

การคัดเลือกชนิดของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับชนิดของแหล่งโพแทสเซียม

Selection on Potassium-Solubilizing Bacteria Suitable for

Potassium-Bearing Mineral Sources

ศิริลักษณ์ จิตรอักษร¹ ศพินา สังวิเศษ¹

บทคัดย่อ

แบคทีเรียชนิดที่ละลายโพแทสเซียมจากดินในประเทศไทย ศึกษาลักษณะโคโลนี รูปร่างเซลล์และการติดสีแกรม พบว่าไอโซเลทของแบคทีเรียมีลักษณะโคโลนีสีขาวขุ่น สีเหลืองอ่อนและสีเหลือง รูปร่างเซลล์เป็นท่อน มีทั้งชนิดติดสีแกรมบวกและแกรมลบ ทำการสุ่มเลือกจำนวน 30 ไอโซเลทเพื่อทดสอบความเหมาะสมกับชนิดของแหล่งโพแทสเซียมวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ซ้ำ 30 กรรมวิธี ใช้ไอโซเลทแทนกรรมวิธีการทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด โดยชนิดของแหล่งโพแทสเซียมแทนชุดการทดลอง ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ขนาด -40 แร่ไมกาขนาด -40 แร่ไมกาขนาด +40 และใช้ K_2HPO_4 เป็นกรรมวิธีเปรียบเทียบ พบว่าแต่ละไอโซเลทมีความสามารถในการเจริญโดยใช้แหล่งโพแทสเซียมชนิดเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติและไอโซเลทเดียวกันก็มีความสามารถในการใช้แหล่งโพแทสเซียมต่างชนิดในการเจริญที่แตกต่างกัน ยกเว้น ไอโซเลท K01026 K02017 K05080 K05082 K06008 และ *Bacillus circulans* ที่ใช้แหล่งโพแทสเซียมได้ไม่แตกต่างกัน ไอโซเลท K01026 K02004 และ K06009 เจริญเพิ่มจำนวนได้สูงให้ค่า log number ระหว่าง 8.505-8.614 CFU/มิลลิลิตร (10 เท่า) เมื่อใช้แร่เฟลด์สปาร์ขนาด -40 เป็นแหล่งโพแทสเซียม บางไอโซเลทสามารถใช้แร่ไมกาขนาด -40 ได้ เช่น ไอโซเลท K01026 K02001 K02004 K06005 K06008 และ K06009 เพิ่มจำนวนได้ค่า log number ระหว่าง 8.430-8.618 CFU/มิลลิลิตร ไอโซเลท K02004 ใช้แหล่งโพแทสเซียมจากแร่ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีกว่าการใช้ K_2HPO_4 และไอโซเลท K01026 มีความเหมาะสมกับแหล่งโพแทสเซียมทุกชนิดที่ทดสอบให้ค่า log number มากกว่า 8.515 CFU/มิลลิลิตร

¹สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

คำนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่จำหน่ายในประเทศไทยที่สามารถทดแทนหรือส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีมีหลายชนิด เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมที่ใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูลาไมคอร์ไรซ่า และปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตช่วยส่งเสริมความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุฟอสฟอรัสในดินแก่พืช แต่พืชมีความต้องการธาตุอาหารหลักอีกธาตุหนึ่งเพื่อการเจริญเติบโตซึ่งได้จากปุ๋ย คือ โพแทสเซียม การเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมในดินนิยมใส่ในรูปของปุ๋ยโพแทชซึ่งมีราคาสูงดังนั้นต้นทุนการผลิตพืชจึงสูงขึ้นตามราคาปุ๋ย วิธีการหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายของปุ๋ยโพแทสเซียม รักษาสิ่งแวดล้อม และได้ผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ได้แก่ การวิจัยจุลินทรีย์ดินที่ไม่ก่อให้เกิดโรคคน สัตว์ และพืช ที่สามารถละลายโพแทสเซียมจากแหล่งอื่น เช่น แร่เฟลด์สปาร์ แร่ไมกา แร่โอลีไลต์ หรือแม้กระทั่งแร่ดินเหนียว เป็นต้น เพื่อนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม

จุลินทรีย์ดินมีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในดินรวมถึงธาตุโพแทสเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ละลายธาตุอาหารพืชโดยกิจกรรมการย่อยสลาย จุลินทรีย์ดินหลายชนิดสามารถละลายแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟลด์สปาร์ ไมกา โอลีไลต์ และ ออร์โทเคลส เป็นต้น เช่น แบคทีเรียซิลิเกตซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถละลายโพแทสเซียม ซิลิกอน และอลูมิเนียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ที่ไม่ละลายให้สามารถละลายได้และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Aleksandrov et al, 1967; Vandeviver et al, 1994) เช่น *Bacillus edaphicus* สามารถละลายโพแทสเซียมในสินแร่ Nanjing feldspar และ Suzhou illite (Sheng and Lin, 2006) จึงสมควรที่จะได้มีการสำรวจ คัดเลือกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับชนิดของแหล่งโพแทสเซียมเพื่อใช้สำหรับผลิตปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน จานเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ แร่เฟลด์สปาร์ขนาด -40 แร่ไมกาขนาด -40 และแร่ไมกาขนาด +40 กล้องจุลทรรศน์ และตู้อบเลี้ยงจุลินทรีย์

วิธีการ

แยกบริสุทธิ์และรวบรวมไอโซเลตแบคทีเรียจากบริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

เก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ นำมาแยกบริสุทธิ์แบบที่เรียกละลายโพแทสเซียมด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อซิลิเกตแบคทีเรีย (Hebie Academy of Science, 1996) โดยใช้แร่เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งโพแทสเซียม เตรียมอาหารวุ้นแข็งซิลิเกตแบคทีเรียและเกลี่ยสารละลายตัวอย่างดินด้วยวิธี dilution plate บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 วัน และนำมาแยกจนกระทั่งได้เชื้อบริสุทธิ์ศึกษาลักษณะโคโลนี การติดสีแกรม รูปร่างเซลล์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เก็บรักษาเชื้อเหล่านั้นที่ 80 องศาเซลเซียส เพื่อสุ่มเลือกและนำไปทดสอบความสามารถในการเจริญโดยใช้โพแทสเซียมจากแหล่งต่างๆ

คัดเลือกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับชนิดของแหล่งโพแทสเซียม

เลือกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่แยกบริสุทธิ์ได้จากการสำรวจจำนวน 29 ไอโซเลท และ *Bacillus circulans* ซึ่งเป็นแบคทีเรียใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมในประเทศจีนเป็นเชื้อเปรียบเทียบ รวมเป็น 30 ไอโซเลท การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด ตามชนิดของแหล่งโพแทสเซียม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Designed (CRD) มี 4 ซ้ำ 30 กรรมวิธี ดังนี้ แบคทีเรียไอโซเลท K01001 K01005 K01007 K01025 K01026 K02001 K02004 K02005 K02017 K02018 K02020 K02026 K05074 K05075 K05080 K05081 K05082 K05085 K05091 K05116 K05121 K05122 K06008 K06009 K07001 K07002 K07003 K07004 และ *Bacillus circulans* เลี้ยงแบคทีเรียในอาหารซิลิเกตเหลวแบคทีเรียด้วย K_2HPO_4 เขย่าที่ความเร็ว 125 รอบต่อนาที 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน หรือได้เซลล์ประมาณ 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และถ่ายเชื้อนั้น 1 เปอร์เซ็นต์ในอาหารเหลวซิลิเกตแบคทีเรีย 50 มิลลิลิตรที่มีการใส่แหล่งโพแทสเซียมชนิดต่างๆ เทียบเท่า K_2HPO_4 2 กรัม เขย่าเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดตรวจนับจำนวนแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่รอดชีวิตด้วยวิธี viable plate count บนอาหารวุ้นแข็งซิลิเกตแบคทีเรียและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เวลาและสถานที่

เดือนตุลาคม 2553 ถึง กันยายน 2554 สถานที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยไรโซเปียม กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

แยกบริสุทธิ์และรวบรวมไอโซเลทแบคทีเรียจากบริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

แยกบริสุทธิ์แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมจากพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ที่มีโพแทสเซียมในประเทศไทยด้วยอาหารซิลิเกตแบคทีเรีย และเลือกเพียง 30 ไอโซเลทเพื่อทดสอบความเหมาะสมในการละลายโพแทสเซียมจากแหล่งต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม (ตารางที่ 1) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 โคโลนีมีสีเหลืองอ่อน ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมลบ ได้แก่ ไอโซเลท K02001 K02004 K02005 K05080 และ K05091 กลุ่มที่ 2 โคโลนีมีสีเหลืองอ่อน ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมบวก ได้แก่ ไอโซเลท K01001 K01025

K05074 K05075 K05081 K05085 และ K05122 กลุ่มที่ 3 โคโลนิมีสีเหลือง ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมลบ ได้แก่ ไอโซเลท K01005 และ K01007 กลุ่มที่ 4 โคโลนิมีสีเหลือง ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมบวก ได้แก่ ไอโซเลท K01026 K02018 K02026 K05082 K05116 K06009 K07004 และ *Bacillus circulans* กลุ่มที่ 5 โคโลนิมีสีขาว ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมบวก ได้แก่ ไอโซเลท K02017 K02020 K05121 K06005 K06008 K07001 K07002 และ K07003 ส่วนใหญ่แบคทีเรียมีโคโลนิสีเหลืองซึ่งสันนิษฐานได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้ผลิตสารออกฤทธิ์เป็นกรดในการย่อยสลายแร่เฟลด์สปาร์เพื่อให้ได้โพแทสเซียมและนำมาใช้ในการเจริญ (Mueller, 1996; Styriakova and Styriak, 2002) ส่วนไอโซเลทกลุ่มที่ 5 ซึ่งเกิดโคโลนิสีขาวนั้นบอกเป็นนัยว่าใช้กลไกที่สำคัญในการย่อยสลายแร่เฟลด์สปาร์แตกต่างจากแบคทีเรียกลุ่มแรก เช่น สร้างสารอินทรีย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารคีเลตไอออนของโพแทสเซียมเพื่อให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ ดังเช่นผลงานวิจัยของ Vandevivere et al. (1994) ที่รายงานการใช้แบคทีเรีย 17 ไอโซเลทและทดสอบความสามารถในการละลายแร่ซิลิเกตแบคทีเรียที่สามารถละลายซิลิกอนออกมาจากแร่ซิลิเกตได้ คือ ไอโซเลทที่ผลิต gluconate เป็นต้น

คัดเลือกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับชนิดของแหล่งโพแทสเซียม

แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม 30 ไอโซเลทมีความสามารถในการใช้โพแทสเซียมชนิดเดียวกันเพื่อการเจริญเพิ่มจำนวนได้แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) และแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมไอโซเลทเดียวกัน (ยกเว้น ไอโซเลท K01026 K02017 K05080 K05082 K06008 และ *Bacillus circulans*) มีความสามารถในการใช้โพแทสเซียมจากแหล่งต่างๆ ได้แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) เมื่อใช้ K_2HPO_4 เป็นแหล่งโพแทสเซียมพบว่าไอโซเลท K01026 K02004 K05116 K06005 K06008 และ K06009 เจริญเพิ่มจำนวนได้สูงให้ค่า log number ระหว่าง 8.395-8.545 CFU/มิลลิลิตร (เพิ่ม 10 เท่าจากจำนวนเซลล์เริ่มต้น) เมื่อใช้แร่เฟลด์สปาร์ขนาด -40 พบว่าไอโซเลท K01026 K02004 และ K06009 เจริญเพิ่มจำนวนได้สูงให้ค่า log number ระหว่าง 8.505-8.614 CFU/มิลลิลิตร เมื่อใช้แร่ไมกาขนาด -40 พบว่าไอโซเลท K01026 K02001 K02004 K06005 K06008 และ K06009 เจริญเพิ่มจำนวนได้ค่า log number ระหว่าง 8.430-8.618 CFU/มิลลิลิตร และเมื่อใช้แร่ไมกาขนาด +40 พบว่ามีเพียงไอโซเลท K02004 เดียวเท่านั้นที่เจริญเพิ่มจำนวนให้ ค่า log number สูงสุด 8.685 CFU/มิลลิลิตร การทดลองนี้ได้ผลทำนองเดียวกับผลงานวิจัยของ Sugumaran and Janarthanam (2007) ที่พบว่า *Bacillus mucilaginosus* MCRCp1 มีความสามารถในการละลายแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบได้ไม่เท่ากัน กล่าวคือ สามารถละลายโพแทสเซียมจาก muscovite mica ได้ 42.29 มิลลิกรัมต่อลิตร microcline mineral ได้ 1.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และ orthoclase ได้เพียง 0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรากฏชัดเจนว่าไอโซเลท K02004 ใช้แหล่งโพแทสเซียมจากแร่ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีกว่าการใช้ K_2HPO_4 และไอโซเลท K01026 มีความเหมาะสมกับแหล่งโพแทสเซียมทุกชนิดที่ทดสอบให้ค่า log number มากกว่า 8.515 CFU/มิลลิลิตร

