รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเพิ่มมูลค่าให้กับต้นถั่วดาวอินคาโดยการนำส่วนกากเมล็ดที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน และส่วนใบมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง

Value Added of Sacha Inchi by Using Nut Meal and Leaf to Produce Valuable Products

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802049
สัญญาเลขที่ 91/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเพิ่มมูลค่าให้กับต้นถั่วดาวอินคาโดยการนำส่วนกากเมล็ดที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน และส่วนใบมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง

Value Added of Sacha Inchi by Using Nut Meal and Leaf to Produce Valuable Products

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 91/2560

ขอขอบคุณไร่ถั่วดาวอินคาอาจารย์วัลชัย จ.นครปฐมที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบสำหรับการทำงานวิจัย

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับต้นถั่วดาวอินคาโดยการนำส่วนกากเมล็ดที่เหลือจากการสกัดน้ำมันและส่วนใบมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และโครงสร้างทางจุลภาคของถั่วดาวอินคาผงที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน (control) ถั่วดาวอินคาผงที่กำจัดไขมันบางส่วน (PDP) และถั่วดาวอินคาผงที่ปราศจากไขมัน (TDP) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ถั่วดาวอินคาผงทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตสูง เมื่อวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า TDP มีความสามารถการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงกว่า PDP และ control ตามลำดับ ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ตัวอย่างมีลักษณะไม่แตกต่างกัน โดยเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของถั่วดาวอินคาผง พบว่า มีโครงสร้างของโปรตีนและเม็ดแป้งฝังตัวอยู่ในเนื้อเมล็ดถั่วดาวอินคา เม็ดแป้งมีลักษณะกลม ขนาดประมาณ 3-4 μm จากสมบัติเชิงหน้าที่ดังกล่าว พบว่า TDP มีความเหมาะสมที่จะนำไปศึกษาด้านสมบัติการเกิดโฟมในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กโดยแปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวในสูตรชิฟฟอนเค้กด้วย TDP ร้อยละ 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนักไข่ขาว พบว่า ค่าการเกิดโฟม ความคงตัวของโฟมและลักษณะเนื้อสัมผัสของชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วย TDP 2% มีค่าใกล้เคียงกับชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน ขั้นที่สอง เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักใบชาถั่วดาวอินคาต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแปรเวลาในการหมักใบชาเป็น 0 1 3 และ 5 ชั่วโมง และนำมาคั่วเป็นเวลา 30 นาที ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการหมักมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยตัวอย่างที่หมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่ระยะเวลาในการหมักไม่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด จึงเลือกระยะเวลาในการหมักที่ 1 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมขั้นต้นในการทดลองขั้นต่อไป จากศึกษาผลของวิธีการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแปรวิธีการในการยับยั้งเอนไซม์ 3 วิธี คือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์) การนึ่งด้วยไอน้ำ และการคั่ว ผลการทดลองพบว่า การนึ่งด้วยไอน้ำ ทำให้ใบชามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ABSTRACT

This research was to adding value of sacha inchi by using nut meal and leaf to produce valuable products. First step was to study the chemical compositions, functional properties and microstructure of sacha inchi powder (control), partially defatted powder (PDP) and totally defatted powder (TDP). The chemical composition assay showed that all treatments of sacha inchi powder were high in protein and carbohydrate. Then, functional properties were investigated. Results revealed that TDP was significantly greater water absorption capacities, oil absorption capacities, foaming capacities and foaming stability than those of PDP and control ($p<0.05$), respectively. However, emulsifying properties and microstructure of TDP tended not to be different from those of PDP and control. Structure determination of sacha inchi powder showed that the proteins bodies and starch granules were embedded in kernel tissues. The starch granules were oval and approximately 3-4 μm in diameter. The functional properties results demonstrated that TDP was suited to study the foaming properties in chiffon cake. Then, egg white in chiffon cake formulation was replaced by 2, 4 และ 6% TDP (egg white basis). Results showed that foaming capacity, foaming stability and texture of the 2% TDP replacing product were closed to those of the standard formulation product. Second step, effect of fermentation time on antioxidant activity of sacha inchi tea was studied. Fermentation time was varied to be 0 1 3 and 5 hours, then, tea leaves were pan frying for 30 minutes. It was found that fermentation time effected on the antioxidant activities. The sample which was fermented for 1 hour had the highest antioxidant activities. However, fermentation time did not affect the total phenolic content. The fermentation for 1 hour was selected to be pretreatment method for the next experiment. Then, effect of enzyme inactivation on antioxidant activity of sacha inchi tea was studied. There were 3 methods; no enzyme inactivation was a control, steaming and pan frying. Results showed the steaming method had the highest antioxidant activities and total phenolic content with significant difference ($p<0.05$).

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ดาวอินคา	4
โปรตีนในเมล็ดพืช	5
สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน	5
แนวทางการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาในระบบอาหาร	7
กระบวนการผลิตชา	9
สารประกอบฟีนอล	10
สารต้านอนุมูลอิสระ	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	21
วิธีดำเนินการวิจัย	22
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	29
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
สรุปผลการทดลอง	42
ข้อเสนอแนะ	42
รายการอ้างอิง	43
ประวัตินักวิจัย	48

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 ส่วนผสมโฟมของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน ชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2, 4, และ 6 โดยน้ำหนัก..... 25

4-1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน (**Control**) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่กำจัดไขมันออกบางส่วน (**PDP**) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาปราศจากไขมัน (**TDP**)..... 30

4-2 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน (Control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่กำจัดไขมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาปราศจากไขมัน (TDP)..... 32

4-3 ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน ชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา..... 34

4-4 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness และค่า Gumminess ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา 2% 4% และ 6%..... 36

4-5 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดได้จากใบชาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ..... 38

4-6 ค่าสี L* a* b* ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ..... 39

4-7 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดจากใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ.. 40

4-8 ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ..... 41

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล.....	11
2-2	กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ.....	15
2-3	ปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจน.....	15
2-4	ปฏิกิริยาออกซิเดชันโลหะ.....	15
4-1	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน (control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ขจัดน้ำมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP).....	33

บทที่ 1
บทนำ

ดาวอินคาเป็นพืชวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับยางพารา สบู่ดำ หรือมันสำปะหลัง ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. มีชื่อสามัญว่า sacha inchi, sacha peanut, mountain peanut, supua หรือ Inca peanut เป็นพืชเฉพาะถิ่นในป่าอะเมซอนแถบประเทศเปรู พืชในสกุลนี้มีพบในประเทศไทยอยู่ 1 ชนิด คือ *Plukenetia corniculata* Sm. มีการใช้ประโยชน์มาตั้งแต่สมัยอารยธรรมชาวอินคาหรือเมื่อกว่า 3,000 ปีที่ผ่านมา โดยนำมาประกอบอาหาร เช่น เมล็ดสุกนำมาทำซอส น้ำมัน และเมล็ดคั่วเป็นส่วนผสมของอาหารพื้นเมือง หรือทำเป็นครีมบำรุงผิว เป็นต้น ดาวอินคาเป็นพืชที่ผลมีรูปร่างคล้ายดาว ภายในมีเมล็ดคล้ายถั่ว เมื่อนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยจึงเรียกว่าดาวอินคา หรือ ถั่วดาวอินคา น้ำมันดาวอินคาเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโอเมก้า 3 สูงถึง 45 – 63% โอเมก้า 6 สูง 34 – 39% และโอเมก้า 9 สูง 6 – 10% นอกจากนี้ยังประกอบด้วยไอโอดีน วิตามินเอ และวิตามินอี จึงมีบริษัทเอกชนนำดาวอินคาเข้ามาส่งเสริมการปลูกเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาโดยเริ่มปลูกที่จังหวัดหนองคาย และปัจจุบันมีการขยายพื้นที่การปลูกไปยังส่วนต่างๆ ทั่วประเทศ (อุดม วิทย์ ไวทยการ กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ, มปป) ชมรมปลูกถั่วดาวอินคาภาคตะวันออก เป็นอีกชมรมหนึ่งที่มีสมาชิกในการปลูกและแปรรูปน้ำมันจากถั่วดาวอินคาเป็นจำนวนมาก เมื่อปริมาณการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจึงมีกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมันเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ทางชมรมปลูกถั่วดาวอินคาภาคตะวันออกจึงอยากให้กลุ่มผู้วิจัยได้นำกากเมล็ดถั่วดาวอินคา รวมทั้งส่วนอื่นๆ ของต้นถั่วดาวอินคามาศึกษาหาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากต้นถั่วดาวอินคาอย่างครบวงจร และเมื่อผู้วิจัยทำการสืบค้นข้อมูลพบว่า กากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมันแล้วนั้น ยังคงอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีโปรตีนสูงถึง 49.79% (ภารวี กุศลินกุล และคณะ, 2558) จึงมีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนผง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูงจากการแปรรูปเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำมันดาวอินคา เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบทางการเกษตรอย่างคุ้มค่าที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า กากถั่วดาวอินคาที่เหลือทิ้งจากการบีบน้ำมันแล้วนี้ยังคงมีปริมาณน้ำมันตกค้างอยู่ถึง 24.29% (ภารวี กุศลินกุล และคณะ, 2558) ซึ่งองค์ประกอบอื่นๆ ที่ปะปนอยู่กับผงโปรตีนนั้น อาจขัดขวางการทำหน้าที่ของโปรตีนนั้นเมื่อนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของระบบอาหาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจการนำกากถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมันซึ่งได้รับจากชมรมปลูกถั่วดาวอินคาภาคตะวันออกมาทำการแปรรูปเป็นโปรตีนผง โดยจะศึกษาเปรียบเทียบวิธีการกำจัดน้ำมันที่เหลือตกค้างในกากถั่วดาวอินคา และศึกษาเปรียบเทียบถึงสมบัติการทำหน้าที่ของโปรตีนผงที่ผลิตได้จากวิธีการกำจัดน้ำมันแบบต่างๆ กับโปรตีนผงที่ได้จากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่มีการกำจัดน้ำมัน เพื่อเป็นแนวทางในการนำถั่วดาวอินคาไปใช้

ประโยชน์ในระบบอาหารต่อไป เช่น การใช้ประโยชน์ในด้านของอาหารเสริมโปรตีน การใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารอิมัลชัน ระบบการเกิดโฟมของอาหาร เป็นต้น

นอกจากในส่วนของกากเมล็ดแล้ว ยังพบการนำส่วนของยอดอ่อนและใบของต้นถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์ทางอาหารอีกด้วย โดยมีการนำส่วนของยอดอ่อนไปผัดหรือทำเป็นแกงเลียงรับประทานกับข้าว ส่วนของใบที่ยังไม่แก่มากนำมาหั่นแล้วผึ่งแดด 1 – 2 แดด นำไปต้มดื่มเป็นน้ำชาสามารถลดน้ำตาล และไขมันในเส้นเลือด หรือนำไปสกัดเป็นน้ำคลอโรฟิลล์ (อุดมวิทย์ ไวทยการ กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ, มปป) ดังนั้น เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับส่วนของใบถั่วดาวอินคาและเพิ่มแนวทางในการใช้ประโยชน์จากส่วนใบถั่วดาวอินคา ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำใบถั่วดาวอินคามาผลิตเป็นใบชาถั่วดาวอินคาโดยเลียนแบบวิธีการผลิตมาจากวิธีการผลิตใบชาอู่หลง และมีการศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตในแต่ขั้นตอนต่อฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของใบชาถั่วดาวอินคา เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ผลิตสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตจริงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใบชาถั่วดาวอินคาที่ยังคงคุณค่าอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

จากภาพรวมของงานวิจัยนี้ จึงเป็นการนำวัตถุดิบและส่วนเหลือทิ้งจากต้นถั่วดาวอินคาจากชมรมปลูกถั่วดาวอินคาภาคตะวันออกซึ่งอยู่ในพื้นที่ของการวิจัยมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีมูลค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกที่ตอบสนองความต้องการและเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ สามารถนำไปถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้ชุมชนหรือผู้ประกอบการนำไปขยายผลสู่การจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตโปรตีนผงที่มีคุณภาพที่ดีทั้งลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการ

2) เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์โปรตีนผงในผลิตภัณฑ์อาหาร

3) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตใบชาถั่วดาวอินคาที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การศึกษากรรมวิธีการผลิตโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา โดยศึกษาผลของวิธีการกำจัดน้ำมันต่อคุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ และศึกษาแนวทางการนำโปรตีนผงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในระบบอาหารต่อไป

ตอนที่ 2 ศึกษากรรมวิธีในการผลิตใบชาถั่วดาวอินคา โดยเริ่มจากการคัดเลือกใบถั่วดาวอินคาให้มีความสม่ำเสมอกันทั้งขนาดและความแก่-อ่อนของใบ จากนั้นจึงศึกษาผลของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนที่มีต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบชา ได้แก่ ขั้นตอนการหมัก และขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ เพื่อคัดเลือกกระบวนการที่ยังคงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบชาไว้ได้มากที่สุด สำหรับเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการนำไปใช้ในการผลิตจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการในการผลิตโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาและใบชาถั่วดาวอินคาและทราบแนวทางในการใช้ประโยชน์ในอาหาร

2. เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร และสามารถใช้ประโยชน์จากต้นถั่วดาวอินคาได้อย่างครบวงจร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดาวอินคา (อุดมวิทย์ ไวทยการ กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ, มปป)

ดาวอินคา เป็นพืชวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับ ยางพารา สบู่ดำ หรือมันสำปะหลัง ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. มีชื่อสามัญว่า sacha inchi, sacha peanut, mountain peanut, supua หรือ Inca peanut เป็นพืชอายุหลายปี เป็นพืชเฉพาะถิ่นในป่าอะเมซอนแถบประเทศเปรู พืชในสกุลนี้มีพบในประเทศไทยอยู่ 1 ชนิด คือ *Plukenetia corniculata* Sm. ส่วนชื่อไทยและการใช้ประโยชน์นั้นยังไม่มีข้อมูล

ดาวอินคา เป็นไม้เลื้อยอายุหลายปี มีอายุได้นาน 10 ถึง 50 ปี ลำต้นสูง 2 เมตร กิ่งและยอดแผ่เลื้อยพันตามกิ่งไม้หรือโครงสร้างเลื้อยพันอื่นๆ

ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปหัวใจ ปลายใบเรียวแหลม โคนใบตรงถึงรูปหัวใจ ขอบใบจักฟันเลื่อย ใบยาว 10 – 12 ซม. กว้าง 8 – 10 ซม. ก้านใบยาว 2 – 6 ซม.

ดอก เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 5 เดือนหลังจากปลูก และติดเมล็ดเมื่ออายุ 8 เดือน ดอกช่อแบบช่อกระจะ (raceme) ดอกแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกเพศผู้ขนาดเล็ก สีขาว เรียงเป็นกระจุกตลอดความยาวช่อ ดอกเพศเมีย 2 ดอก อยู่ที่โคนช่อดอก

ผลแบบแคปซูล เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 – 5 ซม. มี 4 – 7 แฉก ผลอ่อนสีเขียว และสีจะเข้มขึ้นตามอายุ ผลแก่มีสีน้ำตาลดำ มีเนื้อนุ่มๆ สีดำหุ้มอยู่ซึ่งกินไม่ได้ โดยปรกติจะทิ้งให้แห้งคาต้นก่อนเก็บเกี่ยว เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วนำมาตากแดดอีก 1 วัน จึงนำผลผลิตไปจำหน่าย

การใช้ประโยชน์

จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า ทุกส่วนของต้นดาวอินคาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยส่วนยอดและใบอ่อน สามารถนำไปประกอบอาหารได้ เช่น นำไปผัด ใบของต้นดาวอินคา โดยเฉพาะใบที่ยังไม่แก่มากนำมาหั่นแล้วผึ่งแดด 1 – 2 แดด นำไปต้มดื่มเป็นน้ำชา สามารถลดน้ำตาล และไขมันในเส้นเลือด หรือนำไปสกัดเป็นน้ำคลอโรฟิลล์ น้ำมันดาวอินคา เป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีกรดไขมันที่จำเป็นในปริมาณสูง น้ำมันมีกลิ่นหอมอ่อนๆ รสไม่ขม และเมล็ดดาวอินคาก็มีการทำเป็นขนมขบเคี้ยวเนื่องจากมีโอเมก้า 3 และโปรตีนสูง เมล็ดดาวอินคามีโปรตีนถึง 27% และน้ำมันสูงถึง 35 – 60% ในน้ำมันมีโอเมก้า 3 สูงถึง 45 – 63% โอเมก้า 6 สูง 34 – 39% และโอเมก้า 9 สูง 6 – 10% นอกจากนี้ยังประกอบด้วยไอโอดีนวิตามินเอ และวิตามินอี

เนื่องจากถั่วดาวอินคาจัดเป็นส่วนเมล็ดพืชที่ให้น้ำมันซึ่งมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่สูง จากการสืบค้นข้อมูลพบข้อมูลของโปรตีนในเมล็ดพืชน้ำมันซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของงานวิจัยได้ดังนี้

โปรตีนในเมล็ดพืช (Yada, 2004)

โปรตีนในเมล็ดพืช (Seed protein) สามารถจำแนกเมล็ดพืชได้เป็น 2 ประเภท คือ ธัญชาติและเมล็ดพืชที่ให้น้ำมัน

1) โปรตีนจากธัญชาติ (Cereal protein) เมล็ดธัญชาติที่แก่จัดและแห้งดีแล้ว จะมีโปรตีนประมาณ 4-20% ข้าวเจ้าและข้าวโพดจะมีโปรตีนค่อนข้างต่ำ ขณะที่ข้าวสาลีและข้าวโอตจะมีปริมาณโปรตีนสูง โปรตีนในธัญชาตินั้นจะพบอยู่ทั้งในส่วนของเปลือกเมล็ด (bran) เอนโดสเปอร์ม (endosperm) และเอมบริโอ (embryo, germ) เอนโดสเปอร์มเป็นส่วนที่มีโปรตีนมากที่สุดและเป็นส่วนที่นำมาบริโภค

2) โปรตีนจากเมล็ดพืชที่ให้น้ำมัน (Oil seed protein) โปรตีนส่วนใหญ่ในเมล็ดพืชคือ โกลบูลิน (globulin) ซึ่งจะละลายในน้ำและสารละลายเกลือเจือจาง เมล็ดพืชส่วนใหญ่จะมีโปรตีนอยู่สูงกว่า 15% แต่เมล็ดพืชที่ใช้เป็นอาหารและสกัดน้ำมันมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นส่วนใหญ่เป็นเมล็ดพืชจำพวกถั่ว เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และเมล็ดพืชที่ให้น้ำมันชนิดอื่น เช่น งา ฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน จากงานวิจัยของ ภารวี กุศลินกุล และคณะ (2558) พบว่า กากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่เหลือจากการบีบน้ำมันยังคงมีโปรตีนสูงถึง 49.79% จึงสามารถจัดได้ว่าเมล็ดถั่วดาวอินคาก็เป็นเมล็ดพืชน้ำมันที่ให้โปรตีนสูงอีกชนิดหนึ่ง

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of protein) เป็นสมบัติของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้งานในอาหาร ได้แก่

1. **การจับกับน้ำ (Water binding)**

เป็นพอลิเพปไทด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน (Amino acid) ในโมเลกุลของกรดอะมิโนมีหมู่ R ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ดังนั้นการจับกับน้ำของโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณและลำดับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ การแขวนลอยในน้ำ (hydrocolloid) และการตกตะกอน (precipitation) ของโปรตีนมีความสำคัญในการแยกโปรตีนออกจากสารละลาย การเพิ่มความหนืด (viscosity) การเกิดเจล (gel) ปัจจัยที่มีผลต่อการแขวนลอยและการตกตะกอนของโปรตีนได้แก่ การปรับค่าพีเอช (pH) ให้เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่โปรตีนมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน โมเลกุลของโปรตีนจะดึงดูดกัน และแขวนลอยในน้ำได้น้อยที่สุด และตกตะกอนออกมา หากโปรตีนยังละลายอยู่ได้ในน้ำจะทำให้เกิดความหนืดสูงหรือเกิดเจล (gel)

2. การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

โปรตีนช่วยให้อิมัลชันคงตัวด้วยการลดแรงตึงผิวของของเหลว โดยช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกเป็นชั้น ซึ่งในโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในสายพอลิเพปไทด์ โดยหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาไขมัน

Emulsion activity หมายถึงความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันและคงสภาพอิมัลชันที่สร้างขึ้น มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ในกรณีแป้งที่มีโปรตีนสูง มักมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้ เนื่องจากโมเลกุลโปรตีนประกอบด้วยส่วนที่มีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic properties) และสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic properties) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นส่วนที่มีสมบัติชอบน้ำและส่วนที่มีสมบัติชอบน้ำมันนั่นเอง จึงสามารถสร้างฟิล์มที่เหนียวและยืดหยุ่นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมันได้ เกิดการผสานเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำและน้ำมันได้

Emulsion stability หมายถึง ความสามารถของอิมัลชันที่จะรักษาการกระจายตัวของหยดของเหลวไม่ให้รวมตัวกันแล้วเกิดการแยกชั้น ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการรบกวนอิมัลชัน เช่น การนำอิมัลชันไปให้ความร้อนแล้ววัดความสูงของชั้นอิมัลชันที่ยังคงตัว นอกจากนี้ความคงตัวของอิมัลชันมีความเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโน และจำนวนหมู่ที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำและหมู่ที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำในโมเลกุลของโปรตีน รวมถึงปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น

3. การเกิดโฟม (Foaming ability)

โฟมเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือของแข็งโดยมีฟิล์มบางๆ ล้อมรอบอากาศไว้ เกิดจากการตีหรือปั่น (Beating or Whipping) อย่างรุนแรง การเกิดโฟมของโปรตีนจะเกิดได้ดีนั้นโปรตีนต้องมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆและแข็งแรง ทำให้สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ โปรตีนที่มีความยืดหยุ่นที่สามารถเกิดโฟมได้ดีต้องมี Surface hydrophobicity สูงๆ ซึ่งในระหว่างการตีหรือการทำให้เกิดโฟม เช่น โปรตีนในไข่ขาวและน้ำนมเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) แรงจากการตีหรือปั่นอย่างรุนแรง ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (Protein denaturation) เกิดการคลายตัว (Unfolding) ของโครงสร้างโปรตีนเกิดเป็นฟิล์มและจับกับน้ำซึ่งอยู่รอบๆได้ โดยหันด้านที่เป็น Hydrophobic ที่อยู่ด้านในโครงสร้างออกมาด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโฟมโดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมจากโปรตีน ได้แก่ ความสามารถในการละลายของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน โดยโปรตีนที่ละลายได้ดีและมีความเข้มข้นสูงๆจะเกิดโฟมได้ดี และค่าพีเอชที่ทำให้เกิดโฟมที่ดีจะมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่า pI ของโปรตีนโฟมจะคงตัวดีที่สุดที่จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point)

Foaming capacity หมายถึง ความสามารถในการเกิดโฟม หรือ หมายถึง ความสามารถในการสร้างพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลว ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการตีอากาศเข้าไปใน

สารละลาย หากองค์ประกอบของสารละลายสามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ แสดงถึงมีความสามารถในการเกิดโฟมดี ในกรณีแป้งที่มีโปรตีนสูง ความสามารถในการเกิดโฟมมีความเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของโปรตีนในการกักเก็บอากาศ โดยโปรตีนที่มีความยืดหยุ่นสูง (Flexible protein) จะช่วยให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลวได้มากขึ้น

4. **การเกิดเนื้อเยื่อ (texturzation)** ของโปรตีน ได้แก่

- การเกิดฟิล์ม (film formation)

- การเกิดโด (dough formation)

- การเกิดเนื้อเยื่อ เช่น textured vegetable protein

5. **การเกิดเจล**

โปรตีนสามารถรวมกับน้ำเกิดเป็นเจล (gel) ซึ่งเป็นโครงสร้างตาข่ายจับกับน้ำได้ดี มีลักษณะเป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่น โปรตีนที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ เจลาติน

แนวทางการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาในระบบอาหาร

ในโครงงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนากระบวนการผลิตโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้มาทดสอบการใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหารจริง เพื่อให้ทราบแนวทางการนำโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด ที่ผลิตได้จากวิธีขจัดน้ำมันแบบต่างๆกับโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่มีการขจัดน้ำมัน ไปใช้ประโยชน์ในการบริโภคด้านต่างๆ จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องมีข้อมูลดังนี้

1. น้ำสลัดน้ำข้น (ทัศณีย์ ปิ่นแก้ว และ รามราช หมื่นศรีธาราม, 2553)

หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมน้ำมันพืชหรือไขมันพืชกับไข่แดงให้เข้ากัน ปรุงแต่งรสให้เข้มข้นด้วยน้ำตาล น้ำส้มสายชู และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้สำหรับปรุงแต่งรสอาหาร มีลักษณะทั่วไปเป็นสีขาวนวล โดยห้ามใช้สีสังเคราะห์ทุกชนิด มีลักษณะเหลวค่อนข้างข้นเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณไขมันทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540)

น้ำสลัดน้ำข้นจำเป็นต้องมีส่วนผสมของโปรตีน ช่วยให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะใช้ไข่แดงดิบซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ให้น้ำและน้ำมันเข้ากันได้เกิดเป็นอิมัลชัน (Emulsion) สมบัติของไข่แดงนี้เรียกว่า สมบัติในการเป็นสารทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsifying agent) ส่วนประกอบของไข่แดงที่เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชัน ได้แก่ เลซิติน และโปรตีนในไข่แดง ซึ่งเรียกว่า เลซิโตโปรตีน (Lecitho-protein complex) อิมัลชันที่เกิดเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion)

ดังนั้น หากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามีสมบัติเด่นด้านการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จะนำมาใส่ในน้ำสลัดน้ำข้นแทนไข่แดงเพื่อทำให้เกิดอิมัลชันได้ดีขึ้น

2. ชิฟฟอนเค้ก (ประดิษฐ์ คำหนองไผ่, ม.ป.ป.)

เป็นเค้กที่มีส่วนผสมของทั้งไข่และน้ำมัน มีโครงสร้างที่ละเอียดของเค้กไข่ และมีเนื้อมันเงาของเค้กเนยบางครั้งเรียกว่าเค้กรวม (Combination Cake) คือเป็นการรวมเอาลักษณะเค้กทั้งสอง (สปันจ์เค้ก แองเจิลฟูดเค้ก) เข้าด้วยกัน ชิฟฟอนเค้กจะมีส่วนคล้ายทั้งแองเจลฟูดเค้กตรงที่แยกตีไข่ขาว และคล้ายบัตเตอร์สปันจ์เค้กตรงที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (น้ำมันพืชหรือเนยละลาย) ทำให้เค้กมีลักษณะทั้งมันนุ่นและฟูเบา

ชิฟฟอนเค้กเตรียมได้โดยแบ่งขั้นตอนการทำเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกผสมไข่แดงที่แยกออกจากไข่ขาวแล้วกับส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งได้แก่ แป้ง น้ำตาล ผงฟู เกลือ น้ำมันพืช และน้ำมันหรือน้ำผลไม้ ผสมให้เข้ากันแล้วกรองผ่านตะแกรงจะได้ส่วนผสมที่เรียบเนียนและไม่เป็นก้อน ขั้นตอนที่สองคือตีไข่ขาวที่แยกออกมาตีกับครีมออฟทาร์ทาร์และน้ำตาลครึ่งส่วนจนกระทั่งไข่ขาวตั้งยอดอ่อนแข็งตัวและไม่แห้ง แล้วค่อยๆเทส่วนผสมอันแรกลงบนไข่ขาวที่ตีได้ (หรือนำไข่ขาวที่ตีได้ไปผสมกับส่วนไปผสมส่วนแรก) คนตะล่อมเบาๆด้วยมือหรือถ้าใช้เครื่องต้องใช้ความเร็วต่ำสุดแล้วจึงเทใส่ถาดที่ไม่ทาไขมัน ชิฟฟอนเค้กจะขยายตัวเร็วมากขณะอบ เนื่องมาจากการขยายตัวของไข่ขาวร่วมกับผงฟู ชิฟฟอนเค้กนิยมอบในถาดที่มีปล่องตรงกลางเพื่อให้ความร้อนถ่ายเทได้ทั่วถึงและใช้เวลาอบไม่นานจนเกินไปจะทำให้เนื้อเค้กชุ่มชื้น

จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า ชิฟฟอนเค้กขึ้นฟูเนื่องจากไข่ขาว ดังนั้น หากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามีสมบัติเด่นด้านการเกิดโฟม จะนำมาใส่ในขั้นตอนการเตรียมชิฟฟอนเค้กในขั้นที่สองคือช่วงที่ตีไข่ขาวกับครีมออฟทาร์ทาร์และน้ำตาลเพื่อดูการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม แต่ถ้าหากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามีสมบัติเด่นด้านการอุ้มน้ำหรือน้ำมัน จะนำมาใส่ในขั้นตอนการเตรียมแบตเตอร์ของชิฟฟอนเค้กเพื่อดูความหนืด และดูลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิฟฟอนเค้ก

ใบถั่วดาวอินคา (สวนวรรณลดา, ม.ป.ป.)

ใบจากถั่วดาวอินคา สามารถนำใบแก่ซึ่งอุดมไปด้วยคุณประโยชน์ ซึ่งมีลักษณะสีเขียวเข้ม นำมาทำเป็นชาเพื่อใช้ชงดื่มได้ ชาจากใบถั่วดาวอินคา มีสรรพคุณช่วยลดน้ำตาล ไขมัน คอเลสเตอรอลที่เกาะตามผนังหลอดเลือด ทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตทำงานดีขึ้น และยังช่วยลดปัญหาเบาหวาน ความดัน หัวใจ ลดอาการปวดและช่วยให้ประจำเดือนมาปกติ นอกจากนี้ยังช่วยปรับสมดุลในร่างกาย ทำให้สดชื่น

ประโยชน์จากชาใบถั่วดาวอิคา (พรเทพพิทักษ์ฟาร์ม, ม.ป.ป.)

1. ป้องกันความดันโลหิตสูง ลดน้ำตาลในเลือด และลดคอเลสตรอรอล
2. ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ ต่อต้านอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง
3. ลดอาการปวดตามข้อ ปวดกล้ามเนื้อ ขับเสมหะ
4. บำรุงสายตา บำรุงสมอง ความจำ ต้านอาการซึมเศร้า
5. ช่วยบำรุงระบบประสาท และป้องกันระบบประสาทเสื่อม
6. ลดอาการปวดท้อง ที่เกี่ยวกับการมีประจำเดือน

7. ช่วยลดความเสี่ยง และความรุนแรงของโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง
8. รักษาโรคสะเก็ดเงิน บำรุงผิวพรรณ บำรุงเส้นผม
9. ลดน้ำหนัก กำจัดไขมัน ลดอาการท้องผูก
10. ช่วยเพิ่มความสดชื่นให้กับร่างกาย

กระบวนการผลิตชา (สถาบันชา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, ม.ป.ป.)

ชาที่วางขายกันตามท้องตลาดทั่วไปผลิตมาจากใบของต้นชา Camellia sinensis (L.) เมื่อแบ่งตามกระบวนการผลิตจะแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ชาเขียว (Green tea) เป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (Non-fermented tea) กรรมวิธีการผลิตเริ่มจากการหยุดการทำงานของเอนไซม์ Polyphenol oxidase ที่อยู่ในใบชาสดโดยการอบด้วยไอน้ำ (steaming) หรือการคั่วบนกระทะร้อน (pan firing) เพื่อทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidase ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยา oxidation และ polymerization ของ polyphenols ที่อยู่ในใบชาได้ เสร็จแล้วนำไปนวด (rolling) เพื่อทำให้เซลล์แตกและนวดเพื่อให้ใบชาม้วนตัว จากนั้นนำไปอบแห้ง สีของน้ำชาประเภทนี้จะมีสีเขียวถึงเขียวอมเหลือง

2. ชาอู่หลง (Oolong tea) เป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักเพียงบางส่วน (Semi-fermented tea) ก่อนหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยความร้อน กรรมวิธีการผลิตจะมีการผึ่งแดด (withering) ประมาณ 20-40 นาที ภายหลังผึ่งแดดใบชาจะถูกผึ่งในร่มอีกครั้งพร้อมเขย่ากระตุ้นให้ชาตื่นตัว การผึ่งนี้เป็นกระบวนการหมักซึ่งทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidase เร่งปฏิกิริยา oxidation และ polymerization ของ polyphenols ทำให้เกิด dimers และสารประกอบเชิงซ้อนของ polyphenols สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ชาอู่หลงมีกลิ่นและสีที่แตกต่างไปจากชาเขียว น้ำชาอู่หลงจะมีสีเหลืองอมเขียว และสีน้ำตาลอมเขียว

3. ชาดำ (Black tea) เป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบรูณ์ (Completely-fermented tea) ใบชาจะถูกผึ่งให้เอนไซม์ polyphenol oxidase เร่งปฏิกิริยาอย่างเต็มที่ ซึ่ง polyphenols จะถูก oxidized อย่างสมบรูณ์เกิดเป็นสารประกอบกลุ่ม Theaflavins และ Thearubigins ทำให้ชาดำมีสีน้ำตาลแดง

ชาแต่ละชนิดจะมีลักษณะ สี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก ๆ 2 ปัจจัย ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของใบชา และกระบวนการผลิตชา โดยองค์ประกอบทางเคมีของใบชาที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากสายพันธุ์ชา สภาพพื้นที่ปลูก สภาพภูมิอากาศ ความอุดมสมบรูณ์ของ ดิน น้ำ และการดูแลรักษา ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ได้ชาที่มีกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างกัน

การผึ่งชา (Withering) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารต่าง ๆ ในใบชา การผึ่งชาจะทำให้น้ำในใบชาระเหยไป ทำให้ใบชาเหี่ยวและจะมีการซึมผ่านของสารต่าง ๆ ภายในและภายนอกเซลล์ ในการผึ่งชานี้เอง เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation และ polymerization ทำให้สาร polyphenol เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นองค์ประกอบใหม่ที่ทำให้ชามีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไป

การนึ่งชา (Steaming) หรือการคั่วชา (Pan firing) เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนกับใบชาเพื่อทำลายเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำให้หยุดปฏิกิริยาการหมัก

การนวดชา (Rolling) เป็นขั้นตอนที่ใช้น้ำหนักกดทับลงใบชา เป็นการขยี้ใบชาเพื่อให้เซลล์แตก เมื่อเซลล์แตกจะทำให้สารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์ไหลออกมานอกเซลล์และเคลือบอยู่บนส่วนต่าง ๆของใบชา

การหมักชา (Fermentation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่การผึ่งชาและนวดชา ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ polyphenol oxidase ด้วยความร้อน (steaming หรือ firing) ในกระบวนการนี้เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation ทำให้ polyphenols เกิด oxidized และเกิดปฏิกิริยา polymerization ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง polyphenols ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ชาเกิดกลิ่น สี และรสชาติที่แตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในชาและตามกรรมวิธีการผลิต

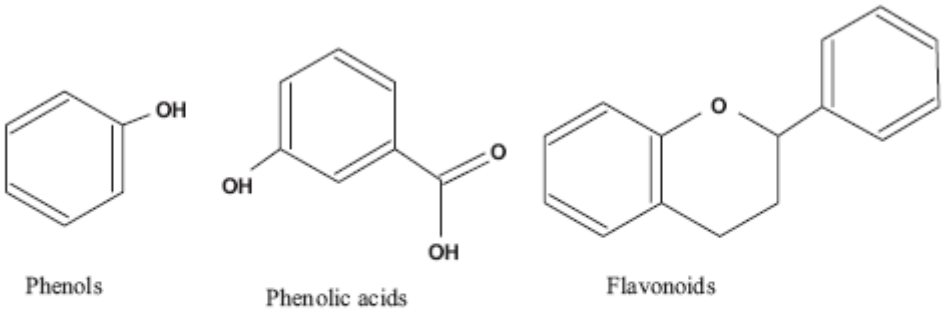
การอบแห้ง (Drying) เป็นขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในใบชาให้เหลือประมาณ 5% เพื่อให้สามารถเก็บใบชาไว้ได้นาน และป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้สามารถเก็บรักษาชาได้นานขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น รส โดยทั่วไปการอบจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสเนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กลิ่นรสของชาระเหยออกไปได้ เครื่องอบแห้งที่ใช้ส่วนมากจะเป็นตู้อบลมร้อน

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

สารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



Structures of common phenolic compounds.

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล
ที่มา : www.foodnetworksolution.com

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

ประเภทของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. สารประกอบฟีนอลิกอย่างง่ายและกรดฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกอย่างง่ายและกรดฟีนอลิก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) Monocyclic phenols มี 1 phenol ring ที่พบทั่วไปในพืชได้แก่ phenol, catechol, hydro-quinone และ p-hydroxycinnamic acid

2) Dicyclic phenols มี 2 phenol ring ได้แก่ Flavonoids และ Lignans

3) Triphenols พบในอนุพันธ์ของ Gallic acid เป็นส่วนใหญ่ เช่น Catechin ในชาอนุพันธ์กลุ่มนี้มักอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ในรูปของ Quinic acid esters และ Hydrolysable tannin มีการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ Catechin ในใบชาเขียว พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่า และ α-tocopherol ในน้ำมันหมูและน้ำสลัดโดย Cetechin มีประสิทธิภาพดีกว่า Epigallocatechin และ Epicateshin gallae และ Epicatechin ตามลำดับ

2. Hydrocinnaic acid และอนุพันธ์

Hydrocinnaic acid และอนุพันธ์ ได้แก่ Chlorogenic acid, caffeic และ Ferulic acid ซึ่งฟีนอลิกกลุ่มนี้มักพบในรูปของ Conjugated มากกว่าในรูปของ Glycosides ซึ่ง Chlorogenic acid มีความสำคัญที่สุดในกลุ่มนี้ เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในพืช เช่น แอปเปิ้ล

3. ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นฟีนอลิกในพืชที่มีความสำคัญมากที่สุด สูตรโครงสร้างทาง เคมีพื้นฐานโดยทั่วไป คือ โครงสร้างไดฟีนิวโปรเปน (C6 -C3 -C6) กับกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกซี ใน ธรรมชาติพบมากกว่า 2000 ชนิด ซึ่งจะพบ Quercetin และ Rutin มากที่สุด รองลงมาคือ Kaempferol และ Myricetin (Miean and Mohamed, 2001) โดยทั่วไปในใบ ดอก ผล และส่วน ต่างๆของพืช ประกอบไปด้วย Glycosides ของฟลาโวนอยด์ ส่วนเปลือกและเมล็ดทั้งหมดจะพบทั้ง Gltcosides และ Aglycon ของฟลาโวนอยด์

สรรพคุณของสารประกอบฟีนอล

1. ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2. ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ(scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sies, 1991) สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในเซลล์(Chattopadhyay et al, 2010) โดยทั่วไป สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลลิค (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (catotinoid) (Velioglu et al., 1998) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหาร และยา ได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติเช่น สาหร่ายทะเล แบคทีเรีย เชื้อรา และพืชชั้นสูง(Chattopadhyay et al., 2010) อย่างไรก็ตาม ในภาวะปกติ ร่างกายของคนเรา จะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้วซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และส่วนที่สองคือกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือ เบต้าแคโรทีน (β-carotinoid) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการท าลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น (Shapoval and Gromovaia, 2003) ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase), กลูตาไธโอนเพอรอกซิเดส (glutathione peroxidase) และซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) หรือสารประกอบ/โปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน (albumin), บิลิรูบิน (bilirubin), เซอรูโลพลาสมิน(ceruloplasmin), กลูตาไธโอน (glutathione),ทรานสเฟอริน (transferrin) , ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมดจะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า “oxidative stress” ขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของรางก่าย ซึ่งถ้าสะสมมาก ๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง

แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

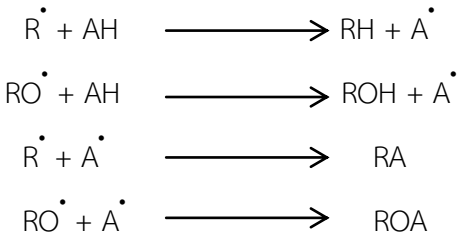
1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิคสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ใน อุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่เป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และ รสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มี ประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจาก ธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหา ด้านความปลอดภัยในการบริโภค

2. สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจาก ความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่ง มีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nonnutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิค โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซน โธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่ง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดัก จับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นได้ โดยการให้อนุมูล $H^{\bullet}$ แก่อนุมูลอิสระ เหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอล ที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ใน โมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH^{\bullet}$ ใน ปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชั่น คือ Fe2+ และ Cu2+ เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะ ดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาตินานาชนิด สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี

กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

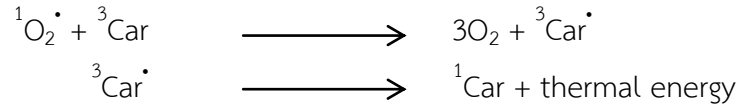
จากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีหลายกลไกดังนี้

ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้นซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระ(Valacchi et al., 2004) ดังสมการ



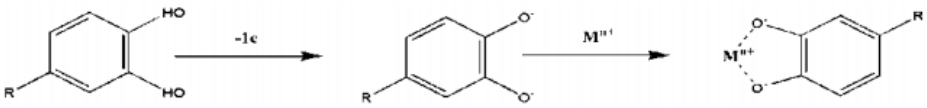
ภาพที่ 2-2 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา : www.kb.psu.ac.th

ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2^{\bullet}$) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงาน ของซิงเกล็ทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1O_2^{\bullet}$) ให้อยู่ใน รูปทริปเปร็ท (triplet oxygen ($^3O_2$)) และ ปล่อย พลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจน ได้ถึง 1,000 โมเลกุล ดังสมการ



ภาพที่ 2-3 ปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจน
ที่มา : www.kb.psu.ac.th

จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (metal chelation) โลหะที่มีผลต่อ การเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และ ซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



ภาพที่ 2-4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันโลหะ
ที่มา : www.kb.psu.ac.th

ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยา อนุมูลอิสระ (enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิโพออกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอ็นไซม์ ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชัน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ซึ่งใช้ reagent คือ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง

หลักการ

DPPH เป็น stable radical ในตัวทำละลายเมทานอล (methanol) สารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร (nm)

โดย $DPPH^{\bullet}$ จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species ($R^{\bullet}$) ดังสมการ

$$DPPH^{\bullet} + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A^{\bullet}$$

$$DPPH^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow DPPH\text{-}R$$

ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วง จะลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลอง เป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $DPPH^{\bullet}$ เหลืออยู่ 50% โดยสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วหาค่า EC_{50} จากกราฟแสดงค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ $DPPH^{\bullet}$ ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วใช้ค่า EC_{50} ในการเปรียบเทียบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างตัวอย่างที่ทดสอบกับสารมาตรฐาน

คำนวณ % Radical Scavenging (เปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ) จากสูตร

$$\%\text{Radical Scavenging} = [\,(AB - AA) / AB\,] \times 100$$

เมื่อ AA = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

AB = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chiara et al. (2011) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำมันถั่วดาวอินคาจากกระบวนการสกัดแบบบีบเย็น ได้แก่ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerols) โพลีฟีนอล (Polyphenol) และวิตามินอี (Tocopherols) โดยทำการวิเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลและโพลีฟีนอล ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ร่วมกับ Photodiode array (PDA) และ Mass spectrometry (MS) ส่วนปริมาณวิตามินอี วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fluorescence (RF) นอกจากนี้ ยังทำการวิเคราะห์ปริมาของ Fatty acid methyl esters (FAMEs) ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (GC) โยใช้ตัวตรวจวัดชนิด Flame ionization พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคามีปริมาณไขมันทั้งหมด 93 % โดยมีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวมากที่สุดได้แก่ ลิโนเลอิก (Linoleic) และลิโนเลนิก (Linolenic) คิดเป็นปริมาณ 50% และ 36% ตามลำดับ โดยไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบในตัวอย่างมีปริมาณสูงถึง 22.2% ส่วนด้านวิตามินอี พบว่า มีวิตามินอีชนิดแกมมา (**γ**-tocopherols) มีปริมาณมากที่สุด และสามารถตรวจพบสารประกอบโพลีฟีนอลในน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วย

Gutierrez et al. (2011) รายงานว่า เมล็ดถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่ต้องการในผู้ใหญ่ ปริมาณโปรตีนของถั่วดาวอินคามีปริมาณ 27% และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับโปรตีนจากเมล็ดงา ดอกทานตะวัน และถั่วลิสง ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 25% 24% และ 23% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีกรดอะมิโนจำเป็นเพียงพอ ยกเว้น ฮีสติดีน (Histidine) เมื่อเทียบกับที่องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) แนะนำ นอกจากนี้เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 30.9% ซึ่งจัดว่ามีปริมาณไม่มากนัก เพราะองค์ประกอบสำคัญเป็นปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สูง เมล็ดถั่วดาวอินคาให้พลังงาน 579 kcal/100 g องค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีส่วนประกอบพวกแร่ธาตุด้วย โดยพบว่ามีแร่ธาตุที่เป็นจำนวนมาก เช่น โพแทสเซียม ตรวจพบมากที่สุดปริมาณ 5563.5 mg/kg แมกนีเซียม 3210 mg/kg แคลเซียม 2406 mg/kg เหล็ก 103.5 mg/kg และสังกะสี 49 mg/kg โดยพบโซเดียมและคอปเปอร์ปริมาณเล็กน้อย อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของดินที่ปลูกมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดลินซีด ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณสังกะสีสูงกว่าและมีปริมาณโซเดียม คอปเปอร์ เหล็ก ต่ำกว่าองค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา

กนกกานต์ วีระกุล, จิราภรณ์ สอดจิตร์ และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. (2007) ได้ศึกษาการกำจัดไขมันในเปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งโดยใช้สารละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย พบว่าผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนจะมีปริมาณไขมันสูงถึง 12.44% เมื่อผ่านการสกัดครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะมีปริมาณไขมัน 2.14% และเมื่อผ่านการสกัด

ครั้งที่ 2 ปริมาณไขมันจะลดลงเหลือเพียง 0.74% (dry basis) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นจึงเลือกการกำจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจำนวน 2 ครั้ง เป็นสภาวะที่เหมาะสม

นัจญ์มีย์ สะอะ และคณะ (ม.ป.ป.) ศึกษาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ทดแทนเนื้อปลาด้วยกากถั่วเหลืองมีปริมาณความชื้นของน้ำหนักเปียกเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องกากถั่วเหลืองมีเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำโดยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบซึ่งมีสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีอีกทั้งในกากถั่วเหลืองมีโปรตีนซึ่งมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่คือสามารถดูดซับน้ำ ส่วนปริมาณความชื้นของน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันเมื่อทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงขึ้น ขณะเดียวกันปริมาณไขมันลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองเนื่องจากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของกากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่คือสามารถดูดซับน้ำมัน และเส้นใยที่อยู่ในกากถั่วเหลืองช่วยในการดักจับไขมันในอาหาร จึงทำให้ปริมาณไขมันลดลงเมื่อมีการทดแทนด้วยกากถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงขึ้น

พรรณวดี วิถีสำราญธรรม (2540) ศึกษาสมบัติการใช้งานของโปรตีนเมล็ดฝ้าย พบว่า โปรตีนเมล็ดฝ้ายมีสมบัติในการดูดซับน้ำและน้ำมันได้ (2.27 มิลลิลิตรของน้ำต่อโปรตีนสกัด 1 กรัม และ 3.09 มิลลิลิตรของน้ำมันต่อโปรตีนสกัด 1 กรัม ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการเกิดอิมัลชั่น (61.05% โดยน้ำหนัก) และสมบัติในการเกิดฟอง (110% โดยน้ำหนัก) แต่ฟองที่ได้จะมีความเสถียรภาพต่ำ และพบว่าระหว่าง pH ในช่วง 4-6 โปรตีนเมล็ดฝ้ายมีความสามารถในการละลายต่ำสุด (1.86-6.19% โดยน้ำหนัก)

ภารดี กุศลินกุล และคณะ (2558) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมัน (Sachalnchi oil extracted residue, SIOR) พบว่า มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 49.79% นอกจากนี้ยังมี ความชื้น ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.49, 24.29, 5.51, และ 15.92% ตามลำดับ

ลีนา หง้าฝา (2556) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และการออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วหรั่งโดยการสกกัดไขมันออกจากแป้งถั่วหรั่งด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและเอทานอล (อัตราส่วน 9:1) พบว่าสามารถกำจัดไขมันออกจากแป้งถั่วหรั่งได้ประมาณร้อยละ 50 (ลดลงจากร้อยละ 13.18 เหลือเพียงร้อยละ 6.94) และพบว่าแป้งถั่วหรั่งมีโปรตีนเข้มข้นขึ้นจากร้อยละ17.43 เป็นร้อยละ 35.64 ในขณะที่ปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลง เนื่องจากการสกัดแยกไขมันออกจากแป้งถั่วหรั่งทำให้แป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีนเข้มข้นมากขึ้น

วันชัย สมชิต (2527) โปรตีนชนิดโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถใช้เป็นสารเพื่อ Emulsify fat หรือ stabilize fat ในสารละลายที่มีไขมันอยู่ด้วย หน้าที่อื่นๆ เช่น Fat micelle stabilization, Water absorption, Fat absorption, Viscosity control เป็นต้น

อาทิชา วงศ์คำมา (2556) ศึกษาประเภทของโปรตีน พบว่า Protein Concentrate คือ กระบวนการผลิตโปรตีนเข้มข้น ซึ่งโปรตีนที่ได้จะมีความเข้มข้น 30-80%

Chabanon et al. (2007) ศึกษาความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนเมล็ดเรปซีด (Rapeseed) ไฮโดรไลเซตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้มีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และค่าความคงตัวของการเกิดอิมัลชันดีกว่าโปรตีนเมล็ดเรปซีดที่ไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาโดยการแยกโปรตีน 2 ชนิดจากโปรตีนเมล็ดซีด และผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเซต คือ โปรตีนโกลบูลินไฮโดรไลเซตและโปรตีนอัลบูมินไฮโดรไลเซต พบว่าที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 โปรตีนโกลบูลินไฮโดรไลเสตมีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันและค่าความคงตัวของอิมัลชันสูงสุด คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 50 ± 2 และที่ร้อยละ 45 ± 4 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนอัลบูมินไฮโดรไลเซต มีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุดที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 10 คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 54 ± 1และมีค่าความคงตัวของการเกิดอิมัลชันสูงสุดที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 คือเท่ากับ ร้อยละ 69 ± 9

Jitngarmkusol et al (2008) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งแมคคาเดเมียจากเมล็ดที่ผ่านการสกัดน้ำมัน พบว่า แป้งที่ผลิตจากกากเมล็ดยังคงมีโปรตีนสูงถึง 30.40 - 36.45% ซึ่งพบว่า แป้งชนิดที่ขจัดน้ำมันออกทั้งหมด (totally defatted flour ; TDF) มีปริมาณน้ำมันตกค้างประมาณ 1% มีสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในด้าน การดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าแป้งที่ได้จากกากเมล็ดที่ผ่านการขจัดน้ำมันออกเพียงบางส่วน (partially defatted flours ; PDF) มีปริมาณน้ำมันตกค้าง 12-15 % แต่แป้งชนิดที่ขจัดน้ำมันออกทั้งหมดจะมีความคงตัวของโฟมต่ำกว่าแป้งที่ได้ขจัดน้ำมันออกเพียงบางส่วน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Kudre et al. (2013) ได้ศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ผสม 2 ชนิด ในการสกัดไขมันเพื่อกำจัดกลิ่นถั่วหรือกลิ่นหญ้าของแป้งถั่วหรั่ง (Bambara groundnut flour) โดยมุ่งเน้นการกำจัดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดกลิ่นถั่ว จากการแปรระดับอุณหภูมิในการสกัด พบว่า การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม 2 ชนิด คือ คลอโรฟอร์ม-เมทานอล สามารถกำจัดไขมันได้สูงที่สุด (87%) รองลงมาคือเฮกเซน-ไอโซโพรพานอล (78%) และพบว่า ตัวทำละลายผสมทั้งหมดที่มีการใช้เมทานอลร่วมด้วย ให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไขมัน และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) และยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายที่ประกอบด้วยไอโซโพรพานอล ($p<0.05$)

Pineli et al. (2015) ได้ศึกษาคุณภาพของแป้งบารูที่ผ่านการสกัดไขมันออกบางส่วน (PDBF) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดบารู ผลการวิเคราะห์คุณภาพ PDBF พบว่า มีโปรตีน (29.46 กรัม/100 กรัม) ไขมัน (11.84กรัม/100 กรัม) ใยอาหาร (38.80 กรัม/100 กรัม) และคาร์โบไฮเดรต (11.57 กรัม/100 กรัม) โดย PDBF เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยธาตุเหล็ก สังกะสี และทองแดง สำหรับด้านปริมาณ TP พบว่ามีปริมาณปานกลาง (121.34 mg/100 g) ปริมาณ TF (85.41 mg/100 g) ปริมาณ CT (64.39 mg/100 g) ในบารูมีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในวอลนัทแต่ต่ำกว่าในถั่ว

