

畚土壤의 有機物 施用效果

李相奎 · 朴俊奎

農村振興廳 農業技術研究所

The Effect of Agricultural Wastes on Rice Plant Growth

Sang-Kyu Lee and Jun-Kyu Park

Institute of Agricultural Sciences, Office of Rural Development
Suweon, 170 Korea

Abstract

As in many other country, the use of organic matter in Korea has long history. Farmers understand the value of organic matter as the source of plant nutrient and soil improving agent in general.

Since 50 years ago, the sources of organic matter in paddy soils were compost, rice and barley straw, green manure, animal waste, fish and beancake, etc.

Application of green manures such as vetch and chinese milk vetch showed no significant effect on the yield of brown rice in paddy soil. On the other hand, the effects of compost and rice straw showed more significant on the yield of brown rice in paddy soil. Application of rice straw in rice cultivation is commonly made at different times between harvest, early spring and several weeks before transplanting.

Considering the suitable paddy soil for application of rice straw under well to moderately well drained soil, the yield was pronounced more than poorly drained soil. Based on laboratory and field experiments, application of rice straw promoted the decrease of oxidation-reduction potential in well to moderately well drained soil. This results to be enhanced the release of some mineral nutrients, such as potassium, calcium, silicon, and increase of availability of soil phosphorus.

In the field experiments, results obtained from nitrogen fraction on the immobilization-mineralization of the tracer nitrogen applied in paddy soil, the amount and index of organic nitrogen incorporated in soil was more pronounced in rice straw application than control.

Rice straw and its transformation products incorporated in the soil, provided the inflow of energy necessary to maintain heterotrophic microbes activities. Rice straw and its transformation products, especially soluble carbohydrate, enhanced

the population of free-living heterotrophic N_2 -fixing microbes. Moreover, rice straw and its transformation products in paddy soil, enhanced the activities of soil enzymes such as dehydrogenase and urease.

緒 論

우리나라의 水稻作에 있어서 有機物 施用 效果에 對한 研究는 過去 50年間 논土壤에서 水稻의 收量增大에 미치는 影響에 關한 研究를 처음으로 하여 實施되었으며 따라서 資源別 施用效果 試驗이 遂行되었다. 그후 土壤化學性 및 物理性에 미치는 影響에 對한 研究가 遂行되었으며 近來에와서는 논土壤에 有機物 施用時 土壤微生物의 消長과 活性에 對한 研究도 實施되었다.

논土壤에 有機物 特히 糞과 堆肥施用에 對한 試驗結果를 보면 土壤化學的인 面에서는 論土壤의 還元組成 加里 및 珪酸과 같은 無機養分の 增加, 地力窒素 및 施用窒素 效率增大 等の 研究가 遂行되었으며 土壤物理性에 미치는 影響에 對한 研究로서는 保水 保肥力, 粒團組成 및 土壤 空隙量 增大 等の 效果에 對한 研究가 實施되었다.

그리고 土壤微生物의 學인 面에서는 特히 炭素源이 豊富한 糞의 施用은 土壤의 有用微生物數의 增加와 活性增大 效果를 보였다. 또한 糞, 堆肥等의 有機物 施用은 論土壤中 窒素固定 微生物의 數 및 活性을 增大시켜 生物窒素固定量을 增大시켰다. 그리고 糞施用은 土壤中 Urease, Dehydrogenase, phosphatase 等 有效 酵素의 活性을 높이는 效果를 보였다.

한편 論土壤에서 水稻의 收量構成面에서 糞或은 堆肥等의 有機物 施用 效果는 大多數의 論土壤에서 增收의 效果를 보였지만 어떤 土壤은 顯著한 增收가 아닌 微微한 結果를 나타내었고 또한 排水가 不良 하던지 或은 冷水가 湧出되는 土壤과 低濕地等의 土壤에서는 減收의 結果를 나타낸 境遇도 적지 않았다. 特히 이와같은 減收의 效果는 堆肥보다 糞施用時 더욱 顯著하여 糞施用效果는 水稻 收量 增大面에서 아직 釋然치 않은 點이 多少 남아있는 것은 事實이다. 이와 關係한 點을 들어보면 土壤이 相異한 條件에서 糞의 分解樣狀과 分解產物의 集積과 放出의 差異, 土壤 養分の 均衡關係, 水稻生育 初期의 甚한 還元과 窒素飢餓, 또한 生育後期 登熟向上等은 明白히 밝혀두어야 할 必要性이 있다고 생각된다.

그런데 近來 農業人口의 減少는 農家堆肥 製造에 負擔을 加하게 하고 容積이 큰 糞과 같은 有機物 施用은 날로 忌避하려는 傾向이 있어 有機物 施用은 漸次 鈍化되는 趨勢에 있는것 같다.

따라서 農家の 化學肥料 偏重에 依한 地力 低下가 憂慮되는바 사뭇크다.

最近 이웃 日本의 例를 들면 米田⁶⁾는 現在 日本의 一部地域(琵琶湖, 霞ヶ浦 및 瀬戶內海)에서는 化學肥料 一邊度 營農方式으로 土壤 養分保存能의 弱화와 土壤微生物에 依한 靜化力의 低下로 論土壤에 施用된 窒素 및 磷酸 成分等이 湖沼 또는 內海로 流入되어 水道源의 着臭, 慮過障害, 魚貝類의 死滅 및 赤潮에 依한 避害는 回復할수 없는 큰 問題라고 指摘하고 있다. 그리고 農業用水의 水質 汚染은 農業從事者가 被害者라는 것이 從來의 通念이었으나 最近 河川이나 湖沼의 富榮 養化는 化學肥料 一邊度 多肥 集約農業의 觀點에서 加害者의 一員으로 責任을 묻지 않을수 없는 狀況에 있다고 記述하였다.

그러나 이 見解와는 反對로 一部 學者들 間에는 有機物 無用論이 抬頭되고 있다. 學者間의 見解를 綜合해 보면 田中⁴⁾等은 有機物 施用을 꺼울 리 하고 化學肥料만을 偏重하면은 從來에는 土壤이 致命的인 缺陷을 받아 回復 不能으로 되므로 事前에 地力培養을 하지 않으면 안된다고 主張하였다. 그러나 이 見解와는 反對로 山下⁵⁾와 草野²⁾等은 約 30年間 堆肥連用試驗 結果 堆肥等의 有機物 施用은 水稻의 收量 增收에 影響하였지만 이 效果는 有機物 만이 갖는 特有的 效果가 아니고 化學肥料의 代替로서 可能하다고 하였으며 三好³⁾는 水稻의 單位 面積當 收量은 增加되고 있는 反面 全國적으로 有機物 施用量이 減少하고 있는것은 有機物 施用 效果를 容易하게 補完해 줄수 있는 營農技術이 樹立되어 있기 때문이라고 하였다.

