

肥料의 長期連用이 벼의 生育·收量 및 米粒發達에 미치는 影響

韓熙錫* · 李文熙* · 沈載成**

Effects of Long Term Fertilizations on Growth, Yield and Grain Development of Rice

Hee Suk Han*, Moon Hee Lee* and Jai Sung Shim**

ABSTRACT : This study was conducted to determine the effect of 20 years long term fertilizations on the physical and chemical properties of paddy soil and the growth, yield, yield components and grain development of rice. Non-fertilized, PK, NK, NP, NPK, NPK+compost, NPK+straw and NPK+lime have been applied since 1968 after surface paddy soil was removed. NPK+compost and NPK+straw applications increased the content of organic matter, available P and CEC, and lime increased soil acidity and SiO₂ content. While chemical contents in non-fertilized treatment were low as compared with other treatments. Soil porosity was higher in NPK+straw (51.4%) and NPK+lime(53.1%) than in NPK application(49.8%). Soil hardness was highest in the NPK application and was lowest in the NPK+lime. Continuous application of straw with NPK markedly increased the content of aggregate with over 1mm(19.6%) as compared with NPK application(7.1%). Plant height, tiller number, root number, leaf area index and total dry weight were higher in the applications of compost, straw and lime with NPK than in any other treatments.

Brown rice yield in non-fertilized, PK and NP applications was decreased 45, 55, 15 and 5% of that in NPK application, respectively, while application of compost, straw and lime with NPK increased the yield by 11, 14 and 4%, respectively, during 20 years. The number of differentiated rachis branches in the application of compost, straw and lime was 17 to 21 and that in the other application was 13 to 15, whereas the degenerated rachis branches was low in the application of compost, straw and lime with NPK. The applications having higher level of perfect rice grain such as non-fertilized, NPK+compost, NPK+straw and NPK+lime had high grain weight and had low level of white core rice, white belly rice. The white core and belly rice was highest in the NP application and notched belly rice kernel was markedly increased in NK and NP applications. The period of grain filling was 30 DAH at NP and NPK applications, 35 DAH at NK and NPK+lime, 40DAH at NPK+compost and NP K+straw, and 45DAH at non-fertilized, respectively.

作物의 生育과 生産性 및 品質에 影響하는 土壤의 理化學的 特性은 栽培環境條件 및 養分供給量에 따라 달라지는 바 良質米를 生産하기 위해서는 有機物 添加를 통한 畚土壤의 肥沃度 增進이 重要な 要因으로 지적되고 있다. 특히 우리나라와 같이 砂壤土가 많아 溶脫現象이 심한 土壤에서는 肥料의 均衡施肥와 有機物の 添加가 더욱 必要하다. 收量 生産 및 쌀의 品質向上 側面에서도 化學肥料와 有

機物이 兼用되어야 한다.³⁸⁾

本 試驗은 良質米 生産을 위한 基礎資料를 얻음 目的으로 1968年 作物試驗場에 설치된 肥料 長期連用 試驗圃場에서 化學肥料 및 有機物 施用에 따라 土壤의 理化學的 性質의 變化와 水稻의 生育, 收量, 收量構成要素 및 米粒發達에 미치는 影響을 檢討한 것이다.

* 作物試驗場 (Crop Experiment Station, Suweon 441-100, Korea)

** 培材大學校 (Dept. of Horticulture, PaiChai Univ, Taejeon 302-735, Korea) <1990, 11. 1接受>

材料 및 方法

本試驗은 京畿道 水原市 作物試驗場에서 實施하였으며 表 1에서와 같이 同一肥種 및 施肥量을 20年間 連用한 試驗畝이었다. 이 試驗畝의 土壤條件은 水北統의 排水良好한 砂壤土이었다.

供試品種으로는 振興을 保溫折衷 못자리에 播種하고 40日間 育苗하여 本畝移秧은 6月 5일에 栽植 距離 30×15cm 間隔으로 株當 5本씩 손으로 移秧하였으며 20年間 同一한 方法으로 移秧하였다.

施肥方法은 磷酸과 칼륨은 全量基肥로 施用하였고 窒素는 基肥, 分蘖肥, 穗肥를 各各 50%, 30% 및 20%로 分施하였으며, 堆肥, 生糞 및 石灰는 移秧하기 1個月 前에 施用하여 完全히 分解시킨 後에 移秧하였다.

試料採取 및 調査方法은 土壤의 物理性 調査를 하기 위하여 移秧前에 各處理試驗區에서 SR-2 土壤抵抗測定器 (cone resistance)를 利用하여 土深 5, 10, 15, 20, 25, 30cm 部位의 抵抗差를 測定하였으며 空隙率 및 粒團構造의 調査는 3 inch core sample를 利用하여 土深 10~20 cm에서 試料를 採取하여 調査하였다.

土壤의 理化學的 變化는 6~12cm 部位의 深土를 Tube Sampler로 採取하여 農村振興廳 土壤化學分析法²⁵⁾에 의하여 分析하였다. 生育調査時期別 生育狀況의 調査項目中 草長, 莖數는 圃場에서 20株씩 임의 抽出하여 調査하였다. 生育段階別 乾物重, CGR, LWR 등에 대해서는 重要生育段階에 處理當 6株를 採取하여 葉身, 葉鞘, 이삭 등으로 區分하고 乾燥機에 乾燥하였다. 葉面積은 採取한 2株를 對象으로 測定하여 LAI, SLA 및 LWR 등을 計算하였다.

鹽水濃度差에 따른 粒重分布는 完熟期에 處理當 5株씩을 採取하여 乾燥한 後 鹽水比重을 1.00, 1.12, 1.15, 1.15 以上 등 4段階로 區分하여 粒重의 分布를 調査하였다. 穗相은 各處理 3株를 選拔하여 전체 이삭의 一次枝梗의 變化 및 二次枝梗, 穎花數의 分化, 退化, 現存 및 不稔, 稔實率을 調査하였다. 白米에 대한 米粒形態의 差異를 調査하기 위하여 玄米 120g을 採取하고 白米로 搗精한 다음 完全米, 胴割米, 心白米, 腹白米로 區分하였다. 登熟過程은 出穗後 5日 間隔으로 處理當 6株씩의 試料를 採取하여 乾燥한 後 粒重을 稱量하여 登熟速度를 測定하였다.

收量構成要素와 收量은 農村振興廳 農事試驗研究 調査 基準法²⁶⁾에 準하여 調査하고 株當穗數, 一數穎花數, 登熟比率, 千粒重 및 收量을 算出하였다.

無機物 分析은 完熟期에 試料를 採取하여 自然乾燥를 충분히 시킨 後 水分含量 14%로 一定하게 하고 玄米, 白米를 Cyclone sample mill로 粉碎하여 稱量하였다. 窒素는 H₂O₂ - H₂SO₄ 濕式 分解法을 利用한 Kjeldahl法에 의하여 分析하였고, 磷酸은 Vanadate法으로 하였으며 다른 成分分析은 Hitach Z-6000 Atomic absorption spectrophotometer를 利用하여 分析하였다.

통계치의 有意性檢定은 Duncan 多重檢定法에 의거하였다.

結果 및 考察

1. 土壤의 物理化學的 性質의 變化

肥料 및 有機物을 20年間 連用하였을 때 土壤의 物理的 性質에 미치는 影響을 보면 (그림 1) 土壤空隙率이 NPK區에서 49.8%인데 比하여 TC區 및 TS區는 51.4~53.1%로 높았으며 土壤 硬度

Table 1. Methods of fertilizer application.

Treatment		Amount of fertilizer (kg/10a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	compost	straw	lime
Non-fertilizer	(FO)	-	-	-	-	-	-
P.K	(PK)	-	6(5)	9(6)	-	-	-
N.K	(NK)	10(8)*	-	9(6)	-	-	-
N.P	(NP)	10(8)	6(5)	-	-	-	-
N.P.K	(NPK)	10(8)	6(5)	9(6)	-	-	-
N.P.K+compost	(TC)	10(8)	6(5)	9(6)	1000	-	-
N.P.K+straw	(TS)	10(8)	6(5)	9(6)	-	750	-
N.P.K+lime	(TL)	10(8)	6(5)	9(6)	-	-	360

()*: Amount of fertilizer applied from 1968 to 1972.

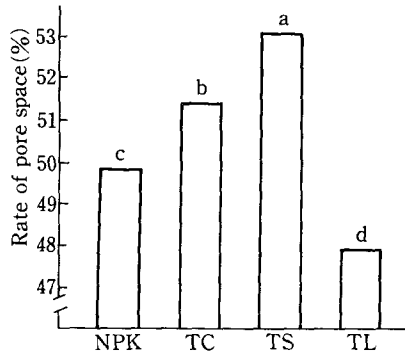


Fig. 1. Effect of long term fertilization on the rate of pore space.
TC(NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+limes)

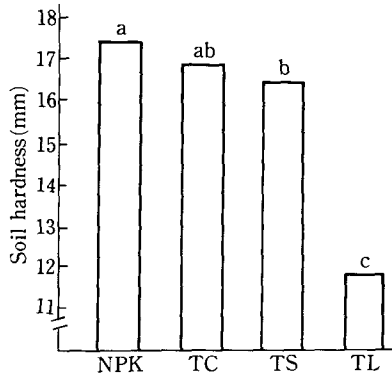


Fig. 2. Difference of soil hardness 20 years after long term fertilization.
TC(NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+lime)

(그림 2)는 반대 傾向을 보였으나 TL區만은 같은 傾向이었다. 한편 作土用 1mm 以上の 粒團分布는 그림 3에서와 같이 TS區가 19.6%로 發達이 가장 많았으며 다음으로 TC區와 TL區가 10.7~11.1%이었고 NPK區가 7.1%로 가장 낮았다.

SR-2 土壤抵抗測定器 (cone resistance)를 利用하여 測定한 土深別 土壤抵抗差(그림 4)는 各處理別 모두 土深 20cm 内外에서 抵抗差가 비슷하였으며 土深 5cm의 硬度는 N.P.K區가 16 kg/cm²로서 가장 단단하고 TC區, TL區, TS區가 각각 12, 10, 7 kg/cm²로 TS區가 抵抗이 가장 弱하였다. 土深 10cm와 15cm에서도 같은 傾向이었으며 TS施用區가 가장 良好한 것으로 나타났다. 그러므로 土深 15cm까지는 堆肥, 生糞施用이 土壤

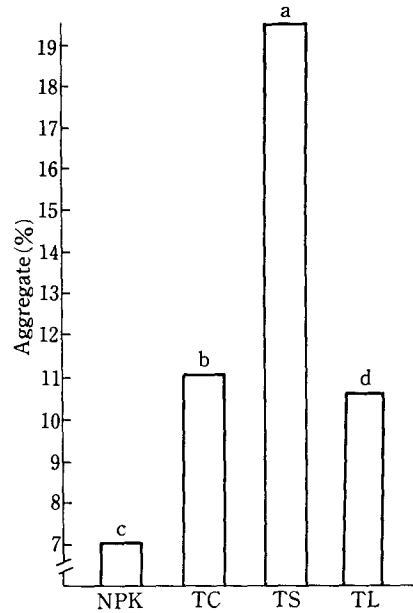


Fig. 3. Effect of 20 years long term fertilization on the aggregate structure (>1mm).
TC(NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+lime)

物理改善에 有效할 것으로 판단된다.

表 2는 肥料運用에 따른 土壤化學的 成分을 調査한 것이다. 表에서 보는 바와 같이 土壤 酸度는 FO區가 4.9로 가장 낮았고 TL區가 6.8로 가장 높았으며 TS區는 5.01로 權¹⁷⁾, 吳²⁹⁾가 報告한 全國 平均值 5.1~5.6보다 낮았다. 有效磷酸含量은 FO區와 NPK區가 12~13 ppm으로 NPK區보다 낮았으며 TS區는 35 ppm으로 NPK區에 비해 약 2倍程度로 높았다. 有機物含量은 FO區, P K區, NP區가 1.19~1.36%로 낮은 반면 TC區와 TS區가 1.73~1.94%로 높았으며, 20年間 堆肥 및 生糞施用區가 有機物含量이 增加하는 傾向으로서^{30,33)} 作物生育 및 作土改良에 有效할 것으로 생각된다.

이는 本 試驗圃가 20年前에 2m程度 墾토했던 후 試驗圃場으로 造成하였기 때문으로 여겨진다. 또한 TC區에 비해 TS區의 有機物含量이 높은 것은 生糞의 分解速度가 緩慢하였기 때문인 것으로 생각되는데 吳²⁹⁾도 이와 같은 결과를 報告한 바 있다. 置換性 칼륨含量은 NP區에서 0.15me/100g 가장 낮았고 TS區에서 0.42me/100g으로 가장 높았다. 이에 비해 TC區는 칼륨含量이 TS區보다 낮아지

Table 2. Chemical properties of soil affected by 20 years long term fertilization(1988).

Treatment	pH (1:1)	P ₂ O ₅ (ppm)	OM (%)	Exchangeable(me./100g)				SiO ₂ (ppm)	CEC (me./100g)	
				K	Ca	Mg	Na			
Non-fertilizer	(FO)	4.79	13	1.19	0.24	6.94	0.98	0.29	103	8.8
P.K	(PK)	5.24	17	1.22	0.34	6.44	1.16	0.21	108	7.6
N.K	(NK)	5.26	12	1.27	0.30	6.64	1.07	0.25	112	9.6
N.P	(NP)	5.20	14	1.36	0.15	6.49	0.93	0.26	112	5.8
N.P.K	(NPK)	5.14	17	1.37	0.25	6.54	1.02	0.26	114	8.1
N.P.K+compost	(TC)	5.43	22	1.73	0.23	6.09	1.23	0.33	115	10.4
N.P.K+straw	(TS)	5.01	35	1.94	0.42	6.19	0.85	0.25	103	12.2
N.P.K.+lime	(TL)	6.80	29	1.60	0.26	7.78	0.86	0.34	130	10.5

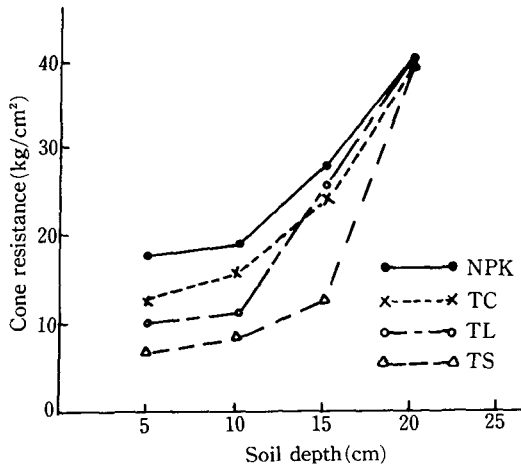


Fig. 4. Changes of cone resistance in each soil depth after 20 years of continuous fertilization. TC(NPK + compost), TL(NPK + lime), TS(NPK+straw).

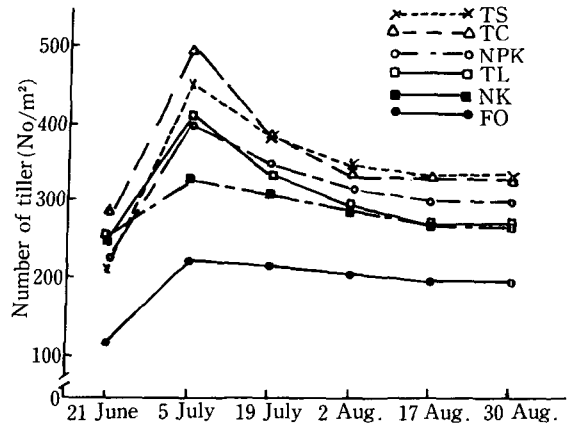


Fig. 5. Effect of 20 years long term fertilization on changes of number of tiller per unit area. FO(non-fertilization), TC(NPK + compost), TS(NPK + straw), TL(NPK + lime).

는데 그 이유는 벼질속에 칼륨이 多量 含有되어 있다
가 서서히 供給되지만 堆肥는 分解速度가 빠르면서
滲透水와 함께 상당량이 溶脱된 것으로 推測된다.^{20,30)}
Ca, Mg, Na 含量은 TL 施用區에서 가장 많았으며
다른 處理區는 모두 비슷한 傾向을 보였다. 有效
硅酸含量은 TL 區가 130 ppm 으로 가장 높았으며
이는 pH 상승으로 인한 不溶性 硅酸이 有效化
되었기 때문²⁰⁾으로 판단된다. 기타 處理區에서
는 103~115 ppm 으로 顯著的 差異는 없었으나 全
國 畜 土壤平均值³¹⁾ 77~84 ppm 보다는 높았다.

陽 ion 置換容量 (C.E.C)은 TS 區에서 12.2 me/
100 g 으로 가장 높았으며 TC 區 및 TL 區 施用
效果도 認定되었다.

2. 水稻의 生育狀況

莖數의 變化: 施肥方法을 달리하였을 때의 각
處理別 莖數의 經時的인 變化를 보면(그림 5) FO 區

에서 가장 낮았으며 NP 區, NK 區 및 PK 區에서는
250~260 個/m² 로 서로 비슷하였으며 TC 區와 TS
區가 330~340 個/m² 로 가장 많았다. 有效莖比率
은 NP 區, NK 區 및 PK 區에서 높았으나 莖數增加
는 거의 없었다. 6월 21日(分藥期)에 全處理別 莖
數는 TC > NPK > TL 區 順으로 높았으며, 7월
10日부터 收穫期까지는 TS 區가 無效分藥莖의 減
少와 함께 가장 많은 莖數를 나타내었다. 이와 같
이 TS 區가 벼의 生育初期에 分藥莖數가 적은 것은
生藥施用에 따른 分解速度의 緩慢함과 一時的인 窒
素飢餓現象 때문에 사로되며 漸進的인 溫度 상승
과 分解速度의 加速化가 이루어진 後期生育에서는
養分吸收가 많아져 莖數가 增加된 것으로 볼 수 있
다.

乾物重과 C.G.R의 變化: 그림 6과 7은 主要生
育時期別 總乾物重 (Total Dry Weight = TDW)
과 日當同化 生産量 (Crop Growth Rate = C.G.R)

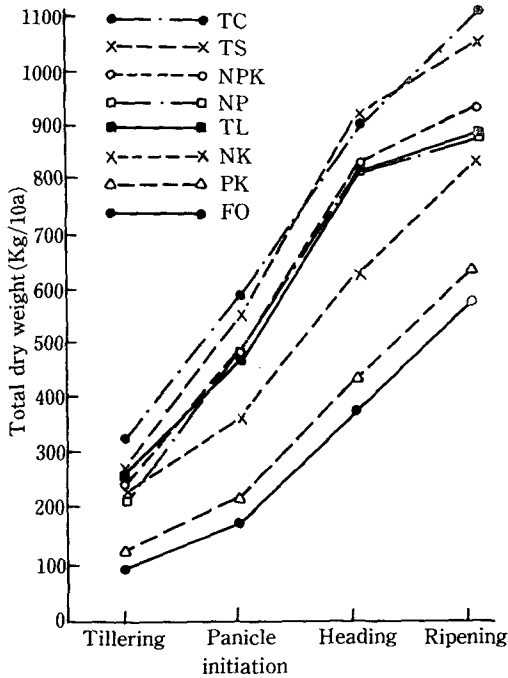


Fig. 6. Changes of total dry weight as affected by 20 years long term fertilization. FO(non-fertilization), TC(NPK+compost), TS(NPK + straw), TL(NPK + lime).

