

고랭지에서 녹비 생산성 증진을 위한 헤어리베치와 호밀 혼파 재배 효과

김세원* · 서영호 · 최용범 · 안문섭 · 강안석

강원도농업기술원

Effect of Mixed Sowing of Hairy Vetch and Rye on Green Manure Yield in Mountainous Highland

Sewon Kim*, Youngho Seo, Yongbum Choi, Moonsub Ahn, and Anseok Kang

Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 200-150, Korea

Co-incorporation of Leguminosae with Gramineae could reduce the risk of nitrogen starvation phenomena caused by applying green manure of Gramineae alone. The objective of the study was to examine the effect of mixed sowing of hairy vetch and rye seeds on soil quality in mountainous highland. Mixed sowing of hairy vetch and rye increased the yield of green manure and nutrients compared with those for sowing of hairy vetch or rye alone. The yield of green manure from row seeding was 5.3 Mg ha⁻¹ compared with 4.8 Mg ha⁻¹ for broadcast seeding. Incorporation of the two green manure crops increased yield of red-bean by 58~92% as compared with yield for incorporation of rye alone. The results obtained in the study imply that mixed sowing of hairy vetch and rye can solve the problem of low emergence of hairy vetch in spring and high C/N ratio and rough incorporation of rye, in addition to increase in yield of green manure.

Key words: Green manure, Hairy vetch, Rye, Soil quality, Mountainous highland

서 언

강원도 고랭지는 배추, 무 등 몇몇 작물을 연속하여 재배하므로, 생육 장애와 병충해가 많이 발생하고, 지력이 낮아져 농업생산의 안정성이 떨어지고 있다. Yang et al. (2001)은 강원도 고랭지에서 채소 작물의 경작 연수가 증가함에 따라 토양 pH, 유기물 및 치환성 양이온의 함량이 낮아지고, 유효인산 함량은 증가하는 경향을 보인다고 하였다. 또한, 경사지가 많은 고랭지에서는 축분 부산물비료를 유기물원으로 과다 시용할 경우, 토양에 잔류하는 질산염과 수용성 인산이 용탈될 우려가 높다.

국제식품규격위원회 (Codex)에 따르면, 유기농업에서는 두과, 녹비, 심근성 작물을 이용한 윤작 체계의 작부방식을 통해 토양 비옥도를 유지 및 증진시켜야 한다고 하였다. 윤작은 여러 작물을 재배하게 되므로 토양 미생물의 종류도 많아지고, 작물이 흡수할 수 있는 형태의 토양 양분이 고르게 분포된다 (Chang and Sohn, 2000). Kim et al. (1998)은 참깨를 재배할 때 콩, 옥수수, 보리, 호밀을 도입하여 윤작하면 토양 유기물 함량이 높아지고, 용적 밀

도가 낮아지며, 공극률이 높아지고, 참깨의 생육과 수량이 높아졌다고 하였다. 고랭지에서 채소 등 소득 작물을 3~5년 재배한 다음에는 반드시 콩, 옥수수, 맥류 등 곡류 작물을 1~2년 재배하는 윤작 체계를 권장하고 있다 (NAAES, 2001). 겨울에 녹비작물을 재배하면 양분 공급, 토사유실 감소와 토양 물리성 개선 등 많은 장점이 있으나 (Chang and Sohn, 2000; NAAES, 2001; Seo et al., 2000b), 고랭지 영농현장에서는 녹비작물을 재배하려는 농업인들의 자발적 의지가 다소 부족한 면이 있다. 이는 고랭지에서 동계 녹비작물로서 주로 호밀을 재배하고 있는 바, 봄에 농경지에 환원하는 작업이 쉽지 않고 탄질율이 높아 질소 기아가 우려되기 때문인 것으로 생각된다.

녹비작물 중 헤어리베치는 후작물에 질소를 공급할 수 있는 두과 녹비작물로 잘 알려져 있다 (Chang and Sohn, 2000; Lee et al., 2002; Seo and Lee, 2003; Torbert et al., 1996). 또한 크립스클로버와 레드클로버 등 다른 두과작물에 비해 헤어리베치는 내한성이 강해서 월동율이 높고, 건물 수량과 질소 함량이 높다 (Seo et al., 2000a).

Lee and Park (2002)은 유기 조사를 생산하기 위해서는 두과와 화분과 작물을 혼합 파종하거나, 1년에 여러 번 재배하는 경우 두 작물의 혼합파종 또는 작부체계 중 한번은 두과 작물 재배를 권장하였으며, Kim et al. (2002b)

은 헤어리베치의 조단백질 함량과 상대 사료가치가 호밀보다 높으므로, 호밀과 헤어리베치를 혼합 파종하는 것이 생산성 및 품질을 높일 수 있다고 하였다. 이와 같이 사료작물 측면에서 조사료의 품질과 영양가를 고려하여 혼합 파종하는 연구는 많이 있으나, 녹비작물로서 두과와 화분과 작물의 혼합 파종의 효과에 대한 연구, 특히 고랭지에서 연구는 많지 않다. 따라서 본 연구는 현재 강원도에 가장 많이 보급되는 녹비 초종인 호밀의 단점을 보완하기 위하여, 두과 작물인 헤어리베치와 혼합 파종하였을 때의 고랭지 녹비 생산성 증진 효과를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

녹비와 작물 재배 시험 장소는 강원도 홍천 내면 자운리 (해발 710 m)이며, 헤어리베치와 호밀의 혼합 비율을 달리하여 파종하였다. 시험전 토양의 화학성은 Table 1에 나타난 바와 같이 토양 pH는 5.5이고, 유기물은 23 g kg⁻¹이며, 유효인산은 342 mg kg⁻¹, 치환성 칼리는 0.7 cmol_c kg⁻¹이었다.

헤어리베치와 호밀의 혼합 파종의 효과를 각각의 단일 파종과 비교하기 위하여, 두 녹비작물을 2:1, 1:1, 1:2의 비율로 혼합하여 2007년 6월 12일에 파종하였다. 고랭지에는 경사도 15% 이상의 농경지가 많은데, 토사 유실이 우려되어 휴경을 할 경우 녹비를 이용한 윤작 작부체계를 도입할 경우를 위하여 6월에 파종하였다. 녹비 작물의 혼합 파종구에서의 녹비작물의 파종량은 단일 파종구의 파종량인 호밀 150 kg ha⁻¹과 헤어리베치 50 kg ha⁻¹를 기준으로 하였다. 즉, 2:1 혼합 파종구는 호밀 100 kg ha⁻¹과 헤어리베치 16 kg ha⁻¹를, 1:1 혼합구는 호밀 75 kg ha⁻¹과 헤어리베치 25 kg ha⁻¹를, 1:2는 호밀 50 kg ha⁻¹과 헤어리베치 33 kg ha⁻¹를 파종하였다. 처리별 시험구의 크기는 각각 2×10 m였다. 녹비의 시기별 생육 변화를 보기 위하여, 파종 후 43일, 70일, 122일인 7월 25일, 8월 21일, 10월 12일에 건물중을 조사하였다.

이듬해인 2008년 5월 27일에 녹비작물을 수확하여 전부 토양에 반전 투입하였는데, 녹비의 수량과 양분 함량을 조사 분석하여 양분 공급량을 계산하였다. 녹비 투입이 작물 수량에 미치는 영향을 살펴보고자, 후작물로 팥을 화학비료를 사용하지 않고 재배하였으며, 녹비 투입 19일 후인

6월 15일에 10 cm × 60 cm의 재식거리로 1주 2~3립 파종하였다. 2008년 10월 14일에 처리구별 조사면적 1.2 m²에서 20주씩 채취하여 건조한 후 팥 종실을 미숙립 등 불완전립과 상품성 있는 완전립으로 구분하여 수량을 조사하였다. 수량 조사는 농촌진흥청의 농업과학기술연구 조사 분석 기준을 따랐다 (RDA, 2003).

녹비작물의 파종 방법에 따른 녹비의 생산성을 살펴보기 위하여, 2008년 10월 3일에 줄뿌림 (조파)과 흩어뿌림 (산파)하였다. 호밀과 헤어리베치 단일 파종구에는 각각 호밀 150 kg ha⁻¹과 헤어리베치 50 kg ha⁻¹를, 1:2 혼합 파종구에는 호밀 50 kg ha⁻¹과 헤어리베치 33 kg ha⁻¹를 파종하였다. 2009년 5월 14일에 녹비작물을 수확하였으며, 녹비의 수량과 양분 공급량을 조사하였다.

토양 분석 녹비작물을 농경지에 투입한 후 60일에 토양 화학성을 조사하였다. 토양을 풍건한 다음 2 mm 체 통과 시료를 취하여, pH, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 치환성양이온 등 토양 화학성을 분석하였다. pH와 전기전도도는 초자전극법 (1:5), 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1 N 초신암모늄법으로 측정하였다 (NAAS, 2000).

결과 및 고찰

녹비 수량 녹비 작물을 파종 (2007년 6월)하고 4개월 후 수량을 조사한 결과, 호밀과 헤어리베치를 각각 2:1 및 1:1로 혼합 파종한 경우 호밀 단일파종에 비해 각각 12%와 9% 높았으며, 헤어리베치 단일파종은 호밀 단일파종에 비해 건물 수량이 47% 적었다 (Table 2). 동절기를 지낸 후 이듬해 5월 수확기에는 헤어리베치와 호밀을 혼파한 경우가 호밀 단일파종에 비해서 건물 수량이 13~37% 증가하여 (Table 3), 월동 전에 비해 수량 증가 폭이 컸다. 이는 헤어리베치가 봄에 호밀을 지주로 삼고 성장하여 수광율이 높아져서 생장이 좋아졌기 때문으로 판단된다 (Kim et al., 2002a). 한편, 헤어리베치 단일파종의 수량을 호밀 단일파종과 비교한 결과, 월동 전 53%에 비해 이듬해 수확기에는 14%로 줄었다. 이는 헤어리베치가 레드클로버와 크림슨클로버 등 다른 두과작물보다 월동율이 높을지라도 (Seo et al., 2000a), 호밀에 비해서는 내한성이 떨어져 월

Table 1. Selected chemical characteristics of soils before the experiment.

pH	Electrical conductivity	Organic Matter	NO ₃ -N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
(H ₂ O, 1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
5.5	0.11	23	5.3	342	0.7	3.1	0.9

Table 2. Comparison of dry weight of green manure after sowing.

Treatment	43 days [†]	70 days	122 days
	Mg ha ⁻¹		
Rye (R)	1.76b (20.4) [‡]	3.81a (22.1)	7.81ab (39.3)
R+H 2:1	2.41a (21.6)	3.94a (24.7)	8.71a (38.0)
R+H 1:1	2.18ab (21.1)	4.55a (23.2)	8.52ab (34.2)
R+H 1:2	1.98ab (21.3)	4.16a (23.9)	6.86b (31.0)
Hairy vetch (H)	0.25c (20.4)	0.56b (25.6)	4.14c (27.9)

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

[‡]Values in parentheses are dry matter ratio in %.

Table 3. Yield of green manure at the time of incorporation to soil.

Treatment	Yield	
	Fresh	Dry
Mg ha ⁻¹		
Rye (R)	12.1	8.8b [†]
R+H 2:1	17.5	12.1a
R+H 1:1	17.7	10.9a
R+H 1:2	18.4	9.9ab
Hairy vetch (H)	6.1	1.3c

[†]Treatments with same letter are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 4. Nutrient composition of green manure on a dry weight (dw) basis and nutrient supply rate to the following crop.

Treatment	Nutrient composition					Nutrient supply rate
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
g kg ⁻¹ dw						kg ha ⁻¹
Rye (R)	11.9c [†]	4.7b	15.9b	2.1d	1.0c	105-41-140
R+H 2:1	17.5b	4.6b	20.1a	4.4c	1.5b	211-55-242
R+H 1:1	18.7b	4.5b	19.5a	6.2b	1.7b	204-49-213
R+H 1:2	20.3b	5.5a	22.2a	4.7c	2.0b	201-55-220
Hairy vetch (H)	28.7a	5.7a	19.4a	9.3a	3.4a	36- 7- 24

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

동율과 재생율이 낮기 때문인 것으로 판단된다. Kim et al. (2002b)에 따르면, 수원 지역에서 헤어리베치의 월동 후 건물 수량은 호밀의 37~50%였다.

토양에 환원할 때의 녹비작물의 양분 함량을 분석한 결과 (Table 4), 헤어리베치의 질소 함량은 29 g kg⁻¹으로, 호밀의 12 g kg⁻¹보다 두 배 이상 높았다. 이에 따라 호밀과 헤어리베치를 함께 파종했을 때에는 호밀만 파종했을 때보다 질소 등 양분 공급 측면에서 유리할 것으로 판단되었다.

녹비작물을 줄뿌림 (조파)했을 때에는 흠어뿌림 (산파)했을 때에 비해 수량이 높았다 (Table 5). 한 예로 헤어리베치와 호밀을 함께 파종했을 때 줄뿌림 (조파)은 5.3 Mg

ha⁻¹로 흠어뿌림 (산파)의 4.8 Mg ha⁻¹보다 수량이 높았다. Kim et al. (2002b)은 헤어리베치와 호밀을 줄뿌림 (조파)했을 때에 흠어뿌림 (산파)보다 건물 수량이 높았다고 하였으며, Seo (2005)는 헤어리베치와 트리티케일을 조파했을 때 산파보다 종자 수량이 높음을 보고한 바 있다. 녹비의 수량은 헤어리베치 혼합 파종 시험 (Table 3)에 비해서 낮았다. Kim et al. (2002a)에 따르면, 수원 지역에서 호밀과 헤어리베치를 8월 하순과 9월 중순에 혼합 파종하면 이듬해 5월 중순의 건물 수량이 15.1~15.4 Mg ha⁻¹였으나, 본 시험과 같이 10월 상순에 파종하면 11.6 Mg ha⁻¹로 낮아졌다. Seo et al. (2000c)은 헤어리베치의 파종 시기가 8월에서 10월로 늦어질수록 수량이 낮아지는데,

Table 5. Yield of green manure depending on seeding method.

Treatment	Seeding method	Yield	
		Fresh	Dry
		Mg ha ⁻¹	
Rye (R)	Row	27.4	6.8a [†]
	Broadcast	23.8	5.3ab
R+H 1:2	Row	26.4	5.3ab
	Broadcast	21.5	4.8b
Hairy vetch (H)	Row	13.2	2.3c
	Broadcast	5.0	1.3c

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 6. Nutrient composition of green manure on a dry weight basis and nutrient supply rate to the following crop.

Treatment	Seeding	Nutrient composition					Nutrient supply rate
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
		g kg ⁻¹ dw					kg ha ⁻¹
Rye (R)	Row	11.0d [†]	3.1b	18.8b	2.0b	1.2b	74-21-127
	Broadcast	9.0e	2.6b	18.6b	1.7b	1.2b	48-14- 99
R+H 1:2	Row	13.5c	3.1b	21.4b	2.2b	1.2b	71-16-112
	Broadcast	12.0cd	3.0b	18.4b	1.9b	1.1b	58-15- 89
Hairy vetch (H)	Row	38.8a	4.2a	36.9a	10.9a	4.0a	88-10- 84
	Broadcast	36.1b	4.3a	34.3a	14.1a	4.3a	47- 6- 45

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 7. Soil chemical properties on 60 days after incorporation of the green manure.

Treatment	pH	Electrical conductivity	Organic matter	NO ₃ -N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation		
						K	Ca	Mg
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg g ⁻¹	mg g ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
Rye (R)	4.9ab	0.14a [†]	32a	5.1c	314a	0.63ab	2.7ab	0.64a
R+H 2:1	5.3a	0.15a	33a	11.4ab	322a	0.73a	3.6a	0.99a
R+H 1:1	5.2a	0.15a	35a	10.6ab	319a	0.76a	3.3ab	0.99a
R+H 1:2	5.1a	0.15a	32a	12.7a	339a	0.69ab	3.4ab	0.92a
Hairy vetch (H)	4.6b	0.13a	24a	7.6bc	303a	0.46b	2.3b	0.68a

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

특히 10월 이후에는 현저히 감소한다고 하였다.

파종방법별 녹비의 성분 함량과 이로부터 계산된 양분 공급 가능량은 Table 6과 같다. 헤어리베치를 줄뿌림 (조파)하면 호밀 단일 파종보다 건물 수량은 적어도 질소 함량이 39 g kg⁻¹로, 호밀의 9~11 g kg⁻¹보다 높아서 총 질소 공급량은 많았다.

토양 화학성 변화 녹비를 토양에 전량 투입하고 60일 후의 토양 화학성을 분석한 결과를 Table 7에 나타

내었다. 토양의 질산태 질소 함량은 헤어리베치와 호밀 혼용구가 호밀단독 시용구에 비해 높았다. 이는 혼합 파종구의 질소 공급량이 201~211 kg ha⁻¹로 호밀 단일 파종구의 105 kg ha⁻¹보다 2배 정도 많았기 때문으로 보이며 (Table 4), Seo et al. (2000b)은 헤어리베치와 호밀을 질소 공급량이 같게 투입하여도 후작물 재배 기간 동안 헤어리베치가 호밀보다 토양의 질산태 질소 함량이 높았다고 하였다. 따라서 헤어리베치와의 혼용 시용이 호밀 단독 시용에 비해 후작물에 흡수 가능한 질소를 제공하는 데 유리할 것

Table 8. Yield of red bean after applying green manure.

Treatment	Weight of 100 grains	Complete grain ratio	Yield
	g	%	Mg ha ⁻¹
Rye (R)	18.5a [†]	86.8a	1.2b
R+H 2:1	18.1a	90.0a	2.1a
R+H 1:1	19.7a	88.8a	2.0a
R+H 1:2	20.2a	89.9a	1.9a
Hairy vetch (H)	19.2a	92.0a	2.3a

[†]Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

으로 판단되었다.

팥 수량 녹비 전량을 토양에 투입하고, 비료를 주지 않고 팥을 재배하였을 때 팥의 수량은 Table 8과 같았다. 헤어리베치 단일 파종과 헤어리베치/호밀 혼합 파종의 팥 수량은 1.9~2.3 Mg ha⁻¹로 호밀 단일 파종에 비해 58~92% 높았다. 이는 헤어리베치와 같이 질소 함량이 높은 두과 녹비를 함께 투입한 결과로 보인다. Torbert et al. (1996)는 두과 녹비작물은 탄질비가 낮아 토양에서 분해가 잘 되고, 뒷작물의 생육에 지장이 없다고 하였다. Lee et al. (2002)은 헤어리베치의 분해가 빨라서 대부분의 질소는 한 달 이내에 무기화된다고 하였으며, Seo and Lee (2003)는 투입된 헤어리베치의 양에 비례하여 옥수수의 성장과 질소 흡수량, 수량이 높아졌다고 하였다.

결 론

호밀은 농경지에 투입하는 작업이 쉽지 않고 탄질율이 높아 질소기아가 우려되며, 헤어리베치는 월동 후 입모율이 낮으므로, 두 녹비 작물을 혼합 파종하여 이를 해결할 수 있는지 검토하였다. 호밀과 헤어리베치를 함께 파종하면 녹비 수확기의 건물 수량이 호밀 단일파종에 비해 13~37% 증가하였다. 헤어리베치와 호밀을 혼합 파종할 때 줄뿌림 (조파)을 하면 녹비 수량이 5.3 Mg ha⁻¹로 흩어뿌림 (산파)의 4.8 Mg ha⁻¹보다 높았다. 호밀과 헤어리베치를 혼합하여 재배한 다음 토양에 투입하였을 때, 토양의 질산태 질소의 함량은 호밀 단일파종의 2.1~2.5배 높았으며, 팥의 수량은 호밀 단일 파종에 비해 58~92% 많았다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ0074 94032011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Chang, K.R. and S.M. Sohn. 2000. Sustenance and enhancement of soil fertility for organic farming by legumes and green manure. Korean J. Organic Agric. 8:97-110.
- Kim, D.H., J.H. Seo, C.G. Kim, S.H. Choi, M.H. Ko, and I.B. Heo. 1998. Effect of crop rotation on the growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) and soil properties. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 31:216-224.
- Kim, J.G., S. Seo, E.S. Chung, Y.C. Lim, J.K. Lee, J.H. Seo, and G.J. Park. 2002a. Effect of planting and harvest dates on quality and productivity of rye-hairy vetch mixture. J. Korean Grassl. Sci. 22:241-246.
- Kim, J.G., S.H. Yoon, E.S. Chung, Y.C. Lim, S. Seo, J.H. Seo, and S.J. Kim. 2002b. Effect of seeding method and mixing ratio on the quality and productivity of rye-hairy vetch mixture. J. Korean Grassl. Sci. 22:233-240.
- Lee, H.J., J.S. Lee, and J.H. Seo. 2002. Decomposition and N release of hairy vetch applied as a green manure and its effects on rice yield in paddy field. Korean J. Crop Sci. 47:137-141.
- Lee, H.W. and H.S. Park. 2002. Nitrogen fixation of legumes and cropping system for organic forage production. Korean J. Organic Agric. 10:49-63.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- National Alpine Agriculture Experiment Station (NAAES). 2001. Development of environment sound alpine agriculture to enhance public function. National Alpine Agriculture Experiment Station, RDA, Suwon, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development, RDA, Suwon, Korea.
- Seo, J.H. 2005. Improvement of hairy vetch seed production by mixture cropping of hairy vetch and triticale. Korean J. Crop Sci. 50:73-78.
- Seo, J.H. and H.J. Lee. 2003. Soil mineral nitrogen uptake

- and corn growth from hairy vetch with conventional and no-tillage systems. *Korean J. Crop Sci.* 48:381-387.
- Seo, J.H., H.J. Lee, I.B. Hur, S.J. Kim, C.K. Kim, and H.S. Jo. 2000a. Comparisons of chemical composition and forage yield among winter green manure crops. *J. Korean Grassl. Sci.* 20:193-198.
- Seo, J.H., H.J. Lee, I.B. Hur, S.J. Kim, C.K. Kim, and H.S. Jo. 2000b. Comparisons of soil nitrate and corn nitrogen uptake according to winter forage rye and green manure hairy vetch. *J. Korean Grassl. Sci.* 20:199-206.
- Seo, J.H., H.J. Lee, and S.J. Kim. 2000c. Changes of green manure and nitrogen yield of hairy vetch according to seeding date in autumn. *Korean J. Crop Sci.* 45:400-404.
- Torbert, H.A., D.W. Reeves, and R.L. Mulvaney. 1996. Winter legume cover crop benefits to corn: rotation vs. fixed-nitrogen effects. *Agron. J.* 88:527-535.
- Yang, J.E., B.O. Cho, Y.O. Shin, and J.J. Kim. 2001. Fertility status in northeastern alpine soils of south Korea with cultivation of vegetable crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:1-7.