

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญที่สุดของประเทศไทยเนื่องจากการเกษตรส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีการปลูกข้าวเป็นพืชหลัก โดยในปี 2555 ประเทศไทยได้ส่งออกข้าวสารในปริมาณ 6.50 ล้านตัน ซึ่งสร้างรายได้ให้กับประเทศสูงถึง 135,000 ล้านบาท

ปัจจุบันประเทศไทยต้องประสบกับสภาวะที่ต้องเสียตลาดบางส่วนให้กับประเทศคู่แข่งอย่างอินเดียและเวียดนาม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556 : 1 - 14) ด้วยเหตุนี้คุณภาพของข้าวไทยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ข้าวของประเทศไทยเป็นที่ยอมรับและเป็นที่ต้องการของตลาดโลก

ดังนั้นพันธุ์ข้าวจึงนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกในการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพการผลิตข้าวโดยไม่ต้องเพิ่มต้นทุนการผลิตเพราะถ้าเกษตรกรปลูกพันธุ์ข้าวที่ให้ปริมาณผลผลิตสูง มีคุณภาพที่ตรงกับความต้องการของตลาดทั้งยังมีความต้านทานต่อโรคและแมลง และมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นแล้วก็เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าว หรือเป็นการลดต้นทุนการผลิตข้าวได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานต่อโรคไหม้ข้าว หรือมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยกระโดดหลังขาวซึ่งทางสำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมการข้าวได้ดำเนินงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวอย่างต่อเนื่องจนได้ข้าวพันธุ์รับรอง พันธุ์แนะนำ และพันธุ์ทั่วไปให้เกษตรกรปลูกในระบบนิเวศน์ต่าง ๆ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2556, จาก <http://www.brrd.in.th>) ตัวอย่างพันธุ์ข้าวที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมีรายละเอียดที่มีการวิจัยแล้วดังนี้

ข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. PTT90071-93-8-1-1)

ชื่อพันธุ์	ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1)
ชนิดของพันธุ์ข้าว	ข้าวนาสวน, ข้าวนาชลประทาน (แบ่งตามนิเวศวิทยาการปลูก) ข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง (แบ่งตามการตอบสนองของช่วงแสง)
แหล่งแนะนำให้ปลูก	พื้นที่นาชลประทานภาคกลาง
ผู้ผสม	BKNA6-18-3-2 / PTT85061-86-3-2-1
ประวัติพันธุ์	

พ.ศ. 2533	ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีได้ผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 กับสายพันธุ์ PTT85061-86-3-2-1
พ.ศ. 2534 - 2536	คัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูลจากชั่วที่ 2 - 6 จนได้สาย- พันธุ์ PTT90071-93-8-1-1
พ.ศ. 2536	ปลูกศึกษาพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี
พ.ศ. 2537 - 2538	ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี
พ.ศ. 2539 - 2540	ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานีวิเคราะห์คุณภาพ เมล็ดทางกายภาพและทางเคมีทดสอบความต้านทานต่อ โรคแมลงและศัตรูข้าวที่สำคัญ
พ.ศ. 2540 - 2541	ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในนารายณ์และทดสอบ เสถียรภาพการให้ผลผลิต
พ.ศ. 2541 - 2542	ปลูกขยายพันธุ์เป็นข้าวพันธุ์ดัก (พันธุ์ดัก หมายถึง สาย พันธุ์เด่นที่คาดว่าจะเสนอเป็นพันธุ์รับรองโดยผลิตแบบ เมล็ดพันธุ์คัดและพันธุ์หลักเพื่อพร้อมที่จะออกแนะนำแก่ เกษตรกรได้)
การรับรองพันธุ์	คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตรมีมติให้ เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2543 และให้ชื่อว่า “ปทุมธานี 1”
ลักษณะประจำพันธุ์	เป็นพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวเจ้าหอม ลักษณะทั่วไป - ลำต้นมีความสูงประมาณ 104 - 133 ซม. - ทรงกอตั้งใบสีเขียว, มีขนกาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวทำมุม 45 องศากับลำต้น - รวงอยู่ใต้ใบธง - อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104 - 126 วัน ลักษณะเมล็ดข้าว - ข้าวเปลือกมีสีฟางมีขนส่วนมากมีหางสั้น (ดังภาพที่ 1) - ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3 - 4 สัปดาห์

	- ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง กว้าง × ยาว × หนา = $2.1 \times 7.6 \times 7.0$ มม.
	คุณสมบัติของข้าวสุก
	- มีปริมาณอะมิโลส 17.8%คุณภาพข้าวสุกนุ่ม ค่อนข้างเหนียวและมีกลิ่นหอมอ่อน
ผลผลิต	ประมาณ 650 - 774 กิโลกรัมต่อไร่
ลักษณะเด่น	เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสงที่ให้ปริมาณผลผลิตสูง คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช
	- ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล - ต้านทานเพลี้ยกระโดดหลังขาว - ต้านทานโรคไหม้ - ต้านทานโรคขอบใบแห้ง
ข้อควรเฝ้าระวัง	ความอ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรูพืช - อ่อนแอต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว - อ่อนแอต่อโรคใบหงิก - อ่อนแอต่อโรคโรคใบสีส้ม ไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูงโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนเพราะถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ฟางอ่อน, ต้นข้าวล้มและผลผลิตลดลง (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2556, จาก http://www.brrd.in.th)
ข้าวพิษณุโลก 2 (<i>Oryza sativa</i> L. cv. PSL91014-16-1-1-5-1)	
ชื่อพันธุ์	พิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2)
ชนิดของพันธุ์ข้าว	ข้าวนาสวน, ข้าวนาชลประทาน (แบ่งตามนิเวศวิทยา การปลูก) ข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง (แบ่งตามการตอบสนองของช่วงแสง)
แหล่งแนะนำให้ปลูก	ภาคเหนือตอนล่างในพื้นที่นาชลประทานหรือนาซึ่งควบคุมน้ำได้โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งมีการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

คู่ผสม	CNTRLR81122-PSL-37-2-1 / SPRLR81041-195-2-1 // IR56
ประวัติ	ในปี พ.ศ. 2533 ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกได้ผสมพันธุ์ข้าวแบบผสมสามทางระหว่างพันธุ์ผสมชั่วที่ 1 ของสายพันธุ์ CNTRLR81122-PSL-37-2-1 และ SPR 81041-194-2-1 ของไทยกับ IR56 ของสถาบันวิจัยข้าว นานาชาติ (IRRI) จากนั้นได้ทำการคัดเลือกข้าวพันธุ์ผสมที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกจนคัดเลือกได้สายพันธุ์ PSL91014-16-1-1-5-1 เปรียบเทียบผลผลิตที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกสถานีทดลองข้าวโคกตำโรงและสถานีทดลองข้าวชัยนาท
การรับรองพันธุ์	คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตรมีมติให้เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2543 และให้ชื่อว่า “พิษณุโลก 2”
ลักษณะประจำพันธุ์	เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ลักษณะทั่วไป - ต้นค่อนข้างเตี้ย มีความสูงประมาณ 114 ซม. - ทรงกอตั้ง, แดกกอดี, ปล้องและกาบใบมีสีเขียว - ใบมีสีเขียวเข้ม, มีขนบนใบ, ใบตรงตั้งตรงและใบแก่ซ้ำ - รวงแน่นปานกลางและคอรวงสั้น - ระเง้าค่อนข้างถี่ ฟางแข็ง - อายุเก็บเกี่ยว 119 - 121 วัน ลักษณะเมล็ดข้าว - เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง (ดังภาพที่ 2) - ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ - ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก กว้าง × ยาว × หนา = 2.5 × 10.5 × 1.9 มม. - ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง กว้าง × ยาว × หนา = 2.1 × 7.9 × 1.6 มม. คุณสมบัติของข้าวสุก - มีปริมาณอะมิโลส 28.6%

ผลผลิต	- คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ประมาณ 807 กิโลกรัมต่อไร่
ลักษณะเด่น	ให้ผลผลิตสูงและมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิต คุณภาพการสีดีและท้องไข่น้อย ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช - ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล - เพลี้ยกระโดดหลังขาว - เพลี้ยจักจั่นสีเขียว
ข้อควรระวัง	ความอ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรูพืช - อ่อนแอต่อแมลงบั่ว - อ่อนแอต่อโรคไหม้ - อ่อนแอต่อโรคใบหงิก เมล็ดค่อนข้างร่วงง่าย (จุลมณี ไพฑูรย์เจริญลาภ, จุรี ภัทรกุลนิษฐ์, ธนันท หาญเกริกไกร, วัชรารักษ์ พวงแก้ว, ไมตรี ปรีชา, อำนวย กนกสิงห์, อมรพันธุ์ ชูมิ, นภาพร กลางท่าไค้ และพรทิพย์ จันทรแจ้ง. 2552 : 30)

ข้าวสังข์หยดพัทลุง (*Oryza sativa* L. cv. KGTC82239-2)

ชื่อพันธุ์	สังข์หยดพัทลุง (Sung Yod Phatthalung)
ชนิดของพันธุ์ข้าว	ข้าวนาสวน, ข้าวนาชลประทาน (แบ่งตามนิเวศวิทยา การปลูก) ข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง (แบ่งตามการตอบสนอง ของช่วงแสง)
แหล่งที่แนะนำให้ปลูก	พื้นที่ปลูกข้าวนาปี จังหวัดพัทลุง
ประวัติพันธุ์	ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ปรากฏแหล่งปลูกดั้งเดิมในจังหวัดพัทลุง
พ.ศ.2525 - 2529	ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงได้เก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในภาคใต้มีตัวอย่างพันธุ์ข้าวสังข์หยดจาก 3 แหล่งได้แก่ 1. สังข์หยด (KGTC 82045) จากตำบลโคกทราย อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง

	2. สังข์หยด (KGTC 82239) จากตำบลท่ามะเดื่อ อำเภอ บางแก้ว จังหวัดพัทลุง
	3. สังข์หยด (KGTC 82267) จากตำบลควนขนุน อำเภอ เขาชัยสน จังหวัดพัทลุง
ฤดูนาปี 2531/32	ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงได้เริ่มคัดเลือกพันธุ์สังข์หยด (KGTC 82239) โดยคัดเลือกแบบหมู่ (Mass Selection)
พ.ศ. 2535	ได้สายพันธุ์สังข์หยด (KGTC 82239-2) ต่อมาศูนย์วิจัย ข้าวพัทลุงได้ดำเนินการยื่นคำขอหนังสือรับรองพันธุ์พืช ขึ้นทะเบียนตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518
พ.ศ. 2548	กรมวิชาการเกษตรได้ประกาศออกหนังสือรับรองพันธุ์ พืชขึ้นทะเบียนชื่อพันธุ์ “ข้าวสังข์หยดพัทลุง” เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2548
พ.ศ. 2549	ได้ดำเนินการเสนอคำขอขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ ทางภูมิศาสตร์เมื่อวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2549 ตาม พระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ. 2546 ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์โดยใช้ชื่อ สินค้าว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งได้รับการประกาศ ขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ตั้งแต่วันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2549
ลักษณะประจำพันธุ์	เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสงอ่อน ลักษณะทั่วไป - ทรงตั้งกอ ใบมีสีเขียว - เก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 10 กุมภาพันธ์เมื่อปลูก ตามฤดูนาปีภาคใต้ (ปักดำกลางเดือนกันยายน) ลักษณะเมล็ดข้าว - เมล็ดข้าวเปลือกมีสีฟางมีขนาด กว้าง × ยาว = 1.84 × 9.26 มม. - เมล็ดข้าวกล้องมีสีแดงเข้มมีขนาด กว้าง × ยาว = 1.76 × 6.53 มม. - ข้าวซ้อมมือมีสีแดงปนขาว (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดข้าวกล้องและเมล็ดข้าวขาวของข้าวปทุมธานี 1
ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2556, จาก
<http://www.brrd.in.th>



ภาพที่ 2 ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวขาวของข้าวพิษณุโลก 2
ที่มา : ฐานข้อมูลพันธุ์ข้าวรับรองของไทย. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน จาก
<http://www.brrd.in.th>



ภาพที่ 3 ลักษณะข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ และข้าวขาวของข้าวสังข์หยดพัทลุง
ที่มา : ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2555, จาก
<http://kkn-rsc.ricethailand.go.th>

คุณสมบัติของข้าวสุก

- มีปริมาณอะมิโลส 14.23%
- คุณภาพข้าวสุกนุ่ม (สำเร็จ แซ่ตัน. 2553 : 17)

ผลผลิต

เฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อควรระวัง

อ่อนแอต่อโรคไหม้

ลักษณะเด่นทางคุณค่าโภชนาการ

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุงในรูปแบบข้าวซ้อมมือเปรียบเทียบกับข้าวกล้องทั่วไป 100 กรัมโดยกองโภชนาการ กรมอนามัยพบว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณโปรตีน วิตามินบี 2 และฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวกล้องทั่วไป โดยเฉพาะในอาเซียนสูงกว่าข้าวกล้องทั่วไปถึง 66 เปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการในตัวอย่างข้าว 100 กรัม (สำเร็จ แซ่ตัน. 2548 : 28)

สารอาหาร	ข้าวกล้องทั่วไป	ข้าวกล้องพันธุ์ สังข์หยดพัทลุง
โปรตีน (ก.)	7.60	8.30
วิตามินบี 1 (มก.)	0.34	0.18
วิตามินบี 2 (มก.)	0.05	0.06
ไนอาซีน (มก.)	0.62	3.97
ไขมัน (ก.)	1.10-2.60	1.40
กาก (ก.)	0.80-1.00	0.90
เถ้า (ก.)	1.20-1.30	0.90
เหล็ก (มก.)	1.60	0.52
ฟอสฟอรัส (มก.)	107.00	165.00

แอนโทไซยานินกับข้าวที่มีสี

ลักษณะเด่นที่น่าสนใจของข้าวสังข์หยดพัทลุงคือ ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง เมื่อพิจารณาถึงรงควัตถุซึ่งเป็นสารสำคัญที่ทำให้ข้าวเกิดสีต่าง ๆ พบว่ารงควัตถุหลักที่มีอยู่ในเมล็ด

ข้าวมีสีคือแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) (สุพิสา สมโต. 2547 : 35 - 36) ซึ่งพบในบริเวณเนื้อเยื่อชั้นนอก (Pericarp) และเนื้อเยื่อชั้นใน (Aleurone Layer) ของเมล็ดดังที่ปรากฏในงานวิจัยของ Chen, Nagao, Itani and Irifune (2012 : 2783 - 2788) ที่วิเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวมีสีสายพันธุ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวสีแดงได้แก่พันธุ์ Benisarasa, Tsukushiakamochi, Beniroman และ Tohboshi มีปริมาณแอนโทไซยานิน 7.9 - 34.4 mg/100g ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdel - Aal, Young and Rabalski (2006 : 4696 - 4704) ที่ศึกษาองค์ประกอบของแอนโทไซยานินในเมล็ดธัญพืชสีแดง พบว่า ข้าวสีแดง มีปริมาณแอนโทไซยานิน $93.5 \pm 1.3 \mu\text{g/g}$ และเมื่อตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารกลุ่มแอนโทไซยานิน พบว่าข้าวสีแดงทั้งสี่สายพันธุ์ตรวจพบสารกลุ่มแอนโทไซยานินชนิด Malvidin เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากข้าวสีแดงที่ปลูกและมีขายในท้องตลาดในประเทศแคนาดาที่ตรวจพบสารกลุ่ม แอนโทไซยานินมากถึง 4 ชนิด ได้แก่ Cyanidin-diglucoside ($1.7 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$), Cyanidin-3-glucoside ($14.0 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$), Cyanidin-3-rutinoside ($1.3 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$) และ Peonidin-3-glucoside ($2.5 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$) (Abdel - Aal, et al. 2006 : 4696 - 4704) สำหรับข้าวสีแดงสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย Radda Sompong, Siebenhandl - Ehn, Linsberger - Martin and Berghofer (2011 : 137) ได้วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินชนิด Cyanidin-3-glucoside พบว่า ข้าวสีแดงสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทยมีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด Cyanidin-3-glucoside ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณแอนโทไซยานินชนิด Cyanidin-3-glucoside ในข้าวสีแดงพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย (Radda Sompong, et al. 2011 : 137)

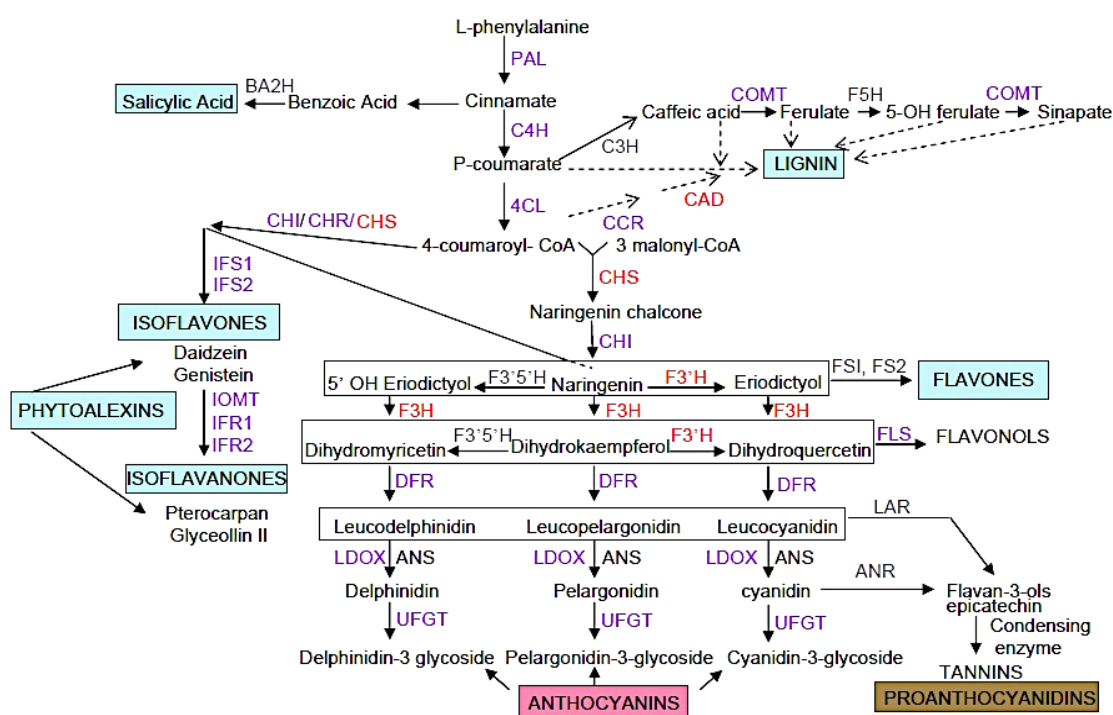
สายพันธุ์ข้าว	Cyanidin-3-glucoside (mg/100g)
Bahng Gawk	1.25 ± 0.07
Haek Yah	1.05 ± 0.06
Niaw Look Pueng	1.38 ± 0.07
Sung Yod Phatthalung	0.60 ± 0.03
Niaw Dawk Yong	1.39 ± 0.03
Niaw Lan Tan	1.01 ± 0.04

