

## Optimal Levels of Additional N Fertigation for Greenhouse Watermelon Based on Cropping Pattern and Growth Stage

Jwakyung Sung\*, Kangho Jung, Hejin Yun, Minji Cho, Jungeun Lim, Yejin Lee, Seulbi Lee, and Deogbae Lee

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

(Received: August 16 2016, Revised: October 10 2016, Accepted: November 14 2016)

An estimation of optimal requirement of additional N by cropping pattern and growth stage is very important for greenhouse watermelon. The objectives of this study were to estimate an amount of optimal additional N based on growth, N uptake and yield of watermelon. In order to achieve these goals, we performed the study at farmer's greenhouse with a fertigation system and watermelon was cultivated three times (spring, summer and autumn) in 2015. The levels of additional N were set up with x0.5, x0.75, x1.0 and x1.5 of the NO<sub>3</sub>-N-based soil-testing N supply for watermelon cultivation. The trends of growth and N uptake of watermelon markedly differed from cropping pattern; spring (sigmoid), summer and autumn (linear). The yield of watermelon was the highest at summer season and followed by autumn and spring. Also, the x1.5N showed a significantly higher yield compared to other N treatments. On the basis of growth, N uptake and yield of watermelon, we estimated an optimal level of additional N by cropping pattern and growth stage as follows; 1) spring (transplanting ~ 6 WAT : 6 ~ 14 WAT : 14 ~ harvest = 5 : 90 : 5%), summer (transplanting ~ 4 WAT : 4 ~ 8 WAT : 8 ~ harvest = 25 : 50 : 25%) and autumn (transplanting ~ 4 WAT : 4 ~ harvesting : 50 : 50%). In conclusion, nutrient management, especially N, based on cropping pattern and growth stage was effective for favorable growth and yield of watermelon.

**Key words:** Watermelon, Cropping pattern, Growth stage, Fertigation, Nitrogen

### Optimal additional N supply by cropping pattern- and growth stage-based on growth and N uptake of watermelon.

N supply (kg ha <sup>-1</sup> )					
Growth stage (week)	Spring <sup>†</sup>	Growth stage (week)	Summer	Growth stage (week)	Autumn
transplanting ~ 6	~ 1.2 (5~7%)	transplanting ~ 4	7.4 ~ 8.2 (25~29%)	transplanting ~ 4	6.4 ~ 8.3 (46~49%)
6 ~ 14	13.9 ~ 19.4 (87~93%)	4 ~ 8	12.7 ~ 16.0 (49~50%)	4 ~ harvest	6.8 ~ 9.6 (51~54%)
14 ~ harvest	0 ~ 1.8 (0~8%)	8 ~ harvest	5.9 ~ 8.4 (22~26%)		
Total	15.0 ~ 22.4		26.0 ~ 32.6		13.2 ~ 17.9

- The demand of additional nitrogen greatly differs from cropping pattern and growth stage
- Additional N ratio : Spring (5:90:5%), Summer (25:50:25%), Autumn (50:50%)

\*Corresponding author: Phone: +82632382445, Fax: +82632383822, E-mail: jksung@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ010899)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

시설재배는 작물의 연중 생산이 가능하여 재배면적이 매년 증가하고 있으며, 특히 시설수박의 재배면적은 14,010 ha (MAFRA statistics, 2014)에 이르는 것으로 보고되어 시설채소작물 중 재배면적이 가장 크다. 그러나 무기질비료와 가축분퇴비의 과다 사용은 토양의 염류집적과 지하수오염을 유발하는 것으로 나타났으며 (Pang et al., 1997), 이러한 문제를 해결하는 다양한 방법 중의 하나로써 토양의 양분공급 능력과 완충능력을 이용하여 작물의 필요한 시기에 필요한 양의 양분을 공급하는 관비재배의 필요성이 대두되었다 (Hedge, 1997).

