การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน

อธิชา เนตรบุตร[1], เอกราช เกตวัลห์[2], เอกพันธ์ แก้วมณีชัย[3]
[1,3]ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2]สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

โคเอนไซม์คิวเทน (coenzyme Q10 หรือ ubiquinone) เป็นสารสำคัญที่ทำหน้าที่ในการผลิตพลังงานให้กับเซลล์ รวมทั้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคความดันโลหิตสูง ปกติร่างกายสามารถสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนขึ้นได้ที่ตับ แต่เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการบริโภคที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้การสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนลดลง จึงเกิดแนวทางการเสริมโคเอนไซม์คิวเทนในอาหาร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิธีเสริมและความคงตัวต่อการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่สดที่ทำจากแป้งสาลี โดยเติมโคเอนไซม์คิวเทนที่ผ่านการเอนแคปซูเลชั่น 3 รูปแบบ คือ อิมัลชั่น ไมโครอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทริน เปรียบเทียบปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนกับบะหมี่สูตรควบคุม และบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผงที่ไม่ผ่านการเอนแคปซูเลชั่น จากผลการทดลองพบว่า บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผงที่ มีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนมากที่สุด (26.32 ± 0.43 mg/50g) ขณะที่รูปแบบอิมัลชั่นมีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนน้อยที่สุด (20.52 ± 0.84 mg/50g) เมื่อให้ความร้อนกับบะหมี่โดยการลวก ทำให้บะหมี่มีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง โดยบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกสูงที่สุด รองลงมาคือรูปแบบผง รูปแบบอิมัลชั่น และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทรินตามลำดับ พบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีความคงตัวต่อกระบวนการย่อยสูงกว่าบะหมี่ชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ : โคเอนไซม์คิวเทน, อิมัลชัน, ไมโครอิมัลชั่น, แกมมาไซโคลเดกทริน, บะหมี่

Development of Fresh Wheat Noodles Supplemented with Coenzyme Q10

Aticha Netraputra[1], Aikkarach Kettawan[2]; Eakaphan Keowmaneechai[3]
[1,3]Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[2]Institute of Nutrition, Mahidol University

ABSTRACT

Coenzyme Q10 (Ubiquinone) is an important substance responsible for producing cellular energy and acting as an antioxidant. Coenzyme Q10 is currently getting more attention due to its health benefits, such as reducing cardiovascular disease and high blood pressure. Normally, coenzyme Q10 can be synthesized at the liver. However, increasing age, environment and inappropriate consumption behavior could lead to the reduction of coenzyme Q10 production. This can be resolved by raising coenzyme Q10 intakes from food products. Therefore, this research aims to study the supplementation and stability of coenzyme Q10 in fresh wheat noodles. Coenzyme Q10 was added into the noodles in 3 different forms: emulsion, microemulsion and γ-cyclodextrin complex compare with the controlled noodles and coenzyme Q10 powder type. The results showed that noodles supplemented with coenzyme Q10 in forms of powder type had the highest coenzyme Q10 contents (26.32 ± 0.43 mg/50g), whereas the emulsion type had the lowest (20.52 ± 0.84 mg/50g). Blanching the product reduces the amount of coenzyme Q10. Coenzyme Q10 loss of cooking were found in forms of microemulsion emulsion powder type and γ-cyclodextrin complex, respectively. Coenzyme Q10 in forms of microemulsion was more stable to digestion than the other

Keywords : coenzyme Q10, emulsion, microemulsion, γ-cyclodextrin, noodles

บทนำ

ปัจจุบันโคเอนไซม์คิวเทนได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจาก มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สามารถเพิ่มจำนวนไมโตคอนเดรียในสมอง ช่วยลดผลกระทบต่อเส้นประสาท (Matthews, Yang, Browne, Baik, & Beal, 1998) ช่วยลดภาวะหัวใจวายในผู้ป่วยโรคหัวใจ (Morisco, Trimarco, & Condorelli, 1993) ลดโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด ลดความดันโลหิตสูง ลดโรคมีเนียร์ (Kumar, Kaur, Devi, & Mohan, 2009) และยังช่วยป้องกันโรคไมเกรนอีกด้วย (Cordero et al., 2011)

