

Changes of Potential NPK Input by Chemical Fertilizers and Livestock Manure from 1990 to 2011 in Korea

Hong Bae Yun, Ye Jin Lee, Myung Sook Kim, Jwa Kyung Sung, Yong Seon Zhang, Sang Min Lee, Suk Chul Kim, and Yong bok Lee^{1*}

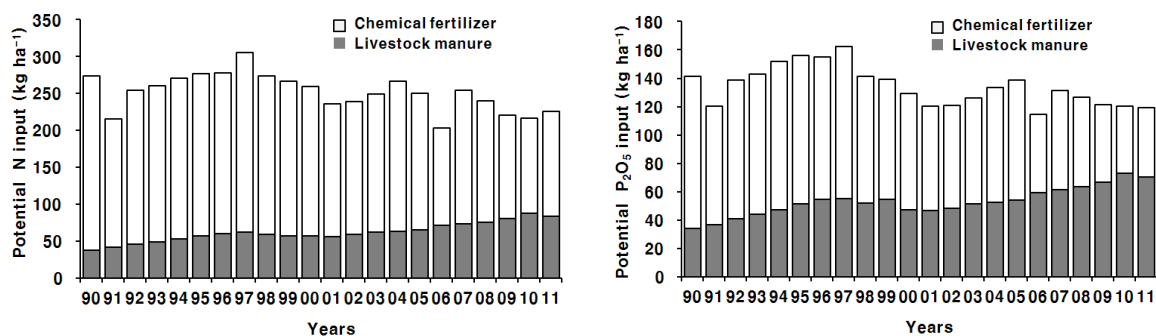
National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

¹*Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

(Received: November 15 2013, Accepted: November 29 2013)

The livestock manure is a good source of major plant nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium and micronutrient that plants require. As aspect of establishment of nutrient management policy in nation scale, the use of livestock manure for agricultural purpose is a key factor for improving national nutrient balance. In this study, we evaluated the tendency of livestock manure production and amount of chemical fertilizer used in Korea from 1990 to 2011. The number of pig and chicken has been increased about two times in 2011 compared with 1990 and therefore livestock manure continually increased with the lapse of year, but cattle and dairy was not changed significantly. The chemical fertilizer consumption of nitrogen, phosphorus and potassium per hectare arable land was decreased by 54.6, 66.0 and 63.2% in 2011 compared with 1990, respectively. In contrast, the potential input of nitrogen, phosphorus and potassium to arable land through livestock manure was increased by 220, 210 and 210% during this period, respectively. Therefore we need a reasonable strategy for nutrient management such as combination of both manure and chemical fertilizers in near future.

Key words: Chemical fertilizer, Livestock manure



Potential amounts of nitrogen & phosphorus input by chemical fertilizer and livestock manures per-hectare arable land from 1990 to 2011.

*Corresponding author : Phone: +82557721967, Fax: +82557721969, Email: yblee@gnu.ac.kr

§Acknowledgement: this study was conducted by support of NAAS research and development project (project number: PJ008569).

Introduction

1980년대를 기점으로 국내에서는 복합영농 형태가 서서히 줄면서 경종과 축산의 분업화가 시작되었고, 축산 전업농의 비중이 커짐과 동시에 가축사육두수는 증가하는 추세이다. 1972년 발효된 폐기물 해양투기 규제조약인 “런던 협약”에 따라 2012년 이후 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지되어 가축분뇨의 합리적 처리방법에 대한 관심이 고조되고 있다. 한편, 국내 가축분뇨의 퇴·액비 자원화율은 2012년도 기준 88.7%로 추정되며 (MAFRA, unpublished), 매년 퇴·액비 자원화율의 증가는 불가피한 실정이다. 정부는 법제정을 통해서 가축분뇨의 효율적 가이드라인을 제시해 오고 있다. 예를 들어, 환경보호 차원에서 1991년도에 “오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률”과 2006년도에 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”을 별도 제정하여 가축분뇨의 효율적 관리를 도모하고자 하였다. 또한 2010년도 시행규칙에서는 액비 살포에 필요한 초지 또는 농경지 면적을 고려한 적정 젖소와 돼지의 사육두수를 개정하였다. 가축두수를 제한함으로써 가축분뇨의 발생량을 조절하려는 시도는 잘 알려져 있다. Kim (2006)은 충남 홍성군을 분석한 결과 농경지 질소 투입량 대비 젖소의 적정 사육두수를 제한하였고, Lim et al. (2010)은 한우 사육두수, 질소투입량, 사료작물 흡수량 및 농지의 단위면적을 근거로 순환농업에 필요한 가축의 사육두수와 경지면적 산출을 제시하였다. 현재 초지의 경우에 가축사육 한 마리당 필요한 면적은 젖소는 1,330 m² 이상, 돼지는 140 m² 이상이며, 논인 경우에 한 마리당 젖소는 2,550 m² 이상, 돼지는 260 m² 이상, 밭·과수원 경우에 한 마리당 젖소는 1,650 m² 이상, 돼지는 170 m² 이상을 확보하도록 규정하고 있다 (www.law.go.kr). 그럼에도 불구하고 양분으로써 가축분뇨의 발생량 변화에 대한 정보는 미미한 실정이다. 가축분뇨는 무기질비료 대체 및 유기물을 공급하는 유용한 유기자원으로 활용 가치가 있다. 그러나, 농경지에 투입된 가축분뇨는 양분 순환작용으로 생산성 및 환경에 상당한 영향을 미칠 수 있다 (Larney et al., 2006). 오염부하량이 높은 가축분뇨를 직접적으로 농경지에 이용할 경우는 관개 및 침식에 의해 이차적인 환경부하량을 높이는 문제점이 있기 때문에 퇴비 또는 액비형태로 활용하는 것이 바람

직하며, 국내 농경지의 질소와 인산수지의 증가 경향은 가축 사육량과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다 (Kim et al., 2008). 한편, RDA (2007)의 보고에 따르면, 국내 농경지의 단위 면적당 (ha) 화학비료 소비량은 1970년에 162 kg ha⁻¹에서 1980년에 285 kg ha⁻¹, 1990년에 458 kg ha⁻¹을 정점으로 서서히 감소 추세를 보이고 있지만, Kim (2007)은 우리나라의 비료 사용량은 OECD 국가 중 여전히 높은 나라로 분류된다고 하였다. 정부는 「친환경농업 육성 5개년 계획」을 수립하여 비료 사용량 감축을 2001년 397 kg ha⁻¹에서 2013년 238 kg ha⁻¹까지 목표로 삼고 있으며, 이러한 정책의 일환으로 농경지에 가축분뇨의 활용에 대한 정책을 제시해 오고 있다 (www.mifaff.go.kr). 그러나 가축분뇨를 양분자원으로 간주하고 화학비료 대체 또는 감축을 평가한 연구는 매우 미미한 편이다. 본 연구는 농경지의 주요 양분 공급원인 연차간 가축분뇨 발생에 따른 양분함량과 화학비료의 소비량을 조사·분석함으로써 금후 농경지 양분관리 정책수립을 위한 기초자료 제공을 위하여 수행하였다.

Materials and Methods

가축사육 두수 및 분뇨 발생량 본 연구의 조사대상 가축은 사육두수가 가장 많은 4대 축종인 한우, 젖소, 돼지 및 닭으로 설정하였으며, 1990년~2011년의 사육두수는 가축통계 (http://kosis.kr)를 이용하여 산출하였다. 축종별 가축분뇨 발생량은 농촌진흥청 국립축산과학원 (NIAS, 2008)의 자료 Table 1을 이용하여 각각 산출하였다.

화학비료 공급량과 가축분뇨의 양분함량 1990년 이후 연차별 화학비료 공급량은 한국비료공업협회에서 발간한 비료연감 (2000년 및 2012년판)에서 농업용 공급비료량을 조사하여 나타내었다. 가축분뇨 발생에 따른 연간 양분 발생량은 축종별 가축분뇨의 발생량에 분뇨의 질소, 인산 및 칼리농도를 각각 곱하여 산출하였다. 이때 축종별 분뇨의 양분농도 값은 농촌진흥청 국립축산과학원 (NIAS, 2008)의 분석결과 Table 2를 적용하였으며, 닭의 경우는 산란계와 육계의 평균 값을 적용하여

Table 1. Amounts of manure excretion with different livestock categories (unit: kg head⁻¹ day⁻¹).

Classification		Cattle	Dairy	Pig	Chicken	
					Layer	Broiler
Manure	feces	8.0	19.2	0.88	0.1247	0.0855
	urine	5.7	10.9	1.74	0	0
Washing water		0	7.6	2.49	0	0
Sum		13.7	37.7	5.11	0.1247	0.0855

*Criterion weight (kg head⁻¹) : cattle 350, dairy 450, pig 70

산출하였다. 가축분뇨의 양분 중 인산과 칼리성분은 자원화과정 중 손실이 없다는 가정하에 전량 공급 가능한 양분량으로 평가하여 나타내었다. 그러나, 질소 공급 가능량 평가는 가축분뇨 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산 등에

의해 총 질소의 35~40%가 손실된다는 자료 (Lee et al., 2009)를 바탕으로 본 연구에서는 40% 값을 적용하여 산출하였다.

Results and Discussion

Table 2. Nutrient contents in manure with different livestock categories.

Categories	Water content (%)	Nutrient contents (%)			
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Cattle	feces	81.0	0.50	0.60	0.18
	urine	95.7	0.68	0.07	0.60
Dairy	feces	85.0	0.33	0.49	0.20
	urine	93.9	1.02	0.27	1.03
Pig	feces	70.5	0.96	0.83	0.42
	urine	97.5	0.80	0.09	0.53
Chicken	layer	76.7	1.39	0.62	0.68
	broiler	76.9	1.19	0.29	0.50

연차간 가축 사육두수 및 분뇨 발생량 1990년 부터 2011년 까지 축종별 사육두수 변화패턴은 Fig. 1에 나타낸 바, 축종간 변화 추이가 매우 상이함을 알 수 있다. 사육두수의 연차간 변동폭이 가장 적은 젖소의 경우 1990년 약 504,000에서 2011년 404,000 (두) 로써 약 20% 감소 하였으며, 소 (한육우 통칭)의 경우는 약 82% 증가하였다. 2000년 이후 한육우 사육두수의 증가는 축산물 브랜드 정책의 활성화, 국내외산 차별화를 위한 쇠고기 이력 추적시스템 도입이 중요한 요인이다 (Ha, 2010). 돼지와 닭의 사육두수는 꾸준히 증가하여, 돼지의 경우 1990년 대비 2010년도에 최고 증가율 118%를 나타내었으며, 닭

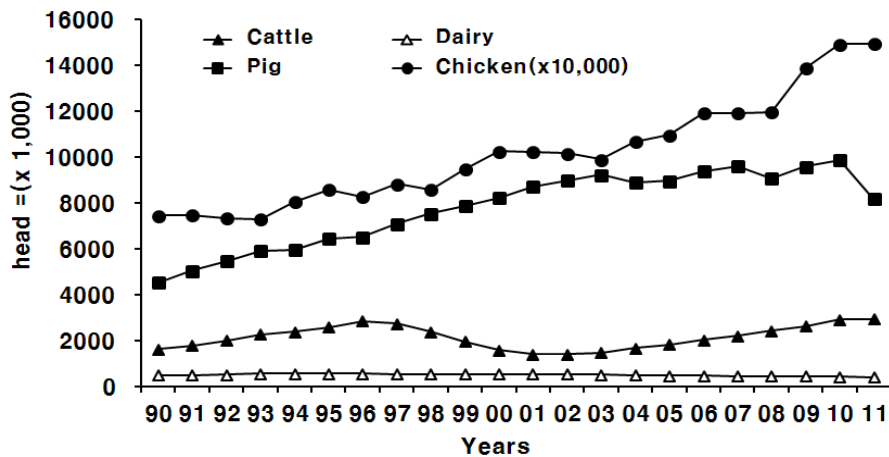


Fig. 1. Changes of livestock numbers from 1990 to 2011.

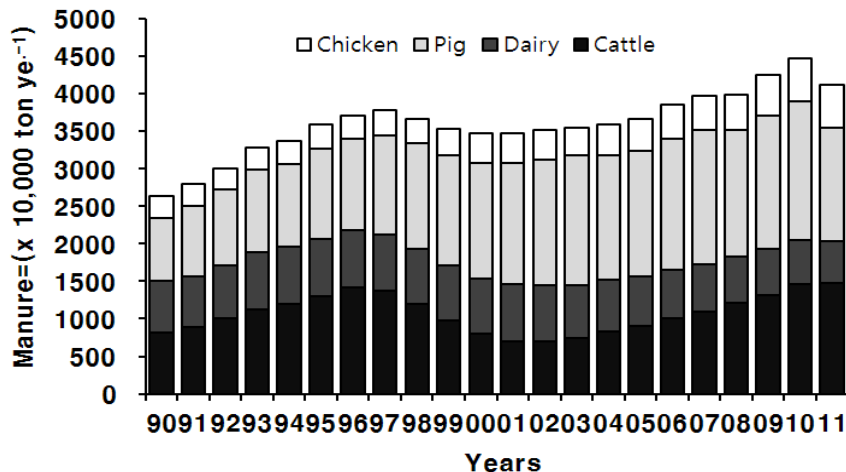


Fig. 2. Changes of livestock manure production from 1990 to 2011.

은 1990년 대비 2011년에 101%의 증가율을 나타내었다. 가축분뇨의 연차간 발생량(세정수 포함) 추이는 Fig. 2에 나타내었다. 연차간 가축분뇨 총 발생량의 변화는 한육우와 돼지의 사육두수 변화가 가장 크게 영향을 미치고 있으며, 2000년 이후 돼지의 분뇨량이 전체 분뇨량 발생에서 차이하는 비중이 꾸준히 증가함을 알 수 있다. 2011년 기준 축종별 분뇨 발생량의 점유율은 돼지 37%, 한육우 36%, 닭 14%, 젖소 13%이었다.

화학비료 공급량과 가축분뇨 양분 발생량 1990년부터 2011년 까지 연차간 국내 화학비료 NPK 공급량과 가축분뇨 발생에 따른 NPK 성분량을 각각 산출하였다(Table 3). 그 결과 질소, 인산 및 칼리 3개 성분 모두 1990년에 비해 2011년도 까지 전반적으로 감소 추세를 알 수 있다. 총 질소성분은 1990년 대비 2011년도에 37.9% 감소 하였으며, 이 중 화학비료의 질소는 54.6% 감소, 가축분뇨의 질소는 64.1% 증가 하였다. 총 인산성분은 1990년 대비 2011년도에 36.7% 감소 하였으며, 이 중 화학비료의 인산은 66.0% 감소, 가축분뇨의 인산은

56.8% 증가 하였다. 총 칼리성분은 1990년 대비 2011년도에 33.7% 감소 하였으며, 이 중 화학비료의 칼리는 63.2% 감소, 가축분뇨의 칼리는 54.7% 증가 하였다. 특히, 인산과 칼리성분의 경우 질소성분에 비해 총 양분량 대비 화학비료 점유율이 크게 줄어드는 반면, 가축분뇨의 양분 점유율은 증가하는 경향이다. 화학비료 공급량 감소는 2000년도 이후 정부의 친환경농업정책 추진과 더불어 화학비료에 대한 보조금 감축 또는 중단이 전반적으로 크게 영향을 미쳤다고 볼 수 있으며, 그 밖에 농경지 면적의 감소와 농경지 이용율 감소도 한 요인으로 여겨진다.

가축분뇨의 NPK 발생량을 축종별로 세분화하여 그의 변화추이를 Fig. 3에 나타내었다. 젖소의 경우 사육두수 감축에 따라 NPK 발생량도 매년 감소되었으며, 돼지와 닭의 NPK 발생량은 증가 추세, 한육우는 10년 주기로 진폭이 있음을 알 수 있다. 2011년 기준으로 가축분뇨의 양분 발생량 중 한육우는 질소 34%, 인산 44%, 칼리 36%를 각각 차지하여 점유율이 가장 높았으며, 돼지는 질소 27%, 인산 21%, 칼리 26%, 닭은 질소 29%, 인산 21%, 칼

Table 3. Changes of NPK production by chemical fertilizer and livestock manure from 1990 to 2011 (unit: ton).

Years	Chemical fertilizer			Livestock manure			Total amount		
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1990	562,341	256,297	285,466	91,524	81,291	94,684	653,865	337,588	380,150
1991	402,698	192,441	221,567	96,476	85,540	99,450	499,174	277,981	321,017
1992	467,441	218,521	253,954	102,781	91,849	106,117	570,222	310,370	360,071
1993	479,368	224,521	263,816	110,836	99,904	114,988	590,204	324,425	378,804
1994	474,751	227,622	268,268	115,469	103,792	119,122	590,220	331,414	387,390
1995	471,595	224,697	266,049	123,025	110,235	126,337	594,620	334,932	392,386
1996	456,274	210,310	249,967	126,639	114,533	130,240	582,913	324,843	380,207
1997	505,524	221,461	262,447	128,955	114,998	131,895	634,479	336,459	394,342
1998	450,682	188,452	228,355	124,148	109,090	126,911	574,830	297,542	355,266
1999	444,384	179,086	218,899	120,705	115,307	122,507	565,089	294,393	341,406
2000	422,570	170,631	207,050	118,895	99,374	120,047	541,465	270,005	327,097
2001	374,555	153,357	188,691	118,320	97,690	119,375	492,875	251,047	308,066
2002	363,412	146,349	180,140	119,259	98,267	120,242	482,671	244,616	300,382
2003	358,886	143,457	175,857	119,911	98,830	120,716	478,797	242,287	296,573
2004	394,277	156,963	196,009	123,069	101,703	123,056	517,346	258,666	319,065
2005	354,173	162,293	205,941	126,121	104,456	125,661	480,294	266,749	331,602
2006	244,325	102,341	131,053	133,917	110,649	132,556	378,242	212,990	263,609
2007	334,536	129,484	167,212	137,784	114,362	136,279	472,320	243,846	303,491
2008	301,655	115,466	152,933	139,041	116,773	137,586	440,696	232,239	290,519
2009	262,313	101,846	135,434	150,596	125,561	147,791	412,909	227,407	283,225
2010	235,100	85,720	102,630	159,518	133,128	155,810	394,618	218,848	258,440
2011	254,979	87,403	104,846	150,727	127,010	146,891	405,706	214,413	251,737

리 23%를 각각 점유함으로써 돼지와 닭의 양분 발생량은 유사함을 알 수 있었다. 이를 통해서 볼 때 가축분뇨의 총 양분 발생량은 1990년대비 2011년도까지 다소의 진폭이 있지만 전반적으로 증가하였으며, 연차간 진폭의 차이는 한육우가 가장 크게 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 돼지 및 닭의 경우 1990년대 이후 양분 발생량이 꾸준히 증가하고 있다는 사실도 함께 주목할 필요가 있다.

농경지 단위면적 (ha) 당 잠재적 양분 공급량 농경지 양분관리대책 수립을 위한 자료 제공을 위하여 농촌진흥청 국립농업과학원 주관으로 논, 밭, 과수원 및 시설재배지를 대상으로 각각 4년 1주기로 전국 각 지역의 정점지역 농경지 토양화학성을 분석하고 있다. 이에 따르면 밭, 과수원의 경우 적정 양분함량을 초과하는 비율이 최근에 점차 높아지고 있으며, 특히 시설재배지의 경우는 유효인산을 비

롯, 토양 유기물, 치환성 칼리 등 양이온 함량의 증가가 뚜렷하다 (RDA, 2012). 1990~2011년에 걸쳐 농경지 단위 면적 (ha)당 잠재적 양분 공급량 평가를 위하여 연차별 화학비료 공급량과 가축분뇨 양분 발생량을 농경지 투입가능 양분으로 하고, 이에 연차별 농경지 이용율을 포함한 총 경지면적 (<http://kosis.kr>)을 나누어 나타내었다 (Fig. 4). 농경지 단위면적 당 화학비료의 질소, 인산 및 칼리질비료 모두 감소 추세이며, 질소비료는 1990년 235 kg ha⁻¹이었으나, 2011년에는 142 kg ha⁻¹으로 약 40% 감소하였고, 동 기간 인산비료는 55%, 칼리비료는 51% 각각 감소하였다. 반면, 가축분뇨 발생량 증가에 따라 가축분뇨에 의한 잠재적 양분 공급량은 증가 추세로써, 질소량은 1990년 38 kg ha⁻¹이었으나 2011년에는 84 kg ha⁻¹으로 약 2.2배 많아졌으며, 동 기간내 인산 및 칼리량은 공히 약 2.1배 많아졌다. Kim et al. (2008)은 Surface balance 평가법으로 1985~2006년 사

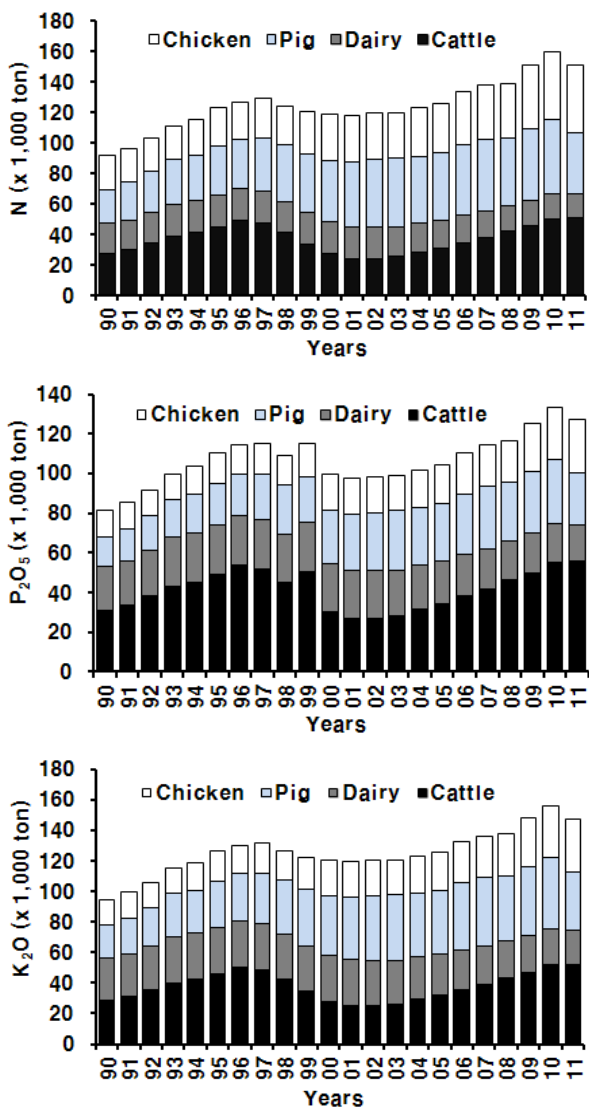


Fig. 3. Changes of NPK production with different livestock manure from 1990 to 2011.

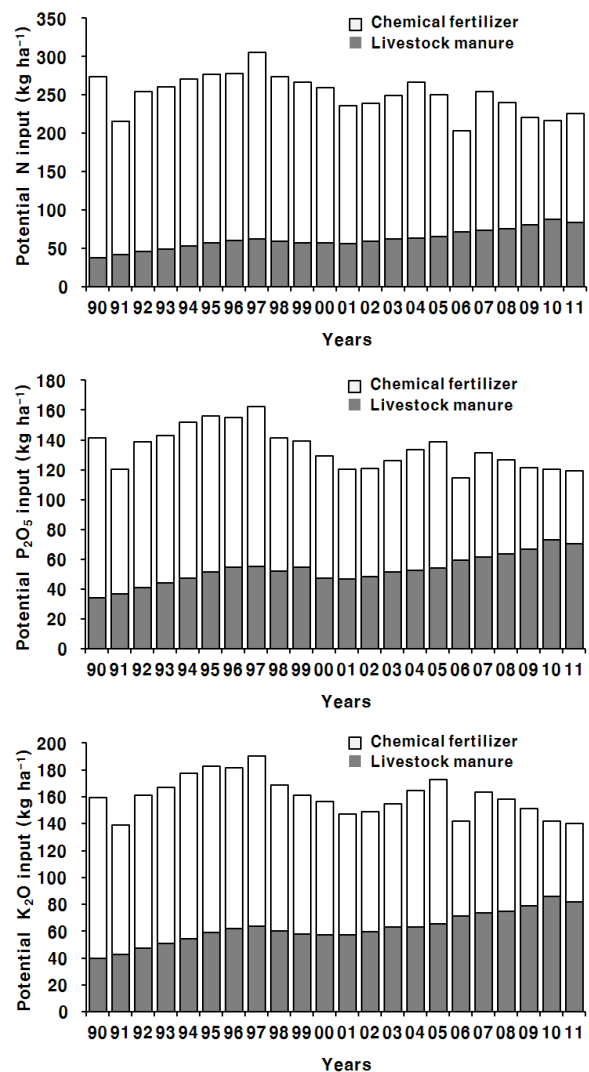


Fig. 4. Changes of potential NPK input by chemical fertilizer and livestock manures per-hectare arable land from 1990 to 2011.

이 국내 농경지의 질소수지를 분석한 결과, 1985년 181 kg N ha⁻¹ 이후 꾸준히 증가하여 1998년 최고 270 kg N ha⁻¹를 보였으나, 정부의 화학비료 사용량 저감정책으로 2006년에는 190 kg N ha⁻¹까지 감소하였다고 보고한 바 있다. 최근 정부에서는 화학비료 사용량 저감대책의 일환으로 가축분뇨를 퇴·액비화하여 농경지에 환원하는 방안을 다양하게 모색하고 있다. 그러나, 금후 가축분뇨 퇴액비 활용의 효율성 제고를 위해서는 시도 또는 시군 지역내 농경지 면적 및 작물 종류 등을 고려한 양분 총 필요량과 가축분뇨 발생량의 관계를 면밀히 분석·검토하여 균형된 비료공급을 위한 정책도입이 되어야 할 것으로 생각된다.

Conclusions

가축분뇨가 지닌 성분은 화학비료와 더불어 작물재배에서 양분공급원으로 가장 중요한 자원이다. 본 연구는 1990년부터 2011년까지 통계자료를 이용하여 전국단위 가축분뇨의 양분 발생량과 화학비료 공급량을 각각 분석하였으며, 연차간 이들이 차지하는 비율의 변화를 분석하였다. 농경지 단위 (ha) 당 화학비료의 질소 소비량은 1990년 대비 2011년도에 54.6%, 인산 66.0%, 칼리는 63.2% 각각 감소하였으며, 동 기간 가축분뇨의 질소량은 220%, 인산과 칼리는 공히 210% 증가하였다. 금후 토양환경의 건정성 유지를 위해서는 지속적으로 증가하는 가축분뇨의 합리적 활용방법 모색 및 화학비료 공급량과의 균형된 정책 수립이 필요하다고 생각된다.

References

Ha, W.W. 2010. An analysis on generation and treatment situation of livestock manure. M.S thesis. Konkuk University, Seoul city, Korea.

- Kim, C.G. 2007, Estimation on total nutrient control system using nutrient balance indicator (workshop on OECD agriculture environment indicator). p. 27-55, RDA. Suwon city, Korea.
- Kim, J.E. 2006, A study based on reasonable level estimation of livestock industry considering environmental capacity. M.S. thesis, Kongju University, Kongju city, Korea.
- Kim, P.J., Y.B. Lee, Y. Lee, H.B. Yun, and K.D. Lee. 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balanes. Korean Journal of Environmental Agriculture 27(4): 337-342.
- Larney, F.J., D.M. Sulliva, K.E. Buckley, and B. Eghball. 2006. The role of composting in recycling manure nutrients. Can. J. Soil Sci. 86:597-611.
- Lee, Y., H.B. Yun, and Y.B. Lee, 2009. Estimation of nitrogen loss from pilot and large scale composting by ammonia measurement and N/P ratio changes. Bulgaian J. of Ecological Sci. 7(4):13-15.
- Lim S.S., J.H. Kwak, H.J. Park, S.I. Lee, D.S. Lee, Y.S. Kim, B.K. Yun, S.W. Kim, and W.J. Choi. 2008. Analysis of nutrient cycling structure of a Korean beef cattle farm combined with cropping as affected by bedding material types. Korean J. Soil Sci. Fert. 41(5):354-361.
- MFAFF. 2010. Agricultural and forestry statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea.
- NIAS (National institute of animal science). 2008. The study of re-establish the amount and major compositions of manure from livestock. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2007. Research and policy trends on the livestock manure for the sustainable agriculture. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2012. 2012 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Suwon, Korea.