# บทคัดย่อ

การศึกษาผลของโปรตีนจากถั่วเหลือง (SPI) และใยอาหารต่อความสามารถในการย่อยของข้าวขึ้นรูปหุงสุก พบว่า ข้าวขึ้นรูปที่ถูกผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่อุณหภูมิ 90°C มีค่า onset temperature ($T_o$) และค่า peak temperature ($T_p$) ของข้าวขึ้นรูปซึ่งถูกเสริมด้วย SPI ระดับ 20% (20SPI-ER) สูงกว่าข้าวขึ้นรูปที่ถูกเสริมด้วย resistant maltodextrin (RMD) ระดับ 20% (20RMD-ER) และข้าวขึ้นรูปที่ถูกเสริมด้วยรำข้าวโพดระดับ 20% (20CB-ER) นอกจากนี้ยังพบว่า peak viscosity ของ 20SPI-ER มีค่าต่ำกว่า 20CB-ER และ 20RMD-ER เมื่อตรวจด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ SPI สามารถจับกับน้ำได้ดีและชะลอการเกิดเจลาติไนเซชัน คุณสมบัติทางรีโอโลยีของข้าวหุงสุก 20SPI-ER พบว่า มีค่า hardness, ค่า stickiness and solid-like (*G'*) สูงกว่าตัวอย่างข้าวขึ้นรูปหุงสุกอื่นๆจึงทำให้สามารถชะลอการทำงานของ แอลฟา อะมิเลส (α-amylase) ในระหว่างการย่อยในหลอดทดลอง (in-vitro digestion) ซึ่งมีผลทำให้ค่า end-point concentration ($C_\infty$) ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอัตราการย่อยเฟสแรก (first-phase digestion rate, $k_1$) ของข้าวหุงสุก 20SPI-ER มีค่าสูงกว่าค่าอัตราการย่อยเฟสที่สอง (second-phase digestion rate, $k_2$) โดยข้าวหุงสุก 20SPI-ER มีค่า end-point ของอัตราการย่อยเฟสที่สอง ($C_{\infty 2}$) และค่าดัชนีน้ำตาลต่ำสุด ในขณะที่ข้าวหุงสุก 20CB-ER มีค่า $k_1$ของการย่อยต่ำกว่า อาจเนื่องมาจาก เจลแป้งที่มีอนุภาคของรำข้าวโพดมีความสมบูรณ์ (integrity) ของเจลสูงสามารถขัดขวางการย่อยของเอนไซม์ในกลุ่มอะมิเลส (amylolytic enzymes) หลังจากนั้นในระหว่างการย่อยความสมบูรณ์ของเจลลดลงซึ่งมีผลทำให้ค่า $k_2$ and $C_{\infty 2}$ ข้าวหุงสุก 20CB-ER สูงขึ้น ในขณะที่ค่า k ของข้าวขึ้นรูปที่เสริมด้วย RMD หุงสุกไม่แตกต่างจากค่า k ของข้าวขึ้นรูปหุงสุกตัวอย่างควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างเมทริกซ์ที่เป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างที่มีความเหมือนกัน ข้าวขึ้นรูปหุงสุกที่เสริมด้วย SPI และ ใยอาหารมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในกลุ่มปานกลางในขณะที่ข้าวขึ้นรูปหุงสุกตัวอย่างควบคุมมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในกลุ่มสูง เมื่อศึกษาผลของกรดไขมันต่อความสามารถในการย่อยของข้าวหุงสุกผสมน้ำมัน พบว่า ค่า estimated glycemic index (EGI) ของข้าวขาวตาแห้งหุงสุกผสมน้ำมันมะพร้าว 20% มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์ม (palmetic acid, C16), น้ำมันมะกอก (oleic acid, C18:1), และน้ำมันถั่วเหลือง (linoleic acid, C18:2) เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันสายสั้น (lauric acid, C12) ซึ่งสามารถเกิด amylose-lipid complex (ALC) ได้ดีกว่ากรดไขมันชนิดอื่นที่มี โดย ALC สามารถเพิ่มความสามารถในการทนต่อการย่อยของเอนไซม์ และพบว่าการแช่แข็งมีผลทำให้ค่า eGI ของข้าวหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า eGI ของข้าวหุงสุกผสมน้ำมันปาล์มลดลงลงเพียง

เล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า eGI ของตัวอย่างหลังจากการละลายด้วยไมโครเวฟและอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 37°C ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การย่อยของสตาร์ช, ข้าวขึ้นรูป, โปรตีน, ใยอาหาร, กรดไขมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# Abstract

The effect of soy protein isolate (SPI) and dietary fibers on digestibility of cooked extruded rice was investigated. The extruded reformed rice was produced by a twin screw extruder with the barrel temperature of 90°C. The onset temperature ($T_o$) and peak temperature ($T_p$) of extruded rice supplemented with 20% soy protein isolate (20SPI-ER) as determined by Differential Scanning Calorimeter was higher than that of extruded rice supplemented with 20% resistant maltodextrin (20RMD-ER) and 20% corn bran (20CB-ER). When using Rapid Visco Analyser, the peak viscosity of 20SPI-ER was lower than that of 20CB-ER and 20RMD-ER. These results also indicate that SPI has been attributed to the competition for moisture and the delay of gelatinization. The 20SPI-ER cooked rice showed higher values of hardness, stickiness and solid-like (*G'*) as analyzed by rheometer compared to other samples which may retard the **α**-amylase activity during the *in-vitro* digestion, resulting in the lower end-point ($C_\infty$) of starch amylolysis. The first-phase digestion rate ($k_1$) of cooked 20SPI-ER was higher than its second-phase digestion rate ($k_2$). The end-point in the second-phase digestion ($C_{\infty 2}$) and the glycemic index (GI) of cooked 20SPI-ER showed the lowest value. The low value of $k_1$ was observed in the first-phase of 20CB-ER digestion. It may be due to the amylolytic enzymes that were impeded, associated with the high integrity of starch gel dispersed by corn bran particles. Then, the integrity of this starch gel was reduced during the amylolysis, which resulted in the higher $k_2$ and $C_{\infty 2}$. The cooked extruded rice with substituted resistant maltodextrin (RMD) and the control sample exhibited a similar k value due to their similar homogeneous matrix. The cooked extruded rice supplemented with SPI and dietary fibers was found to be the medium GI food, while the control was the high GI food. In addition, the effect of fatty acid types adding to high amylose rice (Tahang rice) on cooked rice digestibility was investigated. The results showed that eGI of cooked rice with 20% coconut oil (lauric acid, C12) was the lowest value (42.4) when compared with cooked rice with 20% palm oil (palmetic acid, C16), olive oil (oleic acid, C18:1) and soybean oil (linoleic acid, C18:2). It was explained that a short carbon-chains fatty acid (C12) of lauric acid has the highest possibility of amylose lipid complex formation, resulting in resistance to amylase hydrolysis. Furthermore, freeze-thaw process decreased the eGI of cooked rice significantly but the eGI of cooked rice with palm oil was slightly decreased due to the retrogradation efficiency during freeze-thaw process. In addition, the eGI of samples after thawing in microwave and in 37°C water bath were not significantly different.



Keywords: starch digestion, reformed rice, protein, fiber, fatty acid