그런데 이웃 日本이나 우리나라 農民이 多收穫을 試圖할때 多量의 化學肥料만을 施用치 않고 適當量의 化學肥料와 많은 量의 堆肥 或은 糞을 반드시 施用함은 化學肥料만의 作用으로 水稻 多收穫은 期待하기 어렵다는 것은 반증한다. 勿論 이때 甚한 還元の 忌避, 適當한 물管理等의 注意가 必要하지 않은 것은 아니다.

近年 우리나라에서는 10 個年の 目標下에 農土 培養을 實施하고 있으며 또한 地力增進의 目的으로 有機物 施用을 政府에서 積極的으로 觀張하고 있어 此際에 有機物施用效果의 認識을 보다 確固히 確立하고 또한 有機資源의 再活用面에서 더욱 積極的으로 利用하기 위하여 1920年 以後 우리나라에서 實施된 有機物 資源別, 土壤種類別 施用方法 및 施用時期等의 지금까지 解析되지 못한 問題點을 課題로 삼아 檢討하기로 한다.

研究 結果

1. 有機物の 施用推移

1920年 부터 近年에 이르기까지 우리나라의 有機物の 施用推移 및 化學肥料 所要量을 보면 그림 1 과 같다. 논土壤의 有機物 施用량은 우

리나라의 肥料年鑑¹⁾에 依하면 1920年代는 主로 無肥料 栽培農家가 많았으며 自給肥料로서는 全耕地 平均 反當 300 kg 前後를 施用하였으며 그후 政府의 自給肥料 增産 施策에 따라 施用量이 漸次 增加하여 解放直前인 1944年度에는 反當 1,900 kg에 가까운 量을 施用하여 政府 樹立以後 最高 施用量을 記錄하였다. 그러나 解放以後 化學肥料 施用量의 增加와 더불어 自給肥料 施用量은 一時 鈍化되어 1950年度는 反當 800 kg 前後가 施用되었다. 그러나 數次에 걸친 政府의 農業增産 計劃에 따라 1955年度에는 1,400 kg을 施用하여 解放 以後 最高 施用量을 보였다. 그후 化學肥料 供給量 增加와 더불어 自給肥料 施用量은 漸次 鈍化되어 1970年度 以後는 全國 平均 反當 800 kg 程度가 施用되었다.

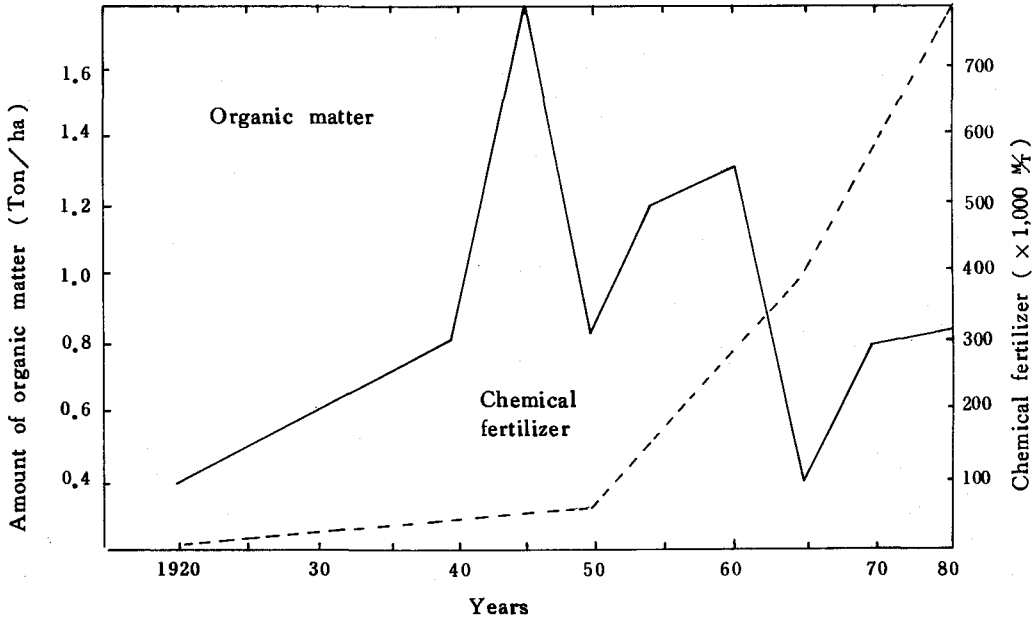


Fig. 1. Utilization of organic matter and chemical fertilizer

以上の 結果를 보면 自給肥料 爲主의 營農 時期는 現在 논土壤 有機物含量 目標值인 3.0%에 上廻 하였으나 金肥 施用量이 增加하던 時期에는 單位 面積當 自給肥料 施用量의 減少와 더불어 論土壤 有機物 含量도 함께 低下 傾向이었다.

2. 우리나라 論土壤의 有機物 現況

1974年 부터 1979年까지 肥沃度事業 早期完了計劃에 依한 論土壤 有機物含量 調査結果를 보면 그림 2와 같다. 論土壤의 有機物含量 分布比

率을 보면 1% 以下인 論土壤이 全논面積의 8%이며 1~2% 範圍가 31%, 2~3% 範圍에 있는 土壤이 35%이며 3~4% 範圍의 論土壤은 18%이다. 그리고 4% 以上인 有機物 全量을 가진 論土壤의 分布比率은 8%에 불과하였다.

以上과 같이 우리나라 論土壤의 有機物含量 分布比率은 適正 有機物含量 3%에 未達하는 論面積이 全논面積의 74%에 達하며 目標值 3% 以上의 論面積은 26%에 불과하였다.

