

한국 중부지역에서 우분의 연용이 유기 벼의 생산성 및 유기 볏짚의 사료가치, 가축사육능력에 미치는 영향

박상수* · 노진환** · 이희충** · 김윤중** · 이주삼***

The Effect of Continuous Use of Cow Manure on Productivity of Organic Rice and Feed Value, Stock Carrying Capacity of Organic Rice Straw in Central Region of Korea

Park, Sang-Soo · Noh, Jin-Hwan · Lee, Hee-Choong ·
Kim, Yoon-Joong · Lee, Ju-Sam

This experiments was conducted to investigate the influence on organic rice cultivation by continuous use of cow manure in the central region of Korea and investigated productivity of organic rice and feed value, stock carrying capacity of organic rice straw. In the results, application of chemical fertilizer showed higher one of 1st and 2nd year in fresh matter yield (15.77, 30.30ton/ha), dry matter yield (9.90, 13.89 ton/ha), dry matter yield of rice straw (4.88, 7.15ton/ha), dry matter weight of kernel per plant (29.81, 39.99g) and number of kernel per plant (1212.58, 1701units), but there were not significantly differences with each experimental plots in 3rd year. And harvest index showed higher one in application of chemical fertilizer (0.52, 0.48, 0.43) until 3 years. But their quantitative difference between application of chemical fertilizer and cow manure was gradually decreased each year. And the average value of K_{CP} and K_{TDN} showed higher one in application of chemical fertilizer (2.01, 2.94, 1.95 head/ha/yr) until 3 years. However, quantitative difference between chemical fertilizer and cow manure was gradually decreased each year. Especially, application of cow manure showed higher value of 3rd year in K_{ME} , but there was not significantly difference with each experimental plots. According to the results, continuous use of cow manure will be reduced their quantitative differences between chemical fertilizer as the year progress in the central region of Korea in terms of productivity of organic rice and feed value, stock carrying capacity of organic rice straw.

Key words : *rice, cow manure, productivity, feed value, stock carrying capacity*

* 일본 지바대학 원예학연구과 박사과정

** 연세대학교 과학기술대학 생명과학기술학부

*** Corresponding author, 연세대학교 과학기술대학 생명과학기술학부(vermilee@hanmail.net)

I. 서 론

최근 우리나라는 식생활의 서구화로 인해 국민 1인당 쌀의 소비량은 식생활의 서구화 영향으로 인해 1997년 102.41g에서 2012년도에는 69.8kg까지 감소되었고 재배면적은 84만 9천ha(2012년)로 축소되어 쌀 자급율은 83%에 불과한 실정이다(MAFR, 2012). 특히 해외에서 일정량의 농축산물을 수입해야 하는 상황에서, 외국의 값싼 쌀과의 경쟁을 위하여 친환경 농업을 통한 질 좋은 유기농 쌀을 생산하는 중소농가가 증가하고 있는 추세이다(Kim and Lee, 2004).

또한 국민들의 자연 지향적 의식 변화로 인해 보다 안전한 먹을거리를 원하는 방향으로 바뀌면서 농산물 안전성 조사를 받는 품목 및 건수는 매년 증가하는 추세이며, 친환경 농업을 선호하는 농가도 매년 증가하고 있다(MAFR, 2012). 친환경농업은 매년 증가되고 있는 가축분뇨 처리 및 경종농가의 화학비료 비용절감 효과를 동시에 얻을 수 있는 이점이 있기 때문에 현재 활발하게 연구 중인 자원 순환형 농업의 시발점으로 작용할 수 있다(MAF, 2006).

특히 조사료의 경우, 유기재배에 있어 지속적인 우특히 조사료의분의 사용은 토양의 유기물 축적뿐만 아니라, 분해되기 어려운 유기태 질소의 지속적인 무기화에 의한 토양의 양분공급능력의 확대가 가능하다는 연구가 많이 진행되었다(Dilz et al., 1980; Lund et al., 1980; Wolf et al., 1989). 현재 안전한 유기 가축분을 연용 함으로써 일정수준의 토양비옥도 증진을 통한 쌀의 생산량 증대에 관한 많은 선행연구들이 이루어졌다(Lee et al., 1999; Cho et al., 2002; Park et al., 2008).

