

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* 沈載成**

* 農村振興廳 作物試驗場

** 培材大學校 國際產業大學

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

Hi-Suk Han* and Jai-Sung Shim**

* *Crop Experiment Station, RDA*

** *Dept. of Horticulture, Pai Chai University.*

土壤에 20年間 3要素+生糞를 處理하였을때 土壤의 化學的 成分, 孔隙率, 粒團構造가 잘 發達되었다. 또한 이 處理에 의하여 CGR은 穎花分化期때 가장 높았으나 無處理區나 3要素單用區에서는 全生育期間을 통하여 계속 增加하는 傾向을 띠는 반면 3요소+生糞處理區에서는 穎花分化期以後 계속 減少하는 趨勢를 나타내고 있다.

玄米收量에 있어서는 3要素+生糞處理에 의하여 11%의 增收效果가 있었으며 이것은 주로 이삭의 一·二次枝梗의 分化數가 增加하였기 때문이었다. 또한 米粒形態에 있어서도 完全米의 比率이 높았는데 이것은 登熟速度와 매우 密接한 關係가 있어서 登熟速度가 빠를수록 心白米, 腹白米 및 胴割米가 많았다. 3要素 + 生糞速度는 40DAH이었다.

NPK+compost and NPK+straw applications increased the content of organic matter, available P and CEC, and lime increased soil acidity and SiO₂ content. 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 1 mm(19.6%) as compared with NPK application(7.1%). On the other hand, 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. The highest values of crop growth rate was reached at spikelet differentiation stage, especially, in NPK+compost, NPK+straw and NP applications, at heading in NK, NPK, and NPK+lime, and at maturing in PK and non-fertilization, respectively.

Brown rice yield in non-fertilization, PK, NPK, and NP applications was 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. Distribution ratio of grain in more than 1.15 specific gravity based on grain number was higher in non-fertilization, PK, NPK+compost and NPK+lime applications, and was lower in NK and NPK+straw.

The number of differentiated rachis branch 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-fertilization, 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 notchedbelly rice kernel was markedly increased in NK and NP application. The period of grain filling was 30 DAH at NP and NPK applications, 35 DAH at NK and NPK+lime, 40 DAH at NPK+compost and NPK+straw, and 45 DAH at non-fertilization, respectively.

Keywords : 土壤成分含量, 玄米收量, 米粒形態
登熟速度, 粒重分布

Element components in soil, Brown rice yield, Perfect rice grain, Grain filling,
Grain distribution ratio

I. 結 論

作物이 生育하는데 直接 혹은 間接적으로 影響을 미치는 土壤의 生理性 및 理化學的 成分은 栽培 環境條件 및 養分供給量에 따라 달라지며 生育樣 相과 生産量도 변화한다. 따라서 밥맛이 좋고 商品價値가 높은 良質米를 生産하기 위해서는 化學 肥料에만 依存할 것이 아니라 有機物 添加를 통한 土壤의 肥沃도를 增進시키는 栽培技術이 要求된다. 化學肥料를 爲主로 耕種할 때 3要素의 均衡施肥가 이루어지지 않으면 3要素中 부족한 成分의 缺乏症이 자주 나타나며 收量增大에도 커다란 影響을 미친다.

우리나라 土壤은 砂壤土가 많아 溶脫現象이 顯著하게 發生하여 肥料의 均衡施肥가 要望된다. 田中³⁸⁾가 報告한 것처럼 化學肥料를 連用할 때에는 耕 土培養을 優先 畝두에 두어야 할 것이며 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 할 것으로 생각한다.

本 試驗에서는 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 米粒發育에 미치는 影響을 檢討 하여 良質米 生産의 基礎資料로 活用코져 1968년 부터 1988년까지 20년간에 걸쳐 얻은 收量成績 및 1988年度의 米質에 관한 試驗成績結果를 報告하는 바이다.

II. 研究 史

水稻의 生育 및 生産量은 化學肥料의 施用 및 土壤의 肥沃度, 有機物施用에 依存하는바가 크다. Kawaguchi 및 Kyuima¹⁷⁾는 潜在地力, 有機物 含量

및 有效磷酸含量이 土壤斷面全體의 理化學性을 支配하는 要因이라고 하였다. 窒素가 綠藻類와 各種 有機物에 棲息하는 微生物의 死體와 灌溉水를 통해서 供給된다는 事實은 잘 알려져 있지만 그 量 만으로는 作物의 生育에 充分하지 못하기 때문에 安 등²⁾ 및 金²⁷⁾ 李 등²⁰⁾은 人爲적으로 窒素肥料를 供給하지 않으면 안되며 그 施用效果도 다른 肥料에 비하여 越等히 높다고 하였다.

磷酸에 있어서도 土壤中에 含有된 양은 매우 적을 뿐만 아니라 施用한 磷酸의 약 75%는 土壤에 吸着固定되고 殘與25% 정도만이 作物에 利用되는 것으로 알려져 있다.³²⁾ 土壤磷酸은 未熟畝에서 含量이 매우 낮고 湛水高溫下에서도 有效化가 緩慢하기 때문에 논에 磷酸을 施用하는 것은 매우 중요한 것으로 알려져 있다.

濕畝의 境遇는 未分解된 有機物이 夏期高溫에 의해 급격히 分解되어 이로인해 야기되는 有機酸의 피해로 根活力이 弱화되고 칼륨의 吸收도 阻害되므로 칼륨도 반드시 施用해야 할 것이다.

칼륨의 施用效果는 灌溉水에 의한 自然供給이 可能하나 砂質畝과 같이 保肥力이 弱한 土壤에서는 溶脫現象때문에 칼륨肥料의 施用이 必要하게 된다. 小野孝 등³⁷⁾은 칼륨의 多量施用과 珪酸添加에 의해 칼륨의 過多被害를 抑制시켜주기 때문에 水稻의 生育 및 收量이 增加된다고 하였다.

Kononova¹⁸⁾, Schnitzer³⁴⁾, Simman³⁵⁾은 有機物은 土壤中에서 다른成分에 비해 적으나 그 重要性이나 役割은 대단히 커서 農耕學의 發達과 더불어 많은 研究가 되어왔다고 報告하였다.

有機物을 논에 施用하는데 있어서 몇가지 考慮 하여야 할 점이 있는 것으로 考察되는바 그 하나는 有機物의 施用으로 水稻根의 呼吸을 阻害하는 有

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.

害成分이 生成된다는 점^{34,41,42,43})이고 또 하나는 土壤의 還元 및 養分溶脫을 促進시킨다는 점이다. 그런데 後者는 우리나라와 같이 砂質이고 透水性이 큰 논이 많은 곳에서는 특히 重要한 問題가 되고 있다.

Vechman 등⁴⁾은 有機物이 土壤의 物理化學的性質에 큰 影響을 주고 특히 土壤微生物의 energy와 營養供給源이 되고 있다고 報告하였다.

Eylinkina와 Akopyan⁷⁾은 作物營養과 收量은 環境條件에 따라 影響을 받으면서 土壤微生物에 의해 크게 支配되어 특히 Soil biological organic mineral (B.O.M) 複合條件에 의해서 決定하는 하나의 指標로 삼아오고 있다고 하였다.¹⁶⁾ 廣瀨⁴⁾에 의하면 土壤有機物은 土壤內에서 Cellulose, Hemicellulose 및 Lignin과 같은 物質을 供給하므로 地力維持向上에 不可缺한 要素라고 하였다.

安¹²⁾ 및 朴³²⁾에 의하면 石灰施用으로 pH를 높임으로서 Ca 및 SiO₂가 有效化하고 有害物質의 溶解를 抑制하여 벼 뿌리를 보호하기 때문에 벼 生産力이 增加할 수 있었다고 하였다.

1960년대 全國 각 農家圃場 및 3要素 試驗地의 土壤成分을 分析한 結果를 보면³²⁾ 벼 收量을 支配하는 主要要因이 有效珪酸含量이었던 것이 밝혀졌다. 벼에 대한 珪酸質肥料의 增收效果는 化學肥料의 施用량이 많을수록 커서 韓國, 日本, 臺灣등 化學肥料施用량이 많은 稻作國에서만 珪酸施用效果가 認定되고 있다.³¹⁾ 吳²⁸⁾ 및 李³⁰⁾은 有機物施用에 의한 土壤의 物理性 改善과 保水力 및 養分保有能力이 벼의 生育을 有利하게 하여준다고 하며 특히 瘠薄한 논에서 그 效果가 顯著하게 나타난다고

하였다.

鄭⁵⁾, 吳²⁸⁾, 李³⁰⁾, 任²¹⁾ 및 Wilson 및 Fisher⁴⁷⁾은 有機物 施用에 따라 土壤의 粒團構造가 發達하고 通氣性 및 透水性도 좋게된다고 보고하였다. 有機物 施用은 酸素의 供給을 容易하게 하고 뿌리를 健全하게 하여 生育에 有害한 還元物質의 生成과 集積을 적게하며 稻體內의 營養分供給을 조절하는 役割을 한다.

權¹⁷⁾, 李³⁰⁾ 및 吳³⁰⁾등이 實施한 實驗結果를 綜合해보면 同一肥料의 施用方法 및 量을 달리하여 長期的으로 連用하였을때 水稻의 生育 및 收量에 미치는 影響은 다르게 나타난다. 즉 3要素에 비하여 收量이 無肥는 52%, 無窒素는 46%, 無磷酸은 11%, 無칼륨은 6% 減少하나 3要素에 堆肥는 12%, 3要素에 生糞는 16%씩 增加되어 水稻에서 收量에 가장 影響이 큰 肥料는 窒素이고 그 다음이 磷酸, 칼륨의 순이며 3要素에 有機物을 添加하므로써 增收가 됨을 알 수 있다.

III. 材料 및 方法

① 圃場 方法

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

② 供試品種 및 施肥方法

20年間 一般品種인 振興을 保溫折衝못자리에 播

種하고 40日間育苗하여 6月 5일에栽植距離 30-15 cm間隔으로株當 5本씩本畝에 손으로移秧하였다.

1988年度の施肥方法是 磷酸과 칼륨은 全量期肥로施用하였고窒素는 期肥, 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 이양하였다. 其他栽培基準은 農村振興廳 水稻栽培 標準耕種法에 準하여 精密栽培하였다.

③ 試料採取 및 調査方法

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 3inch core sample를 利用하여 土深 10~20cm에서 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 調査事項中 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, LWR등에 대해서는 重要生育段階에 處理當 6株를 採取하여 葉身, 葉鞘, 籼等으로 구분하고 乾燥器에 乾燥하였다. 葉面積은 먼저 採取한 2株를 對象으로 測定하여 LAI, SLA 및 LWR등을 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 處理 3株를 選擇하여 전체 籼의 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, 不完全米, 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 登熟溫度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 Cyclome sample mill로 粉碎하고

秤量하였다. 窒素는 H_2O_2 , H_2SO_4 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 Hitich Z-6000 Atomic absorption spectrophotometer를 利用하여 分析하였다.

IV. 結果 및 考察

A. 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하였을때 土壤의 物理的 性質에 미치는 影響을보면(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(그림 2)는 비슷한 傾向을 보였으나 TL區만은 낮았다. 作土用 1mm以上の 粒團分布를 보면(그림 3) NPK區가 7.1%인데 比하여 TS區가 19.6%로 發達이 가장 많았으며 다음으로 TC區가 11.1%였다.

SR-2 土壤抵抗測定器(cone resistance)를 利用한 土深別 土壤抵抗差를 比較해보면(그림 4) 各處理別 公히 土深 20cm内外에서 抵抗差가 비슷하였으며 土深 5cm의 硬度는 NPK區가 $16kg/cm^2$ 로서 가장 단단하고 TC區 TL區 TS區가 각각 12, 10, 7 kg/cm^2 로 TS區가 抵抗이 가장 弱하였다. 土深 10cm에서도 같은 傾向이었으며 土深 15cm에서도 TS施用區가 가장 良好한 것으로 나타났으며 TC區가 TL區보다 良好하였다. 그러므로 土深 15cm까지는 堆肥, 生糞施用이 土壤物理性改善에 有效할 것으로 판단된다. 肥料連用에 따른 土壤化學的 成分을 보면(表2) 土壤酸度는 FO區가 4.9로 가장 낮았으며 TS區는 5.01로 全國平均치 5.1-5.6보다 낮았다.

土壤酸度는 TC區에서도 5.43을 보였으나 TL區는 6.8로 가장높아 土壤의 酸度矯正에 石灰가 반드시 包含되어야 할것으로 생각된다.

有效磷酸含量은 FO區와 NK區가 12-13ppm으로 NPK區보다 낮았으며 TS區가 35ppm으로 NPK區의 약2倍程度로 높았다.

有機物含量은 FO區, PK區, NP區가 가장 낮았고 TC區와 TS區가 1.73~1.94%로 가장 높았으나 作物栽培의 適正含量 30%보다는 모두 낮았다.

이는 本 試驗圃가 各要素의 缺乏에 따른 純粹한 生育 및 收量을 調査하기 위해서 20年前에 2m程度 절토한 後에 試驗圃場으로 造成하였으므로 有機物 含量이 낮게 나온 것으로 볼 수 있다. 또 TC施用 區에 比해 TS施用區의 有機物含量이 높은 것은 吳

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

Treatment	pH (1 : 1)	P ₂ O ₅ (ppm)	OM (%)	Ex. changeable(me/100g)				SiO ₂ (ppm)	CEC (me/100g)
				K	Ca	Mg	Na		
Non-fertilizer (FO)	4.97	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

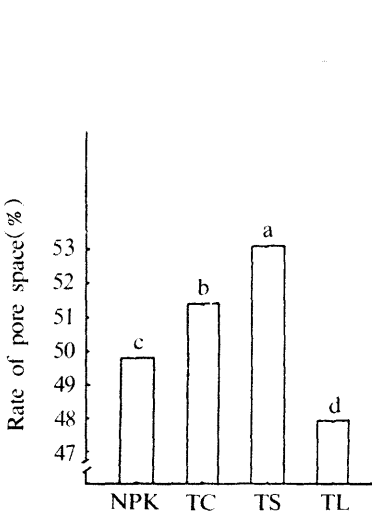


Fig.1. Effect of long term fertilization on the rate of space ; TC(N.P.K+compost) TS(N.P.K+straw) TL(N.P.K+lime) abcd : DMRT 5%

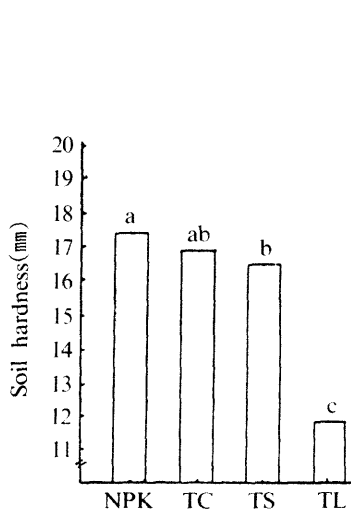


Fig.2. Difference of soil hardness 20 years after long term fertilization TC(N.P.K+compost) TS(N.P.K+straw) TL(N.P.K+lime) abcd : DMRT 5%

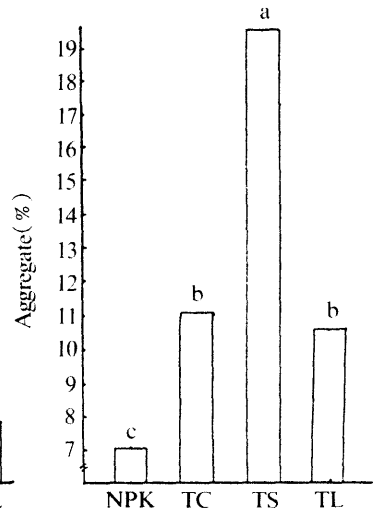


Fig.3. Effect of 20 years long term fertilization on the aggregate structure(>1mm). TC(N.P.K+compost) TS(N.P.K+straw) TL(N.P.K+lime) abcd : DMRT 5%

20)가 報告한 바와 같이 生糞의 分解速度가 緩慢하였기 때문인 것으로 생각된다.

置換性 칼륨含量은 NP區에서 0.15me/100g으로 가장 낮았고 TS區에서는 0.42me/100g으로 가장 높았다. 이에 비해 TC區는 칼륨含量이 TS區보다 낮았는데 그 이유는 벧짚속에 칼륨이 多量含有되어 있다가 서서히 供給되지만 堆肥는 分解速度가 빠

르면서 滲透水와 함께 상당량이 溶解된 것으로 推測된다.

Ca, Mg, Na含量은 TL施用區에서 가장 많았으며 다른 處理區는 모두 비슷한 傾向을 보였다.

有效珪酸含量은 TL區가 130ppm으로 가장 높았으며 이는 pH 상승으로 인한 不溶性 珪酸이 有效化되었기 때문으로 생각된다.20) 其他 處理區에서는

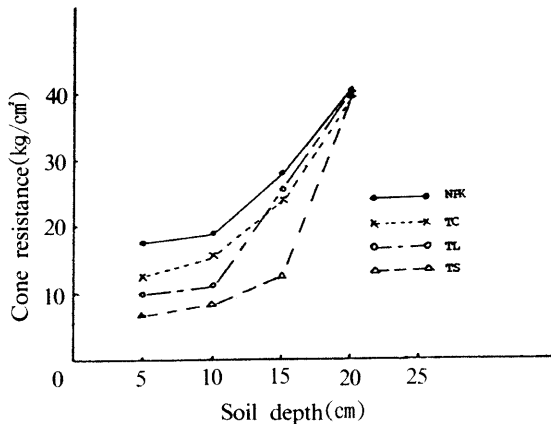


Fig.4. Changes of cone resistance in each soil depth after 20 years of continuous fertilization ; TC(N. P.K+compost), TL(N.P.K+lime), TS(N.P.K+straw).

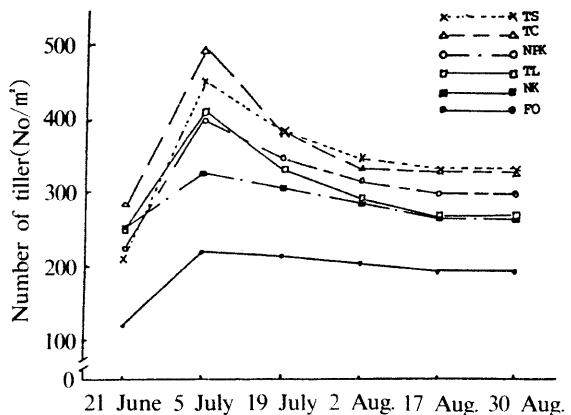


Fig.5. Effect of 20 years long term fertilization on changes of number of tiller per unit area ; FO (non-fertilization), TC(N.P.K+compost), TS (N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

顯著的 差異는 없었으나 全國畝 土壤平均值 77~84 ppm보다는 높았다.

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

B. 水稻의 生育狀況

1. 莖數의 變化

施肥方法을 달리하였을때의 각 處理別 經時的인 變化를 보면(그림 5) 莖數는 FO區가 가장 낮았다. 한편 NP區, NK區 및 PK區에서 莖數는 서로 비슷하였으며 有效莖比率는 높았으나 莖數增加는 거의 없었다. 6月 21日(分蘖期)에 TS區는 FO區를 除外한 全體處理區에 비해 가장 적은 莖數를 보였으나 7月 5日(最高分蘖期)에 FO區와 함께 他區를 능가하였으며 處理別 莖數는 TC>NPK>TL區 順으로 낮았다. 7月 10日부터 收穫期까지는 TS區가 無效分蘖莖의 減少와 함께 가장 많은 莖數를 나타내었다.

이와같이 TS區가 벼의 生育初期에 分蘖莖數가 적은것은 生藥 施用에 따른 分解速度의 緩慢함과 一時的인 窒素飢餓 現象 때문으로 사료되며 漸進的인 溫度 상승과 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 있다.

2. 乾物重과 CGR의 變化

主要生育時期別 總乾物重(Total Dry Weight=T. D.W)과 日同化生産量(Crop Growth Rate=C.G.R)을 보면(그림 6,7), TDW는 FO區 및 NPK區보다 높았으나 穎花分化期에서 成熟期까지는 TS區, TC區가 가장 높았다. 특히 TL區는 NPK區보다도 더 낮았다. 이것은 20年間 石灰連用이 반드시 좋은 施肥方法은 아니라는 것을 意味한다.

CGR은 初期生育때에 TC區가 가장 높았으며 FO區 NK區가 낮았다. 全生育期間을 통하여 가장 빠른 生育을 보인것은 穎花分化期때이었고 특히 TC區, TS區, NP處理區에서 가장 높았으며, NPK, TL, 및 NK區는 出穗期에, FO 및 PK區는 成熟期에 가장 높으면서 繼續的으로 生育하였음을 볼 수 있겠다.

그러나 CGR의 減少現象은 TC區, TS區, NP區에서 穎花分化期때부터 出穗期까지 나타났고 NPK, TL 및 NK區에서는 出穗期때부터 서서히 떨어졌다.

3. 生育時期別 葉面積과 根數의 變化

(1) 葉面積指數(LAI)의 變化

LAI(Leaf area index)로 보면(그림 8) 全處理區에서 出穗期에 가장 높았는데 分蘖期, 穎花分化期까지는 NPK 및 TC區가 TS區보다 生育이 빨랐으나

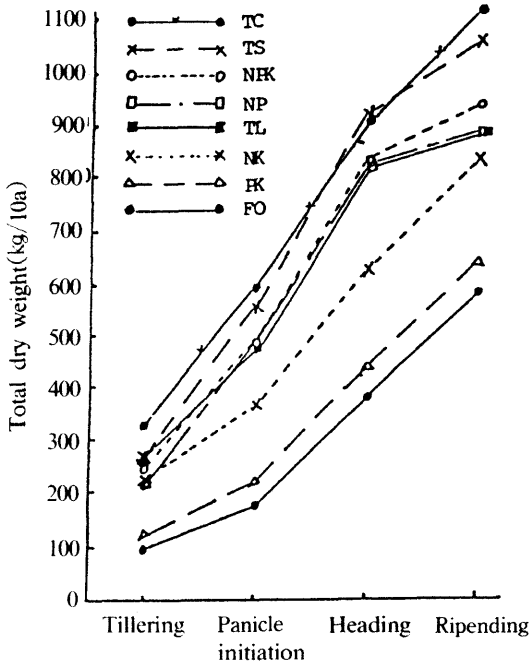


Fig.6. Changes of total dry weight as affected by 20 years long term fertilization : FO(non-fertilization), TC(N.P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

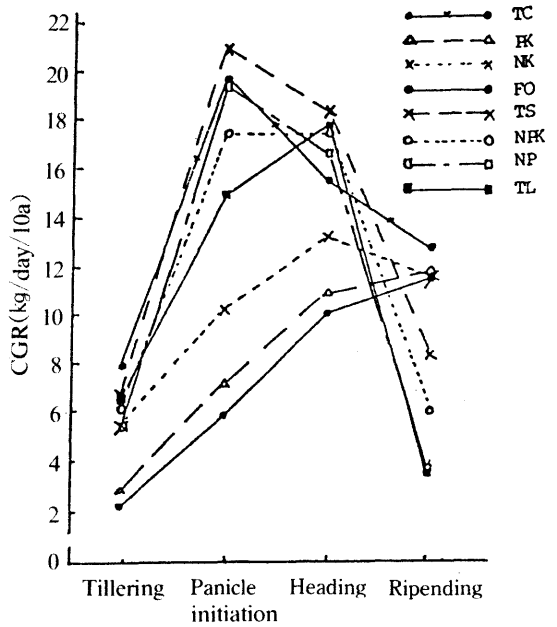


Fig.7. Changes of crop growth rate(CGR) as affected by 20 years long term fertilization : FO(non-fertilization), TC(N.P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(NPK+lime).

穎花分化期 以後부터는 TS 및 TC區가 NPK區보다 높았다.

이것은 TDW와 같은 傾向으로 吳³⁾의 報告와 일치하고 있다.

특히 TC區와 TS區는 出穗期에 葉面積指數가 5 以上으로 높은 반면 FO, NK 및 TL施用區는 NPK區 보다 顯著히 낮아 FO는 1.5, NK區와 TL區는 3을 前後하는 葉面積指數를 나타내었다.

(2) 根數의 變化

同一肥料連用處理에 따른 根數의 變化를 보면 (그림 9) 分蘗期에 있어서는 FO, TS區가 株當 242 個로 가장 적었는데 이것은 벼의 養分吸收利用性이 매우 緩慢하다는 것을 暗示하며 FO區를 除外한 他區보다 TS區의 莖數가 적었던 것도 이것이 原因이 되었던 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떨어

지는 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되고 地上부의 養分이 穎花分化發達에 影響을 미친 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되었다 (Fig.9). 生育時期別 根의 分布를 보면 7月 8日(最高 分蘗期)에 FO, TS區가 가장 낮았지만 穎花分化期에서 TC 및 TS區가 높았다. 出穗期에는 TS, TC, NPK 및 TL區 順으로 높았으며 이것은 總生産乾物重과 같은 傾向을 보여 NPK에 有機物을 施用하므로써 根의 數가 增加되어짐을 나타내 주고 있다.

4. 收量構成要素 및 收量の 變化

同一肥料 長期連用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 穗當穎花數는 TS區에서 가장 높았

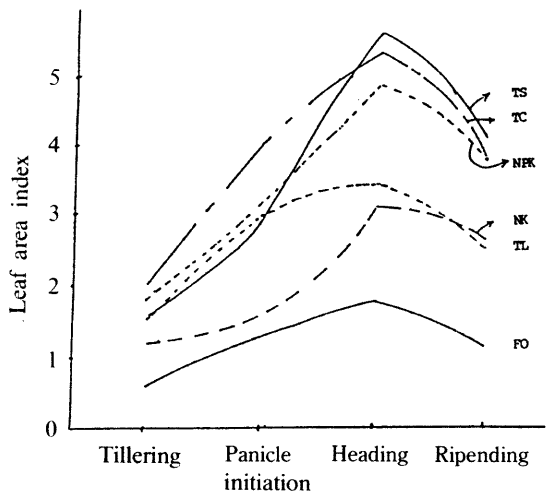


Fig.8. Changes of LAI as affected by the long term fertilization ; FO(non-fertilization), TC(N.P.K +compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

으며 FO, PK區는 가장 낮았다.

m²當 穎花數는 TC區>TS區>TL區>NPK區 順으로 나타났으며 FO, PK, NK 및 NP區는 가장 낮게 나타났다.

登熟比率은 FO, TL區가 91~92%로 가장 良好한 반면 TC 및 TS區가 85~87%로 다소 떨어지는 경향이었다.

그러나 玄米收量을 보면 NPK區에 比較하여 TC 및 TS區는 11~12% 增收되었음을 알 수 있는데 이들 處理는 登熟比率은 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 比較 45%, PK區는 58%, NK區는 84%, NP區는 97%에 불과하여 특히 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 보았을때 FO와 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 收量에 比較하면 36%의 減少를 나타내었다.

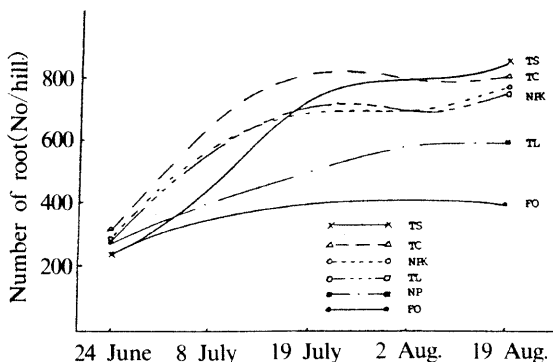


Fig.9. Changes of root number per hill in different growth stage of rice affected by 20 years long term fertilization ; FO(non-fertilization), TC(N.P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

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 劣化되는 반면 堆肥, 生糞는 土壤의 物理性이 改善된 效果라고 생각된다.

또 各處理別 共同 年度가 增加함에 따라 收量이 漸次增加하는 傾向을 나타내고 있는데 이는 本 研究圃場 造成當時 2m以上の 흙을 切土한 深土에서 研究를 시작하여 漸次 時間이 흐름에 따라서 熟畚化되어가고 있고 또 1978년부터 1983년까지 收量이 增加된것은 이 期間中 試驗圃場에 灌溉한 灌溉水가 汚染된 結果인 것으로 생각된다.

C. 登熟程度와 米粒形態

1. 處理別 穗相의 變化

處理間에 이삭의 形態를 알기위하여 穗相調査를 한 結果(表 5) 一次枝梗의 分化數는 7~8개로 FO 및 NP區에서 다소 떨어지나 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. 이

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

러한 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 있다.

따라서 正常的인 收量을 얻기 위해서는 穎花分化 期에 각종 養分의 缺乏 現象이 있어서는 안될 것으로 思料된다.

2. 鹽水의 濃度差에 따른 粒重分布

쌀의 商品性和 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를 보면(그림 10) 가장 粒重이 무거운 比重 1.15 이상의 米粒 比率이 높은 處理區는 FO, NPK, TC 및 TL區로 全體의 60%程度를 차지하고 있으며 NK區와 TS區가 다른 處理區에 比하여 낮은 傾向이었다.

또 粒重이 가벼운 1.0以下에서도 역시 TS區에서 그 比率이 가장 높아서 全體의 粒數는 많아도 粒重이 무거운 즉 登熟이 잘된 米粒의 比率이 적

었다. 한편 FO區와 TL區는 比較的 무거운 米粒의 比率이 높은 傾向이었다(그림 10).

3. 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 日數(days after heading : DAH) 10, 15, 20 에서 NP, TL 및 TC區가 NPK區보다 登熟速度가 빨랐고 FO, NK 및 TS區에서는 느린 편이었다.

粒當澱粉蓄積比率은 15DAH에서 NPK區가 60%에 比하여 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. 30DAH에서는 NP>NPK>TL>NK>TS>TC>FO區順으로 登熟速度가 緩慢하였다.

處理別 完全登熟率은 NP 및 NPK區에서 30 DAH, NK 및 TL區에서 35DAH, TC 및 TS區에서 40DAH, FO區에서 45DAH로 澱粉蓄積이 빨랐는데

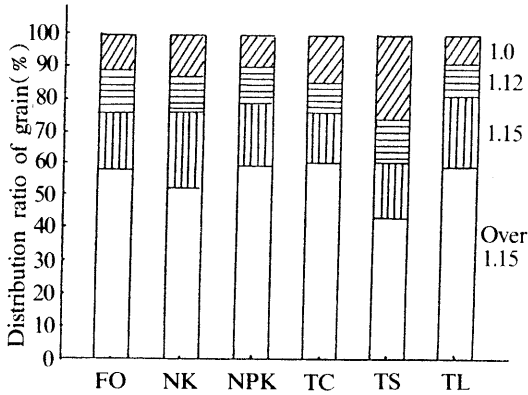


Fig.10. Distribution ratio of grain in different water specific gravity produced under 20 years long term fertilization FO(non-fertilization), TC(N. P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

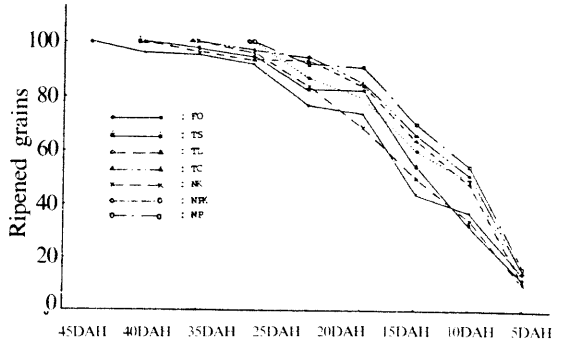


Fig.11. Effects of N.P.K organic fertilization on the grain filling in rice : FO(non-fertilization), TC (NPK+compost), TS(NPK+straw), TL(NPK+lime) DAH : days after heading

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되는것으로 생각된다. 處理別 粒重은 完全登熟率이 빠를수록 粒重은 떨어지며 서서히 完全登熟率期間이 길어질수록 澱粉蓄積이 좋으면서 粒重이 무거웠다.

4. 米粒의 形態

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 보면 (表 6) 完全米 比率은 FO>TL>PK>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은 登熟速度와도 상당히 密接한 關係가 있고 米質에도 큰 影響을 주는 傾向으로 나타나고 있다. 澱粉과 칼리는 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 聯關이 있는 것으로 登熟比率이 낮을수록 不完全米는 많았다.

쌀의 外觀에 關聯된 形質들은 玄米 또는 白米의 心腹白程度, 透明度, 形態등 이라고 하였으며^{9,11)} 許⁹⁾ Juliano¹²⁾등은 재배 환경에 따라서 高溫과 短日條件에서 登熟이 되면 아밀로스含量과 알칼리 崩壞

도가 낮아지고 低溫條件에서는 높아진다고 하였다. 金¹⁰⁾등은 아밀로스 含量은 澱粉懸濁度の 透明度와는 有意한 正의 相關을 보였다고 하였다.

5. 米粒의 無機成分 分析

白米와 玄米에 있어서 窒素, 澱粉 및 칼륨含量의 變化(그림 12)를 보면 窒素의 含量은 白米와 玄米 간에 비슷하였으며 다른 성분에 比하여 多量含量 되어 있다. 澱粉과 칼륨성분이 많이 含有되어 있지만 한편 澱粉粒에는 적었다.

玄米內에서 含有되어 있는 窒素 澱粉 칼륨의 含量을 보면 窒素는 TS, TC, NPK 및 TL區 順으로 많았지만 澱粉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 澱粉은 TS區에서 높았다. 이것은 土壤成分에서도 같은 傾向으로 나타났다. 玄米內에서 含有되어 있는 칼륨의 量은 白米에서 보다 많았다.

V. 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하였을때 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

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	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (per m ²)	No. of spikelet per m ²	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	91.7	258 c	45
P.K	(PK) Aug.21	72.0	18.0	210	73	15,330	90.3	330 c	58
N.K	(NK) Aug.20	80.7	20.5	273	79	21,567	91.7	482 b	84
N.P	(NP) Aug.17	80.0	20.6	299	80	23,920	86.4	552 ab	97
N.P.K	(NPK) Aug.20	82.3	20.7	295	88	23,960	87.6	568 ab	100
N.P.K+compost	(TC) Aug.19	86.0	19.9	324	93	30,132	85.1	641 a	112
N.P.K+straw	(TS) Aug.20	86.1	21.0	324	91	29,484	87.4	625 a	110
N.P.K+lime	(TL) Aug.15	82.2	20.6	284	94	26,696	91.7	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 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	
		Differentiation	Degeneration	Differentiation	Degeneration		
Non-fertilized	(FO) 7	15	5	10	62	61	6.5
P.K	(PK) 8	16	1	15	91	90	5.4
N.K	(NK) 8	20	3	17	89	89	4.4
N.P	(NP) 7	13	1	12	68	66	1.5
N.P.K	(NPK) 8	16	1	15	68	68	25.0
N.P.K+compost	(TC) 8	20	2	18	97	97	7.2
N.P.K+straw	(TS) 8	21	2	19	101	100	16.0
N.P.K+lime	(TL) 8	17	3	14	78	78	1.2

Table 6. Ratio(%) of grain quality affected by 20 years long term fertilization

Treatment	Perfect rice		White core		White belly		Notched-belly	
	grain	rice	rice	rice	rice	rice	rice	kernel
Non-fertilized	(FO) 91.0	19.0	13.0	3.6	5.4			
P.K	(PK) 82.0	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			

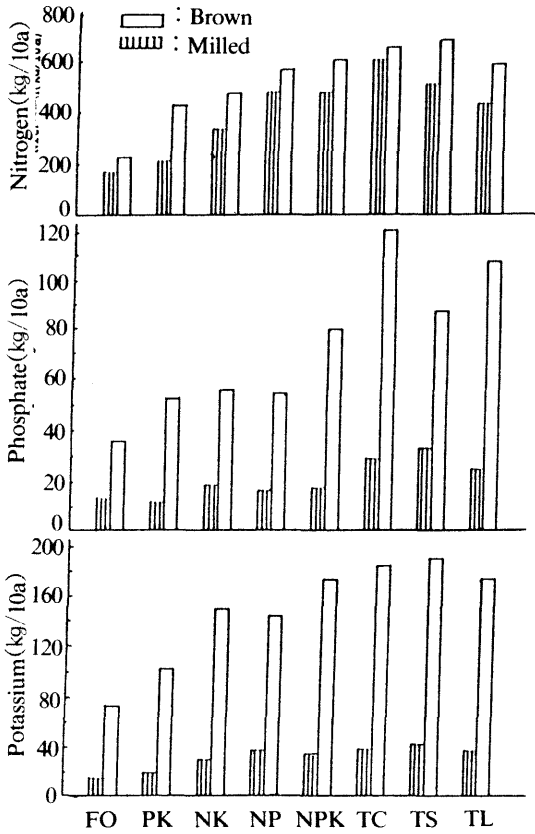


Fig.12. Amount of N.P.K production in brown rice and miller rice ; FO(non-fertilized), TC(N.P.K+compost), TS(N.P.K+straw), TL(N.P.K+lime).

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, 生葉施用區에서 有機物, 有效磷酸, CEC가 높았다. 石灰施用區는 土壤酸度 및 SiO₂가 增加되었다.

2. 土壤의 空隙率은 要素區에서 49.8%인데 比하여 3要素+堆肥, 生葉區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+生葉區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+生葉, 無갈륨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, 生葉區가 穎花分化期때부터 CGR의 增加率이 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갈륨 5%의 收量 減少를 나타내었지만 3要素+堆肥 11%, 3要素+生葉 14%, 3要素+石灰 4%의 增收를 나타내었다. 1988年度 收量과 比較해 보면 20年間 平均値보다 3要素區에서 36%의 增收를 나타내었다.

5. 이삭의 一·二次枝梗의 分化數는 3要素+堆肥, 生葉, 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, 生葉, 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+生葉區는 약45%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 處理, 無肥, 3要素+堆肥, 生葉, 石灰區는 粒重이 무겁고 반대로 心白米, 腹白米등이 적었으며 無갈륨區에서 心/腹白 程度가 5/3으로 가장 높았다. 特히 胴割米는 無磷酸, 無갈륨區에서 顯著히 높았다.

8. 登熟速度에서 完全登熟率은 無갈륨, 3要素區에서 30DAH, 無磷酸, 3要素+石灰區에서 35DAH, 3要素+堆肥, 生葉區에서 40DAH, 無肥區에서 45DAH로 同化産物의 轉流蓄積이 빨랐으며 또한 이는 登熟速度가 빠를수록 米粒形態에서 心白米, 腹白米, 胴割米가 많았다.

1. 安壽奉, 李文熙, 吳旺根. 1973. 消石灰와 생 쪼의 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. 조백현역 153.
5. 鄭二根, 洪鍾雲. 1977. 논 土壤의 磷酸有效도에 關한 研究. 韓土肥誌 10(1) : 55-60.
6. 趙伯顯, 趙成鎮, 李東碩, 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. 米粒內的 단백질과 아밀로스함량 및 알칼리 붕괴성의 환경에 따른 變異. 서울大農學研究 1 (1) : 21-37.
10. 草野 秀. 1975. 土に有機物はるせ必要か. 肥料農業 No. 69 : 9-23.
11. Juliano, B.O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. *Chemical aspects of rice qual. 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, 崔海春. 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, 熊田恭一. 1972 物理的に分化した 稻わろ堆肥の性狀(その1). 植物遺體の腐敗過程に關する化學的研究(等 2報). 日土肥誌 43(11) : 24.
15. Kitwaguichi, K. and T. Hattori., Y.Matsuo. 1960. Degradation of Soil Materials of Dry Paddy Field. *Memio ASA MEET CHICAGO U.S.A.* (1960)Dec.
16. _____, K. Kywna(1977). Paddy soils in Tropical Asia. Univ. Press. Hawaii U.S.A.
17. 權圭七, 金霧圭, 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 아밀로스 함량과 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의 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의 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논土壤 加里흙의 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. 農振廳研報 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 調査研究. 高位生産畝 및 低位生産畝인 特殊成分缺乏畝과 重粘土(畝)을 中心으로. 農試研報 12(3) : 1-18.
33. 慎齊晟, 慎鏞華. 1975. 畝土壤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 convirontment. 29-51.
35. Simmon, K. and H. Speichermann. 1988. Bodenk. U. pflanzenernahr. 8-129.
36. 小野寺伊勢之助, 影鳥準一. 1936. 珪酸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, 菅原三千穗. 1937. 珪酸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(part3). Soil Sci. and Plant Nutrition 5 : 207-211.
40. 瀧嶋康夫. 1961. 水田土壤中ノ有機酸代謝ト水稻生育沮害性ニ關スル研究(第5報). J. Sci. Soil and Manure, Japan. 32 : 386-389.
41. _____, 1963. Studies on behavior of the growth inhibiting substances in paddy soil with special reference to the occurrence of root damage in the peatry paddy fields. Bulletin of the National Institute of Agr. Sci. Nishigahara, Tokyo, Japan. Proc. 13 : 117-252.
42. _____, H. Sakuma and L. Chiba. 1961. 水田土壤中ノ有機酸代謝ト水稻生育沮害性ニ關スル研究(第 6報). J. Sci. Soil and Manure, Japan 32 : 390-4.
44. 柳寅秀, 金沃緒. 1971. 논土壤의 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. 水田にはける有機物の效果 と問題點. 土肥誌. 49 : 52-60.
46. Yoshida, T. and R.R. Ancajas. 1973. Nitro-gengixing activity in upland and flooded rice field. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37 : 42-46.
47. Wilson, H. A. and W. C. Fisher. 1946. Aggregate increase and stability in two Louisiana soils. Soil Sci.Soc. Amer. Proc. 10 : 30-33.