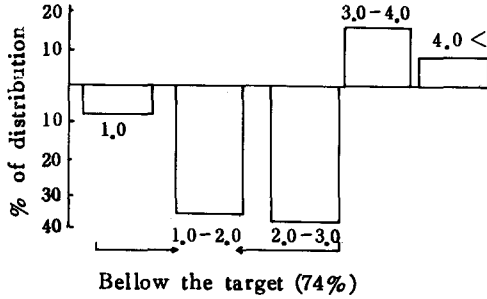


Fig.2. Distribution of organic matter in paddy soil.

3. 肥料源으로서 有機物 施用效果

1920年代 우리나라 논土壤에 주로 施用된 有機物源은 人糞尿, 堆肥, 廐肥, 糞稈類, 山野草, 柳枝, 動物糞, 米糠, 油粕, 魚粕 등이 施用되었다.¹⁾

그런데 當時 南韓의 水稻作 面積은 564千ha였으며 面積別 有機物 施用량은 多量施用時 800kg/10a 前後로 564ha였으며 中程度의 施用에 屬하는 土壤은 600kg/10a 內外로 1,314ha였으며 少量은 300kg 內外로 1,874ha이었다.¹⁾

한편 自給肥料 無施用 面積은 全논面積의 31.5%인 272千ha에 達하였다.¹⁾

1918년부터 1922년까지 5個年間 慶尙北道 育苗場에서 販賣된 有機質肥料의 肥效試驗 成績을 보면 그림 3과 같다.

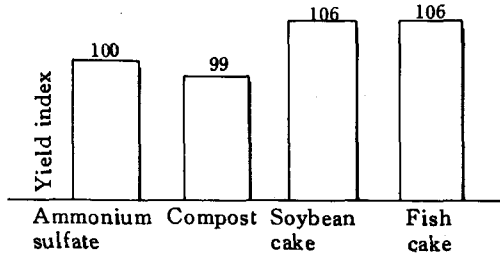


Fig.3. Effect of organic matter on the yield of brown rice.

硫酸으로서 窒素 6kg/10a 施用區의 正粗收量 110kg/10a을 對照區 收量으로 比較檢討해 보면 堆肥 750kg/10a 施用區는 對照區 收量과 비슷한 收量增收 效果를 보였고 大頭粕(窒素:6.7%, 磷酸:5.0%, 加里:0.5%)을 各 90kg/10a 施用時 106%의 增收 效果를 보였다.

한편 大豆粕과 魚粕 施用區의 增收 原因을 分析해보면 施用된 大豆粕 90kg 內에는 窒素 6kg,

磷酸 1.33kg, 加里 1.86kg이 各各 含有되어 있었다. 그리고 魚粕 90kg 內에는 窒素 7.4kg, 磷酸 4.5kg 및 加里 0.45kg이 各各 들어 있어 對照區의 窒素 6kg 單獨 施用時보다 磷酸과 加里가 增施된데 原因하지 않나 생각된다.

그리고 1920年 부터 1925年 까지 6個年間 勸業模範試驗場에서 實施한 有機物과 化學肥料 併用 效果試驗 結果를 檢討해 보면 그림 4와 같다.

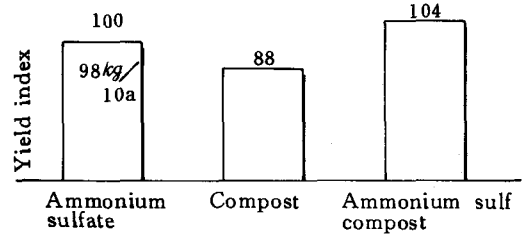


Fig.4. Comparison of ammonium sulfate and combination of ammonium sulfate and compost.

硫酸 單用區 收量 98kg/10a을 對照區로 하여볼때 堆肥 單用時는 對照區에 比하여 88%의 增收 效果만을 보여 對照區 收量보다 約 12%의 減收 效果를 보였다. 그런데 堆肥에 對照區와 同一量의 硫酸을 併用했을 때는 104%의 增收 效果를 나타내었다.

以上的 試驗 結果를 보면 水稻 收量 增收面에서 堆肥의 單獨效果 보다는 窒素 添加 效果가 더욱 높은것을 알수있었다.

그리고 1940年 부터 1968年 까지 實施된 有機物 種類別 水稻에 對한 增收試驗 結果를 檢討해 보면 그림 5와 같다. 全國 65個 試驗區에서 實施된 有機物 種類別 施用效果를 보면 對照區에 比하여 紫雲英 施用區는 同一한 收量을 보였으며 Vetch는 102%의 增收效果가 있었다. 그리고 全國 301個所에서 實施된 堆肥 施用區의 增收 效果는 綠肥인 紫雲英이나 Vetch類의 收量보다 높

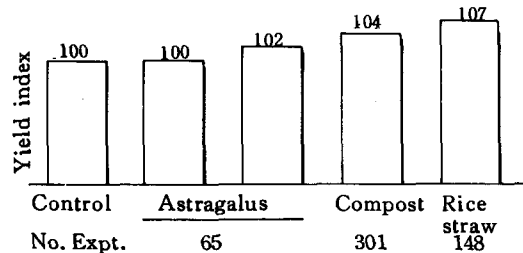


Fig.5. Effect of organic matter sources on the yield of brown rice.

은 104%의增收效果를 보였다. 또한 全國 148 個所에서 實施된 芻草 施用 效果를 보면 平均107%의增收效果를 보여 有機物 種類間 가장 높은增收效果를 나타내었다.

4. 有機物 施用方法別 效果檢討

1958年 부터 1963年 까지 6 個年間に 實施된 芻草 施用 效果를 地域別 農業氣候帶別, 土性別 或은 改良劑와의 併用 效果를 檢討해 보면 다음과 같다.

가. 芻草의 地域別 施用效果 : 全國에서 實施된 芻草 施用效果를 地帶別로 區分하여 檢討해 보면 表1과 같다. 地域은 北部와 南部 2 個 地域으로 大別하였으며 北部 地域은 鐵原을 中心으로한 山間과 富川을 中心으로한 京畿灣으로 區分하였다. 그리고 南部地域은 益山 金堤를 中心으로한 湖南平野와 達城, 慶山 및 密陽을 中心으로한 嶺南內陸 地域으로 區分하였다.

Table 1. Effect of rice straw in paddy soil on the different claimate area of rice cultivation.

