

## 생식생장기에 지하수위 처리가 콩의 생육과 질소 및 몇가지 양이온 함량에 미치는 영향

박관수\* · 안태환\* · 조진웅\*<sup>†</sup>

충남대학교 농업생명과학대학

### Cation and Nitrogen Contents, and Growth of Soybean against Underground Water Level at Reproductive Stage

Park Gwan-Soo\*, Tae-Hwan Ahn\*, and Jin-Woong Cho\*<sup>†</sup>

\*Collage of Agriculture and life science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to response the growth, seed yield, nitrogen content and different cation content of two soybean, flooding-tolerant cv. Pungsannamulkong (PNSK) and flooding-sensitive cv. Tawonkong (TWK) when these were subjected to flooding stress at R1 stage for cultivation in paddy field. Flooding, underground water levels (UWL) of 0 cm, 10 cm and 40 cm, was experimented from flowering time to harvest time. The dry matter and seed yield of soybean with UWL of 0 or 10 cm declined in comparison with UWL of 40 cm and these were more reduction in TWK than in PNSK. The amount of nitrogen uptake decreased in higher UWL and there was a high significant relationship ( $R^2=0.872$ ) between nitrogen content and seed yield at flooding stress. K content of leaf and stem in soybean plants had a small change with UWL but Ca content had a decrease (leaf and stem) or increase (root). Mn and Fe content were increased at higher UWL and were more in TWK than in PNSK.

**Keywords** : soybean, underground water level, flooding stress, nitrogen uptake, K, Ca, Mn, Fe

논은 기본적으로 물을 가두어지도록 정비되어 있고 지하수량이나 수질의 정화 및 홍수를 방지하는 자연습지를 대신하는 등의 다양한 환경보전 기능을 보유하고 있지만 담수조건에서 재배 가능한 작물은 벼에 한정되어 있다. 최근 우리나라의 1인당 연간 쌀 소비량은 1990년 약 120 kg에서 2007년 77 kg으로 급격히 감소됨에 따라 쌀 과잉생산이 우려되며 또한 상대적으로 대표적 전작물인 콩은 2006년 재배면

적이 90,248 ha로 사료용을 제외한 자급율이 2007년 34.5%에 불과한 실정으로 논에서의 콩 재배는 자급을 향상을 위한 필수불가결하다고 할 수 있다(농림부, 2008). 그러나 콩은 산소요구도가 높고 토양수분에 매우 민감한 작물로 지하수위가 높은 논에서 재배할 때 습해의 우려가 매우 크며 특히, 7~9월 강우가 지속될 경우 더욱 큰 피해를 받을 가능성이 매우 높다(Cho *et al.*, 2006).

콩 습해 발생원인은 뿌리호흡에 필요한 산소 부족이 주 원인이며, 이에 따라 질소와 무기양분 흡수를 저하시키며 뿌리생장과 근류형성을 억제시키고 나아가서는 질소와 여러 가지 양분의 지상부로의 전류가 불량하여 황화 및 발육 저하를 일으키는 것으로 알려져 있다(Cho & Yamakawa, 2006; Grable & Danielson, 1965; Russel *et al.*, 1990; Sallam & Scott, 1987; Won *et al.*, 2006). 콩 습해는 초기영양생장기(V3-5)와 초기 생식생장기(R1-5)에 주로 발생하고 있으며(Linkemer *et al.*, 1998; Boyer, 1979), 2일 이상의 과습은 수량감소가 나타나는데 특히 협당립수와 개체당 립수의 감소가 가장 큰 요인으로 알려져 있다(Griffin & Saxton, 1988). 습해를 받은 콩은 품종간에도 차이가 있는데 Cho & Yamakawa(2006)은 우리나라 나물용 콩 품종들에 대한 내습성 정도를 구분하였으며, 광합성을 비롯한 여러 가지 생리적 특성이 차이가 있고(Cho *et al.*, 2006) 구조적·형태적으로도 내습성 품종은 잎 조직 중 책상조직의 변화가 적고, 주맥의 통도조직 중 목부의 발달과 파생통기조직이 형성되어 뿌리로의 산소공급이 원활하게 유지되어 습해에 따른 수량감소가 비교적 적었다고 하였다(이와 조, 2007; Jackson & Armstrong, 1999).

