

가축분뇨가 토양에 미치는 영향 및 자연순환농업의 연구방향

박기도* · 박창영

농촌진흥청 작물과학원

The Effects on Soil and Research Direction of Resource Cycling Agriculture

Park, K. D.* and Park, C. Y.

National Institute of Crop Science, RDA

서 론

자연순환농업이란 그 지역에서 발생하는 농업부산물을 같은 지역에 농산물 생산을 위해 환원하는 농업을 말한다. 농업환경과 여건의 변화로 현재에는 과거의 순수 자연순환농업으로는 경쟁력과 생산력을 유지할 수 없으므로 보다 폭넓은 의미로 자연생태계의 영속적인 물질순환 기능을 활용하여 작물과 가축이 건강하게 자라게 하고 농축산물의 안전성과 품질을 높이고자 하는 농업으로서 환경적으로 건전하고, 경제적으로 수익이 보장되며, 국민의 건강과 안전성을 증진시킬 수 있어야 한다는 의미도 포함한다고 볼 수 있다.

우리나라의 가축분뇨의 생산량은 2004년 41백만톤이며 이를 이용한 퇴·액비를 유용한 비료자원으로 사용한 자연순환농업에 많은 관심이 집중되고 있다. 작물재배에 유용한 양분을 가지고 있으며 화학비료를 대체할 수 있는 양분자원이지만 농경지에 적절하지 않게 과다 사용되었을 경우 토양 양분과다 축적, 환경오염 및 토양의 질 저하의 원인이 될 수 있으므로 우리의 농업이 살고 축산농

가와 경종농가가 상생하며 토양을 살리기 위한 올바른 자연순환농업의 정착이 필요하다. 따라서 자연순환농업의 흐름, 가축분뇨의 효과, 특성 및 장단점 그리고 토양 건전성 회복을 위한 자연순환농업의 나아갈 방향을 언급하고자 한다.

자연순환농업

1. 생태계 양분의 자연순환

농업 생태계에서는 생산자인 식물이 뿌리로부터 물과 무기염류를 흡수하고 태양에너지의 힘을 빌려 탄소를 고정하여 유기물인 식물체를 만들어 내고 인간의 식량 혹은 동물의 먹이로 섭취되며 이들 소비자들이 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

* Yeongnam Agricultural Research Institute

Corresponding author : Park, K. D. Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA., Miyang, 627-803 Republic of Korea. E-mail: pkd@rda.go.kr

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 발생된다. 발생된 가축분뇨는 자원화과정을 거쳐 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.

산업혁명 이후 급속히 확대되어 온 공업화

에 따라 인류사회는 과거 농업중심의 사회에서 공업중심의 사회로 탈바꿈하게 되었다. 농업에 있어서도 농업의 공업화를 초래하였다. 공업화에 의해 인류가 오늘의 물질적인 풍요를 향유할 수 있게 된 것은 부인할 수 없다. 그러나 그 과정에서 인류는 많은 것을 잃어 왔음도 시인하지 않을 수 없다. 그 중 무엇보다 중요한 것은 환경오염에 따른 생태계 파괴로 인해 인류의 생존기반 자체가 위협받고 있다는 점이다. 그 동안 농업 생산이 지나치게 생산성 향상에 치중해 온 나머지 자연생태계와의 조화를 통한 농업의 다면적이고도 공익적인 기능이 무시되어 왔다. 따라서 인류는 이제 삶의 질적 향상을 위해 절제 있는 경제행위를 요구받고 있으며, 나아가 생활수준의 저하를 감내해야 할지도 모른다. 그 같은 의미에서 미래의 농업은 기존의 상품농업에서 생명농업으로 탈바꿈하기 위해 지역농업의 위상을 재정립할 필요가 있다. 이를 위해 농업은 1차적으로 각 지역의 주어진 생산 여건 하에서 가장 효율적으로 생산될 수 있는 농산물을 공업의 원리가 아닌 농

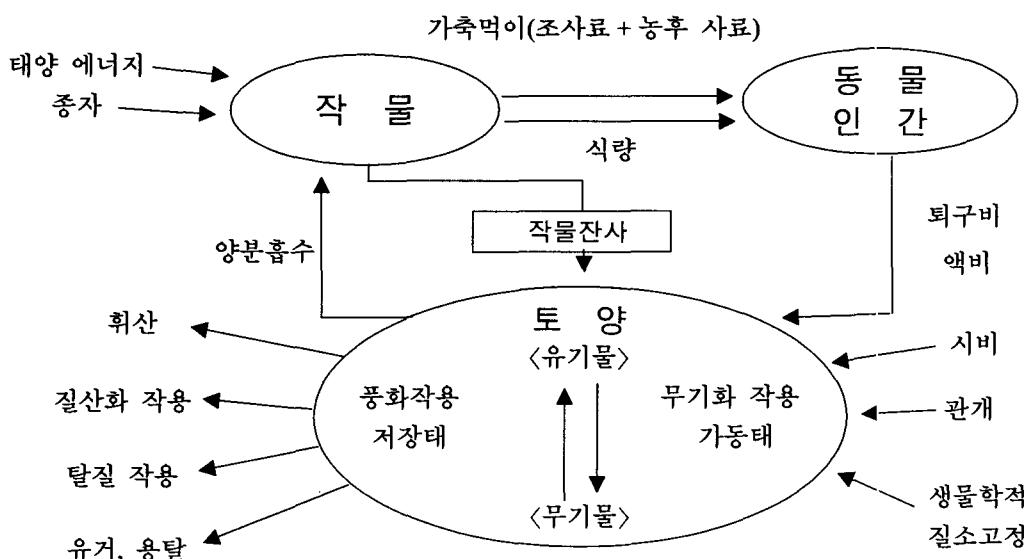


그림 1. 농업생태계의 자연순환.

업순환의 원리에 따라 생산할 수 있도록 조작될 필요가 있다.

농업은 자연생태계의 물질순환을 이용하는 산업으로 자연과 수많은 생명체, 인간이 공동으로 운영하는 산업으로 환경오염이나 농업생태계내의 물질순환 구조가 깨어지면 농업은 유지될 수 없다.

2. 자연순환의 에너지 흐름

과거 농업의 시작이후로 화학비료의 대량 생산이전까지 식물, 동물 및 인간의 에너지 대사는 철저하게 자연순환의 원리대로 이루어졌다. 식물이 생산한 곡식과 식량을 동물 및 사람이 섭취하고 여기서 나오는 유기물을 다시 토양에 환원하여 작물에 되돌아감으로써 식물에게 양분으로 순환되는 자연순환농법이 자연스럽게 이루어져왔다.

그러나 산업의 발달과 편리를 추구하는 인간의 섭성에 따라 인간으로부터 유래되는 유기물의 자연환원이 단절되기 시작하였고 결국에는 동물과 식물간의 자연순환 마저 어렵게 되어졌다. 이러한 이유로 인하여 동물과 인간으로부터 유래되는 유기물들은 자연으로 환원되지 못하고 폐기물로 처리되어졌으며

식물에는 자연유기물을 대신하는 화학비료와 합성농약으로 식량을 생산하게 됨으로써 자연순환의 고리가 깨어지게 된 것이다.

이제 자연순환의 중요한 에너지원인 가축분뇨의 손실을 줄이고 이를 농경지 양분으로 환원하여 토양의 질을 유지 및 향상하고 농산물의 품질을 향상화한 진정한 자연순환농법의 실현이 매우 필요한 시기이다.

3. 자연순환농업의 연계성

자연순환농법은 물질의 순환에 근거한 농법으로서, 산에서 자라는 큰 나무들이 유기질 비료든 화학비료든 영양 성분을 외부에서 공급받지 않아도 영양 결핍 없이 잘 자라는 것과 같은 맥락을 가지는 농사 방법이다. 나무는 뿌리에서 양분을 흡수하여 잎을 만들고, 잎이 떨어져 죽게 되면 미생물이 분해하여 양분을 땅에 되돌리고, 이 양분은 다시 뿌리에 흡수되는 순환 과정을 반복한다. 이것은 자연 생태계에서 일어나는 완전무결한 물질의 순환과정이다. 20세기 초에 화학비료와 농약이 개발되기 이전에는 가축과 사람의 분뇨와 농업 부산물과 산야초로 만든 퇴비를 비료로 이용하였고, 또 자운영, 헤아리벳치,

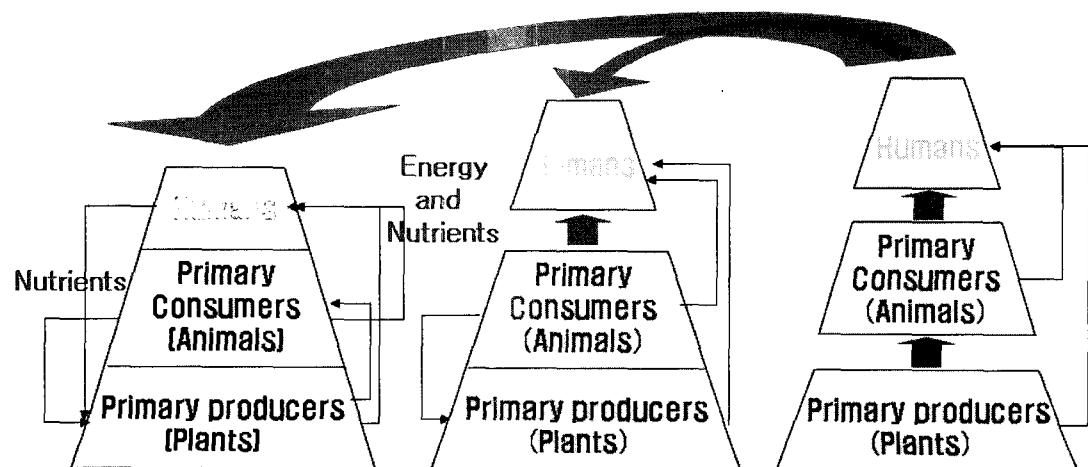


그림 2. 자연순환을 위한 양분에너지의 흐름.

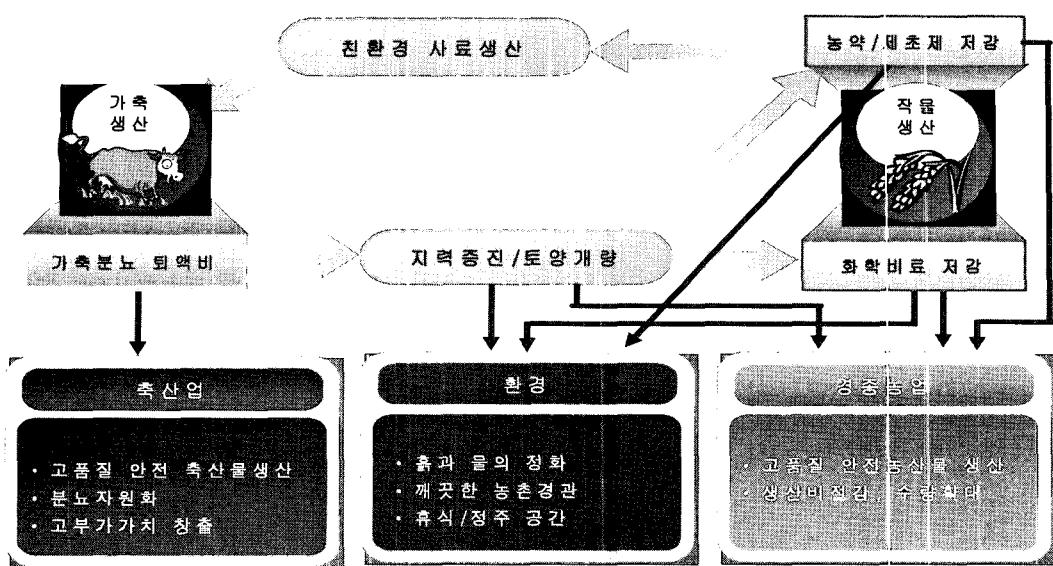


그림 3. 자연순환농업의 경종·축산·환경과의 연계성.

호밀 등 녹비작물 재배와 콩과 작물과의 윤작 등으로 지력을 유지하였다. 그리고 살충제는 니코틴, 제충국 등 천연 식물농약을 이용한 말 그대로 순수한 자연순환농업을 하여왔다.

자연순환농업을 크게 2가지로 구별할 수 있다. 가축분뇨의 공급 없이 녹비작물재배, 벚짚이나 보리짚 등 작물잔사물의 환원에 의해 토양의 유기물 함량을 향상시키고 양분을 공급하여 인위적으로 화학비료를 첨가하지 않고 작물을 생산하는 농업을 무축자연순환농업이라고 할 수 있다. 자연순환 원리를 적용하여 작물이나 가축에게 인위적인 간섭을 최소화하고 최적의 생활환경을 제공하여 작물과 가축이 건강하게 생육케 함으로써 농축산물의 품질과 수량을 높이고 토양의 양분공급능력을 높이는 것을 유축자연순환농업이라고 정의할 수 있다. 산업적 측면에서의 자연순환농업은 가축분뇨 발효를 통해 생산된 유용 미생물과 유·무기태 양분에 의해 지력이 증진되어 생태 보전은 물론, 경종과 축산의 발전 및 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 수단이 될 수 있다. 그러나 같은 지역에서 생산되지 않은 가축분뇨 퇴·액비를 토양의

양분 부하량을 초과하여 과다시용하고 환경과 경종농업의 안전성을 생각하지 않는다면 진정한 자연순환농업이라고 할 수 없다. 왜냐하면 자연순환농업은 환경보전을 위한 친환경농업 실현에 주요한 농업이기 때문이다.

토양의 질 및 유기물의 역할

1. 토양의 질

토양에 대한 지질학적인 의미는 암석권(Lithosphere)과 대기권(Atmosphere) 사이의 부드러운 풍화지층(Pedosphere)을 말하며, 농학적인 의미로는 적당한 비율의 고형물과 물, 공기 등이 섞여 있고 여러 가지 영양분을 머금고 공급하여 식물이 잘 자라게 할 수 있는 능력이 있는 농업생산의 기본적 요소라고 정의하고 있다. 그러나 식량생산과 소득증대를 위해 과다하게 사용된 화학비료, 농약, 가축분뇨 및 각종 농업자재들로 인해 토양의 질은 저하되고 생산성은 낮아지면서 농업환경보전적인 의미에서 토양의 질에 대한 관심이 증대되고 있다.

토양의 질에 대한 관심은 시대마다 주안점이 다르긴 하였으나 수천 년간 지속되어 왔다. 과거에는 인구의 증가와 함께 농산물의 증산이 필요하였고 이에 따라 야산의 개간이나 간척과 같은 농경지의 외연적 확대를 실시하였을 뿐만 아니라 그 당시의 토양의 질이라고 생각되는 단위 토지면적 당 작물 생산성을 높이기 위하여 토양에 여러 가지 자재와 에너지를 투입하게 되었다. 약 100년 전부터 농업은 내부자원이용에서 비료, 농약, 석유연료 등과 같은 외부자원 투입에 기초한 생산체계로 이동하기 시작하였다. 현대과학을 기본으로 한 농업의 업적은 크나 생산성만 강조하고, 자연자원의 악화에 대한 화학 물질 및 에너지집약 농업의 총비용이 감안되지 않았다. 그로 인하여 농업의 지속성을 우려하게 되어 생산성과 안전성 그리고 청정한 환경의 필요성과 생태계와의 균형을 이루는 토양관리체계 개발의 필요성을 절실히 느끼게 되면서 새로운 개념의 토양의 질과 건강이 관심사가 되었다. 이와 같이 토양의 질의 중요성이 대두됨에 따라 토양의 질 지표의 개발의 필요성을 느끼게 되었다. 토양의 질을 평가하기 위한 도구인 지표의 개발과 설정의 중요성이 강조되어온 이유는 토양조건의 유지와 개량에 대한 지속적 관심, 토양관리방법과 기술의 평가, 다른 자원들과 토질의 연계, 변화추이에 필요한 정보수집, 국가 토양의 건강성 동향 파악 및 토지 관리자의 지도를 위하여 절실히 필요한 길잡이의 역할을 할 수 있기 때문이다.

토양의 주요 기능으로는 ① 생물 다양성과 생산성 지속, ② 물과 용질의 흐름조절과 배분, ③ 물질의 여과, 완충, 분해, 독성경감, ④ 물질의 저장과 순환과 ⑤ 생물에 구조적 지지기반 제공 등이 있다. 이들 기능을 발휘하는 정도에 따라 토양의 질의 높고 낮음이 판단되고 각 기능은 토양의 여러 가지 특성에 의하여 결정된다. 결국 토양의 질은 토양이

가지고 있는 형태, 물리, 화학 및 생물적인 여러 가지 특성에 의하여 결정된다고 볼 수 있다.

질이 좋은 토양은 작물생산을 위한 양분이 충분하고 물의 공급이 원활하며 뿌리생육발달에 효과적이어야 한다. 또한 작물의 질병이 줄어들고 용탈이나 유실에 의한 양분의 손실이 최소화 되는 토양이 양질의 토양이다. 이러한 토양의 질을 측정하는 항목은 각 나라마다 그 기준이 다르지만 우리나라에는 Table 1과 같이 항목으로 토양의 질과 건전성을 평가하고 있다.

토양 질과 건전성 평가를 위한 지표 중 가축분뇨 퇴·액비가 미칠 수 있는 영향은 물리, 화학, 및 생물학적인 부분에 걸쳐 거의 대부분 영향을 미칠 수 있다. 가축분뇨 퇴·액비가 유기·무기태의 양분과 또 다양한 형태의 미생물상을 가지고 있기 때문이다. 이처럼 가축분뇨 퇴·액비를 농경지에 잘 환원하여 이용하면 토양의 질 향상과 건전성 회복에 기여할 수 있지만 반대로 적절하게 사용되지 않고 무분별하게 토양에 이용될 경우에는 반대로 토양의 질과 건전성을 악화시키는 요인이 될 수 있는 것이다.

Fig. 4는 우리나라 논, 밭, 시설재배지 토양의 질의 변화를 Table 1 중 화학성을 기준으로 분류한 것이다. 논의 경우는 밭이나 시설재배지에 비하여 조사기간 중 비교적 건전해졌다고 볼 수 있고 시설재배지는 토양의 질과 건전성이 많이 악화되고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로는 집약적으로 재배되는 시설재배지 과다한 비료와 유기물의 사용이 원인으로 알려지고 있다.

2. 토양유기물의 역할

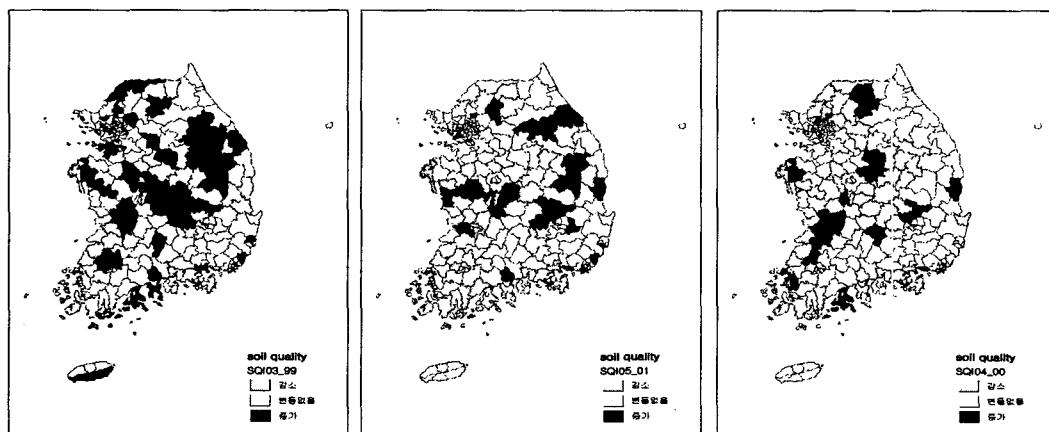
토양 유기물은 토양의 질을 향상하고 건전성을 회복하며 작물의 생산성을 향상할 수 있는 중요한 요인이다. 이러한 의미에서 가

Table 1. 토양의 질과 건전성 평가를 위해 제안된 토양의 물리, 화학, 생물학적 지표

Indicators	Korea	USA [†]	Canada [‡]	New Zealand [§]
Physical	Soil erosion Bulk density Depth of soil, top soil, Aggregate stability Texture Infiltration AWHC	Soil erosion Bulk density Aggregate stability Texture Depth of soil, top soil, and rooting Infiltration AWHC	Soil erosion Bulk density Aggregate stability AWHC Saturated hydraulic conductivity	Soil erosion Bulk density Total porosity Macro porosity Aggregate stability
Chemical	Organic matter pH EC Ext. N, P, K Heavy metal	Organic matter pH EC T-N Ext. N, P, K	Organic matter pH Ext. P, K, Fe, Al T-N CEC	T-C and N pH Ext. P, Base CEC Base saturation
Biological	Microbial biomass C and N Potentially mineralizable N Soil respiration	Microbial biomass C and N Potentially mineralizable N Soil respiration		Potentially mineralizable N

[†] Doran, J. T. and T. B. Parkin (1966).[‡] Acton, D. F. and L. J. Gregorich (1995).[§] Sparling, G. et al. (2001).

* 자료 : 농촌진흥청(2005).



* 자료 : 농촌진흥청(2005)

그림 4. 우리나라 토양 질 지수의 연차간 변동.

축분뇨 퇴·액비는 토양유기물을 증대의 중요 한 수단이 될 수 있다. 토양유기물은 토양미 생물의 작용에 의해 무기화되면서 작물이 흡 수 이용할 수 있는 무기태의 양분으로 된다.

