

양란의 붕소 대사에 관한 연구

—특히 세포벽 형성 및 분획 조성에 미치는 영향—

康榮燾 · 韓泰鎭 · 黃 稔
(연세대학교 이과대학 생물학과)

Studies on the Boron Metabolism of Orchid

—Influences on the Cell Wall Structure and its Components—

Kang, Yong Hee, Tae Jin Han and Baik Hwang
(Dept. of Biology, Yonsei University, Seoul)

ABSTRACT

The present investigation has been made to study the deficiency symptoms of boron on the formation of cell wall and the development of the individual components of the orchid cell wall.

Analytical samples were taken from two sources; one from the individual orchid plants started from an apical meristem culture followed by the generation of the protocorm-like body which was developed into a plant, the other from the plant cultivated in water for 30 days. The amount of boron in the cultures were controlled and the deficiency symptoms were observed under the electron microscope, optical microscope with samples taken from the zones of elongation of leaves and compared the dry weight of cell walls and finally the various fractions of the cell wall components. The following results were obtained: (1) The growth of roots and leaves was hampered in the boron deficient plants. (2) In the boron-deficient leaves a severe necrosis and cracks were developed in the tissue of zone of elongation besides the decrease in growth. (3) under the electron microscope the cell walls of boron-deficient plants showed rough undulated structures unlike the smooth control cell walls. (4) the dry weight of total cells and cell walls of boron deficient plants were higher than the control plants. (5) In the boron deficient plant the amount of pectin and hemicellulose isolated from cell walls were higher and the the amount of protein was lower than the controlled plots.

서 론

난은 분류학상 단자엽식물에 속하는 가장 진화된 식물로서 약 450속 15,000~20,000여종에 이르며 (Holttum, 1953) 원예종으로 개량된 것이 약 70속, 5,000여 품종에 이른다. 이러한 난은 *Cattlea*, *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Cyperipedium*, *Vanda*, *Miltonia*, *Odontogla-*

sam 등 7가지로 대별된다. 양란은 자연상태에서 균류의 도움으로 약 5%의 발아율을 나타내며 (Reinert, 1977) 이것을 이용하여 Bernard(1909)가 유근배양법을 고안하였고 Knudson(1922)이 미생들의 도움없는 무근 배양법을 창안하였다. 특히 Morel(1960)에 의해 정단 배양법이 개발되어 대량번식이 가능하여짐에 따라 양란을 재료로 한 영양생리 실험도 용이하게 되었다. 일반적으로 붕소는 식물의 잎과 뿌리의 생육에 영향

을 미치므로 양란의 봉소 대사 및 결핍증의 규명은 일반적인 봉소 영양 생리에 관한 실험으로도 의의가 크며 양란의 재배에도 도움을 주리라 생각한다.

봉소 결핍에 대한 최초의 보고는 1910년 Agulhon과 Bertrand이며 Sommer(1926), Dore(1929) 등이 메틸과 tomato에서 보고하였고(Shieve, 1945), alfalfa의 황색병(De Turk, 1934), 사과와 측과병(Askew, 1936), cellery의 줄기조각병(Wallace, 1961) 등은 봉소를 제공하여도 회복 불가능한 것으로 보고되어 있다(Albert, 1966). 봉소 영양에 관한 연구는 Skok(1956, 1957a, 1957b)에 의해 본격화되어 성장 저해 및 조직 파괴에 대한 연구가 있었고, Roy(1966), Brown(1969) 등도 이 견해를 뒷받침하였다. 물론 봉소가 핵산(Albert, 1961, 1965) 및 세포 소기관의 구조(Lee, 1966; Hiroshi, 1975) 변화에 미치는 영향 등 많은 연구가 진행되어 왔으나 계속 주목되는 문제는 탄수화물의 체내 이동과 세포벽의 물질 집적 및 구조 변화에 관한 것이다. Wilson 등(1961)은 봉소결핍시 protein, galactan, araban, xylan 등 세포벽 구성 물질의 변화, 특히 Spurr 등(1957)의 견해와는 달리 pectic substance의 증가를 보고하였으며 Palser 등(1956)은 lignin의 감소를, Dutta 등(1964)은 그 증가를 보고한 바 있었다. 이러한 관점에서 식물에 따라 다소 차이는 있으나 봉소 결핍시 세포벽의 구조 이상과 분획 조성과의 밀접한 관련이 있을 것으로 추측된다.

본 실험은 이에 관련하여 양란의 외부적 봉소 결핍 증후와 양란의 생육에 미치는 영향을 조사하고 Keegstra 등(1973)의 세포벽 모형에 관련, 세포벽의 전자현미경적 구조를 비교하여 양란의 봉소 대사 특히 세포벽 형성에 미치는 영향과 그 분획 조성과의 관련성을 규명하였다.

실험 재료 및 방법

실험 재료 재료로 사용한 양란은 경기도 양주군 송추의 송화원에서 분양받은 *Cymbidium*속의 El. Capitan "mem. R.J. Chrisman"(3n)이며 정단배양법에 의해 육성된 것이다.

1) Meristem culture

양란의 정단 및 특아를 해부현미경 하에서 박피하여 Lindemann(1970)의 방법에 따랐다.

