

## 유채 잔유물의 녹비 이용에 따른 벼 생육특성 및 잡초발생 억제효과

최봉수<sup>1†</sup> · 성좌경<sup>2†</sup> · 이상수<sup>1</sup> · 남재작<sup>3</sup> · 홍승길<sup>2</sup> · 김록영<sup>2</sup> · 양재의<sup>1</sup> · 옥용식<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 바이오자원환경학과, <sup>2</sup>국립농업과학원, <sup>3</sup>농업기술실용화재단

(2010년 3월 8일 접수, 2010년 4월 2일 수리)

### Effects of Rape Residue as Green Manure on Rice Growth and Weed Suppression

Bongsu Choi<sup>1†</sup>, Jwa Kyung Sung<sup>2†</sup>, Sang Soo Lee<sup>1</sup>, Jae Jak Nam<sup>3</sup>, Seung-Gil Hong<sup>2</sup>, Rog-Young Kim<sup>2</sup>, Jae E. Yang<sup>1</sup> and Yong Sik Ok<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, <sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-857, Korea and <sup>3</sup>The Foundation of Ag. Tech. Commercialization and Transfer, Suwon 211-2, Korea)

Rape residue as green manure is an emerging alternative of chemical fertilizer to improve soil quality and crop productivity. Objective of this research was to evaluate the effectiveness of rape residue as green manure on reduction of chemical fertilizer and suppression of weed occurrence in rice-rape double cropping system. Greenhouse experiment was conducted with four treatments: the combination of rape residue and three different N application rates (0, 30 and 70% of recommended application rate (7.8 kg N 10a<sup>-1</sup>)) and 100% chemical fertilizer as a control. No difference in rice clum length was observed for all treatments, while panicle length was highest in a treatment of rape residue+70% chemical fertilizer (Rape+70%CF). In addition, rice grain weight at a Rape+70%CF treatment increased by 19% compared to the control. This treatment also reduced weed density and biomass by 58 and 53%, respectively, compared to the control. Our results suggest that use of rape residues as green manure is an environment friendly and effective way to reduce chemical fertilizer and to enhance crop productivity in rice-rape double cropping system in Korea.

**Key Words:** Green manure, Rape residue, Rice, Rice-rape double cropping, Weed control

### 서 론

작물생산에 있어서 질소(N), 인(P), 칼리(K) 등의 식물생장 필수 원소를 포함한 화학 비료와 제초제, 살충제, 살균제 등 합성농약의 개발은 작물의 수량을 증가시키는데 크게 기여한 반면 과용으로 인한 토양 내 집적으로 인해 농업생태계에서 토양 및 수질의 오염을 초래하기도 한다. 작물생산에서 화학비료의 과용을 억제하고 그 사용량을 줄이기 위한 대안으로 녹비작물의 이용은 후작물의 양분 공급원으로써 지속 가능한 농업을 위한 중요한 요소이다(Choi et al., 2008).

더불어 농업생태계에서 토양관류 유기물은 지속적인 생산성 유지에 기여하며(Goyal et al., 1999), 녹비 분해로부터

생성된 부식은 토양의 물리·화학·생물적 성질을 효과적으로 개선시키므로(Yasue, 1991), 녹비작물의 이용은 토양유기물의 유지뿐만 아니라 노화된 토양의 개선 및 식물의 양분공급 측면에서 친환경적이고 지속가능한 농업활동을 가능하게 한다. 또한 녹비의 환원은 토양 침식 감소 및 토양의 물리적 개선, 토양유기물 및 양분 보유능력 증가, 수분보유력 증진, 그리고 지구온난화 방지 등의 역할을 한다(Dinnes et al., 2002; Drinkwater et al., 1998; Sarrantonio and Scott, 1988; Smith et al., 1987; Robertson et al., 2000).

일부 식물 잔유물의 분해과정에서 발생하는 생육억제물질(타감물질)은 잡초 방제에도 효과적 이용이 가능하며, 녹비의 이용은 지속적인 작물재배가 가능한 토양개선에 기여하므로 다양한 친환경 농업생산시스템에서 좋은 관리방안이 된다(Daimon and Kotoura, 2000; Dyck and Liebman, 1994; Fujii, 2001). 십자화과 식물은 생육억제물질로 알려진 glucosinolate를 다량 함유하고 있어 분해과정에서 glucosinolates를 방출하여 작물의 생장에 영향을 미치는 곤충, 균

\*연락처:

Tel: +82-33-250-6443 Fax: +82-33-241-6640

E-mail: soilok@kangwon.ac.kr

†공동 제1저자

류, 선충, 잡초 등에 대한 억제효과가 높은 것으로 알려져 있어 후작물への 양분 공급에 의한 비료공급은 물론 합성 농약의 사용량을 줄여 친환경농업에 기여 할 수 있다(Al-Khatib et al., 1997; Blau et al., 1978; Mojrahedi et al., 1993; Muehlchen et al., 1990; Petersen et al., 2001).

국내에서는 화석연료를 대체하고자 정부차원에서 바이오 에너지 생산용 핵심 작물로 유채(*Brassica napus* L.) 재배를 권장 및 추진하고 있어 벼-유채 작부체계에서 유채 수확 후 발생하는 잔유물의 효율적 이용방안에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 벼-유채 이모작 재배지에서 유채의 녹비 이용이 후작물인 벼의 생육 및 잡초발생에 미치는 영향과 이에 따른 화학비료 절감효과를 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 유채 재배

유채(*Brassica napus* cv. Sunmang)는 전남 영광의 유채 단지 시험포에 재배하였으며, 유채 잔유물은 바이오에너지 생산을 위한 종실수확 후 채취하였다. 수확기 유채는 10a당 재식밀도가 15,300주였으며, 건물생산량은 2,672 kg이었고, 유채 수확 후 발생하는 잔유물(줄기, 꼬투리)은 본 실험을 위한 녹비환원 재료로 이용하였다. 수확기에 채취한 유채 잔유물은 건조기를 이용하여 70°C에서 2일간 건조 후 원소분석기(Elemental Analyzer Flash EA 1112, Thermo, USA)로 유채의 질소함량을 분석하여 유채 잔유물의 녹비 환원량을 산출하였다.

### 유채 잔유물의 녹비환원 및 벼 재배

논토양을 충전한 포트(75 cm × 45 cm × 20 cm)에 총질소 함량이 0.54%인 유채 잔유물을 토양과 골고루 혼합하였다. 본 실험은 전년도에 대조구 및 유채 잔유물 환원구를 조성하여 벼를 재배했던 토양에서 수행하였다. 토양은 pH 6.9, 유기물 22.3 g/kg, 유효인산과 유효구산 함량이 각각 54.0 mg/kg와 96.6 mg/kg이었다(Table 1). 처리구는 토양분석 결과를 바탕으로한 토양검정시비(N-P-K: 7.8-4.6-8.3 kg/10a)한 관행재배구와 유채 잔유물과 관행재배구의 0, 30 및 70% 수준의 질소를 혼합한 처리구로 구성하였다. 이때 포트에 환원한 유채 잔유물의 양(건물 500 g)은 질소 환원량이 8 kg/10a에 해당하였다. 관행재배구의 질소비료 시비는 기비와 유수형성기의 추비 비율을 1:1로 분시하였다. 녹비환원구

의 시비는 기비를 기준으로 추비에서 감비하였는데, 70% 시비구의 경우 권장시비량에 대하여 기비 50%와 나머지 20%를 추비하였으며, 30% 처리구에서는 할당된 비율만큼 기비 30%를 사용하였고, 추비는 실시하지 않았다. 후작물로서 벼(오대벼)는 담수조건에서 유채 잔유물을 환원하고 10일 후 3엽기의 중묘를 재식거리 25 cm × 15 cm로 pot당 10주(1주당 5포기) 이식하여 3반복으로 비가림하우스에서 재배하였다.

유채 잔유물의 녹비이용이 잡초 발생 및 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모든 처리구는 돌피(30립), 물달개비(30립), 자귀풀(15립), 가래(10립) 등 1년생 잡초와 올방개(3립), 올챙이고랭이(20립)의 다년생 잡초 종자를 파종하였다.

### 벼의 수량 및 잡초조사

유채 잔유물의 녹비환원에 따른 벼와 잡초의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 벼의 최고 분얼기에 잡초조사를 실시하였다. 각각의 처리구별 발생 잡초를 채취하여 유채 잔유물에 대한 잡초발생 및 생육억제에 미치는 영향을 조사하였다. 발생잡초는 초종, 발생본수 및 생체중을 조사하였고 건조기를 이용하여 70°C에서 2일간 건조시킨 후 건물중을 조사하여 유채 잔유물에 대한 잡초의 생육을 평가하였다.

