

Effect of Legume Cover Crops and Nitrogen Fertilization Rates on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Waxy Corn (*Zea mays* L.) in No-Tillage System

Jong-Seo Choi, Min-Tae Kim, Jin-Hee Ryu¹, Kwang Seop Kim², Sook-Jin Kim, and Ki-Do Park^{1*}

Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16613, Korea

¹Crop Foundation Research Division, NICS, RDA, Wanju 55365, Korea

²Organic Agriculture Research Institute, Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Service, Uiseong 37339, Korea

(Received: October 1 2015, Revised: October 27 2016, Accepted: October 28 2016)

The adoption of legume cover crops in no-tillage system can contribute to improve soil fertility by providing several benefits, including reduction in soil erosion, suppression of weed growth and N supply to subsequent crops. We conducted a field study to investigate the effect of cover crops and nitrogen fertilization rates on yield and nitrogen use efficiency of waxy corn (*Zea mays* L.) in no-tillage upland field. Two legume cover crops, hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.) were mechanically terminated with roller in early June. For each cover crop treatment, nitrogen (N) fertilizer was applied at three different rates (145, 72.5 and 0 kg N ha⁻¹). The growth and yield characteristics of corn were significantly affected by the N fertilization rates in crimson clover plots, which suggest N mineralization from the cover crop residue was not sufficient. In contrast, N fertilization rates had no significant effect on growth and yield of corn in hairy vetch plots, indicating that the amount of N released from the cover crop is large enough to meet most of the N requirement of corn. However, the application of N fertilizer in hairy vetch cover plots resulted in slight increase of crop yield, though not statically significant, and high levels of N concentration in corn plant tissue possibly due to luxury consumption of N. Organic residues on the soil surface in hairy vetch cover plots had substantial amounts of N after harvest, ranging from 100 to 116 kg N ha⁻¹, which is presumably retained during winter season and released by microbial mineralization in subsequent year. The highest nitrogen yield efficiency was achieved in the plot with hairy vetch cover and no N fertilizer application, followed by the plot with hairy vetch cover and 72.5 kg N ha⁻¹ fertilization rate. In conclusion, hairy vetch showed better performance in corn productivity as compared with crimson clover. In addition, it was concluded that the application of N fertilizer between 0 and 72.5 kg N ha⁻¹ in combination with hairy vetch cover crop might be most efficient for corn yield under no-tillage system with climatic and soil characteristics similar to those of the experimental site.

Key words: Hairy vetch, Crimson clover, Green manure, Conservational tillage, Mineralization

Nitrogen use efficiency in no-tillage corn production as affected by cover crops and N fertilization rates.

Cover crop	Mineral N rate ----- (kg N ha ⁻¹) -----	Input N -----	AE_N (kg kg ⁻¹ N ha ⁻¹)	ARF_N (%)
Crimson clover	145	199	14.0 b	32.9 bc
	72.5	127	15.5 b	34.1 bc
	0	54	17.6 ab	36.7 abc
Hairy vetch	145	262	11.8 b	34.5 bc
	72.5	189	19.2 ab	47.1 ab
	0	117	25.6 a	53.2 a
No cover crops	145	145	12.5 b	26.5 c

[†]Input N: the amount of mineral fertilizer N + cover crop N; AE_N: agronomic efficiency of N (kg yield increase per kg input N); ARF_N: apparent recovery fraction of N (kg N uptake increase per kg input N).

[‡]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

*Corresponding author: Phone: +82632385300, Fax: +82632385305, E-mail: pkd@korea.kr

[§]Acknowledgement: This study was conducted by support of NICS research and development project (project number: PJ01016401), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

강원도는 우리나라의 옥수수 주생산지로 전국 재배면적 (17,001 ha)의 38.5%, 전국 생산량 (83,210 Mg)의 38.6%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다 (Gang, 2013). 산지가 많은 강원도의 지형적 특성상 대부분의 옥수수는 경사지 노지재배가 이루어지고 있으나, 7~8월에 집중호우가 많은 우리나라 기후 조건에서 토양 침식에 매우 취약하여 토양 및 양분 유실에 따른 생산성 저하와 수계오염이 우려되고 있다 (Lee, 2003; Seo et al., 2005; Yun et al., 1999).

농경지의 토양 유실을 경감하기 위해 선진국에서는 무경운 재배기술이 많이 연구되고 있는데, 특히 무경운 재배와 피복작물을 결합하면 토양보전 효과가 매우 높은 것으로 밝혀져 도입이 증가하는 추세이다 (Kim et al., 2004; Lee et al., 2013; Seo et al., 2005). 국내에서도 경사지를 중심으로 무경운 피복작물 재배기술에 대해 연구가 다수 수행되었는데, Lee et al. (2013)과 Seo et al. (2005)은 경사지 옥수수 포장에서 호밀 또는 헤어리베치를 피복 처리했을 때 토양 유실이 관행 대비 94% 이상 경감되어 토양보전 효과가 매우 높다고 보고하였다.

피복작물의 이용은 토양 유실 저감 외에도 수분증발 억제, 잡초발생 저감, 후작물 양분공급 등의 다양한 효과를 기대할 수 있다 (Choi et al., 2011; Seo and Lee, 1998). 특히 질소 고정 능력이 있는 두과 피복작물을 풋거름으로 이용하면 후작물에 상당량의 질소를 공급할 수 있어 화학비료 절감 및 친환경 생산 측면에서 이점이 크다 (Drinkwater et al., 2008; Fageria et al., 2005). 두과 피복작물은 종류에 따라 다르지만 후작물에 대해 약 50~200 kg N ha⁻¹의 질소 시용효과를 보이는 것으로 알려져 있어 (Parr et al., 2011), 미국 등지에서는 두과 피복작물의 높은 질소 공급 능력을 이용해 질소 요구량이 큰 옥수수를 후작물로 이용하는 경우가 일반적이다 (Mirsky et al., 2012).

무경운 재배체계에서 두과 피복작물은 토양 표면에 피복시켜 무기화되는 질소를 이용하는데, 경운하여 토양 중에 혼입할 때에 비해 미생물의 접촉 면적이 줄어들어 분해가 지연될 뿐 아니라 무기화 과정에서 토양 표면 잔재물의 불명확한 상호작용이 일어나 질소의 가용성을 예측하기 어렵다 (Reeves et al., 1993; Schomberg and Cabrera, 2001). 이 때문에 Schomberg et al. (2006)은 무경운 체계에서 효과적인 피복작물을 선택하려면 가용성 질소에 대한 피복작물의 영향을 이해할 필요가 있다고 하였고, Groffman et al. (1987)은 기후와 재배방법 등 피복작물의 분해와 관련된 복잡한 인자들을 고려해야 한다고 하였다.

피복작물을 이용한 무경운 옥수수 재배시 적정 질소시비량과 관련된 연구는 국내외에서 다수 수행되어 왔지만 시험 조건에 따라 결과가 달라 더 많은 고찰이 필요하다. Clark et

al. (1995)은 헤어리베치의 무경운 피복재배는 토양 질소를 일시적으로 감소시키므로 후작물인 옥수수 생육 초기에 질소시비가 필요하다고 하였고, Seo et al. (2005)은 헤어리베치 피복 후 무경운으로 옥수수를 재배했을 때 질소비료 무시용시에는 표준질소처리에 비해 수량이 22% 감소했다고 하였다. 한편 Wagger (1989)는 헤어리베치와 크림손클로버가 후작물인 옥수수에 충분한 양의 질소를 적기에 공급하였고 수량에 영향을 주지 않았다고 보고하여 이와 상반되는 결과를 보였다.

따라서 본 시험은 무경운 재배지에서 두과 풋거름작물인 헤어리베치와 크림손클로버를 피복작물로 이용하여 옥수수를 재배했을 때 피복작물의 종류와 질소 시비량에 따른 생육, 수량 및 질소 이용효율을 조사하여 후작물에 대한 질소 시비 효과를 평가함으로써 무경운 옥수수 재배 기술 개발을 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다.

Materials and Methods

시험포장 특성 본 시험은 2013년 수원의 국립식량과학원 무경운 밭 시험포장 (N37°16'17", E126°59'25")에서 실시하였다. 해당 포장은 2008년도에 조성된 것으로 전체 면적은 11 m × 54 m이며 이 중 11 m × 20 m 면적에 크림손클로버 (*Trifolium incarnatum* L.), 11 m × 30 m 면적에 헤어리베치 (*Vicia villosa* Roth) 종자를 파종 (산파) 재배하고 11 m × 4 m 면적은 무피복구로 유지하였으며, 포장 전체에서 후작물로 옥수수를 4년간 무경운 재배한 이력이 있다. 피복작물은 포장 조성시에 1회 파종하고 이듬해부터는 매년 자연 재입모 (self-reseeding)되어 생육하는 것을 이용하였는데, 본 시험에서도 전년도인 2012년에 재입모된 크림손클로버와 헤어리베치를 이용하였다. 시험 토양은 강서릉으로 입도분포는 모래 60%, 미사 29%, 점토 11%로 사양토 (sandy loam)에 해당하였다. 토양 화학성은 농업과학기술원 토양분석기준 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였는데, 대체로 일반적인 밭 토양 특성을 나타내었으나 유효인산 함량이 낮은 편이었으며 유기물과 치환성 칼슘 함량이 풋거름작물 피복구에서 무피복구에 비해 유의적으로 높았다 (Table 1).

시험구 배치 및 재배방법 시험 처리는 헤어리베치 피복구와 크림손클로버 피복구 각각에 대해 질소시비량을 3수준으로 하여 옥수수 표준 시비량의 100% (145 kg N ha⁻¹), 50% (72.5 kg N ha⁻¹), 질소 무시비로 처리하였다. 인산과 칼리는 상기 처리구 전체에 동일하게 표준시비량 (RDA, 2000)에 준하여 P₂O₅를 30 kg ha⁻¹, K₂O를 60 kg ha⁻¹ 시비하였다. 대조를 위해 풋거름작물 무피복구를 관행시비구와 무비구로 나누어 관행시비구는 질소, 인산, 칼리를 표준시비량에 따라 각각 145 kg N ha⁻¹, 30 kg P₂O₅ ha⁻¹, 60 kg K₂O ha⁻¹씩 처리

Table 1. Chemical properties of soil in each cover crop treatment before corn cultivation.

Cover crop	pH (1:5H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmolc kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
Crimson clover	5.8 a	20.6 ab	22.8 a	0.13 a	3.64 a	0.82 a
Hairy vetch	5.8 a	40.0 a	25.4 a	0.12 a	3.27 ab	0.94 a
No cover crops	5.8 a	11.2 b	27.6 a	0.09 a	3.04 b	0.80 a

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

Table 2. Biomass and chemical properties of cover crops before termination.

Cover crop	Dry weight	Total C	Total N	C:N	N productivity
	(Mg ha ⁻¹)	----- (%) -----	-----	ratio	(kg N ha ⁻¹)
Crimson clover	4.25 a	43.1 a	2.0 b	22 a	85.1 b
Hairy vetch	3.65 a	43.4 a	3.6 a	12 b	132.7 a

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

Table 3. Biomass and chemical properties of surface organic residues in each experimental plot after corn harvest.

Cover crop	Mineral N rate	Dry weight	Total C	Total N	C:N	N accumulation
	(kg N ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	----- (%) -----	-----	ratio	(kg N ha ⁻¹)
Crimson clover	145	4.79 a	36.5 a	1.93 b	19.2 a	91.1 a
	72.5	4.77 a	28.3 a	1.75 bc	16.0 a	85.2 a
	0	4.67 a	22.4 a	1.18 cd	18.1 a	55.8 ab
Hairy vetch	145	4.58 a	43.0 a	2.44 ab	19.1 a	115.8 a
	72.5	4.63 a	34.8 a	2.15 b	16.3 a	100.4 a
	0	3.65 a	40.1 a	2.87 a	14.0 a	105.3 a
No cover crops	145	3.09 a	35.1 a	2.13 b	17.1 a	66.5 ab
	0	1.78 a	26.6 a	0.98 d	26.0 a	17.5 b

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

하였으며 무비구는 시비처리를 하지 않았다. 모든 시험구 배치는 단구제로 하였다. 질소비료의 사용방법은 요소(질소 46%)를 기비와 추비(7엽기)로 각각 50%씩 분시하였으며, 인산과 칼리비료는 각각 용과린(인산 20%)과 염화칼리(칼리 60%)를 전량 기비로 사용하였다.

옥수수 재배 전 무경운 상태에서 피복작물을 고사시키기 위해 6월 10일 각 피복작물 재배구를 원통형 롤러를 이용해 기계적으로 진압하였다. 이것은 최근 미국 등에서 많이 사용하는 트랙터 부착형 roller-crimper와 유사한 방식으로, 토양 교란을 일으키지 않고 피복작물을 압착해 지표면에 균일한 식물체 멀칭을 형성하는 효과가 있다(Parr et al., 2011). 후작물인 옥수수(*Zea mays* L.)는 찰옥수수인 일미찰 품종을 사용하였으며 6월 7일 플러그셀에 2립씩 파종하여 6월 21일에 재식 거리를 휴폭 70 cm × 주간거리 25 cm로 하여 본밭 정식하였고 이식 후 숙음작업을 통해 1주 1본으로 하였다. 정식 이후의 재배관리는 농촌진흥청 옥수수 표준재배법(RDA, 2000)에 준하여 수행하였다.

피복작물 및 토양 유기물층의 질소량 조사 각 피복작물을 진압하기 전 1 m × 1 m 면적 내의 식물체 지상부를 3반복 채취하여 건물중을 조사하였고, 건조된 식물체 시료를 마쇄하여 elemental analyzer (Vario MAX CN, Germany)를 이용한 건식연소법으로 탄소·질소함량 및 탄질비를 분석하였다. 피복작물별 질소생산량은 각각의 질소함량에 건물중을 곱하여 구하였다. 헤어리베치와 크림슨클로버의 건물수량 및 질소량 분석 결과는 Table 2와 같다. 옥수수 재배 후 지표피복 식물체 잔재물의 질소 잔류량을 알아보기 위해 수확 후 각 시험구별로 토양 표면의 유기물층(O층)을 0.7 m × 0.7 m 면적 내에서 3반복 채취하여 건물중, 총탄소 및 총질소 함량, 탄질비와 질소보유량을 조사하였으며, 분석 결과는 Table 3과 같다.

옥수수의 생육, 수량 및 질소량 조사 옥수수 식물체의 생육은 6엽기에 해당하는 7월 16일과 수확기인 8월 23일에 간장, 경태 및 엽록소 수치(SPAD value)를 10주 3반복으로 조사하였다. 엽록소 수치는 옥수수의 질소 가용성을 반영

하는 지표로서 (Liu and Wiatrak, 2012), 엽록소 측정기 (SPAD-502, Japan)를 이용하여 상위엽 중앙 부분을 측정하였다. 이삭 수량 및 경엽의 생초중은 8월 30일 각 시험구에서 1.5 m × 1.4 m 면적 내의 옥수수 식물체를 12주를 3반복으로 수확하여 경엽과 암이삭을 분리한 뒤 각각에 대한 생체중 및 건물중을 조사하였다. 수확한 옥수수의 생체중의 합을 채취 면적으로 나누어 옥수수의 ha당 총 생체수량을 계산하였으며, 이 중 이삭장이 17 cm 이상인 이삭만 골라 생체중을 측정하여 상품이삭수량 (marketable yield)을 구하였다 (Griffin et al., 2000). 건조시킨 옥수수의 이삭과 경엽은 마쇄하여 건식연소법으로 질소 함량을 분석하였고, 이삭과 경엽의 질소 흡수량은 각각의 질소함량에 건물중을 곱하여 구하였다. 수확기 옥수수 식물체의 질소함량과 엽록소 수치는 높은 정의 상관관계를 나타내었다 ($R^2=0.9414$, data not shown).

질소 이용효율 분석 피복작물 및 질소시비량에 따른 옥수수의 질소 이용효율은 양분 이용효율 평가에 사용하는 일반 지표들을 이용하여 다음과 같이 계산하였다 (Zougmoré et al., 2006).

1. The agronomic efficiency of N (AE_N) = $(Y - Y_0) / \text{input N}$
 Y: the yield in a treatment with N application,
 Y₀: the yield in a treatment without N input application,
 input N: the amount of organic and fertilizer N applied (kg ha⁻¹)
2. The apparent recovery fraction of N (ARF_N) = $(U_{pt} - U_{pt0}) / \text{input N}$
 U_{pt}: N taken up in a treatment with N application,
 U_{pt0}: N taken up in a treatment without N input application,
 input N: the amount of organic and fertilizer N applied (kg ha⁻¹)

이때 input N의 fertilizer N값은 각 처리구별 질소시비량을 적용하였으며 organic N, 즉 풋거름으로부터 유래되는 질소는 무경운 조건에서 무기화되는 피복작물 질소량을 조사한 기존 연구로부터 추정치를 계산하여 적용하였다. Seo et al. (1998)은 헤어리베치의 지표설치 후 16주후 88%의 질소가 무기화된다고 하였고 Wilson and Hargrove (1986)은 지표면에 피복된 크립손클로버에서 16주후 64%의 질소가 무기화된다고 보고하였는데, 이에 따라 Table 2의 피복작물별 질소 생산량을 100%로 할 때 피복작물 고사 후 16주까지 헤어리베치와 크립손클로버로부터 방출되는 질소량은 각각 116.7 kg N ha⁻¹과 54.5 kg N ha⁻¹으로 추정되었다.

통계 분석 모든 연구결과의 통계분석은 R 프로그램 3.1.0 버전 (2014)을 사용하였으며 옥수수의 생육, 수량 및 질소흡수량 등은 분산분석에서 유의성이 인정되는 항목에 대하여 던킨의 다중범위검정 (DMRT; Duncan's multiple range test)으로 평균간 유의성 ($p < 0.05$)을 검정하였다.

Results

피복작물 및 지표 잔재물층의 질소량 고사 시점의 피복작물별 건물생산량은 크립손 클로버가 4.25 Mg ha⁻¹으로 헤어리베치 (3.65 Mg ha⁻¹)에 비해 16% 많았으나 질소함량이 상대적으로 낮아 총 질소생산량은 헤어리베치가 크립손클로버보다 55% 정도 많았다 (Table 2). 수확 후 토양 표면에 쌓여있는 유기 잔재물층의 건물중 (Table 3)은 피복작물 재배구에서 3.65~4.79 Mg ha⁻¹이었으나 무피복구에서 질소 무시용시 1.78 Mg ha⁻¹로 피복구 대비 50% 이하 수준이었는데, 반복간 편차가 심해 통계적 유의차는 없었다 ($p > 0.05$). 유기 잔재물의 질소함량은 헤어리베치 피복구에서 2.15~2.87%로 가장 높았으며, 무피복구에서 질소 145 kg N ha⁻¹ 시용시 2.13%로 이보다 약간 낮았고, 크립손클로버 피복구에서는 1.18~1.93%로 더욱 낮은 수준이었다. 크립손클로버 피복구에서는 질소 시비량이 많을수록 질소함량도 비례적으로 늘어나는 경향을 보였다. 잔재물층에 잔류하는 질소량은 헤어리베치가 100.4~115.8 kg N ha⁻¹로 질소 시비량과 관계없이 동일한 수준이었으나 크립손클로버는 55.8~91.1 kg N ha⁻¹로 질소 시비량이 많을수록 잔류 질소량도 많은 경향을 나타내었다.

피복작물 및 질소시비에 따른 옥수수의 생육 및 수량 특성 피복작물의 종류 및 질소시비량에 따른 옥수수의 6엽기와 수확기 생육 특성은 Table 4와 같다. 피복작물과 질소 시비수준은 수확기 간장과 엽록소 수치에 가장 크게 영향을 미쳤으며, 질소시비와 피복작물 처리간의 상호작용에서도 고도의 유의성이 나타났다. 헤어리베치 피복구의 옥수수는 생육 초기인 6엽기에는 질소비료 사용량에 관계없이 간장, 경태, 엽록소 수치에 차이가 없었으나, 수확기에는 질소 무비구에서 질소 시비구보다 경태가 1.8 cm, 엽록소 수치는 3.5 가량 소폭 감소하였다. 반면 크립손클로버 피복구의 옥수수는 6엽기부터 질소 무비구에서 상당한 생육 저하가 나타나 간장, 경태, 엽록소 수치가 유의적으로 감소하였으며, 수확기에는 간장과 엽록소 수치가 질소 시비구와 비교해 더욱 큰 감소를 나타내었다. 동일한 질소시비 수준에서는 헤어리베치가 크립손클로버에 비해 생육이 우세하였다. 한편 풋거름 작물 무피복 + 질소 145 kg N ha⁻¹ 시비구의 옥수수 생육은 크립손클로버 피복구에서 질소 시용시와 비슷한 수준이었으나 헤어리베치 피복구에 비해서는 떨어지는 경향이였다.

Table 4. Effects of cover crops and N fertilization rates on growth characteristics of corn at the 6-leaf stage and after harvest.

Cover crop	Mineral N rate (kg N ha ⁻¹)	Stalk height (cm)		Stem diameter (mm)		SPAD value of leaf	
		6-leaf	harvest	6-leaf	harvest	6-leaf	harvest
With cover crops							
CC	145	135 b	163 c	16.5 ab	15.7 bc	40.4 a	42.9 ab
	72.5	135 b	167 bc	15.9 ab	16.6 ab	36.7 b	37.4 c
	0	119 c	139 d	14.7 b	15.7 bc	37.5 b	30.4 d
HV	145	144 a	175 ab	17.0 ab	17.4 a	41.5 a	44.3 a
	72.5	147 a	181 a	17.5 a	16.7 ab	42.0 a	44.1 ab
	0	143 a	181 a	17.5 a	15.3 c	41.0 a	40.7 b
Main effects							
CC		130 b	156 b	15.7 b	16.0 a	38.2 b	36.9 b
HV		144 a	179 a	17.3 a	16.5 a	41.5 a	43.0 a
	145	140 a	169 a	16.7 a	16.5 a	41.0 a	43.6 a
	72.5	141 a	174 a	16.6 a	16.6 a	39.3 a	40.7 b
	0	131 b	160 b	16.0 a	15.5 b	39.3 a	35.5 c
Significance of treatments							
Cover Crop (C)		***	***	*	ns	***	***
Mineral N rate (N)		***	***	ns	*	ns	***
C × N		**	***	ns	*	ns	***
Without cover crops							
	145	132 w	171 w	16.0 w	15.6 w	40.8 w	37.1 w
	0	89 x	93 x	7.3 x	9.7 x	29.4 x	22.1 x

[†]CC: crimson clover; HV: hairy vetch.

[‡]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT. DMRT was applied separately for the plots with cover crops (a, b,…) and the plots without cover crops (w, x,…) .

Table 5. Effects of cover crops and N fertilization rates on corn yields.

Cover crop	Mineral N rate (kg N ha ⁻¹)	Fresh ear yield (Mg ha ⁻¹)		Dry matter yield (Mg ha ⁻¹)	
		Whole	Marketable	Ear	Stover
With cover crops					
CC	145	9.93 ab	8.72 ab	3.16 ab	2.49 ab
	72.5	8.33 b	5.50 b	2.33 b	1.96 bc
	0	3.50 c	0.41 c	1.04 c	1.42 c
HV	145	10.96 ab	10.58 a	3.46 a	3.21 a
	72.5	11.60 a	11.24 a	3.99 a	3.37 a
	0	8.80 ab	7.00 ab	3.35 a	2.87 ab
Main effects					
CC		7.25 b	4.88 b	2.18 b	1.96 b
HV		10.46 a	9.60 a	3.60 a	3.15 a
	145	10.44 a	9.65 a	3.31 a	2.85 a
	72.5	9.96 a	8.37 a	3.16 a	2.67 ab
	0	6.15 b	3.70 b	2.19 b	2.14 b
Significance of treatments					
Cover Crop (C)		***	**	***	***
Mineral N rate (N)		***	**	**	ns
C × N		ns	ns	*	ns
Without cover crops					
	145	7.97 w	6.56 w	2.18 w	2.22 w
	0	0.83 x	0 x	0.37 x	0.59 x

[†]CC: crimson clover; HV: hairy vetch; Marketable yield: total weight of ears with a minimum size of 17 cm.

[‡]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT. DMRT was applied separately for the plots with cover crops (a, b,…) and the plots without cover crops (w, x,…) .

피복작물의 종류 및 질소시비량에 따른 옥수수 풋이삭의 총수량, 상품수량과 이삭과 경엽의 건물수량은 Table 5와 같다. 헤어리베치 피복구의 옥수수 수량은 질소시비에 따른 차이가 나타나지 않았는데, 질소 145 kg N ha⁻¹ 및 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구에 비해 질소 무비구에서 약간 낮은 경향을 보였지만 편차가 커서 유의성은 인정되지 않았다. 반면 크립손클로버 피복구에서는 질소시비량이 적을수록 수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 크립손클로버 질소 무비구에서는 상품이삭수량이 0.41 Mg ha⁻¹ 수준으로 대부분의 종실에서 현저한 생육 저하가 관찰되었다. 풋거름작물 무피복 + 질소 145 kg N ha⁻¹ 시비구의 수량은 크립손클로버 피복 + 질소 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구와 비슷하였고 헤어리베치 피복구에 비해서는 낮은 수준이었다.

피복작물 및 질소시비에 따른 옥수수의 질소량 및 이용효율 수확기 옥수수의 부위별 질소함량 및 질소 흡수량은 Table 6과 같다. 피복작물과 질소시비수준은 이삭과 경엽의 질소 흡수량에 강한 영향을 미쳤는데 경엽보다 이삭에서 처리간 차이가 크게 나타났다. 헤어리베치와 크립손클로

버 모두 질소 시비량이 증가할수록 체내 질소 함량과 흡수량이 많은 경향을 보였다. 모든 처리구에서 이삭의 질소함량이 경엽보다 높았으며, 질소시비량이 적을수록 두 부위간의 질소함량 차이가 컸다. 풋거름작물 무피복 + 질소 145 kg N ha⁻¹ 시비구의 질소흡수량은 크립손클로버 피복 + 질소 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구와 비슷한 수준으로, 수량과 유사한 경향을 나타내었다.

각 처리구별 질소 이용효율은 Table 7과 같다. 투입된 질소에 대한 수량 증가를 나타내는 농업적 효율 (AE_N)은 헤어리베치 + 질소 무비구와 헤어리베치 + 질소 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구에서 각각 25.6 및 19.2 kg kg⁻¹ N ha⁻¹으로 가장 높았다. 크립손클로버 + 질소 무비구의 AE_N은 17.6 kg kg⁻¹ N ha⁻¹으로 높은 편이었으나 수량이 현저히 낮아 큰 의미가 없다고 판단된다. 투입된 질소에 대한 질소 흡수량을 나타내는 겉보기 회수비율 (ARF_N) 역시 헤어리베치 + 질소 무비구와 헤어리베치 + 질소 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구에서 각각 53.2와 47.1%로 가장 높았다. 무피복 질소 시비구의 AE_N은 12.5 kg kg⁻¹ N ha⁻¹이었고 ARF_N은 26.5%로 전체 처리구 중 가장 낮은 수준이었다.

Table 6. Effects of cover crops and N fertilization rates on nitrogen uptake by corn.

Cover crop	Mineral N rate (kg N ha ⁻¹)	N concentration (%)		N accumulation (kg N ha ⁻¹)		
		Ear	Stover	Ear	Stover	Whole
With cover crops						
CC	145	1.34 bc	1.29 ab	42.4 abc	31.8 bc	74.2 b
	72.5	1.30 bc	1.09 abc	30.1 c	21.6 cd	51.7 b
	0	1.06 d	0.79 c	10.8 d	11.7 d	22.5 c
HV	145	1.55 a	1.42 a	53.5 ab	45.3 a	98.8 a
	72.5	1.37 b	1.29 ab	54.5 a	43.1 ab	97.6 a
	0	1.20 cd	1.03 bc	40.3 bc	30.1 c	70.5 b
Main effects						
CC		1.23 b	1.06 b	27.8 b	21.7 b	49.5 b
HV		1.37 a	1.25 a	49.5 a	39.5 a	89.0 a
	145	1.44 a	1.35 a	48.0 a	38.6 a	86.5 a
	72.5	1.33 b	1.19 a	42.3 a	32.4 a	74.7 a
	0	1.12 c	0.91 b	25.6 b	20.9 b	46.5 b
Significance of treatments						
Cover Crop (C)		**	*	***	***	***
Mineral N rate (N)		***	**	***	**	***
C × N		ns	ns	ns	ns	ns
Without cover crops						
	145	1.17 w	0.97 w	25.3 w	21.6 w	46.9 w
	0	1.19 w	0.93 w	4.3 w	6.8 x	11.1 x

[†]CC: crimson clover; HV: hairy vetch.

^{*}Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT. DMRT was applied separately for the plots with cover crops (a, b,…) and the plots without cover crops (w, x,…) .

Table 7. Nitrogen use efficiency in no-tillage corn production as affected by cover crops and N fertilization rates.

Cover crop	Mineral N rate	Input N	AE_N	ARF_N
	----- (kg N ha ⁻¹) -----	-----	(kg kg ⁻¹ N ha ⁻¹)	(%)
Crimson clover	145	199	14.0 b	32.9 bc
	72.5	127	15.5 b	34.1 bc
	0	54	17.6 ab	36.7 abc
Hairy vetch	145	262	11.8 b	34.5 bc
	72.5	189	19.2 ab	47.1 ab
	0	117	25.6 a	53.2 a
No cover crops	145	145	12.5 b	26.5 c

¹Input N: the amount of mineral fertilizer N + cover crop N; AE_N: agronomic efficiency of N (kg yield increase per kg input N); ARF_N: apparent recovery fraction of N (kg N uptake increase per kg input N).

²Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

Discussion

헤어리베치 피복구의 옥수수 생육 및 수량은 질소처리수준에 거의 영향을 받지 않았지만 크림손클로버 피복구에서는 질소시비량이 적을수록 생육과 수량이 저하되는 경향을 보였는데 (Table 4, Table 5), 이는 크림손클로버의 질소 공급 효과가 상대적으로 낮음을 시사한다. Wagger (1989)와 Reeves et al. (1993)의 연구에서 크림손클로버의 질소 생산량은 각각 100~150 kg N ha⁻¹ 과 111~181 kg N ha⁻¹으로 보고되었는데 본 시험에서는 85 kg N ha⁻¹으로 이보다 낮은 수준이었다 (Table 2). 이에 더하여 크림손클로버의 탄질비는 22로 비교적 무기화되기 어려운 조건이었는데, 이것은 Reeves (1994)가 보고한 크림손클로버의 탄질비 범위인 11~25에서 최대값에 가깝다. 일반적으로 유기물질의 탄질비가 30보다 크면 질소가 부동화되는 반면 20 이하에서는 질소의 순 무기화 (net mineralization)가 일어난다고 밝혀져 있다 (Mitchell et al., 2000; Reeves, 1994). 이러한 크림손클로버의 낮은 질소생산성과 높은 탄질비는 피복작물 진압 시점에 따른 결과일 수 있다. 두과 피복작물의 생체량과 질소생산량은 생육 성기에 최대치에 달하고 개화 이후에 종자 생산 및 탈립이 일어나면서 감소한다 (Parr et al., 2011). 중북부지방에서 크림손클로버와 헤어리베치의 개화기는 각각 5월 상순과 6월 상순으로 (Choi et al., 2011), 피복작물을 진압한 6월 10일경에는 크림손클로버가 생육기를 지나 자연 고사가 진행되면서 질소함량이 낮아진 것으로 판단된다. Parr et al. (2011)의 연구에서도 roller-crimper 진압 시기가 헤어리베치와 크림손클로버의 총 질소함량에 영향을 주었으며, 크림손클로버의 생체량과 질소함량이 최대가 되는 시점은 헤어리베치보다 빨랐다고 하였다. 또 Touchton et al. (1982)은 크림손클로버를 노화기까지 방치했을 경우 추가적인 질소비료 사용 없이는 후작물에 이로운 효과가 나타나지 않았다고 보고하였는데, 이는 본 시험의 결과와 일치하였다.

크림손클로버 피복구에서 질소시비 효과가 크게 나타난 것은 시비 질소가 옥수수에 이용되는 동시에 풋거름의 탄질비가 20 이하로 감소하면서 질소의 무기화가 촉진되었기 때문으로 생각된다. 질소 시비는 미생물의 호흡을 촉진하고 토양 및 피복작물 질소의 무기화를 증가시키는 점화효과 (priming effect)를 일으켜 질소 무시용구에 비해 높은 무기화를 보인다고 알려져 있다 (Acosta et al., 2011; Schomberg et al., 2006). 하지만 본 시험에서 후작물에 대한 크림손클로버의 질소비료 대체효과는 50%보다 낮은 수준으로 판단되었는데, 크림손클로버 + 질소 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구에서 옥수수의 간장·경태 등은 질소 145 kg N ha⁻¹ 시비구와 비교해 차이가 없었지만 (Table 4) 풋이삭수량과 건물수량은 유의적으로 감소하였다 (Table 5). 이는 풋거름 및 비료로부터 공급된 질소 총량이 옥수수의 총 질소요구량보다 부족하여 생육 후기에 질소부족 현상이 일어난 결과로 생각된다. Jones (1983)은 옥수수에서 양분 부족이 심할수록 지상부의 질소함량이 감소한다고 하였는데, 본 시험에서도 크림손클로버의 경엽 질소함량이 질소시비량이 적을수록 낮아지는 것을 볼 수 있었다 (Table 6).

헤어리베치 피복구에서 질소시비량에 따른 옥수수의 생육 및 수량 차이가 나타나지 않았던 것은 Seo et al. (1998)이 보고한 것처럼 무경운 지표피복한 헤어리베치만으로 옥수수 생육에 필요한 질소를 토양에 공급할 수 있음을 의미한다. Griffin et al. (2000)은 헤어리베치와 알팔파를 풋거름으로 하여 후작물로 단옥수수를 재배했을 때 질소시비에 따른 수량반응이 나타나지 않았으며, 이는 피복작물이 후작물의 질소요구량을 완전히 충족했기 때문으로 두과 피복작물에서는 일반적인 반응이라고 하였다. 또 Acosta et al. (2011)은 질소 시비량에 따른 옥수수 수량반응은 피복된 헤어리베치를 50% (1.8~2.3 Mg ha⁻¹) 환원했을 때 유의한 차이를 보였지만 100% 환원한 처리구에서는 차이가 없었으며, 헤어리베치 질소생산량 (100~200 kg N ha⁻¹) 만으로도 질소시비 없이 높은

수량을 얻을 수 있다고 보고하였다. 한편 헤어리베치 피복구에서 질소 145 kg N ha⁻¹와 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구의 수량은 통계적 유의성은 없었지만 질소 무비구에 비해 다소 높은 경향을 보였는데 (Table 5), 이것은 Seo and Lee (1998)의 연구에서 헤어리베치 피복시 질소비료의 사용이 무시용시보다 옥수수의 생육과 수량을 증가시켰다는 결과와 유사하였다. Acosta et al. (2011)은 헤어리베치 피복구에 질소시비를 했을 때 옥수수 식물체 내의 질소 함량과 총 질소 흡수량이 높아졌으며 이는 질소의 과잉흡수 (luxury consumption of N)를 시사한다고 하였으며 이 때 질소 120 kg N ha⁻¹ 시비구의 옥수수 수량은 무비구보다 14% 가량 증가하였다. Table 6에서도 헤어리베치 피복구의 옥수수 이삭 및 경엽의 질소함량이 질소시비량이 많을수록 높아지는 것을 볼 수 있는데, 특히 질소 145 kg N ha⁻¹와 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구의 경엽 질소함량은 각각 1.42% 및 1.29%로 Jones (1983)가 보고한 성숙기 옥수수의 경엽 질소함량 범위인 0.45~1.30%와 비교해 볼 때 높은 수준이어서 질소가 과잉흡수된 것으로 판단된다. 과다한 질소는 사상균에 대한 감수성 증가, 암모니아 독성, 일시적 토양 산성화 등으로 오히려 옥수수의 생장을 저해한다고 알려져 있어 (Maltas et al., 2009) 적정 수준의 질소시비가 필요하다. 기존의 무경운 옥수수 재배 연구에서 Maltas et al. (2009)은 220 kg N ha⁻¹을 초과하는 질소 시비는 생산량 감소를 일으켰다고 하였고, Parr et al. (2011)은 질소 112 kg N ha⁻¹ 시비구에 비해 질소 168 kg N ha⁻¹ 시비구의 수량이 더 낮았다고 보고하였다. 본 시험에서도 유의차는 인정되지 않았지만 헤어리베치 + 질소 145 kg N ha⁻¹ 시비구의 수량이 72.5 kg N ha⁻¹ 시비구보다 낮은 경향을 보여 과잉 질소의 부작용이 있는 것으로 판단되었다 (Table 5).

뜻겨름작물 무피복 질소 시비구의 옥수수 생육 및 수량은 각 피복작물의 질소 시비구보다 낮은 경향이였으며 (Table 4, Table 5) 질소 이용효율도 가장 낮은 수준이었는데 (Table 7), 이는 잡초 발생이 상대적으로 많았기 때문으로 생각된다. 옥수수 수확기에 조사한 잡초의 생체량은 헤어리베치와 크립손클로버 피복구에서 각각 뜻겨름 무피복구의 52%와 59% 수준이었다 (data not shown). 이 결과는 옥수수 무경운 재배시 잡초의 건물생산량이 두과 뜻겨름작물 처리구에서 현저히 감소했다고 하는 Choi et al. (2011)의 보고와 일치한다. 피복작물은 수분, 광, 양분 및 공간에 대한 경합으로 잡초 발생을 억제시키고 일부 피복작물은 타감 작용 (allelopathy)으로 잡초의 생육을 저해한다고 알려져 있다 (Choi et al., 2011; Zougmore et al., 2006). 무피복구의 수량이 저하된 다른 원인으로는 옥수수의 표준 질소시비량인 145 kg N ha⁻¹이 무경운 재배에서는 충분하지 않았을 수 있다. 무경운 체계에서 질소 소비효는 지표면에 시비되므로 암모니아 휘산이나 용탈, 탈질현상 등에 의해 손실되기 쉽다 (Keller and Mengel, 1986; Rice and Smith, 1982). 또 Liu and Wiatrak (2012)은 무경운

재배시 지표면에 집적된 잔재물로 인해 단기적인 질소 부동화가 일어날 수 있어 수량 저하를 방지하려면 질소를 관행 경운재배보다 증량해 시비할 필요가 있다고 하였다. 또 다른 요인은 토양 수분함량의 차이를 생각할 수 있다. 피복작물의 잔재물이 지표층에 많아지면 더 많은 토양 수분이 보존되어 후작물의 생육이 증진된다고 알려져 있는데 (Griffin et al., 2000; Maskina et al., 1993), 본 시험의 토양은 사양토로 보수력이 낮아 뜻겨름작물의 피복 유무가 옥수수 생육에 비교적 큰 영향을 주었을 것으로 판단된다. 피복작물 고사시점에 표토층의 용적수분함량을 조사한 결과에서는 크립손클로버 피복구, 헤어리베치 피복구, 무피복구에서 각각 15.3%, 20.4%, 13.8%로 무피복구의 토양수분이 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다 (data not shown).

본 시험포장은 무경운 상태로 매년 피복작물이 재입되어 후작물 재배 직전까지 생육되므로 옥수수 수확 후에 남아 있는 질소성분의 손실이 최소화될 수 있을 것으로 생각된다. Maltas et al. (2009)은 피복작물이 주작물 수확 후 잔류하는 토양 무기질소 및 토양 유기물과 작물 잔사에서 방출된 질소의 상당량을 흡수하여 조직 내에 저장하므로 용탈, 탈질 등에 의한 손실을 방지해 질소 이용을 최적화시킬 수 있다고 하였다. 특히 무경운 조건에서 피복작물 잔재물의 질소는 질소비료 사용이나 피복작물의 토양혼입 시에 비해 상대적으로 긴 시간 동안 무기화되므로 (Reeves et al., 1993) 주작물 수확 후 새로 입모되어 생육하는 피복작물에 더 많이 이용될 수 있을 것이다. Campiglia et al. (2014)은 무경운 체계에서 헤어리베치를 이용해 후작물 재배시 지표면에 뜻겨름 잔재물이 계속 일정량 존재하는데, 헤어리베치 고사시점보다는 질소 함량이 떨어지지만 상당량의 유기 질소성분을 함유하며 그 양이 60 kg N ha⁻¹에 달한다고 보고하였다. 본 시험에서도 옥수수 수확 후에 지표면의 피복 잔재물층에 다량의 질소가 남아 있었으며, 특히 헤어리베치 피복구는 100~116 kg N ha⁻¹ 수준의 유기 질소를 보유한 것으로 확인되었다 (Table 3). 헤어리베치 무비구에서 지표 진입 직전 헤어리베치의 질소생산량은 132.7 kg N ha⁻¹ (Table 2), 수확후 잔재물층의 질소량은 105.3 kg N ha⁻¹ (Table 3), 옥수수의 총 질소 흡수량은 70.5 kg N ha⁻¹ 이므로 (Table 6) 공급된 질소량보다 수확후 잔재물과 옥수수에 존재하는 질소량이 43.1 kg N ha⁻¹ 더 많은 것으로 나타났는데, 이것은 전년도까지 누적된 헤어리베치 잔재물에 남아 있던 유기질소에 기인한 것으로 추측되었다. 잔재물의 분해에 의한 질소 무기화 작용은 미생물이 관여하므로 계절별 강우 분포와 기온 등 기후의 영향이 큰데 (Groffman et al., 1987; Mitchell et al., 2000), 일반적으로 춥고 건조한 조건에 비해 따뜻하고 습윤한 조건에서 높게 나타난다 (Lupwayi et al., 2006; Mitchell et al., 2000). Mitchell et al. (2000)은 6월에 토양에 환원한 작물 잔재물로부터 방출된 무기 질소는 전체 질소의 40%에 해당하였으나 11월에

환원할 경우 11% 수준으로 감소했다고 보고하였다. 시험 포장 옥수수 수확 후 이듬해 봄까지는 온도가 낮고 건조한 조건이므로 이와 같이 질소의 무기화가 억제되며, 남아있는 질소는 월동 후 피복작물 생육에 기여할 것으로 생각된다. Choi et al. (2009)의 연구에서도 피복작물의 질소 무기화가 지연되어 당해년에 이용되지 못할 경우에는 이듬해 분해가 진행된 후 작물의 질소이용이 가능하게 된다고 하였다.

이상의 결과를 정리하면 무경운 옥수수 재배시 피복작물의 이용은 무피복 재배에 비해 질소 이용 효율을 높여 수량 생산에 유리하며, 질소 공급 효과는 헤어리베치가 크립손클로버에 비해 우수함을 알 수 있었다. Groffman et al. (1987)도 여러 연구에서 크립손클로버는 옥수수의 질소 공급원으로 효과가 낮았지만 헤어리베치는 어느 정도 성공적이었다고 보고한 바 있다. 그러나 크립손클로버의 낮은 질소생산성은 앞서 언급한 진압 시기의 영향뿐 아니라 토양특성에 기인한 것일 수 있다. 크립손클로버는 배수가 불량한 토양에서 비교적 생육이 왕성하고 헤어리베치는 배수가 잘되는 산성토양에 강한 특성을 보이는데 (Reeves, 1994), 본 시험 토양은 사양토이며 pH는 5.8로 헤어리베치 생육에 더 유리한 조건이었다 (Table 1). 따라서 크립손클로버를 적합한 토양에서 생체량이 최대가 되는 4월 하순~5월 중순경에 풋거름으로 이용하면 보다 많은 질소를 공급할 가능성이 있다고 예상된다. 질소 이용효율을 기준으로 무경운 옥수수 재배시 가장 적합한 피복작물과 질소시비량을 평가하면 헤어리베치 + 질소 무비구의 효율이 가장 높았다 (Table 7). 하지만 헤어리베치 피복구에서 질소를 시비했을 때 수량이 더 증가하는 경향을 보였기 때문에 최대 수량 생산을 위해서는 일정량의 시비가 필요하다. 헤어리베치 피복구에서는 표준 질소시비량의 50%인 $72.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ 이상으로 시비할 경우 더 이상 수량이 증가되지 않았고 경엽 질소함량을 볼 때 질소의 과잉흡수가 일어난 것으로 추측되었다. 따라서 본 시험 재배지와 유사한 기후 및 토양 특성을 가진 무경운 옥수수 재배지에서 헤어리베치를 피복해 풋거름으로 이용할 경우 $0 \sim 72.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ 범위 내에서 질소비료를 시비하는 것이 가장 효율적이라고 판단되나, 구체적인 시비량에 관해서는 보다 세부적인 연구가 필요할 것이다.

References

- Acosta, J.A.A., T.J.C. Amado, A. Neergaard, M. Vinther, L.S. Silva, and R.S. Nicoloso. 2011. Effect of ^{15}N -labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. *R. Bras. Ci. Solo*. 35:1337-1345.
- Campiglia, E., R. Mancinelli, V.D. Felice, and E. Radicetti. 2014. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). *Soil Tillage Res.* 139:1-7.
- Choi, B.S., K.C. Hong, J.K. Sung, J.J. Nam, J.E. Lim, H.Y. Lee, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2009. Incorporation of winter rapeseed (*Brassica napus*) as green manure on mineralization and uptake of nitrogen to succeeding corn (*Zea mays* L.). *Korean J Organic Agric.* 17(3):381-391.
- Choi, B.S., C.G. Kim, K.Y. Seong, D.Y. Song, W.T. Jeon, H.S. Cho, K.H. Jeong and U.G. Kang. 2011. Change of weed community in no-till corn with legume cover crops as living mulch. *Kor. J. Weed Sci.* 31(1):34-40.
- Clark, A.J., A.M. Decker, J.J. Meisinger, F.R. Mulford, and M.S. McIntosh. 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agron. J.* 87:579-585.
- Drinkwater, L.E., M. Shipanski, S.S. Snapp, and L.E. Jackson. 2008. Ecologically based nutrient management, p. 159-208. In: Snapp, S. and B. Pound (ed.). *Agricultural systems: Agroecology and rural innovation for development*. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar, and B.A. Bailey. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:2733-2757.
- Gang, J.H. 2013. Gangwon-do waxy corn seed industrialization plan. Research Institute for Gangwon. Chuncheon, Korea.
- Griffin, T., M. Liebman, and J. Jemison Jr. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agron. J.* 92:144-151.
- Groffman, P.M., P.F. Hendrix, and D.A. Crossley, Jr. 1987. Nitrogen dynamics in conventional and agroecosystems with inorganic fertilizer inputs. *Plant Soil.* 97:315-332.
- Jones, C.A. 1983. A survey of the variability in tissue nitrogen and phosphorus concentrations in maize and grain sorghum. *Field Crops Res.* 6:133-147.
- Keller, G.D. and D.B. Mengel. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1060-1063.
- Kim, E.S., D.H. Kim, D.S. Kang, S.K. Kim, G.M. Shon, and Z.R. Choe. 2004. Studies on tillage method and legume green manure crop cultivation for sustainable production of waxy corn (*Zea Mays* L.). Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services.
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, J.S. Kim, K.H. Han, and S.H. Park. 2013. Evaluation of soil loss according to surface covering and tillage methods in corn cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(6):510-518.
- Lee, M.H. 2003. Response of yield and major characters of waxy corn hybrids under no-tillage practice. *Korean J Organic Agric.* 11:80-89.
- Liu, K. and P. Wiatrak. 2012. Corn production response to tillage and nitrogen application in dry-land environment. *Soil Tillage Res.* 124:138-143.
- Lupwayi, N.Z., G.W. Clayton, J.T. O'Donovan, K.N. Harker, T.K. Turkington, and Y.K. Soon. 2006. Nitrogen release during

- decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 86(1):11-19.
- Maltas, A., M. Corbeels, E. Scopel, J. Wery, and F.A.M. da Silva. 2009. Cover crop and nitrogen effects on maize productivity in no-tillage systems of the Brazilian cerrados. *Agron. J.* 101(5): 1036-1046.
- Maskina, M.S., J.F. Power, J.W. Doran, and W.W. Wilhelm. 1993. Residual effects of no-till crop residues on corn yield and nitrogen uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1555-1560.
- Mirsky, S.B., M.R. Ryan, W.S. Curran, J.R. Teasdale, J. Maul, J.T. Spargo, J. Moyer, A.M. Grantham, D. Weber, T.R. Way, and G.G. Camargo. 2012. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27:31-40.
- Mitchell, R.D.J., R. Harrison, K.J. Russell, and J. Webb. 2000. The effect of crop residue incorporation date on soil inorganic nitrogen, nitrate leaching and nitrogen mineralization. *Biol Fertil Soils.* 32:294-301.
- NIAS. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea
- Parr, M., J.M. Grossman, S.C. Reberg-Horton, C. Brinton, and C. Crozier. 2011. Nitrogen delivery from legume cover crops in no-till organic corn production. *Agron. J.* 103(6):1578-1590.
- RDA. 2000. Standard farming handbook for corn cultivation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Reeves, D.W., C.W. Wood, and J.T. Touchton. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agron. J.* 85:98-106.
- Reeves, D.W. 1994. Cover crops and rotations, p. 125-172. In: Hatfield, J.L and B.A. Stewart. (ed.). *Crops residue management. Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Rice, C.W. and M.S. Smith. 1982. Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1168-1173.
- Schomberg, H.H. and M.L. Cabrera. 2001. Modeling in situ N mineralization in conservation tillage fields: comparison of two versions of the CERES nitrogen submodel. *Ecol. Model.* 145:1-15.
- Schomberg, H.H., D.M. Endale, A. Calegari, R. Peixoto, M. Miyazawa, and M.L. Cabrera. 2006. Influence of cover crops on potential nitrogen availability to succeeding crops in a Southern Piedmont soil. *Biol Fertil Soils.* 42:299-307.
- Seo, J.H., H.J. Lee., S.J. Kim, and I.B. Hur. 1998. Nitrogen release from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) residue in relation to different tillages and plant growth stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(2):137-142.
- Seo, J.H. and H.J. Lee. 1998. Study on no-tillage silage corn production with legume hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) cover, II. Change of yield and nitrogen uptake of corn by N fertilizer and hairy vetch cover. *J. Korean Grassl. Sci.* 18(2):123-128.
- Seo, J.H., J.Y. Park, and D.Y. Song. 2005. Effect of cover crop hairy vetch on prevention of soil erosion and reduction of nitrogen fertilization in sloped upland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(3):134-141.
- Touchton, J.T., W.A. Gardner, W.L. Hargrove, and R.R. Duncan. 1982. Reseeding crimson clover as a N Source for no-tillage grain sorghum production. *Agron. J.* 74:283-287.
- Wagger, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.* 81:236-241.
- Wilson, D.O. and W.L. Hargrove. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1251-1254.
- Yun, S.Y., J.J. Kim, J.W. Yang, Y.S. Jung, and J.D. Choi. 1999. Effect of different cropping system and soil management on soil chemical and microbiological quality assessment in the Daekwanryung upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(3): 312-318.
- Zougmoré, R., F. Nagumo, and A. Hosikawa. 2006. Nutrient uptakes and maize productivity as affected by tillage system and cover crops in a subtropical climate at Ishigaki, Okinawa, Japan. *Soil Sci Plant Nutr.* 52:509-518.