กฤษฎา โกวิทยะวงศ์ (2548) ศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการผลิตชาเขียวที่มีต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบชาเขียว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตชาเขียวเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มี คุณภาพสูงนั่นคือมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง จากการศึกษาพบว่า การคั่วจะเป็นขั้นตอนที่ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปมากที่สุดประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ชาที่ได้จะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1-3 ของ น้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าค่าความชื้นมาตรฐาน (7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าการที่จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปน้อยที่สุดนั้น ควรที่จะพิจารณาถึงสภาวะในการทำงานในขั้นตอนการคั่ว ซึ่งควรที่จะคั่วในสภาวะที่ใช้เวลาน้อย อุณหภูมิต่ำ

Ismail et al. (2004) ได้ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผักพบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีความไวต่อความร้อนสูง แม้ผ่านการให้ความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ

ธีรพงษ์ เทพกรณ์ และสิริรุ่ง วงศ์สกุล (2550) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารด้านอนุมูลอิสระ (โพลิฟีนอล) ในระหว่างกระบวนการผลิตชาเขียวและชาอู่หลงของจังหวัดเชียงราย พบว่า ในกระบวนการผลิตชาเขียว ขั้นตอนการผึ่งชาและอบแห้งชาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณคาเทชิน ส่วนในกระบวนการผลิตชาอู่หลง ขั้นตอนการคั่วชา และนวดชา เป็นขั้นตอนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคาเทชิน

Ah Reum Cho, Jaejoon Han, Jungmin Oh, Heonjoo Jo and Sung-jin Kim (2013) ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านจุลชีพในใบชาสมุนไพร พบว่า ชาเขียวและชาดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่มากที่สุดในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 82.21 และ 82.86 mg GAE/g dry matter ตามลำดับ

ประสิทธิ์ สุธรรมวงศ์ (2550) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารโพลีฟีนอลในระหว่างการคั่วชาอู่หลง ที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 74.5, 77.4, 81.5, 81.7 และ 83.5 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิ มีผลทำให้ความชื้นและสารโพลีฟีนอลในใบชาอู่หลงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ควรใช้อุณหภูมิการคั่วชาที่ต่ำและเวลานานเพื่อรักษาสารโพลีฟีนอลในใบชา

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. กากถั่วดาวอินคาที่เหลือทิ้งจากการบีบน้ำมันจากไร่ถั่วดาวอินคาอาจารย์วัลชัย จังหวัดนครปฐม
2. ใบถั่วดาวอินคาจากไร่ถั่วดาวอินคาอาจารย์วัลชัย จังหวัดนครปฐม

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. เฮกเซน (Hexanes; $CH_3(CH_2)_4CH_3$)บริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
2. สารละลาย Seleniummixtureบริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิกรัมบริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
4. สารละลายกรดบอร์ริกเข้มข้น 2%บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
5. methylredบริษัท GAMMAGO จังหวัดนนทบุรี
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32%บริษัท Merk Thailand
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลบริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
8. สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์บริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
9. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 โมลาร์บริษัท Merk Thailand
12. สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1%บริษัท Merk Thailand
13. เอทานอลความเข้มข้น 95 %บริษัท RCI LAB จังหวัดสมุทรปราการ
14. ตู้อบรมร้อน Binder รุ่น FD-53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Satoriusรุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
16. เครื่องปั่นเอนกประสงค์ ยี่ห้อ Electrolux รุ่น CRUZO ประเทศจีน
17. เครื่องบดของแห้ง
18. เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ Incubator shaker รุ่น INNOVA ประเทศไทย
19. ตู้แช่แข็ง Sanyoรุ่น NFT-4208 ประเทศไทย
20. โถดูดความชื้น (Desiccator)
21. ตะแกรงร่อน ขนาด 40 และ 80 เมช
22. ถุงอลูมิเนียมฟอยด์
23. อุปกรณ์งานครัว
24. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวงขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การพัฒนากระบวนการผลิตโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการบีบน้ำมันแล้ว

1.1) ศึกษาผลของการสกัดน้ำมันตกค้างในกากถั่วดาวอินคาต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผง

เนื่องจากสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจะมีความแปรผันไปตามองค์ประกอบหรือความบริสุทธิ์ของโปรตีน ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำมันที่ตกค้างในกากถั่วดาวอินคาเพื่อทดสอบผลที่จะเกิดกับสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนผงที่ผลิตได้รวมทั้งสมบัติทางเคมีและโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผง

ทำการทดลองโดยนำกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการบีบเอาน้ำมันออกแล้ว จำนวน 550 กรัม มาอบแห้งในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 2% จากนั้นนำมาบดลดขนาดด้วยเครื่องบดอาหาร และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จากนั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนละ 150 กรัม แล้วนำมาสกัดน้ำมันออกด้วยเฮกเซน โดยวิธีการเขย่า (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557 และ Jitngarmkusol et al., 2008) แปรเวลา และจำนวนรอบของการสกัด ดังนี้

1) การสกัด 1 รอบ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อผลิตเป็นโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่กำจัดไขมันออกบางส่วน (Partially Defatted Powder; PDP) ซึ่งโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้จะยังมีปริมาณน้ำมันตกค้างอยู่มากกว่า 1 % ทำได้โดยนำกากถั่วดาวอินคาผง 150 กรัม นำมาสกัด 1 รอบ ใช้อัตราส่วนของกากถั่วดาวอินคาต่อ เฮกเซน เป็น 1:5 (กากถั่วดาว อินคา 150 กรัม ต่อเฮกเซน 750 มิลลิลิตร) ทำได้โดยแบ่งกากถั่วดาวอินคาใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 ml จำนวน 3 ขวด ขวดละ 50 กรัมต่อเฮกเซน 250 ml ปิดขวดด้วยกระดาษฟอยด์ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker ความเร็วรอบ 180 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองเอาสารละลายเฮกเซนออกในตู้ดูดควันจนได้กากถั่วดาวอินคาที่มีลักษณะแห้ง แล้วนำกากถั่วดาวอินคาที่ได้ไปอบแห้งไล่เฮกเซนออกในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ได้เป็นโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

2) การสกัด 2 รอบ เป็นเวลารอบละ 30 นาที เพื่อผลิตเป็นโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาปราศจากไขมัน (Totally Defatted Powder; TDP) ซึ่งโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้จะมีปริมาณน้ำมันตกค้างต่ำกว่า 1% ทำได้โดยนำกากถั่วดาวอินคาผง 150 กรัม นำมาสกัด 2 รอบ ใช้อัตราส่วนของกากถั่วดาวอินคาต่อ เฮกเซน เป็น 1:5 (กากถั่วดาว อินคา 150 กรัม ต่อเฮกเซน 750 มิลลิลิตร) ทำได้โดยแบ่งกากถั่วดาวอินคาใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 ml จำนวน 3 ขวด ขวดละ 50 กรัมต่อเฮกเซน 250 ml ปิดขวดด้วยกระดาษฟอยด์ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker ความเร็วรอบ 180 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองเอาสารละลายเฮกเซนออกในตู้ดูดควัน แล้วเติมสารละลายเฮกเซนลงไปอีกครั้งในอัตราส่วนเท่าเดิม คือขวดละ 250 ml แล้วนำไปเขย่ารอบที่ 2 เป็น

เวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองเอาสารละลายเฮกเซนออกในตู้ดูดควัน จนได้กากถั่วดาวอินคาที่มีลักษณะแห้ง แล้วนำกากถั่วดาวอินคาที่ได้ไปอบแห้งไล่เฮกเซนออกในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมซ ได้เป็นโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

3) ตัวอย่างควบคุม คือ โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างผงโปรตีนถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า กากใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)
2) สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่

2.1) ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน (ดัดแปลงจาก Bhat & BintiYahya, 2014)

2.2) การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties) โดยวัดค่า emulsion activity และ emulsion stability (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005 และ Bhat & BintiYahya, 2014)

2.3) การเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (ดัดแปลงจาก Sauter & Montoure, 1972)

3) โครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Scanning electron microscope ยี่ห้อ Philips รุ่น TECNAI 20 ประเทศอังกฤษ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่แสดงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านที่เด่นที่สุด มาทดสอบต่อในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ

1.2) การศึกษาแนวทางการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในตอนนี้เป็นการศึกษาการนำโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้มาทดสอบการใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหารจริง เพื่อให้ทราบแนวทางการนำโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ผลิตได้จากวิธีขจัดน้ำมันแบบต่างๆกับโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่มีการขจัดน้ำมันไปใช้ประโยชน์ในการบริโภคด้านต่างๆ โดย

1. หากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามีสมบัติเด่นด้านการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties) จะทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารอิมัลชัน คือ น้ำสลัดข้น

วิธีการทำผลิตภัณฑ์น้ำสลัดข้น

1) น้ำสลัดข้นที่ไม่เติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา

ตีไข่แดง 2 ฟอง น้ำตาลทราย 15 กรัมจนฟู แล้วเติมเกลือ 5 กรัม มัสตาร์ด 5 กรัม น้ำส้มสายชู 30 กรัม และน้ำมะนาว 15 กรัม ตีให้เข้ากันอีกครั้งค่อยๆเติมน้ำมัน 200 กรัม ลงไปทีละน้อยแล้วตีไปเรื่อยๆจนน้ำมันหมดเติมนมข้นลงไป 60 กรัม แล้วตีให้เข้ากันจนน้ำสลัดมีลักษณะข้น เก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2) น้ำสลัดข้นที่เติมโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา

เติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา 7 กรัม แทนไข่แดง 2 ฟอง (Thai food exchange list) น้ำตาลทราย 15 กรัม จนฟู แล้วเติมเกลือ 5 กรัมมัสตาร์ด 5 กรัมน้ำส้มสายชู 30 กรัม และน้ำมะนาว 15 กรัม ตีให้เข้ากันอีกครั้งค่อยๆเติมน้ำมัน 200 กรัม ลงไปทีละน้อยแล้วตีไปเรื่อยๆจนน้ำมันหมดเติมนมข้นลงไป 60 กรัม แล้วตีให้เข้ากันจนน้ำสลัดมีลักษณะข้น เก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

จากนั้นนำตัวอย่างอาหารกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่มีการเติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties) โดยวัดค่า emulsion stability และ emulsion activity (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005 และ Bhat, & BintiYahya, 2014)

2. หากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ได้มีสมบัติเด่นในด้านการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน หรือในด้านของการเกิดโฟม จะทำการทดลองใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ คือ ชิฟฟอนเค้ก เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย

วิธีการทำผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก

1) ชิฟฟอนเค้กที่ไม่เติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา

ร่อนแป้งเค้ก 100 กรัม ผงฟู 3 กรัม วานิลลาผง 6 กรัม เข้าด้วยกันในอ่างผสมเตรียมไว้ ผสมไข่แดง 90 กรัม น้ำมัน 100 กรัม น้ำ 40 กรัม เกลือ 1 กรัม น้ำตาลทราย 40 กรัมให้เข้ากันในอ่างผสมเทในส่วนผสมแป้งที่ร่อนไว้ คนให้เข้าด้วยกันแล้วพักไว้ จากนั้นตีไข่ขาว 145 กรัม น้ำตาลทราย 40 กรัม ไปปั่นผสมด้วยเครื่องผสมอาหาร ด้วยความเร็วเบอร์ 3 จนขึ้นฟู แบ่งไข่ขาวครึ่งหนึ่งลงในส่วนผสม คนเบาๆ ให้เข้ากัน ค่อยเติมส่วนที่เหลือคนต่อจนเข้ากันดี ตักใส่พิมพ์สี่เหลี่ยมที่รองกระดาษไขที่ก้นพิมพ์ขนาด 7 x 11 x 1.5 นิ้ว แล้วนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 175 $^{\circ}$C เป็นเวลา 20 นาที นำออกจากเตาอบคว่ำพิมพ์ลงทันที รอให้เย็นแล้วจึงนำออกจากพิมพ์ จากนั้นห่อด้วยกระดาษไข เก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิท เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2) ชิฟฟอนเค้กที่เติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา

ร่อนแป้งเค้ก 100 กรัม ผงฟู 3 กรัม วานิลลาผง 6 กรัม เข้าด้วยกันในอ่างผสมเตรียมไว้ ผสมไข่แดง 90 กรัม น้ำมัน 100 กรัม น้ำ 40 กรัม เกลือ 1 กรัม น้ำตาลทราย 40 กรัมให้เข้ากันในอ่าง