수확기에 수확한 벼는 주당수수를 조사한 뒤 벼의 생육으로서 잎, 줄기 및 이삭으로 분리하여 생체중을 조사하였고, 건조(40°C, 2일) 후 건물중을 측정하였다. 벼는 쪽정이를 헤아려 등숙률을 조사하였으며, 각 처리구별 정조수량을 조사하여 유채 잔유물의 환원에 따른 화학비료 절감효과를 평가하였다.

### 통계분석

유채 잔유물의 녹비환원 효과를 평가하기 위한 각 처리간 잡초발생량과 생육, 그리고 벼의 수량에 관한 통계분석은 SAS software Ver. 9.1(SAS, 2003)을 이용하였으며, ANOVA 검정을 통해 각 처리간 통계적 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 벼의 생육 및 수량

수확기 생육으로 벼의 간장은 관행재배구와 비교하여 유채 잔유물 녹비환원구에서 무비구를 제외하고 모두 비슷하게 생육했으며, 벼 이삭의 생장(수량)은 관행재배구의 70%

Table 1. Chemical properties of rice paddy soil

Soil	pH	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Av. SiO <sub>2</sub>
	(1:5)	(g/kg)	(mg/kg)	----- (cmol <sub>(+)</sub> /kg)-----			(mg/kg)
Soil	6.9	22.3	54	0.1	4.5	1.8	96.6
Optimum range <sup>1)</sup>	6.0-6.5	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	130-180

<sup>1)</sup>Source: Jung et al.(2006)

시비구(17.5 cm)에서 관행재배구(16.4 cm)보다 촉진되었다 (Fig. 1).

수확기 벼는 유채 잔유물 녹비환원구에서 시비량이 감소함에 따라 지상부의 생체 생산량이 감소되었다. 녹비환원구의 30% 시비구에서도 잎과 줄기의 생산량이 관행재배구와 유사하였으나, 70% 시비구에서는 벼의 이삭중이 관행재배보다 18% 증가되었다(Table 2). 건물중도 생체중과 비슷하였으며, 유채 잔유물환원구의 70% 시비구에서는 이삭중을 19% 증가시켰다. 호남지방에서 주로 녹비원으로 이용하고 있는 자운영을 녹비환원한 경우 벼의 질소흡수를 촉진시켰으며 관행재배구와 비교하여 70% 감비구에서도 비슷한 수준이었다고 보고하였는데, 이러한 녹비작물의 토양 환원은 유기

물 분해로부터 질소의 무기화 및 토양 중 무기태 질소의 용탈이나 탈질회산을 완화시켜 주기 때문에 후작물의 양분흡수를 가능하게 하고 작물의 생육을 촉진시킨다(Son et al., 2004; Yang et al., 2002).

한편 유채 잔유물의 녹비환원에 따른 비료절감효과를 평가하기 위하여 각 처리구별 주당수수, 1수영화수, 등숙율을 조사하여 pot당 수량으로 평가하였다. 주당수수는 관행재배구에 비해 녹비환원구의 70% 시비구를 제외한 다른 녹비환원구에서 현저히 감소하였으나, 수수당 영화수(1수 영화수)는 유채 잔유물 녹비환원구에서 관행재배구보다 비슷하거나 오히려 증가하였다(Table 3). 한편 등숙율은 관행재배구의 91%와 비교하여 유채 잔유물 녹비환원구에서 79-85%로 낮아지는 것으로 나타났으나 벼의 정조수량은 1수 영화수가 가장 높았던 유채 잔유물 녹비환원구의 70% 시비구에서 496.4 g/pot으로 가장 높았다. 각 처리구별 벼의 수량으로부터 수량지수(Yield Index)를 산출하면 관행재배구의 수량과 비교하여 녹비환원구의 30% 시비구와 무비구에서는 각각 72.5와 53.3로 수량감소가 현저히 나타났으나 70% 시비구의 수량지수는 125.4로 관행재배구보다 수량이 증가하는 것으로 나타났다.

유채 잔유물 녹비환원구의 70% 시비구는 이삭(수장)의 생육을 촉진시켰으며(Fig. 1), 영화수 형성을 촉진시킨 결과 벼의 수량도 증가시켰다. 본 실험에서 관행재배구보다 수량이 증가한 것은 전년도 환원한 유채 잔유물이 지속적으로 분해되어 벼의 양분흡수를 촉진시켰기 때문으로 판단된다. 또한 유채 잔유물의 분해가 일어나는 동안 기비로 공급된 화학비료는 벼의 생육 초기에 이용이 가능하며 유기물로부터 분해되어 방출되는 양분은 벼의 생육 중기부터 지속적으로 이용이 가능했을 것으로 판단된다. 한편 작물 잔유물의 환원은

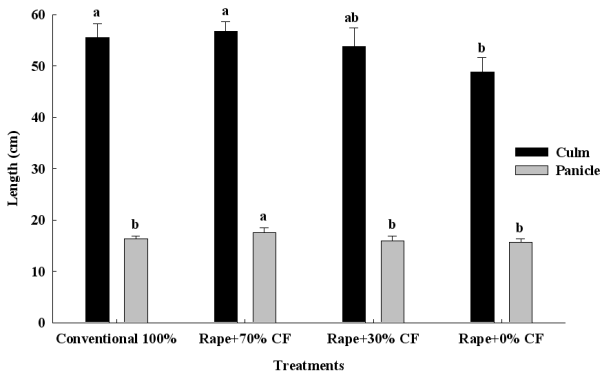


Fig. 1. Lengths of culm and panicle of rice at harvesting stage after incorporation of rape residue. Vertical error bars are standard error of the mean( $n = 3$ ); and letters above error bars indicate significant differences at 0.05 probability level.

Table 2. Fresh and dry weights of rice at harvesting stage after incorporation of rape residue

Treatments	Fresh weight (g/pot)			Dry weight (g/pot)		
	Leaf	Stem	Spikelet	Leaf	Stem	Spikelet
Chemical fertilizer(CF)	110 a*	209 ab	163 b	54.5 ab	84.6 a	129.0 b
rape+70% CF	113 a	229 a	194 a	57.4 a	84.5 a	155.1 a
rape+30% CF	106 a	190 ab	122 c	56.0 a	73.6 a	86.1 c
rape+0% CF	74 b	163 b	91 d	38.6 b	51.3 b	1) 62.5 d

\*Same letters are not significantly different at 0.05 probability level.

Table 3. Yields of rice at harvesting stage after incorporation of rape residue

Treatments	Panicle number	Spikelet number per panicle	Percent ripened (%)	Yield (g/pot)
Chemical fertilizer(CF)	9.6 a*	68 b	91 a	475.7 b
rape+70% CF	9.9 a	99 a	85 b	596.4 a
rape+30% CF	7.4 b	89 a	79 c	344.7 c
rape+0% CF	6.6 b	67 b	84 b	253.5 d

\*Same letters are not significantly different at 0.05 probability level.

잔유물의 질과도 밀접한 관련이 있는데 적정 탄질률보다 높은 잔유물의 이용시 무기화의 지연을 초래하고 후작물의 양분흡수가 가속화되어야 할 시기에 공급을 지연시키지만 다음 작물의 이용을 촉진시킨다(Cherr et al., 2006; Garwood et al., 1999; Karen and Doran, 1991; Sakala et al., 2003; Vyn et al., 1999).

녹비작물에 의한 후작물의 양분공급과 생장억제물질에 의한 잡초방제 효과에 대해서 많은 연구가 있었으나, 기존의 연구에서는 보다 안정적으로 후작물을 재배하기 위해 녹비작물의 적절한 환원시기 및 후작물의 파종시기 조절이 중요하다고 보고하였다(Choi and Daimon, 2008; Papavizas, 1966; Scott and Knudsen, 1999). 또한 이 지역에서 자운영을 녹비로 환원한 경우 벼의 수수확보를 증가시켜 유효경 비율을 높였고, 질소 시비량을 50% 절감한 조건에서 벼 수량은 관행재배보다 8% 증수되었다(Yang et al., 2002). Son et al. (2004)의 연구에서도 녹비환원에 따른 30% 감비구에서 관행재배구 보다 1% 증수하는 효과를 가져왔다고 보고하였다.

