

우리나라 농업의 변천과 비료의 역할

정덕영^{1*} · 이교석¹

Role of Chemical Fertilizer and Change of Agriculture in Korea

Doug Y. Chung^{1*} · Kyo S. Lee¹

ABSTRACT

The self-supply rate of Korea in 2006 was approximately 27.3 % by importing 13.99Mt for 19.79Mt of demanded amount. Among the imported crops, wheat, corn, and soybean consumed 95 % for the total imported amount, and wheat, corn, and soybean were 3.5Mt (Table use : 0.22Mt: Feed stuff : 0.13Mt), 8.7Mt (Table use : 0.19Mt: Feed stuff : 0.68Mt), and 1.2Mt (Table use : 0.03Mt: Feed stuff : 0.09Mt), respectively. On the other hand, our government has prepared the strategies for a great fear of food according to sharp price rise of the international crops by maintaining the self-supply rate of 5 % excluding 5.23Mt of rice in Korea. Also concern for recycled energy known as future energy for era of high oil price and global warming due to green house gas is rapidly growing. Therefore, our country which has relied on import of the whole oil needed in Korea and has to keep Kyoto Agent to request reduction of green house gas fully support research and practical use for agricultural products as resource of alternate energy. At first, we have to develop the mass production technology in order to secure a program of self-supply of food for bioenergy production utilizing agricultural product in Korea. But we

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과 (Dept. of Bioenvironmental Chemistry, Agriculture and Life sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* 교신저자 : 정덕영 (E-mail: dychung@cnu.ac.kr, Tel: 042-821-6739)

assume that this matter is difficult to achieve under the current agriculture system that more emphasizes the environment conservation such as environmentally-friendly agriculture than production of food.

Key words : Self-supply rate, Environmentally-friendly agriculture, Conservation, Fertilizer

1. 서론

국가의 성립은 국토가 기본이 되고 그 땅위에 농업이 이루어져야만 기본적으로 국가 구성원의 생명 유지와 더불어 자립적 주권도 확보될 수가 있는 것이다. 농업은 크게 산업·경제적 역할을 비롯하여 환경·생태 보전 역할과 더불어 집단 화합 및 문화전통 계승의 역할을 하고 있다. 그러나 농업 이외의 산업이 아무리 발전된 문명사회라 할지라도 인간이 삶을 영위하는데 필요한 기간식량은 태양·물·공기 등 자연의 힘을 빌려 식물의 광합성 작용을 통하여 생산할 수 밖에 없다. 인간의 식량은 곡류, 서류, 야채, 과일 등의 식물성 식량과 육류 및 유제품, 어류 등의 동물성 식량으로 구분된다. 동물성 식량은 주로 식물을 바탕으로 하는 사료에 의하여 생산된다. 그러므로 식량의 기본물질은 식물체라고 할 수 있다. 한편 기하급수적으로 증가하는 인구증가에 따른 식량 증산은 과학과 산업 발달의 중요한 산물인 농약과 비료와 같은 농자재에 의존하게 되었으며 이러한 결과 과다하게 사용된 농약과 비료가 토양에 잔류하거나 또는 호소 등 수계로 유입되어 호소의 부영양화를 일으키는 것으로 알려져 있다 (Jung et al., 1998, Han et al., 1997). 그러나 과다한 비료 사용에 따른 호소의 부영양화는 보는 관점에 따른 차이이기 때문에 이에 대한 정의가 재정립되어야 한다. 그리고 이러한 사회적이며

환경적인 문제를 극복하고 더 나아가 안정적 안전한 식량공급을 위하여 우리의 농업은 지역특성에 따른 기후, 지형, 물관리, 토양과 작물 등에 대하여 과학적으로 정밀하게 분석하여 양생태계를 보존하고 최적 수량을 얻기 위하여 농업자재(농약, 비료, 농기계)의 최적 투입 농업이 실시되어야 한다(Chung et al., 1998).

한편 온실가스로 인한 지구온난화 문제와 고유가 시대를 맞아 미래의 에너지인 재생에너지에 대한 관심이 더욱 높아지고 있는 가운데 우리나라에서도 식량·에너지·환경 안보 차원에서 대체 에너지원인 바이오매스, 즉 적용 가능 농업생산물에 대한 연구와 실용화가 확대되어가고 있다. 그러나 식량 자급률이 27%로 매우 낮은 우리나라에서 농업생산물을 활용한 바이오에너지화는 우선적으로 식량 자급 방안 확보를 위한 곡물의 대량생산 기술이 개발되어야 한다. 그러나 이는 현재 정부가 추진하고 있는 생산보다는 환경보존을 우선하는 친환경농업과 같은 제한적 생산 농업정책 제도하에서는 달성하기 어려운 과제로 판단된다.

II. 본론

1 식량의 생산과 공급

인류가 지구상에 출현한 이후 생존을 위하여

늘 따라다닌 것이 의식주의 해결이 주요한 문제였고 이를 위한 생산활동이 삶 그 자체였으며 자연 재해를 입으면 굶주림을 벗어나기 위한 투쟁이나 정복의 역사를 만들기도 하였다. 그러나 지구상의 인구가 계속 늘어나고 한 사람당 살려 먹일 땅 면적이 점차 줄어들게 되면 21세기 중반에는 아무리 과학이 발달되어 식량을 많이 생산한다 하더라도 특히 개발도상국들이 큰 식량위기에 봉착하게 되고 식량이 무기화 될 것으로 전망되고 있다(김, 2004).

해방 이후 신품종 및 농자재의 개발과 생산기술의 발전으로 소위 녹색혁명과 시설농업의 성공을 지칭하는 백색혁명을 달성하여 농업생산력은 크게 향상되었으나 제조업 및 서비스업의 급격한 발전과 도시화의 급격한 진행으로 농업인력의 감소 및 고령화, 농경지의 지속적인 감소, 지구온난화 등에 따른 잦은 기상재해 등 농업구조와 식량의 안정적인 공급기반이 취약해지고 있는 문제로 인하여 안정적인 식량수급과 식량안보에 대한 관심은 증대되고 있다.

표 1에 의하면 2005년을 기준으로 우리나라의 곡물 생산량은 연간 552만톤이며 수입량은 1,430만톤인데 이 중 약 1,000만 톤이 가축의 사료로 이용되고 나머지 약 450만 톤이 식용으로 사용되므로 우리나라의 식량 자급률은 약 27% 밖에 되지 않고 있다. 즉, 우리 식량의 70% 이상을 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이므로 만일

기후이변으로 메이저 곡물 생산국들이 큰 재해를 받을 경우, 또는 세계정세 속에서 식량의 무기화 같은 상황이 생길 때 우리의 식량 문제는 매우 심각한 위기에 직면할 수도 있다. 그러므로 식량 부족시대에 대비하기 위해서는 우리나라가 필요로 하는 식량은 어느 정도 자급 생산을 하여 다른 나라로부터 공급되는 식량의 의존도를 최소화하여야 하며 또한 식량의 수요 공급의 비탄력적 속성과 농산물 수출국의 여건 변화와 불의의 재해 등을 대비한 대책을 마련해야 한다.

2. 농업생산방식의 변천

농업은 원래 자연의 물질순환을 기본으로 하고 있으며 환경과 가장 잘 조화된 산업임에도 불구하고 환경의 중요성과 그 보전에 대한 목소리가 높아짐에 따라 1990년대에 들어서서 농업도 환경과 조화를 이루면서 생산을 지속하게 하는, 즉 농업생산의 경제성확보, 환경보존 및 농산물의 안전성을 동시에 추구하는 개념으로서 농업형태인 친환경농업이 등장하였다.

해외에서는 1980년대 후반부터 농업에 있어서 지속가능한 농업 개념이 도입되면서 환경보존 뿐만 아니라, 농촌, 농업인 문제의 사회적, 경제적 측면의 중요성이 동시에 강조되고 있다. 국내에서는 1990년대 초반까지는 친환경농업을 민간단체 위주로 추진하였으나 90년대 중반 이후 친환경농업이 본격적으로 추진되기 시작하였다(김

Table 1. Status of supply and import of food crops in Korea

Year	Supply		Import			
	Production	Import	Food	Feed	Others	Total
1995	5,626	14,069	9,543	9,775	377	191,695
2005	5,520	14,419	10,182	9,782	29	191,939

Source : 2006 Yearbook of fertilizer

등, 2004). 그에 따라 화학비료 투입이 상당히 감소하고 있으나, 농약사용량은 매년 기상여건이나 병충해 발생양상에 따라 변화가 심해 큰 변화가 없었다. 그러나 90년대 후반부터는 정부가 본격적인 육성정책을 추진하면서 급격히 확산되는 추세에 있다(농과원, 2008).

그리고 급격한 산업화와 도시의 확장에 따른 환경의 파괴와 함께 농경지의 일부성분 과다 등의 결과로 환경농업의 필요성은 자연스럽게 대두되어 표준시비량을 하향조정하고 비료 시용방법을 토양검정에 따라 필요한 양만을 주기 위하여 최근 시비기술은 양분종합관리(INM: Integrated Nutrient Management) 즉, 병충해종합관리(IPM)와 함께 환경영향을 최소화하면서도 적정 수량은 유지하고자 시비시기, 시비량, 시비방법 등을 토양과 작물 특성에 맞도록 발전시키고 있다.

한편 정부는 1997년에 친환경농업육성법을 제정하여 친환경농업을 농약의 안전사용기준 준수, 작물별 시비기준량 준수, 적절한 가축사료 첨가제 사용 등을 통하여 환경을 보전하고 안전한 농축임산물을 생산하는 농업이라 정의하였고 2000년에는 친환경농업육성 5개년 계획을 수립, 그리고 2005년까지 화학비료와 농약의 사용량 각각 30% 감축하는 목표를 설정하는 등 정부가 환경보전형 농업 육성을 선도하고 있다. 이와 같이 농업정책이 시대에 따라 변하면서 시비추천방법도 변하였다. 시비추천 방법을 살펴보면 시비목표는 증산·다수확에서 환경보전·고품질 안전생산으로 비중은 자급퇴비와 화학비료에서 유기질계량제와 화학비료로 그리고 시비량설정은 포장시험, 토양검정, 토양검정·영양진단의 순으로 변화하였으며 시비방법 또한 인력시비에서 인력·기계시비의 형태로 변하였으며 그리고 토양조건은 양분부족, 특수양분과잉, 양분종합관리형태로 전환되

었다(박, 2008; 김 등, 2004).

3. 우리나라의 농업 현황

우리나라는 2006년 기준으로 식량자급율은 27.3%다. 이중 국내에서 생산되고 있는 쌀 523만 톤을 빼고 계산하면 자급비율은 5% 수준 이하이며 특히 밀·옥수수·대두가 전체 수입물량의 95%인 1,300만 톤 수준을 차지하고 있으며 2006년 기준으로 밀은 약 350만 톤(식용 220, 사료용 130), 옥수수 약 870만 톤(식용 190, 사료용 680), 대두 약 120만 톤(식용 30, 사료용 90)을 수입하였다(이, 2007). 그러므로 정부는 국제 곡물가격 상승 등 식량불안에 대한 대응책으로 국내생산을 어느 수준으로 증대해야 할 것인가에 대한 식량증대 방안을 마련하고 있다(김 등, 2007).

최근 국내외의 농업의 여건 변화는 타 산업과 마찬가지로 급변하고 있는 정보기술(IT), 생명공학(BT)기술과 발맞추어 급격히 변화하고 있다. 국제적으로 보면 인구는 지속적으로 증가 추세에 있으나 농경지의 면적은 점차 감소하는 추세로 수요를 충족 시켜줄 수 있는 식량의 생산에는 한계가 있다고 전망하고 있다. FAO와 세계은행에서는 각각 2010년에 세계의 식량이 162만톤과 210만톤이 부족할 것으로 전망하고 있으며, 국제미작연구소(IRRI)에서도 2025년에 세계의 인구는 80억이 넘고 그에 따라 쌀 생산량도 현재보다는 45%의 증수가 요구된다고 보고하고 있다(이, 2007).

쌀은 국민경제에서 차지하는 비중이 경제발전과 더불어 상대적으로 줄어들었지만 아직도 농가호당 농업조수입의 42%를 차지하는 기간작목이다. 그 동안 시비기술 개발보급에 의하여 농가수준에서 변천을 보면 1920년대 말까지는 질소비료와 칼리비료의 공급원으로는 주로 퇴비, 대두박,

우리나라 농업의 변천과 비료의 역할

유박 등의 자급비료를 사용하고, 인산비료는 과석으로 유기질 자급비료에 첨가되었다. 그리고 1960년 중반까지는 화학비료와 자급비료를 겸용하여 사용하였으며 질소비료 사용량은 연도에 따라 다소 차이를 나타내어 점점 그 양이 증가되는 추세였다(표 2). 또한 1965년 이후 1970년 초까지는 다수확을 목적으로 시비량이 증가되었고 또 이 시기에 특이한 것은 그 동안 화학비료를 유안

이나, 황산칼리를 수십년 연용하여 논토양의 산성화로 각종 생리적인 장애가 유발하므로 질소는 요소로, 칼리비료는 염화칼리로 비료의 종류를 전면 바꾸는 시기였다.

