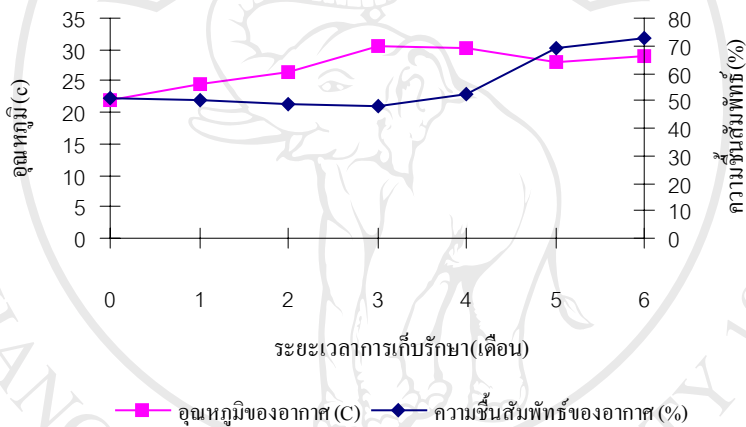


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในระหว่างการเก็บรักษา

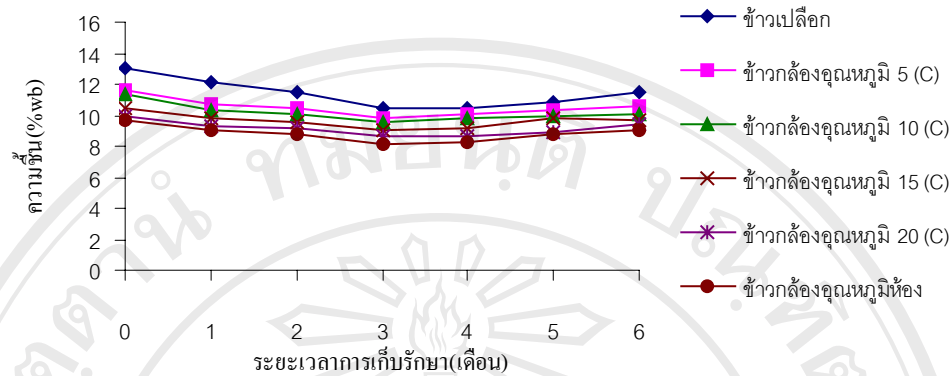
เริ่มเก็บข้อมูลการทดลองตั้งแต่เดือน เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2548 รวมระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นเวลา 6 เดือน อุณหภูมิและความชื้นของอากาศของบริเวณที่เก็บรักษาข้าวเปลือก แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการเก็บรักษา

จากรูปที่ 4.1 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศต่ำสุดที่เดือนที่ 0 (มกราคม 2548) เท่ากับ 22.05 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนที่ 3 (เมษายน 2548) เท่ากับ 30.61 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศพบว่า เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 51.13 จากนั้นจะลดลงจนมีค่าต่ำสุดในเดือนที่ 3 (เมษายน 2548) เท่ากับ ร้อยละ 48.12 ซึ่งเป็นฤดูร้อน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 72.94 ในเดือนที่ 6 (กรกฎาคม 2548) ซึ่งเป็นฤดูฝน

#### 4.2 ความชื้นของข้าวเปลือกและข้าวกล้องก่อนนำไปสี



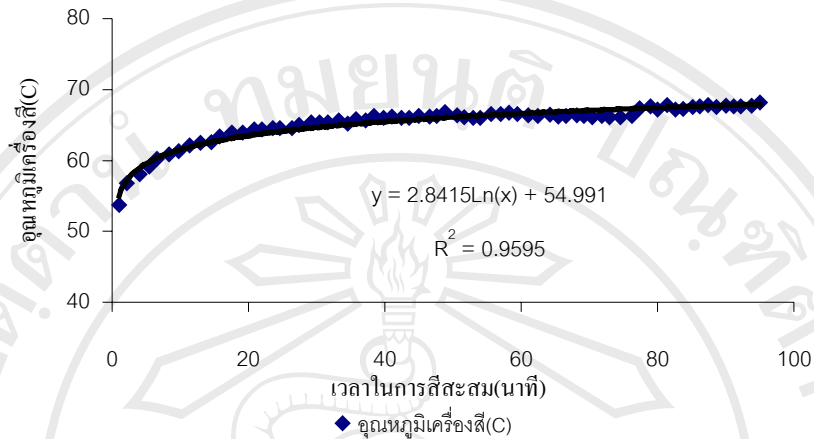
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกและข้าวกล้องก่อนนำไปสีที่อุณหภูมิต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

จากรูปที่ 4.2 ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 13.06 % (wet basis) เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้งที่ห้องพบว่าค่าความชื้นลดลงจนถึงเดือนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 10.43 % (wet basis) ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 48.12 และความชื้นจะเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 และ 6 มีค่าความชื้นเท่ากับ 10.68 และ 11.94 % (wet basis) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 69.17 และ 72.94 ตามลำดับทำให้เมล็ดข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับข้าวกล้องก่อนนำไปสีที่อุณหภูมิตั้งที่ต่างๆ พบว่า ความชื้นข้าวกล้องก่อนนำไปสีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ข้าวกล้องที่อุณหภูมิตั้งที่ 5 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นมากกว่าข้าวกล้องที่อุณหภูมิตั้งที่ 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิตั้งที่ห้อง ตามลำดับตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเก็บรักษาเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวกับบรรยากาศโดยรอบจะมีการแลกเปลี่ยนความชื้นกันตลอดเวลา โดยอาศัยกระบวนการดูดหรือคายความชื้นจนกระทั่งความชื้นของเมล็ดข้าวและความชื้นในอากาศสมดุลกัน ดังนั้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ ความชื้นของเมล็ดข้าวก็จะต่ำ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูง ความชื้นของเมล็ดข้าวก็จะสูงตามไปด้วย (Ohtsubo, 2000) เมล็ดข้าวเปลือกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติที่เรียกว่า hygroscopic คือสามารถรับหรือถ่ายความชื้นกับบรรยากาศรอบๆ เมล็ดจนกว่าความดันไอของน้ำภายในเมล็ดจะเท่ากับความดันไอของน้ำในอากาศภายนอกจนเกิดสภาวะสมดุล โดยความชื้นจะซึมผ่านเปลือก รำ และส่วนของเอนโดสเปิร์มของเมล็ด (Kunze *et al.*, 2004) การนำข้าวกล้องไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำก่อนการสี ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถุงจะมีค่าสูง ทำให้มีการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่เมล็ดมากขึ้น ข้าวกล้องที่อุณหภูมิตั้งที่ 5 องศาเซลเซียสจึงมีค่าความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิตั้งที่อื่น ๆ

### 4.3 ผลของการตีแบบต่อเนื่องต่ออุณหภูมิเครื่องสีและคุณภาพการสี

#### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องสีกับเวลาการตีผสม



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องสีกับเวลาการตีผสม

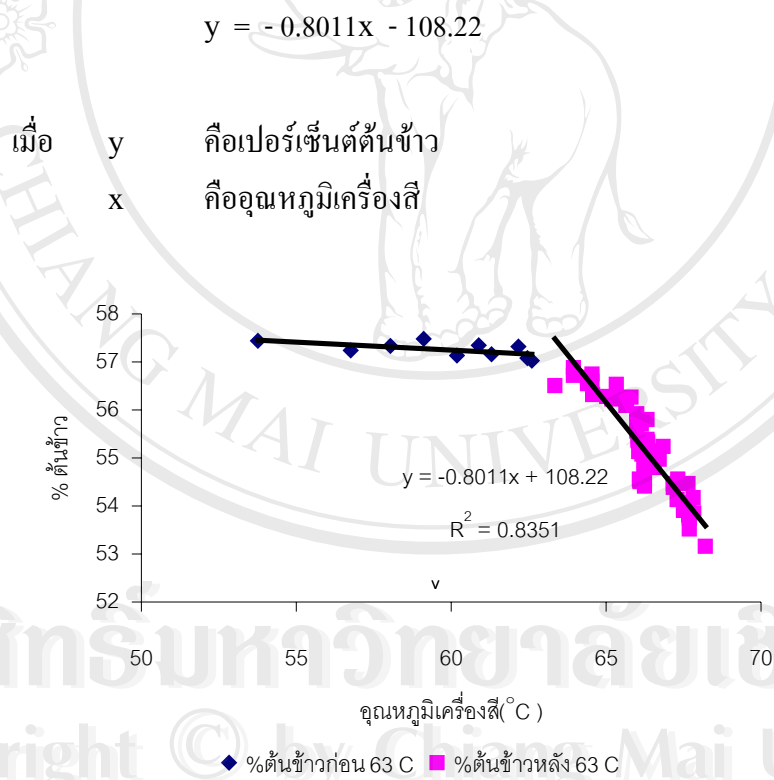
จากการศึกษา การสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง บันทึกเวลาที่ใช้ในการสีเป็นเวลาในการตีผสม คือ เป็นเวลาตั้งแต่เริ่มการสีตัวอย่างแรกจนไปสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้าย พบว่า เมื่อเวลาในการตีผสมเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเครื่องสีเริ่มต้นเท่ากับ 31.37 องศาเซลเซียส (วัดที่ตะแกรงโลหะซึ่งบรรจุข้าวกล้อง) หลังจากการสีตัวอย่างแรกเครื่องสีมีอุณหภูมิเพิ่มเป็น 53.75 องศาเซลเซียส และเมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องสีมีอุณหภูมิเพิ่มเป็น 68.20 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสีรวมทั้งสิ้น 95 นาที ซึ่งอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการสี (13 นาทีแรก) คืออุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มจาก 53.75 องศาเซลเซียสหลังการสีตัวอย่างแรก เพิ่มเป็น 62.45 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะช้าลง และเมื่อนำค่าอุณหภูมิเครื่องสีมาหาความสัมพันธ์กับของเวลาในการตีผสม พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบลอการิทึม (Logarithm)เชิงบวก มีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9595 (รูปที่ 4.3) โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$y = 2.8415 \ln(x) + 54.991$$

เมื่อ	y	คืออุณหภูมิเครื่องสี
	x	คือเวลาในการตีผสม

### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีกับอุณหภูมิเครื่องสี เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

จากการศึกษาผลกระทบของการสีแบบต่อเนื่องต่อคุณภาพการสีโดยใช้ข้าวกล้องที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอุณหภูมิเครื่องสีมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการสี เมื่ออุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้นคุณภาพการสีจะลดลง จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ในช่วงต้นเมื่อสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่องเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจะลดลงอย่างช้าๆ จนเครื่องสีมีอุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวหลังเครื่องสีมีอุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเครื่องสี พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง เชิงลบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.8351 (รูปที่ 4.4) โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับอุณหภูมิเครื่องสี

### เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

การสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่องจำนวน 70 ตัวอย่าง โดยใช้ข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อทำการสีตัวอย่างข้าวจำนวนมากขึ้นทำให้เครื่องสีมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเครื่องสีทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงแรกเปอร์เซ็นต์ข้าวหักค่อนข้างจะคงที่จนเครื่องสีมีอุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว

เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.55 เป็น 33.47 เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้าย และเมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหักหลังเครื่องสีมีอุณหภูมิมากกว่า 63 องศาเซลเซียสมาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเครื่องสี พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง เชิงบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.7916 (รูปที่ 4.5) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$y = 0.7179x - 15.778$$

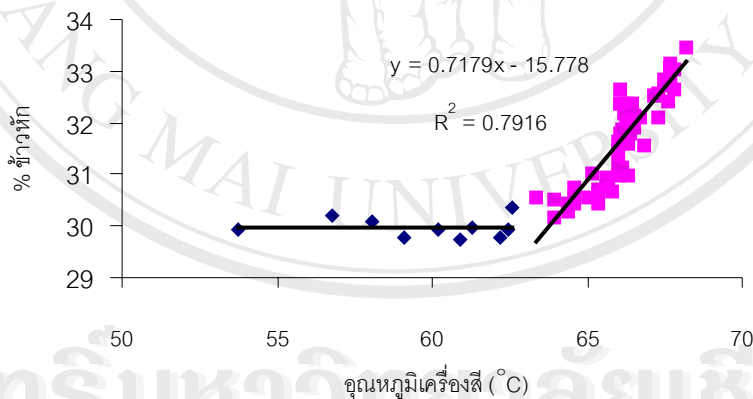
เมื่อ

y

คือเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

x

คืออุณหภูมิเครื่องสี

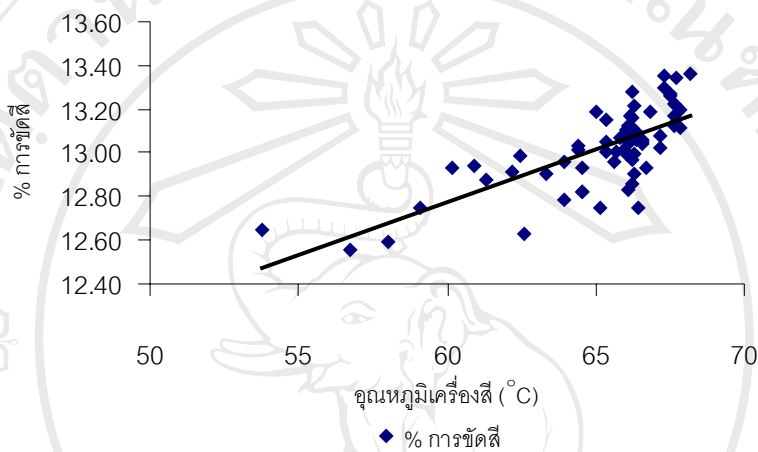


◆ %ข้าวหักก่อน 63 C    ■ %ข้าวหักหลัง 63 C

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวหักกับอุณหภูมิเครื่องสี

### เปอร์เซ็นต์การขาดสี

เมื่อทำการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง โดยสีแบบต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อเครื่องสีมีอุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การขาดสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การขาดสีเพิ่มจากร้อยละ 12.65 เมื่อเริ่มสีตัวอย่างแรก เพิ่มเป็นร้อยละ 13.36 เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้าย แสดงให้เห็นว่าเมื่อเครื่องสีมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการขาดสีจะเพิ่มตามไปด้วย



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขาดสีกับอุณหภูมิเครื่องสี

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิเครื่องสีต่อคุณภาพการสีโดยใช้ข้าวกล้องที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอุณหภูมิของเครื่องสีเริ่มต้นเท่ากับ 31.37 องศาเซลเซียส และพบว่าหลังการสีตัวอย่างแรกอุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มเป็น 53.75 องศาเซลเซียส นั่นคืออุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้น 22.38 องศาเซลเซียส ในเวลา 25 วินาที เมื่อสีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องสีมีอุณหภูมิ 68.2 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาถึง 95 นาที (รวมเวลารอต่อแต่ละตัวอย่าง) แสดงว่าเมื่อเครื่องสีมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากจะมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่อากาศรอบข้างเพิ่มขึ้น รวมทั้งถ่ายเทให้กับข้าวกล้องที่อยู่ระหว่างการขาดสี ซึ่งส่งผลให้เกิดการหักของข้าวมากขึ้น และอุณหภูมิของเครื่องสียังลดลงเนื่องจากการนำตัวอย่างออกจากเครื่องสีด้วยอีกส่วนหนึ่ง

จากผลการสีที่ได้ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิเครื่องสีที่ 63 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิวิกฤตของเครื่องสี ซึ่งเมื่อเครื่องสีมีอุณหภูมิสูงกว่า 63 องศาเซลเซียสจะมีผลต่อคุณภาพการสี จะทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งในขณะเดียวกันทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน

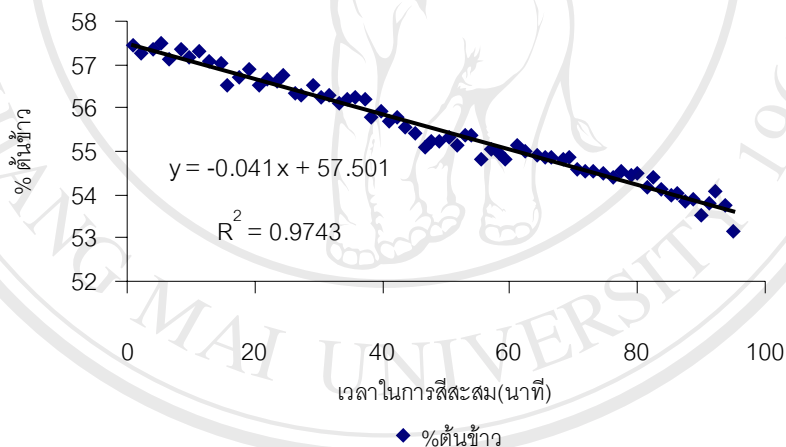
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเครื่องสีทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง และมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohapatra and Bal (2004) ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังระหว่างการสี คือเมื่อเมล็ดข้าวมีอุณหภูมิระหว่างการสี 35 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวแตกหักร้อยละ 1.5-2 เมื่ออุณหภูมิเมล็ดข้าวสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศมากกว่า 5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงจากร้อยละ 81 เหลือเพียงร้อยละ 73 ทั้งนี้อุณหภูมิในระหว่างการสีเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงในกระบวนการสีข้าวการเสียดสีระหว่างเมล็ดกับเมล็ดและการขัดสีระหว่างลูกสีกับเมล็ดข้าว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นภายในเครื่องสี ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการสีมีอุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่ผ่านการสีมีผลต่อคุณสมบัติของเมล็ด ซึ่งมีองค์ประกอบของ แป้ง โปรตีน และไขมัน ทำให้เมล็ดเกิดการแตกหัก ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นสาเหตุสำคัญของการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสี ( Juliano, 1985; Ernest and Porankiewicz, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

### 4.3.3 ผลของเวลาในการสี่สะสมต่อคุณภาพการสี่

#### เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

จากการศึกษาการสี่ตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง ใช้เวลาในการสี่รวม 95 นาที พบว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเครื่องสี่กับเวลาในการสี่สะสม มีความสัมพันธ์กันทางบวก คือ เมื่อเวลาในการสี่สะสมนานขึ้นจะทำให้เครื่องสี่มีอุณหภูมิสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งการที่อุณหภูมิเครื่องสี่สูงขึ้นทำให้มีผลต่อคุณภาพการสี่ ดังนั้นเวลาในการสี่สะสมจึงมีผลต่อคุณภาพการสี่ด้วยเช่นกัน เมื่อเวลาในการสี่สะสมมากขึ้นทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง โดยเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงจากร้อยละ 57.44 ในตัวอย่างแรก เหลือเพียงร้อยละ 53.17 ในตัวอย่างสุดท้ายของการสี่ นั่นคือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลงประมาณ 4 % และเมื่อนำค่าเวลาในการสี่สะสมมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9743 (รูปที่ 4.7)



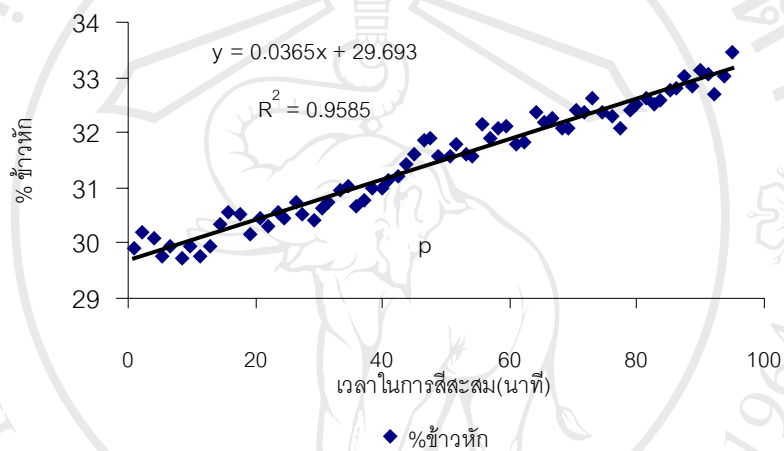
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับเวลาการสี่สะสม

จากค่าความสัมพันธ์ข้างต้นจะเห็นว่า เวลาในการสี่สะสมสามารถพยากรณ์คุณภาพการสี่ (เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว) ได้ดีกว่าอุณหภูมิเครื่องสี่ (รูปที่ 4.4 และ 4.7)



### เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

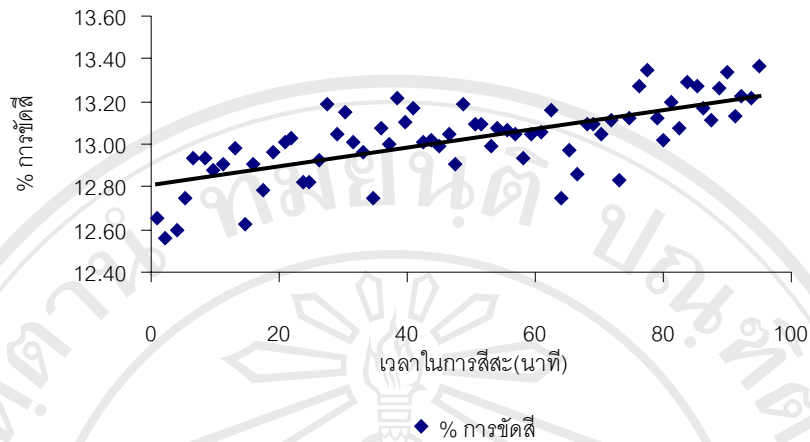
เมื่อสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง โดยไม่รอให้เครื่องเย็นก่อนสีตัวอย่างถัดไป พบว่าเมื่อเวลาในการสีสะสมเพิ่มขึ้นทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.91 ในตัวอย่างแรก เพิ่มขึ้นเป็น 33.47 ในตัวอย่างสุดท้ายของการสี และเมื่อนำค่าเวลาในการสีสะสมมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9585 (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวหักกับเวลาการสีสะสม

### เปอร์เซ็นต์การขัดสี

เมื่อสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อเวลาในการสีสะสมเพิ่มขึ้นทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การขัดสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเปอร์เซ็นต์การสีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.65 ในตัวอย่างแรก เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 13.36 ในตัวอย่างสุดท้ายของการสี จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการสีสะสมมากขึ้นเปอร์เซ็นต์การขัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้รำถูกขัดสีออกไปได้ง่าย



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การชัดสีกับเวลาการสีสะสม

เมื่อทำการสีตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง 70 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะใช้เวลาในการสี 25 วินาที และใช้เวลาเอาตัวอย่างที่สีเสร็จแล้วออกประมาณ 96 วินาที เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้าย จะใช้เวลาในการสีรวม 95 นาที ในการสีแต่ละตัวอย่างจะทำให้เครื่องสีเกิดความร้อนสะสมมากขึ้น เนื่องจาก ในกระบวนการสีจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเวลาในการสีสะสมมากขึ้นทำให้เครื่องสีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ดินข้าวลดลง เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การชัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

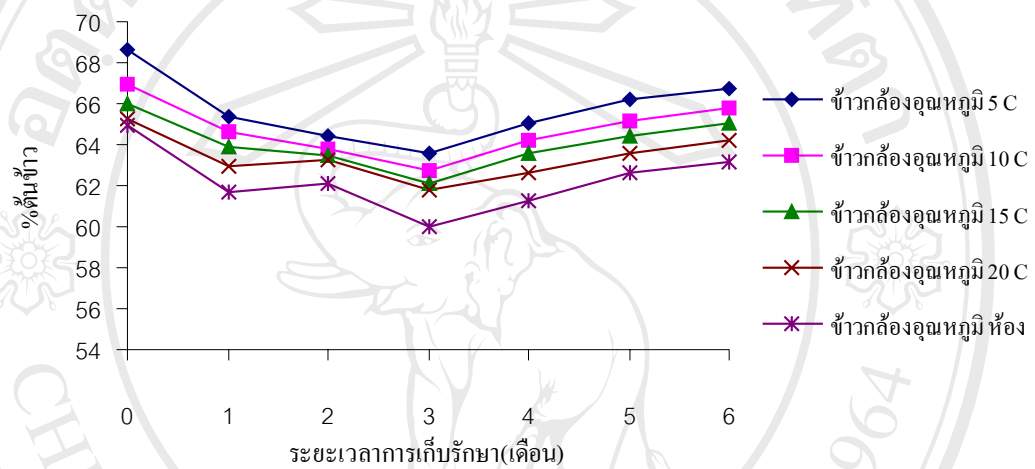
#### 4.4 ผลของอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อคุณภาพการสี

##### 4.4.1 เปอร์เซนต์ต้นข้าว

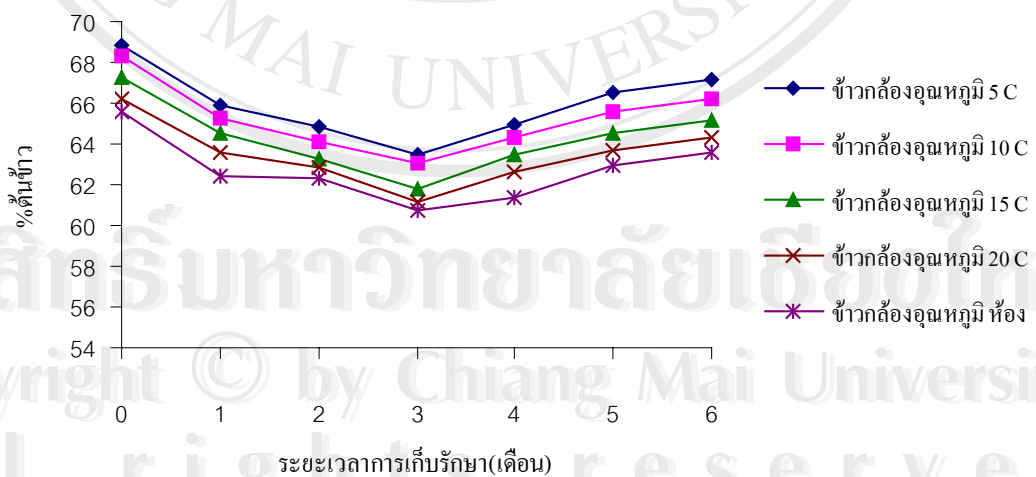
นำข้าวกล้องที่ผ่านการทำให้เย็นก่อนการสีเป็นเวลา 4 วันที่อุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง มาสีแบบต่อเนื่อง (10 ตัวอย่าง) ทุก ๆ เดือน พบว่าเปอร์เซนต์ต้นข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวก 3) ในแต่ละระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี เปอร์เซนต์ต้นข้าวก่อนการเก็บรักษาในเดือนที่ 0 (ข้าวเปลือกมีอายุหลังเก็บเกี่ยวประมาณ 45 วัน) มีเปอร์เซนต์ต้นข้าวเท่ากับ 68.67, 66.98, 65.99, 65.24 และ 64.98 ตามลำดับ แสดงว่าถ้าข้าวถูกทำให้เย็นก่อนนำไปสีจะทำให้ได้เปอร์เซนต์ต้นข้าวมากกว่าข้าวที่ได้ทำให้เย็น ถ้าสีต่อเนื่องไม่เกิน 10 ตัวอย่าง เปอร์เซนต์ต้นข้าวมีแนวโน้มลดลงจนถึงเดือนที่ 3 ในทุกระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี โดยมีเปอร์เซนต์ต้นข้าวในเดือนที่ 3 เท่ากับ 63.53, 62.73, 62.07, 61.38 และ 59.97 ตามลำดับ และหลังจากนั้น เปอร์เซนต์ต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทุกระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ในเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา มีเปอร์เซนต์ต้นข้าวเท่ากับ 66.77, 65.75, 65.03, 64.22 และ 63.20 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเปอร์เซนต์ต้นข้าวก่อนการเก็บรักษาเล็กน้อย

การสีแบบไม่ต่อเนื่อง (5 ตัวอย่าง) โดยสีข้าวกล้องอุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้องแบบเว้นระยะให้เครื่องสีเย็นลงก่อนสีตัวอย่างถัดไป (พักเครื่องประมาณ 20-30 นาที) พบว่า เปอร์เซนต์ต้นข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวก 4) โดยมีเปอร์เซนต์ต้นข้าวเท่ากับ 68.87, 68.31, 67.22, 66.18 และ 65.55 ตามลำดับ เปอร์เซนต์ต้นข้าวมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันกับการสีแบบต่อเนื่อง กล่าวคือลดลงจนถึงเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา ในทุกระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี โดยมีเปอร์เซนต์ต้นข้าวเท่ากับ 63.49, 63.03, 61.77, 61.20 และ 60.72 ตามลำดับ และหลังจากนั้นเปอร์เซนต์ต้นข้าวในทุกระดับอุณหภูมิ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 67.14, 66.16, 65.15, 64.28 และ 63.55 ตามลำดับ แสดงว่าในช่วง 3 เดือนแรกคุณภาพการสีจะลดลง และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นจะช่วยให้คุณภาพการสีดีขึ้นด้วยไม่ว่าอุณหภูมิข้าวกล้องจะสูงหรือต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จะส่งผลให้เมล็ดข้าวแข็งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวมีการจับตัวกันแข็งแรงมากขึ้น เมื่อนำข้าวไปทำการสีจึงทำให้ได้เปอร์เซนต์ต้นข้าวที่สูงขึ้น ไม่ว่าจะเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ในสภาวะแวดล้อมใด จะได้เปอร์เซนต์ต้นข้าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Sajwan *et al.*, 1989; Charstil, 1990; Hamaker *et al.*, 1993; Tamaki *et al.*, 1993; Daniels *et al.*, 1998; อรรถพร และคณะ, 2539)

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวก่อนการเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิของข้าวกล้องก่อนการสี มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงมาก เนื่องจากในช่วงนั้นอุณหภูมิของอากาศต่ำมาก โดยอุณหภูมิของอากาศประมาณ 23 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิเครื่องสีเริ่มต้นต่ำไปด้วย และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีแนวโน้มลดลงจนถึงเดือนที่ 3 (เมษายน) ของการเก็บรักษาซึ่งอุณหภูมิของอากาศสูงมากมีอุณหภูมิประมาณ 31 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิของเครื่องสีเริ่มต้นสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเรื่องผลของอุณหภูมิเครื่องสีที่มีต่อคุณภาพการสีซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง



ก. สีแบบต่อเนื่อง



ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวระหว่างการสีแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องในเดือนต่าง ๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวในการสีแบบต่อเนื่องและสีแบบไม่ต่อเนื่องในทุกเดือนของการเก็บรักษานั้น ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการสีแบบต่อเนื่อง 10 ตัวอย่างนั้นอุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มไม่มากถึงอุณหภูมิวิกฤติ (63 องศาเซลเซียส ดังการทดลองแรก) ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ได้จากการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องไม่แตกต่างกัน

จะเห็นว่า การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการนำไปสี เมื่อทำการสีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น การสีแบบต่อเนื่อง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยสูงที่สุด ในทุกเดือนของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 65.17 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 64.76, 64.09 และ 63.38 ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องนั้น มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำที่สุดในทุกเดือนของการเก็บรักษา มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 62.26 ในการสีแบบไม่ต่อเนื่อง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาสูงที่สุดเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 65.97 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 65.24, 64.28 และ 63.49 ตามลำดับ และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกเดือนของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 62.69

การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อทำการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (รูปที่ 4.11) เมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ (negative linear) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9961 โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

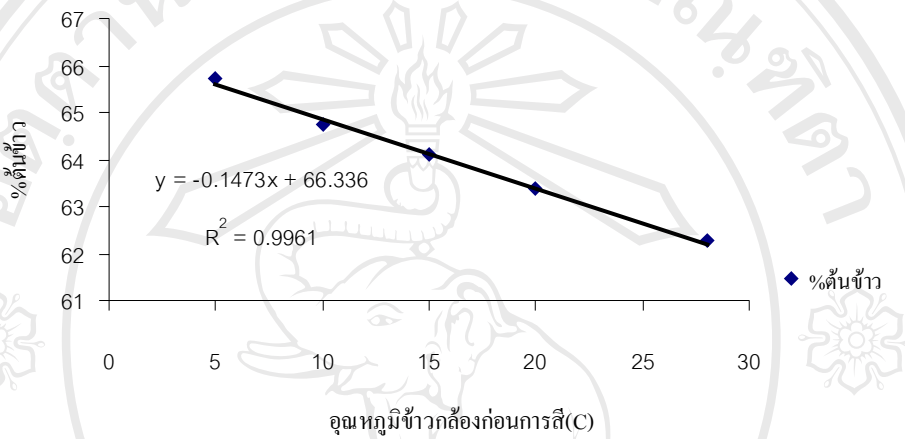
$$y = -0.1473 x + 66.336$$

เมื่อ	y	คือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว
	x	คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี

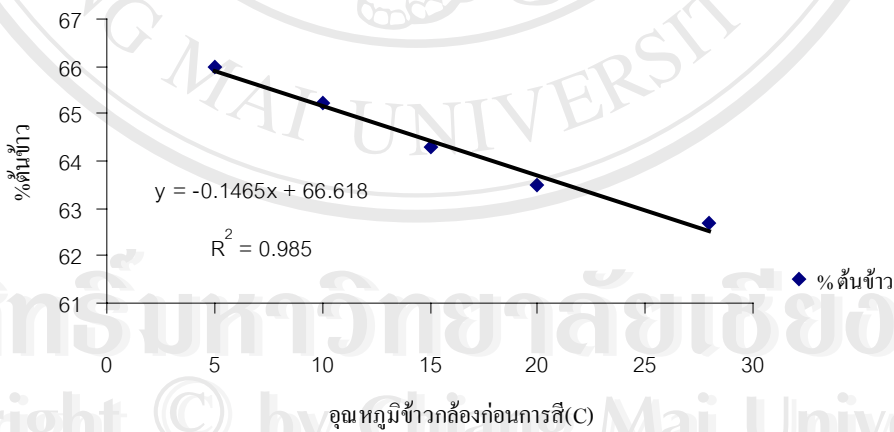
การสีแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ เช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.985 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$y = -0.1465x + 66.618$$

เมื่อ y คือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว  
 x คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี



ก. สีแบบต่อเนื่อง (10 ตัวอย่าง)



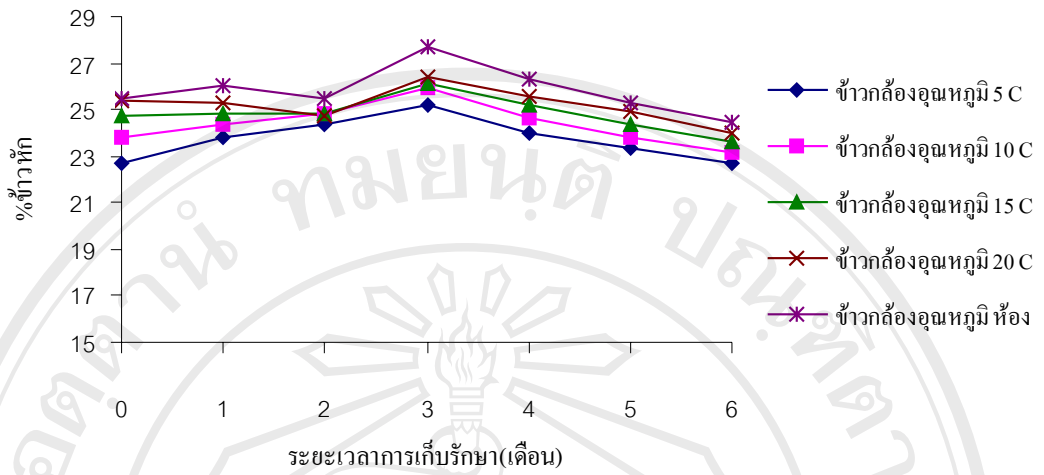
ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี

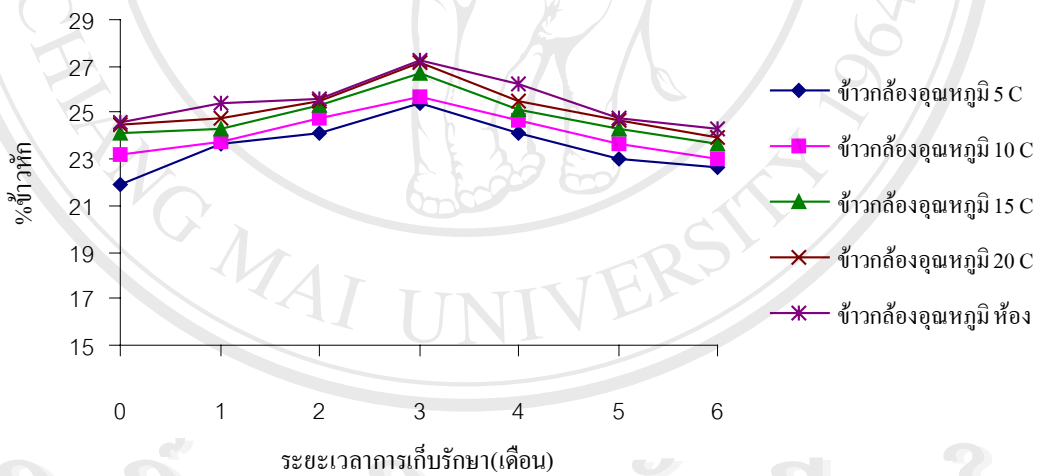
จากรูป 4.11 จะเห็นได้ว่าการสีแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องมีผลต่อคุณภาพการสีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการสีแบบต่อเนื่องมีเพียง 10 ตัวอย่าง ซึ่งยังไม่ทำให้อุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้นมากนักประกอบกับตัวข้าวกล้องเองก็มีอุณหภูมิต่ำ จึงช่วยให้ไม่เกิดผลกระทบมากนักต่อคุณภาพการสี สิ่งที่เห็นได้ชัดคืออุณหภูมิข้าวกล้องมีส่วนอย่างมากต่อคุณภาพการสี ซึ่งหากมีการสีแบบต่อเนื่องไปนาน ๆ น่าจะเห็นผลได้ชัดเจน

#### 4.4.2 เเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวหักในระหว่างการเก็บรักษา ของแต่ละระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทั้งการสีแบบต่อเนื่องและการสีแบบไม่ต่อเนื่อง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวก 5 และ 6) เเปอร์เซ็นต์ข้าวหักก่อนการเก็บรักษา (ในเดือนที่ 0) ข้าวกล้องอุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง การสีแบบต่อเนื่องมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 22.74, 23.78, 24.74, 25.39 และ 25.46 ตามลำดับ เเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 25.23, 25.91, 26.15, 26.36 และ 27.66 ตามลำดับ และหลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีแนวโน้มลดลง ในเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษามีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 22.69, 23.16, 23.65, 24.00 และ 24.44 ตามลำดับ การสีแบบไม่ต่อเนื่อง ทำการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 และที่อุณหภูมิห้องพบว่า ก่อนการเก็บรักษาแต่ละระดับอุณหภูมิมิเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 21.90, 23.16, 24.08, 24.45 และ 24.57 ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน เเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักสูงที่สุด โดยแต่ละอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 25.39, 25.66, 26.70, 27.15 และ 27.28 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงจนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 22.68, 23.02, 23.67, 23.96 และ 24.25 ตามลำดับ จากการทดลองทำการสีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องนั้น เเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน ในช่วง 3 เดือนแรกอุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิเครื่องสีเริ่มต้นสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเรื่องผลของอุณหภูมิเครื่องสีต่อคุณภาพการสี เมื่ออุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักเพิ่มขึ้นด้วย ในช่วง 3 เดือนสุดท้ายของการเก็บรักษาเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเก็บรักษานาน อายุข้าวมากขึ้น ทำให้ข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักลดลง



ก. สีแบบต่อเนื่อง



ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวหักของข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการนำไปสี เมื่อทำการสีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักลดลง ในการสีแบบต่อเนื่อง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยต่ำที่สุด ในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 23.73 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 24.38, 24.81 และ 25.18 ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องนั้น มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่ำที่สุดในทุกเดือนของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 25.81 ส่วนในการสีแบบไม่ต่อเนื่อง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาต่ำที่สุดเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 23.56 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 24.10, 24.79 และ 25.14 ตามลำดับ และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกเดือนของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ยเท่ากับ 25.45

การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักน้อยลง เมื่อทำการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (รูปที่ 4.13) ในการสีแบบต่อเนื่อง เมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงบวก (positive linear) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9869 โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

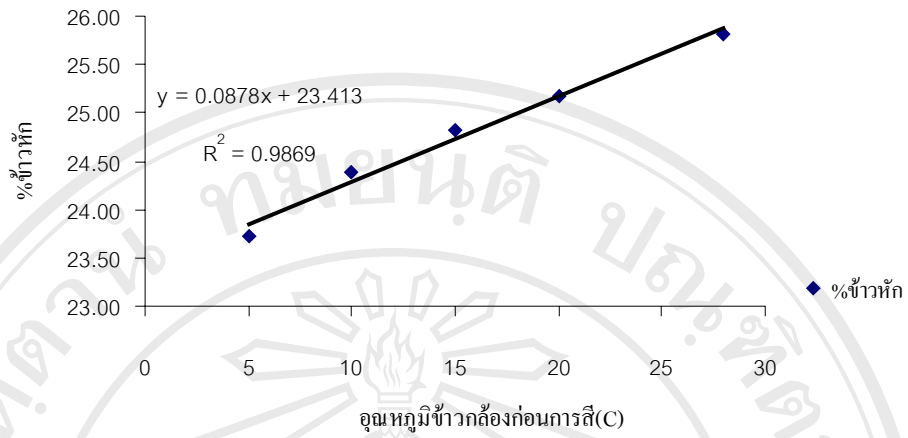
$$y = 0.0878 x + 23.413$$

เมื่อ	y	คือเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก
	x	คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี

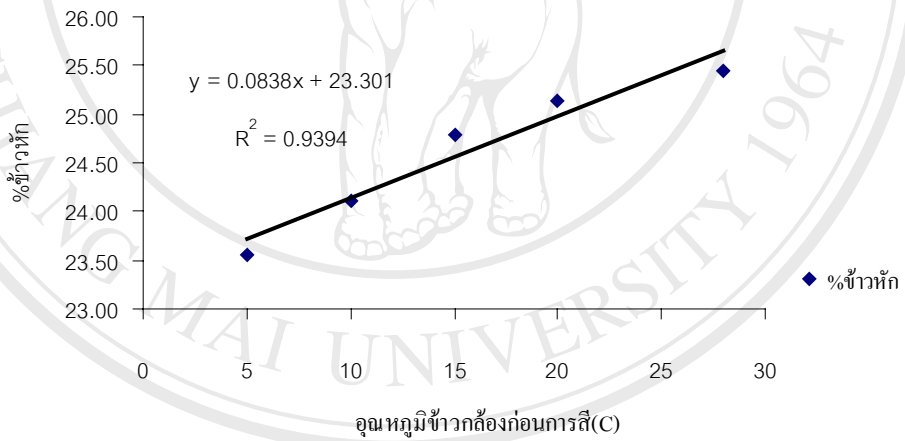
การสีแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ เช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9394 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$y = 0.0838 x + 23.301$$

เมื่อ	y	คือเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก
	x	คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี



ก. สีแบบต่อเนื่อง



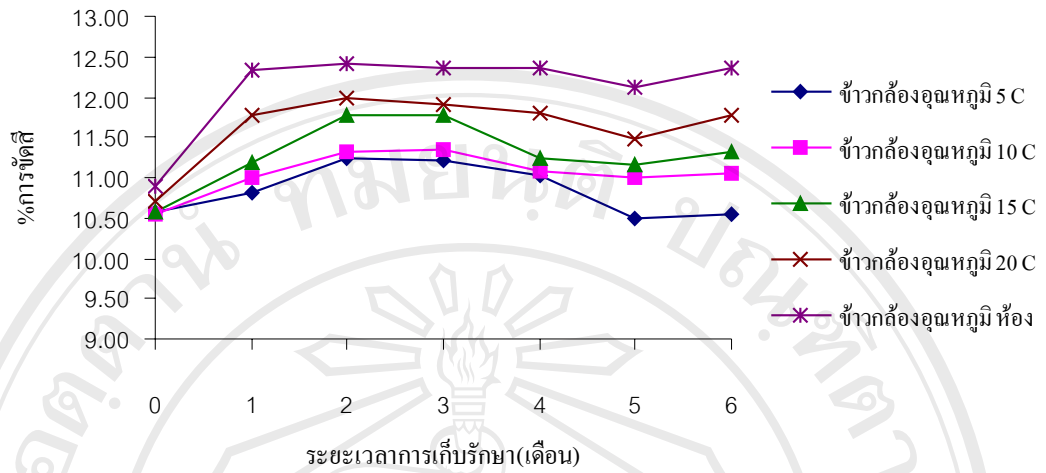
ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวหักกับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี

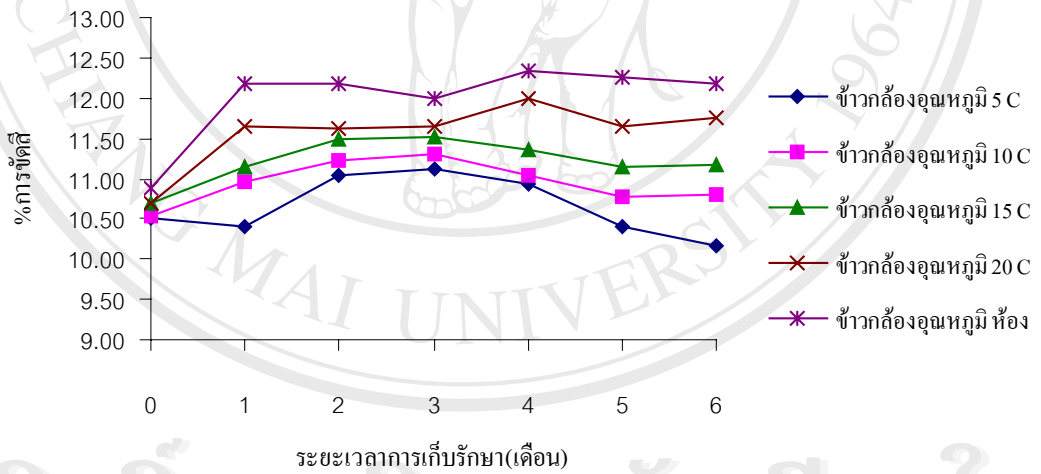
#### 4.4.3 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การขาดสี

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การขาดสี ของข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง ในการสีแบบต่อเนื่อง ก่อนการเก็บรักษา (ในเดือนที่ 0) มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีเท่ากับ 10.57, 10.55, 10.58, 10.70 และ 10.88 ตามลำดับ ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10, และ 15 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การขาดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การขาดสีมีแนวโน้มลดลง จนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาได้ 1 เดือน มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีสูงสุด และหลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การขาดสีค่อนข้างคงที่จนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา ในการสีแบบไม่ต่อเนื่องนั้นในเดือนที่ 0 มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีไม่แตกต่างกัน หลังการเก็บรักษาได้ 3 เดือน ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การขาดสีมีแนวโน้มลดลง ส่วนข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีเพิ่มสูงขึ้นในเดือนแรก และหลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การขาดสีจะค่อนข้างคงที่จนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา จากการศึกษาของ พัสกร (2546) พบว่าคุณภาพของข้าวในช่วง 3 เดือนแรกจะมีความแปรปรวนสูงมาก และจะเริ่มมีค่าคงที่หลังเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ โดยเปอร์เซ็นต์การขาดสีของข้าวก่อนจะมีค่าค่อนข้างคงที่หลังเดือนที่ 1 เป็นต้นไป (ข้าวที่นำมาทดลองนี้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวแล้วประมาณ 2 เดือน)

ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีต่ำกว่าข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง ทั้งการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทำให้องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโดยเฉพาะในส่วนของไขมัน มีการจับตัวกันแน่นขึ้น ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การขาดสีต่ำและการเก็บรักษาข้าวนานขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น เกิดจากการจับตัวของเมล็ดแป้งในเมล็ด ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสีลดลง ในข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส และคงที่ในข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง



ก. สืบแบบต่อเนื่อง



ข. สืบแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวกล้องที่อุณหภูมิต่ำก่อนการสีต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

จะเห็นว่า การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการนำไปสี เมื่อทำการสีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้เปอร์เซ็นต์การขัดสีลดลง ในการสีแบบต่อเนื่อง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยต่ำที่สุด ในทุกเดือนของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 10.84 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 11.05, 11.29 และ 11.63 ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องนั้น มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีสูงที่สุดในทุกเดือนของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 12.12 สำหรับในการสีแบบไม่ต่อเนื่องนั้น ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาต่ำที่สุดเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 10.66 ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 10.94, 11.22 และ 11.57 ตามลำดับ และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยสูงที่สุดในแต่ละเดือนของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 12.00

การลดอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีน้อยลง เมื่อสีแบบต่อเนื่อง นำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การขัดสี พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงบวก (positive linear) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9919 (รูปที่ 4.15 ก) โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

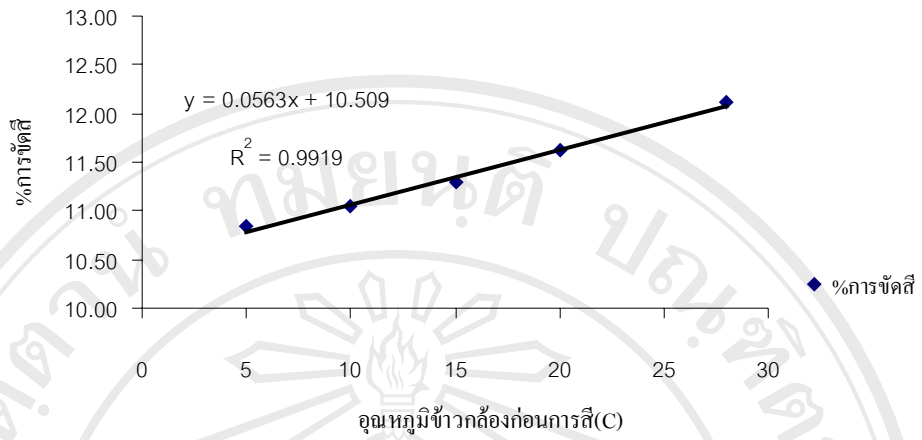
$$y = 0.0563 x + 10.509$$

เมื่อ  $y$  คือเปอร์เซ็นต์การสี  
 $x$  คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี

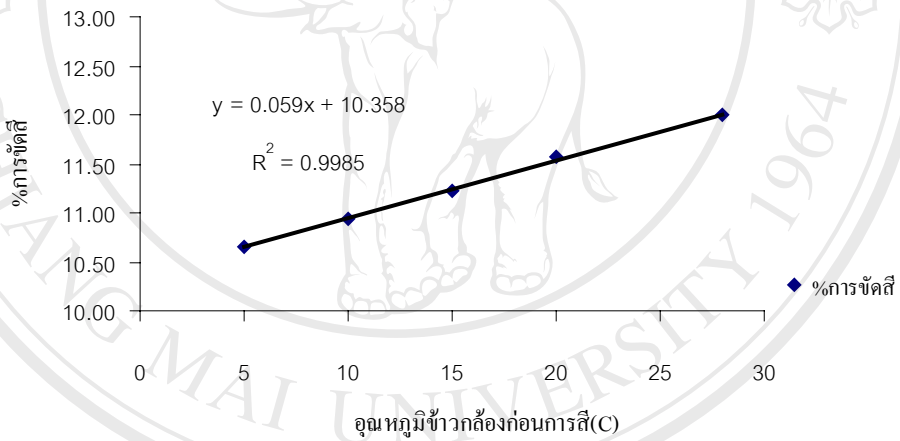
การสีแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวกล้องมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสี พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงบวก เช่นเดียวกับการสีแบบต่อเนื่อง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9985 (รูปที่ 4.15 ข) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$y = 0.059 x + 10.358$$

เมื่อ  $y$  คือเปอร์เซ็นต์การขัดสี  
 $x$  คืออุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี



ก. สีแบบต่อเนื่อง



ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การวัดคลอโรฟิลล์กับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

#### 4.4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเครื่องตีและอุณหภูมิข้าวหลังการตีของข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการตีต่าง ๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเครื่องตีเพิ่มเติมในเดือนตุลาคม 2548 พบว่าเมื่อตีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการตี 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง ทำการตีแบบต่อเนื่องจำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อตีตัวอย่างมากขึ้นทำให้เครื่องตีมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และเมื่อนำค่าอุณหภูมิเครื่องตีมาหาความสัมพันธ์กับเวลาในการตีสะสม พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการตี โดยมีความสัมพันธ์กันแบบลอการิทึม (Logarithm) เชิงบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9592, 0.9383, 0.8997, 0.8663 และ 0.9846 ตามลำดับ ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 52.37 องศาเซลเซียสหลังการตีตัวอย่างแรก และเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 57.24 องศาเซลเซียสหลังการตีตัวอย่างสุดท้าย ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังการตีตัวอย่างแรกเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 53.74 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการตีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 58.9 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 56.24 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการตีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 62.01 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หลังการตีตัวอย่างแรกเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 57.89 องศาเซลเซียส และเมื่อสิ้นสุดการตีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 65.01 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง เมื่อตีตัวอย่างแรกเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 58.54 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการตีตัวอย่างสุดท้ายเครื่องตีมีอุณหภูมิเท่ากับ 66.6 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.16) จะเห็นได้ว่าเมื่อตีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเครื่องตีต่ำที่สุดโดยมีอุณหภูมิเครื่องตีเฉลี่ยเท่ากับ 55.97 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการตี 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเครื่องตีเฉลี่ยเท่ากับ 57.23, 61.17 และ 61.97 องศาเซลเซียส และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิเครื่องตีสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิเครื่องตีเฉลี่ยเท่ากับ 63.83 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวหลังการตีเมื่อตีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการตี 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อตีตัวอย่างมากขึ้นทำให้อุณหภูมิข้าวหลังการตีสูงขึ้นด้วย และเมื่อนำค่าอุณหภูมิข้าวหลังการตีมาหาความสัมพันธ์กับเวลาในการตีสะสม พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการตี โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง (positive linear) เชิงบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.8962, 0.8353, 0.893, 0.8962 และ 0.8801 ตามลำดับ ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิข้าวหลังการตีเท่ากับ 44.39 องศาเซลเซียสหลังการตีตัวอย่างแรก

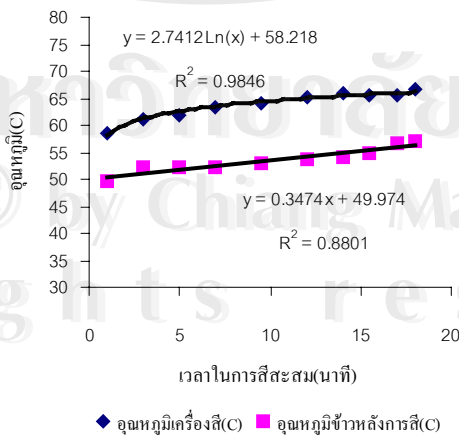
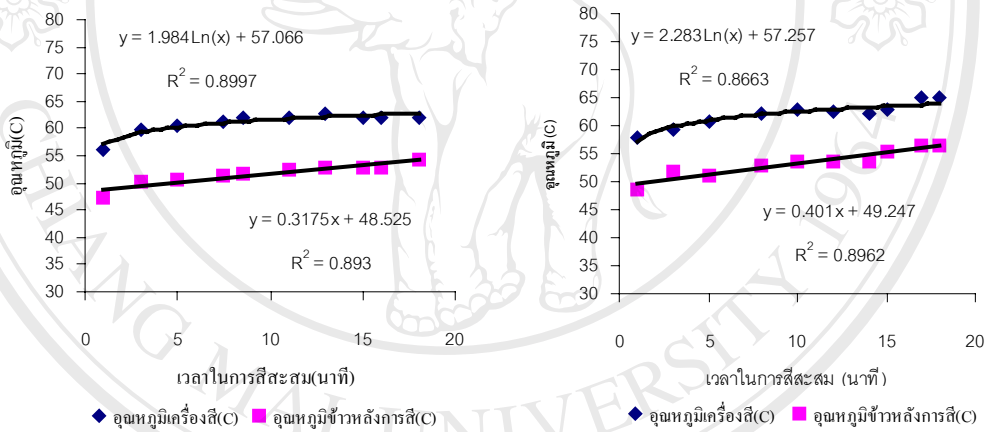
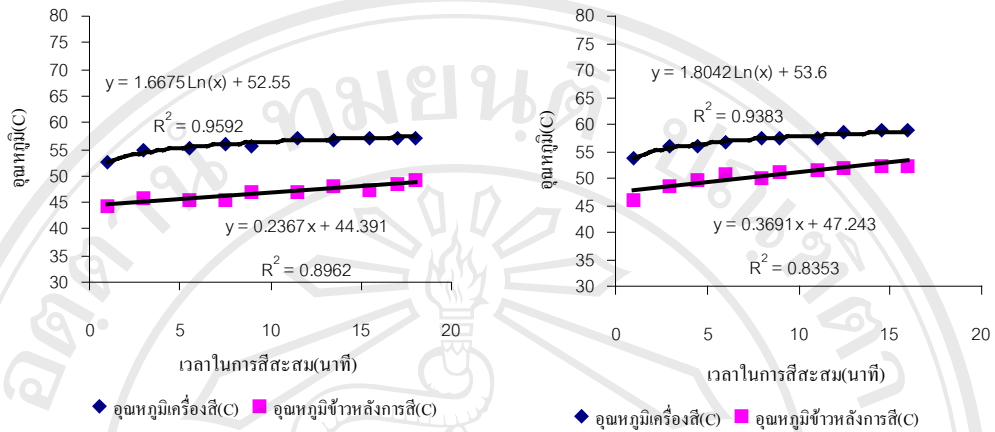
และอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 49.02 องศาเซลเซียสหลังการสีตัวอย่างสุดท้าย ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังการสีตัวอย่างแรกอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 45.89 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้ายอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 52.37 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 47.43 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้ายอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 52.80 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หลังการสีตัวอย่างแรกอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 48.49 องศาเซลเซียส และเมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้ายอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 56.60 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง เมื่อสีตัวอย่างแรกอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 49.45 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้ายอุณหภูมิข้าวหลังการสีเท่ากับ 55.97 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.16) จะเห็นได้ว่าเมื่อสีตัวอย่างข้าวอย่างต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิข้าวหลังการสีต่ำที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 46.79 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสี 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิข้าวหลังการสีเฉลี่ยเท่ากับ 50.59, 51.73 และ 53.51 องศาเซลเซียส และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิข้าวหลังการสีสูงที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 53.52 องศาเซลเซียส จากข้อมูลข้างต้นแสดงว่าข้าวที่ถูกทำให้เย็นก่อนการสีจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นช้ากว่าข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้เย็น

การสีแบบไม่ต่อเนื่อง 5 ตัวอย่าง โดยสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีเท่ากับ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง แบบเว้นระยะให้เครื่องเย็นก่อนสีตัวอย่างถัดไป (พักเครื่องให้เย็นใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที) พบว่า ในทุกระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีอุณหภูมิเครื่องสีจะคงที่ (รูปที่ 4.17) ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีอุณหภูมิเครื่องสีต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิเครื่องสีเฉลี่ยเท่ากับ 52.27 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสี 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเครื่องสีเฉลี่ยเท่ากับ 54.28, 57.29 และ 57.99 องศาเซลเซียส และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิเครื่องสีสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิเครื่องสีเฉลี่ยเท่ากับ 59.82 องศาเซลเซียส ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวหลังการสีนั้นจะค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับอุณหภูมิเครื่องสี โดยที่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีอุณหภูมิข้าวหลังการสีต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 45.25 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสี 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิข้าวหลังการสีเฉลี่ยเท่ากับ 46.43, 47.81 และ 48.48 องศาเซลเซียส และข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิข้าวหลังการสีสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 49.50 องศาเซลเซียส

ในการสีแบบไม่ต่อเนื่องการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิข้าวจะขึ้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวและพลังงานที่ได้รับจากการขัดสีและการเสียดสี ซึ่งถ้าพลังงานที่ได้รับมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันใน

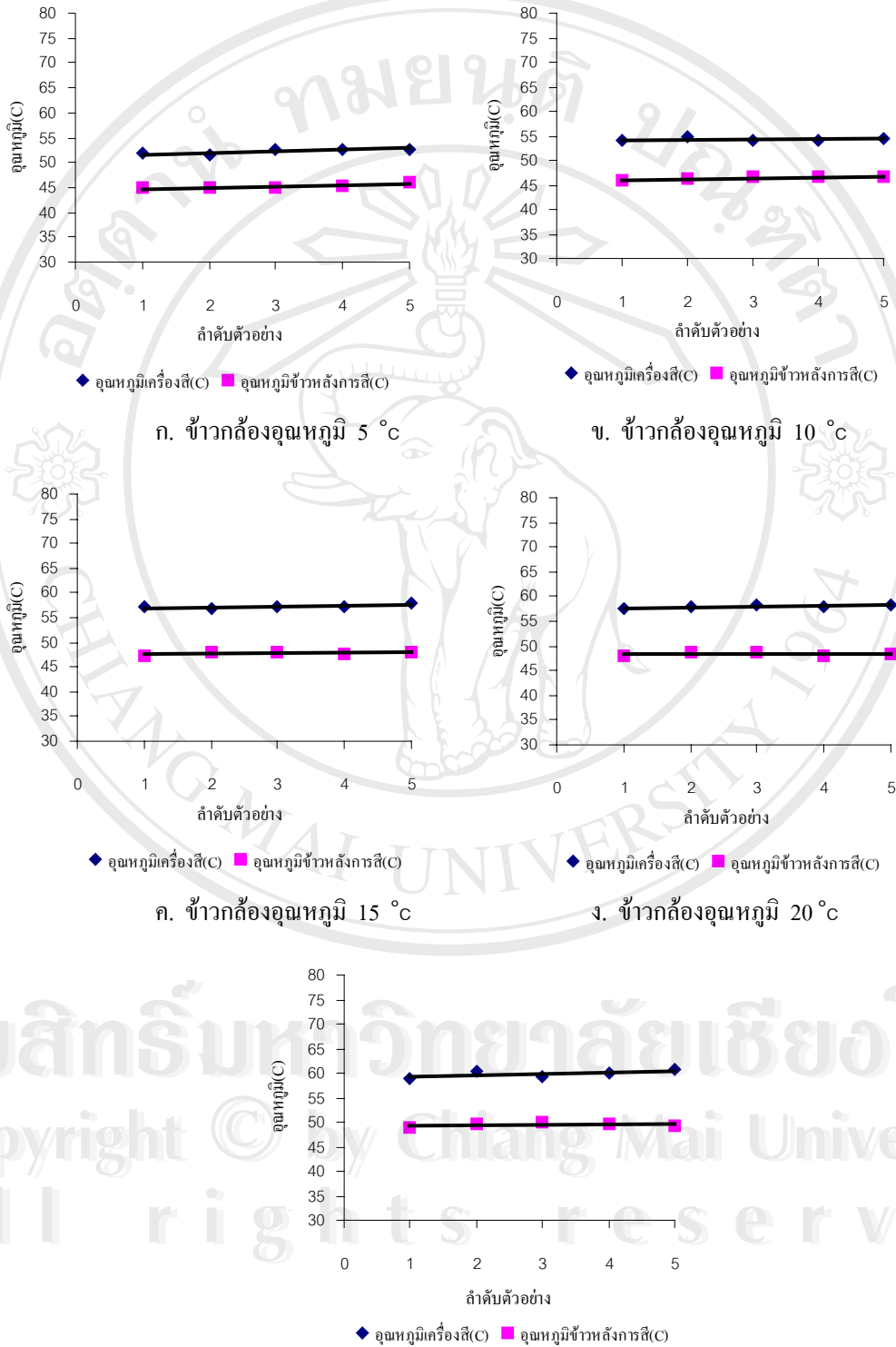


การตีแต่ละตัวอย่าง อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวก็จะขึ้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวเป็นหลัก ยิ่งข้าวมีอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสุดท้ายก็จะต่ำลงด้วย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © Chiang Mai University  
All rights reserved

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวหลังการสีของข้าวกล้อง  
อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ กับเวลาในการสีสะสม(สีแบบต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © Chiang Mai University  
All rights reserved

จ. ข้าวกล้องอุณหภูมิห้อง

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวหลังการสีของข้าวกล้อง  
อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ กับลำดับตัวอย่าง (สีแบบไม่ต่อเนื่อง 5 ตัวอย่าง)

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเครื่องสีจะสูงกว่าอุณหภูมิข้าวหลังการสีใน  
ทุกระดับอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสี ทั้งการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง นอกจากนั้นจะเห็นว่า  
ในการสีแบบต่อเนื่องอุณหภูมิเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวจะสูงกว่าการสีแบบไม่ต่อเนื่อง

#### 4.4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเครื่องสี

เมื่อนำอุณหภูมิเครื่องสีในการสีแบบต่อเนื่องมาหาอัตราการเปลี่ยนแปลง พบว่าในการสี  
ข้าวกล้องที่มีอุณหภูมิก่อนการสี 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง เครื่องสีมี  
อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีอุณหภูมิเพิ่มจากก่อนการสี 24.06, 25.43, 26.74, 28.39 องศา  
เซลเซียส และ 29.84 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นั่นคือในระยะเวลาสีข้าวเพียง 25 วินาที เครื่องสี  
จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมาก หลังการสีตัวอย่างสุดท้าย เครื่องสีมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากก่อนการสี  
28.93, 30.59, 32.51, 35.51 องศาเซลเซียส และ 37.90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)  
จะเห็นว่าอุณหภูมิเครื่องสีหลังการสีตัวอย่างสุดท้ายเพิ่มขึ้นจากการสีตัวอย่างแรกเท่ากับ 4.87, 5.16,  
5.77, 7.12 องศาเซลเซียส และ 8.06 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเครื่องสีของข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ (สีแบบ  
ต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง)

อุณหภูมิข้าวกล้อง ก่อนการสี(°C)	อุณหภูมิเพิ่มจาก			อุณหภูมิเพิ่ม		
	$T_0$	$T_1$	$T_f$	การสีครั้งแรก	การสีครั้งสุดท้าย	ช่วงกลาง
				$T_1 - T_0$	$T_f - T_0$	$T_f - T_1$
5	28.31	52.37	57.24	24.06	28.93	4.87
10	28.31	53.74	58.90	25.43	30.59	5.16
15	29.50	56.24	62.01	26.74	32.51	5.77
20	29.50	57.89	65.01	28.39	35.51	7.12
อุณหภูมิห้อง	28.70	58.54	66.60	29.84	37.90	8.06

$T_0$  คืออุณหภูมิเครื่องสีเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

$T_1$  คืออุณหภูมิเครื่องสีหลังการสีตัวอย่างแรก (องศาเซลเซียส)

$T_f$  คืออุณหภูมิเครื่องสีหลังการสีตัวอย่างสุดท้าย (องศาเซลเซียส)

ในการสีแต่ละตัวอย่างเมื่อนับเวลาการสีและการเอาข้าวออกจากเครื่องหลังสีเสร็จจนเอาข้าวตัวอย่าง 5 ถัดไปเข้าเครื่องเพื่อสีต่อ จะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 1.8 นาที (การสี 10 ตัวอย่าง จะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 18 นาที) เวลาที่ใช้จากตัวอย่างที่ 2 ถึงตัวอย่างที่ 10 จะเท่ากับ 16.2 นาที จะเห็นว่าอุณหภูมิเครื่องสีเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าในเวลา 12.24 นาที คือเพิ่มเพียง 4.87 ถึง 8.06 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิข้าวกล้อง ถ้าข้าวเย็นมากก็จะเพิ่มช้ากว่าข้าวที่ร้อนกว่า) อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเครื่องสี ที่อุณหภูมิข้าวกล้องต่างๆ สามารถเขียนได้ดังนี้ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเครื่องสี

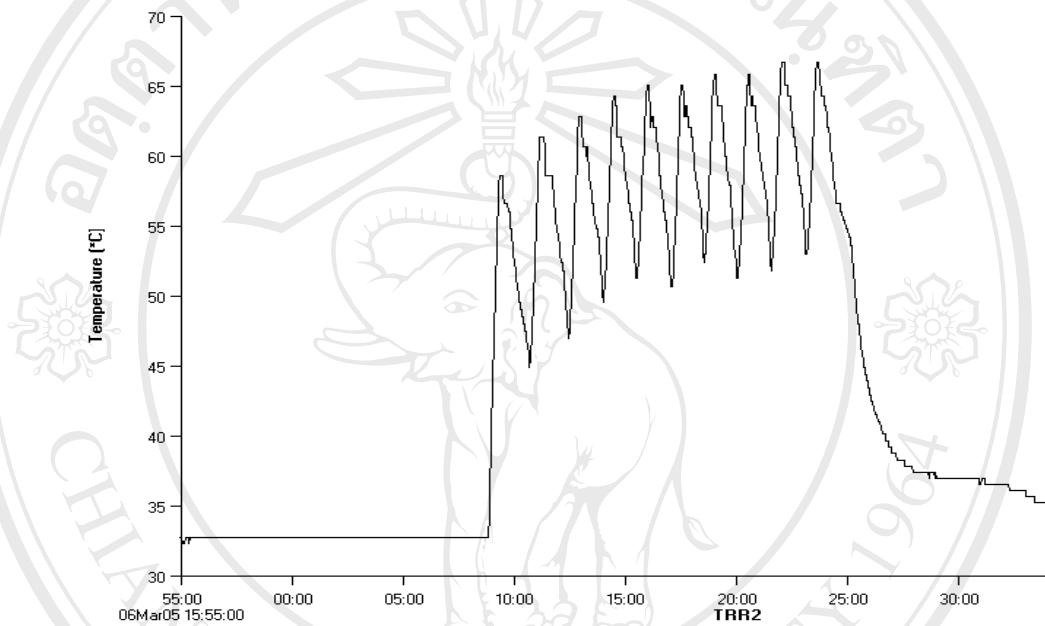
อุณหภูมิข้าวกล้อง ก่อนการสี(°C)	อัตราเพิ่มอุณหภูมิ / ตัวอย่าง	อัตราเพิ่มอุณหภูมิเครื่องสี / นาที
5	0.54	0.30
10	0.57	0.32
15	0.64	0.36
20	0.79	0.44
อุณหภูมิห้อง	0.90	0.50

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าสามารถหาได้ว่าเครื่องสีจะมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิวิกฤต (63 องศาเซลเซียส) เมื่อใดในการสีตัวอย่างที่อุณหภูมิข้าวกล้องต่างๆ เช่นข้าวกล้องอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อสีตัวอย่างแรกเครื่องสีจะมีอุณหภูมิ 52.37 องศาเซลเซียส ซึ่งยังต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส อยู่เท่ากับ 10.63 องศาเซลเซียส ถ้าใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่อตัวอย่างเท่ากับ 0.54 องศาเซลเซียส ก็จะได้ว่าถ้าสีต่อเนื่อง ประมาณ 20 ตัวอย่างเครื่องสีก็จะมีอุณหภูมิสูงถึง 63 องศาเซลเซียส และข้าวจะเริ่มหักมากขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากนั้น

ส่วนข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง เมื่อสีตัวอย่างแรกเสร็จ เครื่องสีมีอุณหภูมิ 58.54 องศาเซลเซียส ซึ่งห่างจาก 63 องศาเซลเซียส อยู่ 4.46 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อสีข้าวต่อไปอีก 5 ตัวอย่างเครื่องสีก็จะมีอุณหภูมิสูงถึง 63 องศาเซลเซียส

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าการลดอุณหภูมิข้าวกล้องเพียงแต่ช่วยให้ยืดยาวระยะเวลาการร้อนขึ้นของเครื่องสีออกไประยะหนึ่งเท่านั้น หากสีข้าวต่อเนื่องในระยะยาว (เช่นในโรงสีข้าว) ผลดีจากการลดอุณหภูมิข้าวกล้องอาจมีเพียงเล็กน้อย คือในช่วงต้นของการสีเท่านั้น

เวลาที่เครื่องใช้ในการสี่สะสมอุณหภูมิวิกฤต ซึ่งได้กล่าวมานั้นจะน้อยกว่านี้ในการสี่แบบต่อเนื่องโดยไม่มีการนำตัวอย่างออกทีละตัวอย่าง เพราะระหว่างการนำตัวอย่างออกแต่ละครั้ง อุณหภูมิเครื่องจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.18) ดังนั้นการสี่ในโรงสี่จริงๆ เครื่องจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.18 ค่าการบันทึกอุณหภูมิเครื่องสี่เมื่อสี่ตัวอย่างแบบต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง

#### 4.4.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิข้าวกล้องหลังการสี่

อุณหภูมิข้าวหลังการสี่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง โดยสี่อย่างต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง พบว่าหลังการสี่ตัวอย่างแรกข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มจากก่อนการสี่ 39.39, 35.89, 32.43, 28.49 องศาเซลเซียส และ 21.45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการสี่ตัวอย่างสุดท้ายข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มจากก่อนการสี่ 44.02, 42.37, 39.31, 36.6 องศาเซลเซียส และ 28.97 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวหลังการสีของข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ (สีแบบต่อเนื่อง 10 ตัวอย่าง)

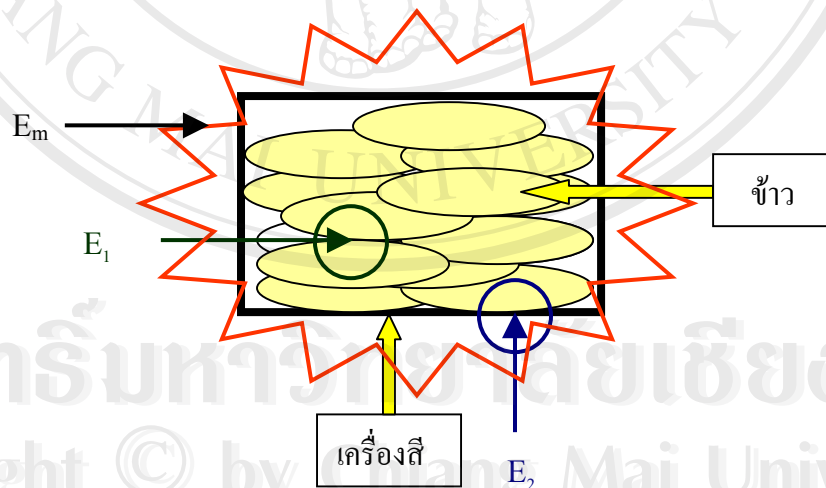
อุณหภูมิข้าวกล้อง					
ก่อนการสี(°C)	$T_0$	$T_1$	$T_f$	$T_1 - T_0$	$T_f - T_0$
5	5	44.39	49.02	39.39	44.02
10	10	45.89	52.37	35.89	42.37
15	15	47.43	54.31	32.43	39.31
20	20	48.49	56.60	28.49	36.60
อุณหภูมิห้อง	$\approx 28$	49.45	56.97	21.45	28.97

$T_0$  คืออุณหภูมิข้าวก่อนการสี (องศาเซลเซียส)

$T_1$  คืออุณหภูมิข้าวหลังการสีตัวอย่างแรก (องศาเซลเซียส)

$T_f$  คืออุณหภูมิข้าวหลังการสีตัวอย่างสุดท้าย (องศาเซลเซียส)

การที่ข้าวสารที่ได้ในตัวอย่างแรกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่ำกว่าข้าวสารที่ได้ในตัวอย่างสุดท้าย นั้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.19 คือ



$E_1$  คือพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี (ระหว่างเมล็ดข้าวกับเมล็ดข้าว)

$E_2$  คือพลังงานความร้อนที่เกิดจากการขัดสี (ระหว่างเมล็ดข้าวกับเครื่องสี)

$E_m$  คือพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในเครื่อง

รูปที่ 4.19 การเกิดพลังงานความร้อนในกระบวนการสีข้าว

ในกระบวนการสีข้าวจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นซึ่งพลังงานความร้อนจะเกิดจากการเสียดสีระหว่างเมล็ดข้าว ( $E_1$ ) และการขัดสีระหว่างข้าวกับเครื่องสี ( $E_2$ ) หลังจากสีตัวอย่างแรกมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น ทำให้อุณหภูมิเครื่องสีสูงขึ้นและเมื่อสีตัวอย่างข้าวถัดไปเครื่องสีก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีก เนื่องจากเครื่องสีมีพลังงานความร้อนสะสมอยู่ในเครื่อง ( $E_m$ ) จะสังเกตได้ว่าหลังการสีตัวอย่างแรกอุณหภูมิเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวหลังการสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสีตัวอย่างต่อเนื่องไปจนครบ 10 ตัวอย่าง อุณหภูมิข้าวหลังการสีกลับเพิ่มขึ้นไม่มากเหมือนกับการสีตัวอย่างแรก ในการสีตัวอย่างแรกนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการสีซึ่งเกิดจากการเสียดสีและการขัดสีของข้าวนั้น มีการถ่ายเทให้กับเครื่องสีและข้าวซึ่งก่อนการสีมีอุณหภูมิต่ำสามารถรับความร้อนได้ดี และเมื่อสีตัวอย่างถัดไป จะเกิดความร้อนเกิดขึ้นและถ่ายให้กับเครื่องสีและข้าวอีก แต่เนื่องจากเครื่องสีมีอุณหภูมิที่สูงอยู่แล้วจึงสามารถรับความร้อนได้อีกไม่มากนัก ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับอากาศและส่วนอื่นของเครื่องสี เมื่อสิ้นสุดการสีตัวอย่างสุดท้าย ข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าการสีตัวอย่างแรกไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิข้าวใกล้เคียงกับอุณหภูมิตั้งต้นของมัน ข้าวกล้องที่อุณหภูมิต่ำจะมีอัตราการเพิ่มมากกว่าข้าวกล้องที่อุณหภูมิตั้งต้นสูง เพราะการแตกต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta T$ ) มากแต่อุณหภูมิสุดท้ายจะต่ำกว่า เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นน้อยกว่า(ตารางที่ 4.3)

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวที่วัดทันทีหลังการสีเมื่อใช้ตัวอย่างข้าวกล้องอุณหภูมิต่างๆ จะได้ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความแตกต่างของอุณหภูมิเครื่องสีและอุณหภูมิข้าวหลังการสีที่วัดได้

อุณหภูมิข้าวกล้อง						
ก่อนการสี ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_1$ เครื่องสี	$T_1$ ข้าว	$\Delta T_1$	$T_f$ เครื่องสี	$T_f$ ข้าว	$\Delta T_f$
5	52.37	44.39	7.98	57.24	49.02	8.22
10	53.74	45.89	7.85	58.90	52.37	6.53
15	56.24	47.43	8.81	62.01	54.31	7.70
20	57.89	48.49	9.40	65.01	56.60	8.41
อุณหภูมิห้อง	58.54	49.45	9.09	66.60	56.97	9.63

$T_1$  คืออุณหภูมิตัวอย่างแรก

$T_f$  คืออุณหภูมิตัวอย่างสุดท้าย

จะเห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิเครื่องสีกับอุณหภูมิข้าวจะมีค่าประมาณ 8–10 องศาเซลเซียส ทั้งในการสีตัวอย่างแรกและตัวอย่างสุดท้าย แม้ว่าค่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวกล้องที่นำมาสีมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 4.4) จากตัวเลขข้างต้นอาจอนุมานได้ว่า อุณหภูมิวิกฤตของข้าวกล้องระหว่างการสีน่าจะมีค่าประมาณ 63 – 10 ถึง 63 – 8 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 53 – 55 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิวิกฤตของเครื่องสีที่หาได้จากการทดลองคือประมาณ 63 องศาเซลเซียส) ซึ่งถ้าข้าวกล้องมีอุณหภูมิสูงกว่านี้ระหว่างการสีก็จะทำให้มีข้าวหักเพิ่มขึ้นมาก จากการศึกษาของ Mohapatra and Bal (2004) พบว่าความเสียหายจากการสีเกิดขึ้นมากที่สุดในฤดูร้อน คือเมื่ออุณหภูมิประมาณ 40 – 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นสำหรับข้าวพันธุ์ชยันนาท 1 ควรควบคุมอุณหภูมิข้าวระหว่างสี ให้ต่ำกว่า 53 องศาเซลเซียส เพื่อให้ข้าวหักมีค่าไม่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามค่าอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ยังไม่ใช่ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสีเนื่องจากเปอร์เซ็นต์ข้าวหักยังมีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งนับว่าสูง

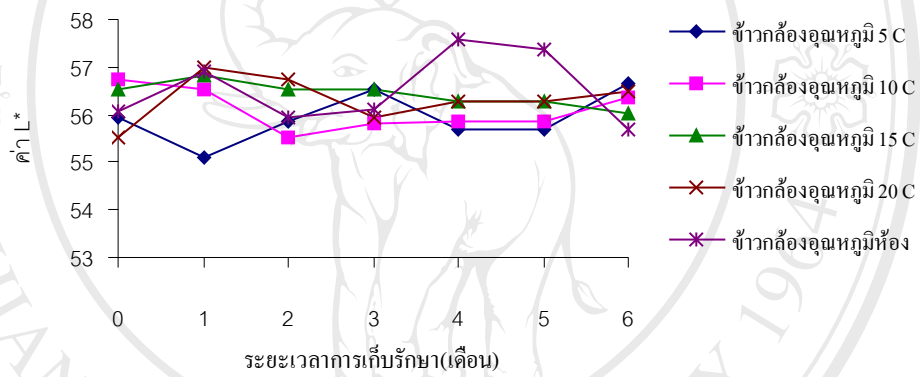


#### 4.5 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสาร

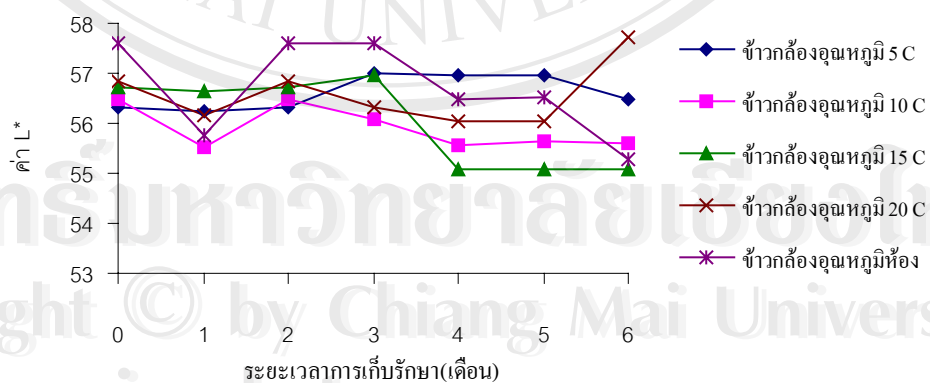
ค่า  $L^*$  คือ ค่าความเข้มสว่างของสี ซึ่งมีค่าเริ่มต้นตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า  $L^*$  มีค่ามาก แสดงว่าสีมีความสว่างมาก (สีขาว) และถ้าค่า  $L^*$  เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า  $a^*$  คือ ค่าแสดงระดับสีแดงและสีเขียว ถ้า  $a^*$  มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีแดง มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น

ค่า  $b^*$  คือ ค่าแสดงระดับสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า  $b^*$  มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินมากขึ้น  
ในการทดลองนี้ได้วัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (CIELAB) ซึ่งค่า  $a^*$  จะมีความสำคัญน้อยมากเนื่องจากเป็นค่าที่แสดงถึงสีเขียวและสีแดง ดังนั้นจึงอธิบายความเหลืองของข้าวโดยใช้ค่า  $L^*$  และ  $b^*$

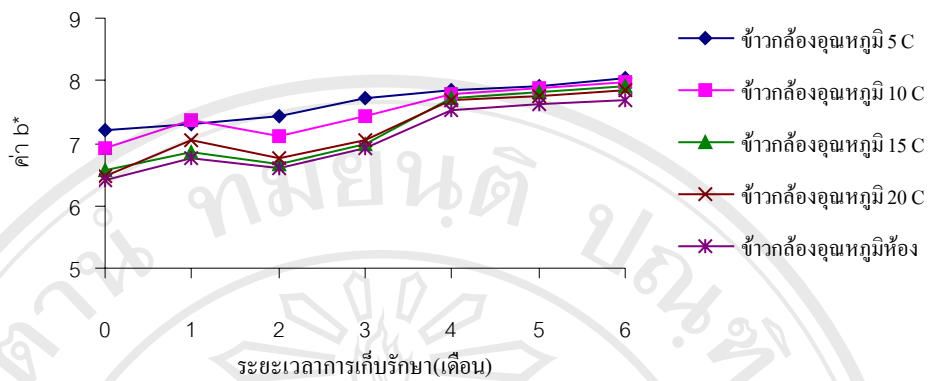


ก. สีแบบต่อเนื่อง

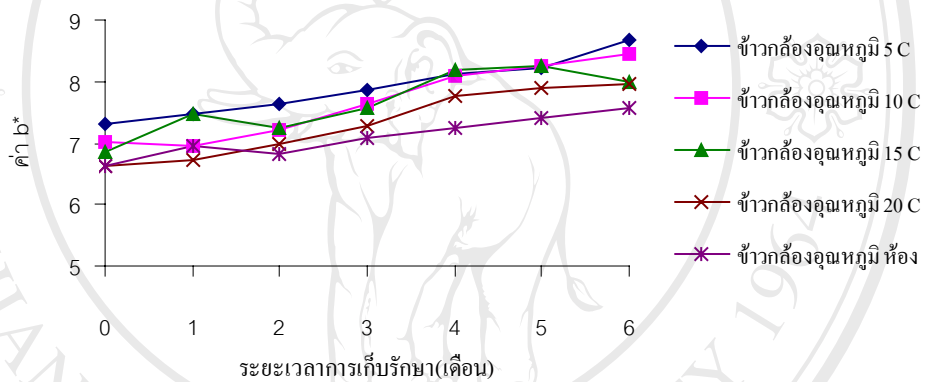


ข. สีแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ของข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



ก. สิบแบบต่อเนื่อง



ข. สิบแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของข้าวสาร ที่ได้จากการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสี 5, 10, 15, 20 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าค่า  $L^*$  ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางภาคผนวก 9 และ 10) ทั้งในการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ในการสีแบบต่อเนื่อง  $L^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 55.94-56.64, 56.35-56.73, 56.04-56.54, 55.50-56.48 และ 55.69-56.06 ตามลำดับ และในการสีแบบไม่ต่อเนื่อง  $L^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 56.32-56.49, 55.60-56.46, 55.08-56.72, 56.85-57.70 และ 55.27-57.59 ตามลำดับ(รูปที่ 4.20 ก)

ส่วนค่า  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อทำการสีแบบต่อเนื่องพบว่าข้าวกล้องอุณหภูมิต่าง ๆ ก่อนการสี ในระหว่างการเก็บรักษา ค่า  $b^*$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวก 11 ) ค่า  $b^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 7.21-8.03, 6.92-7.98, 6.55-7.91, 6.48-7.85 และ 6.42-7.68 ตามลำดับ แสดงว่าข้าวมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาส่วนการสีแบบไม่ต่อเนื่องค่า  $b^*$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวก 12 ) มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง 7.31-8.66, 7.01-8.44, 6.85-7.97, 6.62-7.96 และ 6.61-7.56 ตามลำดับ (รูปที่ 4.20 ข) จากการผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่ข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องอุณหภูมิก่อนการสี 5 องศาเซลเซียส มีค่า  $b^*$  สูงกว่าข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องอุณหภูมิก่อนการสี 10, 15, 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งในการสีแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องและตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ไม่ว่าอุณหภูมิข้าวกล้องก่อนการสีจะสูงหรือต่ำ ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและขึ้นกับสภาพการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นเห็นหลัก จึงได้มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิก่อนการสีแต่อย่างใด นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การสี คือเมื่ออุณหภูมิก่อนการสีลดลง ทำให้เปอร์เซ็นต์การสีลดลงด้วย การลดอุณหภูมิก่อนการสี ทำให้องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโดยเฉพาะในส่วนของไขมัน มีการจับตัวกันแน่นขึ้น ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสีต่ำและการเก็บรักษาข้าวนานขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น เกิดจากการจับตัวของเมล็ดแป้งภายในเมล็ด ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสีต่ำ เป็นผลให้ข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องอุณหภูมิก่อนการสีต่ำ มีสีเหลืองมากกว่าข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวกล้องที่อุณหภูมิก่อนการสีสูง

ในการเก็บรักษาข้าวมีผลทำให้สีของเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเมล็ดข้าวเป็นสิ่งมีชีวิต จึงมีการหายใจในสถานะก๊าซออกซิเจน ซึ่งในการหายใจของเมล็ดข้าวนั้นจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ซึ่งการหายใจของเมล็ดข้าวเมื่อเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน สีของเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเรียกว่าการเกิดสีเหลือง (yellowing หรือ stackburn) ข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวจะ

เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเห็นได้ชัดหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ถึง 12 เดือน นอกจากระยะเวลาแล้วอุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าว จากการศึกษผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาข้าวเปลือกพบว่า ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ข้าวก็จะเกิดสีเหลืองสูงตามไปด้วย (Dillahunty *et al.*, 2001 อ้างโดย Siebenmorgen and Meullenet, 2004) สอดคล้องกับการทดลองของ Juliano (1985) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษายังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าว หลังจากการเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 1 ปี และยังพบว่าในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมล็ดข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดสีเหลือง นอกจากนี้การเกิดสีเหลืองของเมล็ดข้าวอาจเกิดจากกระบวนการอบแห้งของเมล็ดที่ช้าและไม่เหมาะสม (Sahay and Gangopadhyay, 1985 อ้างโดย Siebenmorgen and Meullenet, 2004) หรือจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม การเกิดสีเหลืองของเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสีของเอนโดสเปิร์มนั้นไม่สามารถมองเห็นได้จนกว่าจะทำการสีเป็นข้าวสารแล้ว (Aibara *et al.*, 1984 อ้างโดย Siebenmorgen and Meullenet, 2004)

## 4.6 ผลการร้าวของเมล็ดข้าวก่อนการสีกับคุณภาพการสี

### 4.6.1 เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

ผลของการร้าวของเมล็ดข้าวก่อนการสีต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ในตัวอย่าง 100 กรัมจะมีข้าวกล้องเมล็ดร้าวจำนวน 25, 50, 75, 100 และ 125 เมล็ดซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.58, 1.16, 1.74, 2.32 และ 2.90 ตามลำดับ พบว่า ข้าวกล้องที่มีข้าวร้าวที่ร้อยละ 0.58 ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเท่ากับ 66.23 ข้าวกล้องที่มีเมล็ดร้าวร้อยละ 1.16, 1.74 และ 2.32 มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเท่ากับ 65.89, 65.45 และ 64.76 ข้าวกล้องที่มีเมล็ดร้าวร้อยละ 2.90 มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเท่ากับ 64.47 เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องเมล็ดร้าวก่อนการสีมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9574 (รูปที่ 4.20) และมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$y = -1.4834x + 66.079$$

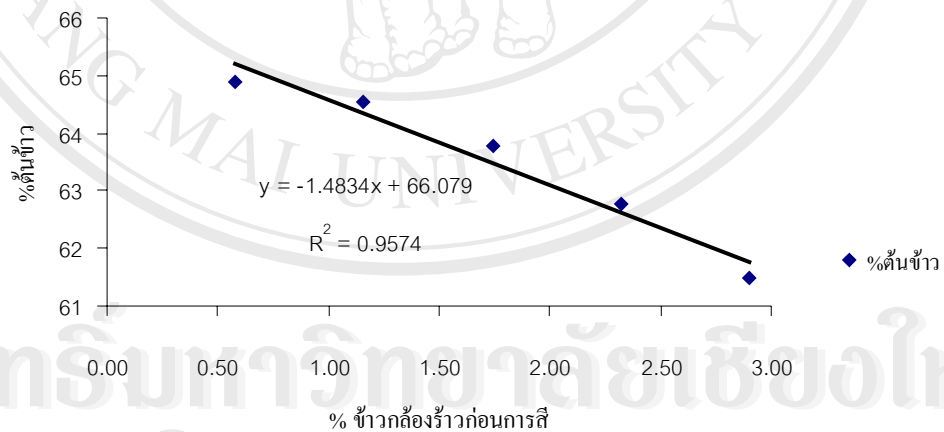
เมื่อ

y

คือเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

x

คือเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสี



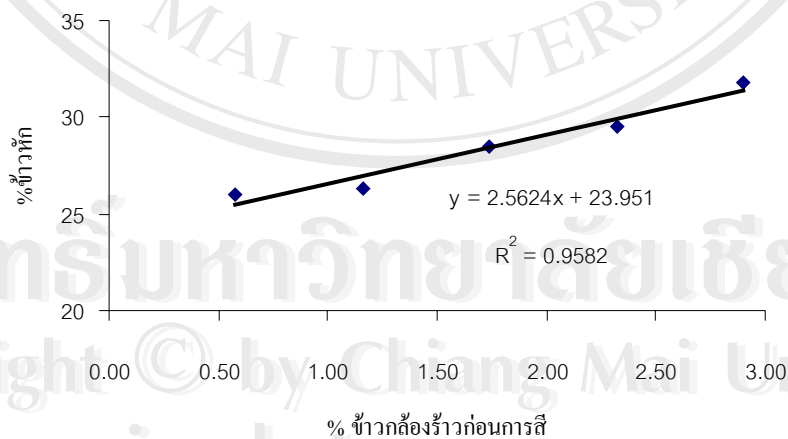
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสี

#### 4.6.2 เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

ผลของการร้าวของเมล็ดข้าวก่อนการสีต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีเท่ากับ 0.58, 1.16, 1.74, 2.32 และ 2.90 ตามลำดับ พบว่า ข้าวกล้องที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีร้อยละ 0.58 มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่ำที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 25.97 ข้าวกล้องที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีเท่ากับ 1.16, 1.74 และ 2.32 มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 26.26, 27.62 และ 28.44 ตามลำดับ ข้าวกล้องที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีเท่ากับ 2.90 มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเท่ากับ 28.98 เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีมาหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงบวก คือเมื่อเปอร์เซ็นต์ข้าวร้าวสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวหักก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.9582 (รูปที่ 4.21) และมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$y = 2.5624x + 23.951$$

เมื่อ  $y$  คือเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก  
 $x$  คือเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสี



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวหักกับเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสี

#### 4.6.3 เปรอร์เซ็นต์การขัดสี

ผลของการร้าวของเมล็ดข้าวก่อนการสีต่อเปอร์เซ็นต์การขัดสี เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ร้าวก่อนการสีเท่ากับ 0.58, 1.16, 1.74, 2.32 และ 2.90 ตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์การขัดสีของ ข้าวกล้องที่มีเมล็ดร้าวระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเท่ากับ 12.69, 12.72, 12.71, 12.71 และ 12.72 ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของการร้าวของเมล็ดข้าวก่อนการสีต่อคุณภาพการสี พบว่า เมื่อ เปรอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง และเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก เพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องร้าวก่อนการสีนั้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขัดสี สาเหตุสำคัญ ของการแตกหักที่มีอยู่ก่อนการสี คือการเกิดรอยร้าวเนื่องจากความเครียดจากความแตกต่างของ ความชื้นภายในเมล็ดและลักษณะพันธุกรรม (Kunze and Calderwood, 1985) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ ศุภศักดิ์และวิบูลย์ (2537) พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวร้าวในข้าวญี่ปุ่นไม่มีความ สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว อาจเนื่องมาจากลักษณะของเมล็ดข้าวญี่ปุ่นกับเมล็ดข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 มีความแตกต่างกัน คือข้าวญี่ปุ่นจะมีลักษณะเมล็ดสั้นและหนากว่าเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีลักษณะเมล็ดยาวเรียว เมื่อนำไปสีจึงมีการแตกหักมากกว่าข้าวญี่ปุ่น