

# 순환농업의 지역별 유형과 기술개발과제

## - 평야, 중산간지대를 중심으로

조익환

대구대학교 자연자원대학 교수

I. 서론

II. 본론

III. 결론

《참고문헌》

### I. 서론

농업은 본래 자연의 물질순환을 기본으로 탄산가스를 고정하여 유기물을 경제적으로 생산함으로써 환경과 가장 잘 조화된 산업이다. 그와 더불어 농업은 국토의 조화로운 발전과 환경을 보전하는 사회적인 공익기능도 가지고 있다.

그러나 우리나라의 전통적인 농업은 천연 공급량 이외에는 무기물의 공급을 기대할 수 없기 때문에 생산성이 낮아 인구 증가에 따른 식량 부족 문제를 해결하는데 큰 어려움이 있었다. 따라서 1960년대 이후 곡물 증산을 위한 충분한 무기요소의 보급을 위하여 가축분뇨와 같은 유기성 폐기물의 투입보다는 화학 비료와 같은 외부 에너지의 투입량을 증가시킴으로써 자연환경의 의존도가 매우 낮은 화학농법이 발전되어 왔다. 그러나 이 화학농법은 요구량 이상의 과도한 화학비료 투입으로 상당한 무기물이 토양에 축적, 유출됨으로써 토양의 유기물 감소와 물리성을 악화시키며 농경지로부터 잉여양분의 유출은 지표수 오염 및 질산태 질소의 지하수 오염 등을 초래하고 있다. 또한 과거의 전통적 농업에 있어서는 가축분뇨의 토양 투입으로 지력 유지 및 증진에 유효하였으나, 축산의 전업화 및 기업화 등으로 가축분뇨의 자가 경영권내의 순환이용이 어려워지고 있다.

이로 인해 앞으로 사회에서 요구되는 식량생산체계는 자연생태계의 물질순환 기능을 활용하여 인간이 필요로 하는 식량을 안정되고 지속적으로 생산하기 위한 기본적인 영양연쇄를 만들어 가는 과정으로, 생태계 내에서 균형있는 물질수지를 통하여 생산물의 안전성을 최우선으로 하는 순환농업이어야 한다. 영양연쇄는 토양의 능력(비옥도)을 기본으로 한 식물연쇄로서, 작물로부터 시작하여 이를 섭취하는 동물을 통한 에너지가 식량의 형태로 인간에게 전달되는 과정이다.

즉, 식물생육에 필요한 무기양분은 작물잔사와 가축분뇨 중의 성분으로 공급하고, 지역조건에 알맞는 작부체계를 확립하여 토양 비옥도를 높이고, 작물의 생산성과 안정성을 높여 가축에게 안전성이 높은 사료를 지속적으로 공급할 수 있는 경종농업과 축산업의 연계모형을 구축하는 것이 생태계를 보전하고 안전한 축산물을 요구하는 자연친화적 경향의 소비자들의 욕구증대에 부응하는 일이다.

따라서 본 논문에서는 물질순환을 기초로 한 순환농업의 성립조건과 지역별 순환농업의 기술개발에 대하여 술하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 순환농업의 성립조건

#### 1) 물질의 순환

##### ① 농업생태계에서의 물질순환

농업 생태계에서는 그림 1과 같이 생산자인 식물이 태양에너지에 의해 만들어진 탄수화물과 뿌리로부터 흡수한 물과 무기염류를 이용하여 유기물인 식물체를 만들어 내고 이를 인간의 식량 혹은 동물의 먹이로 섭취하며 이들이 죽거나 배설한 분뇨가 토양에 환원되고, 환원된 동·식물의 유체와 가축의 분뇨 등은 토양 미생물에 의해 분해되어 자신에 필요한 영양물질로 이용되고 그 분해물인 무기염류는 토양에 잔류하여 다시 식물에 의해 흡수되어 순환된다.

한편 양축농가에서는 가축생산성을 높이기 위해 농후사료를 배합사료의 형태로 구입하여 사용하기도 하고 근래에는 일부 조사료까지도 외부로부터 투입되고 있다. 이들 투입된 사료에 의해 가축생산이 이루어지고 이 과정에서 주산물인 고기, 우유, 달걀 등이 생산되어 산출물로 외부로 나가고, 또한 부산물로 가축분뇨가 발생한다. 발생된 가축분뇨는 자원화 또는 정화처리 방식에 의해 적절하게 처리되면 작물재배를 위한 양분 공급원으로 농경지에 살포되지만, 부적절하게 처리되는 경우로는 폐기, 방치, 투기, 야적 및 무단 방류가 이루어져서 농업생태계의 환경부하 요인으로 작용하게 된다.

또한 경종농가에서도 작물생산을 위해 양분 공급원으로 화학비료와 일부 유기질 비료가 외부로부터 투입된다. 작물은 이들 양분을 이용하여 식량과 조사료 등을 생산하게 되지만, 작물의 생육과정에서 필요로 하는 양분 요구량 이상으로 과잉 투입되면 흡수되지 못한 무기물의 유거, 용탈, 휘산 등이 이루어지게 된다. 이 과정에서 환경의 자정 능력을 초과하는 경우, 과잉 양분은 지역단위 농업생태계의 환경오염 부하요인으로 작용하게 된다.

