บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การหาปริมาณและกิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย

จากการหาปริมาณเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในดินจากบ้านบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งใช้ในการทดลองปลูกพืชในกระถาง และปริมาณเชื้อประเภทเดียวกันในหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมซึ่งผลิตโดย Institute of Microbiology เมือง Hebei ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้วิธี spread plate และใช้ระยะเวลา 3 วัน สำหรับการบ่มเชื้อ ณ อุณหภูมิห้อง (23-30 ^{0}C) ก่อนการนับปริมาณโคโลนี ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งของโพแทสเซียมแทน KH_2PO_4 และผสม Bromothymol blue พบว่าดินที่ใช้ในการทดลอง ในช่วงก่อนการปลูกพืชในกระถาง มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่สามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวประมาณ 10^7 cfu/g เชื้อที่พบสามารถแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ตามขนาด สี และลักษณะของโคโลนีได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 แสดง ขนาด สี และลักษณะของโคโลนี ที่แยกได้จากดินบ้านบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

กลุ่มที่	สัดส่วน (%) [L1]	ลักษณะโคโลนี						
		สี	รูปร่าง	ระดับความนูน	ผิวหน้า	ขอบ	ความเยิ้ม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)
1	9	เหลืองเข้ม	กลม	นูน [L3]	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	++	3
2	28.7	เหลืองอ่อน	กลม	นูน [L3]	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	+++	5
3	30	เขียวอ่อน [L2]	กลม	นูน [L3]	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	++	1-2
4	4	เหลืองเข้ม	กลม	แบน	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	++	1-2
5	14	เหลืองเข้ม	กลม	นูน [L3]	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	ไม่เยิ้ม	1
6	2.5	เหลืองอ่อน	ไม่แน่นอน	แบน	เรียบ	ขรุขระ	ไม่เยิ้ม	3
7	11.5	เขียวอ่อน [L2]	กลม	นูน [L4]	เรียบ	ไม่มีรอยเว้า	ไม่เยิ้ม	1

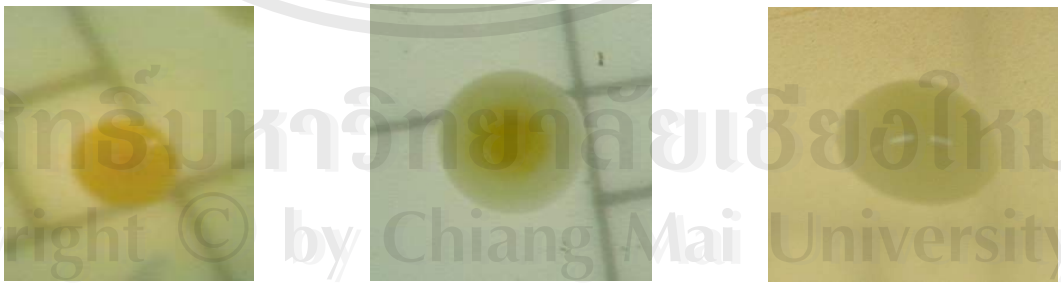
L1 % ของปริมาณโคโลนีทั้งหมดที่เจริญบนอาหาร

L2 สีเหมือนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ

L3 นูน (convex)

L4 นูนมากจนเกือบเป็นรูปครึ่งวงกลม (pulvinate)

สำหรับลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่พบในดิน กลุ่มที่นำมาใช้ในงานทดลองได้แก่ กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 แสดงไว้ในรูปที่ 7



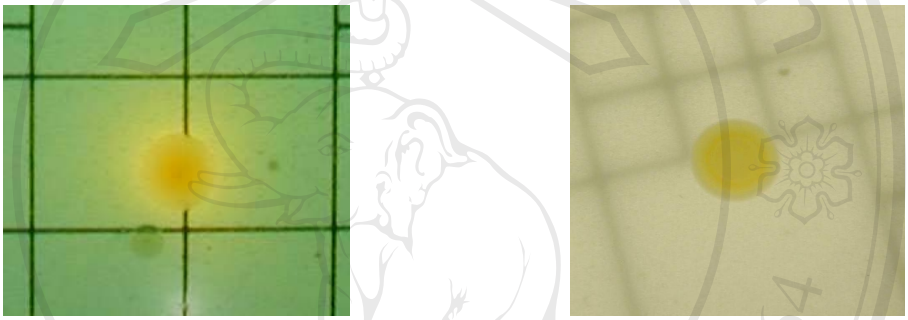
กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3

รูปที่ 7 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ที่แยกได้จากดินบ้านบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกรณีของเชื้อที่พบในหัวเชื้อ พบว่ามีปริมาณไม่ต่ำกว่า 10^8 cfu/g เชื้อที่พบมี 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 โคโลนีมีสีเหลืองเข้มรูปร่างกลม โค้งนูน (convex) ผิวหน้าเกลี้ยง มีความเยิ้มมาก ขอบโคโลนีเรียบ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีประมาณ 4 mm. กลุ่มที่ 2 โคโลนีมีสีเหลืองอ่อน รูปร่างกลม โค้งนูน (convex) ขอบโคโลนีและผิวหน้าเกลี้ยง มีความเยิ้มน้อยกว่าเชื้อในกลุ่มที่ 1 และมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีประมาณ 1-2 mm. เชื้อส่วนใหญ่ที่พบเป็นเชื้อกลุ่มที่ 2

สำหรับลักษณะโคโลนีและรูปร่างของเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มที่ 1 และ 2 ซึ่งพบในหัวเชื้อแสดงไว้ในรูปที่ 8



กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2

รูปที่ 8 ลักษณะโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มที่ 1 และ 2 ที่พบในหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม

กิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในดินและในหัวเชื้อ

ในการศึกษากิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในดิน ได้ใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้จากโคโลนี 1 โคโลนีในกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งได้แก่ isolate SM1, SM2 และ SM3 ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อในกลุ่ม 2 และ 3 เป็นเชื้อที่พบมากกว่าเชื้อในกลุ่มอื่น ส่วนเชื้อในกลุ่มที่ 1 ถึงแม้จะไม่ใช่เชื้อที่พบมาก แต่มีลักษณะโคโลนีที่คล้ายคลึงกับเชื้อที่พบในหัวเชื้อ จึงได้เลือกเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มนี้สำหรับใช้ในการศึกษากิจกรรมของเชื้อด้วย นอกจากเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากดินแล้ว ยังใช้เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่พบในหัวเชื้อชีวภาพโพแทสเซียมทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 2 isolate คือ isolate CHN1 และ CHN2 และเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ ปิยะมาศ (2546) แยกได้จากดินห้วยจุมปา อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ และรายงานว่าเป็นเชื้อประสิทธิภาพดีในการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกจากแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งได้แก่ isolate JC14 ในการศึกษาเปรียบเทียบกับเชื้อที่ได้จากดินจากบ้านบ่อแก้วอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทเป็นแหล่งของโพแทสเซียม

ระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 9)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อ พบว่าเมื่อเขย่าอาหารเหลวดังกล่าวครบ 3 วัน ปริมาณเชื้อในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจำนวน 3 isolate ได้แก่ isolate SM3, CHN2 และ JP14 มีอยู่ในช่วง log 8.37, 7.78 และ 8.17 cfu/ml ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ สำหรับเชื้อ isolate SM1 และ CHN1 มีปริมาณเซลล์ประมาณ log 7.63 และ 7.23 cfu/ml ซึ่งแตกต่างจากปริมาณเชื้อของ isolate SM3 อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจาก isolate CHN2 และ JP14 อาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate SM2 มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวน้อยที่สุด (log 6.53 cfu/ml) ซึ่งแตกต่างจาก isolate ทุก isolate อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น isolate CHN1

ข. pH ของอาหารเหลว

หลังเขย่าครบ 3 วัน pH ของอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทมี pH 7.09 การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ยกเว้น isolate SM2 มีผลทำให้ pH ของอาหารเหลวแตกต่างจาก control อย่างมีนัยสำคัญ เชื้อ isolate CHN1 เป็นเชื้อ isolate เดียวที่ทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลงจาก 7.09 เป็น 4.55 ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น เชื้อ isolate SM3 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นมากที่สุด (pH 7.53) ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ CHN2 (pH 7.43) แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 (pH 7.49) และ JP14 (pH 7.46) ในทางสถิติ

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อไม่มีการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียและเขย่าครบ 3 วัน ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีประมาณ 3.16 mg K/100 ml การใส่เชื้อทุก isolate ยกเว้น isolate SM2 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นในช่วง 37-79 % สำหรับ isolate SM2 ก็ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มเพียง 37 % ซึ่งไม่แตกต่างจาก control และ isolate อื่นๆ ยกเว้น isolate SM1 และ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อที่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากที่สุดสองอันดับแรก โดยทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้เพิ่มจาก control 59 % และ 79 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ของเชื้อ isolate SM1 และ JP14 ก็ไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM3, CHN1 และ CHN2 อย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ลงในอาหารเหลวที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท ต่อปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว หลังการใส่เชื้อลงในอาหารเหลวครบ 3 วัน

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	Total sol.K[L2] mg K/100 ml
SM1	7.63 bc	7.49 ab	5.02 ab[L3] (159)
SM2	6.53 d	7.16 c	4.31 bc (137)
SM3	8.37 a	7.53 a	4.48 ab (142)
CHN1	7.23 d	4.55 d	4.59 ab (146)
CHN2	7.78 abc	7.43 b	4.88 ab (155)
JP14	8.17 ab	7.46 ab	5.64 a (179)
Control	0.00	7.09 c	3.15 c (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 10)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลว ยังคงอยู่ในระดับเดียวกับปริมาณเชื้อที่พบในช่วง 3 วันแรก และเชื้อ SM3, CHN2 และ JP14 ก็ยังเป็นเชื้อ 3 isolate แรก ที่มีปริมาณเชื้อในอาหารเหลวสูงถึง log 8 cfu/ml และปริมาณเชื้อทั้ง 3 isolate ในอาหารเหลวไม่แตกต่างกันในทางสถิติ เชื้อ isolate SM1 และ CHN1 เป็นเชื้อ 2 isolate ที่มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวเป็นอันดับรองจากเชื้อ isolate ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ($P<0.05$) โดยมีปริมาณเชื้อประมาณ log 7 cfu/ml ซึ่งแตกต่างจาก isolate SM3 และ JP14 แต่ไม่แตกต่างจาก isolate CHN2 ส่วนเชื้อ isolate SM2 เป็นเชื้อที่มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวต่ำที่สุด (log 6.96 cfu/ml) และแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

ข. pH ของอาหารเหลว

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียต่อ pH ของอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ เป็นไปในลักษณะเดียวกับที่พบในช่วง 3 วันแรก และมี pH อยู่ในระดับโดสเดียวกับที่พบในช่วงแรก คือเมื่อไม่ใส่เชื้อมี pH 7.09 แต่ถ้าใส่เชื้อ CHN1 มี pH 4.48 ส่วนการใส่ isolate อื่นๆ ยกเว้น isolate SM2 ทำให้ pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมี pH อยู่ในช่วงตั้งแต่ 7.39 – 7.62 และเชื้อ isolate SM1, SM3 และ JP14 เป็นเชื้อ 3 isolate แรก ที่ทำให้ pH

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 pH unit ส่วน isolate CHN2 ทำให้ pH เพิ่มขึ้นประมาณ 0.4 pH unit ซึ่งแตกต่างจาก isolate SM3 แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ JP14

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อเขย่าอาหารเหลวครบ 6 วัน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่มีแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทมีประมาณ 2.98 mg.K/100 ml การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 2 – 2.4 เท่าตัว ($P < 0.05$) และทุกเชื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 10 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ลงในอาหารเหลวที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทต่อปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวหลังการใส่เชื้อลงในอาหารเหลวครบ 6 วัน

