

## 영양생장기 습해 처리에 따른 콩 품종의 해부형태학적 특성 비교

이충열\* · 조진웅\*\*†

\*부산대학교 생명자원과학대학, \*\*충남대학교 농업생명과학대학

### Comparisons in Anatomical Morphology Between Soybean Cultivars of Different Flooding Tolerance under Early Vegetative Flooding Conditions

Lee Choong Yeul\* and Cho Jin-Woong\*\*†

\*Plant Bioscience, College of Natural Resource & Life Science, Pusan National Univ., 627-706, Korea

\*\*Div. of Plant Sci. & Resources, Collage of Agricultural & Life Science, Chungnam National Univ. 305-764, Korea

**ABSTRACT** To characterize flooding-affected anatomical morphology changes in soybean, flooding-tolerant cv. Pungsannamulkong (PSNK) and flooding-sensitive cv. Sobaeknamulkong (SBNK) at 5 trifoliolate leaf stage were exposed to flooding by maintaining tap water 2 cm above soil surface for 9 days and resultant microscopic anatomical changes in leaf and hypocotyl cross-sections along with chlorophyll content and photosynthetic rate changes were compared. Flooding-sensitive SBNK exhibited more significant decrement in chlorophyll content, photosynthetic rate, number of palisade parenchyma, and leaf dry matter compared to cv. PSNK. Flooding decreased fineness of palisade parenchyma, while inducing wider xylem vessel, especially in PSNK. The aerenchyma formation in hypocotyls under flooding could be observed only in flooding-resistant PSNK. All these anatomical changes seems to be related with higher physiological activity and resultant resistance against flooding in PSNK compared to flood-sensitive PSNK.

**Keywords** : soybean, flooding, palisade parenchyma, aerenchyma

우리나라의 콩 재배면적은 단위면적당 수량과 수익이 매우 낮으며 기계생력화 재배기술이 열악하여 1970년 297,000 ha에서 2000년 약 85,000 ha로 급격히 감소하였고(농림부, 2005) 이로 인하여 콩 자급율은 1990년 64.9%에서 2005년에 29.8%로 급격히 감소한 실정에 있다(농림부, 2006). 따라서 우리나라 콩 자급율 향상을 위하여는 단위면적당 수량 증대가 필수적이며, 이에 따른 우량품종 개발과 재배면적

확대 및 재배기술 개발은 매우 중요하다.

최근 우리나라에서는 연간 쌀 소비량이 1990년 약 120 kg에서 2005년 80.7 kg으로 급격히 감소함에 따라 쌀 과잉 생산의 억제와 콩 자급율 제고 대책의 일환으로 논에서의 콩 재배를 적극 권장하고 있다(농림부, 2006; Cho *et al.*, 2006). 그러나 콩은 산소요구도가 높고 토양수분에 매우 민감한 작물이어서 지하수위가 높은 논에서 재배할 시에는 습해의 우려가 매우 크며 특히, 7~8월 장마기간엔 더욱 큰 피해를 받을 가능성이 매우 높다.

콩 습해는 초기영양생장기(V3-5)와 초기 생식생장기(R1-5)시기에 주로 발생하고 있으며(Linkemer, 1998; Boyer, 1982), 2일 이상의 과습은 수량감소가 나타나는데 특히 협당립수와 개체당 립수의 감소가 가장 큰 요인으로 알려져 있다(Griffin & Saxton 1988). 콩 습해 발생원인은 뿌리 호흡에 필요한 산소 부족이 주 원인이며, 이에 따라 질소와 무기양분 흡수를 저하시키며 뿌리생장과 근류형성을 억제시키고 나아가서는 질소와 여러 가지 양분의 지상부로의 전류가 불량하여 황화 및 발육저해를 일으키는 것으로 알려져 있다(Grable, 1966; Russel, 1977; Sallan & Scott, 1987).

일반적으로 습해에 대한 식물들의 반응은 생화학적, 형태적 그리고 구조적 변화를 일으키는데 줄기 기저부나 뿌리의 피목 발달, 내부 통기발달 그리고 부정근 출현 등의 변화가 일어나며 Jackson & Armstrong(1999)은 담수조건에서 야생종 돌콩은 재배종에 비하여 백색스폰지상의 조직부터, 2차 분열조직 및 2차 통기조직 등이 발달하여 뿌리로의 산소 공급을 원활하게 유지시켜 야생종이 재배종보다 생육을 좋게 유지된다는 중요성을 지적한 바 있다.

따라서, 본 연구는 국내에서 육성된 품종 중에서 내습성이 상이한 콩 품종(Cho & Yamakawa, 2006)들을 이용하여

†Corresponding author: (Phone) +82-042-821-5725

(E-mail) jwcho@cnu.ac.kr <Received July 26, 2007>

습해에 따른 콩 기관별 구조적 변화와 광합성 차이를 측정하여 내습성요인을 밝혀 습해의 저항성품종을 육성하는데 기초적인 자료를 제공하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 내습성이 강한 풍산나물콩과 내습성이 약한 소백나물콩을 이용하여 1/2000a 와그너 포트에 각각 포트 당 2개체씩 파종하였다. 습해 처리는 5엽기에 9일간 포트 상면 2 cm 정도까지 수분을 공급하여 습해처리를 하였다. 시비는 10 a 당 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O를 3 : 3 : 3.4 kg 수준으로 전량 기비하였다.

엽록소함량은 생체 잎 0.5 g에 MgCO<sub>3</sub>를 약간 넣고 80% acetone 15 ml로 마쇄하여 원심분리 한 후 그 상정액을 분광광도계(Shimadzu uv-120-02, Japan)를 이용하여 652 nm 의 파장에서 측정한 후 Yoshida *et al.*(1972)의 방법으로 환산하여 구하였다. 광합성은 휴대용 광합성 측정장치(LCA4, ADC Co. Ltd.)을 이용하여 오전 10:00~11:00시 사이에 제 4엽의 중앙소엽을 대상으로 약 1300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR (Photosynthetically active radiation)에서 5반복 측정하였다.

해부 형태학적 특성은 잎과 배축을 조사하였으며, 잎은 엽맥과 잎을, 배축은 지표면에서 약 1~2 cm 부분을 대상으로 하였다. 각 부위를 채취하여 FAA(formalin : acetic acid : 95% ethanol : distilled water = 1 : 0.5 : 5 : 3.5)용액 내에서 탈기한 후 고정시킨 다음, 고정된 재료를 ethanol series로 탈수과정을 거친 후 파리핀으로 포매하였다. 포매된 재료를 rotary microtome을 이용하여 10  $\mu\text{m}$  두께의 연속절편을 만들어 gelatin으로 코팅한 슬라이드그라스에 그 절편을 접착시키고, 1% hematoxylin과 0.5% safranin으로 염색하였다. 염색된 절편을 permount로 봉입하여 영구표본으로 만들어 광학현미경(Olympus BX 40, Japan)으로 관찰하였다.

## 결과 및 고찰

초기영양생장기인 5엽기에 9일 동안 담수조건에서 내습성 품종인 풍산나물콩과 감수성 품종인 소백나물콩의 엽록소 함량은 습해에 의해 감소되었다. 무처리외의 엽록소 함량은 풍산나물콩이 2.30  $\text{mg g}^{-1}$ , 소백나물콩은 2.40  $\text{mg g}^{-1}$ 을 보였으며, 습해는 풍산나물콩이 1.82  $\text{mg g}^{-1}$ 로 무처리보다 약 21% 감소되었고, 소백나물콩은 약 29% 엽록소 감소를 보였다. Cho *et al.*(2006)은 나물콩이 초기영양생장기에 습해를 받을 경우 엽록소 함량 감소는 담수 1일 후부터 영향을 받는다고 하는데 품종간에 차이가 있으며 내습성 품종이 감수성 품종보다 엽록소 함량 감소 정도가 낮다는 보고와 비슷한 결과를 얻었다.

습해를 받을 경우 광합성 역시 감소되었는데 감소되는 정도는 감수성 품종인 소백나물콩이 무처리의 54% 수준으로 풍산나물콩의 80%보다 더 크게 감소하였다(Table 1). 광합성은 습해를 받을 경우 가장 빠르게 반응하는 하는데 일반

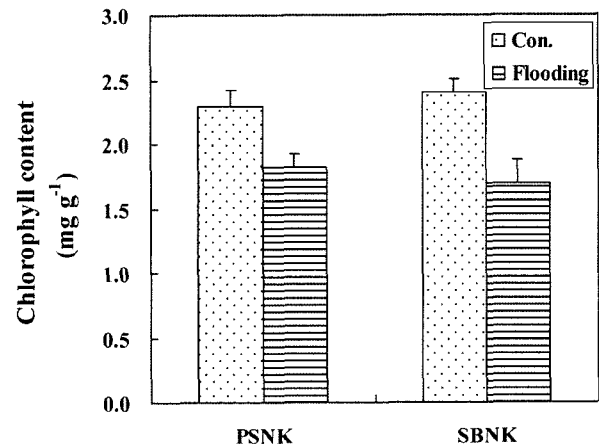


Fig. 1. Chlorophyll content of two soybean cultivars with for 9 days flooding stress at 5 trifoliolate leaf stage. PSNK; Pungsannamulkong, SBNK; Sobaeknamulkong. Vertical bars were indicated in standard error.

Table 1. Photosynthetic rate and leaf morphological traits of soybean cultivars as affected by flooding at early vegetative growth stage

Cultivars	Treatment	Photosynthetic rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Palisade parenchyma (no. 1000 $\mu\text{m}^{-2}$ )	Leaf thickness ( $\mu\text{m}$ )	Leaf dry matter ( $\text{g plant}^{-1}$ )
PSNK	Con.	22.5	17	227.8	0.84
	Flooding	17.9	12	209.3	0.74
SBNK	Con.	23.4	22	213.8	0.89
	Flooding	12.7	10	189.1	0.67

적으로 침수 1일 후부터 광합성율이 급격히 감소된다고 한다(Ahamed *et al.*, 2002). Yordanova & Popova(2001)은 침수 후 3일째부터 유의한 광합성율 감소를 보이며, 이와 같이 습해에 의한 광합성율 감소는 기공폐쇄, CO<sub>2</sub> 공급량 감소, CO<sub>2</sub> 고정력 감소 및 식물체내로의 확산 등이 저해를 받아 광합성율이 감소한다고 보고하였다. 또한 습해를 받은 콩에 있어서 광합성율 역시 품종간에 많은 차이를 보이고 있는데 내습성인 소원콩은 감수성인 한남콩보다 광합성 감소정도가 적다는 것(Cho *et al.*, 2006)과 비슷한 결과를 얻었다. 잎의 조직 중 책상조직의 유조직수를 볼 때 풍산나물콩은 무처리와 1,000  $\mu\text{m}^2$  당 17개에서 9일간 침수피해를 받을 때 12개로 약 30% 정도 감소되었지만 감수성인 소백나물콩은 약 55% 감소를 보여 광합성율 감소가 더 크게 나타났다고 생각되며, 또한 잎의 두께 역시 감수성 품종인 소백나물콩이 더 크게 감소함을 알 수 있다(Table 1). 잎의 두께와 광합성율의 관계는 잎의 두께가 두꺼운 품종이 얇은 품종보다 광합성율이 높다고 알려져 있는데(Kim *et al.*, 2003) 본 시험 결과 습해에 의한 잎 두께 감소폭이 큰 소백나물콩의 광합성율의 감소폭이 큰 이유 중 하나가 잎 두께가 상대적으로 더욱 얇아진데 그 원인 중 하나인 것으로 생각되었다. 또한, 개체당 잎 건물중 역시 습해에 의해 감소되었으며 감수성 품종인 소백나물콩의 감소폭이 더 크게 나타났다.