일반적으로 작물 생산 시 토양에 공급된 질소의 약 33%가 작물에 의해 흡수 이용되고, 나머지는 용탈, 휘산 또는 탈질 작용 등을 통해 손실되고 있다 (Raun et al., 1999). 따라서 작물의 성장반응을 고려한 비료의 분시는 작물재배기간 중 질소의 손실을 줄여 비료의 이용율을 높이는 동시에 토양 염류집적 감소, 안정적 작물생육 및 수량증가를 꾀할 수 있다 (Miller et al., 1976). 특히 시설작물을 재배하는 경우 정식 전 전량 밑거름 사용보다는 작물의 생육양상을 고려하여 분시하는 것이 유리한데, 시설참외 재배 시 토양검정 질소공급량의 50% 수준에서 가장 높은 생육과 수량을 (Jung et al., 2010), 시설토마토는 토양검정 질소공급량의 80%를 공급하였을 때 최대수량을 (Lee et al., 2007), 시설애호박은 토양검정 질소공급량의 75%를 공급하였을 때 최대수량을 (Ha et al., 2015) 나타내는 것으로 보고되었다. 따라서 작물생산을 위한 비료사용량을 토양검정공급량에 준하여 사용한다 할지라도 관비재배 시 양분 이용율이 상승한다는 점을 고려할 때, 토양검정공급량에 상응하는 비료 전량을 관비하는 것은 비료자원의 낭비를 초래할 것이다.

최근 우리나라 시설재배의 비료공급방법은 밑거름을 일정 비율 공급하고, 작물재배과정 중에 질소, 칼리 및 미량원소 등을 관비형태로 공급하고 있으나, 작물별 적정 비료공급량에 준하지 않고 농가마다 경험에 의존하여 관비를 하고 있는 실정이다. 이러한 결과로 우리나라 시설재배 토양의 화학성은 지속적으로 악화되고 있는데, 토양전기전도도 (EC), 유기물함량 및 양이온함량이 적정범위 대비 48~80%에서 초과하

는 것으로 알려져 있다 (NAAS, 2012). 이는 우리나라 시설재배농가의 비료공급량이 질소는 1.5~1.8배, 인산은 1.6~4.3배, 칼리는 1.4~2.2배로 기준보다 많은 양을 공급하고 있다는 것을 반증한다.

시설재배토양의 화학성을 적정범위로 유지하기 위해서는 노지와는 다른 방법으로 비료사용량을 설정해야 하고 (Park and Hong, 2000), 토양의 양분을 실시간으로 분석하거나 (Lim et al., 2001), 작물 생육단계별로 나누어 공급 (Lee et al., 2007; Jung et al., 2010)하는 것이 작물생육의 향상은 물론 토양화학성 개선에도 크게 유효할 것으로 생각된다. 이전 연구결과에 따르면 (Lee et al., 2007; Jung et al., 2010; Sung et al., 2015), 토양검정 비료사용량을 표층시비 할 때보다 관비를 하였을 때 비료의 이용효율이 증가한다는 것이 입증되었다. 따라서 본 연구는 토양검정공급량에 준하는 질소량을 기준으로 처리량을 가감하여 관비하였을 때, 시설수박의 질소흡수량, 작물생육 및 수량과의 관계를 분석하여 시설수박의 재배작형 및 생육단계별 적정 웃거름 질소공급량을 산정하기 위하여 수행하였다.