2년 동안 유기물을 환원한 결과 수량지수가 전년도보다 높아지는 것과 관련하여 보다 구체적인 화학비료 절감효과에 대한 연구가 수행되어 지속적인 녹비환원에 따른 적절한 시비가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 유채 잔유물에 의한 잡초의 생육억제

유채 잔유물의 환원에 따른 잡초의 발생특성은 관행재배구에서 돌피, 가막사리, 자귀풀, 물달개비, 올방개 및 너도방동사니가 주로 발생하였으며, 유채 잔유물 녹비환원구에서는 너도방동사니를 제외한 5종의 잡초가 발생하였다. 각 처리구별 잡초발생량은 관행재배구에서 37본으로 가장 많았으며, 유채 잔유물 환원구에서는 관행재배구보다 현저히 감소하였으며 시비량에 따른 차이 없이 11.7-15.7본이었다(Fig. 2). 발생잡초의 생체중과 건물중에서도 비슷한 경향이 나타났는데, 잡초 건물중은 관행재배구의 25.1 g/pot에 비해 유채 잔유물 환원구의 시비량이 많은 처리구부터 각각 11.8, 12.2 및 6.0 g/pot으로 나타났는데 이는 전년도 결과인 88%에는 미치지 못하지만 최대 76%까지 억제되었다(Choi et al., 2009).

유채속 식물은 glucosinolates와 같은 생장억제물질에 많이 함유하고 있어 다른 식물의 종자 발아 및 유식물 생장을 강하게 억제시키는 효과를 가지고 있다(Al-Khatib et al., 1997; Petersen et al., 2001). 유채의 토양환원은 감자재배지에서 잡초밀도와 바이오매스를 각각 85%와 96% 감소시켜 결과적으로 감자의 수량을 증가시켰으며(Boydston and Hang, 1995), Al-Khatib et al.(1997)은 유채의 녹비이용으로 냉이(*Capsella bursa-pastoris*)의 출아를 76% 억제시켰다고 보고하였다.

한편 유채 잔유물 환원에 의한 일년생 잡초 뿐만 아니라 다년생 잡초의 생육 또한 억제시키는 효과가 있었는데, 데이터로 제시하지 않았지만 올방개의 발생량을 관행재배구보다

유채 잔유물 환원구에서 현저히 감소시켰으며, 생체 및 건물 생산량에서도 각각 61-79% 및 66-84% 억제시켰다(Choi et al., 2009). 반면 올챙이고랭이는 초기 발생이 없었으며 후기에 일부 발생하였고 발생량 및 생육이 저조하여 조사에서 배제시켰다.

이상으로 유채 잔유물 환원구의 70% 시비구는 관행재배구와 비교하여 벼의 지상부 생산량에서 이삭중을 증가시켰으며, 정조수량 또한 25.4% 증가시킨 것으로 보아 지속적으로 발생하는 유채 잔유물 환원은 벼의 수량 확보에 용이한 것으로 판단되며 유채 잔유물 환원에 의해서 30% 이상의 비료절감효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 잡초의 생육을 억제시

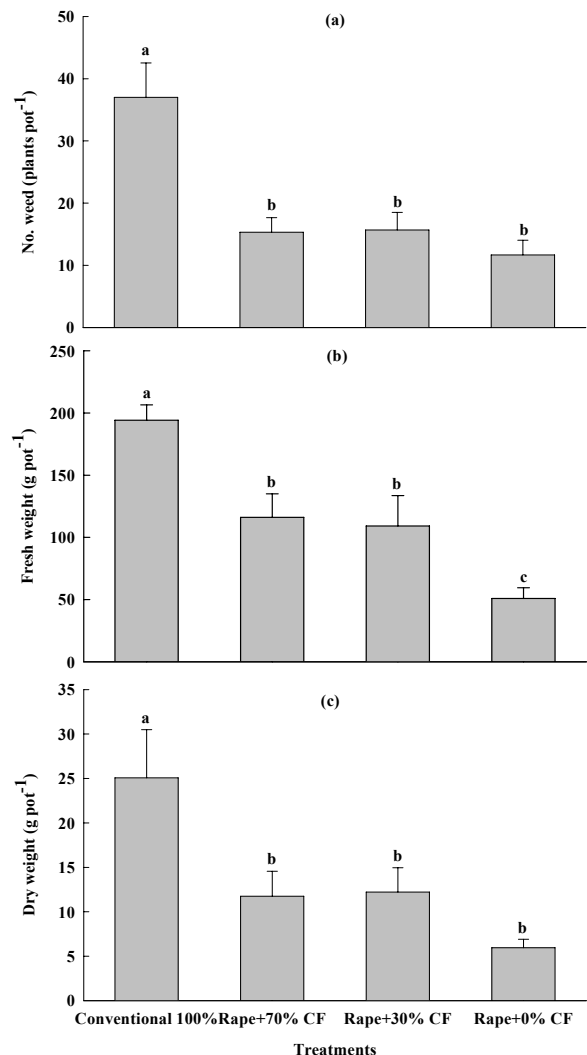


Fig. 2. Weed density and fresh and dry weights of weeds at maximum tillering stage of rice after incorporation of rape residue. Vertical error bars are standard deviation of the mean ( $n = 3$ ); and letters above error bars indicate significant differences at 0.05 probability level.

키는 효과를 가지고 있어 향후 바이오에너지 생산을 위한 유채 잔유물의 발생을 고려한다면 호남지역의 벼 재배에서 친환경농업을 위한 이용가치는 높아질 것으로 판단된다.

## 요 약

수확기 벼의 간장은 모든 처리구에서 비슷하게 생육하였으나 수장은 녹비환원구의 70% 시비구(17.5 cm)에서 관행재배구(16.4 cm)보다 촉진시켰다. 수확기 벼의 지상부 잎과 줄기의 생체중은 유채 잔유물 녹비환원구의 30% 시비구에서 관행재배구와 비슷한 수준이었다. 벼의 건물중에서도 생체중과 비슷하였으며, 녹비환원구의 70% 시비구에서는 이삭중을 19% 증가시켰다. 또한 유채 잔유물의 환원에 따른 벼의 주당 수수와 1수영화수는 관행재배구에 비해 녹비환원구의 70% 시비구에서 비슷하거나 오히려 증가하였다. 한편 벼의 등숙율은 관행재배구의 91%와 비교하여 유채 잔유물 환원구에서 낮아지는 것(79-85%)으로 나타났으나, 정조수량은 유채 잔유물 환원구의 70% 시비구에서 496.4 g/pot으로 가장 높았다. 각 처리구별 벼의 수량으로부터 산출한 수량지수는 녹비환원구의 70% 시비구에서 125.4로 관행재배구보다 수량이 증가하였다. 잡초발생량은 관행재배구에서 37본으로 가장 많았으며, 유채 잔유물 환원구에서는 11.7-15.7본으로 관행재배구보다 현저히 감소시켰다. 잡초의 건물중은 관행재배구의 25.1 g/pot에 비해 유채 잔유물 환원구의 시비량이 많은 처리구부터 각각 11.8, 12.2 및 6.0 g/pot으로 현저히 감소시키는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2009년 농업과학기술개발공동연구사업 “유채 재배 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 환경성 및 경제성 평가연구”의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 시료의 기기분석은 강원대학교 농업생명과학연구원 및 공동실험실습관의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Al-Khatib, K., Libbey, C., Boydston, R., 1997. Weed suppression with *Brassica* green manure crops in green pea, *Weed Sci.* 45, 439-445.
- Blau, P.A., Feeny, P., Contardo, L., 1978. Allylglucosinolate and herbivorous caterpillars: a contrast in toxicity and tolerance, *Science* 200, 1296-1298.
- Boydston, R.A., Hang, A., 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*), *Weed Technol.* 9, 669-675.
- Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S., McSorley, R., 2006. Green manure approaches to crop production: a synthesis, *Agron. J.* 98, 302-319.
- Choi, B., Daimon, H., 2008. Effect of hairy vetch incorporated as green manure on growth and N uptake of sorghum crop, *Plant Prod. Sci.* 11, 211-216.
- Choi, B., Hong, K.C., Nam, J.J., Lim, J.E., Lee, H.Y., Choi, Y.B., Joo, J.H., Yang, J.E., Ok, Y.S., 2009. Effect of rapeseed (*Brassica napus*) incorporated as green manure on weed growth in rice paddy: a pot experiment, *Korean J. Weed Sci.* 29, 39-45.
- Choi, B., Ohe, M., Harada, J., Daimon, H., 2008. Role of belowground parts of green manure legumes, *Crotalaria spectabilis* and *Sesbania rostrata*, in N uptake by the succeeding tendergreen mustard plant, *Plant Prod. Sci.* 11, 116-123.
- Daimon, H., Kotoura, S., 2000. Incorporation of *Crotalaria spectabilis* grown at a high seeding rate inhibits the growth of the succeeding wheat crop, *J. Agron. Crop Sci.* 185, 137-144.
- Dinnes, D.L., Karlen, D.L., Jaynes, D.B., Kaspar, T.C., Hatfield, J.L., Colvin, T.S., Cambardella, C.A., 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soil, *Agron. J.* 94, 153-171.
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P., Sarrantonio, M., 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses, *Nature* 396, 262-265.
- Dyck, E., Liebman, M., 1994. Soil fertility management as a factor in weed control: the effect of crimson clover residue, synthetic nitrogen, and their interaction on emergence and early growth of lambs-quarters and sweet corn, *Plant Soil* 167, 227-237.
- Fujii, Y., 2001. Screening and future exploitation of allelopathic plants as alternative herbicides with special reference, *J. Crop Prod.* 4, 257-276.
- Garwood, T.W.D., Davies, D.B., Hartley, A.R., 1999. The effect of winter cover crops on yield of the following spring crops and nitrogen balance in a calcareous loam, *J. Agric. Sci.* 132, 1-11.
- Goyal, S., Chander, K., Mundra, M.C., Kapoor, K.K., 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions, *Biol. Fertil. Soils* 29, 196-200.

- Jung, J.B., Yang, J.E., Kim, K.Y., Kim, K.H., Kim, J.K., Sa, D.M., Seo, J.S., Son, B.K., Eum, K.C., Lee, S.E., Jung, K.Y., Jung, D.Y., Jung, Y.T., Hyun, H.N., 2006. Soil Science, pp. 156-221, Hyangmoonsa, Korea.
- Karen, D.L., Doran, J. W., 1991. Cover crop management effect of soybean and corn growth and nitrogen dynamics in an on-farm study, *Am. J. Altern. Agric.* 6, 71-82.
- Mojrahedi, H., Santo, G., Wilson, J., Hang, A.N., 1993. Managing *Meloidogyne chitwoodi* on potato with rapeseed as green manure, *Plant Dis.* 77, 42-46.
- Muehlchen, A.M., Rand, R.E., Parke, J.L., 1990. Evaluation of crucifer green manures for controlling *Aphanomyces* root rot of peas, *Plant Dis.* 74, 651-654.
- Papavizas, G., 1966. Suppression of *Aphanomyces* root rot of peas by cruciferous soil amendments, *Phytopathology* 56, 1071-1075.
- Petersen, J., Belz, R., Walker, F., Hurle, K., 2001. Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch, *Agron. J.* 93, 37-43.
- Robertson, G.P., Paul, E.A., Harwood, R.R., 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radioactive forcing of the atmosphere, *Science* 289, 1922-1925.
- Sakala, W.D., Kumwenda, J.D.T., Saka, A.R., 2003. The potential of green manures to increase soil fertility and maize yields in Malawi, *Biol. Agric. Hort.* 21, 121-130.
- Sarrantonio, M., Scott, T.W., 1988. Tillage effects on availability of N to corn following a winter green manure crop, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1661-1668.
- Scott, J.S., Knudsen, G.R., 1999. Soil amendment effects of rape (*Brassica napus*) residues on pea rhizosphere bacteria, *Soil Biol. Biochem.* 31, 1435-1441.
- Smith, M.S., Frye, W.W., Varco, J.J., 1987. Legume winter cover crops, *Adv. Soil Sci.* 7, 95-139.
- Son, B.K., Cho, J.S., Lee, D.J., Kim, Y.J., Jin, S.Y., Cha, G.S., 2004. Paddy rice growth and yield as affected by incorporation of green barley and Chinese milkvetch, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37, 156-164.
- Vyn, T.J., Janovicek, K.J., Miller, M.H., Beauchamp, E.G., 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops, *Agron. J.* 91, 17-24.
- Yang, C.H., Yoo, C.H., Kang, S.W., Han, S.S., 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.
- Yasue, T., 1991. The change of cultivation and utilization of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) and the effect of fertilizer and soil fertility on paddy field as a green manure, *Japanese J. Crop Sci.* 60, 583-592.