

ผลของการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมพลังงาน ต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ ประสาทสัมผัส และการปลดปล่อยน้ำตาลด้วยการจำลองการย่อยในหลอดทดลอง

Effect of Isomaltulose in Energy Drink Products on Physicochemical and Sensory Characteristic and Sugar Releasing by *In Vitro* Digestion

พิมพ์วี กุศลสถาภาพ<sup>1</sup> สุภัทร์ ไชยกุล<sup>1</sup> และอลิสานานา<sup>2</sup>  
Kuslanupap, P.<sup>1</sup>, Chaiyakul, S.<sup>1</sup> and Nana, A.<sup>2</sup>

Abstract

This research aims to study the effect of blending isomaltulose with glucose and fructose in energy drink on sugar releasing pattern by *in vitro* digestion. The sugar ratio (isomaltulose/fructose/glucose) in energy drink which contain 40-55% isomaltulose, 5-20% fructose, and 40-50% glucose did not show the significant different between formula on physicochemical properties and sensory evaluation, and also similar dialyzable glucose ratio pattern, starting from 0 min to 30 min at its peak. Afterward, it tended to decrease and continued stable release level from 60-120 min. The HPLC-RI result showed that isomaltulose was still available until 120 min after *in vitro* digestion. This can imply that mixing isomaltulose with glucose and fructose might prolong energy release to the body.

**Keywords:** Isomaltulose, Energy products, *In vitro* digestion, Prolong energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสผสมกับกลูโคสและฟรักโทสในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมพลังงาน ต่อรูปแบบการปลดปล่อยน้ำตาลจากการจำลองการย่อยในหลอดทดลอง การใช้อัตราส่วนน้ำตาล (ไอโซมอลทูลอส/ฟรักโทส/กลูโคส) ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ที่มีช่วงน้ำตาลไอโซมอลทูลอสร้อยละ 40-55 ฟรักโทสร้อยละ 5-20 กลูโคสร้อยละ 40-50 ในสูตร พบว่าลักษณะทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ รวมทั้งผล dialyzable glucose ratio มีผลไปในทางเดียวกัน คือ เริ่มปลดปล่อยน้ำตาลตั้งแต่วันที่ 0 และสูงสุดที่วันที่ 30 หลังจากนั้นค่อยๆปลดปล่อยน้ำตาลลดลงแต่ยังคงปลดปล่อยอย่างคงที่และต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 60-120 ผลจาก HPLC-RI พบว่าหลังจากจำลองการย่อยในหลอดทดลอง ไอโซมอลทูลอสยังคงเหลืออยู่จนถึงวันที่ 120 สรุปได้ว่าการผสมไอโซมอลทูลอสกับกลูโคสและฟรักโทสอาจสามารถยืดพลังงานให้ร่างกายได้

**คำสำคัญ:** ไอโซมอลทูลอส ผลิตภัณฑ์เสริมพลังงาน การย่อยในหลอดทดลอง การยืดพลังงาน

คำนำ

น้ำตาลไอโซมอลทูลอส เป็นน้ำตาลรีดิวซิงที่ผลิตได้จากน้ำตาลอ้อยด้วยวิธี enzymatic rearrangement น้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นไอโซเมอร์ของน้ำตาลซูโครส โครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลคู่ ที่น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1-6) แทนพันธะ (1-2) ของน้ำตาลซูโครส ส่งผลให้ไอโซมอลทูลอสมีพันธะที่มีความเสถียรสูง มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (low Glycemic Index) เนื่องจากถูกย่อยและดูดซึมได้ช้า แต่ย่อยได้สมบูรณ์ในลำไส้เล็กด้วยเอนไซม์ไอโซมอลเตส (isomaltase) (Chaiyakul, 2020) ไอโซมอลทูลอสจึงนิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน นักกีฬา และอาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับผู้ที่เป็นนักกีฬา ออกกำลังกาย หรือ เคลื่อนไหวร่างกายเป็นเวลานานกว่า 30 นาที ร่างกายจะมีกลไกการใช้พลังงานจากน้ำตาลในเลือดและกรดไขมันอิสระเป็นหลัก ขณะเดียวกันกรดแลคติกจะถูกสร้างขึ้นเนื่องจากการสลายของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพื่อสร้างเป็นพลังงานขณะเคลื่อนไหวร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายเกิดความเมื่อยล้าเมื่อเวลาผ่านไปนานกว่า 30 นาที (MacLaren และ Morton, 2012) ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยชะลอความเมื่อยล้าและเพิ่มความคงทนให้ร่างกายได้ คือการคงระดับน้ำตาลในเลือดไว้ให้ได้มากที่สุดในช่วงต้นของการออกกำลังกายเพื่อชะลอการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (MacLaren และ

