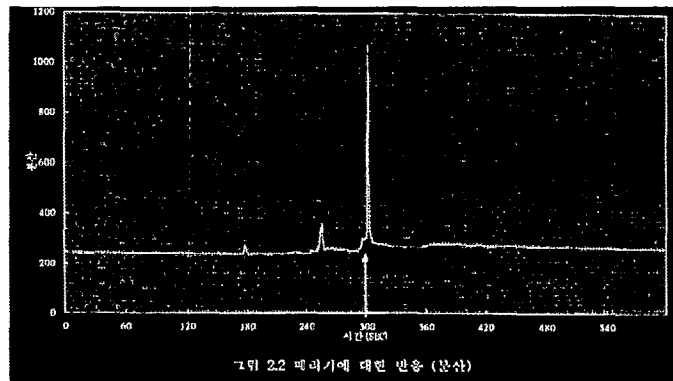


그림 2. 미나리 잎을 때릴 때 나타나는 전압변화

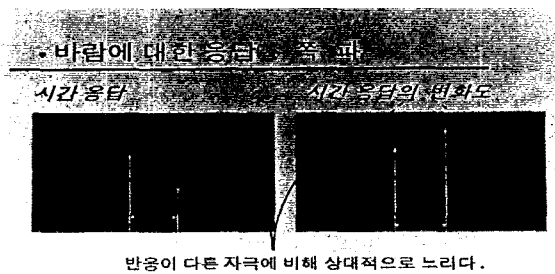


그림 3. 바람 자극에 대한 쪽파의 반응(처음 2분 동안만 반응, 이후에는 정상적으로 흐름)

## 2). 식물체 및 곤충의 화학적인 변화

음파를 들려 준 식물 군(群)에서는 해충의 발생이 현저히 줄어든다. 이로 인해 그린음악(1Hz~2kHz)을 이용하는 농가현장에서는 농약의 살포회수가 3할, 많게는 8할까지도 줄이며 농가에 따라서는 무농약 재배도 하고 있다.

이런 결과에 대해서 많은 사람들이 의아심을 가지고 있는데 시험을 통해서 아래와 같이 음파가 식물체와 해충에 화학적인 변화를 일으키는 때문인 것으로 판명되었다.

(1) 곤충 대사작용 교란물질 생성

음파의 자극을 받은 식물체는 rutin, isoquercitrin, guaijaverin 등 flavonoids류 함량이 무처리보다 현저히 증가한다(표 1). rutin은 무처리의 15.5 $\mu\text{g/g}$  FM인데 비해 그린음악을 들려 준 미나리에서 38.6 $\mu\text{g/g}$  FM으로 약 2.5배의 증가를 보였다. 식물체내에 Flavonoid 의 증가는 이 식물체를 먹은 해충의 대사작용을 교란시켜 생장과 발육이 비정상적으로 이뤄진다고 보고된 바 있다.

또한 GABA( $\gamma$ -aminobutyric acid)는 쪽파의 경우 무처리 90.9 $\mu\text{g/g}$  FM인데 비해 49.7 $\mu\text{g/g}$  FM으로 약 2.4배의 증가를 보였다.

표 1. 음악처리에 따른 식물 성분의 함량 변화

구 분	무음악	그린음악
rutin( $\mu\text{g/g}$ FW)	15.5(100)	38.6(250)
isoquercitrin( $\mu\text{g/g}$ FW)	12.2(100)	25.1(206)
guaijaverin( $\mu\text{g/g}$ FW)	57.0(100)	81.9(144)
GABA( $\mu\text{mol/ml}$ FW)	20.9(100)	49.7(238)

(2) 섭식저해물질의 생성

음파에 노출된 식물은 해충의 섭식성을 저해하는 물질이 증가된다. 배추에 20kHz 초음파를 오전 6시부터 3시간 처리하고 냉동건조한 시료로부터 유기용매로 추출한 용액을 다시 배추에 침지하여 배추좀나방을 섭식성을 조사하였다.

그 결과 배추좀나방 유충은 n-hexane 층에서 94.6%, chloroform 층에서 24.1%, ethylacetate 층에서 21.3%의 섭식억제 효과를 보여, n-hexane 층에서 가장 강한 섭식저해 활성을 보였다(표 2).

표 2. 각 분획에 대한 배추좀나방 섭식저해 활성(5000ppm)

구 분	hexane	chloroform	ethylacetate
무처리(C)	90.0 $\pm$ 14.1	90.0 $\pm$ 4.8	92.5 $\pm$ 9.8
초음파(T)	2.5 $\pm$ 5.0	55.0 $\pm$ 5.8	60.0 $\pm$ 11.6
섭식저해 활성(%)	94.6	24.1	21.3

\* 섭식저해 활성(antifeeding activity, %) =  $(C-T)/(C+T) \times 100$

(3) 키틴저해활성물질의 생성

초음파(20kHz)를 들려주면 식물체 내에 표피를 구성하는 키틴질의 합성을 저해하는 물질이 만들어진다(그림 4). 초음파를 들려 준 배추 잎에서 추출한 분획물은 배추좀나방 유충의 탈피를 억제하는 것으로 나타났다. 특히 hexane, 물, methanol로 추출한 용액에서 탈피억제효과가 컸다. methanol분획의 경우 공시한 10마리의 배추

좁나방에서 1마리만 탈피되어 성충이 될 정도로 키틴합성저해 정도가 높았다.

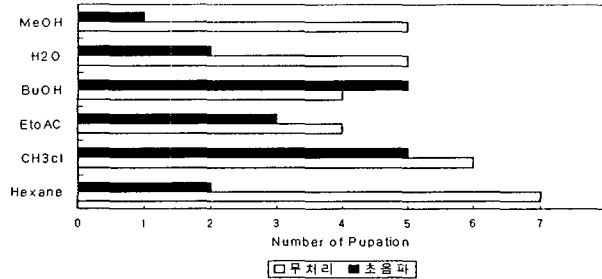


그림 4. 분획에 대한 배추좁나방 유충의 키틴합성저해 활성 (5000ppm)

#### (4) 홀몬 균형의 파괴

곤충의 증추내에 존재하며 신경세포간의 정보전달을 지배하는 신경전달물질로 octopamine과 dopamine은 온도, 화학적 물리적 자극 등의 stress를 가하면 곤충 체내에 octopamine은 증가하고 반대로 dopamine은 감소한다. octopamine의 증가는 섭식 저해작용으로 이어진다.

바퀴에 20kHz의 초음파를 들려주고 체내의 dopamine 함량을 측정된 결과 무처리의 30%내외로 감소한다는 결과를 얻었다(그림 5). 따라서 음파는 간접적으로 식물에게는 해충의 섭식성을 떨어뜨리는 성분과

해충에게 해로운 물질이 만들어지게 하며, 직접적으로는 해충 체내의 호르몬 균형을 깨뜨려 해충의 발생을 억제한다.

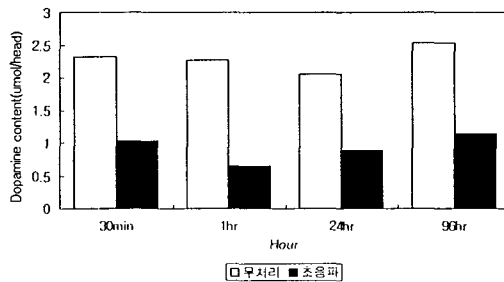


그림 5. 초음파를 들려 준 바퀴 체내의 dopamine 함량변화

#### (5) 음파에 의한 해충의 체색 변화

음악과 초음파 등 음파는 해충의 밀도를 낮춰 준다. 음파는 해충의 밀도 변화를 가져오는 물론 진딧물의 체색을 변화시켰다.

(표 3)에서와 같이 초음파를 처리한 배추에서 복숭아진딧물 밀도는 초음파와 그린음악에서 무처리에 비해 현저히 발생이 억제되었다

한편 복숭아진딧물 원래 체색인 연초록에서 붉은색으로 변하였다(그림6과 7). 변하는 정도는 무처리에서는 100%의 진딧물이 원래의 체색을 유지한 반면, 그린음악에서는 100% 진딧물이 붉은색으로 변화하였으며, 초음파구에서는 시간에 따라 변하는 율의 차를 보였으나 변화하는 것은 분명했다.

표 3. 초음파 처리에 의한 배추에서 복숭아진딧물의 밀도 변화(마리/그루)

구 분	월/일			
	7/9	7/12	7/15	7/21
초음파	6.8	11.2	12.7	29.8
그린음악	17.0	18.0	36.3	64.6
무처리	214.2	260.4	456.8	556.2

이렇게 체색이 변하는 원인에 대해서 정확히 말할 수 없으나 음파가 직·간접적으로 진딧물에 영향을 주기 때문으로 보인다. 연구보고에 의하면 jasmonic acid와 polyamine 등이 해충의 esterase enzyme(표4)에 영향을 하는 것으로 추정하고 있다. 복숭아 진딧물의 esterase enzyme를 추정한 결과 optical density(600nm)가 정상적인 연초록은 0.89인데 비해 붉은 것은 1.3정도로 일정하게 높은 것으로 나타났다. 그 결과 붉은색 진딧물은 초록색의 것보다 피부가 부풀고 반사가 크며 생식률이 떨어지는 것으로 보고하고 있다.

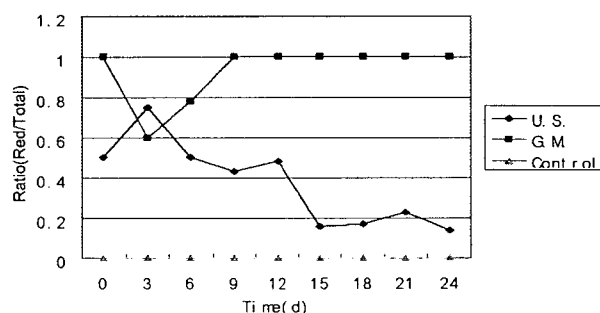


그림 6. 초음파처리에 의한 복숭아진딧물의 체색변화비율(Red/Total)

표 4. 복숭아 진딧물의 체색에 따른 Esterases activity의 차(600nm)

	O.D.(optical density)						ave.
	Red	1.283	1.266	1.245	1.255	1.263	
Gree	0.845	0.917	0.904	0.874	0.892	0.900	0.889
n							

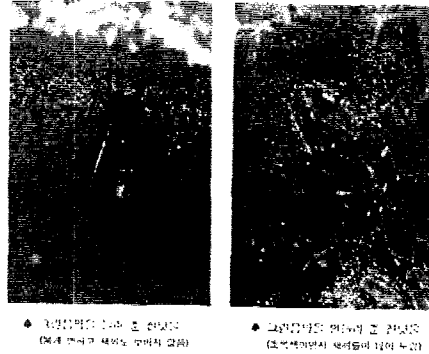


그림 7. 초음파에 의해 채색이 붉은색으로 변한 진딧물(왼쪽)과 정상 진딧물

### 3. 음파에 의한 식물의 효과

음악을 식물에 들려 준 최초의 기록은 1860년대 찰스 다윈에 대한 것이다. 그는 미모사 앞에서 나팔을 불어주었으나 효과를 보지 못하였다. 그 후 1950년대 인도의 아나말라이 대학의 Singh교수가 인도 전통음악인 라가를 들려준 결과 미모사가 기공수와 세포 크기가 커졌다고 기록하고 있다.

1960년대 미국의 Dorothy Retallack는 고전음악을 들려준 호박덩굴은 스피커 방향으로, 록음악을 들려준 것은 반대 방향으로 도망쳤다고 한다. 1983년에는 미국에서 Dr. Dan Carlson이 Sonic bloom 이라는 식물음악을 만들어 세계 여러 나라에서 이용되고 있다.

우리나라에서는 1992년 Sonic bloom을 도입하여 그 효과를 확인하고, 우리 정서에 맞는 음악을 개발하여 '94년 그린음악(Green music)이라는 이름으로 발표하게 되었다. 당시에 생육촉진과 해충발생 억제라는 효과에 대해 대다수가 의문을 가졌으나 농가 현장에 적용한 결과 긍정적이었으며, '99년부터 3년 동안 정부 시범사업을 통해 많은 농가가 효과를 인정하였다. 식물에 미치는 그린음악의 영향 아래와 같다.

#### 1) 작물의 생육 향상 효과

그린음악에 대해 가장 민감한 반응을 보이는 식물은 양란 심비다움, 미나리, 오이 등으로 음악을 들려주지 않은 것 보다 30%이상의 생육 증대효과를 보였고, 뽕나무, 장미, 총각무, 얼갈이 배추 등은 중간으로 10-30%의 증대 효과를 보였다(표 5, 그림 8). 그러나 클러디오러스, 고추, 국화, 벼 등과 같은 식물은 반응이 매우 미미하였다.

표 5. 그린음악 처리에 의한 작물의 생육촉진 효과

작 물	무음악구	그린음악구
병나무(가지길이, cm)	23.7(100)	30.5(129)
미나리(잎무게, g/그루)	3.63(100)	4.77(131)
오이(무게, g/그루)	1,564(100)	2,129(136)
쪽파(무게, g/포기)	26.0(100)	34.1(131)
양란, 심비디움(잎길이, cm)	5.5(100)	7.9(144)
총각무(무게, g/그루)	47.9(100)	57.2(115)
얼갈이 배추(무게, g/포기)	161(100)	203(126)
장미 꽃송이(송이/그루)	5.78(100)	7.22(125)