ผสมเทในส่วนผสมแป้งที่ร่อนไว้ คนให้เข้าด้วยกันแล้วพักไว้ จากนั้นนำผงโปรตีนจากกากถั่วดาวอินคาแทนที่ไข่ขาว 145 กรัม ในอัตราส่วน 2 % 4% และ 6 % ตามลำดับ (แสดงดังตาราง 3-1) น้ำตาลทราย 40 กรัม ไปปั่นผสมด้วยเครื่องผสมอาหาร ด้วยความเร็วเบอร์ 3 จนขึ้นฟู แบ่งไข่ขาวครึ่งหนึ่งลงในส่วนผสม คนเบาๆ ให้เข้ากัน ค่อยเติมส่วนที่เหลือคนต่อจนเข้ากันดี ตักใส่พิมพ์สี่เหลี่ยมที่รองกระดาษไขที่ก้นพิมพ์ขนาด 7 x 11 x 1.5 นิ้ว แล้วนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 175 °C เป็นเวลา 20 นาที นำออกจากเตาอบ คว่ำพิมพ์ลงทันที รอให้เย็นแล้วจึงนำออกจากพิมพ์ จากนั้นห่อด้วยกระดาษไข เก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิท เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

จากนั้นนำตัวอย่างอาหารกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่มีการเติมโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

ตาราง 3-1 ส่วนผสมโฟมของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน ชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2, 4, และ 6 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	ไข่ขาว (g)	โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา (g)
0 %	145.00	-
2 %	142.10	2.90
4 %	139.20	5.80
6 %	136.30	8.70

การวิเคราะห์คุณภาพ

เนื่องจากการถั่วดาวอินคามีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะศึกษาต่อในผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้ก ดังนั้นผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการเกิดโฟมและความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันที่ทำการศึกษาจากค่าความหนืดของแบตเตอร์ โดยมีการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- การเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมโดยวัดจากส่วนผสมของโฟมที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา (ดัดแปลงจาก Sauter & Montoure, 1972)
- ความหนืดของแบตเตอร์ (ดัดแปลงจาก ศุภลักษณ์ สารพันธ์ และสุมาพร เพาะผล, 2549)
- ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดจากผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา ด้วยวิธี Texture profile analysis

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาสูตรชิฟฟอนที่เหมาะสม มีแนวทางคือ เลือกชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ระดับต่างๆ โดยจะแสดงสมบัติเด่นในด้านการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน หรือในด้านของการเกิดโฟม ที่มีความแตกต่างจากชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานต่ำที่สุด

ตอนที่ 2 การพัฒนากระบวนการผลิตใบชาจากใบถั่วดาวอินคา

2.1) การศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักใบชาต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

วัตถุดิบ คือ ใบถั่วดาวอินคาสด

เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของใบถั่วดาวอินคาผงให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอภายหลังการผลิต จึงนำใบถั่วดาวอินคามาทำการคัดเลือกเอาเฉพาะใบที่มีสีเขียวสม่ำเสมอทั่วทั้งใบ มีความแก่อ่อนใกล้เคียงกัน นำมาล้างทำความสะอาด แล้วผึ่งลมให้แห้ง

จากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้น พบว่า ใบถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และขั้นตอนในการผลิตชาได้แก่ ขั้นตอนการหมักและขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะส่งผลต่อปริมาณและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มนี้ ดังนั้น ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักใบชาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชาใบถั่วดาวอินคา

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง

นำใบถั่วดาวอินคามาผึ่งแดด (อุณหภูมิ 32-35 องศาเซลเซียส) ให้น้ำระเหยออกจากใบเป็นเวลาประมาณ 60 นาที จากนั้นทำการนวดด้วยมือโดยการขยี้ใบให้เนื้อเยื่อภายในใบแตก (นวดประมาณ 2 นาที) แล้วทำการหมักใบชาโดยปูผ้าขาวบางลงบนถาดอลูมิเนียมแล้วเกลี่ยใบถั่วดาวอินคาให้ใบมีการทับซ้อนกันหนาไม่เกิน 5 เซนติเมตร แปรเวลาในการหมักใบชาเป็น 0 1 3 และ 5 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 35-38 องศาเซลเซียส) แล้วหยุดปฏิกิริยาการหมักโดยคั่วใบดาวอินคา บนกระทะด้วยไฟอ่อน (อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที จนใบชาถั่วดาวอินคามีความชื้นไม่เกิน 5% และนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- วัดปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolics compound) ของชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคาโดยวิธี Folin-Ciocalteus method (Zhou and Yu, 2006)
- วัดสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคาโดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler *et al*., 2008)

- วัดค่าสีของชาใบถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Colorimeter รายงานผลเป็นค่า L*, a*, b*

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 23

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกเวลาที่ใช้ในการหมักที่ทำให้ได้ใบชาถั่วดาวอินคาที่มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

2.2) ศึกษาผลของวิธีการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

เนื่องจากวิธีการในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลในการผลิตชาสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การคั่วและการนึ่งด้วยไอน้ำ ซึ่งวิธีการที่แตกต่างกันส่งผลต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของใบชา ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาผลของวิธีในการยับยั้งเอนไซม์ต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยนำใบถั่วดาวอินคาสดมาทำการผึ่ง นวด และหมักตามเวลาที่คัดเลือกได้ จากนั้นทำการยับยั้งเอนไซม์โดยแปรวิธีการในการยับยั้งเอนไซม์ ดังนี้

1) ตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์)

2) การนึ่งด้วยไอน้ำ

3) การคั่วใบชา

การคั่วใบชา ทำโดยนำใบดาวอินคามาคั่วบนกระทะด้วยไฟอ่อน (อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส) จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 5% เป็นเวลา 30 นาที และสำหรับการนึ่งด้วยไอน้ำ จะนำใบถั่วดาวอินคา มานึ่งด้วยไอน้ำเดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) นาน 2 นาที โดยเกลี่ยใบลงบนผ้าขาวบางให้ถูกไอน้ำอย่างทั่วถึง แล้วนำไปนึ่ง เมื่อครบเวลานำมาแช่ในน้ำเย็นทันที จากนั้นนำใบชาถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำและตัวอย่างควบคุมไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 5% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- วัดปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolics compound) ของชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคา โดยวิธี Folin-Ciocalteus method (Zhou and Yu, 2006)
- วัดสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคา โดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler *et al*., 2008)
- วัดค่าสีของชาใบถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Colorimeter รายงานผลเป็นค่า L*, a*, b*

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 23

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกวิธีที่ใช้ในการยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้ได้ใบชาถั่วดาวอินคาแห้งที่มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การพัฒนากระบวนการผลิตโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการบีบน้ำมันแล้ว

4.1 ผลของการสกัดน้ำมันตกค้างในกากถั่วดาวอินคาต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน (control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ขจัดไขมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP) ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา TDP มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากผ่านการขจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซนถึง 2 ครั้ง เป็นผลให้ปริมาณไขมันลดลงทำให้สัดส่วนของโปรตีนสูงขึ้น ด้านปริมาณไขมัน พบว่า เมื่อมีการขจัดไขมันจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคาด้วยสารละลายเฮกเซน จะทำให้สารละลายเฮกเซนซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้วจับกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วของไขมัน เป็นผลให้ปริมาณไขมันลดลง ด้านปริมาณกากใย ปริมาณกากใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีขั้นตอนการขจัดไขมันมากขึ้น อาจเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการขจัดไขมันด้วยสารละลายเฮกเซน มีผลทำให้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดถูกย่อยสลายไปพร้อมกับสารละลายเฮกเซน โดยเซลลูโลส ที่ได้จากธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีปริมาณ amorphous cellulose ต่างกัน ซึ่ง amorphous cellulose มีความไวกับสารเคมีมาก ดังนั้น จึงเป็นส่วนที่ง่ายต่อการถูกย่อยสลายด้วยสารละลาย เช่นเดียวกับเฮมิเซลลูโลส ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ amorphous (Glazer and Nikaido, 2007) ดังนั้นจึงมีโอกาสที่โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาเมื่อผ่านการขจัดไขมันจะมีปริมาณกากใยลดลง เช่นเดียวกับปริมาณเถ้าที่มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า โปรตีนผงจากถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูง (31.03-34.25% db) รองลงจากปริมาณโปรตีน (44.65-50.98% db) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของภารดี กุศลินกุล และคณะ (2558) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมัน (Sachalnchi oil extracted residue, SIOR) พบว่า มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 49.79% db และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตรองลงมาคือ 15.92% db

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน (Control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่กำจัดไขมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาปราศจากไขมัน (TDP)

ชนิดของโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา	ความชื้น (% dry basis)	โปรตีน (% dry basis)	ไขมัน (% dry basis)	กากใย (% dry basis)	เถ้า (% dry basis)	คาร์โบไฮเดรต (% dry basis)
Control	5.29 ± 0.13^{a}	44.65 ± 0.47^{c}	7.44 ± 0.03^{a}	5.28 ± 0.17^{a}	7.00 ± 0.07^{a}	30.34 ± 0.43^{b}
PDP	4.95 ± 0.02^{b}	48.07 ± 0.50^{b}	1.48 ± 0.08^{b}	4.70 ± 0.02^{b}	6.55 ± 0.01^{b}	34.25 ± 0.39^{a}
TDP	4.59 ± 0.02^{c}	50.98 ± 0.07^{a}	0.36 ± 0.04^{c}	4.20 ± 0.02^{c}	6.10 ± 0.01^{c}	33.77 ± 0.10^{a}

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

PDP =Partially Defatted Powder TDP = Totally Defatted Powder

2) สมบัติเชิงหน้าที่

จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนผงจากถั่วดาวอินคาได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4-2 พบว่า โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน โปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีค่าไม่แตกต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.7-3.19 g/g powder ด้านความสามารถในการดูดซับน้ำมัน พบว่า โปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา ทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำที่สุดเท่ากับ 1.35 g/g powder ($p<0.05$) และมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีค่าเท่ากับ 1.51 และ 1.65 g/g powder ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการขจัดไขมันออกจากกากถั่วดาวอินคามากขึ้น ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งโปรตีนประกอบไปด้วยส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ส่วนที่ไม่มีขั้วของโปรตีนจะสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำมันซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว มีผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และอาจเนื่องมาจากส่วนของ hydrophobic ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำมันถูกปลดปล่อยมาอยู่ที่ผิวมากขึ้น และการกระจายตัวในเฟสของน้ำมันมากขึ้น (Damodaran, 1997; Zayas, 1997) ด้านสมบัติการเป็นอิมัลซัน พบว่าความสามารถในการเกิดอิมัลซันและความคงตัวของอิมัลซันของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน โปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีค่าไม่แตกต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 58.03-58.56 % ซึ่งถือว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี **ส่วน**สมบัติการเกิดโฟม พบว่าค่าความสามารถในการเกิดโฟม และค่าความคงตัวของโฟม ของโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน มีความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมต่ำที่สุด เท่ากับ 12.50% และ 12.95% ตามลำดับและการขจัดไขมันออกมีแนวโน้มทำให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมมาก โดยโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีค่าความสามารถในการเกิดโฟม เท่ากับ 32.00-59.50% ($p<0.05$) ในขณะที่โปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา PDP และโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา TDP มีค่าความคงตัวของโฟม เท่ากับ 81.20-93.35% ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการขจัดไขมันออกจากกากถั่วดาวอินคามากขึ้นมีผลให้ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-2 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมัน (Control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่กำจัดไขมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาปราศจากไขมัน (TDP)