ชื่อทางเคมีของโคเอนไซม์คิวเทน (ubiquinone) คือ 2,3-dimethoxy-5-methyl-6-decaprenyl-1,4-benzoquinone (Overvad et al., 1999; Parkhideh, 2008) ปกติร่างกายสามารถสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนได้เองจากกรดอะมิโนที่ชื่อ ไทโรซีน (tyrosine) และฟีนีลอะลานิน(phenylalanine) ร่วมกับวิตามิน 7 ชนิด คือ วิตามินบี 2, 3, 6 และ 12 วิตามินซี กรดโฟลิก และกรดแพนโททีนิก โดยการสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนนี้จะเกิดขึ้นที่ตับ (Palomäki, Malminiemi, Solakivi, & Malminiemi, 1998) โคเอนไซม์คิวเทนอยู่ที่ส่วนเยื่อหุ้มของไมโตคอนเดรีย ทำหน้าที่สำคัญในการขนส่งอิเล็กตรอนเพื่อผลิตพลังงานให้กับเซลล์ โดยพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นพลังงานพื้นฐานของเซลล์ และยังมีความสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น ช่วยป้องกันการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์จากอนุมูลอิสระ (Crane, 2001; Jin et al., 2008; Mattila & Kumpulainen, 2001) โคเอนไซม์คิวเทนพบได้ในไมโทคอนเดรียของอวัยวะที่ต้องการพลังงานสูง เช่น หัวใจ ตับ กล้ามเนื้อ สมอง (Kettawan, 2004) สามารถพบโคเอนไซม์คิวเทนได้ในอวัยวะอื่น ๆ แต่พบค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นอวัยวะที่ต้องการพลังงานน้อย จึงมีจำนวนไมโตคอนเดรียน้อยตามไปด้วย

กระบวนการสังเคราะห์ โคเอนไซม์คิวเทนภายในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 40 ปีขึ้นไป (Itagaki et al., 2010) นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกยังทำให้การสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนในร่างกายลดลงได้อีก เช่น ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม พฤติกรรมการบริโภคที่ไม่เหมาะสม การพักผ่อนไม่เพียงพอ การติดเชื้อโรคบางโรค การได้รับยาหรือสารเคมี แม้แต่ความเครียด ล้วนมีผลต่อการสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนในร่างกาย (Crane, 2001; Zmitek, Zmitek, & Pravst, 2008) เมื่อระดับของโคเอนไซม์คิวเทนลดลง ร่างกายจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานจากอาหาร ให้อยู่ในรูปที่ร่างกายนำไปใช้ได้ เซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ ก็จะทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้เกิดการเจ็บป่วย ร่างกายอ่อนเพลีย ระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมสภาพตามมาได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการได้รับโคเอนไซม์คิวเทนจากอาหารในปริมาณที่สูงขึ้น (Crane, 2001) โดยปริมาณที่แนะนำต่อวันของโคเอนไซม์คิวเทนคือ 30-100 มิลลิกรัม (Pravst, Prosek, ALENKA, Zmitek, & Zmitek, 2009) โคเอนไซม์คิวเทนถูกดูดซึมได้ที่สำไส้เล็ก และสามารถดูดซึมได้ดีขึ้นเมื่อทานอาหารที่มีไขมันร่วมด้วย (Mason, 2005; Zmitek et al., 2008)

นอกจากจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่แล้ว คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของโคเอนไซม์คิวเทน คือ เป็นสารที่ขั้วน้อยมากหรือแทบไม่มีขั้วเลย สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน (lipophilic) จึงส่งผลทำให้ดูดซึมไปใช้ในร่างกายได้ต่ำ (poor bioavailability) โคเอนไซม์คิวเทนถูกทำลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความร้อน ออกซิเจน และแสง ดังนั้น การทำเอนแคปซูเลชันจะช่วยเพิ่ม

