

## 장기 무경운 벼 생산체계에서 토양의 이화학적, 쌀 수량 및 도정형질의 변화

홍광표\*<sup>†</sup> · 김영광\* · 정완규\* · 손길만\* · 송근우\* · 최용조\* · 최진룡\*\*

\*경상남도농업기술원, \*\*경상대학교 농업생명과학대학 농학과

## Changes in Physicochemical Properties of Soil, Yield, and Milling Quality of Rice Grown under the Long-term No-till Rice System

Kwang-Pyo Hong\*, Yeung-Gwang Kim\*, Wan-Kyu Joung\*, Gil-Man Shon\*, Geun-Woo Song\*, Yong-Jo Choi\*, and Zhin-Ryong Choe\*\*

\*Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Chinju 660-370, Korea

\*\*Department of Agronomy, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang Natl. Univ. Jinju 660-701, Korea

This experiment was conducted to evaluate the differences in physicochemical properties of soil, grain yield and milling recovery ratio and grain appearance of rice grown in long-term no-till and ordinary till systems. The paddy in no-till rice system was unploughed but straw-mulched for 15 years from 1988 to 2002 at the Experimental Paddy of Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, while the paddy in ordinary till system was ploughed and puddled every crop year. A 5 cm organic layer was formed in 11-year no-till rice system, in which exchangeable cation and phosphate were accumulated. In no-till paddy organic matter, bulk density and solid phase of surface soil significantly increased, while pH, exchangeable cation, phosphate, liquid and gaseous phase decreased. Tillage made the very top soil soft, but made deep soil below 5 cm significantly hard. In the 1st year of no-till, topsoil showed hard, but in the process of the time in no-till system, the top- and sub-soil showed softer. Yield and yield components of rice showed no differences between till- and no-till rice systems. Milling recovery ratio and grain appearance were not significantly different between no-till and till-rice systems.

**Keywords:** Rice, No-till paddy, Soil property, Organic matter, Milling recovery, Grain appearances, Yield

**일반적으로** 경운 작업은 작물의 생육을 양호하게 하기 위하여 근권을 확대하는 논갈이, 쇠토, 정지작업을 통칭하는 말이다. 논을 심경하면 작토층이 확대될 수 있고, 공극이 증대되며, 토양에 산소가 유입되어 유해가스가 배출되고, 또한 잡초 방제효과를 기대할 수 있다. 그러나, 경운 작업은 단위 면적당 노동력과 에너지 투입의 증가(홍 등, 1995)로 생산비가 증가

될 뿐만 아니라 토양의 유실을 촉진한다(Cooper, 1971; Gupta *et al.*, 1989). 무경운은 경운에 비해 토양유실이 1/3 이하로 줄어(愼과 鄭, 1993) 토양 보전에 유리하나, 토양을 무경운으로 관리할 경우 수량이 감소(허, 1994; 조 등, 1996) 될 뿐만 아니라 무경운 실시 초기에는 잡초 발생량이 많고 그 발생 양상도 대단히 복잡하다(홍 등, 1999). 또한 무경운 토양은 표층의 경도가 경운에 비하여 단단하기 때문에 벼를 이앙할 경우 결주율이 높고, 초기 생육이 더디며, 뿌리가 표층에 분포하여 쉽게 도복되는 약점이 있으나(김 등, 1993), 농촌 노동력이 부족한 현실을 감안할 때 생산비 절감을 위하여 농작업의 생력화는 피할 수 없다. 이러한 측면에서 무경운 벼 재배법은 농작업 생력화를 위한 한가지 재배법이 될 수 있다. 이를 뒷받침하기 위해 무경운 토양에서 작물재배시 양분 흡수패턴(Mallarino *et al.*, 1999; Riedell *et al.*, 2000)과 수분분포(Bonfil *et al.*, 1999)등에 관한 연구도 수행되고 있다. 이 시험은 논을 15년간 무경운으로 관리하는 동안 토양의 물리·화학성, 쌀 수량 및 미질의 변화를 경운답과 비교하였다.

### 재료 및 방법

이 시험은 1988년부터 경상남도농업기술원시험포장(진주시 초전동, 해발 25 m)에서 무경운 상태로 관리한 청원통인 미사질 양토에서 수행되었다. 무경운답의 토양관리 핵심은 논을 경운하지 않고 그 논에서 생산된 짚을 전량 환원하고, 적당한 토양수분을 유지하여 미생물에 의해 짚의 부식을 촉진하는 일이다. 이 시험에서는 벼를 콤바인으로 수확할 때 벼짚을 절단하여 지표면에 피복한 채로 월동케 하고 겨울동안 눈이나 비를 최대한 이용하여 피복된 짚이 적당한 수분을 유지하여 부식이 촉진될 수 있게 하였으며, 이듬해 4월 하순부터 2~3회 정도 관개를 실시하여 논 표면을 부드럽게 하면서 짚의 부식을 촉진시켰다. 독새풀을 포함한 월동잡초는 5월 상순에 비선

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-55-750-6217  
(E-mail) hongkp@mail.knrda.go.kr <Received February 7, 2003>

택성 제초제를 논 전면에 살포하였다.

이렇게 관리된 논에 남부지방의 벼 이앙적이인 5월 25일에 동해벼(88~99)와 대산벼(00~02)를 이앙하였다. 비료는 2000년까지 질소, 인산, 가리를 성분량으로 10a당 각각 11 kg, 7 kg, 8 kg을 시용하였으며, 2001년 이후 인산과 가리를 4.5 kg, 5.7 kg 각각 시용하였다. 질소는 기비(이앙전 2일) 50%, 분얼비(이앙후 12일)와 수비(출수전 25일) 각각 20%, 실비(출수기) 10%의 비율로 분시하였으며, 인산은 전량 기비로, 가리는 기비 70%, 수비 30%로 나누어 시용하였다. 벼 이앙후 발생하는 잡초는 이앙후 10일에 메페나셋·벤셀푸론입제를 3 kg 살포하여 방제하였다. 그 외 관리는 경상남도농업기술원 표준재배법에 준하였다.

토양의 물리성과 화학성은 매년 경운답과 무경운으로 11년간 관리한 논을 대상으로 1998년에 조사하였으며, 이들의 조사방법과 쌀 수량은 농촌진흥청 조사기준에 따랐다. 제현율은 현미기(KIYA ST50)를 이용하여 정조 1 kg을 현미상태로 만든 다음 그 중량을 秤量하였으며, 도정수율은 제현율에 92%를 곱하여 나타내었다. 쌀 품위는 현미와 백미로 나누어 조사하였는데, 현미 품위는 완전미와 청미를, 백미 품위는 현미를 백미기(SATAKE)로 75초간 도정한 후 완전미, 심복백미, 기타 품위로 나누어 조사하였다. 쌀 낱알의 모습이 3/4이상인 완전한 것을 완전미, 표면에 청색이 있는 낱알을 청미, 쌀 표면에 흰 점이 있는 것을 심복백미로 분류하여 그 비율을 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 토양 물리·화학성

무경운답은 경운작업을 하지 않으면서 매년 생산된 벼짚의 전량을 그 논에 환원하기 때문에 토양의 물리성이나 화학성이 경운답과 많은 차이가 있다. 11년 동안 무경운상태로 관리한 논의 토양 화학성을 경운답과 비교하여 표 1에 나타내었다. 시험을 시작할 무렵인 1988년과 11년 후인 1998년의 경운답 표토를 비교해 보면 유기물과 Ca, Mg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량이 높아졌고, K는 낮아졌다. 토층의 형성정도를 보면 11년간 무경운 상태로

관리한 논은 경운답과 달리 토양의 상위 5 cm정도 유기물 층이 형성되었으며, 이 층에 유기물과 인산 및 양이온이 축적되는 것을 볼 수 있었다. 무경운답의 Ap층은 경운답의 Ap층에 비하여 유기물 함량은 높았으나, pH와 양이온, 인산의 함량은 낮았다.

한편, 표 2는 지난 11년간 무경운상태로 관리한 논의 토양 물리성을 경운답과 비교한 결과를 나타내었다. 무경운답은 매년 생산된 벼짚 전량을 토양에 환원하기 때문에 유기물 층이 형성되었다. 따라서, 유기물 층은 유기물 함량이 대단히 높았기 때문에(표 1) 가비중과 고상의 비율은 다른 층에 비해 낮은 반면 액상과 기상 및 토양공극 비율은 높았다. 경운방법간에 Ap층의 물리성을 비교해 보면 무경운답에서 가비중과 고상의 비율이 높은 반면 액상과 기상의 비율은 낮았다. 무경운답에서 고상의 비율이 높다는 것은 벼 이앙시 결주율과 무묘율이 높고, 뿌리발육이 더디어 초기 생육이 저조할 가능성이 있다. 또한 AB층은 AP층과는 달리 경운답에 비해 무경운답에서 물리성이 오히려 개선되었는데, 이는 벼 뿌리와 지렁이 등 소동물에 의해 형성된 공극이 경운작업에 의해 파괴되지 않았기 때문으로 판단된다.

무경운 관리기간의 차이에 따른 토양관입저항을 그림 1에 나타내었다. 매년 경운한 논을 보면 표토는 부드러우나 토심 5 cm부터 경반층(토심 20 cm)까지 급격히 단단해지다가 그 이하에서 다시 부드러워지는 것을 볼 수 있었다. 무경운으로 1년 동안 관리한 논은 표토가 매우 단단하고 그 곳부터 경반층까지는 경운답보다 오히려 부드러웠다. 11년 동안 장기간 무경운으로 관리할 경우 전 토층 다같이 경운답보다 오히려 부드러웠다. 김 등(1993)은 무경운답에서 이앙할 경우 결주와 뜬묘의 비율이 높아진다고 하였으나, 무경운 관리기간이 길어질 경우 이앙상태는 다시 개선될 가능성이 있을 것으로 판단되었다.

### 수량구성요소 및 수량

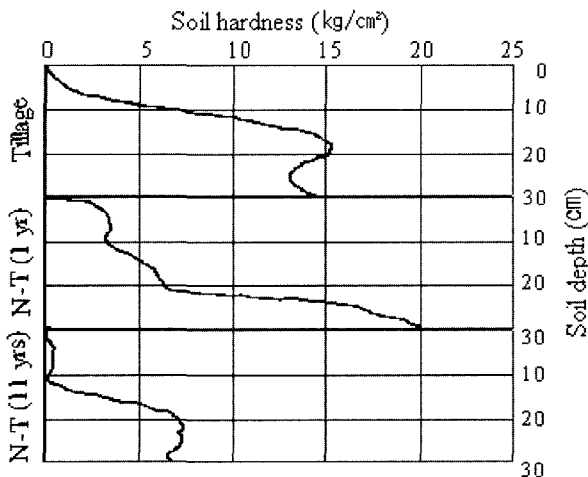
경운방법간 수량구성요소와 수량을 비교하여 표 3에 나타내었다. 무경운으로 관리한 첫해는 1988년이며, 15년째는 2002년을 뜻한다. 15년간 평균 수량구성요소와 수량을 보면 무경

**Table 1.** Comparisons of chemical properties of paddy soil subjected to 11-year no-till and till rice system.

Tillage system	Soil horizon	Soil depth (cm)	pH (1:5)	Organic matter (g/kg)	Ex. Cat.(cmol <sup>+</sup> /kg)			Av. phosphate (mg/kg)
					K	Ca	Mg	
Before experiment (1988)	-	-	5.8	9.0	0.37	2.90	0.40	107
11-year no-till rice (1998)	organic layer	+5	5.7	257.5	1.75	9.27	2.37	500
	Ap	0~19	5.4	147.9	0.20	2.78	0.56	79
	AB	19~27	6.0	15.5	0.40	5.14	1.08	86
	B	27+	6.1	12.0	0.32	4.12	1.03	9
Till rice (1998)	Ap	0~18	5.8	25.9	0.27	3.11	0.74	118
	AB	18~25	6.5	24.9	0.14	3.58	1.05	100
	B	25+	6.5	13.8	0.22	2.93	0.84	12

**Table 2.** Comparisons of physical properties of paddy soil subjected to no-till rice and till rice systems.

Tillage system	Soil horizon	Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Gaseous phase (%)	Pore space (%)
11-year no-till rice	organic layer	+5	0.75	28.2	35.5	36.3	71.8
	Ap	0~19	1.24	46.8	27.1	26.1	53.2
	AB	19~27	1.28	48.2	25.2	26.6	51.8
	B	27+	1.25	47.3	25.2	27.5	52.7
Till rice	Ap	0~18	1.05	39.5	30.9	29.1	60.5
	AB	18~25	1.37	51.5	22.3	26.1	48.5
	B	25+	1.34	50.4	24.7	24.9	49.6

**Fig. 1.** Changes in soil hardness (kg/cm<sup>2</sup>) of paddy soil subjected to one -year or 11-year no-till (N-T) and till rice system.

운답에서 수수와 입수는 적었으나, 등숙률과 천립중은 다소 높은 경향을 보였고, 수량은 5 kg/10a 적었으나 통계적인 유의성은 없었다. 그리고 경운답에 대한 무경운답의 수량의 변화 패턴은 무경운 지속기간에 따라 일정한 경향을 볼 수 없었으며, 수량변화를 초래할만한 수량구성요소의 특이한 변화도 없었다. 이러한 결과는 무경운구가 경운+로타리구에 비해 사양토나 미사질 식토에서는 수량차이가 컸으나, 미사질 양토에서는 1% 감소되었다는 허(1994)의 연구 결과 및 배수가 과다하지 않은 토양에서는 무경운을 계속해도 지장이 없다는 大森(1971)의 연구와는 대체로 일치하는 결과를 얻었으나, 무경운 직파재배 3년까지는 로타리 경운과 비슷하였으나, 4년차에는 월등히 감소되어 무경운 직파재배 3년후 1회 경운하는 것이 적절하다는 류 등(1997)의 결과와 다소 차이가 있었다. 이 시험과 다른 결과를 얻은 류 등(1997)의 연구는 벼 재배양식이 직파이기 때문에 잡초성비의 발생(김 등, 2002)과, 전년도 탈

**Table 3.** Fluctuation of grain yield and yield components of rice grown in paddy subjected to no-till and till rice system.

Cropping year	No-tillage					Tillage				
	No. of panicals per m <sup>2</sup>	No. of spikelets per m <sup>2</sup> (×1000)	Ripened ratio (%)	1,000 grain weight (g)	Yield (kg/10a)	No. of panicals per m <sup>2</sup>	No. of spikelets per m <sup>2</sup> (×100)	Ripened ratio (%)	1,000 grain weight (g)	Yield (kg/10a)
1st(1988)	319	31.9	89.0	21.3	471	333	35.4	92.1	20.2	491
2nd	317	27.1	92.0	20.0	483	306	30.7	88.0	20.0	434
3rd	321	35.1	92.4	18.7	529	320	35.2	92.8	18.9	533
4th	340	26.3	86.2	20.0	445	350	29.9	88.1	19.9	460
5th	390	28.1	66.0	17.8	458	450	32.8	78.0	17.9	473
6th	394	37.0	86.5	20.7	452	378	29.9	92.8	20.6	510
7th	305	26.7	95.2	19.3	482	309	26.1	95.5	19.1	458
8th	393	32.6	92.8	21.5	528	367	35.4	89.0	21.8	549
9th	369	32.0	83.7	19.3	629	362	32.4	78.1	18.8	642
10th	331	30.4	87.1	19.9	623	319	28.3	88.1	19.6	601
11th	286	30.9	93.3	19.9	529	312	30.8	94.5	19.5	543
12th	286	27.8	82.5	19.3	512	264	23.5	75.4	19.5	502
13th	278	24.4	84.5	20.7	513	295	26.4	77.9	20.7	527
14th	286	32.6	87.1	20.7	503	300	28.2	86.4	20.8	495
15th(2002)	321	26.6	84.3	21.9	472	324	25.9	83.0	20.9	499
Average	329	30.0	86.8	20.1	509	333	30.1	86.6	19.9	514

**Table 4.** Comparisons of milling recovery and characteristics of rice in no-till and till paddy system.

Rice systems	Milling recovery ratio (%)	Brown rice (%)			Milled rice (%)		
		Head rice	Green-kerneled rice	The others	Head rice	White core and belly rice	The others
15-year no-till	75.9	91.6	6.7	1.7	91.7a*	2.7	5.6
12-year no-till	75.3	91.5	4.2	4.3	91.3a	2.8	5.9
Till	74.8	87.0	9.0	4.0	89.0a	5.0	6.0

\* DMRT 5%

립 종자의 발아에 의한(홍 등, 1999) 벼 생육의 불균일 때문으로 추정된다.

**쌀 정백비율 및 외관특성**

무경운으로 15년 동안 관리한 논에서 생산된 쌀과 매년 경운한 논에서 생산된 쌀간의 도정 및 외관특성을 표 4에 나타내었다. 무경운으로 관리하는 기간이 길수록 도정율과 현미 및 백미의 완전미 비율이 높아지는 경향이냐 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 무경운으로 관리하는 기간이 길수록 이들 비율이 높아지는 것은 무경운답에서는 활착이 늦어 분얼이 적고, 매년 시용한 유기물이 지속적으로 벼에 양분을 공급하므로 등숙이 양호했기 때문으로 판단된다.

이상의 장기 무경운답의 토양 이화학적, 수량성, 도정 및 외관특성 등을 고려할 때 무경운답에서 벼 재배 가능성이 인정되었으며, 무경운으로 관리할 경우 처음 1~2년 동안 잡초 발생량이 많기 때문에(홍 등, 1999) 방제를 철저히 하고, 표토가 단단한 점을(그림 1) 감안하고 결주가 많이 발생할 가능성에 대비하여 이앙기를 깊게 심기도록 조절한다면 무경운답에서도 안전재배가 가능할 것으로 판단되었다.

**적 요**

이 시험은 논을 무경운으로 15년간 관리한 상태에서 토양의 변화, 벼 수량구성요소와 수량 및 미질을 경운답에서의 그 것과 비교한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 토층의 형성정도를 보면 11년간 무경운상태로 관리한 논은 토양 상층에 5 cm 정도의 유기물층이 형성되었으며, 이 층에 유기물을 비롯한 양이온과 인산이 집적되었다.
2. 무경운답의 작토층은 경운답의 작토층에 비하여 유기물 함량은 높으나, pH와 양이온, 인산의 함량이 낮았으며, 가비중과 고상의 비율이 높은 반면 액상과 기상의 비율은 낮았다.
3. 경운답은 표토는 매우 부드러우나 토심 5cm정도부터 급격히 단단해 지는 것에 비해 무경운 1년답에서는 표토가 매우 단단하였으나, 무경운으로 관리하는 기간이 길어짐에 따라 표토는 물론이고 경반층 이하에서도 부드러워졌다.
4. 수량구성요소와 수량을 보면 입수, 등숙률, 천립중 다같이 경운방법간에 비슷하였으며, 수량은 유의적인 차이가 인정

되지 않았다. 또한 무경운 연속재배에 따른 수량의 변화패턴은 일정한 경향을 볼 수 없었다.

5. 쌀의 도정 및 품위특성을 보면 무경운답과 경운답에서 생산된 쌀간에 차이가 없었다.

**인용문헌**

Bonfil, D.J., I. Mufradi, S. Klitman, and S. Asido. 1999. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agron. J.* 91 : 368~373.

조현준, 조인상, 현병근, 신제성. 1996. 경운방법의 차이가 토양물리성과 직파벼 생육에 미치는 영향. *한토비지* 28(4) : 301~305.

허봉구. 1994. 토성별 경운방법이 벼 수량과 토양특성에 미치는 영향. *한작지* 38(3) : 290~295.

Hong, K.P., J.Y. Kim, D.J. Kang, and Z.R. Choe. 1995. Energy efficiency of different farming practices and tillage methods in rice. *RDA J.* 37(2) : 676~680.

Hong, K.P., J.Y. Kim, D.J. Kang, and W.K. Shin. 1999. Weed occurrence and control in no-tilled paddy and in simultaneous rice seedling with barley harvest. *Kor. J. Weed Sci.* 19(1) : 15~20.

Kim, J.Y., Y.S. Lee, K.P. Hong, B.J. Lee, G.M. Shon, Y.J. Choi, and Z.R. Choe. 1993. Effects of direct sowing and mechanical transplanting on the growth of rice in no-tillage paddy rice system. *Crop Production and Improvement Technology in Asia* 73~82.

김상열, 문병철, 박성태, 신상욱, 양세준, 김순철. 2002. 벼 무경운 건답 직파재배시 비선택성 제초제 처리에 따른 독새풀 및 잡초성벼 방제효과. *한잡초지* 22(4) : 343~349.

Mallarino, A.P., J.M. Bordoli, and R. Borges. 1999. Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield. *Agron. J.* 91 : 37~45.

大森正. 1971. 水稻不耕起直まき栽培と土壤物理性について. *土壤の物理性* 25 : 19~23.

Raji, I.Y., C.S. John, and G.B. Donald. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage system. *Agron. J.* 91 : 928~933.

Riedell, W.E., D.L. Beck, and T.E. Schumacher. 2000. Corn response to fertilizer placement treatments in an irrigated no-till system. *Agron. J.* 92 : 316~320.

류철현, 신복우, 정지우, 한상수, 김성조, 한성수. 1997. 경운방법에 따른 논토양의 이화학적 변화. *한토비지* 30(2) : 140~145.

Sean, C.M., R.H. William, S. Carol, and M.S. Kate. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agron. J.* 90 : 662~671.