따라서 본 연구는 개화시(R1)에 지하수위를 달리하여 내습성 및 감수성 콩 품종의 생육과수량 및 몇가지 양분흡수

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5725

(E-mail) jwcho@cnu.ac.kr

<Received May 19, 2009>

에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

분석하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 측면을 열어놓은 비닐하우스에서 실시하였으며 공시 품종은 내습성이 강한 풍산나물콩과 내습성이 약한 다원콩을 이용하여 7 cm × 40 cm × 60 cm의 투명 아크릴 상자를 제작하여 상자당 2개체를 6월 5일에 파종하였으며 토양은 사양토를 사용하였다. 상자 옆면은 검은 비닐을 이용하여 광이 상자 옆면에 조사되는 것을 차단시켰다. 시비는 10a 당 N, P, K를 각각 3, 3, 3.4 kg을 기비로 전량 사용하였으며 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 수행하였다.

습해처리는 콩의 생육과정 중 개화시(R1)에 실시하였는데 500 L 갈색 탱크에 물을 담수한 후 지표면을 기준으로 하여 높이를 0, 10 cm 그리고 40 cm로 조절하여 수확시까지 유지하였으며 지하수위 높이 조절은 매일 아침 9시경에 높이를 살펴본 후 수돗물을 이용하여 조절하였다.

개화기는 다원콩이 7월 25일였으며 풍산나물콩은 8월 6일이었다. 생식생장기 습해에 따른 생육반응을 조사하기 위하여 지하수위 처리를 실시한 후 20일 째에 초장, 건물중, 엽수, 엽면적, 개화수 등의 생육조사를 실시하였다. 건물중은 80°C 조절된 열풍건조기에서 72시간 건조 후 측정하였으며, 엽면적은 엽면적측정기(Li-Cor 3100, USA)를 이용하여 측정하였고, 엽수는 정상적인 3복엽을 1개의 잎으로 정하여 측정하였다.

질소함량은 지하수위 처리 후 20일째에 잎, 줄기 및 뿌리로 구분하여 Kjeldahl 법으로 측정하였으며, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> 등의 무기이온은 HNO<sub>3</sub>로 습식분해 후 무기이온분석기(ICP analyzer, GBC integra XMP, Australia)을 이용하여

## 결과 및 고찰

내습성 품종인 풍산나물콩과 감수성인 다원콩을 개화시에 0, 10 cm, 그리고 40 cm 깊이로 지하수위를 처리 한 후 20일째의 생육을 살펴보면 지하수위가 낮을수록 두 품종 모두 감소하는 경향을 보였다(표 1). 지하수위를 40 cm를 기준으로 했을 때 10 cm와 0 cm 처리의 콩 생육 감소정도를 살펴보면 다원콩은 10 cm 지하수위처리가 초장 13%, 엽수 22% 그리고 엽면적이 24% 감소하였으며 0 cm 지하수위 처리는 초장 24%, 엽수 49% 그리고 엽면적 63%의 감소를 보였다. 풍산나물콩은 10 cm 지하수위처리가 40 cm 지하수위 처리와 비교하여 초장은 15%, 엽수 6% 그리고 엽면적은 27% 감소하였으며 0 cm의 지하수위 처리는 초장 18%, 엽수 24%, 엽면적 37%의 감소를 보였다. 건물중 역시 지하수위가 높을수록 감소하였는데 잎, 줄기, 뿌리가 다원콩의 경우 40 cm의 지하수위 처리와 비교하면 0 cm 처리가 2.0 g, 2.2 g 그리고 1.3 g으로 각각 66%, 65%, 73% 감소를 보였으나 풍산나물콩은 31%, 38% 그리고 43%의 건물중 감소를 보였다. 절수 역시 지하수위가 높음에 따라 감소하는 경향을 보였다. 품종간 비교시 초장과 절수는 고도로 유의한 차이를 보였으며, 엽면적, 엽건물중 및 뿌리건물중이 유의한 차이를 보였다.