ความสามารถในการละลาย ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่าย และช่วยป้องกันโคเอนไซม์คิวเทนจากการถูกทำลายได้ (Augustin & Sanguansri, 2012) การเอนแคปซูเลชันที่ใช้ในอาหารมีหลายประเภท เช่น ไลโปโซม, เจล, และอิมัลชัน (emulsion-base) เป็นต้น พบว่า โคเอนไซม์คิวเทนมีความคงตัวต่อการย่อยดีกว่า เมื่อผ่านการเอนแคปซูเลชั่นแบบอิมัลชั่น และแบบอนุภาคนาโนในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Pinar Ercan & El, 2011; Tobin, O'Sullivan, Hamill, & Kerry, 2014) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกวิธีเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทน เพื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์บะหมี่ 3 แบบคือ อิมัลชั่น ไมโครอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทริน เพื่อช่วยให้โคเอนไซม์คิวเทนสามารถละลายได้ในน้ำ มีความคงตัวต่อการย่อยที่ดี พร้อมที่จะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายขึ้น ช่วยให้ร่างกายได้รับโคเอนไซม์คิวเทนอย่างเพียงพอ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการเติมโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด
2. เพื่อศึกษาปริมาณและความคงตัวต่อการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทน

เนื่องจากโคเอนไซม์คิวเทนมีโมเลกุลขนาดใหญ่และละลายได้เฉพาะในน้ำมัน ทำให้ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย จึงได้ทำการพัฒนาให้โคเอนไซม์คิวเทนสามารถละลาย หรือกระจายตัวได้ในน้ำ เพื่อช่วยให้สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย โดยนำโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบผงบริสุทธิ์ (powder) เตรียมเป็นโคเอนไซม์คิวเทน 3 รูปแบบ คือ อิมัลชั่น (emulsion) ไมโครอิมัลชั่น (microemulsion) และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทริน (γ-cyclodextrin complex) (การเตรียมตัวอย่างทุกขั้นตอนทำในห้องที่ปราศจากแสงยูวี และควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส)

1.1 อิมัลชั่นโคเอนไซม์คิวเทน

ละลาย Tween80 จำนวน 0.2 กรัม ในน้ำ 80 มิลลิลิตร กวนผสมนาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ละลายผงโคเอนไซม์คิวเทน 3 กรัมในน้ำมันรำข้าว 20 กรัม แล้วนำไปผสมในส่วนน้ำ โฮโมจิไนซ์ตัวอย่างที่ความเร็ว 9,000 rpm นาน 1 นาที

1.2 ไมโครอิมัลชั่นโคเอนไซม์คิวเทน

ละลายผงโคเอนไซม์คิวเทน 10 กรัมในน้ำมันรำข้าว 45 กรัม กวนผสมให้เข้ากันนาน 20 นาที หลังจากนั้นใส่ Tween80 จำนวน 45 กรัม แล้วผสมต่ออีก 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส

1.3 สารเชิงซ้อนโคเอนไซม์คิวเทนกับแกมมาไซโคลเดกทริน (Pınar Ercan & El, 2012)

ละลายแกมมาไซโคลเดกทริน 200 มิลลิกรัม ในน้ำอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จำนวน 4.5 มิลลิลิตร ใส่ผงโคเอนไซม์คิวเทน 40 มิลลิกรัมลงในสารละลาย โฮโมจิไนซ์สารละลายด้วยความเร็ว 9000 rpm นาน 30 วินาที กวนสารละลายต่อที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,600 rpm นาน 30 นาที เพื่อแยกส่วนโคเอนไซม์คิวเทนออกจากน้ำ แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจนแห้ง ละลายด้วยน้ำ 4 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

2. การศึกษาประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน

ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน คือ ร้อยละของโคเอนไซม์คิวเทนที่ใส่ลงไป

ในโครงสร้างอิมัลชั่น ไมโครอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทริน ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี HPLC และคำนวณได้โดยสมการ

ประสิทธิภาพของการเตรียม(%) =A/B x 100
A = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนที่ได้จากการเตรียม
B = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนผงที่ใส่

3. การผลิตบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน (ศรีสวัสดิ์, ตรังวัชรกุล, & ศรีสุริยวงษ์, 2540)

