บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การคัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ (Phenotype) เบื้องต้น (ภาคผนวก ข) และศึกษาจากข้อมูลของงานทดลองของ ยุพา (2552) ได้คัดเลือกตัวแทนของแต่ละสกุลโดยดูจาก ความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพ (phenotype) และศักยภาพของเชื้อในการผลิตสารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของส้ม ทำให้สามารถคัดเลือกตัวแทนเชื้อทั้งหมด 33 ไอโซเลท จาก 6 สกุล (genus) ได้แก่ *Streptomyces, Nocardia, Nocardiopsis, Spirillospora, Microbispora, Micromonospora* และไอโซเลทที่ยังไม่สามารถระบุสกุลได้ (unidentified) (ตารางที่ 1) ซึ่งในทั้ง 6 สกุลนี้ คัดเลือกไอโซเลทที่มีศักยภาพในการผลิตสารที่ช่วยในการเจริญเติบโตที่ดีแตกต่างกัน การขยายตัวและเพิ่มปริมาณเชื้อได้อย่างรวดเร็ว มาทำการศึกษาความสามารถเชิงปริมาณของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ในการละลายธาตุอาหารพืชออกจากแร่ธรรมชาติและการทดสอบประสิทธิภาพของแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าส้ม

ตารางที่ 1 กลุ่มสกุลเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ ที่คัดเลือกนำมาศึกษาในการทดลอง

Genus	Isolate
Streptomyces	TGsL-01-01, TGsL-03-14, TGcL-01-009, TGcL-04-004, TGsS-02-02, TGsS-03-07,- TGsR01-01, TGsR-01-09, TGsR-01-15, TGsR-03-02 , TGcR-01-02 , TGcR-04-010, TGcR-04-011, TGcR-04-018
Nocardia	TGsR-01-12
Nocardiopsis	TGsL-02-04 , TGsL-02-05 , TGcL-04-060
Spirillospora	TGsR-01-14
Microbispora	TGsR-01-08
Micromonospora	TGsR-02-03, TGsR-02-01, TGsR-02-20, TGsR-03-06
Unidentified	TGsR-03-04, TGcB-02-016, TGcB-02-020 , TGcB-02-026, TGcR-01-007, TGcL-04-053, TGcL-04-064, TGcB-01-002 , TGcB-01-007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การประเมินความสามารถเชิงปริมาณของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ในการละลายธาตุอาหารพืชออกจากแร่ธรรมชาติ

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสจากฟอสฟอรัส 3 แหล่งคือ แคลเซียมฟอสเฟต, อะลูมิเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟต และความสามารถในการละลายโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์หาความสามารถเชิงปริมาณในการละลายฟอสฟอรัส จากแคลเซียมฟอสเฟต

จากการทดสอบการละลายฟอสฟอรัสจากแคลเซียมฟอสเฟต พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ทั้งหมดมีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสได้ทุกไอโซเลท (100% ของเชื้อทั้งหมด)โดยสามารถละลายได้ตั้งแต่ 5.22 – 275.6 mgP/g of dry cell พบว่า ไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้มากที่สุดคือ TGcL-04-60 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 275.6 mg P /g of dry cell (ตารางที่ 2, ภาพที่ 1) และไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้น้อยที่สุดคือ TGcR-04-18 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 5.22 mgP/g of dry cell และเมื่อเปรียบเทียบตามสกุลแล้ว พบว่า *Nocardiopsis* มีความสามารถละลายฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตั้งแต่ 36.99 – 275.61 mgP/g of dry cell ส่วนสกุล *Streptomyces, Nocardia, Spirillospora, Microbispora, Micromonospora* และเชื้อในกลุ่มที่ไม่สามารถระบุสกุลได้ มีความสามารถละลายฟอสฟอรัสได้ดังนี้คือ 5.22 - 70.99, 11.73, 78.68, 26.76, 9.98 -11.39 และ 12.47 - 56.34 mgP/g of dry cell ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ ภาวิณี (2551) ที่ศึกษาแอคติโนมัยสิทจำนวน 57 สายพันธุ์ พบว่ามีเพียง 33% ของเชื้อเท่านั้นที่ สามารถเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ แต่ในงานทดลองครั้งนี้เชื้อทั้งหมดที่เลือกมา (100%) สามารถละลายฟอสฟอรัสได้และมีปริมาณค่อนข้างสูง จากการคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากดินนากรดกำมะถัน ชุดดินรังสิต พบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตทั้งหมด 6 ไอโซเลท เมื่อนำมาทดสอบการละลายฟอสเฟต พบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ Rs01 สามารถละลายฟอสเฟตในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ ได้สูงสุด 1,103 mgP/L (วุฒิชัย และคณะ, 2550) เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ สุภาพรและคณะ (2553) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ Rs01 มีประสิทธิภาพการละลายแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3 (PO_4)_2$) ได้สูงที่สุดคือ 878.5 mg P/L และการศึกษา ของ นิศารัตน์ (2546) ซึ่งพบว่าเชื้อราไอโซเลท F003 มีความสามารถในการละลายแคลเซียมฟอสเฟตได้สูงสุดคือ 1,090.6 mg P/L สำหรับในงานทดลองครั้งนี้พบว่าไอโซเลท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

TGcL-04-60 มีค่าการละลายฟอสฟอรัสจากแคลเซียมฟอสเฟตได้สูงมากถึง 1,317.91 mg P/L (ตารางที่ 2) ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่านอกจากราและแบคทีเรียที่มีความสามารถสูงในการละลายฟอสฟอรัสแล้ว เอนโดไฟท์แอกติโนไมซิสต์ จากงานทดลองนี้มีศักยภาพสูงมากในการละลายฟอสเฟตจากแคลเซียมฟอสเฟต

กลไกของจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้กลไกหนึ่ง คือ การผลิตกรดอินทรีย์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้วัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของอาหาร เพื่อตรวจสอบความสามารถในการผลิตกรดของจุลินทรีย์ โดยที่ก่อนการทดลองค่า pH ของอาหารที่ใช้มีค่าเป็นกลาง (pH 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 วัน) ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่า ในอาหารที่มีเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น คือ pH 4.21-5.32 พบว่า ไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้มากที่สุดคือ TGsR-02-20 มีค่า pH 4.21 และมีค่าการละลายฟอสฟอรัส 111.39 mg P/g of dry cell ส่วน ไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้น้อยที่สุดคือ TGsR-02-01 มีค่า pH 5.32 และ มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 9.98 mg P/g of dry cell ซึ่งสอดคล้องกับ นวรัตน์และคณะ (2531) ที่สรุปว่าจุลินทรีย์สามารถผลิตกรดในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ โดยพบว่าเมื่อเริ่มการทดลองอาหารเลี้ยงเชื้อมีค่า pH 7 ต่อมา 7-21 วันค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ปรากฏว่าในอาหารที่มีแบคทีเรีย *Bacillusmeg thorium* มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็น pH 4.6 เช่นเดียวกันกับ นิศารัตน์ (2546) ได้ทำการคัดเลือกเชื้อรา ที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุด โดยใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสพบว่า การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเหลว ของเชื้อราทุกๆ isolate ทำให้ pH ของอาหารลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 3 วันโดย isolate F004 ทำให้ค่า pH ของอาหารเหลวลดลงจาก 5.99 เป็น 2.96 และที่ 7 วัน pH ของอาหารลดลงมากที่สุด คือมีค่า pH 2.09 ซึ่งทุกๆ isolate มีความแตกต่างจาก control ซึ่งไม่ใส่เชื้อด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส จากแคลเซียมฟอสเฟต ของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Genus	Isolate	Phosphorus solubilizing activity		
		Ca-Phosphate ($Ca_3(PO_4)_2$)		
		mg P/L[1]	mg P/g of dry cell[1]	pH (pH control =7)
Streptomyces	TGsL-01-001	190.55	31.84[j]	4.76
	TGsL-03-014	368.50	70.99[c]	4.61
	TGcL-01-009	271.15	47.16[e]	4.66
	TGcL-04-004	302.21	68.81[c]	4.99
	TGsS-02-002	221.60	37.06[g]	4.50
	TGsS-03-007	158.45	26.11[k]	4.99
	TGsR-01-001	221.95	32.98[i]	5.05
	TGsR-01-009	262.43	42.94[f]	4.37
	TGsR-01-015	121.12	26.42[j]	5.27
	TGsR-03-002	242.54	20.68[l]	4.62
	TGcR-01-002	152.17	25.09[k]	4.52
	TGcR-04-010	239.40	60.30[c]	4.61
	TGcR-04-011	340.94	65.99[c]	4.26
	TGcR-04-018	26.91	5.22[p]	4.77
Nocardia	TGsR-01-012	75.06	11.73[n]	4.55
Nocardiopsis	TGsL-02-004	196.13	36.99[g]	4.57
	TGsL-02-005	232.42	37.13[g]	4.67
	TGcL-04-060	1317.91	275.61[a]	4.79
Spirillospora	TGsR-01-014	402.34	78.68[c]	4.96
Microbispora	TGsR-01-008	177.99	26.78[j]	4.30
Micromonospora	TGsR-02-003	109.60	31.30[j]	4.49
	TGsR-02-001	55.52	9.98[o]	5.32
	TGsR-02-020	463.41	111.39[b]	4.21
	TGsR-03-006	184.97	53.49[d]	4.53
Unidentified	TGsR-03-004	239.50	37.85[g]	5.10
	TGcB-02-016	149.38	20.01[l]	4.79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

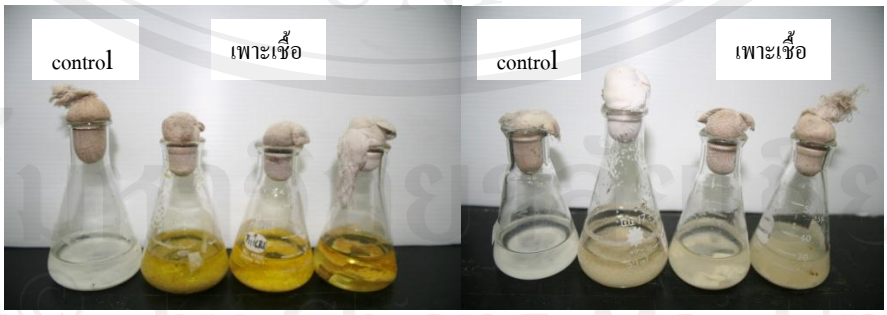
ตารางที่ 2 (ต่อ)