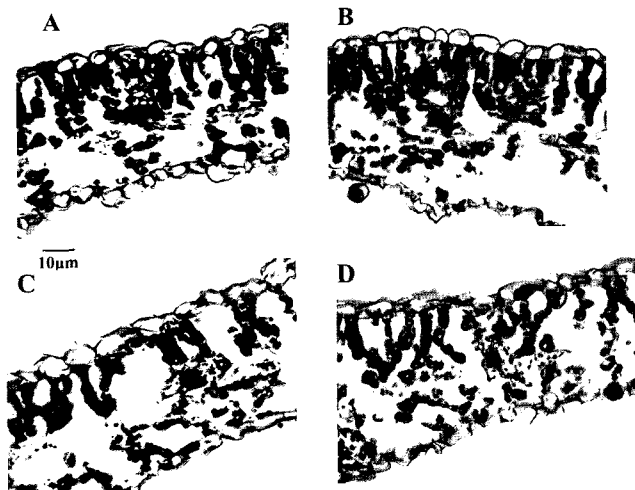


Fig. 2. Cross-section of middle leaflet of flooding-sensitive (cv. Sobaeknamulkong; A, C) and flooding-tolerant (cv. Pungsannamulkong; B, D) soybean cultivars under flooding(C, D) or control (A, B) condition.

한편, 습해를 입은 콩잎의 횡단면을 살펴본 결과 무처리인 두 품종 모두 책상조직이 치밀하게 배열된 것을 관찰할 수 있었지만 9일 동안 침수 피해를 받은 콩 잎의 책상조직은 배열상태가 무처리에 비하여 치밀하지 못하였으며 습해를 받은 소백나물콩 잎의 책상조직(Fig. 2. C)이 풍산나물콩의 그것보다 치밀하지 못함을 관찰 할 수 있었다(Fig. 2). Kim *et al.*(2003)은 나물콩 품종 중 책상조직의 배열이 치밀하게 배열되어 있는 품종이 광합성율이 높다고 하였는 바, 본 실험 결과 습해를 받은 두 품종 중 책상조직의 배열이 비교적 치밀하게 배열되어 있는 풍산나물콩의 광합성율이 소백나물콩보다 높은 광합성율을 보이고 있다. 일반적으로 광합성과 SLW(specific leaf weight)과 정의 상관을 보이는데(Shibles *et al.*, 1987) SLW가 높다는 것은 잎 조직의 충실도가 높다는 것을 의미할 때 책상조직이 치밀하다는 것은 단위면적당 엽육세포층의 증가에 의한 것으로 생각되며 엽육세포층의 증가는 광합성율이 높아지는 결과를 보인다고 할 수 있다.

한편, 콩 잎의 엽맥 중 주맥을 횡단면으로 절단하여 현미경으로 살펴본 결과 감수성 품종인 소백나물콩의 유관속 조직 중 습해를 받을 경우 사관섬유의 발달함을 관찰할 수 있었으나 풍산나물콩은 무처리와 비교하여 습해를 받아도 사관섬유는 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3). 습해에 의한 목부 형태 변화를 살펴보면 감수성 품종인 소백나물콩은 무처

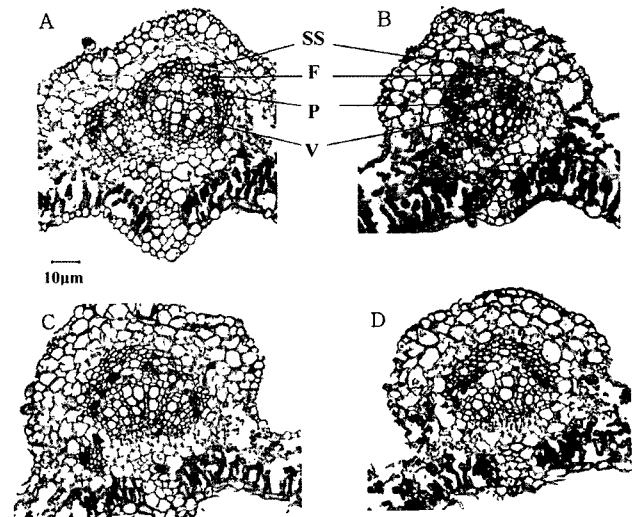
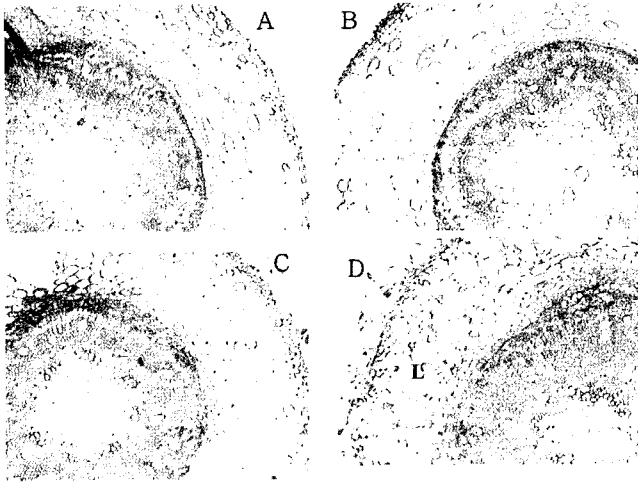


Fig. 3. Cross-section of midvein of middle leaflet of flooding-sensitive (cv. Sobaeknamulkong; A, C) and flooding-tolerant (cv. Pungsannamulkong; B, D) soybean cultivars under flooding(C, D) or control (A, B) condition. Arrows identify starch sheath (SS), phloem fiber (F), phloem (P) and xylem vessels (V).

## 적 요



**Fig. 4.** Cross-section of the hypocotyls of flooding-sensitive (cv. Sobaeknamulkong; A, C) and flooding-tolerant (cv. Pungsannamulkong; B, D) soybean cultivars under flooding(C, D) or control (A, B) condition. L; Lysigenous aerenchyma.

리와 9일간 침수처리간에 큰 차이를 보이지 않지만 풍산나물콩은 주맥의 목부는 습해를 받은 것이 무처리보다 비교적 크기가 큰 것을 관찰할 수 있는데 목부의 역할은 주로 수분의 이동을 담당하여 지하부위가 과습되어 생리적 한해를 받을 경우 수분 이동은 제한되어 목부의 역할이 감소되거나 크기가 작아지는 기계적 장애를 받을 수 있지만 내습성 품종의 특성 증산속도와와의 관계(Cho *et al.*, 2006)를 살펴볼 때 풍산나물콩은 침수조건에서도 수분 이동이 원활 할 것으로 생각된다.

한편, 배축을 관찰하기 위하여 토양 표면에서 약 1~2 cm 부위를 채취하여 횡단면을 살펴본 결과 소백나물콩은 무처리와 침수처리간에 큰 차이를 보이지 않았지만 풍산나물콩은 9일간 침수처리에서 피층 부위에 파생통기조직이 발달한 것을 관찰 할 수 있었다(Fig. 4). 침수조건에서 콩은 통기조직을 형성하지 못하여 습해에 매우 약한 작물로 분류되었지만(Arikado, 1954), 피층에 파생통기조직, 배축의 2차 통기조직이 형성된다고 하여 콩 품종간에도 통기조직의 발달 정도에 따라 내습성 정도가 달라진다는 보고(bacanamwo & Purcell, 1999; Shimamura *et al.*, 2003)와 비교하면 풍산나물콩이 소백나물콩보다 내습성이 강한 품종 이유는 배축에 통기조직이 상대적으로 잘 발달된 것이 원인이라고 생각된다.

본 실험은 내습성 품종과 감수성 품종을 5엽기에 9일간 침수 처리한 후 잎과 배축을 대상으로 횡단면을 해부학적 특성을 광학현미경으로 관찰하여 그 결과 다음과 같다.

1. 엽록소함량, 광합성, 책상조직 수, 엽두께 및 잎 건물중은 습해에 의해 급격히 감소되었으며 풍산나물콩보다 소백나물콩의 감소가 더 많았다.

2. 잎 조직의 책상조직의 치밀함은 습해에 의해 급격히 감소되었고 품종간 차이도 관찰되었으며, 풍산나물콩은 주맥의 통도조직 중 목부의 발달을 볼 수 있었다.

3. 배축의 통기조직 형성은 소백나물콩은 보이지 않았으나 풍산나물콩은 피층에 파생통기조직이 형성되는 것을 볼 수 있었다.

## 인용문헌

- 농림부. 2005. 농림통계연보.  
 농림부. 2006. 농림업 주요통계.  
 Arikado, H. 1954. Different responses of soybean plants to an excess of water with special reference to anatomical observations. *Proc. Crop Sci. Soc. Japen.* 23 : 28-36.  
 Bacanamwo, M. and L. C. Purcell. 1999. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. *Crop Sci.* 39 : 143-149.  
 Boyer, E. M. 1979. Effect of silver ion, carbon dioxide, and oxygen on ethylene action and metabolism. *Plant Physiol.* 63 : 169-173.  
 Cho, J. W., J. H. Ji, and T. Yamakawa. 2006. Comparison of photosynthetic response of two soybean cultivars to soil flooding. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.* 51 : 227-232.  
 Cho, J. W. and T. Yamakawa. 2006. Tolerance differences among small seed soybean cultivars against excessive water stress conditions. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.* 51: 195-199.  
 Cho, J. W., J. J. Lee, Y. J. Oh, J. D. So, J. Y. Won, and C. H. Kim. 2006. Soybean growth and yield as affected by spacing of drainage furrows in paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 51 : 26-31.  
 Grable, A. and R. E. Danielson. 1965. Effect of carbon dioxide, oxygen, and soil moisture suction on germination of corn and soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29 : 12-18.  
 Griffin, J. L. and A. M. Saxton. 1988. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. *Agron. J.* 80 : 885-888.  
 Grimoldi, A. A., P. Insausti, G. Roitman, and A. Soriano. 1999. Responses to flooding intensity in *Leontodon taraxacides*. *New Phytol.* 141: 119-128.  
 Jackson, M. B. and W. Armstrong. 1999. Formation of aeren-

- chyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biol.* 1 : 274-287.
- Linkemer, G., J. E. Board, and Mary E. Musgrave. 1998. Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. *Crop Sci.* 38 : 1579-1584.
- Mochizuki, T., Y. Nada, and M. Fukuyama. 2003. Secondary arechyma formation, growth and yield of soybean plants grown under continuously flooded conditions. *Jpn. J. Crop Sci.* 72 : 25-31.
- Kim, Y. J., K. S. Lee, S. U. Chun, Y. J. Oh, K. H. Kim, J. S. Choi, and M. H. Lee. 2003. Photosynthesis and leaf anatomical morphology on different leaf shape of soybean. *Korean J. Crop Sci.* 48 : 248-251.
- Russell, D. A., D. M. L. Wong, and M. M. Sachs. 1990. The anaerobic response of soybean. *Plant Physiol.* 92 : 401-494.
- Sallam, A. and H. D. Scott. 1987. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. *Soil Sci.* 144 : 61-66.
- Shibles, R., J. Secor, and D. M. Ford. 1987. Carbon assimilation and metabolism. In J. R. Wilcox *et al.* (ed.) *Soybeans : Improvement, production and uses.* Amer. Soc. Of Agron., Madison, WI, pp. 535-588.
- Shimamura, S., T. Mochizuki, Y. Nada, and M. Fukuyama. 2003. Formation and function of seconsary arechyma in hypocotyls, roots and nodules of soybean (*Glycine max*) under flooded conditions. *Plant and Soil.* 251 : 351-359.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1972. *Laboratory manual for physiological studies of rice.* 2<sup>nd</sup> Ed. IRRI.