ผลของการทำแห้งด้วยลมร้อนและแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิผง

Effects of Hot Air and Freeze Drying Methods on Physicochemical Properties of Thai Hom Mali Rice Grass Juice Powder

สุนัน ปานสาคร[1/] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์[1/] สิริพร เซียมศิริ[1/] วิลัยภรณ์ จันทะบูรณ์[1/]

Sunan Parnsakhorn[1/] Jaturong Langakin[1/] Siriporn Siamsiri[1/] Wilaiporn Jantaboon[1/]

ABSTRACT

Rice grass juice powders were using hot air drying at the temperatures of 40° and 60°C and freeze drying methods. Their physicochemical properties (freezing point, chlorophyll content, water activity (a_w) and colour values (L*,a*,b*) were measured and compared with fresh rice grass juice and rehydration rice grass juice powders. The study has demonstrated that the qualities of freeze-dried powder were higher than that of hot air dried powder. Moreover, the rehydration freeze-dried powder has the similar qualities to the fresh ones. The freezing point of fresh rice grass juice was approximately -1 °C which contained the lowest value of total chlorophyll content (0.080 mg/g). The total chlorophyll content of freeze-dried powder increased from 0.910 to 0.990 mg/g. It was significantly higher than that of hot air dried powder which gave 0.398 and 0.999 mg/g at the temperatures of 60° and 40°C, respectively. The results revealed that the total chlorophyll content (0.116 mg/g) of rice grass juice powder decreased after rehydration. Water activity value (a_w) of freeze-dried powder decreased and was lower than 0.6 which is suitable for powder products. The whiteness, redness and yellowness values of hot air dried powders were increased after drying at the temperature of 40° และ 60°C as compared to that of fresh rice grass juice. The gradual decrease of L*b*and a* values was observed after freeze-drying process. As such, this study indicates that rehydration rice

[1/] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[1/] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, RajamangalaUniversity of Technology, Thanyaburi district, Pathum Thani proince 12110

grass juice powder which drying at low temperatures using hot air at 40°C and freeze drying methods, could maintain chlorophyll content and colour quality similar to fresh ones.

Key words: rice grass juice powder, freeze dry, chlorophyll, water activity, hot air drying

บทคัดย่อ

น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงผลิตจากวิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน (40° และ 60°ซ.) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (จุดเยือกแข็ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และทั้งหมด ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสี L*, a*,b*) กับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดและน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ทำละลายแล้ว จากการศึกษาพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ให้ผลิตภัณฑ์ผงมีคุณภาพดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากหลังการทำละลายผลิตภัณฑ์ผงให้คุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด ซึ่งน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดมีจุดเยือกแข็งประมาณ -1 °ซ. ให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่ำสุด (0.080 มก./ก.) และหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในช่วง 0.910-0.990 มก./ก. และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งให้ค่า 0.398, 0.999 มก./ก. ที่อุณหภูมิการทำแห้ง 60° และ 40°ซ. ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงหลังการทำละลาย (0.116 มก./ก.) ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผง การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำต้นข้าวอ่อนผงอบแห้งที่อุณหภูมิ 40° และ 60°ซ. มีค่า L* b* และ a* เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด ในขณะที่เมื่ออบแห้งแบบแช่เยือกแข็งค่าสี L* b* และ a* มีแนวโน้มลดลง การศึกษานี้พบว่าหลังการทำละลาย ผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นอ่อนข้าวหอมมะลิผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำทั้งแบบลมร้อน 40°ซ. และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ และคุณภาพของสีได้ใกล้เคียงกับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด

คำหลัก: น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผง ทำแห้งแบบเยือกแข็ง คลอโรฟิลล์ ปริมาณน้ำอิสระ ทำแห้งด้วยลมร้อน

คำนำ

น้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวสาลี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศโดยเฉพาะจากผู้บริโภคที่ต้องการดูแลสุขภาพ เนื่องด้วยพบว่ามีคุณค่าทางอาหารสูง มีเอนไซม์ วิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ค่อนข้างสูง (สุธีรา, 2553; Mujoriya and Bodla, 2011;) ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นสารที่พบในส่วนที่มีสีเขียวของพืช (จริงแท้, 2549) มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ช่วยล้างสาร

พิษและขจัดของเสียที่สะสมในร่างกาย กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง ลดปัญหาเส้นเลือดหัวใจตีบ และสร้างภูมิคุมกัน (ภาคภูมิ, 2550) ด้วยเหตุนี้น้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวสาลี จึงมีประโยชน์ต่อร่างกายสูง และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจำนวนมาก นอกจากนี้จากข้อมูลศูนย์วิจัยกสิกรไทย (นิรนาม,2556) พบว่าในปี พ.ศ. 2553 ตลาดเครื่องดื่มฟังก์ชั่นนัล (functional drink) หรือเครื่องดื่มสุขภาพให้พลังงานสูงเติบโตกว่าเท่าตัว (100%) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีมูลค่าทางการตลาดกว่า 4,000 ล้านบาท ดังนั้นสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติจึงได้มีการพัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวอ่อนชนิดผง ซึ่งเป็นเครื่องดื่มกลุ่มฟังก์ชั่นนัล โดยพบว่าเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และพบว่าใน 100% ของน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณคลอโรฟิลล์ถึง 70% รวมทั้งยังมีสารอาหารชนิดอื่นได้แก่ โปรตีน วิตามินอี วิตามินซี วิตามินบี 12 แมกนีเซียม เหล็กและโพแทสเซียม (Anon, 2013) ซึ่งจากการศึกษาของคณะผู้วิจัยพบว่ากระบวนการผลิตน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวต้องเริ่มตั้งแต่การปลูกข้าวเพื่อให้ได้ต้นข้าวอ่อนอายุประมาณ 7-15 วัน ก่อนที่จะนำไปคั้นน้ำ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ “ข้าวสาลี” และปลูกกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะได้ทดลองผลิตน้ำต้นข้าวอ่อนจากต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นที่นิยมในประเทศไทยทดแทนการใช้ข้าวสาลี เพราะเป็นข้าวสายพันธุ์ที่หาได้ง่ายกว่า ราคาถูก และนับได้ว่า ข้าวหอมมะลิเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย และเมล็ดข้าวหอมมะลิยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย เช่น มีวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบีรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง แมงกานีสและเส้นใยอาหาร (ผาณิตและคณะ, 2555) และคาดว่าจะพบคลอโรฟิลล์ เช่นเดียวกับ น้ำคั้นต้นข้าวสาลีอ่อนด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตามถึงแม้การบริโภคน้ำคั้นจากต้นข้าวอ่อนจะให้คุณประโยชน์ แต่ด้วยกระบวนการผลิตที่ยุ่งยาก เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง เนื่องด้วยผู้บริโภคต้องปลูกข้าวเองก่อนนำต้นข้าวอ่อนมาคั้นน้ำเพื่อบริโภค ประกอบกับวิธีการดำรงชีวิตในยุคสมัยนี้ที่ต้องการความรวดเร็วและสะดวก ดังนั้นการแปรรูปน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิให้เป็นผง น่าจะเป็นทางเลือกที่สะดวกเพื่อการบริโภค ด้วยปัจจุบันมีเทคนิคการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารผงมากมาย เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงทำให้อาหารสัมผัสกับความร้อนจนเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบ โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ หรือการระเหิด โดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณสมบัติและยังคงคุณค่าทางอาหารอยู่ สามารถทำละลายกลับได้ง่าย แต่ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง และใช้เทคนิคการทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งเป็นวิธีการดั่งเดิมที่สะดวก ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการทำ

แห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่ใช้เวลานานและบางครั้งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ ซึ่งทั้งสองเทคนิคจะศึกษาผลของการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวขาวดอกมะลิ 105 ผงที่สะดวกในการบริโภค เพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือ ข้าวหอมมะลิไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมต้นข้าวอ่อน นำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งจัดซื้อมาจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ทำความสะอาดแยกเมล็ดลีบออก นำไปแช่ในน้ำสะอาด 1 คืน หลังจากนั้นนำมาห่อด้วยผ้าข้าวบางและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท 1 คืน ระหว่างนั้นเตรียมดินลงในถาดปลูกต้นกล้า เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกได้ระยะเวลาตามที่กำหนดให้ใส่เมล็ดข้าวเปลือกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลงในดินเกลี่ยให้ทั่วหน้าดิน นำถาดปลูกต้นกล้าวางในตำแหน่งที่รับแสงอ่อนๆ รดน้ำ วันละ 1 - 2 ครั้ง ระยะเวลาประมาณ 10 - 15 วัน จะได้ต้นข้าวอ่อนที่มีความสูงประมาณ 15 - 20 ซม. จึงเตรียมตัดเพื่อนำไปคั้นน้ำต่อไป

การคั้นน้ำต้นข้าวอ่อน การเตรียมน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะทำการเตรียมครั้งเดียว ล็อตเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีอายุเฉลี่ย 10 - 15 วัน ตัดมาจากถาดปลูก ล้างน้ำให้สะอาด ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบมือหมุน โดยต้นข้าวอ่อนสด 100 ก. จะได้น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด (Rice grass juice, RGJ) ปริมาณ 10-20 ก. ซึ่งจะทำการคั้นน้ำสดให้ได้ปริมาณตามต้องการนั้นคือ อบแห้งด้วยลมร้อนจำนวน 600 มล. (3 ถาด, 40° และ 60°ซ.) อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 600 มล. (3 ถาด, -40° และ -80°ซ.) ทดสอบการการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ระหว่างกระบวนการแช่แข็งจำนวน 400 มล. (-40° และ -80°ซ.) และ 100 มล. สำหรับน้ำคั้นสด (ตัวควบคุม) โดยหลังจากได้น้ำคั้นสดแล้วแบ่งใส่ถุงพลาสติกจำนวนถุงละ 100 มล. นำเข้าตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40°ซ. เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพหากต้องเก็บไว้นานก่อนนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

การทำแห้งด้วยลมร้อน นำน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดที่เตรียมไว้ออกจากตู้แช่แข็ง และทำละลายโดยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (27±2 °ซ.) ก่อนบรรจุลงในถาดอะลูมิเนียมด้วยความหนาของน้ำคั้นข้าวอ่อนสดประมาณ 2-3 มม. และนำเข้าเครื่องอบลมร้อนยี่ห้อ Binder รุ่น FED 240 อบที่อุณหภูมิ 40 °ซ. เป็นเวลา 10 ชม. จนได้ผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 40 °ซ (RGJP (40 °ซ.)) ทำเช่นเดิมโดยเปลี่ยนอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 60 °ซ. (RGJP (60 °ซ.)) ด้วยระยะเวลาการอบ 4 ชม. นำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุในถุงพลาสติก และปิดผนึกแบบสุญญากาศ ก่อนนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่อไป

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นำน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดที่เตรียมไว้ออกจากตู้แช่แข็ง และทำละลายโดยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (27±2 °ซ.) ก่อนนำตัวอย่างน้ำคั้นต้นข้าว

อ่อนสดปริมาณ 100 มล. บรรจุในถาดอลูมิเนียมหน้าตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 ซม. ความสูง 2 ซม. และแช่ในตู้แช่แข็ง (ตรา Ever med) ที่อุณหภูมิ -40 °ซ. เป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นนำออกมาจากตู้แช่แข็งและใส่ในเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตรา Scanvac, รุ่น coolsafe 110) ด้วยระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 45 ชม. จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผง (RGJP (-40 °ซ)) จากนั้นเก็บตัวอย่างออกมาจากเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นำบรรจุในถุงพลาสติกใส และปิดผนึกแบบสุญญากาศ ก่อนนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่อไป โดยระยะเวลาการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีจะทำหลังการทำแห้งไม่เกิน 7 วัน จากนั้นทำเช่นเดิมด้วยตัวอย่างใหม่ของน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด แต่ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของการแช่แข็งน้ำคั้นต้นข้าวอ่อน ที่อุณหภูมิ -80 °ซ. เป็นเวลา 24 ชม. และนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลาประมาณ 45 ชม. จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผง [RGJP (-80 °ซ.)] เก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบต่อไป

กรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการแช่แข็งเพื่อเปรียบเทียบผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกรณีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) และการแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) ทำได้โดยนำตัวอย่างน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดจำนวน 200 มล. ใส่ในภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ไว้ ที่ ตำแหน่งกึ่งกลางของของเหลวที่บรรจุในภาชนะเพื่อวัดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ตรา Fuke รุ่น 2625A บันทึกผล ก่อนนำภาชนะพลาสติกพร้อมสายเทอร์โม คัปเปิลวางในตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -40 °ซ. และ -80 °ซ. ตามลำดับ

การทำละลายน้ำต้นข้าวอ่อนผง (Rehydrated rice grass juice powder, RHGJP) นำผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ได้จากขั้นตอนการทำแห้ง โดยเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุดจำนวน 1 สภาวะการทดสอบมา ปริมาณ 2 ก. ละลายด้วยน้ำกลั่นโดยค่อยๆ เติมน้ำพร้อมคนให้เข้ากัน และวัดการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) จนกระทั่งได้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด ก่อนนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ : นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นข้าวอ่อนผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จำนวน 1 ก. เตรียมสารละลายอะซิโตนเข้มข้น 80% ปริมาณ 20 มล. หลังจากนั้นผสมสารละลายอะซิโตนกับตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนัก คนให้เข้ากัน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Genesys 10 UV-Vis) ที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายอะซิโตนเข้มข้น 80% ในการสอบเทียบ และคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ในหน่วยมก.ต่อ 1 ก.น้ำหนักตัวอย่าง (มก./ก. of sample) (Hiscox and Israelstam, 1979) จากสมการ

Chlorophyll (a)

$$= [12.7(OD663)-2.69(OD645)]x \frac{V}{1000xW(g)} \quad (1)$$

Chlorophyll (b)

$$= [22.9(OD645)-4.68(OD663)]x \frac{V}{1000xW(g)} \quad (2)$$

Total Chlorophyll

$$= [20.2(OD645)-8.02(OD663)]x \frac{V}{1000xW(g)} \quad (3)$$

เมื่อ OD_{663} และ OD_{645} = ค่า Optical density ที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร และ 645 นาโนเมตร

V = ปริมาตรของสารละลายอะซิโตนที่ใช้สกัดคลอโรฟิลล์ (มล.)

W = มวลของตัวอย่างที่นำมาสกัดคลอโรฟิลล์ (ก.)

- ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) : ใช้เครื่องมือวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ AquaLab series รุ่น TE3

- ค่าสี (colour): เครื่องมือที่ใช้ในวัดค่าสี คือ colour difference meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L*, a*, b* ซึ่งค่าทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจงโดยที่ค่า L* คือค่าความสว่าง (lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a* คือค่าความเป็นสีเขียว (greenness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและมีค่าความเป็นสีแดง (redness) เมื่อมีค่าเป็นลบ และค่า b* คือค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard calibration plate ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% [one-way analysis of variance (ANOVA)] และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ DMRT

ผลการทดลองและวิจารณ์

การเตรียมตัวอย่างน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิโดยใช้เครื่องคั้นน้ำแบบมือหมุนพบว่า น้ำคั้นสดที่ได้มีปริมาณ 10-20 ก. เมื่อเทียบกับต้นข้าวอ่อนจำนวน 100 ก. ลักษณะของน้ำคั้นจะมีสีเขียวเข้ม และเมื่อตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำพบว่ามีค่าประมาณ 3 °Brix ตัวอย่างน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดที่ได้ นำเข้าสู่กระบวนการแช่เยือกแข็งทันที เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการแช่แข็งที่อุณหภูมิของเครื่องแช่แข็ง -40° และ -80°ซ. ตามลำดับ

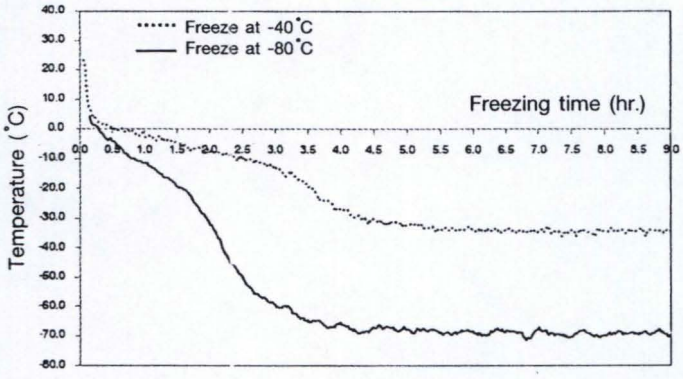

Figure 1. Temperature profiles of the rice grass juice samples during the freezing step at -40° and -80 °ซ.

เมื่อน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสดผ่านกระบวนการแช่แข็งที่อุณหภูมิของเครื่องแช่แข็ง -40°ซ. และ -80°ซ. ให้ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการ (Figure 1) พบว่าอุณหภูมิตัวกลางของเครื่องแช่แข็งมีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ -80°ซ. สังเกตพบว่าอุณหภูมิน้ำคั้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชม.แรก ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะการแช่แข็งแบบเร็ว โดยที่การแช่แข็งแบบเร็วนี้จะส่งผลให้ได้คุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งแล้ว (Babic *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวสดเริ่มต้นเท่ากับ 25°ซ. ลดลงไปที่ -35°ซ. ใช้เวลาประมาณ 5.5 ชม. และลงไปที่ -70°ซ. ใช้เวลาประมาณ 4.5 ชม. ซึ่งมีแนวโน้มคงที่ จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาพบว่าจุดเยือกแข็งของน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนอยู่ที่ประมาณ -1°ซ. หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งแล้วเป็นเวลาทั้งสิ้น 24 ชม. ก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งต่อไป

แสดงการวิเคราะห์หาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (RGJP (-40°ซ.) และ RGJP (-80°ซ.) และแบบ

Table 1. Chlorophyll a, b and total chlorophyll contents of rice grass juice and rice grass juice powder

Treatment	RGJ*	RGJP** (40°C)	RGJP (60°C)	RGJP (-40°C)	RGJP (-80°C)	RHGJP
Chlorophyll a (mg/g)	0.060±0.000a	0.615±0.001f	0.286±0.003c	0.615±0.001e	0.534±0.004d	0.073±0.001b
Chlorophyll b (mg/g)	0.020±0.001a	0.356±0.001c	0.112±0.001c	0.375±0.003e	0.376±0.002e	0.043±0.004b
Chlorophyll total (mg/g)	0.080±0.000a	0.999±0.001f	0.398±0.002c	0.990±0.002e	0.910±0.006d	0.116±0.003b

Means (n=3) ± standard deviation in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

* = Rice grass joice; ** = Rice grass juice powder

ลมร้อน [RGJP (40°ซ.) และ RGJP (60°ซ.)] พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำคั้นสด ก่อนการทำแห้งและหลังการคืนตัวแล้ว (Rehydeated rice juice powder) ซึ่งคลอโรฟิลล์ เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืชทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต โดยคลอโรฟิลล์เอ มีโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างจากคลอโรฟิลล์บี โครงสร้างที่แตกต่างกันนี้ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมถึงการดูดกลืนแสงก็ที่แตกต่างกัน ดังนั้นคลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้จึงมีสีที่แตกต่างกันคือ คลอโรฟิลล์เอ มีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์บีมีสีเขียวที่อ่อนกว่า (Campbell and Farrell, 2009) จากการทดลองพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในช่วง 0.9100.006 - 0.9900.002 มก./ก. และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งให้ค่าในช่วง 0.3980.002 มก./ก. และ 0.9990.001 มก./ก. ที่อุณหภูมิการทำแห้ง 60° และ 40°ซ. (Table 1)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในน้ำคั้นสดมีค่าต่ำสุด (0.0800.000 มก./ก.) อันเนื่องมาจากการมีปริมาณน้ำที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกรณีหลังการทำแห้ง ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแล้วมาทำละลายกลับด้วยน้ำ จึงพบว่าให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ 0.1160.003 มก./ก. ใกล้เคียงกับน้ำคั้นสด รวมถึงการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 40°ซ. ให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ. ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงขึ้น ทำให้โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงและลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°ซ. ยังคงให้ค่าคลอโรฟิลล์ที่ใกล้เคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งการลดลงของคลอโรฟิลล์เมื่อได้รับความร้อนสูงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง 2 สาเหตุหลัก (Eskin, 1990) คือ 1) การทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงแต่ไม่เกิน 75°ซ. โดยจะเร่งปฏิกิริยาทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง และ 2) การเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากกรด โดยปกติเซลล์พืชเมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ ซึ่งกรดนี้จะไปเร่งปฏิกิริยาทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็น pheophytin ซึ่งมีสีเขียวเหลือง (Lajallo and Lanfer, 1982) นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี ยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ดังที่ได้อธิบายไปแล้วเช่นกัน

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบลมร้อน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำคั้นสดก่อนการทำแห้งและหลังการคืนตัวแล้ว ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้งได้เป็นอย่างดี ในการทดสอบปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของน้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวหอมมะลิก่อนและหลังกระบวนการอบแห้ง พบว่าเทคนิคและกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลต่อปริมาณน้ำ

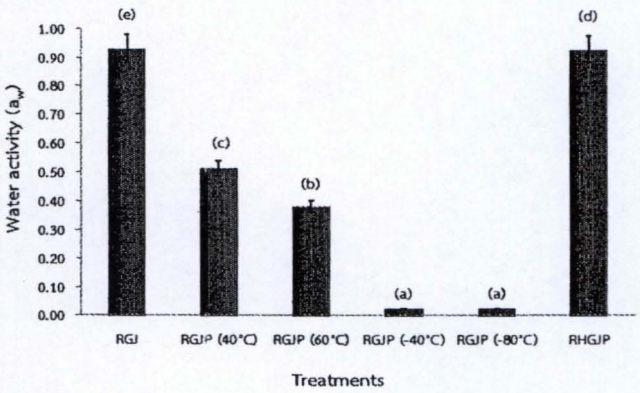

Figure 2. Water activities of rice grass juice, rice grass juice powder and rehydrated rice grass juice powder; for the treatment bars labelled with a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

อิสระโดยผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ได้ควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระหลงเหลืออยู่น้อยกว่า 0.6 โดยอ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ใบย่านางผง (มผช. 858/2548) ทั้งนี้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณค่าของผลิตภัณฑ์ (Table 2)

การทดสอบค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.932 ในน้ำคั้นสด เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ. มีปริมาณน้ำอิสระลดลงเหลือ 0.514 และมีแนวโน้มลดลง (0.381) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 60°ซ. ซึ่งจากการสังเกตพบว่าผงที่ได้ค่อนข้างแห้งมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิการแช่แข็ง -40° และ -80°ซ. พบว่าปริมาณน้ำอิสระลดลงเหลือเพียง 0.025 เท่านั้น คาดว่าผลิตภัณฑ์ผงจะสามารถลดการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้มากขึ้น และอาจมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานมากขึ้นด้วยเช่นกัน (เศรษฐการ, 2554) การลดลงของค่าปริมาณน้ำอิสระนี้ นอกจากมีผลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำแห้งแล้วด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น ก็ส่งผลต่อการลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การลดลงของค่าปริมาณน้ำอิสระยังส่งผลต่อความสามารถในการละลายกลับของผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผง ซึ่งพบว่าการลดลงของค่าปริมาณน้ำอิสระทำให้ความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น (เศรษฐการ, 2554) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการเลือกผลิตภัณฑ์ผงน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ -40°ซ. มาทดลองในขั้นตอนของการละลายเพื่อทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมีหลังการละลายแล้ว

ค่าสี ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงและแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีในรูปแบบของค่า L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบลมร้อน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำคั้นสดก่อนการทำแห้งและหลังการคืนตัวแล้ว (Figure 3) พบว่าการอบแห้งน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนที่อุณหภูมิ 60°ซ. ให้ค่า L* สูงสุด (42.82) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°ซ. และการทำแห้งแบบเยือกแข็ง กรณีของการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนจะใช้เวลาน้อย ดังนั้นการสัมผัสกันระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศร้อนจึงเป็น

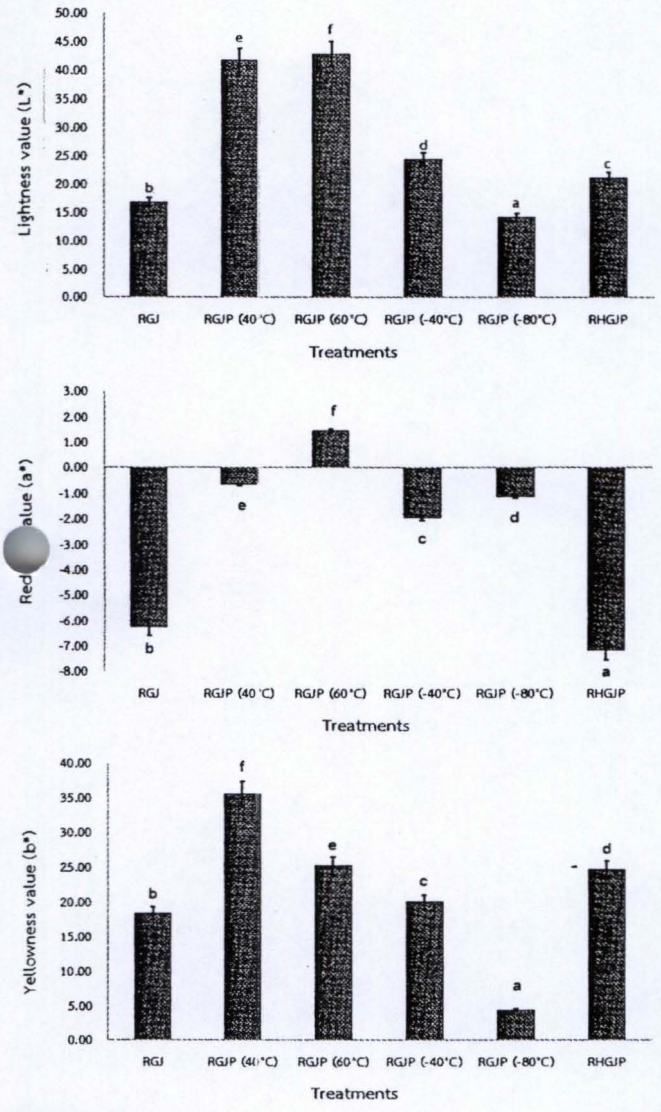

Figure 3. Colour changes (L*, a*, b*) of rice grass juice, rice grass juice powder and rehydrated rice grass juice powder, I = standard deviation, and for the treatment bars labelled with a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

เพียงเวลาสั้นๆ ในขณะที่การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งค่า L* กลับลดลงบ่งบอกความสว่างมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนานถึงแม้อุณหภูมิจะต่ำ จึงทำให้ความชื้นลดลงและแห้งมากขึ้นดังนั้นตัวอย่างผงที่ได้จึงมีค่าความสว่างลดลง

การเปรียบเทียบค่า a* ของผลิตภัณฑ์ต้นข้าวอ่อนผงที่สภาวะการทดสอบต่างๆพบว่าให้ผลที่แตกต่างกันในทางสถิติทุกกรณี โดยปรากฏว่าค่า a* ของการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 40° และ 60°ซ. มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้สังเกตได้ชัดเจนว่ากรณีค่า a* เป็นบวกคือสีมีแนวโน้มไปในทางสีแดงหรือค่าความเป็นสีเขียวลดลงซึ่งเกิดขึ้นกับการอบแห้งชนิดลมร้อนอุณหภูมิ 60°ซ. มีค่า a* เท่ากับ 1.44 ทั้งนี้ยังเชื่อมโยงอย่างเห็นได้ชัดกับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ (Table 1) และเมื่อน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งให้ค่า a* ในช่วง -1.16 และ -1.98 ซึ่งอยู่ในช่วงของความเป็นสีเขียว เช่นเดียวกับค่า ความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์น้ำต้นข้าวอ่อนผงที่ได้ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อน 40° และ 60°ซ. โดยให้ค่า b* เท่ากับ 35.52 และ 25.16 ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูง ส่งผลให้ผงที่ได้มีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนส่งผลต่อการเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสีของผลิตภัณฑ์น้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผง (Lee *et al.*, 2012) ในขณะที่การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้อุณหภูมิแช่แข็ง -40°ซ. มีค่า b* ใกล้เคียงกับน้ำต้นข้าวอ่อนสดและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิการแช่แข็งติดลบมากขึ้นที่ -80°ซ. นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผงมาผ่านการละลายน้ำยังสังเกตพบว่าให้ค่าความเป็นสีในส่วน L* a* และ

b* ใกล้เคียงกับน้ำคั้นสด ดังนั้นการทำแห้ง ที่สภาวะที่เหมาะสมจึงยังสามารถคงคุณค่าทางอาหารและสะดวกต่อการนำไปบริโภค หรือหมายความว่าคุณสมบัติทางกายภาพที่ปรากฏก่อนและหลังการทำแห้งไม่เปลี่ยนแปลง

สรุปผลการทดลอง

หลังอบแห้งน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนผงพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าที่อุณหภูมิสูง การอบแห้งแบบลมร้อนที่ 40°ซ. และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคลอโรฟิลล์เอ บี และทั้งหมดใกล้เคียงกัน สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°ซ. ให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำสุด การทดสอบปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.6 ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานมากขึ้น โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60° และ 40°ซ. มีค่า 0.381-0.514 ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าปริมาณน้ำอิสระหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์น้ำต้นข้าวอ่อนผงที่อุณหภูมิ 40° และ 60°ซ. มีค่า L* b* และ a* เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีสีเขียวลดลงบ่งบอกได้ถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงเช่นกัน สำหรับการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า L* และ b* เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยและมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการแช่แข็งติดลบมากขึ้น สำหรับค่า a* พบว่ายังคงเข้าใกล้ความเป็นสีเขียวมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (40°ซ.) น้ำต้นข้าวอ่อนผงจะมีสีที่ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (60°ซ.) รวมถึงการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิการแช่แข็ง -40°ซ. ให้ผลิตภัณฑ์ผงมีคุณภาพดี โดยพิจารณาจากหลังการทำละลายผลิตภัณฑ์ผงให้คุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำคั้นต้นข้าวอ่อนสด ทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และทั้งหมด รวมถึงคุณภาพด้านสีที่ใกล้เคียงเช่นเดียวกัน

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและสถานที่เพื่อทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.* ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 453 หน้า.

ภาคภูมิ พรประเสริฐ. 2550. *สรีรวิทยาของพืช.* *สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.* กรุงเทพฯ. 214 หน้า.

นิรนาม 2548. *ใบย่านางผงสำเร็จรูป.* มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 858/2548. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 5 หน้า.

นิรนาม. 2556. *เครื่องดื่มฟังก์ชั่นนัล (Functional*

drink). http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201012&section=623/July/2556.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ วิชชุดา สังข์แก้ว และเสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์. 2555. คุณค่าทางโภชนาการของข้าว 9 สายพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2) (พิเศษ):* 173-176.

เศรษฐการ นุชนิยม. 2554. การผลิตตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์* 19(2):51-63.

สุธีรา มูลศรี. 2553. *คุณประโยชน์ของน้ำคั้นต้นข้าวสาลีอ่อน.* http://www.smg.brrd.in.th. 20/December/2555.

Anon . 2013. *Wheatgrass Juice.* http://www.energiseforlife.com/wheatgrass__juice.php. 24/July / 2013.

Babic, J., M.J., Cantalejo, and C.Arroqui, 2009. The effect of freeze-drying process parameters on broiler chicken breast meat. *LWT-Food Sci. and Tech.* 42: 1325-1334.

Mujoriya, R., and R.B Bodla, 2011. A study on wheat grass and its nutritional value. *Food Sci. and Quality Manage.* 2, 1-9.

Campbell, M.C. and S.O. Farrell 2009. *Biochemistry.* 6th edition. Thomson brooks/cole. United Kingdom. 647p.

Eskin, N.A. 1990. *Biochemistry of Food.* New York: Acadamic Press. 539p.

Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian J. of Bot.* 57(12): 1332-1334.

Lajallo, F.M. and M.U.M. Lanfer. 1982. Chlorophyll degradation in spinach system at low and intermediate water activity. *J. of Food Sci.* 47(6):1995–1998, 2003.

Lee, C.W., H.J.,Oh, S.H.,Han, and S.B.Lim, 2012. Effects of hot air and freeze drying methods on physicochemical properties of citrus 'Hallabong' powders. *Food Sci. and Biotech.* 21(6): 1633-1639.