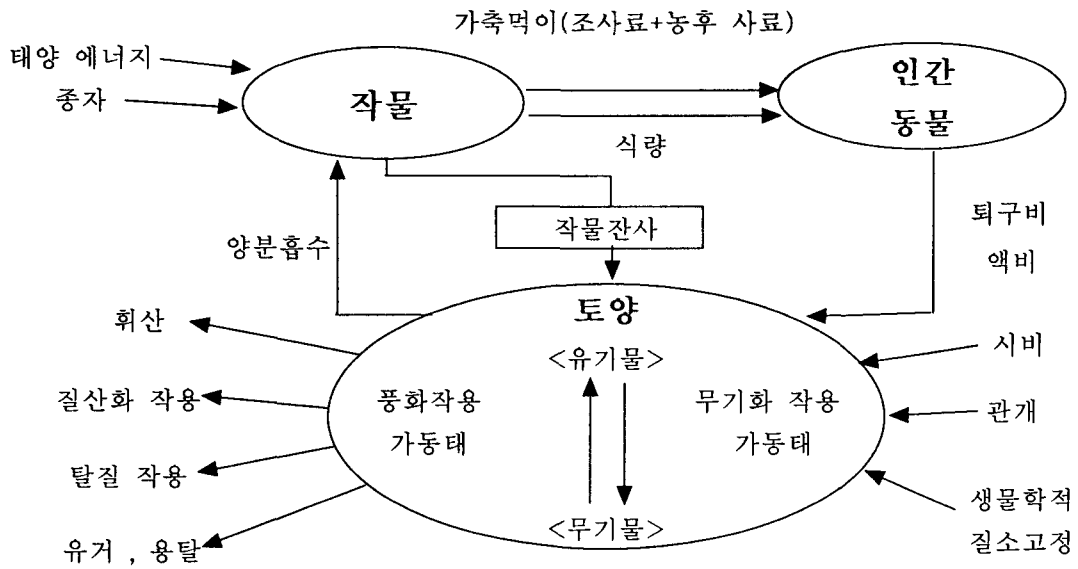


그림 1. 농업생태계에서의 물질순환

## ② 토양에서의 질소순환

친환경 농업의 기본개념은 지역, 국가, 지구상의 물질 순환인 것이다. 예를 들어서 농경지에서 사료작물을 생산해서 가축을 사양하고 사람은 그 육류를 소비하며 가축 배설물은 퇴비 형태로 사료곡물재배를 위해 지력을 회복시키는 비료로 사용된다. 이러한 체계는 일종의 순환 농업 개념으로 그 중심을 이루는 물질을 질소로 규정할 수 있다.

토양 중의 질소 화합물에는 유기태와 무기태 질소로 구분되는데, 작물이 흡수·이용할 수 없는 유기태 화합물이 92~93% 이상이 되고, 무기태 화합물은 매우 적어 인위적인 시비에 의존하고 있다. 한편 작물이 흡수하는 질소 성분의 형태는 암모니아태 질소와 질산태 질소라는 무기태 질소이다. 이들 무기태 질소는 주로 화학비료에 의존하고 동식물 유체나 가축 분뇨 등은 유기태 질소로서 그 순환과정은 그림 2와 같다.

*Azotobacter*나 콩과 작물의 근류균 등으로 고정된 대기 중의 질소 혹은 작물의 잔사 및 토양에 사용된 가축의 분뇨 중 유기태 질소 화합물은 미생물의 무기화작용에 의해 분해되어 암모니아가 생성되고, 이들 암모니아는 산화되어 질산으로 되는 질산화 작용을 거치거나, 아질산이 환원되어 암모니아로 되는 질산환원 작용이 일어나게 된다. 또한 질산은 가스상의 질소나 아산화질소로 되어 탈질되거나, 유기태 질소가 무기화되는 과정에서 암모니아 가스 형태로 휘산되기도 한다.

이와 같이 순환과정에서 상당량의 질소는 직, 간접적으로 유기물에서 무기태의 형태가 되어 손실되거나 유기태 질소가 무기태 질소와 마찬가지로 토양표면에 놓인 잔사 및 가축의 분뇨 등에서 표면수와 함께 유거되어 잃게 된다.

