

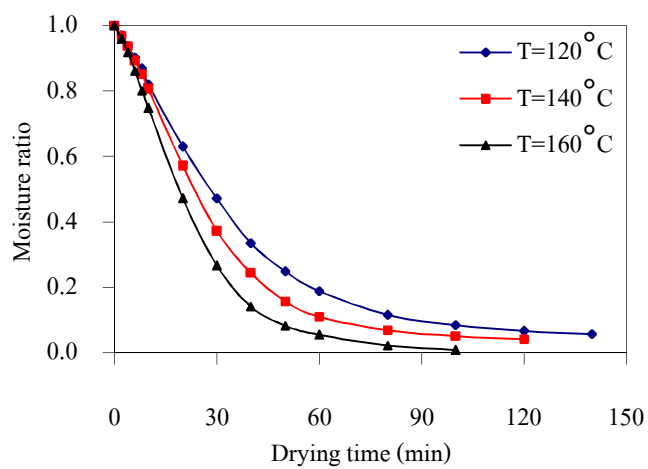
## ผลและวิจารณ์

### ผล

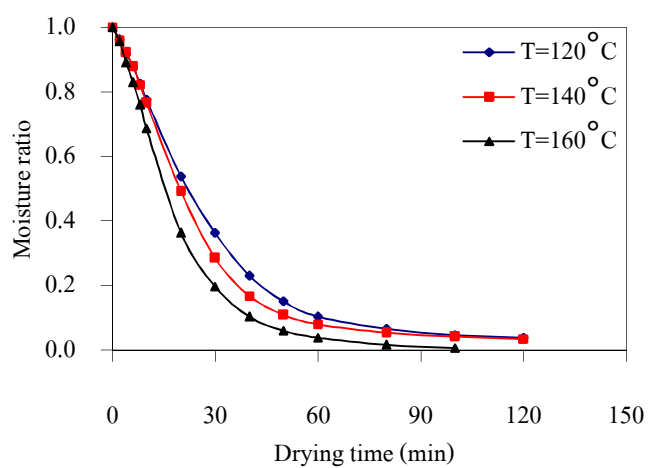
จากการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนขวดย้ง (SH) และอากาศร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160°C และความเร็วตัวกลาง 1.0 1.5 และ 2.0 m/s เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วของตัวกลาง ต่ออัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอก และเปรียบเทียบคุณสมบัติของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง ได้แก่ ค่าสี เปอร์เซ็นต์การร้าว ปริมาณสาร GABA และคุณภาพการหุงต้มในหัวข้อของเวลาในการหุงสุก การยึดตัวตามความยาว และการสูญเสียเนื้อแป้งในการหุงต้ม ซึ่งจะได้อธิบายในลำดับต่อไป

### 1. อิทธิพลของอุณหภูมิตัวกลางต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

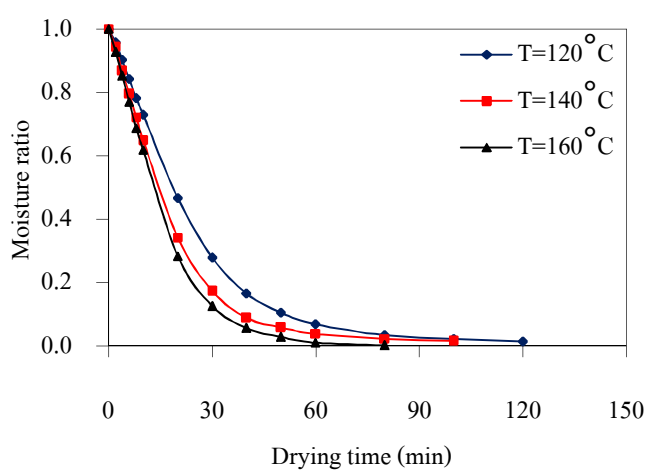
จากการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกเพื่อศึกษาอัตราการลดความชื้นเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศร้อน พบว่า การใช้อุณหภูมิกอากาศร้อนที่สูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จากภาพที่ 7(ก)-7(ค) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิกอากาศร้อนให้สูงขึ้นจาก 120 140 และ 160°C ตามลำดับ อัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะสูงขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งข้าวกล้องงอกน้อยลง และความแตกต่างของเส้นกราฟจะค่อยๆ น้อยลงเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนในการอบแห้งให้สูงขึ้น สำหรับการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนขวดย้ง ได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเหมือนกับการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อน ดังภาพที่ 8(ก)-8(ค) แต่ในช่วง 2 min แรกของการอบแห้งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่มาสัมผัสบริเวณผิวของเมล็ดข้าวกล้องงอก ความชื้นของข้าวกล้องงอกจะเพิ่มสูงขึ้น และสังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิ 120°C ใช้เวลาในการลดความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้ง 140 และ 160°C ตามลำดับ ภาพกราฟขนาดเล็กขยายให้เห็นถึงการเพิ่มความชื้นในช่วงแรกของการอบแห้ง ความแตกต่างของเส้นกราฟจะค่อยๆ น้อยลงเมื่อเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้ง



(ก) ความเร็วอากาศร้อน 1.0 m/s

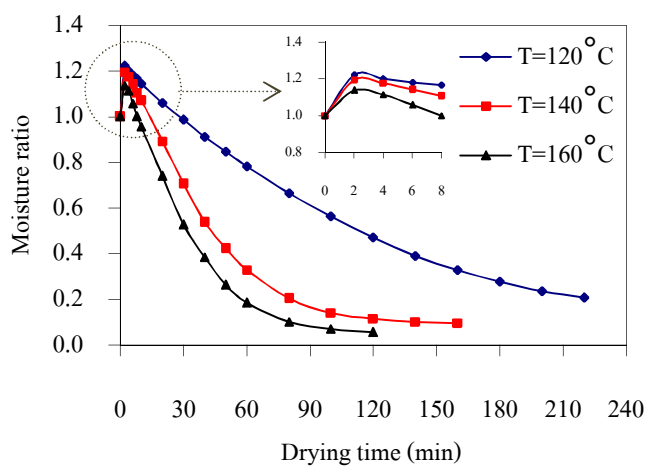


(ข) ความเร็วอากาศร้อน 1.5 m/s

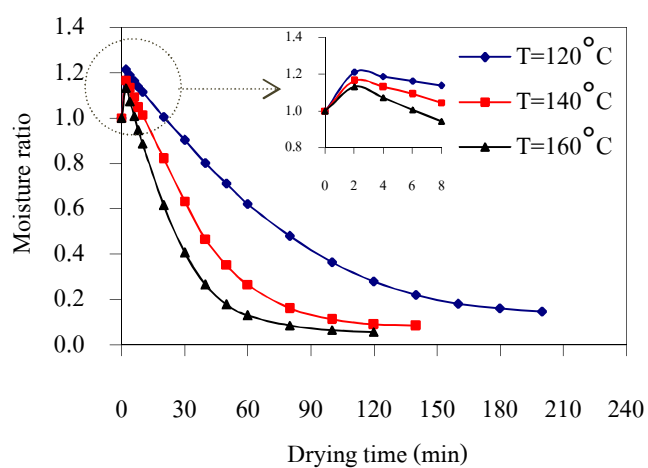


(ค) ความเร็วอากาศร้อน 2.0 m/s

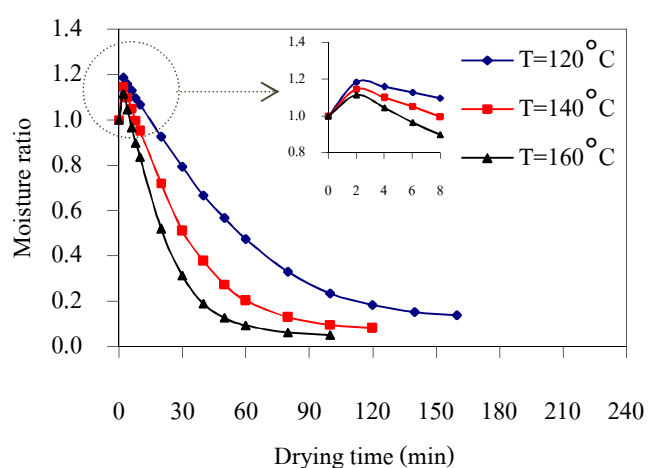
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อนต่างๆ



(ก) ความเร็วไอน้ำร้อนหวดยิ่ง 1.0 m/s



(ข) ความเร็วไอน้ำร้อนหวดยิ่ง 1.5 m/s



(ค) ความเร็วไอน้ำร้อนหวดยิ่ง 2.0 m/s

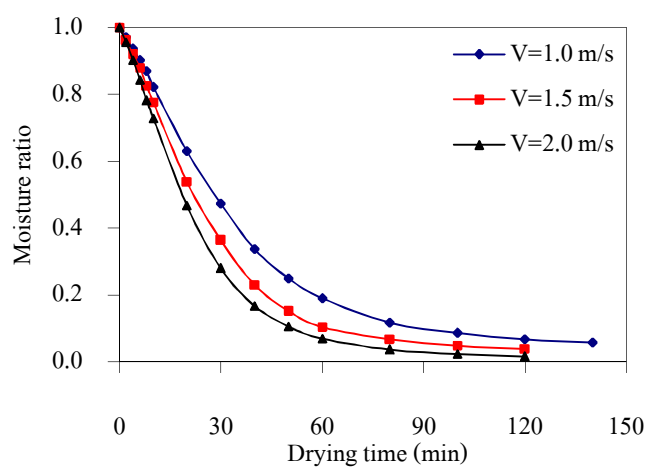
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนหวดยิ่งต่างๆ

## 2. อิทธิพลของความเร็วตัวกลางต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

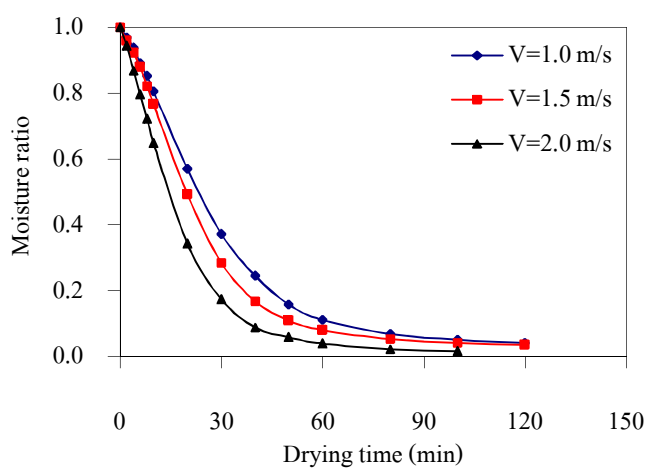
จากการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกเพื่อศึกษาอัตราการลดความชื้นเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศร้อน พบว่า การใช้ความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งที่สูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าที่ใช้ความเร็วตัวกลางต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 9(ก)-9(ค) เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนให้สูงขึ้นจาก 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ตามลำดับ อัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะสูงขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งข้าวกล้องงอกน้อยลง และความแตกต่างของเส้นกราฟจะค่อยๆ น้อยลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางอากาศร้อนในการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเหมือนกันกับการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อน ดังภาพที่ 10(ก)-10(ค) แต่สังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิ 120°C ใช้เวลาในการลดความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้ง 140 และ 160°C ตามลำดับ ภาพกราฟขนาดเล็กขยายให้เห็นถึงการเพิ่มความชื้นในช่วง 1-2 min แรก ในการอบแห้ง ความแตกต่างของเส้นกราฟจะค่อยๆ น้อยลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้ง

## 3. การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

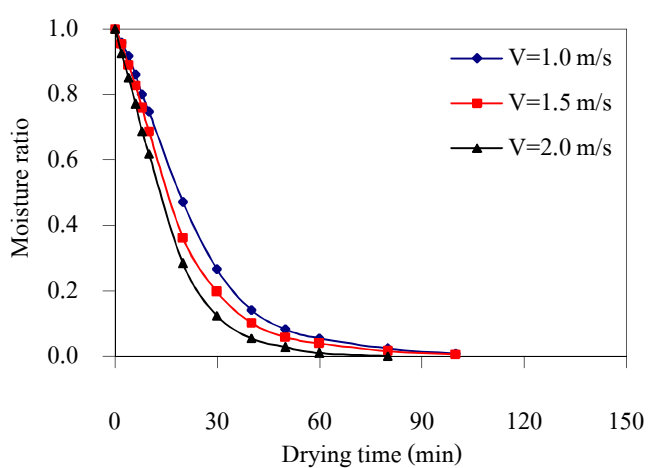
เมื่อทำการเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่ความเร็วตัวกลาง 2.0 m/s ดังภาพที่ 11(ก)-11(ค) พบว่า การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนสามารถลดความชื้นของข้าวกล้องงอกได้เร็วกว่าการอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในทุกๆ กรณี สังเกตเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางทั้งสองชนิดให้สูงขึ้นอัตราการลดความชื้นที่แสดงด้วยเส้นกราฟจะใกล้เคียงกันมากขึ้น สำหรับการอบแห้งข้าวกล้องงอกที่ความเร็วตัวกลาง 1.0 และ 1.5 m/s ให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มของอัตราการลดความชื้นเช่นเดียวกับการอบแห้งที่ความเร็วตัวกลาง 2.0 m/s



(ก) อากาศร้อนอุณหภูมิ 120°C

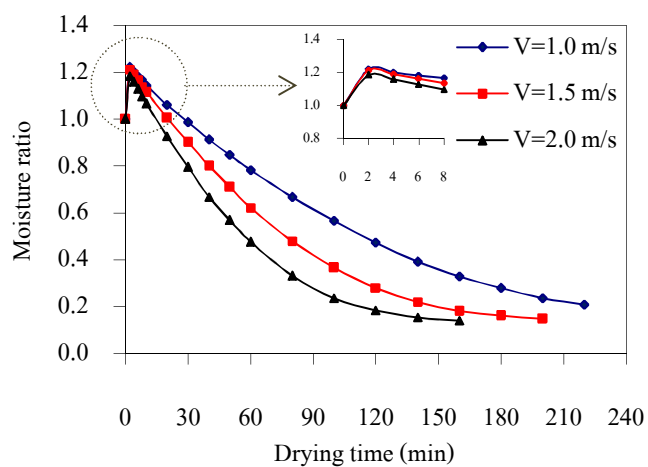


(ข) อากาศร้อนอุณหภูมิ 140°C

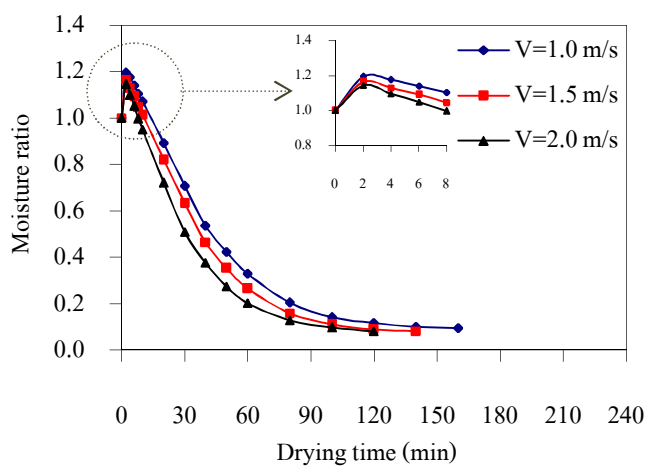


(ค) อากาศร้อนอุณหภูมิ 160°C

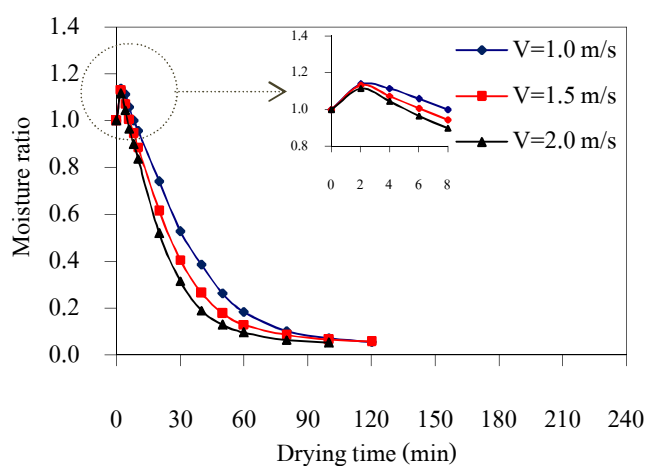
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วอากาศร้อนต่างๆ



(ก) ใช้น้ำร้อนขุดยั้งอุณหภูมิ 120°C

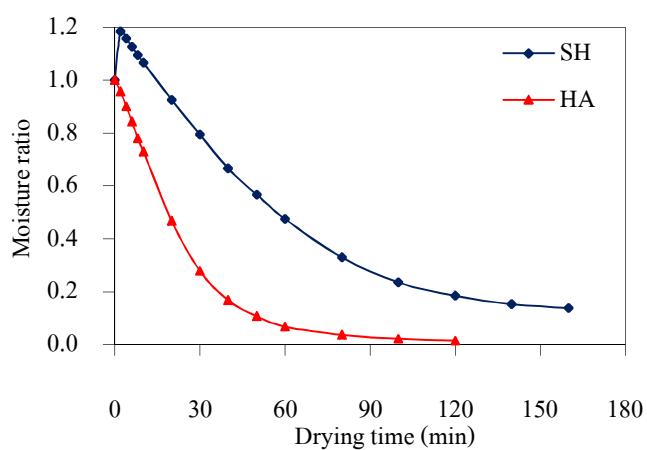


(ข) ใช้น้ำร้อนขุดยั้งอุณหภูมิ 140°C

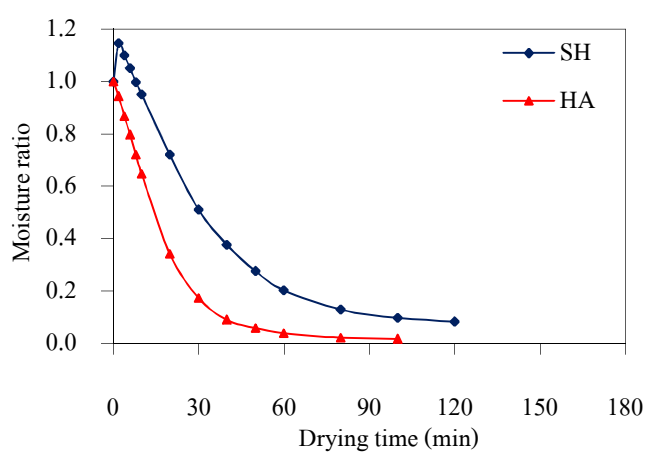


(ค) ใช้น้ำร้อนขุดยั้งอุณหภูมิ 160°C

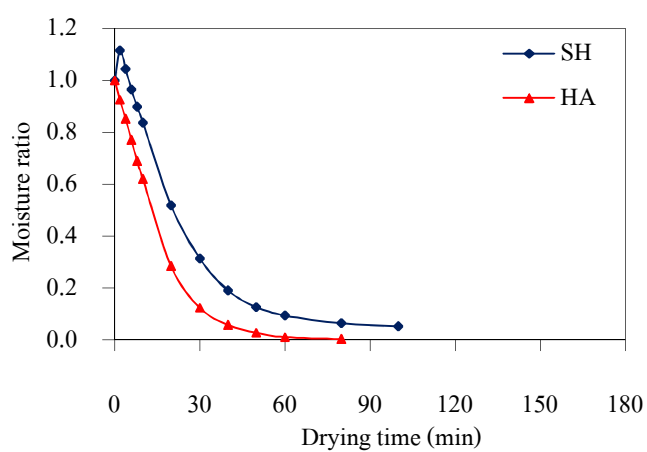
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยความเร็วไอน้ำร้อนขุดยั้งต่างๆ



(ก) อุณหภูมิ 120°C



(ข) อุณหภูมิ 140°C



(ค) อุณหภูมิ 160°C

ภาพที่ 11 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งและอากาศร้อน  
ที่ความเร็วตัวกลาง 2.0 m/s และอุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกัน

#### 4. คุณภาพข้าวกล้องงอก

เมื่ออบแห้งข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45-51% (d.b.) ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) แล้ว จากนั้นนำไปตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การร้าว ค่าสี คุณภาพการหุงต้ม และปริมาณสาร GABA เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกอ้างอิง (reference) ที่ไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งแต่ลดความชื้นโดยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมให้เหลือความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกับความชื้นที่เหมาะสมของการเก็บรักษาข้าวกล้องคือ 13-14% (d.b.) โดยได้ผลการทดลองดังนี้

##### 4.1 สีของข้าวกล้องงอก

จากการนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งต่างๆ ไปทำการวัดสีได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 12-17 สีของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง เมื่อใช้ตัวกลางในการอบแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อนให้ค่าความสว่าง (L) สูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงและข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนให้สูงขึ้นจาก 120 140 และ 160°C ทำให้ค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจาก 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ทำให้ค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งให้สูงขึ้นจาก 120 140 และ 160°C ทำให้ค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจาก 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ทำให้ค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน

ค่าสีแดง (a) เมื่ออบแห้งข้าวกล้องงอกทุกเงื่อนไขการทดลองแล้ว พบว่า การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อนให้ค่าสีแดงต่ำกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิง และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ตามลำดับ



ตารางที่ 5 สีของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

| Drying condition | Velocity<br>(m/s) | Final moisture content<br>(% d.b.) | Drying time<br>(min) | Color                   |                         |                           |
|------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
|                  |                   |                                    |                      | L                       | a                       | b                         |
| Reference        | -                 | 14.00                              | -                    | 51.41±0.01 <sup>g</sup> | 3.68±0.01 <sup>h</sup>  | 14.63±0.10 <sup>a</sup>   |
| HA120            | 1.0               | 13.72                              | 49                   | 56.93±0.32 <sup>h</sup> | 3.16±0.25 <sup>de</sup> | 15.92±0.15 <sup>b</sup>   |
|                  | 1.5               | 13.85                              | 37                   | 57.92±0.57 <sup>j</sup> | 2.84±0.21 <sup>b</sup>  | 16.34±0.31 <sup>f</sup>   |
|                  | 2.0               | 13.38                              | 30                   | 57.30±0.79 <sup>i</sup> | 2.71±0.21 <sup>a</sup>  | 16.09±0.25 <sup>cd</sup>  |
| HA140            | 1.0               | 14.24                              | 39                   | 59.44±0.45 <sup>m</sup> | 3.18±0.17 <sup>ef</sup> | 16.15±0.12 <sup>de</sup>  |
|                  | 1.5               | 13.72                              | 32                   | 60.74±0.45 <sup>n</sup> | 3.05±0.09 <sup>cd</sup> | 16.01±0.13 <sup>bcd</sup> |
|                  | 2.0               | 14.55                              | 25                   | 60.59±0.54 <sup>n</sup> | 2.97±0.08 <sup>c</sup>  | 15.96±0.14 <sup>bc</sup>  |
| HA160            | 1.0               | 13.98                              | 29                   | 58.58±0.07 <sup>k</sup> | 3.47±0.06 <sup>g</sup>  | 16.31±0.21 <sup>f</sup>   |
|                  | 1.5               | 13.34                              | 25                   | 59.10±0.53 <sup>l</sup> | 3.29±0.11 <sup>f</sup>  | 16.25±0.15 <sup>ef</sup>  |
|                  | 2.0               | 14.42                              | 20                   | 58.15±0.42 <sup>j</sup> | 3.53±0.06 <sup>g</sup>  | 16.36±0.21 <sup>f</sup>   |
| SH120            | 1.0               | 13.72                              | 170                  | 42.48±0.71 <sup>a</sup> | 6.64±0.22 <sup>m</sup>  | 16.27±0.21 <sup>ef</sup>  |
|                  | 1.5               | 13.34                              | 115                  | 44.81±0.21 <sup>b</sup> | 5.51±0.17 <sup>ij</sup> | 16.08±0.08 <sup>cd</sup>  |
|                  | 2.0               | 14.07                              | 88                   | 48.01±0.44 <sup>f</sup> | 5.52±0.18 <sup>ij</sup> | 16.71±0.23 <sup>hi</sup>  |
| SH140            | 1.0               | 13.04                              | 68                   | 45.50±0.40 <sup>c</sup> | 5.71±0.12 <sup>k</sup>  | 16.37±0.17 <sup>f</sup>   |
|                  | 1.5               | 13.25                              | 59                   | 47.23±0.29 <sup>e</sup> | 5.67±0.14 <sup>k</sup>  | 16.79±0.12 <sup>i</sup>   |
|                  | 2.0               | 13.55                              | 49                   | 47.89±0.48 <sup>f</sup> | 5.44±0.12 <sup>i</sup>  | 16.66±0.10 <sup>hi</sup>  |
| SH160            | 1.0               | 13.68                              | 49                   | 46.17±0.39 <sup>d</sup> | 6.22±0.24 <sup>l</sup>  | 16.64±0.16 <sup>gh</sup>  |
|                  | 1.5               | 13.90                              | 39                   | 47.05±0.41 <sup>e</sup> | 5.59±0.13 <sup>jk</sup> | 16.53±0.13 <sup>g</sup>   |
|                  | 2.0               | 14.20                              | 32                   | 48.03±0.61 <sup>f</sup> | 5.43±0.22 <sup>i</sup>  | 16.39±0.10 <sup>f</sup>   |

Values in the same column with different superscripts mean that the values are significantly different ( $p<0.05$ )



(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 12 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยอากาศร้อนอุณหภูมิ 120°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน



(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 13 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยอากาศร้อนอุณหภูมิ 140°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน





(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 14 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยอากาศร้อนอุณหภูมิ 160°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน



(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 15 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งอุณหภูมิตั้งที่ 120°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน





(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 16 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งอุณหภูมิตั้งที่ 140°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน



(ก) ข้าวกล้องงอกอ้างอิง



(ข) ความเร็ว 1.0 m/s



(ค) ความเร็ว 1.5 m/s



(ง) ความเร็ว 2.0 m/s

ภาพที่ 17 ข้าวกล้องงอกหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งอุณหภูมิตั้งที่ 160°C และความเร็วตัวกลางแตกต่างกัน

การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนให้สูงขึ้นทำให้ค่าสีแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และค่าสีแดงมีแนวโน้มสูงขึ้น การเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนให้สูงขึ้นทำให้ค่าสีแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และค่าสีแดงมีแนวโน้มลดลง ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยังคงให้ค่าสีแดงสูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงและข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคงให้สูงขึ้นมีผลต่อค่าสีแดงไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคงให้สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าสีแดงลดลง

ค่าสีเหลือง (b) เมื่ออบแห้งข้าวกล้องงอกทุกเงื่อนไขการทดลองแล้ว พบว่า การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อนให้ค่าสีเหลืองสูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก กับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคง การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วตัวกลางให้สูงขึ้นในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนให้ค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยังคงให้ค่าสีเหลืองสูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่มีค่าใกล้เคียงกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคงมีผลต่อค่าสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก

#### 4.2 เปอร์เซ็นต์การร้าว

การร้าวของข้าวกล้องงอก (ตารางที่ 6) ที่เกิดขึ้นหลังผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคงและอากาศร้อน เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ลดความชื้นด้วยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมซึ่งเป็นข้าวกล้องงอกอ้างอิง ที่มีเปอร์เซ็นต์การร้าว 70.10% พบว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีเปอร์เซ็นต์การร้าวสูงมากประมาณ 99.80-100% ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยังคงมีเปอร์เซ็นต์การร้าวประมาณ 76.60-99.10% สูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงแต่น้อยกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วตัวกลางไอน้ำร้อนยังคงให้สูงขึ้น จะใช้เวลาในการอบแห้งข้าวกล้องงอกให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) น้อยลง แต่มีแนวโน้มให้ข้าวกล้องงอกมีเปอร์เซ็นต์การร้าวมากขึ้น



### 4.3 คุณภาพการหุงต้ม

คุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเวลาในการหุงสุก (cooking time) การยืดตัวตามความยาว (elongation) และการสูญเสียเนื้อแป้ง (solid loss) ดังแสดงในตารางที่ 6

ก. เวลาในการหุงสุก ของข้าวกล้องงอกอ้างอิง พบว่า ใช้เวลาในการหุงสุก 23 min ในขณะที่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนใช้เวลาในการหุงสุกประมาณ 19.33-20.33 min ซึ่งน้อยกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิง ส่วนข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งใช้เวลาในการหุงสุกประมาณ 16.67-18.67 min ซึ่งน้อยกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องงอกอ้างอิงตามลำดับ และการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วของตัวกลางมีผลต่อเวลาในการหุงสุกน้อยมาก

ข. การยืดตัวตามความยาว ของข้าวกล้องงอกอ้างอิงมีค่าประมาณ 10.48% ส่วนข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวตามความยาวประมาณ 8.27-12.61% ในขณะที่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวตามความยาวประมาณ 5.88-10.83% ซึ่งต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องงอกอ้างอิง การอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยใช้อุณหภูมิตัวกลาง 120°C และความเร็วตัวกลาง 1 m/s ให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวตามความยาวสูงสุด ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วของตัวกลางไม่มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวตามความยาวมีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ค. การสูญเสียเนื้อแป้ง ของข้าวกล้องงอกอ้างอิงมีค่าประมาณ 3.22% ส่วนข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีค่าการสูญเสียเนื้อแป้งประมาณ 3.13-3.79% การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วอากาศร้อน ไม่มีแนวโน้มให้ค่าการสูญเสียเนื้อแป้งเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน สำหรับการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการสูญเสียเนื้อแป้งประมาณ 1.43-1.98% ซึ่งน้อยกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงและข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อแป้งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 6 คุณภาพการหุงต้ม แป้งเส้นคัดกร้าว และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอก  
หลักการอบแห้ง

| Drying<br>condition | Velocity<br>(m/s) | Final<br>moisture<br>content<br>(% d.b.) | Drying<br>time<br>(min) | Cooking qualities        |                          |                         | Cracking<br>(%)          | GABA<br>(mg/100g<br>dry weight) |
|---------------------|-------------------|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
|                     |                   |                                          |                         | Cooking time<br>(min)    | Elongation<br>(%)        | Solid loss<br>(%)       |                          |                                 |
| Reference           | -                 | 14.00                                    | -                       | 23.00±0.00 <sup>f</sup>  | 10.48±0.19 <sup>e</sup>  | 3.22±0.19 <sup>b</sup>  | 70.10±0.10 <sup>a</sup>  | 34.32±5.94 <sup>g</sup>         |
| HA120               | 1.0               | 13.72                                    | 49                      | 19.33±0.58 <sup>cd</sup> | 12.61±1.98 <sup>f</sup>  | 3.49±0.38 <sup>bc</sup> | 99.90±0.32 <sup>g</sup>  | -                               |
|                     | 1.5               | 13.85                                    | 37                      | 19.67±0.58 <sup>de</sup> | 9.67±0.28 <sup>de</sup>  | 3.53±1.15 <sup>bc</sup> | 99.90±0.32 <sup>g</sup>  | -                               |
|                     | 2.0               | 13.38                                    | 30                      | 19.67±0.58 <sup>de</sup> | 8.27±0.36 <sup>bcd</sup> | 3.79±0.30 <sup>bc</sup> | 99.80±0.42 <sup>g</sup>  | 27.62±3.04 <sup>f</sup>         |
| HA140               | 1.0               | 14.24                                    | 39                      | 20.00±0.00 <sup>de</sup> | 9.37±1.10 <sup>cde</sup> | 3.31±0.34 <sup>b</sup>  | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | -                               |
|                     | 1.5               | 13.72                                    | 32                      | 20.00±0.00 <sup>de</sup> | 10.86±0.86 <sup>e</sup>  | 3.49±0.35 <sup>bc</sup> | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | -                               |
|                     | 2.0               | 14.55                                    | 25                      | 20.00±0.00 <sup>de</sup> | 9.92±0.99 <sup>de</sup>  | 3.53±0.31 <sup>c</sup>  | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | 26.30±3.04 <sup>e</sup>         |
| HA160               | 1.0               | 13.98                                    | 29                      | 20.33±0.58 <sup>e</sup>  | 10.05±0.89 <sup>de</sup> | 3.79±0.50 <sup>bc</sup> | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | -                               |
|                     | 1.5               | 13.34                                    | 25                      | 20.00±1.00 <sup>de</sup> | 10.73±0.81 <sup>e</sup>  | 3.13±0.14 <sup>bc</sup> | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | -                               |
|                     | 2.0               | 14.42                                    | 20                      | 20.33±0.58 <sup>e</sup>  | 9.65±1.05 <sup>de</sup>  | 3.41±0.52 <sup>bc</sup> | 100.00±0.00 <sup>g</sup> | 22.45±3.32 <sup>d</sup>         |
| SH120               | 1.0               | 13.72                                    | 170                     | 16.67±0.58 <sup>a</sup>  | 10.83±1.99 <sup>e</sup>  | 1.66±0.10 <sup>a</sup>  | 76.60±4.55 <sup>b</sup>  | -                               |
|                     | 1.5               | 13.34                                    | 115                     | 17.00±1.00 <sup>a</sup>  | 7.61±0.39 <sup>abc</sup> | 1.98±0.04 <sup>a</sup>  | 86.50±3.63 <sup>c</sup>  | -                               |
|                     | 2.0               | 14.07                                    | 88                      | 18.67±0.58 <sup>bc</sup> | 7.74±1.68 <sup>abc</sup> | 1.80±0.07 <sup>a</sup>  | 99.10±0.99 <sup>fg</sup> | 5.10±0.75 <sup>b</sup>          |
| SH140               | 1.0               | 13.04                                    | 68                      | 18.00±0.00 <sup>b</sup>  | 7.33±0.47 <sup>ab</sup>  | 1.43±0.04 <sup>a</sup>  | 86.30±5.08 <sup>c</sup>  | -                               |
|                     | 1.5               | 13.25                                    | 59                      | 18.67±0.58 <sup>bc</sup> | 7.59±0.49 <sup>abc</sup> | 1.43±0.09 <sup>a</sup>  | 94.40±2.27 <sup>c</sup>  | -                               |
|                     | 2.0               | 13.55                                    | 49                      | 18.00±0.00 <sup>b</sup>  | 5.94±0.34 <sup>a</sup>   | 1.47±0.09 <sup>a</sup>  | 96.90±2.23 <sup>f</sup>  | 4.01±0.57 <sup>a</sup>          |
| SH160               | 1.0               | 13.68                                    | 49                      | 18.00±0.00 <sup>b</sup>  | 6.34±0.90 <sup>a</sup>   | 1.58±0.10 <sup>a</sup>  | 93.40±2.63 <sup>de</sup> | -                               |
|                     | 1.5               | 13.90                                    | 39                      | 18.00±0.00 <sup>b</sup>  | 6.92±0.79 <sup>ab</sup>  | 1.54±0.06 <sup>a</sup>  | 91.70±3.59 <sup>d</sup>  | -                               |
|                     | 2.0               | 14.20                                    | 32                      | 18.00±0.00 <sup>b</sup>  | 5.88±0.29 <sup>a</sup>   | 1.53±0.11 <sup>a</sup>  | 98.50±0.97 <sup>fg</sup> | 6.41±1.42 <sup>c</sup>          |

Values in the same column with different superscripts mean that the values are significantly different ( $p<0.05$ )

#### 4.4 ปริมาณสาร GABA

จากงานวิจัยของ วรินทร์ และสุนัน (2552) แสดงให้เห็นว่าการใช้เวลาในการอบแห้งนาน จะส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ลดน้อยลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกทดสอบเฉพาะข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยตัวกลางที่ใช้ความเร็วสูงสุดที่ 2.0 m/s ดังแสดงในตารางที่ 6 จากการทดสอบ ปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 34.32 mg/100g dry weight ส่วนปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่า ปริมาณสาร GABA ลดลงเหลือ 22.45-27.62 mg/100g dry weight และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณสาร GABA เท่ากับ 4.01-0.57 mg/100g dry weight ซึ่งน้อยกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องงอกอ้างอิง และการเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนในการอบแห้งมีผลให้ปริมาณสาร GABA ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีแนวโน้มให้ปริมาณสาร GABA ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

## วิจารณ์

### 1. อิทธิพลของอุณหภูมิตัวกลางต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45-51% (d.b.) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 7(ก)-7(ค) พบว่าในช่วง 20 min แรกของการอบแห้ง ข้าวกล้องงอกยังมีความชื้นสูงส่งผลให้อัตราการอบแห้งในช่วงนี้คงที่ จากนั้น ความชื้นที่ผิวของข้าวกล้องงอกลดลงมากความชื้นภายในเมล็ดจะค่อยๆ แพร่ออกสู่ผิวของข้าวกล้องงอก ซึ่งการลดความชื้นในช่วงนี้จะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจะส่งผลให้อัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกสูงขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของข้าวกล้องงอกและอากาศร้อนที่มากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (สมชาติ, 2540) ส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกซึ่งผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน ขวดยิ่งที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 8(ก)-8(ค) พบว่า เกิดการควบแน่นในช่วง 1-2 min แรก เนื่องจากไอน้ำร้อนขวดยิ่งซึ่งมีอุณหภูมิสูงเมื่อสัมผัสกับผิวของข้าวกล้องงอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำส่งผลให้ความชื้นของข้าวกล้องงอกเพิ่มมากขึ้น (Iyota *et al.*, 2001) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 120°C จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำมากที่สุด และไอน้ำจะควบแน่นน้อยลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น จากนั้นน้ำที่ควบแน่นจะระเหยออกจากผิวของข้าวกล้องงอกทำให้เกิดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จนกระทั่งน้ำที่ผิวของข้าวกล้องงอกเริ่มแห้ง น้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในข้าวกล้องงอกจะค่อยๆ แพร่ออกมาระเหยที่ผิว ดังนั้นการอบแห้งในช่วงนี้จึงเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์และของไอน้ำร้อนขวดยิ่งที่มากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำมากกว่า โดยเฉพาะการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 120°C เป็น 140°C จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 8(ก) และความแตกต่างนี้จะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของไอน้ำร้อนขวดยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8(ค) สรุปว่าการเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง (ตารางที่ 5)



## 2. อิทธิพลของความเร็วตัวกลางต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาผลของความเร็วตัวกลางในการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อน พบว่า เมื่อความเร็วตัวกลางสูงขึ้นอัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะสูงขึ้นในทุกๆ อุณหภูมิการอบแห้ง เนื่องจากความเร็วของตัวกลางที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ผิวของข้าวกล้องงอกมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 9(ก)-9(ค) ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วง 1-2 min แรกของการอบแห้งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของข้าวกล้องงอกเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ส่วนของผิวเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะทำให้พื้นที่บริเวณผิวมีความหนา ลดลง ส่งผลให้ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลลดลง ดังนั้นการใช้ความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สูง จึงสามารถเพิ่มอัตราการลดความชื้นได้ดังแสดงในภาพที่ 10(ก)-10(ค) และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลงดังตารางที่ 5 และ พบว่า ที่อุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อิทธิพลของอุณหภูมิส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าอิทธิพลของความเร็ว

## 3. การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่เงื่อนไขการอบแห้งเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 11(ก)-11(ค) พบว่า อัตราการลดความชื้นด้วยอากาศร้อนสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนไม่มีการควบแน่นของไอน้ำโดยเฉพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C จะมีความแตกต่างอย่างชัดเจนแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตัวกลางให้สูงขึ้นจาก 120°C ไปจนถึง 160°C ทำให้อัตราการลดความชื้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้งที่ทำให้อัตราการอบแห้งของทั้งสองวิธีเท่ากันนั้นเรียกว่า อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (inversion temperature) (อิศเรศ, 2543) ซึ่งในการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 160°C ยังไม่ทำให้อัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ดังนั้นอุณหภูมิอินเวอร์ชันในการอบแห้งข้าวกล้องงอกต้องสูงกว่านี้ (160°C) จึงจะทำให้การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอัตราการลดความชื้นเท่ากับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (Schwartz and Brocker, 2002)

#### 4. คุณภาพข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องผ่านการบวนการแช่ที่เวลา 8 ชั่วโมง และเพาะให้งอกที่เวลาประมาณ 24-27 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45-51% (d.b.) เมื่ออบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนขดยิ่งและอากาศร้อนให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) แล้วนำไปผึ่งด้วยอากาศแวดล้อมเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอ จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การร้าว ทำการวัดค่าสี คุณภาพการหุงต้ม และปริมาณสาร GABA

##### 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี

การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งดังตารางที่ 5 เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) แบบเมลลาร์ด โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดยิ่งในช่วงแรกของการอบแห้งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณผิวของข้าวกล้องงอก ความร้อนแฝงจากการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณผิวของข้าวกล้องงอกนี้จะถ่ายเทไปยังเมล็ดข้าวกล้องงอกทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวกล้องงอกเพิ่มสูงขึ้นเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากขึ้น (Rordprapat *et al.*, 2005) ทำให้ค่าความสว่าง (L) ของข้าวกล้องงอกมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวอ้างอิง (reference) อย่างชัดเจน ค่าสีแดง (a) มีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวอ้างอิง ส่วนค่าสีเหลือง (b) มีค่าสูงกว่าข้าวอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) สำหรับข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลือง สูงกว่าข้าวอ้างอิง แต่มีค่าสีแดงต่ำกว่าข้าวอ้างอิง อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเพิ่มความเร็วตัวกลางในการอบแห้งให้สูงขึ้นค่าความสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้นในขณะที่ค่าสีแดงและสีเหลืองมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีลักษณะสีที่ขาวขุ่นมากขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (อิทธิคม, 2546)

##### 4.2 เปอร์เซ็นต์การร้าว

จากตารางที่ 6 แสดงคุณภาพการหุงต้ม เปอร์เซ็นต์การร้าว และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งในทุกๆ เงื่อนไขการอบแห้ง พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดยิ่งและอากาศร้อนมีเปอร์เซ็นต์การร้าวสูงขึ้นมากกว่าข้าวอ้างอิง เนื่องจากการอบแห้งของทั้งสองวิธีใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงในช่วง  $120-160^{\circ}\text{C}$  ทำให้ความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น รวมทั้งการเพิ่มความเร็วไอน้ำ

ร้อนขวยคั้งและอากาศร้อนเป็น 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ทำให้ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ผิวของข้าวกล้องงอกมีค่าลดลง การถ่ายเทมวลดีขึ้นส่งผลให้เกิดความเค้นภายในเมล็ดสูงขึ้น นำไปสู่การร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอกมากขึ้น แต่การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวยคั้งมีเปอร์เซ็นต์การร้าวน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนในทุกๆ เงื่อนไขการอบแห้ง เนื่องจากข้าวกล้องงอกเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้มีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น และได้รับความร้อนสูง ส่งผลให้เป้งเกิดการพองตัวและถูกทำให้สุกที่เรียกว่า การเกิดเจลาทิไนเซชัน (อริคม, 2546) โครงสร้างโมเลกุลภายในเมล็ดข้าวยัดตัวเข้าด้วยกันและเกาะกันแข็งแรงขึ้น ทำให้รอยร้าวภายในเมล็ดข้าวสามารถผสานกันได้ แต่เนื่องจากในการอบแห้งต้องลดความชื้นข้าวกล้องงอกให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) ซึ่งต่ำกว่า 28% (d.b.) ทำให้เกิดการร้าวสูง (Taechapiroj *et al.*, 2004) โดยเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงปริมาณความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เมล็ดข้าวกล้องงอก ส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีอุณหภูมิสูงมากจนโครงสร้างของเม็ดเป้งเปลี่ยนแปลงเกิดโพรงช่องว่างขึ้น และมีความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าวกล้องงอกมากขึ้น ทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในเมล็ดมากขึ้นด้วย ซึ่งนำไปสู่การร้าวเพิ่มมากขึ้น

#### 4.3 คุณภาพการหุงต้ม

คุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวยคั้งและอากาศร้อน ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเวลาในการหุงสุก การยัดตัวตามความยาว และการสูญเสียเนื้อเป้งดังแสดงในตารางที่ 6

ก. เวลาในการหุงสุก พบว่า การอบแห้งด้วยตัวกลางทั้งสองชนิดใช้เวลาในการหุงสุกน้อยกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวยคั้งและอากาศร้อนทำให้ข้าวกล้องงอกเกิดการแตกร้าวสูงมากกว่าข้าวอ้างอิง ผลจากการแตกร้าวทำให้ในขณะหุงต้มน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ดีขึ้นทำให้เป้งสุกเร็วขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำร้อนขวยคั้งและอากาศร้อนให้สูงขึ้นไม่มีแนวโน้มให้เวลาในการหุงสุกเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน

ข. การยัดตัวตามความยาว พบว่า ข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวยคั้งมีการยัดตัวตามความยาวน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวยคั้งเกิดเจลาทิไนเซชันภายใน

เม็ดแป้งส่งผลให้โครงสร้างภายในฝักกันแน่น ทำให้การยืดตัวตามความยาวมีค่าลดลง (Swasdisevi *et al.*, 2010)

ค. การสูญเสียเนื้อแป้ง พบว่า ข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการสูญเสียเนื้อแป้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเกิดเจลาทินะชั้นภายในเม็ดแป้งส่งผลให้โครงสร้างภายในฝักกันแน่น ทำให้การสูญเสียเนื้อแป้งมีค่าลดลง (Swasdisevi *et al.*, 2010)

#### 4.4 ปริมาณสาร GABA

การศึกษาผลกระทบของการอบแห้งต่อปริมาณสาร GABA พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการอบแห้งนานส่งผลให้ปริมาณสาร GABA เกิดการสูญเสียได้ (วรินทร์ และ สุนัน, 2552) ดังนั้นการตรวจสอบหาปริมาณสาร GABA จะเลือกเฉพาะเงื่อนไขที่ใช้ความเร็วตัวกลางสูงสุดคือ 2.0 m/s เพราะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด จากการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนจาก 120 140 และ 160°C ปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความร้อนแฝงจากการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณผิวของข้าวกล้องงอกถ่ายเทเข้าไปยังเมล็ดข้าวกล้องงอกทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดข้าวกล้องงอกมีค่าสูงขึ้น (อิทธิคม, 2546) อีกทั้งผลจากการควบแน่นของไอน้ำทำให้ความชื้นของข้าวกล้องงอกเพิ่มสูงขึ้นจึงต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นเพื่อให้ได้ความชื้นเก็บรักษาตามที่ต้องการคือ 13-14% (d.b.) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณสาร GABA ได้มากกว่า