우리나라 토양은 화강암을 모재로 한 토양이 주를 이루며 대체로 유기물 함량이 낮아 논 토양은 2.4%, 밭토양은 2.5%의 평균 유기물 함량을 나타낸다. 유기질 비료의 물질 순환

은 우선 미생물에 의한 분해로 무기화 된 연 후에 이루어진다. 유기질 비료는 토양미생물의 활성화, 토양부식의 생산 및 토양물리성의 개선 등 긴 시간에 걸쳐 토양의 기반을 조성하는 물질로 생각할 수 있다. 유기질 비료 및 가축분뇨 퇴·액비는 여러 가지 양분들을 공급하고, 보수력과 보비력 등 토양의 물리성을 좋게 해주는 특성이 있다. 그 중에 서도 토양의 물리성 즉 작물 생육에 필요한 토양의 기반을 튼튼하게 해 주는 것이 화학 비료가 갖지 못하는 중요한 역할로 볼 수 있다. 유기물을 토양에 사용했을 때의 효과는 다음과 같다.

(1) 식물양분 공급원으로서의 효과

토양부식은 다량요소와 미량요소 공급기능이 있다. 그리고 그 효과는 화학비료와 달리 완효성이며 지속적으로 작물에 양분을 공급 한다. 특히 분해 과정에서 이산화탄소를 방출하여 식물의 광합성을 촉진시키고 작물에 생육촉진물질을 공급하는 효과도 있다.

(2) 토양의 이화학성 개선효과

토양부식은 토양입자를 입단화하여 토양의 공극분포도를 높리고 투수성과 보수성 및 통수성을 좋게 하며 강우에 의한 토양침식을 방지하는 토양물리성 개선효과가 있다. 토양의 부식은 토양의 점토보다 양이온 치환능력이 더 크므로 부식질 토양은 CEC가 높아 완충 능력을 향상시키는 기능을 한다. 한편 부식은 퀼레이트제 기능을 하므로 토양 중 활성 알루미늄 생성을 억제시키고 인산 고정을 방지할 뿐만 아니라 토양 인산의 유효화를 촉진시키는 기능을 갖고 있다.

(3) 토양중의 생물상과 그 활성의 유지 및 증진

토양 중에 부식함량이 증가되면 토양 중 중소 생물과 미생물 수가 증가되고 종의 다양성이 증가되어 생물상이 안정된다. 그 결

과 물질순환능이 증가되어 생물학적 토양완충기능이 강화된다. 또한 토양의 미생물의 수와 활성이 증가되어 유해 물질을 분해, 제거 및 안정화시키는 기능이 증대되는 효과가 있다.

이러한 토양 중 유기물 함량을 향상할 수 있는 방법으로 아래와 같은 방법들이 있다.

(1) 작물의 잔유물을 토양으로 환원

재배된 작물이 수확되면 근계 부분은 토양에 남아 토양유기물의 공급원이 된다. 또한 벗짚이나 보리 짚과 같은 작물 잔존물은 소각하지 말고 환원해야 토양 유기물량이 증가된다.

(2) 녹비작물 재배

녹비는 작물재배를 위한 양분공급의 효과 이외에 토양유기물 함량 증가에 따른 지력증진에 효과적이다. 또한, 분해 시 발생하는 각종 유기성 화합물에 의한 토양 구조 안정화에도 기여한다.

(3) 최소 경운 및 직파

토양 경운 효과 중의 하나는 토양 통기성과 토양유기물의 산화 증대다. 최소 경작 및 직파에 의해 연중 수 cm 이내의 토양 표면에서 유기물 함량이 증가할 수 있다.

(4) 적정 비료와 석회의 사용

작물수량 증가를 위한 비료와 석회의 사용은 본질적으로 토양유기물을 유지에 효과적이다.

(5) 가축분뇨 퇴·액비의 사용

유기·무기 양분이 함유되어있는 가축분뇨 퇴·액비의 농경경지 사용으로 토양유기물이 증가될 수 있다.

3. 가축분뇨 퇴·액비의 사용효과

초지에서 사료작물을 재배하고 가축을 사육하며 여기서 발생하는 배설물을 토양에 환

원하고 이를 사료작물이 다시 이용하는 순환 농업에서 질소의 이용효율은 연구자들 간에 다소 차이가 있으나 15~35% 수준이다(Table 2). 이 연구결과는 인위적으로 추가의 가축분뇨 퇴비·액비를 사용하지 않고 자연순환에 의해 일어나는 질소성분의 효율을 나타낸 것으로서 비료로서의 공급효과는 Van der Meer (1982)의 연구결과 외에는 비교적 낮다고 할

Table 2. 가축-토양-식물체 질소순환에서 질소효율 비교

연구자	Frink (1988)	Bennekou (1992)	Asrts (1992)	Paul (1995)	Bouldin (1984)	Van der Meer (1982)
질소효율	17%	15%	15%	15%	24%	30~35%

* 자료 : 농촌진흥청(1999)

Table 3. 퇴비시용에 의한 밭토양의 물리성 개선효과

구 분	가 비 중 (g/m ³)	공극량 (%)	경도 (mm)	통기성 (cm/sec)	입 단 (%)
3요소	1.37	48.3	20.2	0.27	34.6
퇴비 1,000 kg/10a	1.22	54.0	18.9	0.41	45.6
볏짚 500 kg/10a	1.27	53.1	18.0	0.48	50.7

* 자료 : 농촌진흥청(1999)

Table 4. 축분퇴비 시용에 의한 밭토양의 효소활성 및 미생물체량 변화

처리	DHA ¹⁾	PME ²⁾	Protase ³⁾	Biomass C ⁴⁾	Biomass N ⁵⁾
배추	무비	12.0	1.4	8.6	203
	화학비료	8.0	1.3	7.8	191
	퇴비	40.2	2.5	13.5	362
고추	무비	9.5	1.5	12.8	184
	화학비료	6.0	1.5	12.9	180
	퇴비	26.0	2.2	17.5	268

¹⁾ Dehydrogenase $\mu\text{g TPF/g soil}/24$ ²⁾ Phosphomonoesterase $\mu\text{mol PNP/g soil}/\text{h}$ ³⁾ nmol Leucine/g soil/min^{4), 5)} mg/kg dry soil

* 자료: 농촌진흥청(1999)

Table 5. 가축분뇨 발생량 및 자원화 현황(2004년)

연간발생량 (천톤)	자원화 물량		정화방류	공공처리	해양배출	기타
	퇴비	액비				
41,171 (100%)	32,661 (79.3%)	498 (1.2%)	1,398 (3.4%)	2,331 (5.7%)	2,346 (5.7%)	1,937 (4.7%)

※ 산출근거 : 농림부, 해수부, 환경부, 농협의 '04년도 자료에 근거하여 산출

수 있다.

퇴비와 벗짚시용 시 밭토양에서의 물리성 개선효과(Table 3)는 퇴비 및 벗짚과 같은 유기물을 시용으로 가비중이 감소하고 공극량이 증가하며 통기성이 향상 및 입단의 증가에 뚜렷한 효과가 있었다.

