บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การฟอกจางสีของจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Staphylococcus* ทนเค็ม โดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ตั้งแต่ 0 – 7 ชั่วโมง นำเชื้อที่อยู่ในอาหารเหลว และ เซลล์แขวนลอย ทดสอบกับสีย้อมผ้าสีน้ำเงิน จับเวลาการฟอกจางสีของแต่ละชั่วโมง พบว่า เชื้อที่อยู่ในอาหารเหลว ฟอกจางสีได้เร็วกว่าเซลล์แขวนลอย และจุลินทรีย์ที่บ่มชั่วโมงที่ 4 สามารถทำการฟอกจางสีได้เร็ว เนื่องจากมีปริมาณเชื้อและเวลาบ่มเชื้อที่เหมาะสม ในน้ำทิ้งสิ่งทอมีสภาวะหลากหลายแตกต่างมากมาย จึงได้นำจุลินทรีย์นั้นมาทดสอบในสารละลายที่ทำให้เซลล์ละลายเป็นของเหลวต่างๆ ได้แก่ JCM 5% NaCl , 0.1M Potassium phosphate buffer pH 6.5 มี 1M NaCl , 0.1M Acetate buffer pH 4.9 มี 1M NaCl , 0.1M Tris-HCl pH 8.0 มี 1M NaCl , 1M NaCl ทดสอบการฟอกจางสีในแต่ละสารละลาย พบว่าเมื่อจุลินทรีย์อยู่ในอาหาร JCM No.377 (5% NaCl) สามารถฟอกจางสีได้ดีที่สุด ดังนั้นถ้านำไปใช้ในอุตสาหกรรมก็ควรเติมส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารลงไป เพื่อทำให้เกิดการฟอกจางสีได้ดีขึ้น และได้ทำการเจือจางอาหารที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 1/2 ,1/4 และ 1/16 เมื่อทำการทดสอบพบว่าทุกความเข้มข้นของอาหาร JCM No.377 (5% NaCl) จุลินทรีย์ใช้เวลาในการฟอกจางสีเท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ 1/16 JCM No.377 (5% NaCl)

ในการทดลองครั้งต่อๆไปเพื่อลดต้นทุน ในการบำบัดน้ำเสียถ้าใช้จุลินทรีย์ในรูปเซลล์อิสระจะใช้ได้เพียงครั้งเดียว เพราะไม่สามารถเก็บเกี่ยวเซลล์กลับมาใช้ได้อีกครั้ง เราจึงนำเซลล์มาทำเซลล์ตรึงรูป เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การเลือกตัวกลางที่เหมาะสมในการทำเซลล์ตรึงรูป จะมีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ 10% เจลาติน , 2% วุ้น , 2% อัลจิเนต และ 7% พีวีเอ+ 0.5% อัลจิเนต ทดสอบการดูดกลืนสีของทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า 10% เจลาติน มีการดูดกลืนสีน้อยที่สุด แต่ เจลาตินไม่ฟอร์มตัวเป็นเซลล์ตรึงรูปจึงต้องผสมกับ อัลจิเนต เพื่อสามารถฟอร์มตัวเป็นเม็ดกลมได้ ทำการทดสอบหาปริมาณอัลจิเนตที่เหมาะสม ที่ 1% , 1.5% , 2% และ 2.5% พบว่า ปริมาณอัลจิเนตน้อยการดูดกลืนสีก็จะน้อยลงเช่นกัน เพื่อให้ปริมาณ อัลจิเนต และ เจลาติน สัมพันธ์กัน จึงได้หาปริมาณเจลาติน ที่เหมาะสมเพื่อทำเป็นเซลล์ตรึงรูปได้ง่าย ได้แก่ 2.5% , 5% , 7.5% และ 10% ผลการทดสอบปรากฏว่าปริมาณ เจลาติน ไม่มีผลต่อการดูดกลืนสี จึงเลือกใช้ 1% อัลจิเนต และ 2.5% เจลาติน ในการทำเซลล์ตรึงรูป และนำเซลล์ตรึงรูปมาทดสอบที่ค่า pH ต่างๆ ตั้งแต่ pH 4 -10 พบว่าเซลล์ตรึงรูปสามารถฟอกจางสีได้ทุก pH และสามารถฟอกจางสีได้ดีที่ pH 6, 7, 8 และ 9 ทดสอบผลของอุณหภูมิต่อการฟอกจางสีของเซลล์ตรึงรูปที่ 30 –60 องศาเซลเซียส พบว่าเซลล์ตรึงรูปสามารถฟอกจางสีได้ดีที่ 40 – 50 องศาเซลเซียส และเซลล์ตรึงรูปยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ถึง 4 ครั้ง เนื่องจากครั้งที่ 5 เซลล์ตรึงรูปจะแตกทำให้เซลล์หลุดออกมาภายนอกรวมกับน้ำทิ้ง ทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก

เนื่องจากการตรึงรูปโดยใช้เจลาตินและอัลจิเนต ประสบปัญหาเซลล์รั่วออกจากเม็ดบีดหลังจากใช้ไปแล้ว 4 ครั้ง ดังนั้นจึงปรับความแข็งแรงของเม็ดบีดโดยใช้วัสดุตรึงรูป 3 ชนิด คือ เจลาติน อัลจิเนต และ ไคโตซาน รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกจางสี คือ ปริมาณสารสกัดยีสต์ที่เหมาะต่อการเจริญและฟอกจางสีน้ำเงิน (Cationic blue 41) คือ 10 กรัมต่อลิตร สำหรับเชื้อสายพันธุ์ SR5-3AW และปริมาณสารสกัดยีสต์ที่เหมาะต่อการเจริญและฟอกจาง 5g/L สำหรับเชื้อสายพันธุ์ C15-2 การศึกษาการตรึงเซลล์ ได้ทดสอบการอัตราส่วนของวัสดุตรึงรูปที่เหมาะสมสำหรับนำไปศึกษาการฟอกจางสี สีน้ำเงิน (Cationic blue 41) และสีแดง(Red46) คือ อัตราส่วนวัสดุตรึงรูปที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต:ไคโตแซน : เจลาติน (1:1:1) สามารถฟอกจางสีย้อมได้ 98.8 เปอร์เซ็นต์ กลไกการฟอกจางสีน้ำเงิน (Cationic blue 41) ประกอบด้วยสองกลไกหลัก คือ กลไกแรก การดูดซับไว้ที่ผิวของเซลล์ตรึงรูปใช้เวลาดูดซับสี โดยเชื้อสายพันธุ์ SR5-3AW ฟอกจางสีน้ำเงิน (Cationic blue 41) ได้จะมีจะดูดซับสีเข้าไปในบีด ใช้เวลาดูดซับสีได้ทั้งหมด 6 ชั่วโมง ส่วนเชื้อสายพันธุ์ C15-2 มีกลไกลการดูดซับสีคล้ายกับเชื้อสายพันธุ์ SR5-3AW จะดูดซับสีน้ำเงิน(Cationic blue 41) เข้าไปในบีด ใช้เวลาดูดซับสีน้ำเงิน (Cationic blue 41) ได้ทั้งหมด 5 ชั่วโมง และจะหยุดกลไกการดูดซับ เมื่อสีถูกดูซับที่เม็ดบีด เป็นการเพิ่มโอกาศให้เซลล์ได้สัมผัศกับสี และจะเริ่มการฟอกจางอย่างช้าๆ ในช่วงชั่วโมงที่ 1 ถึง 7 มีการฟอกจางสีเพียง 25 ถึง 30 เปอร์เซ็น นั้นจากเวลาผ่านที่ชั่วโมงที่ 13 ถึง 20 มีการฟอกจางสีเพิ่มขึ้นในช่วงต้น ตั้งแต่ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็น จึงหยุดฟอกจาง สำหรับเชื้อสายพันธุ์ C15-2 ในช่วงชั่วโมงที่ 1 ถึง 7 มีการฟอกจางสีเท่ากับสายพันธุ์ SR5-3AW ชั่วโมงที่ 13 ถึง 20 สายพันธุ์ C15-2 มีการฟอกจางสีเพิ่มขึ้นในช่วงต้นตั้งแต่ 60 ถึง 90 เปอร์เซ็น ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์ SR5-3AW สำหรับการฟอกจางสีแดง (Red 46) สายพันธุ์ SR5-3AW และเชื้อสายพันธุ์ C15-2 มีการฟอกสีเพียงแค่กลไกเดียว คือ การฟอกจาง ไม่มีการดูดซับเข้าไปภายในบีด หรือมีน้อยมาก เชื้อสายพันธุ์ C15-2 จะฟอกจางสีได้อย่างรวดเร็วภายใน 4 ชั่งโมง เปอร์เซ็นการฟอกจางสูงสุดที่ 95 เปอร์เซ็น ส่วนเชื้อสายพันธุ์ SR5-3AW ใช้เวลาการฟอกจางสี 6 ชั่วโมง (98 เปอร์เซ็นของสีลดลงการนำเซลล์ตรึงรูปกลับมาใช้ซ้ำโดยมีประสิทธิภาพการฟองจากสีมีมากกว่า 80% เซลล์ตรึงรูปสามารถฟอกจางสีน้ำเงิน (Cationic blue 41) ได้ 3 รอบ และมีเปอร์เซ็นต์ฟอกจางสูงที่สุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการฟอกจางสีแดง (Red 46) เฉพาะเซลล์ตรึงรูปของ C15-2 สามารถนำกลับมาใช้ได้ 4 ครั้ง

การย่อยสลายสีย้อมผ้า Cationic blue 41 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี โดยใช้สีย้อมผ้าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 20 ppm โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Fe/P ภายใต้สภาวะ อุณหภูมิ 50 °C พีเอช 4 โดยใช้อัตราการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างกันจะเห็นว่าอัตราการเติมที่ 0.2 mL ในเวลา 180 นาที มี % การฟอกจางสีย้อมผ้าน้อยที่สุด อัตราการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 5 mL มีประสิทธิภาพการฟอกจางสีย้อมที่สูง ซึ่งใช้ระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับอัตราการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1mL เลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1 ml ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมและเวลาในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแตกตัวให้ OH radical เพิ่มขึ้นเพื่อเข้าไปสลายสีย้อม cationic blue dye 41ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายสีย้อม cationic blue 41 ด้วยตัวเร่ง Fe/P คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อม 20 ppm เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 mL อุณหภูมิ 50 °C ภายในเวลา 180 นาที

จากการศึกษาการฟอกจางสีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพพบว่าประสบปัญหาเซลล์รั่วออกจากเม็ดบีดเมื่อนำมาใช้ซ้ำ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในระบบการบำบัดจริง เนื่องจากจะเกิดการรั่วไหลของเซลล์ไปในสิ่งแวดล้อม พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีมีแนวโน้มจะสามารถนำไปใช้ได้ในระบบบำบัด โดยต้องศึกษาเพิ่มเติมโดยหาตัวเร่งทางเคมีที่สามารถย่อยสลายสีย้อมได้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ประหยัดงบประมาณในด้านพลังงานของระบบบำบัด