วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30:3 (59-67)

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์

Evaluation of Efficacy of Iodized Salt Ribbon Mixer Type Spraying Feeder Prototype

รัชดา พวงจันทน์แดง[1] ประมวล ศรีกาหลง[1] และวริพัสย์ อารีกุล[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลสุ่มสมบูรณ์ที่ความชื้นของเกลือ (ร้อยละ 2.5, 3.5 และ 4.5) ความเร็วในการผสม (35 และ 45 Hz) อุณหภูมิการผสม (อุณหภูมิห้อง และ 40°C) และระยะเวลาการผสม จำนวน 6 ระยะ (ทุก 3 นาที ในช่วงเวลา 18 นาที) ต่อการกระจายตัวของปริมาณไอโอดีนที่ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนจากตัวอย่างเกลือในถังผสมที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่ง พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มีค่าต่ำมากอยู่ระหว่าง ±0.49 ถึง ±1.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใช้เวลาในการผสมนานกว่า 3 นาที นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%CV) ของการผสมมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.53 ถึง 4.06 เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการผสม คือ SD ไม่เกิน ±10 และ %CV ไม่เกิน 20 มาก แสดงว่าเครื่องผสมต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงมากในการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกสภาวะการผสมที่ศึกษา

คำสำคัญ : การประเมินประสิทธิภาพ, เครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีน, เกลือเสริมไอโอดีน

Abstract

This study aims to determine the efficacy of iodized salt ribbon mixer type spraying feeder prototype was evaluated. The experiment was factorial in complete randomized design was performed in this; The moisture content of salt (2.5, 3.5 and 4.5%), mixing speed (35 and 45 Hz), mixing temperature (room temperature and 40°C) and mixing time (3 min interval for 18 min) on the distribution of iodine to 40 mg/kg. The determination of iodine in the salt tank at the 5 position and the standard deviation (SD) is very low, between ± 0.49 to ± 1.46 mg per kg. When used in combination for more than three minutes, the coefficient of variation (% CV) of the mixture is in the range were 1.53 to 4.06, which is lower than the legal standard used to determine the effectiveness of the combination is SD less than ±10 และ %CV no more than 20% have shown that the compound has a very high efficiency in the distribution of iodine in iodized salt was thoroughly mixed and uniform in all conditions studied.

Key words: performance evaluation, iodized salt mixer, iodized salt

[1]คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

โรคขาดสารไอโอดีนเป็นปัญหาที่มีผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิต เนื่องจาก ไอไอโอดีนเป็นธาตุที่สำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนธัยรอยด์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโต การพัฒนาของสมองและระบบประสาท และการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ทุกระบบภายในร่างกายมนุษย์ (รัชตะ, 2548) หากได้รับในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้ ความต้านทานโรค หรือถึงขั้นก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคปัญญาอ่อน โรคคอพอก โรคเอ๋อ ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ของประเทศก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ สังคม การชะลอตัวในการพัฒนาประเทศและคุณภาพชีวิต (สมจิตร์, 2547) ดังนั้นประเทศไทยจึงได้ใช้มาตรการเสริมไอโอดีนลงในเกลือตามที่องค์การอนามัยโลก องค์การยูนิเซฟ และสภานานาชาติเพื่อการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีน (International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders, ICCIDD) แนะนำ โดยเริ่มมีการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนตั้งแต่ปี พ.ศ.2511 แต่จนถึงปัจจุบันยังพบปัญหาการขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย (สภานานาชาติเพื่อการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีน, 2552) สำนักโภชนาการ กรมอนามัย (2554) พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 จนถึง ปี พ.ศ.2552 จำนวนครัวเรือนไทยมีระดับความครอบคลุมการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน (มีไอโอดีนมากกว่า 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ต่ำกว่าร้อยละ 90 ทุกปี โดยองค์การอนามัยโลกกำหนดว่าพื้นที่ที่มีการครอบคลุมการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนที่มีคุณภาพได้มาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 90 ถือว่าพื้นที่นั้นเป็นพื้นที่ขาดสารไอโอดีน ซึ่งสาเหตุหลักอาจเกิดจากเกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่ยังมีระดับไอโอดีนไม่ได้มาตรฐาน เนื่องมาจากกรรมวิธีการผสมสารไอโอดีนลงในเกลือ การคลุกเคล้าเพื่อให้การกระจายตัวไอโอดีนยังไม่มีความสม่ำเสมอ และการควบคุมภาพของผู้ผลิตที่ไม่ดีพอ Thongplaw C.,(1999) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนคือสัดส่วนของสารละลายไอโอดีนต่อเกลือ ส่วนความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของไอโอดีนขึ้นกับวิธีการผสมและความเอาใจใส่ของผู้ผลิตในขั้นตอนการผสมไอโอดีนลงในเกลือมิได้ขึ้นอยู่กับขนาดของการผลิต และจากการศึกษากระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนพบว่าในประเทศไทยผู้ผลิตเกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กที่ยังขาดมาตรฐานการผลิต ใช้วิธีการผสมไอโอดีนด้วยมือ โดยใช้ฝักบัวรดน้ำหรือที่สเปรย์น้ำกับพลั่ว ทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือไม่สม่ำเสมอ ระดับไอโอดีนในเกลือบริโภคแต่ละตำแหน่งของการผสมมีความแตกต่างอย่างมาก ซึ่งทำให้คุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนไม่ได้ระดับมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดคือเกลือบริโภคต้องมีปริมาณไอโอดีนไม่น้อยกว่า 20 และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีการควบคุมกระบวนการเติม หรือผสมไอโอดีนในการผลิต เพื่อให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนอย่างสม่ำเสมอ (สำนักอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา, 2554) นอกจากนี้โรงงานส่วนใหญ่ยังไม่ให้ความสำคัญกับระบบการควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีน เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, มปป.) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับคำแนะนำของสภานานาชาติเพื่อการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีน ที่เสนอให้มีการจัดหาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน และคุ้มค่ากับการลงทุนเชิงเศรษฐกิจ เพื่อเป็นแนวทางในการขจัดโรคขาดสารไอโอดีน (สภานานาชาติเพื่อการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีน, 2552)