นำโคเอนไซม์คิวเทนที่เตรียมได้ เสริมในบะหมี่สดให้ได้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน 30 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์บะหมี่สด 50 กรัม สูตรการผลิตบะหมี่ประกอบด้วยแป้งสาลีเอนกประสงค์ร้อยละ 65.15 เกลือร้อยละ 0.13 โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.19 ไข่ไก่ร้อยละ 16.29 และน้ำร้อยละ 18.24 ปั่นผสมเป็นโด (dough) แล้วรีดเป็นแผ่นหนา 1-2 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นให้มีขนาดความกว้าง 1-1.5 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร นำไปลวกในน้ำเดือดนาน 1 นาที 30 วินาที ทำแห้งบะหมี่โดยวิธี freeze-drying เมื่อแห้งแล้วปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บผงตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

4. การวิเคราะห์ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ด้วย UV detector (Pınar Ercan & El, 2012)

4.1 การสกัดตัวอย่าง

สกัดตัวอย่างโดยละลายตัวอย่าง 0.1 กรัมใน เอทานอล (HPLC grade) 8 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์ 9,000 rpm นาน 5 นาที จากนั้นเติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยง 4,600 rpm นาน 5 นาที แยกเก็บชั้นเฮกเซน และนำตัวอย่างไปสกัดซ้ำอีก 2 รอบ โดยใส่เอทานอล 5 มิลลิลิตร และเฮกเซน 20 มิลลิลิตร นำส่วนเฮกเซนไประเหยแบบสุญญากาศ ละลายสารที่ได้ด้วย 2-propanol 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC

4.2 การวิเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทน

คอลัมน์ คือ Vydac 201TP54 (ขนาด 5 µm, 25cm x 4.6mm) mobile phase ประกอบด้วย methanol : 2-propanol : ethanol (75:15:15 โดยปริมาตร) อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่นที่ใช้คือ 275 นาโนเมตร ปริมาตรที่ฉีด 20 µl คำนวณผลวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

5. การวิเคราะห์ความคงตัวต่อกระบวนการย่อย(digestive stability) ของบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนด้วยแบบจำลองระบบทางเดินอาหารในหลอดทดลอง (in vitro simulated digestion models) (Garti & McClements, 2012)

ละลายตัวอย่างบะหมี่ 1 กรัมด้วย 120mM NaCl ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 3 ด้วย 1N HCl เติมเอนไซม์ porcine pepsin ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 40 มิลลิลิตรด้วย NaCl จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

เมื่อครบเวลาปรับ pH ตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก gastric phase ให้ได้ 6 ด้วย 1N $NaHCO_3$ เติมเอนไซม์ porcine pancreatin, lipase และ bile extract ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.4, 0.2 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับ pH ให้ได้ 6.9 ด้วย 1N NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนาน 120 นาที

ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก small intestinal phase ที่ 4,600 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ HPLC

ความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนคำนวณได้จาก อัตราส่วนระหว่างปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่างหลังการย่อยต่อปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่างก่อนการย่อย ดังสมการต่อไปนี้

ความคงตัวต่อการย่อย(%) = S/C x 100
S = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนหลังการย่อย
C = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปร ปรวนทางสถิติ (ANOVA) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 18.0

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน

เมื่อนำโคเอนไซม์คิวเทนที่เตรียมในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ อิมัลชั่น ไมโครอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทรินไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเตรียมโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบอิมัลชั่นมีค่าประสิทธิภาพของการเตรียมสูงที่สุด (ร้อยละ 93.81 ± 3.66) รองลงมาคือรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทริน (ร้อยละ 87.31 ± 1.74) และแบบไมโครอิมัลชั่น (ร้อยละ 72.53 ± 2.66) ซึ่งประสิทธิภาพของการเตรียมทั้ง 3 รูปแบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *(P<0.05)*

2. ปริมาณของโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนทั้งสด และบะหมี่ที่ผ่านการลวก แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน

รูปแบบของโคเอนไซม์คิวเทน	ร้อยละประสิทธิภาพของการเตรียม
อิมัลชั่น	93.81 ± 3.66[a]
ไมโครอิมัลชั่น	72.53 ± 2.66[c]
สารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทริน	87.31 ± 1.74[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ *(P< 0.05)*

พบว่า ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่รูปแบบผงมีค่าสูงที่สุด (26.32 ± 0.43 mg/50g) ตามด้วยบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทรินรูปแบบอิมัลชั่น และไมโครอิมัลชั่นรองลงมาตามลำดับ ส่วนบะหมี่สูตรควบคุมไม่พบโคเอนไซม์คิวเทน

ผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่ผ่านการลวกมีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง พบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกมากที่สุด (ร้อยละ

67.67 ± 0.24) รองลงมาคือ บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบอิมัลชั่น รูปแบบผง และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทริน, รองลงมาตามลำดับ

3. ความคงตัวต่อกระบวนการย่อย (digestive stability) ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ผลการทดลองความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีค่าร้อยละความคงตัวต่อการย่อยสูงที่สุด (ร้อยละ 60.51 ± 0.29) รองลงมาคือรูปแบบผง รูปแบบอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทรินรองลงมาตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ตัวอย่างบะหมี่	ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน (mg/50g)		ร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวก
	บะหมี่สด	บะหมี่ลวก	
สูตรควบคุม	ND	ND	ND
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผง	26.32 ± 0.43^{a}	15.21 ± 0.51^{b}	42.21 ± 1.00^{c}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบอิมัลชั่น	20.52 ± 0.84^{b}	7.78 ± 0.15^{c}	62.00 ± 2.30^{b}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่น	21.12 ± 0.56^{b}	6.83 ± 0.23^{d}	67.67 ± 0.24^{a}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทริน	25.43 ± 0.23^{a}	16.94 ± 0.56^{a}	33.40 ± 1.58^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P< 0.05$)

ตารางที่ 3 ความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ตัวอย่างบะหมี่	ร้อยละความคงตัวต่อการย่อย
สูตรควบคุม	ND
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผง	57.46 ± 0.08^{b}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบอิมัลชั่น	54.04 ± 1.12^{c}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่น	60.51 ± 0.29^{a}
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทริน	39.94 ± 1.85^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P< 0.05$)

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิ ภาพของการเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทนขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียม อุณหภูมิ การสัมผัสกับแสงและอากาศ ซึ่งหากระยะเวลาในการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทนนาน มีการสัมผัสกับแสงและอากาศมาก ก็จะส่งผลให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนสูญเสียไปได้มาก

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีประสิทธิภาพของการเตรียมต่ำที่สุด ซึ่งอาจจะเกิดจากการสัมผัสอากาศ และอุณหภูมิที่สูงโดยตรงมากกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบอิมัลชั่น และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทริน จึงทำให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนสลายตัวในขั้นตอนการเตรียมได้มากกว่า

ในขั้นตอนการผลิตบะหมี่ก็สามารถเกิดการสูญเสียโคเอนไซม์คิวเทนจากการสัมผัสกับอากาศ และแสงได้เช่นกัน ส่งผลทำให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง (ดังตารางที่ 2) ยิ่งไปกว่านั้น

เมื่อลวกเส้นบะหมี่ ส่งผลให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลงไปอีกค่อนข้างมาก (ตามผลที่แสดงในตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าโคเอนไซม์คิวเทนไม่เสถียรต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบว่าโคเอนไซม์คิวเทนมีปริมาณลดลงหลังจากนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 1 นาที (ต้มและทอด) (Pinar Ercan & El, 2011; Tobin et al., 2014)

บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่น และอิมัลชั่น มีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากในระหว่างการลวก น้ำมันที่เป็นส่วนประกอบหลักในการเอนแคปซูเลชั่นได้ละลายออกมา จึงส่งผลทำให้โคเอนไซม์คิวเทนละลายออกมาด้วยเช่นกัน

ในบะหมี่สูตรควบคุม ไม่พบปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน เนื่องจากโดยปกติอาหารประเภทแป้งจะมีโคเอนไซม์คิวเทนอยู่น้อยมากในระดับที่ตรวจไม่พบ และแม้ว่าในบะหมี่มีส่วนผสมของไข่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนที่มีในไข่ค่อนข้างน้อยมาก 0.73-3.7 µg/g (; Kubo et al., 2008) รวมถึงปริมาณที่ใช้ในการผลิตบะหมี่ก็น้อยเช่นเดียวกัน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่สูตรควบคุมได้

ความคงตัวต่อกระบวนการย่อยโดยใช้แบบจำลองการย่อยของระบบทางเดินอาหาร ในหลอดทดลอง (*in vitro* simulated digestion models) ซึ่งเป็นการเลียนแบบการย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ได้แก่ ปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก โดยสภาพที่เลียนแบบประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ เช่น เอนไซม์ ความเป็นกรดด่าง ระยะเวลาการย่อย และอุณหภูมิในการย่อย แบบจำลองนี้ได้นำไปใช้เพื่อศึกษาความเสถียรของสารอาหารต่างๆ เมื่อผ่านระบบการย่อย อาทิเช่น แคโรทีนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นต้น (Amiri-Rigi & Abbasi, 2017)

จากผลการทดลองพบว่า บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนไม่เสถียรต่อการย่อยในแบบจำลองการย่อยในทางเดินอาหาร เนื่องจากความเป็นกรดด่าง และเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารมีผลทำให้โคเอนไซม์คิวเทนสูญเสียไปและสารโคเอนไซม์คิวเทนไม่สามารถละลายได้ในน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารได้

บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชั่นมีความคงตัวต่อการย่อยสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ส่วนบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบแกมมาไซโคเดกทรินมีความคงตัวต่อการย่อยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบแกมมาไซโคลเดกทรินมีความคงตัวต่อการย่อยน้อยที่สุด เนื่องจากแกมมาไซโคลเดกทรินกักเก็บสารโคเอนไซม์คิวเทนไว้ภายใน ไม่ปล่อยสารออกมา (Pınar Ercan & El, 2012)

วิธีการเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทนที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของโคเอนไซม์คิวเทนได้ การเลือกวิธีเอนแคปซูเลชั่นโคเอนไซม์คิวเทน ที่นำไปเสริมในผลิตภัณฑ์ ต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งาน บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคเดกทรินมีความคงตัวต่อการลวกที่ดี แต่มีความคงตัวต่อกระบวนการย่อยต่ำ ส่วนบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนชนิดอิมัลชั่น และไมโครอิมัลชั่นมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกที่สูง แต่ให้ค่าความคงตัวต่อการย่อยที่ดี เนื่องจากมีน้ำมันและมีสารช่วยลดแรงตึงผิว ที่ช่วยให้โคเอนไซม์คิวเทนสามารถละลายอยู่ในน้ำย่อยในปริมาณที่สูง

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการทดสอบการจำลองดูดซึมแบบ caco-2 cell (*in vivo*) ซึ่งหากได้มีการทดสอบ อาจได้ข้อมูลที่น่าสนใจมากขึ้น

References

Amiri-Rigi, A., & Abbasi, S. (2017). **Stability assessment of lycopene microemulsion prepared using tomato industrial waste against various processing conditions.** Journal of the Science of Food and Agriculture, n/a-n/a. doi:10.1002/jsfa.8368.

Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). **2 - Challenges in developing delivery systems for food additives, nutraceuticals and dietary supplements.** Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals (pp. 19-48): Woodhead Publishing.

Cordero, M. D., Alcocer-Gómez, E., de Miguel, M., Cano-García, F. J., Luque, C. M., Fernández-Riejo, P., Sánchez-Alcazar, J. A. (2011). **Coenzyme Q10: A novel therapeutic approach for Fibromyalgia? Case series with 5 patients.** Mitochondrion, 11(4), 623-625. doi:https://doi.org/10.1016/j.mito.2011.03.122.

Crane, F. L. (2001). **Biochemical Functions of Coenzyme Q10.** Journal of the American College of Nutrition, 20(6), 591-598. doi: 10.1080/07315724.2001.10719063.

Ercan, P., & El, S. N. (2011). **Changes in content of coenzyme Q10 in beef muscle, beef liver and beef heart with cooking and in vitro digestion.** Journal of Food Composition and Analysis, 24(8), 1136-1140. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.05.002.

Ercan, P., & El, S. N. (2012). **In vitro bioaccessibility of coenzyme Q10 in enriched yoghurts.** International Journal of Food Science & Technology, 47(9), 1986-1992.