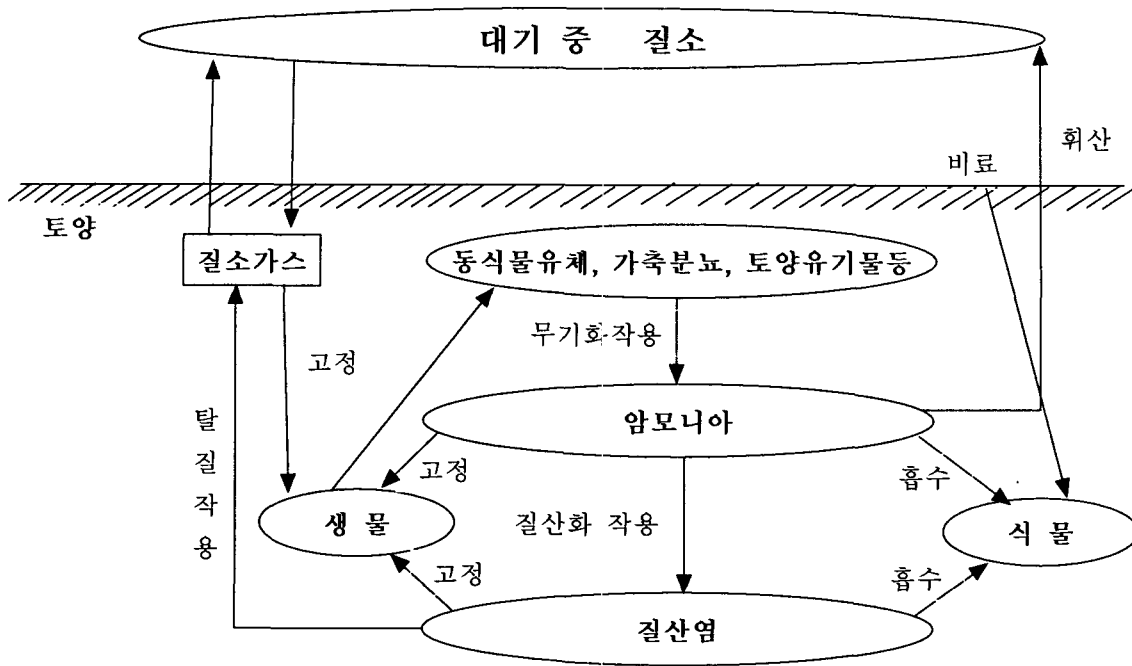


그림 2. 토양에서의 질소 흐름(Tivy, 1990)

한편, 대규모의 합성비료의 생산과 인위적인 질소고정을 위해 콩과식물을 재배하기 전에는 자연의 고정 작용에 의해 대기 중에 머물러 있던 질소의 양과 탈질에 의해 대기 중에 되돌아가는 질소의 양은 거의 평형이라고 알려져 있다. 그러나 현재는 인간활동의 증가에 따라 질소 고정량이 탈질량을 넘어서서 과잉의 고정 질소가 생물권에 축적되어 있다. 그 결과 그것이 하천, 호소, 지하수에 유입하고 수권을 부영양화 시켜 물질순환의 균형을 붕괴하고 있다. 또한 화석연료의 연소나 산불, 화전에 의한 연소 등 인간활동의 영향에 의해 질소산화물이 대기 중으로 방출되어 그 농도도 증가하고 있다.

## 2) 가축분뇨의 자원화

### ① 가축분뇨 배설량 및 성분 기준

우리나라의 축종별 분·뇨배설량, 비료성분 함량, 오염물질 함량 등을 축산기술연구소(2000)에서 <표 1, 2, 3>에 제시하고 있어 가축분뇨의 처리 및 이용에 기초자료로 활용할 수 있으나 농가마다 사육여건과 방식에 차이가 있고, 같은 축종내에서도 사육조건 및 가축분뇨처리 이용 방식에 따라 축산분뇨의 배출량, 배출분뇨의 물리적 성상 및 화학성분 조성에 많은 차이가 발생한다.

<표 1> 가축분뇨의 배출량 및 세정수 발생량

(kg/두/일, 닭 g/수/일)

구 분		한우	젓 소	돼 지	산란계	육 계
가축분뇨 배출량	분	10.1	24.6	1.6	127.4	90.5
	뇨	4.5	11.0	2.6	-	
	계(A)	14.6	35.6	4.2	127.7	90.5
세 정 수(B)		0.0	10.0	4.4		
축산분뇨배출원 단위(A+B)		14.6*	45.6*	8.6*	127.7	90.5

- 축종별 표준체중(kg/두) : 한우 350, 젓소 450, 돼지 60

\*는 환경부 고시 제1999-109호('99. 7)

<표 2> 축종별 분뇨의 오염물질 농도(단위 : mg/l)

구 분		BOD <sub>5</sub>	COD <sub>MN</sub>	SS	T-N	T-P
한우	분	26,539	71,610	152,482	2,614	602
	뇨	6,686	7,696	1,412	4,801	25
젓소	분	18,294	52,765	102,889	2,575	457
	뇨	5,455	8,089	593	3,401	13
돼지	분	68,187	63,146	254,257	8,518	2,152
	뇨	4,543	3,793	553	4,606	148
닭(산란계)		20,122	50,424	108,667	-	-

- 자료 : 축산연(2000)

<표 3> 분뇨의 비료성분(단위, %)

구 분		수 분	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
한우	분	80.8	0.34	0.29	0.09	0.37	0.11
	뇨	95.4	0.48	0.006	0.48	0.01	0.04
젓소	분	83.9	0.26	0.10	0.14	0.20	0.01
	뇨	95.1	0.34	0.03	0.31	0.10	0.05
돼지	분	76.3	0.77	0.50	0.25	2.22	1.39
	뇨	98.1	0.83	0.07	0.20	-	-
닭	육계	73.5	1.21	0.48	0.53	1.51	0.39
	산란계	26.0	0.89	0.26	0.39	0.73	0.18

- 자료 : 축산연(2000)

② 지역별 가축분뇨 발생량

지역별로 청소수를 제외한 가축분과 뇨 발생량은 총 34,918천톤('99. 12월기준)으로 추정되며 이중에서 분이 21,915천톤, 뇨가 13,003천톤으로 계산된다<표 4>. 축종별로는 한우가 분 8,106천톤, 뇨 2,806천톤, 젓소가 분 4,740천톤, 뇨 1,990천톤, 돼지가 분 5,136천톤, 뇨 8,207천톤, 닭이 3,931천톤인 것으로 추정된다. 각 도별 분뇨발생 총량을 보면, 경기도>충남>경북 등의 순이었다.