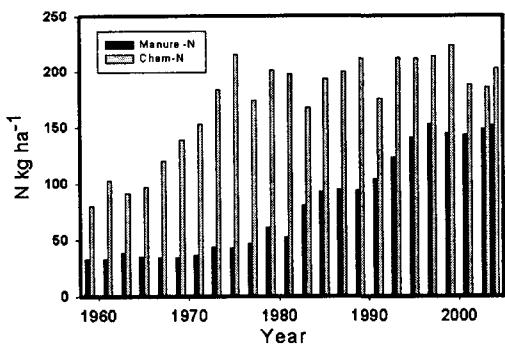
또한, 배추 및 고추재배 밭토양에서 축분퇴비를 시용한 효과(Table 5)로서 축분퇴비가 화학비료나 비료를 시용하지 않은 처리보다 토양효소활성 및 토양 미생물상에 긍정적인 영향을 미침을 알 수 있다.

가축분뇨의 현황 및 장단점

1. 가축분뇨 발생량 및 퇴·액비 활용현황

국민소득의 증대와 식생활의 변화로 육류 및 축산관련 식품의 소비량이 증가하면서 이를 공급하기 위한 가축사육두수가 늘어나게 되고 농업의 구조가 변화되면서 발생하는 가축분뇨의 활용에 많은 관심이 모아지고 있다. 2004년 말 현재 통계에 의하면 전체 분뇨발생량의 80.5%가 퇴·액비로 활용되고 있다. 이러한 가축분뇨 퇴·액비만으로 작물의 질소 소요량을 충당할 수 있는 면적은 584천 ha 수준으로 우리나라 경지면적 1,836천ha의 31.8%이다. 그러나 분뇨 발생량의 80.5%가 퇴·액비화 물량으로 추정되고 있으나, 실제 자원화가 되고 있는 분뇨량은 이보다 적을 것으로 예상된다.

Fig. 5는 농경지 중의 질소 투입원의 변화를 나타낸 것이다. 1960년대부터 우리나라 농경지에 투입되기 시작한 화학비료는 초기에 100 N kg/ha 정도로 사용되다가 70년대 중반까지 급격히 증가하여 200 N kg/ha으로 2배 정도 증가되었다. 이 이후부터 2000년까지는 비슷한 수준을 유지하다가 2000년 이후 친환경농업의 관심고조와 농경지 양분의 불균형적 집적, 농산물 품질 및 안전성에 대한 요구도가 증대되면서 농경지에 ha당 사용되는 질소비료의 사용량은 점점 감소하고 있다.



*자료 : 농촌진흥청(2006)

Fig. 5. 농경지 질소투입원의 변화.

반면 가축분뇨 유래 질소는 1960년에서 80년대까지는 미미하게 증가되었으나 축산의 증가와 가축분뇨의 농경지 사용이 촉진되면서 ha당 150 N kg/ha에 이를 정도로 가축분뇨에 의한 농경지 질소공급은 증대되고 있다.

2. 가축분뇨에 대한 SWOT 분석

화학비료와 자연순환농법에 사용되는 가축분뇨·액비와 각종 유기질비료의 장단점을 Table 6에서 서로 비교하였으며 Table 7은 가축분뇨에 대한 SWOT 분석을 하였다. 비료자원으로서 가축분뇨는 미량 및 다량원소의 공급, 토양의 물리·생물학적 기능을 향상하는 등 화학비료가 갖지 못하는 다양한 장점을 가지고 있는 반면, 양분의 적시 적량 공급이 어렵고 품질이 불균일성, 악취 및 환경오염 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 가축분뇨 퇴·액비의 문제점이 개선되고 환경과 농업을 보전하면서 올바르게 사용된다면 분명 좋은 유기자원임에 틀림없다.

3. 가축분뇨 활용의 문제점

1) 가축분뇨 퇴비의 발생량 과다

우리나라의 축산에 의한 인산 발생량은 연간 147,087 ton으로 우리나라 전체 농경지에 사용하고 남을 양만큼 농경지에 비해 많은

Table 6. 화학비료와 유기질비료, 가축분뇨 퇴·액비의 장·단점

구분	화학비료	유기질비료, 가축분뇨 퇴·액비
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 양분의 적시 공급 가능 <ul style="list-style-type: none"> • 속효성, 작물재배중 사용 용이 - 양분의 적량공급 용이 <ul style="list-style-type: none"> • 양분 함량 명확 및 품질의 균일 - 성분별 사용 가능 - 취급의 용이 <ul style="list-style-type: none"> • 고농도로 부피, 무게가 적음 • 운반 및 사용이 편리함 • 깨끗함, 악취 없음 - 상대적 가격 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양물리성 개선 - 적량시용 시 작물 수량 및 품질개선 - 화학비료 대체 시 농산물 가격 상승 <ul style="list-style-type: none"> • 유기농산물로 인정 - 부존자원 활용
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 화학물질로 사람에 나쁜 것으로 인식 - 화학비료만 지속시용 시 토양 물리성 악화 - 사용의 편리성 및 속효적인 효과로 과다 살포 	<ul style="list-style-type: none"> - 양분의 적시 공급이 어려움 <ul style="list-style-type: none"> • 사용 후 양분 가용화까지 시간 필요 • 불필요한 시기에 용출시 피해 발생 - 양분의 적량공급이 어려움 <ul style="list-style-type: none"> • 양분 함량의 변이가 큼 • 품질의 균일화가 힘듦 - 성분별 사용이 어려움 <ul style="list-style-type: none"> • 한 성분 기준 사용 시 다른 성분의 부족 또는 과잉집적유발 가능 - 운반, 살포 등 취급이 어려움 - 양분 함량에 비해 상대적 가격이 높음

Table 7. 가축분뇨의 SWOT 분석

강점 (Strengths)	약점 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> - 토양 및 작물에 양분 공급 <ul style="list-style-type: none"> • 다량·미량원소의 공급원 • 완효적, 누적적 양분공급 효과 • 탄산가스의 공급원 - 토양 물리·화학성 개선 <ul style="list-style-type: none"> • 유기물 공급에 의한 토양입단 형성 • 토양 완충능 증대 - 토양 생물상의 활성증진에 의한 물질순환 기능 증대 	<ul style="list-style-type: none"> - 지역적 편중에 의한 다량생산 - 균일한 제품 생산 어려움 - 단일성분 공급 불가 - 취급, 운반, 살포의 어려움 - 악취 - 중금속, 항생제, 특정성분 집적 - 성분을 분석하여 사용해야 함
기회 (Opportunity)	위기 (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> - 친환경농업 관심 고조 - 자연순환농업 실현 가능성 - 화학비료 대체자원 가능성 - 정부의 적극적 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 과다시용에 의한 문제점 - 환경오염 유발 가능성 <ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨에 대한 환경영향평가 부족 • 해양투기 금지

양이 발생하고 있으나 화학비료를 유기질비료로 대체할 경우 Table 6, 7에 언급한 것과 같은 여러 가지 어려운 점이 있다. 화학비료의 편리성을 대체할 정도의 여건이 형성되지

않기 때문이다. 유기질비료로 대체할 경우 Table 6에서 언급한 것과 같은 여러 문제가 발생할 수 있다. 일본의 경우 유기질 비료의 사용량은 전체 필요양분의 30% 이내로 권장