## Materials and Methods

**Crop cultivation and N treatment** 본 실험은 2015년 충남 부여군 규암면 합송리에 위치한 시설수박 농가포장 (양토, 표토 용적밀도 1.03 Mg m<sup>-3</sup>, 공극률 60.3%)에서 수행하였다. 시험에 사용된 수박 품종은 “우리꿀”로, 시험포장은 단동 2중 PE필름 하우스로 폭 6 m, 길이 100 m로 조성된 시설하우스이다. 재배시험은 봄작기 (2월 초순 ~ 5월 초순), 여름작기 (5월 중순 ~ 7월 중순), 가을작기 (7월 하순 ~ 10월 초순)로 3작기에 걸쳐 수행하였다. 시험 전 토양의 화학성분 중 유기물 함량은 적정범위에 있었으나 pH는 적정범위보다 낮았고 그 외 성분들은 시설수박 재배를 위한 적정범위를 초과하는 토양이었다 (Table 1). 토양검정 질소공급량은 국립농업과학원 작물별 비료사용처방 기준 (NAAS, 2010)을 바탕으로  $y = 20.3 - 0.067x$  ( $y$ : 질소공급량,  $x$ : 토양 중 질산태 질소함량) 식을 통해 계산하였다 (총 질소공급량 = 195 kg ha<sup>-1</sup>). 퇴비, 쌀겨 및 벚짳을 통해 밑거름으로 공급된 질소의 양은 129 kg ha<sup>-1</sup>이었고, 웃거름 (66 kg ha<sup>-1</sup>)은 작기에 따라 공급량을 조

**Table 1. Chemical properties of soil before each cultivation.**

Chemical properties	pH (1:5,w/v)	EC (1:5)	Inorganic N (mg kg <sup>-1</sup> )	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
						K	Ca	Mg
Spring	5.9	3.7	206	24	829	1.28	11.6	3.88
Summer	5.6	3.2	201	20	727	0.94	11.8	4.05
Autumn	5.7	2.9	161	25	627	0.86	9.4	3.51
Recommend <sup>†</sup>	6.0~6.5	< 2.0	50~150	20~30	350~450	0.7~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0

<sup>†</sup>Fertilizer recommendation for crop production (NAAS, 2010)

**Table 2. Comparison of N, P and K supply (kg ha<sup>-1</sup>) between soil testing-based fertilization and farmer's practice.**

Fertilizer	Soil testing-based (A)	Farmer's practice (B)	B-A
N	195	323	△ 128 (166%)
P	102	261	△ 159 (256%)
K	175	334	△ 159 (191%)

절하여 관비형태로 (요소) 공급하였다. 질소수준은 토양검정 질소공급량을 1.0N으로, 50% (0.5N), 75% (0.75N) 및 150% (1.5N)으로 설정하였다. 웃거름 질소는 정식 2주 이후부터 2주 간격으로 나누어 공급하였으며 1회는 전체 공급량의 5%, 2~3회는 전체 공급량의 15% 및 4회 이후에는 전체 공급량의 80%로 하였으며, 웃거름 칼리 (염화加里)는 3회부터 질소와 섞어서 공급하였다. 토양검정 비료공급량과 농가관행 비료공급량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 본 실험을 위한 토양의 토성은 양토이고 수분함량은 토양수분장력 33 kPa를 기준으로 하였다.

**Sampling and chemical analysis** 시설수박의 양분흡수량 및 토양 중 질산태 질소함량의 경시적인 변화를 알아보기 위하여 정식 후 2주부터 2주 간격으로 식물체 및 토양시료를 채취하였다. 시설수박의 수량 (상품과 기준)은 처리 당 30주의 누적생산량을 통해 계산하였다. 양분흡수량을 분석하기 위하여 식물체 시료채취 시 잎, 줄기 및 과실 등 부위별로 나누어 건조시킨 후 건물중을 측정하고, 건물 당 양분함량을 분석하여 전체 양분흡수량으로 환산하였다. 식물체 시료는 80°C에서 48시간 동안 건조시킨 후 분쇄하여 분석시료로 사용하였다. 시료 (0.5 g)를 추출용액 (377 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 36% perchloric acid) 5 mL로 습식 분해하여 100 mL 용량플라스크에 여과 (Whatman No. 6)하여 눈금까지 증류수로 채운 후 (NAAS, 2010), 증류수로 10배 희석하여 질소는 질소자동분석기 (Auto analyzer 3, BRAN+LUEBBE, Germany)을 이용하여 660 nm에서 측정하였고, 인산은 UV-Spectrometer (Hitachi, Japan)를 이용하여 880 nm에서 측정하였다. 양이온 함량은 ICP (GBC, Intergra XL, Australia)를 이용하여 측정하였다. 토양 일반성분 분석은 토양을 음건한 후 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였다. 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 NO<sub>3</sub>-N는 생토 5 g에 침출액 (2M KCl) 25 mL를 넣고 30분간 진탕한 후 여과지 (Whatman No. 2)에 여과한 후, 질소자동분석기로 440 nm에서 측정하였다. 토양의 pH와 EC는 토양시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 측정하였다. 유효인산은 토양시료 5 g에 침출액 (333 mM Acetic acid + 1.5 N Lactic acid + 30 mM Ammonium Fluoride + 213 mM Sodium Hydroxide + 50 mM Ammonium Sulfate, pH 4.25) 20 mL를 넣고 10분간 진탕하여 여과 (Whatman No. 2)한 후, 증류수로 희석하여 UV-Spectrometer를 이용하여 720 nm에서 측정하였다. 양이온 분석은 건토 5 g에 단일침출액 (1N

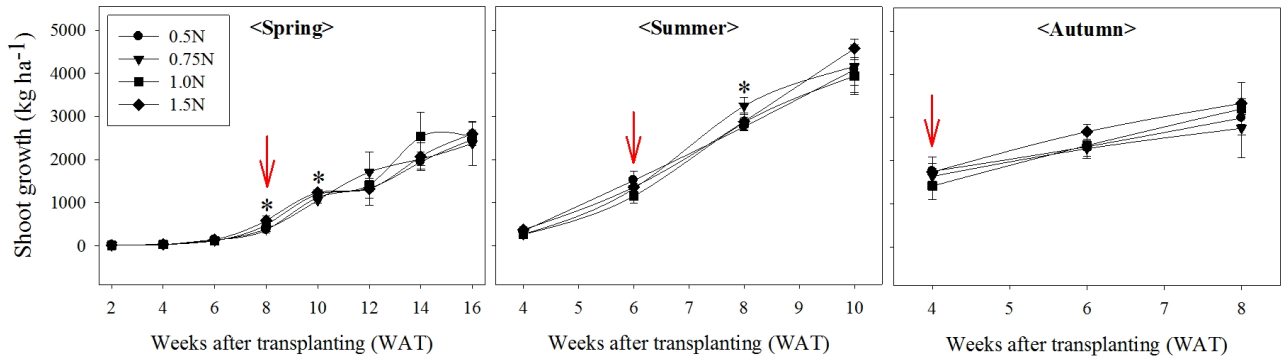
CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, pH 7.0) 25 mL을 넣고 30분간 진탕하여 Whatman No. 2 여지로 여과하여 ICP로 측정하였다.

**Plot design and statistics** 시험구는 난괴법 (randomized block design) 3반복으로 배치하였고, 시설수박의 재식밀도는 2 × 0.6 m로, 각 처리구의 면적은 40 m<sup>2</sup>로 하였으며, 각각의 실험결과는 엑셀프로그램을 평균치와 표준편차를 산출하였고, 처리 간 평균을 비교하기 위하여 SAS (ver. 9.01, SAS Institute Inc., Cary, NC) 프로그램으로 분산분석 (ANOVA) 후, 유의성이 인정되는 경우 최소유의차검정을 (LSD) 수행하였다. 또한 실험결과의 그래프는 Sigma plot (ver. 11.0)을 이용하여 작성하였다.

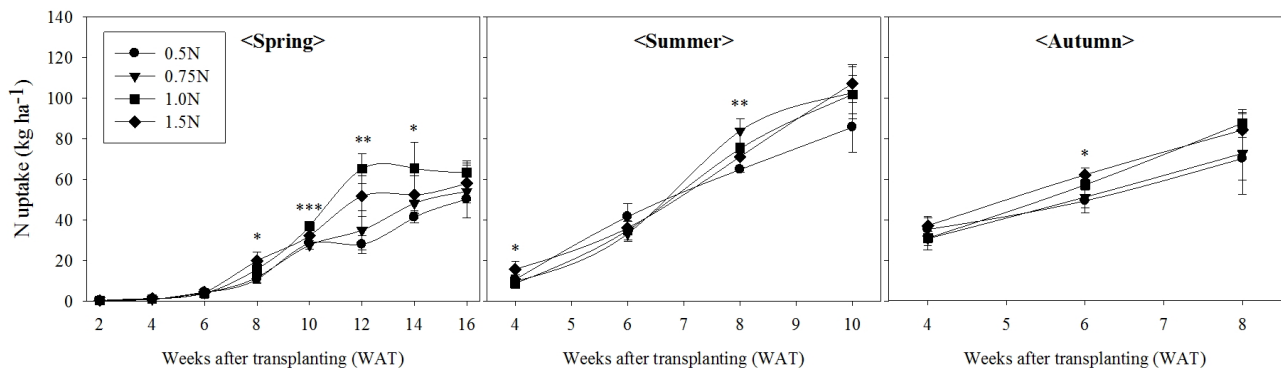
## Results and Discussion

관비를 통한 비료의 공급이 표층시비를 하였을 때보다 작물의 비료이용율이 높다는 과거 연구결과를 바탕으로, 시설수박 재배 시 재배작형 및 생육단계별 적정 질소관비량을 산정하기 위하여 수행된 연구의 결과는 다음과 같다. 본 연구에 사용된 토양의 화학성은 Table 1에서와 같이 유기물을 제외한 양분의 농도가 시설수박 적정범위를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 토양검정 비료사용량과 농가관행 비료사용량은 N, P, K 각각 1.66, 2.56 및 1.91배 가량 농가에서 과다하게 공급하고 있는 것으로 나타났으며 (Table 2) 이러한 차이는 웃거름의 과다공급뿐만 아니라 밑거름을 2회 (봄, 여름작기)에 걸쳐 공급한 결과로 판단된다.

**Watermelon growth and N uptake** 웃거름 질소공급량에 따른 재배작형 및 생육단계별 시설수박의 생육과 (Fig. 1) 질소흡수량의 변화를 (Fig. 2) 분석하였다. 각 작형별 시설수박 생육반응을 보면 봄작기에는 S자 형태를 보인 반면 여름과 가을작기에는 직선형태를 보여 재배작형간에 생장반응이 상이한 것으로 나타났다. 재배작형별 시설수박의 착과기에도 차이가 있었는데 봄작기에는 정식 후 8주, 여름작기에는 정식 후 6주, 가을작기에는 정식 후 4주에 착과되었고 이는 온도와 일조에 크게 영향을 받는 것으로 판단되었다. 질소공급량에 따른 수박 지상부의 (잎+줄기+과실) 총 건물생산량은 (3작기 합) 1.5N (10,503 kg ha<sup>-1</sup>) > 1.0N (9,678 kg) > 0.5N (9,543 kg) > 0.75N (9,284 kg)의 순으로 나타나 질소공급량이 증가함에 따라 건물생산도 증가하는 경향을 보였다.



**Fig. 1.** Cropping season- and nitrogen level-dependent shoot growth of watermelon. The red-colored arrow indicates a period of fruit setting at each cropping season. The symbols, \* and \*\*, mean significant difference at  $p < 0.05$  and  $0.01$ , respectively ( $n=3$ ).



**Fig. 2.** Cropping season- and nitrogen level-dependent N uptake of watermelon shoot. The symbols, \*, \*\* and \*\*\*, mean significant difference at  $p < 0.05$ ,  $0.01$  and  $0.001$ , respectively ( $n=3$ ).