Agricultural claimate area	Treatment	yield (brownrice) -kg/10a-	Index
Mountainous area	Control	395	100
	Autumn	435	110
	Early spring	438	111
	Late spring	422	107
Gyeonggi bay	Control	453	100
	Autumn	467	103
	Early spring	481	106
	Late spring	492	109
Honam Plain	Control	398	100
	Autumn	399	100
	Early spring	384	96
	Late spring	411	103
Yeongnam continental	Control	431	100
	Autumn	434	101
	Early spring	450	104
	Late spring	442	102

먼저 北部 山間地域의 水稻 收量成績을 보면 三要素 施用區에 比하여 芻草 秋耕時 施用區에서 110%의增收效果를 보였으며 早春耕時 施用은 111%, 그리고 再耕時 施用時는 107%의增收效果가 各各 있었다. 그리고 京畿灣은 秋耕時 施

用이 103%, 早春耕時 施用이 106%, 再耕時 施用은 109%의增收效果가 各各 있었다.

한편 南部 湖南平野에 있어서는 對照區에 比하여 秋耕時 施用이 對照區와 同一한 收量을 보였고 早春時期 施用은 오히려 4%의 減收 結果를 보였으며 再耕時 施用만이 104%의增收效果를 보였다. 그리고 嶺南內陸地域의 芻草 施用效果는 秋耕時 施用이 101%, 早春耕時 施用은 104%, 그리고 再耕時 施用은 102%의增收效果를 보였다.

以上の 芻草 施用을 地域別 施用時期別로 實施된 結果를 綜合해 보면 北部 山間地域에서는 施用時期가 빠를수록增收效果가 컸으며 南部 地域은 施用時期間 顯著한 收量增收 效果가 없어 移秧數週前에 施用하여도增收 可能하였다. 그리고 全國의으로 芻草의 施用 效果는 南部 溫暖地域 보다는 北部 寒冷한 地域에서 芻草 施用 效果가 더욱 큰것으로 나타났다.

나. 農業氣候帶別 芻草 施用效果 : 全國 149 個所의 農家圃場에서 實施된 芻草 施用效果를 農業氣候帶로 大別하여본 試驗結果는 表2와 같다. 芻草 施用의 平均 收量增收 效果는 105.5%를 나타내었으며 全國 平均收量의 指數 分布率은增收效果를 나타낸 것이 71.9%였으며 16.9%가 減收 效果를 보였고 나머지 11%는 對照區와 同一한 結果를 보였다.

한편 各 農業氣候帶別 芻草 施用 效果를 보면 湖南平野圈이 110%增收로 第一높은 效果를 보였으며 嶺南內陸圈이 102%의增收을 보여 가장 낮은 效果를 나타내었다. 그런데 湖南平野圈의 24 個 試驗地中 24%에 該當되는 試驗地에서 減收效果를 나타내었으며 66.7%의 試驗地는增收效果를 보였고 나머지 9%는 對照區와 同一한 收量을 나타내었다.

京畿灣의 芻草 施用效果는 平均 105%의增收效果를 보였는데 이중 約 29%의 試驗地에서 減收效果를 보였으며 約 66%의 試驗地에서增收效果를 나타내었다.

한편 芻草 施用效果가 가장 낮은 嶺南內陸圈의 試驗結果를 보면 19 個 試驗地中 約 21%의 試驗地에서 減收의 效果를 보였으며 72%는增收效果를 보였고 나머지 7%는 對照區 收量과 同一한 結果를 보였다.

以上の 農業氣候帶別 芻草施用效果는 平均 106%의增收效果를 보였으나 氣候帶別로 減收의 效

Table 2. Effect of rice straw in paddy soil on the different claimate area.

Claimate area	No. of Expt.	Index (Average)	Distribution (yield index)		
			>110	110-100	100<
Gonggi bay	38	105	7.9	57.9	28.9
Mountainous area	21	105	28.6	42.9	19.1
Chungnam contin.	18	106	27.8	57.1	5.6
Honam plain	24	110	33.3	33.4	25.0
Honam continent.	8	107	12.5	87.5	-
Yeongnam conti.	19	102	10.6	47.3	21.1
Easten coast	7	106	-	71.4	14.3
Southern part	14	105	7.1	50.0	21.1
Average		106	16.0	55.9	16.9

果를 나타낸 곳도 적지 않았다. 특히 京畿灣에서 가장 높았으며 湖南平野 嶺南內陸, 南部海岸圈에서는 20% 이상의 試驗地에서 減收의 效果를 나타내서 이 地域의 土壤條件, 農業環境等を 고려한 芻糞 施用方法이 研究되어야 할 것으로 생각된다.

다. 土性別 芻糞施用效果: 芻糞施用效果 實證 試驗이 實施된 148個 土壤을 土性別로 水稻收量 增收 效果를 檢討한 結果는 表3과 같다. 土性別 芻糞施用效果는 壤質土壤 106%, 壤質土壤 108%, 砂壤質土壤 103%, 그리고 砂質土壤에서 109%의 增收效果를 各記 나타내었다. 그런데 各土性中 壤質과 壤質土壤에서는 芻糞施用時 減收效果가 아주 낮았으나 特別히 砂質土壤에서는 增收의 效果도 높은 反面에 減收의 效果도 顯著히 높아 芻糞施用時 特別한 注意를 要하는 土壤으로 생각된다.

Table 3. Effect of rice straw in paddy soil on the different soil texture.

Texture	No. of Expt.	Average	Distribution (yield index)		
			>100	110-100	100<
Clayey	17	108	17.7	70.6	5.9
Silty clayey	47	106	21.2	55.3	17.0
Silty	17	108	23.5	76.5	-
Coarse loamy	60	103	12.7	45.0	30.0
Sandy	7	109	42.9	14.3	28.6

No. of Experiment: 148

특히 砂質土壤에서 低溫番, 冷水湧出番等의 土壤은 芻糞의 施用時期, 方法, 排水, 石灰 或은 珪酸物質의 併用等 補完措置가 있어야 할 것이다.

라. 芻糞施用時 地域別 改良劑 併用效果: 芻糞施用時 改良劑 併用效果를 알기 위하여 1958년부터 1980년까지 全國 95個 試驗地에서 實施된 試驗結果를 檢討한 成績은 表4와 같다.

Table 4. Effect of rice straw and silica in paddy soil on the different claimate area.

Claimate area	Soil ameliorate	No. of Expt.	Average of yield Index
Gyonggi bay	Lime	2	99.0
	Silica	7	104.5
Mountainous area	Lime	5	131.1
	Silica	5	134.5
Chungcheong Continental	Lime	5	108.7
	Silica	9	107.3
Honam plain	Lime	32	104.3
	Silica	21	99.8
Yeongnam Continental	Lime	8	107.6
	Silica	9	112.4
Average	Lime		110.1
	Silica		111.7

試驗地域은 北部, 中部, 南部로 區分하였으며 北部地域은 다시 京畿灣과 山間地方으로 나누었으며 中部地域은 忠淸內陸地方을 그리고 南部地域은 湖南과 南部內陸地方으로 區分하였다.

먼저 全試驗地 95個所中 芻糞施用時 改良劑 併用の 平均 增收效果를 보면 石灰 併用區에서 約 110%의 增收效果를 보였으며 珪酸은 112%의 增收效果가 있었다. 그런데 芻糞 單獨 施用效果

는 全國平均 107%로서 石灰와 珪酸을 併用할 때는 約 4%의 높은 增收效果를 나타내어 芻糞 單用時보다 石灰 或은 珪酸의 併用이 水稻 增收面에서 더욱 바람직 한것으로 생각된다.

그리고 各地域別로 芻糞 施用時 改良劑 併用效果를 檢討해 보면 北部 山間地方에서 石灰併用時 131.1%, 珪酸 併用時는 134.5%의 增收效果가 있었다. 그리고 京畿灣에서는 石灰 施用時 99%, 珪酸 施用時는 104.5%의 增收 效果를 各記 나타내었다.

南部 湖南地方은 石灰 併用時 104.3%, 珪酸 併用時 99.8%의 增收 效果를 보였다. 그리고 嶺

南內陸地方은 石灰 併用時 約 108%, 珪酸 併用時는 112%의 增收效果를 各記 보였다. 이와같이 芻糞 施用時 石灰 或은 珪酸等 改良劑의 施用은 芻糞施用 效果와 마찬가지로 南部溫暖地方 보다 北部 寒冷한 地方에서 效果가 높은것을 알 수 있었다.

마. 芻糞施用時 土性別 改良劑 併用效果: 芻糞施用時 土性別 改良劑 併用效果를 檢討해본 結果는 表5와 같다. 改良劑 併用 效果는 砂壤質과 砂質土壤에서 가장 높고 壤壤質과 壤質의 順으로 높은 效果를 보였다.

Table 5. Effects of rice straw and combination of soil conditioners on the yields of brown rice under different soil type.

Texture	Soil ameliorate	No. of Expt. (104)	Average	Distribution (yield index)		
				100 <	110 - 100	> 100
Clayey	Lime	5	100.6	-	80.0	20.6
	Silica	10	102.5	10.0	60.0	10.0
Silty clayey	Lime	34	104.8	14.6	55.9	20.5
	Silica	26	104.6	30.7	38.4	26.9
Coarse loamy	Lime	11	111.9	63.6	27.3	9.1
	Silica	14	108.0	42.9	35.7	21.4
Sandy	Lime	4	112.5	50.0	50.0	-
	Silica					

5. 有機物 施用效果의 發現機作

가. 芻糞에서 有效養分의 放出: 논土壤에 芻糞施用時 施用된 芻糞으로부터 放出되는 有機 및 無機養分을 알아보기 위하여 증류수에 約 20cm로切斷된 芻糞을 담가 徑時的으로 증류수內에 湛水 50日間 放出된 累積 有機 및 無機養分 含量을 보면 表6과 같다. 芻糞中 成分이 湛水期間中 放出되어 나오는 量은 珪酸, 加里, 糖類, 窒素, 苦土 및 石灰의 順으로 많은 量이 放出되었다.

그리고 湛水 期間中 各 成分의 放出量을 보면 珪酸은 供試 芻糞中 全珪酸含量 7,500mg中 43.3%인 3,256mg, 加里는 4,750mg中 18.5%인 925mg, 全糖은 7,500mg中 7.1%인 530mg, 全窒素는 850mg中 27.5%인 231mg, 苦土는 215mg中 43.3%인 93mg, 그리고 石灰는 總 214mg中 35.1%인 75mg이 各記 放出되었다. 그리고 湛水 日數別 各成分의 放出量은 全成分 모두 湛水 50日間 放出된 量의 90% 이

上이 湛水 20日 前後에 放出되었으며 特히 珪酸 및 加里는 湛水 10日頃에 大部分의 量이 放出되었다.

Table 6. Release of mineral nutrient from rice straw in the water during 50 days of incubation.

Minerals	Total (mg)	Released (mg)	%
Silica	7,500	3,256	43.4
Potassium	4,750	925	19.5
Total sugar	7,500	520	7.1
T - Nitrogen	850	231	27.1
Magnesium	215	93	43.4
Calcium	214	75	35.1

나. 논土壤에서 芻糞 施用時 施用窒素의 有機 및 無機化作用: 水稻 栽培期間中 芻糞 施用이 施用된 窒素에 어떻게 影響하는가를 알기 爲하여

1977年 全北統의 現地 農家圃場에서 重窒素가 標識된 硫安을 施用하여 窒素의 有機 및 無機化 作用에 對한 試驗結果는 表7과 같다. 出穗期 供試土壤中의 全窒素含量은 平均 267.5 kg/10a였는데 그중 無機態 窒素含量은 0.44 kg/10a로 全窒素의 約 0.2%에 불과했으며 그의 含量은

有機態 窒素로 存在하였다. 한편 各處理別 施用된 窒素의 存在 形態를 보면 ^{15}NPK 施用區는 全無機態 窒素 0.68 kg/10a中 2.4%에 該當되는 0.02 kg/10a이 施肥된 窒素로부터 由來되었다.

Table 7. Effect of rice straw in the paddy soil on the changes of mineralization and immobilization of soil nitrogen.

Treatment	T - N (kg/10a)	Mineral - N			Organic - N		
		Fer - N	Soil - N (kg/10a)	Ratio	Fer. - N	Soil - N (kg/10a)	Ratio
^{15}NPK	269.1	0.02	0.66	2.40	2.58	266.5	0.97
$^{15}\text{NPK} + \text{rice straw}$	265.2	0.01	0.17	1.70	4.57	260.3	1.72

한편 벼짚 施用區에서는 全無機態 窒素含量 0.18 kg/10a中 1.7%인 0.01 kg/10a이 施用된 窒素로부터 由來된 窒素였으며 나머지 0.17 kg/10a은 土壤窒素로부터 由來된 窒素였다.