2) Suspension culture

정단배양 결과 형성된 protocorm-like body를 250 ml flask 100ml 액체 배지에 옮겨 500Lux, 25±3°C를 유지하면서 1/2rpm roller-drum에서 증식시켜 6

주후 고품 분화 배지에 나누어 이식하였다.

3) 분화 및 유묘 육성

증식된 protocorm-like body를 분화시켜 얻은 신장 6~7cm, 뿌리는 3~4cm 될 때까지 flask내에서 충분히 생육시켜 유묘로 육성한 다음 bath에 옮겨 적응시킨 후 왕사의 묘판에서 수경재배용 영양액으로 4~5엽, 잎 신장 10cm 정도까지 육성시켜 수경재배시의 재료로 삼았다.

배지 조성 양란의 정단배양에 사용한 배지는 Vajrabhaya 부부(1970)의 것을 기본으로 하여 사용하였다(Table 1).

Vajrabhaya 부부의 배지 1/2 중 niacin, Ca-pantothenate, trypton, coconut water는 빼고 nicotinic acid(1mg), casein(1g), inositol(200mg)은 첨가하였고, thiamine(10mg), sucrose(25g), agar(7g) 등도 조성을 바꾸었으며 hormone은 Lindemann(1968)과 Churchill(1971)의 배지를 참고하여 유기용(Medium V-H)은 NAA 0.5mg, 6-BAP 1.0mg, 증식용(Medium L-H)은 NAA 1.0mg, 6-BAP 1.0mg, 분화용(Medium H-H)은 NAA 1.0mg, 6-BAP 0.5mg으로 조성하였다.

한편 pH가 높은 경우 봉소가 불가급테로 변환되는 것을 막기 위해 멸균 전에 pH 4.8~5.5정도로 비교적 낮게 조정하였고 수경재배 시에는 유기성분을 모두 제거하여 사용하였다.

실험 방법 시험구는 봉소를 첨가한 대조구와 봉소를 첨가하지 않은 결핍구로 나누었다. 봉소원으로는 봉산을 사용하였고 봉소 함유량은 대조구는 봉산 1ppm(B함량: 0.18ppm)으로 조성하였고 수경재배시 결핍구는 이온수, Wagner pot, 3일간의 이온수에서의 발미 등으로 가급적 봉소 유입을 차단하여 1,500Lux, 25±3°C를 유지하면서(Baer, 1971; Northen, 1976) 외부적 결핍증후와 세포벽의 구조 및 그 분획 조성을 조사하였다.

1) 생육 조사

양란의 생육 조사는 재료의 난점으로 하여 생육 구간에 따른 건물 중량을 조사하는 대신 잎과 뿌리의 길이 생장조사로 시행하였다. 잎은 3일 간격으로 10회 측정하였고 뿌리는 그 손상과 측정 과정에서의 봉소 유입을 막기 위하여 6일 간격으로 5회 측정하였다.

2) 전자현미경적 관찰

한천 배지에서 분화시킨 유엽과 수경재배한 잎의 신장부를 표면적 1mm²의 크기로 세절하여 glutaraldehyde OsO₄에 고정, 포매한 것을 은색절편을 만들고 이를 uranylacetate와 lead nitrate로 이중염색한 후

Table 1. Media Composition for the Culture of Meristems from Mature Orchid (mg/l)

Compound	Medium V-H	Medium L-H	Medium H-H	Water Culture Medium
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	500mg	+	+	+
(NH ₄) ₂ SO ₄	500	+	+	+
MgSO ₄ ·7H ₂ O	250	+	+	+
KH ₂ PO ₄	250	+	+	+
KCl	250	+	+	+
Fe-EDTA	50	+	+	+
MnCl ₂ ·4H ₂ O	2	+	+	+
H ₃ BO ₃	1	+	+	+
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.1	+	+	+
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.02	+	+	+
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.02	+	+	+
Thiaminehydrochloride	10	+	+	—
Pyridoxinehydrochloride	1.0	+	+	—
Nicotinic acid	1.0	+	+	—
Casein	1,000	+	+	—
Inositol	200	+	+	—
Glysin	20	+	+	—
Naphthalene acetic acid	0.5	1.0	1.0	—
6-Benzylamino purine	1.0	1.0	0.5	—
Sucrose	2,500	+	+	—
Agar	7,000	—	+	—
pH value		4.8~5.5		

Hitachi HS-7S형 전자현미경으로 세포벽의 구조를 비교, 관찰하였다.

3) 세포벽의 분석

세포벽 및 그 분획물 추출은 Anderson(1961), Thornber(1961), King(1963), Ito(1963) 및 Roy 등 방법을 참고하였다(Fig. 1).

① 탄수화물

각 구에서 분석용 세포벽 1g씩을 취하여 80°C 증류수에서 공경 20~30 μ 의 glass filter로, 2회 여과 추출하여 그 여액을 hot water soluble pectin으로, 그 잔사들 0.25% oxalic acid 50ml와 0.25% ammonium oxalate 50ml로 glass filter하며 추출하여 그 여액을 oxalate soluble pectin으로, 그 잔사에 증류수 100ml

를 가하고 85°C에서 매시간 Na-hypochloride 1g과 acetic acid 1ml를 가하면서 4시간 glass filter 한 후 여액을 투석시켜 산화 lignin으로, 그 잔사에 24% K-hydroxide 100ml를 가하여 실온에서 3시간 glass filter 시켜 잔사를 증류수와 90% ethanol로 세척한 것을 cellulose로, 그 여액을 acetic acid로 산성화 한 후 99% ethanol 100ml를 가하여 1주야 냉암소에 두었다가 원심분리한 잔사를 hemicellulose로 분리하여 각 분획물을 80°C에서 24시간 건조시켜 건물 중량을 평량하였다.

② 단백질

각 구에서 분석용 세포벽 500mg을 취하여 micro-Kjeldal법에 의해 비색 적정하여 N×6.25로 cell wall양을 측정하였다.

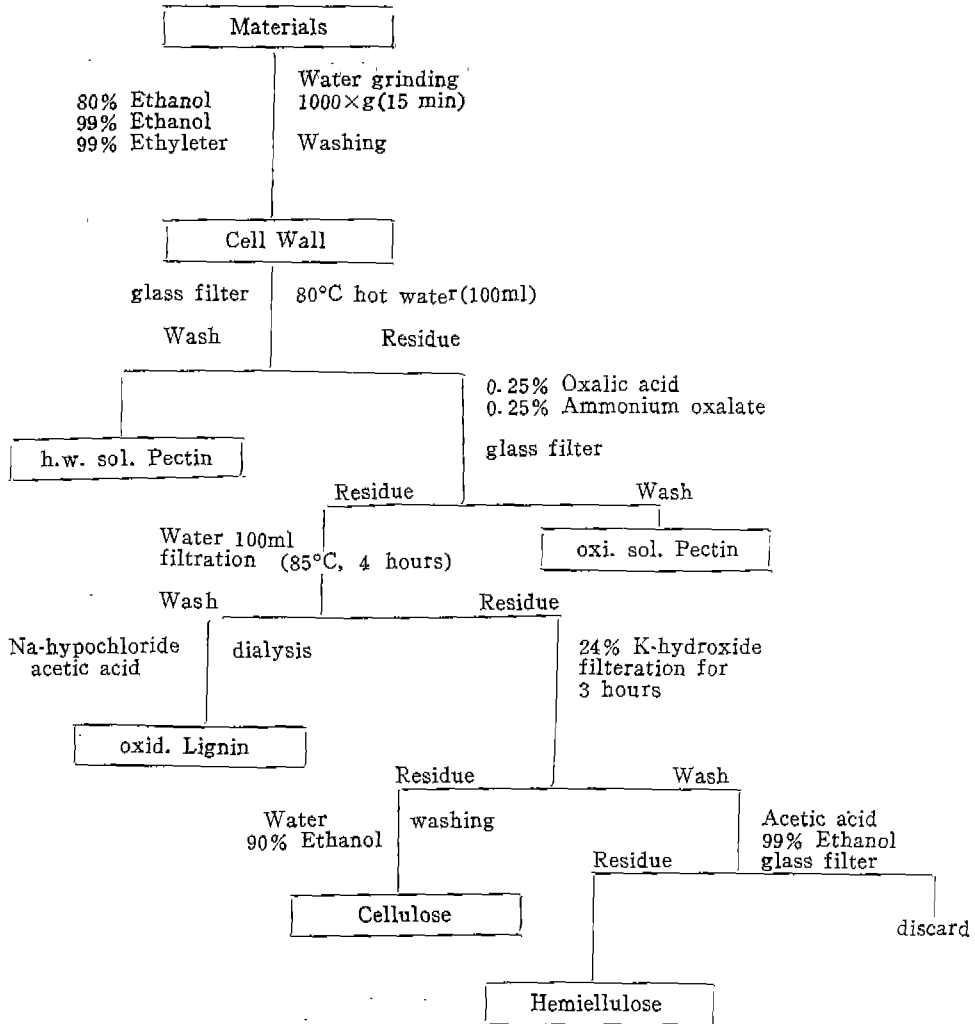


Fig. 1. A Summary of Cell wall Extraction and the Fractionation of the Cell wall Component.

결 과

외적 결핍 증후

Flask내에서 분화하는 양란은 결핍구에서 necrosis 등의 특별한 외부 형태상의 결핍 증후는 나타나지 않았다(Plate 1).

수경재배시 결핍구에서 양란에 일차적으로 나타나는 변화는 뿌리에서 먼저 나타났다. 생육 13일이 경과되면서 차츰 뿌리에서 갈변화 현상이 나타나기 시작하였으며 새로이 발생한 뿌리는 생육은 왕성치 않았으나 신생뿌리의 갈변화 현상은 생육 30일이 경과하기 까지 나타나지 않았고 간혹 root tip 끝부분에 갈색 반점이 나타나는 것도 있었다(Plate 2).

결핍구에 있어서 양란의 잎은 생육 21일을 전후하여 변화가 나타나기 시작하였다. 엽맥을 중심으로하여 그 주변부에 상하로 갈색의 necrosis 현상이 나타나기 시작하였는데 이러한 증상은 근경으로부터 5~7cm부위에서 산발적으로 엽맥을 따라 나타나기 시작하여 생육 30일 경과 후에는 길이 1.5~3.0cm, 넓이 0.5~1.0cm 정도로 확장되었고 그 정도가 심한 부위에서는 잎 곳곳에 엽맥을 따라 균열도 나타났다(Plate 3).

생장률 조사

Table 2에서와 같이 잎의 생장은 매조구에서 생육 15일에 7.7%로 최고 생장률을 나타냈으며 그 후 차츰 감소하는 경향을 보여 생육 30일에는 1.9%로 저하되었고 결핍구는 생육 15일에 4.9%로 최고 생장률을 나

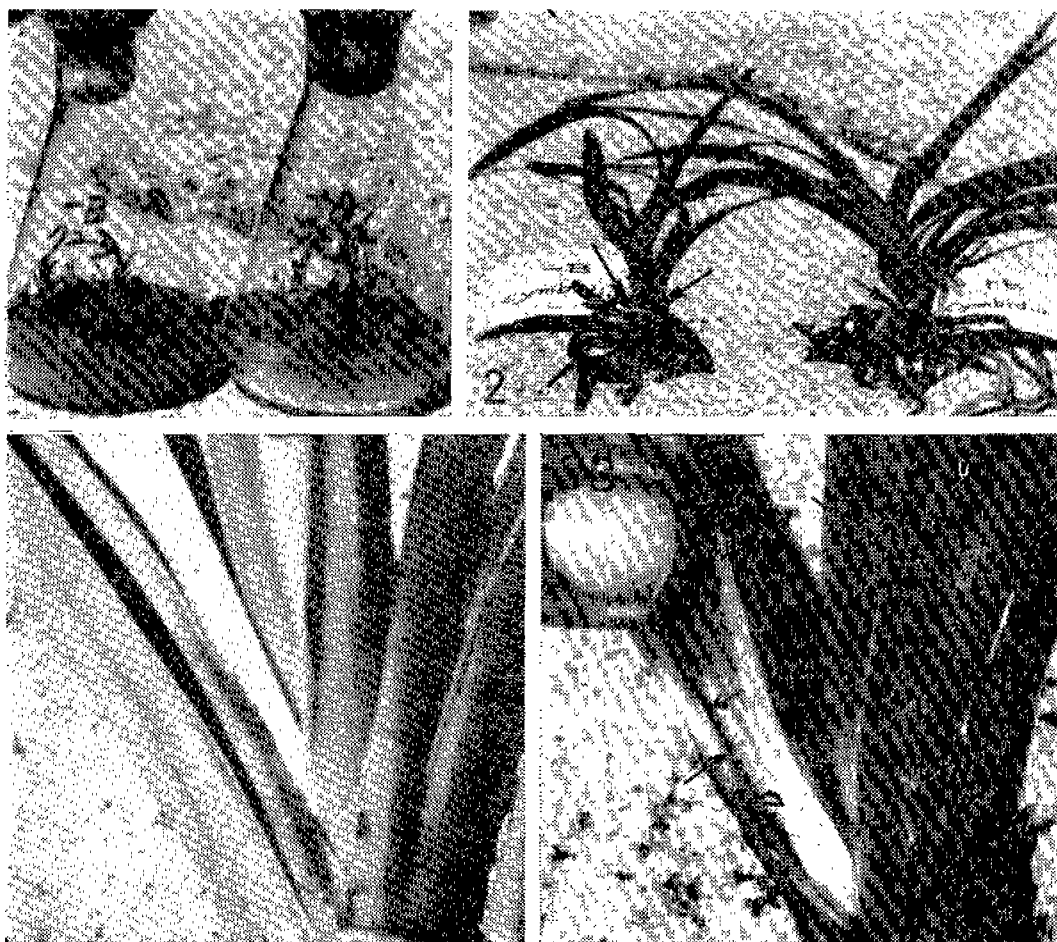


Plate 1. Agar media culture of Orchid on Boron: left B-deficient, right Normal.

2. Water culture of Orchid on Boron: left B-deficient, right Normal (←new roots).

3. Photographs of leaf extension region in Water culture of Orchid : 3A. Normal, 3B. B-deficient, (ne) necrosis part.

타냈다. 그 후 급격히 감소되어 생육 30일에는 1.1%의 낮은 성장률을 나타내어 생육 30일에는 대조구에 대하여 8.4%의 성장결손을 나타내었다.

이에 따라 잎의 누가생장량은 Fig. 2에서와 같이 결핍구는 대조구보다 앞서 생육 30일에는 logarithmic phase에서 stationary phase로 전환되는 징후를 나타내기 시작하였다.

한편 Table 3에서와 같이 뿌리의 성장은 대조구에서 생육 30일에 최초로 성장률 저하를 나타냈으며 결핍구는 그 보다 앞서 생육 24일에 성장률 저하를 나타내기 시작하여 그 이후 대조구에 비해 급격히 감소하는 경향을 보였고 Fig. 3에서와 같이 생육 30일에 성

장률 3.6%로 대조구에 대하여 15.4%의 성장결손을 나타냈다.

세포벽의 전자현미경적 구조

붕소 결핍구의 양한 세포벽 구조는 agar media culture나 water culture와 마찬가지로 대조구에 대해 구조적 차이를 나타냈다. 대조구는 세포벽 표면이 평활하고 균일하게 나타났던 반하여(Plate 4A, 5A) 결핍구는 세포벽의 이상 비후와 함께 비교적 뚜렷이 middle lamellae 층의 굴곡이 나타났고 세포벽의 표면은 산발적인 돌출로 인하여 거칠고 불균일하게 나타났으며(Plate 4B, 5B) 특히 수경재배한 개체의 necrosis

Table 2. Variation of the Leaf growth rate on Boron of Orchid (%)

day	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
growth rate										
+ Boron	2.8	3.4	5.3	6.3	7.7	5.5	4.7	2.5	2.4	1.9
- Boron	2.1	2.8	4.0	4.5	4.9	4.1	3.4	2.2	1.6	1.1

Table 3. Variation of the Root growth rate on Boron of Orchid (%)

day	6	12	18	24	30
growth rate					
+ Boron	4.3	5.5	9.1	10.7	9.5
- Boron	2.9	5.6	6.6	3.7	3.6

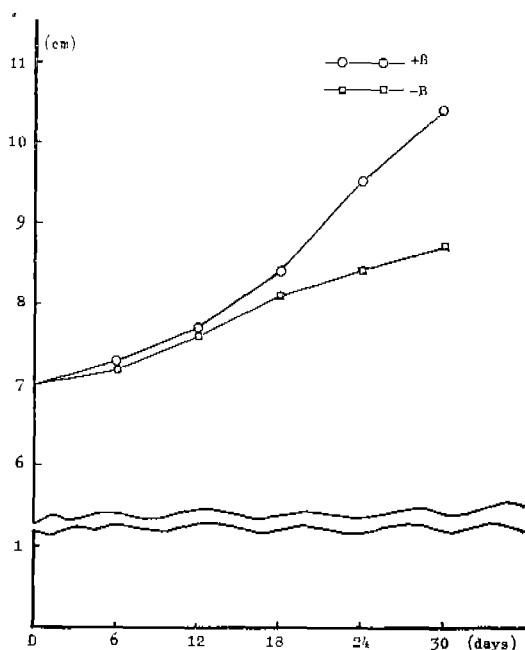


Fig. 2. Effect of Boron on the Leaf growth of Orchid.

부위의 세포벽은 심하게 파괴된 것도 나타났다.

분획 조성

단위 시료당 건물 중량은 대조구 13.95%, 결핍구 14.05%로 결핍구에서 상대적 증가를 나타냈고 세포벽의 양도 대조구 10.28%, 결핍구 10.61%로 다소 결핍구에서 증가하는 경향을 보였다(Table 4).

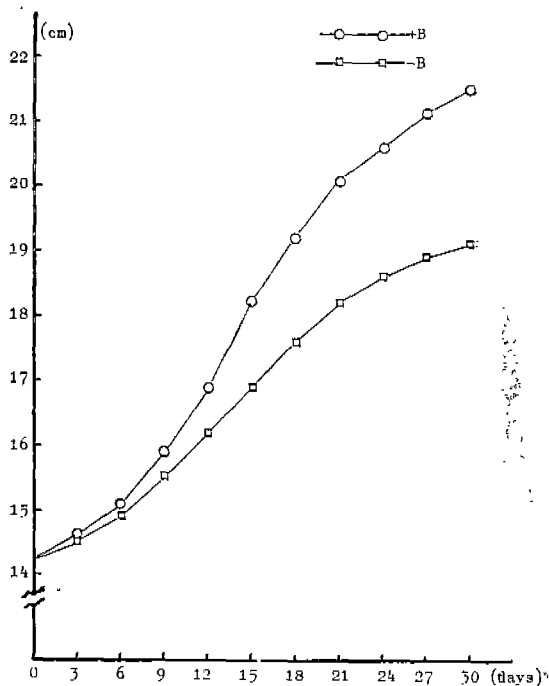


Fig. 3. Effect of Bron on the Root growth of Orchid.

세포벽 분획 조성은 주로 pectin과 protein에서 차이를 보였다. Fig. 4에서와 같이 대조구에서 hot water soluble pectin, oxalo soluble pectin과 hemicellulose의 조성비가 각각 2.9%, 6.7%, 5.9%인데 비하여 결핍구에서는 3.7%, 11.4%, 8.6%로 특히 oxalate soluble pectin이 결핍구에서 증가를 보였고 단백질은 각각 6.9%, 3.4%로 결핍구에서 감소를 나타냈으며

