

## 堆肥 및 肥料 長期連用이 土壤內 酵素活性에 미치는 影響

曹康鎭 · 鄭鍊泰 · 崔 炆\*

嶺南作物試驗場, \*慶北大學校

### Influence of Long-term Fertilization on soil Enzymes Activity in Normal Paddy Soil

Kang-Jin Cho, Yeun-Tae Jung and Jyung Choi\*

Yeongnam Crops Experiment Station, Milyang, Korea

\* Kyung-pook National University, Taegu, Korea

#### Abstract

This study was aimed to find out the influence of long-term fertilization for 21 years on soil enzyme activities in the silty clay loam textured normal paddy soil. Total urease activity (TUA) and the microbial urease activity (MUA) were shown to be changed significantly, but the accumulated urease activity (AUA) was similar within trial plots. Especially the MUA of the plots annually applied N.P.K. fertilizers with compost and N.P.K. fertilizers with silicate fertilizer were the highest among plots. The total L-glutaminase activity (TGA) and the accumulated L-glutaminase activity(AGA) were changed significantly among trial plots, but the microbial L-glutaminase activity (MGA) was not. By the simple correlation analysis, it was shown that the TGA and the AGA correlated highly significant to available phosphorus available  $\text{SiO}_2$  content and pH. Addition of the toluene to the incubation mixture did not markedly affect the activity of phosphatase, but the difference of phosphatase activity among plots was significant. By the simple correlation analysis, it was shown that the phosphatase activity correlated highly significant to pH, available  $\text{SiO}_2$ , available phosphorus and exchangeable calcium in soils.

#### 서 론

土壤에 誘入된 動植物이나 微生物 遺體 등은 化學的 · 生物學的 作用에 의해서 간단한 有機態化合物 형태로 土壤中에 존재하게 되며, 이러한 有機態化合物들은 土壤內에 있는 각종 酵素들에 의해서 無機化되어 植物이 이용할 수 있게 된다.

이러한 土壤酵素 중에서 作物의 營養吸收와 관련이 높은 酵素로서 phosphatase(orthophosphoric monoester phosphohydrolase, EC, 3.1.3.2.)는 有機態 磷을 無機化시키는 데 關여하며<sup>1)</sup>, L-gluta-

minase(L-glutamin adimohydrolase, EC, 3.5.1.2)는 amidase의 일종으로서 植物體나 微生物로부터 土壤에 공급되는 amido 化合物의 加水分解에 作用하여 ammonia와 carboxylic acid를 生成한다<sup>2,3)</sup>. 그리고 현재 가장 많이 사용되고 있는 尿素肥料도 土壤中の urease(urea amidohydrolase, EC, 3.5.1.5)에 의해서 ammonium carbonate로 加水分解된 후 植物이 이용할 수 있게 된다<sup>4)</sup>. 이 외에도 蛋白質 分解酵素인 protease, 有機黃化合物을 分解하는 sulphatase, cellulose를 분해하는 cellulase 등 많은 酵素들이 土壤中에서 土壤肥沃도와 關連하여 중요한 役割을 하고 있다<sup>5)</sup>.

이러한 土壤中 酵素들은 土壤의 理化學的 性質, 農藥, 肥料의 種類와 施肥方法, 그리고 作物의 種

1989년 2월 15일 접수

Corresponding author: K.J. Cho

類의 作付樣式 等에 따라서 活性이 상당히 영향을 받는 것으로 알려지고 있다<sup>14,15)</sup>. 그러나, 우리나라에서는 이에 관한 研究報文이 많지 않으며, 또한 대부분의 國外 研究論文은 草地, 森林土壤 및 밭土壤을 대상으로 한 것이므로 土壤의 生成要因, 土層의 分化, 管理方法, 그리고 土壤內外의 環境要因이 다른 우리나라 畚土壤에 直接 適用하기에는 어려운 점이 있다고 본다.

따라서 本 研究은 우리나라 畚土壤에서 化學肥料 및 堆肥의 長期連用이 phosphatase, L-glutaminase 및 urease 等の 酵素活性에 미치는 영향을 究明하여 앞으로 畚土壤의 肥沃度 증진에 필요한 基礎資料를 얻고자 실시하였다.

재료 및 방법

供試土壤

本 研究에 사용한 土壤은 慶南 密陽市에 소재한 嶺南作物試驗場의 永年 同一肥料 試驗畚으로서 內陸平坦地에 分布한 微砂壤壤質系 土壤이며 土壤分類上 平澤統(fine silty family of typic Haplaqupts)에 속한다. 處理內容은 Table 1과 같이 無肥區 外 7個 處理로서 亂塊法配置, 3反復으로 21年間 每 單作으로 栽培한 圃場이다.

그리고 1987年 10월에 表土(0~15cm)를 채취하여 風乾後 2mm체를 통과한 細土를 試料로 사용하였으며, 化學的 特性을 分析한 結果는 Table 2와 같이 有機物, 磷酸, 加理 含量 等이 處理間에 差異가 있었다.

酵素活性 測定

土壤中 urease 活性 測定은 土壤에 蓄積된 urease

의 活性(AUA), 總 urease 活性(TUA) 및 微生物 分泌 urease 活性(MUA)으로 구분하여 輻들<sup>6)</sup>의 方法에 의하여 測定하였다. Phosphatase의 活性은 Tabatabai와 Bemner들<sup>7)</sup>과 Sarathchandra와 Perrot<sup>8)</sup>의 方法을 약간 변형하여 사용하였다. 풍건토양 1g을 시험관에 秤量하여 여기에 toluene 0.2ml를 첨가한 처리와 넣지 않은 처리로 구분하여 10mM p-nitrophenyl phosphate 용액 1ml와 0.1M sodium-acetate buffer(pH 6.5) 용액 4ml를 가한 다음 5초정도 혼합한 후 37°C의 恒溫水槽에서 1시간 동안 恒溫시킨 다음 0.5M CaCl<sub>2</sub> 용액 1ml와 0.5M sodium hydroxide 용액 4ml를 가하여 voltex mixer로 잘 혼합한 후 15분간 定置시킨 다음 상등액을 Toyo No. 2 여지로 여과하여, 생성된 p-nitrophenol을 spectrophotometer로 波長 400nm에서 측정하여 phosphatase 活性으로 나타내었다.

L-Glutaminase 活性 測定은 Omura등<sup>9)</sup>의 方法을 약간 변형하여 측정하였다. 풍건한 토양 5g을 100ml 용량의 Erlenmeyer flask에 평량하여 toluene 0.5ml를 가한 처리와 넣지 않은 처리로 구분하여 基質로서 0.25M L-glutamine(Fluka)을 phosphate buffer(pH 7.6)로 調劑하여 5ml를 가하고 잘 혼합한 후 30°C의 항온기에서 4시간 항온시킨 다음 5M HCl 용액 5ml를 가하여 酵素의 反應을 中止시켰다. 여기에 1M KCl (in 0.15N NaOH 용액) 30ml를 가하여 30분간 진탕시킨 다음 Toyo No. 2 여지로 여과하여 여액 중의 ammonium을 indophenol blue法<sup>10)</sup>으로 定量하여 L-glutaminase 活性으로 나타내었다. 土壤의 化學性 分析은 土壤化學分析法<sup>11)</sup>에 준하여 분석하였다.

Table 1. Amount and kind of fertilizers applied for the rice single crop for 21 years

Treatments	Amount of fertilizers (kg/10a/year)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Compost	Silicate fertilizer
1) No fertilization	—	—	—	—	—
2) Compost only	—	—	—	1,000	—
3) NPK	15	10	10	—	—
4) NPK+Compost	15	10	10	1,000	—
5) PK(-N)	—	10	10	—	—
6) NK(-P)	15	—	10	—	—
7) NP(-K)	15	10	—	—	—
8) NPK+SiO <sub>2</sub>	15	10	10	—	50

Table 2. Physico-chemical properties of long-term fertilization paddy soils used

Treatments	pH (1 : 5)	O.M. (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Ex. Cations (me/100g)			Av. SiO <sub>2</sub> (ppm)
				Ca	Mg	K	
1) No fertilization	5.49	2.55	40	4.61	1.26	0.16	57
2) Compost only	5.60	3.03	71	4.58	1.29	0.22	59
3) NPK	5.75	2.83	105	4.73	1.43	0.18	49
4) NPK+Compost	5.81	3.38	156	5.23	1.59	0.34	62
5) PK(-N)	5.77	2.88	125	4.51	1.43	0.25	52
6) NK(-P)	5.57	3.00	30	4.08	1.09	0.18	46
7) NP(-K)	5.95	3.31	118	4.68	1.40	0.18	62
8) NPK+SiO <sub>2</sub>	6.17	3.05	125	5.78	1.48	0.20	199

a) Average of three replications.

b) Treated for 21 years except NPK+SiO<sub>2</sub>(8 years of control treatment).

## 결과 및 고찰

### Urease 活性 變化

微生物의 酵素活性 抑制劑인 toluene을 처리하지 않고 측정된 總 urease 活性(total urease activity, TUA), toluene을 처리하여 측정된 토양에 蓄積된 urease의 活性(accumulated urease activity, AUA), 그리고 TUA와 AUA의 차이로 추정된 微生物 分泌 urease 活性(microbial urease activity, MUA)을 조사한 결과는 Table 3과 같았다. Urease 原別 活性은 TUA>AUA>MUA 順이었으며, TUA와 MUA는 처리간에 차이가 있었으나 AUA는 처리간에 差異가 輕微하였으며 堆肥單用區와 3要素(N, P, K)+堆肥區, 3요소+硅酸區에서 다소 높게 나타났다. 이는 微生物이나 植物遺體에서 遊離된 urease의 대부분이 土壤 微生物이 分泌하는 proteinase에 의해서 分解됨으로써 토양에 蓄積되는 量은 少量이며, 또한 蓄積되는 정도도 토양의 有機·無機 膠質物의 特性에 의하기 때문이다<sup>12-14</sup>. 따라서 本研究에 사용한 토양의 物理的 特性이 거의 동일한데서 處理間에 差異가 輕微하며, 堆肥가 施用된 區에서는 토양내 有機膠質物의 含量이 다른 처리보다 많은데서 AUA가 다소 높게 나타난 것으로 考察된다. 그리고 Pancoly와 Rise<sup>15</sup>도 同一圃場에서 作付體系와 施肥條件을 달리하여 계속 耕作한 土壤에서 AUA의 變化는 적었다고 報告한 바 있으며, 랫들<sup>16</sup>도 畚土壤에서 AUA는 모래 함량과 負의 相關關係가 있음을 報告한 바 있다.

또한, TUA와 MUA는 3要素와 堆肥, 3要素와 硅酸을 長期連用한 區에서 가장 높았으며 無肥區에서 가장 낮았다. 그리고 3要素 缺除區 中에서는 窒素缺除區보다 磷酸과 加里를 缺除한 區에서 TUA와 MUA가 현저히 낮아졌으며, 堆肥單用區는 無肥區보다 높았다. 이는 토양 중에 urease를 分泌하는 微生物이 있어서 微生物 활성을 촉진시켜 주는 물질을 토양에 첨가시켜주면 urease 活性이 增加된다는 것은 이미 많은 研究者들<sup>12, 17, 18</sup>에 의하여 밝혀진 바와 같이 磷酸이나 加里 含量이 많은 土壤에서 微生物 聚落數가 많으므로 微生物 biomass와 urease 活性과는 高度의 有意한 相關關係가 있는데서 기인된 것으로 생각된다<sup>19-21</sup>. 특히 堆肥나 窒素, 磷酸, 加里 單用處理보다 混用處理함으로써 ureolytic microbes를 더 增加시키는 것으로 推定되었다.

또한, Table 6에서 보는 바와 같이 土壤內 無機成分含量과 urease 源別 活性과의 관계에서도 TUA와 MUA는 有效磷酸, 置換性 칼슘, 置換性 加里와 高度의 有意한 相關關係가 있음을 볼 수 있었다.

### L-Glutaminase 活性 變化

L-Glutaminase 活性을 toluene 處理, 無處理로 구분하여 測定한 결과는 Table 4와 같았다. Urease 活性과는 달리 總 L-glutaminase 活性(total L-glutaminase activity, TGA)과 토양에 蓄積된 L-glutaminase 活性(accumulated L-glutaminase activity, AGA)은 堆肥 및 肥料 施用方法에 따라 차이가 심하였으나 微生物 分泌 L-glutaminase 活

Table 3. Soil urease activity influenced by long-term fertilization on paddy soil of silty clay loam<sup>a)</sup>

Treatments	Urease activity ( $\mu\text{g}$ of urea-N hydrolysed $\cdot\text{g}^{-1}$ soil $\cdot\text{h}^{-1}$ ) <sup>c)</sup>		
	-Toluene(A) <sup>b)</sup>	+Toluene(B) <sup>c)</sup>	A-B <sup>d)</sup>
1) No fertilization	6.73e	4.54ab	2.19e
2) Compost only	7.54cd	4.86a	2.68d
3) NPK	7.73c	4.12b	3.61c
4) NPK+Compost	9.13a	4.55ab	4.58a
5) PK(-N)	8.49b	4.40ab	4.09b
6) NK(-P)	7.01e	4.11b	2.90d
7) NP(-K)	7.05de	4.06b	2.99d
8) NPK+SiO <sub>2</sub>	8.83ab	4.47ab	4.36ab
CV(%)	3.29	7.66	6.02
LSD(5%)	0.45	0.59	0.36

a) Average of three replications. The different alphabetical symbols within a column are significantly different at 5% level by DMRT.

b) Assayed by nonbuffer method treated without toluene.

c) Assayed by nonbuffer method treated with toluene.

d) Microbial urease activity released from proliferating cells.

Table 4. Soil L-glutaminase activity influenced by long-term fertilization on paddy soil of silty clay loam<sup>a)</sup>

Treatments	L-glutaminase activity ( $\mu\text{g}$ of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N released $\cdot\text{g}^{-1}$ soil $\cdot\text{h}^{-1}$ ) <sup>b)</sup>		
	-Toluene(A)	+Toluene(B)	A-B
1) No fertilization	18.6e	7.4e	13.6a
2) Compost only	21.5c-e	9.4d-e	12.2ab
3) NPK	23.8b-d	12.1b-c	11.6b
4) NPK+Compost	24.7bc	13.6b	11.1bc
5) PK(-N)	23.2b-d	10.6cd	12.5ab
6) NK(-P)	21.2de	9.4de	11.8b
7) NP(-K)	25.1b	13.3b	11.8b
8) NPK+SiO <sub>2</sub>	28.7a	19.0a	9.6c
CV(%)	7.6	10.9	6.8
LDS(5%)	3.1	2.3	1.4

a) Average of three replications. The alphabetical symbols within a column are significantly different at 5% level by DMRT.

b) "-Toluene"; without toluene, "+Toluene"; with toluene.

性(microbial L-glutaminase activity, MGA)은 처리간에 차이가 輕微하였다. 그리고 AGA와 MGA는 活性程度가 비슷하였다. 이는 土壤內에 L-glutaminase를 分泌하는 微生物의 活性이 높음을 시사하며, 堆肥施用이나 施肥方法에 따른 土壤 理化學性 變化에 의해서 L-glutaminase를 分泌하는 微生物의 聚落數는 影響을 적게 받는 것으로 推定된

다. 또한, 土壤에서 나타나는 TGA는 주로 AGA에 따라서 活性程度가 달라지는 것을 알 수 있었다. 그리고 AGA는 土壤內 有機·無機膠質에 吸着된 量에 따른 活性보다 土壤內 化學的 性質 즉 無機成分의 種類와 量에 의해서 活性이 影響을 더 받는 것으로 보인다. 특히 磷酸缺除區에서 活性이 가장 낮으며, 3要素+硅酸 施用區에서 活性이 높

은 것으로 보아서 磷酸과 硅酸 含量이 상당히 영향을 미치는 것으로 볼 수 있었다. 또한, Table 6에서 보는 바와 같이 磷酸과 硅酸 含量, 土壤 pH와 高度의 有意한 相關關係가 있었다. Omura들<sup>9)</sup>에 의하면 土壤에서 L-glutaminase의 最適 pH는 7.6이라고 報告하였는데 本 研究에 사용한 試料들의 pH는 5.5에서 6.2 정도로서 범위는 좁지만 L-glutaminase가 pH에 상당히 민감한 것을 알 수 있다. 그리고 土壤內에서 L-glutaminase의 活性과 土壤의 理化學性, 作物生育과의 관계는 금후 더 檢討되어야 할 것이다.

**Phosphatase 活性 變化**

土壤內에서 phosphatase(phosphomonoesterases)는 acid(EC, 3.1.3.2)와 alkaline(EC, 3.1.3.1) phosphatase로 구분되며<sup>22)</sup> 細菌, 곰팡이, 酵母, 植物遺體나 뿌리에서 遊離되어 土壤中에서 有機·無機膠質物과 複合體를 이루거나 遊離된 상태로 존재한다<sup>23)</sup>. 그러나 酸性土壤에서는 acid phosphatase, 알칼리성 토양에서는 alkaline phosphatase 活性이 優勢한 것으로 알려지고 있다<sup>23)</sup>.

따라서 本 研究에서 堆肥와 肥料 長期連用이 acid phosphatase 活性에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 5와 같았다.

Toluene 處理와 無處理에 따른 phosphatase 活性은 有意한 차이가 없었으나 toluene 처리시 다

소 높게 나타났다. 이는 Eivazi와 Tabatabai<sup>22)</sup>의 결과와도 일치하는 것으로서 基質로 사용한 p-nitrophenyl phosphate가 toluene에 의해서 분해가 더 助長되었거나, 土壤 膠質表面에 吸着을 좋게 함으로써 즉 土壤 有機·無機膠質에 蓄積된 酵素와 접촉이 많아진데서 分解產物이 다소 많아진 것으로 생각된다. 그리고 toluene 無處理時 微生物 分泌 phosphatase의 活性이 검출되지 않았는데, 이는 Trasar-Cepeda와 Gil-Sotres<sup>24)</sup>의 報告와도 일치하는 것으로서 土壤內 存在하는 phosphatase는 대부분 植物遺體에서 由來된데서 온 結果로 생각된다.

處理別 phosphatase 活性은 3要素와 堆肥, 3要素와 硅酸 連用區에서 가장 높았으며, 無肥區, 磷酸缺除區에서 活性이 가장 낮았다. 이는 Table 6에서 보는 바와 같이 土壤中 磷酸, 硅酸 含量과 phosphatase 活性間에 高度의 有意한 相關關係가 있는데서 基因한다. 그리고 pH와 phosphatase 活性과도 相關關係가 있었는데 이는 酸性土壤에서 發現되는 acid phosphatase의 最適 pH가 6.5 부근인데서 온 結果로 생각된다<sup>22, 24)</sup>. 이와 같이 phosphatase를 포함한 urease 및 L-glutaminase의 活性은 토양내 有機物 含量보다는 磷酸 및 硅酸의 濃度와 高度의 正相關關係를 보였는데, 窒素施肥의 경우는 加里를 결제한 NP區보다 삼요소施肥+ 硅酸區에서 各 酵素活性이 높은 편이었다.

Table 5. Soil phosphatase activity influenced by long-term fertilization on paddy soil of silty clay loam<sup>a)</sup>

Treatments	Phosphatase activity <sup>a)</sup>		
	-Toluene(A)	+Toluene(B)	A-B
1) No fertilization	5.95d	6.09d	-0.15a
2) Compost only	6.16cd	6.64bc	-0.48a
3) NPK	6.84ab	6.93ab	-0.09a
4) NPK+compost	6.63a-c	6.74a-c	-0.11a
5) PK(-N)	6.40b-d	6.94ab	-0.54a
6) NK(-P)	6.20cd	6.29cd	-0.09a
7) NP(-K)	6.66a-c	7.02ab	-0.36a
8) NPK+SiO <sub>2</sub>	7.12a	7.15a	-0.03a
CV(%)	4.77	3.89	127.62
LSD(5%)	0.54	0.46	0.52

a) Average of three replications. The different alphabetical symbols within a column are significantly different at 5% level by DMRT.

b) Expressed in  $\mu\text{M P-nitrophenol released} \cdot \text{g}^{-1} \text{ soil} \cdot \text{hr}^{-1}$ .

"-Toluene"; without toluene, "+Toluene"; with toluene.

Table 6. Correlation matrix (r-values) between soil enzymes activity and soil chemical properties (n=24)

Soil chemical properties	Urease activity			L-glutaminase activity			Phosphatase activity	
	-T(A)	+T(B)	A-B	-T(A)	+T(B)	A-B	-T	+T
pH	0.463*	0.054	0.464*	0.857**	0.830**	-0.447*	0.739**	0.715**
O.M	0.330	-0.164	0.421*	0.240	0.281	-0.419*	0.329	0.431*
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.763**	-0.007	0.806**	0.533**	0.578**	-0.445*	0.555**	0.576**
Ex. Ca	0.551**	0.226	0.480*	0.688**	0.808**	-0.446*	0.624**	0.498*
Ex. Mg	0.491*	0.234	0.412*	0.697**	0.574**	-0.105	0.546**	0.521**
Ex. K	0.684**	0.264	0.603**	0.176	0.151	-0.190	0.144	0.073
Av. SiO <sub>2</sub>	0.459*	0.156	0.413*	0.635**	0.780**	-0.606	0.562**	0.450*

a) \*, \*\*: significantly different at 5% and 1% level, respectively.

b) "+T", "-T"; with and without toluene, respectively.

이상과 같이 普通畚 土壤에서 堆肥와 肥料 長期 適用이 urease, phosphatase, L-glutaminase 活性에 미치는 영향을 검토하여 본 결과, 酵素마다 反應樣相이 相異하였다. 따라서 이러한 酵素들의 活性이 土壤肥沃도와 作物生産에 미치는 역할에 대해서는 금후 研究課題로 생각된다.

초 록

堆肥 및 肥料 施肥方法別로 無肥區外 7 處理로 21年間 시험한 微砂壤壤質系 普通畚에서 urease, L-glutaminase, phosphatase 活性을 조사하였다. 總 urease 活性(TUA)과 微生物 分泌 urease 活性(MUA)은 處理間에 차이가 심하였으나, 土壤에 蓄積된 urease 活性(AUA)은 處理間에 차이가 輕微하였다. 특히 MUA는 3要素와 堆肥, 3要素와 硅酸 施用區에서 가장 높았으며 土壤中 磷酸, 加里, 硅酸 含量과도 高度의 有意한 相關關係가 있었다. 總 L-glutaminase 活性(TGA)과 土壤에 蓄積된 L-glutaminase 活性(AGA)은 처리간에 차이가 심하였으나, 微生物 分泌 L-glutaminase 活性(MGA)은 처리간에 차이가 輕微하였으며 活性程度는 AGA와 비슷하였다. 또한 AGA는 토양 중 硅酸, 磷酸 含量과 pH와는 高度의 有意한 相關이 있었다. 토양 중 phosphatase 活性은 toluene 처리와 무처리 간에 차이가 경미하였으나, 堆肥와 肥料 施肥方法에 따른 차이는 심하여서 3要素區, 3要素+堆肥區, 3要素+硅酸區에서 活性이 높게 나타났다. 그리고 phosphatase 活性과 토양 pH, 硅酸, 磷酸, 칼슘 含量과는 有意성이 있었다.

참고 문헌

1. Speir, T.W. and Ross, D.J.: In "Soil Enzymes", R.G. Burns (ed.), Academic Press, N.Y. (1978)
2. Glaytayan, A.S. and Saakyan, E.G.: Sov. Soil. Sci, 5 : 335 (1973)
3. Frankenberger, W.T. and Tabatabai, M.A.: Soil Sci. Soc. Amer. J., 44 : 282 (1980)
4. Bremner, J.M. and Mulvaney, R.L.: In "Soil Enzyems", R.G. Burns(ed.), Chap. 5, Academic Press, N.Y. (1978)
5. Skujins, J.: In "Soil Enzymes" R.G. Burns (ed.), Chap. 1, Academic Press, N.Y.(1978)
6. 曹康鎮, 鄭鍊泰, 崔 炬 : 農試論文集(植環·菌茸·農加), 29(1) : 125(1987)
7. Tabatabai, M.A. and Bremner, J.M.: Soil Biol. Biochem., 1 : 301 (1969)
8. Sarathchandra, S.U. and Perrott, K.W.: Soil. Biol. Biochem., 13 : 543 (1981)
9. Omura, H., Sato, F. and Hayano, K.: Soil Sci. Plant Nutr., 29(3) : 295 (1983)
10. Novozansky, I., Van Eck, R., Van Schouwenberg, J.Ch. and Walinga, I.: Neth. J. Agric. Sci., 22 : 3 (1974)
11. 農村振興廳 : 土壤化學分析法, p. 321 (1977)
12. Balasubramanian, A., Siddaramappa, R. and Rangaswami, G.: Plant and Soil, 37 : 319

- (1972)
13. Serban, A. and Nissenbaum, A.: *Soil Biol. Biochem.*, 18 : 41 (1986)
  14. Skujins, J. and McLaren, A.D.: *Soil Biol. Biochem.*, 1 : 89 (1969)
  15. Pancoly, S.K. and Rice, E.L.: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37 : 47 (1973)
  16. 曹康鎮, 崔柱鉉, 崔 炆 : 農試論文集(植環·菌茸·農加) 29(1) : 98 (1987)
  17. Sparing, G.P., Ord, B.G. and Vaughan: *Soil Biol. Biochem.*, 13 : 99 (1981)
  18. Zantua, M.I. and Bremner, J.M.: *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 369 (1976)
  19. Bolton, H. Jr., Elliott, L.F., Palenick, R.L. and Bezidicek, D.F.: *Soil Biol. Biochem.* 17 : 297 (1985)
  20. Lloyd, A.B. and Sheaffe, M.J.: *Plant and Soil*, 39 : 71 (1973)
  21. Paulson, K.N. and Kurtz, L.T.: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33 : 897 (1969)
  22. Eivazi, F. and Tabatabai, M.A.: *Soil Biol. Biochem.*, 9 : 167 (1977)
  23. Nakas, J.P., Gould, W.D. and Klein, D.A.: *Soil Biol. Biochem.*, 19(1) : 13 (1987)
  24. Trasar-Cepeda, M.C. and Gil-Sotres, F.: *Soil Biol. Biochem.*, 19(3) : 281 (1987)