이를 미루어 보아 全無機態 窒素中 施用된 窒素의 存在比率는 ^{15}NPK 單用區는 2.4%, 그리고 벼짚 施用區는 1.7%로써 벼짚을 非土壤에 施用하므로써 土壤中 無機化된 窒素量은 顯著히 적었다.

한편 土壤中 有機態 窒素의 含量을 보면 ^{15}NPK 單用區는 全窒素 269.1 kg/10a의 0.97%인 2.58 kg/10a의 窒素가 施用된 窒素로부터 有機化되어진 窒素였으나 벼짚 + ^{15}NPK 施用區에서는 全

有機態 窒素 265.2 kg/10a에 對한 1.72%인 4.57 kg/10a의 窒素가 施用된 窒素로부터 有機化되어졌다. 이를 미루어 보면 ^{15}NPK 單用時보다 벼짚을 施用하므로써 地力窒素의 增加가 顯著하였다.

다. 벼짚施用과 土壤還元發達: 非土壤中 벼짚 施用時 土壤의 還元發達이 土壤化學成分에 어떻게 影響하며 또한 收量增收와는 어떠한 關係가 있는가를 알기 爲하여 全國 11個 農家圃場에서 벼짚 施用效果試驗을 實施하고 또한 室內에서 還元 및 無機成分과의 關係를 調査한 結果를 보면 그림 6 및 7과 같다.

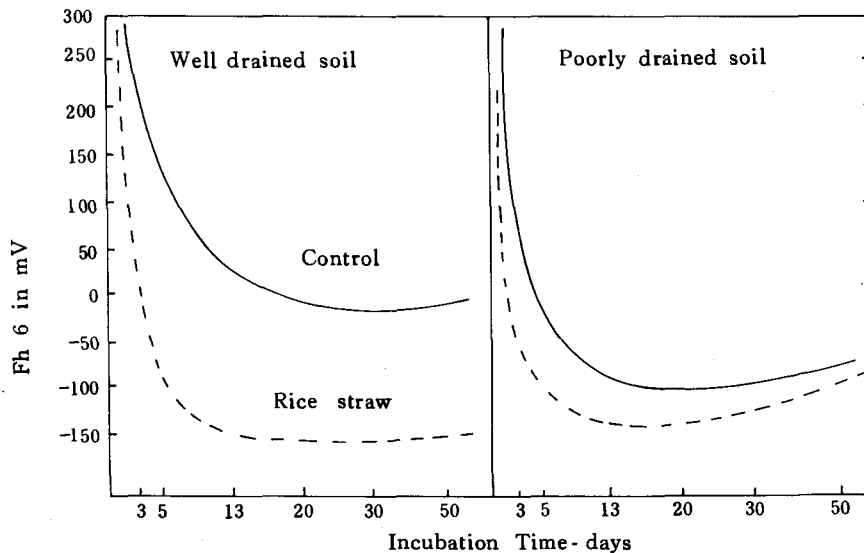


Fig. 6. Changes of oxidation-reduction potential in submerged soil with and without application of rice straw under moderately well to well and poorly drained soil.

土壤의 排水程度가 良好한 土壤에서는 灌水初期 還元發達이 늦어져 0 mV 前後로 되어있으나 벼짚을 施用하므로써 土壤還元은 急激히 發達하였다. 그러나 排水不良한 土壤에서는 벼짚 無施用區와 施用區間의 還元程度 差異는 排水良好한 土壤과 顯著한 差異를 보였다. 즉 排水不良地는 有機物 施用에 依한 還元發達 差異가 顯著하지 못하였다. 한편 그림 7 에서와 같이 土壤의 還元發達과 水稻

收量 增收關係를 보면 Eh₆ 가 OmV에서 -100 mV 附近에서 水稻收量이 가장 높았는데 이는 벼짚을 施用하므로써 土壤의 適當한 還元組成을 維持시켜 磷酸, 加里, 珪酸等 有效養分の 增加에 其因된 것으로 생각된다. 또한 그림 2 에서 土壤還元과 磷酸의 有效度 關係를 보면 Eh₆ OmV에서 -100 mV 附近에서 磷酸의 有效度가 顯著히 增加되었다.

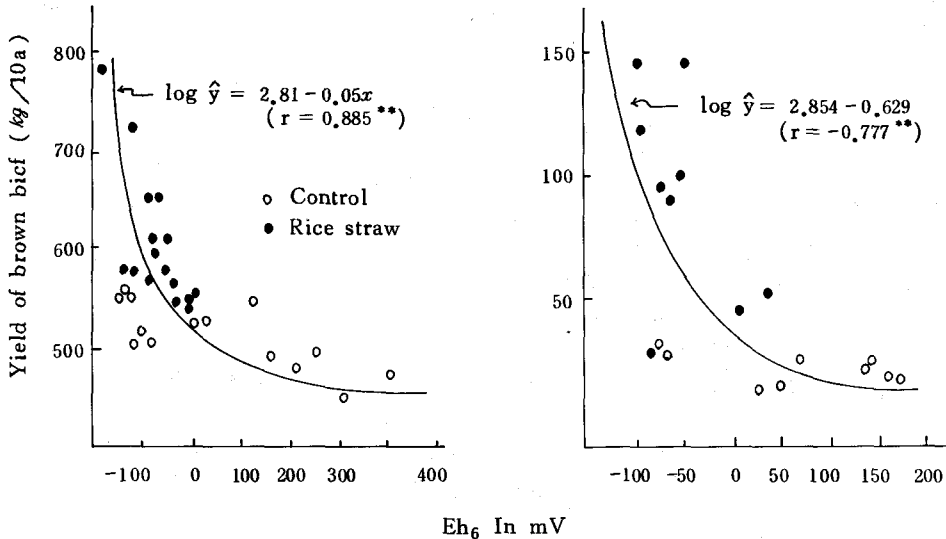


Fig.7. Relationship between redox potential and rice yield, and redox potential and available soil phosphorus on each of incubation time.

6. 논土壤 有機物含量과 窒素放出 樣狀

가. 논土壤 類型別 有機物含量 및 收量關係 調査 : 논土壤 有機物含量別 窒素 無機化量 및 收量 關係를 보기 爲하여 1980年 24個 論土壤을 供試하여 無窒素 施肥下에서 Pot 試驗한 結果를 보

면 表 8 과 같다. 논土壤 類型別 平均 有機物 含量은 普通畓 3.0%, 未熟畓 2.0%, 砂質畓 1.0% 그리고 濕畓이 2.5%였다. 그리고 全質素 含量은 普通畓 0.18%, 未熟畓 0.12%, 砂質畓 1.0% 그리고 濕畓이 0.16%였다.

Table 8. Amount of brown rice yield and ammonification of soil nitrogen on the different soil form.

Soils	No. of Expt.	O - M (%)	T - N (%)	Amount amm.- N (mg/100g)	Amount of soil N absorbt.			yield (g/pot)
					Tillers	Grain	Total	
H. P. S.	7	3.0	0.18	6.52	222	260	482	25.5
Unpaddyfied	5	2.0	0.12	2.57	139	170	309	17.0
Sandy	7	1.0	0.10	2.70	166	180	346	12.2
Poorly drained soil	5	2.5	0.16	6.41	230	230	460	20.9

* H. P. S.: High productive soil.

그런데 地力窒素로부터 放出되어 作物에 吸收 利用될 수 있는 無機態 窒素의 無機化量을 보면 風 乾土 100 g 當 普通畝에서는 6.52 mg, 砂質畝 2.70 mg, 未熟畝 2.57 %, 濕畝이 6.41 mg으로 ammonia-N의 無機化量은 有機物이 많은 土壤에서 많았다. 따라서 植物體中 窒素 吸收量과 正粗收 量 역시 土壤有機物 含量과 Ammonia-N의 無 機化量이 많은 土壤에서 많았다.

한편 土壤有機物과 6N HCl 可溶性 窒素含量의 相關關係를 보면 그림 8과 같다. 논土壤에서 6N HCl에 可溶되는 窒素의 含量은 土壤有機物 含量과 正의 높은 相關關係를 보였다. 6N-HCl 可溶性 窒素는 大體로 Amino酸, Amino糖 등의 窒素에 由來되는 것으로 논土壤 有機物로 부터 放出되는 窒素中 70~80%가 이들 形態의 窒素 인것을 미루어 볼때 논土壤 有機物含量은 地力窒 素의 增加面에서 대단히 重要하다고 생각된다.

畝土壤中 6N 鹽酸 可溶性 窒素含量과 水稻體 中 窒素 吸收量, 收穫期 分蘗數 및 收量과의 關 係를 보면 그림 9와 같다. 논土壤中 6N 可溶性 窒素含量이 增加할수록 收穫期 植物體中 窒素吸 收量, 出穗期 分蘗數 및 收량이 增加되는 傾向 을 보였다.

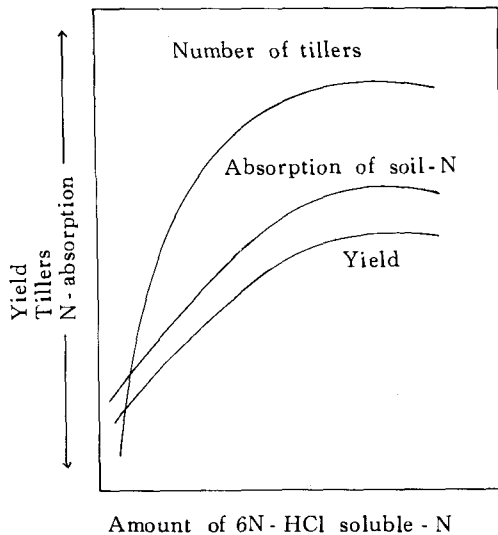


Fig. 8. Effect of soil nitrogen on the changes of yield of brown rice, amount of soil nitrogen absorption and number of tillers.

그런데 6N 鹽酸 可溶性 窒素含量과 分蘗數, 窒 素吸收量 및 收량의 最高點은 100~120 mg/100 g 이었는데 이 含量은 土壤 有機物含量 2.5~3.0

%에 相當하는 量이었다.

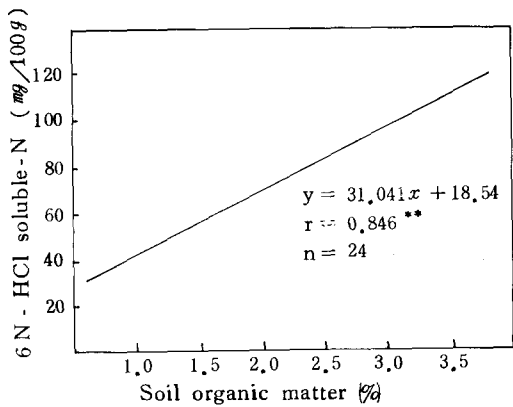


Fig. 9. Relationship between soil organic matter content and release of 6N-HCl soluble nitrogen.

따라서 그림에서와 같이 窒素吸收量, 分蘗數 및 收량은 可溶性 窒素含量이 어느程度까지 增加할 수록 增加되나 그 限界를 넘으면 오히려 低下되 는 것을 볼때 地力窒素의 自然 供給量이 많으면 많을수록 土壤生産力이 比例的으로 增大된다고 하기는 어렵다.

土壤有機物含量別 灌水 恒溫 溫度에 따른 Ammonia態 窒素의 放出樣狀을 보면 그림 10과 같다. 灌水恒溫 期間中 Ammonia態 窒素 累積發 生量은 土壤의 有機物 含量이 많고 恒溫 溫度가 높을수록 더욱 增加되는 結果를 보였다.

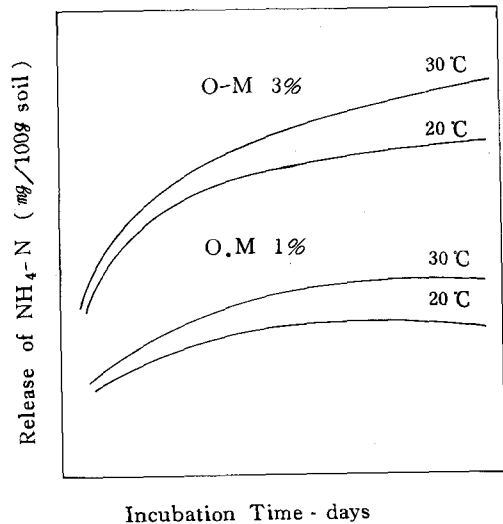


Fig. 10. Release of soil ammonium nitrogen in different amount of soil organic matter under controlled temperature.

7. 논土壤에 有機物施用과 土壤微生物 活用과 의 關係

벼짚施用이 논土壤 遊離窒素固定 微生物의 窒素固定作用에 어떻게 影響하는가를 알고저 室內試驗한 結果를 要約하면 그림 11과 같다. 벼짚施用 位置別 窒素固定量은 水稻 1作期間 벼짚 無施用區의 1.5 mg/100g 에 比하여 벼짚 全層施用區에서 3.2mg, 그리고 甚層施用區에서 4.6mg/100g 을 보였다. 이와같이 벼짚施用區에서 窒素固定量이 많은것은 表 6에서 言及한바와 마찬가지로 벼짚中의 可溶性 糖類와 無機養分等이 窒素固定微生物의 Energy 및 營養源 供給 增大에 基因된 것으로 생각된다.

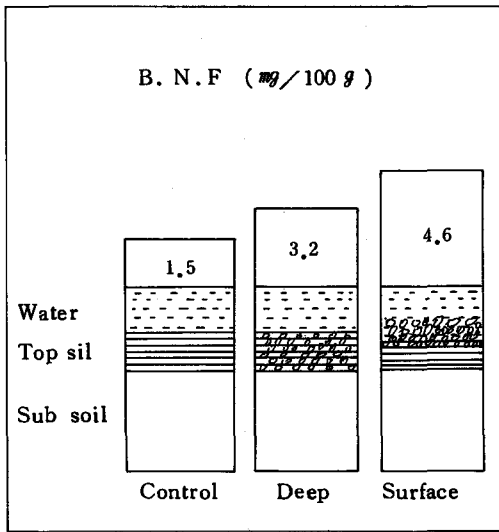


Fig.11. Effect of rice straw application on the activities of heterotrophic nitrogen fixation.

그리고 벼짚의施用 位置別로 窒素固定量이 相異한 것은 全層施用時는 主로 他養性 窒素固定微生物 即 細菌에 依한 固定作用이며 表層施用時 窒素固定量 增大는 主로 光合成 細菌 或은 藻類에 依한 窒素固定量의 增大인 것으로 생각된다.

또한 벼짚施用時 土壤酵素의 作用에 어떻게 影響하는가를 알고저 室內試驗한 結果를 보면 그림 12와 같다. 벼짚施用은 土壤의 酸化還元酵素인 Dehydrogenase 나 Urease의 活性을 顯著히 增加시켜 土壤化學性 및 土壤生物性을 좋게할수 있는 基本으로 생각된다.

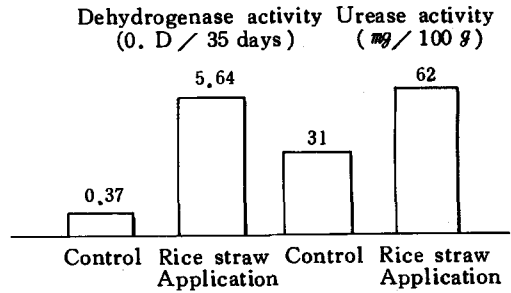


Fig.12. Effects of rice straw application on the change of soil enzyme activities.

結 論

過去 50年間 우리나라 논土壤에 施用된 有機物의 種類는 堆肥 및 糞釋類를 비롯하여 糞尿, 大豆粕, 魚粕等이었으며 綠肥로서는 紫雲英과 Vetch類가 主種을 이루었다.

有機物의 施用量은 境遇에 따라 相異했으나 最高 1,900 kg/10a에서 最低 300 kg/10a 라고 記錄되어 있으며 數年間은 無肥料 條件에서 營農이 維持된적도 있었다.

全國에서 實施된 有機物 施用效果를 資源別로 보면 對照區 收量에 比하여 堆肥施用時 104% 벼짚施用時는 107%의 增收效果를 보였으며 綠肥는 對照區 收量과 類似한 效果를 나타내었다.

그런런데 有機物의 種類間 效果 檢討에서 堆肥는 土壤의 種類, 施用時期, 土城等의 環境變化에 大差없이 安定 增收가 可能하였지만 벼짚施用은 土壤의 種類, 施用時期 및 地域에 따라 收量 增減의 幅이커 벼짚施用上 補完措置가 要求되었다.

土壤別 벼짚施用 效果는 壤質系 土壤에서 높았고 砂質系의 排水不良畚, 濕畚 或은 冷水湧出畚에서는 減收의 效果가 顯著하여 벼짚施用上 注意를 要하였다.

벼짚의 施用時期는 水稻栽培期間中 大體로 南部 溫暖地域에서는 主로 再耕時에 多少 높은 增收效果를 보였으며 中北部 山間地方에서는 收穫直後 或은 早春耕時 施用效果가 顯著하였다.

벼짚施用時 水稻增收效果 發現 原因은 大體로 土壤 還元發達이 微弱한 土壤에 還元組成을 일으켜 磷酸, 加里, 珪酸等 無機養分의 供給增大와 더불어 有機物中의 豐富한 炭素源은 窒素固定微生物等 有用微生物의 活性 增大을 갖어왔고 또한 有效 酵素의 活性을 높인에 基因된 것으로 생각된다.

参 考 文 献

1. 肥料年鑑. 1979. 韓國肥料工業協會 發行.
32-60.
2. 草野 秀. 1975. 土に有機物はなぜ必要か 肥料 農業レボト. 69:9-23.
3. 三好 洋. 1979. 堆肥と土壤管理, 農業および園藝 54巻10號: 1203-1208.
4. 田中 明. 1979. 稻わら中の窒素とエネルギーの再利用. 日土肥誌 46:328-332.
5. 山下鏡一. 1978. 水田における有機物の効果と問題點. 土肥誌. 49:52-60.
6. 米田 茂男. 1980. 農業排水による肥料成分の排出機器(1). 農業および園藝. 55(10): 1211-1226.
7. 吉野 實. 1976. 最近における有機農業の問題點を探る. 農業および園藝. 51(4): 483-485.