<sup>1</sup> คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 420/1 ถนน ราชวิถี แขวง ทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

<sup>2</sup> Faculty of Public Health, Mahidol University 420/1 Ratchawithi RD., Ratchathewi District, Bangkok 10400

<sup>2</sup> วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล 999 ถนน พุทรมณฑลสาย 4 ตำบล ศาลายา อำเภอกุสุมาลย์ นครปฐม 73170

College of Sports Science and Technology, Mahidol University 999 Phuttamonthon 4 Rd, Salaya, Phuttamonthon, Nakhonpathom 73170

Morton, 2012) อัตราการนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้เป็นพลังงานให้แก่ร่างกายของน้ำตาลแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน โดยร่างกายสามารถนำไอโซมอลทูลอสไปใช้เป็นพลังงาน 0.5 กรัมต่อนาที (Fleddermann และคณะ, 2016) กลูโคส 1 กรัมต่อนาที และ ฟรักโทส 0.5 กรัมต่อนาที (Wargenmarkers และคณะ, 1994, Jeukendrup และ Jentjens, 2000, Gonzalez และคณะ 2017) โดยกลูโคสและฟรักโทสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ทันทีผ่านช่องทางการดูดซึมจำเพาะในลำไส้ GLUT-1 และ GLUT-5 ตามลำดับ (Litwack, 2018) ด้วยเหตุนี้การมีปริมาณสัดส่วนของน้ำตาลไอโซมอลทูลอส/ฟรักโทส/กลูโคสที่เหมาะสมจะสามารถออกแบบการปลดปล่อยระดับน้ำตาลในเลือดได้ตามความต้องการใช้พลังงานเฉพาะบุคคล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสผสมกับกลูโคสและฟรักโทสในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมพลังงาน ต่อรูปแบบการปลดปล่อยน้ำตาลจากการจำลองการย่อยของมนุษย์ ที่มีผลความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษการย่อยในหลอดทดลองและการศึกษาในมนุษย์มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอยู่ในระดับสูง (Spearman's rho = 0.736) (Argyri และคณะ, 2009)

### อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเครื่องดื่มเสริมพลังงานทำตามสูตรทางการค้า โดยเติมปริมาณน้ำตาลในสูตรคงเดิม แต่แปรสัดส่วนของน้ำตาลไอโซมอลทูลอส กลูโคส และฟรักโทส โดยใช้ mixture design เพื่อกำหนดสัดส่วนของน้ำตาลที่ศึกษา (Table 1) นำส่วนผสมน้ำตาลเติมลงในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซิเตรท และกรดมาลิก คนจนละลาย คงไว้ 15 นาที บรรจุร้อนใส่ขวดแก้วปิดฝา เก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 7 วัน ทำ 3 ซ้ำการทดลอง นำตัวอย่างที่ได้มาประเมินผลดังนี้ การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ โดยนำตัวอย่างตีผสมให้เข้ากันด้วย Ultra-Turrax T-50 Homogenizer (IKA) ก่อนนำไปวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ ได้แก่ วิเคราะห์ pH ด้วย pH meter วิเคราะห์ความเป็นกรดด้วยการไตเตรท วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำด้วย refractometer ATAGO PAL-1 และวิเคราะห์ความหนืดด้วย Brookfield viscometer (UL Adapter)

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสผ่านการรับรองจริยธรรมงานวิจัยในมนุษย์จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (COA. No. MUPH 2019-135) งานวิจัยนี้คัดกลุ่มตัวอย่าง 30 คน มีอายุระหว่าง 18-64 ปี ผู้ทดสอบแต่ละคนได้รับตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง โดยทำแบบสอบถาม ให้คะแนนความเข้มของหวาน ความเปรี้ยว ความเค็ม กลิ่นรส ด้วย 5-point scoring และทดสอบความชอบโดยรวมด้วยวิธี 5-point hedonic scale (1= ความเข้มข้นน้อยที่สุด และ 5=ความเข้มข้นสูงสุด)

ประเมินการปลดปล่อยน้ำตาลของเครื่องดื่มเสริมพลังงาน ที่ผ่านการจำลองการย่อยในลำไส้มนุษย์ ดำเนินการย่อยตามด้วยวิธีการของ Argyri และคณะ (2016) แล้วตรวจหา total reducing sugar ในตัวอย่างด้วย dinitro salicylic acid (DNS) method ประยุกต์ใช้ 96-well plate โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร ค่าที่ได้จะเป็นค่า dialyzable total reducing sugar จากนั้นคำนวณหา Dialyzable glucose ratio (DGR) จากสูตร ดังนี้

$$DGR = \frac{\text{dialyzable reducing sugar 120 min after the initiation of the second phase of the in vitro digestion of sample}}{\text{dialyzable glucose 120 min after the initiation of the second phase of the in vitro digestion of reference food}}$$