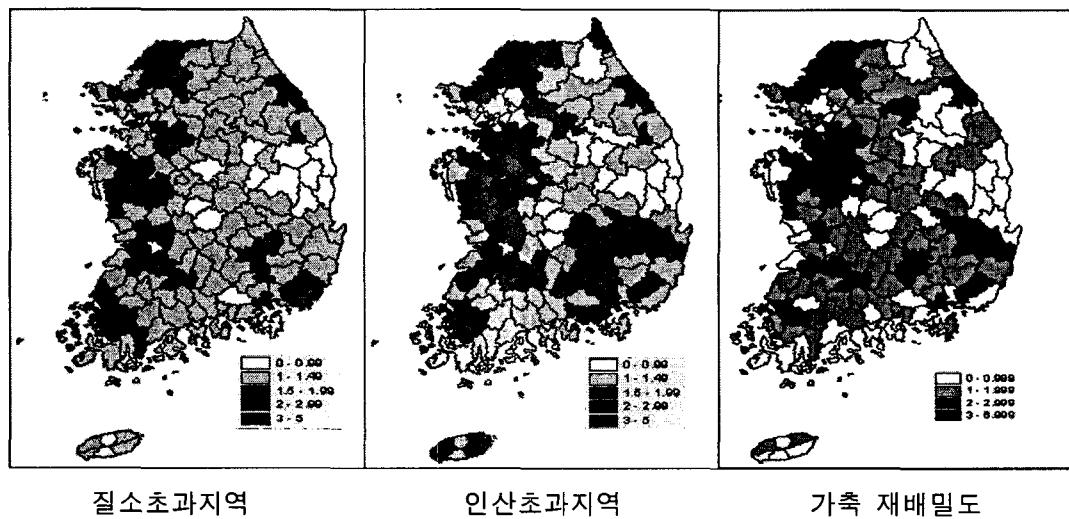
Table 8. 경지면적 1000ha 이상 시·군의 경지면적당 가축사육두수(한우기준 환산)

분 표(한우, 마리/ha)	6.0 이상	4.0~6.0	2.0~4.0	1.0~2.0	1.0 이하	계
해당 지역수 (경지면적 1,000ha 이상 시군)	12	27	50	37	11	137
분포비율 (%)	8.8	19.7	36.5	27.0	8.0	100.0

최저값: 0.36, 최고값: 14.41, 평균값: 3.24, 중앙값: 2.65

한우: 1.0, 젖소: 1.9, 돼지: 0.28

*자료: 농촌진흥청(2006)



* 자료: 농촌진흥청(2006)

Fig. 6. 우리나라 농경지중 양분초과지역과 가축재배 밀도의 비교.

하고 있다.

소성분이 다소 과다함을 알 수 있다.

2) 가축사육의 지역별 편중

EU의 경우 경지면적(ha)당 질소발생량 기준 170 kg/년으로 가축사육밀도 규제하고 있다. 이는 ha당 한우 3.9마리, 젖소 2.0마리, 돼지 13.7마리에 해당된다. Table 8에서 보는 바와 같이 ha당 최고값이 14.41에 이르러 가축사육이 지역적으로 심하게 편중되어 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로 퇴·액비의 수급량 및 사용에도 지역적 편중이 우려될 수 있다.

Fig. 6은 우리나라 농경지의 질소성분의 초과지역과 지역별 가축의 재배밀도를 나타낸 것이다. 농경지의 질소성분이 과다한 지역과 가축밀도가 높은 곳이 비교적 일치하여 가축을 밀집하여 사육하는 인근지역 토양중의 질

3) 가축분뇨·액비중 특정성분의 과다 함유

일부 불량한 품질의 가축분뇨 퇴비가 생산·판매되고 가축분뇨 액비는 악취문제와 품질 불균일성이 상존하고 있다. 특히 퇴·액비 중 구리, 아연 등 특정 광물질의 과다 함유로 인한 부적절하게 장기사용 시 토양에 집적을 우려할 수 있다.

구리의 경우 건물기준으로 Cu의 평균 함량이 577 mg kg^{-1} 인 돈분퇴비를 $12.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 수준(전물기준)으로 연용할 경우 현재의 우리나라 토양오염 우려기준인 0.1 N-HCl 가용성 함량 50 mg kg^{-1} 에 도달하는 시용년수를 추정한 결과 1차함수로는 37년, 로그함수

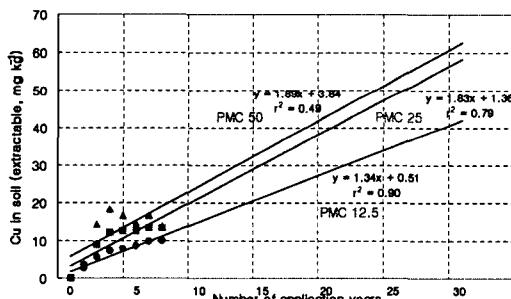
로는 100년 이상이었고(Fig. 7) 아연의 경우를 보면 건물기준 783 mg kg^{-1} 을 함유한 돈분퇴비를 $12.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 수준(건물기준)으로 연용할 경우 토양 중 Zn의 농도가 현재의 토양오염 우려기준인 300 mg kg^{-1} 에 도달하는 시용연수의 추정은 1차함수로는 37년, 로그함수로는 100년 이상이었다(Fig. 8).

Cu 및 Zn을 함유한 돈분퇴비를 장기간 과량으로 연용할 경우 중금속이 집적되어 토양오염을 유발시킬 가능성이 있다. 따라서 과다한 가축분뇨 퇴·액비의 사용으로 인한 토양오염 피해를 예방하기 위해서는 비료공정 규격에 적합한 퇴비의 경우에도 시용 한계량을 규정 및 적절한 시용방법 설정이 필요한 것으로 생각된다.

양분발생의 큰 두 형태인 화학비료와 축산분뇨양분의 연차간 사용 및 발생 현황을 보면 인산의 경우 Fig. 9와 같다. '90년대 초

이후 지속적으로 화학비료 사용은 줄어든 반면 가축분뇨 인산 발생은 늘어나고 있다. 또한 질소비료 소비에 있어서도 '97년 이후 화학비료 소비는 많이 줄어들고 있으나 가축분뇨 질소는 늘어나고 있다.

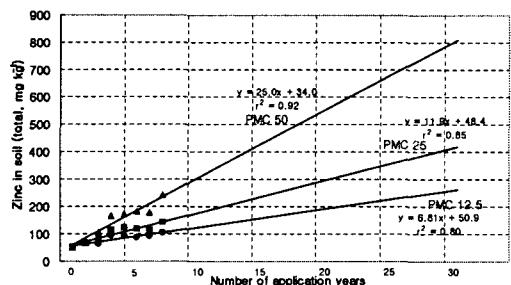
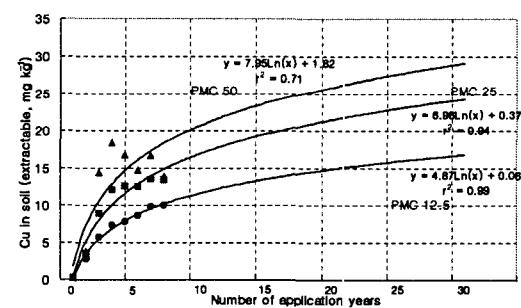
국내 농경지 유효인산의 함량은 6~70년대 이후부터 지속적으로 증가하여왔다. 작물재배에 필요한 적정 유효인산 함량을 기준으로 했을 때 논은 약 48%(100 ppm이상, '99년), 밭은 65%(400 ppm이상, '01년), 시설채소재배지는 85%(400 ppm이상)가 기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 시설 재배지 토양 중 일부는 양분의 과다 투입으로 이미 투입된 염형태의 양분을 제염한 연후에야 정상적인 작물재배가 가능할 정도로 토양환경이 악화된 사례가 발견되고 있다. 이러한 배경에는 과거 화학비료의 과다시용이 주요요인이나 가축분뇨유래 퇴비 등의 과다투입도 일부 경



* PMC 12.5, 25, 50 : 돈분퇴비를 $12.5, 25$ 및 $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 사용함.

