ศึกษาคุณลักษณะคุณสมบัติทางวิทยากระแสและความร้อนของเจลสตาร์ชแช่เยือกแข็งจากข้าว

กรรณิการ์ ห้วยแสน*

บทคัดย่อ

นำสตาร์ชจากข้าว 9 พันธุ์ ที่เพาะปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ขาวดอกมะลิ105 หอมสุพรรณบุรี หอมคลองหลวง1 ขาวตาแห้ง17 สุพรรณบุรี2 สุพรรณบุรี60 เหลืองประทิว123 ชัยนาท1 และพลายงามปราจีนบุรี โดยมาแยกส่วนสตาร์ชออกด้วยสารละลายเบส นำสตาร์ชจากข้าวแต่ละพันธุ์ไปศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน วิทยากระแสและคุณลักษณะอื่นของเจลแช่เยือกแข็งจากข้าว ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งได้สองส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชจากข้าว ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางความร้อนและวิทยากระแสของเจลสตาร์ชแช่เยือกแข็งจากข้าว ส่วนที่สองวิเคราะห์ผลของการเติมสารเจือปนอาหารต่อคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางความร้อนและทางวิทยากระแสของเจลสตาร์ชแช่เยือกแข็งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1

จากผลวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส สามารถแบ่งสตาร์ชจากข้าวที่ทดลองได้เป็น 3 กลุ่ม (แอมิโลสต่ำ; 12-20 % แอมิโลสปานกลาง; 20-25 % และแอมิโลสสูง; >25%) สตาร์ชจากข้าวกลุ่มแอมิโลสสูง มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงสุด ($P\leq0.05$) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA พบว่าปริมาณแอมิโลสมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการเกิดเพสต์ของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงให้ค่าความหนืดที่จุดสูงสุดและค่าการแตกตัวต่ำที่สุด ($P\leq0.05$) มีค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวสูงสุด ส่วนความคงตัวในการคืนรูปจากแช่เยือกแข็ง 5 รอบ ของเจลสตาร์ชจากข้าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 หาได้โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเจลสดกับเจลแช่เยือกแข็งที่ให้ความร้อนอีกครั้ง ค่าความแข็งของเจลวัดโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสที่แรงกดร้อยละ 15 และ 70 ของความหนาเจล และการขับของเหลวออกจากเจล ซึ่งวัดได้จากการใช้ตุ้มน้ำหนักวางไว้บนเจลเพื่อให้น้ำแยกตัวออกมาจากเจล พบว่าเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น เจลสตาร์ชจากข้าวสุพรรณบุรี2 (ปริมาณแอมิโลสปานกลาง) มีความคงตัวมากที่สุดต่อการคืนรูปจากเยือกแข็ง 5 รอบ จากการทดสอบค่าความแข็งของเจลแช่เยือกแข็งและเจลแช่เยือกแข็งที่ให้ความร้อนอีกครั้ง ที่ระยะเวลาการเก็บแช่เยือกแข็ง 1 15 30 45 60 90 และ 120 วัน พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บแช่เยือกแข็งและเมื่อให้ความร้อนอีกครั้ง เจลจากข้าวกลุ่มแอมิโลสต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในเจลแช่เยือกแข็งและเจลที่ให้ความร้อนอีกครั้งของกลุ่มแอมิโลสสูงและปานกลางนั้น พันธุ์ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลกระทบต่อค่าความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยการเก็บเป็นเวลา 30 วัน ทำให้เจลมีค่าความแข็งสูงสุด แต่การเก็บที่ 1 วัน กับ 120 วัน ให้ค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากแรงกดที่ร้อยละ 15 ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม การใช้แรงกดที่ร้อยละ 70 ของการเก็บที่ 30 วันของเจลแช่เยือกแข็งจากกลุ่มแอมิโลสสูงให้ค่าความแข็งสูงสุด หลังจาก 30 วัน ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บจนถึง 120 วัน กเว้นเจลจากสตาร์ชของข้าวเหลืองประทิว 123 พบว่าหลังระยะเวลาการเก็บที่ 30 ถึง 120 วัน ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น ส่วนเจลกลุ่มแอมิโลสปานกลาง การเก็บที่ 30 และ 90 วัน มีค่าความแข็งสูงสุด สำหรับการทดสอบที่แรงกดร้อยละ 70 ในกลุ่มแอมิโลส ปานกลางการเก็บแช่เยือกแข็งที่ 1 วัน มีค่าความแข็งสูงสุดและสูงกว่าเจลสด แต่เจลที่เก็บไว้ 1 วัน กับ 120 วัน มีค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างไม่มี

---

* ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 219 หน้า.

นัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามในกลุ่มแอมิโลสสูงค่าความแข็งของเจลที่ให้ความร้อนอีกครั้งมีค่าใกล้เคียงกับเจลสดยกเว้นเจล จากข้าวชัยนาท1 ทั้งนี้เจลจากข้าวทุกตัวอย่าง พบว่าการเก็บที่ 15 วัน ให้ความแข็งเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว และเจลยังคงความแข็งคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บจาก 15 ถึง 120 วัน ยกเว้นเจลจากข้าวพลายงามปราจีนบุรีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและลดลง (ไม่คงที่) ตลอดระยะเวลาของการแช่เยือกแข็ง การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนจากสตาร์ชจากข้าว 9 พันธุ์ ที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ชร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) จากการศึกษาการให้ความร้อน การแช่เยือกแข็งและการให้ความร้อนอีกครั้งแก่เจลแช่เยือกแข็ง พบว่าพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสตาร์ชมีผลกระทบต่ออุณหภูมิเริ่มต้น (To) อุณหภูมิพีค (Tp) และค่าเอนทัลปี (ΔHG) ของการให้ความร้อนแก่เจล โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือเจลจากข้าวสุพรรณบุรี2 มีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิพีคและค่าเอนทัลปีสูงสุด เมื่อความเข้มข้นของเจลสตาร์ชเพิ่มขึ้น (40-50 %) ทำให้เจลมีอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิพีคต่ำสุด การเพิ่มความเข้มข้นของสตาร์ชในเจล ทำให้ค่าเอนทัลปีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ยกเว้นที่ความเข้มข้นของสตาร์ชที่ร้อยละ 50 ผลการแช่เยือกแข็งเจลจากข้าว พบว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของการแช่เยือกแข็ง (Tgf) อยู่ในช่วงอุณหภูมิ -46.05 ถึง -48.22 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทัลปีของการแช่เยือกแข็ง (ΔHf) จาก 56.17 ถึง 110.62 จูลต่อกรัม โดยพันธุ์ข้าวมีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Tcc) ($P\leq0.05$) และเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชลดลง คือปริมาณน้ำมากขึ้น ทำให้ Tcc เพิ่มขึ้น ($P\leq0.05$) แต่ทั้งนี้พันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสตาร์ชไม่มีผลกระทบต่อ Tgf ($P>0.05$) และชนิดของพันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อค่า Tg, Tm และΔH ($P>0.05$) แต่ความเข้มข้นของสตาร์ชมีผลต่อค่าเหล่านี้ ($P\leq0.05$) โดยที่ค่า Tg, Tm และΔH ของเจลจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ อยู่ในช่วง -8.20 ถึง – 9.03 องศาเซลเซียส 0.10 ถึง – 0.57 องศาเซลเซียส และ 67.26 ถึง 124.91 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางวิทยากระแส พบว่าเจลจากข้าวกลุ่มแอมิโลสสูง ให้ค่า G/(storage modulus) สูงกว่ากลุ่มแอมิโลสปานกลางและต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) แต่เจลจากข้าวทุกตัวอย่างที่มีแอมิโลสต่างกัน มีค่า G// (loss modulus) และค่า tan delta แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

งานวิจัยในส่วนที่สองได้ทดลองผลการเติมสารเจือปนอาหาร 4 ชนิด (อัลจิเนต กัวกัม ไฮเมทอกซีเพกทิน และทรีฮาโลส) ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ (ร้อยละ 0.0, 0.2, 0.4 และ 0.6) ในเจลจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ความเข้มข้นของสตาร์ชร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง พบว่าชนิดและสารเจือปนอาหารทั้ง 4 ชนิด มีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเพสต์ ($P\leq0.05$) ซึ่งการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ ให้ค่าความหนืดที่จุดสูงสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวเพิ่มขึ้น การเติมทรีฮาโลส ให้ค่าการแตกตัว ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัว ไม่แตกต่างจากข้าวชัยนาท1 การขับของเหลวออกจากเจลในเจลคืนรูปจากเยือกแข็งทุกตัวอย่างที่ทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่าง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การศึกษาระยะเวลาการเก็บเจลแช่เยือกแข็ง พบว่าเจลที่เติมไฮเมทอกซีเพกทินร้อยละ 0.4 และ 0.6 มีการขับของเหลวออกจากเจลสูงที่สุดและทรีฮาโลส ร้อยละ 0.2 มีการขับของเหลวออกจากเจลต่ำที่สุด เจลที่เติมสารเจือปนอาหารหลังการคืนรูปจากเยือกแข็ง มีค่าความแข็งที่แรงกดร้อยละ 15 และ 70 ของความหนาเจล แตกต่างต่างกัน เจลแช่เยือกแข็งที่เติมอัลจิเนตและกัวกัม ให้การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเจลน้อยกว่าเจลสด ส่วนเจลสดที่เติมทรีฮาโลสร้อยละ 0.4 และ 0.6 ให้ลักษณะเจลที่มีความนุ่ม แต่เมื่อเจลนี้ถูกนำไปแช่เยือกแข็ง จะให้เจลที่มีความแข็งเพิ่มขึ้นสูงที่แรงกดร้อยละ 70 อย่างไรก็ตามค่าความแข็งนี้ มีค่าใกล้เคียงกับเจลสดและเจลแช่เยือกแข็งที่ให้ความร้อนอีกครั้งของเจลควบคุม คือเจลจากข้าวชัยนาท1 สำหรับเจลแช่เยือกแข็งที่เติมและไม่เติมสารเจือปนอาหารทั้งหมด มีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการแช่แข็งที่เวลา 30 ถึง 45 วัน หลังจากนั้นค่าความแข็งของเจลก็จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ 60 วัน และจะคงที่จนถึงการแช่

เยือกแข็งที่ 120 วันของแรงกดทั้ง 2 แบบ สำหรับเจลที่เติมสารเจือปนอาหารมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความแข็งคล้ายกัน แต่ความแข็งในช่วงระยะเวลาการเก็บต่างๆ กัน ทำให้ค่าความแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ชนิดและปริมาณของสารเจือปนอาหารชนิดและปริมาณสารเจือปนอาหารทั้ง 4 ชนิดที่เติมในเจล ไม่มีผลต่อค่า To, Tp และ ΔH ($P>0.05$) ส่วนเจลที่เติมอัลจิเนตให้อุณหภูมิ Tgf และ Tcc สูงสุดที่อุณหภูมิ -29.26 และ -14.44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่ระดับความเข้มข้นของสารเจือปนอาหารไม่มีผลต่อค่า Tgf และ Tcc ($P>0.05$) การให้ความร้อนอีกครั้งแก่เจลแช่เยือกแข็งที่เติมไฮเมทอกซีเพกทินร้อยละ 0.6 มีอุณหภูมิ Tm สูงสุด (1.29 องศาเซลเซียส) และเจลที่เติมทรีฮาโลสร้อยละ 0.6 มีอุณหภูมิ Tm ต่ำสุด (0.58 องศาเซลเซียส) สำหรับการวัดทางวิทยากระแส พบว่าทั้งชนิดและปริมาณสารเจือปนอาหาร มีผลต่อค่า G/ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า G/ /และ tan delta ($P>0.05$) และเจลที่เก็บแช่เยือกแข็งนาน 30 วัน มีค่า G/ สูงกว่าเจลสด

Characterization, Rheological and Thermal Properties of Frozen Rice Starch Gels

Kannika Huaisan*

Abstract

Nine rice varieties grown in Thailand (KaoDokmali105, KDML105; Homsupanbure, HSPR; HomklongLaung1, HKLG1; KaoTaHang17, KTH17; Supanbure2, SPR2; Supanburi60, SPR60; LeungPraTew123, LPT123; Chainat1, CNT1; and PlaiNgramPrajeenBuri, PNPCR) were extracted for starches and used to study on thermal, rheological properties and other characteristics of frozen gels. This study contained two main parts: part I- Study on physicochemical of rice starch, textural, thermal and rheological properties of frozen rice gels; and part II- Study the effects of food additives on physicochemical of rice starch, textural, thermal and rheological properties of frozen rice gels produced from CNT1.

In part I, all starches were analyzed for amylose content and classified in 3 groups (low at 12-20 %, medium at 20-25 %, and high at >25 %). High amylose starches contained the highest protein and fat content ($P \leq 0.05$). Amylose content significantly affected pasting properties determined by RVA ($P \leq 0.05$). High amylose starches showed the lowest peak viscosity and breakdown and the highest final viscosity and setback. Freeze-thawed stability of 30% (w/w) gels from different rice varieties were determined by the changes in hardness and syneresis (%) of reheated frozen gels from fresh gel. The hardness of gels was measured using TA-XT2 texture analyzer with 15 % and 70 % compression. The syneresis was determined by the weight of water released after freeze-thawed frozen gels. Freeze-thawing with 5 cycles produced softer gels compared to the fresh gels and SPR2 gel (medium amylose content) showed the highest freeze-thawed stability compared to all rice varieties. The effects of frozen storage time (at 1, 15, 30, 45, 60, 90 and 120 days) on hardness of frozen and reheated gels were studied. The low amylose gels showed no significant changes ($P > 0.05$) for all frozen and reheat gels at both compression levels from 1 to 120 days of frozen storage time. For high and medium amylose gels, rice varieties and frozen storage time significantly affected hardness of frozen and reheated gels. The high and medium amylose gels had the hardest gels and at 30 days of frozen storage time but no significant difference at 1 to 120 days using 15% compression. However, at 70% compression, the high amylose gels showed the highest in hardness at 30 days of frozen storage and decreased from 30 to 120 days, except LPT123 which increased in hardness again from 30 to 120 days. The medium amylose gels showed the highest in hardness at 30 and 90 days of frozen storage. For the reheated gels with 70 % compression, the medium amylose gels had higher hardness at 1 day frozen than fresh gels but no significant difference at 1 day and 120 days. However, the high amylose reheated gels with 70 % compression, had similar hardness to fresh gels except CNT1 and all these gels

---

* Doctor of Philosophy (Food Technology), Faculty of Technology, Khon Kaen University. 219 pages.

showed sharply increasing in hardness at 15 days and remain high in hardness from 15 to 120 days except PNPCR which had a fluctuation in hardness.

For Thermal properties test, starch from the nine rice varieties and 4 levels of starch concentration (20, 30, 40, and 50%) were used to study using DSC. Three steps of heating, freezing and reheating were performed in DSC test to investigated for on set temperature (T_o), Peak temperature (T_p), enthalpy of heating (ΔH_G), glass transition temperature of freezing (T_{gf}), cold-crystallization temperature (T_{cc}), enthalpy of freezing (ΔH_f), glass transition temperature of reheating (T_g), the melting temperature (T_m) and enthalpy of reheating (ΔH). Both rice variety and starch concentration had significantly affected T_o, T_p and ΔH_G ($P \leq 0.05$). SPR2 (medium amylose gel) had the highest T_o, T_p and ΔH_G. For starch gelatinization test, the high starch concentration (40 and 50%) showed the lowest T_o and T_p. The increase of starch concentrations, showed the increase in ΔH_G ($P \leq 0.05$) except at 50% concentration. Frozen gels from different rice varieties showed similar T_{gf} (-46.50 to -48.22 ^oC) and ΔH_f (56.17 to 110.62 J/g). Rice variety significantly affected T_{cc} ($P \leq 0.05$). High amount of water or low starch concentration gels significantly increased T_{cc} ($P \leq 0.05$). Both rice variety and starch concentration had no significantly effect T_{gf} ($P > 0.05$). Rice variety had no significantly effect T_g, T_m and ΔH ($P > 0.05$) but starch concentration had significantly affected T_g, T_m and ΔH ($P \leq 0.05$). The rice gels had T_g, T_m and ΔH range from -8.20 to -9.03 ^oC, 0.10 to -0.57 ^oC, and 62.25 to 124.91 J/g, respectively. For rheological test, High amylose gels had significantly higher storage modulus (G') than medium and low amylose gels ($P \leq 0.05$) but there were no significant effect on loss modulus (G'') and tan delta ($P > 0.05$) for all levels of amylose gels. For rheological test, High amylose gels had significantly higher storage modulus (G')) than medium and low amylose gels ($P \leq 0.05$) but there were no significant effects on loss moldulus (G'') and tan delta ($P > 0.05$) for all levels of amylose gels.

In part II, the addition of four food additives (alginate, guar gum, high methoxyl pectin and trehalose) at 4 levels of concentration (0, 0.2, 0.4 and 0.6 %) in 30 % (w/w) in CNT1 starch were studied. Pasting properties of CNT1 starch significantly affected by types and levels of food additives added ($P \leq 0.05$). All hydrocolloid increased peak viscosity, final viscosity, and setback of starch suspension but trehalose showed similar breakdown, final viscosity, and setback to CNT1 starch. Gels with all additives showed no significant difference in % syneresis after freeze thawed. However, for frozen storage, gels with 0.4 and 0.6% high methoxyl pectin showed the highest % syneresis but 0.2% trehalose showed the lowest. Freeze-thawed gels with additives caused the difference in hardness at 15 and 70% compression. Alginate and guar gum gave small changes in gel hardness compared to their fresh gels. Addition of 0.4 and 0.6% trehalose produced soft fresh gels but the frozen gels had high percent changes in hardness at 70% compression. However, the values were the most similar to fresh and reheated gels of the control (CNT1 without additives). For all frozen storage gels (with/without additives), gel hardness was drastically increased from 30 to 45 days, drastically decreased to 60 days and then more stable until 120 days of frozen storage at both compressions. Patterns of the changes in hardness were similar for all additives but the high and low value depended on types and level of additives.

There was no different in T_o, T_p and ΔH_G for all heated starches with/without additives ($P \leq 0.05$). For frozen stage, alginate increased T_{gf}, and T_{cc} (-29.29 ^{o}C and -14.44 ^{o}C, respectively) of frozen starch gels. All additives at 0.2, 0.4 and 0.6% increased T_{gf}, and T_{cc} and did not significantly difference among levels. Reheated gels with 0.6% high methoxyl pectin had the highest T_m (1.29 ^{o}C) and 0.6% trehalose had the lowest Tm (0.58 ^{o}C). For rheological test, types and levels of additives affected G' ($P \leq 0.05$) but not affect G'' tan delta ($P > 0.05$). The gels stored for 30 days at frozen showed higher in G' than those of fresh gels.