Garti, N., & McClements, D. J. (2012). **Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals: Elsevier.**

Itagaki, S., Ochiai, A., Kobayashi, M., Sugawara, M., Hirano, T., & Iseki, K. (2010). **Grapefruit juice enhance the uptake of coenzyme Q10 in the human intestinal cell-line Caco-2.** Food Chemistry, 120(2), 552-555. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.052

Jin, G., Horinouchi, R., Sagawa, T., Orimo, N., Kubo, H., Yoshimura, S., . . . Yamamoto, Y. (2008). **Coenzyme Q10-Binding/Transfer Protein Saposin B also Binds γ-Tocopherol.** Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 43(2), 95-100. doi:10.3164/jcbn.2008052.

Kettawan, A. (2004). **The content of coenzyme Q10 in foods, animal sources and vegetable oils.** Research Project, Mahidol University, Thailand.

Kubo, H., Fujii, K., Kawabe, T., Matsumoto, S., Kishida, H., & Hosoe, K. (2008). **Food content of ubiquinol-10 and ubiquinone-10 in the Japanese diet.** Journal of Food Composition and Analysis, 21(3), 199-210. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.10.003

Kumar, A., Kaur, H., Devi, P., & Mohan, V. (2009). **Role of coenzyme Q10 (CoQ10) in cardiac disease, hypertension and Meniere-like syndrome.** Pharmacology & Therapeutics, 124(3), 259-268. doi:https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2009.07.003.

Mason, P. (2005). **Potential uses for coenzyme Q10.** Pharmaceutical journal, 275(7368), 379-382.

Matthews, R. T., Yang, L., Browne, S., Baik, M., & Beal, M. F. (1998). **Coenzyme Q10 administration increases brain mitochondrial concentrations and exerts neuroprotective effects.** Proceedings of the National Academy of Sciences, 95(15), 8892-8897.

Mattila, P., & Kumpulainen, J. (2001). **Coenzymes Q9and Q10: Contents in Foods and Dietary Intake.** Journal of Food Composition and Analysis, 14(4),409-417. doi:http://dx.doi.org/10.1006/jfca.2000.0983

Morisco, C., Trimarco, B., & Condorelli, M. (1993). **Effect of coenzyme Q10 therapy in patients with congestive heart failure: a long-term multicenter randomized study.** The clinical investigator, 71(8), S134-S136. doi:10.1007/bf00226854

Overvad, K., Diamant, B., Holm, L., Hølmer, G., Mortensen, S. A., & Stender, S. (1999). **Coenzyme Q10 in health and disease.** European Journal of Clinical Nutrition, 53, 764-770.

Palomäki, A., Malminiemi, K., Solakivi, T., & Malminiemi, O. (1998). **Ubiquinone supplementation during lovastatin treatment: effect on LDL oxidation ex vivo.** Journal of lipid research, 39(7), 1430.

Parkhideh, D. (2008). **Methods and compositions that enhance bioavailability of coenzyme-Q10.** United States Patent 7,438,903: October.

Pravst, I., Prosek, M., ALENKA, G. W., Zmitek, K., & Zmitek, J. (2009). **The stability of coenzyme Q10 in fortified foods.** Acta chimica slovenica, 56(4), 953-958.

Prosek, M., Smidovnik, A., Fir, M., Strazisar, M., Wondra, A. G., Andrensek, S., & Zmitek, J. (2005). **Water Soluble Form Of Coenzyme Q10 In The Form Of An Inclusion Complex With Beta-Cyclodextrin, Process Of Preparing, And Use Thereof:** Google Patents.

Srisawat, S., Trangwatcharakul, S., & Srisuriyawong, S. (1997). **Production and use of dried raw durian.** Bangkok: Thailand Institute of Scientific and Technological Research.

Tobin, B. D., O'Sullivan, M. G., Hamill, R., & Kerry, J. P. (2014). **Effect of cooking and in vitro digestion on the stability of co-enzyme Q10 in processed meat products.** Food Chemistry, 150, 187-192. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.138.

Zmitek, J., Zmitek, K., & Pravst, I. (2008). **Improving the bioavailability of coenzyme Q10-From theory to practice.** Agro Food Industry Hi-Tech, 19(4), 8-10.