

土壤燻蒸劑 處理가 2年生 人蔘의 生育과 化學的 組成에 미치는 影響

安 龍 濬* · 金 鏡 泰* · 金 明 秀* · 崔 承 允**

Effect of soil fumigation treatment on the growth and the chemical composition of Korea ginseng, *Panax ginseng* C.A. Meyer

Y.J Ahn*, Y.T Kim*, M. S Kim*, S.Y Choi**

Abstract

These experiments were conducted to investigate some effects of the soil fumigants Dow-fume MC-2, Cylone, TeloneC-17, and D-D on the growth response of the Korea ginseng(two-year old), *Panax ginseng* C.A. Meyer, and the chemical composition of the plants.

Fumigant treatment increased growth of roots, stems, and leaves. The increase of root growth rates ranging from 2.8 to 58.7% in fresh weight and 8.1 to 63.8% in dry weight were observed in the 2-year old ginseng plants grown in the old ginseng soil treated with the different soil fumigants.

The chemical analysis of inorganic elements such as N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, and Zn was made for the roots, stems and leaves of the 2-year old plants. The increases or decreases of content of the elements were observed, and their contents of each of the elements were changed with the kind of fumigants, part of the plants, and soil depth of the fumigant treatments, but their changing tendencies were not steady.

緒 言

農作物에 被害를 주는 線虫에 關心을 갖게 된 것은 1930年 以後이며, 外國에서는 線虫被害의 重要性에 비추어 오늘날 土壤燻蒸劑의 使用은 거의 普遍化되고 있는 實情이다. 따라서 燻蒸劑使用에 關한 研究도 活潑히 進行되고 있지만, 그 大部分이 各種 燻蒸劑의 線虫 防除效果^{2,5,16,17}, 燻蒸劑의 作用機作⁶, 土壤의 理化學的 性質에 미치는 影響^{1,16,22,25} 및 土壤微生物相에 미치는 影響^{3,13,14,15,23} 등에 關한 研究가 主從을 이루고 있다. 燻蒸劑를 處理하였을때 作物의 生育 및 化學的 組成에 미치는 影響을 對象으로한 研究는 극히 적은 것으로 알고 있다.

燻蒸劑를 土壤에 處理하였을 때, 燻蒸劑의 理化學的 性質, 施用藥量과 方法, 土壤의 類型, 氣候의 條件, 作物의 種類 및 老幼에 따라 作物의 生育에 對한 反應이 달리 나타나고 있는데, 燻蒸劑處理時 生育이 促進되거나 收量이 增加되는 現象을 Martin등¹⁵은 "additional growth response"라고 하였다.

燻蒸劑處理에 依한 作物의 生育促進이나 收量增加 現象에 對해서는 많은 研究者에 依하여 몇가지 假象이 提示되고 있는데, 이들의 報告를 綜合하여 보면, 燻蒸劑의 作物에 對한 直接的인 刺戟¹⁰, 燻蒸劑에 依한 土壤微生物相의 變化^{3,12,13,23}, 土壤內 植物營養分の 增加^{11,21,26}, 土壤의 無機化合物組成의 變化^{1,22}, 土壤內 有用 有機化合物의 生成 또는 毒物質의 破壞^{7,20} 등을 들고 있다.

*高麗人蔘研究所 : Korea Ginseng Research Institute, Seoul, Korea.

**서울大學校 農科大學 : College of Agriculture, Seoul Nat'l Univ., Suweon, Korea.

燻蒸劑處理에 依해서 土壤에 不利한 影響을 주어 作物의 生育이나 發芽抑制, 收量減少 등의 現象이 나타나기도 하는데 이는 處理된 燻蒸劑가 土壤內에 擴散하는데 充分한 時間的인 餘裕가 없었다든가, 또는 燻蒸劑處理에 依한 土壤의 水溶性 또는 置換性 微量要素의 過多形成에 그 原因이 있는 것으로 解釋되고 있다^{1,3,4,22},

人蔘의 無機成分에 關한 研究는 많은 研究者에 依하여 報告된바 있으나, 燻蒸劑處理에 依한 人蔘의 化學的 組成의 變化에 關한 研究는 찾아 볼 수 없고, 단지 人蔘圃에서 根腐病 防除와 連作障害 解消策으로 Chlorpicrin, Vapam 등의 試驗報告^{8,9,13}) 된바 있으나, 크게 實用化되지 못하고 있는 實情에 있다.