* 자료 : 농촌진흥청(2003)

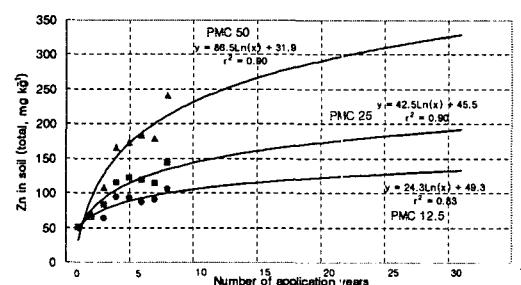
Fig. 7. 돈분액비를 연용했을 경우 토양에서 구리축적의 추정

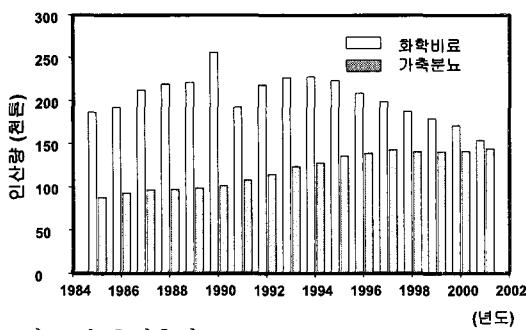


* PMC 12.5, 25, 50 : 돈분퇴비를 $12.5, 25$ 및 $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 사용함.

* 자료 : 농촌진흥청(2003)

Fig. 8. 돈분액비를 연용했을 경우 토양에서 아연축적의 추정





* 자료 : 농촌진흥청(2006)

Fig. 9. 국내 인산 화학비료 소비 및 축산분뇨 인산 발생.

작지에서는 큰 요인으로 작용했으리라 추정 할 수 있다. 국가 농경지의 효율적 이용 및 환경오염 저감을 위해서 앞으로는 농경지 단위의 토양검사를 통한 시비관리 뿐만 아니라 국가 및 지역단위에서 과다한 이용을 줄이기 위한 대책이 추진되어야 한다고 생각된다.

토양의 건전성 회복을 위한 가축분뇨의 자연순환농업 방향

이상에서 살펴본 바와 같이 가축분뇨 퇴·액비는 농경지에 사용되었을 때 작물생육 및 토양의 물리·생물학적 개선효과가 있다. 그러나 성분적 특성상 특정성분의 집적 및 과다사용 시 환경부하로 작용할 수 있어 토양의 질과 건전성이 우려되기도 한다. 따라서 토양의 질과 건전성의 유지 및 향상과 환경부하를 경감하기 위한 가축분뇨 퇴·액비의 자연순환농업 실천방향에 대해 언급하고자 한다.

1. 친환경적 자연순환농업 정착을 위한 정책과 제도의 수립 및 담당기관들의 유기적 역할 수행

1) 지역환경용량 이내로 분뇨발생 저감 및 지역편중 해소

농경지에 과다하게 가축분뇨 퇴·액비가 투입되어서는 건전한 토양의 질을 유지하기 어

렵다. 농경지의 건전성 및 적정 비옥도 유지를 위한 총량관리정책으로 양분총량제 도입(준비 '05~, 시행 '07~)을 추진하고, 장기적으로는 사육두수총량제 도입하여 가축 사육 단계에서 분뇨발생 최소화를 유도해야 한다. 그리고 생활환경/수질보전지역, 과밀사육지역 등을 특별관리지역으로 지정하여 사육제한 확대를 유도가 필요하다.

우리나라 축산현황의 종합적 분석에 의한 과잉사육 및 축산농가의 밀집 현실 타개를 위한 정책적 해결방안 도출과 함께 과밀사육 통제를 위해 시설면적과 사육두수 규제도 병행할 필요가 있다.

2) 관련부서 간 유기적 역할 수행

축산자원순환과를 주축으로 한 농림부에서는 자연순환농업 기본계획 수립 및 자연순환농업 우수 모델개발과 확대보급, 제도개선 및 정책자금 지원사업 추진 및 이에 따른 실적평가를 추진한다.

농촌진흥청은 비료 공정규격 개정, 비료 분류체계, 퇴·액비 공정규격, 부숙도 판정기준 설정, 악취 저감 등 환경 개선제 효능 검정체계 마련, 퇴·액비 사용기준 보완연구, 지역별 퇴·액비 사용 시범포 운영(도 농기원, 농업기술센터), 시비처방서 발급 및 영농지도(농업기술센터) 및 경종농가 자연순환농업 교육과정 개설(농촌지원국, 농축협 공동)하여 자연순환농업 관련 연구 및 기술개발 보급을 추진한다.

농협과 축협에서는 자연 순환 농업 전담기구 설치 운영, 캠페인 전개, 퇴·액비 시비 처방서 발급, 살포조직 육성, 가축분퇴비 품질 평가위원회 설치·운영 및 자연 순환 농업 교육과정 농촌진흥청과 공동으로 개설한다.

또한, 지방자치단체에서는 퇴·액비 생산 및 유통관리, 경종 농가와 축산농가와의 연계 구축, 시범포 운영 및 자금지원 등을 중점적으로 추진한다.

2. 가축분뇨의 자원화 방법 다양화 및 퇴·액비 분석에 의한 과학적 시용

1) 자원화 방법 다양화

- 농경지 환원을 위한 퇴·액비 활용

2004년 가축분뇨의 자원화율은 전체발생량의 80.5%이다. 경종과 축산이 서로 잘 연계되어 생태계 보전 및 양분의 지역순환을 우선으로 퇴·액비가 활용되어져야 한다. 정부에서는 2013년까지 전체농경지의 40%까지 가축분뇨 퇴·액비를 확대보급하고자 한다. 그러나 작물재배를 위해 토양에 필요한 양 만큼만 올바르게 사용되어야만 퇴·액비의 활용이 증진될 것이다.

- 가축분 퇴·액비를 이용한 바이오가스 생산기술 개발

일본 및 미국 등에서 가축분뇨를 이용 바이오가스를 생산하고 있으므로 국내실정에 맞는 바이오가스 및 가축분뇨를 에너지화하는 방안을 강구해야 할 것이다.

- 지역 및 시설을 고려한 정화처리

가축분뇨처리시설 설치 농가 중 현재 3%만이 순수정화처리를 하고 있는데 과다하게 가축분뇨가 생산되는 곳 등 정화처리가 필요한 곳에는 정책자금 지원으로 정화처리시설을 확대하여야 할 것이다.

