บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

"ข้าว" เป็นธัญญาหารหลักของชาวโลก จัดเป็นพืชสายพันธุ์เดียวกับหญ้า ซึ่งจัดว่าเป็นหญ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกและมีความหลากหลายทางชีวภาพ สามารถเพาะปลูกได้ง่าย มีความทนทานต่อทุกสภาพภูมิประเทศในโลก ไม่ว่าจะเป็นถิ่นแห้งแล้งแบบทะเลทราย พื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง หรือแม้กระทั่งบนเทือกเขาที่หนาวเย็น ข้าวก็ยังสามารถงอกขึ้นมาได้อย่างทรหดอดทน ข้าวชนิดแรกที่มนุษย์รู้จักนำมารับประทานคือ ข้าวป่า จากหลักฐานที่พบทำให้สันนิษฐานได้ว่าเมื่อประมาณ 16,000-13,000 ปีที่แล้ว ยุคน้ำแข็งใกล้สิ้นสุดลง สัตว์ใหญ่หลายชนิดเริ่มสูญพันธุ์ไป มนุษย์จึงต้องลดบทบาทการล่าสัตว์แล้วหันมาสะสมข้าวป่าและพืช เพื่อเป็นอาหาร นักโบราณคดีชาวอเมริกัน ทำการศึกษาสถานที่ทางประวัติศาสตร์ของจีนในปี พ.ศ. 2536 มีหลักฐานที่ยืนยันได้ว่า ประเทศจีน คือ แหล่งกำเนิดของการปลูกข้าว เพราะได้พบร่องรอยของข้าวป่าที่มีอายุถึง 16,000 ปี และข้าวที่ปลูกอายุกว่า 9,000 ปี โดยพิจารณาจากการขุดพบหลักฐานข้าวไหม้ที่ติดอยู่กับเศษภาชนะรวมทั้งเศษต้นข้าวสมัยโบราณที่ขุดได้จากถ้ำ 2 แห่งในหุบเขาเมืองหนานชาง (Nanchang) เมืองหลวงของมณฑลเจียงสี (Jianxi) ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของจีน จุดเริ่มต้นของการเพาะปลูกข้าวของมนุษย์จากวัฒนธรรมลุงชานของประเทศจีน และวัฒนธรรมฮัวบิเนียนของประเทศเวียดนาม ซึ่งการเพาะปลูกใช้วิธีการปลูกคล้ายกับการทำไร่เลื่อนลอย หลังจากนั้นวิวัฒนาการปลูกข้าว จากการทำไร่เลื่อนลอยมาเป็นการทำนาหว่านประมาณ 9,000 ปีก่อน และพัฒนาสู่การทำนาแบบปักดำ ซึ่งพบหลักฐานในวัฒนธรรมบ้านเชียงของไทย เมื่อราว 5,000 ปีที่ผ่านมาหลักฐานต้นข้าวที่ค้นพบข้าวป่าในช่วงแรกจะมีก้านและใบเดี่ยว แต่ที่ปลูกใหม่มีถึง 5 ก้าน แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลาดังกล่าว มนุษย์เริ่มเข้าใจว่าหากปลูกข้าวลงดินเองจะให้เพิ่มขึ้นถึง 5 เท่า แสดงให้เห็นว่า มนุษย์มีการพัฒนาการเกษตรเพื่อการดำรงชีวิต สายพันธุ์ของพืชตระกูลข้าวที่มีอยู่บนโลกมีมากถึง 120,000 สายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่รู้จักและนำมาปลูกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ *O. Savita* ที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชีย และ *O. glaberrina* ที่นิยมเพาะปลูกในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ปลูกและซื้อขายในตลาดโลกเกือบทั้งหมดจะเป็นข้าวจากทวีปเอเชีย ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะและพื้นที่ปลูกได้ดังนี้ (สมาคมผู้ส่งออกข้าว, 2557)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1) ข้าวอินดิก้า (Indica) หรือข้าวเจ้า (ภาพที่ 1.1) เป็นข้าวที่มีลักษณะเม็ดเรียวยาวรี ลำต้นสูง ตั้งชื่อมาจากแหล่งที่ค้นพบครั้งแรกในประเทศอินเดีย เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชียเขตมรสุมตั้งแต่จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย ไปจนถึงอินเดียและศรีลังกา และแพร่กระจายไปทั่วเขตอุษาอาคเนย์ตั้งแต่หลัง พ.ศ. 1000 ทั่วเขตลุ่มน้ำอิระวดี ต่อมามีการแพร่ขยายการเพาะปลูกไปใน

ทวีปอเมริกา ในประเทศไทยข้าวอินดิก้านิยมเพาะปลูกในบริเวณที่ราบลุ่มตอนใต้ของแม่น้ำเจ้าพระยา แทนข้าวเหนียวที่เคยปลูก ซึ่งคนไทยสมัยนั้นเรียกข้าวอินดิก้าที่มาจากต่างประเทศว่า “ข้าวของเจ้า” แล้วเรียกกันสั้นลงว่า “ข้าวเจ้า”

ภาพที่ 2.1 แสดงพันธุ์ข้าวอินดิก้า
ที่มา: ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2558

2) ข้าวจาปอนิก้า (Japonica) (ภาพที่ 1.2) เป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อม กลมรี มีแหล่งกำเนิดจากทางภาคเหนือแล้วผ่านมาทางลุ่มแม่น้ำโขง ในสมัยก่อนพุทธศตวรรษที่ 20 หลังจากนั้นลดจำนวนลงไปแพร่หลายในเขตอบอุ่นที่ญี่ปุ่น เกาหลี รัสเซีย ยุโรป และอเมริกา

ภาพที่ 2.2 แสดงพันธุ์ข้าวจาปอนิก้า
ที่มา: Pathumabaha (นามแฝง), 2550

3) ข้าวจาวานิก้า (Javanica) (ภาพที่ 2.3) เป็นข้าวลักษณะเมล็ดป้อมใหญ่สันนิษฐานว่า เป็นข้าวพันธุ์ผสม ระหว่างข้าวอินดิก้าและจาปอนิก้า นิยมเพาะปลูกในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน หมู่เกาะริวกิว (จังหวัดโอะกินะวะ ประเทศญี่ปุ่น) และญี่ปุ่น แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมนัก เพราะให้ผลผลิตต่ำ

ภาพที่ 2.3 แสดงพันธุ์ข้าวจาวานิก้า
ที่มา: Toziro (นามแฝง), 2554

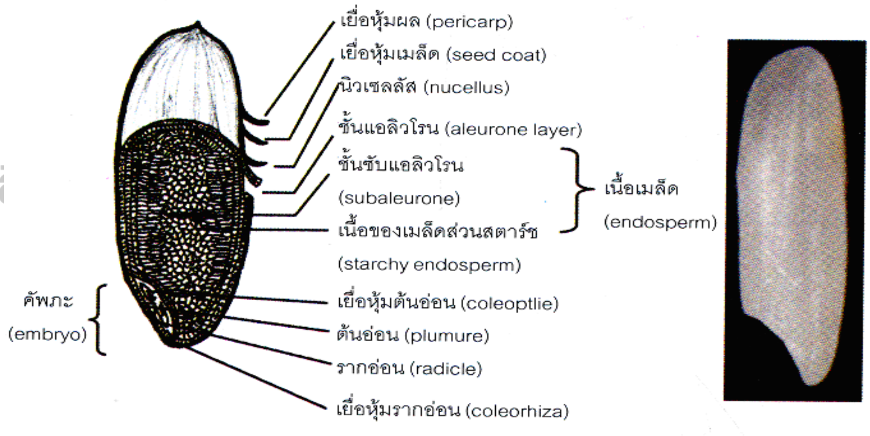
ในประเทศต่าง ๆ มีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวใหม่เพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกข้าว และวิธีการปลูกข้าวให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตำนานเกี่ยวกับข้าวของแต่ละชาติต่างก็มีประวัติศาสตร์อันยาวนาน ซึ่งในสมัยกรุงสุโขทัย (พ.ศ. 1740-2040) ข้าวที่ปลูกยังเป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อมและเมล็ดยาวเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็เริ่มปลูกข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ในยุคนี้พระมหากษัตริย์ทรงทำนุบำรุงเกษตรกรรมได้ผลผลิตอุดมสมบูรณ์ ดังปรากฏในศิลาจารึกว่า “ในน้ำมีปลา ในนามีข้าว” มีการถือครองเป็นที่ทำกินและที่ดินนั้นจะสืบทอดเป็นมรดกแก่ลูกหลาน การสร้างหลักปักฐานเพื่อประกอบอาชีพเกษตรกรรมเช่นนี้ ก่อให้เกิดระบบการปกครอง เศรษฐกิจ และสังคมขึ้น ดังนั้นระบบศักดินาซึ่งเป็นการแบ่งระดับชนชั้นตามจำนวนของพื้นที่นาจึงน่าจะเริ่มในยุคนี้ ต่อมาเข้าสู่สมัยกรุงศรีอยุธยาตอนต้นบ้านเมืองมีความมั่งคั่งเป็นอู่ข้าวอู่น้ำที่สำคัญ เริ่มระบบการปกครองแบบจตุสดมภ์มี “กรมนา” ดูแลส่งเสริม และสนับสนุนการทำนาอย่างจริงจัง เพราะข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรและเป็นเสบียงสำรองในยามเกิดศึกสงคราม โดยข้าวที่ปลูกส่วนใหญ่ยังคงเป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อมและเมล็ดยาว แต่มีการปลูกข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียวเพิ่มมากขึ้นด้วย สมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลายถึงกรุงรัตนโกสินทร์ตอนต้นในต้นรัชสมัยรัชกาลที่ 3 ได้มีการเก็บอากรข้าวในภาคกลางส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวที่ทางราชการแนะนำหรือพันธุ์พื้นเมืองที่มีคุณภาพ ส่วนภาคเหนือตอนบนนิยมปลูกข้าวเหนียว แต่ในภาคเหนือตอนล่างและภาคใต้เน้นปลูกข้าวเจ้าเป็นหลัก ในช่วงนี้เองที่ประเทศตะวันตกได้ออกล่าอาณานิคมและเมืองไทยเป็นหนึ่งในเป้าหมาย แต่ด้วยพระปรีชาสามารถอันชาญฉลาดของพระมหากษัตริย์ทุกพระองค์ ไทยจึงรอดพ้นเงื้อมมือของต่างชาติและดำรงเอกราชอยู่ได้

สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ซึ่งส่วนหนึ่ง คือ การเปิดเสรีการค้ากับต่างประเทศมากขึ้นส่งผลให้ข้าวกลายเป็นสินค้าออกที่สำคัญของไทย รัฐบาลต้องขยายพื้นที่เพาะปลูก เพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวในเขตพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีความอุดมสมบูรณ์มากที่สุด ปัจจุบันการปลูกข้าวในประเทศไทยคงมีเพียงข้าวเมล็ดป้อมที่พบมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่ข้าวเมล็ดยาวพบมากในภาคกลางและภาคใต้ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากที่สุด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าว คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ ส่วนใหญ่ปลูกข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวคุณภาพดีที่สุดของโลก ข้าวที่ปลูกในพื้นที่แถบนี้จึงมักปลูกไว้เพื่อขาย รองลงมาคือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ที่พื้นที่เพาะปลูกเท่ากันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ทุกวันนี้ไทยเป็นแหล่งที่ผลิตข้าวออกสู่ตลาดโลกมากที่สุด และเป็นศูนย์กลางของการศึกษาวิจัยพันธุ์ข้าว

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (hull) และเนื้อผล (caryopsis) ในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดหรือแกลบ คือ ส่วนของใบประดับที่เปลี่ยนรูปมาเป็นแกลบ มี 2 แผ่นประกบกัน คือ เปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea) โดยแกลบจะถูกกำจัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ มงคล, 2536) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วย ขั้วเมล็ด (rachilla) กลีบเลี้ยง (sterile lemma) และหางเมล็ด (awn) ส่วนเนื้อผลหรือข้าวกล้อง (ภาพที่ 2.4) มีส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นใน คือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เป็นเยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) คัพภะ (embryo) และเอนโดสเปิร์ม (endosperm) หรือส่วนของข้าวสาร ในส่วนนี้ประกอบด้วย เยื่อชั้นในสุด (subaleurone) และส่วนของเนื้อสตาร์ช (starchy endosperm) ซึ่งมีเม็ดสตาร์ช (starch granule) ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ อัดตัวกันแน่น โดยมีโปรตีน 6-10 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 0.5-1.2 เปอร์เซ็นต์ แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช



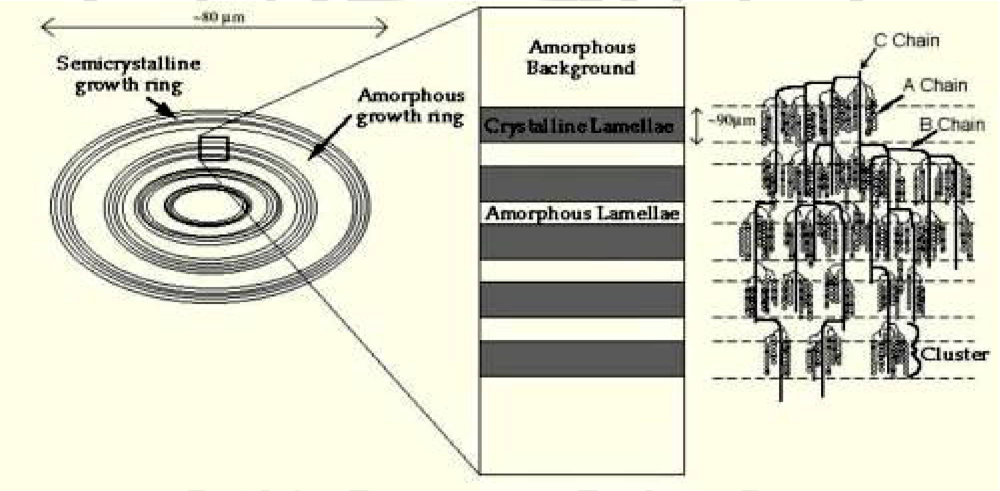
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Juliano, 1983

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

2.1.2.1 สตาร์ช

เม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมครอน รูปร่างลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม ภายในประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดคือ อะมิโลสและอะไมโลเพคติน โดยอะมิโลส (amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสหลาย ๆ โมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก มีทั้งที่เป็นส่วนประกอบของ อะมิโลเพคติน และเป็นสายเดี่ยว ๆ แทรกอยู่ในเม็ดสตาร์ช ส่วนอะมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วย พันธะแอลฟา-1,6 กลูโคซิดิก การจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะมิโลเพคตินนั้น กระจายออกไปในแนวรัศมีเป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (clusters) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างเม็ดสตาร์ช
ที่มา: Jacobs and Delcour, 1998

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ในแต่ละคลัสเตอร์ ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า amorphous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่กิ่งของอะมิโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกบริเวณส่วนนี้ว่า crystalline lamellar (Tester et al, 2004) ในแต่ละคลัสเตอร์ประกอบ ด้วยสาย (chain) ภายในโมเลกุล 3 สาย คือ C, B และ A โดยสาย C (C-chain) ซึ่งเป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ 1 หมู่ ในอะมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสาย C เพียง 1 สายเท่านั้น ส่วนสาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมตอกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า และสาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นเพียงตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมออกจากสายชนิดนี้อีก (unbranched structure)

2.1.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีมากรองจากสตาร์ช ส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มและคัพภะ จึงทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ถึง15-20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ข้าวสารมีโปรตีนเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) โปรตีนในข้าวจำแนกเป็น 4 ชนิดตามสมบัติทางการละลาย คือ อัลบูมิน (albumin) มีปริมาณ 3.8-8.8 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำ หรือน้ำที่มีกรดเล็กน้อย โกลบูลิน (globulin) มีปริมาณ 9.6-10.8 เปอร์เซ็นต์ ละลายในน้ำเกลือ ส่วนโปรลามิน (prolamin) มีปริมาณ 2.6-3.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นโปรตีนที่ละลายในเอทานอลเข้มข้น และกลูเตลิน (glutelin) มีปริมาณ 66-78 เปอร์เซ็นต์ ละลายในน้ำ ซึ่งมีกรดหรือด่างเล็กน้อย (Cagampang, et al, 1966) โปรตีนในข้าวมีกลูเตลินเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โอรีซินิน (Oryzenin) โปรตีนเกาะอยู่ที่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ช เมื่อเกิดเจลาติไนเซชัน โปรตีนจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับแป้ง ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำอัตราการพองตัวและความเหนียวของข้าวสุกต่ำกว่าข้าวที่ไม่มีโปรตีน (Hamaker and Griffin, 1993) ทั้งยังทำให้เกิดเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Mailard’ reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ข้าวมีสีเหลืองคล้ำ (Hamaker, 1993)

2.1.2.3 ไขมัน

ไขมัน พบมากในส่วนของชั้นเยื่อหุ้มและคัพภะ ทำให้ในข้าวกล้องมีไขมันอยู่ถึง 1.5-2.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในข้าวสารมีเพียง 0.5-1.2 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) ไขมันในข้าวประกอบไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ไกลโคลิพิด (glycolipids) และฟอสฟอลิพิด (phospholipids) ตำแหน่งของไขมันในข้าวแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ไขมันที่แทรกอยู่รวมกับโปรตีนในชั้นแอลิวโรน และบริเวณผิวเม็ดสตาร์ช เรียกไขมันพวกนี้ว่า (non-starch lipids) (Morrison, 1981) หรือ free lipid (Kitahara, Suganuma and Nagahama, 1994) กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่ที่ผิวของสตาร์ชทำเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) และอีกกลุ่มหนึ่งคือไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชเรียกไขมันกลุ่มนี้ว่า สตาร์ชลิพิด (starch lipids) (Morrison, 1981) หรือบอนด์ ลิพิด (bound-lipid) อาจแทรกอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช หรือสร้างพันธะอยู่ในเกลียว ของโมเลกุลอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับกันกับน้ำของสตาร์ช (Juliano, 1983)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปัจจุบันข้าวไทยที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำ สาเหตุมาจากพันธุ์ที่ปลูกไม่เหมาะกับสภาพพื้นที่ ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงและมีการปนกันระหว่างข้าวพันธุ์ต่างกัน เนื่องจากมีพันธุ์หลากหลายในแหล่งเพาะปลูกเดียวกัน ส่วนปัญหาด้านการตลาด เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดจากที่ผลผลิตข้าวมีการเก็บเกี่ยวพร้อมกันในระยะเวลาสั้นๆ ทำให้เกิดปัญหาราคาข้าวเปลือกตกต่ำและข้าวไทยขาดการวางระบบการตลาดที่เหมาะสม ทำให้ราคาข้าวในประเทศถูกกำหนดโดยราคาในตลาดโลก ทั้งที่

ไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก และปริมาณการส่งออกมีปริมาณน้อยกว่าการบริโภคในประเทศ ซึ่งขีดความสามารถในการแข่งขันส่งออกข้าวไทยมีแนวโน้มลดลง การดำเนินการด้านการตลาดในการรักษาตลาดเก่าและหาตลาดใหม่ ขาดประสิทธิภาพ ไม่สามารถแข่งกับประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหม่ได้ ประเทศไทยเริ่มประสบปัญหาสูญเสียความสามารถในการแข่งขันในตลาดข้าวคุณภาพดีให้กับประเทศผู้ส่งข้าวออกต่างประเทศรายใหม่ทั้งในตลาดฮ่องกง ตลาดสิงคโปร์ ตลาดสหรัฐอเมริกา ฯลฯ ที่สำคัญก็คือ เราขาดการวิจัยและพัฒนาในการสร้างมูลค่าเพิ่มในเรื่องข้าวโดยเฉพาะการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ ทำให้การส่งออกข้าวไทยมีมูลค่าต่ำ (นิติ นวรัตน์, 2556)

ปัจจุบันประชาชนมีความสนใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น และทางเลือกหนึ่งในการรักษาสุขภาพคือ อาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่ช่วยลดสารอนุมูล-อิสระ ที่เกิดจากปัจจัยภายในร่างกาย หรือปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม เช่น ควันรถ บุหรี่ การรับประทานอาหาร ที่มีสารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการตายอันดับต้นๆ ของประชากรโลก ดังนั้นจึงมีการสรรหาอาหารที่มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ข้าวสีดำ และรำของข้าวสีดำมีประสิทธิภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ดี ข้าวที่มีสีดำมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีเนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระ ทั้งควิโนโลน แอลคาลอยด์ (quinolone alkaloid) วิตามิน อี (vitamin E) ไฟเตท (phytate) จี-ออริโซนอล (g-oryzonol) โพลีฟีนอล (polyphenol) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) อยู่สูง ในข้าวสีดำพันธุ์ไรซ์เบอรี่ พบว่า ข้าวดำพันธุ์พันธุ์ไรเบอรี่ 100 กรัม มีปริมาณโพลีฟีนอลิก (polyphenolic) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และเบต้าคาโรทีน (betacarotene) เท่ากับ 752.1, 250.36 และ 63.3 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบมากในส่วนเพอริคาร์พ (pericarp) สารทั้งสามชนิดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะโพลีฟีนอลิก (polyphenolic) ดังนั้นข้าวสีดำจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ จากงานวิจัยพบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอรี่และพันธุ์สินเหล็กเมื่อหุงสุกแล้ว มีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่ ไม่ได้ถูกความร้อนทำลายหมด จึงเป็นแหล่งอาหารที่มีของสารต้านอนุมูลอิสระ การที่ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระพอเพียงต่อความต้องการในแต่ละวัน จะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน โรคหัวใจ หลอดเลือด และมะเร็งได้ (สถาบันวิจัยแห่งชาติ, 2551)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.2 ข้าวดำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย มีคุณค่าทางอาหาร มีหลายพันธุ์ และหลายชนิด มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป ส่วนใหญ่ข้าวจะมีสีขาว ข้าวสีเหลือง เรียกว่า “ข้าวซ้อมมือ” ข้าวสีม่วงอ่อน เรียกว่าข้าวกล้อง ข้าวสีม่วงเข้มเกือบดำ เรียกว่า “ข้าวดำ” ข้าวแต่ละชนิดมีกรรมวิธีการผลิตที่หลากหลาย ทั้งนี้เป็นไปตามยุคสมัย ความนิยม และความต้องการของผู้บริโภค ข้าวดำมีคุณค่าทางอาหารอยู่ที่เยื่อหุ้มเมล็ดและสีของข้าว จึงมีการนำข้าวดำหรือข้าวสีนิลมาใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร จากการศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของ

บัตเตอร์เค้ก ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลจะทำให้ส่วนผสมเค้กมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความคงตัวของอิมัลชันลดลง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาตร และความชื้นลดลง แต่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัส (Texture Profile Analysis) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (Texture analyzer) พบว่า บัตเตอร์เค้กที่ระดับการทดแทน 50-80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแน่นเนื้อ ความเหนียวคล้ายยาง และความยากในการเคี้ยวต่ำกว่าสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีล้วน จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 100 คน พบว่า บัตเตอร์เค้กแป้งข้าวสีนิลที่ทุกระดับการทดแทนมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมน้อยกว่าสูตรควบคุม (สุนทรี สุวรรณสิชณน์ และอุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์, 2553)

การผลิตพืชพาณิชย์ในปัจจุบันส่งผลกระทบ จนเกิดความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศอย่างรุนแรง ส่งผลให้ระบบการจัดการทรัพยากรที่เคยวางอยู่บนสำนึกของความเป็นกลุ่มและพวกพ้องเริ่มเสื่อมประสิทธิภาพ การเกษตรแผนใหม่จึงมองข้ามควาสำคัญของความหลากหลายทางชีวภาพ คุณค่าตลอดจนเหตุผลและความจำเป็นในการปกป้องทรัพยากรพันธุกรรมพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุกรรมพืชพื้นบ้านในโลกที่สาม การปลูกข้าวเชิงเดี่ยวจึงทำลายความหลากหลายของสายพันธุกรรมข้าวพื้นบ้านในวัฒนธรรมข้าวไทย พันธุกรรมข้าวก่ำ ก็กำลังจะหายไปจากผืนนา และหากไม่กระตุ้นให้ตระหนักถึงคุณค่าในนวัตกรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับข้าวก่ำก็คงสูญหายไปในที่สุด กลายเป็นเพียงตำนานพื้นบ้านล้านนาอีกบทหนึ่งที่ไม่สามารถนำมาพิสูจน์ในกระบวนการวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ได้อีกเลย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้เริ่มรวบรวมและอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวก่ำพื้นเมืองของไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 ได้ทำงานวิจัยในเชิงวิทยาศาสตร์เกษตรตลอดมา และประสบผลสำเร็จ มีผลงานวิจัยเผยแพร่เป็นองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์เกษตรเป็นที่น่าสนใจ จนกระทั่งได้รับอนุมัติจาก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ให้จัดตั้งเป็น "หน่วยวิจัยข้าวก่ำ" หรือชื่อภาษาอังกฤษ "Purple Rice Research Unit" ชื่อย่อ "PRRU" อยู่ภายใต้การดูแลของสถาบันวิจัยวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีนักวิจัยประจำหน่วย ปัจจุบันสามารถรวบรวมพันธุกรรมข้าวก่ำพื้นเมืองได้ 42 พันธุกรรม จากแหล่งปลูกข้าวทั่วไทย ทั้งในสภาพของข้าวนาดำและข้าวไร่ มีพันธุ์ปรับปรุงที่ได้รับการรับรองพันธุ์ตาม พระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518 โดยกองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2548 จำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด (Kum Doisaket) และก่ำอมก๋อย (Kum Omkoi) สำหรับผลงานวิจัยซึ่งมีทั้งด้านพันธุศาสตร์ ด้านพืชไร่ และด้านโภชนาการเกษตร ได้นำเสนอเป็นผลงานวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผลงานที่น่าสนใจและเกี่ยวข้องกับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ คือ เรื่องของสารอาหารในเมล็ด ซึ่งเป็นสารสีม่วงของเปลือกหุ้มเมล็ด แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) และแกมมาโอไรซานอล (Gamma Oryzanol) ซึ่งแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยการหมุนเวียนของกระแส

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

โลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย โดยเฉพาะแอนโทไซยานินชนิดที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิก้า คือ ไซยานินดิน 3 กลูโคไซด์ พิสูจน์แล้วว่ามีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด ส่วนสารแกมมาโอไรซานอล นอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว "ข้าวก่ำ" มีสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการอาหารสูง มีข้อได้เปรียบกว่าข้าวขาวที่มีแกมมาโอไรซานอลสูงกว่า และยังสามารถสังเคราะห์แอนโทไซยานินชนิดคุณภาพได้ด้วย ข้อได้เปรียบนี้เป็นปัจจัยที่ทำให้ข้าวก่ำ มีคุณสมบัติสมบูรณ์สำหรับการใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านการผลิตสัตว์ และทางการแพทย์ รวมทั้งเป็นแหล่งพันธุกรรมพืชสำคัญอีกแหล่งหนึ่งเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทย โดยเฉพาะการสร้างพันธุ์เพื่อเพิ่มระดับของแกมมาโอไรซานอลให้สูงกว่าพันธุ์ทั่วไป (ทีมข่าวเฉพาะกิจ, 2552)

การบริโภคข้าวดำเป็นวิถีทางหนึ่งของการบริโภคเพื่อสุขภาพ เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่และกระเพาะอาหาร ช่วยป้องกันการดูดซึมไขมันชนิดอิ่มตัวเข้าสู่กระเพาะอาหารได้เป็นอย่างดี สารแอนไทไซยานินช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด บรรเทาโรคเบาหวาน บำรุงสายตา ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านม ปอด กระเพาะอาหาร และเม็ดเลือดขาว มีการวิเคราะห์สีม่วงดำของข้าวสีนิล พบว่า เป็นสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่เรียกว่า สารแอนไทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูงกว่าที่พบในองุ่นแดง ลูกพรุน (ปาลิตา โตศรีสวัสดิ์เกษม, 2554) ในจังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ปลูกข้าวมากถึง 24,481 ไร่ (สถิติการเพาะปลูกข้าวนาปี, 2557) และปลูกข้าวหลายสายพันธุ์ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงข้าวดำ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ แม่พญาทองดำ ไรซ์เบอรี่ และหอมนิล

2.2.1 ข้าวดำพันธุ์แม่พญาทองดำ

ข้าวหอมแม่พญาทองดำ (ภาพที่ 2.6) เป็นข้าวเจ้าหอมดำโบราณพันธุ์พื้นเมืองของชาวชองชนพื้นเมืองจันทบูร (จังหวัดจันทบุรีในปัจจุบัน) มีการปลูกข้าวสายพันธุ์นี้มาเป็นวลานาน ส่วนใหญ่ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือนและรับประทานเป็นสมุนไพรในแถบตำบลวังแซ้ม อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี และอำเภอใกล้เคียง เช่น อำเภอเขาคิชฌกูฏและอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
โดยปลูกเป็นข้าวไร่และปลูกแบบนาปักดำ ช่วงฤดูปลูกหรือฤดูปักดำ จะปลูกช่วงเดือนมิถุนายน-เดือนสิงหาคม และเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 25 พฤศจิกายน-ธันวาคมของทุกปี ข้าวหอมแม่พญาทองดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* L. ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวแม่พญาทองดำ เป็นข้าวเจ้าประเภทไวแสง ลำต้นสูงประมาณ 130-150 เซนติเมตร ทรงกอตั้งตรง ลำต้นแข็งแรง สีลำต้นม่วงอมดำ ข้อสีเขียว ปล้องสีม่วง ใบสีเขียวเข้มขอบม่วง ใบธง 45 องศา ลิ้นสีม่วงดำ ข้อต่อใบสีม่วงดำ สีของกาบใบสีเขียวขอบม่วง ปลายใบห้อยลง ลิ้นใบสีม่วงดำ 2 แฉก สีหูใบสีม่วงดำ สีข้อปล้องเขียวขอบม่วง สีปล้อง

เขียวเส้นม่วง ดอกและรวงจะมีสียอดเกสรเพศเมีย (stigma) สีขาว ปลายยอดดอกสีม่วง สีกลีบรองดอกสีเขียวขอบม่วง ปลายดอกสีม่วงเข้ม เมล็ดข้าวเปลือกสีฟางปลายเมล็ดข้าวเปลือกมีจุดสีดำ เยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงอมดำ เนื้อเมล็ดข้าวสารด้านในสีขาว ระยะฟักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ให้ผลผลิตประมาณ 375-450 กิโลกรัมต่อไร่ ในด้านการตลาด ได้มีการแปรรูปข้าวหอมแม่พญาทองดำเป็นข้าวสารบรรจุถุงจำหน่ายในรูปข้าวสารพร้อมหุง ขนาดถุง 1 กิโลกรัมและขนาดครึ่งกิโลกรัม ซึ่งได้จดทะเบียนเครื่องหมายการค้าภายใต้ชื่อ “ข้าวหอมแม่พญาทองดำ จันทบุรี” ในปี พ.ศ. 2555 มีการจัดกลุ่ม และขอจดทะเบียนเป็น “วิสาหกิจชุมชนแม่พญาทองดำ” กับทางสำนักงานเกษตรอำเภอมะขาม เมื่อ พ.ศ. 2556 นอกจากจำหน่ายเป็นข้าวสารแล้ว ทางวิสาหกิจชุมชนแม่พญาทองดำ ยังผลิตเมล็ดพันธุ์จำหน่ายให้ผู้ที่สนใจ (เฉลิมชล ช่างถม, 2557)

ภาพที่ 2.6 ข้าวดำพันธุ์แม่พญาทองดำ

ที่มา: นภาพร วันทมาศ, 2555

คุณประโยชน์

ข้าวหอมแม่พญาทองดำมีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่สามารถช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดหัวใจและสมอง สามารถป้องกันโรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง โรคเกาต์ โรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตา มีฤทธิ์ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิแดนซ์ หรืออนุมูลอิสระ และยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ epidermal growth factor receptor (EGFR) ที่ก่อให้เกิดอาการอักเสบในเซลล์มะเร็ง ซึ่งข้าวหอมแม่พญาทองดำได้รับการรับรองผลการวิเคราะห์คุณค่าสารอาหารจากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2555 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว (นภาพร วันทมาศ, 2555)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.2.2 ข้าวดำพันธุ์หอมนิล

ข้าวสีนิล หรือ ข้าวหอมนิล หรือ ข้าวก่ำ (ภาพที่ 2.7) คือ ข้าวที่มีสีดำโดยกำเนิด ไม่ได้มีการย้อมสีใดๆ ทั้งสิ้น มีรสชาติอร่อย มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง โดดเด่น แตกต่างจากข้าวสีอื่น มีคุณประโยชน์บางอย่างมากกว่าข้าวสีอื่น ในตลาดจะมีข้าวสีนิลทั้งแบบที่สีหลายขั้นตอนซึ่งเป็นขั้นตอนเหมือนกับการสีข้าวสารจนเป็นสีขาว แต่ข้าวสีนิลนี้สีอย่างไรก็ไม่ขาว และแบบที่กำลังเป็นที่นิยมบริโภคกันคือ การสีแบบข้าวกล้อง คือการสีเอาเปลือกออกเท่านั้น ซึ่งจะคงคุณค่าทางโภชนาการ คุณค่าทางยา วิตามิน เกลือแร่ต่างๆ ไว้ได้ครบถ้วน และกำลังมาแรงคือข้าวกล้องงอกสีนิล ข้าวกล้องงอกแบบนี้มีสารกาบา (GABA) ปริมาณมากกว่าข้าวกล้องงอกแบบอื่นหลายเท่า แต่เกษตรกรปลูกกันน้อย เนื่องจากไม่ได้เป็นข้าวเศรษฐกิจ ดูแลยาก ทำให้มีราคาแพงกว่าข้าวประเภทอื่นเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นข้าวกล้องงอกสีนิลจะมีราคาสูงขึ้นประมาณ 2-3 เท่าตัว ถ้าเลือกซื้อข้าวที่เพิ่งเกี่ยวในฤดูเกี่ยวล่าสุด และเพิ่งสีมาไม่นานจะได้รับประทานข้าวที่นุ่มอร่อยกว่าข้าวค้างปี และสีทิ้งไว้ (Owltae (นามแฝง), 2555)

ภาพที่ 2.7 ข้าวดำพันธุ์หอมนิล
ที่มา: Owltae (นามแฝง), 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้าวหอมนิลเป็นพันธุ์ข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารครบถ้วนมากกว่าข้าวสีอื่น ๆ โดยเมื่อเทียบกับข้าวทั่วไปแล้วข้าวหอมนิลมีคุณค่าทางอาหารสูงมากกว่าถึง 7 เท่าเลยทีเดียว โดยประโยชน์ที่เด่นชัดคือ มีสารโปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินซีและอี อีกทั้งยังช่วยควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากสามารถให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลถึง 35 เท่า ข้าวหอมนิลอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมากมายได้แก่

