

Incorporation Effect of Green Manure Crops on Improvement of Soil Environment on Saemangeum Reclaimed Land during Silage Corn Cultivation

Chang-Hyu Yang*, Jang-Hee Lee, Nan-Hyun Baek, Pyeong Shin, Kwang-Min Cho,
Sang-Bok Lee, and Gyeong-Bo Lee

Department of Rice and Winter Cereal crops, NICS, Iksan, Republic of Korea. 570-080

(Received: May 13 2013, Accepted: May 31 2013)

This study was carried out to investigate the incorporation effect of green manure crops (GMC) such as the hairy vetch on improvement of soil environment in reclaimed land during silage corn cultivation over the past two years. Plots consisted of conventional fertilization (CF) and incorporation of GMC were divided by addition rate of nitrogen fertilizer (100 kg ha⁻¹) with 30 – 100% of non nitrogen fertilization (NNF). Soil physico-chemical properties and growth and yield potential of silage corn were examined. The tested soils showed strong alkali and saline properties with low contents of organic matter and available phosphate while contents of exchangeable sodium and magnesium were high. Soil salinity increased during cultivation of summer crop. However, corn was not affected by salt content. The fresh weight of GMC at incorporation time was 18,345 kg ha⁻¹. Content of total nitrogen was 3.09% and the C/N ratio was 12.8 at incorporation time. Fresh and dry matter yield of silage corn were higher in the order of N30% reduction, CF, N50% reduction, N70% reduction, N100% reduction and NNF. Fresh and dry matter yield potential of silage corn for N30% reduction were comparable to those of CF. Bulk density of the soil decreased with incorporation of GMC, while porosity was increased. The soil pH decreased while content of exchangeable calcium, available phosphate, and organic matter increased. Also contents of exchangeable sodium and potassium decreased with incorporation of GMC. The data indicate that incorporation of hairy vetch can improve soil physical and chemical properties and reduce nitrogen fertilizer application especially for alkali saline reclaimed soil such as Saemangeum reclaimed land.

Key words: Green manure crop, Incorporation, Silage corn, Soil environment, Reclaimed land

Research Highlight

Treatments [†]	Plant height cm	Stalk diameter mm	Yield	
			Fresh weight kg ha ⁻¹	Dry weight
CF	251a [‡]	21.85b	48,720a	13,420a
N30% Reduction	246a	22.15a	49,340a	13,540a
N50% Reduction	243a	22.15a	46,460b	12,750b
N70% Reduction	235b	21.75b	45,170b	12,400b
N100% Reduction	222b	21.90b	40,650c	10,930c
NNF	208c	20.30c	26,690d	7,220d

[†]CF : Conventional fertilization, NNF : Non nitrogen fertilization

[‡]The same letters in the table indicate no difference at 0.05 significance level.

Introduction

녹비작물은 토양에 유기물을 공급됨으로서 지력을 향상시켜 시비질소를 절감할 수 있는데 특히 두과녹비작물은 근류균에 의해 고정된 질소를 토양에 공급할 수 있어 충분한 양의 질소비료 절감이 가능하다 (Yasue, 1991). 헤어리베치 (*Vicia villosa* Roth)는 두과녹비작물로서 내한성이 강하여 Winter vetch, Siberian vetch 등으로 불리우며 (Power and Zachariassen, 1993) 월동 후 재생속도가 빠르고 포복성으로 토양을 피복하는 능력이 다른 초종에 비해 훨씬 뛰어나 녹비 및 피복작물로 많이 재배된다. 최근 새만금 등 대규모 간척지의 준공에 따라 간척지농경지 활용의 극대화를 위한 이용기술의 개발이 필요한 실정이다. 신간척지는 동일 지구 내에서 염농도 분포가 다양하며 종합적인 제염 및 재염화 방지기술이 필요하며, 토양내 유기물함량이 1%이하로 매우 낮아서 균형적인 시비기술이 필요하다.

간척지를 논으로 이용할 때와는 달리 밭으로 이용할 경우, 지하수위 및 배수조건에 따라 토양표면의 염류분포가 불균일하여 재배작물의 생육에 많은 차이를 나타낸다. 특히 가뭄 시 관수 등 물관리가 중요하며 관개수에 의한 환수제염과 암거배수 등에 의해 제염과 숙전화 됨에 따라 토성에 따라 차이가 있지만 밭작물의 도입이 가능하게 된다고 하였다 (Son et al., 1994).

새만금 간척지는 토성이 미사질양토~세사양토이고 점토는 대부분 5%이하로 매우 적으며 지하수위도 일반논과 달리 30~60 cm로 매우 높아서 수직배수가 불량하다. 용적밀도가 1.41~1.48 Mg m⁻³으로 높고, 토양유기물이 1.7~8.6 g kg⁻¹으로 매우 낮아 (Hwang et al., 2012) 배수 기반 조성 없이 강우에 의한 수직배수에만 의존하여 제염을 한다면 오랜 시간이 걸릴 것으로 생각된다

최근 들어 쌀 소비둔화와 재고량 증가로 재배면적을 축소조정 해야 하는 필요성이 대두되고 있으며 이와 관련하여 간척지에서 주요 여름사료작물의 건물생산성 및 사료가치

비교시 건물 수량은 사료용 피가 가장 높았으며 수수×수단그라스 그리고 옥수수 순으로 나타났다 (Shin et al., 2004).

Seo et al. (2000)은 일반밭에서 헤어리베치를 재배 환원시 옥수수 시비절감 효과를 보고하였고, Kim et al. (2009)은 양질 조사료 생산을 위한 청보리와 두과녹비작물의 작부체계를 제시하였다.

본 시험은 새만금간척지에서 녹비작물로 헤어리베치를 재배 후 토양환원에 따른 토양환경 개선 및 후작물 재배시 녹비효과와 시비절감 효과를 검토하였다.

Materials and Methods

본시험은 2006년에 물막이 공사가 완공된 새만금간척지 계획지구 (문포동)에서 2009년 10월부터 2011년 10월까지 2년간 수행하였다. 시험 전 토양의 물리화학적 특성은 Table 1, 2와 같았다. 토성은 사양토로 토양경도 및 용적밀도가 일반농경지에 비해 높고 공극률이 낮은 배수불량의 염류토양이었다. 토양산도는 강알칼리성을 나타냈고 유기물, 유효인산 함량이 매우 적었으며 치환성 마그네슘 및 나트륨 함량이 높았다.

시험작물은 겨울 녹비작물로 헤어리베치 (청풍보라)를 여름 사료작물로 옥수수 (광평옥)을 재배하였다. 헤어리베치는 파종량 30 kg ha⁻¹를 10월 상순 인력산과 하였고 옥수수는 파종량 30kg ha⁻¹를 6월중순에 파종기를 이용 70 × 20 cm 간격으로 점파하였다. 처리내용은 관행시비(NPK), 녹비혼입구는 질소 추비기준량 (100 kg ha⁻¹)의 30%·50%·70%·100% 감비, 질소무시비 6처리로 시험구 면적은 40 m²으로 난괴법 3반복으로 배치하였다. 헤어리베치는 무비재배 하였고 옥수수 시비량 (N-P₂O₅-K₂O)은 200 - 150 - 150 kg ha⁻¹로 질소는 밑거름 50%, 덧거름 50%, 인산과 칼리는 전량기비로 사용하였고 비중은 유안, 용성인비 및 황산칼륨을 사용하였다.

토양물리성 중 3상 및 용적밀도는 Core법, 경도는 산중식

Table 1. Physical properties of soil used in this experiment.

Soil hardness	Bulk density	Porosity	Three phases			Soil texture
			Solid	Liquid	Gaseous	
kg cm ⁻²	Mg m ⁻³	%	%			
2.56	1.56	41.2	58.8	29.3	11.9	Silt loam

Table 2. Chemical properties of soil used in this experiment.

pH	OM [†]	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			
			K	Ca	Mg	Na
1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
8.0	1.8	26	2.0	0.8	2.3	2.7

[†]Organic matter

경도계 (Yamanaka)를 이용하여 지표경도를 측정된 후 절대 경도를 식 (1)로 산출하였다.

$$P(\text{Power Strength}) = 100X/0.7952(40-X)^2 \quad (1)$$

X : spring(scale) compressive length

작토층에서 토양을 채취하여 건조·조제한 후 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH meter로 측정하였고, 토양유기물은 원소분석법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 pH7-1N NH₄OAc로 침출하여 ICP(Liberty 110, Germany)로 측정하였다. 토양과 증류수를 1:5로 하여 반응시킨 후 EC meter (Mettler Toledo, China)로 EC를 측정하고 (NIAST, 2000) 이 측정값을 5배수하여 토양의 염농도로 환산하였다.

식물체 분석은 채취한 시료를 세척하여 70°C에서 건조한 후 분쇄한 시료를 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해하여 무기성분 분석에 활용하였다. 총질소와 총탄소는 원소분석기 (Vario Max, Germany)를 이용 정량하였고, 인산은 Ammonium vanadate법으로 비색정량 하였으며 양이온 함량은 ICP로 측정하였다.

생초수량은 4 m²이상을 예취하여 ha당 수량으로 환산하였으며 건물수량은 각 처리구별로 1 kg의 생초를 취하여 65°C

열풍순환 건조기에서 72시간 이상 건조 후 건물함량을 산출한 다음 ha당 수량으로 환산하였다. 생육 및 수량조사 등은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준 (2003)에 준하여 실시하였다.

통계분석은 SAS 9.2 버전을 이용하였으며 수량 및 수량구성요소 등은 5% 유의수준에서 Duncan's multiple test를 수행하였다.

Results and Discussion

녹비작물 생초중 및 생육특성 전작조건에서 녹비작물 헤어리베치를 산파로 2년 동안 재배하여 개화성기 때 토양에 혼입한 녹비작물의 평균 생초중 및 질소생산성은 Table 3과 같다. 생초중량은 18,340 kg ha⁻¹, 질소생산성은 98 kg ha⁻¹를 나타냈으며 질소 함량이 높아 탄질률이 12.8로 낮았다. 화분과 녹비작물에 비하여 질소 생산성이 높고 탄질률이 낮은 것은 답리작에서 부분경운 파종한 Jeon et al (2010)의 결과와 유사하였다.

헤어리베치 생육양상 (Fig. 1) 및 개화성기 무기양분 함량은 Table 4와 같다. 헤어리베치 개화성기 건물중은 3,225 kg ha⁻¹로 건물 중 무기성분 함량은 T-N 3.09%, P₂O₅

Table 3. Biomass, nitrogen production, and C/N ratio of green manure crop.

Fresh weight	Dry weight	Nitrogen productivity	C/N ratio
----- kg ha ⁻¹ -----			
18,345	3,225	98	12.8



Fig. 1. Growth status of green manure crops.

Table 4. The mineral nutrients content of green manure crop.

T-C	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
----- % -----						
39.7	3.09	0.43	1.36	0.70	0.46	0.52

0.43%, K₂O 1.36%이었고 탄질율은 12.8를 나타냈으며 비료 성분량으로 환산하면 99.6-13.9-43.9 kg ha⁻¹로 되었다.

염농도 변화 동·하계작물 재배기간 동안 토양염농도 변화는 Table 5와 같이 2 dS m⁻¹이하로 염피해는 발생하지 않았다. Shin et al. (2004)의 보고와 같이 토양염농도는 봄철보다 여름철로 갈수록 높아져 생육이 왕성한 7월~8월에 가장 높았으며 여름작물 수확기와 겨울작물 파종기에 다소 낮아지는 경향과 유사하였다.

간척지 토양염농도는 포장의 기온과 강수량 등에 영향을 받기 때문에 비강우기인 동절기에는 약간 높게 유지되다 봄철 강우와 작목에 의한 피복률 증가에 따라 낮아진 것으로 생각된다. 간척지에서 토양염농도의 시·공간적 변이가 생

기는 원인은 미세지형 차이에 따라 강우에 의한 제염 (desalting) 이나 모관수 상승에 의한 지표수분증발에 의한 재염화 (resalting)정도가 틀리고 고농도 지하수의 상승에 의한 염류의 토양흡착 등에 차별적으로 작용한다 (Sohn et al., 2009).

생육양상 및 수량성 하계 사료작물 생육 및 수량은 Fig. 2, Table 6과 같다. 옥수수 초장은 관행시비구에 비하여 2~17% 짧아졌고 경직경은 처리간에 차이가 없었으나 녹비투입구에서 증가하는 경향을 나타냈다. 생초수량 및 건물수량은 N30%감비 > 관행시비 > N50%감비 > N70%감비 > N100%감비 > N무시비 순으로 많았다.

N30% 감비의 생초 수량성과 건물 수량성은 관행 시비와 대등하였다. 신간척지에서 헤어리베치 혼입 후 옥수수 재배

Table 5. The change of surface soil salinity during winter-summer crops cultivation.

Oct.	Nov. ~Feb.	Mar. ~May.	Jun. ~Aug.	Sep.
----- dS m ⁻¹ -----				
0.84	0.57	0.43	1.16	0.26

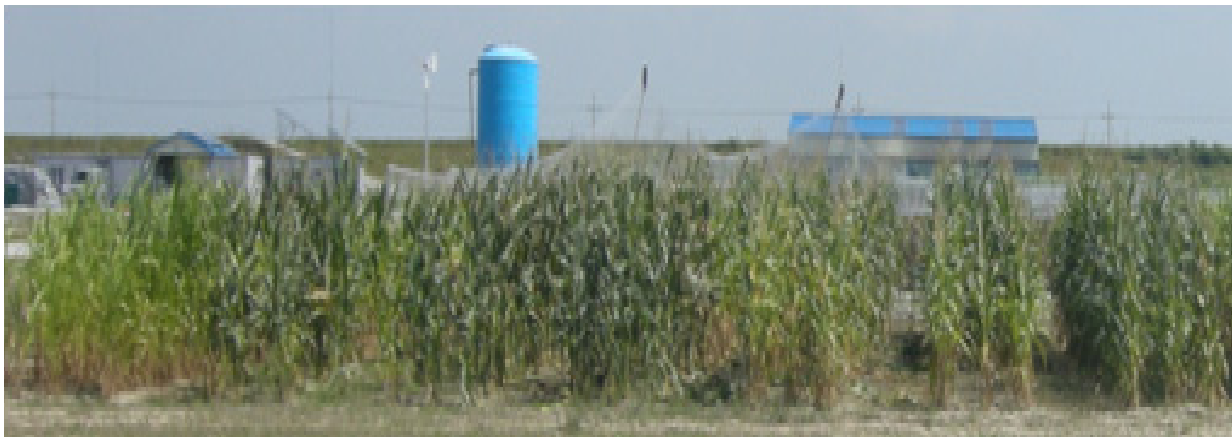


Fig. 2. Growth status of silage com.

Table 6. Growth and yield potential of silage com.

Treatments [†]	Plant height cm	Stalk diameter mm	Yield	
			Fresh weight	Dry weight
			----- kg ha ⁻¹ -----	
CF	251a [‡]	21.85b	48,720a	13,420a
N30% Reduction	246a	22.15a	49,340a	13,540a
N50% Reduction	243a	22.15a	46,460b	12,750b
N70% Reduction	235b	21.75b	45,170b	12,400b
N100% Reduction	222b	21.90b	40,650c	10,930c
NNF	208c	20.30c	26,690d	7,220d

[†]CF : Conventional fertilization, NNF : Non nitrogen fertilization

[‡]The same letters in the table indicate no difference at 0.05 significance level.

시 질소비료 30%를 절감할 수 있었다. 건물수량은 화용과 석문간척지에서 옥수수 적응성 및 유기질비료 (돈분액비, SCB액비) 시용에 따른 생산성 향상을 평가한 Jo et al. (2010) 결과에 비하여 낮은 경향을 나타냈다.

토양물리화학적 변화 녹비작물 재배 및 혼입에 따른 토양물리성 변화는 Table 7과 같이 토양경도는 0.04~1.04 kg cm⁻² 증가하는 경향을 나타냈고 용적밀도는 0.23~0.25 Mg m⁻³로 감소하였으며 공극률은 8.4~9.3% 증가되었다. 헤어리베치 재배 및 혼원으로 용적밀도가 낮아졌으며 공극률이 증가하여 물리성이 개선된 것은 Yang et al (2002, 2012)의 결과와 유사하였다.

녹비작물 재배 및 혼입에 따른 토양화학적 변화는 Table 8과 같이 pH가 낮아졌고, 유기물, 유효인산 함량, 치환성칼슘 함량이 증가된 반면에 치환성칼륨-나트륨 함량은 감소되었으며 치환성마그네슘 함량은 변화가 없었다.

녹비작물이 비료로서 토양에 가해지면 토양 중의 유기물 함량 및 무기성분의 유효도를 증가시키고, 녹비가 분해되어 생성된 부식은 토양의 물리적·화학적 및 미생물적 성질을 개선시켜준다 (Yasue, 1991).

결론적으로 두과녹비작물과 사료작물 연계 재배시 수량

성 향상 및 지력유지, 화학비료 절감 등 친환경 지속적농업을 위한 유망한 재배기술로 판단되었다.

Conclusions

본 연구는 새만금간척지에서 동계 녹비작물 헤어리베치를 재배하여 토양에 환원 후 관행시비 (NPK), 녹비혼입구는 질소 추비기준량(100 kg ha⁻¹) 대비 30·50·70·100%감비, 질소무시비로 처리하여 사료용 옥수수 (광평옥) 재배시 토양 이화학적, 토양염농도, 생육 및 수량성을 검토한 결과는 다음과 같다. 공시토양은 유기물, 유효인산 함량이 매우 적고 치환성마그네슘-나트륨 함량이 많은 강알칼리성 염류토양이었다. 헤어리베치 혼입시 생체중 18,345 kg ha⁻¹, T-N 3.09% 및 탄질률 12.8를 나타냈다. 동계-하계작물 재배기간 동안 토양염농도는 0.1%이하로 염피해는 없었다. 옥수수 생초수량 및 건물수량은 N30%감비 > 관행시비 > N50%감비 > N70%감비 > N100%감비 > N무시비 순으로 높았다. 생초 및 건물수량성은 관행시비(48,720 kg ha⁻¹, 13,420 kg ha⁻¹) 대비 N30%감비에서 1%, 1% 증수되었다. 시험 후 용적밀도가 낮아지고 공극률이 증대되었다. 또한 pH가 낮아졌고, 유기물, 유효인산 및 치환성칼슘 함량은 증가하였으며 치환성칼

Table 7. The change of soil physical properties after experiment.

Treatments [†]	Soil hardness kg cm ⁻²	Bulk density Mg m ⁻³	Porosity %	Three phases		
				Solid	Liquid	Gaseous
				----- % -----		
CF	2.60	1.33	49.7	50.3	32.8	16.9
N30% Reduction	3.20	1.31	50.5	49.5	30.8	19.7
N50% Reduction	3.11	1.32	50.0	50.0	30.7	19.3
N70% Reduction	3.60	1.32	50.2	49.8	32.3	17.9
N100% Reduction	2.72	1.33	49.6	50.4	30.4	19.2
NNF	3.29	1.33	49.6	50.4	32.0	17.6

[†]CF : Conventional fertilization, NNF : Non nitrogen fertilization.

Table 8. The change of soil chemical properties after experiment.

Treatments [†]	pH	OM g kg ⁻¹	Avail. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	exch. cation			
				K	Ca	Mg	Na
	1:5			----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
CF	5.5	4.4	54	0.77	1.4	2.1	1.40
N30% Reduction	6.4	4.6	42	0.81	1.4	2.4	1.45
N50% Reduction	6.0	4.8	43	0.78	1.4	2.2	1.00
N70% Reduction	6.7	4.5	47	0.81	1.4	2.2	1.50
N100% Reduction	7.0	4.7	68	0.76	1.5	2.2	1.10
NNF	7.7	4.5	39	0.77	1.3	2.4	1.65

[†]CF : Conventional fertilization, NNF : Non nitrogen fertilization.

룸나트륨 함량은 감소하였다. 따라서 새만금 간척지에서 사료용 옥수수 재배시 녹비작물 헤어리베치 토양환원으로 질소비료 질감 및 토양환경 개선 효과를 기대할 수 있었다.

References

- Hwang, S.W., J.G. Kan, K.D. Lee, K.B. Lee, K.H. Park, and D.Y. Chung. 2012. Division of soil properties in reclaimed land of the Mangyeong and Dongjin river basin and their agricultural engineering management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45: 444-450.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, M.T. Kim, G.J. Oh, I.S. Oh, and U.G. Kang. 2010. Changes of soil physical properties by glomalin concentration and rice yield using different green manure crops in paddy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 119-123.
- Jo, N.C., J.S. Shin, S.H. Kim, S.H. Yoon, S. Hwangbo, M.W. Jung, K.D. Lee, W.H. Kim, S. Seo, J.G. Kim, C.E. Song, and K.C. Choi. 2010. Study on summer forage crop cultivation using SCB(slurry composting-biofiltration) liquid fertilizer on reclaimed land. *Korean J. Grassl Forage Sci.* 30:121-126.
- Kim, D.H., D.S. Kang, J.Y. Moon, H.Y. Shin, G.M. Sohn, C.W. Rho, and J.G. Kim. 2009. Study on cropping system and nitrogen fertilizers of whole crop barley and leguminous crop for production of good quality forage. *Korean J. Grassl Forage Sci.* 29:197-210.
- NIAS. 2000. Analytical methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Power, J.F. and J.A. Zacharissen. 1993. Relative nitrogen utilization by legume cover crop species at three soil temperatures. *Agr J.* 85: 134-140.
- RDA. 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
- Seo, J.H., H.J. Lee, I.B. Huh, S.J. Kim, C.K. Kim, and H.S. Jo. 2000. Comparisons of soil nitrate and corn nitrogen uptake according to winter forage rye and green manure hairy vetch. *Korean J. Grassl, Sci.* 20:199-206.
- Shin, J.S., W.H. Kim, S.H. Lee, S.H. Yoon, E.S. Chung, and Y.C. Lim. 2004. Comparison of dry matter and feed value of major summer forage crops in the reclaimed tidal land. *Korean J. Grassl Sci.* 24:335-340.
- Sohn, Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009. Effect of soil salinity variation on the growth of barley, rye and oat seeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42: 415-422.
- Son, J.G., J.W. Koo, and J.K. Choi. 1994. Soil salt prediction modeling for the estimation of irrigation water requirements for dry field crops in reclaimed tidelands. *Korean J. Soc. Agr Eng.* 36: 96-110.
- Yang, C.H., C.H. Yoo, S.W. and S.S. Han. 2002. Effect of milk vetch utilization rice cultivation to reduce application amount of nitrogen at plowing time in paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35: 352-360.
- Yang, C.H., J.H. Lee, N.H. Baek, J.H. Jeong, K.M. Cho, S.B. Lee, and G.B. Lee. 2012. Incorporation effect of green manure crops on improvement of soil environment on Saemangeum reclaimed land during sorghum×sudangrass hybrid cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45: 744-748.