Genus	Isolate	Phosphorus sulubilizing activity		
		Ca-Phosphate ($Ca_3(PO_4)_2$)		
		mgP /L[1]	mgP/g of dry cell[1]	pH
Unidentified	TGcB-02-020	67.73	12.47[m]	4.51
	TGcB-02-026	148.33	35.05[h]	5.14
	TGcR-01-007	166.82	25.55[k]	4.47
	TGcL-04-053	281.62	56.34[d]	4.64
	TGcL-04-064	271.15	53.22[d]	4.65
	TGcB-01-002	207.30	26.39[j]	4.72
	TGcB-01-007	314.42	30.65[j]	4.69
	Mean		45.592	
	F-test		*	
	% CV		28.06	

[a-n] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* Significantly different at P<0.05

[1] Values were obtained by subtracting the control value (Control = 89.93 mgP /L และ 17.52 mgP /g of Ca-Phosphate)



A. B.

ภาพที่ 1 ความแตกต่างของการละลายฟอสฟอรัส จากแคลเซียมฟอสเฟต ของเชื้อแอกติโนไมซิสต์ เอนโดไฟท์ไอโซเลท TGcL-04-60(A) และ TGcR-04-18(B) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 วิเคราะห์หาความสามารถเชิงปริมาณในการละลายฟอสฟอรัส จากอะลูมิเนียมฟอสเฟต

จากการทดสอบการละลายฟอสฟอรัสจากอะลูมิเนียมฟอสเฟต พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ทุกไอโซเลทมีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด (100% ของเชื้อทั้งหมด) มีปริมาณตั้งแต่ 1.95 – 213.20 mg P/g of dry cell พบว่า ไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้มากที่สุด คือ TGsR-03-02 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 213.20 mg P/g of dry cell และ ไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้น้อยที่สุดคือ TGcL-04-04 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 1.95 mg P/g of dry cell และเมื่อเปรียบเทียบตามสกุลแล้ว พบว่า *Streptomyce* มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตั้งแต่ 1.95 – 213.20 mg P/g of dry cell ส่วนสกุล *Nocardia, Nocardiopsis, Spirillospora, Microbispora, Micromonospora* และเชื้อในกลุ่มที่ไม่สามารถระบุบสกุลได้ มีความสามารถละลายฟอสฟอรัสได้ ดังนี้คือ 27.10, 4.32 – 31.67, 74.79, 56.08, 61.96 - 124.43 และ 4.91 - 95.70 mg P/g of dry cell ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบผลของการทดลองนี้กับงานของ Pratibha (2007) ซึ่งได้ทำการศึกษาการพัฒนาความเป็นประโยชน์ของ อนินทรีย์ฟอสเฟต โดยใช้เชื้อ *Eupenicllium parvum* ในอาหาร Pikovskaya broth (pH 7) ที่ให้อะลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่ 6 วัน พบว่าสามารถละลายฟอสฟอรัส ได้ 89.6 mgP/L และงานของสุภาพร (2553) ซึ่งได้คัดแยกเชื้อแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้จำนวน 6 ไอโซเลตและพบว่าโดยแบคทีเรียที่สามารถละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟต($AlPO_4$) มีเพียง 2 ชนิดจาก 6 ชนิด (33.3%) คือ Rs01 และ Rs02 สามารถละลายฟอสเฟตได้ 36.5 mg P/L และ 119.5 mg P/L ตามลำดับแบคทีเรีย สายพันธุ์ Rs01 มีประสิทธิภาพการละลาย $Ca_3(PO_4)_2$, $FePO_4$ หรือ $AlPO_4$ พบว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถละลายฟอสเฟตในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ ได้ดีกว่า $FePO_4$ และ $AlPO_4$ เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองนี้ พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ละลายฟอสเฟตได้จำนวน 33 ไอโซเลต (100% ของเชื้อทั้งหมด) และพบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ยังมีความสามารถละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟต($AlPO_4$) และแคลเซียมฟอสเฟต $Ca_3(PO_4)_2$ ได้ 100% ของเชื้อทั้งหมด ซึ่งความสามารถละลายมากน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดฟอสฟอรัสและสกุลของเชื้อแอกติโนไมซิสต์

การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดของจุลินทรีย์ กระทำโดยการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเริ่มการทดลองอาหารที่ใช้มีค่าเป็นกลาง (pH 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7วัน) ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยพบว่าค่า pH ในอาหารที่มีเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ทุกไอโซเลทมีค่าลดลงหรือมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีค่า pH ลดลงจาก pH 7 เป็น pH 2.62 ถึง 4.62 (ตารางที่ 3) ไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นกรดด่างได้มากที่สุดคือ TGsS-03-07 มีค่า pH 2.62 และมีค่าการละลายฟอสฟอรัสได้ 60.06 mg P/g of dry cell ส่วนไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้น้อยที่สุดคือ TGcL-04-64 มีค่า pH 4.62 และ มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 4.32 mg P/g of dry cell

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 ความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส จากอะลูมิเนียมฟอสเฟตของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Genus	Isolate	Phosphorus solubilizing activity		
		Al-Phosphate ($Al_3(PO_4)_2$)		
		mg P/L [1]	mg P/g of dry cell [1]	pH
Streptomyces	TGsL-01-001	32.36	8.10[j]	3.74
	TGsL-03-014	28.31	7.31[j]	3.82
	TGcL-01-009	43.34	13.18[j]	3.78
	TGcL-04-004	3.24	1.95[l]	3.81
	TGsS-02-002	60.31	18.70[j]	3.76
	TGsS-03-007	246.93	60.06[e]	2.67
	TGsR-01-001	188.52	54.38[e]	3.54
	TGsR-01-009	58.58	12.09[j]	3.61
	TGsR-01-015	24.26	7.03[j]	4.27
	TGsR-03-002	861.93	213.20[a]	2.76
	TGcR-01-002	34.28	11.24[j]	3.81
	TGcR-04-010	86.34	28.82[g]	3.47
	TGcR-04-011	13.46	6.67[j]	3.80
	TGcR-04-018	30.81	14.04[j]	3.56
Nocardia	TGsR-01-012	93.66	27.10[h]	4.23
Nocardiopsis	TGsL-02-004	151.69	31.67[g]	3.62
	TGsL-02-005	57.42	23.44[i]	3.76
	TGcL-04-060	15.97	4.32[k]	4.62
Spirillospora	TGsR-01-014	317.30	74.79[d]	3.73
Microbispora	TGsR-01-008	152.66	56.08[e]	4.20
Micromonospora	TGsR-02-003	307.27	90.20[d]	3.19
	TGsR-02-001	195.46	61.96[e]	4.77
	TGsR-02-020	448.20	99.95[b]	3.38
	TGsR-03-006	712.52	124.43[b]	2.62
Unidentified	TGsR-03-004	48.74	17.32[j]	3.54
	TGcB-02-016	159.79	31.47[g]	3.56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่3 (ต่อ)

Genus	Isolate	Phosphorus sulubilizing activity		
		Al-Phosphate ($Al_3(PO_4)_2$)		
		mg/L[1]	mg P/g of dry cell[1]	pH
Unidentified	TGcB-02-020	157.48	34.38[f]	3.41
	TGcB-02-026	223.41	51.68[e]	3.90
	TGcR-01-007	91.54	23.45[i]	3.54
	TGcL-04-053	498.91	95.70[c]	3.56
	TGcL-04-064	29.27	9.61[j]	3.78
	TGcB-01-002	14.81	4.91[k]	3.62
	TGcB-01-007	162.87	50.13[e]	3.79
	Mean		45.592	
	F-test		*	
	% CV		27.784	

[a-k] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* Significantly different at P<0.05

[1] Values were obtained by subtracting the control value (Control = 73.03 mgP /L และ 19.07 mgP/g of Al-Phosphate)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 วิเคราะห์หาความสามารถเชิงปริมาณในการละลายฟอสฟอรัส จากหินฟอสเฟต

จากการทดสอบการละลายฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟต พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ทั้งหมดมีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด (100%ของเชื้อทั้งหมด) มีปริมาณตั้งแต่ 6.01 – 122.08 mg P/g of dry cell พบว่า ไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้มากที่สุดคือ TGsL-02-04 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 122.08 mgP/g of dry cell และ ไอโซเลทที่สามารถละลายฟอสฟอรัสได้น้อยที่สุดคือ TGsR-02-20 มีค่าการละลายฟอสฟอรัส 6.01 mgP/g of dry cell และเมื่อเปรียบเทียบตามสกุลแล้ว พบว่า *Nocardiopsis* มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตั้งแต่ 49.61 – 122.21 mgP/g of dry cell ส่วนสกุล *Streptomyces, Nocardia, Spirillospora, Microbispora, Micromonospora* และเชื้อในกลุ่มที่ไม่สามารถระบุบสกุลได้ มีความสามารถละลายฟอสฟอรัสได้ ดังนี้คือ 30.99 – 102.29, 18.01, 74.92, 50.70, 6.01 - 90.90 และ 37.94 – 104.58 mg P/g of dry cell ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เช่นเดียวกับการทดลองของ Chun-Qiao Xiao *et al.* (2008) ศึกษาการทำให้หินฟอสเฟตมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยการใช้เชื้อในการละลายฟอสเฟตพบว่า เชื้อชนิดต่างๆที่คัดเลือกมีความสามารถในการละลายหินฟอสเฟต คือ *C. krissii*, *P. expensum* และ *M. ramosissimus* ซึ่งมีค่าการละลาย 107.2, 101.1 และ 97.7 mg P/ L ตามลำดับ สอดคล้องกับ นวรัตน์และคณะ (2531) ที่พบว่าแบคทีเรียและเชื้อรามีผลในการเพิ่มการละลายหินฟอสเฟต กล่าวคือเมื่อเริ่มต้นผลการทดลองอาหารที่ใช้มีค่าฟอสฟอรัสประมาณ 8 ppm P หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ จุลินทรีย์ต่างๆละลายหินฟอสเฟตได้มากน้อยต่างกันคือ *Aspergillus* sp. No.1 ละลายให้ค่าฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ 78 ppm P (mg P/ L) รองลงมาคือ *Unidentified* No. 1, *Unidentified* No. 2 , *Aspergillus* sp. No.3, *Penicillium* sp. และ *Bacillus megatherium* โดยให้ค่าฟอสฟอรัส 31, 28, 19, 18 และ 17 ppm P ตามลำดับ

Khan and Bhatnager (1977) ได้ศึกษาถึงการละลายของหินฟอสเฟตจากประเทศอินเดีย พบว่า A. *niger* มีความสามารถละลายหินฟอสเฟตได้ดีที่สุด แต่ความสามารถของ A. *niger* ในการละลายหินฟอสเฟตนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของหินฟอสเฟตด้วย โดย Zhang *et.al.* (1981) รายงานว่า A. *niger* สามารถละลายหินฟอสเฟตจากประเทศจีนและโมรอคโคได้ดี แต่หากมีการเพิ่มปริมาณของหินฟอสเฟตไปถึง 4 เปอร์เซ็นต์แล้วปริมาณการละลายจะคงที่ เนื่องจาก Sodium fluoride ที่ละลายออกมาจากหินฟอสเฟตจะยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตกรดอินทรีย์ของ A. *niger* ทำให้การละลายหินฟอสเฟตลดลงได้ (Khan and Bhatnagar, 1977)

ภาวนา และคณะ (2553) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพละลายหินฟอสเฟตชนิดต่างๆ จากจุลินทรีย์ 60 ไอโซเลท. ได้เชื้อราในสกุล *Penicillium* 3 ไอโซเลท และเชื้อแบคทีเรีย 2 ไอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โซเลท เมื่อศึกษาการใช้จุลินทรีย์ที่คัดเลือกไว้ร่วมกับหินฟอสเฟตในสภาพ micro-plot และสภาพแปลงทดลอง พบว่า การเพาะเชื้อรา *Penicillium* sp. ทั้ง 3 ไอโซเลทร่วมกับการใส่หินฟอสเฟตทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชทดสอบสูงกว่าการใส่หินฟอสเฟตแต่ไม่เพาะเชื้อรา

การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดของจุลินทรีย์ กระทำโดยการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเริ่มการทดลองอาหารที่ใช้มีค่าเป็นกลาง (pH 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4 ปรากฏว่า ในอาหารที่มีเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น คือ pH 3.27 – 4.72 พบว่าไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้มากที่สุดคือ TGsL-02-04 มีค่า pH 3.27 และมีค่าการละลายฟอสฟอรัสได้ 122.08 mg P/g of dry cell ส่วนไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้น้อยที่สุดคือ TGsR-02-20 มีค่า pH 4.72 และมีค่าการละลายฟอสฟอรัส 6.01 mg P/g of dry cell จุลินทรีย์สามารถละลายกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆออกมาทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดอินทรีย์โมเลกุลต่ำสามารถเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายโดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับ chelation และปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (Fox and Comerford, 1990; Gerkel, 1992) มีการนำเชื้อรามาใช้ประโยชน์ในการผลิตกรดอินทรีย์อย่างแพร่หลาย (Mattey, 1992; Vassilev and Vassileva, 1997) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา A. *niger* และ *Penicillium* sp. บางสายพันธุ์ โดยมีการศึกษาในระบบหมักร่วมกันกับหินฟอสเฟต หรือโดยการเพาะเชื้อโดยตรงเพื่อให้ไปละลายหินฟอสเฟต (Kucey, 1983; Asea *et al*., 1988; Cerezine *et al.,* 1988; Cunningham and Kulack, 1992)

ปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง จุลินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp. และราในสกุล *Aspergillus* sp., *Thiobacillus, Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น จากผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า แอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์หลายไอโซเลท มีศักยภาพสูงในการละลายฟอสเฟตทั้งในรูปของ แคลเซียมฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟต (ภาพที่ 2) ได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าแบคทีเรีย และ เชื้อราเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นดังได้กล่าวมาแล้ว จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำเชื้อดังกล่าวไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 ความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟต ของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Genus	isolate	Phosphorus solubilizing activity		
		Rock-Phosphate		
		mgP/L[1]	mgP/g of dry cell[1]	pH
Streptomyces	TGsL-01-001	221.06	98.66 [b]	3.82
	TGsL-03-014	274.13	85.25[c]	3.90
	TGcL-01-009	182.89	67.60[g]	4.15
	TGcL-04-004	228.97	73.50[e]	3.86
	TGsS-02-002	251.31	63.59[g]	3.90
	TGsS-03-007	232.16	71.45[f]	3.76
	TGsR-01-001	200.24	93.49 [b]	3.74
	TGsR-01-009	254.78	57.90[h]	4.06
	TGsR-01-015	123.56	30.99[m]	4.24
	TGsR-03-002	219.25	62.49[h]	3.93
	TGcR-01-002	283.43	102.29 [b]	4.14
	TGcR-04-010	250.61	65.74 [g]	3.28
	TGcR-04-011	228.83	46.94[k]	3.71
	TGcR-04-018	300.36	61.26[h]	3.93
Nocardia	TGsR-01-012	66.74	18.01[n]	4.79
Nocardiopsis	TGsL-02-004	396.39	122.08[a]	3.27
	TGsL-02-005	222.86	80.72[d]	4.12
	TGcL-04-060	202.46	49.61[j]	3.53
Spirillospora	TGsR-01-014	235.55	74.92 [g]	4.20
Microbispora	TGsR-01-008	67.57	50.70[i]	4.51
Micromonospora	TGsR-02-003	204.82	90.90 [b]	3.84
	TGsR-02-001	115.38	35.96[l]	4.53
	TGsR-02-020	26.77	6.01[p]	4.72
	TGsR-03-006	233.13	40.44[l]	3.64
Unidentified	TGsR-03-004	236.60	71.11[f]	4.31
	TGcB-02-016	205.30	90.26 [b]	4.03

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 (ต่อ)

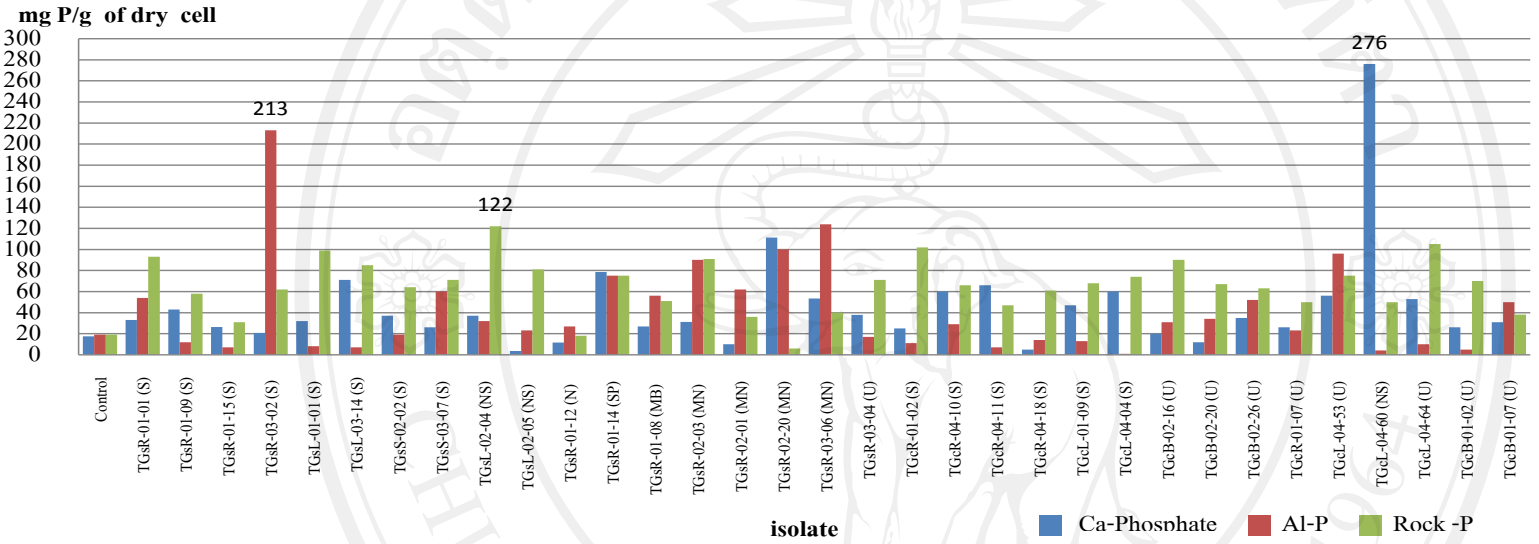
Genus	Isolate	Phosphorus sulubilizing activity		
		Rock-Phosphate		
		mgP/L[1]	mgP/g of dry cell[1]	pH
Unidentified	TGcB-02-020	276.56	66.55[g]	3.98
	TGcB-02-026	291.41	62.65[g]	4.09
	TGcR-01-007	255.54	62.65[g]	4.12
	TGcL-04-053	187.75	74.70[e]	3.82
	TGcL-04-064	215.79	104.58[b]	4.10
	TGcB-01-002	196.35	70.22[f]	4.09
	TGcB-01-007	225.36	37.94[l]	3.98
	Mean		65.354	
	F-test		*	
	% CV		17.393	

[a-n] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* Significantly different at P<0.05

[1] Values were obtained by subtracting the control value (Control = 45.99 mgP /L และ 18.73 mgP/g of Rock-Phosphate)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบความสามารถเชิงปริมาณในการละลายฟอสฟอรัส จากแคลเซียมฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต และ หินฟอสเฟต ของแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Genus of isolate : S (*Streptomyces*), N (*Nocardia*), NS (*Nocardiopsis*), SP (*Spirillospora),* MB *(Microbispora*), M (*Micromonospora*) and U (Unidentified)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 วิเคราะห์หาความสามารถเชิงปริมาณในการละลายโพแทสเซียม จากแร่เฟลด์สปาร์

จากการทดสอบความสามารถในการละลายโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ทั้งหมดมีความสามารถในการละลายโพแทสเซียมได้ทั้งหมด (100%ของเชื้อทั้งหมด) มีปริมาณตั้งแต่ 0.61 - 4.88 mg K/g of dry cell พบว่าไอโซเลทที่สามารถละลายโพแทสเซียมได้มากที่สุดคือ TGsR-03 - 002 มีค่าการละลายโพแทสเซียม 4.88 mg K/g of dry cell (ภาพที่ 3) และไอโซเลทที่สามารถละลายได้โพแทสเซียมน้อยที่สุดคือ TGsR-01-008 มีค่าการละลายโพแทสเซียม 0.61 mg K/g of dry cell และเมื่อเปรียบเทียบตามสกุลแล้ว พบว่า *Streptomyces* มีความสามารถในการละลายโพแทสเซียมได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตั้งแต่ 0.99 – 4.88 mgK/g of dry cell ส่วนสกุล *Nocardia, Nocardiopsis, Spirillospora, Microbispora, Micromonospora* และเชื้อในกลุ่มที่ไม่สามารถระบุบสกุลได้ มีความสามารถละลายโพแทสเซียมได้ ดังนี้คือ 1.15, 0.87 – 2.35, 1.79, 0.61, 0.61 - 1.98 และ 1.01 – 4.41 mg K/g of dry cell ตามลำดับ(ตารางที่ 5) สอดคล้องกับ ศิณีนาถ (2548) ทดลองความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียมในอาหารเหลว พบว่าการไม่ใส่เชื้อมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ 2.48 mg K /100 ml แต่เมื่อใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในอาหารพบว่า ทุก isolate ทำให้โพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพิ่มจาก control ประมาณ 2.2-2.8 เท่าตัว หรือประมาณ 3.72-6.78 mgK/100ml เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองนี้พบว่าความสามารถของเชื้อแอกติโนไมซิสต์ที่ละลายโพแทสเซียมในอาหารเหลว พบว่าการไม่ใส่เชื้อแอกติโนไมซิสต์ (control) มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ 0.70 mg K/g K-FS แต่เมื่อใส่เชื้อแอกติโนไมซิสต์ลงไปในอาหารพบว่า ทุก isolate ทำให้โพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพิ่มจาก control ประมาณ 2.7-6.9 เท่าตัว หรือประมาณ 1.31 – 5.49 mg K/g of dry cell

จากรายงานของ ปิยะมาศ (2546) เชื้อ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่แยกได้จากดิน อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ เป็นเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการละลาย โพแทสเซียม จากแร่เฟลด์สปาร์ในจำนวนทั้งหมด 22 isolate ที่ใช้ในการศึกษา ในอาหารเหลวที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งมี $\%K_2O$ 10 % (8.23%K) เป็นแหล่งของโพแทสเซียม ซึ่งเชื้อสามารถทำให้ โพแทสเซียมที่ละลายได้ในอาหารเหลวมากกว่า contorl ซึ่งไม่ใส่เชื้อ ประมาณ 16.9 % และทำให้อาหารเหลวมี pH 6.96

ในทางชีวภาพจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส (*Bacillus ciculant*) ซึ่งเป็นซิลิเกตแบคทีเรียสามารถสร้างกรดอินทรีย์ออกมาละลายโพแทสเซียมออกจากแร่ดินเหนียวบางชนิดได้ มีการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพให้เกษตรกรในประเทศจีน บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ดินต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องในกระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

mobilization โดยการละลายกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติค กรดซิตริค กรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่ และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบจุลินทรีย์สามารถละลายการออกมาละลายแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* และ *Pseudomonas* ราในกลุ่มของ *Aspergillus, Mucor, Penicillium* โดยอาจละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite, muscovite ละลายจากแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น microcline, nephelite, leucite, orthoclase เป็นต้น (Alexander, 1977; Friedrich *et al.,* 1991) และจากรายงานของ Berthelin (1983) พบว่าโพแทสเซียมจะถูกละลายออกมาจากรูปที่ตกตะกอนโดยการผลิตกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์จากแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiobacillus, Clostridium* และ *Bacillus*

การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดของจุลินทรีย์ กระทำโดยการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้ pH meter โดยเริ่มการทดลองค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของอาหารที่ใช้มีค่าเป็นกลาง (pH 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 วัน) ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (ตารางที่ 5) ปรากฏว่า ในอาหารที่มีเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์มีค่าเป็นกลาง คือ pH 6.46 – 7.63 พบว่า ไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้มากที่สุดคือ TGsR-03-002 มีค่า pH 6.46 และมีค่าการละลายโพแทสเซียมได้ 4.88 mg K/g of dry cell ส่วนไอโซเลทที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้น้อยที่สุดคือ TGsR-01-012 มีค่า pH 7.63 และมีค่าการละลายโพแทสเซียม 1.15 mg K/g of dry cell ซึ่งสอดคล้องกับ นวรัตน์และคณะ(2531) จุลินทรีย์สามารถผลิตกรด กระทำโดยการวัดค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยเครื่อง pH meter พบว่าเมื่อเริ่มการทดลอง pH 7 ต่อมา 7-21 วันค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ปรากฏว่าในอาหารที่มีแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อมีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น (pH 8) เมื่อระยะเวลาการทดลองนานขึ้น จุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถส่งเสริมการละลายของกรดสินแร่โดยกรดอินทรีย์จะทำหน้าที่เป็นสารประกอบคีเลท ซึ่งสามารถรวมกับธาตุที่มีประจุบวกซึ่งกลไกดังกล่าวเรียกว่า ligand promote mechanism นอกจากนี้ H^+ หรือ proton จากกรดก็สามารถทำให้สินแร่ละลายได้โดยตรง (Ullman *et al*., 1996) แบคทีเรียหลายชนิดสามารถสังเคราะห์กรดอินทรีย์ได้จากกระบวนการ fermentation ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบได้แก่กรด acetic, lactic และ butyric (Gollschalk, 1986 อ้างโดย Ullman *et al*., 1996) แบคทีเรียพวก *Arthrobacter* sp. และ *Sterptomyces* sp. สามารถสร้าง biofilm ซึ่งมีฤทธิเป็นกรดและขับสาร siderophore เมื่อเจริญอยู่บนผิวสินแร่ซิลิเกตบางชนิด เช่น hornblende ซึ่งเป็นผลทำให้ Fe ละลายออกมาจาก hornblende Liermann *et al*. (2000) ใช้ microeletrode วัด pH พบว่าแตกต่างกันถึง 0.6 หน่วย โดยเชื้อ *Arthrobacter* ทำให้ความแตกต่างของ pH มีมากกว่า *Sterptomyces* ถึง 10 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใน 1 สัปดาห์แรก เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดทำให้การละลาย Fe จากแร่ hornblende มากกว่าการไม่ใส่เชื้อ 5 ถึง 10 เท่า ในกรณีของเชื้อ *Arthrobacter* sp. พบว่าการละลายของแร่ hornblende โดยแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้ผิวของแร่มี Fe/ Si ratio ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 ความสามารถในการละลายโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Genus	Isolate	Potassium solubilizing activity		
		K-feldspar		
		mg K/L[1]	mg K /g of dry cell[1]	pH
Streptomyces	TGsL-01-001	3.01	2.22[d]	7.30
	TGsL-03-014	4.51	4.20[a]	7.45
	TGcL-01-009	1.94	1.07i	7.19
	TGcL-04-004	2.86	1.79[e]	7.20
	TGsS-02-002	3.86	3.56[b]	7.03
	TGsS-03-007	3.28	1.38[f]	7.41
	TGsR-01-001	2.64	0.99[j]	7.30
	TGsR-01-009	2.39	1.02[j]	6.52
	TGsR-01-015	3.11	1.09[h]	7.55
	TGsR-03-002	10.53	4.88[a]	6.46
	TGcR-01-002	4.58	2.12[d]	7.37
	TGcR-04-010	3.49	1.59[f]	7.29
	TGcR-04-011	4.31	1.55[f]	7.32
	TGcR-04-018	5.70	2.83[c]	7.45
Nocardia	TGsR-01-012	2.90	1.15[h]	7.63
Nocardiopsis	TGsL-02-004	4.43	2.35[d]	6.71
	TGsL-02-005	3.39	1.21[g]	7.42
	TGcL-04-060	2.55	0.87[k]	7.34
Spirillospora	TGsR-01-014	5.23	1.79[e]	7.37
Microbispora	TGsR-01-008	1.60	0.61[l]	7.46
Micromonospora	TGsR-02-003	1.44	0.61[l]	7.51
	TGsR-02-001	3.69	1.98[d]	7.61
	TGsR-02-020	3.48	1.19[g]	7.45
	TGsR-03-006	2.37	0.86[k]	6.86
Unidentified	TGsR-03-004	3.75	1.96[d]	7.50
	TGcB-02-016	5.38	2.37[d]	7.35

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

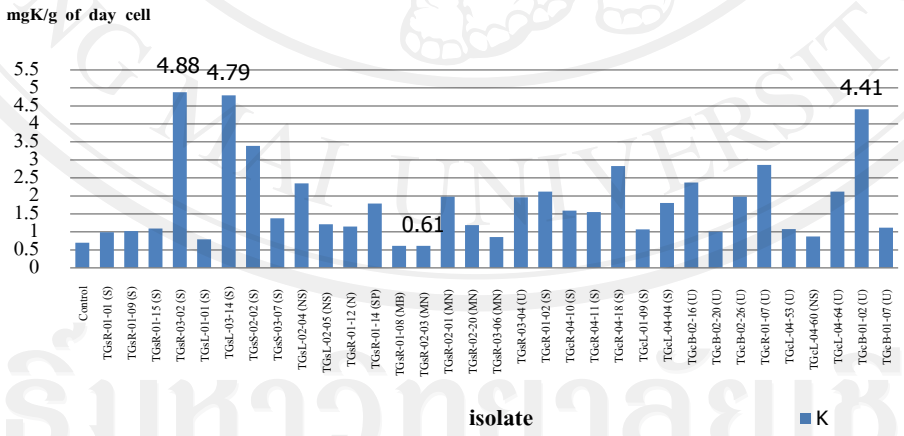
ตารางที่ 5 (ต่อ)

Genus	Isolate	Potassium solubilizing activity		
		K- feldspar		
		mg K/L[1]	mgK/g of dry cell[1]	pH
Unidentified	TGcB-02-020	2.95	1.01[j]	7.35
	TGcB-02-026	2.29	1.98[d]	7.30
	TGcR-01-007	6.53	2.86[c]	7.51
	TGcL-04-053	2.73	1.08[i]	7.11
	TGcL-04-064	4.15	2.12[d]	6.70
	TGcB-01-002	5.54	4.41[a]	7.42
	TGcB-01-007	3.02	1.12[h]	7.41
	Mean		1.79	
	F-test		*	
	% CV		1.04	

[a-l] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* Significantly different at P<0.05

[1] Values were obtained by subtracting the control value (Control = 1.89 mgP /L และ 0.70 mgP/g of K-FS)



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความสามารถเชิงปริมาณในการละลายโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆกับชุดควบคุม

Genus of isolate: S (*Streptomyces*), N (*Nocardia*), NS (*Nocardiopsis*), SP (*Spirillospora),* MB *(Microbispora*), M (*Micromonospora*) and U (Unidentified)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์

4.4.1 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้ม

จากการทดลองความสามารถของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ในการละลายแร่ธรรมชาติดังเบื้องต้น จึงสามารถคัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซิสต์ ได้ดังนี้เชื้อไอโซเลท TGcL-04-60 อยู่ในสกุล *Nocardiopsis* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส จากแคลเซียมฟอสเฟตได้สูงที่สุด, เชื้อไอโซเลท TGsR-03-06 อยู่ในสกุล *Micromonospora* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส จากอะลูมิเนียมฟอสเฟตได้สูงที่สุด, เชื้อไอโซเลท TGsL-02-04 อยู่ในสกุล *Nocardiopsis* ละลายฟอสฟอรัส จาก หินฟอสเฟตได้สูงสุด, เชื้อแอกติโนไมซิสต์ไอโซเลท TGsR-03-02 อยู่ในสกุล *Streptomyces* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีความสามารถในการละลายโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ได้สูงที่สุด และมีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส จากอะลูมิเนียมฟอสเฟตได้ดีและเชื้อไอโซเลท TGsL-02-05 อยู่ในสกุล *Nocardiopsis* เป็นเชื้อทีมีความสามารถในการผลิต IAA สูงที่สุด เพื่อใช้ในการทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มต่อไป

การทดลองชุดที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อร่วมกับหินฟอสเฟต

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากที่สุดคือ 4.77 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 36.28 % (ตารางที่6) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-005, TGsL-02-004, TGsR-03-006, TGcL-04-060 และ control+RP ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 4.43, 4.13, 4.13, 3.60 และ 3.50 เซนติเมตร ตามลำดับ โดย เพิ่มขึ้นจาก control+RP 26.57, 18.00, 18.00 และ 2.85 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ, ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ (control) มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 4) ด้านความยาวรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-004 มีการเจริญเติบโตในด้านความยาวรากมากที่สุด คือ 12.86 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 27.32 % ส่วนกรรมวิธีทดลองอื่นๆมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต (ภาพที่ 6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-006 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากที่สุดคือ 10.10 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 63.77 % (ตารางที่ 6) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGcL-04-060, TGsL-02-005, TGsR-03-002, TGsL-02-004 และ control+RP ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 9.60, 8.90, 8.83, 7.43, และ 6.167 เซนติเมตร ตามลำดับโดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 55.56, 44.31, 43.18, และ 20.47 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 6) ด้านความยาวราก พบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีการเจริญเติบโตในด้านความยาวรากมากที่สุด คือ 17.53 เซนติเมตรโดยเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 54.31 % (ตารางที่ 6) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006, TGsL-02-005, TGcL-04-060 , TGsL-02-004 และ control + RP ตามลำดับ มีค่าคือ 17.50, 14.30, 12.90, 12.10 และ 11.36 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 54.04, 25.88, 13.55 และ 6.51 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวรากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 ผลของการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆร่วมกับหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้ม

Treatment	Shoot length (cm.)				Root length (cm.)			
	Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Months		1 Month		3 Months	
	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]
Control	2.46 b	-	5.83 c	-	10.56	-	10.80 b	-
Control + Rock-Phosphate (RP)	3.50 ab	-	6.167 c	-	10.10	-	11.36 ab	-
TGsR-03-002 (S)[1] + RP	4.77 a	36.28	8.83 ab	43.18	11.03	9.20	17.53 a	54.31
TGsR-03-006 (MN) + RP	4.13 ab	18.00	10.10 a	63.77	12.40	22.77	17.50 a	54.04
TGsL-02-004 (NS) + RP	4.13 ab	18.00	7.43b c	20.47	12.86	27.32	12.10 ab	6.51
TGsL-02-005 (NS) + RP	4.43 ab	26.57	8.90 ab	44.31	12.76	26.33	14.30 ab	25.88
TGcL-04-060 (NS) + RP	3.60 ab	2.85	9.60 a	55.56	10.26	1.58	12.90 ab	13.55
mean	4.01	-	8.12	-	11.42	-	13.57	-
F-test	*	-	*	-	ns	-	*	-
%CV	1.28	-	1.90	-	5.29	-	1.91	-

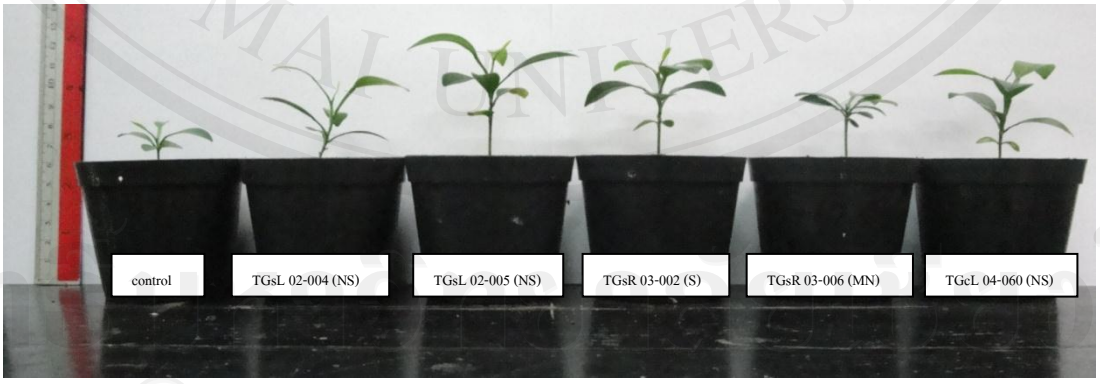
[a-c] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[ns] Not significantly different

[*] Significantly different at P<0.05

[1]Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*) and MN (*Micromonospora*)

[2] Percent increase over the [Control + Rock-Phosphate]



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มในชุดที่เติมหินฟอสเฟต ที่ระยะเวลา 1 เดือน

Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*) and MN (*Micromonospora*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มในชุดที่เติมหินฟอสเฟต ที่ระยะเวลา 3 เดือน

Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*) and MN (*Micromonospora*)

1 เดือน 3 เดือน

A B

ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อความยาวรากของกล้าส้มในชุดที่เติมหินฟอสเฟต ที่ระยะเวลา 1 เดือน (A) และ 3 เดือน (B)

Genus of isolate: S (*Streptomyces*) and NS (*Nocardiopsis*)

เมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน พบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 0.4165 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 55.00 % (ตารางที่7) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-005, TGsL-02-004, TGsR-03-006, TGcL-04-060 และ control+RP ตามลำดับ มีค่าคือ 0.4012, 0.3011, 0.2933, 0.2763, และ 0.2687 กรัม ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 49.31, 12.05, 9.15 และ 2.28 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักสดต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ด้านน้ำหนักแห้ง กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 0.1130 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 84.94 % (ตารางที่ 7) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-005, TGsL-02-004, TGsR-03-006, control+RP และ TGcL-04-060 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.1051, 0.0689, 0.0680, 0.0611 และ 0.0575 กรัมตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 72.01, 12.76 และ 11.29 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ด้านน้ำหนักสดรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดรากมากที่สุด คือ 0.2913 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 38.79 % (ตารางที่7) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ไม่ได้รับการใส่เชื้อ control+RP, TGsR-03-002, TGsR-03-006, TGsL-02-004 และ TGcL-04-060 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.2099, 0.2001, 0.1894, 0.1879 และ 0.1402 กรัม ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักสดรากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 1.0156 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 91.65 % (ตารางที่ 7) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-005, TGsR-03-006 และ TGsR-03-002 มีค่าเท่ากับ 1.0105, 0.9884 และ 0.7482 กรัม ตามลำดับโดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 90.69, 86.52 และ 41.19 % ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธี TGsL-02-004 และ control+RP มีค่าน้อยกว่ากล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ด้านน้ำหนักแห้ง กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ 0.3260 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 140.76 % (ตารางที่ 7) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006, TGsL-02-005, TGsR-03-002 มีค่าเท่ากับ 0.3125, 0.3063 และ 0.2337 กรัม ตามลำดับโดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 130.79, 126.21 และ 72.59 % ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธี TGsL-02-004 และ control+RP มีค่าน้อยกว่ากล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ด้านน้ำหนักสดรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดรากมากที่สุด คือ 0.4960 กรัม โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 64.72 % (ตารางที่ 7) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้รับการ TGsR-03-006 และ TGcL-04-060 มีค่าเท่ากับ 0.4242 และ 0.4960 กรัม ตามลำดับโดยเพิ่มขึ้นจากชุด control+RP 40.88 และ 37.36 % ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธี ปลูกเชื้อ TGsR-03-002, TGsL-02-004 และ control+RP มีค่าน้อยกว่ากล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ, ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับ ธงชัย (2535) ซึ่งพบว่าการใช้เชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟตบดอัตรา 1.28 กรัม/กระถาง มีแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นว่าสามารถทำให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตที่สูงใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตรา 0.51 กรัม/กระถาง โดยทำให้มีน้ำหนักแห้งเมล็ด 9.60-9.81 กรัม/กระถาง ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ด 59.50-62.58 ppm. น้ำหนักเมล็ดทั้งฝักแห้ง 19.23-21.24 กรัม/ต้น และมีจำนวนฝัก 35.25-40.00 ฝัก/ต้น Banik and Dey (1981) ได้ทดลองใส่เชื้อ *Aspergillus* sp., A. niger และ *Streptomyces* กับดินพวก laterilic soil โดยใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสได้พบว่าทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชดีขึ้น และทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ต่อการเจริญเติบโตของส้มในชุดที่เติมหินฟอสเฟต

Treatment	Fresh weight (g./plant)				Dry weight (g./ plant)				Fresh root weight (g./ plant)			
	Time after inoculation				Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Months		1 Month		3 Months		1 Month		3 Months	
	(g./ plant)	% Increase[2]	(g./ plant)	% Increase[2]	(g./ plant)	% Increase[2]	(g./ plant)	% Increase[2]	(g. /plant)	% Increase[2]	(g./ plant)	% Increase[2]
Control	0.1954 b	-	0.7156 c	-	0.0426 c	-	0.1893 c	-	0.0721 b	-	0.4127 ab	-
Control + Rock-Phosphate (RP)	0.2687 ab	-	0.5299 c	-	0.0611 bc	-	0.1354 bc	-	0.2099 ab	-	0.3011 ab	-
TGsR-03-002 (S)[1] + RP	0.4165 a	55.0	0.7482 b	41.19	0.1130 a	84.94	0.2337 ab	72.59	0.2001 ab	-	0.2995 ab	-
TGsR-03-006 (MN) + RP	0.2933 ab	9.15	0.9884 a	86.52	0.0680 abc	11.29	0.3125 a	130.79	0.1894 ab	-	0.4242 ab	40.88
TGsL-02-004 (NS) + RP	0.3011 ab	12.05	0.6258 bc	18.09	0.0689 abc	12.76	0.1676 bc	23.78	0.1879 ab	-	0.2584 b	-
TGsL-02-005 (NS) + RP	0.4012 a	49.31	1.0105 a	90.69	0.1051 ab	72.01	0.3063 a	126.21	0.2913 a	38.78	0.4960 a	64.72
TGcL-04-060 (NS) + RP	0.2763 ab	2.82	1.0156 a	91.65	0.0575 bc	-	0.3260 a	140.76	0.1402 ab	-	0.4136 ab	37.36
mean	0.3056		0.7620		0.0740		0.2273		0.1839		0.3713	
F-test	*		*		*		*		*		*	
%CV	0.19		0.211		0.049		0.10		0.15		0.21	

[a-c] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

* Significantly different at P<0.05

[1]Genus of isolates: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

[2] Percent Increase over the control + Rock-Phosphate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองของชุดที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อร่วมกับแร่เฟลด์สปาร์

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากที่สุด คือ 6.06 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 26.25 % (ตารางที่8) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006 และ TGsL-02-004 มีค่าเท่ากับ 5.8 และ 5.267 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 20.83 และ 9.27 % ส่วน control + K-FS, TGsL-02-005 และ TGsR-03-002 ให้ค่าน้อยกว่า กล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ (ชุดควบคุม) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต (ภาพที่ 7) ด้านความยาวรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีการเจริญเติบโตในด้านความยาวรากมากที่สุด คือ 16.63 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 70.91% (ตารางที่ 8) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006, TGsL-02-004, TGcL-04-060 และ TGsL-02-005 คือ 15.03, 13.3, 13.2, และ 11.53 เซนติเมตร (ภาพที่ 9) โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 54.47, 36.69, 35.66 และ 18.49 % ตามลำดับ ส่วน control + K-FS ให้ค่าน้อยกว่า กล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์(ชุดควบคุม) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากที่สุด คือ 8.97 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 20.72 % (ตารางที่ 8)โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-004, TGsR-03-006, TGcL-04-060, TGsR-03-002 และ control + K-FS ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 8.83, 8.57, 8.33, 7.63 และ 7.43 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 18.84, 15.34, 12.11 และ 2.69 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต่ำที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต (ภาพที่ 8) ด้านความยาวรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL 04-060 มีการเจริญเติบโตในด้านความยาวรากมากที่สุดคือ 23.23 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 57.70 % (ตารางที่ 8) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006, TGsL-02-004 , TGsL-02-005, TGsR-03-002 และ control + K-FS ตามลำดับมีค่าเท่ากับ 22.07, 21.57, 21.43, 18.87 และ 14.73 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 10)โดยเพิ่มขึ้นจากชุดcontrol + K-FS 49.83, 46.43, 45.48 และ 28.10 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ได้ปลูกเชื้อ, ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวรากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้ม ในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์

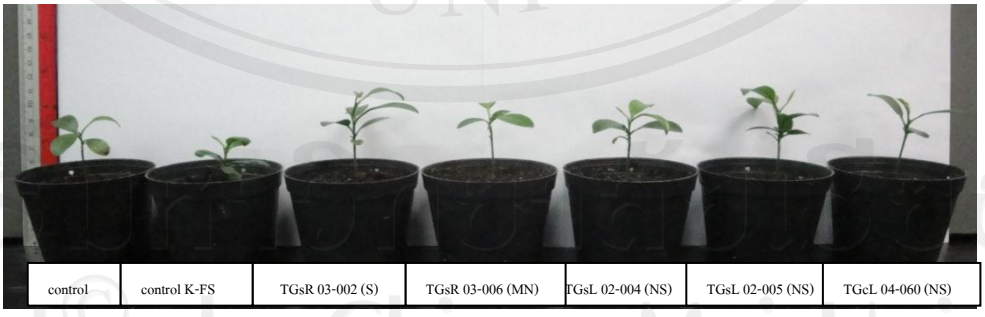
Treatment	Shoot length (cm.)				Root length (cm.)			
	Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Months		1 Month		3 Months	
	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]	(cm.)	% Increase[2]
Control	5.13	-	7.40	-	10.23 b	-	13.03 b	-
Control + K-felspar (K-FS)	4.80	-	7.43	-	9.73 b	-	14.73 b	-
TGsR 03-002 (S)[1] + K-FS	4.60	-	7.63	2.69	16.63 a	70.91	18.87 ab	28.10
TGsR 03-006 (MN) + K-FS	5.80	20.83	8.57	15.34	15.03 ab	54.47	22.07 a	49.83
TGsL 02-004 (NS) + K-FS	5.26	9.72	8.83	18.84	13.30 ab	36.69	21.57 a	46.43
TGsL 02-005 (NS) + K-FS	4.60	-	8.97	20.72	11.53 ab	18.49	21.43 a	45.48
TGcL 04-060 (NS) + K-FS	6.06	26.25	8.33	12.11	13.20 ab	35.66	23.23 a	57.70
mean	5.18	-	8.16	-	12.81	-	19.27	-
F-test	ns	-	ns	-	*	-	*	-
%CV	1.79	-	2.01	-	6.01	-	6.59	-

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different ($P<0.05$)

[ns] Not significantly different; * significantly different at $P<0.05$

[1] Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

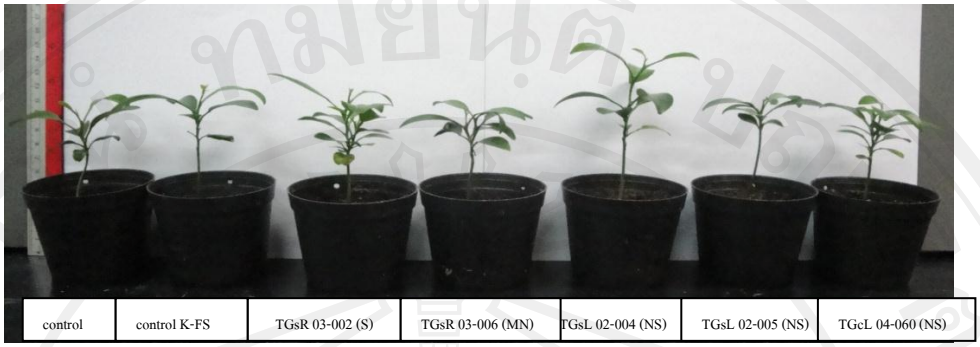
[2] Percent increase over the Control + K-felspar (K-FS)



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์ ที่ระยะเวลา 1 เดือน

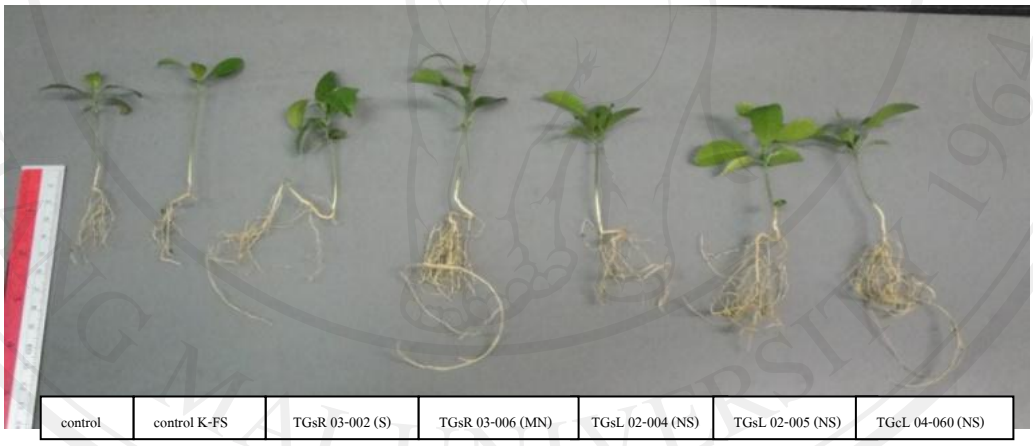
Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์ ที่ระยะเวลา 3 เดือน

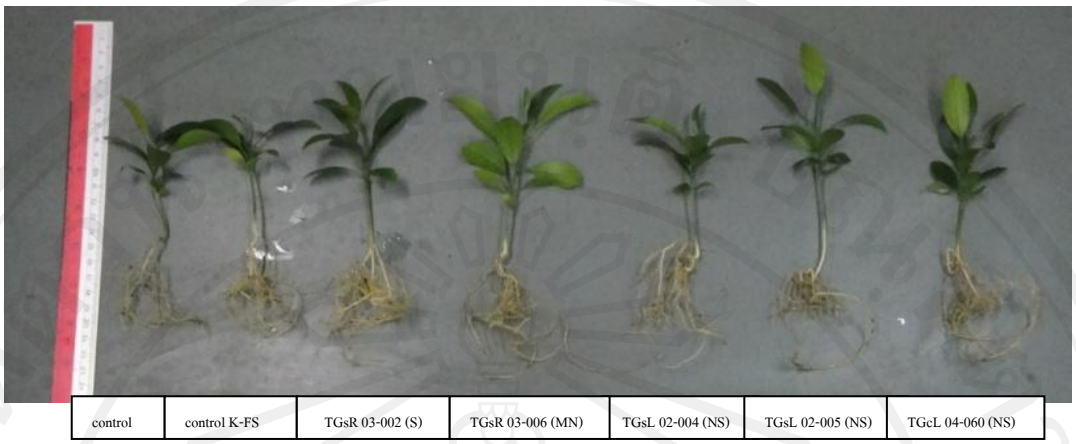
Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อความยาวรากของกล้าส้มในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์ ที่ระยะเวลา 1 เดือน

Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบการใช้เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อความยาวราก ของกล้าส้มในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์ ที่ระยะเวลา 3 เดือน

Genus of isolate: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

เมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 0.45 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 48.22 % (ตารางที่9)โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-002, TGsL-02-004, TGsR-03-060, control+K-FS และ TGcL-04-006 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.43, 0.4066, 0.3472, 0.3036 และ 0.2904 กรัม ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 41.63, 33.92 และ 14.36 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักสดต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ด้านน้ำหนักแห้ง กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.1068 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 56.36 % (ตารางที่ 9) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-005, TGsL-02-004, TGsR-03-060, control+K-FS ตามลำดับ และ TGcL-04-006 ตามลำดับมีค่าเท่ากับ 0.1057, 0.0955, 0.0804, 0.0683 และ 0.0645 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 54.75, 39.82 และ 17.71 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ด้านความน้ำหนักสดรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดรากมากที่สุดคือ 0.3378 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 100.59 % (ตารางที่ 9) โดยรองลงมาได้แก่ TGcL-04-060, TGsL-02-005, TGsR-03-006, control+K-FS และ TGsL-02-004 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.2152, 0.1763, 0.1754, 0.1684 และ 0.1204

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรัมตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 27.79, 4.69 และ 4.15 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

ผลการจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-004 มีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 1.1671 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 47.71 % (ตารางที่ 9) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGcL-04-060, TGsL-02-005, TGsR-03-006, TGsR-03-002 และcontrol + K-FS ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.974, 0.9546, 0.9408, 0.7959 และ 0.7901 กรัมตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 23.27, 20.82, 19.07 และ 0.73 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ด้านน้ำหนักแห้ง กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.2619 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 28.88 % (ตารางที่ 9) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsL-02-004 , TGsL-02-005, TGsR-03-006, TGsR-03-002 และcontrol+K-FS ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.2605, 0.235, 0.2346, 0.2176 และ 0.2032 กรัมตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุด control + K-FS 28.19, 15.64, 15.45 และ 7.08 %ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ด้านน้ำหนักสดรากพบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดรากมากที่สุดคือ 0.6823 กรัม เพิ่มขึ้นจากชุด control+ K-FS 50.48% (ตารางที่ 9) โดยรองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อ TGsR-03-006, TGsR-03-002, TGsL-02-004, TGsL-02-005 และ control+ K-FS ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.6573, 0.6239, 0.5927, 0.5806 และ 0.4534 กรัมตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม 44.17, 37.60, 30.72 และ 28.05 % ตามลำดับ ส่วนกล้าส้มที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)

สอดคล้องกับ ภาวนาและคณะ (2553) ซึ่งได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ที่คัดเลือกไว้ร่วมกับหินฟอสเฟตใน micro-plot และแปลงทดลอง เมื่อนำจุลินทรีย์ที่คัดเลือกไว้มาทดลองใช้ร่วมกับหินฟอสเฟตใน micro-plot พบว่าเชื้อราทั้ง 3 ไอโซเลท คือ *Penicillium* spp. RPS 003 F, RPS 032 F และ RPS 145 F มีประสิทธิภาพสูงกว่าเชื้อแบคทีเรีย เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยผลผลิตของถั่วเหลืองและข้าวโพดจากผลการทดลองใน micro-plot 15 แปลงและแปลงทดลอง 10 แปลง พบว่าถั่วเหลืองใน micro-plot การเพาะเชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟตให้น้ำหนักเมล็ดมากกว่าการใส่เฉพาะหินฟอสเฟต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

92.9 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับข้าวโพด การเพาะเชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟตให้น้ำหนักเมล็ดมากกว่าการใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว 93.3 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพแปลงทดลอง พบว่าการเพาะเชื้อรา *Penicillium* spp. ร่วมกับการใส่หินฟอสเฟตอัตราต่ำ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชทดสอบสูงกว่าการใส่หินฟอสเฟตแต่ไม่เพาะเชื้อรา โดยรวมแล้วการเพาะเชื้อราร่วมกับหินฟอสเฟตทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองและข้าวโพดเพิ่มขึ้นจากการไม่เพาะเชื้อรา 28.3 และ 27.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สุภาพร (2553) ศึกษาแบคทีเรียละลายฟอสเฟตสายพันธุ์ Ra01 พบว่าเป็น *Burkholderia multivorans* มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ สูงกว่าฟอสเฟตในรูป $FePO_4$ และ $AlPO_4$ จึงนำและ *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Ra01 ไปทดสอบการละลายฟอสเฟตในดินด่าง (ชุดดินตาคลี) ที่มีการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 โดยทำการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน พบว่าการใส่ *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Ra01 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมทำให้ความสูงเส้นรอบวงน้ำหนักแห้งของข้าวโพดหวานที่ระยะออกไหม (54วัน) ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมร่วมกัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Bacillus megatherium var .phosphaticum* ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของลำต้นอ้อยไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Sundara *et al.,* 2002) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทุกชนิดสามารถผลิต phytohormone และเอนไซม์ฟอสฟาเตสซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตของพืชโดยเพิ่มแร่ธาตุในดิน (Ponmurugan and Gopi, 2006) พืชจึงเจริญเติบโตดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกล้าส้มในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์

Treatment	Fresh weight (g./plant)				Dry weight (g./plant)				Fresh root weight (g./plant)			
	Time after inoculation				Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Months		1 Month		3 Months		1 Month		3 Months	
	(g./plant)	% Increase[2]	(g./plant)	% Increase[2]	(g./plant)	% Increase[2]	(g./plant)	% Increase[2]	(g./plant)	% Increase[2]	(g./plant)	% Increase[2]
Control	0.19 c	-	0.71	-	0.04 c	-	0.18	-	0.07 b	-	0.41	-
Control + K (K-FS)	0.30 bc	-	0.79	-	0.06 abc	-	0.20	-	0.16 ab	-	0.45	-
TGsR-03-002 (S)[1] + K-FS	0.43 a	41.63	0.79	0.73	0.10 a	56.76	0.21	7.08	0.33 a	100.59	0.62	37.60
TGsR-03-006 (MN) + K-FS	0.29 bc	-	0.94	19.07	0.06 bc	-	0.23	15.45	0.17 ab	4.15	0.65	44.17
TGsL-02-004 (NS) + K-FS	0.40 ab	33.92	1.16	47.71	0.09 ab	39.82	0.26	28.19	0.12 b	-	0.59	30.72
TGsL-02-005 (NS) + K-FS	0.45 a	48.22	0.95	20.82	0.10 a	54.75	0.23	15.64	0.17 ab	4.69	0.58	28.05
TGcL-04-060 (NS) + K-FS	0.34 ab	14.36	0.97	23.27	0.08 abc	12.71	0.26	28.88	0.21 ab	27.79	0.68	50.48
mean	0.30		0.76		0.07		0.22		0.18		0.37	
F-test	*		ns		*		ns		*		*	
%CV	0.19		0.21		0.04		0.10		0.15		0.21	

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[ns] Not significantly different

[*] Significantly different at P<0.05

[1] Genus of isolates: S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

[2] Percent increase over the control + K-felspar (K-FS)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.3 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆต่อการดูดธาตุอาหารของกล้าส้มในส่วนเหนือดิน

ทำการวิเคราะห์กล้าส้มส่วนเหนือดิน โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน (%N), ฟอสฟอรัส (%P) และโพแทสเซียม (%K) และคำนวณปริมาณการดูดใช้ ไนโตรเจน (N uptake) , ฟอสฟอรัส (P uptake) และ โพแทสเซียม (K uptake)

การทดลองในชุดที่เติมหินฟอสเฟต พบว่า การใส่เชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ทุกไอโซเลทสามารถเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจนได้ยกเว้น TGcL-04-060 โดยที่หลังปลูก 3 เดือนจะให้ค่าที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ระยะ 1 เดือน โดยมีค่าสูงกว่ากรรมวิธี control+RP ตั้งแต่ 26.22 – 125.48 % กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณ N uptake มากที่สุดทั้ง 1 และ 3 เดือน คือมีปริมาณ 11.10 และ 10.50 mgN /plant ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธี control+RP 491.52 และ 125.62 % ตามลำดับ

ส่วนการดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake) พบว่าที่ระยะ 1 เดือน หลังปลูกกล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณ P uptake มากที่สุด คือ 0.2988 mg P/plant ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธี control+RP ถึง 55.05 % และ 3 เดือน พบว่าวัสดุปลูกที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake) มากที่สุด คือ 0.3216 mg P/plant สูงกว่ากรรมวิธี control+RP 46.18 %

ส่วนการดูดใช้โพแทสเซียม (K uptake) พบว่าหลังปลูกกล้าส้ม 1 เดือน กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีปริมาณ K uptake มากที่สุด คือ 2.76 mg K/plant สูงกว่ากรรมวิธี control+RP 80.90 % แต่ที่ระยะ 3 เดือน พบว่ากล้าส้มได้รับเชื้อ TGsR-03-006 มีปริมาณ K uptake มากที่สุด คือ 7.79 mg K/plant สูงกว่ากรรมวิธี control+RP 135.71 % (ตารางที่ 10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ต่อการดูดธาตุอาหารของกล้าส้มในส่วนเหนือดิน ในชุดที่เติมหินฟอสเฟต

Treatment	N uptake (mg N/ plant)				P uptake (mg P/ plant)				K uptake (mg K/ plant)			
	Time after inoculation				Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Months		1 Month		3 Months		1 Month		3 Months	
		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]
Control	2.51	-	2.01	-	0.19	-	0.25	-	1.49	-	4.60	-
Control + Rock-Phosphate(RP)	1.87	-	4.65	-	0.19	37.20	0.22	-	1.52	-	3.30	-
TGsR-03-002 (S)[1] + RP	3.53	88.10	6.92	48.77	0.23	21.74	0.28	29.04	2.76	80.90	5.53	67.53
TGsR-03-006 (MN) + RP	2.57	37.19	9.81	110.75	0.24	29.57	0.28	30.90	1.74	14.43	7.79	135.71
TGsL-02-004 (NS) + RP	2.59	38.22	5.87	26.22	0.24	26.41	0.31	40.90	1.85	21.57	3.06	-
TGsL-02-005 (NS) + RP	11.10	491.52	10.49	125.48	0.29	55.05	0.32	46.18	2.56	67.92	5.59	69.12
TGcL-04-060 (NS) + RP	1.95	4.15	1.99	-	0.24	28.59	0.30	38.59	1.41	-	6.30	90.63

[1]Genus of isolates : S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

[2] Percent increase over the control + Rock-Phosphate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองในชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์พบว่า หลังปลูก 1 เดือน กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGcL-04-060 มีปริมาณ ไนโตรเจน N uptake มากที่สุด คือ 12.01 mg N/plant สูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 324.52 % และหลังปลูก 3 เดือน พบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-004 มีปริมาณ N uptake มากที่สุด คือ 9.03 mg P/ plant สูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 13.99 %

สำหรับปริมาณ P uptake พบว่าที่ระยะ 1 เดือน กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-006 มีปริมาณ P uptake มากที่สุด คือ 0.34 mg P/ plant สูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 42.75 % และที่ระยะ 3 เดือน พบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณ P uptake มากที่สุดคือ 0.24 mg P/ plant สูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 0.16 %

ด้านปริมาณ K uptake พบว่าที่ระยะ 1 เดือน กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-006 ส่งผลให้มีปริมาณ K uptake มากที่สุด คือ 6.8904 mg K/ plant มากที่สุดและสูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 30.00 % เมื่อทำการปลูกกล้าส้ม 3 เดือน พบว่ากล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002 มีปริมาณ K uptake มากที่สุด 6.68 mg K/ plant สูงกว่ากรรมวิธี control + K-FS 28.78 % (ตารางที่ 11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ต่อการดูดธาตุอาหารของกล้าส้มในส่วนเหนือดิน ในชุดที่เติมชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์

Treatment	N uptake (mg N/ plant)				P uptake (mg P/ plant)				K uptake (mg K/ plant)			
	Time after inoculation				Time after inoculation				Time after inoculation			
	1 Month		3 Month		1 Month		3 Month		1 Month		3 Month	
		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]		% Increase[2]
Control	6.61	-	6.01	-	0.19	-	0.20	-	5.33	-	4.60	-
Control + K-felspar (K-FS)	2.82	-	7.92	-	0.24	-	0.23	-	5.30	-	5.19	-
TGsR-03-002 (S)[1] + K-FS	3.63	28.59	7.45	-	0.06	-	0.15	-	6.78	27.96	6.68	28.78
TGsR-03-006 (MN) + K-FS	10.03	254.61	6.22	-	0.34	77.78	0.12	-	6.89	30.00	5.64	8.79
TGsL-02-004 (NS) + K-FS	3.23	14.20	9.03	42.75	0.06	-	0.19	-	5.60	5.07	5.25	1.32
TGsL-02-005 (NS) + K-FS	3.81	34.67	7.01	-	0.13	-	0.24	0.16	5.82	9.98	5.40	4.09
TGcL-04-060 (NS) + K-FS	12.01	324.52	5.85	-	0.07	-	0.19	-	5.42	2.37	6.36	22.69

[1]Genus of isolates: S (*Streptomyces*), N (*Nocardiopsis*), M (*Micromonospora*)

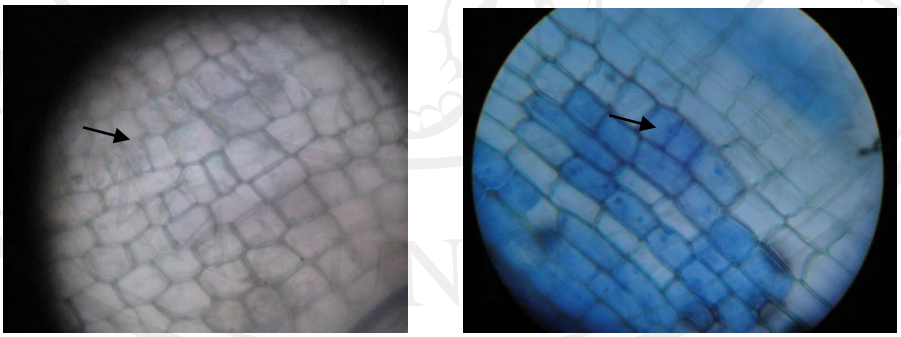
[2] Percent increase over the control + K-felspar (K-FS)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 การตรวจสอบการเข้ารากของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์

การทดสอบความสามารถในการเข้ารากของเชื้อแอกติโนไมซิสต์ที่ปลูกถ่ายให้กับกล้าส้มที่ได้จากการเพาะจากเมล็ด นำไปตรวจสอบการเข้ารากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าภายในรากกล้าส้มมีเชื้อแอกติโนไมซิสต์เข้าอาศัยอยู่ (ภาพที่ 11)

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ชุดที่เติมหินฟอสเฟต ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณการเข้ารากมากที่สุด คือ 36.32% (ตารางที่ 12) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-006, TGsR-03-002, TGcL-04-060, TGsL-02-004 และ control+RP ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเข้ารากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ช่วงระยะเวลา 3 เดือน TGsL-02-005 มีปริมาณการเข้ารากมากที่สุด คือ 64.153 % (ตารางที่ 12) รองลงมาได้แก่ กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002, TGcL-04-060, TGsR-03-006, TGsL-02-004 และ control+RP ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเข้ารากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$)



รากที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อ รากที่ได้รับการปลูกเชื้อ

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบรากกล้าส้มที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อกับรากกล้าส้มที่ได้รับการปลูกเชื้อเชื้อแอกติโนไมซิสต์ไอโซเลท TGsL 02-005 (*Nocardiopsis*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์การเข้ารากของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Treatment	Colonization (%)	
	Time after inoculation	
	1 Month	3 Months
Control	3.87 b	4.07 b
Control + Rock-Phosphate (RP)	4.41 b	4.95 b
TGsR-03-002 (S)[1] + RP	32.61 a	59.53 a
TGsR-03-006 (MN) + RP	33.46 a	57.61 a
TGsL-02-004 (NS) + RP	29.65 a	56.79 a
TGsL-02-005 (NS) + RP	36.32 a	64.15 a
TGcL-04-060 (NS) + RP	30.23 a	57.97 a
mean	24.36	43.58
F-test	*	*
%CV	11.61	9.81

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[*] Significantly different at P<0.05

[1]Genus of isolates : S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ทำการปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 1 เดือน ชุดที่เติมแร่เฟลด์สปาร์ ทำให้กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsL-02-005 มีปริมาณการเข้ารากมากที่สุด คือ 39.49 % (ตารางที่ 13) รองลงมาได้แก่กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002, TGsR-03-006, TGcL-04-060, TGsL-02-004 และ control+K-FS ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเข้ารากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) ช่วงระยะเวลา 3 เดือน TGsL-02-005 มีปริมาณการเข้ารากมากที่สุด คือ 66.23 % (ตารางที่ 13) รองลงมาได้แก่ กล้าส้มที่ได้รับเชื้อ TGsR-03-002, TGcL-04-060, TGsL-02-004, TGsR-03-006 และ control+ K-FS ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ,ไม่ใส่หินฟอสเฟตและไม่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ มีการเข้ารากต่ำที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับ ศิวพร (2550) ซึ่งทดสอบการเข้ารากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสกุล *Glomus* sp. ในผักกาดหอมทั้ง 4 สายพันธุ์ คือ ผักกาดหอม สายพันธุ์ As โดยใส่เชื้อไมคอร์ไรซา 200 สปอร์/ต้น พบการเข้ารากมากที่สุดในอัตรา 6.48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่เชื้อในปริมาณที่ต่ำกว่านี้มีการเข้ารากน้อยมากอยู่ระหว่าง 0.44-1.45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในผักกาดหอมสายพันธุ์ Cos กลับปรากฏว่าการใส่เชื้อ 50 สปอร์ทำให้เชื้อเข้ารากได้มากกว่าการใส่เชื้อในอัตราที่สูงหรือต่ำกว่านี้ อาจเป็นเพราะเชื้อมีความจำเพาะต่อพืชอาศัย ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเข้ารากต้องมีอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยสุด 5% จึงจะสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นที่ไม่ใส่เชื้อ (Mosse and Thompson, 1979)

ตารางที่ 13 เปอร์เซ็นต์การเข้ารากของเชื้อแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ไอโซเลทต่างๆ

Treatment	Colonization (%)	
	Time after inoculation	
	1 Month	3 Months
Control	3.74 [b]	4.41 [c]
Control + K-feldspar (K-FS)	3.69 [b]	4.6 [c]
TGsR-03-002 (S)[1] + K-FS	38.70 [a]	58.48 [ab]
TGsR-03-006 (MN) + K-FS	37.82 [a]	55.96 [b]
TGsL-02-004 (NS) + K-FS	34.18 [a]	57.08 [b]
TGsL-02-005 (NS) + K-FS	39.49 [a]	66.23 [a]
TGcL-04-060 (NS) + K-FS	34.86 [a]	58.05 [ab]
mean	0.1839	0.3713
F-test	*	*
%CV	0.15	0.21

[a-b] Within rows not sharing a common superscripts are significantly different (P<0.05)

[*] Significantly different at P<0.05

[1]Genus of isolates : S (*Streptomyces*), NS (*Nocardiopsis*), MN (*Micromonospora*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved