

## Yield and Free Sugar Contents of Burdock (*Arctium lappa* L.) depending on Nitrogen Levels

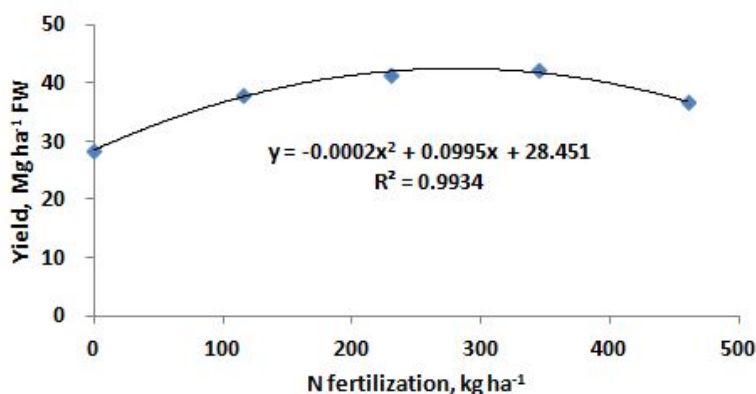
Ye-Jin Lee\*, Jwa-Kyung Sung, Seul-Bi Lee, Jung-Eun Lim, Yo-Sung Song, and Deog-Bae Lee

Division of Soil & Fertilizer, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

(Received: October 26 2016, Revised: November 7 2016, Accepted: November 10 2016)

Excessive nitrogen fertilization influences crop yields and quality as well as environmental pollution. In this study, yields, nitrogen use efficiency and free sugar contents of burdock (*Arctium lappa* L.) were evaluated at different levels of nitrogen fertilization. Nitrogen fertilizer was applied at 5 levels (0, 50, 100, 150, 200%) based on the conventional fertilization ( $N = 230 \text{ kg ha}^{-1}$ ), and phosphate and potassium fertilizer were treated by conventional P and K fertilization ( $P_2O_5 - K_2O = 140 - 210 \text{ kg ha}^{-1}$ ) in all plots. The root yields of burdock were the highest in N 100~150% treatment plots. Nitrogen use efficiency and nitrogen recovery decreased from over N 150% treatment. Nitrogen uptake of root was greater than that of shoot in N 50~200% treatments. Fructose contents in root were inversely proportional to the level of nitrogen fertilization. As considering nitrogen recovery and root quality, economical burdock yield was obtained in  $N 230 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Key words:** Burdock (*Arctium lappa* L.), Free sugar, Nitrogen fertilization



Yields of burdock root depending on N fertilizer rates.

\*Corresponding author: Phone: +82632382446, Fax: +82632382446, E-mail: leeyj418@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01050901)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우엉 (*Arctium lappa* L.)은 아시아와 유럽 지역에서 자생하는 약용작물로서 뿌리채소로 이용하거나 가공하여 다양한 식품으로 활용하고 있으며, 우엉 뿌리는 생리활성물질인 당류성 이눌린 (inulin) 함량이 높아 혈당 상승을 억제하여 당뇨병 환자에 유익한 것으로 알려져 있다 (Douglas et al., 1992; Kaur and Gupta, 2002; Lee et al., 2003). 우리나라의 우엉 재배면적은 약 220 ha로서 연간 4,700여 톤이 생산되고 있으며, 근채류 중 재배면적과 생산량이 급격히 증가하고 있는 추세이다 (MFAFF, 2014).

우엉의 생산성을 높이기 위해서는 적정량의 양분을 공급하는 것이 중요한데, 일반적으로 질소는 작물생육 제한인자로서 적정수량을 생산하는데 필수적으로 요구되는 원소이다 (Mengel and Kirkby, 1978). 질소 비료가 과잉이나 뿌리 부분을 수확하는 작물의 수량 및 품질에 미치는 영향을 보면, 질소 사용이 최적 크기의 감자 생산과 전분 함량에 영향을 미친다고 하였다 (Salunkhe et al., 1991), 무는 질소 180~200 kg ha<sup>-1</sup>를 사용했을 때 뿌리의 크기가 가장 컸다고 보고된 바 있다 (Lim et al., 2010; Pervez et al., 2004). 또한, 작물 뿌리 생육과 질소의 관계를 보면 토양 중 질소 유효도의 증가에 따라 토마토와 곡류의 뿌리 생육이 증가한다고 하였으며 (Garton and Widders, 1990; Weston and Zandstra, 1989), 질소 비료의 표층시비는 토양 표층의 토마토 뿌리 밀도를 증가시킨다고 하였다 (Hoad et al., 2001). 그러나 과다한 질소 공급은 작물의 무기성분 함량이나 과수의 과실 색 등 품질과 관련되는 성분들을 감소시킬 수 있다 (Albornoz, 2016; Wang and Cheng, 2011). 벼는 질소 시비량이 증가할수록 잎, 줄기, 쌀의 총질소 함량은 증가하지만 Mg/K 당량비는 감소하였으며 (Song et al., 2006), 사탕무의 경우, 질소 공급이 충분할 때 최적의 수량을 얻을 수 있으나 과다한 질소 공급은 사탕무의 품질을 저하시킬 수 있다고 보고된 바 있다 (Blumenthal et al., 2008). 과수류는 질소 과다 사용이 수용성 당, Mg, Ca 함량을 감소시키고, 산도를 증가시켜 영양학적 품질을 저하시킨다고 하였다 (Wang et al., 2008). 따라서 우엉 재배지의 적정 질소사용량을 설정하기 위해서는 질소 사용에 따른 우엉의 뿌리 생육과 품질과 관련된 유효성분을 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 질소 사용수준에 따른 우엉의 수량을 조사하였고, 우엉 뿌리의 이눌린 함량과 관련된 유리당을 분석하

여 질소 사용이 우엉 뿌리의 품질에 미치는 영향을 보고자 하였다.

## Materials and Methods

**시험포장 및 경종개요** 본 실험은 경상북도 안동시 풍천면의 농가 포장에서 수행되었다. 시험포장의 토양통은 낙동통으로 토심이 깊고 사질인 토양이었으며, 토양 화학성은 일반 밭토양에 비해 pH와 인산함량이 다소 높았다 (Table 1). 우엉은 장근종인 용야천으로 2015년 4월 6일 파종하여 10월 6일에 수확하였다. 처리구는 단구제로 구당 면적은 90 m<sup>2</sup> 이었으며, 처리구 당 3반복씩 채취하여 분석하였다.

**시험구 처리내용** 시험구는 관행 비료 사용량인 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (230-140-210 kg ha<sup>-1</sup>)를 기준으로 인산, 칼리 사용량은 고정하고 질소 사용량을 0, 50 (N 115 kg ha<sup>-1</sup>), 100 (N 230 kg ha<sup>-1</sup>), 150 (N 345 kg ha<sup>-1</sup>), 200% (N 460 kg ha<sup>-1</sup>) 수준으로 처리하였으며, 질소비료는 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 염화칼리로 사용하였다. 밀거름은 각 처리구 사용량에 대하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70% 해당량을 사용하였고, 웃거름은 6월 중순에 질소 25%, 7월 중하순에 질소 25%와 칼리 30% 해당량을 사용하였다.

**토양 및 식물체 분석** 토성 분석은 비중계법 (Gee and Boudier, 1986)을 이용하였고, 토성분류기준은 미농무부법을 따랐다. 토양 및 식물체는 국립농업과학원의 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 하여 pH, EC meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 양이온은 1 M NH<sub>4</sub>OAC (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계 (ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia) 로 분석하였다. 식물체는 건조 후 분쇄하여 시료 0.5 g에 conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mL와 50% HClO<sub>4</sub> 10 mL를 가한 뒤 열판에 가열하여 분해하였다. T-N은 켈달 증류로 분석하였고, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Vanadate 법, K<sub>2</sub>O는 유도결합플라즈마 분광광도계로 분석하였다. 우엉 뿌리의 유리당은 생체 5g에 50% 에탄올 50 mL을 가한 뒤 80°C로 20분간 항온 한 뒤 3분간 냉각시켰다. 10분간 3000 rpm에서 원심분리한 후 HPLC (Shiseido Nanospace SI-2, Shiseido)로 분석하였다 (Table 2).

**Table 1. Soil physicochemical properties before experiment.**

Soil texture	pH	EC	SOM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations		
					K	Ca	Mg
(USDA)	1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----		
Loamy sand	7.3	0.6	18.4	611	0.40	4.5	0.9

**Table 2. Analytical conditions of HPLC for determining free sugar contents.**

Parameters	Conditions
Column	Guard cartridge: 5 x 2 mm, 3 $\mu$ m (Unison UK-Amino, Japan) Analytical: 250 x 3 mm, 3 $\mu$ m (Unison UK-Amino, Japan)
Mobile Phase	90% acetonitrile
Detector	RI
Column Temp.	60°C
Flow rate	0.4 mL/min
Injection Volume	4 $\mu$ L

**질소 이용효율 및 회수율** 우엉 뿌리의 질소 이용효율과 질소 회수율을 구하기 위하여 다음의 Eqs. 1, 2을 적용하였다 (Baligar et al., 2001). Eq. 2의 우엉 뿌리 질소 흡수량은 뿌리의 질소 함량에 건물중을 곱하여 산정하였다.

$$\text{질소 이용효율 (Agronomic nitrogen use efficiency, kg kg}^{-1}\text{)} \\ = (\text{질소 시용구의 뿌리 수량 (kg)} - \text{무비구의 뿌리 수량 (kg)}) / \text{질소 시용량 (kg)} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{질소 회수율 (Nitrogen recovery efficiency, \%)} \\ = (\text{질소 시용구의 뿌리 흡수량 (kg)} - \text{무비구의 뿌리 흡수량 (kg)}) / \text{질소 시용량 (kg)} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

**통계분석** 연구결과에 대한 통계분석을 위해 R ver. 3.0.2을 이용하여 Duncan's multiple range test (DMRT)를 수행하였다.

## Results and Discussion

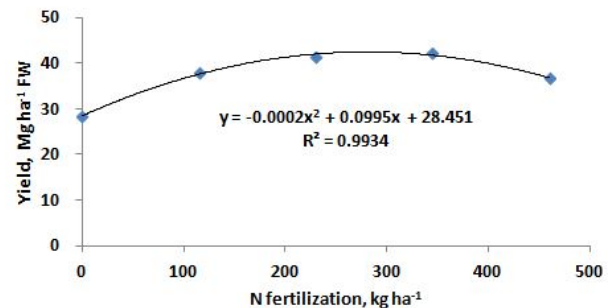
**질소 시용량에 따른 우엉 수량** 질소 시용수준에 따른 우엉 지상부 건중은 약 3.4 ~ 5.6 Mg ha<sup>-1</sup>, 뿌리 건중은 5.9 ~ 9.5 Mg ha<sup>-1</sup>의 범위로 나타났으며, 지상부와 뿌리 최고 수량을 생산했을 때의 질소 시용량은 각각 100% (230 kg ha<sup>-1</sup>) 과 150% (345 kg ha<sup>-1</sup>) 이었다 (Table 3). 질소 수준별 우엉 건중은 지상부의 경우 질소 100%, 지하부는 질소 150% 수준까지 증가하다가 그 이상에서는 감소하는 것으로 나타났다. Blumenthal et al. (2008)은 질소 시용량이 과다하면 괴경이나 뿌리 크기가 작고, 생육이 미숙하기 때문에 수량이 감소한다고 하였다. 특히 질소 과잉 흡수가 다른 이온의 흡수를 방해하고, 2차 대사산물을 감소시키는 등 결과적으로 수량 감소로 이어질 수 있다 (Albornoz, 2016). 전체 건물중에 대한 뿌리의 비율은 약 62~68% 정도였으나 처리간에 통계적으로 유의하지 않았다. 지상부 비율이 큰 일반 작물의 경우 질소에

**Table 3. Total dry weight and proportion of roots of burdock by N fertilization rates.**

N application	Dry weight		Percentage of root <sup>†</sup>
	Shoot	Root	
%	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		%
0	3.4±0.3 <sup>b</sup>	5.9±0.4 <sup>c</sup>	63.2±0.4 <sup>n.s.</sup>
50	4.4±0.9 <sup>ab</sup>	7.9±0.6 <sup>b</sup>	64.4±4.7
100	5.6±1.4 <sup>a</sup>	9.0±0.5 <sup>b</sup>	61.8±7.2
150	4.4±0.6 <sup>ab</sup>	9.5±1.0 <sup>a</sup>	68.4±4.6
200	3.8±0.5 <sup>b</sup>	7.9±0.7 <sup>b</sup>	67.2±5.1

<sup>†</sup>Percentage of root (%) = (Root dry weight / Total dry weight) \* 100

<sup>‡</sup>Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

**Fig. 1. Yield of burdock root by N fertilization rates.**

대한 수량반응은 뿌리보다 지상부에서 크게 나타나 전체 중 뿌리의 비율은 감소하는데 (Marschner, 1995), 뿌리 작물인 우엉은 일반 작물과 달리 질소 시용량이 뿌리의 비율에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 질소 시용량과 뿌리 수량과의 관계식은 질소 시용량에 따라 수량이 증가하다가 감소하는 2차식의 형태로 나타났으며, 이 식에 의하면 질소 248 kg ha<sup>-1</sup>에서 최고수량을 생산하는 것으로 나타났다 (Fig. 1).

**우엉 질소 흡수량과 뿌리의 질소 이용효율** 우엉 뿌리의 질소 흡수량은 질소 100%를 시용했을 때 무시용구 대비 약 2.5배 높은 것으로 나타났다 (Table 4). 지상부 또한 질소 100% 처리구에서 가장 흡수량이 많았으나 뿌리에 비해 처리간 흡수량 차이가 크지 않았다. 지상부와 뿌리를 합한 전체 흡수량은 질소 무처리구를 제외하고 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 따라서 질소 비료 시용은 우엉의 뿌리 생육에 영향을 미치며, 뿌리 수량을 높이기 위해서는 적정량의 질소 비료를 시용해야 할 것으로 판단된다. 우엉 뿌리 적정 수량을 생산할 수 있는 질소 시용량을 구하기 위하여 질소 kg 당 우엉 뿌리 생산량인 질소 이용효율과 시용한 질소에 대한 작물 흡수율인 질소 회수율을 산정하였다 (Table 5). 질소 이용효율은 50% 처리구에서 가장 높았고, 질소 시용량이 많아질수록 감소하였다. 질소 150% 처리구의 질소 회수율은 50~

**Table 4. Nitrogen uptake of burdock by N fertilization rates.**

N application	Shoot	Root	Total
%	kg ha <sup>-1</sup>		
0	86.7±3.6 <sup>b</sup>	78.7±9.6 <sup>c</sup>	165.3±11.4 <sup>b</sup>
50	122.6±37.1 <sup>b</sup>	162.7±43.8 <sup>ab</sup>	285.3±63.6 <sup>a</sup>
100	150.2±18.8 <sup>a</sup>	205.9±26.7 <sup>a</sup>	356.1±45.3 <sup>a</sup>
150	128.6±25.8 <sup>ab</sup>	166.0±8.5 <sup>ab</sup>	294.6±33.7 <sup>a</sup>
200	135.9±29.5 <sup>ab</sup>	147.2±9.9 <sup>b</sup>	283.2±33.1 <sup>a</sup>

Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

**Table 5. Agronomic nitrogen use efficiency (ANR) and nitrogen recovery efficiency (NRE) of burdock root by N fertilization rates.**

N	ANR	NRE
%	kg kg <sup>-1</sup>	%
50	21.1 <sup>a</sup>	48.8 <sup>a</sup>
100	15.0 <sup>b</sup>	53.3 <sup>a</sup>
150	11.5 <sup>b</sup>	24.0 <sup>b</sup>
200	5.1 <sup>c</sup>	13.9 <sup>b</sup>

Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

**Table 6. Free sugar contents of burdock root by N fertilization rates.**

N fertilization	Fructose	Glucose	Sucrose	Total sugar
%	%, fresh weight 100 g			
0	2.81a	0.10b	0.89a	3.80a
50	2.45b	0.16a	0.91a	3.53b
100	2.12c	0.09b	0.82a	3.03c
150	1.93d	0.17a	0.68b	2.77d
200	1.19e	ND	0.68b	1.87e

Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

100% 처리구의 절반 수준으로 떨어졌으며, 이것은 사용한 질소 비료를 작물이 이용하는 양보다 토양 중에 남아있거나 손실되는 양이 많은 것을 의미한다 (Garnett et al., 2009). 그러므로 질소 100% 처리구에서 경제적 수량을 생산할 수 있다고 판단된다.

**질소 시용에 따른 뿌리 유리당 함량 변화** 질소 시용량이 우엉 뿌리의 유효성분에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유리당 함량을 분석하였다 (Table 6). 우엉 뿌리에서 분석된 유리당은 fructose, glucose, sucrose였으며, 함량은 fructose > sucrose > glucose 순으로서 glucose 함량은 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 Han and Koo (1993)의 결과와 일치하였

다. 총 유리당 함량과 fructose, sucrose 함량은 질소 시용량이 많아질수록 감소하였는데, 질소 시용량이 증가할수록 과채류의 수용성 당 함량이 감소한다는 연구결과는 보고된 바 있다 (Kaniszewshi et al., 1987; Parisi et al., 2006). 우엉 뿌리는 많은 양의 이눌린을 축적하고 있는데 (Milani et al., 2011), 이눌린은 fructose로 구성된 β-글리코시딕 결합의 선형 과당 중합체로서 fructose 함량은 이눌린 합성과 관련된다 (Shin et al., 2012; Lee et al., 2015). 그러므로 우엉에서 가장 함량이 높은 fructose가 질소 비료에 영향을 받은 것으로 추측된다.

## Conclusions

우엉의 적정 질소 시용량을 구하기 위하여 질소 시용수준별 우엉 뿌리 수량과 질소 이용효율, 유리당 함량을 분석하였다. 우엉 뿌리는 질소 관행 시용량 대비 100 ~ 150%에서 최고수량을 생산하는 것으로 나타났으며, 질소 시용수준에 따른 질소 흡수량은 지상부 보다 뿌리에서 많았다. 우엉 뿌리의 fructose 함량은 질소 시용량이 많을수록 감소하였으며, 질소 회수율과 품질을 고려할 때 질소 100% (230 kg ha<sup>-1</sup>)에서 경제적 수량을 생산할 수 있었다.

## References

- Albornoz, F. 2016. Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. *Sci. Hortic.* 205:79-83.
- Baligar, V. C., N. K. Fageria, and Z. L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plan.* 32(7-8):921-950.
- Blumenthal, J. M., D. D. Baltensperger, K. G. Cassman, S. C. Mason, and A. D. Pavlista. 2008. Importance and effect of nitrogen on crop quality and health. *Nitrogen in the environment: sources, problems, and management.* 51-70.
- Douglas, M. H., J. L. Burgmans, L. C. Burton, and B. M. Smallfield. 1992. The production of burdock (*Arctium lappa* L.) root in New Zealand - a preliminary study of a new vegetable. *Agron. Soc. N.Z.* 22:67-70.
- Garnett, T., V. Conn, and B.N. Kaiser. 2009. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. *Plant Cell Environ.* 32(9):1272-1283.
- Garton, R. W. and I. E. Widders. 1990. N and P preconditioning of small plug seedlings influences growth and yield of processing tomatoes. *HortScience.* 25:655-657.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis in methods of soil analysis, part 1. A. Klute(ed.). Monograph No. 9, ASA, Madison, WI.
- Han, S. J. and S. J. Koo. 1993. Study on the chemical composition in bamboo shoot, lotus root and burdock. *Korean J. Soc. Food Sci.* 9(2):82-87.
- Hoad, S. P., G. Russell, M. E. Lucas, and I. J. Bingham. 2001.

- The management of wheat, barley, and oat root systems. *Adv. Agron.* 74:193-246.
- Kaniszewski, S., K. Elkner, and J. Rumpel. 1987. Effect of nitrogen fertilization on yield, nitrogen status in plants and quality of fruits of direct seeded tomatoes. *Acta Hort.* 200: 195-202.
- Kaur, N. and A. K. Gupta. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *J. Biosci.* 27(7):703-714.
- Lee, G. Y., Y. J. Son, Y. H. Jeon, H. J. Kang, and I. K. Hwang. 2015. Changes in the physicochemical properties and sensory characteristics of burdock during repeated steaming and drying procedures. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47(3):336-344.
- Lee, J. H., J. H. Lim, J. D. Cheung, and D. W. Suh. 2003. Major characteristics of burdock (*Arctium lappa* L.) native to Yeong-Nam region. *Korean J. Plant Res.* 16(1):8-14.
- Lim, W. J., Y. K. Son, and Y. M. Yoon. 2010. The selection of yield response model of sugar beet (*Beta vulgaris* var. *Aaron*) to nitrogen fertilizer and pig manure compost ion reclaimed tidal land soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):174-179.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. Academic Press, London, UK.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1978. Principles of plant nutrition. Nitrogen. Kluwer academic publishers. Netherlands.
- MFAFF. 2014. Agricultural and forestry statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Korea.
- Milani, E., A. Koocheki, and Q. A. Golimovahhed. 2011. Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *Int. J. Food Sci. Tech.* 46(8):1699-1704.
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA. Korea.
- Parisi, M., L. Giordano, A. Pentangelo, B. D'Onofrio, and G. Villari. 2006. Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato. *Acta Hort.* 700:129-132.
- Pervez, M. A., C. M. Ayub, B. A. Saleem, N. A. Virk, and N. Mahmood. 2004. Effect of nitrogen levels and spacing on growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.). *Int. J. Agric. Biol.* 6(3):504-506.
- Salunkhe, D. K., S. S. Kadam, and S. J. Jadhav. 1991. Potato: Production, processing, and products, CRC Press. USA.
- Shin, S. H., S. J. Kwon, H. J. Jo, D. H. Go, and J. J. Han. 2012. Extraction and analysis of inulin from jerusalem artichoke. *Food Sci. Industry.* 45(45):50-58.
- Song, Y. S., K. S. Lee, B. G. Jung, H. J. Jun, K. S. Kwag, B. Y. Yeon, and Y. S. Yoon. 2006. Determination of nitrogen application rates with paddy soil types for production of high rice quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2):86-94.
- Wang, H. and L. Cheng. 2011. Differential effects of nitrogen supply on skin pigmentation and flesh starch breakdown of 'Gala' apple. *HortScience* 46:1116-1120.
- Wang, Z. H., S. X. Li, and S. Malhi. 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *J. Sci. Food Agric.* 88(1):7-23.
- Weston, L. A. and B. H. Zandstra. 1989. Transplant age and N and P nutrition effects on growth and yield of tomatoes. *HortScience* 24:88-90.