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	Total sol.K[L2] mg K/100 ml
SM1	7.66 b	7.53 ab	7.08 a[L3] (237)
SM2	6.96 c	7.14 c	5.93 a (199)
SM3	8.78 a	7.62 a	6.18 a (207)
CHN1	7.78 b	4.48 d	6.14 a (200)
CHN2	8.38 ab	7.39 b	6.68 a (224)
JP14	8.73 a	7.50 ab	7.18 a (240)
Control	0.00	7.09 c	2.98 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 11)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากบริษัทเชอร์มาท พบว่าปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ไม่ต่ำกว่า log 8 cfu/ml เชื้อจำนวน 2 isolate ได้แก่ isolate CHN2 และ JP14 มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวสูงถึง log 9 cfu/ml ซึ่งแตกต่างจาก isolate อื่นๆ ยกเว้น isolate SM3 ซึ่งมีปริมาณเซลล์ประมาณ log 8.9 cfu/ml ที่ระยะนี้เชื้อ isolate SM2 มีปริมาณเซลล์ประมาณ log 8 cfu/ml ซึ่งไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM1 และ CHN1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. pH ของอาหารเหลว

ที่ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH ของอาหารเหลว ก็ยังคงอยู่ในระดับใกล้กับที่พบในช่วง 6 วันแรก และเชื้อ isolate CHN1 ก็ยังทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลงโดยมี pH ประมาณ 4.51 ส่วนอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate SM2 ก็ยังคงมีระดับ pH ใกล้เคียงกับ control ในขณะที่เชื้อ isolate อื่นทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 0.3 – 0.4 pH unit

ค. ปริมาณ K ทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อเขย่าอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ครบ 9 วัน พบว่าปริมาณ K ทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อมีปริมาณ 2.96 mg.K/100 ml การใส่เชื้อแบคทีเรียแต่ละ isolate มีผลทำให้ปริมาณ K ทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 2.2 – 2.9 เท่าตัว ($P<0.05$) และทุก isolate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 11 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ลงในอาหารเหลวที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเซอร์มาทต่อปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวหลังการใส่เชื้อลงในอาหารเหลวครบ 9วัน

Isolate No.	**No. of cells[L2] Log cfu/ml**	**pH[L2]**	**Total sol.K[L2] mg K/100 ml**
SM1	8.37 bc	7.47 a	8.49 a [L3] (287)
SM2	8.00 c	7.17 bc	6.62 a (224)
SM3	8.93 ab	7.38 ab	6.55 a (221)
CHN1	8.03 c	4.51 d	7.48 a (253)
CHN2	9.06 a	7.38 ab	8.22 a (278)
JP14	9.10 a	7.28 ab	7.88 a (266)
Control	0.00	7.06 c	2.96 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ (ตารางที่ 12) จากการหาปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลว เมื่อเขย่าครบ 9 วัน พบว่า ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเซอร์มาท และไม่ได้ใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย ไม่สามารถตรวจพบซิลิกอนที่ละลายได้ สำหรับอาหารเหลวที่ใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย พบว่าการใส่เชื้อ isolate SM3 และ CHN2 ไม่พบว่ามีซิลิกอนที่ละลายได้เช่นกัน แต่อาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate อื่นๆ อีก 4 isolate พบว่ามีปริมาณของซิลิกอนที่ละลายได้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.143 – 23.45 μg/ml การใส่เชื้อ isolate SM2 มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีมากที่สุด (23.45 μg/ml) ส่วนการใส่เชื้อ isolate CHN1 และ JP 14 ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีปริมาณ 4.72 และ 3.80 μg/ml ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

isolate ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจาก isolate SM4 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใส่เชื้อ isolate SM1 ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีน้อยมาก (0.14 μg/ml) ซึ่งไม่แตกต่างจาก control อย่างมีนัยสำคัญ

ในแง่ของความสามารถในการผลิต IAA ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย (ตารางที่ 12) พบว่าในช่วงเวลา 2 วันหลังการใส่เชื้อ ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท และมีทริปโตเฟนเป็นส่วนผสม มี IAA อยู่ในช่วงตั้งแต่ 5.8 – 144 μmole/L เชื้อ isolate CHN1 มีความสามารถผลิต IAA ได้มากที่สุด ซึ่งผลิตได้ปริมาณ 144 μmole/L รองลงมาคือ isolate SM2 ซึ่งผลิตได้ประมาณ 69 μmole/L เชื้อ isolate JP14 ผลิต IAA ได้มากเป็นอันดับ 3 คือผลิตได้ประมาณ 20 μmole/L แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM2 อย่างมีนัยสำคัญ และไม่แตกต่างจาก isolate อื่นที่เหลืออีก 3 isolate ได้แก่ SM1 SM3 และ CHN2 ด้วย สำหรับเชื้อ 3 isolate หลัง ผลิต IAA ได้ประมาณ 4 – 5 μmole/L

ตารางที่ 12 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และปริมาณ IAA ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท

Isolate No.	**Amount in liquid medium**	
	Sol. Si[L2] (μg/ml)	**IAA[L3](μmole/L)**
SM1	0.143 c[L4]	3.8 c
SM2	23.45 a	68.93 b
SM3	0.00 c	5.14 c
CHN1	4.72 b	144 a
CHN2	0.00 c	5.09 c
JP14	3.80 b	17.92 bc
Control	0.00	0.00

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ปริมาณหลังการเขย่าครบ 9 วัน

L3 หลังการใส่เชื้อ 2 วัน

L4 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันที่ P< 0.05

ประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท

จากการประเมินประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท รูปที่ 9 พบว่า ในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ลงในอาหารเหลว เชื้อ isolate JP14 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ชนิดนี้ได้ประมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.35 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีในแร่ ส่วนเชื้อ SM1, SM3, CHN1 และ CHN2 ซึ่งมีประสิทธิภาพรองลงมาจากเชื้อ JP14 แต่ไม่แตกต่างจากเชื้อ JP14 อย่างมีนัยสำคัญ สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ได้ 2.09, 2.32, 2.52 และ 3.03 % ตามลำดับ สำหรับ isolate SM2 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ประมาณ 2.03 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่

ในช่วง 6 และ 9 วันหลังการใส่เชื้อ ซึ่งเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ไม่มีความแตกต่างกันในแง่ของการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวในทางสถิติ พบว่าเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ได้ในช่วงตั้งแต่ 5.16 – 7.34 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ และสามารถเรียงลำดับความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทของเชื้อซิลิเกตแต่ละ isolate จากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 7.34 %, SM1 7.16 %, CHN2 6.46 %, SM3 5.59 %, CHN1 5.53 % และ SM2 5.16 % สำหรับในช่วง 9 วัน หลังการใส่เชื้อพบว่า เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทในช่วงตั้งแต่ 6.29 – 9.68 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่ชนิดนี้ และสามารถเรียงลำดับความสามารถเชื้อแต่ละ isolate ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ชนิดนี้จากมากไปน้อยได้ดังนี้ SM1 9.68 %, CHN2 9.22 %, CHN1 7.91 %, JP14 7.62 %, SM2 6.42 % และ SM3 6.29 %

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางเป็นแหล่งของโพแทสเซียม

ระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 13)

ก. ปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลว

ในช่วงเวลา 3 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ลงในอาหารเหลว พบว่าปริมาณเซลล์ของเชื้อทุก isolate เพิ่มขึ้น โดยปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวมีไม่ต่ำกว่า 10^7 cfu/ml (log 7.73 – 8.15 cfu/ml) ยกเว้น isolate SM2 ซึ่งมีปริมาณเซลล์ไม่ถึง log 7 cfu/ml และแตกต่างจาก isolate SM1, SM3 และ CHN2 อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจาก isolate CHN1 และ JP14

ข. pH ของอาหารเหลว

เมื่อไม่มีการใส่เชื้อและเขย่าครบ 3 วัน อาหารเหลวมี pH 7.05 แต่เมื่อใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ยกเว้น isolate CHN1 pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น โดยมี pH อยู่ในช่วง 7.34 - 7.52 สำหรับ isolate SM3 และ JP14 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น 7.52 และ 7.42 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งแตกต่างจาก isolate SM2 แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ CHN2 อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ isolate CHN1 เป็น isolate เดียวที่ทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลงจาก 7.05 เป็น 4.40 ซึ่งแตกต่างจาก isolate อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

ในอาหารเหลวที่ไม่ได้ใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้มีประมาณ 2.69 mg.K/100 ml. การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มจาก control ในช่วงตั้งแต่ 50 – 100 % และทุก isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ตารางที่ 13 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	total sol. K [L2] (mgK/100ml)
SM1	7.83 a	7.52 ab	5.40 a (201)[L3]
SM2	6.63 b	7.34 b	4.46 a (166)
SM3	8.15 a	7.53 a	4.71 a (175)
CHN1	7.47 ab	4.40 d	5.15 a (191)
CHN2	7.91 a	7.42 ab	5.08 a (189)
JP14	7.73 ab	7.54 a	4.02 ab (150)
control	0.00	7.05 c	2.69 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 14)

ก. ปริมาณเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลว

ในช่วง 6 วัน หลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารเหลว พบว่า ปริมาณเชื้อทุก isolate ในอาหารเหลวมีอยู่ในช่วง log 7 - 8 cfu/ml และทุก isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ข. pH ของอาหารเหลว

สำหรับ pH ของอาหารเหลว พบว่ามีเชื้อ isolate เดียว คือ isolate CHN1 ที่ทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลง โดยมี pH เพียง 4.45 ซึ่งเป็นระดับใกล้เคียงกับที่พบในช่วง 3 วันแรกของการใส่เชื้อ สำหรับเชื้อ isolate SM2 และ CHN2 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจาก control เล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมาณ 0.07 – 0.19 pH unit และ pH ของอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ 2 isolate มีไม่แตกต่างจาก control อย่างมีนัยสำคัญ ส่วน isolate SM1, SM3 และ JP14 ทำให้ pH ของอาหารเหลวสูงกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ โดยทำให้ pH เพิ่มขึ้นประมาณ 0.3 pH unit ทั้ง 3 isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ และไม่แตกต่างจาก isolate CHN2 ด้วย

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

ในแง่ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว พบว่า ที่ระยะนี้อาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ประมาณ 2.91 mgK/100 ml. การใส่เชื้อทุก isolate มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยทุกเชื้อมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน และทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control ในช่วงตั้งแต่ 1.9 – 2.4 เท่าตัว

ตารางที่ 14 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	total sol. K [L2] (mgK/100ml)
SM1	8.39 a	7.38 ab	6.57 a (226)[L3]
SM2	7.89 a	7.13 bc	5.40 ab (186)
SM3	8.60 a	7.43 ab	6.38 a (219)
CHN1	7.63 a	4.45 d	6.61 a (227)
CHN2	8.63 a	7.25 abc	6.34 a (218)
JP14	7.98 a	7.49 a	7.04 a (242)
control	0.00	7.06 c	2.91 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 15)

ก. ปริมาณเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลว

ที่ระยะนี้ ปริมาณเชื้อในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate แตกต่างกัน แต่ทุก isolate ยังคงมีปริมาณเชื้อในอาหารเหลวไม่ต่ำกว่า log 8 cfu/ml การใส่เชื้อ isolate CHN2 ทำให้ปริมาณเชื้อในอาหารเหลวมีมากที่สุด (log 9 cfu/ml) และแตกต่างจาก isolate SM2 และ JP14 อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ SM3 ในทางสถิติ สำหรับการใส่เชื้อ isolate SM2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และ JP14 ทำให้ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวมีประมาณ log 8 cfu/ml ซึ่งไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM1

ข. pH ของอาหารเหลว

ในแง่ของ pH พบว่าการใส่เชื้อ isolate CHN1 ยังคงทำให้ pH ของอาหารเหลวมี pH ต่ำเช่นเดิม โดยมีค่า pH ประมาณ 4.58 ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ เชื้อ isolate SM2 ยังคงทำให้ pH ของอาหารเหลวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และไม่แตกต่างจาก pH ของอาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อ สำหรับเชื้อ isolate SM1, SM3 และ JP14 ก็ยังคงทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 – 0.5 pH unit ส่วนเชื้อ isolate CHN2 ทำให้ pH ของอาหารเหลวมีประมาณ 7.25 ซึ่งไม่แตกต่างจาก pH ของอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ SM2 และ SM3 ในทางสถิติ

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

ในกรณีของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว พบว่า ในระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย ทุก isolate ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มจาก control (2.65 mg.K/100 ml) ประมาณ 2.6 – 3 เท่าตัว

ตารางที่ 15 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	total sol. K [L2] (mgK/100ml)
SM1	8.83 abc	7.47 a	7.74 a (292)[L3]
SM2	8.19 c	7.12 cd	7.18 a (271)
SM3	9.24 ab	7.34 ab	7.46 a (282)
CHN1	8.19 c	4.58 e	7.19 a (271)
CHN2	9.31 a	7.25 bc	7.12 a (269)
JP14	8.57 bc	7.49 a	8.11 a (306)
control	0.00	7.04 d	2.65 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในแง่ของปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ (ตารางที่ 16) พบว่า การใส่เชื้อ isolate SM2 ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง มีมากที่สุด คือมีประมาณ 44 μg/ml ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆ เชื้อจำนวน 3 isolate ได้แก่ isolate CHN1,

CHN2 และ JP14 ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีประมาณ 3 – 9 μg/ml ส่วนในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate SM1 และ SM3 ไม่พบว่ามีซิลิกอนที่ละลายได้

ในแง่ของความสามารถของเชื้อในการผลิต IAA (ตารางที่ 16) พบว่า เชื้อ isolate CHN1 มีความสามารถในการผลิต IAA มากที่สุด ปริมาณ IAA ในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate นี้มีประมาณ 117 μmole/L รองลงมาคือเชื้อ isolate SM2 ซึ่งผลิต IAA ได้ประมาณ 41 μmole/L สำหรับเชื้อ isolate อื่นๆ อีก 4 isolate ได้แก่ SM1, CHN2 และ JP14 มีความสามารถผลิต IAA ได้ในช่วงตั้งแต่ 19 – 29 μmole/L ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติ และไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM2 ส่วน isolate SM3 พบว่า ไม่สามารถผลิต IAA ได้ในอาหารเหลวที่มีเฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางเป็นแหล่งของโพแทสเซียม แต่เชื้อ isolate นี้ก็ไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM1, CHN2 และ JP14 ด้วย

ตารางที่ 16 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และปริมาณ IAA ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง

Isolate No.	amount in liquid medium	
	Sol. Si (μg/ml)[L2]	IAA (μmole/L)[L3]
SM1	0.00 c[L4]	19.42 bc
SM2	44.25 a	41.19 b
SM3	0.00 c	0.00 c
CHN1	8.82 b	116.8 a
CHN2	3.67 bc	28.92 bc
JP14	6.30 bc	22.62 bc
control	0.00	0.00

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ปริมาณที่ระยะ 9 วัน หลังการใส่เชื้อ

L3 ปริมาณที่ระยะ 2 วัน หลังการใส่เชื้อ

L4 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันที่ P< 0.05

ประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง

ถึงแม้เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ที่ใช้ในการศึกษา ไม่มีความแตกต่างกันในแง่ของการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง ตลอดช่วงเวลาของการทดลองเป็นเวลา 9 วันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยจากแร่ชนิดนี้ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเชื้อแต่ละ isolate (รูปที่ 9) พบว่า ในช่วง 3 วัน หลังการใส่เชื้อ ลงไปในอาหารเหลว ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยจากแร่ที่เกิดจากเชื้ออยู่ในช่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.33 – 4.74 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่อยู่ในสินแร่ชนิดนี้ และประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ของเชื้อแต่ละ isolate เรียงลำดับจากมากไปน้อยมีดังนี้ SM1 4.74 %, CHN1 4.3 %, CHN2 4.17 %, SM3 3.53 %, SM2 3.1 % และ JP14 2.33 %

สำหรับในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.36 – 7.23 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่ โดยเชื้อ JP14 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ชนิดนี้ได้มากที่สุด (7.23 %) และเชื้อ isolate SM2 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด คือ สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางได้ประมาณ 4.36 % ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆ ที่ได้จากบ้านบ่อแก้ว และเชื้อ CHN1 และ CHN2 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ได้ประมาณ 6 % และประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ของเชื้อแต่ละ isolate เรียงลำดับจากมากไปน้อยมีดังนี้ JP14 7.23 %, SM1 6.4 %, CHN1 6.48 %, SM3 6.07 %, CHN2 6.01 % และ SM2 4.36 %

ในกรณีของความสามารถของเชื้อในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 9.55 %, SM1 8.91 %, SM3 8.42 %, CHN1 8.04 %, SM2 7.92 % และ CHN2 7.83 %

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารที่ใช้ไม้ก้าจากแหล่งที่ 1 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม ระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 17)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

อาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 เป็นแหล่งของโพแทสเซียมในอาหารเหลวที่ใช้เพาะเลี้ยงเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย พบว่าเมื่อเขย่าอาหารเหลวครบ 3 วัน ปริมาณเชื้อในอาหารเหลวที่ใส่ซิลิเกตแบคทีเรียจำนวน 3 isolate ได้แก่ isolate SM3, CHN2 และ JP14 อยู่ในช่วง log 8.23, 8.17 และ 8.31 cfu/ml ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ สำหรับเชื้อ isolate SM1 และ SM2 มีปริมาณเชื้อประมาณ log 7.65 และ 6.90 cfu/ml ทั้ง 2 isolate ถือว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ โดย isolate SM1 ก็ถือว่ามีปริมาณเชื้อไม่แตกต่างจาก isolate SM3, CHN2 และ JP14 ในทางสถิติ โดย isolate SM2 ถือว่าไม่แตกต่างจาก isolate CHN1 ในทางสถิติ และ isolate CHN1 มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวน้อยที่สุด (log 6.19 cfu/ml) ซึ่งแตกต่างจาก isolate ทุก isolate อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น isolate SM2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. pH ของอาหารเหลว

หลังเขย่าครบ 3 วัน pH ของอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 มี pH 7.06 การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate มีผลทำให้ pH ของอาหารเปลี่ยนแปลงจาก control อย่างมีนัยสำคัญ โดยเชื้อ isolate CHN1 เป็นเชื้อ isolate ที่ทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลงจาก 7.06 เป็น 4.55 ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น เชื้อ isolate SM3 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นมากที่สุด (pH 7.55) แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 (pH 7.52) และ isolate CHN2 (pH 7.45) ในทางสถิติ เชื้อ isolate SM2 (pH 7.38) ไม่แตกต่างจาก isolate JP14 (pH 7.37) และ CHN2 ในทางสถิติ

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อไม่มีการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียและเขย่าครบ 3 วัน ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีประมาณ 3.12 mgK/100 ml การใส่เชื้อทุก isolate ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นในช่วง 40 - 98 % isolate JP14 ซึ่งเป็นเชื้อที่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้เพิ่มจาก control 98 % สำหรับ isolate SM1 ก็ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มเพียง 40 % ซึ่งไม่แตกต่างจาก control และ isolate อื่นๆ ยกเว้น isolate JP14 ซึ่งเป็นเชื้อที่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ของเชื้อ isolate JP14 ก็ไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆในทางสถิติ

ตารางที่ 17 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ในช่วง 3 วัน หลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	**No. of cells[L2] Log cfu/ml**	**pH[L2]**	**total sol. K [L2] (mgK/100ml)**
SM1	7.65 ab	7.52 ab	4.36 ab (140)[L3]
SM2	6.90 bc	7.38 bc	4.72 ab (152)
SM3	8.23 a	7.55 a	5.35 ab (172)
CHN1	6.19 c	4.55 e	4.98 ab (160)
CHN2	8.17 a	7.45 abc	5.31 ab (170)
JP14	8.31 a	7.37 c	6.18 a (198)
control	0.00	7.06 d	3.12 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 18)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลว เชื้อ SM1, SM3, CHN2 และ JP14 เป็นเชื้อที่มีปริมาณเชื้อในอาหารเหลวสูงถึง log 8 cfu/ml และปริมาณเชื้อทั้ง 4 isolate ในอาหารเหลวไม่แตกต่างกันในทางสถิติ เชื้อ isolate SM2 และ CHN1 เป็นเชื้อ 2 isolate ที่มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวประมาณ log 7 cfu/ml โดยมีปริมาณเชื้อน้อยกว่าเชื้อ ทั้ง 4 isolate ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ

ข. pH ของอาหารเหลว

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียต่อ pH ของอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ เป็นไปในลักษณะเดียวกับที่พบในช่วง 3 วันแรก คือเมื่อไม่ใส่เชื้อมี pH 7.03 แต่ถ้าใส่เชื้อ CHN1 มี pH 4.49 ซึ่งลดลงจาก 3 วันแรกเล็กน้อย โดยการใส่ isolate SM1, SM3, CHN2 และ JP 14 ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ โดยมี pH อยู่ในช่วงตั้งแต่ 7.44 – 7.58 แต่ isolate SM2 มี pH ลดลงจาก 3 วันแรกเล็กน้อย เช่นเดียวกัน isolate SM2 (pH 7.17) ก็มี pH ลดลงจาก 3 วันแรกเช่นกัน ซึ่งไม่แตกต่างจาก control ในทางสถิติ แต่แตกต่างจาก isolate SM1, SM3, CHN2 และ JP 14 ในทางสถิติ

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อเขย่าอาหารเหลวครบ 6 วัน พบว่า เมื่อไม่มีการใส่เชื้อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่มีแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 มีประมาณ 2.43 mgK/100 ml การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 2 – 3 เท่าตัว ($P < 0.05$) โดย isolate JP14 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นมากที่สุดประมาณ 3 เท่า แต่ทุกเชื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 18 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	total sol. K [L2] (mgK/100ml)
SM1	8.43 a	7.58 a	5.89 a (243)[L3]
SM2	7.16 b	7.17 b	5.74 a (236)
SM3	8.70 a	7.44 a	6.85 a (282)
CHN1	7.02 b	4.49 c	6.44 a (266)
CHN2	8.47 a	7.46 a	6.91 a (284)
JP14	8.59 a	7.49 a	7.41 a (305)
control	0.00	7.03 b	2.43 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ P< 0.05

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 19)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 พบว่าปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรีย isolate SM3 และ CHN2 มีประมาณ log 9 cfu/ml แต่ isolate CHN2 มีปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรียไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ JP14 (log 8 cfu/ml) ในทางสถิติ isolate SM2 และ CHN1 มีปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรีย log 7 cfu/ml ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า isolate อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เชื้อทุก isolate มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 6 วันหลังการใส่เชื้อ

ข. pH ของอาหารเหลว

ที่ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH ของอาหารเหลว ยังคงอยู่ในระดับใกล้กับที่พบในช่วง 6 วันแรก และเชื้อ isolate CHN1 ก็ยังทำให้ pH ของอาหารเหลวลดลงโดยมี pH ประมาณ 4.45 ส่วนอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate SM2 ก็ยังคงมีระดับ pH ใกล้เคียงกับ control และ isolate SM3 ก็มี pH ลดลงจากระยะ 6 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับ control เช่นกัน ในขณะที่เชื้อ isolate อื่นทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 0.3 – 0.4 pH unit โดยทุก isolate มี pH ลดลงจาก 6 วันหลังการใส่เชื้อเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. ปริมาณ K ทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อเขย่าอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ครบ 9 วัน พบว่าปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อมีปริมาณ 2.58 mgK/100 ml การใส่เชื้อแบคทีเรียแต่ละ isolate มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 2.5 – 3.3 เท่าตัว ($P< 0.05$) โดย isolate JP14 และ CHN2 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control 3.1 และ 3.3 เท่า ตามลำดับ แต่ทุก isolate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 19 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	total sol. K [L2] (mgK/100ml)
SM1	8.73 b	7.49 a	7.28 a (282)[L3]
SM2	7.34 c	7.19 bc	6.52 a (253)
SM3	9.25 a	7.28 abc	7.28 a (282)
CHN1	7.37 c	4.45 d	7.65 a (297)
CHN2	9.22 ab	7.42 a	8.74 a (339)
JP14	8.96 ab	7.38 ab	8.20 a (318)
control	0.00	7.04 c	2.58 b (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอาหารเหลวต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และปริมาณ IAA ที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม

ในระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อลงไปในอาหารเหลวที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม (ตารางที่ 20) พบว่าในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อจำนวน 3 isolate ได้แก่ isolate SM1, SM3 และ CHN2 ไม่พบว่ามีซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลว สำหรับอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate SM2 และ CHN1 มีปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ประมาณ 15 μg/ml ซึ่งแตกต่างจาก อาหารเหลวที่ใส่เชื้อ isolate JP14 อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ isolate JP14 สามารถปลดปล่อยซิลิกอนจากแร่ไมก้าได้เล็กน้อย โดยในช่วง 9 วัน สามารถทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวมีประมาณ 4 μg/ml

ในด้านความสามารถในการสร้าง IAA (ตารางที่ 20)พบว่าในอาหารเหลวที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 เป็นแหล่งของโพแทสเซียมและมีทริปโตเฟนเป็นส่วนผสมด้วย ในช่วง 2 วันหลังการใส่เชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าเชื้อ isolate CHN2 สามารถสร้าง IAA ได้มากที่สุด ปริมาณของ IAA ในอาหารเหลวที่ใช้เชื้อ isolate นี้มีประมาณ 112 μmole/L ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ isolate อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ isolate SM2 ซึ่งทำให้ปริมาณของ IAA ในอาหารเหลวมีประมาณ 50 μmole/L ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือสร้าง IAA ได้ในช่วง 3.6 – 17 μmole/L ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM2 และ CHN1 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 20 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และปริมาณ IAA ในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1

Isolate No.	amount in liquid medium	
	Sol. Si (μg/ml)[L2]	IAA (μmole/L)[L3]
SM1	0.00 b[L4]	3.61 c
SM2	16.00 a	50.36 b
SM3	0.00 b	0.00 c
CHN1	6.993 a	112.1 a
CHN2	0.00 b	12.74 c
JP14	5.60 b	17.32 c
control	0.00	0.00

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ปริมาณที่ระยะ 9 วัน หลังการใส่เชื้อ

L3 ปริมาณที่ระยะ 2 วัน หลังการใส่เชื้อ

L4 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันที่ $P< 0.05$

ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย

ในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อลงในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้า (รูปที่ 9) พบว่า การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทำให้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ปลดปล่อยโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์ได้ในช่วงตั้งแต่ 2.18 – 5.35 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด โดยในแง่ประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 5.35 %, SM3 3.91 %, CHN2 3.83 %, CHN1 3.25 %, SM2 2.81 % และ SM1 2.18 %

สำหรับในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 ปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ละลายได้ในช่วงตั้งแต่ 5.79 – 8.72 % โดยประสิทธิภาพของเชื้อแต่ละ isolate ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 8.72 %, CHN2 7.84 %, SM3 7.75 %, CHN1 7.03 %, SM1 6.07 % และ SM2 5.79 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 โดยกิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเป็น 6.97 – 10.79 % ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่ โดยประสิทธิภาพของเชื้อแต่ละ isolate เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ CHN2 10.79 %, JP14 9.84 %, CHN1 8.83 %, SM1 8.23 %, SM3 8.23 % และ SM2 6.97 %

ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงในอาหารที่ใช้ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม ระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 21)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในอาหารเหลวที่มีแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม พบว่าอาหารที่ใส่เชื้อ CHN2 และ SM3 มีปริมาณเซลล์มากถึง log 8 cfu/ml รองลงมาคือเชื้อ JP14 ซึ่งมีจำนวนเซลล์ในอาหารเหลวต่ำกว่าเชื้อ 2 isolate แรกเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate แรกอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับเชื้อ SM1 มีปริมาณเซลล์ประมาณ log 7 cfu/ml ซึ่งไม่แตกต่างจากเชื้อ CHN2 และ SM3 อย่างมีนัยสำคัญ เชื้อ isolate SM2 มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวต่ำที่สุดคือประมาณ log 6 cfu/ml แต่ก็ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ CHN1 อย่างมีนัยสำคัญ

ข. pH ของอาหารเหลว

ในแง่ของ pH พบว่าเชื้อ isolate SM1 และ CHN1 ทำให้ pH ของอาหารเหลวลดต่ำกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ โดยมี pH ประมาณ 4.5 ส่วนเชื้อ isolate JP14 ไม่ทำให้ pH อาหารเหลวแตกต่างจาก control สำหรับเชื้อ isolate อื่นที่เหลือทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น โดยเชื้อ isolate SM3 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือประมาณ 0.5 pH unit ซึ่งแตกต่าง isolate ซึ่งทำให้ pH เพิ่มขึ้นเพียง 0.26 pH unit แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ CHN2 ซึ่งทำให้มี pH ของอาหารเหลวประมาณ 7.4

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว พบว่าถ้าไม่มีการใส่เชื้อ อาหารเหลวมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ประมาณ 3.15 mgK/100 ml เมื่อมีการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในอาหารเหลว พบว่ามีเชื้อ isolate SM1 SM3 และ CHN1 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 41- 48% ซึ่งทั้ง 3 isolate ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ สำหรับเชื้อ isolate CHN2 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control 17 % ซึ่งไม่แตกต่างจาก control และไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM1 CHN1 JP14 ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 21 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณเซลล์ของเชื้อ pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เป็นแหล่งของโพแทสเซียมในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	Total sol.K[L2] mg K/100 ml
SM1	7.39 ab	7.44 ab	4.45 ab (141) [L3]
SM2	6.67 b	7.32 bc	3.34 c (106)
SM3	8.49 a	7.51 a	4.66 a (148)
CHN1	7.37 ab	4.47 d	4.51 ab (143)
CHN2	8.37 a	7.42 ab	3.69 bc (112)
JP14	7.93 a	7.05 c	3.35 c (106)
control	0.00	7.06 c	3.15 c (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 22)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในระยะ 6 วัน อาหารเหลวที่ได้รับการใส่เชื้อเกือบทุก isolate มีปริมาณเซลล์ในอาหารเหลวไม่ต่ำหว่า log 8 cfu/ml และมีเพียง isolate SM2 ซึ่งมีจำนวนเซลล์ในอาหารเหลวประมาณ log 7 cfu/ml ซึ่งต่ำกว่าปริมาณเชื้อในอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ SM3 SHN2 และ JP14 อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1 และ CHN1 ในทางสถิติ

ข. pH ของอาหารเหลว

ในแง่ของ pH พบว่า การใส่เชื้อ isolate CHN1 ยังคงทำให้ pH ของอาหารเหลวเป็นกรดในระดับเดียวกันกับช่วง 3 วันแรก สำหรับ isolate SM1 SM3 และ JP14 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจาก control อย่างมีนัยสำคัญ โดยที pH 7.49 7.35 และ 7.49 ตามลำดับ isolate SM2 และ CHN2 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 0.17 และ 0.37 pH unit ซึ่งทั้งสอง isolate นอกจากจะแตกต่างกันแล้ว ยังแตกต่างจากเชื้อ SM3 อีกด้วย

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

ในแง่ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว พบว่า การไม่ใส่เชื้อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้มีประมาณ 2.48 mgK/100 ml เมื่อใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในอาหารเหลวพบว่า ทุก isolate ยกเว้น SM2 ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 2.2 – 2.8 เท่าตัว สำหรับอาหารเหลวที่ใส่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อ SM2 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้มากกว่า control 50 % แต่ไม่แตกต่างจาก control อย่างมีนัยสำคัญ และไม่แตกต่างจากเชื้อ isolate SM3 และ CHN2 ด้วย

ตารางที่ 22 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณเซลล์ของเชื้อ pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เป็นแหล่งของโพแทสเซียมในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	Total sol.K[L2] mg K/100 ml
SM1	8.47 ab	7.49 ab	6.27 a (252) [L3]
SM2	7.63 b	7.20 c	3.72 bc (150)
SM3	9.03 a	7.53 a	5.67 ab (228)
CHN1	8.39 ab	4.47 e	5.98 a (241)
CHN2	8.53 a	7.40 b	5.91 ab (238)
JP14	8.70 a	7.49 ab	6.78 a (273)
control	0.00	7.03 d	2.48 c (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P<0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 23)

ก. ปริมาณเซลล์ในอาหารเหลว

ในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ พบว่าปริมาณเชื้อในอาหารเหลวที่ได้รับการใส่เชื้อยังคงมีปริมาณเซลล์ไม่ต่ำกว่า log 7 cfu/ml ส่วนใหญ่ปริมาณเชื้อในอาการเหลวที่ระยะนี้ยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ และมีเพียงเชื้อ SM1 ที่ปริมาณเซลล์ลดต่ำลง สำหรับเชื้อที่ยังคงรักษาความหนาแน่นของเซลล์ในอาหารเหลวอยู่ในระดับไม่ต่ำกว่า log 8 cfu/ml ได้แก่ isolate SM3, CHN1, CHN2 และ JP14 แต่มีเฉพาะ isolate SM3 เพียง isolate เดียวที่แตกต่างจาก isolate SM1 และ SM2 อย่างมีนัยสำคัญ

ข. pH ของอาหารเหลว

ในแง่ของ pH พบว่าที่ระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ pH ของอาหารเหลวที่ใส่เชื้อ CHN1 ยังคงมี pH 4.4 ซึ่งต่ำกว่า isolate อื่นๆ ทุก isolate และต่ำกว่า control ด้วยเชื้อ isolate SM2 ยังคงมี pH ในระดับใกล้เคียงกับ pH ของอาหารเหลวที่ไม่ได้ใส่เชื้อ ส่วน isolate SM1 SM3 CHN2 และ JP14 มี pH สูงกว่า control ในช่วงตั้งแต่ 0.28 – 0.37 pH unit และทุก isolate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ isolate SM3 และ CHN2 ยังไม่แตกต่างจาก isolate SM2 อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว

เมื่อเขย่าอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ครบ 9 วัน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อมีปริมาณ 1.94 mgK/100 ml การใส่เชื้อแบคทีเรียแต่ละ isolate มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control ประมาณ 2.4 – 4.6 เท่า ($P<0.05$) โดย isolate JP14 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก control มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจาก isolate SM1, SM3 และ CHN1 ในทางสถิติ โดย isolate SM2 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้น้อยที่สุด ซึ่งถือว่าไม่แตกต่างจาก control ในทางสถิติ

ตารางที่ 23 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณเซลล์ของเชื้อ pH และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใช้แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เป็นแหล่งของโพแทสเซียมในช่วง 9 วัน หลังการใส่เชื้อ

Isolate No.	No. of cells[L2] Log cfu/ml	pH[L2]	Total sol.K[L2] mg K/100 ml
SM1	7.83 c	7.51 a	7.66 ab (394) [L3]
SM2	7.90 bc	7.17 bc	4.46 cd (240)
SM3	9.22 a	7.35 ab	6.72 abc (346)
CHN1	8.76 abc	4.45 d	7.27 ab (374)
CHN2	8.96 abc	7.31 ab	6.39 bc (329)
JP14	9.08 ab	7.48 a	9.05 a (466)
control	0.00	7.04 c	1.94 d (100)

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมภ์ที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันที่ $P< 0.05$

L3 ตัวเลขในวงเล็บคือ relative value เมื่อเปรียบเทียบกับ control

ในแง่ของความสามารถของเชื้อในการปลดปล่อยซิลิกอนจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 พบว่า ในระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ (ตารางที่ 24) isolate SM2 และ CHN1 ทำให้ปริมาณซิลิกอนในอาหารเหลวเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณซิลิกอนที่ละลายในอาหารประมาณ 15 μg/ml ซึ่งทั้งสอง isolate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ isolate JP14 สามารถปลดปล่อยซิลิกอนได้เพียงเล็กน้อย และทำให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 มีประมาณ 4 μg/ml ซึ่งแตกต่างจากเชื้อ 2 isolate แรกอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ isolate SM1 SM3 และ CHN2 ไม่พบว่าสามารถปลดปล่อยซิลิกอนจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ได้

สำหรับความสามารถของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในการสังเคราะห์ IAA (ตารางที่ 24) พบว่าเชื้อ isolate CHN1 มีความสามารถผลิต IAA ได้มากที่สุด และทำให้ปริมาณ IAA ในอาหารเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในช่วง 2 วัน หลังการใส่เชื้อมีประมาณ 83 μmole/L ส่วนเชื้ออื่นๆที่เหลือสามารถสังเคราะห์ IAA ได้ในช่วงตั้งแต่ 6 – 30 μmole/L ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ แต่แตกต่างจาก isolate CHN1 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 24 ผลของการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย[L1]ต่อปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และปริมาณ IAA ในอาหารเหลวที่ใส่แร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2

Isolate No.	amount in liquid medium	
	Sol. Si (μg Si/ml)[L2]	IAA (μmole/L)[L3]
SM1	0.00 b[L4]	4.00 b
SM2	15.13 a	30.65 b
SM3	0.00 b	6.12 b
CHN1	14.80 a	82.93 a
CHN2	0.00 b	12.09 b
JP14	4.13 b	28.33 b
control	0.00	0.00

L1 ค่าเฉลี่ยของ 3 ซ้ำ

L2 ปริมาณที่ระยะ 9 วัน หลังการใส่เชื้อ

L3 ปริมาณที่ระยะ 2 วัน หลังการใส่เชื้อ

L4 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันที่ $P< 0.05$

ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2

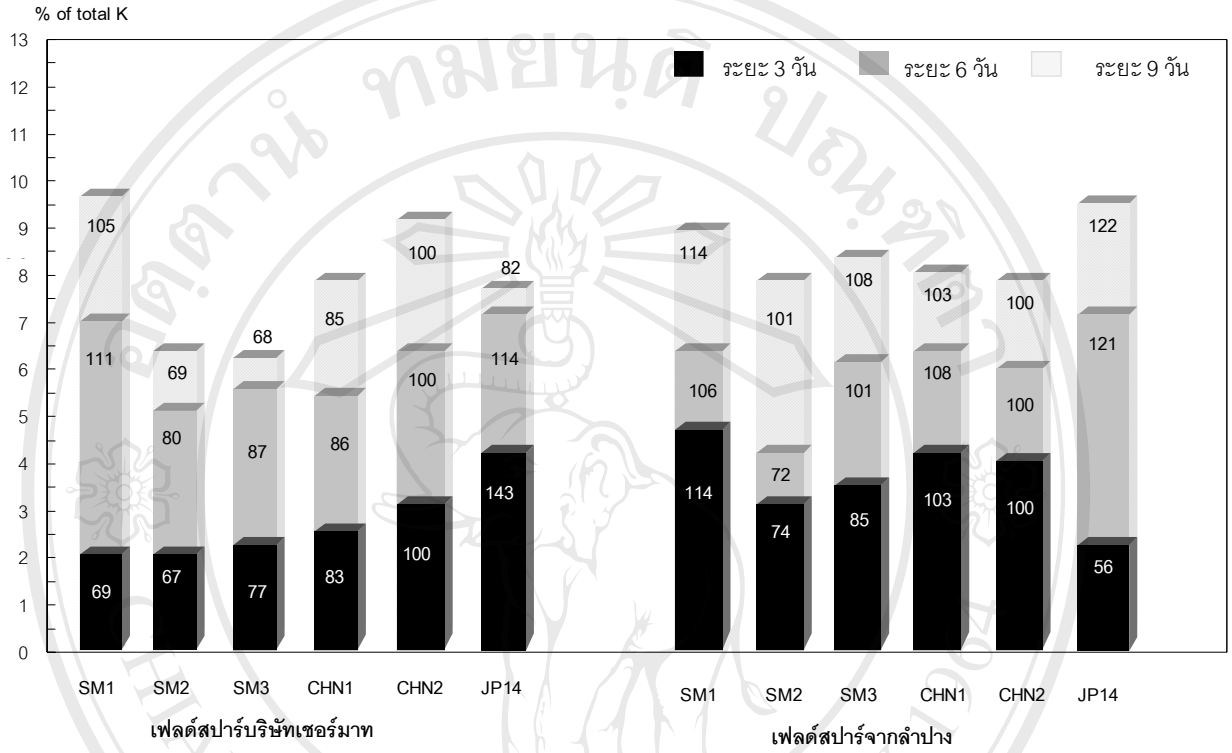
ในช่วง 3 วันหลังการใส่เชื้อ (รูปที่ 9) เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ได้ในช่วงตั้งแต่ 0.33 – 2.64 % โดยลำดับความสามารถของเชื้อจากมากไปน้อยมีดังนี้ SM3 2.64 %, CHN1 2.38 %, SM1 2.28 %, CHN2 0.95 %, SM2 0.33 % และ JP14 0.35 %

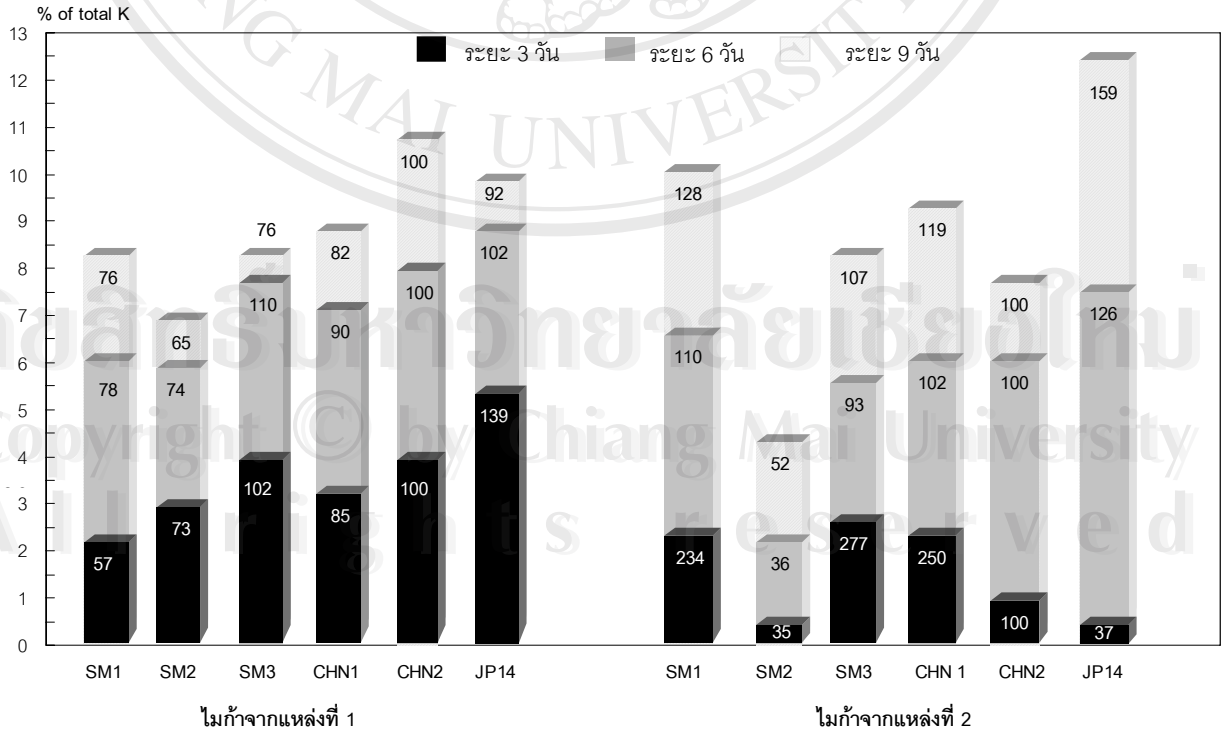
ในช่วง 6 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 โดยกิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.17 – 7.52 % ประสิทธิภาพของเชื้อ isolate ต่างๆ ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 7.52 %, SM1 6.62 %, CHN1 6.12 %, CHN2 5.99 %, SM3 5.57 % และ SM2 2.17 %

สำหรับในช่วง 9 วันหลังการใส่เชื้อ ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 โดยกิจกรรมของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียมีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.41 – 10 % ประสิทธิภาพของเชื้อแต่ละ isolate เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ JP14 12.44 %, SM1 10 %, CHN1 9.32 %, SM3 8.37 %, CHN2 7.79 % และ SM2 4.41 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 9 แสดงปริมาณ K released (% of total K) ที่มีการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย isolate ต่างๆ ต่อปริมาณของโพแทสเซียมที่ละลายได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งปลดปล่อยจากสินแร่ซิลิเกตที่ระยะ 3, 6 และ 9 วัน หลังการใส่เชื้อ





ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ได้จากดินที่ใช้ในการทดลอง เชื้อที่พบในหัวเชื้อ และเชื้อ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากอำเภอฮอด และมีประสิทธิภาพดีในการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกจากแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้แร่เฟลด์สปาร์และไมก้าที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน และใช้เวลาศึกษาในช่วง 3, 6 และ 9 วัน ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง เชื้อ isolate ต่างๆ มีความแตกต่างกันเฉพาะในช่วง 3 วันแรกของการใส่เชื้อเท่านั้น สำหรับแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง ประสิทธิภาพของเชื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดทุกช่วงเวลาของการศึกษา ในกรณีของแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 พบว่ามีเฉพาะแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ซึ่งเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ชนิดนี้ได้แตกต่างกันนั้น ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกตของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียผันแปรตามชนิดของแร่ อย่างไรก็ตามถึงแม้ความแตกต่างของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองในแง่ของความสามารถในการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม แต่เมื่อประเมินประสิทธิภาพจาก % K ที่ปลดปล่อยจากโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่แต่ละชนิด โดยใช้เชื้อ isolate CHN2 ซึ่งเป็นเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่พบในปริมาณมากในหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม และในการเปรียบเทียบ (รูปที่ 9) พบว่าเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย 3 isolate ซึ่งได้จากดินที่ใช้ในการทดลอง (SM1, SM2 และ SM3) มีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทในช่วง 3 วันแรกหลังการใส่เชื้อลงไปในอาหารเหลวประมาณ 69 – 77 % ของความสามารถของเชื้อ CHN2 ส่วนเชื้อ JP14 มีความสามารถมากกว่าเชื้อ CHN2 43 % ในระยะ 6 วัน เชื้อ SM2 สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากแร่ชนิดนี้ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 11 % ส่วนเชื้อ JP14 ยังคงมีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 ประมาณ 14 % สำหรับเชื้อ isolate อื่นๆ ยังคงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อ CHN2 ในระยะ 9 วัน หลังการใส่เชื้อ พบว่ามีเชื้อเพียง isolate เดียวคือ SM1 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาทดีกว่าเชื้อ CHN2 ประมาณ 5 % ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อ CHN2 ในกรณีของแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง พบว่า ในช่วง 3 วัน หลังการใส่เชื้อมีเพียงเชื้อ SM1 ที่มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางดีกว่าเชื้อ CHN2 14 % เชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อ CHN2 แต่ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ พบว่า เชื้อ isolate JP14 มีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 21 % ส่วนเชื้อจากบ้านบ่อแก้ว 2 isolate คือ SM1 และ SM3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อ CHN2 และมีเพียงเชื้อ isolate เดียวคือ SM2 ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า CHN2 สำหรับเชื้อ CHN1 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปางดีกว่า CHN2 ประมาณ 8 % ในระยะ 9 วัน เชื้อ JP14 มีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 22 % ส่วนเชื้อ isolate อื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ isolate CHN2 คือ isolate SM2, SM3 และ CHN1 สำหรับ isolate SM1 มีประสิทธิภาพดีกว่า isolate CHN2 14 % ในกรณีของแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 1 พบว่าในช่วง 3 วันแรกหลังการใส่เชื้อมีเพียงเชื้อ JP14 ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 (39 %) สำหรับเชื้อ SM3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อ CHN2 สำหรับเชื้อ isolate อื่นๆที่เหลือ มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อ CHN2 ในระยะ 6 วัน พบว่ามีเพียง 2 isolate คือ isolate SM1 และ SM2 ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อ CHN2 ส่วน isolate อื่นๆ ได้แก่ SM3, CHN1 และ JP14 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อ CHN2 ในระยะ 9 วัน พบว่า เชื้อจากบ้านบ่อแก้วทุก isolate และเชื้อ CHN1 มีประสิทธิภาพต่ำกว่า CHN2 ส่วนเชื้อ JP14 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อ CHN2 สำหรับแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 พบว่าในระยะ 3 วันหลังการใส่เชื้อลงไปในอาหารเหลวเชื้อ CHN2, JP14 และ SM2 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่เชื้อ isolate SM1, SM3 และ CHN1 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ชนิดนี้ดีกว่า CHN2 ประมาณ 2.3 – 2.7 เท่าตัว ในระยะ 6 วันหลังการใส่เชื้อ พบว่าประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ของเชื้อ CHN2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเชื้อ isolate JP14 ก็เช่นกัน ประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมของเชื้อ JP14 ในระยะนี้จึงมากกว่าเชื้อ CHN2 ถึง 26 % สำหรับเชื้อ SM1 จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อ CHN2 ประมาณ 10 % ส่วนเชื้อ CHN1 และ SM3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อ CHN2 สำหรับ isolate SM2 มีประสิทธิภาพต่ำกว่า isolate CHN2 ประมาณ 36 % สำหรับระยะ 9 วันหลังการใส่เชื้อ พบว่ามีเพียงเชื้อ SM2 เพียง isolate เดียวที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า CHN2 ประมาณ 50 % isolate อื่นๆที่เหลือมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมก้าจากแหล่งที่ 2 ดีกว่า CHN2 ดังนี้ JP14 59 %, SM1 28 %, CHN1 19 % และ SM3 7 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดลองที่ 2 การทดลองปลูกพืชในกระถาง

ก่อนการทดลอง ดินจากพื้นที่ของนายวิรัตน์ มี pH 5.91 ซึ่งเป็นกรดปานกลาง มี available P 956 mg/kg ซึ่งถือว่ามีอยู่ในระดับที่สูงมาก มี exchangeable K 81 mg/kg ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.806 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำมาก (กองสำรวจดิน, 2523 อ้างโดย เอิบ, 2542) ปริมาณแบคทีเรียที่ย่อยสลาย silicate มีประมาณ 10^7 cfu/ml

การใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในดินที่ได้จากแปลงเกษตรกร ในอำเภอสะเมิงไม่มีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่ในด้านจำนวนใบ และขนาดทรงพุ่มในระยะ 54 วัน หลังการย้ายปลูกอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่หัวเชื้อ แต่เมื่อใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักมีผลทำให้สตรอเบอรี่มีขนาดทรงพุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ ทำให้ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่กว่าการไม่ใส่หัวเชื้อประมาณ 11 % (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 ผลของการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย*ต่อจำนวนใบและขนาดของทรงพุ่มของสตรอเบอรี่ที่ระยะ 54 วัน หลังการย้ายปลูก

ตำรับทดลอง	จำนวนใบ/ต้น	ขนาดทรงพุ่ม (cm)
ไม่ใส่หัวเชื้อ	20.56 a** (100)	21.56 b (100)
ใส่หัวเชื้อ	16.12 b (78)	21.44 b (99)
ใส่หัวเชื้อ + ปุ๋ยหมัก	20.08 ab (98)	23.96 a (111)

* ค่าเฉลี่ยของ 25 ซ้ำ ตัวเลขในวงเล็บ คือ relative value (%) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อ

** ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P< 0.05

ตารางที่ 26 ผลของการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย*ต่อจำนวนดอก และจำนวนผลของสตรอเบอรี่ในระยะ 47 และ 76 วัน หลังการย้ายปลูก

ตำรับการทดลอง	ระยะ 47 วัน		ระยะ 76 วัน	
	จำนวนดอก/ต้น	จำนวนผล/ต้น	จำนวนดอก/ต้น	จำนวนผล/ต้น
ไม่ใส่หัวเชื้อ	2.52 a**(100)	5.12 a (100)	7.76 a (100)	2.16 b (100)
ใส่หัวเชื้อ	1.44 b (57)	6.04 a (118)	1.84 b (24)	9.32 a (431)
ใส่หัวเชื้อ + ปุ๋ยหมัก	2.84 a (113)	4.969 a (97)	6.92 a (89)	76 a (313)

* ค่าเฉลี่ยของ 25 ซ้ำ ตัวเลขในวงเล็บ คือ relative value (%) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อ

** ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P <0.05

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในแง่ของจำนวนดอกและผลของสตรอเบอรี่ในระยะ 47 วัน หลังการย้ายปลูก(ตารางที่ 26) พบว่า สตรอเบอรี่ที่ได้รับการใส่หัวเชื้อแต่เพียงอย่างเดียวมีจำนวนดอกน้อยกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้รับการใส่หัวเชื้อและที่ใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญ แต่จำนวนผลมีมากกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้รับการใส่หัวเชื้อ 18 % การใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักให้ผลไม่แตกต่างจากการไม่ใส่หัวเชื้อทั้งในแง่จำนวนดอกและจำนวนผลต่อต้น ในระยะ 76 วัน หลังการย้ายปลูก สตรอเบอรี่มีการตอบสนองต่อการใส่หัวเชื้อในลักษณะเดียวกับที่พบในระยะ 47 วัน คือ การใส่หัวเชื้ออย่างเดียวทำให้สตรอเบอรี่มีจำนวนผลมากกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ใส่หัวเชื้อประมาณ 4 เท่าตัว สำหรับสตรอเบอรี่ที่ได้รับการใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักมีจำนวนผลเพิ่มขึ้นเช่นกัน คือ มีจำนวนผลมากกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ใส่หัวเชื้อประมาณ 3 เท่าตัว ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่หัวเชื้ออย่างเดียว

ตารางที่ 27 ผลของการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย*ต่อน้ำหนักผลสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total water soluble solid, TSS) ในผล (^{0}Brix) และน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่ระยะ 76 วัน หลังการย้ายปลูก

ตำรับทดลอง	น้ำหนักผลสด g/pot	TSS ในผล (^{0}Brix)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ไม่รวมผล) g/pot
ไม่ใส่หัวเชื้อ	35.45 b (100)	9.51 a** (100)	11.58 ab (100)
ใส่หัวเชื้อ	78.09 a (220)	8.62 a (91)	14.07 a (122)
ใส่หัวเชื้อ + ปุ๋ยหมัก	87.82 a (248)	8.80 a (93)	10.80 b (93)

* ค่าเฉลี่ยของ 25 ซ้ำ ตัวเลขในวงเล็บ คือ relative value (%) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อ

** ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P< 0.05$

ด้านของน้ำหนักผลสด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผล และน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่ระยะ 76 วันหลังการย้ายปลูก (ตารางที่ 27) พบว่า สตรอเบอรี่ที่ได้รับการใส่หัวเชื้อแต่เพียงอย่างเดียวและใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักมีปริมาณน้ำหนักผลสด (g/pot) มากกว่าสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้รับการใส่หัวเชื้อ 2 เท่า และการใส่หัวเชื้อเพียงอย่างเดียวทำให้สตรอเบอรี่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ไม่รวมผล) มากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อประมาณ 1 เท่า และมากกว่าการใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักไม่ทำให้สตรอเบอรี่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างจากการไม่ใส่หัวเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 28 ผลของการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย*ต่อความเข้มข้นของ N P และ K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ (young fully expended leaves, YFL) และ N P และ K ที่สะสมในส่วนเหนือดินที่ระยะ 76 วันหลังการย้ายปลูก

ตำรับทดลอง	ใบอ่อนที่คลี่เต็มที่			ส่วนเหนือดิน (gN/plant)		
	%N	%P	%K	N uptake	P uptake	K uptake
ไม่ใส่หัวเชื้อ	2.662 b	0.278 a	1.474 a**	0.292 b	0.027 a	0.198 ab
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
ใส่หัวเชื้อ	2.720 ab	0.287 a	1.558 a	0.419 a	0.032 a	0.249 a
	(102)	(103)	(106)	(143)	(121)	(126)
ใส่หัวเชื้อ + ปุ๋ยหมัก	2.858 a	0.303 a	1.540 a	0.276 b	0.031 a	0.173 b
	(107)	(109)	(104)	(94)	(117)	(88)

* ค่าเฉลี่ยของ 25 ซ้ำ ตัวเลขในวงเล็บ คือ relative value (%) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่เชื้อ

** ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

การใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักมีผลทำให้ความเข้มข้นของ N ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ ในระยะ 76 วัน หลังการย้ายปลูกมากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่หัวเชื้ออย่างเดียว ในแง่ความเข้มข้นของ P และ K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ พบว่าสตรอเบอรี่ไม่ให้ผลตอบสนองต่อการใส่หัวเชื้อไม่ว่าจะใส่หัวเชื้ออย่างเดียวหรือใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมัก

จากรายงานของ Ulrich และคณะ (1980) อ้างโดย Reuter และคณะ (1986) ความเข้มข้นของ N P และ K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่พอเพียงมีดังนี้ % N 2.50 - 3.50 % และ % K 1.50 - 2.50 % ส่วน % P ในระดับ 0.28 - 3.0 % ถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง

ในการทดลองนี้ % N ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่อยู่ในช่วง 2.66-2.86 % ซึ่งถือว่าสตรอเบอรี่ได้รับปริมาณ N อย่างเพียงพอแก่สตรอเบอรี่ สำหรับปริมาณ K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของสตรอเบอรี่ที่ได้รับการใส่หัวเชื้ออยู่ในช่วง 1.54 - 1.56 % ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่เพียงพอแก่ความต้องการเช่นกัน ส่วนสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้รับการใส่หัวเชื้อ มี %K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ 1.47 % ซึ่งต่ำกว่าระดับที่เพียงพอเล็กน้อย ในด้านของ % P ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ ทุกตำรับอยู่ในช่วง 0.28-0.30 % ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง

ในแง่ของการสะสม N P และ K ในส่วนที่อยู่เหนือดิน พบว่า การใส่หัวเชื้ออย่างเดียวมีผลทำให้สตรอเบอรี่มีการสะสม N ในส่วนเหนือดินมากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ 43 % สำหรับการใส่หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยหมักให้ผลไม่แตกต่างจากไม่ใส่หัวเชื้อ ในแง่ของการสะสม P และ K แต่ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญในทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าในแง่ของการสะสมธาตุ N P และ K สตรอเบอรี่ไม่มีการตอบสนอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อการใส่หัวเชื้อแต่อย่างใดไม่ว่าจะใส่อย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่หัวเชื้อ อย่างไรก็ตามการใส่หัวเชื้ออย่างเดียวมีแนวโน้มทำให้การสะสม P และ K เพิ่มขึ้น 21 และ 26 % ตามลำดับ

เนื่องจากการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในดินจากอำเภอสะเมิงที่มีแร่ไมก้าเป็นองค์ประกอบ ให้ผลดีต่อการปลูกสตรอเบอรี่ ในแง่ของการเพิ่มจำนวนผล และน้ำหนักผลสด และทำให้สตรอเบอรี่มีการสะสม N ในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการสะสม K จึงคาดว่า ผลดีที่เกิดจากใส่หัวเชื้อ น่าจะเป็นผลจากกิจกรรมด้านการสังเคราะห์สารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในหัวเชื้อมากกว่ากิจกรรมการปลดปล่อย K จากสินแร่ไมก้า เพราะจากข้อมูลด้านความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบอ่อน ซึ่งเป็นดัชนีบ่งถึงสภาวะของธาตุอาหารในต้นสตรอเบอรี่ว่าได้รับธาตุอาหารเพียงพอแก่ความต้องการในการเจริญเติบโตหรือไม่ ในการทดลองนี้พบว่า สตรอเบอรี่ที่ปลูกในตำรับการทดลองทุกตำรับได้รับธาตุอาหาร N P และ K ในระดับที่เพียงพอแก่ความต้องการ แต่การใส่หัวเชื้อทำให้ต้นสตรอเบอรี่ให้ผลผลิตเร็วขึ้น และมีจำนวนและน้ำหนักผลสดตลอดจนการสะสมธาตุ N ในส่วนเหนือดินมากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสารกระตุ้นการเจริญเติบโตที่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในหัวเชื้อสังเคราะห์ขึ้นในบริเวณราก มีผลส่งเสริมการเจริญของรากและการติดดอกออกผล จากรายงานของ Hebei Institute of Microbiology เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในหัวเชื้อที่สถาบันแห่งนี้ผลิตขึ้น สามารถสร้าง Gibberellin และฮอร์โมนอื่นๆได้ด้วย (Hebei Academy of Science, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาปริมาณของซิลิเกตแบคทีเรียในดินจากบ้านบ่อแก้วที่ใช้ทดลองปลูกพืชในกระถาง ที่พบว่าดินดังกล่าวมีปริมาณเชื้อที่สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีแร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งของโพแทสเซียมประมาณ 10^7 cfu/g ส่วนปริมาณเชื้อที่พบในหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมที่ใช้ในการทดลองมีประมาณ 10^8 cfu/g ซึ่งมากกว่าปริมาณเชื้อในดินประมาณ 10 เท่า จากข้อมูลของ Institute of Microbiology ณ เมือง Hebei สาธารณรัฐประชาชนจีน (Xiao, 2004 presonal communication) หัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวที่ได้มาตรฐาน ควรมีปริมาณเซลล์ของซิลิเกตแบคทีเรียไม่ต่ำกว่า 10^9 cfu/g แสดงว่าหัวเชื้อที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีอายุการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ปี มีปริมาณเชื้อต่ำกว่ามาตรฐาน 10 เท่า

จากรายงานของปิยะมาศ (2546) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในดินจากพื้นที่ต่างๆ รวม 4 พื้นที่ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย ซึ่งมีองค์ประกอบเหมือนกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลองนี้ แต่ใช้โพแทสเซียมในรูปของ KH_2PO_4 ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้แทนแร่เฟลด์สปาร์ และหาปริมาณแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตกรดในตัวอย่างดิน โดยนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้สีของอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนเป็นสีเหลือง พบว่าดินที่ใช้ศึกษาทั้ง 4 พื้นที่มีปริมาณเชื้อที่สามารถผลิตกรดประมาณ 10^4 cfu/g และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียสจากแร่เฟลด์สปาร์ของเชื้อที่คัดเลือกจากดินดังกล่าวจำนวน 22 isolate พบว่า เมื่อใช้เวลาในการศึกษา 168 ชั่วโมงเชื้อตัวอย่างส่วนใหญ่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุดที่ช่วง 144 ชั่วโมง และที่ระยะ 144 ชั่วโมงนี้ เชื้อตัวอย่างที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ได้ดีที่สุดสามารถทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจาก control 169 % ส่วนเชื้ออื่นๆ จำนวน 12 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างจากเชื้อตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจาก control ในช่วงตั้งแต่ 24 – 152% สำหรับเชื้อในดินที่ใช้ในการทดลองนี้ซึ่งสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งโพแทสเซียมซึ่งมีประมาณ 10^7 cfu/g และจากการศึกษาความสามารถของเชื้อแบคทีเรียจากกลุ่มเชื้อส่วนใหญ่ที่พบในดิน ผลจากการศึกษาพบว่า เชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบในดิน และใช้ในงานทดลองซึ่งมีประมาณ 67 % ของปริมาณเชื้อทั้งหมดที่เจริญบนอาหาร และสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้าได้เช่นเดียวกับเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่พบในหัวเชื้อ จึงอาจกล่าวได้ว่า เชื้อแบคทีเรียในดินที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งของโพแทสเซียมส่วนใหญ่เป็นเชื้อที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกตได้ และปริมาณที่พบสูงกว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินจากพื้นที่ต่างๆ ที่ปิยะมาศใช้ในการศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกต จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่ได้จากดินที่ใช้ในการทดลอง เชื้อที่พบในหัวเชื้อ และเชื้อ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากอำเภอฮอด และมีประสิทธิภาพดีในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไมก้าที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน และใช้เวลาศึกษาในช่วง 3, 6 และ 9 วัน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้าของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียซึ่ง พบว่า เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากกลุ่มแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบในดินจากบ้านบ่อแก้วมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้าไม่แตกต่างจากเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากหัวเชื้อ พิจารณาจากเปอร์เซนต์โพแทสเซียมทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากแร่ ซึ่งการทดลองพบว่าเชื้อ SM1 มีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ใกล้เคียงหรือดีกว่าเชื้อที่พบในหัวเชื้อ และในกรณีของแร่ไมก้าเชื้อที่ได้จากดินที่ใช้ในการทดลองที่พบส่วนใหญ่ในดินก็มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากโพแทสเซียมทั้งหมดในแร่ไมก้า 2 ดีกว่าเชื้อ CHN2 28% ชี้ให้เห็นว่านอกจากดินที่ใช้ในการทดลองจะมีเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในปริมาณที่สูงแล้วเชื้อที่พบส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพดีในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกตเหล่านี้

นอกจากเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย isolate ต่างๆ ที่ได้จากบ้านบ่อแก้วจะมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และไมก้าดีแล้ว ผลการทดลองยังพบว่าเชื้อเหล่านี้ยังสามารถผลิต IAA ได้อีกด้วย แต่ปริมาณฮอร์โมนที่ผลิตโดยเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในดินที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 – 39 μmole/L โดยปริมาณฮอร์โมนที่ผลิตได้ผันแปรตามชนิดของแร่ที่ใช้เป็นแหล่งโพแทสเซียม และผันแปรตามเชื้อแต่ละ isolate แต่ซิลิเกตแบคทีเรียที่พบในหัวเชื้อโดยเฉพาะ isolate CHN1 ซึ่งเป็นเชื้อที่ผลิตกรดได้ดี มีความสามารถในการผลิตฮอร์โมนได้ปริมาณมากกว่าเชื้อที่ได้จากดินที่ใช้ในการทดลอง คือผลิตได้ในช่วง 83 – 144 μmole/L ในแง่ของกลไกในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้า จากผลการทดลองพบว่าเชื้อจากดินทั้ง 3 isolate ไม่ทำให้ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง

ผลจากการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียแต่ละ isolate ต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์และไมก้าจากแหล่งต่างๆ ตลอดจนปริมาณ Si ที่ละลายได้ในอาหารเหลว ซึ่งพบว่าเชื้อ CHN1 เป็นเชื้อเดียวที่ทำให้ pH ของอาหารเหลวเป็นกรด เชื้อ SM2 โดยทั่วไปแล้วทำให้ pH ของอาหารเหลวไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ control ส่วนเชื้ออื่นๆ ได้แก่ SM1, SM3, CHN2 และ JP14 ทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย ในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้า 1 พบว่า เชื้อทุก isolate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลว แต่ในกรณีของแร่ไมก้า2 พบว่า เชื้อ SM2 มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเชื้อ CHN1, SM1 และ JP14 ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า กลไกในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ซิลิเกตเหล่านี้ของซิลิเกตแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง โดยเฉพาะเชื้อ SM1, SM2, SM3, CHN2 และ JP14 อาจไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการผลิตกรดของเชื้อแบคทีเรียเหล่านี้ และเชื้อดังกล่าวอาจใช้กลไกอื่นในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์หรือไมก้า ซึ่งอาจเป็นกลไกใดกลไกหนึ่งดังต่อไปนี้

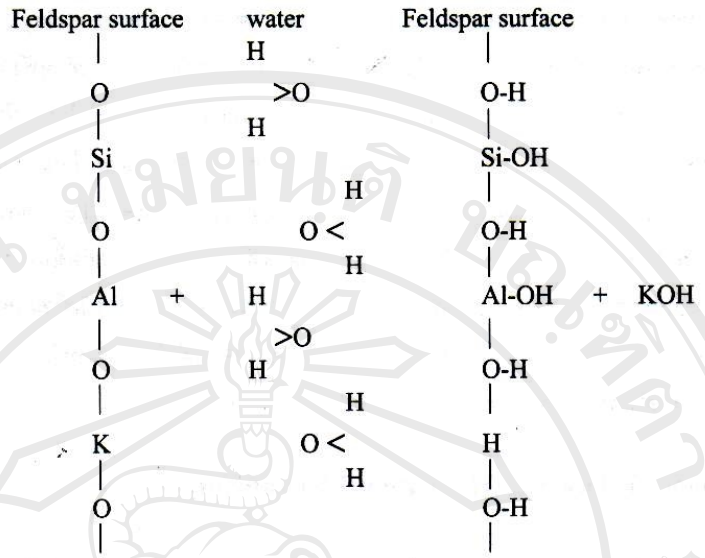
1. เชื้อเข้าไปเจริญบนผิวหน้าของแร่ และทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณที่มีเชื้อเจริญอยู่แตกต่างจากบริเวณอื่น มีผลทำให้แร่เกิดการสลายตัว ดังรายงานของ Roger และคณะ (1998)
2. ผนังเซลล์ของแบคทีเรียและสารประกอบ polymer ที่แบคทีเรียขับออกมาจากเซลล์รวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งส่งเสริมให้แร่ละลายได้ดีขึ้น (Beveridge และ Fyfe, 1985; Mitleman และ Geesay, 1985; Geesay และคณะ อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996)
3. ในสภาพที่ pH เป็นกลาง แบคทีเรียผลิตสารประกอบพวก gluconate ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำ และสามารถเกิดปฏิกิริยา chelation ซึ่งส่งเสริมการละลายของแร่ซิลิเกต (Vandervivere และคณะ, 1994)

อนึ่งการสลายตัวผุพังของแร่เฟลด์สปาร์และไมก้า ตัวการที่สำคัญได้แก่ น้ำ ซึ่งแตกตัวให้ H^+ และ OH^- ตลอดจนออกซิเจน และสารบางอย่างที่ปลดปล่อยจากกิจกรรมของพืช และจุลินทรีย์ดิน เมื่อแร่เฟลด์สปาร์ทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่เป็นกรด จะทำให้เกิดแร่ชนิดใหม่ดังสมการต่อไปนี้ (ไพบูลย์, 2546)

$$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 12H_2O \longrightarrow KSi_3Al_3O_{20}(OH)_2 + 6Si(OH)_4 + 2K^+$$

นอกจากนี้การสลายตัวของแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์อาจเกิดจากกระบวนการดูดซับน้ำของแร่ ซึ่งเกิดขึ้นได้เพราะผิวของแร่เฟลด์สปาร์ประกอบด้วยออกซิเจน ซึ่งมี electronegativity สูงเรียงรายอยู่โดยรอบ ในขณะเดียวกันน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็น dipole เมื่อถูกดูดซับบนผิวแร่จะเรียงตัวโดยหัน H^+ ในโมเลกุลเข้าหาออกซิเจนของผิวแร่ ส่วน OH ในโมเลกุลของน้ำก็พยายามหันเข้าหา cation เช่น K^+, Al_3^+ และ Si_4^+ บนผิวแร่เฟลด์สปาร์ ผลจากกระบวนการ hydration ทำให้ออกซิเจนบนผิวแร่รวมตัวกับ H^+ เป็น OH และ cation ในโครงสร้างรวมกับ -OH เป็น cationoxide โดยเฉพาะ KOH ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลาย ทำให้เกิดช่องว่างในโครงสร้างและทำให้แร่ขาดเสถียรภาพ และผุพังสลายตัวได้ง่ายขึ้น (Jenny, 1950 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546) สำหรับปฏิกิริยา hydration บนผิวแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์มีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ในกรณีของแร่ไมก้า การสลายตัวผุพังยังเกิดได้ จากกระบวนการ hydroxylation โดย H^+ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก นอกจากจะดูดซับอยู่บนผิวแร่แล้ว ยังเคลื่อนที่เข้าไปรวมตัวกับ apical oxygen เป็นกลุ่ม OH^- ซึ่งดูดยึดระหว่าง แผ่น tetra และ octa hedral เป็นผลทำให้ประจุในโครงสร้างลดลง ทำให้แรงดูดยึดระหว่างชั้นต่างๆ กับ K^+ ใน interlayer อ่อนตัวลง และทำให้ K^+ หลุดออกมาใน interlayer ได้ง่าย ซึ่งในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด และมีการชะล้างสูง กระบวนการดังกล่าวจะเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ (Jackson *et.al.*,อ้างโดย ไพบูลย์, 2546) ในสภาพที่เป็นกรด H^+ สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในโครงสร้างของแร่ และอาจเกิดการแลกเปลี่ยน ไล่ที่ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} ออกมาจากโครงสร้าง ซึ่งทำให้เสถียรภาพของแร่ลดลง นอกจากนี้ H^+ ยังสามารถแพร่เข้าไปอยู่ตามช่องว่างในโครงสร้าง ทำให้แร่มีประจุบวกเกินมา และเป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่ง ในการปลดปล่อย K^+ จากหลืบ (Interlayer) ของแร่ไมก้า ทั้งนี้เพื่อรักษาความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้าของแร่ นอกจากนี้ H^+ ยังสามารถแลกเปลี่ยนที่กับ K^+ จากหลืบของแร่ ได้โดยง่าย ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการสลายตัวผุพัง ของแร่ไมก้า (ไพบูลย์,2546)