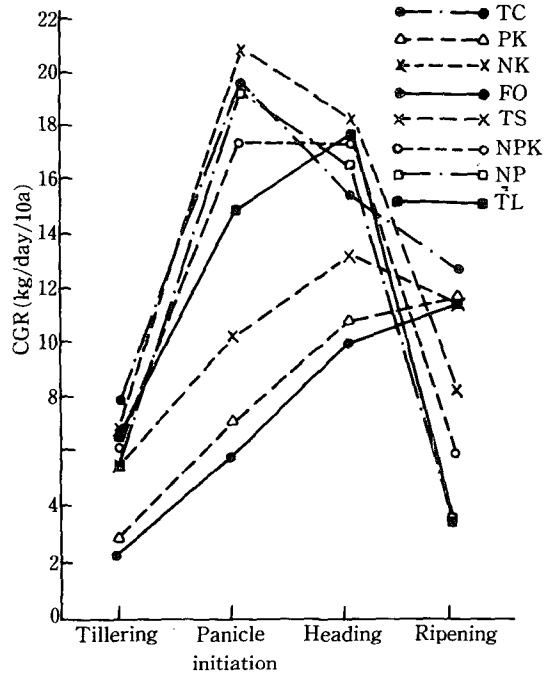


Fig. 7. Changes of crop growth rate(CGR) as affected by 20 years long term fertilization. FO(non-fertilization), TC(NPK+compost), TS(NPK + straw), TL(NPK+lime).

을 나타낸 것이다. TDW는 FO區, PK區 및 NK區에서 顯著히 낮았으며 分蘖期에 TC區, TS區 및 TL區에서는 N.P.K區보다 높은 반면 穎花分化에서 成熟期까지는 N.P.K區보다 TL區가 낮은 傾向이었다. 이것은 20年間 石灰連用이 반드시 좋은 施用方法이 아닌 것으로 생각된다.

CGR은 初期生育때에 TC區가 가장 높았으며 N.P.K區, TL區 및 NK區는 出穗期에, FO 및 PK區는 成熟期에 가장 높으면서 繼續적으로 生育하였음을 나타내었다. 그러나 CGR이 떨어지기 시작한 것은 穎花分化期때부터 出穗期를 거치면서 TC區, TS區, NP區는 가장 急激히 떨어졌고 NPK區, TL區, NK區는 出穗期때부터 서서히 떨어졌다.

生育時期別 葉面積과 根數의 變化: 葉面積指數 (Leaf area index = LAI)를 보면 (그림 8) 全處理區가 出穗期에 가장 높았는데 分蘖期 穎花分化期까지는 NPK區 및 TC區가 TS區보다 生育이 빨랐으나 穎花分化期 以後부터는 TS區 및 TC區가 NPK區보다 높았다. 이것은 TDW와 같은 傾向으로 吳³⁰의 報告와 일치하고 있다. 特히 TC區와

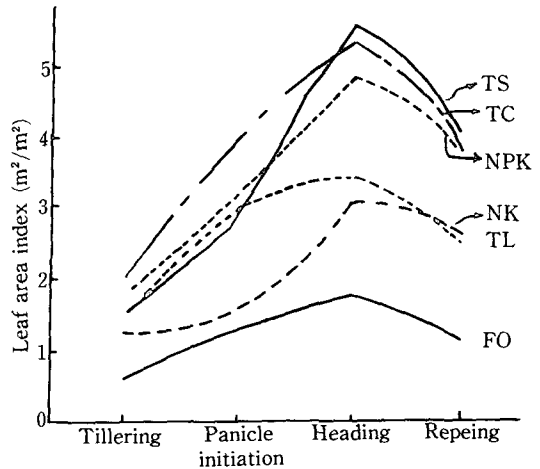


Fig. 8. Changes of LAI as affected by the long term fertilization. FO(non-fertilization), TC(NPK+compost), TS(NPK + straw), TL(NPK + lime).

TS區는 出穗期에 葉面積指數가 5 以上으로 높은 반면 FO區는 1.5, NK區와 TL區는 3을 前後하

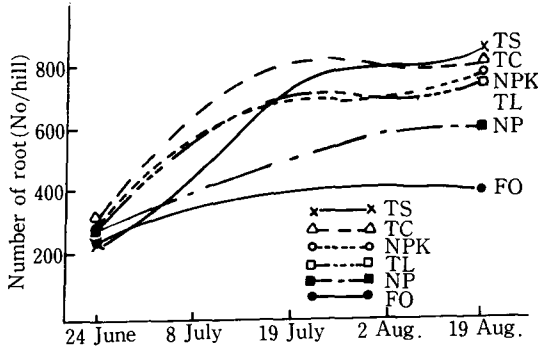


Fig. 9. Changes of root number per hill in different growth stage of rice affected by 20 years long term fertilization: FO(non-fertilization), TC(N.P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

는 葉面積指數를 나타내었다.

根數의變化는(그림 9) 6月 24日(分蘗期)은 FO區, TS區가 株當 242個로 가장 적었는데 이로 인하여 벼의 養分吸收利用性이 매우 느릴 수 있음을 暗示하며 FO區를 除外한 他區보다 TS區의 根數가 적었던 것은 生糞의 分解利用性이 느림과 根活着이 떨어지는 것으로 판단된다. 全般的으로 7月 19日(幼穗形成期)에서 根의 形成이 促進되었다가 8月 2日(穗孕期)에서 多少 떨어지는 傾向을 보였는데 이러한 現象은 營養生長期에서 生殖生長期로 轉換되면서 지하부의 뿌리 形成이 일시 中斷되면서 地上부의 養分이 穎花分化 發達에 影響을 미치는 것으로 생각되며 8月 19日(出穗期)에 다시 FO區를 除外한 他處理區는 根數가 增加되었고, TS區가 株當 840個로 가장 많았다. 生育時期別 根의 分布를 보면 7月 8日(最高分蘗期)에 FO區, TS區

가 가장 낮았지만 穎花分化期에서 TC區가 가장 많으면서 TS區가 급속도로 增加하는 傾向이었고 出穗期에는 TS > TC > NPK > TL區 順으로 높았으며 이것은 總生産 乾物重과 같은 傾向을 보여 N, P, K에 有機物을 施用하므로서 根의 數가 增加되어 짐을 나타내 주고 있으며, FO區와 NO區는 根數가 全生育期間 현저히 떨어짐을 보여주고 있다.

收量構成要素 및 收量の 變化: 同一肥料의 連用이 收量 및 收量構成要素에 미치는 影響을 보면(表 3) 株當穗數는 TC區에서 가장 많았지만 株當穎花數는 TS區에서 가장 높았으며 FO區, PK區는 가장 낮았다. m^2 當 穎花數는 TC > TS > TL > NPK 區 順으로 나타났으며 FO, PK, NK 및 NP 區는 가장 낮게 나타났다. 登熟比率는 FO區, TL區가 91~92%로 가장 良好한 반면 TC區, TS區가 85~87%로 다소 떨어지는 傾向이었다. 그러나 玄米收量を 보면 NPK區에 比하여 TC區, TS區는 11~12% 增收되었음을 알 수 있는데 이들 處理區는 登熟比率는 다소 떨어지나 株當穗數 및 穗當穎花數의 增加가 收量增收의 要因이었던 것으로 分析된다. 또한 FO區는 NPK區에 比해 45%, PK區는 58%, NK區는 84%, NP區는 97%에 불과하여 特別 窒素, 磷酸이 收量에 미치는 影響이 컸음을 알 수 있다.

이러한 結果를 20年間의 收量과 比較해 보면(表 4) 氣象環境에 따라서 다소 年次間의 差異는 있기는 하지만 NPK區를 100%로 보았을 때 FO區와 PK區는 45~55%, NK區는 85%, NP區는 95%의 收量指數를 보이고 있어 TC區는 111%, TS區는 114%, TL區는 104%의 增加를 나타내지만 NPK區에서 20年間 收量 平均値와 1988年度 收

Table 3. Heading date and yield components for 20 years successive application of N, P, and K with organic matter and lime amendment(1988).

Fertilization	Heading date	Calm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (per m^2)	No. of spikelet per panicle	1,000 grains weight (g)	% of ripened grain	Brown rice yield (kg/10a)	Yield index (%)
Non-fertilized (FO)	Aug.21	69.9	18.0	155	66	10,230	24.7	258 c	45
P, K (PK)	Aug.21	72.0	18.0	210	73	15,330	24.7	330 c	58
N, K (NK)	Aug.20	80.7	20.5	273	79	21,567	25.5	482 b	84
N, P (NP)	Aug.17	80.8	20.6	299	80	23,920	25.0	552 ab	97
N, P, K (NPK)	Aug.20	82.3	20.7	295	88	25,960	25.1	568 ab	100
N, P, K+compost (TC)	Aug.19	86.0	19.9	324	93	30,132	25.0	641 a	112
N, P, K+straw (TS)	Aug.20	86.1	21.0	324	91	29,484	23.8	625 a	110
N, P, K+lime (TL)	Aug.15	82.2	20.6	284	94	26,696	24.9	550 ab	96

* Mean within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

Table 4. Changes in brown rice yield under differently fertilized condition for 20 years(1968-1988) .

Treatment		Brown rice yield (kg/10a)										
		'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78
Non-fertilized	(FO)	114	117	142	163	144	124	146	176	152	140	277
P.K	(PK)	113	136	152	180	170	146	165	214	176	196	358
N.K	(NK)	299	259	238	288	332	315	383	364	388	337	432
N.P	(NP)	300	280	223	333	368	368	368	352	404	341	489
N.P.K	(NPK)	308	280	247	341	369	360	430	418	429	373	490
N.P.K+compost	(TC)	313	286	337	412	392	453	491	437	468	427	535
N.P.K+straw	(TS)	304	307	308	396	435	511	550	451	452	412	536
N.P.K+lime	(TL)	331	370	303	475	405	429	425	366	392	404	519

Treatment		Brown rice yield (kg/10a)										Mean	Yield index (%)
		'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88		
Non-fertilized	(FO)	205	250	260	279	355	314	232	208	233	258	204	47
P.K	(PK)	202	251	259	275	383	365	310	248	267	330	233	54
N.K	(NK)	320	244	489	444	463	507	377	449	449	482	374	87
N.P	(NP)	305	299	498	497	499	524	531	509	495	552	406	95
N.P.K	(NPK)	402	289	540	500	515	540	542	511	500	568	426	100
N.P.K+compost	(TC)	495	412	513	558	548	568	562	532	536	641	472	110
N.P.K+straw	(TS)	534	453	570	512	579	579	571	565	537	625	484	113
N.P.K+lime	(TL)	434	315	521	499	548	548	485	482	457	550	441	103

량에 비하면 36%의 減少를 나타내었다. 특히 TL 區는 처음 1~2年의 收量은 TS區나 TC區보다 높았으나 그후 漸次 減少되는 傾向이었다. 이는 石灰의 連用이 어느 程度까지는 收量이 增收되나 土壤의 物理性이 악화되는 반면, 堆肥, 生糞은 土壤의 物理性이 改善된 效果라고 생각된다. 또 各處理別 供히 年度가 增加함에 따라 收量이 漸次 增加하는 傾向을 나타내고 있는데 이는 本 試驗研究圃場 造成當時 2 m 以上の 흙을 切土한 深土에서 研究를 시작하여 漸次 時間이 흐름에 따라서 熟沓化 되어 가고 있고 또 1978년부터 1983년까지 收量이 增加된 것은 이 期間中 試驗圃場에 灌溉한 灌溉水가 汚染된 結果인 것으로 생각된다. 註 1) 1984년부터는 全試驗圃場에 灌溉水를 使用하여 試驗事業을 遂行하고 있음.

3. 登熟程度와 米粒形態

穗相의 變化 : 이삭의 形態를 알기 위하여 穗相調査를 한 결과(表 5) 一次枝梗의 分化數는 7~8 개로 FO區에서 다소 떨어져나 모든 處理間에 비슷한 傾向이었으며 二次枝梗의 分化數는 TC 및 TS 區가 20~21개로 가장 많이 分化된 반면, FO 및 NP區에서 13~15개로 가장 적었다. 退化數는 반대의 傾向을 나타내어 FO, NK區에서 많았다. 穎花數 역시 같은 傾向으로 TS 및 TC區에서 가장 많았다.

穎花의 不稔은 NPK 및 TS區에서 16~25%로 높게 나타나기 때문에 稔實率은 가장 낮았다. 이러한 結果는 각종 營養要素의 缺乏이 이삭의 一, 二次枝梗 및 穎花分化에 크게 影響을 미친다고 볼 수

Table 5. Effect of 20 years long term fertilization on number of branch and spikelet of rice.

Treatment	Number of primary rachis branch	No. of 2nd rachis branch			Spikelet			Sterilizing Percentage	
		Differen- iation	Degener- ation	Exist	Differen- iation	Degener- ation	Exist		
Non-fertilized	(FO)	7	15	5	10	62	1	61	6.5
P.K	(PK)	8	16	1	15	91	1	90	5.4
N.K	(NK)	8	20	3	17	89	0	89	4.4
N.P	(NP)	7	13	1	12	68	2	66	1.5
N.P.K	(NPK)	8	16	1	15	68	0	68	25.0
N.P.K+compost	(TC)	8	20	2	18	97	0	97	7.2
N.P.K+straw	(TS)	8	21	2	19	101	1	100	16.0
N.P.K+lime	(TL)	8	17	3	14	78	0	78	1.2

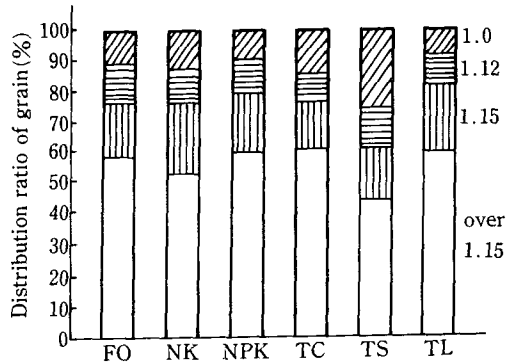


Fig. 10. Distribution ratio of grain in different water apectific gravity produced under 20 years long term fertilization. FO(non-fertilization), TC(N,P,K+compost), TS(N,P,K+straw), TL(N,P,K+lime).

있다. 따라서 正常的인 收量を 얻기 위해서는 穎花分化期에 각종 養分の 缺乏現象이 있어서는 안될 것으로 생각된다.

鹽水の 濃度差에 따른 粒重分布: 쌀의 商品성과 關係되는 米粒의 形態를 區分해 보기 위해서 각 施肥方法別 鹽水濃度에 따른 粒重分布 比率을(그림 10) 보면 가장 粒重이 무거운 比重 1.15 以上の 米粒比率이 높은 處理區는 FO, NPK, TC 및 TL 區로 全體의 60% 정도를 차지하고 있으며, NK區와 TS 區가 다른 處理區에 비하여 낮은 傾向이다. 또 粒重이 가벼운 1.0 이하에서도 역시 TS區에서 가장 그 比率이 높아서 全體의 粒數는 많아도 粒重이 무거운 즉 登熟이 잘된 米粒의 比率은 적었다. 한편 FO區와 TL區는 비교적 무거운 米粒의 比率이 높은 傾向이었다.

登熟速度: 出穗後 登熟速度를 보면(그림 11) 出穗期에는 處理間 差異가 비슷하였지만 出穗後 일수(days after heading: DAH) 10, 15, 20에서 NP, TL 및 TC區가 NPK區보다 登熟速度가 빨랐으며 FO, NK 및 TS區에서는 느린 편이었다. 粒當

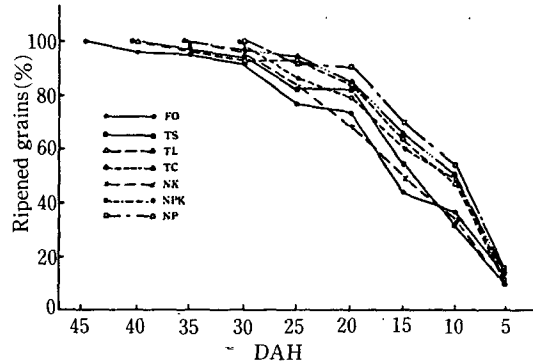


Fig. 11. Effects of N.P.K organic fertilization on the grain filling in rice. FO(non-fertilization), TC(NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+lime) DAH: days after heading.

澱粉蓄積比率은 15 DAH에서 NPK區가 60%에 비하여 NP區, TL區 및 TC區에서 각각 70%, 66% 및 64%였으며 반면에 TS區, NK區 및 FO 區에서는 54%, 50% 및 44%였다. 30 DAH에서는 NP>NPK>TL>NK>TS>TC>FO 區 順으로 登熟速度가 緩慢하였다. 完全登熟率은 NP 및 NPK區에서 30 DAH, NK 및 TL區에서 35DAH, TC 및 TS區에서 40 DAH, FO區에서 45 DAH로 澱粉蓄積이 빨랐는데 이는 登熟速度가 빠를수록 米粒形態에서 心白米, 腹白米 및 胴割米가 많이 形成되는 것으로 생각된다. 粒重은 完全登熟率이 빠를수록 粒重은 떨어지며 서서히 完全登熟期間이 길어질수록 澱粉蓄積이 좋으면서 粒重이 무거웠다.

米粒의 形態: 米粒의 形態는 粒重分布 및 登熟速度와 가장 密接한 關係를 가지고 있는데 處理別 形態에 따른 粒數比率을(表 6) 보면 完全米比率은 FO>PK>TL>TS 順으로 分布되었고 NK區와 NP區에서 가장 적었다. 心白米, 腹白米 및 胴割米比率은 반대로 NK區, NP區에서 크게 增加되어 肥種을 登熟速度와도 상당히 密接한 關係가 있고

Table 6. Grain quality affected by 20 years long term fertilization.

Treatment	Perfect rice grain(%)	White core rice(%)	White belly rice(%)	Imperfect rice(%)	Notched-belly rice kernel(%)
Non-fertilized (FO)	91.0	19.0	13.0	3.6	5.4
P.K (PK)	89.5	16.0	26.0	3.4	7.1
N.K (NK)	82.9	22.0	32.0	6.8	10.3
N.P (NP)	82.0	28.0	33.0	5.8	12.3
N.P.K (NPK)	84.1	21.0	29.0	6.8	9.2
N.P.K+compost (TC)	86.0	17.0	30.0	6.8	7.2
N.P.K+straw (TS)	86.9	18.0	26.0	9.1	4.1
N.P.K+lime (TL)	87.9	21.0	13.0	4.1	8.1

米質에도 큰 影響을 주는 傾向으로 나타나고 있다. 磷酸과 칼륨은 登熟 및 米粒澱粉蓄積에 있어서 상당한 影響을 미치는 것으로 생각된다. 不完全米는 TS, TC, NPK 및 NK區 順으로 높았으며, PK, FO 및 TL區에서는 낮았다. 이것은 登熟比率과 상당히 관련이 있는 것으로 登熟比率이 낮을수록 不完全米는 많았다. 쌀의 外觀에 관련된 形質들은 玄米의 心腹白程度, 透明度, 形態 등이라고 하였으며^{9,10} 許⁹⁾, Juliano¹²⁾ 등은 栽培環境에 따라서 高溫과 單一條件에서 登熟이 되면 아밀로스 含量과 알칼리 崩壞度가 낮아지고 低溫條件에서는 높아진다고 하였다. 金¹⁹⁾ 등은 아밀로스 含量은 澱粉懸濁度의 透明度와는 有意한 正의 相關을 보였다고 하였다.