이에 著자들은 D-D外 3種의 土壤燻蒸劑를 人蔘의 連作上에 15cm, 30cm깊이로 處理하였을때 2年生人蔘의 生育과 化學的組成에 미치는 影響을 調査함으로써 人蔘圃에서의 土壤燻蒸劑 使用 可能性 여부를 檢討하여 이에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

1979年 10月에 6年生人蔘을 採掘, 이듬해 3月 7日에 D-D, Telone C-17, Dowfume MC-2, Cylone(有效成分 및 含量은 表 A에 나타있음)을 각기 15cm, 30cm 깊이로 注入器를 使用, 3cm 間隔으로 所定藥量을 處理하고 覆土鎖壤한 後 4日間 비닐로 덮어 處理하였다. 4日後 비닐을 벗기고, 3日 間隔으로 土壤을 뒤엎어 燻蒸劑를 淺散시켜 주었으며, 4月 1日에 專賣廳 人蔘發行耕作法에 準하여 苗蔘을 值付하였다. 8月 19日에 試料로 採取하여 地上部 및 地下部の 生育을 調査한 後, 60°C 熱風乾燥器에서 5日間 乾燥시켜 乾物重을 測定한 다음 Cutting mill로 分碎한 後 化學成分分析에 使

Table A. Active ingredient and application rates of fumigants to be tested.

Fumigant	Active ingredient		Dose rate per 10a
Dowfume MC-2	Methyl bromide	98%	200g
	Chloropicrin	2%	
Cylone	Methyl bromide	14%	43.2l
	Chloropicrin	32%	
Telone C-17	1,3-dichloropropene	76.3%	43.2l
	Chloropicrin	17.1%	
D-D	1,3-dichloropropene	55%	21.6l
	1,2-dichloropropane	25%	

用하였다.

試料는 1g씩 秤量하여 H₂SO₄-H₂O₂로 濕式分解하였으며, 窒素는 Kjeldahl法¹⁸⁾으로 測定하였고, 磷은 Ammonium meta Vanadate法²¹⁾으로 比色定量하였으며 K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe는 Instrumentation Atomic Absorption Spectrophotometer를 使用, 原子吸光分析法으로 定量하였다.

結果

D-D外 3種의 土壤燻蒸劑를 人蔘의 連作土에 15cm, 30cm 깊이로 處理하였을때 2年生人蔘의 地上下部 生育에 미치는 影響을 調査한바 그 結果는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이, 燻蒸劑의 種類, 處理 깊이, 人蔘의 部位에 따라 燻蒸劑에 대한 生育의 反應이 달리 나타나고 있는데, 燻蒸劑處理區가 無處理區에 比하여 地上下部의 生育 增加現象을 보이고 있는데, 地下部の 乾物重의 경우, 無處理區에 比하여 8.1~63.8%의 增加現象을 보였다. 한편, 藥劑間의 差異에서 보면, Dowfume MC-2>Telone C-17>Cylone>D-D 順으로 增加現象을 나타내었다. 이들 供試燻蒸劑의 處理깊이에 따른 生育反應에는 큰 差異를 보이지 않았다.

Table 2는 燻蒸劑를 處理하였을 때, 2年生人蔘의 化學的組成의 變化를 나타낸 것으로 燻蒸劑의 種類, 處理 깊이, 人蔘의 部位에 따라 그 反應이 달리 나타나고 있다.

窒素와 磷의 含量은 地上下部에서 燻蒸劑處理區가 無處理區에 比하여 增加하였으나, 칼슘의 경우에 있어서는 오히려 減少하는 傾向을 보였다. 加里의 경우에 있어서는 地下部에서는 含量이 減少하였으나 地上部에서는 增加하였다.

微量要素의 경우에 있어서는, 地上下部에서 나트륨과 亞鉛의 含量은 燻蒸劑處理區와 無處理區間에는 커다란 差異를 보이지 않았으나, 鐵과 망간의 경우에는 燻蒸劑處理區에서 增加現象을 보였다. 그러나 이들 供試燻蒸劑의 處理깊이에 따른 人蔘部位別의 無機成分의 含量에는 큰 影響을 미치지 못하였다.

考 察

以上은 D-D外 3種의 土壤燻蒸劑를 人蔘의 連作土에 15cm, 30cm깊이로 각각 處理하였을때, 2年生人蔘의 生育과 化學的組成에 미치는 影響을 調査한 것이다.

燻蒸劑處理에 依한 作物의 生育促進이나, 收量增加

Table 1. Effect of fumigant treatment on the growth of 2year-old ginseng, *Panax ginseng* C. A. Meyer

Plant part	Fumigant	Depth	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Moisture (%)	Length (cm)	Diameter (cm)	Area (cm ²)	Flavour
Root	Dowfume MC-2	15	4.03	1.33	67.0	10.9	0.90	—	none
		30	5.01	1.54	69.3	11.8	1.00	—	none
	Cylone	15	3.65	1.00	71.0	9.0	0.89	—	none
		30	3.86	1.20	68.9	9.4	0.89	—	none
	Telone C-17	15	3.84	1.12	70.8	10.2	0.86	—	none
		30	3.85	1.25	67.5	9.6	0.85	—	none
	D-D	15	3.25	1.02	68.6	8.2	0.83	—	none
		30	3.30	1.10	66.7	8.4	0.83	—	none
	Control		3.16	0.94	70.3	8.2	0.83	—	none
	Stem	Dowfume MC-2	15	0.39	0.09	76.9	8.5	0.19	—
30			0.46	0.09	80.4	8.8	0.24	—	—
Cylone		15	0.32	0.06	81.3	8.2	0.21	—	—
		30	0.34	0.06	82.4	7.9	0.20	—	—
Telone C-17		15	0.31	0.06	80.6	7.4	0.21	—	—
		30	0.26	0.06	76.9	7.3	0.20	—	—
D-D		15	0.26	0.06	76.9	6.4	0.18	—	—
		30	0.31	0.06	80.6	6.4	0.18	—	—
Control			0.35	0.08	77.1	8.5	0.21	—	—
Leaf		Dowfume MC-2	15	0.74	0.31	58.1	—	—	94.65
	30		1.08	0.35	67.6	—	—	88.52	—
	Cylone	15	0.74	0.23	68.9	—	—	71.06	—
		30	0.70	0.29	58.6	—	—	74.20	—
	Telone C-17	15	0.67	0.27	59.7	—	—	77.23	—
		30	0.62	0.26	58.1	—	—	63.57	—
	D-D	15	0.60	0.22	63.3	—	—	61.61	—
		30	0.63	0.24	61.9	—	—	67.58	—
	Control		0.66	0.28	57.6	—	—	69.89	—

現象의 對峙는 많은 研究者에 依하여 報告되고 있는데, Martin 등¹⁵⁾은 이와 같은 效果를 "additional growth response"라고 하였다.

本 實驗에서도 煙蒸劑를 處理하였을때, 煙蒸劑의 種類와 處理깊이에 따라 地上下部の 生育反應이 달리 나타나고 있는데, 煙蒸劑處理區가 無處理區에 比하여 地上下部の 生育增加 現象을 보이고 있으며, 藥劑間의 差異에서는 Dowfume MC-2>Telone C-17>Cylone>D-D 順으로 增加現象을 나타내었으나, 處理깊이에 따른 生育反應에는 큰 差異를 보이지 않았다.

이와 같이 藥劑에 따라 生育反應이 달리 나타나고 있는데, 이것은 供試煙蒸劑의 理化學的 性質의 差異에 依한 것이라고 생각된다.

農業의 使用은 人畜에 對한 毒性 및 殘留毒, 各種

環境汚染問題 등 여러가지 副作用을 惹起시키고 있는데, 最近, 農藥의 惡臭가 收穫物에 남아 惡臭를 發現한다든가, 또는 農藥使用으로 因해서 作物의 生理的 變化를 惹起시켜, 奇形이 된다거나 해서, 品質低下를 가져오는 경우가 많이 報告되고 있으나, 그 原因에 對해서는 아직 밝혀지지 않고 있는데, 本 試驗의 結果에서 보면 煙蒸劑處理에 依한 惡臭現象은 없었다. 農藥使用에 依한 作物의 質的變化에 對해서는 Mahoney¹²⁾에 依하여 詳細히 review, 報告되어 있다.

Table 2의 結果에서 보면, 藥劑의 種類 處理깊이에 따라 2年生 人蔘部位의 化學的組成에 差異를 나타내고 있는데, 地上下部の 경우에 있어서 煙蒸劑處理區가 無處理區에 比하여 窒素와 燐酸의 含量이 增加하고 있지만, 칼슘의 경우에 있어서는 오히려 減少하는 傾向을

Table 2. Effect of fumigant treatment on the chemical constituents of the 2-year-old ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) grown in old ginseng soil.

Plant part	Fumigant	Pepr	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	
Root	Dowfume MC-2	15	2.23*	0.67	1.43	0.11	0.13	0.05	100	54	63	
		30	2.46*	0.64	1.49	0.11	0.12	0.07	110	58	60	
	Cylone	15	2.73	0.72	1.40	0.11	0.12	0.05	100	104	71	
		30	2.73	0.68	1.39	0.10	0.14	0.08	133	130	62	
	Telone C-17	15	2.98	0.65	1.35	0.10	0.13	0.07	180	127	67	
		30	2.48	0.61	1.30	0.09	0.11	0.05	130	88	55	
	D-D	15	2.61	0.72	1.39	0.11	0.13	1.07	128	88	54	
		30	2.58	0.70	1.36	0.13	0.13	0.07	100	80	45	
	Control			2.23	0.51	1.55	0.12	0.15	0.06	100	80	73
	Stem	Dowfume MC-2	15	0.68	0.18	1.32	1.12	0.14	0.12	40	30	66
			30	0.91	0.11	1.46	0.92	0.13	0.15	30	10	62
		Cylone	15	0.81	0.27	1.53	0.29	0.13	0.11	50	50	88
30			1.12	0.25	1.96	0.92	0.16	0.18	90	30	64	
Telone C-17		15	0.79	0.26	1.49	1.04	0.15	0.17	80	30	72	
		30	0.81	0.27	1.48	1.00	0.13	0.13	50	30	64	
D-D		15	0.78	0.18	1.52	0.92	0.16	0.20	80	45	78	
		30	0.75	0.18	1.52	0.92	0.16	0.20	70	40	78	
Control			0.60	0.11	1.04	1.00	0.12	0.10	34	10	50	
Leaf		Dowfume MC-2	15	2.43	0.40	1.29	1.32	0.23	0.03	890	237	45
			30	2.73	0.33	1.56	1.52	0.27	0.08	563	196	33
		Cylone	15	3.01	0.40	1.55	1.31	0.27	0.03	830	351	54
	30		3.08	0.31	1.35	1.44	0.28	0.04	513	550	28	
	Telone C-17	15	2.88	0.35	1.08	1.46	0.29	0.04	637	510	39	
		30	2.83	0.39	1.30	1.29	0.23	0.03	595	343	36	
	D-D	15	2.69	0.35	1.64	1.41	0.27	0.04	620	323	53	
		30	2.65	0.34	1.68	1.41	0.27	0.04	585	290	52	
	Control			2.26	0.31	0.98	1.60	0.25	0.03	537	233	28

보였으며, 加里의 경우에 있어서는, 地下部에서는, 含量이 減少하였으나, 地上部에서는 增加하였다. 微量元素의 경우에 있어서는 망간과 鐵의 경우 燻蒸劑處理區에서 增加하였으나, 亞鉛과 나트륨의 경우에는 커다란 差異를 나타내지 않았다. 또한 燻蒸劑處理에 의한 無機成分含量에는 커다란 差異를 보이지 않았다.

以上の 試驗結果는 Tam 등²⁵⁾, Martin 등¹⁵⁾의 試驗結果와 비슷한 傾向을 보이고 있는데, Martin 등¹⁵⁾은 D-D外 4種의 土壤燻蒸劑를 감귤 連作地土壤과 初作地土壤에 處理하였을 때, 燻蒸劑 處理區의 生育反應은 一定하지만, 地上下部의 化學的 組成은 一定치가 없음을 報告하였는데, 감귤 連作地에서는 燻蒸劑處理區에서 無處理區에 比하여 감귤 苗木의 生育이 10~87%增加

하였으며, 감귤 苗木의 生育은 低濃度에서 보다 高濃度에서 크게 促進되었다고 하였다. 또한 化學的 組成의 差異에 있어서는 칼슘과 마그네슘의 含量이 약간 增加하였고, 때로는 加里의 含量이 增加하거나 硫黃의 含量이 약간 減少함을 보이고 있지만 기타 無機成分의 含量에는 커다란 差異가 없었다고 하였으며, 處理區에 따른 無機成分含量에 있어서도 差異가 없음을 報告하였다.

燻蒸劑處理에 의한 作物의 生育促進이나 收量增加現象에 對해서는 많은 研究者에 依하여 몇가지 假說이 提示되고 있는데, 이들의 報告를 綜合하여 보면 燻蒸劑의 作物에 對한 直接的인 刺戟¹⁰⁾, 燻蒸劑에 依한 土壤微生物相의 變化^{3,10,14,23)}, 土壤內 植物養分の 增加¹¹⁾,

24, 26), 土壤의 無機化合物 組成의 變化^{1, 22)}, 土壤內 有用 有機化合物의 生成 또는 毒物質의 破壞^{7, 20)} 등을 들고 있는데 本 試驗結果에서 보면, 燻蒸劑處理區에서 無處理區에 比하여 無機成分의 含量이 약간 增加하고는 있지만, 燻蒸劑處理에 依한 2年生人蔘의 生育促進現象을 燻劑處自體의 直接的인 刺戟에 依한 것이라고 보기는 어렵고, 間接的인 刺戟에 依한 것으로 보는 것이 妥當할 것 같다. 즉 燻蒸劑處理時, 燻蒸劑 또는 그 分解產物이 土壤微生物相에 影響을 미침으로써 이들에 依해 維持되고 있는 土壤內 植物營養分의 循環過程에 어떠한 變化를 준것에 그 原因이 있거나. 또는 燻蒸劑處理에 依한 土壤의 理化學的 性質에 變化가 생겨 그것이 人蔘의 生育에 有利한 影響을 주지 않았나 생각되나 이 問題에 對해서는 追後 營養生理學의 見地에서 檢討되어야 할 것으로 본다.

또한 人蔘은 예로부터 漢方에서 神祕의 靈藥으로 認識되어 왔으며 近來, 歐美 各國에서 健康食品으로서 그 需要가 增加하고 있는데, 燻蒸劑處理에 依해 收穫物이 惡臭을 발한다든가, 人蔘中에 殘留가 되어 品質을 低下시키는 경우가 있으므로 人蔘圃에서의 使用 可能性 여부에 對해서는 이들에 對한 研究가 先行되어야 기다 人蔘 栽培區들과의 競争에서 有利한 高地를 占할 수 있다고 생각된다.

摘 要

D-D外 3種의 土壤燻蒸劑를 人蔘의 連作土에 15cm, 30cm 깊이로 處理하였을때 2年生人蔘의 生育과 化學的 組成에 미치는 影響을 알아보기 위해서 本 試驗을 實施하였다.

1980年 3月 7日 處理, 4月 1日 移植, 8月 19日에 採取하여 根, 莖, 葉으로 나누어 一般 無機成分(N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn)을 分析한마 그 結果는 다음과 같았다.

1. 燻蒸劑處理가 2年生人蔘의 地上下部의 生育을 促進하였는데, 地下部 生體重의 경우 2.8~58.4%, 乾物重의 경우 8.1~63.8% 增加하였다.

2. 地上下部의 窒素와 磷酸의 含量은 燻蒸劑處理區에서 無處理區에 比하여 增加하였으나, Ca의 경우에는 오히려 減少하는 傾向을 보였다. K의 경우에 있어서는 地下部에서는 含量이 減少하였으나, 地上部에서는 增加하였다.

3. 微量要素의 경우에 있어서는 Mn, Fe의 含量은 燻蒸劑處理區에서 增加하였으나, Na, Zn의 含量에는 큰 影響을 미치지 못하였다.

4. 燻蒸劑의 處理깊이(15cm, 30cm)에 따른 差異에

서 보면 2年生人蔘의 生育과 化學的 組成에는 別다른 差異를 볼 수 없었다.

引用文獻

1. Aldrich, D.G., and J.P. Martin. 1952. Effect of fumigation on some chemical properties of soils. *Soil Sci.* 73: 149-159
2. Chitwood, B.G. 1941. Soil treatments with volatile liquids for control of nematodes. *Phytopath.* 31: 1023-1030
3. Dalton, F.H., and C. Hurwitz. 1948. Effect of volatile disinfectants on survival of microflora in soil. *Soil Sci* 66: 233-238
4. Fujimoto, C.K., and G.D. Sherman. 1948. Mang anese availability as influenced by steam sterilization of soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 40: 527-534
5. Godfrey, G.H. 1935. Experiments on the control of the rootknot nematode in the field with chloropicrin and other chemicals. *Phytopath.* 25: 67-90
6. Goring, C.A.I. 1967. Physical aspects of Soil in relation to the action of soil fungicides. *Ann. Rev. Phytopath.* 5: 285-318
7. Greig-Smith, R. 1911. Bacteriotoxin and agriccere of soil. *Centbl. Bakt. (II)* 30: 552
8. 洪淳根, 金鴻鎮. 1975. 連作障害 防除試驗, 試驗 研究報告書, 中央專賣技術研究所. 889-897
9. _____, _____. 1976. 連作障害 防除試驗, 試驗研究報告書, 中央專賣技術研究所. 847-855
10. Koch, A. 1889. Über die Ursachen der Rebenmüdigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Schwefelkohlenstoffe. *Arb. Deut. Landw. Gesello, Bd.* 40: 7-44.
11. Kopeloff, N., and D.A. Coleman. 1917. A review of investigations in soil protozoa and soil sterilization. *soil Sci.* 3: 197-269
12. Mahoney, C.H. 1960. Flavor and quality changes in fruits and vegetables in the United States caused by application of pesticide chemicals. *Residue review* 1: 11
13. Martin J.P. 1948. Effect of fumigation, fertilization, and various other soil treatment on growth of orange seedlings in old citrus soils. *Soil Sci.* 66: 273-288

14. Martin, J.P. 1950. Effect of fumigation and other soil treatments in the green house on the fungus population of old citrus soil. *Sci.* 69: 107-122
15. Martin, J.P., Aldrich, D.G., Murphy, W.S., and G.R. Bradford. 1952. Effect of soil fumigation on growth and chemical composition of citrus plants. *Soil Sci.* 73: 137-151
16. Neller, J.R., and R.V. Allison. 1935. A machine for the subsurface treatment of soils with chloropicrin and with carbon disulfide for nematode control under field conditions. *Soil Sci.* 40: 173-179
17. Newhall, A.G., and F.L. Jr. Start. 1942. Chloropicrin and ethylene dichloride for root-knot nematode control. *Phytopath.* 32: 626-630
18. 農村振興廳. 1978. 土壤化學分析法. 265-272
19. 吳承燾, 朴昌錫, 金鴻鎮, 金英仁. 1978. 人蔘의 根腐病防除試驗. 人蔘研究報告(栽培分野). 7-16
20. Pickering, S.U. 1908. Action of heat and anti-septics. *Jour. Agr. Sic.* 3: 32-54
21. 作物分析委員會編. 1976. 栽培植物分析測定法. 養賢堂. 69-72
22. Sherman, G.D., and C.K. Fujimoto. 1947. The effect of the use of lime, soil fumigants, and mulch on the solubility of manganese in Hawaiian soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1946) 11: 206-210
23. Smith, N.R. 1939. The partial sterilization of soil by chloropicrin. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1938) 3: 188
24. Starkey, R.L., and S.A. Waksman. 1923. Partial sterilization of soil, microbiological activities, and soil fertility. II. III. *Soil Sci.* 16-247-268, 343-357
25. Tam, R.K., and H.E. Clark. 1943. Effect of chloropicrin and other Soil disinfectants on the nitrogen nutrition of the pineapple plant. *Soil Sci.* 56: 245-261
26. Waksman, S.A., and R.L. Starkey. 1923. Partial sterilization of soil, microbiological activities and fertility. I. *Soil Sci.* 10: 137-157