2) 토양 및 퇴·액비 분석에 의한 과학적 시용

가축분뇨 퇴·액비는 자연순환농업과 화학비료를 대체할 소중한 자원이 될 수 있다. 그러나 토양이 함유하고 있는 양을 제외하고 작물재배에 필요한 양만을 분석에 의해 공급하지 않는다면 앞서 언급한 가축분뇨의 단점과 문제점들에 의해 토양, 작물 및 환경에 좋지 않은 결과를 초래할 수도 있다. 가축분

뇨 퇴·액비는 좋은 양분공급원이지만 특정 성분의 집적이나 단일성분의 공급이 어려운 등 여러 가지 문제점도 가지고 있으므로 토양의 질을 지속적으로 유지·향상하고 건전한 자연순환농업의 올바른 정착을 위해서는 작물재배에 꼭 필요한 양만을 살포하기 위한 토양 및 퇴·액비의 사전 분석에 의한 시비처방에 따라 사용하는 것이 반드시 필요하다.

3. 가축분뇨 퇴·액비의 종합적 연구 강화

가축분뇨의 농경지 활용과 농업환경 보전 및 지속농업 달성을 통합적 관점에서 해결 방안을 도출하기 위한 연구가 필요하다. 가축분뇨의 농경지 활용 및 효과에 관한 연구는 벼, 밭작물, 사료작물 등 76개 작물에 대해서 가축분 퇴비의 사용기준이 설정되어 있다. 또한, 액비(분뇨 혼합 또는 분뇨분리 후 액상)에 대해서도 벼, 밭작물, 노지채소 등 32작물에 대해 사용기준 설정이 설정되어 있다. 이와 같이 가축분 퇴·액비의 작물별 사용방법, 사용시기, 사용량 및 이에 따른 작물재배 효과에 대한 연구는 농촌진흥청과 대학 등에서 많은 연구가 수행되어 가축분뇨 퇴·액비 제조와 이용 책자 및 가축분뇨 액비시용 매뉴얼 등 각종 지도 지침서가 보급되어 있다. 그러나 가축분뇨 퇴·액비에 관한 연구는 지역적으로 또 단순한 작물재배 효과에 다소 편중되어왔다. 따라서 농촌진흥청에서 자연순환농업사업단을 구성하여 가축분뇨 자원화, 환경영향평가 및 농경지이용기술 개발 등의 분야에서 아래와 같이 구체적이며 실질적인 연구를 수행하고자 한다.

1) 농경지 이용기술의 다양화 및 기술체계 확립

벼, 원예, 과수, 초지 및 산림 등 농경지 활용방안을 더욱 다양화하고 활용면적을 확

대하여 일부지역 및 농작물에 편중되지 않게 가축분뇨 자연순환농업을 확대하는 기술개발을 수행할 것이다. 기존의 단편적 이용기술을 보강하여 작목을 다양화하고 연중 가축분뇨의 활용이 원활히 될 수 있는 작부체계의 개발 등으로 농경지 이용기술 체계를 확립하고자 한다.

2) 가축분뇨 고품질 · 고효율 자원화 기술 개발

가축분뇨 퇴 · 액비는 유기물질로 이루어져 여러 가지 조건에 따라 성분의 불균일성을 가지고 있으며 특정성분이 과다하게 함유될 수 있다. 또한, 성분이 불균일한 가축분뇨의 특성상 미숙 퇴 · 액비의 사용에 의한 부작용도 문제시 되고 있다. 따라서 가축사료 내 특정물질의 감소방안, 가축사료 중 인분해효소 첨가, 퇴비화 기술개발, 부숙도 판정기준 확립, 생산 및 유통체계 개선과 함께 민원의 발생 원인이 되는 악취가 나지 않게 제조하여 가축분뇨 퇴 · 액비의 균일성 및 품질을 향상하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

가축분뇨 처리시스템 유형별 효율성 제고 및 비용절감 기술개발, 가축분 퇴비 및 액비의 자원화 이용 개선기술 개발, 자연순환 및 에너지 생산이용 모델의 구축연구들을 수행하여 고품질 · 고효율 자원화 기술을 개발하고자 한다.

3) 가축분뇨의 환경영향 평가기술 개발

가축분 퇴 · 액비의 농경지 사용 시 토양, 수질 및 대기 등에 미치는 영향에 대해서는 국내에서 체계적인 연구가 수행되지 않았다. 따라서 가축분뇨의 농경지 사용에 따른 토양 및 수질에 미치는 영향, 온실가스발생 등 대기에 미치는 영향 및 생물학적 영향 등 농업 환경에 미치는 영향을 구명하기 위한 연구를

수행할 예정이다. 이러한 연구결과를 토대로 가축분뇨의 장기시용 시 농경지에 미치는 영향을 평가하기 위한 모델을 개발하여 농경지 환경부하를 최소화하기 위한 기술을 정립하고자 한다. 또한, 가축분뇨 투입에 따른 농경지 양분수지 분석 및 지표개발로 양분수지 예측 및 환경관련 정책의 평가기술 개발연구를 수행하고자 한다.

맺는 말

흙은 작물생산을 위해 토양 중에 공급된 양분을 물리 · 화학 · 생물학적인 기작을 통해 이용한다. 작물생산성이 좋고 건전하며 질이 좋은 토양은 작물이 바로 흡수이용 할 수 있는 수용성 양분, 치환하여 이용하는 치환성 양분, 또 다소 오랜 시간이 걸려 무기화 할 수 있는 유기성 양분 등을 적절하게 잘 나누어 가지고 있는 토양이다. 농업을 지속적으로 유지하기 위해서는 농업의 근간이 되는 토양이 건정해야 함은 당연하다. 자연순환농업에서 가축분뇨가 분명 우수한 양분자원이지만 토양분석에 의해 필요한 양 만큼만 사용되지 않고 무분별하게 과다한 양이 농경지에 사용된다면 토양의 건정성 및 질은 악화될 것이다. 이상에서 열거된 가축분뇨를 활용한 자연순환농업을 올바르게 정착시키고 농업환경을 보전하면서 가축분뇨의 자원화 문제를 친환경적으로 정착하기에는 여러 가지 어려움이 많을 것이다. 양분총량제 도입, 축산의 지역과밀 해소방안, 축산과 경종의 유기적인 체계구축 등 올바르고 현실성 있는 정책의 실현과 다양한 가축분뇨 자원화 기술 개발 및 환경에 미치는 영향에 관한 종합적 연구를 바탕으로 가축분뇨 자연순환농업이 수행되어져야 한다.

인용문헌

1. 농림부. 2006. 자연순환농업 대책안 공청회 자료.
2. 농촌진흥청. 1999. 축산분뇨처리 연구동향분석과 금후연구방향.
3. 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨 액비사용기술.
4. 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술원 연구보고서.
5. 농촌진흥청. 2005. 농업과학기술원 연구보고서.
6. 농촌진흥청. 2006. 농업생태계의 질소동태 및 효율적 관리 국제심포지엄.
7. 농촌진흥청. 2006. 자연순환농업 특별 T/F 팀 워크샵.
8. 한국토양비료학회 등. 2006. 친환경과 비료 '비료산업의 발전방향' 심포지엄.
9. 한국환경정책·평가연구원. 1999. 국토환경 용량을 고려한 축산오염관리방안 연구
10. McGrath, S. P., A. C. Chang, A. L. Page and E. Witter. 1994. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. Environ. Rev. 2:108-118.
11. Yoon, J. H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. Korean J. Soil Sci. Fert. 33:192-198.