1970년 이후에는 다수확을 위하여 많은 연구를 실시한 결과 통일계 품종은 질소-인산-칼리를 10a당 15-9-11kg로 증가하였고 일반계는 11-7-8kg으로 병행하여 사용토록 하였다. 그러나 1990

Table 2. Changes in fertilizer application rate of N, P, and K

Year	N	P	K	Remarks
1910~1931	-	3.3	-	Animal manure
1932~1963	2.6~4.0	2.1~5.5	3.3~4.2	Urea, Calcite, Potassium sulfate,
1964~1970	5.2~8.0	3.7~7.4	2.7~6.9	Potassium chloride
1971~1978	10~12	5~6	6~8	Urea, phosphate fertilizer, Potassium chloride
1978~1979	15	9	11	Special Cultivar
1979~1998	11	7	8	General Cultivar
1999~2005	11	4.5	5.7	General Cultivar
2006~Now	9	4.5	5.7	General Cultivar

Source : National Inst. of Crop Sci. 2006

Table 3. Yearly changes in yield of rice and its arable land area

Year	Area (x 1000ha)	Yield (kg/10a)	Total yield (x 1000t)
1970	1,184	330	3,907
1980	1,120	289	3,530
1990	1,242	451	5,600
1996	1,049	507	5,322
1997	1,052	518	5,448
1998	1,059	482	5,097
1999	1,066	495	5,263
2000	1,072	497	5,291
2001	1,083	516	5,515
2002	1,053	471	4,927
2003	1,016	441	4,451
2004	1,001	504	5,000
2005	980	490	4,768

Source : National Inst. of Crop Sci. 2006

년 이후 재배품종의 자율화에 의해서 통일계 품종 재배가 급격히 감소되어 현재는 일반계 품종이 재배되고 있으므로 시비량은 지역이나 재배시기에 따라서 다소의 차이는 있으나 현재 평야지를 기준으로 질소-인산-칼리가 10a당 9-4.5-5.7kg이 기준 시비량으로 개발하여 농가에 보급되고 있다(곽, 2003).

쌀재배면적은 1970년에 1,184천ha이었던 것이 1990년에는 1,242천ha로 증가하였으나 그 후 점차 감소하여 현재는 1,050천ha 수준이다(표 3). 반면 단위 면적당 수량은 새로운 품종 및 재배기술 개발 보급에 의하여 1970년도에 330kg/10a이었던 것이 2000년에는 497kg/10a로 크게 증가하였다. 따라서 총 쌀 생산량은 재배면적의 감소에도 불구하고 지속적으로 증가하여 1970년 보다 35% 증가된 5,297천톤을 생산하여 쌀의 자급 자족을 달성하고 있다(농촌진흥청, 2002). 이는 앞서도 언급한 것과 같이 그 동안 꾸준한 고품질 다수성 품종 개발과 그들 품종에 적합한 시비와 토양관리 등 재배기술 개발 보급의 효과로 판단된다.

우리나라의 밭작물 재배 경지면적은 2006년을 기준하여 약 72만ha 정도로 1969년도 최대 103만ha보다 약 31만 ha의 밭재배면적이 감소된 것으로 조사되었다(농촌진흥청, 2002). 작목별 재배면적의 변화를 살펴보면 밀과 보리는 1960년 이후 1968년까지 증가하다가 급격히 감소하였으며 채소류 재배면적은 1980년까지 증가하다가 이후 감소하였으나 타 밭작목과 비교 시 감소 면적은 매우 작다(그림 1). 이러한 밭작물 재배면적의 감소는 논발전환, 건물건축, 유희지 등으로 전환된 것으로 조사되었다.

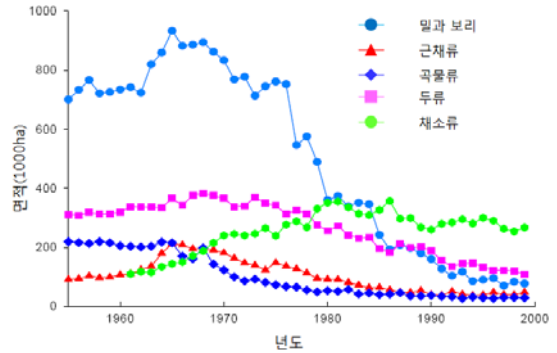


Fig. 1. Yearly changes of upland area for major crops

밭작물의 경우 각종 채소, 과수, 원예작물의 재배는 증가했으나 가격 경쟁력이 낮은 보리 등의 이모작 재배는 현저히 감소하였다. 과거에는 한 필지에서 다양한 작물을 재배하던 소규모 자급형 밭작물 재배에서 단경작 위주의 주년 재배방식으로 농업구조가 변화 하였다. 이런 변화는 토양의 지력을 감퇴시키고, 과다 투입된 물질에 의해 농업생태계의 부담을 가중시키고 있다. 노지 채소와 시설 채소의 중복을 제외하면 1056년 59종에서 1986년과 1996년 44종으로 감소하였다. 곡류는 1956년에 재배되었던 귀리, 기장, 완두, 식용피, 강낭콩은 1986년 이후 더 이상 재배되지 않고 특용작물 중 1986년부터 매주보리가 재배되기 시작하였다. 특용작물은 1956년 14종 이후 3종으로 격감했다. 노지채소의 변화는 크지 않지만 1986년 이후로 시설채소가 크게 증가했다. 재배작물의 다양성이 감소하면서 노동력, 시비량, 농약 살포량 등의 보조에너지가 상대적으로 많이 요구되는 시설채소 등 소득 작물의 종류가 증가했다(농림부, 2008).

4. 비료와 농업생산

농업에 사용된 비료는 처음에는 사람이나 동물의 배설물에 지나지 않았으나 17-18세기 과학기술 발전을 통해 19세기 비료의 역사가 시작되게 되었다. 1840년 독일의 화학자 리비히(Liebig)는 광물질이 식물의 생육을 결정하는 영양분이라는 광물질설을 주장하였는데 이후 삭스(Sachs)와 knobs(knobs)등에 의한 수경재배 연구를 통하여 식물의 필수원소 16가지와 작물에 결핍되기 쉬운 면서도 다량 필요한 3요소, 즉 비료의 3요소인 질소, 인산, 칼리도 19세기에 밝혀지게 되었다. 그리고 공업적으로는 로이스(Lawes)와 길버트(Gilbert)에 의해 1843년 인조비료공업의 시초로서 과린산석회를 만들어 내게 되었다.

따라서 비료의 사용은 1세기 전부터 이미 도입되었고, 식물양분의 화학적 비료의 사용은 식량과 사료와 같은 농업생산에 커다란 증가를 가져오도록 많은 기여를 하였다. 또한 부수적인 효과로는 토양비옥도가 보다 안정된 수량을 얻을 수 있도록 증진되었고, 어떤 병이나 기상재해에 보다 저항성이 있게 되고 더욱이 농민들의 경제적 소득을 가져오게 하였으며, 보다 효과적인 생산이 이루어지도록 기여하여 왔다.

비료는 유기질·무기질·천연산·합성품이 있으며, 식물이 정상적으로 성육하기 위하여 필요한 요소들을 공급하는 모든 물질이라고 「국제공업개발기구」에서 정의하고 있다. 식물 성장 최종 생산물의 향상을 위하여 공급하는 필수 영양소를 포함하는 천연 또는 공업적으로 제조된 물질로 모든 생명체에 독이 되지 않는 물질들로 구성되어 있다(김, 2003).

현재 사용되고 있는 화학비료들은 외국에서는 100년 이상 사용되어 왔고 우리나라의 경우는 약 50년 정도 사용돼 왔다. 현재 국내에서 농촌진흥청이 정한 공정규격이 설정된 비료의 종류는 보통비료 12종 83품목, 그리고 부산물비료 15종 등 총 98종이다(Table 4).

현재와 같은 과학에 의해 발명된 화학비료가 없던 시대에는 농업생산이나 자연생태에서 발생하는 유기물과 동물의 사체 내에 함유되어 있던 무기 영양분을 부속시켜 농업에 이용하였으며, 또는 인축의 배설물을 퇴구비 형태로 수집 후 분해시켜 이용하는 유축농업이 있었다. 이와 같이 생산되어 토양으로 유입된 유기물은 토양내에서 토양미소동물(지렁이, 선충, 진드기류 등)에 의하여 1차적으로 분해를 받고, 그리고 토양 미생물

Table 4. Types of fertilizers according to process standard

Classification		No.	Classification		No.
General	1. Inorganic N fert.	15	7. Silicate fert.	5	
	2. Inorganic P fert.	5	8. Magnesium fert.	4	
	3. Inorganic K fert.	4	9. Micro N, fert	4	
	4. Composite fert.	13	10. Si-P fert.	1	
	5. Organic fert.	18	11. Si-K fert.	1	
	6. Lime	7	12. Orgers	6	
Byproduct fert.				15	
Total				98	

(곰팡이, 세균, 방사선균, 조류)에 의하여 분해되어 가용성의 무기영양원으로 전환되어 식물체내로 흡수되어 식물의 구성원소가 된다. 즉 식물생장의 직접요인으로 작용하는 것이다.

우리나라에서 공급되고 있는 대부분의 퇴비는 부산물비료로서 가축분을 주재료로 하고 수분조절제로 톱밥, 훈탄, 왕겨, 수피 등을 사용한 것이다. 최근에 사용되는 가축분퇴비는 비료성분이 많아 물리적 및 생물학적 개량효과 보다 양분공급을 목적으로 한 화학성 개량효과에 더 중점을 두는 경향이 있다. 따라서 가축분퇴비는 화학비료의 대체자원으로 가능성이 있는 반면, 영양염류를 증가시켜 토양환경을 오염시킬 우려도 가지고 있다. 실제로 수량확보의 지나친 기대는 화학비료 및 가축분퇴비의 과다사용을 조장하였고 그로 인해 병해충 발생, 비료이용을 저하, 생산물 품질저하와 더불어 토양환경 및 지하수질의 악화 등 부정적 문제가 뒤 따르게 되었다(이, 1998).

결국 다량 생산되는 가축분퇴비의 농업적 활용은 반드시 필요하지만 이에 앞서 작물의 안정적 수량확보 및 환경오염 방지를 위한 가축분퇴비의 사용기준은 토양비옥도 유지를 위하여 토양 유기물함량에 의하여 시비처방하는 방법과 토양환경 보전을 위하여 가축분퇴비 중 인산함량을 기준으로 사용량을 결정하는 방법으로 크게 이원화 되어 있다.

우리나라에서 공급되고 있는 대부분의 퇴비는 부산물비료로서 가축분을 주재료로 하고 수분조절제로 톱밥, 훈탄, 왕겨, 수피 등을 사용한 것이다. 최근에 사용되는 가축분퇴비는 비료성분이 많아 물리적 및 생물학적 개량효과 보다 양분공급을 목적으로 한 화학성 개량효과에 더 중점을 두는 경향이 있다. 따라서 가축분퇴비는 화학비료의 대체자원으로 가능성이 있는 반면, 영양염

류를 증가시켜 토양환경을 오염시킬 우려도 가지고 있다. 실제로 수량확보의 지나친 기대는 화학비료 및 가축분퇴비의 과다사용을 조장하였고 그로 인해 병해충 발생, 비료이용을 저하, 생산물 품질저하와 더불어 토양환경 및 지하수질의 악화 등 부정적 문제가 뒤 따르게 되었다(이, 1998).

결국 다량 생산되는 가축분퇴비의 농업적 활용은 반드시 필요하지만 이에 앞서 작물의 안정적 수량확보 및 환경오염 방지를 위한 가축분퇴비의 사용기준은 토양비옥도 유지를 위하여 토양 유기물함량에 의하여 시비처방하는 방법과 토양환경 보전을 위하여 가축분퇴비 중 인산함량을 기준으로 사용량을 결정하는 방법 등 크게 이원화 되어 있다. 그러나 퇴비를 이용하여 시비기준인 논 110-48-68kg/ha, 밭 157-69-107kg/10a를 화학비료 사용없이 균형있게 조절하는 것은 현실적으로 불가능하다.

산업 혁명 이후 과학과 화학 공업의 발달의 결과 산물인 화학비료를 자연생태 환경에 부정적인 작용을 하거나 즉 물과 토양을 오염시킬 수 있는 물질로 잘못 이해하고 있는 부분이 있다. 화학비료를 구성하고 있는 물질은 모두 자연으로부터 공업적 정제 과정을 거쳐 획득한 것으로 주성분은 식물에 필수적인 성분이고 부수적인 성분들도 식물영양에 필요한 성분으로 구성되어 있어 인체에 해롭거나, 환경에 악영향을 주는 물질은 함유되어 있지 않다. 그러나 주성분 이진 부수성분이건 너무 많은 양이 토양에 사용되면 영양과잉이 됨과 함께 토양의 염류 농도를 증가시키고, 수용성 물질들은 수계로 유입되어 환경에 부하를 주고 부영양화를 일으키는 원인이 되기도 한다.

일례로 우리나라의 경우 쌀의 생산량을 비교하여 보면 1910년의 쌀 생산량은 10a 당 108kg 정도였으나 1990년대 이후에는 약 500 kg 정도로

약 5배 정도로 증가하였다. 이와 같은 작물생산량의 비약적인 증가에는 여러 가지 요인이 서로 연관되어 작용하고 있기 때문이다. 우선은 수량이 높은 품종(high yield cultivar)의 육종, 영농방법(farming method)의 개선, 아울러 살균, 살충제(pesticides)나 제초제(herbicide)와 같은 농약의 사용 그리고 효율적인 비료사용 등을 들 수 있다. 그러나 이와 같은 요인을 비교하여보면 일례로 옥수수의 경우 여러 조건들이 비슷하거나 동일할 경우 주로 사용되는 비료의 사용량이 어느 정도까지 처리량에 증가함에 따라 생산량도 증가하며 한편 농업생산의 이익도 생산량의 증가와 비례함을 알 수 있다. 따라서 요인 중 작물이 생육과 생산량에 직접적인 원인으로 작용하는 것은 토양으로부터 공급받는 무기영양원이 가장 큰 직접적인 요인이라고 할 수 있다.

5. 농경지 토양특성

토양조사 결과 우리나라의 토양은 16개의 대토양군으로 분류되며 정밀토양조사 결과에 따라 밝혀진 토양의 토성, 배수, 유효토심, 자갈함량, 염농도, 토양침식, 경사 및 암석노출 정도를 감안하여 작물생산에 아무런 제한요인이 없고 생산성이 높은 1급지에서 부적지인 5급지까지 구분하였는데 전체적 단순평균으로 볼 때 1~2급지 토양이

42.9%이나 밭의 경우에는 32.4%에 불과해 대부분의 토양이 생산성이 낮으므로 개량 및 기반정립이 필요하다(농촌진흥청, 2002). 면적 분포는 표 5와 같다.

우리나라 농경지 토양의 평균 화학성분 함량은 계속 증가되는 추세이지만 아직까지도 논토양에서 pH, 석회, 고토, 규산함량은 적정범위 이하인 토양이 70~80%를 차지하고 유효인산이 적정범위를 초과하는 지역이 40.4%로 증가되고 있는 실정이다(표 6). 비의 삼요소 표준시비량을 시대별로 비교해 보면 1950년대와 1960년대는 비료가 없기 때문에 1ha당 35-38-34kg와 67-53-60kg정도 수준으로 시비하였다. 1970년대에 들어서면서 통일벼가 육성되고 내비, 다수, 내도복성 품종을 육종하면서 최대수량을 목표로 다비 재배 20여년을 경과하면서 농경지는 인산, 칼리 비료가 포함된 복합비료를 권장하여 토양 중 인산과다 집적을 걱정하는 수준에까지 도달하였다(곽, 2003).

최근에 일부농가는 퇴비를 화학비료 대체원으로 사용하는 경향이 있다. 퇴비를 화학비료 대체원으로 사용하는 경우는 작물 생육에 직접적인 영향을 주는 질소를 기준으로 축분퇴비 사용량을 정하고 있다. 그 결과 이동성이 상대적으로 적은 인산과 칼리의 토양 중 과다 집적은 피할 수 없다(표 7).

Table 5. Ratio of agricultural land classes in Korea

(Unit : %)

Class	Paddy	Upland	Orchard	Total (General)	Remarks
1	14.2	5.2	20.1	13.2	Most favorable
2	28.6	27.2	33.2	29.7	Least limitation
3	37.9	36.6	23.9	32.8	Intemdiat limitation
4	16.9	23.4	18.0	19.4	Extremely limited
5	2.4	7.6	4.8	4.9	Not usable

Source : RDA, 2002.

퇴비를 과다 시용할 때 나타나는 직접적인 작물 피해요인은 염류의 과다집적일 경우가 많다. 유기농업 실천농가 포장의 토양 화학성 조사 결과 EC가 0.3~6.4ds/m로서 일반 농경지 보다 20배 이상 높은 경우도 있다. 염류함량이 높은 토양은 대체로 P₂O₅, K, NO₃-N의 이상 집적현상을 나타낸다. 연구자에 따라 다르나 토양중의 유효 인산이 1,600mg/kg일 경우 이때 수용성 인산은 13.6~80.7mg/kg이나 방출된다. 인산은 토양 중에서 고정되어 잘되는 물질로서 환경위해성 문제를

무시할 수도 있으나 수질 부영양화를 유발하는 물질 중 인산이 제한요인으로 작용하며 특히 부영양화 기준치가 P₂O₅로 0.02~0.07mg/ℓ인 점을 고려하면 토양내 인산이 집적될 때 수질오염을 유발시킬 가능성도 높다. 이상의 연구결과로서 가축분퇴비 중 질소는 작물 생육기간 동안 일부만 작물에게 이용되므로 화학비료에 비해 수량에 미치는 영향이 적을 뿐만 아니라 작물의 재식기간과 재배시기에 따라서도 양분이용효율이 차이가 있다.

Table 6. Yearly changes of standard application rates of major three nutrition elements

(kg/ha)

Crop	Conen	'50	'60	'70	'80	'90
Rice	N	35	67	117	110	110
	P ₂ O ₅	38	53	58	70	48
	K ₂ O	34	60	65	80	68
Grain	N	-	94	99	110	90
	P ₂ O ₅	-	72	87	109	44
	K ₂ O	-	67	76	92	44
vegetables	N	-	-	-	259	251
	P ₂ O ₅	-	-	-	187	104
	K ₂ O	-	-	-	249	180

Source : NIAST 2003

Table 7. Accumulation nutrients in soil by application of organic N fertilizer

Category	Year	pH (1:5)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (cmol/kg)
General Practice (Chemical fertilizer)	1 년	5.9	11	369	0.25
	2 년	6.0	11	376	0.30
	3 년	6.0	11	381	0.30
	4 년	5.8	10	392	0.40
Organic farming (Animal manure)	1 년	6.6	16	786	0.60
	2 년	6.9	23	850	1.35
	3 년	7.2	24	1,020	1.60
	4 년	7.2	31	1,230	3.30

6. 비료 사용 현황

우리나라의 농업여건은 적은 면적에서 많은 인구를 부양해야 하는 집약적인 농업구조로 이루어져 있으며, 단위면적당 많은 양의 수량을 생산해야 하고 식량을 많이 생산하기 위해서는 비료를 많이 사용해야 하는 어려운 농업 여건에 놓여있다. 따라서 증수위주, 다수확위주의 농업이 수행되고 있어 많은 양의 비료를 시용해 오고 있는 실정이다.

그러나 최근에는 환경에 대한 문제가 중요시되고, 농업에 있어서도 환경을 고려한 농업이 수행되어야 하며 비료와 농약을 적게 시용함으로써 환경에의 영향을 최소화 할 수 있는 친환경농업이 필요시 되고 있다. 특히 비료를 사용하는데 있어서 작물에 따라 적절하게 시용함으로써 자원과 에너지의 절약, 우수 안전농산물의 생산, 품질저하의 방지 및 환경보전을 위한 시비가 요구되고 있다. 그러므로 현재농가의 비료 사용실태를 정확히 파악하고 환경에의 영향을 최소화 할 수 있는 시비기술체계를 확립할 수 있는 기술개발이 요구된다.

박 등(1999)에 조사한 농가 비료 이용실태 조

사 8개도 134개 대상 시.군을 대상으로 식량작물 10, 특용작물 3, 시설채소 25, 노지채소 23 및 과수 12개 작물로 총 합계 73종의 작물의 비료사용 실태를 조사한 결과 곡류의 경우에는 벼, 보리, 콩, 옥수수, 참깨, 감자 등 6개 작물의 농가 평균 시비량은 표준시비량보다 다소 많은 양이 사용되고 있으며, 감자만 농가시비량이 표준시비량보다 다소 적게 시용되고 있는데 이는 일반 곡류에 비하여 감자는 비교적 농가소득이 높기 때문에 퇴비를 어느 정도 시용함으로써 화학비료를 다소 적게 시용한 것으로 판단되며 6개 작물에 대한 단위면적당 평균 농가시비량은 질소-인산-칼리의 사용량이 14.7-8.1-8.1kg/10a로 표준시비량 9.7-6.1-6.0kg/10a보다 5.0-2.0-2.0kg/10a이 더 많이 사용되고 있는 것으로 나타났다(표 8).

시설재배지 작물에 대한 농가비료 사용량 조사 성적 중 조사 농가수가 많았던 배추, 상추, 오이, 토마토, 수박, 참외, 딸기 등 7작물에 대한 단위면적당 평균 농가 비료사용량과 표준시비량을 비교한 결과 배추, 토마토, 참외 등 3개 작물에서는 농가의 질소비료사용량이 표준시비량보다 다소 적게 사용되고 있는데 이는 시설하우스 재배작물

Table 8. Comparison between practical application rates and recommended standard application rate of fertilizer (Unit : kg/10a)

Crop	Application rate		Difference N - P ₂ O ₅ - K ₂ O
	Practical	standard	
	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	
Rice	14.9 - 6.6 - 8.4	11.0 - 4.5 - 5.7	3.9 - 2.1 - 2.7
Barley	16.6 - 8.6 - 7.0	9.1 - 7.4 - 3.9	7.5 - 1.2 - 3.1
Soybean	5.9 - 5.4 - 5.2	3.0 - 3.0 - 3.4	2.9 - 2.4 - 1.8
Corn	29.2 - 11.0 - 11.0	17.4 - 3.0 - 6.9	11.8 - 8.4 - 4.1
Sesame	7.3 - 5.9 - 5.7	7.9 - 3.1 - 3.2	4.4 - 2.8 - 2.5
Potato	14.1 - 11.0 - 11.0	15.0 - 15.8 - 13.0	(0.9)-(4.8)-(2.0)

Source : Jun, NIAST, 2004

의 경우 퇴비사용량이 매우 많고 연속으로 재배 되기 때문에 화학비료의 사용량이 적은 것으로 조사되었다(표 9). 7개 작물에 대한 단위면적당 평균시비량은 질소-인산-칼리가 18.0-9.8-15.1kg/10a로 표준시비량 16.4-6.9-10.2kg/10a보다 1.7-2.9-5.0kg/10a정도 사용되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 시설하우스에서의 작물재배는 다량의 퇴비도 사용되고 있어 경우에 따라서는 화학비료의 사용량이 적게 사용되고 있는 것으로 보인다.

노지에서 재배되는 7개 작물에 대한 평균시비량은 농가사용량이 질소-인산-칼리가 25.4-12.0-16.1kg/10a고, 표준시비량 24.7-7.4-14.7kg/10a로서 0.7-4.6-1.4kg/10a을 더 사용하고 있는 것으로 나타났다. 노지재배 작물들은 여건상 퇴비의 사용량이 적고 화학비료 위주로 시비를 하고 있는 경향이며 비교적 시비량이 높은 것으로 나타났다(표 10).

사과, 배, 복숭아의 경우에는 농가시비량이 표준시비량보다 많고 단감의 경우는 농가시비량이 표준시비량보다 낮은 경향을 나타내었으며, 전체 평균 단위면적당 농가 평균비료사용량은 17.1-10.3-16.0kg/10a이었고, 표준시비량은 17.2-9.4-15.2kg/10a이었으며, 이중 단감이 (0.1)-0.9-0.8kg/10a로 다소 낮았다(표 11).

평균적으로는 농가시비량이 표준시비량에 비슷 하였으며, 부분적으로는 소득이 많은, 배, 복숭아에 대하여는 시비량이 많고 감에 대하여는 시비량이 낮았으며, 감과 같은 과수에서 시비를 적게 하는 것으로 나타났다.

7. 농업환경과 비료

최근 바이오연료용 원료 및 사료용 농산물 수요가 증가하면서 농산물의 수요가 급증하면서 국

제 농산물 가격이 폭등하고 있고 이 때문에 농산물 증산을 위해 필요한 비료의 수요도 국제적으로 증가하고 있다.

국제 농산물가격의 급등으로 반도체로 벌어들이는 외화만큼을 식량구입에 사용하고 있으므로 국내의 식량수급계획을 다시 세워야 하는 등 식량자급률 유지 및 상향을 위한 여러 가지 노력들이 80년대 이전 녹색혁명 시절과 같이 다시 대두되고 있다. 이에 따라 90년대 이후 다소 소홀히 생각되었던 비료에 대해 북한처럼 중요한 농업생산 자재로 다시 인식하게 될 것으로 생각된다.

비료원료 및 비료완제품의 가격 급등에 따라 보다 경제적으로 사용하고자 하는 농민의 욕구 증가로 고성분 비료 등 경제적인 비료의 사용이 증가되리라고 예상되나 비료 전체적으로는 과다 시비 등의 감소로 점차 감소하리라고 예상된다. 80년대 이전에는 맹목적인 화학비료 사용의 시대였다면 거꾸로 2000년대 이후는 유기질비료 만능화의 시대였으나 앞으로는 화학비료의 양분신속 공급능력 및 균형공급 능력과 유기질비료의 양분 지효적 공급능력 및 토양 물리성과 생물학적 개선 효과를 작물 및 토양의 필요에 따라 서로 잘 조절하여 조화롭게 사용하게 될 것으로 기대된다.

2000년 이전 전국적인 토양자료를 기반으로 개발된 각 회사의 브랜드비료 위주로 비료가 사용되었으나 이후 점차적으로 토양분석 후 비종이 결정되는 BB비료와 작물별로 설계된 전용비료의 사용이 증가 등으로 앞으로도 브랜드비료와 맞춤형 비료가 농민 및 작물에 따라 조화롭게 사용될 것으로 기대된다. 일반 비료는 질소 성분의 경우 그 효과가 대부분 속효성으로 토양보유기간과 작물흡수기간을 고려하면 한 달 이내에 그 효과가 소진되게 되어 작물 재배기간 중에 여러 번 비료를 시비하여야 하나, 여러 번 시비하여야 하는

우리나라 농업의 변천과 비료의 역할

Table 9. Comparison between practical application rates and recommended standard application rate of fertilizer for green house cultivation (Unit : kg/10a)

Crop	Application rate		Difference N - P ₂ O ₅ - K ₂ O
	Practical	standard	
	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	
Chinese cabbage	21.5 - 9.5 - 12.0	22.2 - 6.4 - 11.0	(0.7) - 3.1 - 1.1
Lettuce	19.9 - 9.3 - 12.0	10.2 - 4.9 - 8.7	9.7 - 4.4 - 3.3
Cucumber	23.1 - 11.0 - 23.0	19.7 - 10.3 - 12.2	3.4 - 0.7 - 10.8
Tomato	18.4 - 13.0 - 21.0	20.4 - 10.3 - 12.2	(2.0) - 2.7 - 8.8
Water melon	17.1 - 8.2 - 14.0	13.8 - 4.9 - 8.7	3.3 - 3.3 - 5.3
Melon	11.9 - 8.7 - 12.0	18.7 - 6.3 - 10.9	(6.8) - 2.4 - 1.1
Strawberry	14.3 - 8.7 - 12.0	9.6 - 4.9 - 7.4	4.7 - 3.8 - 4.6

Source : Jun, NIAST, 2004

Table 10. Comparison between practical application rates and recommended standard application rate of fertilizer for field cultivation (Unit : kg/10a)

Crop	Application rate		Difference N - P ₂ O ₅ - K ₂ O
	Practical	standard	
	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	
Chinese cabbage	30.2 - 13.0 - 19.0	32.0 - 7.8 - 19.8	(1.8) - 5.2 - (0.8)
Spinach	28.2 - 15.0 - 16.0	25.0 - 5.9 - 11.9	3.2 - 9.1 - 4.1
Pepper	27.4 - 12.0 - 18.0	19.0 - 11.2 - 14.9	8.4 - 0.8 - 3.1
Water melon	16.8 - 9.2 - 14.0	20.0 - 5.9 - 12.8	(3.2) - 3.3 - 1.2
Carrot	17.7 - 8.5 - 11.0	28.0 - 5.9 - 15.4	(10.3) - 2.6 - (4.4)
Garlic	25.4 - 14.0 - 16.0	25.0 - 7.7 - 12.8	0.4 - 6.3 - 3.2
Onion	31.8 - 12.0 - 19.0	24.0 - 7.7 - 15.4	7.8 - 4.3 - 3.6

Source : Jun, NIAST, 2004

Table 11. Comparison between practical application rates and recommended standard application rate of fertilizer for orchard (Unit : kg/10a)

Crop	Application rate		Difference N - P ₂ O ₅ - K ₂ O
	Practical	standard	
	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	
Apple	20.2 - 11.0 - 19.0	15.0 - 8.0 - 12.0	5.2 - 3.0 - 7.0
Pear	22.2 - 12.0 - 19.0	20.0 - 13.0 - 20.0	2.2 - (1.0) - (1.0)
Peach	17.7 - 11.0 - 16.0	13.0 - 7.0 - 10.0	4.7 - 4.0 - 6.0
Grape	11.3 - 7.6 - 12.0	13.0 - 7.0 - 10.0	(1.7) - 2.6 - 2.0
Persimon	14.1 - 9.7 - 14.0	25.0 - 12.0 - 24.0	(10.9) - (2.3) - (1.0)

Source : Jun, NIAST, 2004

변거로움을 없애기 위해 비료성분을 서서히 용출 시켜서 작기 중에 한 번만 시비하면 되는 비료가 완효성 비료인데 편리하나 대신 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그러나, 국내 시비노동력 비용이 상승하면서 완효성비료 사용이 점차적으로 증가하고 있으며 앞으로도 점차적으로 사용이 증가되리라고 예상된다.

