

# 무경운 자운영 피복 논에서 담수 깊이가 잡초발생과 수량에 미치는 영향

홍광표 · 이영한\*

경상남도농업기술원

## Impacts of Flooding Depths on Weed Occurrence and Yield in No-tillage Paddy Field Covered with Chinese Milk Vetch

Kwang-Pyo Hong and Young-Han Lee\*

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

Rice production depended on the weed control. The purpose of this study was conducted to evaluate the influence of tillage with chemical amendments + 5 cm flooded, no-tillage without Chinese milk vetch + 5 cm flooded (NTNT 5 cm), no-tillage amended with Chinese milk vetch + 5 cm flooded (NTCM 5 cm), and no-tillage amended with Chinese milk vetch + 10 cm flooded (NTCM 10 cm) on weed occurrence and yield of rice in paddy. Triplicate experimental plots were laid out in a randomized complete block design and compared by employing least significant difference. The dry weights of weeds in NTCM 5 cm and NTCM 10 cm were 11% and 4% level of NTNT 5 cm ( $p < 0.05$ ) and were 3.2 times and 1.2 times more than in conventional tillage system. In addition, the *Aneilema keisak* and *Ludwigia prostrata* were significantly increased in NTNT 5 cm ( $p < 0.05$ ). The yield of rice grain in NTCM 10 cm was 2.6 times more than in NTNT 5 cm and was 89% level of conventional tillage system. Our findings suggest that NTCM 10 cm should be enhance of weed control as well as improving of yield of rice in paddy.

**Key words:** No-tillage paddy, Flooding depth, Chinese milk-vetch, Weed control

### 서 언

유기농업을 구현하는 차원에서 실천되고 있는 논 무경운 상태에서의 벼 재배는 잡초방제기술 확립이 무엇보다 중요하다 (Lee, 2010). 관행농업은 경운과 로타리 작업을 통하여 이앙 전에 발생된 잡초를 억제하고 그 후에 발생하는 잡초는 제초제로서 방제할 수 있다. 그러나 무경운 논에서는 잡초의 발생이 관행농업과 판이하게 다르기 때문에 유기농업을 위한 잡초 방제 방법을 그대로 적용하기에는 어려움이 많다. 따라서 유기농업에서는 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; Lee, 2010; Park et al., 2002). 무경운 논에서 잡초발생 양상은 벼 수확 후부터 발생되며 월동 후 기온상승과 함께 급속히 성장하므로 벼 이앙작업을 어렵게 하고 벼 초기 생육을 억제시킨다. 그러므로 무경운 논 벼 재배에서 잡초방

제는 피복작물이나 보릿짚 등으로 토양표면을 피복하여 잡초를 억제하거나 allelopathy에 의한 잡초종자의 발아를 억제하여 적절한 잡초방제 수준을 유지하는 것이 중요하다 (Erenstein, 2002; Lal, 1991). 유기물로 피복되는 작물은 주로 벣짚, 자운영, 호밀, 헤어리베치를 이용하고 있다 (Lee et al., 2009). 이러한 무경운의 장점으로 토양 물리적 특성을 향상시키며 토양의 탄소저장과 미생물 생체량을 증대시키는 것으로 보고되었다 (Busscher et al., 1997; Lampurlanes and Cantero-Martinez, 2003; Lee et al., 2010; Wright et al., 2005). 그리고 최근 소비자가 친환경 안전농산물에 대한 선호도가 높아지고 있기 때문에 제초제를 사용하지 않고 잡초를 방제할 수 있는 방법을 구명할 필요가 커지고 있다. 위와 같이 벼 유기농업 재배기술은 농작물의 생산성을 유지시키면서 물질과 에너지 투입을 최소화하고 자연과 농업생태계의 건강을 성취할 수 있도록 자연 생태적 원리에 부합된 잡초방제 기술의 확립이 요구된다.

따라서 본 시험은 무경운 논에서 자운영 피복을 통한 담수깊이가 잡초발생과 벼 수량에 미치는 영향을 구명하여 농가현장에 적용할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 수행하였다.

접수 : 2011. 3. 17 수리 : 2011. 4. 13

\*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

**Table 1. The nutrient amount of Chinese milk vetch used in this experiment.**

Dry weight	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	C:N ratio
----- kg ha <sup>-1</sup> -----						
3,750	12.8	2.4	9.9	1.3	1.3	25

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

pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation				NH <sub>4</sub> -N	Avail. SiO <sub>2</sub>
			K	Ca	Mg	Na		
(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
5.3	28	148	0.23	5.6	1.65	0.54	14	68

### 재료 및 방법

**재배환경 및 시험포장 조건** 무경운 논에서 유기농업에 적합한 녹비작물의 사용효과를 검토하기 위해 경남농업기술원 시험포장 (35°12'26"N, 128°07'06"E) 이현미사질양토 (모래 9.1, 미사 73.0, 점토 17.9%)에서 2008년에 수행되었다. 벼 재배기간 중 잡초를 억제하는데 가장 알맞은 담수방법을 구명하기 위해 경운처리구 (Tillage 5 cm)와 무경운 자운영 무피복 처리구 (NTNT 5 cm), 무경운 자운영 피복후 담수깊이를 5 cm (NTCM 5 cm)와 10 cm (NTCM 10 cm)로 구분하여 시험하였다. 모든 처리구의 담수기간은 40일로 처리하였고 그 이후는 일반 재배법에 준하였다.

이 시험이 수행된 논 무경운 체계는 단순히 논을 갈지 않는 것만이 아니라 콤바인으로 벼를 수확할 때 벧짚 전량을 절단하여 논바닥에 깔아두고 이듬해 벼를 재배할 때까지 경운이나 로타리 작업을 하지 않는 토양관리 체계이다. 이런 관리체계 속에서 무경운 자운영 피복 처리구는 2006년 9월 중순경 벼를 수확하기 전에 자운영 30 kg ha<sup>-1</sup>을 파종하였다. 또한 2007년 6월 10일에 30일간 육묘한 동진 1호 묘를 재식거리 30×12 cm로 경운과 같은 방법으로 기계이앙 하였다. 무경운 처리구는 재배기간 중에는 제초제를 비롯한 화학합성 자재를 전혀 사용하지 않았으며 경운 처리구는 잡초제어를 위해 제초제를 6월 20일에 사용하였고 병충해 방제를 2회 실시하였다. 토양 양분관리를 위해 투입된 자운영의 양분가치는 Table 1과 같으며 경운 처리구는 화학비료를 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=71-30-31 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 사용하였다.

**토양 시료채취 및 분석** 토양시료는 시험전과 수확기에 표토를 0-15 cm 깊이에서 600 g 정도를 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양은 서늘한 실험실에서 7일간 건조하여 2 mm 체를 통과된 것을 화학성 분석에 사용하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH와 EC는 토양과 증

류수의 비율을 1:5로 하여 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로 정량하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 K, Ca, Mg, Na 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Varian 730-ES, Varian Inc., Palo AHO, USA)로 분석하였다. 시험전 토양의 화학성분은 Table 2와 같이 pH 5.3, 유기물 28 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 148 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.23 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 5.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 1.65 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 나트륨 0.54 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 유효규산 68 mg kg<sup>-1</sup> 및 암모니아태 질소 14 mg kg<sup>-1</sup>을 함유하고 있는 전형적인 논 토양이었다.

**수량 및 병해충 조사방법** 생육시기에 따른 벼 생육, 수량, 수량 구성요소는 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 수행하였다. 잡초 조사는 50 × 50 cm 격자를 이용하여 각 초종의 지상부를 3반복으로 채취하여 60 °C에서 3일간 건조하여 건조중량을 조사하였다.

**통계 분석방법** 모든 연구결과의 통계분석은 SAS 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 벼 수량 및 수량구성요소, 잡초발생 조사, 토양 화학성분 비교는 5% 유의수준에서 최소유의차 검정 (LSD)으로 수행하였다.

### 결과 및 고찰

**토양 화학성분 변화** 수확기 토양 화학성분의 변화는 Table 3과 같다. 토양의 pH는 무경운 자운영 무처리구에서 5.4로 다른 처리구에 비해 유의적인 증가를 나타냈다. 무경운 자운영 처리구는 미생물 분해에 의한 유기산의 방출로 인하여 pH가 낮아지는 경향이였다 (Lee, 2010; Park et al., 2002).

토양의 유기물 함량은 무경운 자운영 처리구에서 유의적으로 높았으나 경운 처리구와 무경운 자운영 무처리구

**Table 3. The chemical properties as affected by different tillage managements and flooding depths at harvesting stage.**

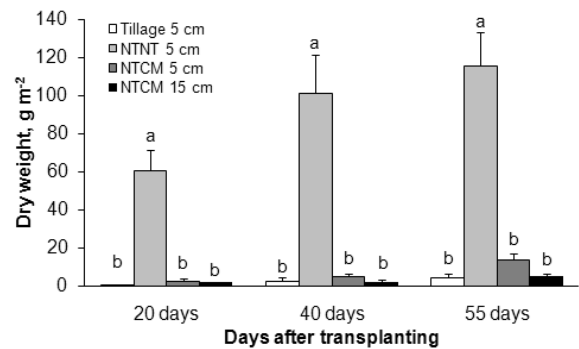
Flooding condition <sup>†</sup>	pH	OM g kg <sup>-1</sup>	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Exch. Cation				NH <sub>4</sub> -N mg kg <sup>-1</sup>	Avail. SiO <sub>2</sub>
				K	Ca	Mg	Na		
				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
Tillage 5 cm	5.3	24	149	0.22	6.0	1.44	0.49	12	60
NTNT 5 cm	5.4	26	152	0.28	5.5	1.42	0.37	6	62
NTCM 5 cm	5.1	27	142	0.33	5.6	1.37	0.23	18	64
NTCM 10 cm	5.2	27	145	0.31	6.0	1.61	0.28	16	63
LSD ( <i>p</i> <0.05)	0.12	2.4	8.5	0.042	NS	NS	0.035	5.8	NS

<sup>†</sup>NTNT, No-tillage without Chinese milk vetch; NTCM, No-tillage amended with Chinese milk vetch.

는 차이가 없었다 (Hong et al., 1997). 토양의 유효인산 함량은 무경운 자운영 무처리구에서 높아지는 경향이였다. 토양 유효인산 함량은 토양 pH의 변화와 비슷한 경향을 보였는데 이것은 토양 pH가 인산의 용해도에 영향을 주기 때문으로 생각되었다 (Yoo et al., 1996). 치환성 칼륨 함량과 암모니아태 질소 함량은 무경운 자운영 처리구가 다른 처리구에 비해 높았는데 이러한 경향은 미분해된 자운영의 잔효로 판단되었다. 반면에 치환성 나트륨 함량은 무경운 자운영 처리구에서 유의적으로 낮아졌다. 이러한 경향은 유기물의 음전하가 토양의 치환성 나트륨과 반응하여 불용화된 결과로 해석되었다. 토양의 치환성 칼슘 및 마그네슘 그리고 유효구산 함량은 모든 처리구에서 차이가 나타나지 않았다. 향후 무경운 논 토양에서 자운영을 연차적으로 재배할 경우 토양 pH는 지속적인 감소가 예상되므로 토양검정을 실시하여 pH 교정을 위한 규산질비료를 필수적으로 사용해야 할 것으로 판단되었다.

**잡초발생량 조사결과** 경운 방법과 담수깊이에 따른 잡초발생량의 변화는 Fig. 1과 같이 제초제를 사용한 경운 처리구에서 4.1 g m<sup>-2</sup>, 무경운 자운영 피복 처리구는 담수깊이 5 cm에서 13.7 g m<sup>-2</sup>, 10 cm에서 4.8 g m<sup>-2</sup>으로 담수깊이가 깊을수록 잡초발생량이 적어 벼 생육에 지장이 없을 것으로 판단되었으나 무경운 자운영 무피복 논에서는 115.4 g m<sup>-2</sup>으로 다른 처리구에 비해 유의적으로 증가하여 벼 생육이 어려웠다 (Lee, 2010). 특히 무경운 자운영 무피복 처리구에서는 이양후 20일 이후부터 잡초발생량이 급격하게 증가하는 경향이였다. 이러한 결과로 볼 때 대부분의 잡초는 광 발아성 식물이기 때문에 무경운 논에서 자운영의 토양 멀칭효과가 크고 자운영이 분비하는 생리활성 물질 등에 의해 잡초발생이 억제되는 것으로 생각되었다 (Hong et al., 1997; Jeong et al., 2001; Lee, 2010). 따라서 무경운 논에 자운영을 충분히 피복할 경우 제초제를 사용하지 않아도 잡초를 관리할 수 있을 것으로 기대되었다.