<표 4> 시도별 가축분뇨 발생량

(단위 : 천톤/년)

구 분	한 우		젓 소		돼 지		닭 분	계	
	분	뇨	분	뇨	분	뇨		분	뇨
서 울	1.0	0.4	1.8	0.7	0.0	0.0	0.0	2.9	1.2
인 천	56.8	19.7	67.3	28.2	56.5	90.2	19.0	199.6	138.1
대 전	13.9	4.8	7.9	3.3	2.9	4.7	0.5	25.2	12.8
부 산	5.9	2.0	14.6	6.1	30.2	48.2	6.2	56.9	56.4
대 구	71.5	24.7	48.9	20.5	21.0	33.5	11.3	152.7	78.8
광 주	8.6	3.0	6.2	2.6	4.3	6.9	4.8	23.9	12.5
경 기	785.2	271.9	2,127.6	893.1	1,158.9	1,851.7	952.6	5,024.4	3,016.7
강 원	518.9	179.6	208.3	87.4	267.5	427.4	151.9	1,146.5	694.5
충 북	1,085.5	375.8	400.5	168.1	279.0	445.9	302.9	2,068.0	989.8
충 남	1,018.9	352.8	542.7	227.8	888.4	1,419.5	577.3	3,027.4	2,000.1
전 북	720.1	249.3	354.5	148.8	565.8	904.0	603.5	2,243.9	1,302.1
전 남	1,269.7	439.6	296.9	124.6	470.1	751.2	443.5	2,480.2	1,315.4
경 북	1,350.7	467.7	314.7	132.1	585.8	936.0	497.9	2,749.2	1,535.8
경 남	1,121.0	388.1	326.9	137.2	597.6	954.9	308.4	2,354.0	1,480.2
제 주	78.1	27.0	21.7	9.1	208.4	333.0	51.7	360.0	369.1
계	8,106.0	2,806.5	4,740.5	1,989.9	5,136.6	8,207.1	3,931.5	21,914.6	13,003.4

자료 : 축산기술연구소, 2000

③ 지역별 가축분뇨의 비료 공급과 작물 요구량

재배작물별 시비기준을 고려하여 시·군별 비료성분 총요구량을 분석하면 <표 5>에 나타난 바와 같이 질소의 총 요구량은 279,884톤, 인산은 140,464톤, 칼리는 182,599톤인 것으로 평가되었다.

도별로 보면 전남이 질소 52,413톤, 인산 24,810톤, 칼리 32,575톤으로 가장 많이 요구되었으며, 다음으로 경북, 충남, 경남, 경기, 전북 등인 것으로 추정되었다.

이에 대해 가축분뇨(원물)로부터 발생하는 비료성분의 양은 질소가 222,331톤, 인산 64,716톤, 칼리 86,107톤으로써 이를 작물비료성분 요구량과 비교(화학비료대체)하면 질소의 경우 요구량의 86.7% 인산 53.6%, 칼리 52.7% 수준으로써 요구량을 충족시키지 못하는 결과로 나타난다. 그러나 도별로 보면 질소의 경우 비료대체율이 경기도가 133.9%, 충남이 108.1%로써 요구량을 초과하고 있고, 인산과 칼리의 경우는 경기도가 76.6%, 86.3% 수준으로 다른 도보다 높았다.

<표 5> 비료성분의 작물요구량 대 가축분 공급량(분뇨원물 기준)

구 분	작물 비료성분 요구량(A, 톤)			가축생분뇨 비료성분 발생량(B,톤)			B / A (%)		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
서울	391	195	263	14	5	8	3.5	2.5	3.0
인천	3,005	1,338	1,764	2,124	557	794	70.7	41.6	45.0
대전	798	366	505	177	59	78	22.2	16.2	15.5
부산	1,845	771	1,152	892	199	287	48.4	25.8	24.9
대구	1,934	839	1,194	1,174	375	506	60.7	44.7	42.4
광주	2,267	1,003	1,377	219	67	90	9.6	6.7	6.5
경기	31,631	16,021	20,270	49,827	13,337	19,910	133.9	76.6	86.3
강원	19,956	9,134	12,755	11,421	3,377	4,382	64.3	43.8	39.9
충북	17,515	8,702	12,288	16,665	5,624	7,102	81.3	53.7	48.7
충남	33,723	15,622	20,493	34,507	9,553	12,713	108.1	65.1	64.9
전북	30,823	14,853	19,164	24,517	7,145	9,389	74.1	44.7	45.3
전남	52,413	24,810	32,575	23,181	7,418	9,237	85.5	58.5	51.3
경북	37,854	18,189	25,687	27,017	8,399	10,525	71.3	46.4	41.4
경남	31,678	15,133	20,998	24,489	7,188	9,181	75.1	45.5	42.7
제주	14,048	13,485	12,114	6,109	1,413	1,907	32.0	8.1	11.8
계	279,884	140,464	182,599	222,331	64,716	86,107	86.7	53.6	52.7

자료 : 축산기술연구소, 2000

재배면적의 ha당 비료성분 요구량과 가축분뇨 처리물의 부하량을 분석하면 <표 6>와 같다. ha당 비료성분 요구량의 전국평균은 질소가 129.7kg, 인산 63.9kg, 칼리가 85.1kg인 반면, ha당 가축분뇨처리물 비료성분 부하량은 66.7kg, 37.1kg, 48.3kg으로써 비료요구량의 질소 52.3%, 인산 61.3%, 칼리 58.6% 수준인 것으로 나타났다.

한편 도별 가축분뇨 처리물의 비료성분 부하량은 경기와 충남지역이 다른 도에 비해 과부하지역이 많은 것으로 추정되었다.

이상과 같이 전국적인 측면에서 본다면 현재의 가축사육두수가 오염부하에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 평가되며 단지 일부 과밀사육지역에서의 가축분뇨가 효율적으로 처리되지 못하여 방류됨으로써 오염문제가 발생하는 것으로 판단된다.