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินอี วิตามินบี แคลเซียม ธาตุเหล็ก สังกะสี น้ำมันรำข้าว สารต้านอนุมูลอิสระ ใยอาหาร แอนโทไซยานิน กรดไขมันไม่อิ่มตัว โอเมก้า 3 และฟอสฟอรัส ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการบำรุงสมอง บำรุงสายตา บำรุงเส้นผม และป้องกันโรคต่าง ๆ ได้มากมาย ได้แก่ โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคมะเร็งกระเพาะอาหาร โรคเหน็บชา โรคโลหิตจาง โรคหัวใจและอัมพาต เป็นต้น รวมทั้งช่วยการไหลเวียนของเส้นเลือดฝอย การทำงานของระบบสมองและระบบกล้ามเนื้อ รวมถึงลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดอีกด้วย ข้าวหอมนิล จึงเป็นข้าวที่เหมาะสำหรับคนรักสุขภาพ และคนที่ต้องการลดน้ำหนักเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ข้าวหอมนิลยังเป็นข้าวที่เหมาะสำหรับสุขภาพของคนในเมืองที่ต้องใช้ชีวิตอยู่ท่ามกลางมลภาวะที่เป็นพิษอีกด้วย โดยในปัจจุบันนิยมนำข้าวหอมนิลไปแปรรูปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นขนมขบเคี้ยวต่างๆ แคร็กเกอร์ คุกกี้ เครื่องดื่ม และกาแฟ รวมถึงมีการนำไปแปรรูปเป็นครีมบำรุง ครีมแต้มสิว สบู่ข้าว แชมพู และครีมนวดผม (ภาพที่ 2.8) (ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรกำแพงเพชร, 2557)

ภาพที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์จากข้าวดำพันธุ์หอมนิล
ที่มา: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรกำแพงเพชร, 2557

อรอุมา จิตรวโรภาส และอริสรา รอดมุ้ย (2550) ศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน โดยผลิตแป้งข้าวหอมนิลที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแป้งพบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต 8.18, 3.76, 10.27, 7.25, 1.18 และ 69.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำแป้งข้าวเจ้าหอมนิลมาใช้ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการผลิตคุกกี้พบว่า แป้งข้าวหอมนิลสามารถทดแทนแป้งสาลีได้สูงสุดถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มมากขึ้นจะสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนและไขมันคิดเป็น 2.03 และ 1.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล 3.50, 5.50 และ7.50 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เติมหัวเชื้อ และนำมาบ่ม

ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นสังเกตการเกิดเคิร์ด วัดปริมาณกรดทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ทุกๆ ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า โยเกิร์ตที่มีปริมาณแป้งข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล 5.50 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เหมาะสมในการผลิตมากที่สุด แต่โยเกิร์ตที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพไม่ดีพอ จึงได้ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมนิลผสมนมโค โดยใช้นมโคปริมาตร 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) เติมหัวเชื้อ และนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง สังเกตการเกิดเคิร์ด วัดปริมาณกรดทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ทุกๆ ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมนิลทุกสูตร มีคะแนนยอมรับในด้านสี รสชาติ ความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน สูตรที่เหมาะสมมากสุดในการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล คือ มีการผสมนมโค 20 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) เนื่องจากมีคะแนนด้านกลิ่น และเนื้อสัมผัส สูงกว่าสูตรอื่นๆ และใช้นมโคน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ

2.3 คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผล และรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสงและนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (สัตถาภูมิ ไทยพานิชย์, 2553)

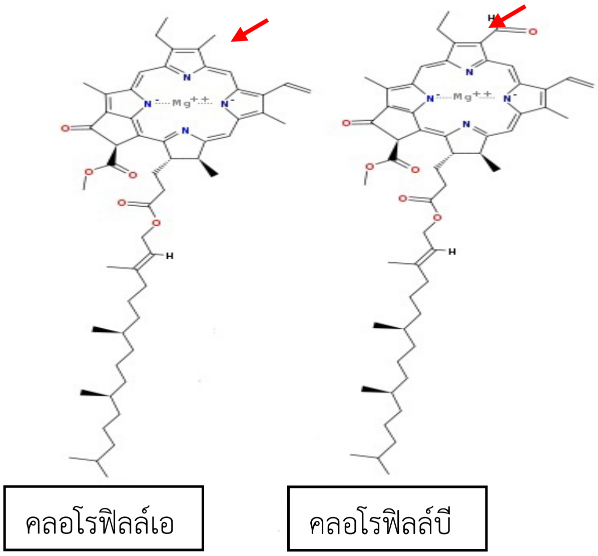
คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี ดี และอี คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้น สามารถดูดกลืนแสงด้วยตัวเอง ส่วนคลอโรฟิลล์ชนิดอื่น ๆ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นสอง (รงควัตถุประกอบ) ทำหน้าที่ดูดพลังงานรังสีจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์เอ (ขนิจศากรณ์ เสรีสงแสง, 2553) โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์มีโครงสร้างของโมเลกุลหลักเหมือนกัน คือ มีวงแหวนไพรอล 4 วง แต่คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะโมเลกุลของโซ่ข้าง (Side Chain) ที่แตกต่างกันไป เช่น ความแตกต่างระหว่างคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี คือ ที่วงแหวนไพรอลวงที่สองของคลอโรฟิลล์เอมีโซ่ข้างเป็นหมู่เมทิล (-CH_3) ส่วนของคลอโรฟิลล์บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) แสดงดังภาพที่ 2-9 (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2557) การที่โครงสร้างโมเลกุลคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีแตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านการละลาย คลอโรฟิลล์ที่มีหมู่เมทิลจะทำให้โมเลกุลมีขั้ว จึงสามารถละลายได้ดีในสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทิลแอลกอฮอล์และน้ำ ส่วนคลอโรฟิลล์ที่มีหมู่อัลดีไฮด์ซึ่งไม่มีขั้ว จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์และคีโตน รวมทั้งคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย เนื่องจากโครงสร้างที่ต่างกันทำให้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์เอ จะมีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์บี จะมีสีเขียวอ่อน (สัตถาภูมิ ไทยพานิชย์, 2553)

2.3.1 แหล่งของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์จะอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างที่ชื่อว่าเยื่อหุ้มไทลาคอยล์ (thylakoid membrane) คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 400 – 450 นาโนเมตร และแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นประมาณ 660 นาโนเมตร(มหาวิทยาลัยมหิดล, สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, 2555) และดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีเหลืองและแสงสีเขียวได้น้อย ดังนั้น เมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดงเอาไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ถูกดูดกลืนจึงสะท้อนออกมาเป็นแสงสีเขียว ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว (ไทยไบโอเทค, 2559) คลอโรฟิลล์เอ พบได้ในพืชสีเขียว หรือ พืชทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ เช่น ผักขม ใบเตย คะน้า อัลฟาฟ่า และต้นกล้า ข้าวสาลี เป็นต้น โดยเฉพาะอัลฟาฟ่าและต้นกล้าข้าวสาลีมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ คลอโรฟิลล์บี จะมีสีเขียวแกมเหลือง พบในพืชที่มีสีเขียวและสาหร่ายสีเขียว คลอโรฟิลล์ซี เป็นคลอโรฟิลล์ที่พบในสาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีทอง และคลอโรฟิลล์ดี พบในสาหร่ายสีแดง สำหรับแบคทีเรีย สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงและมีรงควัตถุสีเขียวเช่นเดียวกับพืช แต่มีโครงสร้างหลักที่แตกต่างกันมาก จึงเรียกเป็นชื่อเฉพาะว่า แบคทีริโอคลอโรฟิลล์ (bacteriochlorophyll) ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ แบคทีริโอคลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี พบในยูนิเซลลูล่า ไซยาโนแบคทีเรีย (Unicellular cyanobacteria) เช่น *Synechococcus sp.* (ขนิจศากรณ์ เสรีสงแสง, 2553)



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี

ที่มา : สัตถาภูมิ ไทยพานิชย์, (2553)

2.3.2 ประโยชน์ของคลอโรฟิลล์ (วรารัตน์ ภู่พันธ์ตระกูล, 2547)

2.3.2.1 ต้านการก่อกลายพันธุ์ (Antimutagenic) และต้านมะเร็ง(Anticarcinogenic) คลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลิน ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ จากการทดลองในหลอดทดลองต่อสารก่อกลายพันธุ์หลายชนิด รวมทั้งอะฟลาท็อกซินชนิด บี1 (aflatoxin B1) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงที่สุด นอกจากนี้คลอโรฟิลล์และคลอโรฟิลลินยังมีฤทธิ์ต้านมะเร็งจากตัวอย่างของสัตว์ทดลองด้วย เนื่องจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์สามารถจับกับสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งต่าง ๆ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนและจะลดการดูดซึมของสารก่อมะเร็งเหล่านั้น

2.3.2.2 ต้านการติดเชื้อ (Fighting infections) มีการศึกษาถึงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของคลอโรฟิลล์มาตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 40 ผลการทดลองในหลอดทดลองแสดงให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์มีสมบัติเป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (bacteriostatic) โดยเฉพาะการติดเชื้อกลุ่ม *Streptococci* และ *Staphylococci* ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการติดเชื้อในโรงพยาบาล นอกจากนี้คลอโรฟิลล์ยังสามารถกำจัดกลิ่นเหม็นจากบาดแผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพันด้วย

สำหรับการใช้คลอโรฟิลล์ในมนุษย์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมซึ่งทำให้คลอโรฟิลล์มีการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้

1. กำจัดกลิ่นที่เกิดจากอวัยวะภายในร่างกาย (Internal Deodorant) มีการใช้คลอโรฟิลลินชนิดทาบนแผล เพื่อกลบกลิ่นเหม็นจากบาดแผลมาตั้งแต่ช่วง ค.ศ.1940 - 1950 ต่อมามีการนำมารับประทานในผู้ป่วยที่ทำการผ่าตัดเอาลำไส้ใหญ่ออกมาเปิดทางหน้าท้องแบบชั่วคราว (colostomies) และผู้ป่วยที่ผ่าตัดเอาลำไส้เล็กส่วนปลายออกมาเปิดทางหน้าท้องแบบชั่วคราว (ileostomies) เพื่อกลบกลิ่นอุจจาระ โดยขนาดของคลอโรฟิลลินที่ใช้เพื่อกลบกลิ่นอุจจาระในผู้ป่วยคือ 100 - 200 มิลลิกรัมต่อวัน ยังมีอีกหลายรายงานที่กล่าวว่า การรับประทานคลอโรฟิลลิน 100 - 300 มิลลิกรัมต่อวัน สามารถลดกลิ่นปัสสาวะและกลิ่นอุจจาระในผู้ป่วยที่กลั้นอุจจาระหรือปัสสาวะไม่อยู่ได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้คลอโรฟิลลินในผู้ป่วยที่มีการขับสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็น (trimethylamine) ซึ่งมีกลิ่นคาวปลาออกจากร่างกาย (trimethylaminuria) จากการศึกษาผู้ป่วยชาวญี่ปุ่น 7 คน ที่มีภาวะดังกล่าว พบว่าการให้คลอโรฟิลลิน 60 มิลลิกรัม รับประทาน 3 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ สามารถลดระดับสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็นในปัสสาวะได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. ช่วยในการรักษาบาดแผล (Wound Healing) ในช่วงทศวรรษที่ 40 มีการวิจัยพบว่า สารละลายคลอโรฟิลลินสามารถชะลอการเจริญของแบคทีเรีย ที่เจริญได้ในภาวะที่ไม่มีอากาศในหลอดทดลองได้ และจะสามารถเร่งการหายของแผลในสัตว์ทดลองได้ จึงมีการนำคลอโรฟิลลินไปใช้เป็นยาภายนอกในรูปแบบสารละลายและบาล์มในผู้ป่วยที่มีแผลเปิดเป็นระยะเวลานาน มีการศึกษาในช่วงปลายทศวรรษที่ 40 - 50 แบบไม่มีการควบคุมขนาดใหญ่ในผู้ป่วยที่มีแผลหายช้า

พบว่า การทาคลอโรฟิลลินสามารถช่วยให้แผลหายได้ดีกว่าการรักษาปกติ ช่วงปลายทศวรรษที่ 50 ได้มีการเติมคลอโรฟิลลินลงไปในเอนไซม์ปาเปนและบาล์ม ที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบในการลดการอักเสบเฉพาะที่ ช่วยให้แผลหายเร็วและกลบกลิ่นที่ไม่ดี ซึ่งตำรับบาล์มของเอนไซม์ปาเปน หรือ ยูเรียที่มีการเติมคลอโรฟิลลิน (Chlorophyllin-containing papain/urea ointments) นี้ยังคงมีการสั่งจ่ายกันอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

3. รักษาอาการท้องผูก (Constipation) ในอดีตพบว่า มีการใช้คลอโรฟิลล์ในผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น อาการท้องผูก ทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น โดยการศึกษาในผู้ป่วยสูงอายุ 62 คน ที่อยู่ในสถานพักฟื้น พบว่า คลอโรฟิลลินมีประสิทธิภาพในการช่วยควบคุมกลิ่นอุจจาระและระบบขับถ่ายของร่างกายให้ดีขึ้นในภาวะท้องผูกเรื้อรัง และยังช่วยลดอาการแน่นท้องได้ด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ไม่พบความเป็นพิษหรือภาวะความเจ็บป่วยอื่นใด (Young and Beregi, 1980)

4. ช่วยลดพิษ หรือ อาการข้างเคียงจากยาบางชนิดได้ (Help protect against some toxins, ameliorate some drug side effects) ยาแบบเคมีบำบัดเป็นอีกแหล่งหนึ่งของอนุมูลอิสระซึ่งจะไปทำลายเนื้อเยื่อต่าง ๆ ก่อให้เกิดผลข้างเคียงจากฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ของคลอโรฟิลล์ จึงมีการใช้คลอโรฟิลลินเพื่อลดผลข้างเคียงของยาไซโคลฟอสฟาไมด์ (cyclophosphamide) โดยศึกษาในหนูถีบจักร ศึกษาว่าคลอโรฟิลลินจะไปรบกวนประสิทธิภาพในการต้านมะเร็งของยาไซโคลฟอสฟาไมด์หรือไม่ ด้วยการผสมคลอโรฟิลลินในน้ำดื่ม (ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 2 วัน หรือให้โดยการป้อน (ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนการรักษาด้วยยาไซโคลฟอสฟาไมด์ (ปริมาณ 220 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่า ผลข้างเคียงของยาไซโคลฟอสฟาไมด์ที่เกี่ยวกับระบบทางเดินปัสสาวะและการกดไขกระดูกลดลงในทั้ง 2 กลุ่ม ในขณะที่ประสิทธิภาพของฤทธิ์ต้านมะเร็งไม่ได้ลดลงเมื่อใช้คลอโรฟิลลิน ดังนั้น คลอโรฟิลลินจึงให้ผลดีเมื่อใช้ร่วมกับการรักษาด้วยยาไซโคลฟอสฟาไมด์ (Te et al., 1997)

5. รักษาภาวะนิ่วชนิด calcium oxalate stone ได้ (Treatment of calcium oxalate stone disease) จากการศึกษาในหลอดทดลองเกี่ยวกับคลอโรฟิลลินในรูปสารละลาย ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในปัสสาวะปกติจะยับยั้งการเกิดผลึกและยับยั้งการโตของผลึก calcium oxalate dehydrate ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลก่อนการทดลอง ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารและยาที่มีส่วนประกอบของคลอโรฟิลลินอาจช่วยในการรักษานิ่วชนิด calcium oxalate stone ได้ (Tawashi et al., 1982)

6. ลดอาการของโรคเยื่อในจมูกอักเสบ (Reduce symptoms of rhinitis) คลอโรฟิลล์สามารถยับยั้งเชื้อในระบบหู จมูก และคอได้ จากการศึกษาใช้คลอโรฟิลล์ในผู้ป่วยที่มีอาการหวัด หรือ เยื่อในจมูกอักเสบเฉียบพลัน และไซนัสอักเสบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7. รักษาการติดเชื้อและการอักเสบของหูชั้นนอกและหูชั้นใต้ (otitis external and otitis media) คลอโรฟิลล์มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จึงสามารถใช้คลอโรฟิลล์ในการรักษาบาดแผลที่ติดเชื้อได้

8. กระตุ้นการสร้างเลือดในผู้ป่วยโลหิตจางได้ (Stimulant blood cell formation in anemia) นักวิทยาศาสตร์พบข้อมูลจากการศึกษาในผู้ป่วยที่มีภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก (iron-deficiency anemia) ว่าถ้าผู้ป่วยได้รับเหล็กและคลอโรฟิลล์ในการรักษาร่วมกัน จะทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงและระดับฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง และจากการศึกษาในสัตว์ทดลองทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านตั้งสมมติฐานว่า คลอโรฟิลล์สามารถสร้างเลือดได้โดยเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นไขกระดูก

2.3.3 การสกัดคลอโรฟิลล์

การสกัดคลอโรฟิลล์มีหลายวิธีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้ โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัด เช่น อะซิโตน เอทานอล เป็นต้น ซึ่งมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการสกัดคลอโรฟิลล์ ดังต่อไปนี้

สัณห์ ละอองศรี (2551) สกัดคลอโรฟิลล์ในใบชาสด จากใบชา 4 ชนิด ได้แก่ ชาญี่ปุ่น ชาจีนเบอร์ 12 ชาน้ำมันดอกขาว และชาน้ำมันดอกแดง โดยตัดใบชาเป็นชิ้นเล็กปริมาณ 100 มิลลิกรัม ลอกก้านใบออก บดให้ละเอียด สกัดด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร กระทั่งเนื้อเยื่อเปลี่ยนเป็นสีขาวใส กรองกากออก แล้วปรับปริมาตรของสารละลายด้วยอะซิโตนให้เท่ากับ 30 มิลลิลิตร จากนั้นหุ้มภาชนะบรรจุสารละลายคลอโรฟิลล์ด้วยฟรอยด์ เพื่อป้องกันการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จากแสง นำสารละลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดด้วยอะซิโตนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในใบชาสดทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) โดยพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี ในใบชาญี่ปุ่นสูงที่สุด เท่ากับ 27.93 และ 24.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี ในใบชาน้ำมันพันธุ์ดอกแดงต่ำที่สุด เท่ากับ 22.32 และ 9.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ชาน้ำมันพันธุ์ดอกแดงอ่อนแอ ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ขนิจศากรณ์ เสรีสงแสง (2553) สกัดและวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์จากใบข้าวอ่อน เพื่อศึกษาการผลิตสีธรรมชาติจากใบข้าวอ่อนและการใช้ประโยชน์ โดยนำน้ำคลอโรฟิลล์ที่สกัดได้มา 50 มิลลิลิตร เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม สกัดด้วยอะซิโตน 85 เปอร์เซ็นต์ ครั้งละ 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันนาน 2 นาที ตั้งทิ้งให้เกิดการแยกส่วนที่ละลายได้และตกตะกอน นาน 20 นาที กรองเก็บส่วนที่ละลายได้ สกัดซ้ำจนส่วนที่ละลายที่ได้ใหม่ในแต่ละครั้งไม่มีสีเขียว รินส่วนที่ละลายได้รวมกัน ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน 85 เปอร์เซ็นต์ ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร รินส่วนที่

ละลายได้ 50 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยกชั้นสาร เติมไดเอทิลอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ล้างอีเทอร์ด้วยน้ำกลั่น 20 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรอีเทอร์ให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย ไดเอทิลอีเทอร์ในขวดปรับปริมาตร เติมแอนไฮดรัส 5 กรัม จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร และ 642.5 นาโนเมตร พบว่า ชนิดของพันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยชนิดข้าวที่เป็นข้าวไม่ไวต่อแสงจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง เพราะมีการเจริญเติบโตในอัตราที่เหมาะสมกับธาตุอาหารในวัสดุปลูก สำหรับวัสดุปลูกที่เป็นดินจะมีธาตุอาหารที่ต้นข้าวต้องการ และระยะเวลาการปลูกเป็นเวลา 2 และ 3 สัปดาห์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดและไม่ต่างกัน และถ้าระยะการปลูกเพิ่มขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง

วริพัสย์ อารีกุล และคณะ (2553) สกัดและหาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากต้นอ่อนข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวหอมนิล และข้าวก่ำสีนิล นำมาเพาะจนมีอายุ 2 สัปดาห์ โดยตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวอย่างสด และตัวอย่างแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งใช้ตัวทำละลายในการสกัด 2 ชนิด คือ เอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ สำหรับสารสกัดต้นอ่อนข้าวสด นำต้นอ่อนข้าวและตัวทำละลายในสัดส่วน 1 : 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ความเร็วสูงสุดนาน 1 นาทีเป็นเวลา 5 รอบ จากนั้นกรองและเก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ส่วนสารสกัดต้นอ่อนข้าวแห้ง เตรียมโดยนำตัวอย่างต้นอ่อนข้าวแห้งมาบด และร่อนด้วยตะแกรง จากนั้นชั่งผงต้นอ่อนข้าวใส่ฟลาสก์ที่บรรจุตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ในสัดส่วน 1 : 700 (น้ำหนักต่อปริมาตร) แช่ไว้นาน 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 574.4 g (g คือ แรงโน้มถ่วงปกติ) ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที เก็บส่วนใสใส่ขวดสีชา และวิเคราะห์ผลทันที โดยนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 663 และ 645 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่าสารสกัดต้นข้าวอ่อนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าตัวอย่างสด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเซลล์ของพืชเปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการทำแห้ง เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในต้นข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวหอมนิลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกชนิดสูงที่สุด แต่ยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์ใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การสกัดคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพดีกว่าการสกัดด้วยน้ำเนื่องจาก ความสามารถในการละลายของคลอโรฟิลล์ในตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

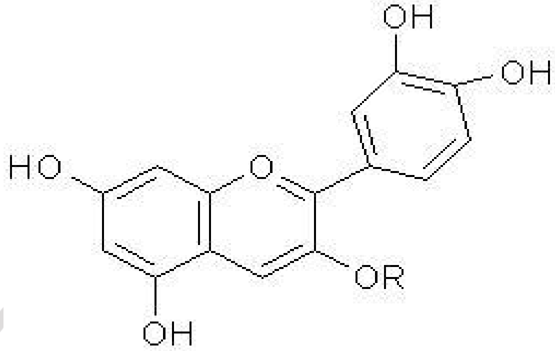
ฐิติพงศ์ ปัญญาคำ (2554) สกัดคลอโรฟิลล์จากผักกาดหวาน เพื่อตรวจสอบคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยชั่งตัวอย่างผักกาดหวานที่ปั่นละเอียด 1 กรัม เติมสารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตน ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663

นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) โดยใช้สารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ เป็น blank นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด พบว่า การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์

บัญชา ทองมี และนิวุฒิ หวังชัย (2556) วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ในแพลงก์ตอนพืชที่มีผลต่อการผลิตปลานิล จากการใช้กากเหลือจากการหมักมูลสุกร เพื่อเพิ่มอาหารธรรมชาติในบ่อซีเมนต์ ด้วยการกรองตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ผ่านแผ่นกรองที่มีขนาดรูประมาณ 0.5 เมตร ขณะกรองตัวอย่างน้ำ หยดสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต 2 - 3 หยด จากนั้นนำแผ่นกรองที่ได้ไปสกัดคลอโรฟิลล์ โดยบดแผ่นกรองด้วยเครื่องบดเนื้อเยื่อ (tissue grinder) ซึ่งก่อนบดให้เติมสารละลายอะซีโตน ความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ ลงไปพอประมาณ (เพื่อให้คลอโรฟิลล์ละลายออกมามากที่สุดควรทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที) แล้วบดจนแผ่นกรองละเอียด หลังจากนั้นเทสารละลายที่ได้ลงในหลอดฝาเกลียว ปรับปริมาตรให้ได้ 5 ถึง 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ เก็บในที่มืดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน (ใช้ผ้าดำคลุมหลอดตัวอย่าง เก็บไว้ในตู้เย็น) จากนั้นนำสารละลายที่อยู่ในหลอดเกลียวมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายส่วนใสออกมาหาปริมาตรที่แน่นอน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 750, 663, 645 และ 630 นาโนเมตร โดยใช้คิวเวตต์ขนาด 1 เซนติเมตร ใช้สารละลายอะซีโตน ความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ เป็น blank การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร เพื่อใช้ปรับค่า เนื่องจากการรบกวนของความขุ่น เพราะค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความขุ่นอันเกิดจากการนำอะซิโตนผสมกับน้ำในอัตราส่วน 9 : 1 เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้ว จึงเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 หยด ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 4 - 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร และ 750 นาโนเมตร อีกครั้ง พบว่า อุณหภูมิและปริมาณปุ๋ยกากเหลือจากมูลสุกรหมัก มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในแพลงก์ตอนพืช โดยที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส มีค่าอัตราการกรองน้ำเขียวสูงที่สุด และบ่อที่ใส่ปุ๋ยกากเหลือจากการหมักมูลสุกร ระดับ 210 กิโลกรัมต่อไร่ต่อสัปดาห์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชสูงที่สุด

2.4 สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) มีชื่อย่อมาจากรากศัพท์เดิมของกรีกคือ anthos แปลว่า ดอกไม้ และ kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานิน จึงหมายถึง ดอกไม้สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) โครงสร้างประกอบด้วยส่วนของอะไกลโคน (aglycone) น้ำตาล (sugar) และหมู่เอซิล (acyl Group) (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) โครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิน
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, (ม.ป.ป.)

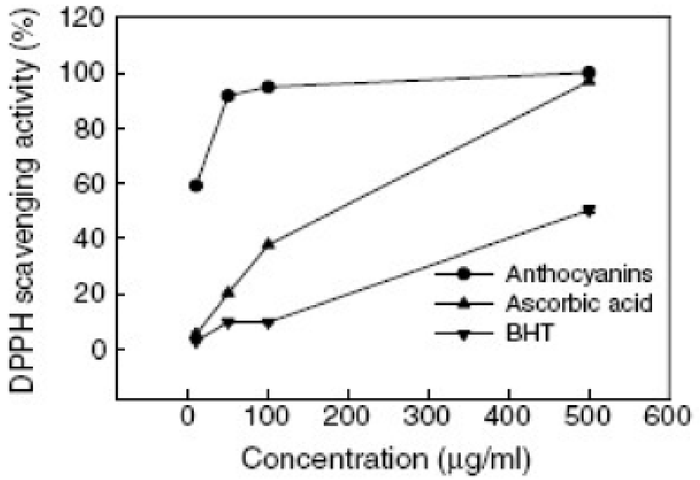
สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง โดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแวคิวโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และใบของพืชดอก (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโขม และพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ได้แก่ ราก หัวใต้ดิน (tuber) ลำต้น หน่อย่อย (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่าง ๆ เช่น เฟิร์นและไบโอไฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้ได้รับอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและความงาม โดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวีและมลภาวะต่าง ๆ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมไม่ให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็งแรง (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานิน คือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effectiveness) โดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า ในธรรมชาติพบในบลูเบอร์รี่ (blueberries) เชอร์รี่ (cherries) ราสเบอรี่ (raspberries) ลูกเกด (black currants) องุ่นม่วง (purple grape) และไวน์แดง (red wine)

Duan และคณะ (2007) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแอนโทไซยานิน กรดแอสคอร์บิกและ butylated hydroxytoulene (BHT) จากเปลือกหุ้มเมล็ดของผลลิ้นจี่ (litchi fruit pericarp) ที่ปริมาณเท่ากันคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แอนโท-

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ไซยานิน มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด รองลงมาคือ กรดแอสคอร์บิก และ BHT โดยประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 91.3, 20.1 และ 9.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแอนโทไซยานิน กรดแอสคอร์บิก และ butylated hydroxytoulene (BHT)

ที่มา: Duan และคณะ, 2007

2.4.1 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

2.4.1.1 ใช้เป็นสีผสมอาหาร (food dye) เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารแอนโทไซยานินสามารถอยู่ในรูปแบบผงและของเหลว จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของอาหารและผสมกับส่วนของไข่ขาวเพื่อใช้เป็นสารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) แทนการใช้แป้ง รวมทั้งเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ต่ำ แต่ทั้งนี้สีผสมอาหารแอนโทไซยานินไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำมะนาว และครีมเปรี้ยว

2.4.1.2 ใช้เป็นส่วนผสมในแชมพู ซึ่งสารแอนโทไซยานินจะช่วยกระตุ้นให้เซลล์รากผม (keratinocytes) สร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมนวดผม

2.4.1.3 ใช้เป็นส่วนผสมในสารกันแดด (sun screen) ช่วยให้ผิวหนังดูอ่อนกว่าวัย ชะลอความเสื่อมสภาพของผิวหนัง เนื่องจากสารแอนโทไซยานินช่วยยับยั้งความเสียหายของผิวหนังจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ที่เกิดจากแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.4.1.4 ช่วยในการผสมเกสร โดยแมลงจะชอบสีสันของดอกไม้ต่างกัน เช่น ผึ้งชอบดอกสีน้ำเงิน หรือเหลือง และมีลายเส้นของดอกไม้ที่โดดเด่น ผีเสื้อชอบดอกสีแดง ชมพู นกชอบดอกสีแดงส้ม ด้วงและค้างคาวชอบดอกสีไม่สดใสและไม่ฉูดฉาด

2.4.1.5 ช่วยดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นสั้นจึงมีพลังงานสูง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยไปขัดขวางการจำลองแบบของดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

2.4.1.6 ช่วยดูดซับอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชัน เช่น การสังเคราะห์แสงจะมีการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ขึ้น แอนโทไซยานินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนี้ ทำให้พิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดไป ในแง่ของโภชนาการแอนโทไซยานินช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยยับยั้งการรวมตัวระหว่างออกซิเจนกับคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL-cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะเดียวกันจะเพิ่มปริมาณของคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นสูง (HDL-cholesterol) ที่เป็นไขมันดี ดังนั้นการดื่มน้ำองุ่นแดง วันละ 2-3 แก้วจะช่วยลดอัตราเสี่ยงการแข็งตัวของเลือดได้

2.4.2 การสกัดแอนโทไซยานิน

การสกัดแอนโทไซยานินมีหลายวิธีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้ โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัดและทำการสกัดในสภาวะที่เป็นกรด ประสิทธิภาพในการสกัดแอนโทไซยานินจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด หรือค่าความเป็นกรดด่าง ซึ่งชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัดจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดได้ เนื่องจากกรดส่งผลต่อค่าพีเอชของตัวทำละลายในการสกัด โดยที่กรดแก่จะมีคุณสมบัติในการย่อยผนังเซลล์สูงและทำให้ค่าพีเอชของตัวทำละลายต่ำ จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง (ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2557) แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ดี ซึ่งการสกัดแยกแอนโทไซยานินนิยมใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล ที่มีความเป็นกรดเล็กน้อย โดยกรดจะช่วยป้องกันการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (นิตยา เขียวอ่อน, 2550) ซึ่งมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการสกัดแอนโทไซยานิน ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Fuleki และ Francis (1968) สกัดแอนโทไซยานินจากผลแครนเบอร์รี่ด้วยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1 : 5 โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่า สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์มอล ในเอทานอล (15 : 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) เป็นตัวทำละลาย

ที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง และการใช้กรดไฮโดรคลอริกจะช่วยให้แอนโทไซยานินที่สกัดได้มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากแอนโทไซยานินมีความคงตัวที่ดีในสารละลายที่เป็นกรด

Chiriboga และ Francis (1970) ทำการสกัดแอนโทไซยานินจากกากของผลแครนเบอร์รี่ด้วยตัวทำละลาย 8 ชนิด ได้แก่ น้ำ อะซิโตน เอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล ไอโซโพรพานอล เมทิลเอทิลคีโตน เมทานอล และเอทานอล พบว่า เมทานอลและเอทานอลมีสภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายอื่น ๆ และเมื่อใช้ร่วมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.03 เปอร์เซ็นต์ ในเมทานอลจะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงขึ้น แต่ถ้าต้องนำไปใช้ในอาหาร จะนิยมใช้เอทานอล เนื่องจากมีปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยกว่า อีกทั้งเมทานอลมีความเป็นพิษสูงกว่า แม้จะตกค้างอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

Metivier และคณะ (1980) ศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดแอนโทไซยานินจากกากองุ่นที่เหลือจากการผลิตไวน์แดง โดยตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และน้ำ พบว่าเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพการสกัดสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าการใช้เอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าการใช้น้ำ 73 เปอร์เซ็นต์

Bronnum-Hansen และคณะ (1985) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากผลอัลเดอร์เบอร์รี่ พบว่าตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์จะให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าการใช้สารละลายกรด (สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์) ซึ่งการสกัดด้วยแอลกอฮอล์จะเหลือกากตะกอน (filter cake) สูง ส่งผลดีในระหว่างการกรอง

สุภาพรรณ ดุลยพิรุฬหศิลป์ และอรทัย สุขเจริญ (2529) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกมังคุด โดยแปรผันชนิดของกรด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก และกรดฟอสฟอริกละลายในน้ำให้มีความเข้มข้น 1 นอร์มอล พบว่าตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และให้ค่าพีเอชต่ำที่สุด รองลงมาคือ กรดซัลฟิวริก และกรดฟอสฟอริก

ช่อแก้ว อนิลบล และคณะ (2554) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำ โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด นำมา 0.5 กรัม เติมสารละลาย เอทานอลความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ TFA (Trifluoroacetic acid) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วน นำไปวัดปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวิธี HPLC และวิธี สเปกโตรโฟโตเมทริก พบว่า จากการวัดปริมาณแอนโทไซยานินทั้ง 2 วิธี ข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอนโทไซยานินสูง คือ 133.24 และ 172.83 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ชื่นสุมณ ยิ้มถิน และรวมพร เชี่ยวบัญชี (2557) สกัดแอนโทไซยานิน จากดอกเฟื่องฟ้าชบาแดง และแคแดง ด้วยตัวทำละลายเอทานอลิก ไฮโดรคลอริก ปริมาตร 25 มิลลิลิตร (กรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ และเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 15: 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) พบว่า ดอกแคแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

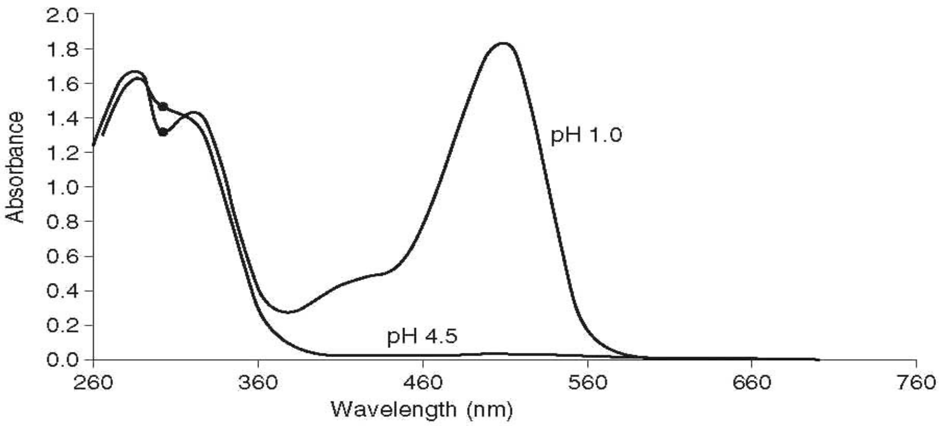
การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดทำได้หลายวิธี เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ และวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล

2.4.3.1 วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง เป็นการนำสารสกัดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นสูงสุด แอนโทไซยานินความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกดูดกลืนจะอยู่ในช่วง 490 – 550 นาโนเมตร ซึ่งห่างจากสารฟีนอลิกอื่น ๆ ที่สามารถดูดกลืนได้ในช่วง 260 - 320 นาโนเมตร ทำให้สามารถวัดแอนโทไซยานินแยกออกจากสารฟีนอลิกได้ วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ สารพวกเมลานอยดิน (Melanoidin) และสารอื่น ๆ ที่ได้จากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Anthocyanin degradation products) สามารถดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานิน ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง (อรุษา เชาวนลิขิต, 2554)

2.4.3.2 วิธีพีเอช–ดิฟเฟอเรนเชียล เป็นการวัดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของสารสกัดโดยการปรับค่าพีเอชของสารสกัดด้วยบัฟเฟอร์ pH 1.0 และบัฟเฟอร์ pH 4.5 (วรพร ศีลศร และคณะ, 2559) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากการที่โครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ทำให้การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป ซึ่งข้อควรระวังของวิธีนี้ คือ ควรมีการตรวจสอบพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ก่อนใช้ เพราะการที่พีเอชสูง หรือ ต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้การวัดปริมาณแอนโทไซยานินไม่ถูกต้อง ปัจจุบันเป็นวิธีการวัดปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้รับความนิยมมากที่สุด (อรุษา เชาวนลิขิต, 2554)

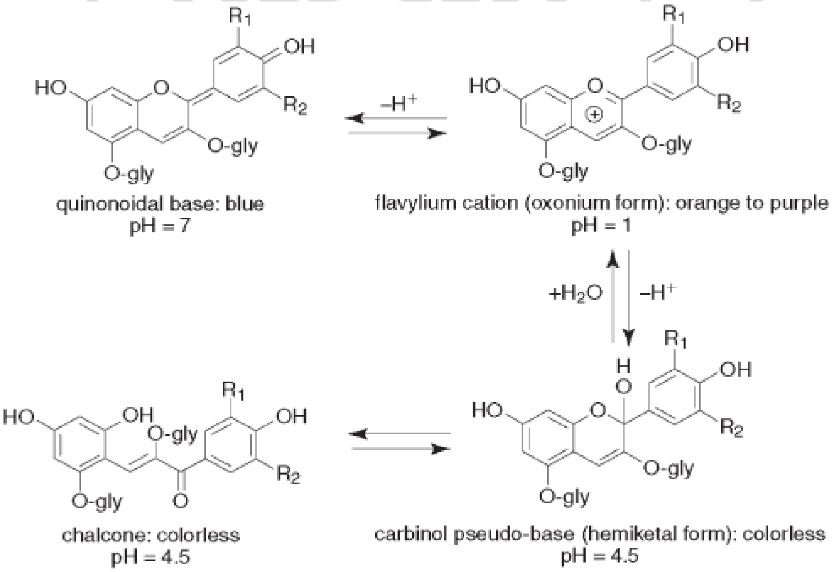
อรุษา เชาวนลิขิต (2554) ได้ศึกษาโดยนำสารสกัดแอนโทไซยานินจากหัวแรดิช (Radish) ปรับค่าพีเอชให้เป็น 1 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 260 - 700 นาโนเมตร พบว่า แอนโทไซยานินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 460-560 นาโนเมตร และเมื่อปรับค่าพีเอชให้เป็น 4.5 การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวจะหายไป แสดงดังภาพที่ 2.12 เนื่องจากที่ค่าพีเอช 1 โครงสร้างของแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปออกโซเนียม (Oxonium form) ซึ่งมีสี และที่ค่าพีเอช 4.5 โครงสร้างแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปเฮมิคีทอล (Hemiketal form) ซึ่งไม่มีสี แสดงดังภาพที่ 2.13 เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงได้ตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ทำให้การดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป ดังนั้น การวัดด้วยวิธีนี้จะต้องวัดค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุด ที่ค่าพีเอช 1 และ 4.5 เมื่อนำมาหักลบกันเพื่อกำจัดการดูดกลืนแสงจากสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน จะได้ค่าทั้งหมดนำไปหาปริมาณแอนโทไซยานิน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2-12 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกตรัมของแอนโทไซยานินจากหัวแรดิช (Radish) ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 1.0 และ 4.5

ที่มา : อรุษา เชาวนลิขิต, 2554



ภาพที่ 2-13 โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่ค่าพีเอช 1 และ 4.5

ที่มา : อรุษา เชาวนลิขิต, 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ศศิธร แท่นทอง (2551); อ้างจาก Ranganna, S. (1977) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในชาข้าวงอก โดยนำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบมาวัดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (estimation of total anthocyanin method) บดตัวอย่างให้ละเอียดปริมาณ 1 กรัม แล้วเติมสารละลาย เอทาโน-อิกโฮโดรคลอริก (Ethanoic HCl) 25 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองโดยเอาเฉพาะสารละลายใส ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย เอทาโนอิกไฮโดรคลอริก ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance ;

Abs) ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเอทาโนอิกไฮโดรคลอริก เป็น Blank และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปแทนค่าในสูตรการหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด พบว่า ชาที่ผลิตจากข้าวเหนียวกล่ำมังงอก มีปริมาณแอนโทไซยานิน 58.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

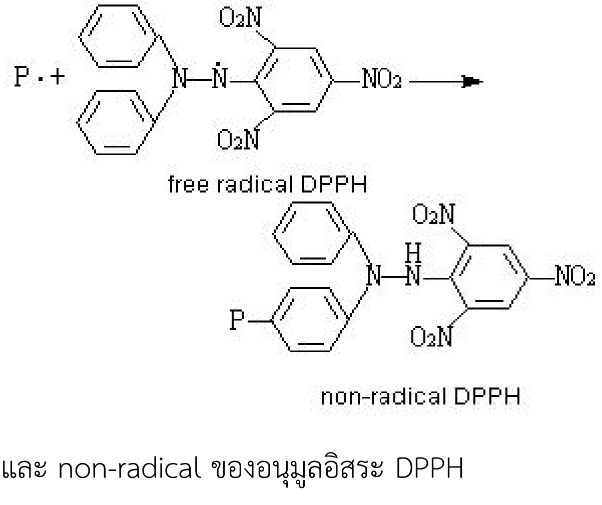
Sutharut and Sudarat (2012); อ้างถึงใน ชื่นสุมณ ยิ้มถิน และรวมพร เชี่ยวบัญชี (2557) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน เพื่อหาปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากดอกเฟื่องฟ้า ชบาแดง และแคแดง โดยนำสารสกัดตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโพแทสเซียม คลอไรด์บัฟเฟอร์ พีเอช 1.0 จนมีปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร และนำสารสกัดแอนโทไซยานิน มาปรับพีเอชด้วยโซเดียมอะซีเตตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.5 จนมีปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร พบว่า สารสกัดจากดอกชบาแดงสดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด คือ 127.83 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำหนักสด

2.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้เป็น 5 วิธี ดังนี้

2.5.1 วิธี DPPH Radical Scavenging Activity เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็นตัวทำปฏิกิริยาในตัวทำละลายเมทานอล สารละลายนี้มีสีม่วง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อวัดการลดลงของสีที่ความยาวคลื่น 515 - 517 นาโนเมตร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2558) เมื่อสารละลายของ DPPH ผสมกับสารที่สามารถให้ hydrogen atom (H^+) ได้โมเลกุลของ DPPH จะเปลี่ยนเป็น reduced form ซึ่งสีม่วงจะหายไป (กลายเป็นสีเหลืองอ่อนของ picryl group)

ลิขสิทธิ์ข



ภาพที่ 2.14 free radical และ non-radical ของอนุมูลอิสระ DPPH

ที่มา : น้องหญิง พัฒนวัชรกุล และปรัชญาวดี สิงห์สา, 2549

การรายงานผลการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity นิยมรายงานเป็นค่า 50% Effective concentration value (EC_{50}) เป็นปริมาณของสารที่ทำให้ DPPH activity (สี) ลดลง 50% (น้องหญิง พัฒนวัชรกุล และปรัชญาวดี สิงห์สาม, 2549) ข้อดีของวิธีนี้ คือ เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ ส่วนข้อเสีย คือ DPPH มีความคงตัว ไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาจึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้ (อรวรรณ กริ่งเกษมศรี, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัย ดังต่อไปนี้

บังอร วงศ์รักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์ (2549) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ผักกูด, ผักติ้ว, ผักปรังขาว, ย่านาง, ผักเหมียง และผักหวานบ้าน สกัดสาระสำคัญจากผักแต่ละชนิดโดยหมักด้วยเอทานอลนาน 3 วัน แล้วนำไประเหยแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำสารสกัดที่ได้มาแยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ละลายในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำซึ่งนำมาละลายกลับด้วยเมทานอลทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักทั้ง 6 ชนิด พบว่า สารสกัดจากผักติ้วแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยสารสกัดส่วนที่ละลายในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำให้ค่า 50 เปอร์เซ็นต์ Inhibitory Concentration (IC_{50}) เท่ากับ 205.96 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 101.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

สุกัลญา หลีแจ้ และคณะ (2558) เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงบนข้าวไรซ์เบอรี่และข้าวหอมมะลิ จากการทดลองพบว่าปริมาณผลได้สารสกัดจากดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง (12.33 - 16.07 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าสารสกัดจากเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทอง (1.92 - 2.60 เปอร์เซ็นต์) และสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงบนข้าวหอมมะลิมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงบนข้าวไรซ์เบอรี่ (IC_{50} ประมาณ 227.1 - 560.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 580.0 - 671.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) โดยสารสกัดจากดอกเห็ดที่เพาะเลี้ยงบนข้าวหอมมะลิมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.5.2 วิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method เป็นการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) หลักการ คือ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วยกรดฟอสโฟทังสติก (phosphotungstic acid) และกรดฟอสโฟโมลิบดิก (phosphomolybdic acid) สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น ทังสเตน (tungsten) และ โมลิบดินัม (molybdenum blue) ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (เพชรรุ่ง เทพทอง และคณะ, 2555)

2.5.3 วิธี ABTS assay เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ($ABTS^{\bullet+}$,2,2′-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid) radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจากสีของ $ABTS^{\bullet+}$ ปกติจะมีค่าดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง $ABTS^{\bullet+}$ ด้วยฟอสเฟสบัฟเฟอร์จากนั้นนำ $ABTS^{\bullet+}$ ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายเอทานอลเจือจางซึ่งจะทำให้สีจางลง และตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้ จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ซึ่งวิธีการคำนวณและการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรล๊อกซ์ (trolox) ทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH radical (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

2.5.4 วิธี Ferric reducing ability power (FRAP) assay วิธีนี้เป็นการวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยหลักการ สารต้านออกซิเดชันทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า Total Antioxidant Capacity (TAC) เป็นการวัดความสามารถรวมในการรีดิวซ์ โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+}-TPTZ (ferric tripyridyltriazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมของเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านออกซิเดชัน ได้สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{2+}-TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงิน ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย และใช้เครื่องมือแค่เครื่องวัดการดูดกลืนแสงเท่านั้น เหมาะสำหรับวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในน้ำผักและน้ำผลไม้ หรือในสารสกัดผักและผลไม้ วิธีการวัดกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ เช่น DPPH TEAC และ FRAP จะมีความสัมพันธ์ดีมาก ($R2 > 0.99$) กับการวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นกลไกเดียวกัน แต่ในบางกรณีสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดมีที่ประสิทธิภาพดี วัดผลได้รวดเร็วเมื่อวัดด้วยวิธีอื่น อาจให้ผลที่ไม่ดี หรือ ให้ผลการยังยั้งช้าเมื่อวัดด้วยวิธีนี้ เนื่องจากเป็นวิธีการวัดกลไกที่แตกต่างกัน (กฤษณ์ สงวนพวก และคณะ, 2555)

2.5.5 วิธี Ferric thiocyanate assay (FTC assay) เป็นการทดสอบความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมันไลโนเลอิก (5 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ในเอทานอล 95 เปอร์เซนต์) ที่ถูกกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระโดยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส วัดปริมาณของเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ ที่เกิดในช่วงแรกของปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมัน โดยเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับเฟอรัส คลอไรด์ (ferrous chloride) เกิดเป็นเฟอริก คลอไรด์ (ferric chloride) แล้วรวมตัวกับไธโอไซยาเนต (thiocyanate) เกิดเป็นเฟอริก ไธโอไซยาเนต (ferric thiocyanate) (สีแดง) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (นพวัฒน์ เพ็งคำศรี และคณะ, 2554)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

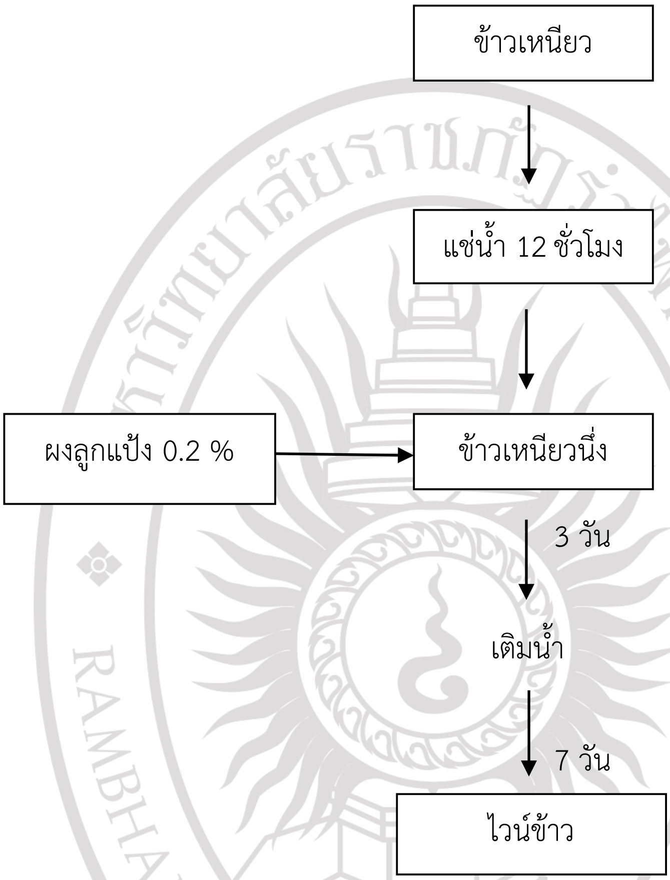
ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในข้าว พบว่า ข้าวยิ่งมีสีม่วงเข้มมากประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยิ่งมีมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.3 ถึง 214.7 ไมโครโมลต่อกรัม การศึกษาด้วยวิธี ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) ในรำข้าวเจ้าหอมนิลและรำข้าวไรซ์เบอรี่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 229 ถึง 304.7 ไมโครโมลต่อกรัม (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2558) นอกจากนี้ ยังมีโพลีฟีโลนิก 752.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แอนโทไซยานิน 250.36 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และมีเบต้าแคโรทีน 63.3 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ในรำข้าวไรซ์เบอรี่จะมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งแบบที่ละลายในน้ำและแบบที่ละลายในน้ำมัน เมื่อทำการขัดสีข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ 100 กรัม จะได้รำข้าว 10 กรัม นำไปสกัดแบบเย็นจะได้น้ำมัน 18 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1.8 กรัม จากการวิจัยของศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว นำน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอรี่ไปทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC ซึ่งแสดงผลในหน่วยเทียบกับอนุพันธ์ของวิตามินอี เท่ากับ 827.79 พบว่า มีวิตามินอี 13,418.27 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม เบต้าแคโรทีน 1,061.25 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ลูเทอิน 580.75 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และแกมมาโอริซานอล 1.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันรำข้าวจากท้องตลาด พบว่า น้ำมันรำข้าวทั่วไปมีแกมมาออริซานอล 1.36 เปอร์เซ็นต์ และจากรายงานของโครงการบูรณาการเทคโนโลยีชีวภาพในการสร้างพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าและคุณค่าสูง ปี 2008 กล่าวว่า การสกัดน้ำมันจากรำข้าวด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction (SFE) และตรวจสอบด้วยวิธี LC-ESI_MS/MS เพื่อตรวจสอบสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่า มีเบต้าแคโรทีนสูงถึง 36.8 ไมโครกรัมต่อรำข้าว 1 กรัม และ ฟลาโวนอยด์หลายชนิดที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง (ธัญลักษณ์ ศรีสำราญ, 2555) เมื่อนำข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่ม หรือ น้ำชาเขียว พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่า การหุงต้มข้าวที่มีสีม่วงเข้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า พบว่า มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงประมาณ 50 ประมาณ หรือ ลดประสิทธิภาพลงประมาณครึ่งหนึ่งของข้าวดิบ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแล้วข้าวสีม่วงยังมีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่ม หรือ น้ำดื่มชาเขียวที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งข้าวยิ่งมีสีของเมล็ดเข้มมากขึ้นเท่าไรยิ่งทำให้มีผลในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม สารต้านอนุมูลอิสระจะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ไม่เท่ากัน (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2558)

2.6 ไวน์ข้าวและกระบวนการผลิต

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ไวน์ข้าวเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งมีวิธีการทำต่อเนื่องจากข้าวหมาก โดยนำข้าวเหนียวมาแช่ค้างคืน นึ่งให้สุก ล้างข้าวเหนียวให้หมดเมือกผสมกับลูกแป้งที่มีทั้งเชื้อราและเชื้อยีสต์ เมื่อทำการหมักเชื้อราจะเปลี่ยนแป้งในข้าวให้เป็นน้ำตาล จากนั้นเชื้อยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ เมื่อได้ข้าวหมากเติมน้ำลงไป และหมักต่อเป็นเวลา 5-14 วัน กรองจนได้น้ำขาว ซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบัน คนไทยเรียกว่า “สาโท” จัดเป็นสุราแช่ที่มีแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตไวน์ข้าว รสชาติและกลิ่นถือเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งชี้คุณภาพของไวน์ข้าวได้ (สร้อยสุดา

พรภักดีวัฒนา, 2546) กระบวนการผลิตไวน์ข้าว มีระยะการหมักสั้นและมีกระบวนการไม่ซับซ้อน ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กระบวนการผลิตไวน์ข้าว
ที่มา: สิริลักษณ์ อัตระผดุง, 2547

2.6.1 กระบวนการผลิตไวน์ข้าว (Phankhroo, 2013)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กระบวนการผลิตไวน์ข้าว โดยใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก โดยมีกรรมวิธีการผลิตดังนี้

1) การล้างและการแช่ข้าว การล้างข้าวเป็นการชะล้างสิ่งแปลกปลอม ช่วยลดระดับการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ลงน้ำที่ใช้ล้าง ดังนั้นน้ำจึงต้องเป็นน้ำสะอาดคุณภาพน้ำบริโภค ส่วนการแช่ข้าวมีจุดประสงค์เพื่อให้ข้าวอมน้ำ 25-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) การนึ่งข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลลาติไนส์ (gelatinization) และทำให้โปรตีนเสียสภาพ (protein denaturation) เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าตัดของเอนไซม์ของรา การนึ่งข้าวจะใช้เวลา 30-60 นาที หลังจากการนึ่งแล้ว การทำให้ข้าวเย็นตัวลง และเพื่อเป็นการปรับ

ความชื้น ข้าวสุกจะใช้วิธีพรมน้ำสะอาดจนได้ความชื้นประมาณ 45-55 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปเติมหัวเชื้อหมัก

3) การหมักด้วยกล้าเชื้อ นิยมใช้ลูกแป้งซึ่งเป็นเชื้อผสม กระบวนการหมักเริ่มจากเติมข้าวนึ่งสุกและกล้าเชื้อที่เตรียมไว้ลงในถังหมัก เชื้อราจะเจริญในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก โดยการผลิตเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เพื่อย่อยแป้งในข้าวให้เป็นน้ำตาล เรียกว่า กระบวนการแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification) ได้น้ำหวานเรียกว่า "น้ำต้อย" ความหวานสูงสุดของน้ำต้อยประมาณ 37-47 องศาบริกซ์ขึ้นกับชนิดของข้าว จากนั้นเติมน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยใช้น้ำที่มีคุณภาพน้ำบริโภค เพื่อไปเจือจางความหวานหรือเพื่อปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้มีค่าประมาณ 20-22 องศาบริกซ์ การหมักในช่วงหลังยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยให้กระบวนการหมักดำเนินต่อไปอีก 4-7 วัน หรือเมื่อวัดระดับแอลกอฮอล์ได้ประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์

4) การหยุดการหมัก โดยถ่ายเอาเฉพาะส่วนน้ำสาโทออกจากถังหมักไปเก็บในถังพักที่เติมสารเพื่อฆ่าเชื้อและหยุดการทำงานของจุลินทรีย์

กรรณิการ์ สมบุญ และคณะ (2549) ได้ศึกษาปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมต่อการผลิตสาโท โดยเติมลูกแป้งลงไปในปริมาณ 0.06, 0.12 และ 0.24 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเหนียวนึ่ง พบว่า ปริมาณลูกแป้งที่ใช้ในการผลิตสาโท 0.24 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการผสมลูกแป้งของชาวบ้านในจังหวัดสกลนครกับลูกแป้งที่ผู้วิจัยผลิตขึ้นเอง ในอัตราส่วน 1:1 ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลูกแป้งของชาวบ้าน และได้ศึกษาวิธีการล้างข้าวเหนียวนึ่งโดยวิธีล้างด้วยน้ำปูนแดง น้ำประปา และไม่ล้างน้ำ พบว่า การล้างน้ำประปาได้สาโทที่คุณภาพดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดด้วยน้ำตาลทรายขาวในขั้นตอนการผ่าน้ำ ระหว่าง 20 และ 25 องศาบริกซ์ พบว่า การปรับที่ 20 องศาบริกซ์ ได้สาโทคุณภาพดีกว่า

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไวน์ข้าว

ปัจจัยหลักในการผลิตไวน์ข้าวให้มีคุณภาพดี ได้แก่ ข้าว ลูกแป้ง และน้ำ

2.6.2.1 ข้าว (สิริลักษณ์ อัตระผดุง, 2547)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ข้าวไทย (*Oryza sativa* var. Indica) มีลักษณะเมล็ดผอม ยาว แบ่งตามปริมาณอะไมโลสได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ข้าวเจ้า ประกอบด้วยอะไมโลส 15-31 เปอร์เซ็นต์ มากน้อยขึ้นกับสายพันธุ์ ปริมาณอะไมโลสมีผลต่อคุณภาพของข้าวสุกคือ พันธุ์ที่มีอะไมโลสมากเมื่อหุงสุกจะแข็ง ถ้ามีอะไม-โลสน้อยจะอ่อนนุ่ม

2) ข้าวเหนียว มีอะไมโลสน้อยมากหรือไม่มีอะไมโลสเลย แต่มีอะไมโลเพคตินสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความอ่อนนุ่มสูง

สำหรับการหมักเหล้าและการผลิตแอลกอฮอล์ในประเทศไทย โดยทั่วไปจะเลือกใช้ข้าวที่มีอะไมโลเพคตินสูง (ข้าวเหนียว) เนื่องจากข้าวมีความอ่อนนุ่มทำให้เส้นใยเชื้อราเจริญเข้าไปในเมล็ดข้าวได้ดีกว่าในข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสสูง ซึ่งข้าวแห้งเร็วไม่อมน้ำและไม่จับเป็นก้อนทำให้เชื้อราไม่สามารถยึดจับและสร้างเส้นใยได้ดีเท่าที่ควร ข้าวที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ควรมีโปรตีนต่ำ ซึ่งทำได้โดยการขัดสีผิวข้าวออกเหลือประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำจัดโปรตีน ไขมัน และเถ้า ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดสีและกลิ่นรสที่ไม่ดี เนื่องจากกรดอะมิโนบางชนิดอาจเปลี่ยนไปเป็นฟูเซลออยล์ (fusel oil) ได้

2.6.2.2 ลูกแป้ง (จิราภรณ์ ยอดเถื่อน และคณะ, 2553)

ลูกแป้งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไวน์ข้าว เนื่องจากการผลิตลูกแป้งเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้าน ต้องอาศัยความชำนาญ และมีสูตรลูกแป้งที่ตกทอดมาภายในครอบครัว ทำให้ผู้ผลิตส่วนมากต้องอาศัยการซื้อลูกแป้งจากผู้ผลิตโดยเฉพาะ ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของลูกแป้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของตนได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นหากสามารถพัฒนากล้าเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตจะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ จะทำให้ได้กล้าเชื้อที่มีคุณภาพดี จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในลูกแป้งข้าวหมากพบเพียงไม่กี่สกุลเท่านั้น ราที่พบส่วนใหญ่คือ *Amylomyces rouxii* และ *Rhizopus oryzae* ซึ่งมีความสามารถผลิตเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลสและกลูโคอะไมเลส ส่วนยีสต์ที่พบส่วนใหญ่จะเป็น *Saccharomycopsis fibuligera* นอกจากมีบทบาทในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์แล้ว ยังสามารถผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลส ออกมาย่อยแป้งที่เหลือเป็นน้ำตาลได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบยีสต์ *Hansenula* ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำตาลบางส่วนไปเป็นเอสเทอร์ได้

องค์ประกอบหลักของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตลูกแป้ง (นภา โล่ห์ทอง, 2535) ได้แก่

1) แป้ง ใช้ได้ทั้งแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้า จากการศึกษาพบว่าลูกแป้งที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวเจ้าล้วนๆ จะมีคุณภาพดีกว่ากว่าที่ผลิตด้วยแป้งข้าวเหนียว หรือแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียว ในประเทศจีนมีลูกแป้งหลายชนิดที่ผลิตจากแป้งสาลี เช่น ลูกแป้งสำหรับหมักเหล้าเกาเหลียง ตามตำรับเดิมผู้ผลิตจะบดแป้งใช้เป็นคราวๆ ไป ไม่นิยมใช้แป้งสำเร็จ ทั้งนี้เพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจมีอยู่ในแป้งที่ผลิตและเก็บโดยขาดความระมัดระวัง การผลิตแป้งสำเร็จเป็นการค้าส่วนใหญ่จะมีการเติมสารยับยั้งการเจริญของเชื้อรา เช่น กรดโปรปิโอนิก สารเหล่านี้จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในลูกแป้งที่เป็นเชื้อราและยีสต์ การใช้แป้งที่ผลิตขายเป็นการค้าให้ผลดีกว่าการใช้แป้งที่ผลิตขึ้นเอง จากการตรวจวิเคราะห์พบว่าแป้งที่ผลิตขายเป็นการค้าในปัจจุบัน (เฉพาะแป้งแห้งบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท) มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อยมาก

2) สมุนไพร เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตลูกแป้ง แต่ละประเทศจะมีสูตรการผลิตลูกแป้งที่แตกต่างกันมีหลายสูตร และมักจะเก็บเป็นความลับที่ถ่ายทอดกันเฉพาะในครัวเรือน สำหรับลูกแป้งของอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์มีองค์ประกอบของสมุนไพรคล้ายคลึงกัน ได้แก่ ขิง ข่า กระเทียม พริกไทย และพริกชี้ฟ้าแห้งเป็นหลัก มีความแตกต่างกันที่สมุนไพรที่ใช้ในแต่ละตำรับ

สงวนลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ของแต่ละประเทศ สมุนไพรที่ใช้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานร่วมกันหลายๆ ตำรับ ได้แก่ กระเทียม พริกไทย ขิง และข่า ส่วนชะเอมและดีปลีเป็นองค์ประกอบของลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งเหล้าไทยเกือบทุกสูตร

การเตรียมวัตถุดิบและการปั้นลูกแป้ง

1) เตรียมแป้งโดยซาวข้าวให้สะอาด แช่น้ำไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำไปโม่แล้วทับน้ำให้แห้ง หรือทำให้ข้าวสะเด็ดน้ำเสียก่อนแล้วจึงนำไปบดหรือปั่นด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้าให้ละเอียด แล้วร่อนด้วยแร่ง การแช่ข้าวนานเกินไปโดยไม่เปลี่ยนน้ำ จะมีผลให้แบคทีเรียแลคติก และ *Bacillus* spp. เจริญเพิ่มจำนวนในปริมาณมาก ทำให้ลูกแป้งที่ผลิตได้คุณภาพต่ำ

2) บดสมุนไพรชนิดแห้งให้ละเอียด สมุนไพรสดอาจนำไปบดพร้อมกับข้าว

3) ผสมแป้งและสมุนไพรกับลูกแป้ง (ลูกแป้ง 5 กรัม ต่อแป้ง 1 กิโลกรัม) ที่บดละเอียดให้เข้ากันโดยการร่อนด้วยแร่งหรือปั่นด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้าความเร็วต่ำ ๆ เติมน้ำหรือน้ำต้มชะเอม ในปริมาณที่นวดแป้งแล้วจะปั้นเป็นก้อนได้ ปริมาณน้ำที่ใช้กำหนดได้ไม่แน่นอน ขึ้นกับความแห้งของแป้งที่ใช้ ปริมาณสมุนไพรสดแตกต่างกันในแต่ละตำรับ และสภาวะความชื้นในบรรยากาศขณะบ่มลูกแป้ง ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ผลิต

4) เมื่อนวดแป้งจนเหนียวแล้วจึงปั้นเป็นก้อนกลมขนาดต่างๆ กันตามชนิดของลูกแป้งในการผลิตลูกแป้ง หมักแป้งที่นวดแล้วไว้ประมาณ 6-12 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาปั้นจะได้ลูกแป้งที่มีคุณภาพดีกว่าที่ปั้นโดยไม่หมักแป้ง

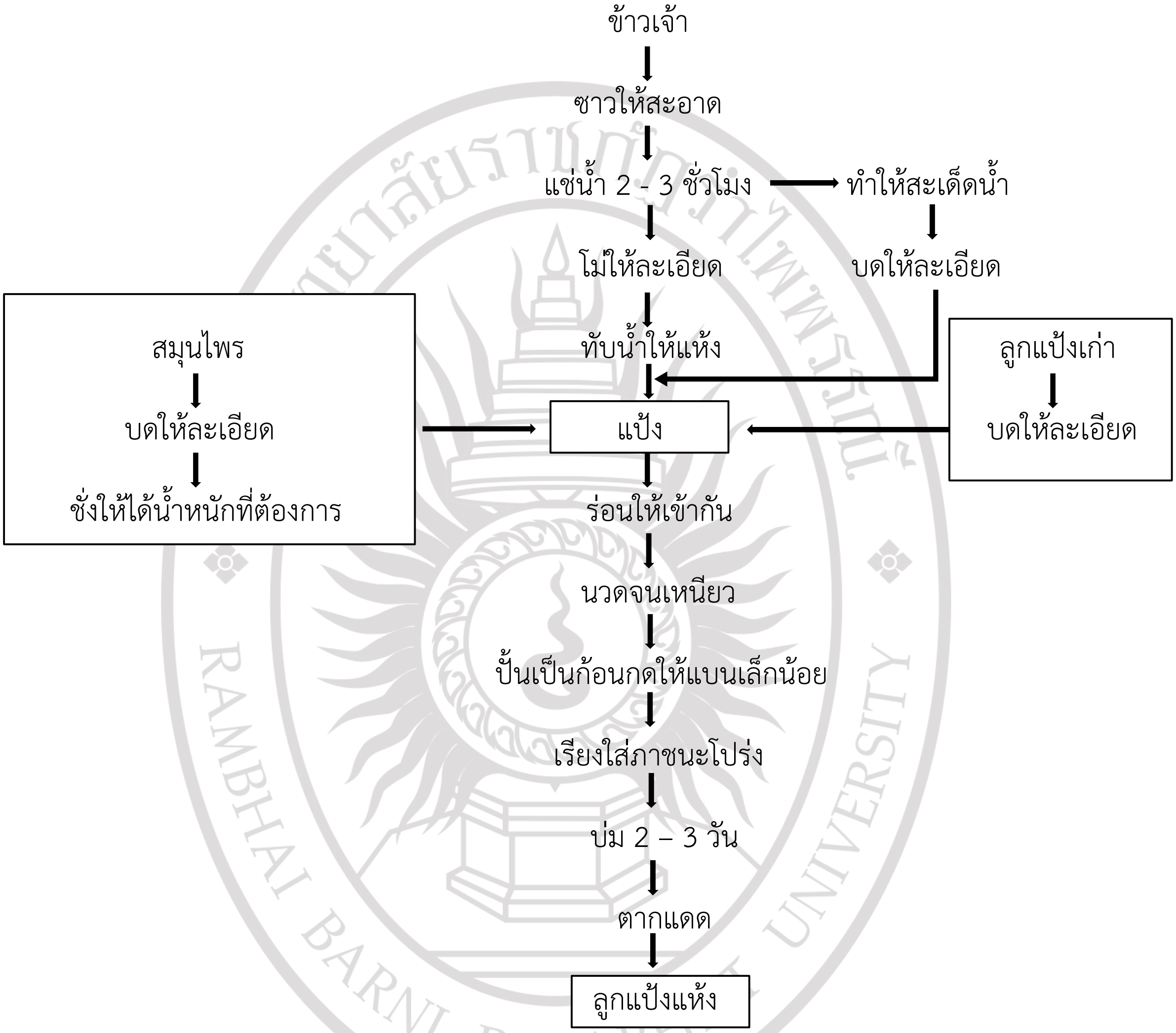
5) เรียงลูกแป้งบนกระด้งหรือภาชนะก้นโปร่งอื่นๆ ให้แต่ละลูกห่างกันเล็กน้อย เมื่อจุลินทรีย์เจริญจะทำให้ลูกแป้งฟูขึ้น ส่วนของลูกแป้งด้านที่ติดกับภาชนะจะแบนราบตามผิวที่สัมผัส โดยที่ด้านบนยังคงรูปร่างโค้งเป็นครึ่งวงกลม สำหรับการปั้นลูกแป้งขนาดใหญ่เมื่อเรียงบนภาชนะแล้วควรกดด้านบนลงเล็กน้อย เพื่อให้ลูกแป้งบางลง จุลินทรีย์ภายในก้อนแป้งจะมีโอกาสรับอากาศมากขึ้น

6) เมื่อเรียงลูกแป้งเต็มภาชนะแล้ว โรยผงลูกแป้งที่เตรียมไว้ลงบนผิวของลูกแป้งที่ปั้นใหม่ โดยใช้ผงลูกแป้งประมาณ 15 กรัม ต่อสูตรที่ใช้แป้ง 1 กิโลกรัม คลุมภาชนะด้วยผ้าหนาๆ โดยไม่ให้ผ้าสัมผัสกับผิวลูกแป้ง บ่มประมาณ 48 ชั่วโมง นำไปตากแดดให้แห้งแล้วเก็บในภาชนะที่ปิดฝาได้สนิท การที่ลูกแป้งได้รับแสงแดดโดยตรง จะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงไป เป็นผลจากรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ควรตากลูกแป้งโดยมีแผ่นกระจกใสกั้นแสงอยู่ด้านบน โดยเว้นระยะระหว่างผิวลูกแป้งและกระจกให้อากาศถ่ายเทได้ การทำลูกแป้งแห้งอย่างได้ผลดีอีกวิธีหนึ่ง คือ การอบในตู้อบการผลิตลูกแป้ง แสดงดังภาพที่ 2.16

แนวทางการผลิตลูกแป้งด้วยเชื้อบริสุทธิ์ การศึกษาถึงบทบาทของจุลินทรีย์ในลูกแป้งชนิดต่าง ๆ ทำให้มีการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ โดยการแยกเชื้อจากลูกแป้งที่มีคุณภาพดี มีประสิทธิภาพในการหมัก ตลอดจนสามารถจัดกลุ่มจุลินทรีย์ในรูปเชื้อผสม สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ชนิดได้อย่างเหมาะสม และเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ไปผลิตลูกแป้งโดยใช้เชื้อ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บริสุทธิ์ เพื่อให้ได้ลูกแป้งที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ โดยใช้พื้นฐานของเทคโนโลยีที่มีอยู่เดิม (นภา โล่ห์ทอง, 2535)



ภาพที่ 2.16 การผลิตลูกแป้ง

ที่มา: นภา โล่ห์ทอง, 2535

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลูกแป้งข้าวหมาก

การผลิตลูกแป้งด้วยเชื้อบริสุทธิ์ได้สำเร็จนั้น นอกจากคัดเลือกและจัดกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นกล้าเชื้อได้อย่างเหมาะสมแล้ว จะต้องมีการศึกษาที่ชัดเจนถึงผลของสมุนไพรต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทั้งกลุ่มที่ต้องการให้มีในลูกแป้งและกลุ่มจุลินทรีย์ปนเปื้อน สำหรับลูกแป้งข้าวหมากบริสุทธิ์ที่ใช้ได้แก่ *A. rouxii, Endomycopsis* ssp. และ *Hansenula* ssp. ซึ่งจากการศึกษาผล

ของสมุนไพร 23 ชนิด และส่วนผสมของสมุนไพรเหล่านี้ต่อเชื้อทั้งสามชนิดและจุลินทรีย์ปนเปื้อนชนิดอื่น เช่น *Rhizopus* ssp. *Aspergillus* ssp. *Penicilium* ssp. โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกสมุนไพรที่ไม่ยับยั้งการเจริญของเชื้อบริสุทธิ์ที่เติมในลูกแป้งแต่มีผลต่อจุลินทรีย์ปนเปื้อน ผลปรากฏว่า ลูกแป้งที่ตรวจพบเฉพาะ *A. rouxii, Endomycopsis* ssp. และ *Hansenula* ssp. โดยไม่ปรากฏการเจริญของเชื้อราชนิดอื่น ได้แก่ ลูกแป้งที่เติมส่วนผสมของสมุนไพรดังต่อไปนี้

1) กานพลู 0.5 เปอร์เซ็นต์และขิง 3 เปอร์เซ็นต์

2) ขิง 3 เปอร์เซ็นต์ ข่า 1 เปอร์เซ็นต์ และดีปลี 1.5 เปอร์เซ็นต์

3) ข่า 1 เปอร์เซ็นต์ ชะเอม 2 เปอร์เซ็นต์ และดีปลี 1.5 เปอร์เซ็นต์

4) กระเทียม 3 เปอร์เซ็นต์ ขิง 3 เปอร์เซ็นต์ ข่า 1 เปอร์เซ็นต์ และพริกไทย 1.5 เปอร์เซ็นต์

5) กระเทียม 3 เปอร์เซ็นต์ ขิง 3 เปอร์เซ็นต์ ชะเอม 2 เปอร์เซ็นต์ และพริกไทย 1.5 เปอร์เซ็นต์

6) ขิง 3 เปอร์เซ็นต์ ชะเอม 2 เปอร์เซ็นต์ ดีปลี 1.5 เปอร์เซ็นต์ และพริกไทย 1.5 เปอร์เซ็นต์

7) กระเทียม 3 เปอร์เซ็นต์ ขิง 3 เปอร์เซ็นต์ ชะเอม 2 เปอร์เซ็นต์ และดีปลี 1.5 เปอร์เซ็นต์

ในการศึกษานี้ตรวจพบ *Bacillus* ssp. ในลูกแป้งที่เติมสมุนไพรทุกสูตร ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากการทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อที่พบว่า ชะเอม ขิง และดีปลี อย่างใดอย่างหนึ่ง ในระดับความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้ผสมในลูกแป้ง สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ ลูกแป้งสูตรสมุนไพรผสม เมื่อนำมาทดสอบพบว่า มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ไม่มีผลต่อจุลินทรีย์ในรูปสปอร์ได้ จึงเป็นสาเหตุของการปนเปื้อน

ลูกแป้งเหล้า

การศึกษาการผลิตลูกแป้งด้วยเชื้อบริสุทธิ์ในรูปของเชื้อผสมระหว่าง *S. cerevisiae* 281 ซึ่งแยกจากลูกแป้งและคัดเลือกว่ามีประสิทธิภาพในการหมักแอลกอฮอล์กับเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ *R. oryzae* MB 39, *A. niger* H_5, *Amylomyces rouxii* AH_3 และ *Endomycopsis fibuligera* ER_{10} ทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล โดยใช้สูตรแป้งข้าวเจ้า 400 กรัม ขิง ข่า ชะเอม กระเทียม พริกไทยอย่างละ 5 กรัม และดีปลี 2 กรัม พบว่า ลูกแป้งที่ผลิตได้ มีลักษณะในเรื่องเนื้อสัมผัสไม่ดีเท่าลูกแป้งที่มีในท้องตลาด แต่การวิเคราะห์แอลกอฮอล์ที่หมักได้ จะใกล้เคียงกับลูกแป้งเหล้าจากแหล่งผลิตบางแหล่ง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
RAMBHAI BARNI RAJABHAT UNIVERSITY

ลูกแป้งน้ำส้มสายชู

การผลิตลูกแป้งหรือส่าน้ำส้มสายชูไม่ปรากฏข้อมูลเป็นเอกสาร ทำให้ไม่ทราบถึงกรรมวิธีสูตรที่แน่นอน โดยเฉพาะชนิดและปริมาณของสมุนไพรที่ใช้ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำส้มสายชูเป็นแบคทีเรีย ดังนั้นการทดสอบการยับยั้งต่อการเจริญของเชื้อราและยีสต์ ในการศึกษาผลของสมุนไพร 29 ชนิดต่อการยับยั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรียที่มักพบในลูกแป้งรวมทั้ง *Acetobacter* ssp. 4 สายพันธุ์ พบว่าส่วนผสมของสมุนไพรที่เหมาะสมที่สุดในการปั้นลูกแป้งน้ำส้มสายชู ได้แก่ พริกไทยขาวและดอกจันทร์ อย่างละ 3 เปอร์เซ็นต์ และลูกจันทร์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ส่วนผสมของสมุนไพรดังกล่าวไม่ยับยั้งการเจริญของ *Acetobacter* ssp. แต่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดยสามารถยับยั้งการเจริญของ *Bacillus* ssp. ได้อย่างสมบรูณ์และยับยั้งการเจริญของ *A. niger* ได้ดีกว่าส่วนผสมอื่น ซึ่งเชื้อรานี้เป็นอุปสรรคในการผลิตลูกแป้ง การเติมกรดโปรปิโอนิก 0.2 เปอร์เซ็นต์ในส่วนผสมของสมุนไพร จะยับยั้งการเจริญของ *A. niger* และชื้อราปนเปื้อนชนิดอื่นอีกหลายชนิดโดยสิ้นเชิง และให้ผลดีกว่าการใช้กรดโปรปิโอนิกเพียงอย่างเดียว ผลของสมุนไพรต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์นั้น นอกจากจะปรากฏในเอกสารที่เกี่ยวกับการเตรียมลูกแป้งด้วยเชื้อบริสุทธิ์แล้วยังมีรายละเอียดในรายงานอีกจำนวนมาก

ข้อควรระวัง ในการผลิตลูกแป้ง คือ การเพาะเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่สามารถทำให้ปลอดเชื้อได้ เช่น ใช้วิธีทางจุลวิทยาสมัยใหม่ ในการลดปริมาณการปนเปื้อนและป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน มีปัจจัยที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่

1) การเลือกวัตถุดังได้กล่าวแล้วข้างต้น

2) การรักษาความสะอาดในทุกขั้นตอนของการผลิต

3) การควบคุมปริมาณความชื้นของส่วนผสมลูกแป้งให้ต่ำที่สุดที่จุลินทรีย์ลูกแป้งยังเจริญได้ โดยระดับความชื้นจะต่ำเกินกว่าที่จะเอื้ออำนวยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ปนเปื้อน

4) ใช้สมุนไพรทั้งชนิดและปริมาณที่จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ปนเปื้อน โดยไม่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลูกแป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของลูกแป้งที่ผลิต

บทบาทของจุลินทรีย์ในลูกแป้ง การหมักไวน์ข้าวแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนแป้งในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาลและขั้นตอนการหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ (สิริลักษณ์ อัตระผดุง, 2547) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1) ขั้นตอนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล (Saccharifilation)

จุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ในกลุ่มอะไมเลส ได้แก่ แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) เบต้าอะไมเลส (β-amylase) และกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ย่อยโครงสร้างในรูปแอลฟาในโมเลกุลของแป้งให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก โดยเชื้อราที่มีบทบาทในการสร้างเอนไซม์ปริมาณมาก ได้แก่ *Aspergillus* sp. ซึ่งสร้างเอนไซม์และกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟูมาลิก กรดซิตริก และกรดแลกติค ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในสาโท กรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งจุลินทรีย์อื่นที่มาปนเปื้อนได้ เชื้อราจะสร้างเส้นใยจำนวนมาก แผ่กระจายปกคลุมบนผิวเมล็ดข้าว แทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและแทงทะลุเข้าไปในเมล็ดข้าว ซึ่งจะสร้างเอนไซม์จำนวนมากออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล สร้างกรดอินทรีย์ สารอาหาร และวิตามินที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของยีสต์ เรียกว่า กระบวนการแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification) ในช่วงที่มีอากาศยีสต์จะยังไม่เกิดการหมัก แต่จะแตกหน่อเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเติมน้ำลงไปทำให้เกิดสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เชื้อราจะหยุดกิจกรรม ส่วนยีสต์จะเปลี่ยนรูปแบบจากการสร้างพลังงานจากการหายใจ โดยใช้ออกซิเจนมาเป็นการหมักต่อไป

2) ขั้นตอนการหมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation)

ยีสต์ที่มีความสำคัญต่อการหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ได้แก่ *Saccharomyces* sp., *Endomycopsis* sp., *Hansenula* sp. และ *Torulopsis* sp. ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีในการหมักสาโท เพราะเจริญเติบโตเร็ว ทนทานต่อกรด ความเข้มข้นของน้ำตาล และทนต่อปริมาณแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดอื่น เช่น เอนไซม์โปรติเอสที่ย่อยสลายโปรตีนเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน เอมไซม์ไลเปสที่เปลี่ยนไขมันเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลเกิดเป็นกลิ่นรสที่มีความซับซ้อน และมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว

อรุณี ทรัพย์เจริญเลิศ (2553) ศึกษาการคัดแยกสายพันธุ์ราและยีสต์จากลูกแป้งเหล้า เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลจากแป้งข้าว โดยการทดลองได้คัดแยกราและยีสต์จากลูกแป้งเหล้า เพื่อทดสอบความสามารถในการย่อยแป้งของราและการผลิตเอทานอลของยีสต์ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ การย่อยแป้งของราและการผลิตเอทานอลของยีสต์ พบว่า รา CMA-M5 และรา CMW-M5 มีความสามารถในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ดีกว่าราที่คัดแยกได้ทั้งหมด เมื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การย่อยแป้งของรา CMA-M5 และรา CMW-M5 พบว่า มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน แต่รา CMW-M5 สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ความเข้มข้นสูงกว่ารา CMA-M5 ดังนั้น รา CMW-M5 น่าจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการย่อยแป้งสำหรับการผลิตเอทานอล จากผลการคัดแยกยีสต์ พบว่ายีสต์ CSK-Y2 ให้ผลผลิตเอทานอลต่อเซลล์สูง และมีระยะเวลาในการปรับตัวสำหรับการผลิตเอทานอลสั้น ดังนั้นยีสต์ CSK-Y2 จึงน่าจะเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.6.2.3 น้ำ (พรพิมล ควรรณสุ, 2545)

ในไวน์ข้าวมีน้ำไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไวน์ข้าว ส่วนใหญ่จะใช้น้ำประปาต้มสุกหรือน้ำฝน แต่คุณภาพน้ำมีผลต่อคุณภาพของไวน์ข้าวเป็นอย่างมาก น้ำที่ใช้จะต้องไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นกลางหรืออาจเป็นเบสอ่อน ๆ มีปริมาณธาตุอาหารเล็กน้อย โดยเฉพาะธาตุเหล็กควรมีปริมาณน้อย เนื่องจากทำให้ไวน์ข้าวมีสีน้ำตาล ให้กลิ่นและรสที่ไม่ดี

2.6.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สาโท (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

นิยามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

1) สาโท หมายถึง สุราแช่ชนิดหนึ่งที่ทำจากการนำข้าวมาผ่านกรรมวิธีการผลิตสาโทแล้ว มีแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรีต่อเปอร์เซ็ต์โดยปริมาตร

2) สุราแช่ หมายถึง สุราที่ไม่ได้กลั่น และให้หมายรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรีต่อเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3) กรรมวิธีการผลิตสาโท หมายถึง การหมักข้าวต่างๆ ด้วยเชื้อราและยีสต์ หรือลูกแป้ง เพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งหมักไว้ระยะหนึ่งจากนั้นเติมน้ำสะอาดในอัตราส่วนที่เหมาะสม และอาจมีการเติมน้ำตาลทรายขาวให้เหมาะสมกับการหมักสาโท หมักต่ออีกระยะหนึ่ง เพื่อให้ได้แรงแอลกอฮอล์ตามต้องการ

4) ลูกแป้ง หมายถึง เชื้อสุรา แป้งเชื้อสุรา แป้งข้าวหมัก หรือเชื้อใดๆ เมื่อนำมาหมักกับวัตถุหรือของเหลวอื่นๆ แล้วสามารถทำให้เกิดแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำสุรา ลูกแป้งอาจผสมสมุนไพรหรือเครื่องเทศด้วยหรือไม่ก็ได้

5) รา หมายถึง จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการหมักสาโท มีหน้าที่เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล

6) ยีสต์ หมายถึง จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการหมักสาโท มีหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์

นอกจากนี้ยังได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของสาโททางเคมีไว้เช่นเดียวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ และได้เพิ่มเติมคุณลักษณะทางกายภาพรวมไปถึงสุขลักษณะในการทำสาโทให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต (Good Manufacturing Practice ; GMP) หรือจีเอ็มพีฉบับย่อ (miniGMP) (ชลมารค พ่วงวีระกุล และยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล, 2554)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การพัฒนาสาโทเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมที่ต้องมีปัจจัยสนับสนุน คือ ต้องมีความคงที่ทุกรุ่นการผลิต มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ที่วิเคราะห์ได้ตามมาตรฐาน และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ผู้ประกอบการในปัจจุบันจำเป็นต้องแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาปัจจัยสำคัญในการผลิตสาโท ได้แก่ หัวเชื้อและกระบวนการหมัก เครื่องมือ อุปกรณ์ผลิต ขั้นตอนการทำให้ใส

ขั้นตอนการฆ่าเชื้อ และสุขลักษณะการผลิต ซึ่งการสร้างคุณภาพและรสชาติอันเป็นมาตรฐานเดียวกัน มีจุดประสงค์เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อายุการเก็บและบริโภคที่ยาวนาน ดังนั้น ผู้ประกอบการบางรายจึงมีการการพัฒนามาใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกคุณสมบัติทั้งราและยีสต์แทนการใช้ลูกแป้ง (ชลมารค พ่วงวีระกุล และยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล, 2554)

มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไวน์ข้าวหลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น

พรพิมล ควรสุ (2545) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้องมีอัตราการขัดสี 100 เปอร์เซ็นต์) 1 (ข้าวที่มีอัตราการขัดสีข้าวระหว่าง 98-84 เปอร์เซ็นต์) และ 2 (ข้าวที่มีอัตราการ ขัดสีข้าวระหว่าง 82-80 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้ข้าวทั้ง 3 พันธุ์เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ข้าว โดยการหมักด้วย *A. rouxii* TISTR 3128 เป็นเวลา 5 วันแล้ว หมักด้วย *S. cerevisiae* TISTR 5049 เป็นเวลา 14 วัน เก็บตัวอย่างทุก 2 วันเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ให้อัตราการผลิตแอลอกฮอล์สูงโดยความเข้มข้นแอลกอฮอล์จะเข้าสู่ภาวะคงที่ใน 2 วันแรก ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงในระยะเวลาเดียวกัน ส่วนข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 จะให้อัตราการผลิตแอลกอฮอล์ที่ต่ำกว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ไวน์ข้าวทั้งสามพันธุ์ที่ระดับการ ขัดสีที่ 0, 1 และ 2 มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 8.2-12.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟูเซลออยล์และสารประกอบเอสเทอร์ที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับการขัดสีข้าว

บุณยกฤต รัตนพันธุ์ (2549) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างข้าวเหนียวต่อกล้วยไข่ในการหมักสาโท อัตราส่วน 80:20, 60:40, 50:50 และ 40:60 พบว่า สาโทที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวกับกล้วยไข่ เท่ากับ 80:20 จะได้สาโทกล้วยไข่ที่ผู้บริโภคชอบมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ค่า pH 3.28 ความเป็นกรด 1.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 18.97 องศาบริกซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ 9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อศึกษาระยะเวลาในการหมักและปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสมในการผลิตสาโทกล้วยไข่โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 10 และ 12 วัน ใช้ลูกแป้ง 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้เวลาในการหมักสาโทกล้วยไข่ และปริมาณลูกแป้งที่เหมาะสม คือ 10 วัน และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการทำให้สาโทกล้วยไข่ใส พบว่าการกรองโดยใช้ผงถ่านจะทำให้สาโทกล้วยไข่มีความใสมากที่สุด

Tunsakun (2009) ศึกษาคุณภาพของไวน์ข้าวที่ผลิตจากข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสำหรับการผลิตไวน์ข้าว โดยคัดเลือกข้าวไทยจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพิษณุโลก 2 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าวขาวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข 6 ข้าวสุพรรณบุรี 1 ข้าวสุพรรณบุรี 3 ข้าวสุพรรณบุรี 60 และข้าวสุพรรณบุรี 90 ทำการวัดปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว ได้แก่ อะไมโลส ไขมัน และโปรตีน และทำการผลิตไวน์ข้าวโดยใช้เชื้อราบริสุทธิ์สายพันธุ์

A. rouxii TISTR 3182 และเชื้อยีสต์บริสุทธิ์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* IFO10217 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 13 วัน ทำการตรวจวัดสารประกอบในไวน์ข้าว ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส เอทานอล สารระเหย และสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก จากผลการศึกษาพบว่า ในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณเอทานอลของไวน์ข้าวที่ผลิตจากข้าวพิษณุโลก 2 และข้าวปทุมธานี 1 มีปริมาณสูงที่สุด ระหว่าง 18.2-19.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข 6 มีปริมาณของเอทานอลอยู่ในช่วง 16.1-16.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาลกลูโคส สารระเหย และสารอินทรีย์ของไวน์ข้าวของข้าวทั้ง 8 สายพันธุ์ไม่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณของอะไลโลสและอะไมโลเพกติน

อรวรรณ ดีสุทธิ์ และคณะ (2553) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาการหมักเอทานอลในกระบวนการผลิตสาโทระหว่างการใช้ยีสต์เดี่ยวและยีสต์ผสม โดยผลิตสาโท 4 สูตร ได้แก่ สาโทสูตร ที่ 1 ใช้ยีสต์เดี่ยวของโรงงาน สาโทสูตรที่ 2, 3 และ 4 ใช้ยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานและ *S. cerevisiae* NP 01, *S. bayanus* EC 1118 หรือ *S. cerevisiae sweden* ตามลำดับ พบว่า ยีสต์ผสมในสาโทสูตรที่ 2 สามารถลดระยะเวลาการหมักเอทานอลลงได้จาก 35 วัน เป็น 32 วัน โดยได้ความเข้มข้นเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อนำสาโททั้ง 4 สูตร และสาโทที่จำหน่ายในท้องตลาดมาทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาโท พบสารระเหยหลัก 15 ชนิด กรด 7 ชนิด น้ำตาล 3 ชนิด และกลีเซอรอล

วีระสิทธิ์ กัลยากฤต (2554) ศึกษาการใช้หัวเชื้อผสมของราและยีสต์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการปั้นลูกแป้ง โดยใช้รา 3 สายพันธุ์และยีสต์ 4 สายพันธุ์ ซึ่งได้มีการคัดเลือกแล้วว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์กลูโคแอมิเลสสูงและมีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอทานอล โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของสาโท ในการศึกษาการใช้หัวเชื้อผสมได้มีการออกแบบการทดลองทั้งหมด 9 ทรีทเมนต์พบว่า ทรีทเมนต์ 2 (คือ มี *Amylomyces* sp., *Rhizopus* sp., *S. cerevisiae* SYL 16 และ *S. cerevisiae* SYL 18) มีความเหมาะสมและผ่านเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยให้ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 171.10 และ 34.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 และวันที่ 14 ตามลำดับ และมีปริมาณกรดทั้งหมด 0.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม และสำหรับปริมาณเอทานอล เท่ากับ 16.75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

กรกต สุนทรกุล และคณะ (2555) ศึกษาการผลิตสาโทแดงจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้ราสายพันธุ์ *Monascus purpureus* TISTR 3002 ในการย่อยข้าว และใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. bayanas* EC1118 ในการผลิตเอทานอล ซึ่ง *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถเจริญได้ดีบนข้าวเหนียวขาวมากกว่าข้าวเหนียวดำ การทดลองนี้จึงใช้ข้าวเหนียวผสมระหว่างข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวขาวเป็นวัตถุดิบ โดยปริมาณส่วนผสมของข้าวเหนียวดำ ดังนี้ 0, 55, 70, 85 และ 100

เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ทดสอบคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคจำนวน 6 สายพันธุ์ ผลการทดลองพบว่าสาโทแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ 70 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ร่วมกับราแดง *M. purpureus* TISTR 3002 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้ดีที่สุด

Teramoto และคณะ (2011) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไวน์ที่ผลิตจากยีสต์ *S. cerevisiae* NP01 ซึ่งมีลักษณะกลมหรือค่อนข้างกลม โดยเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ผลิตจาก *S. cerevisiae* NP01 มีปริมาณแอลกอฮอล์ 12.4-13.1 เปอร์เซ็นต์ และสารประกอบฟีนอลจำนวนมาก ทำให้ไวน์สีดำเปลี่ยนเป็นสีแดง ในข้าวก่ำประกอบด้วยสาร แอนไซยานิน ซึ่งมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ โดยมีการทดลองผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำจากข้าวก่ำที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะได้ไวน์ข้าวสีแดงใสคล้ายกับไวน์สีแดงหรือสีกุหลาบ ปริมาณสารแอนไซโทยานินในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำจากข้าวสีก่ำที่ไม่ผ่านการหุงสุกหมักโดยการใช้ยีสต์สายพันธุ์ NP01 ได้ปริมาณแอนโทไซยานิน 118 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และใช้ยีสต์สายพันธุ์ W-4 ได้ปริมาณสารแอนไซโทยานิน 131 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารแอนไซโท-ยานิน (anthocyanin) ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำจากข้าวก่ำที่ไม่ผ่านการหุงสุกจะมีค่าสูงกว่าเครื่องดื่มที่ทำจากข้าวก่ำที่ผ่านการหุงสุกและมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำจากข้าวก่ำที่ไม่ผ่านการหุงสุกมีค่าสูงกว่าเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ทำจากข้าวก่ำที่ผ่านการหุงสุก

ภัณฑิรา ศรีดำ (2558) ศึกษาข้าวหมากจากการหมักข้าวเหนียวด้วยลูกแป้ง ได้รวบรวมลูกแป้งพื้นเมือง 7 ตัวอย่างจากแหล่งผลิตในพื้นที่จังหวัดของภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ นครสวรรค์ (NS) พิจิตร (PC1 และ PC2) สุโขทัย (ST) เพชรบูรณ์ (PB) และพิษณุโลก (PL1 และ PL2) นำมาคัดกรองลูกแป้งที่มีคุณภาพในการหมักข้าวหมากให้มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงและมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ต่ำ ผลการทดสอบหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้ง พบว่า ข้าวหมากที่ได้จากการหมักด้วยลูกแป้งของจังหวัดพิจิตร (PC1) มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด (40 องศาบริกซ์) รองลงมา คือข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งของจังหวัดพิษณุโลก (PL1 และ PL2) (39 องศาบริกซ์) และเมื่อนำมาศึกษาปริมาณของราและยีสต์ ในระหว่างการหมักข้าวหมาก พบว่า เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในช่วงเริ่มต้นของการหมัก ขณะที่ยีสต์มีบทบาทสำคัญในการหมักหลังการบ่มนาน 24 ชั่วโมงจนถึงช่วงท้ายของการหมักข้าวหมากที่ 72 ชั่วโมง

วิบูลย์ เหรียญสง่าวงศ์ และศรีเวียง ทิพกานนท์ (2558) การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์ข้าวให้เป็นสีเหลืองทองด้วยแกลบ และทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อไวน์ข้าวสีทอง โดยการย่อยข้าวให้เป็นน้ำตาลด้วยการต้มเป็นเวลา 40 นาที ที่อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ที่อัตราส่วนของ แกลบต่อน้ำหนัก 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ และมีชุดการทดลองที่ไม่เติมแกลบเป็นชุดควบคุม หลังจากหมักไวน์ข้าวสีทองเป็นเวลา 14 วัน มีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 9.83-11.40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.76-10.50 องศาบริกซ์ ค่า pH ของไวน์ข้าวสีทองอยู่ในช่วง 4.38 - 4.57 และค่าเปอร์เซ็นต์กรดอยู่ในช่วง 0.81-0.86 ผลการทดสอบทางกายภาพด้านสีของไวน์ข้าวสีทองที่มีการเติมแกลบลงไป พบว่า ปริมาณของแกลบที่เติม 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบความชอบของไวน์ข้าวสีทอง พบว่า คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีของไวน์ข้าวสีทองที่เติมแกลบร้อยละ 15 มีระดับคะแนนการยอมรับสูงสุดเท่ากับ 6.40 ไวน์ข้าวสีทองที่มีการเติมแกลบ 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในด้านของความใส กลิ่นแกลบ รสชาติ และความชอบโดยรวม ของไวน์ข้าวสีทองทั้ง 3 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านของกลิ่นแกลบและรสชาติควรจะปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

2.7 ชา

ชาเป็นผลผลิตทางเกษตรกรรมจากใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชา (Camellia sinensis) นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปหลากหลาย ชายังหมายรวมถึงเครื่องดื่มกลิ่นหอมที่ทำจากพืชตากแห้งชนิดต่าง ๆ นำมาชง หรือ ต้มกับน้ำร้อน ซึ่งชาเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดเป็นอันดับ 2 รองจากน้ำเปล่า (เจียวกู้หลานฟอร์ยู เชียงใหม่, 2556) ชาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ทางการแพทย์ คือ ช่วยป้องกัน บรรเทา หรือรักษาอาการเจ็บป่วย บำรุงสุขภาพให้แข็งแรง รวมทั้งช่วยให้ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบอื่น ๆ (ชุติภัสร์ เรืองวุฒิ, 2552)

ชาเป็นเครื่องดื่มที่แพร่หลายมานาน โดยชาวจีนเป็นชาติแรกที่รู้จักดื่มชา เดิมทำมาจากใบชา ต่อมามีการผลิตชาซึ่งมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามกรรมวิธีในการผลิต เช่น ชาเขียว ชาดำ ชาอู่หลง ชาฝรั่ง (black tea) นอกจากนี้ยังมีการนำพืชชนิดอื่นมาทำเครื่องดื่มเหมือนชา เช่น ใบเตย ใบหม่อน ดอกคำฝอย เรียกว่า ชาสมุนไพร จึงใช้คำว่าชานำหน้า เช่น ชากระเจี๊ยบ ชารางจืด และยังมีการนำธัญพืชและข้าวมาทำเป็นชา ได้แก่

ศศิธร แท่นทอง (2551) รายงานว่ามีการผลิตชาเขียวจากต้นข้าวหอม โดยนำต้นอ่อนข้าวหอม อายุ 14 - 21 วัน มาหั่นตามขวางขนาด 1 - 2 เซนติเมตร นำไปคั่วในกระทะด้วยไฟอ่อน ๆ หรืออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้ง จะได้ชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอม มีซึ่งกลิ่นหอมอ่อน ๆ มีคลอโรฟิลล์ วิตามิน และสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และผลิตชาเขียวจากใบอ่อนข้าวบาร์เลย์ โดยนำใบอ่อนต้นข้าวบาร์เลย์อายุ 15 วัน หั่นตามขวางขนาด 1-2 เซนติเมตร นำไปคั่วในกระทะด้วยไฟอ่อน ๆ จะมีกลิ่น รสชาติ และคุณสมบัติคล้ายคลึงกับชาเขียวของญี่ปุ่น จากการวิจัยพบว่า มีสารช่วยลดความดันโลหิต และมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ในประเทศเกาหลีและประเทศญี่ปุ่นมีการนำชาต้นข้าวบาร์เลย์ซึ่งไม่มีรส มีแต่กลิ่นมาชงให้เด็กดื่ม เพื่อช่วยให้เด็กมีระบบการย่อยอาหารดีขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เด็กจะรู้สึกหิวเร็ว ช่วยกระตุ้นเด็กดูดนมดีขึ้น ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นมีการผลิตชาข้าวบาร์เลย์ขายโดยบริษัทพีเจนท์

กฤษณา สุดทะสาร (2551) รายงานว่า มีการผลิตชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และสกลนคร โดยตัดใบอายุ 14 - 21 วัน นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง หั่นตามขวางขนาด 1 - 2 เซนติเมตร แล้วนำไปคั่วในกระทะด้วยไฟอ่อน ๆ หรือ อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กระทั่งใบข้าวแห้งและมีน้ำหนักคงที่ ก็จะได้ชาเขียวจากใบต้นอ่อนข้าว น้ำชาเขียวจากต้นอ่อนข้าว จะไม่มีรสฝาดเหมือนชาจีน แต่จะมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของข้าว สำหรับปริมาณวิตามินและสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย พบว่า ในชาเขียวจากต้นอ่อนข้าว มีวิตามินซี 4.42 - 6.60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม วิตามินอี 4.18 - 5.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คลอโรฟิลล์ 7.68 - 8.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเบต้ากลูแคน 4.01-4.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีชาเขียวจากต้นอ่อนข้าวสาลี ที่มีโปรวิตามินเอ วิตามินบีรวม วิตามิน ซี อี และ เค เป็นจำนวนมาก มีคุณสมบัติช่วยรักษาโรคภูมิแพ้และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

เพ็ญพิชญา เตียว (2555) รายงานว่า ชา เริ่มเป็นที่นิยมของกลุ่มคนรักสุขภาพ จึงมีการผลิตชาข้าวเหนียวลืมผัว ผลิตภัณฑ์ใหม่จากสำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว เนื่องจากข้าวเหนียวลืมผัวอุดมไปด้วยคุณประโยชน์ทางโภชนาการ โดยทำการคัดแยกสิ่งสกปรก หรือ ข้าวปนออกจากเมล็ดข้าวกล้องเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว นำมาล้างน้ำเพื่อล้างคราบฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ปนมากับเมล็ดข้าวออกไปให้สะอาดอย่างน้อย 1 ครั้ง แล้วนำมาผึ่งลมให้แห้งสะเด็ดน้ำพอหมาด ๆ จากนั้นนำมาคั่วด้วยกระทะ หรือ เครื่องคั่วเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 - 10 นาที จะเริ่มมีกลิ่นหอม ผึ่งเมล็ดข้าวลมให้เย็นแล้วนำไปบรรจุในซองชาที่เตรียมไว้ เก็บในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท หรือในตู้แช่เย็น เวลาดื่มเพียงเทน้ำร้อนในถ้วยน้ำชาปริมาณ 3 ใน 4 ของถ้วย หรือ ประมาณ 150 ซีซี จากนั้นนำซองชาจำนวน 1 ซอง จุ่มในถ้วยน้ำร้อนประมาณ 5 - 10 นาที เพื่อให้ความร้อนของน้ำไปละลายสารอาหารในข้าวออกมา ซึ่งจะมีกลิ่นหอมหวานชวนรับประทาน

สิริการ หนูสิงห์ (2557) ทำการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตชาข้าวก่ำเพาะงอกพร้อมชง เนื่องจากข้าวก่ำเพาะงอกมีสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยนำข้าวก่ำเพาะงอกมาคั่วนาน 5 นาที แล้วนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 นาที ในอัตราส่วนระหว่างข้าวก่ำต่อน้ำเท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนัก พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้น้ำชาข้าวก่ำที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด คือ การนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที

ชาในท้องตลาดมีการบรรจุหลายรูปแบบ ได้แก่ ชาผงในภาชนะปิดสนิท (Loose Tea) เป็นชาแห้งที่บรรจุในกระป๋องหรือภาชนะปิดสนิท ชาแห้งอัด (Compressed Tea) เป็นชาแห้งที่อัดแน่นเพื่อสะดวกในการเก็บรักษา ชาแห้งอัดสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าชาแห้งธรรมดา ชาแท่งหรือชาแผ่น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

(Tea Sticks) เป็นการบรรจุชารูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นแท่งบรรจุชาสำหรับ 1 ที่ ชาสำเร็จรูป (Instant Tea) เป็นน้ำชาเข้มข้นที่ถูกทำให้แห้งเป็นผง หรือ เกล็ดละลายน้ำ สะดวกต่อการบริโภคและขนส่ง ชาถุง (Tea Bags) เป็นชาที่บรรจุถุงกระดาษ หรือ ถุงผ้าไหมขนาดเล็ก ทำให้ง่ายและสะดวกต่อการชง แต่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ ส่วนใหญ่เป็นชาเกรดต่ำลงมา ชาพร้อมดื่ม (Ready to Drink Teas) เป็นน้ำชาที่บรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำชาธรรมดา น้ำชาที่เติมกลิ่นและสี ทำให้สะดวกต่อการบริโภคและขาย น้ำชาประเภทนี้เป็นที่นิยมของวัยรุ่น โดยเฉพาะประเทศที่มีอากาศร้อนและนิยมดื่มชาเย็น (เดอะรีเฟรชเชอร์, 2552)

2.8 การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับ (Acceptance test) เป็นการทดสอบระดับการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้ในการวิจัยทางด้านผลิตภัณฑ์อาหาร โดยใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสเป็นเครื่องมือทดสอบ วิธีการทดสอบนี้นิยมใช้กันมากที่สุด การทดสอบโดยการใช้สเกล (Hedonic scaling) ถูกพัฒนาขึ้นหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อตรวจวัดความต้องการอาหารและลักษณะของอาหารที่ต้องการของกองทัพ โดยสถาบัน Quartermaster Food and container Institute นำสเกลแบบ 7-point hedonic scaling มาใช้เป็นครั้งแรก เพื่อตรวจสอบความชอบรายการอาหารของทหาร ในปี 1592 สเกล 7 จุด ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องมือในการสำรวจลักษณะของอาหาร และสเกลแบบ 9-point hedonic scaling ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1955 พบว่า มีความไวมากกว่าสเกลที่สั้น ต่อมาสเกลแบบ 9 จุด ได้รับการยอมรับกว้างขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสอื่น ๆ พบว่า การทดสอบแบบ hedonic scaling เป็นการทดสอบที่ง่ายและเข้าใจง่ายที่สุด โดยมีข้อดี คือ สเกลแบบ hedonic scale สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างในกลุ่มของลักษณะความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในการสำรวจภาคสนาม สามารถกำหนดระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ และการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการทดสอบแบบ Hedonic scaling มีความง่าย แม้ว่าประชากรตัวอย่างจะมีจำนวนมาก (สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2559)

การให้คะแนนความชอบ (hedonic scaling test) เป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ บอกความชอบและไม่ชอบ ออกมาเป็นสเกลความชอบ (hedonic scale) โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบครั้งละ 1 ตัวอย่าง (monadically serve, one at a time) ในสเกลความชอบอาจจะมีการใช้คำต่าง ๆ เช่น ดีเลิศ (excellent) ดีมาก (very good) ดี (good) หรือไม่ดี (poor) เป็นต้น สเกลที่ใช้อาจเป็น 5 หรือ 7 แต่สเกลความชอบที่นิยมใช้ คือ สเกลความชอบ 9 คะแนน (Nine-point hedonic scale) (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, 2559)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี