

## 폐지섬유를 이용한 완효성 요소비료가 배추의 생육 및 수량과 토양의 화학성에 미치는 영향

백준호 · 김복진 · 박우철<sup>1)</sup> · 강상재<sup>2)</sup>

영남대학교 생물자원학부, 경북대학교 농화학과<sup>1)</sup>, 상주대학교 원예학과<sup>2)</sup>

### Effects of Slow-Released Nitrogen Fertilizer Using Waste Paper Slurry on the Growth and Yield of Chinese Cabbage and Chemical Properties of Soil

Jun-Ho Back, Bok-Jin Kim, Woo-Churl Park<sup>1)</sup>, and Sang-Jae Kang<sup>2)</sup> (School of Biological Resources, Yeungnam University, Kyongsan, 712-749, <sup>1)</sup>Dept. of Agricultural Chemistry, Kyungbook National University, Taegu, 702-701, <sup>2)</sup>Dept. of Horticulture, Sangju National University, Sanju, 742-711)

**ABSTRACT** : The purpose of this study was to find out the effects of slow-released nitrogen fertilizer (SRF) on the growth and yield of chinese cabbage. The SRF used in this study was prepared by embedding urea into a waste paper slurry. The underwater dissolution rate of SRF was very rapid during the first 12 hours and 60.4% of the embedded nitrogen was released after 72 hours. The SRF and urea was applied as nitrogen source and growth, yield, yield components, nitrogen uptake of Chinese cabbage were investigated a pot experiment. Maximum leaf length of chinese cabbage was not different between SRF and urea treatments. Length and with of head, number of leaf per head and fresh weight of chinese cabbage were higher in SRF treatment than those in urea treatment, but the differences were not statistically significant. Comparing to the urea treatment, nitrogen content and nitrogen uptake efficiency of chinese cabbage were significantly higher in SRF treatment. After the experiment, total soil nitrogen contents were not different between the SRF and urea treatments.

**Key words** : Chinese cabbage, SRF(slow-released fertilizer), Chlorophyll content, Photosynthetic activity, Nitrogen content, Nitrogen uptake, Nitrogen efficiency

## 서 론

작물은 생육시기에 따라 양분의 요구도가 다르므로 정상적인 생육을 위해서는 작물이 필요로 하는 시기에 알맞은 양의 양분이 공급되어야 한다<sup>1)</sup>. 그러나 현재 사용되고 있는 질소비료는 대부분이 속효성임으로 전량을 기비로 시용하면 생육초기에 염류장해가 일어나거나, 과잉 흡수되면 도복이나 병충해의 피해가 일어날 수 있다<sup>2)</sup>. 그리고 토양에서 용탈 및 유실되는 양이 많아져 토양과 수질을 오염시킬 뿐 만 아니라 비료의 효과가 감소한다. 그래서 속효성 질소비료는 작물의 생육시기에 맞추어 양분공급이 적절히 되도록 분시하여야 하지만 그 시기와 양을 결정하기 어렵고, 시비하는 노력도 많이 소요된다<sup>1,3)</sup>. 특히, 최근 농촌노동력의 고령화, 부녀화로 인한 노동력의 질적, 양적 저하가 급속히 진행되고 있어 생력재배 뿐 만 아니라 질소의 유실을 줄일 수 있는 환경친화형농업이 가능한 완효성 비료의 개발이 시급하다.

완효성 비료의 개발은 반세기 전부터 시도되었으며<sup>4,5)</sup>, 특히 질

소질비료에 치중하여 지속적으로 발전되어 오고 있다. 비료성분을 완효화하는 기본원리는 비료성분이 작물에게 유효한 형태로 긴 기간에 걸쳐 공급력을 유지하는 것이며, 이를 위한 방법으로는 비료의 용해도를 낮추거나 분해된 후 무기화되는 속도가 느린 것을 이용하는 화학적인 방법, 요소처럼 용해하기 쉬운 입자를 소수성 물질로 피복하여 비료성분이 서서히 용해되게 하는 물리적 방법, 암모니아태 질소를 초산태 질소로 산화시키는 질산화균의 작용을 저해하여 질소의 손실을 감소시키는 간접적인 방법 등이 있다<sup>6,7)</sup>.

우리 나라에서 완효성 질소비료 개발에 관한 연구는 TVA에서 제조한 SCU 제품 2종에 대하여 1970년에 비효시험을 시작한 것이 시발점이었다<sup>8)</sup>. 이것은 수량에는 큰 차이가 없으나 질소의 이용율이 증대되어 비료를 약 20% 절감할 수 있었고, 생력재배가 가능할 것으로 인정되어 산업화를 시도하였으나 제조기술 미비로 실용화되지 못하였다. 그리고 한국과학기술원에서 개발된 LCU는 피복의 불균일성과 값이 비싼 단점이 있어 널리 보급되지 못하고 있다<sup>1,3,9)</sup>.

우리 나라에서 제지슬러지는 연간 100여만톤 발생되며 주로 매립, 해양투기에 의한 방법으로 처리되고 있는데 처리비용만도 전국적으로 수십억에 달하며 유기물함량이 60% 정도인 제지슬러지를 토지에 환원시키기 위해서 톱밥, 돈분 및 요소를 배합하여 숙성시킨 비료의 효과를 연구하는등 이러한 제지슬러지의 토양환원에 관한 연구가 진행되고 있다<sup>10)</sup>.

한편, 목재관련업체에서는 재활용의 일환으로 폐지섬유(신문용지, 잡지, 포장박스 등)와 같은 폐기물을 섬유판 제조공업의 원료로 사용하고 있으며, 이들 목질섬유 세포벽 내로 유기물 및 합성수지를 침투시켜 의약품, 위생용 등의 용도로 사용하려는 시도는 Allan 등<sup>11)</sup> 몇몇 연구자들에 의해 진행되고 있으며 많은 진전이 있었다.

따라서 본 연구는 폐지섬유 내로 질소질 비료인 요소를 침투시켜 폐지섬유 내에 침투된 요소성분이 토양에 서서히 용출됨으로써 작물의 요구에 알맞게 양분을 서서히 공급함과 동시에 이들 폐지섬유도 분해되도록 개발된 완효성 요소비료(시제품)가 배추의 생육 및 수량과 토양의 화학성에 미치는 영향을 검토하여 실용화의 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

폐지섬유를 이용한 완효성 요소비료(시제품)의 제조는 폐신문용지를 이용하여 1~2% alum( $Al_2SO_4 \cdot 18H_2O$ ) 수용액에서 30~40°C로 해섬하여 순수한 펄프 슬러리(pulp slurry)를 얻었다. 인쇄잉크 등이 제거된 펄프슬러리로부터 12inch × 12inch짜리 걸름통(deckle box)에서 섬유판을 제조하여 100±5°C의 건조기(dry oven)에서 건조시켰다. 요소포화수용액에 섬유판을 침적시켜 요소포화수용액이 충분히 흡수되게 한 후 75±5°C의 건조기에서 건조하여 열압프레스로 50°C에서, 100psi로 가온가압하여 완성된 시제품을 일정한 크기로 절단하여 시제품으로 하였다.

작물(품종)은 배추(평강하보배추)였으며, 토양은 경북 경산시 영남대학교 자연자원대학 부속농장의 실습전에서 표토 10cm를 채취하여 2mm체를 통과한 것을 사용하였다. 공시토양의 토성과 이화학적특성은 표 1과 같다. pH 5.3, 유기물 1.01%, 전질소 0.11%, 유효인산 53mg/kg, C.E.C. 7.0cmol/kg, 치환성양이온인 Ca, Mg, K가 각각 3.22, 0.22, 0.08cmol/kg인 사양토였다.

### 처리내용

처리는 pot(1/2,000a)당 풍건토양 15kg에 질소비료를 제외한

인산과 가리비료만 사용한 무질소구(None-N), 질소비료로 요소를 사용한 요소구(urea)와 질소비료로 폐지섬유를 이용한 시제품을 사용한 시제품구(SRF)로 구성되었으며, 각각 비료를 끌고루 섞은 다음 pot에 충전하였다. 시비량은 질소-인산-가리(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)를 19-20-27kg/10a로 사용하였다. 질소는 요소로서 기비-1차추비-2차추비-3차추비를 25-20-35-20%로 분시하였다. 인산은 용성인비, 가리는 염화가리를 전량기비로 사용하였다. 시제품구는 전량기비로 사용하였다.

파종기 및 파종방법을 보면 육묘상자(25공)에 종자를 2-3립씩 파종하고 2-3엽기에 1주씩만 남기고 나머지를 솟아준 후 20일간 육묘하여 6월 20일에 pot당 1묘씩 정식하였다. 기타 재배는 작물의 표준재배법에 준하여 실시하였다.

시험구배치는 pot시험으로 완전임의배치법 8반복으로 하였다.

### 조사항목 및 방법

최엽장은 6월20일 정식한 후 생육초기에는 10일 간격으로 3회 조사하였고, 생육중기 이후에는 5일간격으로 4회 조사하였다. 정식 후 40일에 엽록소함량과 광합성능력을 조사하였는데 엽록소함량은 잎 1g을 소량의 80% 아세톤을 가하여 마쇄한 후 회석하여 여과하고 최종부피를 100ml로 하여 663nm와 645nm에서 흡광도(Milton Roy Spectronic 401, U.S.A.)를 측정하여 Yoshida<sup>12)</sup>등의 방법으로 엽록소 함량을 계산하였다. 광합성 능력은 맑은 날 오전 10-12시 사이에 portable photosynthesis system (LI-6200, LI-COR, USA)으로 증위엽을 대상으로 처리당 2회 측정하여 그 평균치를 나타내었으며, 수량 및 수량구성요소는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준<sup>13)</sup>에 준하였다.

식물체 중 무기성분 함량은 수확기에 채취한 시료를 건조시킨 후 분쇄하여 전질소는 micro-Kjeldahl법으로 정량하였고, 인산, 가리, 석회, 고토등은 공시시료 0.5g을 분해액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 18 : 1 : 11) 10ml로 분해시킨 후 인산은 Vanadate법으로 비색정량하였고, 가리, 칼슘, 마그네슘은 원자흡광법(Model : Varian Spectra AA)으로 정량하였다<sup>14)</sup>. 질소흡수량은 질소농도에 건물중을 곱하여 계산하였고, 질소이용율(%)은 {(시비구의 식물체중 성분함량 - 무비구의 식물체중 성분함량) ÷ 비료성분사용량} × 100의 계산식으로 계산하였다. 토양시료는 풍건시킨 세토를 pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였다<sup>14)</sup>. 치환성 K, Ca, Mg는 1N-NH<sub>4</sub>OAc 용액(pH7)으로 침출하여 원자흡광법(Model : Varian Spectra AA)으로 정량하였다<sup>14)</sup>.

시제품의 전질소는 Kjeldahl법, 인산, 가리, 석회, 마그네슘, 비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 납, 아연 등은 비료분석법<sup>15)</sup>에 준하여 ICP(Varian, LIBERTY-Series II, Australia)로 측정하였고, 수증 질소 용출량은 500ml 플라스틱 원통에 시료를 10g씩 넣고 증류수 300ml를 가한 후 마개를 막고 30°C의 항온조에 보관하면서 0.5, 6, 12, 24, 72시간 후 각각 여과하여 비료분석법<sup>15)</sup>에 준하여 전질

Table 1. Physico-chemical properties of soil used for experiment.

Soil texture	pH (1:5)	O.M. (%)	T-N (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C. (cmol/kg)	Ex. cation(cmol/kg)		
						Ca	Mg	K
Sandy Loam	5.3	1.01	0.11	53	7.0	3.22	0.22	0.08

소를 Kjeldahl법으로 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 시제품의 화학적특성

시제품의 화학적 조성은 표 2와 같다. 질소는 26%, 인산, 가리는 각각 0.04, 0.01%였다. 시제품에 함유된 유해성분들 중에 크롬, 구리 및 납 등은 검출되었지만 농립부고시 비료공정규격<sup>15)</sup>보다는 현저히 낮은 함량이었고, 비소와 카드뮴은 검출되지 않았다.

Table 2. Chemical properties of slow-released N fertilizer using waste paper(SRF).

N	P	K	Ca	Mg	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
(%)					(ppm)					
26	0.04	0.01	0.55	0.16	ND <sup>1)</sup>	ND	17.4	259.0	12.2	60.0

1/ : None detect.

본 시험에 사용된 요소비료와 시제품의 형태는 Fig.1과 같다. 요소는 환형으로 질소함량이 46%이었고, 시제품은 크기가 가로 × 세로 × 두께가 0.5 × 0.5 × 0.2cm인 판형으로 질소함량이 26%이었다. 시제품의 완효도를 가름하는 수중 질소용출양상은 12 시간까지는 60.4%로 급격하게 질소 용출량이 많았으나, 그후 서서히 용출되어 72시간에 75%까지 용출되었다. 이는 피복요소의 경우 비료공정규격<sup>15)</sup>에 따르면 초기 질소용출율이 30℃에서 24시간 수중 정치용출율이 25%이하로 규정하고 있으나, 본 연구에 사용된 시제품은 30℃에서 24시간 수중 정치용출율이 60%정도로 초기용출량이 다소 많았다.

#### 최엽장, 엽록소함량, 광합성능력

시제품 사용에 따른 최엽장 변화는 Fig.2와 같다. 생육초기에는 시제품구와 요소구는 비슷하였으나 무질소구보다는 다소 컸으며 생육중기부터는 진처리구가 비슷하였다.

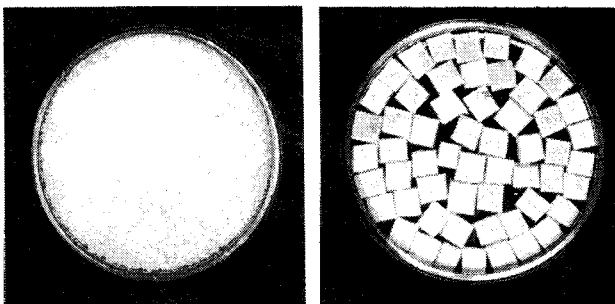


Fig. 1. Slow-released N fertilizer and urea used in the experiment

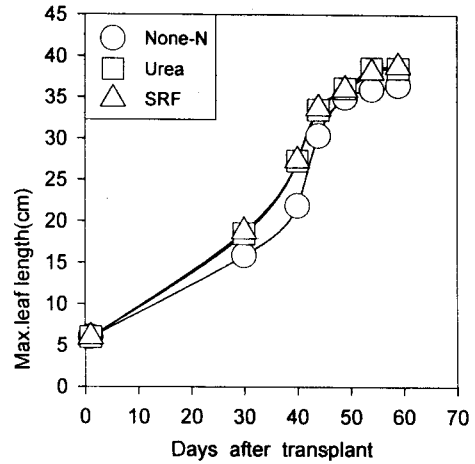


Fig. 2. Changes in maximum leaf length of Chinese cabbage treated with slow-released N fertilizer using waste paper(SRF).

Table 3. Total chlorophyll content and photosynthetic activity in the leaves of Chinese cabbage treated with slow-released N fertilizer using waste paper(SRF) at 40days after transplant.

Treatment	Total chlorophyll cont. (mg/g fr. wt.)	Photosynthetic activity (mg CO <sub>2</sub> / dm <sup>2</sup> /hr)
None-N	0.79 b <sup>1)</sup>	12.48 ns
Urea(control)	1.03 a	13.10
SRF	1.14 a	14.56

1/ : Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by the Duncan's New Multiple Range Test(DNMRT).

시제품 사용에 따른 정식 후 40일의 엽록소함량과 광합성능력은 표 3과 같다. 시제품구에서는 요소구보다 엽록소함량은 0.11mg/g · Fr. · Wt. 높았으며, 광합성능력은 시제품구가 14.56mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hr로 요소구의 13.10mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hr 보다 높았으나, 시제품구와 요소구간에 엽록소함량과 광합성능력의 통계적 유의성은 없었다. 이는 다른 연구자들도 벼의 경우 이와 비슷한 경향을 보였다<sup>16)</sup>.

#### 구고, 구폭, 엽수 및 생체중

시제품 사용에 따른 수확기의 구고, 구폭, 엽수 및 생체중 표 4와 같다. 시제품구와 요소구간에 통계적 유의성은 없었으나, 시제품구가 요소구보다 구고는 작았으나, 구폭이 넓고 엽수가 많아서 개체당 생체중이 3g/pot 높았던 것으로 판단된다.

Table 4. Length and width of head, number of leaf per head and fresh weight of Chinese cabbage.

Treatment	Head length (cm)	Head width (cm)	No. of leaf /head	Fresh wt. (g/pot)
None-N	24.0 ns <sup>1)</sup>	16.0 ns	44.0 ns	1820 ns
Urea(control)	26.0	17.7	45.3	2217
SRF	25.3	19.0	49.0	2220

1/ : The same as in Table 3.

Table 5. Nitrogen content and efficiency in the head of Chinese cabbage treated with slow-released N fertilizer using waste paper (SRF) at harvest.

Treatment	Nitrogen content (%)	Nitrogen efficiency (%)
None-N	1.08	-
Urea(control)	1.54	42.0
SRF	1.71	55.3

수확기의 식물체중 질소 성분함량, 질소 이용율, 질소흡수량

시제품 사용에 따른 수확기의 식물체중 질소의 성분함량과 이용율은 표 5와 같다. 시제품구는 요소구보다 질소의 성분함량이 0.17%정도 높았으며, 질소이용율은 시제품구가 55.3%로서 요소구의 42.0%보다 더 높았다. 이는 공시작물의 생육기간이 짧아 시제품의 질소성분이 수확기까지 유지되었기 때문에 시제품구의 식물체중 질소의 성분함량과 이용율이 높았던 것으로 판단된다.

시제품 사용에 따른 수확기의 식물체중 질소흡수량은 Fig.3과 같다. 시제품구가 요소구보다 11% 높았다. 이는 시제품은 초기에 질소 용출량이 많은데 비해서 생육기간이 긴 작물은 후기까지 질소 성분이 지속적으로 유지되지 못하지만, 배추의 경우는 생육기간이 다소 짧기 때문에 질소흡수량이 높아진 것으로 판단된다.

시험 후 토양의 화학성

시제품 사용에 따른 시험 후 토양의 화학성은 표 6과 같다. 시제품구는 pH, 유기물, C.E.C.와 치환성 양이온(K)의 함량은 요소구보다 높았으나, 인산과 치환성 양이온(Ca, Mg)의 함량은 요소구보다 낮았고 전질소함량은 비슷했다.

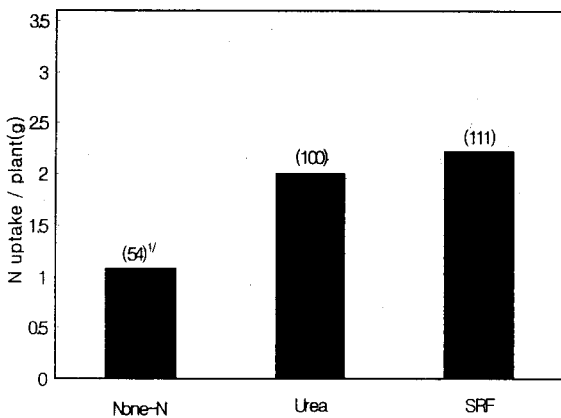


Fig. 3. Nitrogen uptake per head of Chinese cabbage treated with slow-released N fertilizer using waste paper(SRF) at harvest. l/ ;Index

Table 6. Soil chemical properties treated with slow-released N

fertilizer using waste paper(SRF) after harvest.

Treatment	pH (1:5)	O.M. (%)	T-N (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C. (cmol/kg)	Ex. cation (cmol/kg)		
						Ca	Mg	K
None-N	5.8	1.09	0.08	93	6.5	3.13	0.18	0.08
Urea(control)	5.3	1.10	0.08	96	6.0	3.01	0.17	0.07
SRF	5.5	1.16	0.08	87	6.1	2.82	0.15	0.09

요 약

Pot당 풍건토양 15kg에 질소비료를 제외한 인산과 가리비료만 사용한 무질소구(None-N), 질소비료로 요소를 사용한 요소구(urea, control)와 질소비료로 폐지섬유를 이용한 시제품을 사용한 시제품구(SRF)에 배추(평강하보배추)를 공시하여 작물의 생육, 수량 및 수량구성요소, 작물의 양분이용율 및 토양의 화학적 특성변화 등을 조사하여 실용화 가능성을 검토한 결과는 다음과 같다. 시제품의 질소수중용출량은 12시간까지는 60.4%로 급격하게 용출량이 많았으나, 그 후 서서히 용출되어 72시간에 75%까지 용출되었다. 최엽장은 시제품구와 요소구간에 전생육기에 비슷한 경향을 보였다. 정식 후 40일의 엽록소 함량과 광합성능력은 시제품구에서 요소구보다 다소 높았다. 구고, 구폭, 엽수 및 개체당 생체중은 시제품구와 요소구간에 통계적인 유의성은 없었다. 수확기에 식물체중 전질소함량과 질소이용율은 시제품구가 요소구보다 높았으며, 질소흡수량은 시제품구가 요소구보다 11% 높았다. 시험 후 토양중 전질소함량은 시제품구와 요소구간에 비슷한 경향이었다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 학술진흥재단 Post-doc. 연구비지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 김복진 (1974) 완효성 질소비료(SCU)의 제조 및 수도에 대한 비효에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. Han, M. H. (1995) Effects of Slow-released Nitrogen Fertilizers on Yield of Radish(*Raphanus sativa* L.) and Lettuce(*Lactuca sativa* L.). Dongguk university. M.S. thesis
3. 한기학, 허범량, 강영길, 김복진, 이운환 (1974) 유허입힌 요소의 완효도기준설정에 관한 시험. 농기연보고서, pp. 51-64.
4. Blanck, E., Giesecke, F. (1923) Z. pflanzenernahr, Dung., Boden, 2 : 393-420.

5. Lunt, O. R. (1971) Controlled-release fertilizer. Achievements and Potential. J. Arg. Food Chem., 19 : 797-800.
6. Dahnke, W. C., O. J. Attoe, L. E. Engelbert, and M. D. Groskopp (1963) Controlling release of fertilizer constituents by means of coatings capsules. Agron. J., 55 : 242-244.
7. 정이근, 이춘수, 임동규 (1994) 화학비료의 발전 방향. 21세기를 향한 비료개발과 정책방향 심포지움. 한국토양비료학회지, pp. 22-47.
8. 성기석, 신제성, 박영대 (1986) 규산칼리비료 개발에 관한 연구. 농기연보고서, pp. 13-16.
9. Shin, J.S. (1988) Fertilizer Technology and Use. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 21(S.L) : 119-125.
10. Chang, K. W., Kim, S. D., Choi, W. Y., and Lee, K. S. (1992) Agricultural Utilization of Paper Mill Sludge Mannure Compost. I. Effects on the Growth of Kidney Bean(*Phaseolus vulgaris* L.). J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 25(2) : 149-154.
11. Allan, G. G., Y. C. Ko, and P. Ritzenthaler (1991) Tappi J., 74(3) : 205.
12. Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. (1972) Laboratory manual for physiological studies of rice(2nd ed.). IRRI, Los Bans. Philippines.
13. 농촌진흥청 (1983) 농사시험연구조사기준(개정1판).
14. 농촌진흥청 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법.
15. 농업과학기술원 (1996) 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준.
16. Cheong, J. I., Choi, W. Y., Choi, M. K., and Lee, S. Y. (1995) Effects Slow-release Fertilizer Levels of Rice in Different Cultural Methods. Korean J. Crop Sci., 40(6) : 747-756.