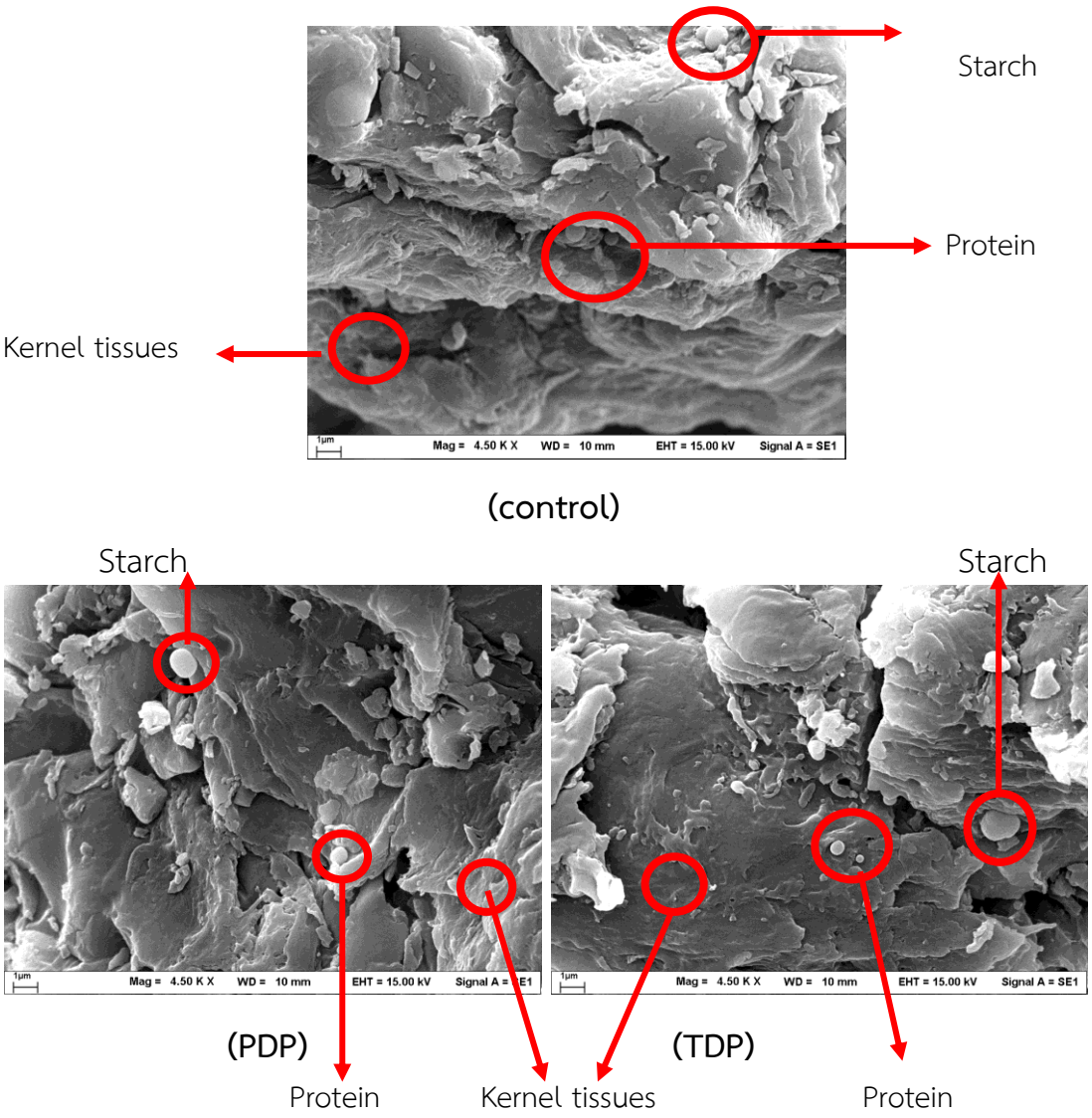
ชนิดของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา	Water absorption (g/g powder) (%)	Oil absorption (g/g powder) (%)	Emulsifying properties		Foaming properties	
			Emulsion activity (%) ^{ns}	Emulsion stability (%) ^{ns}	Foaming capacity (%)	Foaming stability (%)
Control	2.7 ± 0.12^{b}	1.35 ± 0.05^{c}	58.03 ± 2.19	58.03 ± 2.19	12.50 ± 0.86^{c}	12.95 ± 2.76^{c}
PDP	3.05 ± 0.32^{ab}	1.51 ± 0.05^{b}	58.26 ± 1.43	58.26 ± 1.43	32.00 ± 2.17^{b}	81.2 ± 2.34^{b}
TDP	3.19 ± 0.14^{a}	1.65 ± 0.07^{a}	58.56 ± 1.84	58.56 ± 1.84	59.50 ± 0.86^{a}	93.35 ± 1.37^{a}

PDP = Partially Defatted Powder TDP = Totally Defatted Powder

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากถั่วดาวอินคา พบว่า โครงสร้างของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน (control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ขจัดน้ำมันออกบางส่วน (PDP) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP) ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่มีทรงกลมขนาดใหญ่ประมาณ 3-4 μm และขนาดเล็กประมาณ ≤1 μmฝังตัวอยู่ใน kernel tissue และมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไป เมื่อนำโปรตีนผงดังกล่าวไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์จะพบวงแหวนและไฮลัม เป็นเครื่องหมายกากบาทสีดำชัดเจน (birefringence) บนโครงสร้างที่มีทรงกลมขนาดใหญ่ ดังนั้นโครงสร้างทรงกลมที่มีขนาดเล็กประมาณ ≤1 μmและไม่เกิด birefringence ด้วยแสงโพลาไรซ์จึงคาดว่าจะเป็นโครงสร้างของโปรตีน



ภาพที่ 4-1 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการขจัดไขมัน (control) โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ขจัดน้ำมันออกบางส่วน (PDP) และโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP)

4.2 แนวทางการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาในระบบอาหาร

นำโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาชนิดที่เหมาะสมที่ได้เลือกมาจากข้อ 4.1 ได้แก่ โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP) มาศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการเกิดโฟม เปรียบเทียบกับชิฟฟ่อนเค้กสูตรพื้นฐาน โดยแปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองตามรายละเอียดดังนี้

1) สมบัติการเกิดโฟม

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ค่า Foaming capacity และค่า Foaming stability ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน และชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาระดับต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา กล่าวคือค่า Foaming capacity ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานและชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่สังเกตได้ว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน คือ 1077.78 และ 988.89 (% dry basis) ในขณะที่ชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 4 และ 6 มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก คือ 577.78 และ 322.22 (% dry basis) เนื่องมาจากโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่จะให้สมบัติการเกิดโฟมที่ด้อยกว่าโปรตีนจากไข่ขาว อย่างไรก็ตามค่า Foaming stability ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานและชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ 99.95 และ 99.80 (% dry basis) และชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 4 และ 6 มีแนวโน้มลดลง คือ 98.40 และ 96.45 (% dry basis) ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา

ปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผง TDP	Foaming properties	
	Foaming capacity (%)	Foaming stability (%)
Control	1077.78 ± 19.24^{a}	99.95 ± 0.04^{a}
2%	988.89 ± 19.24^{b}	99.80 ± 0.06^{a}
4%	577.78 ± 19.24^{c}	98.40 ± 0.17^{b}
6%	322.22 ± 19.24^{d}	96.45 ± 0.26^{c}

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2) ความหนืดของแบตเตอร์

จากการวิเคราะห์ความหนืดของแบตเตอร์โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer พบว่า ปริมาณของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน และชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาระดับต่างๆ มีผลให้ความหนืดของแบตเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความหนืดของแบตเตอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูง (50.98% dry basis) ทำให้โมเลกุลของโปรตีนส่วนที่ชอบน้ำสามารถจับกับน้ำและมีโอกาสเกิดเจลได้ โดยเกิดการเกาะเกี่ยวกันของอนุภาคของโปรตีน อาจมีลักษณะเป็นสายยาวหรือเป็นกลุ่มก้อน โดยจะเกิดการอุ้มน้ำไว้กับตัวและทำให้เกิดความหนืดขึ้นได้ (Matsumura and Mori, 1996;ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545)

3) ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิฟฟอนเค้กด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) ตาราง 4-4 พบว่า ค่า Hardness ค่า Gumminess และค่า Cohesiveness ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน และชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาระดับต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า Hardness และค่า Gumminess มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา สอดคล้องกับค่า Cohesiveness ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่า Gumminess เพิ่มขึ้นเป็น 1.10, 1.79, 2.13 และ 3.29 Kg force ตามลำดับ ($p<0.05$) และค่า Cohesiveness เพิ่มขึ้นเป็น 0.76, 0.78, 0.80 และ 0.83 ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูง (50.98% dry basis) ทำให้สามารถแย่งจับน้ำในส่วนผสมไปจึงช่วยเพิ่มความหนืดให้กับอาหาร ส่งผลให้ชิฟฟอนมีโครงสร้างแน่นขึ้น ไม่ยุบตัว หรือมีความแข็งขึ้น

ส่วนค่า Springiness ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน และชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาระดับต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า Springiness มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคา กล่าวคือ ค่า Springiness ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานและชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 มีค่า สูงที่สุดคือ 0.95 และ 0.93 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 4 และ 6 มีแนวโน้มลดลง คือ 0.91 และ 0.85 ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาเกิดการดูดซับน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวมากขึ้น จึงส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของชิฟฟอนเค้กที่ได้มีความยืดหยุ่นลดลง (ประดิษฐ์ คำหนองไผ่, 2553)

ตารางที่ 4-4 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness และค่า Gumminess ของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากเมล็ดถั่วดาวอินคา 2% 4% และ 6%

ปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผง TDP	ความหนืด (cP)	Hardness (Kg force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (Kg force)
control	1437.69 ± 29.57^{d}	1.36 ± 0.03^{c}	0.95 ± 0.00^{a}	0.76 ± 0.00^{c}	1.10 ± 0.00^{d}
2%	1507.67 ± 70.04^{c}	1.42 ± 0.01^{c}	0.93 ± 0.00^{a}	0.80 ± 0.00^{b}	1.79 ± 0.01^{c}
4%	1624.32 ± 36.07^{b}	2.49 ± 0.10^{b}	0.91 ± 0.00^{b}	0.78 ± 0.00^{b}	2.13 ± 0.03^{b}
6%	1762.95 ± 58.63^{a}	3.72 ± 0.11^{a}	0.85 ± 0.00^{c}	0.83 ± 0.00^{a}	3.29 ± 0.05^{a}

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ระดับต่างๆ โดยพิจารณาจากการแสดงสมบัติเด่นในด้านของการเกิดโฟม ความคงตัวของโฟม ที่มีความแตกต่างจากชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานต่ำที่สุด จากการทดลองพบว่าชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 มีคุณสมบัติการเกิดโฟมแตกต่างจากชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานน้อยที่สุดและความคงตัวของโฟมไม่แตกต่างจากชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) โดยพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพอื่น ได้แก่ ค่า Springiness พบว่าไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) และในส่วนของค่าความหนืดของแบตเตอร์ ค่า Hardness ค่า Gumminess และค่า Cohesiveness ของชิฟฟอนเค้กที่แปรปริมาณการแทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 พบว่าใกล้เคียงกับชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน

ตอนที่ 2 การพัฒนากระบวนการผลิตใบชาจากใบถั่วดาวอินคา

4.3 ผลของระยะเวลาในการหมักใบชาต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักใบชาต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยนำใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มาผึ่งแดดให้น้ำระเหยออกจากใบเป็นเวลาประมาณ 60 นาที (อุณหภูมิ 32-35 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำการนวดด้วยมือ แล้วทำการหมักใบชาโดยแปรเวลาในการหมักใบชาเป็น 0 1 3 และ 5 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 35-38 องศาเซลเซียส) แล้วหยุดปฏิกิริยาการหมัก

โดยการคั่วใบถั่วดาวอินคาบนกระทะ (อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที จนใบชาถั่วดาวอินคามีความชื้นไม่เกิน 5% มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคา และนำน้ำชามาวิเคราะห์ค่าสี ได้ผลดังตาราง 4-5 และ 4-6

จากผลการทดลองในการนำน้ำชาและสารสกัดจากชาใบถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์เพื่อทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ชาใบถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของสารฟีนอลิกจึงทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

จากตารางที่ 4-1 เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างชาใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ คือ 0 1 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างชาใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาที่แตกต่างกันมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากระยะเวลาในการหมักใบชาที่แตกต่างกัน และการคั่วใบชานั้นไม่มีผลต่อปริมาณฟินอลิกทั้งหมด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกทั้งหมดนั้นอาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผึ่งและการนวดชา และระยะเวลาในการผึ่งและการนวดชาที่เท่ากันนี้ ส่งผลให้ปริมาณฟินอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ ศิวาพร ศิวเวชช และณัฏฐินี ใจสะอาด (2546) ได้กล่าวไว้ว่า สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น มีการสังเคราะห์ และมีการสลายตัว โดยมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น แสง และ อุณหภูมิ อย่างไรก็ตามการหมักใบชาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีแนวโน้มให้ค่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด

สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชาใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ พบว่า มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการหมักที่แตกต่างกัน พบว่าการหมักในระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักใบชาที่ 3 และ 5 ชั่วโมง ทั้งในใบชาและผงชา เท่ากับ 28.05% และ 64.77% ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่า ระยะเวลาในการหมักที่นานกว่าเกิดการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ดังนั้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดลฤดี พิชัยรัตน์ และนพรัตน์ มะเห, 2557) เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตชาเขียว ชาอู่หลงและชาดำ (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2555) ที่กล่าวว่าการผ่านกระบวนการหมักในระดับที่ต่างกัน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไป ส่งผลให้ชาแต่ละประเภทมีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-5 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดได้จากใบชาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)		สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	
	น้ำชา^{ns}	สารสกัด^{ns}	น้ำชา	สารสกัด
0	11.31±0.91	12.37±0.39	27.61±0.61^{ab}	64.66±0.12^{a}
1	11.52±0.74	12.96±0.73	28.05±0.41^{a}	64.77±0.17^{a}
3	11.16±0.46	12.92±0.43	26.95±0.36^{b}	63.57±0.34^{b}
5	11.90±0.89	12.35±0.82	25.96±0.37^{c}	62.69±0.12^{c}

หมายเหตุ $^{a,b,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-6 แสดงผลของค่าสีในระบบ L* a* b* พบว่า น้ำชาจากใบถั่วดาวอินคามีค่า a* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เนื่องจากชาร้อนจากใบถั่วดาวอินคาที่ได้มีสีที่ค่อนข้างอ่อน และอยู่ในโทนสีแดง-เหลือง จึงมีค่าสีที่ไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่มีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งค่า L* ของตัวอย่างน้ำชาที่ผ่านการหมักที่เวลา 1 ชั่วโมง สีของน้ำชาจะมีสีเหลืองอ่อน ส่งผลให้มีค่าความสว่างมากที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างใบชาถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลาอื่นๆ อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browningreaction) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ , มปป.) ส่งผลให้ชาที่ผ่านระยะเวลาในการหมักที่ 1 ชั่วโมงมีค่าความสว่างมากกว่าที่ระยะเวลา 0 1 และ 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-6 ค่าสี L* a* b* ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักในระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	L*	a* ^{ns}	b* ^{ns}
0	2.11±0.16^{c}	0.37±0.16	0.27±0.08
1	3.72±0.06^{a}	0.36±0.07	0.37±0.05
3	3.47±0.08^{b}	0.23±0.09	0.37±0.10
5	1.72±0.06^{d}	0.20±0.07	0.24±0.07

หมายเหตุ $^{a,d,...}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

4.4 การศึกษาผลของวิธีการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมใบถั่วดาวอินคาที่หมักตามเวลาที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.3 คือ การหมักใบถั่วดาวอินคาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหมักมาทำการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การคั่ว และการนึ่งด้วยไอน้ำ มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดจากใบชาถั่วดาวอินคา และนำน้ำชามาวิเคราะห์ค่าสี ได้ผลวิเคราะห์ดังตาราง 4-7 และ 4-8

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของชาใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาและสารสกัดจากใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการยับยั้งเอนไซม์	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)		สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	
	น้ำชา [ns]	สารสกัด	น้ำชา	สารสกัด
ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ (ตัวอย่างควบคุม)	10.58±0.46	11.21±0.62[b]	29.34±1.30[a]	44.43±0.74[b]
การนึ่งด้วยไอน้ำ	10.97±0.11	12.14±0.11[a]	30.06±2.58[a]	47.00±1.51[a]
การคั่ว	9.99±0.58	11.08±0.08[b]	24.34±1.78[b]	38.29±1.19[b]

หมายเหตุ [a,b,...] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-7 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) และสารสกัดจากใบชามีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์และยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่การนึ่งด้วยไอน้ำมีแนวโน้มของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด เนื่องจากความร้อนจะทำให้มีการสูญเสียสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระบางชนิด เช่น รงควัตถุ และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกลดลง

จากตารางที่ 4-7 พบว่า % inhibition ในน้ำชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับสารสกัดจากใบชา โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์หลังจากการหมักจะนำมาอบแห้งเช่นเดียวกับวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำจะนำตัวอย่างหลังจากการนึ่งมาอบแห้ง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนวิธีการคั่วจะนำตัวอย่างมาคั่วหลังจากการหมักและไม่มีการอบแห้ง โดยพบว่าการนึ่งด้วยไอน้ำมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เท่ากับ 30.06 % ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนในขั้นตอนก่อนการอบแห้งมีต่อผลกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้การได้รับความร้อนเป็นเวลานานมีโอกาสทำให้สารพฤกษเคมีต่างๆเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น และทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง โดยวิธีการคั่วพบว่าใช้เวลาในการสัมผัสความร้อนนานอยู่ในช่วง 30 นาที (อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส) อาจทำให้สารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปมาก

เมื่อพิจารณาค่า Inhibition ร่วมกับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดจากผลการทดลองในตารางที่ 4-7 พบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกล่าวคือ ชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากจึงมีผลให้ค่า Inhibition ซึ่งแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาก เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั่นเอง

ผลการวัดค่าสีของชาใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการยับยั้งเอนไซม์	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ (ตัวอย่างควบคุม)	2.86±0.39	0.31±0.07	0.35±0.14
การนึ่งด้วยไอน้ำ	2.62±0.45	0.21±0.12	0.37±0.12
การคั่ว	2.37±0.18	0.33±0.05	0.48±0.07

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาค่า L* a* และ b* พบว่า ตัวอย่างชาใบถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการยับยั้งเอนไซม์ และผ่านการยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำ และการคั่ว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากชาร้อนจากใบถั่วดาวอินคาที่ได้มีสีที่ค่อนข้างอ่อน และอยู่ในโทนสีแดง-เหลือง จึงมีค่าสีที่ไม่ค่อยแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการผลิตโปรตีนผงจากถั่วดาวอินคา เมื่อพิจารณาผลของการสกัดน้ำมันตกค้างในกากถั่วดาวอินคาต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า โปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ปราศจากไขมัน (TDP) มีปริมาณไขมันน้อยที่สุดและมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด ส่งผลให้มีความสามารถการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน การเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงกว่าโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ขจัดน้ำมันออกบางส่วน (PDP) และ control แต่อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ตัวอย่างมีลักษณะไม่แตกต่างกัน โดย TDP มีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการเกิดโฟมสูง จึงถูกคัดเลือกสำหรับใช้ในการทดลองการใช้โปรตีนผงในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ชิฟฟอนเค้ก ซึ่งพบว่า ชิฟฟอนเค้กที่แทนที่ไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 มีค่าความสามารถในการเกิดโฟมและลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐานมากที่สุด ในขณะที่ค่าความคงตัวของโฟมไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดแทนไข่ขาวด้วยโปรตีนผงจากถั่วดาวอินคาร้อยละ 2 จึงเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ชิฟฟอนเค้กมากที่สุด

สำหรับการศึกษาการผลิตใบชาถั่วดาวอินคา พบว่า ระยะเวลาในการหมักมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการหมักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ชาใบถั่วดาวอินคามีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อพิจารณาผลของวิธีการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสด้วยวิธีการคั่ว และการนึ่งด้วยไอน้ำต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า วิธีการนึ่งด้วยไอน้ำมีความเหมาะสมที่สุด เพราะทำให้ได้ชาใบถั่วดาวอินคาที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

การใช้โปรตีนผงจากถั่วดาวอินคา และการผลิตชาจากใบถั่วดาวอินคาถึงแม้จะได้ประโยชน์จากโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระ แต่โปรตีนที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ยังไม่สามารถใช้ได้ในปริมาณมาก เพราะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส จึงควรศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานโดยอาจทดลองนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ เพื่อให้สามารถใช้โปรตีนเสริมในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ส่วนใบชาที่ผลิตได้นั้นยังมีลักษณะสี กลิ่น รสชาติที่อ่อนเกินไป อาจไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค จึงควรศึกษาแนวทางการผลิตเพื่อให้ได้กลิ่นรสที่ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

กนกกานต์ วีระกุล, จิราภรณ์ สอดจิตร์ และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. (2007). การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนม์และการนำไปประยุกต์ใช้ในปลิตภัณฑ์โยเกิร์ต. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กฤษฎา โกวิทยะวงศ์. (2548). อิทธิพลของกระบวนการผลิตชาที่มีต่อสารต้านอนุมูลอิสระในชาเขียว. วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://tdc.thailis.or.th

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). สารต้านอนุมูลอิสระ. วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จา http://www.kpi.msu.ac.th/upload/ag_tor_ref_bymst/ag_9_in_2.1.2.1_6_377().pdf

ดลฤดี พิชัยรัตน์ และนพรัตน์ มะเห. (2557). ผลของการลวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผักพื้นบ้านภาคใต้บางชนิด. วารสารวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ทัศณีย์ ปิ่นแก้ว และ รามราช หมื่นศรีธาราม. (2553). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดชนิดครีมจากไข่ขาวเพื่อสุขภาพ. รายงานผลงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ธีรพงษ์ เทพกรณ์. (2555). ชา: กระบวนการผลิตและองค์ประกอบทางเคมีจากการหมัก. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17: 189-196.

ธีรพงษ์ เทพกรณ์ และสิริรุ่ง วงศ์สกุล. (2550). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (โพลิฟีนอล) ในระหว่างกระบวนการผลิตชาเขียวและชาอู่หลงของจังหวัดเชียงราย.วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://teainstitutemfu.com/

นัจญ์มีย์ สะอะ และคณะ (ม.ป.ป.)

ปาริฉัตร หงสประภาส. (2545). เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล (1). โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประดิษฐ์ คำหนองไผ่. (ม.ป.ป.). ผลของใยอาหารจากแกนสับปะรดต่อคุณภาพของชิฟฟอนเค้ก. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร,สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ประดิษฐ์ คำหนองไผ่. (2553). อิทธิพลของใยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองต่อคุณภาพของเต้าหู้ปลาดุกบิ๊กอุย. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร,สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.ประสิทธิ์ สุธรรมวงศ์ (2550)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน/functional functional properties of protein. วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก

http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1276/สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน functional-properties-of- protein

พรรณวดี วิถีสำราญธรรม. (2540). การสกัดโปรตีนเข้มข้นจากเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษและการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนที่ได้โดยการเสริมด้วยโปรตีนเข้มข้นจากเมล็ดงาและถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรเทพพิทักษ์ฟาร์ม. (ม.ป.ป.). ประโยชน์จากชาใบถั่วดาวอิคา. วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2559 เข้าถึงได้จาก http://www.dowinca.com/SachaInchiTea.html

ภารวี กุศลินกุล และคณะ (2558). การพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา.บทคัดย่อ การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 9. 3-4 กันยายน 2558.หน้า 161.

วันชัย สมชิต. (2527). คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง.ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. บริษัท สยามออฟเซ็ท จำกัด, กรุงเทพ; 150

ลีนา หง้าฝา. (2556) องค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และการออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วหรั่ง. วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิวาพร ศิวเวชช และณัฏฐินี ใจสะอาด. (2546). การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันฝรั่ง. งานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร

ศุภลักษณ์ สารพันธ์ และสุมาพร เพาะผล (2549). ศึกษาปริมาณสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สวนวรรณลดา. (ม.ป.ป.). ใบถั่วดาวอินคา. วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.sachainchishop.com/2015/08/blog-post_10.html

สถาบันชา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. (ม.ป.ป.). กระบวนการผลิตชา. วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://teainstitutemfu.com

สิริมา ชินสาร และ กฤษณะ ชินสาร. (2557). การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด. โครงการวิจัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

อาทิชา วงศ์คำมา. (2556) Clostridium botulinum Contaminated in Fonterra's whey protein Concentrate and milk product. รายงานการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาประจำสัปดาห์ 2556; 44: 529-31.

อุดมวิทย์ ไวทยาการ กัญญรัตน์ จำปาทองและเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ. (ม.ป.ป.). ดาวอินคา. วันที่สืบค้น

ข้อมูล7ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก
http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_10nov/rai.html

Ah Reum Cho, Jaejoon Han, Jungmin Oh, Heonjoo Jo and Sung-jin Kim. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of various leafy herbal teas. Food Control, 31, 403-409

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists. 17 th ed. Washington,D.C.

Bhat, R., & Binti Y. N. (2014). Evaluating belinjau (Gnetumgnemon L.) seed flour Quality as a base for development of novel food products and food formulations.Food Chemistry, 156, 42-49.

Chabanon, G., Chevalot, I.,Framboisier, X., Chenu, S.,and Marc, I. (2007). Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates.Process Biochemistry. 42(10), 1419-1428.

Chattopadhyay, P., Banerjee, N., and Chaudhary, B. (2010). Precise seed micromorphometric markers as a tool for comparative phylogeny of Dendrobium (Orchidaceae). Floriculture and Ornamental Biotechnology, 4, 36-44.

Chiara et al. (2011).Chemical Characterization of SachaInchi (Plukenetiavolubilis L.) Oil. Food Chem.59 (24), 13043–13049

Damodaran, S. (1996). Amino acid, peptides and protein. In Food Chemistry, 3, 321-429.

Glazer, A.N., Nikaido, H. (2007). Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology. 2nd ed. Cambridge University Press.

Gutierrez, L.F., Rosada, L.M., and Jimenez, A. (2011).Chemical composition of Sacha Inchi (Plukenetiavolubilis L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. 62 (1), 76-83.

Halliwell, B. (2009). “The wanderings of a free radical”. Free Radical Biology and Medicine 46: 531-542.

Ismail A., Marjan Z., M. and Foong C. W. (2004). Total antioxidant activityand phenolic Content in selected vegetables. Food Chemistry, 87, 581-586

Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., and Tananuwong, K.(2008) Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. Food Chemistry. 110. 23-30.

Karagoz, A.A., Erdag, B., Emer Y.C., & Uygum D.A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from Dorystoechas hastata, Food Chemistry, 111, 400-407

Kudre, T. G., Benjakul, S. (2013). Effects of binary organic solvents and heating on lipid remove and the reduction of beany odour in Bambara groundnut (Vigna subterranean) flour.Food Chemistry, 141, 1390-1397.

Matsumaru, Y., & Mori, T. (1996). In methods of testing protein functionality. p.76. G.M. (Ed), Blackie Academic & Professional, London.

Miean, K.H. and Mohamed, S. (2001) Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin, and Apigenin) Content of Edible Tropical Plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 3106-3112.

Pineli, O., Carvalho, M. V., Aguiar, L. A., Oliveira, T. G., Celestino, S. M. C. R., Botelho, B. A., & Chiarello, D. M. (2015).Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction oil to product flour and cookies [Abstract]. LWT-Food Science and Technology, 60, 50-55.

Sauter, E.A. and J.E. Montoure. (1972). The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. Journal of Food Science. 37(6): 918-920.

Seena S., Sridhar K.R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. Food Research International, 38 (7), 803-814Shapoval and Gromovaia, 2003

Sies, H. (1991) Oxidative Stress: Introduction. In: Sies, H., Ed., Oxidative Stress: Oxidant and Antioxidants, Academic Press, San Diego, 15-22.

Valacchi, G. et al. (2004). “In vivo ozone exposure induces antioxidant stress-related responses in murine lung and skin”. Free Radical Biology and Medicine 36: 673-681.

Velioglu, Y. S., Mazza, T.G., Gao, L. and Oomah, B. D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. Journal Agricultural and Food Chemistry. 46, 4113–4117.

Yada, R. Y. (2004). Proteins in Food Processing.Woodhead Publishing Limited: England.

Zayas, J.E. (1997). Foaming properties of protein. Springer-verlag Berlin Heidelberg. New york.

Zhou, K. & Yu, L. (2006). Total Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Commonly Consumed Vegetables Grown in Colorado. Lebensmittel Wissenschaftund-Technologie., 39, 1155-1162.