이양후 55일에 잡초종류별 발생량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 경운 처리구를 제외한 무경운 처리구에서 1년생



**Fig. 1. Changes of weeds occurrence after transplanting as affected by different tillage managements and flooding depths. NTNT, No-tillage without Chinese milk vetch; NTCM, No-tillage amended with Chinese milk vetch.**

광엽잡초인 물달개비, 여뀌바늘, 사마귀풀이 공통적으로 발생되었다. 이러한 결과는 Shim et al. (2000)이 논에서 광엽잡초의 비율이 64%로 가장 높고 광엽잡초 중 여뀌바늘, 사마귀풀, 물달개비가 우점한다고 보고한 결과와 일치하였다. 관행은 물달개비만 우점되는 경향이었는데 이는 Lee (2010)의 연구결과와 같이 제초제 저항성에 기인된 것으로 판단되었다. 물달개비 발생량은 무경운 자운영 무처리구에서 6.7 g m<sup>-2</sup>으로 무경운 자운영 처리구에 비해 유의적인 증가를 보였다. Song et al. (2006)은 기계이양 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 발생량이 제초제를 사용한 경운 처리구가 무경운 자운영 처리구보다 유의적으로 증가하였다 (Lee, 2010).

사마귀풀의 발생량은 무경운 자운영 무처리구에서 52.3 g m<sup>-2</sup>으로 가장 우점하는 잡초였으며 무경운 자운영 처리구보다 유의적인 증가를 보였으며 담수깊이가 5 cm인 경우에도 다른 잡초 보다 우점하여 담수깊이 10 cm 보다 유의적으로 증가하였다. Kuk et al. (2002)은 무경운 기계이양 재배 논에서 재배 년차가 경과함에 따라 사마귀풀이 우점도가 높아진다고 하였고 Moon et al. (1996)은 벼 건답직파 재

**Table 4. Weeds occurrence on 55 days after transplanting as affected by different tillage managements and flooding depths.**

Flooding condition <sup>†</sup>	<i>Monochoria vaginalis</i>	<i>Aneilema keisak</i>	<i>Ludwigia prostrata</i>	Others	Total
----- Dry weight, g m <sup>-2</sup> -----					
Tillage 5 cm	4.1	0	0	0	4.1
NTNT 5 cm	6.7	52.3	37.4	19.0	115.4
NTCM 5 cm	1.3	8.7	1.3	2.4	13.7
NTCM 10 cm	1.6	0.8	0.8	1.6	4.8
LSD ( <i>p</i> <0.05)	2.13	6.05	7.22	2.99	15.01

<sup>†</sup>NTNT, No-tillage without Chinese milk vetch; NTCM, No-tillage amended with Chinese milk vetch.

**Table 5. Grain yield and yield components of rice as affected by different tillage managements and flooding depths.**

Flooding condition <sup>†</sup>	Culm length	Ear length	Tiller number	Ripened grain	1,000-grain weight	Grain yield
----- cm -----		thousand m <sup>-2</sup>	%	g	Mg ha <sup>-1</sup>	
Tillage 5 cm	77	18	28.8	92.2	22.4	4.42
NTNT 5 cm	71	17	14.2	85.2	21.4	1.52
NTCM 5 cm	69	18	23.1	77.4	20.4	3.74
NTCM 10 cm	68	19	23.3	79.7	21.1	3.92
LSD ( <i>p</i> <0.05)	5.7	NS	4.54	4.03	1.43	0.276

<sup>†</sup>NTNT, No-tillage without Chinese milk vetch; NTCM, No-tillage amended with Chinese milk vetch.

배 논에서 사마귀풀이 300본 발생하면 수수는 61%, 등숙비율은 5% 정도 낮아져 수량이 74% 감소한다고 하였다. 따라서 지속적인 유기농업을 위한 무경운 벼 재배포장에서는 사마귀풀을 방제할 수 있는 기술개발이 매우 중요할 것으로 판단되었다.

여뀌바늘도 무경운 자운영 무처리구가 37.4 g m<sup>-2</sup>로 다른 처리 구에 비해 유의적인 증가를 보였으며 자운영 처리 구에서는 담수깊이에 따른 발생량의 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 보고하였는데 무경운 논에서는 사마귀풀 다음으로 주의해야 할 것으로 판단되었다.

**벼 수량 및 수량 구성요소** 경운 처리구는 m<sup>2</sup> 당 립수가 28.8천개로 무경운 처리구에 비해 유의적으로 많았고 무경운 자운영 무처리구는 자운영 처리구에 비해 유의적인 감소를 나타냈다. 무경운 논에서 자운영 피복과 담수깊이에 따른 쌀 수량은 제초제를 사용한 경운 처리구는 립수 뿐만 아니라 등숙률과 천립중도 유의적인 증가를 보여 수량이 4.42 Mg ha<sup>-1</sup>로서 가장 많았다. 무경운에서는 자운영 피복후 10 cm로 담수한 처리구가 잡초 억제효과가 인정되고 립수, 등숙률 및 천립중 등 전반적인 수량 구성요소가 양호하여 수량이 3.92 Mg ha<sup>-1</sup>로 가장 많았다. 무경운 자운영 무처리구의 수량이 관행에 비해 크게 감소된 것은 무경운 재배에서 기계이앙 후 뿌리의 활착지연으로 초기 생육이 늦어 분얼에 영향을 주었으며 (Lee et al., 2007)

잡초 밀도도 높아 (Park et al., 2002) 수량 구성요소에 영향을 준 것으로 판단되었다. 따라서 유기농업을 위한 무경운 기계이앙 재배 시 충분한 립수를 확보하기 위해서는 재식본수와 밀도를 늘리고 뿌리활착을 촉진시키기 위해서 기계이앙 시 식부 깊이를 깊게 해야 할 것으로 판단되었다 (Lee, 2010).

이상의 결과를 두고 볼 때 친환경농업 실천을 위해 무경운 상태에서 벼를 재배할 경우 효과적인 잡초방제기술은 자운영을 골고루 피복되게 재배하고 이앙 후부터 최고 분얼기 까지 40일간 담수깊이를 10 cm 정도로 유지시키는 것이 매우 효과적인 것으로 나타났다.

## 요 약

유기농업을 위한 무경운 논에서 자운영 피복을 통한 담수깊이가 잡초발생과 벼 수량에 미치는 영향을 구명하여 농가현장에 적용할 수 있는 기술을 연구하였다. 무경운 논에서 자운영 피복과 담수깊이를 10 cm로 40일간 유지한 결과 잡초발생량은 4.8 g m<sup>-2</sup>으로 제초제를 처리한 경운 처리구 4.1 g m<sup>-2</sup>와 비슷한 수준이었으며 벼 수량은 3.92 Mg ha<sup>-1</sup>로 경운 처리구 보다 11% 감소되었다. 무경운 논에서 발생하는 주요 잡초는 사마귀풀, 여뀌바늘, 물달개비 순이었으며 자운영을 피복하지 않을 경우 잡초발생량이 115.4 g m<sup>-2</sup>으로 벼 생육이 어려워 수량이 경운 처리구 4.42 Mg ha<sup>-1</sup>보다 66% 감소되었다. 따라서 벼 유기농업을 위해 무경운

에 자운영을 피복하고 담수깊이를 10 cm로 40일간 유지하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ0069 06202011)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.
- 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.
- 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.
- 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 resisance 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, Y.H. 2010. Evaluation of no-tillage rice cover crop cropping systems for organic farming. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:200-208.
- 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.
- 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 Institute, 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 planrs. *Kor. J. Weed Sci.* 20:174-180.
- 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 prostarata* 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.
- 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.