한국토양비료학회지 제 39권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 39, No. 6, 351-356 (2006)

연구보문

하해혼성 충적층 유기물 연용 논토양의 화학성 및 양분 집적형태 변화

양창휴* · 유영석[1] · 류철현 · 정지호 · 김재덕 · 정광용

작물과학원 호남농업연구소, [1]전북농업기술원 숙근약초시험장

Changes of Nutrient Accumulation Type and Chemical Property on Annual Dressing Paddy Soil in Fluvio-marine Deposit

Chang-Hyu Yang*, Young-Seok Yoo[1], Chul-Hyun Yoo, Ji-Ho Jung, Jae-Duk Kim and Kwang-Yong Jung

Honam Agricultural Rese arch Institute, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea
[1]Jinan Medical Herbs Experiment Station, Jeollabuk-do ARES, Jinan 567-806, Korea

A long-term experiment was initiated in 1979 at Experiment Farm of Honam Agricultural Research Institute, to investigate the effects of continued use of organic matter (rice straw and compost) along with different levels of nitrogen fertilizer in rice cultivation. The soils of experimental plots is classified as Jeonbug series developed on Fluvio-marine deposits. The application rates of rice straw and compost were 5 Mg/ha/year and 10 Mg/ha/per year, respectively. The fertilizer N application rates per season were 0, 100, 150, 200, and 250 kg/ha. In 2002, after 24 years of experiment, the effect of different treatments on soil pH, characteristics soil organic matter, soil N and P were investigated. The results of the study is summarized as following. The continue use of organic matter tended to lower the soil pH, to increase organic matter and available phosphate contents. The rice straw tended to lower soil pH more than compost, while the effect of compost was greater in increasing soil organic matter and available soil P then rice straw. The application of organic matter resulted in the increase in total organic N in the soil. Such effect was greater in compost application than in rice straw application. In organic N, greatest was amino acid-N, followed by unidentifiable organic N. The least was amino sugar-N. The application of organic matter with and without nitrogen fertilizer affected the in organic fractions of P, particularly Fe-P and Al-P. The application of rice straw tended to increase Ca-P.

Key words : Nutrient accumulation type, Chemical property, Annual dressing Organic matter, Paddy soil, Fluvio-marine deposit

서 언

우리나라 논토양 중 67%인 850천 ha(ASI, 1992)는 작물생산성이 낮은 저위생산 논이다. 생산저해의 주요인으로는 토양생성 모재의 불량성이 크게 기여하지만 미곡중심의 작부체계, 양질의 유기물(볏짚, 보릿짚 등)과 토양개량제의 지속적인 시용에 의해 지력 증진을 꾀할 기회가 없었고 과도한 화학비료 편중시비로 철, 망간 등 미량성분의 용탈 등이 중요한 요인으로 생각된다.

벼의 생산은 토양비옥도에 의해 크게 좌우되는데 화학비료에만 의존하면 지력유지가 매우 어려워 유기물 시용에 의한 비옥도 유지 및 증진이 매우 바람직하다. 유기물은 질소, 인산, 가리 등 여러 가지 염류와 미량요소를 함유하고 있어 양분공급의 기능뿐만 아니라 토양 완충능력을 높여 지력을 좋게 하므로 유기물 함량이 많을 경우 인산의 용해도가 증가된다(Lee et al., 1995).

토양유기물은 작물의 중요한 질소원으로 토양의 생산력을 좌우하는 인자로 알려져 있다. 토양유기물은 동식물 및 미생물에서 유래되며 그 중 중요한 것은 탄수화물, 리그닌 및 단백질과 같은 유기질소화합물이다. 특히 토양 중의 유기태질소는 작물생육 및 토양비옥도를 결정하는 중요한 요인으로 많은 연구자들이 토양유기물의 질소형태를 분석하였으나, 유기태질소는 토양 중에서 복잡한 화합물로 존재하기 때문에 화학

접 수 : 2006. 8. 18 수 리 : 2006. 11. 8
*연락저자 : Phone: +82638402272,
E-mail: yang1907@rda.go.kr

적 조성과 성질에 관해서는 아직도 불명한 점이 많다. 지금까지 유기태질소는 단백질 또는 유사물로 생각하여 주로 산가수분해에 의하여 용해되는 질소화합물을 단백질화학의 입장에서 분석 정량하여 왔다(Ibin, 1968).

토양 중 인산은 유기태와 무기태로 존재하는데 대부분이 무기태 인으로 Chang and Jackson(1957)은 Al-P, Fe-P, Ca-P, reductant soluble Fe-P, occluded Al·Fe-P로 분획하였다. 흔히 작물 유효도와 관련해서는 앞의 세 가지 분획이 주로 연구의 대상이 되고 있으며, 토양 중 축적인의 대부분도 Al-P, Fe-P, Ca-P의 세 가지 형태로 이들 함량은 토양반응, 토양에 인산을 시용한 후 경과한 시간, 시용인산의 비종, 온도, 수분함량 등에 따라 크게 달라지는 것으로 알려져 있다.

최근에는 농업의 지속성을 제고하는 측면과 환경교란을 최소화하는 것에 대한 관심이 높아지면서 장기시험의 중요성이 새롭게 인식되고 있다(Aramy and Kemper, 1991). 더욱이 농업은 기상여건, 작물의 종류와 토양관리에 따라 다양한 요인들의 상호작용이 수천 년 동안 장기적으로 이루어지는 산업이기 때문에 이에 대한 이해는 장기적인 시험에 의하여 가능하다. 퇴비를 비롯한 각종 개량제와 비료를 동일포장에서 장기연용하면서 토양특성과 수량변화 양상을 구명하여 시비방법을 개선하고 합리적인 토양관리를 모색한 연구는 국내외 여러 연구기관에서 오래전부터 수행되고 있다.

본 시험은 유기자원으로서 볏짚과 퇴비를 연용하면서 토양화학성과 유기태 질소 및 무기태 인산의 집적량을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 1979년부터 24년 동안 호남농업연구소 벼재배 포장인 전북통(Jeonbug series, fine silty, mixed nonacid Aeric Fluventic Haplaquepts)에서 동일비료 및 유기물을 시용한 영년 연용시험지에서 수행되었다. 유기자원은 볏짚, 퇴비로 질소시비량을 0, 100, 150, 200, 250 kg ha^{-1} 등의 5수준으로 하였다. 유기자원 중 볏짚(5 Mg ha^{-1})은 이앙 전년 11월에 5 10 cm로 절단하여 시용하였고 퇴비(10 Mg ha^{-1})는 볏짚 시용량에 준하는 동량의 볏짚을 썩혀 완숙된 것을 시용 후 심경하였다. 시용된 유기자원의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

공시토양의 작토 화학성은 Table 2와 같이 유기물 및 유효인산 함량이 높고 치환성칼륨 함량이 낮은 약산성 토양이었다.

토양 분석은 농업과학기술원 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 준하여 pH는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 1N-NaOAc (pH4.0) 침출법으로 분석하였다. 유기태 질소는 Stewart법(Stewart et al., 1963)으로 산가용유출성질소, 산가용 비유출성질소, 산불용성 질소(미동정태질소)를 정량하였다. 또한 무기태 인산은 0.5M NH_4F, 0.1M NaOH, 0.25M H_2SO_4 용액으로 추출하여 Al-P, Fe-P, Ca-P로 분별정량 하였다.

결과 및 고찰

유기자원 연용에 따른 토양화학성 변화 유기자원 시용에 따른 년차별 토양산도 변화는 Table 3과 같다. 유기물을 시용한 결과 pH는 다소 낮아졌고 그 정도는 볏짚>퇴비>무시용의 경향을 나타냈으며 이는 토성에 따라 유기물의 장기연용 및 시용량 정도가 토양 pH를 낮아지게 한다는 결과(Kwun et al., 1984; Muneno et al., 1970; Oono et al., 1970; Yamane and Matzura, 1970)와 유사하였으며 유기물이 토양에서 분해될 때 중간산물인 유기산과 미생물의 호흡작용에 의한 탄산의 생성과 담수기간 동안 환원작용에 의해 낮아지는 것으로 생각하는 것이 타당하다고 판단된다.

Table 1. Major chemical composition of organic matter used in the study.

Organic matter	T-C	T-N	P_2O_5	K_2O	C/N ratio
	----------	----------	%	----------	----------
Rice straw	40.3	0.6	0.24	2.32	67.2
Compost	30.5	1.5	2.50	1.30	20.3

Table 2. Chemical properties of soil in experimental plot.

pH	OM	Av. P_2O_5	Av. SiO_2	Exch. cations			CEC
				K	Ca	Mg	
1:5	g kg^{-1}	--------- mg kg^{-1} ---------		-------------------------- cmol$_c$ kg^{-1} --------------------------			
6.4	23	100	109	0.12	4.0	2.0	12.0

Table 3. Soil pH observed in different years under different treatments.

Organic matter	pH			
	1984	1990	2000	2002
	---- 1:5 ----			
Non application	5.60±0.06	5.86±0.10	6.72±0.19	6.96±0.14
Rice straw	5.60±0.06	5.84±0.15	6.48±0.40	6.66±0.05
Compost	5.68±0.04	5.96±0.10	6.60±0.25	6.78±0.15

유기자원 시용에 따른 년차별 토양유기물 함량 변화는 Table 4와 같다. 유기물을 시용함으로써 토양 중 유기물 함량의 변화는 연차적으로 증가하는 경향을 보였고, 퇴비 시용에서 높은 증가율을 나타냈다.

벼 1작기 동안 부식의 평균 소모량은 750 kg ha^{-1} 정도이고 퇴비의 부식화율을 10%로 보면 토양 부식함량 유지에 필요한 퇴비의 시용량은 7.5 Mg ha^{-1} yr^{-1} 정도이고 매년 7.5 Mg ha^{-1}의 퇴비를 시용하였을 때 토양 유기물 증가함량은 0.43 0.45 g kg^{-1} yr^{-1} 이라는 보고(Cho et al., 1992)와는 달리 이보다 많은 10 Mg ha^{-1} yr^{-1}을 시용하였음에도 일정한 수준을 유지한 것은 토양특성, 관리방법, 퇴비종류 및 부숙정도 등에 따라 차이가 큰 반면에 유기물 무시용 때 유기물함량이 크게 저하되지 않고 평형을 유지한 것은 벼 뿌리나 그루터기 등에 의한 소모와 공급의 균형이 적절하게 유지되었기 때문으로 생각된다.

유기자원 시용에 따른 유효인산 함량의 변화는 Table 5와 같다. 유효인산의 변화는 매년 70 90 kg ha^{-1}의 인산비료를 시비한 관행의 경우는 89 mg kg^{-1}으로 감소한 반면에 퇴비 시용으로 토양 중 유효인산 함량이 크게 증가한 것은 퇴비 중에 포함된 인산의 방출과 인산의 유효도 증가(Kwak et al, 1990)와 더불어 매년 시용된 인산비료가 퇴비와 킬레이트를 형성하여 인산의 고정을 억제한(Yoon, 1983) 결과로 생각된다.

유기태 질소 및 무기태 인산 분별정량 토양 중 유기태 질소 형태별 집적량은 Table 6에서 보는 바와 같이 퇴비>볏짚>무시용 순으로 증가되었다. 퇴비구에서 질소를 시비하지 않았을 때 집적량이 높게 나타났다. 유기태질소의 분획별 함량은 산가용 비유출성질소>산불용성질소(미동정태-N)>산가용유출성질소 순으로 많았다. 벼 재배시 산가용 비유출성질소는 볏짚을 연용할 때 가장 많았고 산불용성질소는 퇴비 20 Mg ha^{-1}를 14년 연용시에 많았다는 Yoo et al.(1992)의 결과와 퇴비 시용량이 증가함에 따라 산가용 비유출성질소>산불용성질소(미동정태-N)>산가용유출성질소 순으로 많았다는 보고와 일치하였다(Ichida, 1986).

산가용 비유출성질소는 볏짚시용 때 질소시비에서 918 mg kg^{-1}로 총 유기태질소의 52.7%를 차지하였으며 이분해성으로 분획 중 함량이 많으면 작물에 대한 질소의 비옥도가 높은 것으로 알려져 있다(Ichida, 1986). 사질토양에 볏짚을 시용하고, 식질토양에 퇴비를 시용하였을 때 토양 중 Amino acid-N과 미동정태-N 함량이 증가되었으며 Amino sugar-N 및 Humin-N 함량은 처리간에 일정하지 않았음을 보고

Table 4. Soil organic matter content observed in different years under different treatments.

Organic matter	OM			
	1984	1990	2000	2002
	---- g kg^{-1} ----			
Non application	18.3±1.34	19.2±0.78	19.8±0.92	20.0±0.63
Rice straw	22.7±0.42	23.0±1.42	23.0±2.92	26.0±0.30
Compost	23.9±0.41	25.0±0.14	25.6±2.09	26.2±0.66

Table 5. Available soil P content observed in different years under different treatments.

Organic matter	Av. P_2O_5			
	1984	1990	2000	2002
	---- mg kg^{-1} ----			
Non application	61±13.02	75±0.89	85±8.01	89±12.88
Rice straw	94±17.05	96±25.27	99±13.17	105±0.89
Compost	94±6.72	102±1.79	112±28.68	126±29.31

Table 6. Effect of organic matter application on different fractions of organic N in soil.

Organic matter	Nitrogen level	Acid soluble nitrogen		Acid insoluble nitrogen
		Amino sugar-N	Amino acid-N	
	kg ha^{-1}	---------------------------------- mg kg^{-1}	----------------------------------	
Non application	0	277	697	399
	150	283	785	406
Rice straw	0	294	778	411
	150	238	918	449
Compost	0	308	869	445
	150	312	835	470

하였다(Lee and Hwang, 1984).

벼는 지력 의존도가 높은 작물로서 벼가 흡수하는 60 70%가 지력질소에서 유래하여 지력질소의 다소는 토양생산력을 결정하는 중요한 요인이다(Ikeda, 1997). 논토양 가수분해성 아미노당태 질소의 함량이 약간 적게 나타나는 결과였고, 토양형별 모두 7% 이하였으며 산가용성 질소 중 분획 정량한 4종류의 유기태질소는 아미노산태(25 45%), 미동정태(12 50%), 암모니아태(12 25%), 아미노당태(1 7%) 순으로 나타났다(Lim and Moon, 1983).

토양 중 무기태 인산 형태별 집적량은 Table 7과 같이 퇴비>볏짚>무시용 순으로 증가 되었으며 Fe-P>Al-P>Ca-P>Occuluded-P 순으로 높았다. 재배년수가 경과함에 따라 표토의 무기태 인산 함량이 지속적으로 증가하는 경향을 나타낸 것은 Park et al.(2003) 결과와 같았다. 이와 같이 토양모재가 하해혼성충적층의 논에서 유기물을 장기 연용할 때 무기태 인산 함량이 증가한 것은 토양 중 철 함량이 높고 토양환원이 많이 진행되었으며 또한 퇴비공급을 통한 토양 중 미생물의 활성증대에 의한 무기화가 촉진되었기 때문으로 생각된다.

일반적으로 논토양 중 형태별 인산 함량은 토양모재, pH, Eh, 토성 등에 의하여 다르며 보통 논에서는 Fe-P, Al-P가 주요 형태로 된다(Imano and Hirohou, 1970). 또한 벼는 모든 형태의 무기태 인산을 잘 흡수하며 간척지 논과 같이 유리산화철 함량이 높은 토양은 산화상태에서는 가급태 인산 함량이 적지만 환원의 진행과 비례하여 급증한다(JSSP, 1984).

17년 동안 과석을 계속 시용한 토양 중에는 Fe-P함량이 가장 많았으나 과석의 시용으로 당년 작기에 Fe-P의 증가량이 적으나 Al-P와 Ca-P함량은 유의하게 증가하였다(Singh et al., 1966).

알루미늄이나 철 함량이 높은 토양에서는 시용된 인산의 대부분이 occluded-P로 변화되며 소량만이 유효도에 영향을 주는 세가지 형태의 인(Al-P, Fe-P, Ca-P)으로 주로 존재한다고 하였다(Robertson et al., 1966). 이러한 토양에서는 인산의 고정력이 크기 때문에 작물이 흡수 이용하기 용이한 형태의 인산 즉 유효인산함량이 매우 낮아 작물생육에 필요한 적당한 량의 인산이 규칙적으로 계속 시용되었으며 인산의 고정력이 큰 토양에 가용성 인산이 시용되면 원래 토양인산의 유효도가 감소되고 인산의 고정력이 낮은 토양에서는 증가되는 경향이라고 보고된 바 있다(Taylor and Jonathan, 1981).

결론적으로 벼 재배시 논에서 생산되는 볏짚이나 볏짚으로 만든 퇴비는 장기간 시용하여도 토양특성을 크게 변동시키지 않으면서 논의 생산성을 높게 유지하고, 볏짚이나 볏짚으로 만든 퇴비는 질소에 비하여 인산이 많이 들어있으며 때로는 염분까지 많이 들어있는 가축분뇨를 주 원료로 하여 만든 유기질비료보다 매우 안전한 농자재임을 시사한다. 또한 논토양의 유기물 관리를 위하여 외부로부터 유기물을 도입하지 않아도 무방함을 암시한다.

한편 벼 재배시 볏짚, 퇴비 연용으로 심토의 물리성

Table 7. Effect of organic matter application on different fractions of inorganic P in soil.

Organic matter	Nitrogen level	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occluded-P
	kg ha^{-1}	-- mg kg^{-1}	--		
Non application	0	181	291	99	49
	150	250	309	86	50
Rice straw	0	207	425	116	48
	150	186	298	96	51
Compost	0	198	366	113	45
	150	228	375	110	48

이 개선되었으나 대형 농기계 보급에 의한 경반층 형성이 가중되고, 작토층이 얇아져 지온의 저하로 인한 양분의 가용화가 문제가 되고 있다. 따라서 일정주기로 심경의 개량작업이 정책적으로 이루어지고 볏짚의 시용주기는 매년 또는 최소한 2 3년 주기로 시용하는 것이 바람직하며 가능한 볏짚을 퇴비화하여 시용하는 것이 유기물의 효과를 향상시킬 수 있다. 금후에는 토양모재 및 토양환경에 따른 경반층의 두께, 지온 등에 따른 양분의 가용화 정도를 구명하여 친환경농업을 위한 토양관리 및 시비기술을 보급하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 유기물 및 동일비료를 하해혼성 충적토 전북통에서 24년 연용 후 주구인 유기물(무시용, 볏짚, 퇴비)에 세구인 질소시비량(0, 100, 150, 200, 250 kg ha^{-1})을 5수준으로 처리하여 년차별 토양화학성과 유기태 질소 및 무기태 인산의 형태별 집적량을 분석한 결과는 다음과 같다.

유기물 시용으로 토양산도는 다소 낮아졌으며 그 정도는 볏짚을 준 경우가 퇴비를 줄 경우보다 컸다. 토양 중 유기물 함량은 연차적으로 증가하는 경향을 보였으며 퇴비 시용 구에서 더 증가했다. 유효인산 함량은 관행(NPK)의 경우 감소하였고 유기물 시용으로 증가했으며 퇴비 시용 구에서 더 증가하였다.

토양 중 총유기태질소 함량은 퇴비>볏짚>무시용 순으로 높았으며 유기태 질소 중 산가용 비유출성질소(아미노산태 질소)>산불용성질소(미동정태질소)>산가용 유출성질소(아미노당태 질소) 순으로 많았다. 산가용 비유출성질소는 볏짚+질소시비에서 918 mg kg^{-1}로 총유기태질소의 52.7%를 차지하였고 산가용유출성질소는 볏짚+질소 무시비, 산불용성질소 및 산가용 유출성질소는 퇴비+질소시비에서 많았다. 또한 토양 중 총무기태인산 함량은 볏짚+질소시비>퇴비+질소시비>퇴비+질소무시비>무시용+질소시비>볏짚+질소시비 순으로 많았다. 볏짚+질소 무시비에서는 무기태 인산이 모두 높았고 특히 Fe-P 함량이 425 mg kg^{-1}로 가장 높았다. 퇴비+질소시비 및 무시용+질소시비에서는 Fe-P 및 Al-P 함량이 높은 반면에 질소무시비와 큰 차이를 나타내지 않았다. Ca-P 함량이 볏짚과 퇴비 시용으로 높아진 것은 유기물의 인산집적 뿐만 아니라 토양환경의 변화 즉 환원이 높게 진행된 결과로 생각된다.

인 용 문 헌

ASI. 1992. General remarks of Korean soils. p. 308-610. Agricultural Sciences Institute, Suwon, Korea.

Aramy, T.J., and W.D. Kemper. 1991. Support for long term agriculture research. J. Agronomy 83:62-65.

Chang, S.C., and Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.

Cho, S.J., C.S. Park, and D I. Uhm. 2003. Soil Science. p. 48-49.

Ibin, S. 1968. On nitrogen type of volcanic ash soils and nonvolcanic ash soils. Soil Sci. Plant Nutr. 39:478.

Ichida, A.H. 1986. Soil properties and yield potential of long-term compost application in paddy field. Soil Sci. Plant Nutr. 57:418-420.

Ikeda, A.H. 1997. Rational fertilization management of rice plant by nutrition and soil diagnosis. Agriculture & Hoticulture. 72:999.

Imano, R.H., and T.M. Hirohou. 1970. The changes of substance on percolation state in paddy soil. Soil Sci. Plant Nutr. 41:225-229.

JSSP. 1984. Phosphoric acid and paddy soil Ⅲ. Fertilizer efficiency and availability on phosphoric acid of paddy soil in temperate area. p. 105-108. Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, Japan.

Kwak, H.K., C.S. Lee, and S.K. Lim. 1990. Influence of soil amendments on phosphorus response and changes of available phosphate amount in paddy soil. Res. Rept. RDA. 32:52-56.

Kwun, K.C., J.K. Kim, I.Y. Kim, S.H. Park, and D.S. Jo. 1984. Effects of continuous fertilizations on physical and chemical properties of paddy soil and growth of rice plant. Res. Rept. RDA. 26:67-76.

Lee, K.B., J.G. Kang, T.Y. Uhm, J.G. Kim, S.K. Kim, and G.S. Lee. 1995. The effect of long-term organic matter application on N, P and K uptake by rice in paddy soil. RDA. J. Agri. Sci. 37:291-297.

Lee, S. K. and G. N. Hwang. 1984. Effects of compost and rice straw on immobilization and mineralization of nitrogen fertilizer added to coarse loamy and clay soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 17:60-66.

Muneno, O.T., K. Naohara, S.H. Kusaka, and T.M. Imai. 1970. Change of soil physico-chemical properties by application barley and rice straw. Res. Rept. Chugoku National Agricultural Experiment Station. 5:62-64.

NIAST. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon.

Oono, T.R., H.O. Nishio, and Y.K. Ishigaki. 1970. Change of soil physico- chemical properties by application barley and rice straw. Res. Rept. Chugoku National Agricultural Experiment Station. 5:67-68.

Park, C.Y., W.T. Jeon, K.D. Park, Y.S. Cho, and U.G. Kang. 2003. Effects of long-term application of the same fertilizers to rice crop on a river alluvial paddy soil. 50th ceremony Symposium on annual dressing experiment of fertilizer. p. 97-144.

Robertson, W.K., L.G. Thompson, and C.E. Hutton. 1966. Availability and fractionation of residual phosphorus in soils high in aluminium and iron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:446-450.

Singh, R.N., D.C. Martens, and S.S. Obenshain. 1966. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:617-620.

Stewart, B.A., L.K. Porter, and D.D. Johnson. 1963. Immobilization

and mineralization of nitrogen in several organic fraction of soils. Soil Sci. Am. Proc. 27:302-304.
Taylor, R.W, and J. Woods. 1981. Inorganic phosphorus in calcareous rock land soils of the Bahamas. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 45:730-734.
Yoo, C.H., J.D. So, A. Ida, F. Tanaka, and M. Nishida. 1992. Effects of long-term organic matter application on the fine textured paddy soils of double cropping system in temperate area. Korean J. Soil Sci. Fert. 25:325-333.
Yoon, J.H. 1983. Parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and fertilizer recommendation(Ph. D. Thesis). Dong-Guk Univ. Korea.