

溶磷菌對牧草生長及植體磷含量的影響⁽¹⁾

謝文彰⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：94 年 4 月 22 日；接受日期：94 年 10 月 24 日

摘 要

以溶磷菌 *Bacillus pumilus* 與 *Bacillus* sp. 施用於盆栽盤固草 A254 與狼尾草 7439，探討對牧草生長、植體磷含量及土壤有效性磷含量的影響。試驗結果顯示，施用溶磷菌有促進牧草株高、鮮草及乾物產量、粗蛋白質含量、植體磷含量與土壤有效性磷含量的效果，但對莖徑、中酸洗纖維含量（NDF, ADF）並無影響。

另以 *Bacillus pumilus* 菌液稀釋成不同倍率，施用於田間栽培盤固草 A254 與狼尾草 7439，結果顯示，稀釋 250 與 500 倍，有促進盤固草與狼尾草株高、鮮草及乾物產量、粗蛋白質含量與植體磷含量，但對莖徑、中洗、酸洗纖維與土壤有效性磷含量並無影響。

施用 *Bacillus pumilus* 對牧草生產的經濟效益評估，以稀釋 500 倍的菌液為推薦量施用，可增產乾物產量、植體粗蛋白質乾物產量與植體磷乾物產量，符合經濟效益。

關鍵詞：狼尾草、盤固草、溶磷菌、牧草生長、磷。

緒 言

牧草地包括收穫乾草之草原與放牧牛羊之牧野，或因土壤性質與長期施用化學肥料，或因牧野長期未做施肥管理，土壤已經呈現缺磷狀態（謝等，1995；1988）。牧草地土壤中有效性磷含量缺乏，除影響牧草產量（Tainton, 1984），對於牧草植體中磷含量亦容易造成不足而引起動物病變。

牧草對土壤中磷之需求量，依牧草的產量而有變化，而磷缺乏普遍存在土壤中，並使飼料中磷含量偏低；乾旱會促進牧草成熟並導致磷含量減少；放牧之牛群普遍缺磷（McDowell, 1992）。牛隻缺磷會引起食慾不振、體重減輕、嚴重骨折與繁殖障礙，其它磷缺乏症狀尚包括肌肉衰弱、發情不規則、關節僵硬等（Call *et al.*, 1986）。

磷素是一般農業生產上植物所必需的大量營養素之一，土壤中磷素存在的形式，包括無機態及有機態。磷肥施入土壤後，磷素將被固定形成不易溶解型，導致不易被植物吸收。磷素在土壤中的移動亦較差，也不易被水流失，常在土壤中累積下來（楊，1997）。大多數的磷在土壤中循環，仍以鈣、鋁、鐵結合磷形態存在（Russell, 1973）。常見土壤無機磷酸鹽中以鈣結合磷種類較多（Barber,

(1) 行政院農委會畜產試驗所研究報告第 1299 號。

(2) 行政院農委會畜產試驗所恆春分所。

(3) 通訊作者。

1984)。磷在土壤中的化合態受 pH 值影響甚大，間接影響植物生長時對有效性磷的供應；磷在土壤 pH 值 6.5 時對植物有效性最高 (Sauchelli, 1951)。在酸性土壤與鋁、鐵結合成難溶性之鋁、鐵結合磷，在鹼性土壤與鈣結合成難溶性鈣結合磷，對植物的吸收引起阻礙 (Olsen and Khasawneh, 1980)。農業施用許多的化學磷肥，然而磷肥中的有效性磷非常容易與土壤中的正離子（鋁、鐵、鈣、鎂等）結合，形成難溶性之磷化合物，如磷酸鐵、磷酸鈣、磷酸鋁等。若能利用溶磷菌，將有利於作物於土壤中磷肥的有效性應用。

溶磷菌 (phosphate-solubilizing microorganisms) 是泛指能溶解土壤中不易溶解的無機態及有機態磷化物的微生物總稱。溶磷作用產生的原因為直接產生有機酸或間接生成無機酸，促使難溶性磷酸鹽中之磷酸根釋出，或分泌酵素加速有機磷的礦質化而釋出磷酸根，但真正的溶磷機制尚需作進一步的瞭解 (Alexander, 1977)。

土壤微生物中，具有溶磷能力的包括細菌、真菌、放射線菌等，不同種類的溶磷菌，溶磷能力與能溶解物的範圍差異甚大，有的菌可溶解鈣結合磷，但不能溶解鐵結合磷，有的菌可同時溶解多樣的難溶性磷化物。常見的溶磷菌包括細菌如 *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus* 屬及真菌如 *Penicillium*, *Aspergillus* 屬等 (Subba Rao, 1982)。

研究報告指出，溶磷菌施用促進大麥 (Khakafallah *et al.*, 1983)、水稻 (Datta *et al.*, 1982)、小麥 (Bajpai and Sundara Rao, 1985) 之生長與產量。研究報告同時指出，溶磷菌施用促進義大利黑麥草 (Fernandez *et al.*, 1985)、小麥 (Asea *et al.*, 1988) 等作物磷之吸收與植體磷含量。

本試驗的目的在利用溶磷菌生物製劑，來提高土壤中有效性磷含量及其利用效率，溶磷菌與磷肥同時施用，可增進牧草對磷肥的吸收，避免造成畜養動物的缺磷，以確保動物健康。

材料與方法

不同溶磷菌生物製劑之種類 (*Bacillus pumilus* 與 *Bacillus* sp. 取自楊秋忠教授實驗室；菌數量 10^8 cfu/ml)，稀釋 125 倍施用，探討對盆栽盤固草 A254 與狼尾草 7439 生長的影響，以及對土壤和牧草植體有效性磷含量的影響。處理分不施肥不施菌、不施肥但施 *Bacillus pumilus*、不施肥但施 *Bacillus* sp.，以不施肥不施菌作為對照，每盆施一次菌液 4 ml、計三處理三重覆，每重覆有 3 盆，試驗採逢機區集設計 (RCBD)。

另田間栽培之二年生盤固草 A254 與一年生狼尾草 7439，試區面積 $5\text{ m} \times 4\text{ m} = 20\text{ m}^2$ ，以溶磷菌 *Bacillus pumilus* 稀釋成不同濃度處理，分別為稀釋 1000 倍、500 倍及 250 倍，另以不施用溶磷菌 (Check) 作對照，每小區施一次菌液 40 ml，計四處理三重覆，試驗採逢機區集設計 (RCBD)；盤固草田間試區之羊糞堆肥施量為 25 公噸/公頃，狼尾草 50 公噸/公頃，其實施方法及調查分析項目包括：

- I. 牧草之農藝性狀及產量調查，包括株高、莖徑及單位面積之鮮、乾物產量。
- II. 牧草一般成分之品質分析，包括粗蛋白質及中、酸洗纖維含量。利用 Kjeldahl's method 分析粗蛋白質含量；中洗纖維 (NDF) 與酸洗纖維 (ADF) 的分析採用 Goering and van Soest (1970) 方法。
- III. 土壤化學性質分析，包括 pH 值、有機質、有效性磷、鉀與交換性鈣、鎂含量 (中華土壤學會, 1994)。
- IV. 盤固草與狼尾草牧草之磷含量分析 (中華土壤學會, 1994)。
- V. 施用溶磷菌之經濟效益評估。

結果與討論

一. 溶磷菌處理對盆栽與田間土壤化學性質之影響

溶磷菌 *Bacillus pumillu* 與 *Bacillus sp.* 處理之盤固草盆栽土壤分析如表 1 所示，三處理之土壤 pH 均為中性，*Bacillus pumillu* 處理者有最高之有機質、有效性磷、有效性鉀與交換性鎂含量，與其他二處理有顯著差異；而施用 *Bacillus sp.* 只有較高有效性鉀含量；由上述結果顯示，施用 *Bacillus pumillu* 有提高有機質與有效性磷含量的釋出，其效果較 *Bacillus sp.* 佳。

另溶磷菌處理之狼尾草盆栽土壤分析如表 2 所示，三處理之土壤 pH 亦為中性，*Bacillus pumillu* 處理者之有機質、有效性磷與其他二處理有顯著差異；而施用 *Bacillus sp.* 則對所有分析成分，與對照組並無顯著差異；由上述結果顯示，施用 *Bacillus pumillu* 有提高有機質與有效性磷含量的釋出，其效果較 *Bacillus sp.* 佳。研究報告指出，溶磷菌施用會促進土壤有效性磷含量的釋出，有增加土壤有效性磷含量的效果（楊，1997）。

表 1. 施用不同溶磷菌對盤固草盆栽土壤成分之影響

Table 1. Effect of different phosphate-solubilizing microorganisms on the compositions of pot soil for pangolagrass.

Treatment	pH	O.M	A.P	A.K	Ex.Ca	Ex.Mg
		%	ppm			
Check	7.9	2.44 ^b	33 ^b	22 ^c	24920 ^a	184 ^b
<i>Bacillus pumillu</i>	7.9	2.68 ^a	39 ^a	82 ^a	25285 ^a	217 ^a
<i>Bacillus sp.</i>	7.9	2.16 ^c	20 ^c	54 ^b	25300 ^a	171 ^b

Bacillus applying date: April 21, 2003 ; Sampling date: Oct. 1, 2003.

O.M: Organic materials, A.P: Available phosphorus, A.K: Available potassium

Ex.Ca: Exchangeable calcium, Ex.Mg: Exchangeable magnesium

表 2. 不同溶磷菌處理對盆栽狼尾草土壤成分之影響

Table 2. Effect of different phosphate-solubilizing microorganisms on the compositions of pot soil for napiergrass.

Treatment	pH	O.M	A.P	A.K	Ex.Ca	Ex.Mg
		%	ppm			
Check	7.5	2.77 ^b	98 ^b	78 ^a	22790 ^a	334 ^a
<i>Bacillus pumillu</i>	7.5	4.02 ^a	114 ^a	72 ^a	23185 ^a	304 ^a
<i>Bacillus sp.</i>	7.5	2.63 ^b	100 ^b	68 ^a	23275 ^a	306 ^a

Bacillus applying date: April 21, 2003 ; Sampling date: Oct. 1, 2003.

O.M: Organic materials, A.P: Available phosphorus, A.K: Available potassium

Ex.Ca: Exchangeable calcium, Ex.Mg: Exchangeable magnesium

田間栽培之盤固草與狼尾草，以不同濃度 *Bacillus pumillu* 處理後之土壤化學性質分析如表 3 與表 4 所示，溶磷菌處理對盤固草與狼尾草土壤 pH 值、有機質含量、有效性鉀含量、交換性鈣含量與交換性鎂含量並無顯著影響，而對有效性磷含量卻有顯著增加的效果，但與溶磷菌稀釋的倍數無顯著影響。溶磷菌施用對盆栽與田間土壤有效性磷含量的釋出有同樣增加效果。

表 3. 不同濃度溶磷菌處理盤固草之田間土壤成分分析

Table 3. Effect of different concentration of *Bacillus pumillu* on the soil compositions of pangolagrass field

Treatment*	pH	O.M	A.P	A.K	Ex.Ca	Ex.Mg
		%	ppm			
Check	7.5	4.05 ^a	61 ^b	138 ^a	18900 ^a	498 ^a
1000 X	7.5	4.15 ^a	67 ^a	140 ^a	19035 ^a	496 ^a
500 X	7.5	4.11 ^a	67 ^a	136 ^a	19145 ^a	486 ^a
250 X	7.5	4.12 ^a	69 ^a	141 ^a	19415 ^a	481 ^a

表 4. 不同濃度溶磷菌處理狼尾草之田間土壤成分分析

Table 4. Effect of different concentration of *Bacillus pumillu* on the soil compositions of napiergrass field

Treatment	pH	O.M	A.P	A.K	Ex.Ca	Ex.Mg
		%	ppm			
Check	7.4	4.96 ^a	51 ^b	96 ^a	19690 ^a	431 ^a
1000 X	7.4	5.09 ^a	62 ^a	96 ^a	19615 ^a	431 ^a
500 X	7.4	5.10 ^a	58 ^a	95 ^a	19080 ^a	449 ^a
250 X	7.4	5.03 ^a	60 ^a	98 ^a	19860 ^a	441 ^a

Bacillus pumillu applying date: March, 11, 2004.

Soil sampling date: Oct, 29, 2004.

二. 施用溶磷菌對牧草生長之影響

不同溶磷菌 *Bacillus pumillus* 與 *Bacillus* sp. 施用後對盆栽盤固草生長之影響，由表 5 顯示，溶磷菌有促進盤固草株高、鮮草與乾物產量的效果，但對莖徑並無影響；至於溶磷菌 *Bacillus pumillus* 與溶磷菌 *Bacillus* sp. 對盤固草生長之影響，效果並不一致。研究報告指出，溶磷菌施用促進大麥 (Khakafallah *et al.*, 1983)、水稻 (Datta *et al.*, 1982)、小麥 (Bajpai and Sundara Rao, 1985) 之生長與產量。本試驗中施用 *Bacillus pumillus* 亦有促進牧草生長的效果。

不同溶磷菌施用後對盆栽狼尾草生長之影響由表 6 顯示，溶磷菌有促進狼尾草株高、鮮草與乾物產量的效果，但莖徑的生長，差異並不顯著。由上述結果顯示，溶磷菌施用對盆栽盤固草與狼尾草一樣有促進生長的效果。

表 5. 不同溶磷菌施用後對盆栽盤固草生長之影響

Table 5. Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on the growth of pangolagrass in pots

Treatment	<u>Plant height</u>		<u>Stem diameter</u>		<u>Fresh grass yield</u>		<u>Dry matter yield</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	cm		mm		g/plot		g/plot	
Check	85.9 ^b	41.7 ^b	1.12 ^a	1.16 ^a	40.4 ^b	37.0 ^b	18.1 ^b	14.2 ^b
<i>Bacillus pumillus</i>	93.8 ^a	52.7 ^a	1.11 ^a	1.11 ^a	68.1 ^a	44.1 ^a	24.9 ^a	18.8 ^a
<i>Bacillus</i> sp.	93.9 ^a	44.5 ^b	1.09 ^a	1.13 ^a	67.9 ^a	39.2 ^b	24.8 ^a	15.5 ^b

1st sampling date: May.28, 2003 ; 2nd sampling date: Aug.16, 2003

表 6. 不同溶磷菌施用後對盆栽狼尾草生長之影響

Table 6. Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on the growth of napiergrass in pots

Treatment	<u>Plant height</u>		<u>Stem diameter</u>		<u>Fresh grass yield</u>		<u>Dry matter yield</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	cm		mm		g/plot		g/plot	
Check	48.5 ^b	84.8 ^b	8.1 ^a	8.5 ^a	0.11 ^b	0.30 ^b	0.02 ^b	0.10 ^b
<i>Bacillus pumillus</i>	61.3 ^a	91.2 ^a	8.3 ^a	8.6 ^a	0.18 ^a	0.37 ^a	0.05 ^a	0.13 ^a
<i>Bacillus</i> sp.	56.4 ^a	91.8 ^a	8.2 ^a	8.9 ^a	0.20 ^a	0.37 ^a	0.05 ^a	0.13 ^a

1st sampling date: May.28, 2003 ; 2nd sampling date: Aug.16, 2003.

溶磷菌 *Bacillus pumilla* 不同濃度施用後，對田間生長之盤固草的影響由表 7 顯示，施用溶磷菌有促進盤固草株高、鮮草與乾物產量的效果，但對莖徑的生長，差異並不顯著。同時施用堆肥與溶磷菌對促進盤固草生長的效果，以稀釋 500 與 250 倍較佳，株高平均增加 14%，乾物產量平均增加 6%，而溶磷菌稀釋 1000 倍則對盤固草生長無顯著的促進效果。

溶磷菌 *Bacillus pumilla* 不同濃度施用後，對狼尾草田間生長之影響由表 8 顯示，溶磷菌有促進狼尾草株高、鮮草與乾物產量的效果，但對莖徑並無影響；同時施用堆肥與溶磷菌對促進狼尾草生長的效果，以稀釋 500 與 250 倍較佳，株高平均增加 5.5%，乾物產量平均增加 20%，而溶磷菌稀釋 1000 倍則對狼尾草生長無顯著的促進效果。

表 7. 施用不同濃度溶磷菌對盤固草田間生長之影響

Table 7. Effects of different concentration of *Bacillus pumilla* microorganism on the growth of pangolagrass in field

Treatment*	<u>Plant height</u>		<u>Stem diameter</u>		<u>Fresh grass yield</u>		<u>Dry matter yield</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	cm		mm		Mt /ha		Mt /ha	
Check	66.5 ^b	48.1 ^b	1.02 ^a	0.89 ^a	45.6 ^b	17.8 ^b	15.1 ^b	6.4 ^b
1000 X	67.3 ^b	49.3 ^b	1.05 ^a	0.89 ^a	45.8 ^b	17.6 ^b	15.1 ^b	6.3 ^b
500 X	71.1 ^a	58.4 ^a	1.04 ^a	0.94 ^a	46.5 ^a	18.9 ^a	15.8 ^a	6.9 ^a
250 X	71.0 ^a	58.7 ^a	1.02 ^a	1.01 ^a	46.3 ^a	18.7 ^a	15.7 ^a	6.9 ^a

1st sampling date: Jul. 21, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 5, 2004.

表 8. 施用不同濃度溶磷菌對狼尾草田間生長之影響

Table 8. Effects of different concentration of *Bacillus pumilla* microorganism on the growth of napiergrass in field

Treatment*	<u>Plant height</u>		<u>Stem diameter</u>		<u>Fresh grass yield</u>		<u>Dry matter yield</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	cm		mm		Mt /ha		Mt /ha	
Check	125 ^b	116 ^b	11.4 ^a	13.5 ^a	15.7 ^b	12.4 ^b	3.6 ^b	2.4 ^b
1000 X	125 ^b	115 ^b	11.4 ^a	13.2 ^a	16.2 ^b	13.1 ^b	3.7 ^b	2.5 ^b
500 X	134 ^a	119 ^a	11.2 ^a	13.5 ^a	18.9 ^a	15.5 ^a	4.4 ^a	3.0 ^a
250 X	133 ^a	121 ^a	11.1 ^a	13.5 ^a	18.8 ^a	15.3 ^a	4.4 ^a	2.9 ^a

1st sampling date: Jul. 22, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 6, 2004.

三. 施用溶磷菌對牧草植體一般營養成分之影響

不同溶磷菌施用後對盤固草植體一般營養成分之影響，由表 9 顯示，溶磷菌有促進盤固草粗蛋白質（CP）含量的效果，粗蛋白質含量增加 0.77 %，但對於中酸洗纖維含量（NDF, ADF）並無影響。比較溶磷菌 *Bacillus pumillu* 與溶磷菌 *Bacillus* sp. 對增加盤固草之粗蛋白質（CP）含量的效果，以前者為佳。

不同溶磷菌施用後對狼尾草之牧草植體一般營養成分之影響由表 10 顯示，溶磷菌有促進狼尾草粗蛋白質（CP）含量的效果，粗蛋白質含量增加 0.23 %，但對於中酸洗纖維含量（NDF, ADF）並無影響。比較溶磷菌 *Bacillus pumillu* 與溶磷菌 *Bacillus* sp. 對增加狼尾草之粗蛋白質（CP）含量的效果，亦以前者為佳。

表 9. 不同溶磷菌施用後之盤固草植體一般營養成分分析

Table 9. The nutrition analysis of pangolagrass after application of phosphate-solubilizing microorganisms

Treatment*	<u>Crude protein</u>		<u>N D F</u>		<u>A D F</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	-----%					
Check	5.32 ^c	3.12 ^b	73.1 ^a	68.8 ^a	41.7 ^a	36.6 ^a
<i>Bacillus pumillu</i>	6.31 ^a	3.92 ^a	72.9 ^a	67.8 ^a	41.1 ^a	36.6 ^a
<i>Bacillus</i> sp.	5.99 ^b	3.74 ^a	73.0 ^a	69.0 ^a	41.8 ^a	36.5 ^a

1st sampling date: May 28, 2003 ; 2nd sampling date: Aug. 16, 2003.

表 10. 不同溶磷菌施用後之狼尾草植體一般營養成分分析

Table 10. The nutrition analysis of napiergrass after application of phosphate-solubilizing microorganisms

Treatment*	<u>Crude protein</u>		<u>N D F</u>		<u>A D F</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	-----%					
Check	6.06 ^c	3.54 ^c	61.4 ^a	68.6 ^a	32.2 ^a	37.6 ^a
<i>Bacillus pumillu</i>	6.25 ^a	3.93 ^a	63.3 ^a	70.2 ^a	33.1 ^a	39.8 ^a
<i>Bacillus</i> sp.	6.16 ^b	3.76 ^b	61.7 ^a	68.0 ^a	31.3 ^a	39.0 ^a

1st sampling date: May 28, 2003 ; 2nd sampling date: Aug. 16, 2003.

施用不同濃度溶磷菌 *Bacillus pumillu*，對盤固草植體一般營養成分之影響，由表 11 顯示，溶磷菌 *Bacillus pumillu* 有促進盤固草粗蛋白質（CP）含量的效果，粗蛋白質含量平均增加 0.53 %，而與溶磷菌稀釋的倍數無關，但對於中酸洗纖維含量（NDF, ADF）並無影響；溶磷菌對於促進狼尾草粗蛋白質含量的效果同時表現在 2004 年 7 月 21 日與 2004 年 10 月 5 日二次取樣中。

不同濃度溶磷菌施用後對狼尾草之牧草植體一般營養成分之影響由表 12 顯示，溶磷菌稀釋 250x 有促進狼尾草粗蛋白質（CP）含量的效果，粗蛋白質含量平均增加 0.4%，但對於中酸洗纖維含量（NDF, ADF）並無影響；溶磷菌對於促進狼尾草粗蛋白質含量的效果只表現在 2004 年 10 月 6 日第二次取樣。

表 11. 施用不同濃度溶磷菌之盤固草植體一般營養成分分析

Table 11. Nutrition analysis after *Bacillus pumillu* microorganism applying to pangolagrass

Treatment*	<u>Crude protein</u>		<u>N D F</u>		<u>A D F</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	%					
Check	6.3 ^a	4.6 ^a	78.3 ^a	68.4 ^a	38.8 ^a	39.6 ^a
1000 X	6.9 ^b	5.1 ^b	78.5 ^a	68.4 ^a	39.0 ^a	39.6 ^a
500 X	6.8 ^b	5.2 ^b	78.2 ^a	68.7 ^a	38.8 ^a	39.4 ^a
250 X	6.9 ^b	5.0 ^b	78.3 ^a	68.5 ^a	38.6 ^a	39.1 ^a

1st sampling date: Jul. 21, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 5, 2004.

表 12. 施用不同濃度溶磷菌之狼尾草植體一般營養成分分析

Table 12. Nutrition analysis of napiergrass plant after *Bacillus pumillu* microorganism application

Treatment*	<u>Crude protein</u>		<u>N D F</u>		<u>A D F</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	%					
Check	4.3 ^a	9.1 ^a	71.3 ^a	61.1 ^a	41.8 ^a	33.1 ^a
1000 X	4.3 ^a	9.3 ^a	71.6 ^a	61.2 ^a	41.9 ^a	33.6 ^a
500 X	4.1 ^a	9.2 ^a	71.5 ^a	61.9 ^a	42.1 ^a	33.3 ^a
250 X	4.3 ^a	9.9 ^b	71.0 ^a	61.8 ^a	41.8 ^a	33.8 ^a

1st sampling date: Jul. 22, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 6, 2004.

四. 施用不同濃度溶磷菌對牧草植體礦物質磷元素含量之影響

溶磷菌施用後對盤固草之牧草植體礦物質元素含量之影響由表 13 顯示，溶磷菌並無促進盤固草植體礦物質元素如鉀、鈣、鎂磷含量的效果，但溶磷菌對植體磷含量卻有顯著增加的效果，且同時表現在 2004 年 7 月 21 日與 2004 年 10 月 5 日二次取樣中。研究報告指出，施用溶磷菌可促進義大利黑麥草 (Fernandez *et al.*, 1985)、小麥 (Bajpai and Sundara Rao, 1985)、小麥 (Asea *et al.*, 1988) 等作物磷之吸收與植體磷含量。

不同濃度溶磷菌施用後對狼尾草之牧草植體礦物質元素含量之影響由表 14 顯示，溶磷菌並無促進狼尾草植體礦物質元素如鉀、鈣、鎂磷含量的效果，但溶磷菌對植體磷含量卻有顯著增加的效果，且同時表現在 2004 年 7 月 22 日與 2004 年 10 月 6 日二次取樣中。

表 13. 施用不同濃度溶磷菌之盤固草植體礦物質元素含量分析

Table 13. Minerals analysis of pangolagrass plant after *Bacillus pumillu* microorganism application.

Treatment*	<u>Phosphorus</u>		<u>Potassium</u>		<u>Calcium</u>		<u>Magnesium</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	%							
Check	0.25 ^a	0.37 ^a	1.94 ^a	0.55 ^a	0.63 ^a	0.76 ^a	0.18 ^a	0.16 ^a
1000 X	0.24 ^a	0.41 ^b	1.90 ^a	0.60 ^a	0.66 ^a	0.73 ^a	0.18 ^a	0.19 ^a
500 X	0.28 ^b	0.41 ^b	1.92 ^a	0.54 ^a	0.67 ^a	0.79 ^a	0.17 ^a	0.13 ^a
250 X	0.29 ^b	0.42 ^b	1.92 ^a	0.58 ^a	0.63 ^a	0.71 ^a	0.17 ^a	0.15 ^a

1st sampling date: Jul. 21, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 5, 2004

表 14. 施用不同濃度溶磷菌之狼尾草植體礦物質元素含量分析

Table 14. Minerals analysis of napiergrass plant after *Bacillus pumillu* microorganism application

Treatment*	<u>Phosphorus</u>		<u>Potassium</u>		<u>Calcium</u>		<u>Magnesium</u>	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
	%							
Check	0.33 ^a	0.63 ^a	3.22 ^a	1.90 ^a	0.56 ^a	0.33 ^a	0.34 ^a	0.37 ^a
1000 X	0.32 ^a	0.75 ^b	3.20 ^a	1.80 ^a	0.59 ^a	0.30 ^a	0.35 ^a	0.40 ^a
500 X	0.38 ^b	0.74 ^b	3.28 ^a	1.90 ^a	0.56 ^a	0.28 ^a	0.34 ^a	0.38 ^a
250 X	0.39 ^b	0.74 ^b	3.23 ^a	1.95 ^a	0.58 ^a	0.29 ^a	0.32 ^a	0.39 ^a

1st sampling date: Jul. 22, 2004 ; 2nd sampling date: Oct. 6, 2004

五. 施用溶磷菌對牧草生產的經濟效益評估

施用不同濃度溶磷菌對牧草生產的經濟效益評估如表 15 所示，以稀釋 500 倍的菌液為推薦量施用，溶磷菌需要量為 20 公斤／公頃，菌劑之生產成本如以 25 元／公斤計算（依據楊秋忠教授實驗室每公斤製造平均成本估算：菌培養材料 10 元、人工 10 元、裝菌液瓶 5 元），則每公頃須投資 500 元的溶磷菌費用，盤固草可增產 1 噸的乾物量、114 公斤植體粗蛋白質乾物量與 19.8 公斤植體磷乾物產量；另狼尾草可增產 0.7 噸的乾物量、62 公斤植體粗蛋白質乾物量與 6.7 公斤植體磷乾物量。以此方式計算，施用溶磷菌對牧草生產符合經濟效益。

表 15. 施用溶磷菌之經濟效益評估

Table 15. Estimation of economic benefit on the application of *Bacillus pumillu* microorganism

Grass	Treatment*	Cost	DM gained	CP gained	Phosphorus gained
		NT dollars/ha	ton/ha	Kg/ha	Kg/ha
Pangola	Check	0	10.8	594	33.5
	500 X	500	11.8	708	53.3
Napier	Check	0	3.0	201	14.4
	500 X	500	3.7	263	21.1

DM: dry matter; CP: crude protein.

結 論

綜合上述之結果提出下列幾點結論：

1. 施用溶磷菌 *Bacillus pumillu* 較 *Bacillus* sp. 對土壤有效性磷含量的釋出有增加效果，但與溶磷菌稀釋的倍數無顯著差異。
2. *Bacillus pumillu* 稀釋 500 與 250 倍，有促進盤固草與狼尾草株高、鮮草與乾物產量的效果，但對莖徑並無影響。
3. 施用 *Bacillus pumillu* 有促進盤固草與狼尾草粗蛋白質含量的效果，但對於中、酸洗纖維含量並無影響。
4. 施用溶磷菌有促進牧草植體磷含量的效果，以稀釋 500 與 250 倍效果較佳。
5. 施用溶磷菌對牧草生產的經濟效益評估，以稀釋 500 倍的菌液為推薦量施用，可增產乾物產量、植體粗蛋白質乾物產量與植體磷乾物產量，符合經濟效益。

參考文獻

- 中華土壤肥料學會。1994。土壤分析手冊。pp. 307~317。
- 楊秋忠。1997。固氮菌及溶磷菌的應用及發展。有益微生物在農業上之應用研討會專刊 pp.11~26。
- 謝文彰、陳建富。1988。不同牧地管理對盤固草生長的影響火燒處理對盤固草再生的影響。畜產研究 21 (1) : 65~73。
- 謝文彰、陳建富。1995。磷肥用量對盤固草生長與品質之影響。畜產研究 28 (2) : 133~140。
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd. ed. John Willey & Sons, New York.
- Bajpai, P. D. and W. V. B. Sundara Rao. 1971. Phosphate solubilizing Bacterial. Part I. Solubilization of Phosphate in liquid culture by selected bacteria as affected by different pH values. Soil Sci. Plant Nutr. 17 : 41~44.
- Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Willey & Sons, New York.
- Call, J. W., J. E. Butcher, J. L. Shupe, J. T. Blake, and A. E. Olson. 1986. Dietary phosphorus for beef cows. Am. J. Vet. Res. 47 : 475~481.
- Datta, H., S Banuk, and P. K. Gypta. 1982. Studies of the efficient of a phytohormone producing solubilizing *Bacillus firmus* in augmenting paddy yield in acid soil of nageland. Plant Soil 69 : 365~373.
- Fernandez, M., N C. Cadahia, A. Garate, and R. M. Esteban. 1985. The electro-ultrafiltration method for controlling the effect of *Bacillus cereus* on Phosphorus mobilization in a calcareous soil. Biol. Fert. Soils. 1 : 97~102.
- Goering, H. J. and P. G. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. USDA ARS. Agric. Handbook No. 379.
- Khalafalla, M. A., M.S.M. Saber, and Abd-El-Maksoud. 1983. Effect of phosphate-dissolving bacteria on P-uptake by barley plants grown in a salt affected calcareous soil. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 14 : 545~550.
- McDonald, L. R.. 1992. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press, Inc., New York.
- Olsen, S. R., and F. E. Khasawneh. 1980. Use and limitation of physical -chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soil. pp.361~410. In: F. E. Khasawneh, E. C. Sample, and E. J. Kamprath, (eds). The role of phosphorus in agriculture. Amer. Society of Agron., Madison, Wis.
- Russell, E. W. 1973. Soil Condition and Plant Growth. 10th ed. Longman, London. pp 555~603.
- Sauchelli, V. 1951. Manual on Phosphates in Agriculture. Davidson Chemical Coop, Baltimore.
- Subba, Rao, N. S. 1982. Biofertilizer in Agriculture. Sunil Printers, New Delhi.
- Taiton, N. M. (Eds). 1984. Veld and Pasture Management in South Africa, pp. 27~56 & 119~151.

Effects of phosphate-solubilizing microorganism on growth and phosphorus content of Pangolagrass and Napiergrass⁽¹⁾

Wein-Chang Hsieh⁽²⁾⁽³⁾

Received : April 22, 2005 ; Accepted : Oct. 24, 2005

Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of phosphate-solubilizing microorganism *Bacillus pumilus* and *Bacillus* sp. on the growth and phosphorus content of Pangolagrass A254 and Napiergrass 7439 in pot culture. The results showed that *Bacillus pumilus* and *Bacillus* sp. can improve grasses height, yield, crude protein, phosphorus content of grasses and available phosphorus content in pot soil. But the growth of grasses stem diameter, neutral and acid detergent fiber were not different significantly.

The effects of different concentration of *Bacillus pumilus* on the growth and phosphorus content of Pangolagrass A254 and Napiergrass 7439 in field culture were also investigated. Data showed that *Bacillus pumilus* diluted 250x and 500x had effects on increasing grasses height, yield, crude protein, and phosphorus content but they had no effect on grasses stem diameter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber or available phosphorus content of soil.

Bacillus pumilus diluted 500x had economical advantage on increasing dry matter, crude protein and phosphorus yield of grasses.

Key words : Napiergrass, Pangolagrass, Phosphate-solubilizing microorganism, Grass growth, Phosphorus.

(1) Contribution No.1299 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-TLRI, Pingtung, Taiwan, R.O.C.

(3) Corresponding author. Mail: wchsieh @ mail tlri gov.tw