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายโพแทสเซียมจากแหล่งต่างๆได้แตกต่างกัน แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมไอโซเลท K02004 มีศักยภาพสูงในการละลายโพแทสเซียมจากสินแร่เพื่อใช้ในการเจริญได้ดีกว่า K_2HPO_4 ซึ่งให้ค่า log number มากกว่า 8.614 CFU/มิลลิลิตร และไอโซเลท K01026 มีความเหมาะสมกับแหล่งโพแทสเซียมชนิดต่างๆ ซึ่งให้ค่า log number มากกว่า 8.515 CFU/มิลลิลิตร ดังนั้นไอโซเลท K02004 และ K01026 จึงมีศักยภาพสูงสำหรับนำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมเพื่อใช้ร่วมกับสินแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีโพแทสเซียมในการผลิตพืช อย่างไรก็ตามขนาดของแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบควรน้อยกว่า +40 เพื่อให้แบคทีเรียไอโซเลทอื่นๆ สามารถละลายโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น และควรศึกษาความเข้ากันได้ของไอโซเลทละลายโพแทสเซียมทั้ง 2 ก่อนการตัดสินใจใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพ พร้อมทั้งศึกษาวัสดุรองรับที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมไอโซเลท K02004 และ K01026 ซึ่งไม่ก่อให้เกิดโรคคน สัตว์ และพืช สามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมเพื่อใช้ร่วมกับสินแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ในการทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีโพแทสเซียมเพื่อลดต้นทุนการผลิตและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1 ลักษณะของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่แยกบริสุทธิ์ได้

ลักษณะแบคทีเรีย	ไอโซเลท
กลุ่มที่ 1 โคโลนีสีเหลืองอ่อน ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ดิดีแกรมลบ	K02001 K02004 K02005 K05080 และ K05091
กลุ่มที่ 2 โคโลนีสีเหลืองอ่อน ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ดิดีแกรมบวก	K01001 K01025 K05074 K05075 K05081 K05085 และ K05122
กลุ่มที่ 3 โคโลนีสีเหลือง ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ดิดีแกรมลบ	K01005 และ K01007
กลุ่มที่ 4 โคโลนีสีเหลือง ขอบเรียบ รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ดิดีแกรมบวก	K01026 K02018 K02026 K025082 K05116 K06009 K07004 และ <i>Bacillus circulans</i>

กลุ่มที่ 5 โคโลนีสีขาว ขอบเรียบ	K02017 K02020 K06005 K06008 K07001
รูปร่างเซลล์เป็นท่อน ติดสีแกรมบวก	K07002 K07003 และ K05121

ตารางที่ 2 ความสามารถในการเจริญของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมโดยใช้แหล่งโพแทสเซียมชนิดต่าง ๆ

ไอโซเลท	ชนิดของโพแทสเซียม ^{1/}				F-test	CV (%)
	K ₂ HPO ₄	แร่เฟลด์สปาร์ -40	แร่ไมกา -40	แร่ไมกา +40		
K01001	8.188c ^{2/} (c) ^{3/}	8.313cde (b)	8.418cd (a)	8.359c-f (ab)	13.44**	0.6
K01005	7.969d-g (a)	8.008ij (a)	7.816i (b)	7.861ijk (b)	7.70**	0.7

K01007	7.677hi (d)	8.084f-j (b)	7.921i (c)	8.2065 d-g (a)	35.21**	1.2
K01025	7.544i (d)	8.067 g-j (c)	8.228fg (b)	8.381b-f (a)	199.61**	0.6
K01026	8.545a	8.515ab	8.535b	8.66ab	ns	0.4
K02001	8.070c-f (b)	8.341 (a)	8.370de (a)	8.430a-e (a)	28.49**	0.7
K02004	8.395ab (b)	8.614 a (a)	8.685a (a)	8.618a (a)	5.77**	1.2
K02005	7.862gh (b)	7.561m (c)	6.910n (d)	8.377b-f (a)	151.69**	0.6
K02017	7.581i	7.505m	7.516k	7.497m	ns	0.7
K02018	7.690hi (a)	6.936o (b)	6.979mn (b)	7.600lm (a)	171.15**	0.8
K02020	8.051c-g (c)	8.233d-g (b)	8.370be (a)	8.191fgh (b)	53.58**	0.5
K02026	7.535i (a)	6.853o (b)	6.54oq (b)	5.628p (c)	27.70**	4.5
K05074	6.807k (b)	7.157n (a)	7.029lm (a)	6.610o (c)	18.66**	1.6
K05075	7.265j (a)	6.666p (b)	6.694p (b)	6.556o (b)	4.32*	4.5
K05080	8.119cde	8.086f-j	8.142gh	8.190fgh	ns	1
K05081	8.113cde (a)	7.954j (b)	7.843i (c)	7.930ij (b)	16.96**	0.7
K05082	7.670hi	7.718l	7.695j	7.745kl	ns	0.8
K05085	7.653i (b)	7.661lm (b)	7.662j (b)	7.943ij (a)	24.81**	0.7
K05091	8.170cd (a)	8.243def (a)	7.920i (c)	8.050hij (b)	16.44**	0.9
K05116	8.424a (a)	8.161e-l (b)	8.154gh (b)	8.232e-h (b)	23.89**	0.6
K05121	8.110cde (c)	8.215d-h (b)	8.346de (a)	8.356c-f (a)	14.91**	0.7
K05122	7.913efg (c)	8.056hij (b)	8.069h (b)	8.230e-h (a)	9.98**	1
K06005	8.432a (b)	8.419bc (b)	8.536b (a)	8.443a-d (b)	5.39*	0.5
K06008	8.458a	8.453bc	8.442bcd	8.446a-d	ns	0.2
K06009	8.446a (b)	8.505ab (a)	8.515bc (a)	8.515abc (a)	7.68**	0.3
K07001	7.919j (a)	7.122n (b)	6.810 (c)	6.804n (c)	133.89**	0.5
K07002	8.232bc (a)	8.165e-l (ab)	8.092h (b)	8.082ghi (b)	5.08*	0.8
K07003	7.687hi (d)	7.783kl (c)	8.142gh (b)	8.224fgh (a)	145.31**	0.5
K07004	6.648k (b)	6.495q (c)	7.089l (a)	6.499 (c)	36.37**	1.4
<i>Bacillus circulans</i>	7.888fg	7.923jk	8.305ef	8.145gh	ns	3.1
F-test	55.10**	121.67**	360.21**	143.57**		
CV (%)	1.6	1.3	0.8	1.6		

หมายเหตุ: ^{1/} จำนวนเซลล์ ค่า log number (CFU/มล.)

^{2/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทดสอบโดย DMRT

^{3/} อักษรนอกวงเล็บเป็นการเปรียบเทียบระหว่างไอโซเลท อักษรในวงเล็บเป็นการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของโพแทสเซียม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าของเหมืองเทพประทาน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างสินแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

เอกสารอ้างอิง

- Aleksandrov, V. G., R. N. Blagodry, and I. P. Ilev. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. *Mikrobiologichnyi Zhurnal (Kiev)* 29:111-114.
- Hebie Academy of Science. 1996. *International training course on biological fertilizer*.
The International Science and Technology Corporation Department of SSTCC.
The Institute of Microbiology.
- Mueller, R. F. 1996. Bacterial transport and colonization in low nutrient environments. *Water Resources* 30(11):2681-2691.
- Sheng, X. F. and H. Y. Lin. 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 52:66-72.
- Styriakova, I and I. Styriak. 2002. Iron removal from kaolins by bacteria leaching. *Ceramic Silikaty* 44(4):135-141.
- Sugumaran, P. and B. Janarthanam. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *World Journal of Agricultural Science* 3(3):350-355.
- Vandevivere, P., S. A. Welch, W. j. Ullman and D. L. Kirchman. 1994. Enhanced dissolution of silicate minerals by bacteria at near-neutral pH. *Microbial Ecology* 27:241-251.