เนื่องจากในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด แร่ไมก้า และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ สามารถทำปฏิกิริยา กับ น้ำ และทำให้มีการปลดปล่อย K^+ ออกจากแร่โครงสร้าง ดังนั้น จึงคาดว่า กระบวนการนี้น่าจะเป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยเชื้อ CHN1 ซึ่งเป็นเชื้อที่สามารถผลิตกรดได้ดี ในกรณีของแร่ไมก้า ซึ่งการปลดปล่อย K^+ จากหลืบของแร่ เกิดจากปฏิกิริยา hydroxylation ของ H^+ กับแร่ การเคลื่อนที่ของ H^+ เข้าไปในโครงสร้างของแร่ การแลกเปลี่ยนไล่ที่ Al^{3+}หรือ Mg^{2+} ในโครงสร้างของแร่โดย H^+ การแลกเปลี่ยนที่ H^+ กับ K^+ ที่หลืบของแร่ กลไกเหล่านี้ก็น่าจะเกิดขึ้นกับ CHN1 ได้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อนึ่งจากผลการทดลองด้านความสามารถของเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในการปลดปล่อย Si ที่ละลายได้ ซึ่งพบว่า เชื้อ isolate SM2 สามารถปลดปล่อย Si ที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์และไมก้า ได้ดีกว่าเชื้อ isolate อื่น ส่วนเชื้อ isolate CHN1 และ JP1 ก็สามารถปลดปล่อย Si จากแร่เฟลด์สปาร์ และไมก้าได้เช่นกัน แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่า เช่น isolate SM2 ในกรณีของแร่ไมก้า 2 พบว่า เชื้อ SM2 และ CHN1 มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อย Si ได้ใกล้เคียงกันและดีกว่า เชื้อ JP14 ส่วนเชื้อ CHN2 สามารถปลดปล่อย Si จากแร่เฟลด์สปาร์จากลำปางได้เพียงชนิดเดียว จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า เชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย isolate ต่างๆที่สามารถปลดปล่อย Si จากสินแร่เหล่านี้ น่าจะทำให้เกิดปฏิกิริยา hydration กับแร่ดังกล่าว ได้ด้วย และเป็นผลให้มีการปลดปล่อย K^+ และ กรดซิลิซิก [$Si(OH)_2$] ออกจากสินแร่ ดังสมการ

$$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 12H_2O \rightleftharpoons KSi_3Al_3O_{20}(OH)_2 + 6Si(OH)_2 + 2K^+$$

ในกรณีของการสลายตัวผุพังของแร่ไมก้า โดยปฏิกิริยา Chelation ระหว่างสารอินทรีย์ที่เชื้อจุลินทรีย์ผลิตขึ้นมา และสารอินทรีย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็น anion ligand ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ cation ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง และสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าว มีความเสถียรและละลายน้ำได้ดี เป็นผลทำให้แร่ไมก้าละลายน้ำได้ดี สลายตัวผุพังได้เร็วขึ้น และมีการปลดปล่อย K^+ และกรดซิลิซิก [$Si(OH)_2$] ได้ (ไพบูลย์,2546) ดังตัวอย่างของปฏิกิริยาต่อไปนี้ (Sposite, 1985 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546)

$$K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4(s) + 6C_2O_4H_2(aq) + 4H_2O(l)$$

$$\downarrow \quad \uparrow$$

$$2K^+(aq) + 6C_2O_4Al^+(aq) + 6Si(OH)_4(aq) + 8(OH)^-(aq)$$

จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเห็นว่ามี hydroxyl ion (OH^-) เกิดขึ้น จึงคาดว่า ปริมาณ OH^- ที่เกิดขึ้น น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของ pH ของอาหารเหลวที่ได้รับการใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียทุก isolate ยกเว้น SM2 และ CHN1

จากรายงานของปิยะมาศ (2546) เชื้อ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่แยกได้จากดินห้วยจุมปา อ.ฮอด จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการปลดปล่อย K^+ จากแร่เฟลด์สปาร์ ในจำนวนเชื้อทั้งหมด 22 isolate ที่ใช้ในการศึกษา ในอาหารเหลวที่ใช้แร่เฟลด์สปาร์ซึ่งมี % K_2O 10 % (8.23%K) เป็นแหล่งของโพแทสเซียม และมีการเขย่าอาหารเหลว เป็นเวลา 144 ชั่วโมง เชื้อ isolate ที่สามารถทำให้ปริมาณ K ที่ละลายได้ในอาหารเหลวมากกว่า control ซึ่งไม่ใส่เชื้อ ประมาณ 16.9% และทำให้อาหารเหลวมี pH 6.96 ในการทดลองนี้ การใส่เชื้อ JP14 ลงใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเชอร์มาท (5.33 %K) และแร่เฟลด์สปาร์จากจังหวัดลำปาง (6.75 %K) และเพาะเลี้ยงในอาหารดังกล่าวเป็นเวลา 6 วัน (144 ชั่วโมง) พบว่า เชื้อ isolate ดังกล่าว สามารถทำให้ปล่อย K ทั้งหมดที่ละลายได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจาก control 140 และ 142 % และทำให้ pH ของอาหารเหลวเพิ่มจาก 7.04 เป็น 7.28 และ 7.49 ตามลำดับ ผลการทดลองค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองของปิยะมาศที่พบว่า เชื้อ JP14 ซึ่งเป็นเชื้อที่สามารถเปลี่ยนสีของ Bromothymol blue เป็นสีเหลือง เมื่อเชื้อเจริญบนอาหารวุ้น สำหรับ ซิลิเกตแบคทีเรีย ซึ่งมี KH_2PO_4 เป็นแหล่งของโพแทสเซียม แต่เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว ซึ่งมีแร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งของโพแทสเซียม เชื้อดังกล่าวทำให้ pH ของอาหารเหลวอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.28 – 6.54 ในช่วง 6 – 72 ชั่วโมง หลังการใส่เชื้อ แต่ในช่วง 120 ชั่วโมง pH ของอาหารเหลวเพิ่มขึ้น จนมี pH 7.00 ที่ระยะ 168 ชั่วโมง หลังการใส่เชื้อ และประสิทธิภาพในการปลดปล่อยให้โพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์ของ JP14 ไม่แตกต่างจากเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

สำหรับการทดลองปลูกพืชในกระถาง ซึ่งพบว่า การใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียลงไปในดิน จากอำเภอสะเมิงที่มีแร่ไมก้าเป็นองค์ประกอบ ให้ผลดีต่อการปลูกสตรอเบอรี่ ในแง่ของการเพิ่มจำนวนผล และน้ำหนักผล และทำให้สตรอเบอรี่มีการสะสม N ในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการสะสม K และจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสภาวะของธาตุอาหารในต้นสตรอเบอรี่ว่าได้รับธาตุอาหารเพียงพอแก่ความต้องการในการเจริญเติบโตหรือไม่ ก็พบว่า สตรอเบอรี่ที่ปลูกในตำรับการทดลองทุกตำรับ มีความเข้มข้นของธาตุอาหาร N P และ K ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ อยู่ในดินที่เพียงพอแก่ความต้องการ แสดงว่า ในตำรับที่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อต้นสตรอเบอรี่ก็ได้รับธาตุ N P และ K เพียงพออยู่แล้ว จากผลการหาปริมาณเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในดิน ก็พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองปลูกพืชในกระถาง มีปริมาณเชื้อดังกล่าวถึง 10^7 cfu ต่อกรัม และเป็นส่วนใหญ่ที่มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมก้าได้ดีไม่แตกต่างจากเชื้อที่พบในหัวเชื้อ ดังนั้น การใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย จึงไม่มีผลแตกต่างจาก ตำรับที่ไม่ใส่หัวเชื้อ ในแง่การสะสม K ในต้นของสตรอเบอรี่ แต่การใส่หัวเชื้อให้ผลดี ในแง่ที่ทำให้ต้นสตรอเบอรี่ให้ผลผลิตสูงขึ้น และมีจำนวนและน้ำหนักผลสด ตลอดจนการสะสมไนโตรเจนในส่วนเหนือดินมากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อน่าจะเป็นผลมาจากการกระตุ้นการเจริญเติบโตที่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในหัวเชื้อสังเคราะห์ขึ้นในบริเวณราก ซึ่งส่งเสริมการเจริญของรากและการติดดอกออกผล ด้านการตอบสนองของพืชต่อออกซิน (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm) พบว่าการใช้ออกซินกระตุ้นให้เกิดท่อน้ำและท่ออาหาร การเกิดรากและช่วยในการติดผล ส่วน Gibberellin กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น กระตุ้นการงอกของตาที่พักตัว การแทงช่อดอกและกระตุ้นให้มีการย่อยสลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กเช่นซูโครสและกรดอะมิโน ซึ่งเกี่ยวพันกับการสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิด ในกรณีของไซโตไคนิน มีบทบาทในการชะลอกระบวนการเสื่อมสลายของใบ การสร้างคลอโรฟิลด์ ตลอดจนกระตุ้นการเจริญของพืชทั้งต้น และผลจากการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้าง IAA ของเชื้อ ก็พบว่าเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่พบมากในหัวเชื้อ สามารถสร้าง IAA ได้ดีกว่าเชื้อที่พบในดิน ซึ่งจากรายงานของ Hebei Institute of Microbiology (1996) เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่สถาบันแห่งนี้ใช้ในการผลิตหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม เป็นเชื้อที่สามารถสร้าง Gibberellin และฮอร์โมนอื่นได้ด้วย

อนึ่งในผลการทดสอบปลูกพืชในกระถาง ซึ่งพบว่า เมื่อมีการปลูกสตรอเบอรี่โดยใช้ปุ๋ยยูเรียตลอดฤดูปลูกในอัตรา 12 kgN/rai การใส่เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียในอัตราแนะนำ โดยใส่อย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 2 T/rai ให้ผลที่แตกต่างกัน และทั้ง 2 ตำรับไม่แตกต่างจาก control ที่ไม่ใส่หัวเชื้อ แสดงว่าการใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดินที่ใช้ในการทดลอง ไม่ได้ช่วยทำให้สตรอเบอรี่มีการตอบสนองต่อการใช้เชื้อซิลิเกตแบคทีเรียดีขึ้นกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักแต่อย่างใด ทั้งที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ทดลองอยู่ในระดับที่ต่ำมาก (0.81%) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตสมบัติทางกายภาพของดินโดยทั่วไป พบว่าดินที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินเนื้อหยาบมีการระบายน้ำดี จึงไม่มีปัญหาด้านสมบัติทางกายภาพที่ต้องการวิธีการแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved