บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของสารบิวทิเลเตดไฮดรอกซีโทลูอีนและไอของเอทานอลต่อการหืนและคุณสมบัติอื่นของข้าวกล้อง โดยทำการรมข้าวกล้องด้วยไอของเอทานอล (95% v/v) ร่วมกับ BHT ระดับต่างๆ 4 ระดับ คือ 0 g/ml, 0.01 g/ml, 0.02 g/ml และ 0.03 g/ml ทำการรมเป็นระยะเวลานาน 10, 15 และ 20 นาที เก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศปกติเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า

5.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของข้าวกล้อง

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของข้าวกล้องในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า BHT และระยะเวลาที่ใช้รมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ แต่มีเพียงไอเอทานอลเท่านั้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ นั่นคือ ไม่ว่าจะใช้เวลาในการรม 10, 15 หรือ 20 นาที และไม่ว่าจะใช้ BHT ความเข้มข้น 0 g/ml, 0.01 g/ml, 0.02 g/ml หรือ 0.03 g/ml ข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลต่างมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอล ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากไอเอทานอลมีผลในการยับยั้งกระบวนการ lipolytic hydrolysis โดยจะไปทำให้เอนไซม์ไลเปสเสื่อมสภาพ ไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันในเมล็ดข้าวกล้องไม่ถูกย่อยสลายไปเป็นกรดไขมันอิสระ และยังมีฤทธิ์ในการกำจัดแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสที่อยู่บริเวณผิวของข้าวกล้อง (Champagne, 1994) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Champagne and Hron (1992b), Champagne and Grimm (1995) และการทดลองของน้ำฝน (2541) ที่พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลจะมีค่าสูงกว่าข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอล และ Champagne and Hron (1992b) ยังพบอีกว่าหากใช้เวลาในการรมนานขึ้นก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยลง นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Champagne *et al.* (1991) และ Champagne and Hron (1992a) ที่สกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอล พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าข้าวที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล และหากใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือใช้เวลาในการสกัดนานขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยลง แต่จากผลในการทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลที่ระยะเวลาต่างๆกัน

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้สารละลายหรือไอเอทานอลจะช่วยคงคุณภาพข้าวต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยากา lipolytic hydrolysis ได้ แต่การใช้สารละลายหรือไอเอทานอลที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากความร้อนจะทำลาย tocopherols ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในพวก antioxidant ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว และทำยังทำให้ hemoprotiens เกิดการเสื่อมสภาพ อีกทั้งยังทำให้ไขมันเกิดการกระจายตัวและเคลื่อนย้ายมาสู่บริเวณผิวของเมล็ดทำให้ไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น นอกจากนี้ผิวของเมล็ดที่เกิดรอยแตก รอยแยกก็จะมีผลให้ไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้นเช่นกัน (Champagne, 1994) และจากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า ไอเอทานอล และ BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ conjugated diene hydroperoxides ที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการรม

ข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลเพียงอย่างเดียวมีปริมาณ conjugated diene hydroperoxides สูงที่สุด รองลงมาคือข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.01 g/ml และข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.02 g/ml ซึ่งค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอล สำหรับข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.03 g/ml มีปริมาณ conjugated diene hydroperoxides ต่ำที่สุด แสดงว่าข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยลง เนื่องจาก BHT เป็นสารกันหืนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสารประกอบฟีโนลิค โดย BHT จะให้ไฮโดรเจนซึ่งจะไปรวมกับราดิคัลอิสระหรือรวมกับเปอร์ออกไซด์กัมมันต์ โมเลกุลของสารกันหืนจะถูกออกซิไดซ์แทนกรดไขมัน (ศศิเกษม และ พรรณี, 2530)

Champagne and Hron (1993) พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล มีปริมาณ n-hexanal ซึ่งเป็นสารที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอล และมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่มี propyl gallate, BHT หรือ tocopherols ผสมอยู่ ยิ่งถ้าใช้ propyl gallate หรือ BHT ในความเข้มข้นสูงจะไม่พบว่ามี n-hexanal อยู่เลย นอกจากนี้ Champagne and Grimm (1995) พบว่า ข้าวกล้องที่มีการใช้สาร BHT มีปริมาณ n-hexanal ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าสาร BHT นี้มีผลในการช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่การใช้สาร BHT ในการช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ยังขึ้นอยู่กับการผ่านเข้าออกของก๊าซในภาชนะบรรจุด้วย เนื่องจากภาชนะบรรจุที่มีการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่ำจะทำให้เกิดการสูญเสีย BHT ด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซในระดับต่ำ มีค่าเท่ากับ 3.227 $\times 10^{-6}$ cm^3/m^2.d.Pa (ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549)

5.2 การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้อง

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวกล้อง พบว่า การรมไอเอทานอลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มสว่างของสีและระดับสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยไอเอทานอลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L* ที่แสดงถึงความเข้มสว่างของสี แต่ BHT และระยะเวลาในการรมกลับไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L* โดยค่า L* ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลและ BHT ที่แต่ละระดับความเข้มข้น และระยะเวลาในการรมต่างๆ แสดงว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลมีความเข้มสว่างของสีมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอล ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการให้อุณหภูมิสูงกับเมล็ดข้าวกล้องทั้งก่อนและระหว่างการรมไอเอทานอล Champagne (1994) ได้กล่าวไว้ว่า การให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวกล้องจะทำให้บริเวณผิวของเมล็ดเกิดรอยแตกรอยแยก endosperm มีสีขุ่นขาว เมล็ดเกิดลักษณะท้องไข่

สำหรับค่า a* ที่แสดงถึงระดับสีแดงและสีเขียว พบว่า ไอเอทานอล, BHT และ เวลาที่ใช้ในการรม ไม่มีผลต่อระดับสีแดงและสีเขียวของข้าวกล้อง

เมื่อพิจารณาค่า b* ที่แสดงถึงระดับสีเหลืองและสีน้ำเงิน พบว่า ไอเอทานอล, BHT และระยะเวลาในการรมต่างก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b* แต่จะมีผลต่อน้อยมาก โดยข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลมีค่า b* ต่ำที่สุด และ b* จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อรมข้าวกล้องด้วยไอเอทานอลร่วมกับ BHT ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นและระยะเวลายาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า b* ของข้าวกล้องในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลจะได้รับอุณหภูมิสูงทั้งก่อนและขณะรม ซึ่งอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองของข้าวกล้อง จากรายงานของละมุล (2541) พบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงมีผลให้สีเหลืองของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ปริมาณไลซีนลดลง ซึ่งการลดลงของไลซีนนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Juliano (1985) ที่พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ปี สีของข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในขณะที่ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าว โดยอุณหภูมิสูงจะชักนำให้ข้าวมีสีเหลืองมากกว่าและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง โดยข้าวจะมีสีเข้มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงขึ้น และจากรายงานของ Indudhara Swamy *et al*. (1971) พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพที่อุณหภูมิ และความชื้นสูงจะทำให้สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีของเอนโดสเปิร์มเป็นสีเหลืองหรือปนน้ำตาลซึ่งจะทำให้เกิดข้าวเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดอะมิโนอิสระกับแป้งภายในเมล็ดข้าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา

5.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้อง

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้อง ในส่วนของลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ไอเอทานอล, BHT และ เวลาที่ใช้ในการรม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ที่เป็นค่าแสดงแรงยึดเกาะกันภายในเนื้อของอาหาร แสดงถึงการเสียรูปร่างของตัวอย่างเมื่อกัดตัวอย่าง

เมื่อพิจาณาในส่วนของค่า Hardness ซึ่งเป็นค่าแรงสูงสุดของการกดครั้งแรกในการวัดแสดงถึงความแข็ง ความกระด้างของเมล็ดข้าวสุก พบว่า เวลาที่ใช้ในการรมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Hardness แต่ไอเอทานอล และ BHT ที่ความเข้มข้นต่างๆมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Hardness โดยข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลเพียงอย่างเดียวมีค่า Hardness สูงที่สุด รองลงมาคือข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.01 g/ml ซึ่งค่าใกล้เคียงกับข้าวที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.02 g/ml รวมทั้งข้าวที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอล ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลร่วมกับBHT ความเข้มข้น 0.03 g/ml มีค่า Hardness ต่ำที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ conjugated diene hydroperoxides ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากไอเอทานอล และ BHT ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ conjugated diene hydroperoxides ซึ่งสาร conjugated diene hydroperoxides จะไปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของไขมันจะไปมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารระเหยพวกสารประกอบคาร์บอนิล และสามารถเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนได้ และกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนยังมีผลทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังพบว่า ไอเอทานอลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ที่เป็นค่าของงานที่ใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่างซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเหนียวติดกันของเม็ดข้าวสุก แต่ BHT และระยะเวลาในการรมนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness โดยข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอลมีค่า Adhesiveness มากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลและ BHT ที่แต่ละระดับความเข้มข้น และระยะเวลาในการรมต่างๆ และยังพบว่า ค่า Adhesiveness ของข้าวกล้องในแต่ละกรรมวิธีต่างก็มีแนวโน้มลดต่ำลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา อาจมีผลมาจากการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลของสตาร์ชและโปรตีนในเมล็ดที่สุกเต็มที่ให้กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้น และไม่ละลายในน้ำมากขึ้น มีผลให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้นและร่วมมากขึ้นเมื่อนำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งมาหุงต้ม (อรอนงค์, 2532) ภัทรพร (2540) รายงานว่า การบรรจุข้าวในภาชนะต่างๆ และความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนที่ต่างกัน การเปลี่ยนแปลงการเกาะตัวของข้าวสุกให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าลดลงตามอายุการเก็บรักษา นั่นคือ ข้าวสุกมีความร่วนมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ จึงทำให้การเกาะตัวมีค่าลดลง (Moritaka and Yasumatsu, 1972)

5.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

จากผลการศึกษาปริมาณเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรีย พบว่า BHT และระยะเวลาที่ใช้รมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรีย มีเพียงไอเอทานอลเท่านั้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรีย นั่นคือ ไม่ว่าจะใช้เวลาในการรม 10, 15 หรือ 20 นาที และไม่ว่าจะใช้ BHT ความเข้มข้น 0 g/ml, 0.01 g/ml, 0.02 g/ml หรือ 0.03 g/ml ข้าวกล้องที่ผ่านการรมไอเอทานอลต่างมีปริมาณเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรมไอเอทานอล ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมากจากผลของแอลกอฮอลล์ โดยแอลกอฮอลล์โดยเฉพาะชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (polyhydric alcohols) สามารถใช้เป็นสารกันเสียในอาหารหลายชนิด เพราะทำให้ค่า Aw ของอาหารต่ำลงมาก และมีผลต่อสมรรถภาพของเยื่อเมมเบรน (อรุณี, 2530) ซึ่งเอทานอลมีฤทธิ์ในการกำจัดแบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสที่อยู่บริเวณผิวของข้าวกล้อง (Champagne, 1994) ผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้เป็นไปในทางเดียวกับการทดลองของ Champagne *et al.* (1991) ที่พบว่าการสกัดข้าวกล้องด้วยสารละลายเอทานอลมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราลดต่ำลงมาก เช่นเดียวกับการทดลองของ Champagne and Hron (1992b) และการทดลองของน้ำฝน (2541) ที่พบว่าการรมข้าวด้วยไอเอทานอลมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราลดต่ำลงมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved