

벼유기농업단지 에너지효율 및 양분수지 평가

길근환* · 강종국 · 이경도 · 이장희 · 이경보 · 김재덕

작물과학원 호남농업연구소

(2008년 7월 18일 접수, 2008년 9월 12일 수리)

Assessment of Energy Efficiency and Nutrient Balance in Organic Rice Farming Area

Geun-Hwan Gil*, Jong-Gook Kang, Kyung-Do Lee, Jang-Hee Lee, Kyeong-Bo Lee, and Jae-Duk Kim (Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea)

ABSTRACT: Energy efficiency and nutrient balance are good methods for environmental assessment of the environmentally-friendly agriculture. The objectives of this study were 1) to estimate the energy efficiency and nutrient balance of the organic rice farming, and 2) to suggest a solution to improvement the energy efficiency and nutrient balance. The set of estimation was performed at the organic rice farming area (8.9 ha) in Wanju-gun during the paddy cultivation period from 2006 to 2007. The organic farming complex consists of four weeding methods using 1) duck, 2) apple snail, 3) duck and apple snail and 4) hands and machinery. Results from this estimation showed that the organic rice farming area was less efficient than conventional rice farming. The efficiency of organic farming area in 2006 was higher than in 2007. For the calculation of the nutrient balance, the N, P and K contents of input materials (cattle manure, milk vetch, mixed oilcake, rice bran, rice straw and barley straw) and output (farm products) were analysed. Annual environmental loads of N, P₂O₅ and K₂O were estimated at 4.4 kg/10a, 13.8 kg/10a and 14.5 kg/10a, respectively. Cattle manure had the largest portion among the inputs items and nutrient concentration of cattle manure was high. Thus energy efficiency and nutrient balance depend on cattle manure input. Therefore it is necessary to control the manure input to improve the efficiency of organic rice farming.

Key Words: Organic rice farming, Energy efficiency, Nutrient balance, Sustainability

서 론

안전농산물에 대한 국민의 관심 증대와 농업환경자원의 유지·보전을 위한 지속적인 농업생산 방안으로 친환경농업 육성의 필요성이 증대되어 왔다. 우리나라의 친환경농업은 1994년 농림부에 친환경농업과가 설치되면서 본격적으로 육성되었고, 세계화·개방화의 과고 속에 친환경농업을 미래농업의 성장 동력원으로 설정하고 환경친화적인 농업자원 관리, 친환경농업 실천농가 육성 및 친환경농산물 소비 확대 등 다양한 정책프로그램을 추진해오고 있다. 또한 농림부에서는 2006년부터 시·군 수계단위로 3~4개의 읍면을 묶어 광역친환경농업단지를 운영하고 있는데 경종과 축산을 연계해 1,000 ha이상 대규모의 자연순환형 친환경농업단지를 조성하는 사

업으로 2013년까지 50곳이 조성될 예정이다¹⁾. 이러한 흐름으로 우리나라에서는 친환경 농업이 빠르게 성장하여 1999년 1300호였던 인증농가가 2007년에는 100배 증가하여 13만호에 이르고 있다. 이처럼 친환경농업은 크게 성장하고 있으나 친환경농업이 농업생태계에 미치는 영향에 대한 정량적인 연구는 미흡한 실정으로 친환경농업의 올바른 확산을 위해서는 농업생태계에 미치는 영향을 규명하고, 지속가능성을 정량화하는 연구가 필요하다.

에너지 수지는 농업생산에 필요한 에너지의 전체적인 투입량을 비교할 수 있을 뿐만 아니라 각 생산요소의 투입이 환경에 미치는 영향이나 지속가능성 등을 분석할 수 있기 때문에 친환경농업이 가지는 친환경적 측면을 평가할 수 있는 유용한 수단이 될 수 있다^{2,3)}.

작물을 재배하기 위해서는 작물생육에 필요한 양분을 인위적으로 사용하게 된다. 그러나 작물이 필요로 하는 양분보다 훨씬 많은 양을 주게 되면 작물이 이용하지 못한 양분은 토양에 일부 남게 되고, 농경지 이외의 하천으로 유실되거나

*연락처:

Tel: +82-63-840-2291 Fax: +82-63-840-2118
E-mail: ghgil@rda.go.kr

지하로 용탈되어 환경에 부담을 주는 요인으로 작용하게 된다⁴⁾. 양분수지는 양분의 투입량에서 산출량을 뺀 값으로 수지가 높을수록 환경에 대한 부하가 큰 것으로 추정할 수 있어 이를 농업환경 지표로 사용할 수 있다⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 광역친환경농업단지로 선정된 전북 완주군 고산면 율곡리 광역친환경농업단지 내 벼유기농업단지에서 에너지효율 및 양분수지 조사를 통하여 친환경농업의 지속가능성을 평가하고 친환경농업의 올바른 방향을 제시하는데 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 조사대상

본 연구는 2006년부터 2007년까지 전라북도 완주군 고산면 율곡리 광역친환경농업단지 내 벼유기농업단지에서 수행되었다. 2006년에는 벼유기농업단지 8.9 ha를 대상으로 에너지효율을 조사하였고 2007년에는 미곡처리장으로 용도가 변경된 논을 제외한 8.2 ha를 대상으로 에너지효율 및 양분수지를 조사하였다. 또한 대조구로 단지와 접해있는 일반 관행논 0.3 ha를 비교하여 조사하였다. 조사한 유기농업단지는 16개 농가가 41개 경작지에서 오리를 이용한 농법(이하 오리논), 우렁이를 이용한 농법(이하 우렁이논), 오리와 우렁이를 동시에 이용하는 농법(이하 오리+우렁이논), 순제초 및 기계제초를 이용한 농법(이하 순, 기계제초논)으로 경작하였고 각 농법별 특징은 Table 1과 같다. 이 지역의 경우 대부분의 농가가 2006년까지 오리농법으로 농사를 짓다가 2007년부터 우렁이농법으로 전환하였으며 친환경농업 경력은 평균 6년 정도였다. 각 농법별 조사대상에는 여러 농가의 논이 포함되어 있어 투입되는 유기자원의 종류와 투입량은 서로 상이할 수 있으나, 본 연구에서는 유기농업단지 8.9 ha를 하나의 농업생태계로 간주하고 농법별로 묶어 조사하였다.

Table 1. Characteristics of surveyed paddies

Weeding methods	Fertilization		Area (ha)		Farming career (yr)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Duck	Cattle manure, Mixed oilcake	Cattle manure, Mixed oilcake, Milk vetch, Rice bran	5.9	1.2	6	6
Apple snail	Cattle manure, Mixed oilcake	Cattle manure, Milk vetch, Rice bran, Rice straw, Barley straw	1.8	5.2	4	4
Duck and apple snail	Cattle manure	Cattle manure	0.7	1.5	5	6
Hands and machinery	Cattle manure	Cattle manure, Mixed oilcake	0.5	0.3	5	6
Conventional	Chemical fertilizer	Chemical fertilizer	0.2	0.3	20	21

에너지효율 평가

2006년 3월부터 11월 2007년 3월부터 11월까지 각각 두 해의 벼 경작과정에 관계되는 모든 물질과 에너지의 종류 및 양을 경작자와의 면담을 통해 조사하였고, 면담은 주 1회를 원칙으로 하였으나 경작자를 만날 수 없는 경우 주 2회 간격이 생기기도 하였다. 산출물의 경우 벼와 벗짚은 조사 논에서 50주씩 3반복으로 시료를 채취하여 분석하였고, 오리는 오리농법 농가에서 3마리를 골라 투입 전후의 무게를 측정하고 마리수를 조사하였다. 우렁이의 경우 이앙 후 투입한 무게를 조사하였으나 수확기 때까지 살아있는 개체가 없었다. 농자재의 경우 모를 키울 때 사용하는 비닐, 부직포, 모판과 오리논의 오리집 등의 종류와 개수를 조사하고 그 질량을 직접 측정하여 사용한 자재의 양을 계산하였다. 조사항목과 조사 내용은 Table 2와 같았다. 농법별 에너지효율은 같은 농법을 사용한 논들을 묶어 투입에너지와 산출에너지를 합하여 면적으로 나누어 계산하였다.

에너지 분석을 위해서는 벼 경작과정에 관계한 모든 물질과 에너지를 동일한 단위의 에너지 양으로 변환하는 환산계수가 필요하다. 직접에너지의 경우에는 에너지 등가표에 의해 환산계수를 구할 수 있고 간접에너지의 경우는 통계적 분석, 투입·산출 분석, 과정분석 등에 의해 산정하는데 우리나라의 자료가 부족하여 외국의 자료를 사용하였다. 자운영의 경우 자료를 찾을 수가 없어서 *fresh grass*의 환산계수를¹¹⁾, 자운영 종자의 경우는 알파파 종자의 환산계수를 사용하였다¹⁰⁾. 벗짚, 겨, 보릿짚, 사료(싸라기)는 벗짚의 환산계수를 동일하게 적용하였다¹²⁾. 농자재의 경우 농업에 사용되는 자재에 대해 평균적인 에너지의 양을 산정하여 사용하였다⁶⁾. 벼 경작과정에 관계한 각각의 투입·산출물을 에너지 양으로 변환하기 위해 식 (1)을 이용하여 변환하였고 환산계수는 Table 3에 나타내었다. 각 농법별 에너지효율은 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 에너지 이용구조의 지속가능도는 전체 산출 에

Table 2. Items of interview for survey of energy efficiency

Category	Items	Content
Input energy	Labor	number and sex of worker, work time
	Direct energy	Fuel kind, quantity
	Electricity	quantity
	Seed	kind quantity
	Fertilizer	kind, component, quantity
	Feed	kind, component, quantity
	Manure	kind, quantity
	Rice straw	quantity
	Rice bran	quantity
	Indirect energy	Barley straw quantity
Output energy	Mixed oilcake	quantity
	Pesticide	kind, quantity
	Machinery	kind, weight, operation time, expected life span
	Materials	kind, weight, expected life span
	Animal	kind, number, weight
Output energy	Rice	quantity
	Rice straw	quantity
	Rice bran	quantity
	Animal	quantity

에너지에 대한 재생 가능한 자원의 사용량이 갖는 비율과, 전체 산출 에너지에 대한 재생 불가능자원의 사용량이 차지하는 비율을 통해 평가하였다¹³⁾. 재생 가능한 에너지와 재생 불가능한 에너지는 Table 4와 같이 분류하여 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{에너지}(MJ/\text{ha/year}) =$$

$$\frac{\text{1년간 투입된 자재의 양}(\text{kg}/\text{year}) \times \text{환산계수}(\text{MJ}/\text{kg})}{\text{면적}(\text{ha})} \quad (1)$$

$$\text{에너지효율} = \frac{\text{산출에너지}}{\text{투입에너지}} \quad (2)$$

$$\text{에너지이용구조의 지속가능도} =$$

$$\frac{\text{재생가능 투입에너지}}{\text{총산출 에너지}} - \frac{\text{재생불가능 투입에너지}}{\text{총산출 에너지}} \quad (3)$$

Table 4. Category of input energy

Category	Items
Nonrenewable direct energy	Electricity, Gasoline, Diesel
Nonrenewable indirect energy	Chemical fertilizer, Pesticide, Machinery, Material
Renewable direct energy	Labor
Renewable indirect energy	Seed, Cattle manure, Milk vetch, Milk vetch seed, Mixed Oilcake, Rice straw, Rice bran, Barley straw, Feed, Duck, Apple snail, Rice

Table 3. Conversion factor of input and output

Category	Items	Unit	Conversion factor (MJ/kg)
Direct Energy	Labor ⁶⁾	hr	0.8
	Electricity ⁷⁾	kWh	3.6
	Gasoline ⁶⁾	kg	43.0
	Diesel ⁶⁾	kg	48.6
Indirect Energy	Machinery ⁸⁾	kg	142.7
	N-fertilizer ⁸⁾	kg	74.2
	P-fertilizer ⁸⁾	kg	13.7
	K-fertilizer ⁸⁾	kg	9.7
	Pesticide ⁸⁾	kg	127.7
	Seed ⁹⁾	kg	14.4
	Cattle manure ¹⁰⁾	kg	7.3
	Milk vetch ¹¹⁾	kg	15.9
	Milk vetch seed ¹⁰⁾	kg	14.0
	Rice straw ¹²⁾	kg	13.6
	Rice bran ¹²⁾	kg	13.6
	Barley straw ¹²⁾	kg	13.6
Energy	Feed ¹²⁾	kg	13.6
	Mixed oilcake ¹¹⁾	kg	21.0
	Materials ⁶⁾	kg	87.0
	Duck ⁷⁾	kg	29.4
	Apple snail ⁷⁾	kg	29.4
	Rice ⁹⁾	kg	14.4