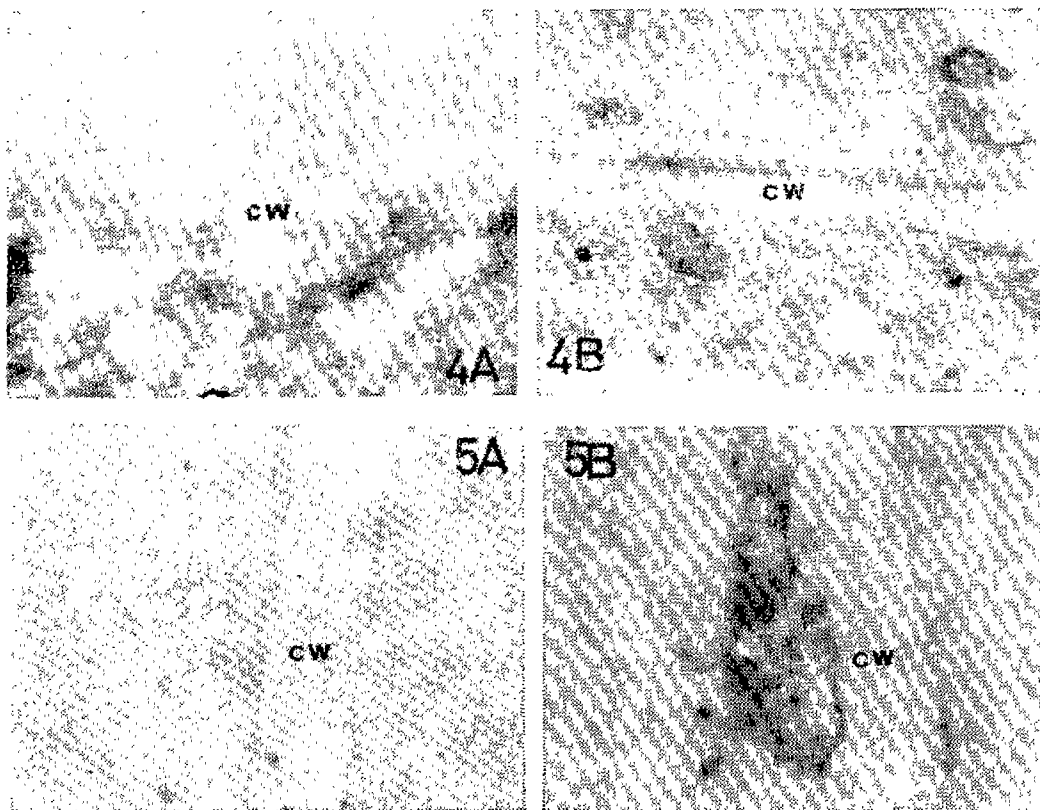


Plate 4. Electron micrographs of cell wall (cw) in leaf extension region (Agar media culture):
 4A. Normal, 4B. B-deficient ($\times 25,000$).
 5. Electronmicrographs of cell wall (cw) in leaf extension region (Water culture): 5A.
 Normal, 5B. B-deficient ($\times 22,000$).

Table 4. Dry weight and cell wall percentage of leaf tissue

	+Boron	-Boron
dry weight of leaf %	13.95	14.05
cell wall %	10.28	10.61

lignin과 cellulose는 조성비에 큰 변화를 나타내지 않았다(Fig. 4).

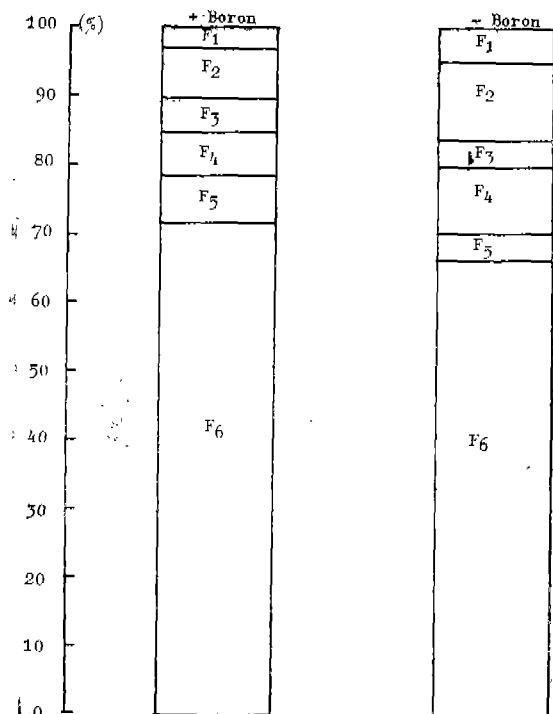
고찰

Flask내에서 분화시킨 결핍구의 양란은 외관상 분화 이후 생육 저하를 나타냈으나, 일반적 붕소 결핍증인 necrosis는 일어나지 않아 agar media culture시 분화 및 초기 생육에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각되

나 생육 후기의 생육저하 및 전자현미경적 관찰 결과 세포벽구조 이상을 나타내는 것으로 보아 어느 정도 붕소 결핍의 영향을 받는 것이라 추측된다.

수경재배한 결핍구의 양란은 잎과 뿌리 모두에서 생장저하를 나타냈으나 특히 뿌리에서 생육 30일에 15.4%로 일제 비배 온 생장 결손을 나타냈고 Table 5, 6에서와 같이 일제 생육 24일에 대조구와 결핍구에서 유의성이 나타나고, 뿌리에서는 생육 18일에 유의성이 나타난 것으로 보아 Torssell(1956)의 견해대로 붕소는 뿌리의 생육에 보다 영향이 큰 것으로 추측된다.

또한 일반적 붕소 결핍증인 necrosis증후 역시 뿌리에서 먼저 발생하여 5~10일 경과후 잎의 신장부에서도 나타나 차츰 확장되었으며 심한 경우 엽맥을 따라 균열도 나타났는데 이것은 심한 necrosis와 통도조직의 경화 즉 세포벽의 이상 비후와 경화에 따른 유연성의 결여라 생각된다.



F₁: hot water soluble pectin
 F₂: oxalate soluble pectin F₃: lignin
 F₄: hemicellulose F₅: protein
 F₆: cellulose and unaccounted for

Fig. 4. Cell wall Components of leaf tissue.

또한 일반적으로 Lee(1967) 등이 지적한 바와 같이 봉소 결핍시 식물체내 phenolic compound의 양이 증가되고 이것이 Noguchi(1957) 등의 견해처럼 양란의 necrosis 원인이 되는 것으로 생각되며 이러한 phenolic compound 중 mono-phenolic compound는 특히 IAA oxidase의 cofactor로 작용하므로(Leopold, 1975) 이것이 necrosis와 뿌리 및 잎의 생육 저해 요인의 하나일 것으로 생각된다.

전자현미경 관찰시 봉소 결핍구의 세포벽 구조는 agar media culture나 water culture 모두 세포벽 표면이 불균일하게 나타났는데 이것은 Starck(1963), Hiroshi(1975) 등의 실험 결과와 일치하며 그들의 결과에 비해 세포벽의 굵기가 비교적 심하지 않은 것은 양란의 봉소 요구도가 적기 때문이다 생각된다. 또한 봉소 결핍시 건물 중량과 세포벽 양의 증가는 Wilson, Roy 등의 보고와 일치하는데 이것은 실험 결과에 비추어 pectic substance 및 hemicellulose의 증가와 관련이 깊다고 생각되며 이것이 봉소 결핍시 탄백질의 감소와 함께 세포벽 구조 변화에 영향을 미치는 요인이라 생각된다.

摘 要

양란의 봉소 대사 특히 세포벽 형성 및 탄력 구성에 미치는 영향에 대한 본 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 5. Variation of the Orchid leaf growth on Boron (cm)**

day	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
+Boron	14.2	14.6	15.1	15.9	16.9	18.2	19.2	20.1	20.6	21.1	21.5
S.E.	±0.79	±0.84	±0.87	±0.87	±1.04	±1.05	±1.24	±1.12	±1.06*	±0.92*	±0.87
-Boron	12.4	12.6	13.0	13.5	14.1	14.7	15.3	15.8	16.2	16.5	16.6
S.E.	±2.82	±2.80	±2.81	±2.85	±2.90	±2.92	±2.94	±2.92	±2.95*	±2.95*	±2.93*

Table 6. Variation of the Orchid root growth on Boron (cm)**

day	0	6	12	18	24	30
+Boron	7.0	7.3	7.7	8.4	9.5	10.4
S.E.	±0.88	±0.79	±0.67	±0.75*	±0.75*	±0.95*
-Boron	5.6	5.8	6.1	6.5	6.7	6.9
S.E.	±1.04	±1.07	±1.14	±1.18*	±1.17*	±1.10*

** : Mean ± S.E.M.

* : 0.01 < P < 0.05 : compared with the control group (leaf and root) by the student's t-test. Other values are not significant (P > 0.05) compared with the control group.

얻었다.

1. 붕소는 미량으로 특히 뿌리의 생육에 영향을 미친다.
2. 양란의 외관적 붕소 결핍증은 특히 잎에서 나타나 necrosis와 함께 잎의 균열을 초래하였다.
3. 붕소 결핍시 전자현미경상으로 양탄 신장 부위의 세포벽 표면이 불균일하게 변화되었다.
4. 붕소 결핍시 잎 신장 부위의 건물 증량과 세포벽 양이 증가되었다.
5. 붕소 결핍시 세포벽 분획 조성 중 특히 pectic substance가 증가되었고 protein이 감소하였다.

따라서 붕소 결핍은 외관적 necrosis와 함께 세포벽 분획 조성에 이상을 초래하며 그 결과 세포벽의 비후와 세포분열 저하를 초래하여 양란의 생육 저해와 세포벽 구조 이상을 초래하는 것이라 추측된다.

REFERENCES

- Albert, L.S. and C.M. Wilson. 1961. Effect of boron on elongation of Tomato root tips. *Plant Physiol.* 36: 244—251.
- Albert, L.S. 1965. Ribonucleic acid content, boron deficiency symptoms and elongation of tomato root tips. *Plant Physiol.* 40: 649—654.
- Albert, L.S. and C.M. Wildon. 1966. Effect of boron on elongation of tomato root tips. *Plant Physiol.* 37: 244—251.
- Anderson, D.M.W. and N. J. King. 1961. *Biochem. Biophys. Acta.* 52: 441.
- Anderson, D.M.W. and N. J. King. 1961. *Ibid.* 52: 449.
- Askew, H.O. 1935. The Boron Status of fruits and leaves in relation to "Internal Cork" of apples in the Nelson district. *New Zealand J. Sci. Technol. A.* 17: 388—391.
- Baer, J. 1971. Advantages and Disadvantages. *Am. Orchid Soc. Bull.* 40: 868—873.
- Bernard, N. 1909. L'évolution dans la symbiose. Les Orchidees et leur Champignons Commensaux. *Ann. Sci. Botany.* 9: 1—196.
- Brown, J.C. and J.E. Ambler. 1969. Characterization of boron deficiency in soybeans. *Plant Physiol.* 22: 177—185.
- Churchill, M.E., J. Arditti and E.A. Ball. 1971. Clonal propagation of Orchids from leaf tips. *Am. Orchid Soc. Bull.* 40: 109—113.
- De Turk, E.E. 1941. Plant mineral deficiency symptoms in legumes. In: G. Hambidge, ed.: Hunger signs in Crops, pp.241—266, American Society of Agronomy and National Fertilizer Society, Washington D.C.
- Dutta, T.R. and W.J. McIlrath. 1964. Effect of boron on growth and lignification in sunflower tissue and organ cultures. *Bot. Gaz.* 125: 89—96.
- Hiroshi, K. and K. Kikuo, 1975. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips, particularly on morphology of cell wall and its related organelles. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21(2): 137—150.
- Holtum, R.E. 1953. Flora of Malaya-Orchid. Government Printing Office.
- Ito, A. and A. Fujwara. 1963. *Plant Cell Physiol.* 8: 409.
- Keegstra, K., K.W. Talmadge, W.D. Bauer and P. Albersheim. 1973. The structure of plant cell walls III. A Model of the walls of suspension-cultures sycamore cells based on the interconnections of the Macromolecular components. *Plant Physiol.* 51: 188—196.
- King, N.J. and S.J. Bayley. 1963. *Can. J. Bot.* 41: 1141.
- Knudson, L. 1922. Nonsymbiotic germination of orchid seeds. *Bot. Gaz.* 73: 1—25.
- Lec, S.G. and S. Aronoff. 1966. Investigation on the role of boron in plant. II. Anatomical observations. *Plant Physiol.* 41: 1570—1577.
- Lee, S. and S. Aronoff. 1967. Boron in Plants: A Biochemical Role. *Science.* 159: 798—799.
- Leopold, A.C. and P.E. Kriedemann. 1975. *Plant Growth and Development.* 2nd ed. pp. 115—116, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi.
- Lindemann, E.G.P. 1967. Thesis, Rutgers Univ.
- Lindemann, E.G.P., J.E. Gunckel and O.W. Davidson. 1970. Meristem culture of Cattaya. *Am. Orchid Soc. Bull.* 39: 1002—1004.
- Morel, G. 1960. Producing virus-free Cymbidiums. *Am. Orchid. Soc. Bull.* 29: 495—497.
- Noguchi, Y. and T. Sugawara. 1957. Review of Potassium Research in Japan. 58—70.
- Northen, R.T. 1976. Orchids as House plants. pp. 21—38. 2nd ed. Dover Publications Inc. New York.
- Palser, B.F. and W.J. McIlrath. 1956. Responses of tomato, turnip and cotton to variations in boron nutrition II. Anatomical responses. *Bot. Gaz.* 118: 53—71.
- Reinert, J. and Y.P.S. Bajaj. 1977. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, ed. pp. 44. Springer-Verlag, New York.
- Roy, T.T., F.K. Hille and H. E. Clark. 1966. Requirement of ginkgo pollen-derived tissue cultures for boron and effects of boron deficiency. *Plant Physiol.* 41: 815—820.
- Shive, J.W. 1945. *Soil Sci.* 60: 41—52.
- Skok, J. 1956. Relationship of boron nutrition to radiosensitivity of sunflower plant. *Plant Physiol.* 31 (Suppl.). XII.
- Skok, J. 1957a. Relationship of boron nutrition to radiosensitivity of sunflower plant. *Plant Physiol.* 32: 648—658.
- Skok, J. 1957b. The substitution of complexing substances for boron in plant growth. *Plant Physiol.* 32: 308—312.
- Spurr, A.R. 1957. The effect of boron on cell wall structure in cellery. *Am. J. Botany.* 44: 637—650.
- Starck, J.R. 1963. Effect of boron on the cell wall structure of Sunflower. *Acta. Soc. Bot. Pol.* 32: 619—623.
- Thorner, J.P. and D.H. Northcote. 1961. *Biochem. J.* 81: 449.
- Torsell, K. 1956. "Chemistry of arylboric acids. V. Effects of arylboric acids on wheat roots and the role of boron in plants. *Physiol. Planta.* 9: 642—664.
- Vajrabhaya, M. and T. Vajrabhaya. 1970. *Am. Orchid Soc. Bull.* 39: 907.
- Wallace, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in Plants (A colour atlas and guide). 3rd ed. H.M. Stationary Office, London.
- Wilson, C.M. 1961. Cell wall carbohydrates in Tobacco pith parenchyma as affected by boron deficiency and by growth in tissue culture. *Plant Physiol.* 36: 341—366.

(1979년 2월 23일 접수)