ดังนั้นองค์การยูนิเซฟและสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงเห็นควรให้ออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนที่มีการกระจายตัวของไอโอดีนอย่างสม่ำเสมอ และเหมาะสมกับลักษณะเกลือของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์ในการผสมไอโอดีนลงในเกลือป่นที่สภาวะความชื้นต่างๆ และในสภาวะที่ให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน รวมถึงผลของความเร็วรอบของการผสมต่อการกระจายตัวของไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์

เครื่องต้นแบบในการผสมเกลือไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์นี้ ทำงานแบบกะจัดสร้างโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ชุดถังผสม ชุดควบคุมการเติมสารละลายไอโอดีน และชุดควบคุมระบบให้ความร้อนตัวถังผสม (Figure 1) ชุดถังผสมสามารถผสมเกลือได้ครั้งละ 20-50 กิโลกรัม โดยใช้มอเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ ในการทำหน้าที่หมุนใบกวนแบบเกลียวริบบอนสองชั้น (Figure 2) การหมุนลักษณะนี้ทำให้เกิดการกวนเกลือไปด้านหน้าและด้านหลังภายในถังผสม เพื่อการผสมเกลือกับสารละลายไอโอดีน และใบกวนยังใช้ในการดันเกลือออกจากเครื่องได้ การเติมสารละลายไอโอดีน ถูกควบคุมด้วยบอลวาล์ว 2 ตัว เพื่อกำหนดปริมาตรสารละลายไอโอดีนให้เท่ากันทุกครั้งของการผสมและและบอลวาล์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของสารละลายไอโอดีนลงในเกลือ เครื่องมีหัวจ่ายสารสะลายไอโอดีนแบบหัวฉีดสเปรย์ (Figure 3) ส่วนชุดควบคุมระบบให้ความร้อนตัวถังผสม ใช้ตู้ควบคุมอุณหภูมิในการควบคุมการเปิด-ปิด วาล์วแก๊สไฟฟ้า เพื่อให้อุณหภูมิของเกลือในถังผสมมีอุณหภูมิตามที่กำหนด

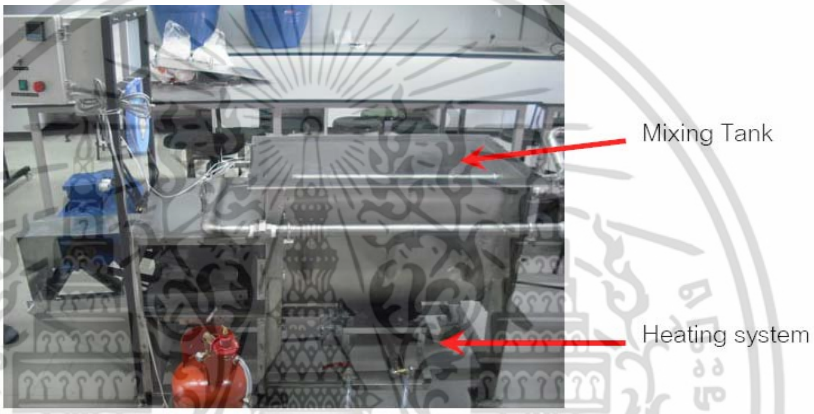

Figure 1 Iodized Salt Ribbon Mixer

Figure 2 Double Ribbon Blade

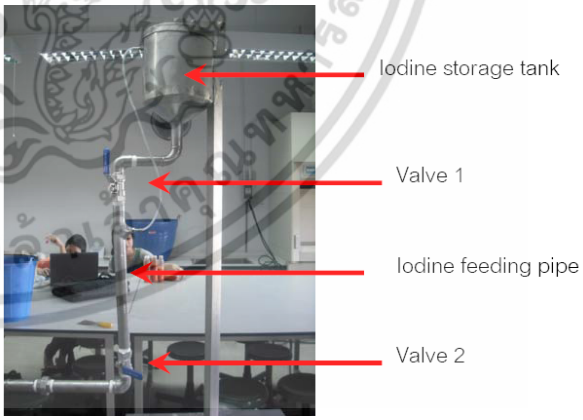

Figure 3 Iodine Feeder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมตัวอย่างเกลือ

การปรับความชื้นของเกลือทำโดยนำเกลือสินเธาว์ป่นมาวิเคราะห์ความชื้นตามวิธี AOAC Method 390.15(4.1.06) (AOAC, 2000) ปรับความชื้นของเกลือด้วยน้ำกลั่นให้มีความชื้น ร้อยละ 2.5, 3.5 และ 4.5 โดยการคลุกเคล้าเกลือกับน้ำตามการคำนวณสมดุลมวลด้วยเครื่องผสมเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำตัวอย่างเกลือแต่ละความชื้นใส่ลงถุงโพลีเอธิลีน มัดปากถุงให้แน่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกลือมีความชื้นทุกจุดสม่ำเสมอ แล้วสุ่มตัวอย่างในถุง จำนวน 3 ตำแหน่ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นอีกครั้ง เพื่อยืนยัน

3. การเตรียมสารละลายไอโอดีน

การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้เกลือเสริมไอโอดีนมีปริมาณไอโอดีนที่ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยท่อที่ควบคุมปริมาตรมีขนาดความจุเฉลี่ย 280.75 มิลลิลิตร และกำหนดการผสมเกลือ 40 กิโลกรัมต่อครั้ง ดังนั้นจึงเตรียมไอโอดีนจากสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้นร้อยละ 0.9617 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

4. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องผสมเกลือไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวฉีดสเปรย์ ทำโดยการศึกษาการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือที่ผลิตได้ การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in complete randomized design (CRD) โดยกำหนดความชื้น 3 ระดับ (ร้อยละ 2.5, 3.5 และ 4.5) อุณหภูมิของเกลือในการผสม 2 ระดับ (อุณหภูมิห้อง (RT) และ 40 องศาเซลเซียส (40°C)) ความเร็วในการผสม 2 ระดับ (35 และ 45 Hz) และระยะเวลาที่ใช้ในการผสม 6 ระดับ โดยเก็บตัวอย่างเกลือทุกๆ 3 นาที (3, 6, 9, 12, 15, และ 18 นาที) ผสมเกลือครั้งละ 40 กิโลกรัม ภายใต้สภาวะที่กำหนด ในตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง (Figure 4) ตำแหน่งละ 100 กรัม นำตัวอย่างบรรจุใส่ถุงโพลีเอธิลีนปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นำไปวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนภายใน 1 สัปดาห์ โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

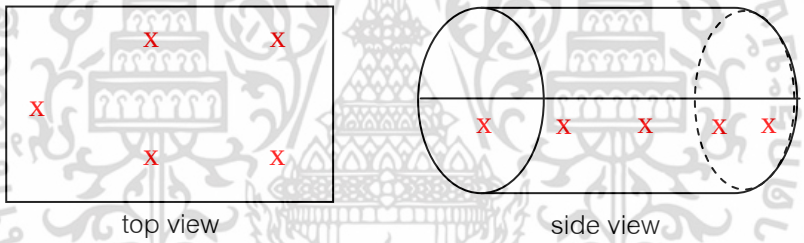

Figure 4 Sampling Position of Mixer

การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง I-Reader ตามคู่มือการใช้ I-Reader สำหรับวัดปริมาณไอโอดีนในเกลือ (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, มปป) ใช้ตัวอย่างเกลือ 10 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้น ปิเปตสารละลายเกลือ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากับ I-Reagent 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง วัดปริมาณไอโอดีนภายหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที รายงานปริมาณไอโอดีนเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นำผลการทดสอบปริมาณไอโอดีนของเกลือแต่ละตำแหน่งของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวฉีดสเปรย์ (ต้นแบบ) มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือที่ผ่านการผสมในช่วงระยะเวลาและสภาวะการผสมแบบต่างๆ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2553) กำหนดในการตรวจสอบประสิทธิภาพการผสม คือทุกตำแหน่งต้องมีปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกับปริมาณไอโอดีนที่คำนวณ (40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน ±10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละสัมประสิทธิ์ของการผันแปร (% CV) ว่าไม่ควรเกินร้อยละ 20 จึงจะถือว่าอุปกรณ์นั้นมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพสูง และถ้ามีค่าต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วต่ำกว่าเกณฑ์มาก จะถือว่าอุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพการผสมดีเยี่ยม

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการผสมเกลือที่มีความชื้นร้อยละ 2.5 ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ด้วยความเร็ว 35 Hz ด้วยเครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์ พบว่าปริมาณไอโอดีนในตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 5 ตำแหน่งของเครื่องผสม ในช่วงเวลาต่างๆ ทั้ง 6 ระดับแสดงดัง Table 1

Table 1 Iodine content in iodized salt of 5 different sampling positions in the mixer

Mixing Time* (min)	Times	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Mean	SD	%CV
		1	2	3	4	5			
3	1	30.16	29.37	29.87	29.84	31.11	30.07	0.64	2.14
	2	34.42	34.97	59.09	35.05	35.90	39.88	10.75	26.95
6	1	30.85	29.77	30.92	30.34	30.65	30.50	0.47	1.54
	2	35.68	36.13	34.65	35.79	35.19	35.48	0.58	1.63
9	1	30.93	30.86	31.67	31.99	31.28	31.34	0.48	1.54
	2	35.08	35.29	35.68	35.78	35.11	35.39	0.33	0.92
12	1	31.03	32.48	31.69	31.12	31.20	31.50	0.60	1.91
	2	34.21	35.43	35.33	35.46	35.40	35.16	0.54	1.52
15	1	31.08	31.33	31.14	31.54	30.97	31.21	0.23	0.73
	2	35.20	36.40	35.88	35.49	34.77	35.54	0.62	1.76
18	1	31.54	30.91	30.95	31.80	32.67	31.57	0.72	2.28
	2	35.20	34.78	35.93	35.49	35.52	35.38	0.42	1.20

* Mixing condition at 2.5% moisture, room temperature (30°C) and mixing speed 35 Hz

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ของถังผสมทั้ง 5 ตำแหน่ง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างของแต่ละจุดในถังผสมของแต่ละระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.03 -1.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ยกเว้นในการผสมครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลา 3 นาทีมีความแตกต่างของปริมาณไอโอดีนสูงถึง 24.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เนื่องจากปริมาณไอโอดีนในตำแหน่งที่ 3 มีปริมาณไอโอดีนสูงถึง 59.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ที่มีไอโอดีนอยู่ระหว่าง 34.42 - 35.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการผสมเป็น 6 นาที พบว่า ปริมาณไอโอดีนของแต่ละจุดของถังผสมมีไอโอดีนใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างระหว่างจุดไม่เกิน 1.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แสดงว่าเครื่องผสมนี้มีประสิทธิภาพในการผสมไอโอดีนในสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตให้กระจายตัวในเกลือได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ โดยปริมาณไอโอดีนที่วัดในแต่ละครั้งมีปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกับปริมาณไอโอดีนที่คำนวณไว้ที่ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละครั้งของการผสมพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.23 - 0.72 ยกเว้นในการผสมครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลา 3 นาทีเช่นกัน ที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 10.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Table 1) และหากคิดเป็นสัมประสิทธิ์ความผันแปร มีค่าสูงถึงร้อยละ 26.9 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าที่สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2553) กำหนดไว้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการผสม ว่าการผสมที่มีประสิทธิภาพค่าปริมาณไอโอดีนที่ได้คือมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน ±10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ %CV ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรไม่ควรเกินร้อยละ 20 ในขณะที่การผสมครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาเดียวกัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความผันแปรเพียง 0.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละ 2.14 ตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการผสมที่ 3 นาที อาจไม่เพียงพอต่อการผสมสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลืออย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการผสมจะทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ สังเกตจากค่า SD และ %CV ใน Table 1 เมื่อเวลาการผสมนานขึ้นค่า SD และ %CV จะมีค่าน้อยมาก ซึ่ง Varipat. *et al*., (2011) รายงานว่าการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือไอโอดีนชนิดริบบอนต้นแบบเดียวกันนี้ แต่ใช้หัวจ่ายสารสะลายไอโอดีนเป็นแบบหัวแบบหัวหยด (dripping type) สามารถผสมสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลืออย่างสม่ำเสมอ ภายในเวลา 4 นาที

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสมด้วยการใช้ความเร็วรอบ 35 และ 45 Hz และสุ่มตัวอย่างวัดปริมาณไอโอดีนในช่วงเวลาที่กำหนดทุกๆ 3 นาที เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความผันแปรของการผสมครั้งที่ 1 และ 2 ได้ผลดัง Table 2 โดยปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยของเกลือเสริมไอโอดีนที่ความเร็วรอบทั้ง 35 และ 45 Hz มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันในทุกๆ ช่วงเวลาตั้งแต่ช่วงเวลา 3 นาทีแรกของการผสม ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยอยู่ระหว่าง 31.14-34.98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.18 - 2.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรระหว่าง 0.55 - 6.50 ยกเว้นในตัวอย่างเกลือที่ผสมที่ความเร็วรอบ 35 Hz ที่ระยะเวลา 3 นาที ที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%CV) เท่ากับ 5.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละ 15.27 ทั้งนี้เนื่องจากการผสมครั้งที่ 2 ในตำแหน่งที่ 3 มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ มาก ดังที่ได้อภิปรายและแสดงในตารางที่ 1 แสดงว่าการเพิ่มความเร็วในการผสมจาก 35 เป็น 45 Hz ทำให้การกระจายตัวของสารละลายไอโอดีนในเกลือเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่าทุกๆ ช่วงเวลาของการผสมเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด คือมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน ±10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร ไม่เกินร้อยละ 20 ในทุกๆ ตำแหน่งของเครื่องผสมอีกด้วย

ผลของอุณหภูมิในการผสมต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือ ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เทียบกับการผสมแบบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (40°C) ที่ความเร็วในการผสม 45 Hz ได้ผลดัง Table 3

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยของเกลือเสริมไอโอดีน ที่ผสมที่อุณหภูมิห้อง(30°C) และที่ผสมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (40°C) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันในทุกๆ ช่วงเวลาตั้งแต่ช่วงเวลา 3 นาทีแรกของการผสม ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยอยู่ระหว่าง 31.14 - 32.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.29 - 2.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรระหว่าง 0.75 - 6.50 แสดงว่าอุณหภูมิในการผสมแบบให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนในการผสมเกลือที่ความชื้น 2.5% ทำให้การกระจายตัวของสารละลายไอโอดีนในเกลือเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอเหมือนกันเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดให้การกระจายตัวของไอโอดีนต้องมีค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร ไม่เกินร้อยละ 20 ในทุกๆ ช่วงเวลาของการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Iodine contents in iodized salt at various mixing speed (Hz) and mixing time (min)

Mixing Speed* (Hz)	Mixing Time (min)	Iodine Content (ppm)**	%CV
35	3	34.98±5.34	15.27
	6	32.99±0.18	0.55
	9	33.36±0.39	1.17
	12	33.33±0.48	1.44
	15	33.38±0.38	1.15
	18	33.48±0.45	1.35
45	3	32.19±0.41	1.27
	6	32.86±1.15	3.50
	9	32.08±2.09	6.50
	12	32.09±0.82	2.55
	15	31.58±0.29	0.93
	18	31.14±1.37	4.39

* Mixing condition at 2.5% moisture and room temperature (30°C)

** Mean and standard deviation calculated from 5 sampling positions of mixer in duplicate experiment

Table 3 Iodine contents in iodized salt at various mixing temperature and mixing time (min)

Mixing Temperature*	Mixing Time (min)	Iodine Content (ppm)**	%CV
RT	3	32.19±0.41	1.27
	6	32.86±1.15	3.50
	9	32.08±2.09	6.50
	12	32.09±0.82	2.55
	15	31.58±0.29	0.93
	18	31.14±1.37	4.39
40	3	32.72±0.86	2.63
	6	32.01±0.44	1.39
	9	31.71±0.24	0.75
	12	31.32±0.48	1.52
	15	31.45±0.48	1.52
	18	31.43±0.43	1.38

* Mixing condition at 2.5% moisture and mixing speed 45 Hz

**Mean and standard deviation calculated from 5 sampling positions of mixer in duplicate experiment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการผสมของเกลือที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 2.5- 4.5 ที่ระยะเวลาการผสมตั้งแต่ 3 -18 นาที เมื่อคำนวนหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร ได้ผลดัง Table 4

Table 4 Iodine contents in iodized salt at various moisture contents (%), mixing speed (Hz) and mixing temperature

Mixing Temperature	Mixing Speed (Hz)	Moisture (%)	Iodine Content (ppm)	%CV
RT	35	2.5	33.59±1.20	3.49
		3.5	35.91±1.46	4.06
		4.5	27.51±0.49	1.76
	45	2.5	31.99±1.02	3.19
		3.5	34.07±0.76	2.22
		4.5	31.43±0.91	2.88
40	35	2.5	27.77±0.50	1.81
		3.5	34.00±0.89	2.60
		4.5	31.09±1.02	3.24
	45	2.5	31.77±0.49	1.53
		3.5	33.12±0.55	1.66
		4.5	32.44±0.56	1.72

จะเห็นว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณไอโอดีนในเกลือของการผสมเกลือที่มีความชื้นในระดับต่างๆ ในทุกสภาวะของการผสม มีค่าอยู่ระหว่าง ±0.49 ถึง ±1.46 แสดงว่า เครื่องผสมมีประสิทธิภาพที่ดีมากในการผสมสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตให้กระจายตัวในเกลือได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทำให้ส่วนเบี่ยงมาตรฐานมีค่าน้อยมาก และเมื่อเทียบเป็นร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร ค่าอยู่ที่ร้อยละ 1.53 ถึง 4.06 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรที่ยอมรับว่าข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติจะมีสัมประสิทธิ์ความผันแปรอยู่ที่ 20 %

สรุปผลการทดลอง

เครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการผสมสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตกับเกลือให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกๆ สภาวะการผสม โดยสามารถผสมเกลือที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 2.5 ถึง 4.5 ด้วยความเร็วในการผสมทั้ง 35 และ 45 Hz ภายใต้สภาวะการผสมทั้งแบบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (40°C) และที่ผสมที่อุณหภูมิห้อง (RT) ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการผสมไม่ควรน้อยกว่า 3 นาที จึงทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือมีความสม่ำเสมอ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรต่ำกว่าร้อยละ 20 ในทุกตำแหน่งของเครื่องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณองค์การยูนิเซฟประเทศไทยในการสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

รัชตะ รัชตะนาวิน. 2548. คนไทยทุกภาคยังขาดสารไอโอดีน. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2554 จากhttp://www.mannger.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9480000149858

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. มปป. คู่มือการใช้ I-Reader สำหรับวัดปริมาณไอโอดีนในเกลือ. นครปฐม.

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. มปป. ไอโอดีนกับสติปัญญา. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2553 จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine.

สภานานาชาติเพื่อการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีน. 2552. ติดตามความก้าวหน้าการดำเนินการสู่เป้าหมายการขจัดโรคขาดสารไอโอดีนอย่างยั่งยืนในประเทศไทย : การทบทวนโครงการขจัดโรคสารไอโอดีนในประเทศไทย โดยผู้เชี่ยวชาญภายนอก พ.ศ.2552. กรุงเทพฯ.

สมจิตร์ จารุรัตนศิริกุล. 2547. โรคไทรอยด์ในเด็ก. ชานเมืองการพิมพ์. สงขลา.

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. 2554. โครงการควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน ปี 2554. สืบค้นเมื่อ 18 มิถุนายน 2554 จาก http://www.maxzysport.com/pdf./iodine.pdf

สำนักอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา 2553. คู่มือพัฒนาผู้ประกอบเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน. นนทบุรี.

สำนักอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา 2554. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค ลงวันที่ 16 มีนาคม 2554. นนทบุรี.

Areekul V., Srikalong P., Danwisathkarnchana N., Chatsuwan N., Puangjundang R., Jarernjit N., Yamsang N., Klaebhirun N. and Dachboon W. 2011. Process Development and Quality Control System for Iodized Salt. Final Report proposed to UNICEF Thailand. Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Thongplaw C. 1999. Salt iodization in Thailand and factors affecting quality of iodized salt. M.Sc.Thesis in food and nutrition for development. Faculty of graduate studies. Mahidol university.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้