

## 벼 유기농업을 위한 무경운 피복작물 작부체계 평가

이영한\*

경상남도농업기술원

### Evaluation of No-tillage Rice Cover Crop Cropping Systems for Organic Farming

Young-Han Lee\*

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea.

The objectives of this study were to evaluate no-tillage cover crop cropping systems for organic farming in paddy. The experiment was performed at Ihyeon series (silt loam: 9.1% sand, 73.0% silt and 17.9% clay) which affected by different management practices. Planthopper population per 20 plant was significantly higher 65.3 for conventional tillage with chemical compounds (control) compared with 3.4~9.6 for no-tillage treatments (without rice straw or green manure, amended with rice straw, hairy vetch, rape, rye, and Chinese milk vetch). Also, disease severity of sheath blight was significantly higher 10.5% for control compared to 0.7~2.9% for no-tillage treatments. Four weed species, namely *Monochoria vaginalis*, *Ludwigia prostrata*, *Rotala indica*, and *Aneilema keisak* occurred in no-tillage paddy, whereas *Monochoria vaginalis* occurred in control only. The pH, available phosphate, and microbial biomass C in paddy were steeply decreased in response to submerging, but increased at first heading stage. Soil NH<sub>4</sub>-N content at first heading stage was significantly higher in no-tillage treatments compared with control. The grain yield was significantly higher in 4.30 Mg ha<sup>-1</sup> for control than other treatments. Meanwhile, rice productivity was significantly higher in 2.69 Mg ha<sup>-1</sup> for no-tillage amended with Chinese milk vetch compared to other no-tillage treatments. The number of panicle per plant, grain number per panicle, and percent ripened grain were highly related for increasing the yield of rice. These results show that Chinese milk vetch was optimum cover crop for organic farming in no-tillage paddy.

**Key words:** Rice, Paddy, Organic farming, No-tillage, Cover crop

## 서 언

지구온난화에 대한 우려가 증가되면서 농업분야에도 저탄소 녹색성장에 대한 필요성이 대두되고 있으며 친환경 유기 농산물에 대한 관심이 높아지고 있다. 실제 NAQS (2010)에 따르면 우리나라 곡류의 유기농산물 재배면적은 2001년에 450 ha에서 2008년에 12,033 ha로 27배 정도 증가하였다. 그러나 벼에 대한 유기농업 기술체계는 생태적 원리에 부합되지 않고 검증되지 않은 재배기술을 민간차원에서 전파하고 있는 경우가 많다. 경제성이 건전하고 생태계 구성원 모두 삶의 질을 향상시킬 수 있는 지속가능한 농업기술로 Choe et al. (2003)은 무경운 피복작물 재배기술체계가 농업의 생태계 원리에

부응하고 국토관리, 농산물 시장개방 압력 등에 대응할 수 있다고 하였다. 논에서 경운은 이앙을 용이하게 하여 쌀 생산을 높이는데 필수적이라고 여겼지만 사실은 토양 내의 잡초종자를 표면으로 노출시켜 잡초발생량이 많아지며 에너지 생산비가 증가되고 (Singh et al., 2001), 토양침식 발생 (Steiner et al., 1999), 유기물 감소 (Hong et al., 1997) 등의 단점이 있다. 특히 유기농업에서는 화학물질을 사용할 수 없기 때문에 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 유기물 피복 무경운 벼 재배기술에 대한 연구가 진행되어 왔다 (Hong et al., 2003; Hossain et al., 2000; Kuk et al., 2002; Lee et al., 2009; Park et al., 2002). 그리고 무경운 재배를 위해서는 유기물 피복이 필수적인 조건이며 (Erenstein, 2002; Lal, 1991) 유기물로 피복되는 작물은 주로 벧짚, 자운영, 호밀, 헤어리베치를 이용하고 있다 (Lee et al., 2009). 이러한 무경운의 장점

접수 : 2010. 4. 2 수리 : 2010. 4. 14

\*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

은 토양 물리적 특성을 향상시키며 토양 탄소저장과 미생물 생체량을 증대시키는 것으로 보고되었다 (Busscher et al., 1997; Lampurlanes and Cantero-Martinez, 2003; Lee et al., 2010; Wright et al., 2005). 위와 같이 벼 유기농업 재배기술은 농작물의 생산성을 유지시키면서 물질과 에너지 투입을 최소화하고 자연과 농업생태계의 건강을 성취할 수 있도록 품종선택, 토양 및 양분관리, 잡초 및 병충해 제어 등 체계적이고 종합적인 기술의 확립이 요구된다.

따라서 본 연구는 생태계 원리에 부합하는 벼 유기농업을 실천하기 위하여 무경운 논에서 피복작물로 자운영, 벧짚, 헤어리베치, 유채, 호밀 등을 처리하고 벼 수량과 병해충 발생밀도, 잡초 발생량을 조사하여 최적의 작부체계를 검토코자 수행하였다.

## 재료 및 방법

**재배환경 및 시험포장 조건** 무경운 논에서 유기농업에 적합한 녹비작물의 시용효과를 검토하기 위해 토성이 이현미사질양토 (모래 9.1, 미사 73.0, 점토 17.9%)인 경남농업기술원 시험포장 (35°12'26"N, 128°07'06"E)에서 일미벼를 시험품종으로 선정하여 시험을 수행하였다. 재배기간인 5월에서 10월까지 평균 기온은 21.5°C, 강우량은 1,430 mm였다. 시험 구 처리는 토양 검정 시비처방과 화학농약을 사용한 경운 처리 구 (관행)와 무경운 논에서 화학농자재를 사용하지 않고 유기물 피복을 하지 않은 무처리 구, 벧짚, 헤어리베치, 유채, 호밀, 자운영을 피복 처리한 구를 완전임의배치법 3반복으로 수행하였다. 볍씨 소독은 마른 종자를 60°C에서 8분간 실시하여 5월 16일에 파종하였고 파종량은 상자당 130 g이었다. 답수시기는 5월 28일에 실시하여 6월 13일에 기계이앙 하였다. 무경운 처리 구는 물을 10 cm 깊이로 답수하여 이앙 2일 전에 물을 펴 후 이앙 4일 후 다시

물을 10 cm 깊이로 답수하였다. 무경운 처리 구의 잡초 제어는 녹비작물을 피복하여 관개수위를 10 cm 높이로 조절하였다. 피복작물은 시험 전년도 11월 4일에 ha 기준으로 헤어리베치 120 kg, 유채 21 kg, 호밀 132 kg, 자운영은 66 kg을 파종하였고 벧짚은 2,540 kg ha<sup>-1</sup>를 10 cm 크기로 잘라서 토양에 피복하였다. 무경운 논에서 생육된 피복작물의 생산량과 양분가치는 Table 1과 같다. 대체적으로 피복작물의 생산량이 적어 벼 생육에 필요한 질소 표준시비량인 ha당 90 kg 보다 낮았으며 피복작물의 C/N율은 헤어리베치가 13, 자운영은 16으로 낮은 반면 벧짚은 59, 유채는 57, 호밀은 67, 그리고 무처리외의 독새풀을 포함한 잡초는 158로서 높았다. 유채 및 호밀은 예취하여 10 cm 크기로 잘라서 토양에 피복하였고 헤어리베치는 예취하여 그대로 피복하여 답수하였으며 자운영은 하고현상으로 자연 상태에서 답수하였다. 시험 전 토양 화학성분은 Table 2와 같이 토양의 pH는 6.0~6.4의 약 산성을 나타내었고 유기물 함량은 26~32 g kg<sup>-1</sup>의 비옥한 논토양의 특성을 나타냈다. 토양의 유효인산 함량은 적정수준 보다 높은 258~321 mg kg<sup>-1</sup>을 나타냈지만 유효구산 함량은 86~103 mg kg<sup>-1</sup>으로 적정수준 보다 낮았다. 토양 미생물체 C 함량은 헤어리베치 처리 구에서 603 mg kg<sup>-1</sup>으로 높았고 관행과 무처리 구에서 407 mg kg<sup>-1</sup>으로 낮았다.

**수량, 잡초 및 병해충 조사방법** 생육시기에 따른 벼 생육, 수량 및 수량 구성요소, 잡초 발생량 및 병해충 밀도조사는 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 수행하였다. 벼 초기 생육 및 병해충은 8월 3일에 초장, SPAD 분석 및 벼멸구 밀도를 조사하였고 잎집무늬마름병 발병진전율은 9월 24일 조사하였으며 잡초 발생량은 출수기 이후인 8월 25일 조사하였다. 벼 생육과 병해충 밀도조사는 벼 품종별 벼 20주를 선택하여 3반복으로 수행하였다. 잡초 조사는 50 × 50

**Table 1. The nutrient amount of plant cover used in this experiment.**

Plant cover <sup>†</sup>	Dry weight	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C/N
	kg ha <sup>-1</sup>				
NTNT	570	1	2	3	158
NTRS	2,540	17	4	24	59
NTHV	2,290	76	21	58	13
NTRA	2,930	23	16	47	57
NTRY	1,740	1	10	17	67
NTCV	2,890	79	22	62	16

<sup>†</sup> NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

cm 격자를 이용하여 각 초종의 지상부를 3반복으로 채취하여 60°C에서 3일간 건조하여 중량을 조사하였다.

**토양 및 쌀 품질 분석방법** 토양시료는 표토 0~15 cm 깊이에서 600 g 정도를 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양은 음지의 실험실에서 7일간 건조하여 2 mm 체를 통과된 것을 화학성 분석에 사용하였다. 토양 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하고 초자전극법 (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로 측정하였고 유기물은 Tyurin법으로 측정하였으며 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650pC Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 교환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 원자흡광분광광도계 (AAAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 압모니아테질소 함량은 Kjeldahl법으로 분석하였다. 토양 미생물 생체량은 chloroform fumigation-extraction method (Vance et al., 1987)을 사용하여 분석하였다. 미질 분석을 위해 Toyo 시험용 정미기 (MC-90A, Toyo, Japan)를 이용하여 현백비율 91%로 도정을 하고 쌀 33

g을 평량하여 Toyo 식미 측정장치 (MA-90B, Toyo, Japan)를 사용하여 식미지수를 측정하였다. 또한, 쌀 품질을 분석하기 위하여 쌀 품위판정기 (Cervitec 1625 Grain Inspector, Foss, Sweden)를 사용하였다.

**통계 분석방법** 모든 연구결과의 통계분석은 SAS 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 벼 생육, 수량 및 수량구성요소, 쌀 품질, 병해충 밀도, 잡초 발생량 등은 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

## 결과 및 고찰

**벼 초기 생육과 병해충 밀도** 경운방법과 피복작물에 따른 벼 결주율은 Table 3과 같다. 결주율은 무경운 처리인 무처리 5.3%, 벧짚 1.4%, 헤어리베치 2.8%, 유채 5.0%, 호밀 5.3%, 자운영 4.7%로 관행 처리 구인 1.1% 보다 높았다. Kuk et al. (2002)은 무경운 어린모 기계이앙에서 결주율은 경운 재배의 1.8%에 비해 무경운 재배에서는 2.1~3.5%를 보여 무경운이 경운에

**Table 2. The chemical properties of soil used in this experiment.**

Plant cover <sup>†</sup>	pH	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Av. SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> -N	SMBC <sup>*</sup>
	1:5	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	Ex. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				mg kg <sup>-1</sup>	
Control	6.0b <sup>‡</sup>	29ab	263b	0.14b	5.42b	1.14b	86a	13.1a	407c
NTNT	6.4a	26b	288ab	0.17b	7.25a	1.80a	98a	15.7a	407c
NTRS	6.2ab	30ab	258b	0.32a	6.40ab	1.34ab	103a	11.1a	451c
NTHV	6.3ab	29ab	256b	0.23ab	6.58ab	1.58ab	97a	13.4a	603a
NTRA	6.3ab	32a	285ab	0.14b	7.04a	1.61ab	87a	12.0a	517b
NTRY	6.3ab	30ab	321a	0.25ab	7.02a	1.68ab	99a	12.7a	455c
NTCV	6.3ab	30ab	293ab	0.17b	6.39ab	1.81a	101a	12.8a	476c

<sup>†</sup> Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup> Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

<sup>\*</sup> SMBC: Soil microbial biomass carbon.

**Table 3. Difference in missing hills at a day after machine transplanting.**

Plant cover <sup>†</sup>	Control	NTNT	NTRS	NTHV	NTRP	NTRY	NTCV
Missing hill (%)	1.1a <sup>‡</sup>	5.3c	1.4a	2.8b	5.0c	5.3c	4.7c

<sup>†</sup> Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup> Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

비해 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 따라서 거친 유기물인 유채와 호밀을 피복할 경우 수량 보상한계인 5%를 상회하고 있어 안정된 수량 확보를 위해서는 결주율을 감소시키는 대책이 필요하였다.

벼 초기 생육 및 병해충 발생조사 결과는 Table 4와 같다. 초장은 관행 처리 구가 62.6 cm로 가장 길었으며 무경운 유기물 피복 처리 구는 유의적으로 짧은 경향이였다. 이러한 경향은 무경운 재배 시 이앙 후 50일과 60일에 경운재배에 비해 현저한 감소를 보였다고 보고한 Kuk et al. (2002)의 연구결과와 일치하였다. 벼 엽신의 SPAD 값은 무경운 자운영 처리 구가 36.0으로 유의적으로 증가하였으나 다른 처리 구는 큰 경향이 없었다. 벼 20주당 벼멸구 발생량은 화학농약을 사용한 관행 처리 구에서 65.3 마리로 가장 높은 반면 무경운 처리 구는 3.4~9.6 마리로 매우 낮았다. 이러한 결과는 화학농약을 사용하지 않음으로 무경운 처리 구에서 거미 류 등의 벼멸구 천적이 풍부한 환경이 조성되었을 것으로 생각되었으며 앞으로 천적 부류의 개체 수 변화에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 실제 Choe et al. (1998)은 무경운, 벼짚 피복, 자운영 벼 직파 논에서는 관행에 비해 벼멸구가 68%, 흰등멸구가 42%가 각각 감소됨을 보고하였다. 또한, 벼멸구의 피해를 받으면 벼 등숙 비율, 수량과 완전미 비율이 감소되는 반면, 미숙립, 피해립 및 사미의 발생이 증가되며 단백질 함량이 높아져 식미치가 낮아지게 된다 (Lee et al., 2006). 잎집무늬마름병 발병진전율도 관행 처리 구가 10.5%로 무경운 0.7~2.9%에 비해 유의적으로 높았으며 무경운 처리 구 간에는 큰 차이가 없었다. 관행은 초장이 길고 주당 이삭수가 많아 (Table 6) 상대적으로 통기성이 불량해져 잎집무늬마름병이 많이 발병된

것으로 판단되었다 (Kim and Lee, 1989).

**잡초발생량 조사 결과** 경운방법과 유기물 피복처리에 따른 잡초발생량은 Table 5와 같다. 관행을 제외한 무경운 처리 구에서 1년생 광엽잡초인 물달개비, 여뀌바늘, 마디꽃 및 사마귀풀이 공통적으로 발생되었다. Shim et al. (2000)도 논에서 광엽잡초의 비율이 64%로 가장 높고 광엽잡초 중 여뀌바늘, 사마귀풀, 물달개비가 우점한다고 보고하였다. 발생 잡초의 총 건조량은 무경운 벼짚 처리 구가 35.9 g m<sup>-2</sup>, 무경운 무처리는 33.2 g m<sup>-2</sup>로서 높았으며 관행은 14.5 g m<sup>-2</sup>, 무경운 자운영 처리 구는 18.4 g m<sup>-2</sup>로서 유의적으로 낮은 건조량을 보였다. 관행은 물달개비만 우점되는 경향이었는데 이는 Lee et al. (2005)의 연구결과와 같이 제초제 저항성에 기인된 것으로 판단되었다. 또한, 자운영은 토양 멀칭효과가 다른 녹비작물에 비해 크고 자운영이 분비하는 생리활성물질 등에 의해 잡초발생이 억제되는 것으로 생각되었다 (Hong et al., 1997; Jeong et al., 2001). 물달개비 발생량은 무경운 호밀 처리 구에서 19.0 g m<sup>-2</sup>로 높았고 무경운 자운영 처리 구는 12.0 g m<sup>-2</sup>로 낮았으며 관행은 14.5 g m<sup>-2</sup>였다. Kuk et al. (2002)은 1년생인 물달개비는 경운이 무경운 보다 많이 발생된다고 하였고 Kwon et al. (2006)은 물달개비는 m<sup>2</sup>당 22본 이상 많을 경우 방제를 하는 것이 경제적으로 유리하다고 하였으며 100본으로 증가될 경우 쌀 수량이 12% 감소되는 경향이였으나 쌀 품위에는 유의성이 없다고 하였다. 또한, Song et al. (2006)은 기계이앙 논에서 물달개비 경합밀도가 4~96본 m<sup>-2</sup>일 때 벼 수량이 1~23% 감소되었고 감수요인으로 분얼수와 수수가 가장 크게 작용한다고 하였다. 본 연구에서는 물달개비

**Table 4. Early rice growth, disease, and insect pest as affected by different plant covers.**

Plant cover <sup>†</sup>	Plant height	SPAD	Planthopper	Sheath blight
	cm	Value	No. 20-plant <sup>-1</sup>	%
Control	62.6a <sup>‡</sup>	33.5b	65.3a	10.5a
NTNT	51.6c	34.2b	4.8b	0.7b
NTRS	49.4c	33.1b	9.6b	1.0b
NTHV	51.6c	34.1b	6.5b	2.9b
NTRP	49.6c	34.0b	5.8b	2.2b
NTRY	51.7c	33.9b	4.0b	2.2b
NTCV	57.2b	36.0a	3.4b	2.9b

<sup>†</sup> Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup> Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

**Table 5. Weeds occurrence as affected by different plant covers.**

Plant cover <sup>†</sup>	<i>Monochoria vaginalis</i>	<i>Ludwigia prostrata</i>	<i>Rotala indica</i>	<i>Aneilema keisak</i>	Others	Total
	----- Dry weight g m <sup>-2</sup> -----					
Control	14.5a <sup>‡</sup>	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	14.5c
NTNT	16.6a	1.9b	2.5a	3.5a	8.7a	33.2a
NTRS	16.5a	4.6a	1.5b	3.1a	10.2a	35.9a
NTHV	13.9a	1.3b	1.4b	1.2b	9.3a	27.1b
NTRE	15.9a	1.3b	1.8b	2.6ab	4.5b	26.1b
NTRY	19.0a	1.0b	1.1b	2.1ab	4.6b	27.8b
NTCV	12.0a	1.4b	1.0b	1.0b	3.0b	18.4c

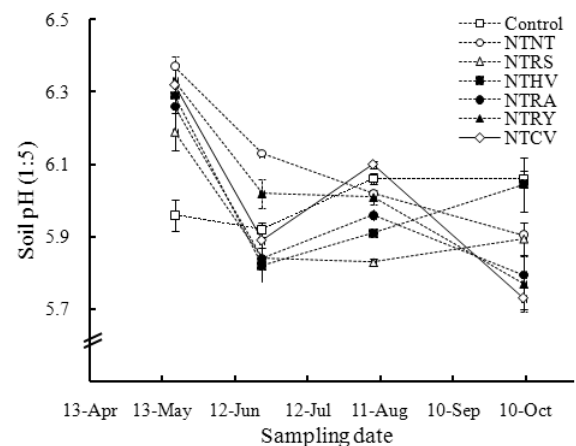
<sup>†</sup>Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

발생량이 제초제를 사용한 관행과 무경운이 비슷한 것으로 나타났다. 여뀌바늘은 무경운 벧짚 처리구가 4.6 g m<sup>-2</sup>로 가장 많아 다른 처리구에 비해 유의적인 증가를 보였으며 관행과 벧짚 처리구를 제외한 다른 처리구의 발생량은 차이가 없었다. Song et al. (2008)은 여뀌바늘 경합밀도가 4~192본 m<sup>-2</sup>일 때 각각 2~39%의 수량 감소를 보였으며 감수요인으로 수수가 가장 크게 작용한 것으로 보고하였다. 마디꽃 발생량은 무경운 무처리에서 2.5 g m<sup>-2</sup>로 많았으나 다른 무경운 유기물 피복처리 간에는 유의적인 차이가 없었다. 마디꽃의 발생량은 물달개비와 사마귀풀에 비해 적었으나 Kuk et al. (2004)의 보고와 같이 제초제 저항성을 가질 수 있기 때문에 유기농업을 위해서는 필수적으로 관리해야 할 잡초 종으로 생각되었다. 사마귀풀의 발생량은 무경운 무처리구에서 3.5 g m<sup>-2</sup>, 벧짚 처리구는 3.1 g m<sup>-2</sup>로 자운영 처리구 1.0 g m<sup>-2</sup> 및 헤어리베치 처리구 1.2 g m<sup>-2</sup>에 비해 높았다. Kuk et al. (2002)은 무경운 기계이랑 재배 논에서 재배 연차가 경과함에 따라 사마귀풀이 우점도가 높아진다고 하였고 Moon et al. (1996)은 벼 건답직파 재배 논에서 사마귀풀이 300본 발생하면 수수는 61%, 등숙비율은 5% 정도 낮아져 수량이 74% 감소한다고 하였다. 따라서 관행과 비교해 볼 때 지속적인 유기농업을 위한 무경운 벼 재배포장에서는 사마귀풀을 방제할 수 있는 기술개발이 매우 중요하며 녹비작물 중에서는 자운영과 헤어리베치가 효과적이었으나 헤어리베치는 초장이 길어 예취를 해야되는 단점 때문에 경제성이 낮을 것으로 판단되었다.

**토양 화학성분 변화** 시기별 토양 pH의 변화는 Fig. 1과 같이 담수처리 후 무경운 처리구에서 급격히

낮아지고 중간낙수 이후 출수시에 높아졌다가 다시 수확기에 낮아지는 경향이었다. 반면에 관행은 이랑 전과 후에 큰 변화가 없었으나 출수시에 급격히 높아진 후 수확기까지 큰 변화가 없었다. 이랑 전 무경운 처리구의 pH가 관행에 비해 높은 것은 토양 공극률이 증가되어 산소공급이 원활하기 때문인 것으로 판단되었다 (Lee et al. 2010; Park et al., 2002). 또한, 담수이후 헤어리베치, 유채, 벧짚 및 자운영 처리구의 pH가 급격히 낮아졌는데 이것은 이들 피복작물이 미생물에 의해 쉽게 분해됨으로 토양속의 산소가 급격히 소모되



**Fig. 1. Change of soil pH as influenced by the applications of rice straw, and cover crops under different tillage systems; Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch. The variation represents standard error (n=3).**

고 분해 시 발생하는 유기산에 의해 pH가 낮아진 것으로 생각되었다 (Hong et al., 1997; Yoo et al., 1997). 토양의 유기물 함량 변화는 Fig. 2와 같이 답수 이후 관행은 무경운에 비해 급격히 낮아지는 경향이였으며 생육 전 기간에 걸쳐 낮은 함량을 보였다 (Park et al., 2002). 또한, 출수시의 볏짚 처리 구와 유채 처리 구의 유기물 함량이 다른 처리 구에 비해 높은 경향이였으며 수확기에는 처리 간에 큰 차이가 없었다 (Hong et al., 1997). 토양의 유효인산 함량은 Fig. 3과 같이 답수이후 무경운 유채, 무처리 및 자운영 처리 구에서 급격히 낮아졌다가 생육기간이 경과되면서 지속적으로 상승하는 경향이였으며 무경운 유채, 헤어리베치 및 관행은 수확기에 감소되는 경향이였다. 토양 유효인산 함량은 수확기를 제외하고는 토양 pH의 변화와 비슷한 경향을 보였는데 (Fig. 1) 이것은 토양 pH가 인산의 용해도에 영향을 주기 때문으로 생각되었다 (Yoo et al., 1996). 토양의 암모니아태질소 함량은 Fig. 4와 같다. 무경운 무처리를 제외하고 유기물이 투입된 무경운 처리 구는 답수이후 출수시까지 증가하였고 수확기에 낮아졌으며 이러한 경향은 Cho et al. (2003)의 결과와 일치하였다. 출수시의 토양 암모니아태질소 함량은 관행에 비해 무경운 피복작물 처리 구에서 유의적인 증가를 보였으며 생육초기와 수확기의 토양 암모니아태질소 함량은 처리간에 차이가 없었다. 토양 미생물 생체량은 Fig. 5와 같이 답수조건과 온도에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 모든 처리 구에서 답수이후 토양 미생

물 생체량은 급격히 낮아졌으며 중간낙수 이후 기온이 상승된 출수시에는 높아지는 경향이였다. 답수이후 관행 처리 구와 무경운 무처리의 토양 미생물 생체량이 급격히 낮아졌는데 이러한 경향은 미생물의 먹이인 유기물의 부족으로 인한 결과로 해석되었다. 호밀 처리 구는 유기물의 분해 속도가 늦어 수확기에 다른 처리 구에 비해

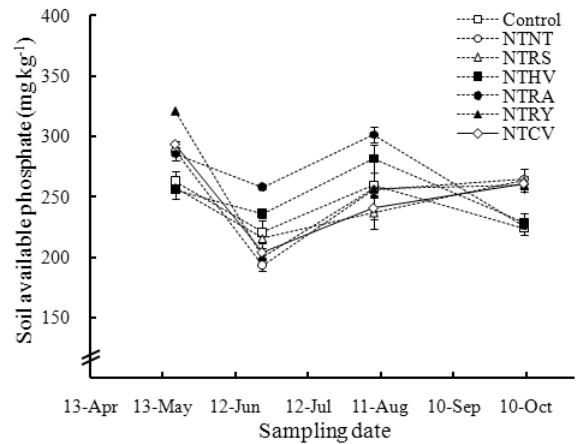


Fig. 3. Change of soil available phosphate as influenced by the applications of rice straw, and cover crops under different tillage systems; Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch. The variation represents standard error ( $n=3$ ).

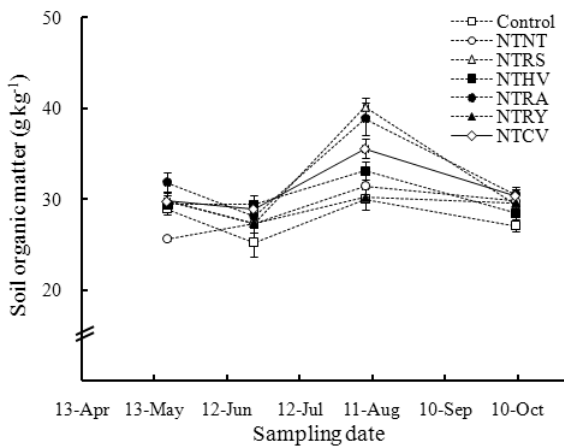


Fig. 2. Change of soil organic matter as influenced by the applications of rice straw, and cover crops under different tillage systems; Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch. The variation represents standard error ( $n=3$ ).

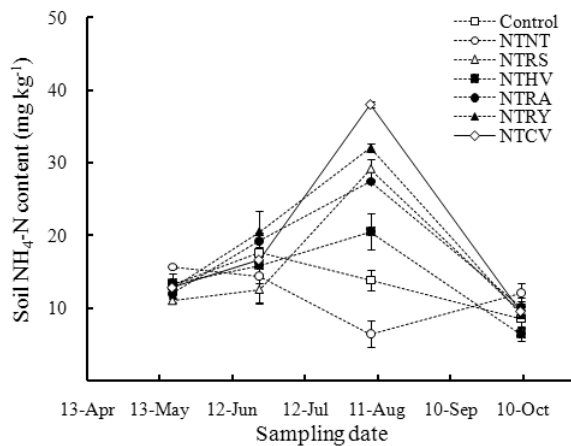
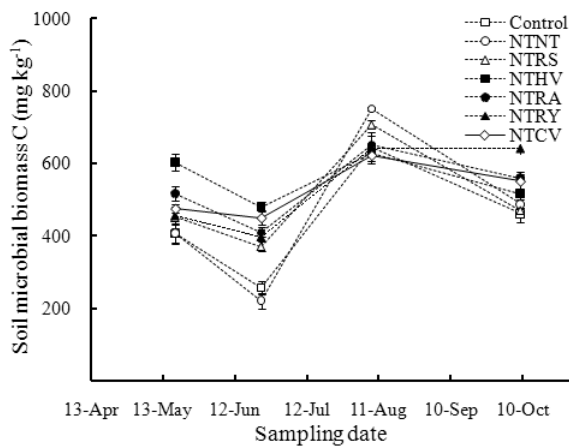


Fig. 4. Change of soil NH<sub>4</sub>-N content as influenced by the applications of rice straw, and cover crops under different tillage systems; Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch. The variation represents standard error ( $n=3$ ).

토양 미생물 생체량이 높았다 (Lee et al., 2010). Choe et al. (2003)은 무경운 논 토양에서 토양미생물을 사상균, 방선균, 세균으로 구분하여 볼 때 무경운은 경우에 비하여 각 종 미생물의 서식밀도가 증가되었고 무경운으로 지속된 기간이 길 수록 그 서식 밀도가 현저히 증가되었다고 하였다. 따라서 무경운 논에서 유기물을 피복함으로써 토양 유기물 함량과 토양 미생물 생체량이 개선되어 토양환경은 유기농업을 실천하는데 유리할 것으로 판단되었다 (Park et al., 2002; Lee et al., 2010). 그러나 무경운 피복작물 처리 구의 토양 pH는 지



**Fig. 5.** Change of soil microbial biomass C as influenced by the applications of rice straw, and cover crops under different tillage systems; Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch. The variation represents standard error ( $n=3$ ).

속적인 감소가 예상되어 토양검정을 실시하여 pH 교정을 위한 규산질비료를 필수적으로 사용해야 할 것으로 판단되었다.

**벼 수량, 수량 구성요소 및 품질조사** 벼 수량과 수량 구성요소 및 벼 품질을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 관행 처리 구는 주당 이삭수가 12.6개, 수당 입수가 68.2개, 등숙비율 89.4%로 무경운 처리구에 비해 유의적인 증가를 보여 수량이 4.30 Mg ha<sup>-1</sup>로서 가장 많았다. 반면에 천립중은 19.3 g으로 무경운 처리 구에 비해 낮았는데, 이러한 결과는 주당 수수와 수당 입수 및 등숙비율에 대한 보상관계로 천립중이 낮아진 것으로 생각되었다. 무경운 처리 구에서는 자운영 처리구가 주당 수수 11.0개, 수당 입수가 64.6개 및 천립중 20.4 g 등 전반적인 수량 구성요소가 양호하여 수량이 2.69 Mg ha<sup>-1</sup>로 다른 처리 구에 비해 높은 경향이였다. 무경운 처리 구의 수량이 관행에 비해 크게 감소된 것은 무경운 재배에서 기계이앙 후 뿌리의 활착지연으로 초기 생육이 늦어 (Table 4) 분얼에 영향을 주었으며 (Lee et al., 2007) 잡초 밀도가 높아 (Park et al., 2002) 수량 구성요소에 영향을 준 것으로 판단되었다. 따라서 유기농업을 위한 무경운 기계이앙 재배 시 충분한 수수를 확보하기 위해서는 재식분수와 밀도를 늘리고 뿌리 활착을 촉진시키기 위해서 기계이앙 시 식부 깊이를 깊게 해야 할 것으로 판단되었다. Toyo 식미치는 무경운 벧짚 처리 구가 79.9의 수치로 가장 높았고 무경운 헤어리베치 79.2, 무처리 78.0, 자운영 77.9, 호밀 77.2, 유채 77.1 및 관행 74.1의 순으로 나타났다. 이와 상반되어 단백질 함량은 관행 7.4%, 유채 7.2%, 호밀 7.0%, 헤어리베치 6.6%, 자운영 6.4% 및 무처리 6.3%의 순으

**Table 6.** Yield, yield components, and milled rice quality as affected by different plant covers.

Plant zcover <sup>†</sup>	Yield	No. panicles per plant	No. grains per panicle	Ripened grain	1,000 grains	Palatability score	Protein	Milled rice quality		
								Crack	Brokens	Good
	Mg ha <sup>-1</sup>			%	g		%	%		
Control	4.30a <sup>‡</sup>	12.6a	68.2a	89.4a	19.3b	74.1b	7.4a	4.5ab	6.1abc	89.0ab
NTNT	2.13c	10.5b	60.3bc	73.2b	19.8ab	78.0a	6.3d	4.8ab	7.4a	85.2bc
NTRS	2.20c	10.8b	57.5c	73.7b	19.9ab	79.9a	6.6cd	3.1b	3.3d	91.3a
NTHV	2.31c	10.8b	63.6abc	69.9b	20.1ab	79.2a	6.3d	4.3ab	5.2c	87.9abc
NTRP	2.34c	10.8b	63.1abc	74.6b	20.0ab	77.1a	7.2ab	4.9ab	5.1c	86.6bc
NTRY	2.13c	11.1b	60.7bc	70.6b	19.9ab	77.2a	7.0bc	4.3ab	5.5bc	87.1abc
NTCM	2.69b	11.0b	64.6ab	73.5b	20.4a	77.9a	6.4d	5.7a	7.3ab	84.2c

<sup>†</sup> Control: conventional tillage with chemical compounds; NTNT: no-tillage no treatment; NTRS: no-tillage amended with rice straw; NTHV: no-tillage amended with hairy vetch; NTRP: no-tillage amended with rape; NTRY: no-tillage amended with rye; NTCV: no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup> Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

로 낮아졌다. 이러한 결과는 Lee et al. (2009)이 보고한 결과와 일치하는 경향이었으며 대체적으로 단백질 함량과 Toyo 식미치는 상반되는 관계를 보였다. 쌀의 완전미 비율은 무경운 벧짚 처리 구가 91.3%로 가장 높았으며 관행 89.0%, 헤어리베치 87.9%, 호밀 87.1%, 유채 86.6%, 무처리 85.2%, 및 자운영 84.2%의 순으로 나타났다. 수량과 쌀 품질을 고려할 때 유기농업을 위한 무경운 작부체계에서는 자운영이 가장 좋은 피복작물로 생각되었다.

## 요 약

무경운 논에서 유기농업에 적합한 녹비작물의 시용효과를 검토하기 위해 경남농업기술원 시험포장인 이현미 사질양토 (모래 9.1, 미사 73.0, 점토 17.9%)에서 일미벼를 시험품종으로 토양 검정 시비처방과 화학농약을 사용한 경운 처리 구 (관행)와 무경운 논에서 화학농자재를 사용하지 않고 유기물 피복으로 무처리, 벧짚, 헤어리베치, 유채, 호밀, 자운영을 처리하여 연구하였다. 벧짚주율은 무경운 처리인 무처리 5.3%, 벧짚 1.4%, 헤어리베치 2.8%, 유채 5.0%, 호밀 5.3%, 자운영 4.7%로 관행 처리 구 1.1% 보다 높았다. 벧 20주당 벧벼구 발생량은 관행 처리 구에서 65.3 마리, 무경운 처리 구는 3.4~9.6 마리였으며 잎집무늬마름병 발병진전율도 관행 처리 구가 10.5%로 무경운 처리 구 0.7~2.9%에 비해 유의적으로 높았다. 발생 잡초는 물달개비, 사마귀풀, 여뀌바늘, 마디꽃이 우점하였고 총 건조량은 무경운 벧짚 처리 구가 35.9, 무경운 무처리 구가 33.2 g m<sup>-2</sup>로서 높았으며 관행 처리 구는 14.5 g m<sup>-2</sup>, 무경운 자운영 처리 구는 18.4 g m<sup>-2</sup>로서 유의적으로 낮았다. 토양 pH와 유효인산 함량은 담수처리 후 무경운 처리 구에서 급격히 낮아지고 출수시에 높아졌다. 출수시의 토양 암모니아태질소 함량은 관행에 비해 무경운 피복작물 처리 구에서 유의적인 증가를 보였으며 담수이후 관행 처리 구와 무경운 무처리의 토양 미생물 생체량이 급격히 낮아졌다. 관행 처리 구의 수량은 주당 이삭수가 12.6개, 수당 입수가 68.2개, 등숙비율은 89.4%로 높아 수량이 4.30 Mg ha<sup>-1</sup>로서 가장 많았다. 무경운에서는 자운영 처리 구가 주당 수수 11.0개, 수당 입수가 64.6개 및 천립중 20.4 g 등으로 전반적인 수량 구성 요소가 양호하여 수량이 2.69 Mg ha<sup>-1</sup>로 다른 처리 구에 비해 높은 경향이였다. Toyo 식미치는 무경운 벧짚 처리 구가 79.9의 수치로 가장 높았고 무경운 헤어리베치 79.2, 무처리 78.0, 자운영 77.9, 호밀 77.2, 유채 77.1 및 관행 74.1의 순으로 나타났으며 단백질 함량은

관행 7.4%, 유채 7.2%, 호밀 7.0%, 헤어리베치 6.6%, 자운영 6.4% 및 무처리 6.3%의 순으로 낮아졌다. 수량과 쌀 품질 및 경제성을 고려할 때 유기농업을 위한 무경운 작부체계에서는 자운영이 가장 좋은 피복작물로 생각되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 : PJ0063142009)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

## 인 용 문 헌

- Busscher, W.J., P.J. Bauer, C.R. Camp, and R.E. Sojka. 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.* 43:205-217.
- Cho, Y.S., K. Hidaka, and T. Mineta. 2003. Evaluation of white clover and rye grown in rotation with no-tilled rice. *Field Crop Res.* 83:237-250.
- Choe, Z.R., J.B. Kim, and Y.S. Cho. 1998. Practices of sustainable agriculture in Korea with references for the development of sustainable rice production systems. *Proceedings Korean Society of Crop Science, Korean Breeding Society Symposium for 50th anniversary Gyeong Sang National University* p. 288-312.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Till. Res.* 67:115-133.
- Hong, K.P., J.Y. Kim, D.J. Kang, and Z.R. Choe. 1997. Effect of different vetch straw treatment on soil and rice growth in no-till direct-sown rice-vetch interrelaying cropping systems. *Korean J. Crop Sci.* 42:564-570.
- Hong, K.P., Y.G. Kim, W.K. Joung, G.M. Shon, G.W. Song, Y.J. Choi, and Z.R. Choe. 2003. Changes in physicochemical properties of soil, yield and milling quality of rice grown under the long-term no-till rice system. *Korean J. Crop Sci.* 48:196-199.
- Hossain, M.Z., K. Shibuya, and M. Saigusa. 2000. No-tillage transplanting system of rice with controlled availability fertilizer in the nursery box. 1. Growth characteristics and yield of rice in three representative paddy soils. *Tohoku J. Agric. Res.* 50:71-86.
- Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effect of milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) on the physico-chemical properties and rice yield in the paddy soil of rice no-tillage seeding. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:117-121.
- Kim, K.H., and S.B. Lee. 1989. Studies on varietal



- resistance to sheath blight disease in rice. *Korean J. Crop Sci.* 34:14-22.
- Kuk, Y.I., O.D. Kwon, and I.B. Im. 2002. Weed occurrence, growth and yield of rice transplanted with 10-day-old seedlings in tillage and no-tillage paddy fields. *Kor. J. Weed Sci.* 22:154-162.
- Kuk, Y.I., O.D. Kwon, and I.B. Im. 2004. Effective herbicides by application timing for control of sulfonylurea resistant *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* in wet-seeding and machine transplanting rice culture. *Kor. J. Weed Sci.* 24:30-42.
- Kwon, O.D., B.C. Moon, Y.I. Kuk, J.K. Kim, and H.Y. Kim. 2006. Effect of densities of *Echinochloa crus-galli* and *Monochoria vaginalis* in wet seeding and transplanting rice cultivation on rice yield and rice quality, and economic threshold levels of the weeds. *Kor. J. Weed Sci.* 26:155-167.
- Lai, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil Till. Res.* 20:133-146.
- Lampurlanes, J., and C. Cantero-Martinez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95:526-536.
- Lee, B.J., Z.R. Choi, S.H. Oh, J.H. Kim, S.Y. Kim, and J.W. Ahn. 2007. Characteristics of growth of Korean native rice cultivars under the no-till rice-vetch cropping system. *Korean J. Intl. Agri.* 19:279-284.
- Lee, J.H., U.S. Yeo, D.Y. Kwak, J.H. Kim, Y.C. Song, C.S. Kim, and M.S. Shin. 2006. Effects of damage by brown planthopper at ripening stage on yield and quality of rice. *Korean J. Crop Sci.* 51:73-76.
- Lee, Y.H., D. Son, and Z.R. Choe. 2009. Effects of rice-winter cover crops cropping systems on the rice yield and quality in no-tillage paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 28:53-58.
- Lee, Y.H., B.K. Ahn, and J.H. Lee. 2010. Impacts of rice straw application and green manuring on selected soil physical properties and microbial biomass carbon in no-till paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:105-112.
- Moon, B.C., S.T. Park, S.C. Kim, and Y.J. Oh. 1996. Occurrence and control system of *Aneilema japonica* in dry seeded rice. *Kor. J. Weed Sci.* 16:108-113.
- NAQS (National agricultural products quality management service). 2010. Information of environment-friendly agricultural products certification. [http://www.enviagro.go.kr/portal/info/Info\\_statistic.jsp](http://www.enviagro.go.kr/portal/info/Info_statistic.jsp).
- NIAST (National institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of analysis of soil and plant, NIAST, Suwon, Korea.
- Park, H.K., S.S. Kim, W.Y. Choi, K.S. Lee, and J.K. Lee. 2002. Effect of continuous cultivation years on soil properties, weed occurrence, and rice yield in no-tillage machine transplanting and direct dry-seeding culture of rice. *Korean J. Crop Sci.* 47:167-173.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, Suwon, Korea.
- SAS Institut. 2006. SAS Version 9.1.3 for Window. SAS Inst., Cary, NC.
- Shim, I.S., B.M. Lee, and B.H. Kang. 2000. Survey for weed occurrence in herbicide-free control plots of experimental paddy fields at tillering stage of rice plants. *Kor. J. Weed Sci.* 20:174-180.
- Singh, S., S.N. Shama, and R. Prasad. 2001. The effect of seeding and tillage methods on productivity of rice-wheat cropping system. *Soil Till. Res.* 61:125-131.
- Song, S.B., J.B. Hwang, Y.K. Hong, and H.W. Kang. 2008. Effect of rice growth and yield affected by different densities of *Ludwigia prostrata* Roxb. in machine transplanted rice cultivation. *Kor. J. Weed Sci.* 28:214-219.
- Song, S.B., J.B. Hwang, Y.K. Hong, S.T. Park, and H.Y. Kim. 2006. Loss of rice growth and yield affected by weed competition in machine transplanted rice cultivation. *Kor. J. Weed Sci.* 26:407-412.
- Steiner, J.L., H.H. Schomberg, P.W. Unger, and J. Cresap. 1999. Crop residue decomposition in no-tillage small-grain fields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1817-1824.
- Vance, E.D., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* 19:703-707.
- Wright, A.L., F.M. Hons, and J.E. Matocha Jr. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Appl. Soil Ecol.* 29:85-92.
- Yoo, C.H., B.W. Shin, J.H. Jeong, S.S. Han, S.J. Kim, and S.S. Han. 1997. Changes of soil physico-chemical properties under different tillages of paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:140-145.
- Yoo, C.H., J.W. Choi, B.W. Shin, S.B. Lee, J.H. Jeong, S.J. Kim, and S.S. Han. 1996. Distribution of available soil phosphorus and effect of phosphorus application on appearance of algal waterbloom and rice yield in Honam area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:270-274.