그림 8. 그린음악을 들려 준 미나리(왼쪽)과 대조구와의 비교

2) 엽면 시비효과 증대

음악은 잎에 뿌려 준 비료의 흡수량을 높혔다. 음악을 들려주면서 잎에 비료를 뿌려 준 것은 음악을 들려주지 않은 것보다 최고 66%나 더 많은 흡수가 일어났다. 음악에 의해 흡수가 더 많이 일어난 성분은 N, Ca, Mg, Fe, Zn 등인데 N을 제외하면 잎에서 흡수가 잘 안되는 성분들이다. 그럼에도 불구하고 흡수가 많아지는 것은 음악이 잎을 자극하여 잎 뒷면에 있는 스킴구멍을 많이 열리게 하여 흡수를 증대시킨 결과라고 추정된다.

3) 내병성 향상

음악을 들려주지 않은 무의 경우는 뿌리가 갈라지고 썩는 현상이 25%나 발생하였던 반면에 그린음악을 들려 준 것은 3%에 불과했다.

음악을 들려주면서 기른 보리들 비롯한 4종류의 작물에 대해 대표적인 내병성효소인 베타 글루카나제(1,3-β-glucanase)를 분석한 결과 음악이 이 성분의 활성을 높인다는 사실을 확인했다.

4) 해충의 수명과 산란성 저하

음악을 들려주면 해충의 수명이 짧아지고 알을 적게 낳는다. 미나리 재배시험에서



는 진딧물이 무음악구에서는 110마리/주가 발생했던데 비해 그린음악구에서는 불과 3마리만 발생하였다. 실내실험에서 진딧물은 을 키운 결과 음악을 들려주지 않은 것은 산자수(産仔數)가 어미 마리 당 42.2마리였는데 비해, 음악을 들려 준 것은 30.3마리, 수명은 음악을 안들려 준 것은 17.2일이었는데 비해 음악을 들려 준 구에서는 12.5일밖에 살지 않았다. 음악이 해충의 수명과 산란성을 떨어뜨렸다(표 6).

표 6. 해충에 대한 음악 처리효과(음악처리 40일째)

해충의 종류	작물	무음악구	음악구
진딧물 류(마리/주)	미나리	110(100)	3(2.7)
복숭아혹진딧물 총산자수(마리)	배추	42.2(100)	30.3(71.8)
복숭아혹진딧물 수명(일)	배추	17.2(100)	12.5(72.5)

5) 생체활성 물질의 증가

음악을 들려 주고 식물을 분석한 결과 4성분이 증가한다는 사실을 알았는데 2성분은 밝혀 졌지만 나머지 성분은 구명 중이다.

밝혀낸 2성분 중 한 성분은 rutin, isoquercitrin, guajaverin 등 flavonoids 계통이고, 다른 한 성분은 비단백태 아미노산인 GABA였다.

작물 중 미나리에서 루틴은 무음악 대비 최고 2.5배나, GABA는 쪽파에서 2.4배나 많았다.

표 7 rutin과 GABA가 인체와 해충에 미치는 영향

인 체	성 분	해 충
모세관 혈관 강화, 내출혈 억제	rutin	곤충신경계 독성, 대사작용 교란발육 억제
혈압 강하, 통증 감각 억제	GABA	체중 저하, 생존률 저하, 수명 단축

이 성분들이 음악의 해충 발생 억제효과가 크다 해도 인체에 해롭다면 소용이 없다. 그러나 이 성분들은 오히려 인체에 생리활성물질로 알려진 성분이다. 루틴 류는 모세관혈관의 강화작용과 수축작용을 하여 순환계 질환 치료제와 고혈압 치료 보조제 등의 주성분 등으로 사용되는 성분이다(표 7).

GABA는 혈압을 낮춰주며 통증을 완화시켜 주는 효과가 있는 성분이다. 밥을 짓기 전에 쌀을 물에 불리면 밥맛이 좋아지는 원인이 성분의 증가에 있다고 한다.

6) 당도 향상

음악은 식물체의 당도를 높인다.

오이에 그린음악을 들려주고 들려주지 않은 것과 당도를 분석 비교한 결과 약 15%의 증가를 보였다. 그린음악을 들려 준 오이농가의 말을 빌면 가을 오이 맛이 봄 오이 맛과 별 차이가 없을 정도로 좋아졌다고 한다(표 8).

표 8. 그린음악 처리에 의한 오이의 당도 변화

구 분	오이의 부분(당도, %)			평균
	밑부분	중간 부분	꼭지 부분	
음악을 안 들려 준 것	4.5	4.7	4.4	4.5(100)
그린음악을 들려 준 것	5.2	5.3	5.1	5.1(115)