양분수지 평가

고산 벼유기농업단지 8.2 ha를 하나의 농업생태계로 간주하고, 단지전체에 대한 양분수지를 평가하였다. 2007년 3월부터 11월까지 벼 경작과정에 농가별로 투입된 양분을 직접 채취 분석하였고, 산출물의 경우 조사논에 대하여 3반복씩 직접 시료를 채취하여 분석하였다. 채취한 축분퇴비, 자운영, 혼합유박, 벗짚, 보릿짚 및 쌀겨 등 투입 양분과 쌀 및 벗짚 등 산출물은 농촌진흥청 농업과학기술원 식물체분석법에 준하여 습식분해한 후 질소는 Kjeldahl법으로 인산은 Vanadate 법으로 칼륨은 ICP-OES로 정량하였다¹³⁾. 경작기간 동안 총 투입된 양분과 산출물의 질소, 인산, 칼륨 함량을 이용하여 벼의 양분수지를 계산하였다.

$$\text{양분수지} = \text{양분 투입량} - \text{작물의 양분 흡수량} \quad (5)$$

토양은 2007년 3월 경작 전 토양과 10월에 경작 후 토양을 각각의 논마다 채취하여 토양화학성을 측정하였다. 토양화학성은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학분석법에 준하여 유기

물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 질소는 Kjeldahl법, 치환성칼륨은 1 N NH₄OAc(pH 7.0)로 침출하여 ICP-OES로 정량하였다¹³⁾.

결과 및 고찰

에너지효율 평가

벼유기농업단지의 농법별 면적당 투입에너지와 산출에너지 그리고 에너지효율은 2006년은 Table 5, 2007년은 Table 6과 같았다. 투입에너지는 2006년에는 오리논>우렁이논>오리+우렁이논>손, 기계제초논>관행논 순이었으며 2007년에는 오리논>우렁이논>손, 기계제초논>오리+우렁이논>관행논 순이었다. 가장 적은 에너지를 투입한 논은 관행논이었고, 가

장 많은 에너지를 투입한 논은 2006년과 2007년 모두 오리논 이었는데 오리논은 다른 농법과 달리 오리먹이(싸라기), 오리막사, 오리망 등 오리를 관리하는데 필요한 에너지가 추가적으로 투입되었기 때문으로 사료된다. 유기농논들과 관행논을 비교하였을 때 유기농논들은 더 많은 에너지가 투입되었는데, 관행논에 쓰이는 화학비료 대체용으로 퇴비, 혼합유박비료, 쌀겨, 자운영 등 기타 유기질비료가 과량으로 사용되어 높은 에너지가 투입되고 있는 것으로 조사되었다. 양분으로 쓰인 에너지만을 계산해본 결과 2006년에 관행논에 화학비료로 쓰인 에너지는 10,440.0 MJ/ha였고 오리논은 64,924.2 MJ/ha, 우렁이논은 54,195.7 MJ/ha, 오리+우렁이논은 32,262.2 MJ/ha, 손, 기계제초논은 23,786.1 MJ/ha으로 유기농논들이 관행논보다 2배~5배정도 많은 양분에너

Table 5. Energy efficiency in organic rice farming area in 2006

(Energy unit: MJ/ ha/ yr)

Item	Quantity unit	Apple snail		Duck & snail		Duck		Hand & machinery		Conventional	
		Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy
Input energy											
Non-renewable	Machinery	kg	0.6	84.6	0.5	66.0	0.7	93.4	0.6	92.4	0.5
	Electricity	kWh	255.2	685.3	0.0	0.0	237.7	638.2	0.0	0.0	284.4
	Gasoline	kg	11.4	490.4	11.5	494.7	14.6	628.0	22.8	980.8	13.6
	Diesel	kg	50.5	2439.6	51.0	2461.8	53.1	2563.1	69.5	3353.8	115.1
	Material	kg	8.4	731.7	10.1	878.7	10.1	878.7	5.4	468.0	0.3
	N Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.1	8094.5
	P Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	145.5	1992.7
	K Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	352.7
	Pesticide	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.4	9117.0
Renewable	labor	hr	146.2	117.0	162.7	130.1	265.3	212.3	249.5	199.6	103.0
	Rice seed	kg	57.2	823.3	44.6	642.4	56.1	808.1	59.1	850.5	72.8
	Manure	kg	5180.0	37710.7	169.4	1233.5	6956.9	50646.5	2938.0	21388.5	0.0
	Rice straw	kg	0.0	0.0	2276.5	31028.7	663.6	9045.4	0.0	0.0	0.0
	Rice bran	kg	505.7	6892.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Feed	kg	0.0	0.0	380.1	5181.0	765.0	10427.3	0.0	0.0	0.0
	Duck	kg	0.0	0.0	92.2	2709.7	102.1	3002.5	0.0	0.0	0.0
	Apple snail	kg	50.6	1486.5	43.0	126.5	1264.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mixed oilcake	kg	456.8	9592.2	0.0	0.0	249.2	5232.3	114.2	2397.3	0.0
Renewable				56622.8		42189.8		79374.4		24836.3	1131.2
Nonrenewable				4431.5		3901.1		4801.5		4895.0	26590.9
Total				61054.4		46090.9		84175.9		29731.2	27722.1
Output energy											
	Rice	kg	3976.9	56472.1	1888.2	26811.9	4045.0	57439.0	3186.6	45250.2	5662.1
	Rice straw	kg	5951.9	81124.6	2897.7	39495.6	6516.8	88823.6	4482.9	61101.1	7248.5
	Rice bran	kg	1169.8	15944.1	555.4	7570.0	1189.8	16217.2	937.3	12775.8	1393.9
	Duck	kg	0.0	0.0	1625.8	47798.7	1801.5	52964.7	0.0	0.0	0.0
	Apple snail	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total		153540.8		121676.2		215444.4		119127.6		198198.7
Energy efficiency (Rice)				0.92		0.58		0.68		1.52	2.90
Energy efficiency (Total)				2.51		2.64		2.56		4.01	7.15

Table 6. Energy efficiency in organic rice farming area in 2007

(Energy unit: MJ/ ha/ yr)

Item	Quantity unit	Apple snail		Duck & snail		Duck		Hand & machinery		Conventional		
		Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy	Quantity	Energy	
Input energy												
Non-renewable	Machinery	kg	1.0	136.4	1.6	233.7	0.9	127.7	1.0	136.4	1.0	136.9
	Electricity	kWh	180.9	485.8	651.9	1750.4	480.4	1289.9	0.0	0.0	234.1	628.5
	Gasoline	kg	9.2	396.9	6.4	276.0	6.6	285.4	31.7	1363.6	6.8	293.3
	Diesel	kg	81.9	3979.2	146.2	7101.2	144.7	7026.8	154.0	7477.7	71.3	3461.2
	Material	kg	8.4	731.7	10.1	878.7	10.1	878.7	5.4	468.0	0.3	21.8
	N Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	159.4	11827.0
	P Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.4	1046.2
	K Fertilizer	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	805.4
	Pesticide	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	1998.7
Renewable	labor	hr	145.6	116.4	237.4	189.9	356.6	285.3	237.4	174.0	178.7	143.0
	Rice seed	kg	61.7	888.0	69.1	994.8	59.7	860.2	54.9	790.4	60.7	873.9
	Manure	kg	4753.9	34608.5	8010.8	58318.7	6730.3	48994.7	11473.7	83528.6	0.0	0.0
	Rice straw	kg	2420.2	32987.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rice bran	kg	581.0	7918.6	0.0	0.0	901.5	12287.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Feed	kg	0.0	0.0	611.1	8329.0	463.4	6316.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Duck	kg	0.0	0.0	61.1	1796.6	46.3	1362.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	Apple snail	kg	43.6	1282.2	48.2	1417.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mixed oilcake	kg	141.0	2960.6	65.2	1368.8	795.3	16702.3	205.5	4316.5	0.0	0.0
	Milk vetch seed	kg	46.0	643.9	0.0	0.0	52.7	737.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Milk vetch	kg	1216.5	19343.1	0.0	0.0	1805.9	28713.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	Barley straw	kg	453.0	6169.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Renewable			106918.2		72415.2		116259.1		88809.6		1016.9	
Nonrenewable			5730.0		10240.0		9608.6		9445.8		20219.0	
Total			112648.2		82655.1		125867.6		98255.4		21235.9	
Output energy												
Output energy	Rice	kg	2779.8	40080.1	3506.9	50568.8	3342.5	48199.1	2588.3	37322.8	5291.4	76301.4
	Rice straw	kg	6287.4	85697.1	7388.2	100701.6	6400.9	87244.1	7623.5	103907.7	9111.3	124187.7
	Rice bran	kg	759.8	10356.2	1005.1	13699.5	905.1	12336.7	811.2	11056.1	1432.9	19530.2
	Duck	kg	0.0	0.0	448.1	13174.9	91.0	2675.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Apple snail	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total			136133.5		178144.8		150455.2		152286.7		220019.3	
Energy efficiency (Rice)			0.36		0.61		0.38		0.38		3.59	
Energy efficiency (Total)			1.21		2.16		1.20		1.55		10.36	

지가 투입되고 있었다. 또한 2007년의 경우에는 관행논은 13,678.6 MJ/ha^o였고 오리논은 107,435.2 MJ/ha, 우렁이논은 104,631.6 MJ/ha, 손, 기계제초논은 87,845.2 MJ/ha, 오리+우렁이논은 59,687.5 MJ/ha로 조사되었는데 2007년

역시 유기농논들이 관행논보다 더 많은 양분에너지가 투입된 것으로 조사되었다.

쌀 산출에너지에는 2006년은 관행논>오리논>우렁이논>손, 기계제초논>오리+우렁이논 순이였고, 2007년에는 관행논>

Table 7. Sustainability of used energy in organic rice farming area

Items	Year	Apple snail	Duck & snail	Duck	Hand & machinery	Conventional
Renewable input energy /Total output energy	'06	0.37	0.35	0.37	0.21	0.01
	'07	0.79	0.41	0.77	0.58	0.00
Nonrenewable iutput energy /Total output energy	'06	0.03	0.03	0.02	0.04	0.13
	'07	0.04	0.06	0.06	0.06	0.09
Sustainability of used energy	'06	0.34	0.31	0.35	0.17	-0.13
	'07	0.74	0.35	0.71	0.52	-0.09

Table 8. Weight of input nutrients in organic rice farming area

Materials	Fresh weight (kg/10a)	N (kg/10a)	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)
Cattle manure	530.1	8.1	14.5	16.7
Green manure	184.9	1.7	0.4	1.4
Mixed oilcake	5.1	0.2	0.8	0.04
Barley straw	11.7	0.2	0.2	1.9
Rice straw	44.9	0.8	0.1	0.1
Rice bran	8.0	1.0	2.0	2.5
Total input	12.0	18.0	22.6	

오리+우렁이논>오리논>우렁이논>손,기계제초논 순으로 나타나 2006년과 2007년 모두 관행논이 유기농논들보다 쌀의 산출량이 많은 것을 알 수 있었다. 또한 2006년보다 2007년에 더 많은 에너지가 투입되었음에도 불구하고 2007년은 수확기에 잦은 강우로 인해 벼흰잎마름병, 벼줄무늬잎마름병 등 병충해가 심각하여 2006년보다 쌀 수확량이 감소하였다.

2006년 벼유기농업단지의 에너지효율(쌀)은 관행논 2.90, 손,기계제초 1.52, 우렁이논 0.92, 오리논 0.68, 오리+우렁이논 0.58으로 관행논이 유기농논보다 2배~5배 정도 에너지효율이 높았으며 2007년은 관행논 3.59, 오리+우렁이논 0.61, 손, 기계제초논 0.38, 오리논 0.38, 우렁이논 0.36으로 관행논이 유기농논보다 6~10배 정도 에너지효율이 높게 나타났는데, 유기농논의 경우 관행논보다 더 많은 에너지를 투입하고도 더 적은양의 벼를 수확했기 때문이다.

에너지 이용의 효율이 높다는 것은 그만큼 더 적은 자원으로 효율적인 생산을 했음을 의미한다. 더 적은 자원을 사용한다는 것은 자원 채취에 따른 환경 부하가 적음과 동시에 자원이용과 폐기물에 따른 환경 부하를 줄였음을 내포하게 된다. 따라서 에너지 효율이 높은 생산체계일수록 환경 친화적이라고 말 할 수 있다. 그러나 같은 에너지 효율을 갖는 체계라 할지라도 그 체계가 기반하고 있는 자원의 성격이 무엇인지에 따라 친환경적일 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 재생 불가능한 자원을 중심으로 유지되는 체계보다는 재생 가능한 자원에 기반을 둘수록 환경에 미치는 오염부하량이 대체로 적게 나타난다¹⁴⁾. 즉 에너지 이용이 주로 재생 가능한 에너지에 기반하고 있는지 아니면 재생 불가능한 자원에 의존

하고 있는지를 알게 되면 그 체계의 지속가능도와 더불어, 환경에 미치는 영향의 정도를 알 수 있게 된다¹⁴⁾.

벼유기농업단지의 농법별 투입된 에너지이용구조의 지속가능도를 평가한 결과는 Table 6과 같다. 농약 및 화학비료 등 재생불가능한 에너지를 많이 사용하는 관행논은 에너지이용구조의 지속가능도가 음의 값을 나타냈고 퇴비, 벗짚, 오리, 우렁이 등 재생 가능한 에너지를 많이 사용하는 유기농논은 에너지이용구조의 지속가능도가 모두 양의 값을 나타내 유기농업단지가 관행논에 비해 에너지효율은 낮지만 에너지이용구조의 지속가능도는 높은 것으로 나타났다.

양분수지 평가

고산 벼유기농업단지 8.2 ha를 하나의 농업생태계로 가정하고, 단지전체에 대한 양분수지를 평가하였다. 양분공급을 위하여 화학비료 대신에 사용하고 있는 축분퇴비, 자운영, 혼합유박, 보릿짚, 벗짚, 쌀겨 등을 농가마다 채취하여 질소, 인산, 칼륨을 분석하고 전체투입량을 합하여 전체 면적으로 나누어 유기농업단지 10a당 투입된 양분양을 계산하였다. 관개수 및 강우에 의한 양분의 유입은 그 양이 미미할 것으로 판단하여 투입양분에서 제외하였다. 그 결과 N은 10a 당 12.0 kg, P₂O₅은 18.0 kg, K₂O은 22.6 kg이 투입된 것으로 조사되었다. 소비된 양분의 경우 벗짚과 쌀겨 농가마다 채취하여 질소, 인산, 칼륨을 분석하고 전체산출량을 합하여 전체 면적으로 나누어 유기농업단지 10a당 소비된 양분의 양을 계산하였다. 단, 침출되거나 휘산된 양분의 양은 고려하지 않았다.

양분투입량과 양분흡수량을 분석하여 양분수지를 계산한 결과는 Table 9와 같았다. 양분수지는 N 4.4 kg/10a, P₂O₅ 13.8 kg/10a, K₂O 14.5 kg/10a로 나타나 특히 인산과 칼륨의 경우 양분이 작물필요량 이상으로 투입된 것으로 나타났는데 이는 다른 투입자재보다 인산과 칼륨의 함량이 높은 퇴비의 과량투입에 의해 나타난 것으로 사료된다. 이러한 지속적인 축분퇴비의 과량시용에 의해 Table 10에서 보듯이 지역의 평균 유효인산은 적정범위보다 3배, 치환성 칼륨은 1.5배 정도 높게 나타났다. 그러므로 축분퇴비의 투입량을 줄이고 질소대비 인산과 칼륨의 함량이 비교적 낮은 자운영 등을 이용한 시비개선이 필요할 것으로 판단된다.

Table 9. Nutrient balance in organic rice farming area

Item	N (kg/10a)	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)
Output	Rice straw	4.6	2.7
	Rice	3.0	1.5
	Total (A)	7.6	4.2
Total input (B)	12.0	18.0	22.6
Nutrient balance (B-A)	4.4	13.8	14.5

Table 10. Chemical properties of soil in organic rice farming area

Category	Sampling date	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (g/kg)	Ex. K (cmol ⁺ /kg)
Average	Mar. '07	40.6	374.4	2.2	0.49
	Oct. '07	36.8	321.9	2.6	0.36
Maximum	Mar. '07	53.8	658.0	3.0	1.16
	Oct. '07	52.0	816.3	3.8	0.65
Minimum	Mar. '07	23.2	95	1.3	0.16
	Oct. '07	24.2	125.5	1.6	0.15
Optimum range		25 -30	82 -120	0.25 -	-0.30

요 약

안전농산물에 대한 국민의 관심 증대와 농업환경자원의 유지·보전을 위한 지속적인 농업생산 방안으로 친환경농업 육성의 필요성이 증대되어 왔다. 이에 우리나라에서는 친환경 농업이 빠르게 성장하여 1999년 1300호였던 인증농가가 2007년에는 100배 증가하여 13만호에 이르고 있다. 그러나 친환경농업의 빠른 증가 추세에도 불구하고 친환경농업이 농업생태계에 미치는 영향에 대한 정량적인 연구는 미흡한 실정으로 친환경농업의 올바른 확산을 위해서는 농업생태계에 미치는 영향을 규명하고, 지속가능성을 정량화하는 연구가 필요하다. 이에 친환경농업의 지속가능성을 평가하고자 2006년부터 2007년까지 완주군 고산면 광역친환경농업단지 벼유기농업 단지에서 쌀생산 시 에너지효율 및 양분수지를 조사하였다.

그 결과 벼유기농업단지가 관행논보다 에너지효율은 낮았으나 재생가능한 에너지 자원을 사용하는 유기농법이 화학비료나 농약을 사용하는 관행농법에 비하여 자원이용의 지속가능도는 높았다. 또한 벼유기농업단지는 과량의 축분퇴비 사용으로 토양 내 인산과 칼륨이 과다 축적되어 있으므로 축분퇴비의 사용량을 줄이고 질소대비 인산과 칼륨의 함량이 비교적 낮은 자운영 등을 이용한 시비개선이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 농림부 (2006) 2007 광역친환경농업단지 조성지역 6개소 확정, 농림부보도자료.
2. Lee, Ho Jin, Seo, Jun Han, Lee, Jung Sam, Jung, Yong Sang and Park, Jung Kun (1996) Low - Input and Energy Efficiency of Direct Seeding Method in Rice, *J. Crop Sci.* 41, 115-122.
3. Hong, Kwang-Pyo, Kim, Jang-Yong, Kang, Dong-Ju and Choe Zhin-Ryong (1995) Energy Efficiency of Different Farming Practices and Tillage Methods in Rice, *RDA. J. Agri. Sci.* 37, 676-680.
4. 윤홍배, 이연, 이기상, 이용복 (2007) 밭작물 작부와 양분 수지 -현지 사례 연구-, 토양비료학회 토양과비료 31, 19-25.
5. 김창길, 강창용, 혀장, 김태영, 노기안, 김민경, 최지용, 한대호 (2003) 농업생태계의 물질순환 및 환경부하 분석, 한국농촌경제연구원 연구보고서.
6. Dazhong, W. and Pimentel, D. (1990) Energy flow in agroecosystems of northeast China, *Agroecology : Researching the ecological basis for sustainable agriculture*, Springer-Verlag, 322-336.
7. Fluck, R.C. and Baird, C.D. (1980) *Agricultural energetics*, AVI Pub. Co., Westport, Conn., USA, 186.
8. Tsatsarelis, C.A. (1993) Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece, *Agri. Ecosys. Environ.* 43, 109-118.
9. Sharma, S (1991) Energy budget studies of some multiple cropping patterns in the central Himalaya, *Agri. Ecosys. Environ.* 36, 199-206.
10. Pandya, S.M. and Pedhadiya M.D. (1993) Energy analysis of Indian village semi-arid ecosystem, *Agri. Ecosys. Environ.* 45, 157-175.
11. Rongjun, C. (1989) Energy and nutrient flow through detritus food chains, *Agri. Ecosys. Environ.* 27, 205-215.
12. Sharma, S and Sharma, E. (1993) Energy budget and efficiency of some multiple cropping systems in Sikkim Himalaya, *J. Sustain. Agr.* 3, 85-94.
13. 농업과학기술원 (2000) 토양 및 식물체 분석법, 농촌진흥청 농업과학기술원.
14. 안선희 (1999) 경제성 평가와 환경성 평가의 비교 분석 : 일반농법과 환경농법을 대상으로, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
15. Lim, Kyoung soo, An, Sun Hee, and Kim, Jung Wk (1999) Energy Balance in Various Management of Paddy Ecosystem, *Kor. J. Environ. Agric.* 18, 299-303.