ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 49(2), 194-199 (2016)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.2.194

Article

Effects of Rice Straw Compost Application on Exchangeable Potassium in Long-term Fertilization Experiments of Paddy Soils

Myung-Sook Kim*, Seong-Jin Park, Chang-Hoon Lee, Byong-Gu Ko, and Sun-Gang Yun

Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

(Received: April 8 2016, Revised: April 25 2016, Accepted: April 27 2016)

In an experiment conducted at the research field of the National Institute of Agricultural Science, we investigated the effects of mineral fertilizer and rice straw compost on exchangeable potassium and K balances, and rice grain yield under a rice single system. The treatments were no fertilization (No fert.), inorganic fertilization (N), inorganic fertilizer (N, P, K) plus rice straw compost at rates of 7.5, 15.0, 22.5, and 30.0 ton ha^{-1} (NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, and NPKC30.0, respectively). The inorganic fertilizers(N, P, K) were added with standard fertilizer application rate in which nitrogen (N), phosphate (P_2O_5), and potassium (K_2O) were applied with 75～150 kg ha^{-1}, 70～86 kg ha^{-1}, 75～86 kg ha^{-1}, respectively. Exchangeable potassium for NPKC15.0 NPKC22.5, and NPK30.0 treatments was higher by 0.05~0.19 cmol$_c$ kg^{-1} than that of NPKC7.5 treatment. Increasing levels of rice straw compost resulted in an increase in the K balance from −19.9 kg ha^{-1} yr^{-1} (No fert.) to 41.9 kg ha^{-1} yr^{-1} at NPKC22.5 treatment and 62.9 kg ha^{-1} at NPKC30.0 treatment. Continuous application of rice straw compost with NPK fertilizers affected significantly the rice grain yields. The result of the study imply that the application of more than 22.5 ton ha^{-1} of rice straw compost with NPK fertilizers are recommended as the best fertilization practice for enhancement of crop production and K supplying power of soil in the continuous rice cropping system.

Key words: Long-term experiment, Paddy soil, Exchangeable potassium, Rice straw compost, Potassium balance

Comparison of exchangeable K concentration and K saturation in No fert, N, NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 treatments from data '02~'14 years.

Treatment	Exchangeable K	K saturation
	cmol$_c$ kg^{-1}	%
No fert.	0.10c[†]	1.0c
N	0.10c	0.9c
NPKC7.5	0.15bc	1.2bc
NPKC15.0	0.19b	1.5b
NPKC22.5	0.24a	1.7a
NPKC30.0	0.29a	1.9a

[†] Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between treatments by Duncan's multiple range test.
No fert., N.P.K., and C mean no fertilization, nitrogen, phosphate, potassium, and rice straw compost fertilizer, respectively.

*Corresponding author: Phone: +82632382454, Fax: +82632383822, E-mail: msk74@korea.kr
§Acknowledgement: this study was conducted by support of NAS research and development project (project number: PJ0101202016).

Introduction

우리나라 논토양의 치환성 칼륨의 함량은 '95년에 0.32 $cmol_c\ kg^{-1}$에서 '03년 0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$으로 약간 감소하였고, '11년에 0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$으로 일정하게 유지되고 있다 (NAAS, 2012). 그러나, 벼의 생육을 위한 토양의 치환성칼륨 부족 비율(< 0.25~0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$)은 '03년에 26%에서 '11년에 36%로 높아졌으며, 이것은 논토양에서 생산한 볏짚을 가축사료로 이용하고자 농업인들의 수거율이 증가에 (MAFRA, 2015) 기인한다.

칼륨은 광합성이나 단백질 합성 등의 대사활성, 세포 삼투압 조절에 관여하는 인자로 매우 중요한 다량원소이다 (Brady and Weil, 2007). 일반 토양의 칼륨함량은 0.2~3.3% 범위에 있으나 토양생성 모재에 따라 그 범위의 차이가 달라진다 (Sparks and Huang, 1985). 토양의 칼륨은 작물에 대한 유효도 측면에서 용액 칼륨, 치환성 칼륨과 비치환성 칼륨의 세가지로 나눌 수 있는데, 이들은 동적인 평형을 유지하려는 특성을 지니고 있다 (Sparks and Huang, 1985). 작물의 뿌리에서 토양의 용액 칼륨을 흡수하면 토양에서 용액 칼륨과 치환성 칼륨간의 평형은 빠르게 이루어지고, 치환성 칼륨과 비치환성 칼륨간의 평형은 느리게 진행된다 (Sparks and Huang, 1985). 따라서, 토양 중 칼륨의 유효성은 새로이 고정된 것이 천연의 것보다 크며, 토양의 양이온 교환용량, 수분, 점토광물의 종류와 다른 염기들의 함량에 따라 달라진다 (Sparks and Huang, 1985).

작물은 자연상태의 점토광물에 존재하는 칼륨, 무기질 및 유기질의 비료, 관개수, 그리고 식물 잔재물 등으로부터 칼륨 성분을 얻을 수 있다. 토양 비옥도 관리 측면에서 이러한 물질의 투입으로 토양의 칼륨 공급력이 장기간 지속하는지를 평가하는 것은 매우 중요하다. 그러나, 장기시험 포장을 운영하여 칼륨 함량 변화와 수지를 살펴본 연구는 많지 않다 (Anderson et al., 2007; Andrist-Rangel et al., 2007; Blake et al., 1999; Singh and Goulding, 1997; Skinner and Todd, 1998). 아시아의 벼 재배지에서 1960년 이래 칼리질 비료의 공급은 충분하지 못하여 토양 중 치환성 칼륨 함량은 감소하고 칼륨 수지는 대부분 음의 값을 나타내고 있으며 (Dobermann et al., 1999), 관개수 공급 가능한 벼 재배지의 칼륨 수지는 이보다 높은 값을 나타내고 있다 (Singh et al., 2002). 또한, 쌀-밀 윤작재배에서 무기질비료와 더불어 퇴비와 녹비의 투입한 곳에서 음의 칼륨 수지 값을 나타냈고 (Dobermann et al., 1999a, b), 유기농경지(organic farming)에서도 음의 수지 값을 나타냈다고 보고하였다 (Andrist-Rangel et al., 2007). 이와 상반되는 결과로서, 작물 잔재물의 토양 환원으로 인하여 칼륨 수지가 양의 값을 나타낸다고 여러 연구 또한 보고되고 있으므로 (Poss et al, 1997; Wihardjaka et al., 1997) 칼륨 변화와 수지에 대한 연구결과는 재배여건에 따라 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이처럼 칼륨은 작물생육에 필수원소로 중요한 성분임에도 불구하고 장기시험 포장에서 칼륨의 변화에 대한 연구가 부족하므로, 볏짚퇴비 투입량 수준별 논토양의 치환성 칼륨 함량 변화, 칼륨 수지, 작물의 수량 등을 평가하고자 본 연구를 수행하였다.

Materials and Methods

시험포장 토양특성 본 연구에 사용된 논토양 시험포장은 '54년도에 경기도 수원시 권선구 서둔동 소재 국립식량과학원 포장 내에 조성되었고, 지형은 하성평탄지이다. 토양 특성으로 유효토심은 보통이고 투수성은 빠르며 배수등급은 약간양호이며, 토성은 사양질로 토양통은 강서통(Coarse loamy, mixed, mesic family of Anthraquic Eutrudepts)에 해당한다. 장기시험 포장 시작 당시의 토양 화학성은 pH 5.2, 토양유기물 (SOM) 함량은 16 g kg^{-1}, 유효인산 (Av. P_2O_5) 함량은 120 mg kg^{-1}, 치환성 칼륨 함량이 0.08 $cmol_c\ kg^{-1}$으로 유효인산 함량을 제외한 성분은 벼 생육을 위한 논토양 적정 비옥도의 기준 (NAAS, 2010)에는 약간 부족한 상태였다. 벼의 품종과 비료와 개량제를 시용한 내력은 Fig. 1과 같다.

공시 품종 및 처리구 벼의 품종은 '54년부터 '68년까지는 팔달, '69년부터 '78년까지는 진흥, '79년부터 '85년까지는 밀양 23호, '86년부터 '03년까지는 대청, '04년부터 '14년까지는 삼광품종을 재배하였다. 처리구는 완전임의배치법으로 배치되었고 모두 32개의 처리구로 구성되었다. 이들 처리구 중에서 비료를 처리하지 않은 무비구 (No fert.), 요소 비료만 시용한 질소단용구 (N), 3요소와 볏짚퇴비를 수준별 (7.5~30.0 ton ha^{-1})로 처리한 구 (NPKC7.5, NPKC12.5, NPKC22.5, NPKC30.0)를 선정하였고, NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 처리구는 '78년부터 '14년까지 볏짚퇴비를 투입하여 실험을 수행하였으나 분석자료 ('78~'01)의 부재로 본 연구에서 선정된 처리구는 '02년부터 '14년까지의 자료만을 대상으로 분석하였다.

비료 사용량 및 재배 관리 시기별로 표준비료 사용량 (NAAS, 2010)이 달라짐에 따라 질소는 75~150 kg ha^{-1}, 인산은 70~86 kg ha^{-1}, 칼리는 75~86 kg ha^{-1}, 퇴비는 7.5~30.0 ton ha^{-1}를 시용하였고, 기비-분얼비-수비-실비의 분시비율은 질소는 50-20-20-10%, 가리는 70-0-30-0%로 2회, 인산, 퇴비, 석회, 그리고 규산은 전량 기비로 시용하였다. 볏짚퇴비의 제조는 벼 수확기에 시험연구 포장으로부터 볏짚 3 ton을 수거하여 절단하고 물을 뿌리고 비닐을 덮어 부피를 줄인 후 요소비료 4~6 kg을 첨가하여 부숙한

후 사용하였다. 토양개량제인 규산질비료, 소석회와 퇴비는 토양과 충분하게 반응하도록 4월 중순에 미리 각각의 처리구에 살포한 후 경운하였으며, 무기질비료는 5월 하순에 담수와 동시에 시용하고 벼를 이앙하였다. 전년도에 수확 후 남아있는 벼의 그루터기와 뿌리는 경운 시 써레질 할 때 토양에 전량 환원하였다.

토양 채취 및 분석 분석용 시료는 해마다 ('02~'14) 4월 초에서 중순 사이에 처리구당 0~15 cm 깊이로 3~7군데를 채취하고 혼합하여 사용하였다. 토양 시료는 2 mm체를 통과한 입자를 분석에 이용하였고, 토양의 pH와 전기전도도 (EC, Electrical conductivity)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 측정하였고, 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 추출하여 720 nm에서, 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0)용액으로 추출하여 700 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi)로, 치환성 양이온은 1M NH_4OAc (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC)으로 측정하였다 (NIAST, 2000).

칼륨 (K) 수지 칼륨 수지를 계산하기 위해 칼륨투입량은 무기질비료 (칼리질 비료료)와 유기질비료 (볏짚퇴비) 그리고 관개수로 넣은 양으로 계산하였고, 배출량은 작물지상부가 흡수한 양으로 계산하였다 (식 1). No fert., N, NPKC 7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 처리구는 '02에서 '14년도까지 자료를 분석하였다. 관개수량은 '12년도 측정치들의 평균으로, 관정수 ('02~'14)의 수질은 NIAST (2003)의 자료를, 식물체 흡수량은 '02년도~'14년도의 자료를 이용하였다.

칼륨 (K) 수지 (kg ha^{-1} $year^{-1}$) = (무기질 또는 유기질 비료의 K공급량 + 관개수 중 K 공급량) - 벼의 지상부로 흡수한 K량 (Eq. 1)

통계 분석 모든 데이터는 SAS 프로그램 (v. 9.2)으로 통계분석을 하였다. 논토양에 유기물 시용에 따른 칼륨 증진 효과를 검정하고자 ANOVA 분석을 실시하였고, 처리구간 토양화학성 비교는 DMRT 검정을 통해 분석하였다.

Results and Discussion

볏짚퇴비 투입량별 논토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다. No fert.와 N 처리구는 18 g kg^{-1}으로 벼 재배 추천하는 논토양의 유기물 적정범위 (25~30 g kg^{-1})보다 낮았으나, 볏짚퇴비가 들어간 NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 처리구는 26~34 g kg^{-1}으로 적정범위 (25~30 g kg^{-1}) 이상으로 높았다. 이것은 볏짚퇴비 투입량이 7.5 ton ha^{-1}에서 22.5~ 30.0 ton ha^{-1}으로 증가함에 따라 토양유기물 함량은 7~8 g kg^{-1} 상승하였다. pH에 있어서 No fert.와 N 처리구는 6.4~6.5로 나타났지만, 볏짚퇴비 처리구(NPKC7.5, 15.0, 22.5, 30.0)는 6.2~6.0의 범위로 No fert.와 N 처리구보다 낮게 나타났으며, 이는 유기물 분해 시 방출되는 유기산의 영향으로 pH가 낮아졌기 때문으로 판단된다 (Russell, 1960).

유효인산은 인산질 비료와 볏짚퇴비가 병행 투입된 구에서 가장 높았고, 이들이 투입되지 않은 No fert.와 N 처리구는 상대적으로 낮았다. 인산질 비료와 볏짚퇴비의 병행 사용된 처리구 NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0

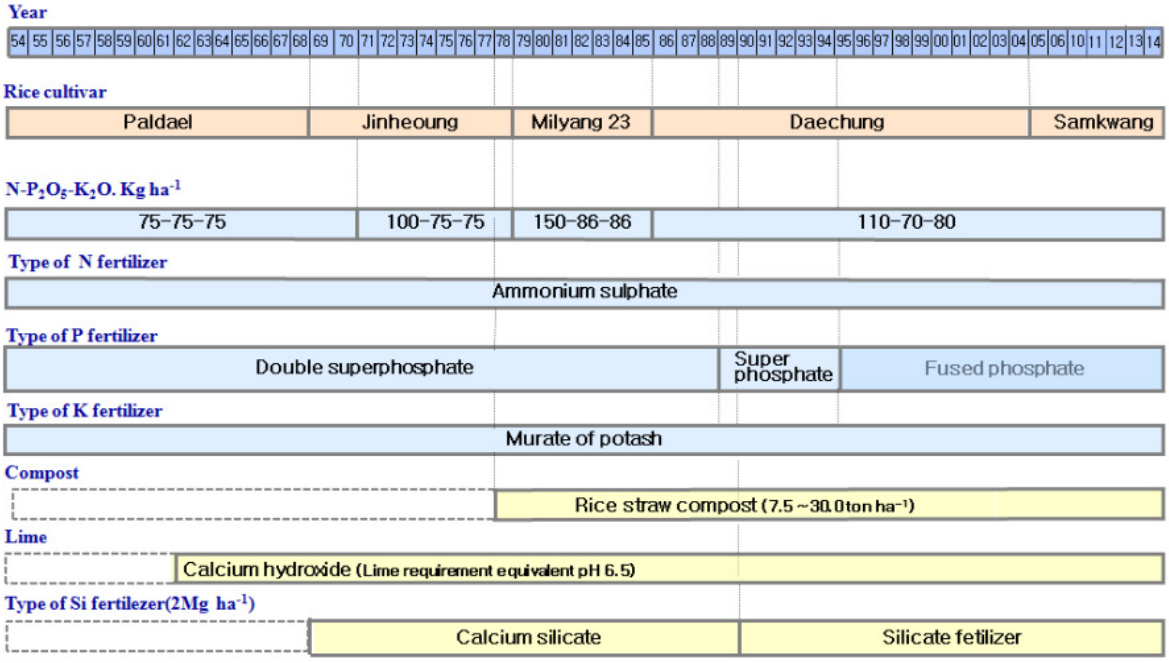

Fig. 1. Chronological application of fertilizers and rice cultivated.

는 각각 104, 105, 118, 135 mg kg^{-1}으로 높았으며, 특히 NPKC30.0 처리구의 유효인산 함량은 다른 처리구 (NPKC 7.5, NPKC15.0, NPKC22.5)와 유의성 있게 증가하였다. 치환성 칼슘과 마그네슘도 볏짚퇴비의 공급량이 증가함에 따라 상승하였고, 치환성 칼슘은 N 처리구보다 볏짚퇴비 처리구 (NPKC7.5)에서 0.4~1.4 $cmol_c$ kg^{-1}, 치환성 마그네슘은 0.1~0.4 $cmol_c$ kg^{-1} 정도 증가하는 것으로 나타났다. 양이온치환용량도 유기물 수준이 7.5 ton ha^{-1} (NPKC7.5)에서 30.0 ton ha^{-1} (NPKC30.0)으로 증가함에 따라 양이온치환용량은 2.5 $cmol_c$ kg^{-1}으로 증가하였다. Sharma et al. (1998)에 따르면 25년 동안 거름 (manure)을 장기적으로 투입하였을 때 양이온치환용량은 4~6 $cmol_c$ kg^{-1} 증가했다는 연구결과와 유사하였다. 따라서 논토양으로 볏짚퇴비 투입량이 증가할수록 pH는 점진적으로 낮아지고, 유기물, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘, 그리고 양이온치환용량은 투입량에 비례적으로 증가하였다.

토양 중 치환성 칼륨 함량에 있어서 No fert.와 N 처리구는 0.10 $cmol_c$ kg^{-1}으로, NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 처리구는 각각 0.15, 0.19, 0.25, 0.29 g kg^{-1}으로 나타났고, 볏짚퇴비의 투입량이 증가할수록 치환성칼륨 함량도 증가하였다 (Table 2). NPKC7.5, NPKC15.0 처리구의 치환성 칼륨 함량은 논토양 벼 재배 추천 적정범위 (0.20~0.30 g kg^{-1})보다 낮았고, NPKC22.5, NPKC30.0 처리구는 적정범위에 속하였다. 볏짚퇴비와 같은 유기물은 칼륨의 흡착위치 갯수를 증가시키고 (Wang and Huang, 2001), 유기물 분해과정에서 생성된 물질은 토양에 고정된 비치환성 칼륨의 해리를 조장하며, 유기물 자체에서도 칼륨을 방출함으로써 작물의 칼륨 공급력을 향상시킨다 (Singh et al., 2002). 유기물 (humus)은 치환성 형태로 칼륨이온을 보유하는 능력이 크며, 점토 혼탁액에 휴믹산의 첨가하면 칼륨의 활동도가 증가하였다는 연구결과가 보고되었다 (Tan, 1978).

칼륨포화도는 NPKC7.5 처리구에서 1.2 $cmol_c$ kg^{-1}, NPKC 30.0 처리구에서 1.9 $cmol_c$ kg^{-1}으로 볏짚퇴비의 투입량이 22.5 ton ha^{-1} 증가함에 따라 칼륨포화도는 0.7 % 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 유기물의 토양 투입으로 칼륨과 결합하는 치환위치 (exchange site)의 갯수가 증가하기 때문이다 (Singh et al., 2001).

무비구 (No fert.)와 질소단용구 (N), 그리고 볏짚퇴비 7.5~15.0 ton ha^{-1} 처리구 (NPKC7.5, NPK15.0)의 칼륨의 수지값은 음의 값으로 나타났다 (Table 3). 이것은 토양에서 제거된 칼륨의 양이 비료, 관개수로 투입된 칼륨의 양보다 많다는 것을 의미한다. 아시아의 벼 재배 논토양의 칼륨 수지는 음의 값을 나타낸다는 보고가 많으며, 이는 작물 잔재물을 토양에 투입하지 않았기 때문이라고 평가하였다

Table 1. Mean soil chemical properties in long-term fertilization experiment from data '02~'14. No fert., N.P.K., and C mean no fertilization, nitrogen, phosphate, potassium, and rice straw compost fertilizer, respectively.

Treatment	Soil organic matter	pH	Available P_2O_5	Exchangeable Ca	Exchangeable Mg	Cation exchange capacity
	g kg^{-1}	1:5H_2O	mg kg^{-1}	----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------
No fert.	18c	6.4a	23a	4.7d	0.8c	10.0
N	18c	6.5a	15a	5.2cd	0.9bc	11.0
NPKC7.5	26b	6.1b	104b	5.2cd	0.9a	12.5
NPKC15.0	28b	6.1b	105b	5.6bc	1.0b	13.0
NPKC22.5	33a	6.2b	118b	6.6a	1.3a	13.9
NPKC30.0	34a	6.0b	135c	6.0b	1.3a	15.0

* Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between treatments by Duncan's multiple range test.

Table 2. Comparison of exchangeable K and K saturation in No fert, N, NPKC7.5, NPKC15.0, NPKC22.5, NPKC30.0 treatments. No fert., N.P.K., and C mean no fertilization, nitrogen, phosphate, potassium, and rice straw compost fertilizer, respectively.

Treatment	Exchangeable K	K saturation
	$cmol_c$ kg^{-1}	%
No fert.	0.10c	1.0c
N	0.10c	0.9c
NPKC7.5	0.15bc	1.2bc
NPKC15.0	0.19b	1.5b
NPKC22.5	0.24a	1.7a
NPKC30.0	0.29a	1.9a

* Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between treatments by Duncan's multiple range test.

(Dobermann et al., 1999). Doberman et al. (1996a, b)에 따르면 칼륨 비료 40 kg ha^{-1} 투입하였을 때 칼륨수지는 음의 값 (−34～−63 kg ha^{-1} yr^{-1})으로 칼륨 투입량이 부족하였다고 하였고, Bajwa, 1994도 장기 시험포장에서 콩 재배 시 질소, 인산, 칼리질 비료를 각각 20, 60, 37 kg ha^{-1}, 밀 재배 시 질소질 비료 120 kg ha^{-1}과 유기질 비료 (farm yard manure) 5 ton ha^{-1}의 투입에서도 음의 수지를 나타냈다고 보고하였다. 그리고 18년된 유기농경지에서 질소, 인산, 칼리질 비료를 각각 120～150, 26～112, 142～256 kg ha^{-1} 투입하였을 때 칼륨수지는 -27～-96 kg ha^{-1}의 음이 값이라고 하였다 (Andrist-Rangel et al., 1997). 토양의 칼륨 수지가 음의 값임에도 불구하고 본 연구에서 치환성 칼륨이 0.10 $cmol_c$ kg^{-1} 이하로 감소하지 않았는데, 점토광물에 고정된 칼륨이 방출되어 치환성 칼륨으로 바뀌거나 토양 용액으로 방출되었기 때문으로 생각된다 (Sparks and Huang, 1985; Liu et al., 1997; Wihardjaka et al., 1999).

이와 달리 NPKC22.5, NPK30.0 처리구에서 칼륨 수지는 양의 값을 나타냈다 (Table 3). Wihardjaka et al. (1997)과 Poss et al. (1997)은 작물 잔재물의 토양 환원은 칼륨 수지가 양의 값을 나타낸다고 발표하였고, 작물 잔재물인 볏짚퇴비를 토양에 환원할 필요가 있다고 하였다. 따라서, 본 연구에서 칼륨수지가 양의 값으로 바뀌는 볏짚퇴비 투입량은 22.5 ton ha^{-1}에 해당하는 양이었으며, 이 양을 토성이 조립질인 사양질인 논토양에 지속적으로 투입하면 칼륨 수지는 양의 값으로 유지될 수 있다고 여겨진다.

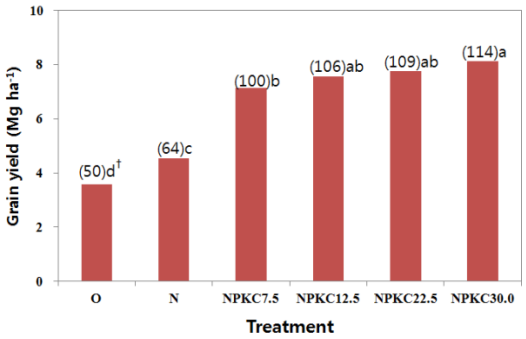

Fig. 2. Comparison of grain yield by application of incrgamc fertilizer and rice straw compost from data '02~'14 years. No fert., N.P.K., and C mean no fertilization, nitrogen, phosphate, potassium, and rice straw compost fertilizer, respectively.
( ) means relative grain yield of rice in other treatments to NPKC7.5 treatment.
†Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between treatments by Duncan's multiple range test.

NPKC7.5 처리구의 수량을 100으로 가정하고 다른 처리구들의 수량을 상대지수로 계산한 결과 No fert.처리구는 50%, N처리구는 64%, NPKC15.0 처리구는 106%, NPKC22.5 처리구는 109%, NPKC30.0 처리구는 114%로 나타났다 (Fig. 2). 정조수량의 증가 정도는 NPKC7.5 처리구보다 NPKC30.0에서 14%로 가장 높았고, N (36%)과 No fert. (50%) 처리구에서는 볏짚퇴비가 투입된 처리구 (NPKC7.5, NPKC12.5, NPKC 22.5, NPCK32.0)보다 매우 낮게 나타났다. NPKC7.5와 NPKC 30.0 처리구 사이에 통계적으로 유의한 수량 증가를 가져왔으나, NPKC7.5 처리구와 NPKC15.0 및 NPKC22.5 처리구와 유의한 차이는 없었다. 볏짚퇴비 공급량이 7.5 ton ha^{-1}에서 30.0 ton ha^{-1}로 증가함에 따라 정조수량이 증가하였고, 이것은 칼륨을 비롯한 다른 양분의 공급량이 증가한 결과라고 볼 수 있다. NPKC30.0 처리구가 NPKC7.5 처리구보다 질소, 인, 칼륨의 흡수량이 각각 36, 12, 45 kg ha^{-1}만큼 더욱 많이 흡수한 것으로 나타났다. 따라서 볏짚퇴비의 토양 투입은 질소이 공급과 더불어 인, 칼륨 등의 작물로의 공급량을 향상시켜 수량의 증가를 가져왔다.

Conclusion

장기시험 포장으로부터 23년간 무기질 비료 (N=75～150 kg ha^{-1}, P_2O_5=70～86 kg ha^{-1}, K_2O=75～86 kg ha^{-1})와 볏짚퇴비 (7.5~30.0 ton ha^{-1})의 병용 투입된 논토양 중 치환성 칼륨 함량은 무비구보다 0.05~0.19 cmolc kg^{-1} 정도 증가

Table 3. Balance of potassium in the continuos fertilization experiments from 2002 to 2014. No fert., N.P.K., and C mean no fertilization, nitrogen, phosphate, potassium, and rice straw compost fertilizer, respectively.

Treatment	Input (A)			Output (B)	Net balance (A-B)
	Fertilizer		Irrigation	Rice uptake	
	Organic	Inorganic			
	kg ha^{-1}				
No fert.	-	-	38.9	58.8	-19.9
N	-	-	38.9	58.7	-19.8
NPKC7.5	48.0	41.6	38.9	146.3	-17.8
NPKC15.0	48.0	69.4	38.9	165.6	-9.0
NPKC22.5	48.0	124.9	38.9	169.9	41.9
NPKC30.0	48.0	166.5	38.9	190.5	62.9

하였고, 볏짚퇴비 22.5 ton ha^{-1} 이상 처리구의 치환성 칼륨 함량은 적정범위내로 유지되었다. 그리고 칼륨포화도도 볏짚퇴비 30.0 ton ha^{-1} 처리구에서 무비구보다 최대 0.9%정도 증가하였다. 양분수지는 3요소+볏짚퇴비 15.0 ton ha^{-1} 투입하였을 때 음의 값이었으나. 22.5 ton ha^{-1}이상일 때 양의 값으로 바뀌었다. 사양질 논토양에서 무기질 비료와 볏짚퇴비를 22.5 ton ha^{-1} 이상으로 투입할 경우 치환성 칼륨함량이 부족되지 않게 적정하게 관리될 수 있었으며, 볏짚퇴비 투입량 증가에 따른 질소, 인산, 칼륨 함량의 공급량 향상으로 작물의 수량 증가를 가져왔다. 이처럼 장기적으로 토양 칼륨 공급력을 적정한 수준으로 유지하고, 작물 수량을 안정적으로 확보하기 위해서는 무기질 비료와 더불어 유기질 비료를 병행적으로 공급해야 할 필요가 있다고 생각한다.

References

Anderson, S., M. Simonsson, L. Mattsson, A.C. Edwards, and I. Öborn. 2007. Response of soil exchangeable and crop potassium concentrations to variable fertiliser and cropping regimes in long-term field experiments on different soil types. Soil Use Manage. 23:10-19.

Andrist-Rangel, Y., A.C. Edwards, S. Hillier, and I. Öborn. 2007. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping system as related to management and soil properties. Agri. Ecosyst. Environ. 122:413-426.

Bajwa, M.I. 1994. Soil potassium status, potash fertilizer usage and recommendations in Pakistan. Potash Review No. 3. International Potash Research Institute, Basel.

Brady, N.C., and R.R. Weil. 2007. The nature and properties of soils. 14th ed. Prentice Hall, New Jersey. United of America.

Blake, L., S. Mercik, M. Koerschens, K.W.T. Goulding, S. Stempen, A. Weigel, P.R. Poulton, and D.S. Powlson, 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. Plant Soil 216:1-14.

Dobermann, A., K.G., Cassman, P.C., Sta Cruz, M.A.A., Advieto, and M.F., Pampolino. 1996a. Fertilizer inputs, nutrient balance and soil nutrient supplying power in intensive irrigated rice system. Ⅱ. Effective soil K-supplying capacity. Nutr. Cycl. Agroecosys. 46:1-10.

Dobermann, A., P.C., Sta Cruz, and K.G. Cassman. 1996b. Fertilizer input nutrient balance and soil nutrient supplying power in intensive, irrigated rice system. Potassium capacity. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 46:11-21.

Dobermann, A., K.G. Cassman, C.P. Mamiaril, J.E. Sheshy. 1999. Management of phosphorus, potassium and sulfur in intensive irrigated low land rice. Field Crop Res. 56:113-118.

Liu, G, N.E. Nielsen, H.C.B. Hansen, and O.K. Borggaard. 1997. Mineral changes in a Danish Alfisol caused by 30 years of potassium depletion in the field. Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 47:1-6.

MAFRA(Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs). 2015. Utilization survey of rice straw, MAFRA, Sejong, Korea.

NAAS. 2010. Fertilizer Recommendation for crops (revision). NAAS, RDA, Suwon, Korea.

NAAS. 2012. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. NAAS, RDA, Suwon, Korea.

NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

NIAST. 2003. Soil fertility management for environment-friendly agriculture, RDA, Suwon, Korea.

Poss, R., J.C. Fardequ, and H. Saragoni. 1997. Sustainable agriculture in tropics. The case of potassium under maize cropping in Tongo. Nutr. cycl. Agroecosyst. 46:205-213.

Russell, J.S. 1960. Soil fertility changes in the long-term experimental plots at Kybybolite, South Australia. I. Changes in pH, total nitrogen, organic carbon, and bulk density. Aust. J. Agric. Res. 11:902-926.

Sharma, N., B. Srivastava, and B. Mishra., 1998. Changes in some physico-chemical properties of an acid soil as affected by long term use of fertilizer and amendments. J. Ind. Soc. Soil Sci. 36:688-692.

Singh, B., and K.W.T. Goulding, 1997. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil the Broadbalk continuous wheat experiment at Rothamsted. Eur. J. Soil Sci. 48:651-659.

Singh, M., V.P. Singh, and D.D. Reddy. 2002. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. Field Crops Res. 77:81-91.

Singh, Muneshwar, K.K. Burman, S. Kundu and A.K. Tripathi. 1999. Transformation of soil organic tools of N as influenced by intergrated use of fertilizer N under soybean-wheat system in vertisol. J. Ind. Soc. Soil Sci. 47:483-487.

Skinner, R.J., and A.D. Todd, 1998. Twenty-five years of monitoring pH and nutrient status of soils in England and Wales. Soil Use Manage. 14:162-169.

Sparks, D.L., and P.M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In:Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Science Society American, Madison, USA, pp. 201-276.

Tan. 1978. Effects of humic acid and fulvic acids on release of fixed potassium. Geoderm. 21:67-74.

Wang, F.L., and P.M. Huang, 2001. Effects of organic matter on the rate of potassium adsorption by soils. Can. J. Soil Sci. 81(31):325-330.

Wihardjaka, A.G., G.J.O., Kirk, and C.P., Mamank. 1999. Potassium balances in rainfed lowland rice on a light textured soil. Field Crops Res. 64:237-247.