บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้แก่ น้ำ, เอทานอล ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยได้วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

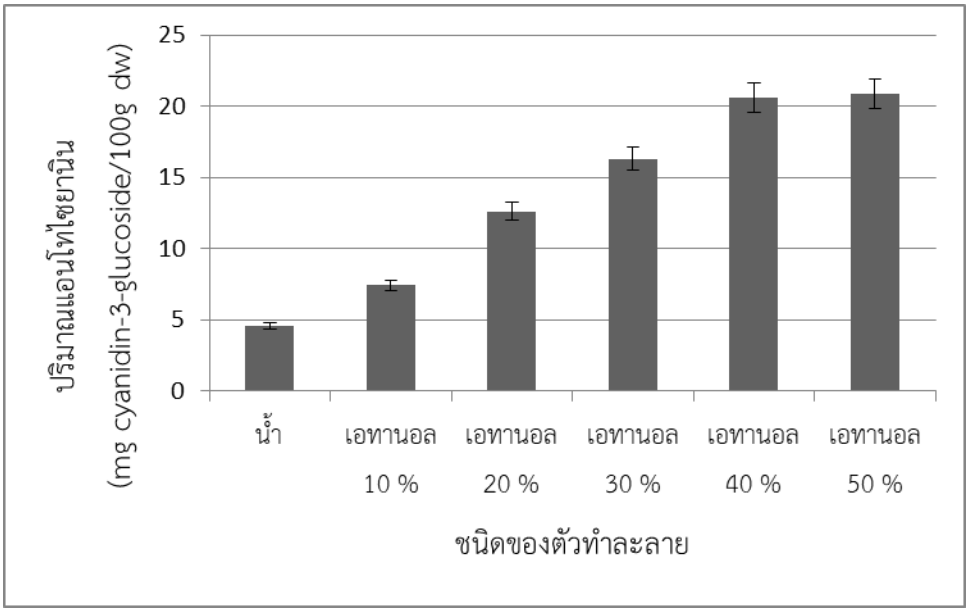
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ จากการสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

ระบบตัวทำละลาย	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g dry weight)	%DPPH Scavenging activity
น้ำกลั่น	4.51± 0.14^{e}	120.83±1.09^{d}	38.39±1.60^{d}
เอทานอล ร้อยละ10	7.41±0.21^{d}	123.85±1.02^{d}	52.03±1.07^{c}
เอทานอล ร้อยละ20	12.54±0.74^{c}	128.77±1.22^{c}	77.60±0.83^{b}
เอทานอล ร้อยละ30	16.27±1.06^{b}	133.63±2.59^{b}	82.50±0.88^{a}
เอทานอล ร้อยละ 40	20.61±0.75^{a}	139.93±2.64^{a}	81.15±0.64^{a}
เอทานอล ร้อยละ50	20.84±0.63^{a}	143.15±3.74^{a}	78.36±0.98^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.1 ปริมาณสารแอนโทไซยานิน

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้ จากการสกัดปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า การสกัดด้วยน้ำมีประสิทธิภาพในการสกัดสารแอนโทไซยานินต่ำสุด (ต่ำกว่าประมาณ 7 เท่าของค่าสูงสุด) และปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอทานอลในการสกัดเพิ่มขึ้น โดยการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 จะมีประสิทธิภาพในการสกัดสารแอนโทไซยานินสูงสุด (20.84 mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight) (ภาพที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทรงศิริ และคณะ (2552) ทำการสกัดเปลือกองุ่นโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ น้ำร้อน และเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 50 และ 80 พบว่าเอทานอลร้อยละ 50 สามารถสกัดแอนโทไซยานินได้มากกว่าน้ำถึง 3 เท่า นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของศุทธินี (2556) ที่ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเอทานอลต่อน้ำ ในอัตราส่วน 0 :100, 20 : 80, 50 : 50, 80 : 20, 100:0 ที่มีส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.01 พบว่าการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 มีปริมาณของแอนโทไซยานินทั้งหมด มากที่สุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้จากรายงานของ Chandrasekhar *et al*. (2012) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัดกะหล่ำปลีม่วง พบว่าความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 50 เป็นความเข้มข้นที่สามารถสกัดแอนโทไซยานินออกมาได้มากที่สุด รองลงมาคือความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 40, 60, 20, 80 และ 0 (น้ำกลั่น) ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติความมีขั้วของตัวทำละลายเอทานอลแต่ละความเข้มข้นต่างกัน นอกจากนี้การศึกษาโดย Cacace และ Mazza (2003) ในลูกแบล็คเคอร์แรนท์ยังพบว่า การใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60 สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้มากกว่าความเข้มข้นอื่น ความเข้มข้นของเอทานอลที่แตกต่างกันนอกจากจะมีผลทางด้านความมีขั้วแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของตัวทำละลายได้ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด และค่าคงที่ไดอิเล็คตริก การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวทำละลายสามารถทำให้คุณสมบัติการละลายได้ของสารประกอบเปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลต่อการสารสกัดสารฟีนอลิก (Cacace and Mazza, 2003; Frank *et al.*, 1999)

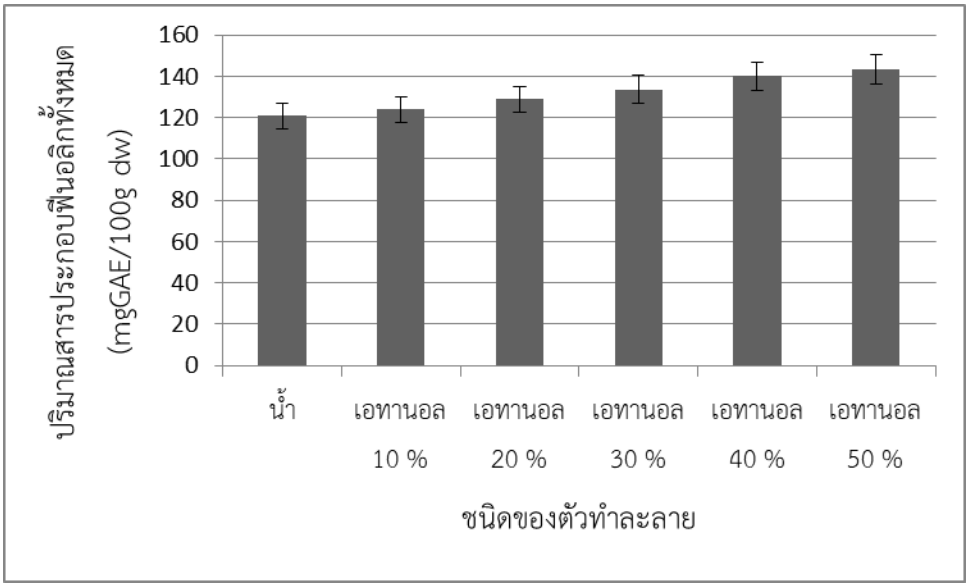


ภาพที่ 4.1 ปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

4.1.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากการสกัดปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 120.83– 143.15 mg GAE/100g dry weight โดยการสกัดด้วยน้ำมีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุดคือมีค่า 120.83 mg GAE/100g dry weight ($p \leq 0.05$) ส่วนการสกัดด้วยเอทานอลพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในการสกัดเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 50 พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 143.15 mg GAE/100g dry weight ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2) ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของศุทธินี (2556) ที่ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 100, 80, 50, 20 และ 0 พบว่าเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ร้อยละ 80 และ ร้อยละ 20 นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับ Zhao and Hall (2008) ที่พบว่าเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20-60 มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากลูกเกดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้น้ำและเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 และ 100 เป็นตัวทำละลาย และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ ทรงศิริ วงศ์จิตตภิญโญ (2552)

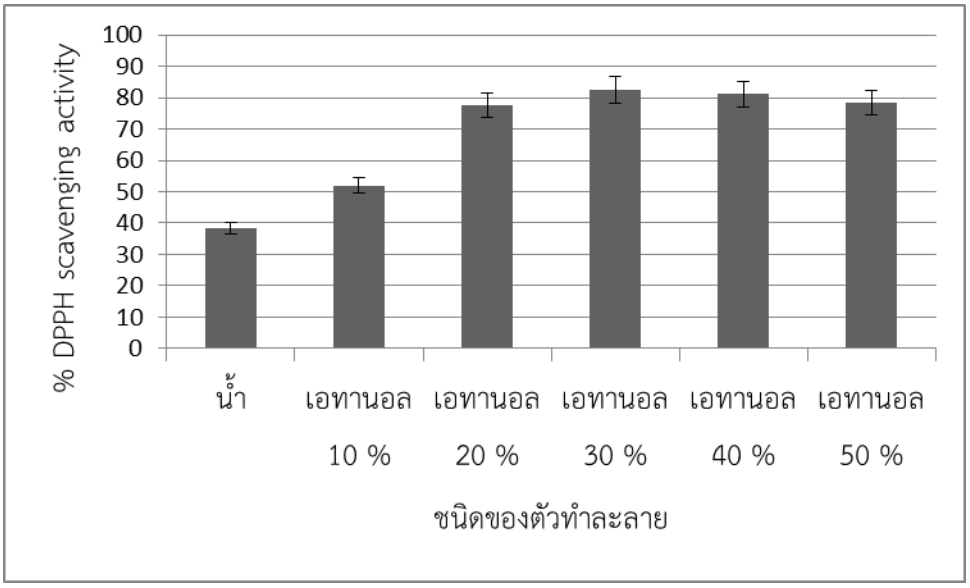
ได้ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างเปลือกองุ่นแห้ง (ความชื้นร้อยละ 10.2±0.2) และเมล็ดองุ่นแห้ง (ความชื้นร้อยละ 7.2±0.1) พบว่าสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 และ 50 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30และ 50 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำและน้ำร้อนที่มีประสิทธิภาพในการสกัดต่ำสุดประมาณ 7 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับ Sun and Ho (2005) กล่าวว่าสารละลายเพียงชนิดเดียวไม่สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทุกชนิดจาก buckwheat ได้ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการละลาย (solubility) ที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายผสมของเอทานอล เมทานอล และอะซิโตน อีกทั้ง Yilmaz and Toledo (2004) กล่าวว่า การใช้เอทานอลหรือน้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดเพียงชนิดเดียวไม่มีประสิทธิภาพสำหรับการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเมล็ดองุ่นผงพันธุ์ Muscadine



ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

4.1.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดักจับอนุมูลอิสระ DPPH

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 38.39 - 82.50 โดยการสกัดด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ ร้อยละ 82.50 รองลงมาคือการสกัดด้วยเอทานอล ร้อยละ 40 และเอทานอล 50 ตามลำดับ ส่วนการสกัดด้วยน้ำ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด คือ ร้อยละ 38.39 สอดคล้องกับงานวิจัยของทรงศิริ (2552) ที่ได้ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30-80 มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าน้ำและน้ำร้อน ($p \leq 0.05$) โดยคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดจากเปลือกองุ่นที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนสารสกัดเมล็ดองุ่นที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 และ 80 มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

4.2 ผลการศึกษาการทำแห้งของสารสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากการทดลองหาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า เอทานอล ร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 ในระดับขยายขนาด เพื่อให้ได้สารสกัดปริมาณมากจากนั้นนำสารสกัด ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ และนำไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dryer) โดยผสมสารสกัดที่ได้กับมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 เพื่อช่วยป้องกันการชื้นของสารสกัดผงที่ได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ของสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารสำคัญของสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

สารสกัด	**ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight)**	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g dry weight)**	**%DPPH Scavenging activity**
ผงสารสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่	22.48 ± 0.89	570 ± 0.09	72 ± 0.94

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 22.48 (mg cyanidin-3-glucoside/100 g dry weight) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 570 mg GAE/100g dry weight และ % DPPH Scavenging activity เท่ากับ 72 โดยในการทดลองนี้การใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งจะช่วยลดการสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจนซึ่งช่วยป้องกันการสลายตัวของแอนโทไซยานินจากความร้อน (Kwok *et al*., 2004)

4.3 ผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมผสมสารสกัดแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

4.3.1 ผลการเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ลงในไอศกรีม

ทำการผลิตไอศกรีมชนิดซอฟ โดยสูตรและวิธีการผลิตไอศกรีม ดัดแปลงจาก พรหล้า ขาวเธียร (2549) โดยศึกษาผลการเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ลงในไอศกรีม ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และ คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเติมสารสกัดในปริมาณร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0 และ 1.5 (น้ำหนักสารสกัดผง/น้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม) ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1.1 คุณภาพทางเคมีของไอศกรีม

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีม

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณ ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0 และ 1.5 (น้ำหนักสารสกัดผง/น้ำหนักส่วนผสมไอศกรีม) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นจากไอศกรีมชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น พบว่า ไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 23.37, 29.76, 33.24 และ 37.39 mg GAE/100g ice cream ตามลำดับ โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สูงสุด คือ 37.39 mg GAE/100g ice cream โดยที่ไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณสูง คือ 570 mg GAE/100g dry weight ดังนั้นเมื่อเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในไอศกรีมในปริมาณที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้ไอศกรีมที่ได้ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ของไอศกรีมที่ผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

สูตรไอศกรีม	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g ice cream)	%DPPH Scavenging activity	ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH (mM TE/100g ice cream)
ไอศกรีมสูตรควบคุม	23.37±0.72[d]	38.79±0.13[d]	13.26± 0.05[d]
ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0.5	29.76±1.48[c]	56.58±1.19[c]	19.57± 0.42[c]
ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.0	33.24±0.62[b]	79.94±1.32[b]	27.85± 0.47[b]
ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.5	37.39±2.09[a]	84.97±0.20[a]	29.64± 0.07[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2) ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH$^{\cdot}$ ของไอศกรีม

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH$^{\cdot}$ ของไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณต่าง ๆ แสดงผลในตารางที่ 4.3 ผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ DPPH ของไอศกรีมสูตรควบคุม และไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมเพิ่มขึ้น พบว่า ไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 13.26, 19.57, 27.85 และ 29.64 mmol Trolox/100g ice cream ตามลำดับ โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในปริมาณร้อยละ 1.5 จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH สูงสุด คือ 29.64 mM Trolox/100g ice cream

หรือมี %DPPH Scavenging activity เท่ากับ 84.97 โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH สูง เนื่องจากในสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง คือเท่ากับ 172.06 mM Trolox/100g sample ดังนั้นการเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในไอศกรีม จึงส่งผลให้ไอศกรีมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม แต่จากการทดลอง พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hwang และคณะ (2008) ซึ่งรายงานว่าสารต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมอาจเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์นมซึ่งเป็นองค์ประกอบในไอศกรีม ทั้งนี้เนื่องมาจากนมประกอบด้วย วิตามิน ได้แก่ วิตามินอีและวิตามินบีสอง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่สำคัญ ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

4.2.2.2 คุณภาพทางกายภาพของไอศกรีม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไอศกรีมเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าความหนืด ค่าสี L a* และ b* ค่าโอเวอร์รัน และอัตราการละลาย ได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.4

จากผลการทดสอบทางกายภาพของไอศกรีมเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 4.4) พบว่า ค่าพีเอชของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร และไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่า อยู่ในช่วง 5.72- 5.75 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากส่วนผสมในไอศกรีม ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และเกลือแร่ของไอศกรีมทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน จะแตกต่างกันเฉพาะปริมาณการเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังนั้น จึงทำให้ค่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี L, a* และ b* ของไอศกรีมเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่มีปริมาณการเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 พบว่า ค่าสี L (ความสว่าง) ของไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าความสว่างมากกว่าไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้ง 3 สูตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 57.86 โดยพบว่า เมื่อเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในสูตรไอศกรีมมากขึ้นจะทำให้ค่าสี L (ความสว่าง) ของไอศกรีม มีค่าลดลง โดยไอศกรีมสูตรที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินร้อยละ 1.5 มีค่าสี L น้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากสาร

สกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีสีม่วง ทำให้เมื่อเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้น จะทำให้ค่าสี L (ความสว่าง) ของไอศกรีม มีค่าลดลง ส่วนค่าสี a* (สีแดง-สีเขียว) พบว่า ไอศกรีมสูตรที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่า a* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้น นั่นคือ มีค่าเป็นสีแดงมากที่สุด โดยไอศกรีมที่มีเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 จะมีค่า a* มากที่สุด นั่นคือ มีค่าเป็นสีแดงมากที่สุด คือมีค่า a* เท่ากับ 2.83 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับไอศกรีมสูตรควบคุม โดยไอศกรีมสูตรควบคุม จะมีค่าสี a* ติดลบ คือ -1.63

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรต่างๆ

คุณลักษณะทางกายภาพ	**ไอศกรีมสูตรควบคุม**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0.5**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.0**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.5**
ค่าพีเอช (pH)	5.74 $\pm$0.01^{a}	5.72$\pm$ 0.01^{b}	5.75$\pm$ 0.01^{a}	5.74$\pm$ 0.01^{a}
ค่าสี L	57.86$\pm$ 0.40^{a}	51.46$\pm$ 0.75^{b}	50.93$\pm$ 0.30^{b}	47.03$\pm$ 0.90^{c}
ค่าสี a*	-1.63 $\pm$0.28^{d}	0.46$\pm$ 0.12^{c}	1.33$\pm$ 0.15^{b}	2.83 $\pm$0.23^{a}
ค่าสี b*	6.96$\pm$ 0.05^{a}	4.90$\pm$ 0.10^{b}	4.20 $\pm$0.45^{c}	2.66$\pm$ 0.15^{d}
ความหนืด (เซนติพอยต์)	127.23 $\pm$0.05^{c}	131.80$\pm$ 0.36^{a}	129.50$\pm$ 0.65^{b}	128.63$\pm$ 0.55^{b}
ค่า Overrun (ร้อยละ)	69.46$\pm$ 1.11^{b}	71.88 $\pm$0.45^{a}	69.84 $\pm$0.95^{b}	42.84$\pm$ 0.95^{c}
อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)	2.09$\pm$ 0.03^{c}	2.32$\pm$ 0.02^{a}	2.17$\pm$ 0.01^{b}	2.16$\pm$ 0.01^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่า ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง (ค่าเป็นบวก) ของไอศกรีมที่ผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีค่าต่ำกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือมีค่า b* ในช่วง 2.66 ถึง 6.96 ซึ่งค่า b* เป็นบวกลดลงแสดงถึงความเป็นสีเหลืองของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ส่วนไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่า b* สูงสุด นั่นคือมีค่าของสีเหลืองสูงสุด เนื่องจากในส่วนผสมไอศกรีมสูตรควบคุมมีสารให้สีเหลือง ได้แก่ หางนมผง เป็นต้น ส่วนไอศกรีมสูตรที่ผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 มีค่า b* ต่ำที่สุด คือ 2.66

ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ของไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ และไอศกรีมสูตรควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5 จะมีค่าความหนืดสูงที่สุด คือ 131.80 เซนติพอยส์ และไอศกรีมสูตรควบคุมมีความหนืดต่ำที่สุด คือ 127.23 เซนติพอยส์ ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เป็นผลจากพันธะไฮโดรเจนและแรงยึดเหนี่ยววาลเดอวาวล์ระหว่างสารคงตัวพวกกัมกับโปรตีนเสียสภาพบางส่วน ทำให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ จำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ละลายในน้ำในผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเป็นผลจากกระบวนการแปรรูป เช่น การพาสเจอไรซ์ การโฮโมจิไนซ์ และการบ่ม (Marshall & Arbuckle, 1996)

ค่าโอเวอร์รัน (overrun) คือ ปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสมไอศกรีม รายงานเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาตร เนื่องมาจาก อากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไอศกรีมในระหว่างการตีปั่นให้แข็งตัว (สุพัฒน์ ใต้เวชศาสตร์, 2546) จากการทดลองนี้พบว่า ไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0.5 มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุด คือ 71.88 ส่วนไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.5 จะมีค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด คือ 42.41 ความข้นหนืดของส่วนผสมไอศกรีมต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้โอเวอร์รันที่ดี หากความข้นหนืดมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้การตีอากาศเข้าเนื้อไอศกรีมเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร

เมื่อพิจารณาอัตราการละลายของไอศกรีม พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.12-2.35 กรัมต่อนาที โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5 มีค่าอัตราการละลายมากที่สุด คือ 2.32 กรัมต่อนาที ส่วนไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าอัตราการละลายต่ำที่สุดคือ 2.09 อัตราการ

ละลายของไอศกรีมขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณอากาศ ธรรมชาติของผลึกน้ำแข็ง และโครงสร้างไขมัน

4.2.2.3 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของไอศกรีม แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยทดสอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ สี ความเรียบเนียน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ผลการทดสอบ พบว่า คะแนนของคุณลักษณะด้านสีของไอศกรีมมีค่าอยู่ในช่วง 7.00-7.90 โดยไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนคุณลักษณะด้านสีสูงสุด คือ 7.90 ส่วนคะแนนคุณลักษณะด้านความเรียบเนียนมีค่าอยู่ในช่วง 7.02-7.38 ไอศกรีมสูตรควบคุมมีคะแนนคุณลักษณะด้านความเรียบเนียนสูงสุด คือ 7.38 แต่คะแนนไม่มีความแตกต่างจากไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5 และ 1.0 ส่วนคะแนนคุณลักษณะด้านกลิ่นของไอศกรีมมีค่าอยู่ในช่วง 6.90 -7.14 โดยคะแนน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ส่วนคะแนนคุณลักษณะด้านรสชาติมีค่าอยู่ในช่วง 7.34-7.50 โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปมีปริมาณน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อรสชาติไอศกรีม ทำให้รสชาติไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสูตรควบคุม ส่วนคะแนนคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสมีค่าอยู่ในช่วง 7.06-7.38 โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปมีปริมาณน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ส่วนคะแนนความชอบรวมมีค่าอยู่ในช่วง 7.22-7.64 โดยไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าสูงสุดคือ 7.64 แต่คะแนนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5 และ 1.0 ซึ่งจากคะแนนคุณลักษณะด้านสี ความเรียบเนียน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปมีปริมาณน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าว

ดังนั้น จากการพิจารณาในเรื่องของไอศกรีมเพื่อสุขภาพที่มีปริมาณสารสำคัญที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สูงสุด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด พบว่า ไอศกรีมสูตรเติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 มีปริมาณสารสำคัญสูงสุด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินสูตรต่าง ๆ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	**ไอศกรีมสูตรควบคุม**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 0.5**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.0**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5**
สี	7.90±0.86^{a}	7.00± 0.73^{b}	7.12± 0.75^{b}	7.06± 0.89^{b}
ความเรียบเนียน	7.38 ±0.96^{a}	7.10 ±0.76^{ab}	7.11± 0.73^{ab}	7.02± 0.65^{b}
กลิ่น^{ns}	7.14± 1.03	7.06± 0.81	7.02± 0.86	6.90± 0.83
รสชาติ^{ns}	7.48± 0.93	7.50± 0.78	7.36± 1.02	7.34± 1.00
เนื้อสัมผัส^{ns}	7.38± 0.92	7.14± 0.70	7.22± 0.84	7.06± 0.79
ความชอบรวม	7.64± 0.87^{a}	7.30± 0.78^{ab}	7.36± 0.80^{ab}	7.22± 0.86^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่งอก

จากการคัดเลือกสูตรไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วัดโดยวิธี DPPH สูงสุด และมีระดับคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระดับปานกลาง จึงได้นำไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินร้อยละ 1.5 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุม มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยหยาบ เถ้า และความชื้น เท่ากับ 6.08, 7.06, 13.58, 1.36, 0.84 และ 71.08

ตามลำดับ ส่วนไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานิน จากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า และความชื้น เท่ากับ 5.92, 4.13, 19.85, 1.44, 0.93 และ 67.73 ตามลำดับ โดยไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินที่ร้อยละ 1.5 ปริมาณความชื้นน้อยกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากสารสกัดผงแอนโทไซยานินที่เติมลงไป ส่วนปริมาณเถ้าในไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 มีค่าสูงกว่าในไอศกรีมสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณไขมันในไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าสูงกว่าในไอศกรีมที่เติมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีน และปริมาณเยื่อใย ในไอศกรีมทั้งสองสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากสูตรที่ผลิตไอศกรีมทั้ง 2 สูตร เหมือนกันจึงไม่มีความแตกต่างในปริมาณของโปรตีน และเยื่อใย (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.5

คุณภาพทางเคมี	**ไอศกรีมสูตรควบคุม**	**ไอศกรีมผสมสารสกัดผงแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 1.5**
โปรตีน^{ns}	6.08 ±5.92	5.92± 0.17
ไขมัน	7.06 ±0.17^{a}	4.13 ±0.07^{b}
คาร์โบไฮเดรต	15.96± 0.17^{b}	19.96 ±0.91^{a}
เส้นใยหยาบ^{ns}	1.36± 0.02	1.44 ±0.04
เถ้า	0.84 ±0.01^{b}	0.93 ±0.01^{a}
ความชื้น	71.08+0.74^{a}	67.73+0.49^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)