따라서 가축분뇨의 효율적 처리와 합리적 이용이 전제된다면 축산업 발전의 가능성과 함께 친환경 농업 달성에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 6> ha당 비료성분 과부족(가축분뇨 처리물기준)

구 분	ha당 작물 시비 요구량(A, kg/년)			ha당 가축분뇨 처리물 비료성분 부하량(B,kg/톤)			B/A (%)		
	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
서울	144.3	71.8	96.8	3.4	2.2	3.5	2.4	3.1	3.6
인천	120.2	53.5	70.6	41.9	24.3	29.0	34.9	45.5	41.1
대전	119.6	54.9	75.6	16.9	10.5	13.6	14.2	19.2	18.0
부산	159.8	66.8	99.8	24.8	16.1	15.2	15.5	24.1	15.3
대구	133.6	57.9	82.4	47.2	29.8	36.3	35.4	51.4	44.1
광주	134.3	59.4	81.6	8.3	4.7	6.3	6.2	7.9	7.7
경기	134.5	66.7	87.9	98.0	54.8	76.7	74.8	87.3	91.0
강원	144.3	62.9	90.1	55.2	29.7	37.8	40.8	50.3	46.0
충북	118.4	58.0	81.9	57.8	35.9	43.4	49.3	61.1	52.6
충남	119.1	55.8	73.2	76.5	39.9	51.7	65.1	73.1	71.3
전북	123.8	59.5	78.3	57.3	30.6	40.3	46.8	51.6	52.6
전남	121.6	58.2	76.6	69	40.3	50.1	54.5	67.2	60.3
경북	122.2	58.2	83.3	56.3	30.7	39.7	46.8	53.8	49.6
경남	136.4	65.5	91.2	61.8	34.5	43.0	44.8	52.0	47.0
제주	164.9	168.9	145.3	33.6	14.3	19.9	20.7	9.6	14.4
평균	129.72	63.85	85.1	66.7	37.1	48.3	52.3	61.3	58.6

자료 : 축산기술연구소, 2000

#### ④ 가축분뇨의 토양 양분 공급의 기능

가축분뇨 등은 퇴비화 과정에서 많은 토양생물들이 관여하게 된다. 이러한 이유로 퇴구비는 발효과정에서 증식한 다량의 유익한 미생물이 작물의 뿌리주변에 공생하게 되어 병원균을 사멸시키거나 미생물이 뿌리로부터 분비되는 물질들을 비타민이나 식물호르몬으로 합성해서 뿌리에 제공함으로써 식물의 건전한 생육을 돕게 된다. 또한 퇴구비의 재료에 함유된 셀룰로즈 등의 조강한 유기물은 토양중의 소동물이나 미생물의 기능과 화학변화에 의해 부식이라는 고분자화합물로 변해 토양이 비옥해진다. 이와 동시에 토양생물들의 활동에 의해 토양의 물리성구조 즉 입단화가 형성된다. 이와 같이 가축분뇨 등에 함유된 유기물은 토양미생물의 먹이가 되고, 이들에 의해 증식된 유익한 토양미생물은 식물과 상호작용으로 자신의 서식환경과 토양조건을 양호하게 만들어 간다.

### 3) 토양개량

토양은 식물생산기능, Bioreactor 기능, 환경보전 기능이라는 다면적 기능을 가지고 있다. 따라서 토양특성을 이해하고 토양조건에 따른 토양 개량목표치를 설정하여 지속적인 토양개량을 위하여 노력하는 것이 안정적인 식량생산 기반의 확보에 매우 중요하다.



① 논 토양과 밭 토양의 특성

논 토양과 밭 토양의 물리적, 화학적, 생물적 특성은 <표 7>과 같이 큰 차이를 나타낸다.

<표 7> 논 토양과 밭 토양의 특성비교

항목	논토양	밭토양
토양 pH	약산성	강산성
환경조건	혐기성	호기성
천연양분공급량	관개수에 의한 공급	용탈, 침식으로 손실
질소고정능력	높다	낮다
유효인산함량	높다	낮다
미량요소 결핍	거의 없다	많다
환원성 유해물질	많다	적다
토양중의 산소	미량 내지는 없다	풍부
무기화율	높다	낮다
토성	점토	식양토 - 사양토
양분유실	유출수	토양침식
토양침식	적다	많다
잡초피해	적다	많다
연작	가능	불가능

② 토양개량의 목표치

순환농업을 통하여 농산물의 생산성, 안정성 및 안전성을 유지하기 위해서는 기본적으로 토양의 이화학적 성질의 개선을 위한 개량목표치<표 8>에 접근하기 위한 끊임없는 노력이 필요하다.

<표 8> 토양개량 목표치

항목	논토양	밭토양
토양 pH	6.0 ~ 6.5	6.0 ~ 6.5
작토의 깊이	15cm 이상	25cm 이상
유기물 함량	3%	5%
질소함량	80 ~ 200mg/kg	50mg/kg
유효인산함량	120mg/kg	450 ~ 550mg/kg
칼리함량	0.25 ~ 0.3mg/kg	0.7 ~ 0.8mg/kg
칼슘	5 ~ 6[cmol(+)/kg]	5 ~ 6[cmol(+)/kg]
마그네슘	1.5 ~ 2.0mg/kg	2.0mg/kg
유효규산	130 ~ 180mg/kg	-
CEC	10 ~ 15(me/100g)	15(me/100g)
EC	2(dS/m)	2(dS/m)

### ③ 유기물 시용의 효과

친환경농업에서 가장 중요한 것은 모든 유기물을 토양으로 환원시키는 일이다.

토양에서 유기물의 역할은 토양비옥도를 높이고, 토양 물리성을 개선하며, 토양 생물상을 활성화시키는 등 토양환경을 개선시켜 식물체의 생육에 영향을 미친다.

- 토양중의 유기물은 식물체가 흡수 이용할 수 있는 무기양분의 공급원이다.
- 양분보전능력을 확대한다.
- 토양의 공극량, 보수성, 통기성등을 개선한다.
- 완충작용을 높인다.
- 토양 생물상을 풍부하게 하고, 그들의 활성을 높인다.

### 4) 다품목 재배에 의한 다양성 유지

순환농업에서는 유기물을 투입하는 것 외에도 다품목의 작물을 동시에 재배함으로써 농장 내에 생물의 다양성을 유지시켜주는 것이 중요하다. 즉 삼림 생태계와 마찬가지로 해충이나 병원균은 천적이나 길항미생물들에 의해 작물의 피해를 허용 범위 내로 유지시켜 주거나 만일의 경우에는 다른 작물에까지 피해가 미치지 않도록 해준다. 이때 작물은 종류만 다양하다는 것을 의미하는 것이 아니라 윤작이나 녹비작물 및 야초 등의 적절한 공존을 의미하는 것으로 이러한 조건에서 다양한 공생미생물이 생존할 수 있기 때문이다.

### 5) 종자 선발

근래에 종자는 주로 다산성 위주로 육종 혹은 선발되어 있고 불량환경에 대한 내성이 약해 농약과 화학비료의 투입 없이는 생산이 곤란하기에, 이러한 재배관리가 행해지지 않는 순환농업을 위해서는 지역과 재배관리의 특수성으로 불량환경에 대한 내성이 강한 것을 선발하거나 자가 채취하는 것이 바람직하다.

## 2. 지역별 순환농업

우리나라의 경우 논은 대부분(85.2%)이 평탄지와 곡간지에 위치하고 있으나, 밭은 곡간 및 선상지와 산록경사지에 많이 분포(55.1%) 하고 있으며, 구릉지와 산악지에도 21.4%나 분포되어 있다. 이와 같이 우리나라 농경지의 지형조건은 다양하기 때문에 이에 적합한 protocol이 필요하며 일률적인 지침으로 환경농업의 목표를 달성하기 어려울 것이다.

우리나라의 작물재배 권역별로 살펴 본 가용 유기자원의 현황을 보면 <표 10>과 같다. 즉, 상수원 보호권과 산간지는 권역내에서 활용 가능한 유기자원중의 비료성분량이 권역내의 작물재배에 필요한 비료성분 요구량보다 훨씬 많으므로, 이들 권역내에서는 양질의 활용 가능한 양분공급은 가능할 것으로 보인다. 한편, 평야지와 고랭지권에서는 가용 유기자원으로부터 공급될 수 있는 비료성분의 총량이 약 1/2 밖에 되지 않아 화학비료로써 양분의 공급은 필연적이다. 그러나 우리는 아직까지도 유기자원중의 비료성분은 작물양분으로 평가하지 않는 경향이 팽배해 있어 화학비료 사용의 증가를 부채질하는 하나의 원인이 되기도 한다.

<표 10> 작물재배 권역별 가용 유기자원

(단위 : 톤)

지배권역	비료 소요량				가용 퇴비자원중 비료 성분량				비율 (B/A)
	질소	인산	칼리	계(A)	질소	인산	칼리	계(B)	
상수원권	6.7	4.6	5.1	16.4	13.8	7.8	7.2	28.8	1.75
산간지	11.2	7.8	9.1	28.1	25.1	15.7	13.9	54.7	1.94
고랭지	13.5	9.9	11.7	35.1	6.6	8.1	4.8	19.5	0.55
평야지	11.7	7.8	9.1	28.6	7.4	4.0	4.3	15.7	0.55

자료 : 엄기철외 8인(2002)

### 1) 평야지대에서 질소수지

우리나라 평탄지의 대표적인 경종작물인 수도작 지대의 경우, 작부체계에 따른 논토양으로의 유기물 환원량과 양분수지를 나타낸 것이 <표 11>이다.

<표 11> 작부체계에 따른 논토양의 유기물량, 유기질소량, 무기질소량, 생물학적 질소 고정량, 양분요구량 및 질소수지의 추정치

작부체계	유기물량(톤/ha) <sup>1)</sup>	유기질소량 <sup>2)</sup>	무기질소량 <sup>3)</sup>	질소고정량 <sup>4)</sup>	질소요구량 <sup>5)</sup>	질소수지 <sup>6)</sup>
	지상부+지하부	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
호밀+벼	11~12	280~300	3~15	33~65	110	▽40~74
벼단작	7~9	64~100	0.7~5	31~55	110	▽50~78
자운영+벼	4~7	100~155	1~8	80~150	110	▽30~△50
헤어리베치+벼	5~9	120~230	2~12	80~150	110	▽30~△50

<sup>1)</sup> 유기물량은 지상부와 지하부의 합계치(지하부 수량은 지상부의 25~30%)

<sup>2)</sup> 지하부 유기질소량은 1.0~1.5%로 계산

<sup>3)</sup> 무기질소량은 유기질소의 무기화율을 연간 1~5%로 계산

<sup>4)</sup> 질소고정량은 생물적 질소고정량인 독립영양계(Azoto - bactor)의 연간 10kg/ha, Algae에 의한 질소고정량을 연간 20~40kg/ha, 공생계(Rhizobium bacteria)에 의한 재배기간중의 고정량을 50~100kg/ha로 계산

<sup>5)</sup> 질소요구량은 관행농법에 의한 표준시비량

<sup>6)</sup> 질소수지는 질소공급량(무기질소량 + 질소고정량) - 질소요구량으로 계산

가. 논뒷그루로 호밀을 재배하였을 때, 유기물 환원량은 많지만 질소수지는 40~74kg/ha가 부족하므로, 지속적인 유기물 환원량의 증가를 통한 토양비옥도의 유지와 함께 부족량은 유기질 퇴비 또는 액비로 보충하는 것이 토양비옥도 증진에 유리하다.

나. 벼 재배후 볏짚을 썰어 넣는 경우에는 유기물 환원량은 많지만, 볏짚의 C/N율이 높아 분해속도가 늦다. 따라서 매년 볏짚을 썰어 넣는 것보다는 격년으로 환원시키는 것이 좋으며, 부족량의 질소인 50~78kg/ha은 외부로부터 유기질 퇴비를 보충시켜야 한다.

다. 두과 녹비작물의 잔사는 C/N율이 낮고, 분해되기 쉬우며, 유기물 환원량이 적당하고,

생물고정능력이 높으므로, 남부지방에서는 자운영을, 중북부 지방에서는 조생종 벼를 재배한 후 헤어리베치를 도입하여 토양으로의 유기물 환원량을 증가시키고, 생물 고정능력을 높이는 것이 필요하다.

라. 벼의 영양특성에서 볼 때, 토양질소의 이용효율이 높으므로, 토양으로의 지속적인 유기물 환원을 통하여 토양비옥도를 높은 수준으로 유지하는 것이 중요하다.

## 2) 중산간(전작)지대에서의 순환농업

전작에서의 친환경농업은 주로 엽채류와 과채류 중심으로 이루어지고 있다. 엽채류와 과채류는 양분흡수력이 낮아서 많은 양의 양분을 요구하기 때문에, 토양의 환경용량을 고려한 시비설계가 필요하다.

엽채류와 과채류는 연간 150~300kg/ha 범위의 질소를 필요로 하지만, 질소요구량의 1/2~1/3이 토양 중에 잔존하므로, 연작할 경우이거나, 다량의 질소를 투여할 경우에는 영양염류 집적토양이 되기 쉬우므로 시비량의 설정이 매우 어렵다.

최근에는 엽채류와 과채류의 시비에 돈분발효 액비사용이 일반화되고 있는 추세이지만 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

- 액비의 조제시에는 계절에 따른 발효기간을 설정하여 충분히 발효될 수 있도록 한다.
- 액비 사용시에는 질소농도를 정확히 분석하여 연간 일정한 농도가 유지되도록 한다.
- 액비 사용전에 반드시 토양 중의 잔존 질소함량을 측정 한 후, 작물종의 양분 요구량에 부족한 양분만을 공급토록 하여 양분의 지나친 사용을 최소화한다.
- 액비의 이용후에는 암모니아태 질소의 휘산을 최소화하고, 적정 희석배율을 정하여 토양으로 빠르게 침투될 수 있도록 한다.
- 특히 엽채류에서는 질소의 다량사용에 의한 질산태 질소의 직접위험이 높으므로 주의해야 한다.
- 엽류집적토양의 경우에는 연작을 피하고, 흡비력이 높은 청예작물을 재배하여, 토양중의 잔존양분을 흡수, 이용토록 하여 잔존양분을 감소시키는 한편 토양중의 유기물 함량을 높여주는 것이 필요하다.

## 3) 평야, 중산간 지역별 순환농업의 기술개발 과제

우리나라의 자연환경조건에서 순환농업은 평야지대에서 경종농업과 낙농업 혹은 한우산업, 중산간 지대에서는 전작농업 혹은 산지 농업과 유기염소 및 양계산업의 연계모형 설정이 가장 이상적이다. 즉 유기농업과 유기축산의 연계모형은 토양--> 사료작물(식물)-->가축(동물)을 연계하는 동적 시스템으로, 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째로 국토의 효율적인 개발과 경지이용을 통하여 부존 식물자원을 최대한으로 활용할 수 있고, 둘째로 생산되는 낙농제품과 육류의 안전성이 높아 소비자들의 욕구를 충족시킬 수 있으며, 셋째로 소비자의 입장에서 사육방식과 생산된 제품의 추적이 가능하며, 넷째로 가축분뇨를 식량과 사료자원의 생산에 필요한 유기자원으로 활용할 수 있고, 다섯째로 지역 내에서 경종농업과 축산업의 연계모형 개발이 가능하며, 국제적인 유기축산 동향에 능동적으로 대응할 수 있기 때문이다.

이를 위해서 다음과 같은 작부체계에 따른 가축분뇨 등에 의한 유기물 환원량과 양분수지에 대한 기술개발이 선결되어야 한다.

① 평야지대에서 수도작과 한우산업의 연계모형

- 유기 수도작 + 보리재배
- 유기 수도작 + 자주개자리
- 유기 수도작 + 이탈리아 라이그라스
- 사료용 벼재배 + 보리재배
- 옥수수+호밀 + 수단그라스

② 평야지대에서 사료작물과 젖소사육의 연계모형

- 유기 수도작 + 호밀재배
- 유기 수도작 + 헤어리베치
- 유기 수도작 + 자주개자리
- 사료용 벼재배 + 호밀재배
- 옥수수+호밀 + 수단그라스

③ 중산간지대에서 전작 혹은 산지농업과 연계한 유기염소 및 양계산업의 연계모형

- 유기 전작 + 호밀재배
- 유기 전작 + 자주개자리
- 옥수수+호밀

이상에서 살펴보았듯이, 무엇보다도 지역별 순환농업의 기초가 되는 올바른 퇴비사용을 위해서는 적정시비량이 결정되어야 하는데, 지금까지는 최대수량을 위한 시비수준으로 결정되었으나 수확체감법칙에 따른 경제적이고 환경친화적인 적정 시비량이 결정되어야 할 것이다.

### Ⅲ. 결 론

이제까지 우리는 편리하고 효율적인 경제성장만을 추구해 온 결과, 환경이 파괴되어 인류의 생존까지 위협을 느끼게 하고 있다. 따라서 지구의 순환구조에 농업이 지니고 있는 힘과 인간의 생존을 보증함과 동시에 환경을 영속적으로 보전할 수 있는 힘이 요구되고 있다.

따라서 앞으로 21세기의 농업은 기본적인 영양연쇄 과정에서 요구되는 양분을 생태계 내에서의 안정된 물질수지를 통하여 농산물의 생산성을 일정수준까지 높이고, 안전성을 유지할 수 있는 순환농업이 되어야 한다.

이들 순환농업이란 좁은 의미에서 임업-축산-경종농업이 물질순환으로 연계된 식량생산 체계라고 할 수 있으며, 넓은 의미에서는 마을, 또는 지역 내 유기물의 완전 순환을 통한 균형있는 물질수지를 유지시켜 생태계를 보전하고 안전한 농산물을 생산하는 일이며, 이를 기본으로 한 자원순환형 사회의 구축을 최종적인 목표로 한다.

친환경농업 ---> 유기농업 ---> 순환농업 ---> 자원순환형 사회의 구축

따라서 순환농업을 위해서는 무엇보다도 지역별 토양검정결과를 토대로 한 합리적인 표준 시비량 및 퇴비와 액비의 시용량의 기준이 마련되고 작물생산과정에서 발생한 부산물을 최

대한 재활용할 수 있는 지역별 자연순환형 작물생산 및 가축생산 시스템이 개발되어야 할 것으로 생각된다.

### 〈 참고 문헌 〉

1. 김완배 외 4인. 1999. 양평환경농업-21' 추진계획 수립을 위한 연구. 서울대학교 농업개발연구소.
2. 김창길. 2000. 부문 환경 문제 동향과 전망. 농업전망 2000. pp.101-123. 한국농촌경제연구원.
3. 김창길, 강창용. 2002. 지역단위농업환경모형의 체계화에 관한 연구. 한국농촌경제연구원 연구보고 R441.
4. 김창길, 김정호. 2002. 지속가능한 농업 발전전략. C2002-13. 한국농촌경제연구원.
5. 김춘수, 최홍립, 강성모. 1995. 분뇨 처리 시스템 개선 및 자원화기술 개발농촌진흥청.
6. 농림부. 2002. 2002년도 양축농가 교육교재 조사료 생산 이용 교육. 농림부·농협중앙회.
7. 농림부. 2001. 친환경농업육성법령집.
8. 농업과학기술원. 1999. 작물별 시비처방기준.
9. 농업과학기술원. 2000. 밭 토양환경보전 관리기술 종합보고서 : 1995 - 1999.
10. 농협중앙회. 1999. 흙살리기와 시비기술. 비료 No. 1-4
11. 엄기철. 2002. 흙 관리, 이대로 좋은가? 제 6회 흙을 살리자 심포지엄. 농민신문사·한국토양비료학회, pp. 11-42,
12. 엄기철외 8인. 2002. 권역별 환경농업모형 개발에 관한 연구, ARPC 최종보고서. 농림부.
13. 유덕기. 2002. 가축분뇨의 배출규제 문제와 처리개선 방안. 2002년 한국유기농업학회학술 발표대회 pp. 3-27.
14. 이주삼. 2002. 친환경농업의 자연과학적 접근. 제6회 흙을 살리자 심포지엄. 농민신문사·한국토양비료학회. pp. 71-81.
15. 정연태, 조인상, 엄기철. 1999. 환경보전 및 지속적 농업개발. 세계농업규범 관련 쟁점 대응을 위한 심포지엄. 농촌진흥청.
16. 정영상, 양재의, 엄기철. 1999. 작부체계의 따른 환경적 가치평가. 환경친화형 농경지 고도이용기술 심포지엄. 농촌진흥청.
17. 조익환. 2002. 유기흑염소의 사양관리, 경상북도 농업기술원.
18. 축산기술연구소. 2000. 가축분뇨 비료성분 부하수준.
19. 최지용, 신은성. 1998. 농업지역 비점오염원 관리방안 연구. 한국환경정책·평가연구원.
20. 허장, 정은미, 김창길. 2000. 지역단위 농업환경모형 개발에 관한 기초연구. 연구보고 R417. 한국농촌경제연구원.
21. 松本成夫, 1998. 農業生態系の物質循環. 陽棲行(編著). 環境保全と農林業. pp. 157-167. 朝昌書店.
22. Tivy, Joy. 1990. Agricultural Ecology. Harlow, U.K.: Longman Science Technical.