

新開墾傾斜地 土壤改良과 作物生育에 關한 研究 Ⅵ. 土壤의 物理化學性 年次間 變化가 옥수수 青刈收量에 미치는 影響

許 奉 九 · 金 武 成*

The Soil Improvement and Plant Growth on the Newly-Reclaimed Sloped Land

Ⅵ. Relationship between annual changes of soil physico-chemical properties and yield of silage corn

Bong-Koo Hur and Moo-Sung Kim*

Summary

This study was experimented to obtain the basic information on the changeable aspect and improvement of soil fertility in newly-reclaimed sloped land. Silage corn was cultivated under the six different treatments for 4 years. The relation between the amount or ratio of annual changes of soil physico-chemical properties and yield of silage corn were analyzed.

Soil bulk density was decreased in 3rd year at topsoil, but that decreased in 4th year at subsoil. Soil organic matter also decreased in 2nd year at topsoil, and decreased continuously at subsoil. Bulk density and hardness of soil depths showed significant negative simple correlation with dry matter yield and cation exchange capacity showed positive. Correlation coefficient of chemical properties with dry matter yield were low.

The range of annual changes of moisture percent, hardness and organic matter were wider than the other properties. The significantly different of physical properties were higher than the chemical properties, and those of topsoil were higher than subsoil.

According to multiple regression between yield and physico-chemical properties of subsoil, bulk density and cation exchange capacity were in the greatest contribution at the variations, but bulk density was greatest at the ratios.

I. 緒 論

作物收量の 増大를 爲한 肥沃度를 決定짓는 土壤의 物理化學性은 氣象, 生物, 地形, 地下構造, 管理方法 및 時期等의 作用을 받아 變化되며^{1, 15, 18, 20)} 그 變化는 環境條件과 平衡을 이루기 爲하여 尙상 繼續되며 機械的으로 作物을 支持하고 營養分을 供給하여 生育을 良好하게 하는 特性이 있다^{9, 14)}. 이같은 特性에는 外部的인 影響뿐 아니라 物理化學性 相互間에도 上昇

作用이나 下降作用이 있어서^{2, 4)} 土壤物理性은 粒子의 크기와 分布度, 表面積, 強度, 粒子의 化學性 및 含有된 有機物의 量과 性質에 따라서 달라지며^{6, 11)} 土壤의 化學性도 土壤母材에 따른 混合된 鑛物의 粗成比나 風化度, 水分含量, 生物遺體의 有無 및 肥培管理等에 左右된다^{12, 13)}. 그러나 同一한 圃場에서 同一한 耕種法으로 同一한 作物이 連作될때에는 그 變化幅이 比較的 적다.

新開墾地의 耕種法은 一般熟田과는 달리 多肥密植

慶熙大學校 大學院 農學科(Dept. of Agronomy, Graduate School, Kyung Hee Univ., Suweon, 449-701, Korea)

*慶熙大學校 産業大學(College of Industry, Kyung Hee Univ., Suweon 449-701, Korea)

하는 傾向이 있으며 早期에 熟田化시키기 爲하여 土壤改良劑를 多量 施用하나 肥沃度 增進에 따른 增收率이 낮는데 이는 灌溉水 不足에 따른 潛在地力의 利用도가 낮고 傾斜에 따른 浸蝕 및 流失이 甚하여^{16,17)} 土壤의 物理化學性이 쉽게 惡化되기 때문이다⁹⁾.

本研究은 新開墾地에서 靑刈用 옥수수를 4年間 栽培하면서 이에따른 肥沃度 變化樣相 究明과 地力 增進을 爲한 基礎資料를 얻고자 年次間의 土壤物理化學性 變化와 靑刈收量과의 關係를 檢討하였다.

II. 材料 및 方法

供試土壤은 傾斜가 20%인 松汀 壤土로서 1985年 봄에 原地形 開墾方法으로 開墾하였으며 試驗前 土壤의 肥沃度는 表 1 과 같이 一般開墾田보다는 약간 높은 편이었다.

處理內容은 前報에서와⁵⁾ 같이 20 cm 耕耘과 三要素 標準施肥만한 對照區와 堆肥 1.5 ton/10a, 三要素 標準施肥量의 30% 增施, 25 cm 深耕, 礮砂 3 kg/10a 및 石灰(pH 6.5 中和量)를 施用한 綜合改良區를 包含하여 6個 處理區를 두었다.

供試品種은 옥수수 水原 19號로서 開墾後 3年間은 改良劑를 處理하고 4年次에는 改良處理없이 三要素만 施用하여 殘效를 보았다. 窒素, 磷酸, 加里는 20 : 15 : 15 kg/10a 比率로 施用하였는데 N 과 K₂O 의 半量은 追肥로 分施하였다. 5月 上旬에 8,800本/10a을 播種하여 中耕除草 및 病虫害防除을 徹底히 하였으며 9月 上旬에 收穫하였다.

土壤物理性 調査와 試料採取는 每年 9月 上旬 收穫直前に 하였으며 容積密度와 水分含量은 2인치 core로, 硬度는 山中式 硬度計로 表土, 心土別로 各各 三反復으로 測定하였다. 土性은 Hydrometer 法으로, 土壤化學性 分析은 農業技術研究所의 標準分析法으로, 生育과 收量調査는 農村振興廳의 農事試驗研究

調査基準에 依하였다.

III. 結果 및 考察

土深別 物理化學性 變化와 年次別 處理間의 平均 値를 表 2 에서 보면 容積密度는 表土에서 3年次에 낮아졌으나 心土에서는 4年次에 낮아졌다. 이와같이 殘效期間인 4年次에 容積密度가 表土에서 높아지고 心土에서 낮아진 것은 深耕이나 堆肥施用이 없었기 때문에 心土보다는 表土의 物理性이 쉽게 惡化된 結果라고 볼 수 있다.

土壤硬度는 表土가 2年次에 낮아졌으나 心土는 4年次에 낮아졌는데 이는 옥수수가 深根性이고 葉面積이 넓어 收穫期때의 土壤硬度가 他作物에서 보다 낮은데 原因된 것으로 생각된다. 水分含量은 年次間에 一定한 傾向이 없었는데 이는 收穫當時의 降雨의 影響도 크겠으나 每年 耕耘의 反復에 의해서 土壤中 氣相率의 增加때문이며 4年次의 水分增加는 物理性 惡化에 따른 氣相率 減少때문이라 생각된다.

土壤의 pH는 表土에서는 繼續 낮아졌고 心土는 3年次에 낮아졌다. 有機物含量도 2年次에 낮아졌으며 心土에서는 계속 낮아졌다. 陽이온 置換容量은 年次間에 큰 差異는 없으나 心土에서는 계속 낮아졌다. 殘效를 본 4年次의 化學性은 前年度보다 같거나 낮아져서 化學性이 크게 惡化되는 것은 아니었으며 年次間의 物理性은 5% 水準에서 有意差를 보였으나 化學性은 有意差가 낮았다.

表 3 은 年次間 處理別로 옥수수 乾物收量을 本것으로서 全體의으로 2年次에 收量이 낮았고 4年次에서 크게 낮아졌는데 이는 對照區, 堆肥區 및 綜合改良區의 順으로 殘效가 크게 떨어진데 기인된 것으로 생각되며 이에반해 改良劑 持續效果가 긴³⁾ 石灰區가 有效化가 늦은 磷酸을 增施한 磷酸區의 收量은 큰 差異가 없었다. 그러나 試驗期間中의 平均收量은 對

Table 1. Physico-chemical properties of soil before experment.

Depth	Hardness (mm)	Bulk density (g/cm ³)	Texture (USDA)	pH (1:1)	OM (%)	Lime requirement (kg/10a)	K Ca Mg CEC			
							----- (me/100g) -----			
Topsoil	16.8	1.31	L	4.83	1.41	214	0.17	3.78	0.27	9.1
Subsoil	23.4	1.47	L	4.65	1.24	363	0.21	2.93	0.21	8.4

Table 2. Annual change of soil physico-chemical properties by different soil depths.

Year	Bulk density		Hardness (mm)		Moisture (%)		pH (H ₂ O 1:1)		OM (%)		CEC (me/100g)	
	T*	S*	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
1st	1.18c	1.32d	10.8c	13.4d	22.6a	23.2a	5.1a	5.0a	2.0a	1.0a	7.7b	7.3b
2nd	1.20a	1.35c	9.6d	16.9c	19.9b	21.2b	5.0b	5.0b	1.6c	1.7b	7.7a	7.3a
3rd	1.15d	1.46a	11.7b	23.6a	14.9d	16.4d	5.0b	4.8d	2.0b	1.7b	7.5d	7.2c
4th	1.19b	1.38b	12.9a	20.5b	16.0c	17.2c	4.8c	4.9c	20.ab	1.5c	7.6c	7.0d

T* : Topsoil, S* : Subsoil

*Values within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 3. Annual change of dry matter yield of silage corn.

Treatment	1st year	2nd year	3rd year	4th year	Average
Control	1121f	1108c	1240d	859d	1082e
Compost	1380e	1358bc	1409cd	977d	1281d
Subsoiling	2050b	1858b	1936b	1689b	1883b
Phosphate	1765c	1535bc	1539c	1437c	1569c
Lime	1701d	1631bc	1636c	1585b	1638c
Integrated-improvement	2521a	2820a	2816a	1896a	2513a

*Values within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 4. Correlation between dry matter yield and annual change of soil physico-chemical properties.

Soil properties	Depth	1st year	2nd year	3rd year	4th year	Total
Bulk density (g/cm ³)	T*	-0.019	-0.903**	-0.880**	-0.876**	-0.433**
	S*	-0.644**	-0.708**	-0.597**	-0.843**	-0.495**
Hardness (mm)	T	-0.596**	-0.541*	-0.727**	-0.705**	-0.545**
	S	-0.272	-0.789**	-0.813**	-0.758**	-0.309**
Moisture (%)	T	0.040	0.282	-0.182	0.690**	0.201
	S	0.57*	0.526*	0.369	-0.753**	0.343**
pH (1:1)	T	-0.737**	0.258	0.808**	0.389	0.143
	S	-0.763**	0.621**	0.690**	0.301	0.084
OM (%)	T	0.281	0.108	0.354	0.681**	0.175
	S	-0.693**	-0.093	0.170	0.409	0.003
CEC (me/100g)	T	0.822**	0.532*	0.688**	0.273	0.542**
	S	0.930**	0.721**	0.882**	-0.602**	0.628**

T*:Topsoil, S*:Subsoil.
*, **:Significant at p=0.05, 0.01.

照區에 비하여 綜合改良區에서 1.5 倍의 增收效果가 있었다. 石灰區와 磷酸區는 비슷했으며 深耕區의 增收率도 對照區에 비해 74%로 높았다.

年次別로 乾物收量과 土壤의 物理化學性間的 相關係數를 보면(表 4) 有意성이 높은 容積密度와 硬度는 表土, 心土 모두 負의 相關이 있었으며 陽이온 置換容量은 正의 相關이 있었다.

그러나 土壤水分, 有機物含量 및 pH 와는 有意성이 낮았다. 以上の 結果에서 土壤의 物理性은 耕作年數가 많아질수록 改善되는 傾向이나 化學的 特性 變化에는 一定한 傾向이 없었다.

全體的으로 表土에서는 硬度가 心土에서는 陽이온 置換容量이 有意성이 높았으며 化學性보다는 物理性이 더 有意성이 높았는데 이는 物理性 改善이 先行되고 化學性 改良과 綜合的으로 改良한다면 더 큰 增收效果가 있을 것으로 생각한다.

土深別 物理化學的 特性間的 相關係數(表 5)는 表土의 경우 特히 土壤硬度和 陽이온 置換容量이 物理化學性과 相關係數가 높았다. 心土에서는 表土보다 全體的으로 土壤特性 相互間的 相關係數가 높았는데

表土에서와 같이 土壤硬도가 가장 높았고 陽이온 置換容量은 容積密度와 水分含量과만 有意성을 보였다.

心土의 物理化學性 相互關係가 表土보다 높은것은 心土는 物理化學性에 作用하는 外部의 여러가지 影響을 적게 받으며 또 그 變化幅이 表土에서 보다 적기 때문이며 이같은 結果로 보다 心根性인 옥수수 栽培時에는 深耕이나 深層施肥를 하는것이 效果的이라고 생각한다.

表 6 은 土壤의 物理化學的 特性의 年次間 變化率을 나타낸 것인데 이들 表에서 S1, S2, S3 年은 各各 前年 對比 今年의 變化率을 表示한 것으로 改良處理가 없었던 S3 年의 物理性中 水分含量과 硬度가 變化幅이 컸고 化學性中에는 有機物含量에서 變化幅이 컸다. 이는 土壤改良을 中斷했을때 쉽게 變化되는 性質을 나타낸 것으로서 土壤改良에는 深耕과 有機物의 繼續的인 施用이 效果의임을 알 수 있다. 年次間的 有意성은 化學性보다는 物理性이 더 높았으며 表土보다는 心土의 有意성이 더 높았다.

表 7 은 이러한 物理化學性의 年次間 變化와 收量の 變化率과의 相關關係를 나타낸 것으로서 S1, S2 年은

Table 5. Correlation matrix among soil physico-chemical properties and silage yield by different soil depths (n=72).

Subsoil	Topsoil	Bulk density	Hardness	Moisture	pH	OM	CEC	Yield
Bulk density			0.194	-0.123	-0.188	-0.178	-0.209	-0.433**
Hardness	0.718**			-0.381**	-0.229	0.232*	-0.475**	-0.545**
Moisture	-0.659**	-0.672**			0.220	0.047	0.314*	0.201
pH	-0.225	-0.418**	0.101			0.042	-0.205	0.143
OM	0.097	-0.348**	0.108	0.393**			0.233*	0.175
CEC	-0.443**	-0.215	0.445**	-0.172	0.058			0.542**
Yield	-0.495**	-0.309**	0.343**	0.084	0.003	0.628**		

*:Significant at 5% level, **:Significant at 1% level.

Table 6. Annual change of ratios of soil physico-chemical properties by different soil depths.

Year	Bulk density		Hardness		Moisture		pH		OM		CEC	
	T*	S*	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
S1	1.033 ^a	1.025 ^b	0.908 ^c	1.289 ^b	0.880 ^b	0.914 ^b	0.993 ^a	0.994 ^b	0.773 ^c	0.887 ^b	1.009 ^a	1.008 ^a
S2	0.959 ^b	1.084 ^a	1.265 ^a	1.392 ^a	0.796 ^c	0.810 ^c	0.998 ^a	0.970 ^c	1.368 ^a	1.038 ^a	0.967 ^b	0.986 ^b
S3	1.039 ^a	0.940 ^c	1.097 ^b	0.871 ^c	1.081 ^a	1.051 ^a	0.961 ^b	1.011 ^a	1.007 ^b	0.874 ^b	1.016 ^a	0.977 ^c

* Values within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

T*:Topsoil, S*:Subsoil.

有意성이 없었으나 S3년에 心土의 硬度 및 有機物含量과 表土의 有機物含量과 有意성이 높았으며 全體적으로 收量과의 有意성은 뿌리의 伸長이나 發達 및 養分의 有效化에 影響이 큰 容積密度가^{10, 19)} 가장 높고 心土의 硬度 및 表土의 有機物含量, 陽이온 置換容量과의 相關이 높았다.

石灰施用에 따른 토양 pH 變化和 옥수수 收量과는 有意성이 높은 것으로 알려져 있으나 本試驗에서는 pH가 낮은 新開墾地 土壤에 石灰를 每年 施用하여 土壤을 改良해 주었기 때문에 pH가 5.0~5.1 範圍를

維持하여 直接的인 相關關係보다는 石灰施用은 pH 上昇, 土壤中 養分의 有效化나 根에 依한 養分吸收를 좋게 하였을 것으로 생각된다.

옥수수 收量에 對한 物理化學性的 寄與度를 보기 爲하여 表土, 心土別로 變化量과 變化率을 表 8에서 보면 變化量에 있어서는 表土에서 容積密度, 硬度 및 陽이온 置換容量 모두 寄與도가 컸으며 心土에서는 硬度만이 적었다. 그러나 變化率は 表土에서 陽이온 置換容量만이 컸으며 心土에서는 容積密度만이 寄與도가 컸는데 李等은⁷⁾ 6年根 人蔘收量에 對한 寄與

Table 7. Correlation between the ratios of dry matter yield and ratios of annual change of soil physico-chemical properties.

Soil properties	Depth	S1 year	S2 year	S3 year	Total
Bulk density (g/cm ³)	T*	-0.080	-0.214	-0.310	-0.258*
	S*	0.235	-0.168	0.156	0.489**
Hardness(mm)	T	0.055	-0.224	0.379	0.054
	S	-0.037	-0.143	0.627**	0.521**
Moisture(%)	T	0.204	0.274	-0.126	-0.212
	S	0.350	0.254	-0.281	-0.195
pH(1:1)	T	0.088	-0.247	-0.178	0.105
	S	0.072	0.040	0.218	-0.075
OM(%)	T	0.054	0.267	0.654**	0.290*
	S	0.333	-0.077	0.485*	0.208
CEC(me/100g)	T	0.153	0.137	-0.413	-0.278*
	S	0.041	0.237	0.021	0.127

T*:Topsoil, S*:Subsoil, *, **:Significant at p=0.05, 0.01.

Table 8. Multiple linear regression between yields and variations or ratios of annual change(RAC) of the soil physico-chemical properties.

Depth	Relation	R	Regression coefficient				F-value	SPRC		
			C	X ₁	X ₂	X ₃		X ₁	X ₂	X ₃
Topsoil	Variation	0.698**	2,091.750	-1,833.990	-91.696	364.059	21.509**	-0.302**	-0.335**	0.320**
	RAC	0.360**	2.471	-0.429	-0.029	-1.066	2.476	-0.228	-0.043	-0.263*
Subsoil	Variation	0.673**	-1,057.810	-1,366.830	-1.617	643.915	18.761**	-0.260*	0.510**	0.320**
	RAC	0.558**	-0.660	0.831	0.160	0.575	7.549**	0.357**	0.221	0.176

X₁:Bulk density, X₂:Hardness, X₃:Cation exchange capacity

SPRC:Standard partial regression coefficient

*, **:Significant at p=0.05, 0.01.

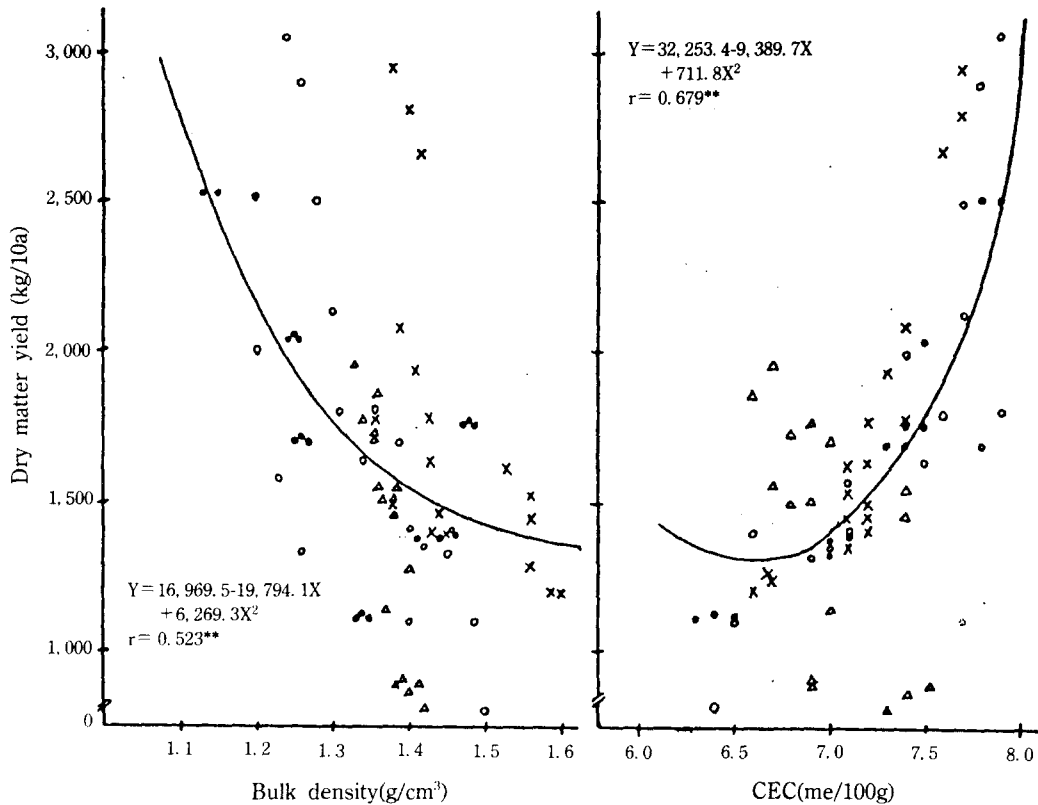


Fig. 1. Relationship between dry matter yield of silage corn and soil bulk density or cation exchange capacity of subsoil(● 1985, ○ 1986, × 1987, △ 1988 year).

도는 孔隙率과 粒團이 가장 컸다고 報告한바 있다. 全體의으로 收量에 對한 物理化學性的 寄與度는 變化量이나 變化率에서 모두 1% 水準에서 有意差를 보였다.

그림1은 옥수수 乾物收量과 心土의 容積密度 및 陽이온 置換容量과의 關係를 2次 回歸로 본것인데 容積密度가 1.1 g/cm³에서 1.6 g/cm³으로 높아짐에 따라 乾物收量은 減少되었으며 1年次에는 相關係數가 $r=0.872$, 2年次 0.718 , 3年次 0.601 , 4年次에 0.843 으로 모두 1% 水準에서 有意성이 있었으며 陽이온 置換容量 6.6 ml /100g에서 乾物收量이 가장 적고 8.0 ml /100g으로 增加함에 따라서 急速히 增加되었으며 이를 年次別로 보면 1年次에는 相關係數가 $r=0.986$, 2年次 0.730 , 3年次 0.970 , 4年次 0.662 로서 陽이온 置換容量도 1% 水準에서 有意성을 보였다. Vepraskas는²¹⁾ 뿌리의 伸長에 支障을 招來하여 生育을 不良하게 하는 容積密度는 砂土, 壤質砂土, 砂壤土 및 砂質壤土에서 各各 1.85, 1.82, 1.81 및

1.80 g/cm³라고 報告하였다. 以上の 結果를 綜合的으로 考察하여 볼때 新開墾地 土壤을 改良하기 爲해서는 容積密度를 낮춰주는 物理性改良과 陽이온 置換容量을 높일수 있는 化學性改良을 並行한 綜合的인 改良法이 옥수수 靑刈收量을 增大시킬 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 摘 要

新開墾傾斜地에서 靑刈用 옥수수를 4年間 栽培하면서 肥沃度 變化樣相과 地力增進을 爲한 基礎資料를 얻고자 年次間의 土壤物理化學性 變化量 및 變化率과 靑刈收量과의 相關關係를 年次別로 比較 檢討한 結果는 다음과 같다.

1. 土壤의 容積密度는 表土에서 3年次に 낮아졌으나 心土에서는 4年次に 낮아졌으며 有機物含量은 表土의 경우 2年次に 낮아졌으나 心土은 繼續 낮아졌다.

2. 年次別 옥수수 乾物收量과 土壤의 物理化學性과 相關係數는 容積密度와 硬度는 表土 및 心土 모두에서 負의 相關이 있었고 陽이온 置換容量과는 正의 相關이 있었다. 그러나 土壤의 化學的 特性과 乾物收量間에는 낮은 相關關係가 있었다.

3. 土壤水分含量과 硬度 및 有機物含量은 年次間에 變化幅이 컸고 年次間的 有意性은 化學性보다는 物理性이 그리고 表土보다는 心土의 有意性이 더 높았다.

4. 옥수수 乾物收量에 對한 心土의 物理化學性 寄與度는 變化量에 있어서는 容積密度 및 陽이온 置換容量이, 變化率에 있어서는 容積密度가 크게 寄與하였다.

V. 引用文獻

1. Angers, D. A, B. D. Kay, and P. H. Groenevelt. 1987. Compaction characteristics of a soil cropped to corn and brome grass. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 779-783.
2. Alexander, E. B. 1980. Bulk densities of California soils in relation to other soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:689-692.
3. Beacher, R. L, D. Longenecker and F. G. Merkle. 1952. Influence of form, fineness, and amount of limestone on plant development and certain soil characteristics. Soil Sci. 73(1):75-82.
4. De Kimpe, C. R, M. Bernier-cardou and P. Jolicoeur. 1982. Compaction and settling of Quebec soils in relation to their soil-water properties. Can. J. Soil Sci. 62:165-175.
5. 許奉九, 金武成, 趙仁相, 嚴基泰. 1989. 新開墾傾斜地 土壤改良과 作物生育에 關한 研究. II. 土壤改良이 物理性改善과 青刈用 옥수수 生育에 미치는 影響. 韓土肥誌 22(2):86-92.
6. Kawano, Y, and W. E. Holmes. 1958. Compaction tests as a means of soil structure evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:369-372.
7. 李壹鎬, 陸昌洙, 朴 薰. 1989. 土壤理化學性的 年次變化가 人蔘收量 및 缺株率에 미치는 影響. 韓土肥誌 22(1):18-24.
8. Lee, K. W and W. H. Chang. 1986. Alternatives to use forest land in Korea:99-113. Korea-china bilateral symposium on reclamation and soil conservation of sloped farm land.
9. Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. in Soil Science 1:277-294. Springer-Verlag N. Y. Inc.
10. Meek, B. D, E. A. Rechel, L. M. Carter and W. R. Detar. 1988. Soil compaction and its effect on alfalfa in zone production systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:232-236.
11. 美園繁. 1963. 土壤의 三相構造와 保水量との關係について. 日土肥誌 34(2):53-56.
12. Milford, M. H, G. W. Kunze and M. E. Bloodworth. 1961. Some physical, chemical, and mineralogical properties of compacted and adjacent soil layers in coarse-textured soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:511-515.
13. Mullins, G. L and J. H. Edwards. 1987. Effect of fertilizer amendments, bulk density, and moisture on calcium and magnesium diffusion. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1219-1224.
14. Reigner, I. C. and J. J. Phillips. 1964. Variations in bulk density and moisture content within two New Jersey coastal plain soils, lakeland and lakehurst sands. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:287-289.
15. Sakurai, Y, K. Satoh, K. Takase and K. Onaga. 1985. Changes in soil physical properties effecting on erosion on shifting cultivation land in Iriomote island. Inter. Symposium on erosion, debris flow and disaster prevention:39-44. Tsukuba, Japan.
16. 佐藤見一. 1983. 山間傾斜地の農地開發と土中環境. 日農土誌 51(7):627-632.
17. Sato, K, Y. Sakurai and K. Takase. 1984. Soil loss and runoff characteristics of shifting cultivation land in Iriomote island. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability: 147-153. Hawaii, USA.
18. Swan, J. B, M. J. Shaffer, W. H. Paulson and A. E. Peterson. 1987. Simulating the effects of soil depth and climatic factors on corn yield. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1025-1032.
19. Thompson, P. J, I. J. Jansen and C. L. Hooks. 1987.

- Penetrometer resistance and bulk density as parameters for predicting root system performance in mine soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1288-1293.
20. Uhland, R. E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:361-366.
21. Vepraskas, M. J. 1988. Bulk density values diagnostic of restricted root growth in coarse-textured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1117-1121.