米粒의 無機成分 分析: 白米와 玄米에 있어서 窒素, 磷酸 및 칼륨含量의 變化를(그림 12) 보면 窒素의 含量은 白米와 玄米間에 비슷하였으며 다른 成分에 比하여 多量含有되어 있다. 磷酸과 칼륨은 白

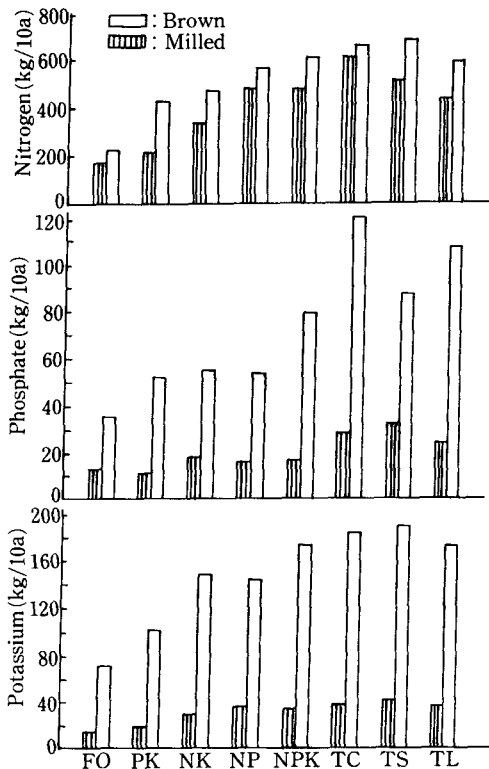


Fig. 12. Amount of N, P, K production in brown rice and milled rice. FO(non-fertilized), TC(NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+lime).

米와 玄米間에서 顯著한 差異를 나타내었다. 이것은 玄米의 糊粉層에 磷酸과 칼륨成分이 많이 함유되어 있지만 한편 澱粉粒에는 적었다. 玄米內에 함유되어 있는 窒素, 磷酸, 칼륨의 含量을 보면 窒素는 TS, TC, NPK 및 TL區 順으로 많았지만 磷酸은 TC, TL, TS 및 NPK區 順으로 많았다. 칼륨은 處理間 비슷한 傾向이었다. 白米에서는 TC區에서 窒素含量이 높았지만 磷酸은 TS區에서 높았다. 이것은 土壤成分에서도 같은 傾向으로 나타났다. 칼륨은 處理間 비슷한 傾向이면서 含有量이 아주 적은 量에 불과하였다.

摘 要

同一圃場에서 同一施肥條件으로 無肥區, PK區, NK區, NP區, NPK區, NPK+堆肥區, NPK+生糞區, NPK+石灰區를 20年間 連用하였을 때 土壤의 理化學的 性質變化, 水稻의 生育, 收量構成要素, 收量 및 米粒發達에 미치는 影響을 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 土壤의 化學的 成分은 3要素 無處理 施用區에서 成分間 含有率이 낮았으며, 3要素+堆肥, 生糞 施用區에서 有機物, 有效磷酸, CEC가 높았다. 石灰施用區는 土壤酸度 및 SiO_2 가 增加되었다.
2. 土壤의 空隙率은 3要素區에서 49.8%인데 比하여 3要素+堆肥, 生糞區에서는 51.4~53.1%였다. 土壤硬度는 3要素區가 가장 높은 반면 3要素+石灰區가 가장 낮았다. 粒團構造는 3要素區가 7.1%인데 比하여 3要素+生糞區가 19.6%로 가장 잘 발달되었다.
3. 生育狀況은 有機物 施用區에서 草長, 莖數, 根數, LAI, TDW는 높았지만 3要素 無處理區에서는 供히 낮았다. CGR은 穎花分化期 때에 全處理間에 生産量이 가장 많았으며 3要素+堆肥, 3要素+生糞, 無칼륨區가 가장 높았지만 3要素, 3要素+石灰, 無磷酸區는 出穗期에 無肥, 無窒素區는 成熟期에 각각 가장 높으면서 全生育期間동안 增加하는 傾向이었다. 그러나 3要素+堆肥, 生糞區가 穎花分化期 때부터 CGR의 增加率이 빨리 減少하는 傾向이었다.
4. 玄米收量에서 20年間의 收量平均値는 無肥, 無窒素 45~55%, 無磷酸 15%, 無칼륨 5%의 收量減少를 나타내었지만 3要素+堆肥 11%, 3要素+生糞 14%의 增收를 나타내었다. 1988年度의 收

량과 比較해 보면 20年間 平均值보다 3要素區에서 36%의 增收을 나타내었다.

5. 이삭의 一, 二次枝梗의 分化數는 3要素+堆肥, 生糞, 石灰處理區에서 17~21個로 많이 分化되었지만 3要素 無處理區에서는 13~15個로 낮았으며 退化枝梗數는 反對로 3要素+堆肥, 生糞, 石灰處理區가 적었다.

6. 粒重分布에 있어서 比重 1.15 以上の 米粒分布比率은 無肥, 無窒素, 3要素+堆肥, 3要素+石灰區가 60%程度 높았지만 無磷酸, 3要素+生糞區는 약 45%로 낮았다.

7. 米粒形態에서 完全米 比率과 粒重分布는 密接한 關係이며 完全米 比率이 높은 無肥, 3要素+堆肥, 生糞, 石灰區는 粒重이 무겁고 反對로 心白米, 腹白米 등이 적었으며 無칼륨區에서 心/腹白 程度가 5/3으로 가장 높았다. 特別 胴割米는 無磷酸, 無칼륨區에서 顯著히 높았다.

8. 登熟速度에서 完全登熟率은 無칼륨 3要素區에서 30 DAH, 無磷酸 3要素+石灰區에서 35 DAH, 3要素+堆肥, 生糞區에서 40 DAH, 無肥區에서 45 DAH로 同化產物의 轉流蓄積이 빨랐는데 이는 登熟速度가 빠를수록 米粒形態에서 心白米, 腹白米, 胴割米가 많아졌다.

引用 文 獻

1. 安壽奉·李文熙·吳旺根. 1973. 消石灰와 생짚의 施用이 논과 밭 土壤의 PH에 미치는 影響. 農試研報. 15(3) : 67-72.
2. 安壽奉·李文熙·吳旺根. 1973. 消石灰 및 窒素 施用量이 水稻의 收量構成要素에 미치는 影響과 適正施肥量. 農試研報. 15(3) : 73-76.
3. Baldwin, J.P. 1976. Competition for plant nutrients in soil : a theoretical approach. J. Agric.Sci. Camb. 87 : 341-356.
4. Vechmen, H.O. 1962. 토양비료학원론. 조백현 역 153.
5. 鄭二根·洪鍾雲. 1977. 논土壤의 磷酸有效度에 關한 研究. 韓土肥誌 10(1) : 55-60.
6. 趙伯顯·趙成鎮·李東硯·陸昌洙. 1969. 新制肥料學. 80-93.
7. Eylinkina, V.E. and E.A. Akopyar, 1969.
8. Gardner, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Sci. 89 : 63-73.
9. 許文會·徐學洙·金光鎬·朴淳直·文憲八. 1976. 米粒內의 단백질과 아미노스합량 및 알칼리불과성의 환경에 따른 變異. 서울大農學研究1(1) : 21-37.
10. 草野 秀. 1975. 土に有機物はなぜ必要か肥料農業 No 69 : 9-23.
11. Juliano, B.O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. Chemical aspects of rice quality, IRRI : 69-90.
12. Juliano, B.O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities. Rice chemistry and technology. AACC : 443-524.
13. 趙守衍·田炳泰·崔海椿. 1986. 實際品種에 導入되고 있는 有用形質. 벼의 遺傳과 育種. 서울大出版部 : 259-312.
14. 廣賴春郎·慇田恭一. 1972. 物理的に分化した稻わろ堆肥の 性狀(その1). 植物遺體の腐過程に關する化學的研究(等 2報). 日土肥誌43(11) : 24.
15. Kitwaguchi, K. and T. Hattori., Y. Matsuo. 1960. Degradation of Soil Materials of Dry Paddy Field. Memio ASA MEET CHICAGO U. S.A. (1990) Dec.
16. _____, K. Kywna(1977) Paddy soils in Tropical Asia. Univ. Press. Hawai U.S.A.
17. 權圭七·金聲圭·金이烈·朴錫洪·趙東三. 1984. 肥料의 連用이 土壤의 理化學的 性質變化와 水稻의 生育形質 및 收量에 미치는 影響. 農試報告. 26(1) : 67-76.
18. Kononova, M.M. 1961. Soil organic matter 98-110.
19. 김성곤·채제천·임무상·이정행. 1985. 쌀의 아미노스 합량과 물리적 특성간의 상호관계. 한국작물학회지 30(3) : 320-325.
20. 李錫淳·安壽奉·李殷雄. 1978. 肥料 및 有機物의 連用이 切土地土壤의 變化와 水稻의 生育 및 收量에 미치는 影響. 서울大 農學研究3(2) : 101-110.
21. 任正男. 1978. 土壤의 物理性과 有機物. 韓土肥誌. 11(3) : 145-160.
22. McGowan, M. and E. Tzimas. 1985. Water relations of winter wheat : The root system, petiolar resistance and development of a root

- abstraction equation. *Expl Agric.* 21 : 377-388.
23. 三好 洋. 1979. 堆肥と土壤管理. 農業および園藝 54卷10號 : 1208.
 24. Newman, E.I. and R.E. Andrews. 1973. Uptake of Phosphorus and Potassium in relation to root growth and root density. *Plant and Soil* 38 : 49-69.
 25. 農村振興廳. 1980. 土壤化學分析法.
 26. 農村振興廳. 1983. 農事試驗研究調查基準.
 27. 吳旺根·金佑鎮. 1977. 水稻에 대한 加里堆肥의 效果와 NK~複肥의 肥效. *農土肥誌* 10(2) : 79-84.
 28. 吳旺根. 1976. 多收穫을 위한 논土壤管理. 312-345. 加里研究會. 서울.
 29. 吳旺根. 1976. 有機物の 施用의 답土壤의 理化學的 性質에 미치는 影響에 關한 研究. *農試研報* 9(1) : 175-208.
 30. 吳潤鎮. (1983) 3要素 및 有機物の 連用이 畚土壤의 變化와 水稻生育 및 收量에 미치는 影響. *韓作誌* 28(4) : 431-438.
 31. 朴天緒(1970). 韓國는土壤 같이흙의 有效硅酸含量과 硅酸質肥料의 效果와의 關係, 有效硅酸含量分布 및 使用量에 關한 研究. *農村振興廳年報* : 13(9)1-19.
 32. 朴英善·朴天緒·朴來正·尹錫權. 1969. 畚土壤의 理化學的 性質과 湛水時 이들의 經時的 變化에 關한 調查研究. (高位生産畚 및 低位生産畚인 特殊成分缺乏之畚과 重粘土(畚)을 中心으로). *農試研報* 12(3) : 1-18.
 33. 愼劑晟·愼鏞華. 1975. 畚土壤에서 堆肥施用이 土壤의 理化學的 性質에 미치는 影響. *韓國土肥誌* 8(3) : 19-23.
 34. Schnitzer, M. and S.U. Khan. 1972. Humic substance in the covironment. 29-51.
 35. Simmon, K. and H. Speichermann, 1988. *Bodenk. U. pflanzenern ahr.* 8-129.
 36. 小野寺伊勢之助, 影鳥準一. 1936. 硅酸이 植物生育에 미치는 影響에 關한 研究(第2報). *日本土肥誌* 10 : 318~332.
 37. 小野寺伊勢之助, 菅原三千穂. 1937. 硅酸이 植物生育에 미치는 影響에 關한 研究(第1報). *日本土肥誌* 11.4.
 38. 田中明. 1979. 稻おう中の窒素とエネルギーの再利用. *日土肥誌* 46 : 328-332.
 39. Takai, Y., T. Koyama, and T. Kamura. 1963. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils(part 3). *Soil Sci. and Plant Nutrition* 5 : 207-211.
 40. 龍崎康夫. 1961. 水田土壤中の有機酸代謝と水稻生育沮害性に關する研究(第5報). *J. Sci. Soil and Manure, Japan.* 32 : 386-389.
 41. _____, 1963. Studies on behavior of the growth inhibiting substances in paddy soils with special reference to the occurrence of root damage in the peaty paddy fields. *Bulletin of the National Institute of Agr. Sci. Nishigahara, Tokyo, Japan. Proc.* 13 : 117-252.
 42. _____, 1964. Studies on the mechanism of root damage of rice plants in the peaty paddy field (part 1). *Soil Sci. and Plant Nutr.* 10 : 1-8.
 43. _____, H. Sakuma, and L. Chiba, 1961. 水田土壤中の有機酸代謝と水稻生育沮害性に關する研究(第6報). *J. Sci. Soil and Manure, Japan* 32 : 390-4.
 44. 柳黃秀·金沃燮·朴天緒. 1971. 논土壤의 비生産力과 土壤의 物理性 및 化學性과의 相關에 關한 研究. *農試研報* 14(1) : 1-16.
 45. 山下 鏡一. 1978. 水田にばける有機物の效果と問題點. *土肥誌.* 49 : 52-60.