การตรวจชนิดน้ำตาลในตัวอย่างหลังจากการย่อยด้วย HPLC Refractometer index โดยใช้ Asahipak nh2p-50 4e Shodex™ column อ่านผลที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้ Mobile phase เป็น Acetonitrile (80%) ด้วยอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance: ANOVA) โดยวิธี General linear model for CRD ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 18 (SPSS Inc., Thailand) ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีค่าทางเคมีกายภาพอยู่ในช่วงเดียวกับสูตรทางการค้ามีค่า pH อยู่ในช่วง 2.99-3.01 ความเป็นกรดร้อยละ 0.54-0.57 ของแข็งที่ละลายได้ 25.48-25.90 องศาบริกซ์ และค่าความหนืด 3.33-3.59 เซนติพอยซ์ โดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนชนิดน้ำตาล ไม่มีผลต่อค่าทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (Table 1)

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่ม พบว่ามีค่าความหวานแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดย

สูตร B D และ A มีค่าความหวานสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณฟรักโทสและกลูโคสในสัดส่วนที่สูงกว่าสูตรอื่น ฟรักโทสมีค่าความหวานสัมพัทธ์ 1.2-1.8 ซึ่งให้ระดับความหวานที่มากกว่าน้ำตาลซูโครสที่มีค่าความหวานสัมพัทธ์ 1.0 กลูโคส 0.7 และไอโซมอลทูลอส 0.4 (Helstad, 2019, Tiefenbacher, 2017) อย่างไรก็ตามคะแนนของการยอมรับโดยรวมของทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่า 3.0 คือผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับได้

ผลการจำลองการย่อยตัวอย่างในหลอดทดลอง พบค่า DGR ในนาที่ที่ 60 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าแตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) เมื่อนำค่าที่ได้มา plot กราฟจะสังเกตเห็นพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ปลดปล่อยผ่าน dialysis membrane มีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงนาที่ที่ 30 จากนั้นระดับน้ำตาลค่อยๆ ลดลง แล้วคงไว้ที่ระดับหนึ่งอย่างต่อเนื่องจนถึงนาที่ที่ 120 (Figure 1) ซึ่งให้ผลไปในทางเดียวกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (Figure 2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของการย่อยน้ำตาลไอโซมอลทูลอสด้วยเอนไซม์ทำให้มีระดับของน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเพิ่มขึ้น ในช่วงวินาทีที่ 30-120 นาที สูตร C มีระดับของน้ำตาลกลูโคสสูงกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูลอสในส่วนที่ไม่ถูกย่อยปลดปล่อยออกมาด้วยบางส่วน อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของ dialysis membrane ซึ่งมีผลต่อการแพร่ผ่านของสารละลาย

### สรุปผล

การใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสร้อยละ 40-55 กลูโคสร้อยละ 40-50 และฟรักโทสร้อยละ 5-20 ร่วมกันในสัดส่วนที่กำหนด ไม่มีผลต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ แต่มีผลต่อการรับรู้รสหวาน สูตรที่มีการใช้สัดส่วนของน้ำตาลไอโซมอลทูลอสสูงสุด (ร้อยละ 55) มีค่าความหวานน้อยกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการจำลองการย่อยในลำไส้มนุษย์ แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีผลในการช่วยคงระดับน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสในเลือดได้อย่างน้อย 120 นาที อย่างไรก็ตามควรศึกษาทดลองในมนุษย์ เพื่อยืนยันผลดังกล่าว

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับบริษัทน้ำตาลราชบุรี และขอขอบคุณภาควิชาโภชนาวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับการสนับสนุนเจ้าหน้าที่ สถานที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- Argyri, K., Birba, A., Miller, DD., Komaitis, M. and Kapsokefalou, M., 2009, Predicting Relative Concentrations of Bioavailable Iron in Foods using *In Vitro* Digestion, *Food Chemistry*, 113(2): 602-607.
- Argyri K, Birba A, Miller, DD, Komaitis, M, and Kapsokefalou, M., 2016, The Potential of an *In Vitro* Digestion Method for Predicting Glycemic Response of Foods and Meals, *Nutrients*, 8(4): 209.
- Chaiyakul S., 2020, Sugar: Health Risks and Policy Actions for Healthier Consumption, *Journal Nutrition Association, Thailand*, 55(1): 95-110.
- Fleddermann, M., Rauh-Pfeiffer, A., Demmelmair, H., Holdt, L., Teupser, D., and Koletzko, B., 2016, Effects of a Follow-on Formula Containing Isomaltulose (Palatinose™) on Metabolic Response, Acceptance, Tolerance, and Safety in Infants: A Randomized-controlled Trial, *Public Library of Science*, 11(3): e0151614.
- Gonzalez, J.T., Fuchs, C.J., Betts, J.A. and Van L.J., 2017, Glucose Plus Fructose Ingestion for Post-exercise Recovery Greater than the Sum of Its Parts?, *Nutrients*, 9(4): 344.
- Helstad S, 2019, Chapter 20 - Corn Sweeteners, *Corn (Third Edition)*, Chemistry and Technology, Woodhead Publishing and AACC International Press, pp. 551-591.
- Jeukendrup, A.E. and Jentjens R., 2000, Oxidation of Carbohydrate Feedings during Exercise, *Sport Medicine*, 29(6): 407-422.
- Litwack, G., 2018, Chapter 6 - Insulin and Sugars glucose transport, *Human Biochemistry*, 131-160 p.

MacLaren, D. and Morton, J., 2012, Chapter 2 - Fundamentals of Sport and Exercise Biochemistry: Carbohydrate Biochemistry of Sport and Exercise Metabolism, John Wiley & Sons, Inc., pp. 87-107.

MacLaren, D. and Morton, J., 2012, Chapter 1 - Energy Source for Muscular Activity, Biochemistry of Sport and Exercise metabolism, John Wiley & Sons, Inc., pp. 3-10.

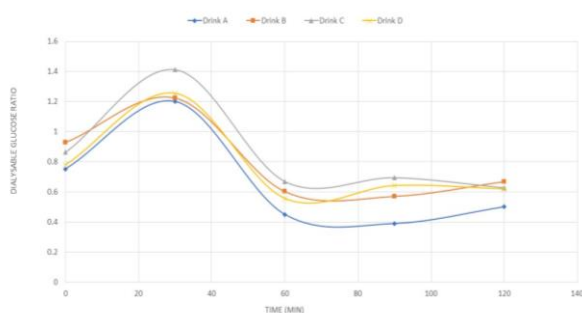
Tiefenbacher KF, 2017, Chapter 3 - Technology of Main Ingredients—Sweeteners and Lipids, Wafer and Waffle Processing and Manufacturing, Academic Press, pp. 123-225.

Wagenmakers, A.J., Brouns, F., Saris, W.H., and Halliday, D., 1993, Oxidation Rates of Orally Ingested Carbohydrates during Prolonged Exercise in Men, Journal of Applied Physiology, 75(6): 2774-2780.

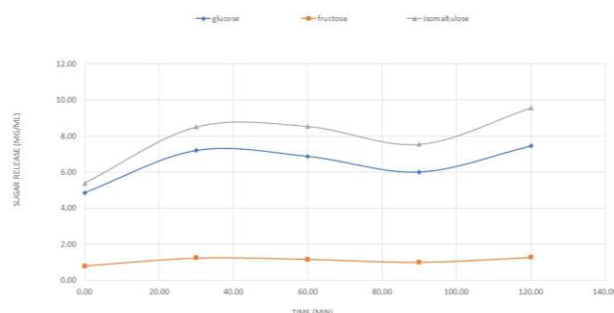
**Table 1 Physicochemical and Sensory Characteristic of energy drink**

Formula (I/F/G) *	pH	Acidity (%)	Total soluble solid (*brix)	Viscosity (cP)**	Sweetness	Salty	Flavor	Sour	Overall acceptance
Drink A (40/10/50)	3.00±0.01	0.56±0.01	25.80±0.10	3.53±0.06	3.90±0.88 <sup>a</sup>	1.90±0.92	2.80±0.92	2.13±1.11	3.23±0.77
Drink B (40/20/40)	2.99±0.00	0.56±0.01	25.80±0.10	3.40±0.07	4.07±0.69 <sup>a</sup>	1.72±0.78	2.73±0.98	2.17±1.34	3.26±0.91
Drink C (55/5/40)	3.00±0.01	0.56±0.01	25.63±0.15	3.40±0.07	3.33±1.06 <sup>b</sup>	1.83±0.91	2.63±1.03	2.27±1.23	3.03±1.00
Drink D (45/5/50)	3.00±0.01	0.55±0.01	25.80±0.10	3.49±0.08	3.66±0.71 <sup>ab</sup>	1.90±0.88	2.67±1.03	2.33±1.32	3.33±0.96

Data presented are averages ± standard deviation from physicochemical analysis with triplications analyses and sensory evaluation with five replicates analyses, Different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05), \*I/F/G = Isomaltulose/Fructose/Glucose, \*\*Viscosity (150 rpm, 25°C, Torque >80%)



**Figure 1** Dialyzable glucose ratio of energy drink after *in vitro* digestion (0-120 min)



**Figure 2** Profile of sugar release in drink C after *in vitro* digestion detected by HPLC-RI detector