또한 질소공급량에 따른 각 작기별 건물생산량의 경우 봄작기에는 처리간에 차이가 없었으나 여름 및 가을작기에는 질소공급량이 증가함에 따라 건물생산량이 증가하였다. 관비 질소 공급량에 따른 시설과채작물의 생육에 대한 연구결과가 보고되었는데 (Lim et al., 2001; Jung et al., 2010; Seo et al., 2012; Ha et al., 2015), 작물의 생육은 질소공급량에 영향을 받으나 본 연구결과에서 제시된 것처럼 시설수박 무기태질소 적정범위 ( $50 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ )보다 토양 중 양분함량 ( $206 \text{ mg kg}^{-1}$ )이 높은 경우, 토양으로부터 공급되는 질소에 의해 관비공급에 의한 생육촉진 효과가 작은 것으로 나타났다. 따라서 질소관비공급량 설정 시 토양 중 양분함량을 고려하여 결정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 작물생육뿐만 아니라 시설수박의 질소흡수량도 재배작형 및 질소공급량에 따라 상이하게 나타났는데 (Fig. 2), 여름작기 ( $85.7 \sim 107.3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) > 가을작기 ( $70.3 \sim 87.7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) > 봄작기 ( $50.2 \sim 63.4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) 순의 질소흡수량을 보였으며 특히 질소공급량이 증가함에 따라 질소흡수량이 증가하는 경향을 보였다. 작물의 질소흡수량은 재배작형, 생육단계 및 작물에 (일회수확형 vs. 연속수확형) 따라 달라질 수 있는데 본 연구에서는 일조량과 기온이 높은 시기와 작물의 과비대기에 가장 높았으며, 많은 연구에서도 유사한 결과를 보였으며 특히 일회수확형 작물에 비해 연속수확형 작물의 질소흡수량이

높은 것으로 제시하였다 (Jung et al., 2005; Jung et al., 2010; Seo et al., 2012; Ha et al., 2015).

**Yield of watermelon** 질소공급량에 따른 시설수박의 단위면적(ha)당 상품과 수량은 여름작기 ( $42.7 \sim 51.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) > 가을작기 ( $32.9 \sim 37.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) > 봄작기 ( $26.7 \sim 29.4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) 순으로 나타나 재배기간보다는 일조량과 기온이 시설수박 생산량에 영향을 미치는 주요한 요소인 것으로 나타났다. 질소공급량에 따른 수량은 여름과 가을작기에는 질소공급량에 따라 유의적인 차이를 보였으나 봄작기에는 처리간에 차이를 보이지 않았다. 또한 수박 수량에 대하여 질소공급량과 농가관행을 비교한 결과 봄작기에는 처리 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 여름과 가을작기에는 농가관행과 1.5N 처리구에서 유의적으로 높은 수량을 보였다. 농가관행구의 수량이 높은 이유는 여름작기 정식 전에 밑거름을 공급하여 질소공급량 처리구에 비해 많은 양의 비료원이 ( $N-P-K = 323-261-334 \text{ kg ha}^{-1}$ , 1.0N 대비  $N-P-K = 1.66-2.56-1.91$ 배 가량 농가에서 과다하게 공급) 공급되었기 때문인 것으로 판단된다 (Table 1). 질소공급량과 작물수량과의 관계는 다소 상이한 결과를 보이는데, 질소공급량이 증가할수록 작물수량도 증가하거나 (Lim et al., 2001; Seo et al., 2012), 관비형태의 질소공급은 작물의 질소이용효율을 25 ~

40% 증가시켜 토양검정 웃거름 질소공급량의 0.5 ~ 0.75배 수준의 질소공급으로 최대 수량에 도달할 수 있다고 (Lee et al., 1997; Singandhupe et al., 2003; Jung et al., 2005; Jung et al., 2010; Ha et al., 2015) 보고되어있다. 본 연구에서는 토양검정 웃거름 질소공급량의 1.5배 수준에서 가장 높은 수량을 보여 수박의 경우 질소공급량과 작물수량이 비례 관계가 있는 것으로 나타났다.

**Optimal N supply levels for watermelon production** 재배작형 및 생육단계에 따른 시설수박의 적정 웃거름 질소공급량을 산정하였다 (Table 3). S자형 생육반응을 보인 봄작기는 정식 ~ 6주에는 웃거름 질소 총공급량의 5 ~ 7%, 6주 ~ 14주에는 87 ~ 93%, 14주 ~ 수확까지는 0 ~ 8%를 공급하고, 직선형 생육반응을 보인 여름작기와 가을작기의 경우, 여름작기는 정식 ~ 4주에는 25 ~ 29%, 4주 ~ 8주에는 49 ~ 50%, 8주 ~ 수확까지는 22 ~ 26%를 공급하고 가을작기에는 정식 ~ 4주에는 46 ~ 49%, 4주 ~ 수확까지는 51 ~ 54%를 공급하는 것이 적절한 것으로 나타났다. 시설 애호박과 (Ha et al., 2015) 참외에 (Jung et al., 2010) 대한 생육단계별 적정 질소공급량도 생육초기 - 생육최성기 - 생육후기 등 3단계로 구분하여 공급하도록 산정하였다. 따라서 작물생육기간이 긴 경우에는 수확형태에 (일회수확 vs. 연속수확) 관계없이 생

육반응곡선을 기반으로 웃거름 질소공급량을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시된 것처럼, 재배기간이 짧은 경우에는 웃거름 질소공급비율을 생육단계에 따라 1 : 2 : 1 또는 1 : 1의 비율로 공급하는 것이 작물의 건전생육과 목표수량확보에 유리할 것으로 생각된다.

### Conclusions

본 연구는 토양검정 질소공급량을 기준으로 웃거름 질소공급량을 가감하여 공급하였을 때, 시설수박의 재배작형 및 생육단계별 수박생육, 질소흡수량 및 수량에 미치는 영향을 분석하여 이를 바탕으로 시설수박의 생육단계별 최적 웃거름 질소공급량을 산정하기 위하여 수행하였다. 수박생육과 질소흡수량은 재배작형에 따라 다르게 나타났는데, 봄작기는 S자형 생육과 질소흡수 반응으로 여름작기와 가을작기는 직선형의 형태를 보였으며 생육과 질소흡수량 모두 웃거름 질소공급량에 따라 증가하는 경향을 보였다. 재배작형별 수박 수량은 여름 > 가을 > 봄작기 순이었으며 1.5N에서 가장 높은 수량을 보였으나, 나머지 질소처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 작물생육, 질소흡수량 및 수량을 바탕으로 시설수박 재배를 위한 재배유형 및 생육단계별 (생육초기-최성기-생육후기)별 웃거름 질소공급량은 봄작기에 5

**Table 3. Yield (fresh, Mg ha<sup>-1</sup>) of watermelon by cropping pattern and N supply levels.**

N levels	Growth period		
	Spring <sup>††</sup>	Summer	Autumn
0.5N <sup>†</sup>	26.8 <sup>ns†††</sup>	47.5 <sup>b</sup>	32.9 <sup>b</sup>
0.75N	28.4	48.3 <sup>b</sup>	34.4 <sup>b</sup>
1.0N	29.4	42.7 <sup>c</sup>	34.7 <sup>b</sup>
1.5N	28.4	51.7 <sup>a</sup>	37.6 <sup>a</sup>
Farmer's practice	26.7	51.8 <sup>a</sup>	37.1 <sup>a</sup>
F value (LSD)	0.4	13.9	7.7

<sup>†</sup>The value means the relative rate to soil test-based N level as expressed with 1.0N. <sup>††</sup>The period of watermelon cultivation at each cropping season is described at *Materials and Method*. <sup>†††</sup>The same letters within the column mean no significant difference using LSD test (P<0.05, n=3).

**Table 4. Optimal N supply by growth stage based on growth and N uptake of watermelon.**

Growth stage (week)	N supply (kg ha <sup>-1</sup> )				
	Spring <sup>†</sup>	Growth stage (week)	Summer	Growth stage (week)	Autumn
transplanting ~ 6	~ 1.2 (5~7%)	transplanting ~ 4	7.4 ~ 8.2 (25~29%)	transplanting ~ 4	6.4 ~ 8.3 (46~49%)
6 ~ 14	13.9 ~ 19.4 (87~93%)	4 ~ 8	12.7 ~ 16.0 (49~50%)	4 ~ harvest	6.8 ~ 9.6 (51~54%)
14 ~ harvest	0 ~ 1.8 (0~8%)	8 ~ harvest	5.9 ~ 8.4 (22~26%)		
Total	15.0 ~ 22.4		26.0 ~ 32.6		13.2 ~ 17.9

<sup>†</sup>The period of watermelon cultivation at each cropping season is described at *Materials and Method*.

: 90 : 5%, 여름작기에 25 : 50 : 25%, 가을작기에 50 : 50%의 비율로 공급하는 것이 생육과 수량에 가장 효과적인 것으로 판단된다. 또한 관비재배의 경우 질소의 이용율이 증가하여 시설수박 재배를 위한 질소비료 공급량을 줄일 수 있을 것으로 기대하였으나 본 연구에서는 질소비료 감비효과가 나타나지 않아, 향후 토성 등 토양조건에 따른 적정 웃거름질소공급량 산정을 위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## References

- Ha, S.K., Y.K. Sonn, K.H. Jung, Y.J. Lee, M.J. Cho, H.J. Yun, and J.K. Sung. 2015. Estimation of growth stage-based nitrogen supply levels for greenhouse semi-forcing zucchini cultivation. *J. of Agric. Sci.* 42:319-324.
- Hedge, D.M. 1997. Nutrient requirement of Solanaceous vegetable crops. Extension Bulletin ASPAC, FFTC. No. 411. 9.
- Jung, B.G., H.J. Jun, Y.S. Song, and K.S. Lee. 2005. Establishment of optimum nitrogen application rates in fertigation system for vegetable cultivation. Annual report of National Academy of Agricultural Science pp. 270-289.
- Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the optimum nitrogen application rate for Oriental Melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:349-355.
- Lee, I.B., J.H. Lim, and J.M. Park. 2007. Effect of reduced nitrogen fertigation rates on growth and yield of tomato. *Korean J. Environ. Agric.* 26:306-312.
- Lee, S.G., K.Y. Kim, J.H. Chung, Y.B. Lee, and J.H. Bae. 1997. Effect of nitrogen fertilizer level on the yield and quality of watermelon. *J. Bio. Fac. Env.* 6:97-102.
- Lim, J.H., I.B. Lee, and H.I. Kim. 2001. A criteria of nitrate concentration in soil solution and leaf petiole juice for fertigation of cucumber under greenhouse cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:316-325.
- MAFRA statistics. 2014.
- Miller, R.J., D.E. Rolstan, R.S. Rauschkolb, and D.W. Walfe. 1976. Drip irrigation of nitrogen is efficient. *California Agriculture* 30:16-18.
- NAAS. 2010. Fertilizer recommendation for crop production pp. 82-83.
- NAAS. 2012. Monitoring project on agro-environmental quality pp. 50.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pang, X.P., J. Letey, and L. Wu. 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:257-261.
- Park, H.T. and S.D. Hong. 2000. Optimum level of nitrogen fertilizer based on content of nitrate nitrogen for growing Chinese cabbage in green house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:384-392.
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. Review and interpretation: improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91:357-362.
- Seo, Y.J., I.K. Yeon, Y.S. Shin, D.W. Suh, S.Y. Choi, S.D. Park, W.C. Jang, and J.K. Suh. 2012. Determination of NPK concentration in fertigation solution for production of greenhouse oriental melon (*Cucumis melo* L.) using response surface methodology. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:492-496.
- Singandhupe, R.B., G.G.S.N. Rao, N.G. Patil, and P.S. Brahmanand. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop. *Eur. J. Agron.* 19:327-340.