국내 곡물 수요 중 쌀을 제외한 밀 등 대부분은 수입농산물을 통하여 조달되는데 특히 사료용으로 사용되는 옥수수, 콩 등 수입량이 많아 국내 식량자급률 하락에 주 영향을 주고 있다. 아울러서, 수입 사료는 국내 물질수지상 환경적으로도 많은 부하를 주게 된다. 이를 해결하기 위해서는 국내에서 사료용 작물을 많이 재배하여 수입 사료 의존도를 줄여야 하는 데 수입 사료원인 곡물의 가격 폭등으로 점차적으로 국내에서도 사료용 작물 재배가 늘어나고 이에 따라 사료용 비료 사용도 늘어나리라고 예상된다.

III. 결론

비료는 식량이다. 비료 사용량과 농산물 생산량은 비례적인 관계이며, 적절한 비료 사용 없이는 요구되는 식량의 수요를 해결하기 어렵다. 우리나라는 곡물 자급률 수준이 매우 낮아 곡물의 공급은 국제시장의 변화에 더욱 민감하게 반응할 수 밖에 없으며 앞으로 필요한 물량을 확보하기 위해 곡물 수입국 간 경쟁이 심화될 것으로 보인다. 현재와 같은 높은 국제 곡물가격에 대응하며 머잖아 다가올 식량 확보 전쟁에서 살아남기 위한 환경과 조화된 작물 생산 향상에 대한 대책을 준비해야 한다. 현재 정부가 추진하고 있는 친환경농업과 자연농업은 이러한 추세에 역행하는 농

법으로 이에 대한 제고가 반드시 필요하다.

항구적 곡물 수요 증가, 세계적인 이상기후와 지구온난화, 그리고 바이오 연료 붐 등 곡물 수요 증대에 기인한 가격 폭등은 생산 증대에 한계가 있기 때문에 곡물 생산 증가가 대폭으로 이루어지지 않는 한 앞으로도 높은 가격이 계속 유지될 가능성이 높아 이에 대한 대비책으로 생산성 증가를 위한 식량 농업 중심의 생산체계의 농업에서 식량과 에너지, 그리고 기후 변화 방지를 위한 분야별 대량생산 농업체제로 전환도 필요한 시점이다. 현재 정부가 추진하고 있는 환경조화 형태의 제한적 생산 농업으로는 이러한 문제를 해결하지 못하므로 식량 위기시대의 식량 자급자족, 그리고 대체 에너지원으로서의 바이오에너지 소재 생산, 또한 기후 온난화 문제를 해결하는 환경제어 역할을 하는 다기능적 생산농업 등 농업분야별 적합한 작목별 대량 농업 생산체제로 전환이 반드시 필요하다. 이러한 대량 생산체계는 작물의 생산과 직접적인 연관을 가지고 있는 화학비료 개발, 그리고 이 비료의 적절한 사용 기술 등과 밀접한 관계를 가지고 있다.

우리나라의 작물 재배 가능 면적은 매년 감소하고 있으나 이를 대체할 대체 농지 개발을 매우 미미한 수준이다. 따라서 이와 같이 감소되는 농경지를 활용한 농작물 대량생산 기술과 소재가 반드시 개발되어야 한다. 특히 농산물 생산성은 작물이 필요로 하는 양분 공급과 직결된다. 일부 환경에 대한 영향으로 화학비료가 문제시 되고 있으니 이는 잘못된 인식에서 비롯된 결과이다. 현재 학계, 농진청 등이 개발한 시비 기술은 이러한 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 더 나아가 안전한 공급기능을 가지고 있다. 따라서 정부는 이에 대한 시민의식 제고와 홍보 등을 통하여 화학비료를 사용하여 생산된 농산물에 대한

소비자의 그릇된 인식을 전환하여야 한다.

60년대 이후 전체적으로 재배면적은 감소하였을지라도 작물생산량은 꾸준한 증가하였다. 여기에서 짚고 넘어가야 할 것은 재배면적이 감소할지라도 작물생산이 증가된 이유가 무엇인가를 분명히 조사한 후 이를 근거로 한 농업생산체계를 구축하여야 한다.

끝으로 장기 연용에 따른 토양에 미치는 경제성, 주변 환경과의 상관성, 적물생산에 대한 영향과 관련한 화학비료와 퇴비, 부산물비료 등 친환경농자재와의 효과를 분명히 하여 우리나라 농업에 적용하고 이를 국민에게 알려야 한다.

참고문헌

1. Chung, J. B., Kim, B. J. Kim, J. K., and Kim, M. K. 1998. Water quality of streams in some agri-cultural areas of different agricultural practices along Nakdong river basin. Kor. J. Environ. Agric., 17:140-144.
2. Jung, Yeong-Sang, Jae E. Yang, Chol-Soo Park, Young-Gi Kwon, and Young-Kyu Joo. 1998. Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han River Basin. J. Kor. Soc. Soil Fert., 31(2):170-176.
3. Han, Kang-Wan, Jae-Chol Chon, Jae-Young Cho, and Seong-Jo Kim. 1997. Changes of nutrients concentration and natural supplies by irrigation water during the rice cultivation. Kor. J. Environ. Agr., 16(4):394-398.
4. 광한강. 2003. 토양개량제 연용에 따른 비수량과 토양특성변동 양상 및 토양비옥도관리 발전방향. 토양과 비료, 15:4-20.
5. 김용택, 김병률, 성명환, 김배성, 이명기, 이용호, 유찬희. 2007. 국제곡물가격 상승 영향과 대응 전략. 한국농촌경제연구원.
6. 김창길, 강창용, 허장, 김태영, 신용광. 2004. 친환경농업체제로의 전환을 위한 전략과 추진방안. 한국농촌경제연구원.
7. 농림수산식품부. 2008. 농림통계.
8. 농업과학기술원. 2008. 농업기술의 발전 과정 및 전망. p.185-189. 농경지 비옥도변동 조사. 농업과학기술원 시험연구보고서, 농업과학기술대전.
9. 농촌진흥청. 1998. 환경보전 농업. 농촌진흥청.
10. 농촌진흥청. 2002. 농촌진흥40년사. 농촌진흥청.
11. 박동규. 2008. 한국 농업·농촌, 새로운 도약을 위한 농업전망. 한국농촌경제연구원.
12. 이태호, 김한호, 윤형현. 2007. 세계 곡물시장의 현황과 전망. 한국농촌경제연구원.
13. 전희중, 연병열, 정병간, 송요성, 조광래, 안문섭, 이경자, 최문태, 문영훈, 김희권, 김찬용, 이상대. 2004. 농경지 토양유형별 검정시비량 실증시험. 농업과학기술원, 농촌진흥청.