지하수위에 따른 수량 및 수량구성요소는 지하수위가 높을수록 감소하는 경향을 보였으며 다원콩이 풍산나물콩보다 감소정도가 더 크게 나타났다(표 2). 협수의 경우 다원콩이 40 cm 처리가 63개였으며 10 cm 및 0 cm 처리는 45와 29개로 각각 29%와 54% 감소하였으며 개체당 종자수 역

**Table 1.** Growth characteristics in two soybean cultivars treated with different underground water level depths for 20 days at R1 stage

| Cultivars    | UWL (cm) | Plant height (cm) | Leaf no. (plant <sup>-1</sup> ) | Leaf area (cm <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup> ) | Dry matter (g plant <sup>-1</sup> ) |      |      | Node no. (plant <sup>-1</sup> ) |
|--------------|----------|-------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|------|------|---------------------------------|
|              |          |                   |                                 |  | Leaf                                | Stem | Root |                                 |
| TWK          | 0        | 53                | 12.3                            | 495  | 2.0                                 | 2.2  | 1.3  | 9.5                             |
|              | 10       | 63                | 18.7                            | 1,018  | 4.4                                 | 5.4  | 2.8  | 11.3                            |
|              | 40       | 72                | 24.0                            | 1,345  | 5.9                                 | 6.2  | 4.8  | 12.4                            |
| PNSK         | 0        | 71                | 18.7                            | 1,227  | 5.3                                 | 4.8  | 2.4  | 13.2                            |
|              | 10       | 73                | 23.3                            | 1,426  | 6.1                                 | 6.2  | 3.2  | 14.4                            |
|              | 40       | 86                | 24.7                            | 1,959  | 7.7                                 | 7.7  | 4.2  | 15.6                            |
| Cultivar (A) |          | **                | ns                              | *  | *                                   | ns   | *    | **                              |
| UWL (B)      |          | **                | **                              | **   | **                                  | **   | **   | *                               |
| A x B        |          | ns                | ns                              | **   | *                                   | **   | ns   | ns                              |

UWL; Underground water level, TWK; Tawonkong, PNSK; Pungsannamulkong

시 40 cm 처리에 비하여 10 cm는 27%, 0cm는 61% 감소하였다. 그러나 풍산나물콩은 지하수위에 따른 수량 감소가 다원콩보다 다소 적게 나타났는데 협수가 40 cm 처리의 78개와 비교하면 10 cm 처리가 56개, 0 cm 처리가 48개로 각각 28%와 38% 감소되었으며 개체당 종자 수 역시 협수와 비슷한 수준으로 감소하였다. 수량 역시 지하수위가 높을수록 감소되었는데 다원콩의 경우 0 cm 처리가 m<sup>2</sup> 당 88 g으로 40 cm 처리의 238 g과 비교하면 약 63% 수량 감소를 보였다. 그러나 내습성 품종인 풍산나물콩은 0 cm 처리시 196 g으로 40 cm 처리의 266 g과 비교하면 26% 수량감소를 보여 습해에 의한 수량 감소는 풍산나물콩보다 다원콩의 감소가 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

지하수위에 따른 질소흡수량을 살펴보면 다원콩은 지하수위가 40 cm일 때 215.8 mg였지만 지하수위가 0 cm는 72.5 mg으로 약 66% 감소되었으며 부위별로는 잎이 35.2 mg으

로 약 69%, 줄기는 17.8 mg으로 약 57%, 그리고 뿌리가 19.5 mg으로 약 68% 감소되어 지하수위가 높음에 따라 질소 흡수량은 크게 감소됨을 알 수 있었다. 또한 내습성 품종인 풍산나물콩의 질소 흡수량은 지하수위가 40 cm일 때 328.4 mg였으며 0 cm의 지하수위 처리는 197.1 mg으로 40 cm의 지하수위와 비교하여 0 cm는 약 40% 감소하였으며 부위별 질소함량은 잎이 약 47%, 줄기 16% 그리고 뿌리가 47% 감소되었다. 이와 같이 지하수위가 높은 즉, 습해 정도가 클 경우 보리(Drew & Sisworo, 1979), 밀(Trought & Drew, 1980) 및 옥수수(Atwell & Steer, 1990)의 질소 흡수량이 급격히 감소된다는 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 두 품종간의 질소함량을 비교하면 내습성 품종인 풍산나물콩의 질소함량이 감수성 품종인 다원콩보다 함량이 많았으며 지하수위에 따른 질소함량 감소 정도도 풍산나물콩의 감소 폭이 작게 나타났다. Bacanamwo & Purcell(1999)은 습해

**Table 2.** Seed yield and yield components in two soybean cultivars with different underground water levels for 20 days at R1 stage

| Cultivars    | UWL (cm) | Pod no. (plant <sup>-1</sup> ) | Seed no. (plant <sup>-1</sup> ) | 100 seed wt. (g) | Seed yield (g m <sup>-2</sup> ) | Harvest index |
|--------------|----------|--------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------|
| TWK          | 0        | 29                             | 35                              | 9.9              | 88                              | 0.20          |
|              | 10       | 45                             | 65                              | 10.1             | 182                             | 0.34          |
|              | 40       | 63                             | 89                              | 10.3             | 238                             | 0.37          |
| PNSK         | 0        | 48                             | 69                              | 10.6             | 196                             | 0.31          |
|              | 10       | 56                             | 87                              | 11.5             | 221                             | 0.31          |
|              | 40       | 78                             | 102                             | 11.8             | 266                             | 0.33          |
| Cultivar (A) |          | *                              | **                              | **               | *                               | ns            |
| UWL (B)      |          | **                             | **                              | *                | **                              | **            |
| A x B        |          | ns                             | ns                              | ns               | **                              | **            |

UWL; Underground water level, TWK; Tawonkong, PNSK; Pungsannamulkong

**Table 3.** Amount of Total N uptake of two soybean cultivars with different underground water levels for 20 days at R1 stage

| Cultivars    | UWL (cm) | Total N (mg plant <sup>-1</sup> ) |      |      |       |
|--------------|----------|-----------------------------------|------|------|-------|
|              |          | Leaf                              | Stem | Root | Total |
| TWK          | 0        | 35.2                              | 17.8 | 19.5 | 72.5  |
|              | 10       | 102.5                             | 47.0 | 51.0 | 200.5 |
|              | 40       | 113.9                             | 40.9 | 61.0 | 215.8 |
| PNSK         | 0        | 102.3                             | 60.5 | 34.3 | 197.1 |
|              | 10       | 134.8                             | 56.4 | 47.0 | 238.2 |
|              | 40       | 191.7                             | 72.4 | 64.3 | 328.4 |
| Cultivar (A) |          | **                                | **   | ns   | **    |
| UWL (B)      |          | **                                | **   | **   | **    |
| A x B        |          | **                                | **   | **   | **    |

UWL; Underground water level, TWK; Tawonkong, PNSK; Pungsannamulkong

를 받은 콩의 질소 함량은 급격히 감소된다고 하며 질소 함량과 건물중간에 높은 상관성이 있다고 하였는데 본 연구 결과 습해에 의한 질소함량은 내습성 품종인 풍산나물콩이 감수성 품종의 다원콩보다 상대적으로 많아 건물중 감소 정도가 적은 것으로 생각되었다. Sinclair *et al.*(2003)은 콩의 질소함량과 수량과의 관계를 modeling 한 결과 질소함량이 높을 경우 더 많은 수량을 얻을 수 있다고 하였는데 종실 수량과 습해 처리 후 20일째의 질소함량과의 상관관계를 살펴보면 고도의 정의 상관( $R^2=0.872$ )을 보였다(Fig. 1).

한편, 개화시에 지하수위를 처리 한 후 20일째 대량원소인 K와 Ca, 미량원소인 Mn과 Fe 함량을 살펴보면 대량원소인 K 함량은 지하수위가 높아짐에 따라 작물체 전체 함

량은 감소하는 경향을 보였으나 잎, 줄기 및 뿌리의 각각의 함량 변화는 크지 않았으며 풍산나물콩의 줄기 부분은 반대로 0 cm 처리가 12.8 mg으로 40 cm 처리의 10.0 mg보다 증가하였다(Table 4). 따라서 지하수위 처리에 의한 습해 조건에서는 K 함량과 수량간의 관계는 유의성을 보이지 않았다(Fig. 2). 그러나 Ca 함량은 지하수위가 높을수록 잎과 줄기는 낮아지는 경향을 보였으나 풍산나물콩의 뿌리는 반대로 높은 지하수위에서 Ca 함량이 증가하여 0 cm의 지하수위 처리가 7.7 mg으로 감수성 품종인 다원콩의 2.9 mg보다 많은 함량을 보였으며 전체 Ca 함량도 내습성 품종인 풍산나물콩이 다원콩보다 높게 나타났다(Table 4). Ca 함량과 수량과의 관계 역시 고도로 유의한 정의 상관( $R^2=0.600$ )으로 습해를 유발하는 조건에서의 Ca 함량은 내습성의 지표로서 이용할 수 있을 것으로 사료된다(Fig. 2). 과습지에서의 Mn과 Fe는 과도한 흡수로 인하여 독성 작용을 일으키는 것으로 알려졌는데(Marschner, 1995) 지하수위가 높아짐에 따라 Mn 함량은 증가하였다(Table 4). 0 cm의 지하수위 처리가 다원콩이 2,540( $\text{mg kg}^{-1}$ )였으며 풍산나물콩은 1,683( $\text{mg kg}^{-1}$ )으로 40 cm의 지하수위 처리의 1,037( $\text{mg kg}^{-1}$ )과 974( $\text{mg kg}^{-1}$ )보다 1.5~2.5배의 함량 증가를 보였으며 특히 잎과 뿌리의 Mn 함량 증가가 뚜렷하였다. Mn 함량의 품종간 차이도 있는데 내습성인 풍산나물콩의 Mn 함량 증가가 상대적으로 다원콩보다 적어 내습성 품종 개발을 위한 지표 중 하나라고 생각된다. Mn 함량과 수량과의 관계를 보면 고도로 유의한 부의 상관( $R^2=0.834$ )을 보임에 따라 과도한 Mn 흡수는 콩 수량을 감소시키는 것으로 나타났다(Fig. 2). 또한 미량원소 중 하나인 Fe 함량은 40 cm의 지하수위 처리에서 다원콩과 풍산나물콩의 각각 1,158와 1,709( $\text{mg kg}^{-1}$ )였

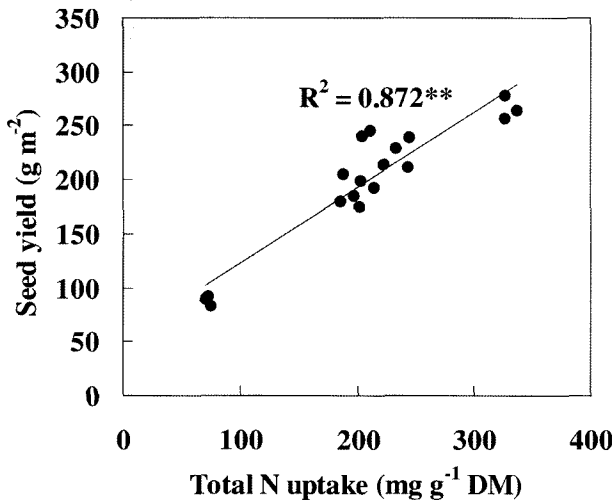


Fig. 1. Relationship of seed yield and amount of total N uptake with different underground water levels for 20 days at R1 stage. \*\*: significant at 0.01.

Table 4. K, Ca, Mn and Fe concentrations of two soybean cultivars with different underground water levels for 20 days at R1 stage

| Cultivars    | GWL (cm) | K ( $\text{mg g}^{-1}$ DM) |      |      |       | Ca ( $\text{mg g}^{-1}$ DM) |      |      |       | Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ DM) |      |       |       | Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ DM) |      |       |       |
|--------------|----------|----------------------------|------|------|-------|-----------------------------|------|------|-------|------------------------------|------|-------|-------|------------------------------|------|-------|-------|
|              |          | Leaf                       | Stem | Root | Total | Leaf                        | Stem | Root | Total | Leaf                         | Stem | Root  | Total | Leaf                         | Stem | Root  | Total |
| TWK          | 0        | 10.6                       | 10.0 | 12.2 | 32.8  | 13.1                        | 7.6  | 2.9  | 23.6  | 1,008                        | 414  | 1,118 | 2,540 | 266                          | 99   | 4,790 | 5,155 |
|              | 10       | 9.0                        | 11.1 | 14.0 | 34.1  | 14.8                        | 8.2  | 3.5  | 26.5  | 746                          | 106  | 679   | 1,531 | 162                          | 121  | 2,950 | 3,233 |
|              | 40       | 10.2                       | 14.7 | 13.1 | 38.0  | 17.6                        | 8.6  | 2.4  | 28.6  | 462                          | 71   | 504   | 1,037 | 48                           | 49   | 1,061 | 1,158 |
| PNSK         | 0        | 9.0                        | 12.8 | 7.9  | 29.7  | 15.4                        | 7.1  | 7.7  | 30.2  | 574                          | 378  | 731   | 1,683 | 336                          | 518  | 2,303 | 3,157 |
|              | 10       | 9.7                        | 11.4 | 13.7 | 34.8  | 18.5                        | 9.1  | 3.6  | 31.2  | 485                          | 104  | 433   | 1,022 | 93                           | 148  | 2,413 | 2,654 |
|              | 40       | 12.0                       | 10.0 | 13.3 | 35.3  | 18.5                        | 7.9  | 3.4  | 29.8  | 389                          | 84   | 501   | 974   | 67                           | 43   | 1,599 | 1,709 |
| Cultivar (A) |          | ns                         | ns   | *    | *     | *                           | *    | *    | *     | **                           | ns   | *     | **    | ns                           | **   | **    | **    |
| UWL (B)      |          | **                         | ns   | **   | **    | **                          | **   | **   | **    | **                           | **   | **    | **    | **                           | **   | **    | **    |
| A x B        |          | **                         | **   | *    | *     | *                           | **   | **   | ns    | ns                           | ns   | **    | *     | **                           | **   | **    | **    |

UWL; Underground water level, TWK; Tawonkong, PNSK; Pungsannamulkong

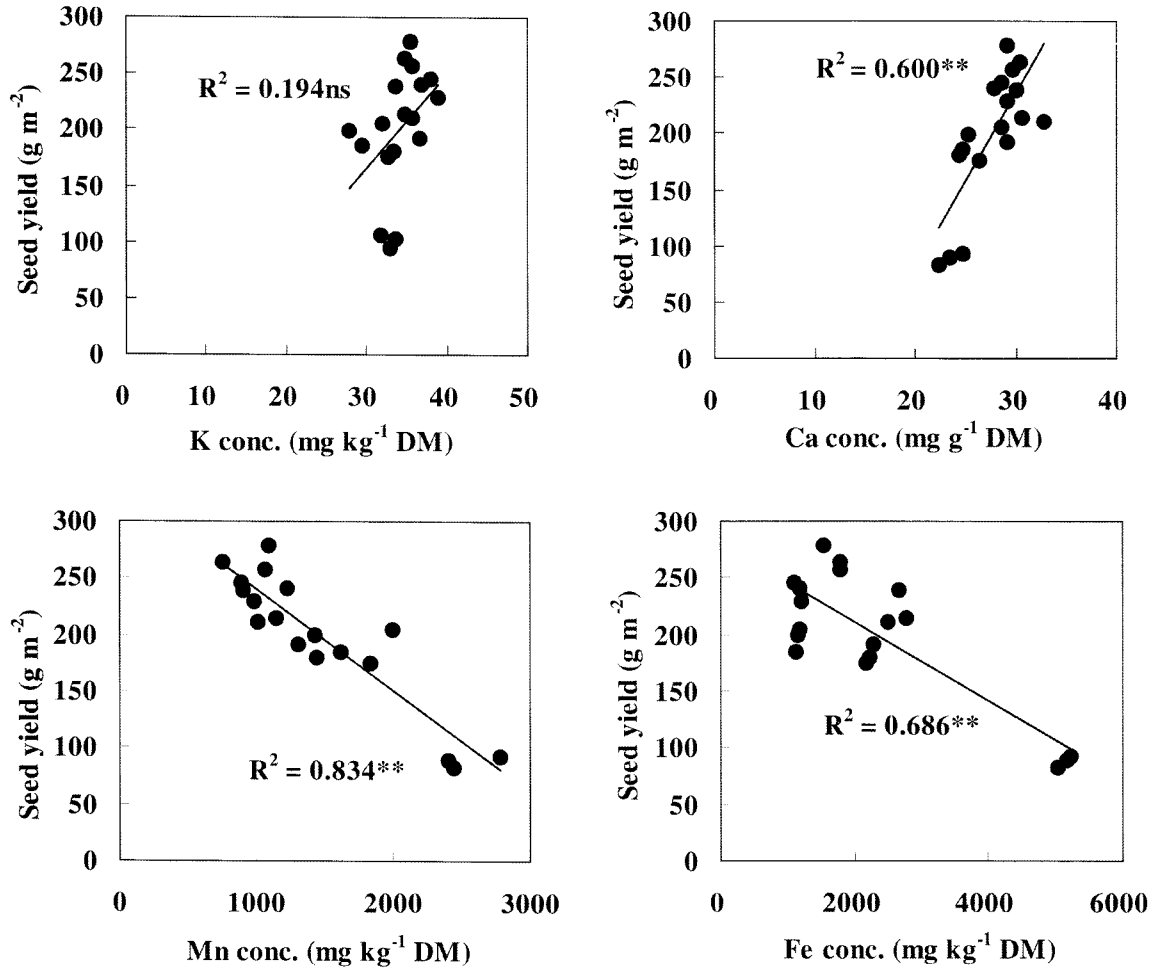


Fig. 2. Relationships of seed yield and four cations with different underground water levels for 20 days at R1 stage. ns; not significance, \*\*, significant at 0.01, respectively.

으며 10 cm의 지하수위 처리는 3,233과 2,654(mg kg<sup>-1</sup>) 그리고 0 cm는 5,155와 3,157(mg kg<sup>-1</sup>)을 보여 지하수위가 높음에 따라 Fe의 체내 함량은 증가하는 경향을 보였다. 부위별 함량은 뿌리가 가장 많았으며 잎과 줄기는 함량이 비슷하였다. 품종간에도 유의한 차이를 보였는데 내습성인 풍산나물콩이 다원콩보다 Fe 함량이 적은 것을 보였다(Table 4). 습해를 받은 벼는 Fe 함량이 약 500(mg kg<sup>-1</sup>) 이상 흡수되어 독성작용을 일으킨다고 Yamauchi(1989)는 보고하였는데 본 실험 결과 콩의 경우는 벼보다 낮은 함량 조건에서도 수량감소가 유의(R<sup>2</sup>=0.686)하게 나타나 습해 유발지에서 Fe의 과잉흡수를 억제하는 재배기술이 필수적이라고 생각된다(Fig. 2).

적 요

본 연구는 생식생장기의 습해에 의한 콩 수량과 질소 및

여러 가지 양분흡수에 미치는 영향을 알고자 지하수위를 0 cm, 10 cm 및 40 cm로 달리하여 조사하였다. 지하수위가 높음에 따라 생육과 수량은 감소되었으며 다원콩의 감소정도가 풍산나물콩보다 더 크게 나타났다. 질소흡수량은 지하수위가 높을수록 감소되었으며 수량과의 상관관계는 R<sup>2</sup>=0.872로 고도로 유의한 정의상관을 보였다. K함량은 지하수위 높이에 큰 차이를 보이지 않았으며(뿌리 제외), Ca함량은 감소(잎, 줄기) 또는 증가(뿌리)하였지만 Mn과 Fe 함량은 지하수위가 높을수록 급격히 증가하였으며 다원콩이 풍산나물콩보다 높은 함량을 보였다.

사 사

이 논문은 2008년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

## 인용문헌

- 농림부. 2008. 농림통계연보
- 이충열, 조진웅. 2007. 영양생장기 습해처리에 따른 콩 품종의 해부형태학적 특성 비교. 한국작물학회지. 52 : 320-324.
- Atwell, B. J. and B. T. Steer. 1990. The effect of oxygen deficiency on uptake and distribution of nutrients in maize plants. *Plant Soil*. 122 : 1-8.
- 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. and T. Yamakawa. 2006. Effects on growth and seed yield of small seed soybean cultivars of flooding conditions in paddy field. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ*. 51 : 189-193.
- Cho, J. W., H. C. 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., 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.
- Drew, M. C. and E. J. Sisworo. 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *New Physiol*. 82 : 301-314.
- 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.
- Jackson, M. B. and W. Armstrong. 1999. Formation of aerenchyma 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.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic press. pp. 626-641.
- 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.
- Sinclair, T. R., J. R. Farias, N. Neumaier, and A. L. Nepomuceno. 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. *Field Crops Res*. 81 : 149-158.
- Trought, M. C. T. and M. C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). II. Accumulation and redistribution of nutrients by shoot. *Plant Soil*. 56 : 187-199.
- Won, J. Y., H. C. Ji, and J. W. Cho. 2006. Nitrogen uptake and growth of soybean seedlings under flooding stress. *Korean J. Crop Sci*. 51 : 118-122.
- Yamauchi, M. 1989. Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by potassium sulfate application. *Plant Soil*. 117 : 275-286.