

토양의 질산태 질소와 수량과의 관계를 통한 오이의 질소 시비량 설정

임태준* · 홍순달¹⁾ · 김승희 · 박진면

원예연구소 원예토양관리연구팀, ¹⁾충북대학교 농과대학 농화학과
(2007년 6월 21일 접수, 2007년 7월 24일 수리)

Recommendation of Nitrogen Fertilization for Cucumber from Relationship between Soil Nitrate Nitrogen and Yield

Tae-Jun Lim*, Soon-Dal Hong¹⁾, Seung-Heui Kim, and Jin-Myeon Park (Horticultural Soil Management Team, National Horticultural Research Institute, Suwon 441-440, Korea, ¹⁾Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

ABSTRACT: This study was carried out to establish the reasonable level of nitrogen (N) fertilization based on soil nitrate nitrogen (NO₃-N) content for cucumber (*Cucumis sativus* L.) under plastic film house. Cucumber plants were cultivated with standard and free N fertilization in eight soils which had various amounts of NO₃-N ranging from 67 to 343 mg/kg. The yield of cucumber was in the range of 1006 to 2369 g/plant, depending on the nitrogen supplying capability of soils. The amount of NO₃-N in the soil was negatively correlated with agronomic efficiency (AE) and N use efficiency (NUE). The critical level of soil NO₃-N content for cucumber in N free fertilization was found to be about 260 mg/kg in Cate-Nelson analysis of variance between soil NO₃-N and AE or NUE. Also the same critical soil NO₃-N content was found in the yield and amount of N uptake of cucumber under N free fertilization. A standard N fertilization was required when soil NO₃-N content was below 70 mg/kg. The optimal application rate of N fertilizer for cucumber in the soils containing NO₃-N between 260-70 mg/kg could be recommended by the equation $Y = -1.032X + 269.2$ (Y: N fertilization rate, kg/ha; X: soil NO₃-N content, mg/kg).

Key Words: cucumber, nitrate nitrogen, N fertilization

서론

유기물 자재로 가축분 퇴비는 토양 물리성의 개선과 양분의 공급 등 작물에 매우 중요한 역할을 지닌다. 그러나 양분 수치를 고려하지 않고 매 년 또는 작기에 작물이 요구하는 적정 양분 이상의 가축분 퇴비 및 화학비료의 관행적 시비는 시설토양의 염류집적뿐 아니라 작물의 수량 감소 등 각종 장애의 원인이 된다¹⁻³⁾. 국내농업 양분지표 중 질소 균형지표 설정에 관한 연구에서 질소 균형지표는 85년 기준 70~162 kg/ha에서 97년에 1.7~2.3배 증가하였으며 증가원인을 가축분 퇴비 및 화학비료 소비량 증가와 경지면적의 감소로 분석하였다⁴⁾. 이러한 결과는 질소의 투입량이 매우 과다함을 나타내는 것이며 특히 가축분 퇴비의 양분함량을 고려하지 않는 시

비관행이 질소투입량을 증가시키는 원인이 되고 있다. 또한 시설원에 재배지 토양 화학적 특성 조사에서 채소를 연작하는 시설토양의 경우 유기물, 유효인산, 치환성 칼리 함량이 점차 증가되는 경향을 보였으며 이는 가축분 퇴비와 화학비료의 과다 시비가 원인인 것으로 보고하였다²⁾. 상기와 같은 결과로부터 경작 년수가 오래된 시설재배 토양의 경우 염류 집적이 과다한 수준에 도달되었다는 것을 나타내며, 따라서 염류 경감을 위한 체계적인 시비관리의 준수 및 질소 적정 시비량에 대한 효율적인 지표성분의 설정이 필요하다 할 수 있다.

질소의 적정 시비량에 대한 효율적인 지표 성분을 결정함에 있어서 시설 배추의 적정 시비량 연구에서 배추의 생산력에 가장 큰 영향을 미치는 지표가 무기태 질소(NO₃-N, NH₄-N)이며, 무기태 질소는 질산태 질소와 고도의 유의 상관을 보인다는 것을 보고하였다^{5,6)}. 그러므로 시설 토양에서 질산태 질소를 단일지표로 하여 질소시비량 추천이 가능하다^{5,7,8)}. 따라서 본 연구에서는 안정적인 수량 생산의 확보 및 연작에 따

*연락처:

Tel: +82-31-290-6263 Fax: +82-31-290-6259
E-mail: taejun1575@rda.go.kr

른 토양의 과도한 양분 집적 방지를 위해 과채류 중에서 연중 2-3회 지속적으로 재배하는 오이 작물을 대상으로 토양 중 질산태 질소의 함량 차이에 따른 수량 및 질소 흡수량과의 상관관계를 통하여 적정 질소 시비량을 추정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 충북 청원군 옥산면과 오송면의 시설 토양 중에서 질산태 질소 함량이 67-343 mg/kg의 다양한 범위를 보이는 8개 포장을 선정하여 20 cm 깊이까지의 토양을 채취 풍건 시킨 후 15 L 용적의 플라스틱 포트에 충전하였으며, 공시 토양의 화학성은 Table 1과 같다.

공시작물은 오이(*Cucumis sativus* L.) 은성 백다다기로, 파종 후 35일째인 2001년 3월 17일에 묘를 정식하였으며 시비 수준은 무비구와 표준시비구로 나누어 각각 3반복 완전임의 배치법으로 처리하였다. 표준시비구의 시비량은 작물별 시비 처방기준에 준하여 질소-인산-칼리를 197-103-122 kg/ha의 수준으로 요소, 용과린 및 염화加里로 시비하였다. 재배기간 동안 포트 밑면의 받침대를 통하여 수분이 공급되도록 하였다. 수량조사는 정식 후 37일째인 4월 23일부터 5월 21일까지 총 16회 걸쳐서 실시하였으며, 식물체 생체중은 정식 후 65일째인 5월 21일에 수확하여 조사하였으며, 70°C에서 건조시킨 후 건물중으로 하였다.

토양 화학성 분석은 토양화학분석법에 준하여 실시하였으며⁹⁾, 토양의 질산태 질소는 토양 5 g에 50 mL의 0.025 M Al₂(SO₄)₃ 침출액을 넣고 30분 진탕 후 여과하여 Ion selective analyzer(Orion model 960)으로 분석하였다. 식물체 질소는 70°C에서 건조한 시료를 이용하여 micro-Kjeldahl법으로 분석하였다.

시설오이 재배에서 질산태 질소를 기준으로 한 적정 시비량은 시비구와 무비구와의 수량 차이에 따른 agronomic efficiency(AE)와 시비량에 대한 질소흡수량의 차이인 N use efficiency(NUE)로 평가하였으며¹⁰⁾, 또한 무비구 토양의 비옥도

평가로 무비구의 수량 및 질소 흡수량과 질산태 질소와의 상호관계의 분석을 통하여 시비량을 추정하였다.

결과 및 고찰

오이 수량 토양의 질산태 질소 수준에 따른 오이의 수량은 Fig. 1과 같다. 무비구와 표준시비구에서의 오이의 수량은 토양의 질산태 질소 함량에 따라 최소 1,006 g/plant에서 최대 2,369 g/plant까지의 범위를 보였다. 표준시비구와 무비구의 수량은 토양의 질산태 질소 함량이 204 mg/kg 이하인 토양에서는 유의성 있는 차이를 보였으나, 질산태 질소함량 287 mg/kg 이상의 토양에서는 시비구의 수량이 무비구와 비교하여 증수효과를 나타내지만 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 토양의 질산태 질소가 오이의 생산력을 결정하는 효율적인 지표성분이 될 수 있는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 시설재배 방울토마토의 질산태 질소 함량이 280 mg/kg을 초과할 때 비료의 시비효과가 없다고 한 것과, 배추에서 토양 중 질산태 질소 함량이 220 mg/kg 및 310 mg/kg을 초과할 때 비료의 시비효과가 없다는 연구결과들로부터 질산태 질

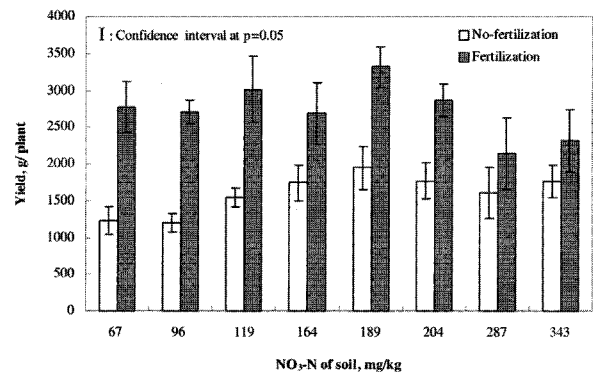


Fig. 1. Yield of cucumber in fertilization and no fertilization plots under various NO₃-N content of soils.

Table 1. Chemical properties of experimental soils

Soil No	Soil Texture [†]	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cation (cmol _c /kg)			CEC (cmol _c /kg)
							K	Ca	Mg	
1	L	6.7	1.02	55	67	3135	1.16	7.03	2.83	14.3
2	SL	6.8	1.25	19	96	2098	0.73	6.72	1.92	10.0
3	SL	5.9	1.44	38	119	2252	1.14	4.97	1.71	10.4
4	SL	6.7	2.58	18	164	3184	1.88	4.72	1.59	8.3
5	L	6.3	2.25	59	189	3213	1.60	8.10	3.13	15.7
6	SL	6.0	3.40	23	204	1695	1.03	6.25	1.77	9.0
7	SL	5.9	3.87	33	287	1921	1.27	6.53	2.00	10.1
8	SL	6.1	4.74	27	343	1858	1.20	6.43	1.99	9.6

[†]L: Loam, SL: Sandy Loam

소가 수량을 결정짓는 유효한 지표성분이라는 일치된 결과를 보였다^{6,7,11)}.

질소 적정시비량 결정 오이의 건전한 생육과 과다한 양분 집적에 따른 수량 감소 및 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위해 무비 재배가 가능한 질소 상한기준과 표준시비가 요구되는 질소 하한기준을 설정하고자 하였다. 토양 중 질산태 질소 함량에 따른 오이의 생산력 검정은 토양의 적정 양분함량을 평가하는데 많이 사용되는 Cate-Nelson 분할 방법을 이용한 Agronomic efficiency(AE) 및 N use efficiency(NUE)에 대한 분석을 통하여 질소의 상한기준을 평가하는데 이용하였다^{12,13)}. Cate-Nelson 분할 방법은 추세선의 방향을 positive, 그 반대방향을 negative 영역으로 도표를 4등분하여 negative 영역의 자료 분포가 최소가 되게 하는 방법이다. AE는 토양에의 비료 공급량에 대한 시비구와 무비구의 오이 수량의 차이

로 평가하였으며, NUE는 표준시비구와 무비구와의 식물체 건물중에 대한 질소흡수량의 차이로 각각 평가하였다.

$$AE = \frac{\text{Yield in fertilized plot (kg ha}^{-1}) - \text{Yield in control plot (kg ha}^{-1})}{\text{Quantity of fertilizer nutrient applied (kg ha}^{-1})}$$

토양의 질산태 질소함량이 증가할수록 AE와 NUE는 감소하는 관계를 보였으며 negative 영역의 변이가 최소가 되는 토양 질산태 질소 함량은 280 mg/kg으로 평가되었다(Fig. 2, Fig. 3). 또한 Table 2에서의 Cate-Nelson 일원분류의 분산분석(ANOVA)은 평방회(sum of square)의 비율 값(R²)으로 크기를 비교하여 최대점에서 최적 분할 기준을 설정하는 방법으로 위의 Cate-Nelson 분할 방법과 마찬가지로 280 mg/kg으로 평가되었다.

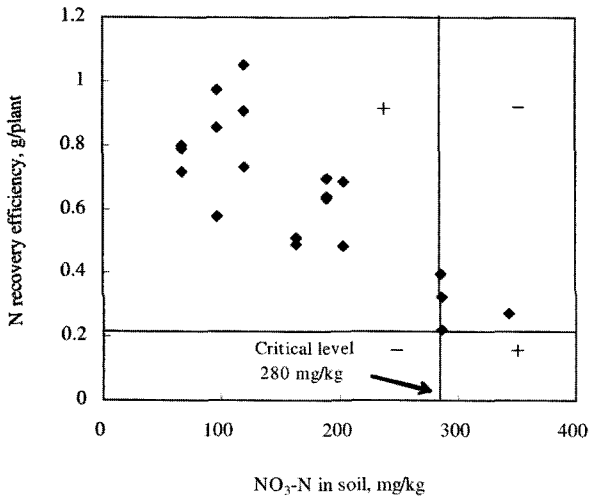


Fig. 2. Relationship between NO₃-N content in soils and agronomic efficiency.

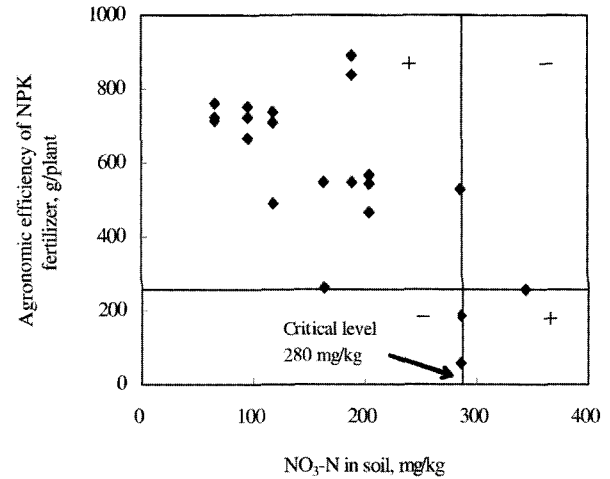


Fig. 3. Relationship between NO₃-N content in soils and N recovery efficiency.

Table 2. Determination for maximization of R² in a one-way analysis of variance of agronomic efficiency and N recovery efficiency

Soil No	Soil test N mg/kg	Agronomic efficiency [†]					N recovery efficiency [‡]				
		Yfer	Ycon	△Ymax	Class SS	R ²	Nfer	Ncon	△Ymax	Class SS	R ²
8	343	2,313	1,765	548			1.28	0.95	0.33		
7	287	2,145	1,606	539	186,208	0.57	1.16	0.84	0.32	0.238	0.727
6	204	2,872	1,738	1,104	147,982	0.45	1.47	0.91	0.56	0.233	0.712
5	189	3,316	1,952	1,364	80,802	0.25	1.58	0.92	0.66	0.192	0.585
4	169	2,477	1,742	735	176,487	0.53	1.51	0.90	0.61	0.214	0.652
3	119	3,012	1,548	1,464	108,542	0.33	1.68	0.77	0.91	0.080	0.243
2	96	2,704	1,197	1,507	20,761	0.15	1.45	0.64	0.81	0.028	0.086
1	67	2,775	1,230	1,545			1.41	0.63	0.78		

[†]Y_{fer}, yield response to standard fertilizer applications; Y_{con}, yield response to no fertilizer.

[‡]N_{fer}, nitrogen uptake applied as standard fertilizer applications; N_{con}, nitrogen uptake of no fertilizer.

시비 상한기준을 결정하는 또 다른 방법으로 토양의 질산태 질소 함량에 따른 무비구의 수량 및 질소 흡수량과의 변화를 평가하는 것이다. 무비구의 수량은 Fig. 4에서 토양의 질산태 질소 함량 250-260 mg/kg에서 최대범위를 나타냈으며, 255 mg/kg에서 최대값을 보였다. 따라서 오이 무비구의 수량 평가에서 토양 중 질산태 질소 함량이 255 mg/kg 정도에서 질소비료의 시비 없이도 최대 수량을 보이는 것으로 판단되었다. Fig. 5는 질산태 질소 함량에 대한 무비구 지상부에 대한 질소흡수량이 최대가 되는 수준을 질소 무비 재배가 가능한 임계기준으로 추정하는 것이다. 식물체 질소 흡수량의 변화는 토양의 질산태 질소 함량이 증가함에 따라 질소 흡수량도 증가하여 256 mg/kg에서 0.78 g/plant의 최대 질소 흡수량을 보였다.

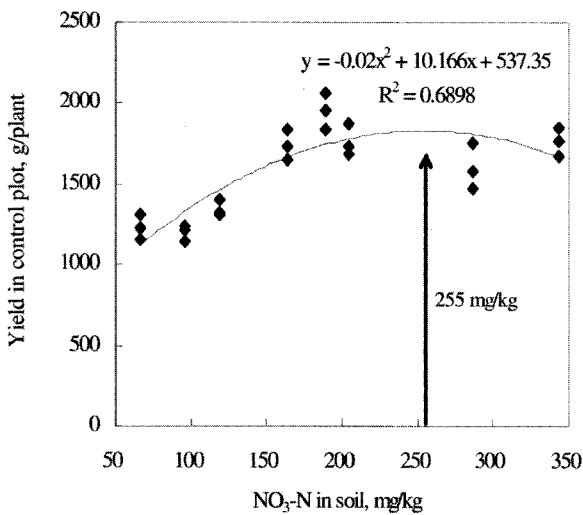


Fig. 4. Cucumber yield response to various soil NO₃-N contents in no N fertilization plots.

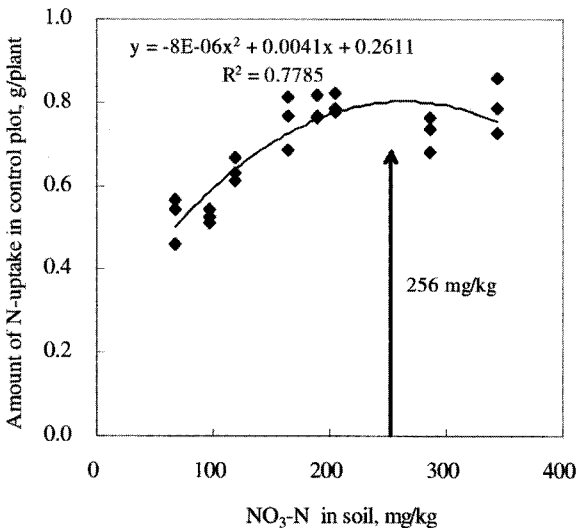


Fig. 5. N-uptake of cucumber corresponding to various soil NO₃-N contents in no N fertilization plots.

이상과 같은 방법들로부터 시설 오이의 질소 무비 재배를 위한 토양의 질산태 질소의 상한기준을 255-280 mg/kg의 범위로 평가할 수 있겠으나 환경에 대한 영향을 고려하여 260 mg/kg 수준으로 추정하였다. 이러한 낮은 수준에의 기준 설정은 최고의 수량을 보이는 토양에의 질소 공급량은 작물의 생산력을 증가시키지만 환경적인 위험 또한 가중시킬 뿐 아니라, 질소 시비량 대비 작물의 수량반응에서 질소이용효율은 시비비율의 증가와 함께 점진적으로 감소하기 때문에 토양에의 과다한 양분함량의 방지를 위해 상기와 같이 결정하였다^{7,14,15}. 오이의 질소 무비 재배를 위한 상한기준은 배추에 대한 질산태 질소 기준함량 200 mg/kg보다는 높은 수준이었으며⁸, 방울토마토에 대하여 제시한 임계기준 280 mg/kg보다는 낮은 수준으로 평가되었다⁷.

오이 재배에서 표준시비량을 처리해야 하는 토양의 질산태 질소 함량을 추정하기 위해 67, 96, 119, 169 mg/kg인 4개의 토양 처리에서 표준시비량에 대한 오이 수량을 Duncan의 다중비교를 이용하여 분석하였다(Table 3). 토양의 질산태 질소 함량 수준간의 비교에서 오이 수량에 대한 차이를 보이지 않았다. 위의 결과로부터 질소 표준시비량이 요구되는 하한기준은 수량간의 차이를 보이지 않으면서 질산태 질소 함량이 가장 낮은 67 mg/kg으로 평가되었다. 따라서 표준시비가 요구되는 질산태 질소 기준으로는 70 mg/kg 수준으로 판단된다. 이 기준은 작물별 시비 처방기준¹⁶에 의한 질산태 질소 기준으로 시비추천식 $y = 29.0 - 0.096x$ (y: 질소시비량, x: 토양 NO₃-N 함량)를 적용하였을 경우, 표준시비량이 요구되는 질산태 질소의 함량이 96 mg/kg으로 비교 평가되어, 본 실험에서의 표준시비 기준 보다 높게 평가되었다.

위의 결과로부터 오이의 수량과 토양의 질산태 질소 함량과는 유의한 상관을 보임을 알 수 있었으며, 또한 질산태 질소를 기준으로 하여 오이에 대한 질소 시비 추천이 가능한 것으로 판단되었다. 오이 재배에서 질산태 질소 함량이 70 mg/kg 이하인 토양의 경우 표준시비가 요구되고, 260 mg/kg 수준인 경우 질소 무비 재배가 가능할 것으로 판단되며, 70-260 mg/kg 범위의 토양에서는 다음과 같은 추천식 $Y = -1.032X + 269.2$ (Y: 질소시비량, kg/ha; X: 시험 전 토양의 질산태 질소 함량, mg/kg)이 추정되었다.

Table 3. Statistical analysis for yield of cucumber grown in soils of various NO₃-N contents with no fertilization

Soil NO ₃ -N (mg/kg)	Yield (g/plant)	ANOVA	
		F value	Pr>F
67	2,774 ^a	0.22	0.88
96	2,703 ^a		
119	2,912 ^a		
169	2,688 ^a		

요약

토양의 질산태 질소를 이용하여 시설 오이의 적정 질소 시비량을 결정하고자 질산태 질소 함량이 67-343 mg/kg의 범위를 갖는 8곳의 시설재배 토양으로부터 오이를 공시작물로 표준시비구와 무시비구에 대한 생산력 검정시험을 포트 재배로 조사하였다. 오이의 수량은 최소 1,006 g/plant에서 최대 2,369 g/plant로 토양 질소함량 수준에 따라 다양한 생산능력의 차이를 보였다. 토양의 질산태 질소는 Agronomic efficiency(AE)과 N use efficiency(NUE)와는 부의 상관을 보였다. 질소 무비 재배를 위한 시험 전 토양의 질산태 질소 임계기준은 토양의 질산태 질소 함량에 대한 AE 및 NUE의 관계를 Cate-Nelson 일원분류의 분산분석법으로 비교하고 또한 무비구의 수량 및 지상부의 질소 흡수량과의 관계로부터 추정하였을 때 약 260 mg/kg으로 나타났다. 질소 표준 시비가 요구되는 시험 전 토양의 질산태 질소 임계기준은 70 mg/kg으로 추정되었다. 질산태 질소 함량이 70-260 mg/kg 범위의 토양에서는 $Y = -1.032X + 269.2$ (Y: 질소시비량, kg/ha; X: 시험 전 토양의 질산태 질소 함량, mg/kg) 추천식으로 질소시비량을 결정할 수 있다.

참고문헌

- Daliparthi, J., Herbert, S. J. and Veneman, P. L. M. (1994) Dairy manure application to alfalfa crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water, *Agron. J.* 86, 927-933.
- Jung, B. G., Choi, J. W., Yun, E. S., Yoon, J. H., Kim, Y. H. and Jung, G. B. (1998) Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31(1), 9-15.
- Ulery, A. L., Teed, J. A., Genuchten, M. Th. van. and Shannon, M. C. (1998) SALTDATA: A Database of plant yield response to salinity, *Agron. J.* 90, 556-562.
- Lee, C. S., Kim, P. J., Park, Y. H. and Kwak, H. K. (2000) Determination of nitrogen balance of agricultural land among OECD nutrient balance indexes, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(5), 347-355.
- Hong, S. D. (2001) Effective management for cultivation soils under plastic film house. In International symposium on soil and water management, *Korean J. Soil Sci. Fert.* p. 120-164.
- Hong, S. D., Kang, B. G. and Kim, J. J. (1998) Optimum fertilization based on soil testing for chinese cabbage cultivation in plastic film houses, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31(1), 16-24.
- Kang, S. S. and Hong, S. D. (2004) Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate concentration for tomato cultivation in plastic film house, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2), 74-82.
- Park, H. T. and Hong, S. D. (2000) Optimum level of nitrogen fertilizer based on content of nitrogen for growing chinese cabbage in green house, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(6), 384-392.
- NIASI. (2000) Method of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Jagadeeswaran, R., Murugappan, V. and Govindaswamy, M. (2005) Effect of slow release NPK fertilizer sources on the nutrient use efficiency in Turmeric (*Curcuma longa* L.), *World. J. Agri. Sci.* 1(1), 65-69.
- Kwak, H. K., Song, Y. S. and Hong, C. W. (1997) Nitrogen recommendation based on soil nitrate test for chinese cabbage growth in plastic film house, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30(1), 84-88.
- Cate, R. B. Jr. and Nelson, L. A. (1971) A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two class, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35, 658-660.
- Black, C. A. (1993) Soil fertility evaluation and control, CRC Press Inc., p. 349-352.
- Halvorson, A. D., Black, A. L., Krupinsky, J. M., Merrill, S. D., Wienhold, B. J. and Tanaka, D. L. (2000) Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat, *Agron. J.* 92, 136-144.
- Schlegel, A. J., Grant, C. A. and Havlin, J. L. (2005) Challenging approaches to nitrogen fertilizer recommendations in continuous cropping systems in the Great plains, *Agron. J.* 97, 391-398.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. (2006) 작물별 시비처방 기준.