따라서 본 시험에서는 유기 우분의 연용이 중부지방에서 벼의 생육특성, 수량 및 벼짚의 사료가치, 가축사육능력에 미치는 영향을 조사하였으며 또한 우분 연용 및 화학비료 사용에 따른 연도별 생산량 및 벼짚의 가축사육능력의 변화를 비교 검토하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 2008년 5월부터 2010년 10월까지 강원도 원주시 귀래면 용암리 소재 시험포장에서 실시되었으며, 공시초종은 2008-2009년은 추청, 2010년은 찰벼를 각각 이용하였다. 모내기는 2008년 5월 30일, 2009년 5월 27일, 2010년 5월 24일에 각각 실시하였으며 재식밀도 594cm²(33cm×18cm)로 식재하였다.

토양시료는 105℃ 열풍건조기에서 24시간 이상 건조시킨 후 20mesh 표준체를 통과한 것을 이화학성 분석용 시료로 사용하였다. 토양분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 2010)에 준하여 실시하였다. pH는 pH meter(Fisher Scientific AB15, USA)로 측정하였고, 전기전도도

(EC)는 conductivity meter(Fisher Scientific AB30, USA)로 측정하였다. 유기물 함량(OM)은 시료를 550°C의 전기로에서 3시간 태운 후 남은 조회분량으로 구하였고, 전질소 함량(TN)은 kjeldahl 법(J.P SELECT s.a. Model PRO-NITRO II, Espana)으로 구하였다. 총 탄소함량(TC)은 (건물량-조회분량)/1.8의 값으로 구하였고, 탄질율(C/N)은 총 탄소 함량과 전 질소함량의 비율로 구하였다. 유효인산함량(Avail. P₂O₅), 양이온치환능력(CEC) 및 치환성 양이온함량(Ex. cation)은 Lancaster법에 준하여 토양분석 분광광도계(Hanson UV/Visible spectrophotometer Model KA-P, Korea)를 사용하여 측정하였다. 시험 포장 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. pH는 1년차 5.23에서 3년차 5.81로 증가하였고, 유기물 함량은 1년차 7.00%, 2년차 3.42%, 3년차 4.32%를 보였다. 전 질소함량은 1, 2년차 0.22%, 3년차 0.21%를 보였으며, 유효인산 함량은 1년차 289.20mg/kg, 2년차 218.07mg/kg, 3년차 254.73mg/kg이었다. 또한 cation exchange capacity(CEC)는 1년차 10.62cmol(+)/kg에서 3년차 11.86cmol(+)/kg으로 증가하였다.

Table 1. Chemical properties of paddy soil before the experiment

Treatment	pH (1:5)	OM (%)	EC (ds/m)	TN (%)	C/N ratio	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmol(+)/kg)	Ex.cation (cmol(+)/kg)		
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
2008	5.23	7.00	0.011	0.22	10.15	289.20	10.62	3.62	0.16	0.23
2009	5.79	3.42	0.018	0.22	7.76	218.07	11.10	5.13	0.51	0.24
2010	5.81	4.32	0.015	0.21	9.59	254.73	11.86	4.38	0.29	0.28

pH: potential of hydrogen, OM: organic matter, EC: electrolytic conductivity, T-N: total nitrogen, C/N: carbon-nitrogen ratio, P₂O₅: available phosphorus, CEC: cation exchange capacity and Ex.cations: exchangeable cations

공시 우분은 강원도 횡성 소재 유기낙농농가(범산목장)의 우분으로 퇴비사에서 6개월간 발효시킨 것을 사용하였다. 우분의 특성상 시용 후 식물체가 바로 이용할 수 있는 질소는 55% 정도이므로(Joop and Steenvoorden, 1989), 이를 기준으로 1년차에는 질소 기준 150kg N/ha를 전량을 기비로 시용하고, 2, 3년차에는 1년차에 시용했던 우분 중 1년 안에 분해되기 어려운 질소들이 분해되어 이용할 수 있을 것으로 예상하여 100kg N/ha를 전량 기비로 시용하였다. 대조구로서 화학비료 시용구는 질소 100kg/ha, 인산 50kg/ha, 칼리 70kg/ha를 매년 전량 기비로 시용하였다. 공시 우분의 화학적 특성은 Table 2와 같다. pH는 8.50~8.95 범위의 알칼리성이었고, 전 질소함량은 1.04%~1.82%의 범위를 나타내었다. 유효인산 함량은 321.73mg/kg~1290.35mg/kg의 범위였고, CEC는 34.78~42.40cmol(+)/kg의 범위를 나타내었다.

Table 2. Chemical properties of cow manure

Treatment	pH (1:5)	OM (%)	EC (ds/m)	TN (%)	C/N ratio	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmol(+)/kg)	Ex.cation (cmol(+)/kg)		
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
2008	8.50	75.6	0.44	1.73	25.35	1290.35	34.78	10.15	3.30	3.76
2009	8.95	81.7	0.83	1.04	51.84	321.73	42.40	4.23	2.33	3.02
2010	8.83	79.4	1.76	1.82	25.28	797.91	41.12	10.33	2.60	5.66

pH: potential of hydrogen, OM: organic matter, EC: electrolytic conductivity, T-N: total nitrogen, C/N: carbon-nitrogen ratio, P₂O₅: available phosphorus, CEC: cation exchange capacity and Ex.cations: exchangeable cations

예취 시기는 2008년 9월 27일, 2009년 10월 5일, 2010년 9월 27일에 각각 실시하였다. 재식밀도 내의 초장 및 생초수량을 조사하였고, 건물수량은 70°C 순환식 송풍건조기에서 72시간 건조 후 무게를 측정하여 구하였다. 건조된 시료는 벧짚과 알곡을 분리한 후 벧짚은 전기 mixer로 분쇄하여 2mm 표준체를 통과한 것으로 식물체 분석을 실시하였으며, 알곡은 각 개체 당 개수 및 건물 중을 조사하였다.

조단백질 함량(CP)은 A.O.A.C(1990)에 의거하여 분석하였으며, total digestible nutrients (TDN)은 공식 『88.9-[acid detergent fiber(ADF, %) \times 0.79]』에 의하여 구하였다(Anon, 1973). 한편 얻어진 CP와 TDN을 건물수량과 곱하여 단위면적당 CP yield와 TDN yield를 구하였다. ADF와 neutral detergent fiber(NDF)는 Goering and Van soest(1970) 방법에 의하여 분석하였고, ADF와 NDF 함량을 이용하여 dry matter digestibility(DMD) 및 dry matter intake(DMI)는 Linn and Martin(1989)의 계산식 『88.9-[ADF(%) \times 0.779]』, 『120/NDF(%)』을 이용하여 구하였고, RFV는 Holland 등(1990)의 계산식 『DMD(%) \times DMI(%) \div 1.29』에 의하여 구하였다. 총에너지(GE)는 bomb calorimeter(parr-6200)로 구하였고, DE와 ME는 공식 『GE \times DMD(%)』, 『DE \times 0.82』를 이용하여 구하였다(Meng et al., 2005). 단위 면적당 가축사육능력 평가에서 K는 Loomis and Connor(1998)의 공식에 의하여 구하였고 K_{CP}, K_{TDN}, K_{ME}는 한우사양표준(NIAS, 2007)에 의거 한우 암소 육성우 350kg, 일일 증체 0.4kg 목표로 하는 경우 CP요구량(540g/일), TDN요구량(4.12kg/일) 및 ME요구량(14.9Mcal/일) 중 조사료로 70% 급여할 시에 필요로 하는 CP, TDN, ME수량을 구하여 계산하였다(농림부, 2006; Park, 2012).

통계처리는 SAS 9.1을 이용하여 유의성 검정을 실시하였으며, 처리구 평균간 비교는 5% 수준의 최소유의차 검정(LSD)으로 하였다.

실험기간 중 원주지방의 평균기온은 Table 3과 같다. 평균온도는 예년보다 각각 1.3, 0.8, 1.5°C 높았고, 강수량은 2008년은 274.2mm가 적었으며, 2009, 2010년은 각각 23.7, 77.7mm가 많았고, 일조시간은 각각 32, 18.3, 49.1시간이 적었다.

Table 3. Meteorological data at won-ju area (2008~2010)

Month	Temperature (°C)					Precipitation (mm)					Duration of sunshine (Hour)			
	N ¹⁾	08	09	10		N	08	09	10		N	08	09	10
May	17.2	17.5	18.4	17.8		93.8	78.1	111.1	78.0		225.1	194.4	211.4	189.8
June	21.7	21.1	22.4	23.4		147.7	100.0	95.0	86.6		197.9	138.5	166.0	173.8
July	24.5	26.0	24	26.1		360.2	383.5	602.8	174.8		154.1	81.2	102.0	93.2
August	24.7	24.6	25.1	27.1		287.8	160.5	208.8	269.9		175.4	181.1	160.9	93.9
September	19.4	21.0	20.6	21.1		167.1	86.6	50	550.2		180.2	165.5	186.4	138.1
October	12.6	17.5	14.2	13.7		49.9	23.6	62.5	24.7		193.0	173.1	189.0	142.0
Mean	20.0	21.3	20.8	21.5	Sum	1106.5	832.3	1130.2	1184.2	Mean	187.6	155.6	169.3	138.5

¹⁾ N: mean data for 30 years.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 생육결과

유기 비의 연도별 생육결과는 Table 4와 같다.

초장은 3년 모두 화학비료 시용구(91.1, 90.58, 92.33cm)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 생 초수량, 건물수량 및 벚짚의 건물수량은 1, 2년차에는 화학비료 시용구(15.77, 30.30ton/ha / 9.90, 13.89ton/ha / 4.88, 7.15ton/ha)가 유의하게 높았으나(p<0.05), 3년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다. 특히 3년차에서 우분시용구의 벚짚의 건물수량은 4.95ton/ha으로 화학비료 시용구의 건물수량과는 유의한 차이가 없었다. 또한 개체 당 낱알의 건물 중 및 개수 역시 1, 2년차에는 화학비료 시용구(29.81, 39.99g / 1212.58, 1701개)가 유의하게 높았으나(p<0.05), 3년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다. 수확지수는 3년 모두 화학비료 시용구가 유의하게 높았다(p<0.05).

생초 및 건물수량, 벚짚의 건물수량, 개체 당 낱알의 건물 중 및 개수, 수확지수 모두 1, 2년차에 비해 3년차에는 각 시험구 간의 차이가 조금씩 줄어들었으며, 유의한 차이는 없었다. Dilz et al.,(1980), Lund et al.,(1980), Wolf et al.,(1989)은 조사료의 유기재배에 있어 지속적인 우분의 시용은 토양의 유기물 축적뿐만 아니라, 분해되기 어려운 유기 태 질소의 지속적인 무기화에 의한 토양의 양분공급능력의 확대가 가능하다고 하였는데, 우분의 연용에 따른 화학비료 시용구와의 차이가 점차 줄어든 우분 시용구의 결과를 뒷받침 해주고 있다.

Table 4. Agronomical characteristics of rice in 3 years

Treatment		¹⁾ PL (cm)	²⁾ FW (ton/ha)	³⁾ DM (ton/ha)	⁴⁾ DMRW (ton/ha)	⁵⁾ DWK/PI (g)	⁶⁾ NK/PI	⁷⁾ HI
2008	CF	91.17 ^a	15.77 ^a	9.90 ^a	4.88 ^a	29.81 ^a	1212.58 ^a	0.52 ^a
	CM	73.92 ^b	10.04 ^b	6.16 ^b	3.26 ^b	17.24 ^b	692.08 ^b	0.47 ^b
LSD(p<0.05)		2.83	3.82	1.88	0.84	2.38	132.64	0.02
2009	CF	90.58 ^a	30.30 ^a	13.89 ^a	7.15 ^a	39.99 ^a	1,701 ^a	0.48 ^a
	CM	81.08 ^b	24.13 ^b	10.06 ^b	5.75 ^b	25.60 ^b	1,150 ^b	0.43 ^b
LSD(p<0.05)		3.39	5.04	2.23	0.78	7.04	315.8	0.03
2010	CF	92.33 ^a	20.48	8.41	4.84	21.27	904.92	0.43 ^a
	CM	78.33 ^b	18.66	8.14	4.95	18.92	788.67	0.39 ^b
LSD(p<0.05)		10.83	NS	NS	NS	NS	NS	0.03

¹⁾PL: plant length, ²⁾FW: fresh weight, ³⁾DM: dry matter yield, ⁴⁾DMRW: dry matter yield of rice straw, ⁵⁾DWK/PI: dry matter weight of kernel / Plant, ⁶⁾NK/PI: number of kernel / Plant and ⁷⁾HI: harvest index
CF: chemical fertilizer and CM: cow manure

^{a-b} Values with different superscripts in the same column significantly differ by LSD test. 5% level, NS: not significant difference

또한, 대조구인 화학비료 시용구의 결과를 보면 1, 3년차의 수량이 2년차보다 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이러한 현상이 일어난 이유 중 하나가 바로 2008, 2010년의 고온현상 및 일조시간의 부족으로 인해 감소하였다고 판단할 수 있다. Seo et al.(2010)은 강원지역에서 벼의 호흡소모계수가 평년에 비해 0.07 높아졌는데, 특히 생식생장기인 7월에 0.13으로 증가 폭이 가장 컸으며, 이는 고온에서 호흡이 증가하고 일조시간 부족으로 건물생산량이 낮아질 수 있다고 하였다. 또한 Shim et al.(2008)은 벼 등숙기간의 일조시간 감소와 기온상승으로 기후생산력지수는 오히려 낮아져, 우리나라 주변의 최근 기상환경이 벼 생산성에는 불리하게 작용하는 것으로 분석하였는데, 이는 대조구인 화학비료 시용구의 1, 3년차의 식물 1개체 당 낱알의 건물 중 및 건물수가 2년차에 비해 적은 이유 중 하나가 2008, 2010년의 일조시간 감소율(17.06, 26.17%) 및 기온 상승(6.5, 7.5%)이 2009년의 일조시간 감소율(9.75%) 및 기온 상승률(4%)보다 높았기 때문인 것으로 판단할 수 있는 중요한 자료로 볼 수 있다.

2. 사료가치 평가

유기 벧짚의 연도별 사료가치는 Table 5, 양분수량은 Table 6과 같다.

Table 5. Feed values of rice straw in 3 years

Treatment		¹⁾ CP (%)	²⁾ TDN (%)	³⁾ NDF (%)	⁴⁾ ADF (%)	⁵⁾ DMD (%)	⁶⁾ DMI (%)	⁷⁾ RFV	⁸⁾ GE (MJ/kg)	⁹⁾ ME (Mcal/ton)
2008	CF	4.11	50.22	76.70	42.93	55.45	1.57	67.38	15.18 ^a	1651.13 ^a
	CM	3.12	54.98	74.83	48.97	50.75	1.60	63.10	14.99 ^b	1492.04 ^b
LSD(p<0.05)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.15	65.48
2009	CF	4.20	54.48	68.00	43.57	54.96	1.77	75.20 ^b	16.30 ^b	1748.66 ^a
	CM	4.78	56.43	67.83	41.10	56.88	1.77	78.01 ^a	16.54 ^a	1836.68 ^b
LSD(p<0.05)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.08	0.16	41.84
2010	CF	4.08	53.94	73.39	44.26	54.42	1.64	68.98 ^b	15.05 ^a	1607.42
	CM	3.27	55.63	72.12	42.11	56.10	1.66	72.36 ^a	14.67 ^b	1598.53
LSD(p<0.05)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	2.39	0.30	NS

¹⁾ CP: crude protein, ²⁾ TDN: total digestible nutrients, ³⁾ NDF: neutral detergent fiber, ⁴⁾ ADF: acid detergent fiber, ⁵⁾ DMD: dry matter digestibility, ⁶⁾ DMI: dry matter intake, ⁷⁾ RFV: relative feed value, ⁸⁾ GE: gross energy and ⁹⁾ ME: metabolizable energy

CF: chemical fertilizer and CM: cow manure

^{a-b} Values with different superscripts in the same column significantly differ by LSD test. 5% level, NS: not significant difference

조단백질 함량은 1, 3년차에는 화학비료 시용구(4.11, 4.08%)가, 2년차에는 우분 시용구(4.78%)와 유의차는 없었다. 우분 시용구의 TDN 함량은 1, 2, 3년차에서 각각 54.98, 56.43, 55.63%를 나타내어 화학비료 시용구와는 유의차는 없었다. NDF 함량은 1, 3년차에는 화학비료 시용구가 각각 4.11, 4.08%로 우분 시용구와는 유의차가 없었고, 2년차에는 우분 시용구가 4.78%로 화학비료 시용구와는 유의차가 없었다. ADF 함량은 1년차의 우분 시용구가 48.97%로 화학비료 시용구와 유의차가 없었고, 2, 3년차에서는 화학비료 시용구가 각각 43.57%와 44.26%를 나타내어 우분 시용구와는 유의차가 없었다. DMD는 1년차에는 화학비료 시용구가 55.45%를 나타내었지만 우분 시용구와는 유의차가 없었고, 2, 3년차에서는 우분 시용구가 56.88%와 56.10%를 나타내어 화학비료 시용구와는 유의차는 없었다. DMI는 1, 3년차에는 우분 시용구가 1.60%와 1.66%였지만 화학비료 시용구와는 유의차가 없었고, 2년차에는 화학비료시용구와 우분 시용구 모두 1.77%로 같은 값을 나타내었다. 상대 사료가치(RFV)는 1년차에서 화학비료 시용구가 67.38을 나타내었지만, 우분 시용구와는 유의차가 없었고, 2, 3년차에는 우분 시용구가 각각 78.01%와 72.36%를 나타내어 화학비료 시용구보다 유의하게 높았다(p<0.05). GE는 1, 3년차에는 화학비료 시용구(15.18, 15.05MJ/kg)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 2년차에는 우분 시용구(16.54MJ/kg)가 유의하게 높았다(p<0.05). ME는 1, 2년차에는 화학비료 시용구(1651.13, 1748.66Mcal/ton)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 3

년차에는 화학비료 시용구가 15.05MJ/kg를 나타내었지만 우분 시용구와는 유의차가 없었다.

Table 6. Nutrient yields of rice straw in 3 year

Treatment		CP ¹⁾ yield (ton/ha)	TDN ²⁾ yield (ton/ha)	ME ³⁾ yield (Mcal/ha)
2008	CF	0.20 ^a	2.69 ^a	8.06 ^a
	CM	0.10 ^b	1.63 ^b	4.86 ^b
LSD(p<0.05)		0.03	0.41	1.30
2009	CF	0.30	3.90 ^a	12.51 ^a
	CM	0.28	3.25 ^b	10.56 ^b
LSD(p<0.05)		NS	0.45	1.50
2010	CF	0.20 ^a	2.61	7.74
	CM	0.16 ^b	2.75	7.95
LSD(p<0.05)		0.03	NS	NS

¹⁾ CP: crude protein, ²⁾ TDN: total digestible nutrients and ³⁾ ME: metabolizable energy

CF: chemical fertilizer and CM: cow manure

^{a-b} Values with different superscripts in the same column significantly differ by LSD test. 5% level, NS: not significant difference

CP 수량은 1, 3년차에는 화학비료 시용구(0.20, 0.20ton/ha)가 유의하게 높았으나(p<0.05), 2년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다. 또한 TDN 수량은 1, 2년차에는 화학비료 시용구(2.69, 3.90ton/ha)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 3년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다. ME 수량 역시 1, 2년차에는 화학비료 시용구(8.06, 12.51ton/ha)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 3년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다.

3. 가축사육능력 비교

유기 벧짚의 연도별 가축사육능력은 Table 7과 같다.

가축사육능력은 단위면적당 생산되는 조사료의 에너지수량과 양분수량을 기준으로 적정 가축사육두수를 추정하는 방법으로 작물 → 가축이 연계된 유기경축순환농업에서 물질순환을 평가할 수 있는 중요한 기준이 된다(Lee, 2009). 총에너지(GE)를 기준으로 한 가축사육능력(K)은 1, 2년차에는 화학비료 시용구(0.53, 1.52head/ha/yr)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 3년차에는 우분 시용구가 1.02head/ha/yr였지만 각 시험구 간 유의차는 없었다. K_{CP}는 화학비료 시용구가 1, 3년차에서 우분 시용구보다 유의하게 높았다(p<0.05). K_{TDN}은 1, 2년차에는 화학비료 시용구(5.17, 7.19head/ha/yr)가 유의하게 높았으며(p<0.05), 3년차에서는 시험구

간 유의차는 없었다. K_{ME} 는 1, 2년차에는 화학비료 시용구(2.12, 3.29head/ha/yr)가 유의하게 높았으며($p<0.05$), 3년차에서는 시험구 간 유의차는 없었다. K_{CP} 와 K_{TDN} 값의 평균으로 본 가축사육능력은 3년 모두 화학비료 시용구(2.01, 2.94, 1.95head/ha/yr)가 높았지만, 각 시험구 간의 차이는 점점 줄어드는 경향을 보였다. 조사료의 양분수량을 기준으로 한 단위면적당 가축사육능력의 평가는 조사료의 급여비율에 따른 적정 사육가능두수의 추정이 가능하고, 가축에게 공급되는 양분균형을 파악할 수 있어 조사료 생산의 문제점을 도출할 수 있으며, 경축연계시스템에서 가축사육능력을 기준으로 한 양분수지의 평가가 가능하다는 장점이 있다(Lee, 2009). Park(2012)에 의하면 K_{ME} 값은 K_{CP} 와 K_{TDN} 의 평균값과 양의 상관관계(0.885)를 갖는다고 하였으며, 이는 에너지수량에 의한 평가방법도 영양수량에 의한 평가방법과 같이 단위면적당 가축사육능력을 평가할 수 있는 하나의 방법으로 이용할 수 있다고 하였다.

Table 7. Stock carrying capacity of rice straw in 3 years

Treatment		K^1 (head/ha/yr)	K_{CP}^2 (head/ha/yr)	K_{TDN}^3 (head/ha/yr)	K_{ME}^4 (head/ha/yr)	Mean ($K_{CP}+K_{TDN}$)
2008	CF	0.53 ^a	1.46 ^a	2.55 ^a	2.12 ^a	2.00
	CM	0.37 ^b	0.73 ^b	1.55 ^b	1.28 ^b	1.14
LSD($p<0.05$)		0.09	0.19	0.39	0.34	
2009	CF	1.52 ^a	2.18	3.70 ^a	3.29 ^a	2.94
	CM	1.36 ^b	1.99	3.08 ^b	2.77 ^b	2.54
LSD($p<0.05$)		0.09	NS	1.02	0.39	
2010	CF	1.00	1.42 ^a	2.48	2.03	1.95
	CM	1.02	1.17 ^b	2.61	2.09	1.89
LSD($p<0.05$)		NS	0.25	NS	NS	

1)
$$K = \frac{K_c \cdot K_d \cdot GE \cdot P}{DE \text{ or } DE_y}$$
 (Loomis and Connor, 1998)

K_c : fraction consumed

K_d : fraction digested

GE: gross energy content of the feed(MJ/kg)

P: net production(kg/ha)

DE or DE_y : daily or annual requirements(MJ/head)

2), 3), 4) Korean cattle (Female) 350kg, ADG 0.4kg, Requirement of TDN (4.12kg), CP (540g) and ME (14.90MCal) per day, supplied to 70% by forage crops

CP: crude protein, TDN: total digestible nutrients and ME: metabolizable energy

CF: chemical fertilizer and CM: cow manure

^{a-b} Values with different superscripts in the same column significantly differ by LSD test. 5% level, NS: not significant difference

또한 K값은 K_{CP} , K_{TDN} 및 K_{ME} 값에 비해 전체적으로 상당히 낮은 값을 나타내었는데 이는 방목 위주의 조방적인 축산경영에 알맞은 평가기준이기 때문으로 판단된다(Loomis and Connor, 1998). 현재 우리나라와 같은 집약적인 작부체계 형태에서 조사료 생산을 목적으로 하기 때문에 가축에 대한 양분요구도(animal demand)에 의거한 단위면적 당 가축사육능력을 평가하는 것이 바람직하다 판단된다(MAF, 2006).

IV. 적 요

본 실험은 중부지방에서 벼 재배 시 유기 우분의 연용과 화학비료 시용이 유기 벼의 생산성, 벼짚의 사료가치 및 가축사육능력에 미치는 영향을 조사하였고, 결과를 요약하면 다음과 같다.

유기 벼의 생초수량, 건물수량, 식물 1개체 당 낱알의 건물 중 및 개수는 1, 2년차에는 화학비료 시용구가 유의하게 높았으나($p < 0.05$), 3년차에는 각 시험구 간 유의차는 없었다. 또한 수확지수는 3년 모두 화학비료 시용구가 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 해가 거듭할수록 각 시험구 간의 차이가 약간 줄어드는 경향을 보였다. 또한 단위면적당 가축사육능력은 K_{CP} 와 K_{TDN} 의 평균값으로 비교해 보았을 때, 화학비료 시용구가 높은 값을 보였고, 각 시험구 간의 차이는 점점 줄어드는 경향을 보였다. 특히 K_{ME} 의 경우 3년차에 우분 시용구가 유의한 차이는 없었지만 높은 값을 보이기도 하였다.

이상의 결과로 볼 때 중부 지방에서 유기 벼 재배 시 우분을 연용 했을 경우, 처음 1, 2년은 화학비료를 시용했을 때 보다는 수량이 낮았지만 3년차부터는 화학비료를 시용했을 때와의 격차가 줄어들기 시작하였으며, 추후 우분을 연용한다면 그 격차는 더욱 줄어들 것으로 판단된다.

[논문접수일 : 2013. 5. 12. 논문수정일 : 2013. 6. 1. 최종논문접수일 : 2013. 6. 13.]

Reference

1. Anon. 1973. Rondup(R) herbicides formulation of isopropylamine salt of glyphosate (N-phosphonomethylglycine). Postmergence herbicide. Monsanto Agric. Div., St, Louis. Missouri. Tech. Bull. Mon0573-2-73.
2. A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical

Chemists. Washington D.C.

3. Briggles, L. W. 1959. Growing Rye. USDA Farmers' Bull. No. 2146.
4. Cho, H. S., K. W. Chang, C. G. Kim, J. H. Seo, and S. J. Kim. 2002. Marginal application time of pig manure before rice transplanting in paddy field. J. of KOWREC. 10(2): 59-64.
5. Dilz, K., K. J. Postmus, and W. H. Prins. 1990. Residual effect of long term applications of farmyard manure to silage maize. Fertilizer Research. 26:249-252.
6. Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. USDA Agric. handbook No. 379, Washington, D.C.
7. Holland. C., W. P. Kezar, E. J. Lazowski, W. C. Mahanna, and R. Reinhart. 1990. Pioneer forage manual : A Nutritional Guide, Pioneer Hi-Bred International, Inc. pp. 1-55.
8. Jo, I. H. 2006. The effect of application of cattle slurry on dry matter yield and feed values of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) in uncultivated rice paddy. Korean Journal of Organic Agriculture. 14(1): 69-83.
9. Joop, H. A. and M Steenvoorden. 1989. Dairy manure management. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, New York 14853. NRAES-31.
10. Lee, J. S. 2009. Studies on roughage production and their use enlargement. Korean Institute of Livestock Administration.
11. Kim, J. H. and B. H. Lee. 2004. Current situation of rice industry and prospect for structural change. KREI. pp. 1-3.
12. Lee, S. M., I. S. Ryu, C. S. Lee, Y. H. Park, and M. H. Um. 1999. Determination of application rate of composted pig manure for wetland rice. Korean J. Soil Sci. Fert. 32(2): 182-191.
13. Linn, J. and N. Martin. 1989. Forage quality tests and interpretation. Univ. of Minnesota Ext. Serv. AG-FO-2637.
14. Loomis, R. S. and D. J. Connor. 1998. Crop ecology. p. 28.
15. Lund, Z. F. and B. D. Doss. 1980. Residual effect of dairy cattle manure on plant growth and soil properties. Agronomy Journal. 72: 123-130.
16. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry). 2006. Standard model development of nature-circulating organic agriculture.
17. MAFR(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2012. Agricultural statistics
18. Martin, J. H., W. H. Leonard, and D. L. Stamp. 1976. Principle of field crop production. Collier MacMillan Pub. London. Third ed.
19. Meng, W. J., I. Choi, D. J. Kim, J. I. Kim, Y. D. Goh, M. B. Chang, K. H. Nahm, E. Lee, and S. Y. Jeong. 2005. Feed resources, Hyangmoon Pub. Co.

20. NIAS (National Institute of Animal Science). 2007. Korean feeding standard (Cattle).
21. Park, S. S. 2012. The cropping system establishment for organic roughage production and the nitrogen cycling in organic crop-livestock system. Master thesis, Yonsei University.
22. Park, W. K., Y. S. Song, H. J. Jun, K. S. Jung, and K. S. Lee. 2008. Optimum application rate between livestock compost and chemical fertilizer for rice cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(0): 208-208.
23. RDA (Rural Development Administration). 2010. Chemical analysis method of soil
24. SAS. 2002. Statistical Analysis System ver. 9.2. SAS Institute INC., Cary, NC. USA.
25. Seo, Y. H., A. S. Lee, B. O. Cho, A. S. Kang, B. C. Jeong, and Y. S. Jung. 2010. Adaptation study of rice cultivation in Gangwon province to climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 12(2): 143-151.
26. Shim, K. M., G. Y. Kim, K. A. Roh, H. C. Jeong, and D. B. Lee. 2008. Evaluation of agro-climatic indices under climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 10(4): 113-120.
27. Wolf, J. and H. Van Keulen. 1989. Modelling long-term crop response to fertilizer and soil nitrogen. II. Comparison with field result. *Plant and soil.* 120: 23-38.