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มของสีของเมล็ดข้าวจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ, ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่อยู่ในเมล็ดข้าวรวมทั้งความแตกต่างของ

สายพันธุ์, การเพาะปลูก, ความอ่อนแก่, ระยะเวลาในการงอก, อุณหภูมิหรือแสงแดดซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์และการสลายตัวของแอนโทไซยานินรวมถึง สาร พฤษเคมีชนิดอื่น ๆ ในเมล็ดข้าว (นิพัทธา ชาติสุวรรณ และวิพัทธ์ อารีกุล. 2553 : 253 , 257 ; ดวงมล ลีมจันทร์ และวิจิตา จันทราพรชัย. 2550 : 7)

การสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืช

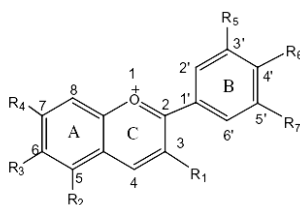
สารกลุ่มแอนโทไซยานินเป็นสารสำคัญในรงควัตถุของพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นสาร Secondary Metabolite ในกระบวนการสังเคราะห์สารของพืชโดยพืชจะสร้างแอนโทไซยานินขึ้นในกระบวนการ Secondary Metabolism ; Phenylpropanoid Metabolic Pathway โดยมีสารตั้งต้นคือ L-phenylalanine ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Phenylpropanoid Metabolic Pathway (Zabala, Zou, Tuteja, Gonzalez, Clough and Vodkin. 2006 : 6 - 26)

เราสามารถพบสารกลุ่มแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแวคิวโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผลและใบของพืชดอก (Angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร หัวผักกาด ผักโขม

และพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏอยู่ในส่วนเนื้อเยื่อพืชได้แก่ ราก หัวใต้ดินของพืช ลำต้น หน่อ ย่อและพืชเมล็ดเปลี่ยนต่าง ๆ เช่นเฟิร์นและไบโอไฟต์ สารกลุ่มแอนโทไซยานินประกอบด้วย ส่วนของอะไกลโคน (Aglycone) น้ำตาล (Sugar) และหมู่เอซิล (Acyl Group) ปัจจุบันมีการค้นพบ แอนโทไซยานินมากกว่า 300 ชนิด แต่ละชนิดมีสีสัณและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป แม้ว่าแอนโทไซยานินจะมีด้วยกันหลายชนิดแต่ทุกชนิดจะมีโครงสร้างหลักเดียวกันคือ แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidins) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ในโมเลกุลโดยมีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ (Glycoside) ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ Flavylium Cation (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2553 : 2) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างของแอนโทไซยานิดิน (Castañeda - Ovando, Pacheco - Hernández,

Páez - Hernández, Rodríguez. 2009 : 861)

จากรูปจะเห็นว่าแอนโทไซยานิดินประกอบด้วย Aromatic Ring (A) สร้างพันธะกับ Heterocyclic Ring (C) ซึ่งมีออกซิเจนอยู่และ Heterocyclic Ring จะสร้างพันธะกับ Aromatic Ring (B) (Castañeda - Ovando et al. 2009 : 860) ในธรรมชาติสามารถพบแอนโทไซยานิดิน 17 ชนิด (Kong, Chia, Goh, Chia and Brouillard. 2003 : 924) ดังตารางที่ 3

จากภาพที่ 5 และตารางที่ 3 ซึ่งให้เห็นว่าแอนโทไซยานิดินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันจากสาเหตุดังนี้

1. จำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) ในโมเลกุล
2. ระดับการเกิดเมทิลเลชัน (Degree of Methylation) ของหมู่ไฮดรอกซิล
3. ธรรมชาติ จำนวนและตำแหน่งของการเกิดไกลโคซิเลชัน (Glycosylation)
4. ธรรมชาติและจำนวนของอะโรมาติก (Aromatic) หรือ Aliphatic Acids ที่อยู่ใกล้กับ Glycosyl Residue

อย่างไรก็ตามพบว่ามีแอนโทไซยานิดินเพียง 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อยในพืช ได้แก่ Pelargonidin (Pg), Peonidin (Pn), Cyanidin (Cy), Malvidin (Mv), Petunidin (Pt) และ Delphinidin (Dp) โดย Cyanidin (Cy), Delphinidin (Dp) และ Pelargonidin (Pg) พบมากที่สุดใน Pigment ของ ใบ 80%, ผลไม้ 69% และดอกไม้ 50% ในส่วนโมเลกุลของน้ำตาลที่ต่อกับแอนโทไซยานิดิน

ได้แก่ กลูโคส (Glucose), กาแล็กโตส (Galactose), แรมโนส (Rhamnose), อะราบิโนส (Arabinose), ไดแซคคาไรด์ (disaccharide) และไตรแซคคาไรด์ (Trisaccharide) (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553 : 3) ในส่วนของ Anthocyanidins glycoside ส่วนใหญ่ที่พบมีด้วยกัน 4 Class คือ 3-monosides, 3-biosides, 3,5-diglycosides และ 3,7-diglycosides แต่ที่พบบ่อยที่สุดคือ Cyanidin-3-glucoside (Kong, et al. 2003 : 925)

ตารางที่ 3 ชนิดของแอนโทไซยานินที่พบในธรรมชาติ (Kong, et al. 2003 : 924)

Name	Abbre - viation	Substitution Pattern							Color
		3	5	6	7	3'	4'	5'	
Apigeninidin	Ap	H	OH	H	OH	H	OH	H	Orange
Aurantidin	Au	OH	OH	OH	OH	H	OH	H	Orange
Capensinidin	Cp	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OMe	Bluish-red
Cyanidin	Cy	OH	OH	H	OH	OH	OH	H	Orange-red
Delphinidin	Dp	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	Bluish-red
Europinidin	Eu	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OH	Bluish-red
Hirsutidin	Hs	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	OMe	Bluish-red
6-hydroxycyanidin	6OHCy	OH	OH	OH	OH	OH	OH	H	Red
Luteolinidin	Lt	H	OH	H	OH	OH	OH	H	Orange
Malvidin	Mv	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OMe	Bluish-red
5-methylcyanidin	5-MCy	OH	OMe	H	OH	OH	OH	H	Orange-red
Pelargonidin	Pg	OH	OH	H	OH	H	OH	H	Orange
Peonidin	Pn	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H	Orange-red
Petunidin	Pt	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH	Bluish-red
Pulchellidin	Pl	OH	OMe	H	OH	OH	OH	OH	Bluish-red
Rosinidin	Rs	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	H	Red
Tricetinidin	Tr	H	OH	H	OH	OH	OH	OH	Red

การเกิดสีของแอนโทไซยานิน

การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และหมู่เมทอกซิล (OCH_3) ของ Flavylium Ring เป็นสาเหตุให้แอนโทไซยานินเกิดสีกล่าวคือ การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลจะทำให้เกิดเฉดของสีฟ้า (Blue Shade) ส่วนการเพิ่มจำนวนของหมู่เมทอกซิลจะทำให้เกิดสีแดง (Redness) (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2553 : 3) สอดคล้องกับรายงานของ Stintzing and Carle (2004 : 21) ระบุว่า โครงสร้างที่แตกต่างกันของกระบวนการเกิด Hydroxylation และ Methoxylation ให้เฉดสีตั้งแต่ส้ม - แดง (Pelargonidin) ไปจนถึงน้ำเงิน - ม่วง (Delphinidin) ที่สภาวะ pH ประมาณ 1 เป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งว่า เมื่อทำการทดสอบกับสตอเบอรี่ หัวไชเท้าหรือดอกไม้ที่มีสีแดงที่สภาวะเดียวกัน (pH ประมาณ 1) จะให้สีส้มแดงเนื่องจากพืชเหล่านี้ประกอบด้วยอนุพันธ์ของ Pelargonidin ในขณะที่องุ่นและบลูเบอรี่มี Delphinidin เป็นองค์ประกอบจะให้เฉดสีน้ำเงินม่วง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ว่าการที่พืชมีเฉดสีต่าง ๆ เนื่องจากมีอัตราส่วนของโครงสร้างดังกล่าวที่หลากหลายโดยสีและค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินแต่ละชนิดดังตารางที่ 4

บทบาทของแอนโทไซยานินที่มีในพืช

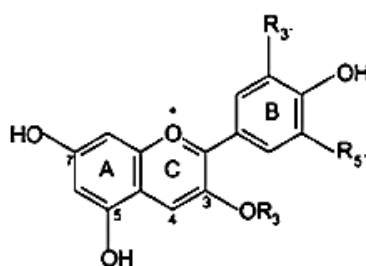
Stintzing and Carle (2004 : 20) กล่าวถึงบทบาทของแอนโทไซยานินที่เกี่ยวข้องกับพืชดังนี้

1. ทำหน้าที่ปกป้องคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ที่อยู่ในออร์แกเนล (Organelles) และคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) จากแสงที่มีความเข้มสูงกล่าวคือ แอนโทไซยานินเป็นตัวช่วยดูดซับรังสีอันตราย
2. เป็นแหล่งสังเคราะห์อาหารแทนคลอโรฟิลล์ที่ถูกทำลายไปซึ่งจะช่วยป้องกันเนื้อเยื่อพืชเมื่อพืชเข้าสู่วัยแก่เนื่องจากแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีความยาวคลื่นเดียวกับคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll B)
3. ในส่วนของพืชที่ไม่ได้รับแสง เช่น บริเวณราก แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่ขนส่ง (Transport Vehicle) สาร Monosaccharide และปรับความดันออสโมติก (Osmotic Adjuster) เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะแห้งแล้งและอุณหภูมิต่ำ
4. ทำหน้าที่เป็นสัญญาณเตือน (Warning Signal) ให้พืช เมื่อเผชิญกับโคโลนี (Colony) ที่เจริญเติบโตเต็มที่ของกลุ่มศัตรูพืชอีกทั้งพบว่า เนื้อเยื่อพืชที่มีแอนโทไซยานินมีการถูกบุกรุกโดย เชื้อรา (Fungi) และสัตว์กินพืชอย่างมาก

5. ช่วยกระตุ้นให้พืชมีการตอบสนองต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Free Radical) เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะเครียด (Stress) ทั้งจากสิ่งมีชีวิต (Biotic) และจากสิ่งไม่มีชีวิต (Abiotic) ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตได้ตามปกติ

6. ทำหน้าที่ในการแพร่พันธุ์พืช

ตารางที่ 4 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้ Acidified Methanol เป็นตัวทำละลาย (Stintzing and Carle, 2004 : 21)



Anthocyanin	R ₃	R _{3'}	R _{5'}	λ _{max} (nm)
Pelargonidin	H	H	H	520
Cyanidin	H	OH	H	535
Delphinidin	H	OH	OH	546
Peonidin	H	OCH ₃	H	532
Petunidin	H	OCH ₃	OH	543
Malvidin	H	OCH ₃	OCH ₃	542
Malvidin	H	OCH ₃	OCH ₃	542
Pelargonidin-3-glucoside	Glc	H	H	516
Cyanidin-3-glucoside	Glc	OH	H	530
Delphinidin 3-glucoside	Glc	OH	OH	543
Peonidin-3-glucoside	Glc	OCH ₃	H	536
Petunidin-3-glucoside	Glc	OCH ₃	OH	546
Malvidin-3-glucoside	Glc	OCH ₃	OCH ₃	546

งานวิจัยที่ทำการศึกษาด้านการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประโยชน์ต่อสุขภาพของแอนโทไซยานิน

ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของมนุษย์และสัตว์จะมีอนุมูลอิสระในกลุ่ม Reactive Oxygen Species (ROS) ได้แก่ Hydroxyl Radical ($\text{OH}^\bullet$), Peroxyl Radical ($\text{ROO}^\bullet$), Superoxide (O_2^-) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) ได้แก่ Nitric Oxide (NO) เกิดขึ้น หากภายในร่างกายมีปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินไปความสามารถที่สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ภายในร่างกายซึ่งได้แก่กลุ่ม Antioxidant Enzyme (Glutathione, Peroxidase, Catalase และ Superoxide Dismutase) และกลุ่มสารประกอบ Antioxidant (Glutathione, Tocopherol หรือ Ascorbic Acid) สามารถจัดการได้ อนุมูลอิสระเหล่านั้นจะเข้าไปทำลายและสร้างความเสียหายต่อโปรตีนไขมันและ DNA ทำให้การทำงานของเอนไซม์รวมทั้งสารพันธุกรรมต่าง ๆ ในร่างกายทำงานผิดปกติ ด้วยเหตุนี้ผู้คนจึงหันมาให้ความสนใจสารที่มีคุณสมบัติในการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่เป็นองค์ประกอบในพืชเพื่อเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการป้องกันร่างกายของมนุษย์ให้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยหลายฉบับทำให้ทราบว่า แอนโทไซยานินมีฤทธิ์ทางชีวภาพและเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

Kong, et al. (2003 : 927) ค้นพบว่า แอนโทไซยานินมีฤทธิ์ในการยับยั้งโรคเบาหวานได้ โดย ทำการทดลองให้หนูเป็นเบาหวานด้วยการฉีด Streptozotocin ควบคู่กับแอนโทไซยานินที่สกัดได้จาก Carbinet Red Wine ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หนูที่ได้รับแอนโทไซยานินมีระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในปัสสาวะและเลือดลดลงอย่างมาก ทั้งยังช่วยป้องกันการสูญเสียมวลกายอันเนื่องจากการได้รับสาร Streptozotocin นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดอนุมูลอิสระในกลุ่ม Free Oxygen Radical และต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Lipid Peroxidation) ได้อีกด้วย

Obi, Usenu and Osayande (1998 : 93 - 98) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแอนโทไซยานินจากดอก *H. rosasinensis* ในการปกป้องการถูกทำลายของตับอันเนื่องมาจากการได้รับสาร Carbon tetrachloride (CCl_4) ในหนู โดยการวัดระดับ Serum Aspartate และกิจกรรมของเอนไซม์ Alanine Amino Transferase ในชั่วโมงที่ 18 หลังจากได้รับสาร CCl_4 ผลการทดลองพบว่าหนูที่ได้รับแอนโทไซยานิน ควบคู่กับ CCl_4 แสดงความเป็นพิษต่อดับ (Hepatotoxicity) น้อยกว่าหนูที่ได้รับ CCl_4 เพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการทดลองในงานวิจัยนี้บ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแอนโทไซยานินในการป้องกันการเกิดพิษในตับอันเกิดจากการได้รับสาร CCl_4

Yoshimoto, Okuno, Yoshinaga, Yamakawa, Yamaguchi and Yamada (1999 : 537 - 541) ระบุว่า ใน Pigment ของมันฝรั่งสีม่วงจะมีสารแอนโทไซยานินชนิด 3-(6,6'-caffeylferulysophoroside)

– 5-glucoside of Cyanidin และ Peonidin ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกลายพันธุ์ของเซลล์ภายใน Microsomal System ของตับหนูอันเกิดจากการได้รับสาร Heterocyclic Amines (HCAs), Trp-P-1, Trp-P-2 และ IQ

Kamei, Hashimoto, Koide, Kojima and Hasegawa (1998 : 447 - 452) ระบุว่า สารสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดจากไวน์แดงสามารถหยุดการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HCT-15) และเซลล์มะเร็งกระเพาะอาหาร (AGS Cell) ได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Koide, Kamei, Hashimoto, Kojima and Hasegawa (1996 : 273 - 277) ที่ได้รายงานว่า สาร Hydrolyzed Anthocyanins ที่สกัดได้จากองุ่นและข้าวสีแดงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ HCT-15 ในระยะ S-phase จนถึง G2-phase ได้อาจกล่าวได้ว่า แอนโทไซยานินช่วยยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งในกระเพาะอาหารลำไส้ใหญ่ และทางทวารหนักได้ เนื่องจากแอนโทไซยานินจะเข้าไปป้องกันอันตรายของเยื่อต่างๆ ในระบบทางเดินอาหารจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Gee and Johnson. 2001 : 1245 - 1255 ; Halliwell, Zhao and Whiteman. 2000 : 819 - 830 ; Kanner and Lapidot. 2001 : 1388 - 1395) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่ระบุว่า การบริโภคสารสกัดเบอร์รี่ซึ่งมีแอนโทไซยานินรวมทั้งฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบมีส่วนช่วยที่ทำให้กิจกรรมและองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารเปลี่ยนไป (Stintzing and Carle. 2004 : 19 - 38) ยิ่งไปกว่านั้นแอนโทไซยานินยังมีประสิทธิภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระชนิด DPPH• และ Super Anion Radicals สูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอีด้วย (Duan, Jiang, Su, Zhang and Shi. 2007 : 1365 - 1371)

กล่าวโดยสรุปคือ ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะเด่นหลายประการทั้งในแง่คุณค่าทางโภชนาการที่มีคุณค่าทางอาหารสูงรวมทั้งเมล็ดข้าวยังมีสารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมายหลายประการ อีกทั้ง เมื่อบริโภคเป็นข้าวสุกก็มีรสชาติที่อร่อย ด้วยเหตุนี้ทำให้ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นกว่าข้าวกล้องพันธุ์อื่น ๆ ส่งผลให้ข้าวสังข์หยดพัทลุงได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคเป็นอย่างมาก แม้ว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงจะเป็นที่ต้องการต่อตลาดมากเพียงใดก็ตาม แต่เกษตรกรที่ปลูกข้าวพันธุ์นี้ ต้องเผชิญกับภาวะเสี่ยงกับการระบาดของโรคไหม้ข้าวในแปลงนาสูงมาก เนื่องจากข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคไหม้ (สำโรง แซ่ตัน. 2553 : 16 – 17)

โรคไหม้ข้าว

โรคไหม้ข้าวเกิดขึ้นจากเชื้อราที่อยู่ใน Class Deuteromycete (Ou, S.H. 1980 : 167-187) มีชื่อว่า *Pyricularia grisea* Sacc. และเรียกเชื้อราชนิดนี้ในระยะสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศว่า *Magnaporthe grisea* Barr. เชื้อราชนิดนี้มีความสามารถทำลายพืชตระกูลหญ้าได้หลายชนิดตั้งแต่ข้าว (*Oryza sativa* L.) ข้าวสาลี (*Triticum aestivum*) และพืชตระกูลมิลเล็ท (*Eleusine* spp., *Echinochloa*

spp., *Panicum* spp. และ *Setaria* spp.) โดยในระยะที่มีการเจริญแบบอาศัยเพศ (Telomorph) เชื้อราจะมีเส้นใยแบบ Biopolar Mating Type Locus คือ การที่เชื้อเข้าผสมพันธุ์โดยใช้เส้นใยของเชื้อที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันทางเพศ (Mating Type) มีรายงานทางวิชาการระบุว่า เชื้อราชนิดนี้ที่แยกได้จากหญ้า Crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) ที่ต่างเพศกันสามารถผสมพันธุ์กันซึ่งจะได้สปอร์ (Ascospore) อยู่ในถุงเรียกว่า Ascus บรรจุอยู่ในเนื้อเยื่อที่เรียกว่า Perithecia

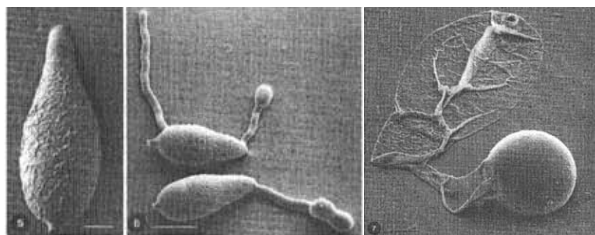
ขบวนการเกิดโรค (Pathogenesis)

Pyricularia grisea สามารถเข้าทำลายข้าวได้ทุกระยะตั้งแต่ระยะกล้าไปจนถึงระยะออกรวง โดยเชื้อจะสร้างสปอร์ (Conidia) (ดังภาพที่ 6) ปลิวไปในอากาศ เมื่อสปอร์ตกบนใบข้าวที่มีสภาพเปียกชื้นนานกว่า 10 ชั่วโมงขึ้นไปสปอร์จะเริ่มงอกเมื่อพบสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ ความชื้นในอากาศสูงและอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเพียง 30 - 90 นาที โดยอาศัยน้ำที่อยู่ผิวใบงอกเส้นใยและสร้าง Appressorium (ดังภาพที่ 7) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 - 4 ชั่วโมงเพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะเพื่อให้ Penetration Peg แทงแทรกตัวเข้าไปในใบและเจริญเติบโตโดยอาศัยอาหารในใบข้าว ทำให้ใบข้าวเกิดเป็นแผลจุดสีน้ำตาลลักษณะแผลคล้ายรูปตา (ดังภาพที่ 8) ขบวนการตั้งแต่สปอร์ของเชื้องอกเส้นใยจนเข้าทำลายในใบข้าวใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 24 - 36 ชั่วโมง (ดังภาพที่ 9) การเข้าทำลายของเชื้อโรคใหม่นี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิค่อนข้างเย็นและความชื้นสูง



ภาพที่ 6 ลักษณะสปอร์ (Conidia) ของเชื้อรา *Pyricularia grisea* ที่มา : Steve Kronmiller.

Retrieved August 8, 2012, from <http://www.apsnet.org>



(a)

(b)

(c)

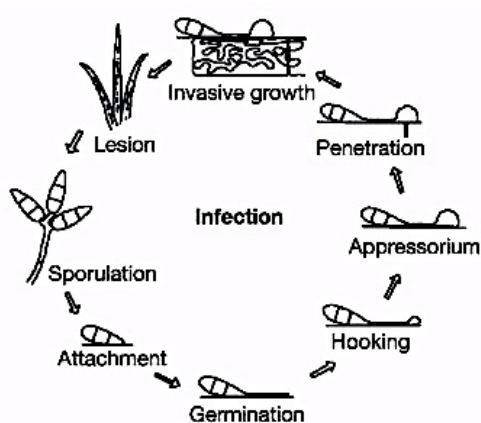
ภาพที่ 7 การงอกของเชื้อรา *Pyricularia grisea* (a) รูปสปอร์ของเชื้อรา *Pyricularia grisea*

(b) สปอร์ที่งอกเส้นใยและเริ่มสร้าง Appressorium เพื่อแทงเส้นใยเข้าไปในใบข้าว (c) สปอร์ที่แทงเส้นใยเข้าไปในใบข้าวแล้วจะเหี่ยวแห้ง (พูนศักดิ์ เมฆวัฒนากาญจน์. 2548 : 7)



ภาพที่ 8 ใบข้าวที่แสดงอาการโรคไหม้ ที่มา : Mrgoutham. Retrieved October 20, 2012, from

<http://mrgoutham.blogspot.com>



ภาพที่ 9 ขบวนการเกิดโรคของ *Pyricularia grisea* (Dean, Talbot, Ebbole, Farman, Mitchell,

Orbach, Thon, Kulkarni, Xu, Pan, Read, Lee, Carbone, Brown, Oh, Donofrio, Jeong,

Soanes, Djonovic, Kolomiets, Rehmeier, Li, Harding, Kim, Lebrun, Bohnert,

Coughlan, Butler, Calvo, Ma, Nicol, Purcell, Nusbaum, Galagan and Birren. 2005 : 981)

ลักษณะอาการการเกิดโรคไหม้

ต้นข้าวสามารถเกิดโรคไหม้ได้ทุกระยะตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะออกรวง เนื่องจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* สามารถเข้าทำลายข้าวในทุกระยะของข้าวที่อยู่เหนือดินได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะออกรวง (ดังภาพที่ 10) โดยพบว่าเชื้อจะทำลายบริเวณใบและรวงมากที่สุด (อภิชาติ วรรณวิจิตร, ธาณี ศรีวงศ์ชัย และธีรยุทธ ตูจันดา. 2552 : 1 - 3) เมื่อเชื้อเข้าทำลายที่ใบจะทำให้ใบข้าวเป็นจุดช้ำน้ำ แผลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมีลักษณะคล้ายรูปตา หากเชื้อเข้าทำลายมากจะทำให้ใบมี ลักษณะไหม้คล้ายโดนน้ำร้อนลวกและจะแห้งตายอย่างรวดเร็ว เรียกลักษณะอาการนี้ว่า “โรคใบไหม้” แต่หากเชื้อเข้าทำลายข้าวในระยะออกรวงเชื้อจะเข้าทำลายที่คอรวงทำให้คอรวงแห้งตายและเมล็ด ข้าวลีบ เรียกลักษณะอาการนี้ว่า “โรคไหม้คอรวง”



ภาพที่ 10 ลักษณะอาการโรคไหม้ในระยะต่าง ๆ ของข้าว (a) ระยะกล้า (Leaf Blast)

(b) ระยะแตกกอ (Collar Blast)

(c) ระยะแตกกอ (Node Blast)

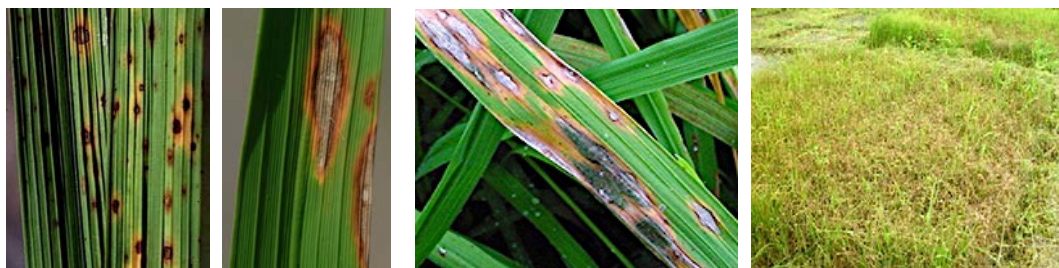
(d) ระยะออกรวง (Panicle Blast) ที่มา : International maize and wheat improvement center. Retrieved September 18, 2013, from <http://knowledgebank.irri.org>

ลักษณะอาการโรคไหม้ในระยะต่าง ๆ ของข้าว

ระยะกล้า (Leaf Blast)

เมื่อเชื้อเข้าทำลายข้าวในช่วง 1 - 2 วันแรก ข้าวจะปรากฏอาการของโรคเป็นจุดสีน้ำตาลขนาด 1 - 2 มม. (ดังภาพที่ 11 a) เมื่อเชื้อโรคเข้าทำลายข้าวได้ 3 - 5 วัน แผลจะเริ่มขยายขนาดใหญ่ขึ้นและเปลี่ยนเป็นจุดสีเทาลักษณะช้ำน้ำขนาดของแผลประมาณ 2 - 3 มม. ต่อมาแผลจุดช้ำน้ำจะเปลี่ยนเป็นรูปตาสีเทาขอบแผลสีน้ำตาลขนาดของแผลกว้างประมาณ 3 - 5 มม. (ดังภาพที่ 11 b) และยาว 5 - 15 มม. อาการเช่นนี้จะพบมากเมื่อเชื้อเข้าทำลายได้ 7 - 10 วัน ในกรณีที่มีการ

ระบาตรุนแรงจะพบจุดช้ำน้ำในปริมาณมากทั่วทั้งใบทำให้ใบแห้งตายคล้ายถูกน้ำร้อนลวก (ดังภาพที่ 11 c) หรือลักษณะของแผลรูปตาติดต่อกันทำให้ใบแห้งตายได้เช่นเดียวกันและในที่สุดทำให้ต้นกล้า พุบตายได้ (ดังภาพที่ 11 d)



(a)

(b)

(c)

(d)

ภาพที่ 11 ลักษณะอาการโรคไหม้ของต้นข้าวในระยะกล้า ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.brrd.in.th>

ระยะแตกกอ (Collar Blast, Node Blast)

เชื้อโรคไหม้จะเข้าทำลายต้นข้าวในระยะนี้บริเวณใบ กาบใบ ข้อต่อใบ และข้อต่อลำต้น อาการส่วนใหญ่จะพบจุดสีน้ำตาลรูปตาตรงกลางแผลเป็นสีเทา ขนาดแผลจะใหญ่กว่าระยะต้นกล้า หากเชื้อเข้าทำลายบริเวณข้อต่อใบ (Collar Blast) (ดังภาพที่ 12 a) และข้อต่อลำต้นต้นข้าว (Node Blast) (ดังภาพที่ 12 b) จะปรากฏแผลมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ใบข้าวจะหลุดหรือพับงาย



(a)



(b)

ภาพที่ 12 แสดงลักษณะอาการโรคไหม้ของข้าวในระยะแตกกอ (a) Collar Blast (b) Node Blast
ที่มา Groth. Retrieved September 18, 2013, from <http://en.wikipedia.org>

ระยะออกรวง (Panicle Blast)

เชื้อโรคไหม้จะเข้าทำลายข้าวที่รวงจนถึงคอรวง โรคไหม้ในระยะนี้ เรียกว่า “โรคไหม้ รวง” (Panicle Blast) โดยสปอร์ของเชื้อจะงอกเส้นใยเข้าทำลายรวงข้าว ทำให้รวงข้าวมีเมล็ดลีบ เปลือกเมล็ดข้าวมีสีเทาดำของสปอร์ของเชื้อ ในกรณีที่รวงข้าวสามารถยืดยื่นมาก่อนที่เชื้อโรคไหม้จะเข้า ทำลายเชื้อก็ยังสามารถเข้าทำลายที่คอรวงทำให้คอรวงมีสีเทาดำ รวงข้าวมีลักษณะเมล็ดที่ไม่สะอาด และลีบเป็นจำนวนมาก (ดังภาพที่ 13) ถ้าเกิดการระบาดอย่างรุนแรงจะพบรวงข้าวลีบ รวงข้าว ที่เชื้อเข้าทำลายจะหักง่าย



ภาพที่ 13 ลักษณะอาการโรคไหม้ของข้าวในระยะออกรวง ที่มา : Jia. Retrieved September 18, 2013, from <http://www.plantmanagementnetwork.org>

การควบคุมโรคไหม้

ปัจจุบันวิธีการควบคุมโรคไหม้ที่นิยมในปัจจุบันมีด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่ การปลูกข้าว พันธุ์ต้านทานโรคไหม้และการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีข้อดีและข้อเสีย ดังต่อไปนี้

ข้อดีของการปลูกพันธุ์ข้าวที่ต้านทานโรคไหม้

1. เกษตรกรสามารถรับเทคโนโลยีได้โดยตรงและง่ายต่อการส่งเสริม
2. เกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ เพราะเกษตรกรเสียค่าเมล็ดพันธุ์ อย่างเดียวเท่านั้นและไม่จำเป็นต้องใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชเลย
3. ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม เกษตรกรและผู้บริโภคที่ไม่ต้องเสี่ยงกับสารเคมีตกค้างในข้าว (พูนศักดิ์ เมฆวัฒนากาญจน์. 2548 : 33)

พันธุ์ข้าวที่ต้านทานโรคไหม้ที่ทางสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าวแนะนำมี ดังนี้

ภาคกลาง แนะนำให้ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 60, สุพรรณบุรี 90, ชัยนาท 1, ปราจีนบุรี 1, พลายงาม, คลองหลวง 1 และพิษณุโลก 1

ภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ แนะนำให้ปลูกข้าวพันธุ์สุรินทร์ 1, เหนียวอบล 2, เหนียวแพร่, สันป่าตอง 1, หางยี่ 71, กุ่มเมืองหลวง, ขาวโปร่งไคร้และน้ำรู่

ภาคใต้ แนะนำให้ปลูกข้าวพันธุ์ดอกพะยอม (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.brrd.in.th>)

ข้อเสียของการปลูกพันธุ์ข้าวที่ต้านทานโรคไหม้

1. ข้าวพันธุ์ต้านทานโรคไหม้มีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อรา

Pyricularia grisea ได้เพียงระยะเวลาดสั้น เนื่องจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* มีความความแปรปรวนเปลี่ยนแปลง ได้ในระยะเวลาสั้นและมีความหลากหลายมาก ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่

- เชื้อสามารถเกิดการกลายพันธุ์และมีความแปรปรวนทางพันธุกรรม
- เชื้อสามารถเกิดการรวมตัวของยีนแบบ Parasexual
- เชื้อสามารถสืบพันธุ์แบบใช้เพศในสภาพควบคุม
- เชื้อเกิดการเคลื่อนย้ายประชากร

นอกจากนี้ในรายงานวิจัยการศึกษาประชากรเชื้อโรคไหม้ในประเทศไทยพบว่า เชื้อรา *Pyricularia grisea* ที่พบในประเทศไทยจะมีความแปรปรวนและความหลากหลายมากกว่าแหล่งปลูกข้าวอื่น ๆ ของโลกโดยเชื้อมีความแตกต่างไปตามแหล่งปลูกข้าว ฤดูปลูกและระยะการเจริญเติบโตของข้าว ด้วยเหตุนี้ทำให้ในประเทศไทยพบการระบาดของโรคไหม้อยู่เป็นประจำ แม้ว่านักปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้พัฒนาพันธุ์ข้าวต้านทานโรคไหม้ใหม่ ๆ ออกมาได้แต่เมื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูกได้ไม่นานเชื้อก็สามารถเข้าทำลายพันธุ์ข้าวต้านทานโรคเหล่านั้นได้ (พูนศักดิ์ เมฆวัฒนา กาญจน์. 2548 : 1 - 3 , 51 ; ชูลีกร ลิโนณลาน, สมใจ สาลีโท และณราวุฒิ ปิยโชติสกุลชัย. 2552 : 13 - 14)

2. ข้าวต้านทานโรคไหม้บางพันธุ์ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากไม่เป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค เช่น ข้าวพันธุ์หางยี่ 71 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานโรคไหม้แต่มีข้อจำกัดคือ ฟางอ่อน เมื่อข้าวถึงสุกจะไม่มียี่นหอมทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (สมใจ สาลีโท และคณะ. 2554 : 27)

ข้อดีของการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา

สารเคมีกำจัดเชื้อราได้แก่ Benomyl, Validamycin A, Neosozin, Thiophanate-methyl เป็นต้น ซึ่งการใช้สารเคมีในการกำจัดเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคไหม้ในข้าวเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในเกษตรกรเนื่องจาก

1. เมื่อมีการระบาดของโรคไหม้ขั้นรุนแรงการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราจะทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการระบาดของโรคไหม้ได้ดีมาก (Sorawee Kleeekron. 2005 : 7)

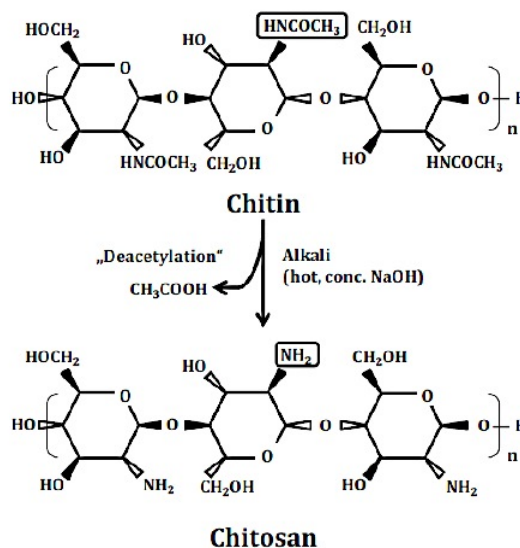
2. เกษตรกรสามารถปลูกข้าวพันธุ์ใดก็ได้

ข้อเสียของการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา

1. เกษตรกรต้องรับภาระต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นและโดยทั่วไปเกษตรกรจะใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราโดยไม่คำนึงถึงต้นทุนการผลิตเพราะการใช้สารเคมีในแปลงนาที่มีการระบาดของโรคไหม้ในบางพื้นที่ก็ไม่คุ้มทุน
2. เป็นอันตรายต่อเกษตรกร ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม
3. เชื้อก่อโรคไหม้สามารถดื้อต่อสารกำจัดเชื้อรา มีรายงานวิจัยที่ได้ระบุว่า เชื้อรา *Pyricularia grisea* มีความแปรปรวนสูงและเปลี่ยนแปลงได้ง่ายทำให้เชื้อมีการกลายพันธุ์ เป็นเชื้อสายพันธุ์ใหม่ๆ (Correa - Victoria and Zeigler, 1993 : 1029 - 1035) ที่มีรูปแบบแปลกไปตลอดจนระดับความรุนแรงของเชื้อราทำให้เชื้อเกิดการกลายพันธุ์ดื้อต่อสารกำจัดเชื้อรา Benomyl สูง (พูนศักดิ์ เมฆวัฒนากาญจน์, 2548 : 1 - 3)

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่าวิธีการควบคุมโรคไหม้ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดหลายประการส่งผลให้ในขณะนี้การศึกษาระบบการเกี่ยวกับกลไกการป้องกันตนเองของพืชกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก มีงานวิจัยที่ค้นพบว่า ไคโตซานซึ่งเป็นสารประกอบจากธรรมชาติ ในกลุ่มไบโอพอลิเมอร์มีความสามารถในการฆ่าเชื้อราก่อโรคชนิดต่าง ๆ ได้ ดังระบุในรายงานวิจัย ของ Rodríguez, et al. (2007 : 206 - 215) ที่ได้ระบุว่าไคโตซานมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโต ของเส้นใยของเชื้อรา *Pyricularia grisea* ได้สูงถึง 77% อีกทั้งยังสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ ของเชื้อรา *Pyricularia grisea* ได้อีกด้วย นอกจากนี้ไคโตซานยังมีคุณสมบัติเป็นตัวกระตุ้น (Elicitor) ชนิด Pathogen - Associated Molecular Patterns (PAMPs) หรือโมเลกุลที่ถูกจดจำได้ว่ามีคุณสมบัติ เป็นเชื้อโรค เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานมีความคล้ายคลึงกับไคตินที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ในเชื้อราหลายชนิด (ยุรฉัตร ยอดโยธี, 2554 : 26) ทำให้พืชเกิดการตอบสนอง ต่อการป้องกันตนเองโดยสร้างสาร Secondary Signaling Molecules ได้แก่ Jasmonic Acid (JA) Reactive Oxygen Species (ROS) เพื่อส่งสัญญาณให้พืชเกิดการแสดงหรือกระตุ้น Transcription Factors ไปกระตุ้นยีนเป้าหมาย (Target Genes) เพื่อสังเคราะห์สารกลุ่ม PR proteins เช่น เอนไซม์ Chitinase, β -1,3-glucanase, Peroxidase รวมทั้งเอนไซม์ที่ใช้ในระบบการสังเคราะห์สารกลุ่ม Phytoalexins เพื่อไปทำลายเชื้อราที่เข้ามาบุกรุกภายในเซลล์พืช

ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 15 โครงสร้างทางเคมีและปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation) ของไคติน
(ยูนิตร ยอดโยธี. 2554 : 25)

การประยุกต์ใช้ไคโตซาน

การประยุกต์ใช้ไคโตซานในระบบการป้องกันตนเองของพืช

เนื่องจากไคโตซานมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกับไคตินที่เป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ของเชื้อราหลายชนิดทำให้ไคโตซานมีคุณสมบัติการเป็นตัวกระตุ้นชนิด Pathogen-Associated Molecular Patterns (PAMPs) หรือโมเลกุลที่พืชจดจำว่ามีคุณสมบัติเป็นเชื้อโรค ดังนั้นเมื่อพืชดูดซึมไคโตซานเข้าสู่เซลล์พืชจะจดจำว่าไคโตซานคือเชื้อโรคที่เข้ามาบุกรุกส่งผลให้พืชเกิดการชักนำกลไกการป้องกันตนเองขึ้น ผ่านช่องทางดังต่อไปนี้

1. Ion Channel ภายในเซลล์พืชจะถูกเปิดออกโดยพืชจะหลั่ง H^+ และ Ca^{2+} เข้าไปใน Cytosol เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ภายในเซลล์เกิดการกระตุ้น MAP-kinase, Callose Apposition, Oxidative Burst, Hyper Sensitive Responses รวมทั้งการสังเคราะห์สาร Absciscic Acid, Jasmonates, Phytoalexins และ PR proteins (Amborabe', Bonmort, Fleurat - Lessard and Roblin. 2008 : 2317 - 2324)

2. ไคโตซานจะกระตุ้นให้พืชมีการสังเคราะห์ 2-oxo-phytodeionic และ Jasmonic Acid ซึ่งสารดังกล่าวจะไปกระตุ้น Octadecanoic Acid Pathway ซึ่ง Octadecanoic Acid Pathway เป็นเส้นทางหนึ่งของ Signaling Cascade ที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการตอบสนองระบบป้องกันตนเองของพืชหลังจากได้รับการตอบสนองจาก Signaling Proteinase Inhibitor Genes (Oligouronide)

และ Polypeptide Signals (El Hadrami, Adam, El Hadrami and Daayf. 2010 : 978) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Lin, Hu, Zhang, John Rogers and Cai (2005 : 937 - 944) ที่ระบุว่า ไคโตซานชักนำให้พืชมีการสะสม Jasmonic Acid อย่างรวดเร็วซึ่งสารนี้ทำหน้าที่เป็น Signal Molecule ที่สำคัญที่สุดในพืชที่ใช้ในการป้องกันเชื้อโรครวมทั้งงานวิจัยของ Akimoto - Tomiyama, Sakata, Yazaka, Nakamura, Fujii, Shimbo, Yamamoto, Sasaki, Kishimoto, Kikuchi, Shibuya and Minami (2003 : 537 - 551) ที่ศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบการป้องกันตนเองในต้นข้าวที่ได้รับ *N*-acetylchitoctaoase ด้วยเทคนิค DNA Microarray ที่ประกอบด้วย 8,989 Randomly Selected Expresses Sequence Tags ผลจากการวิจัยพบการแสดงออกของยีนเพิ่มขึ้น (Up - Regulation) อย่างจำเพาะเจาะจง 166 ยีนและมี 93 ยีนที่มีการแสดงออกน้อยลง (Down - Regulation) ซึ่งยีนทั้ง 259 ยีนมี 18 ยีนที่เป็น Signal Transduction และ Calcium - Dependent Protein Kinases (CDPKs) 5 ชนิด

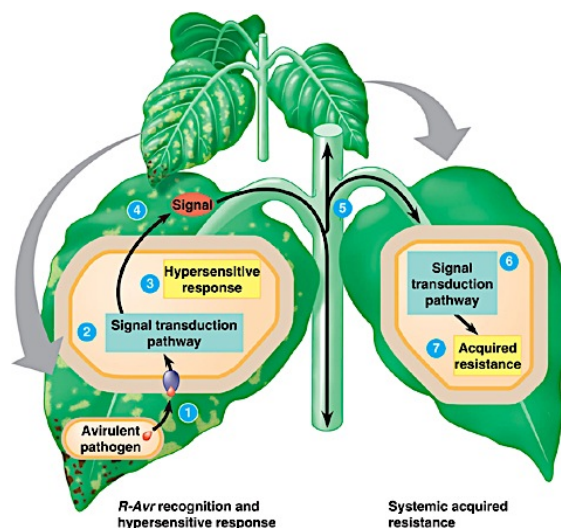
3. ไคโตซานกระตุ้นให้พืชผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ Polyphenoloxidase รวมทั้งการสังเคราะห์สารประกอบ Phenolic ในปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะ Hydroxycinnamic Acid ซึ่งเป็นสารสำคัญที่พืชใช้ในการป้องกันการติดเชื้อใน Vascular (El Hassni, El Hadrami, Daayf, Che'rif, Ait Barka and El Hadrami. 2004 : 195 - 204) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Reddy, Arul, Angers and Couture (1999 : 1208 - 1216) ที่ศึกษาการชักนำกลไกการป้องกันตนเองของต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกกระตุ้นด้วยไคโตซานจาก *Fusarium graminearum* พบว่า ต้นอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณสารในกลุ่ม Hydroxycinnamic Acid (*p*-coumaric, Caffeic และ Ferulic) และสารกลุ่ม Benzoic (Benzoic, Protocatechuic และ Gallic Acid) ซึ่งกลุ่มสารเหล่านี้จะนำไปสู่การสังเคราะห์และสะสม Lignin เพิ่มขึ้นและยังกระตุ้นเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia-Lyase อีกด้วย

4. เมื่อพืชได้รับไคโตซานจะเกิดการชักนำให้ผลิต Hydrogen Peroxide (H_2O_2) ซึ่งสารชนิดนี้มีบทบาทในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยรวมทั้งช่วยให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงขึ้น เนื่องจาก H_2O_2 จะเป็นตัวชักนำให้มีการสะสม Protein Cross - Linking และทำหน้าที่เป็น Messenger ในการชักนำรวมทั้งเพิ่มการถอดรหัสของยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System) (Lin, Hu, Zhang, John Rogers and Cai. 2005 : 938) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Levine, Tenhaken, Dixon and Lamb (1994 : 583 - 593) ซึ่งรายงานไว้ว่า เมื่อเซลล์ของถั่วเหลืองได้รับการกระตุ้นจากผนังเซลล์ของ *Pathoramyces* เซลล์จะมีการชักนำให้เซลล์ผลิต H_2O_2 ขึ้นเพื่อเป็นตัวกลาง ในการกระตุ้นการถอดรหัส (Transcription) ของยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบป้องกันตนเองในการสังเคราะห์สารที่ใช้ในการป้องกันเซลล์พืช ได้แก่ Glutathione, S-transferase และ Glutathione Peroxidase

5. มีรายงานวิจัยที่ระบุว่า เมื่อพืชถูกกระตุ้นให้เกิดกระบวนการป้องกันตนเองพืชกระตุ้นให้มีการผลิตเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia-Lyase (PAL) เพิ่มขึ้น (El Hadrami, Adam, El Hadrami and Daayf. 2010 : 968 - 987 ; Mitchell, Hall and Barber. 1994 : 551 - 556 ; Rodríguez, et al. 2007 : 206 - 215) ซึ่ง PAL ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์หลัก (Key Enzyme) ใน Phenylalanine Pathway ซึ่งมีบทบาทในการสังเคราะห์สาร Phytoalexins และสาร Secondary Phenolic Metabolites หลายชนิดในพืช (Lin, et al. 2005 : 941) และในรายงานการวิจัยของ Agrawal, Rakwal, Tamogami, Yonekura, Kubo and Saji (2002 : 1061 - 1069) กล่าวว่าต้นอ่อนข้าว (*Oryza sativa* L. Japonica-Type cv. Nipponbare) ที่ได้รับไคโตซานพบผลิตสาร Phytoalexins 2 ชนิดคือ กลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่ Sakuranetin และสารกลุ่ม Diterpenoid ได้แก่ Lactone Momilactone

6. เมื่อพืชถูกกระตุ้นจากตัวกระตุ้นเชื้อโรคหรือสภาวะเครียดต่าง ๆ พืชผลิต Pathogenesis-Related proteins (PR proteins) เพื่อป้องกันอันตรายให้กับตนเองซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะมีความเป็นพิษต่อเชื้อโรคที่มากุกรุก โดยได้กล่าวในรายงานวิจัยของ Agrawal, et al. (2002 : 1061 - 1069) ที่ศึกษาผลของไคโตซานต่อการตอบสนองกลไกการป้องกันตนเองและสภาวะเครียด (Defense/ Stress Responses) ในใบของต้นอ่อนข้าว ผลจากการศึกษาพบการสะสมของ PR proteins 2 ชนิดคือ *OsPR5* และ *OsPR10* ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Hadwiger and Beckman (1980 : 205 - 211) และ Loschke, Hadwiger and Wagoner (1983 : 163 - 173) ที่ระบุไว้ว่า ไคโตซานช่วยให้พืชเกิดกระบวนการสังเคราะห์ PR proteins ดังที่ปรากฏในงานวิจัยของ Münch - Garthoff, et al. (1997 : 235 - 244) ที่พบว่า ต้นอ่อนข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ที่ได้รับไคโตซานเมื่อได้รับเชื้อ *Puccinia graminis* sp. 24 และ 48 ชั่วโมงจะพบการแสดงออกของยีน *Sr5* และ *Sr24* ซึ่งเป็นยีนที่ข้าวสาลีใช้ในกลไกการป้องกันตนเอง โดยยีนทั้งสองนี้มีบทบาทในการสังเคราะห์ PR proteins 2 ชนิด คือ เอนไซม์ β -1,3-glucanase และ Chitinase นอกจากนี้รายงานวิจัยของยุรฉัตร ยอดโยธี (2554 : 11 - 18) ได้กล่าวถึงบทบาทของ PR proteins ไว้เพิ่มเติมอีกด้วยว่า การผลิต PR proteins ในพืชนั้นไม่เพียงแต่จะผลิตเพื่อป้องกันเชื้อโรคบริเวณที่ถูกกรุกรานโดยตรงเท่านั้น หากแต่ยังมีความสัมพันธ์กับการเกิดระบบ Systemic Acquired Resistance (SAR) ซึ่งเป็นระบบป้องกันตนเองที่สามารถชักนำให้เกิดการต้านทานโรคของพืชโดยไม่จำเพาะเจาะจงกับเชื้อโรคชนิดใดชนิดหนึ่งและมีความต้านทานทั้งบริเวณที่ถูกกรุกรานโดยตรงและบริเวณที่ไกลออกไป โดยระบบ SAR จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ภายหลังจากที่มีการติดเชื้อแต่สามารถคงอยู่ได้ในระยะเวลานานส่งผลให้พืชนั้นมีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อโรคที่มากุกรุกได้หลายชนิดในเวลาต่อมาซึ่งอาจจะเป็นเชื้อชนิดเดิมหรือแตกต่างจากเดิมก็ได้ โดยระบบ SAR จะมีโมเลกุลส่งสัญญาณคือ Salicylic Acid (ดังภาพที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sathiyabama and Balasubramanian (1998 : 301 - 313)

ที่ศึกษาผลของโคโตซาน ต่อการชักนำความสามารถในการต้านทานเชื้อ *Puccinia arachidis* ซึ่งเป็นสาเหตุก่อโรคใบสนิมใน ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) พบว่า ถั่วลิสงที่ได้รับโคโตซานจะมีการสะสม Salicylic Acid ใน เนื้อเยื่อในปริมาณสูงถึงประมาณ 2 เท่าของชุดควบคุมในวันที่ 12 หลังจากได้รับโคโตซาน



ภาพที่ 16 กลไกของระบบการป้องกันตนเองของพืชแบบ SAR

จากภาพที่ 16 ยุทธธร ยอดโยธี (2554 : 1 - 18) ได้อธิบายกลไกของระบบการป้องกันตนเองของพืชแบบ SAR ไว้ดังนี้ เมื่อพืชถูกเชื้อโรครุกราน (Avirulent Pathogen) พืชจะมีการส่งสัญญาณไปยังระบบการป้องกันตนเองของพืช (Signal Transduction Pathway) เพื่อกระตุ้นให้พืชเกิด Hypersensitive Response เพื่อยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อและกระตุ้นระบบป้องกันตนเองต่าง ๆ ของพืช เช่น การผลิตโปรตีนและเอนไซม์ต่าง ๆ เพื่อให้พืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อที่มารุกราน ครั้งต่อไปได้ (Acquired Resistance)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า โคโตซานเป็นสารประกอบที่เป็นไบโอพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีคุณสมบัติทางชีวภาพในการเป็นตัวกระตุ้นระบบกลไกการป้องกันตนเองของพืช ช่วยให้พืชมีความต้านทานจากโรคต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งมีความปลอดภัยต่อเกษตร เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งผลผลิตที่ได้ก็ไม่มีสารตกค้างสู่ผู้บริโภคด้วย นอกจากนี้โคโตซานจะมีคุณสมบัติเป็นตัวกระตุ้นให้พืชชักนำให้เกิดกลไกการป้องกันตนเองแล้วยังมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโตให้แก่พืชด้วย

การประยุกต์ใช้ไคโตซานในการกระตุ้นการเจริญเติบโต

ต้นเทียนฝรั่ง

กุลนาถ อบสุวรรณ และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ (2550 : 197 - 199) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตต้นเทียนฝรั่งพบว่า การให้ไคโตซานควบคู่กับปุ๋ยสูตร 16-16-16 ชักนำให้ต้นเทียนฝรั่งมีขนาดน้ำหนักสดและจำนวนดอกตูมมากกว่าต้นเทียนฝรั่งที่ให้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียวและต้นที่ไม่ได้รับทั้งปุ๋ยและไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กล้วยไม้

กุลนาถ อบสุวรรณ และกรกช สว่างศรี (2553 : 477) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Dendrobium Queen Pink* ในหลอดทดลองพบว่า การใช้ไคโตซานความเข้มข้น 20 mgL^{-1} ช่วยให้กล้วยไม้มีความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและไคโตซานที่ความเข้มข้น 60 mgL^{-1} ช่วยให้ต้นกล้วยไม้เกิดต้นใหม่เป็นจำนวนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อามีนา สาแม (2552 : 97) ทำการศึกษาอิทธิพลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้รองเท้านารีชาวสตูลพบว่า กล้วยไม้ที่ถูกกระตุ้นด้วยไคโตซานมีอัตราการเจริญเติบโตของใบเพิ่มขึ้น 1.0 - 1.1 มม./สัปดาห์คิดเป็น 1.2 - 1.3 เท่าของชุดควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน

Nge, New, Chandkrachang and Stevens (2006 : 1185 - 1190) ได้ศึกษาผลของไคโตซานต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อกล้วยไม้จากการทดลองพบว่า เนื้อเยื่อของกล้วยไม้ที่ได้รับไคโตซานจากกิ่งและเชิธรามีการขยายตัวของเซลล์ น้ำหนักเซลล์และการพัฒนากลายเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เฉพาะมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน

ข้าว

Paitoon Seanbualuang (2007 : 30 - 44) ระบุว่า ไคโตซานมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยที่ความเข้มข้น 20 และ 40 mgL^{-1} สามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวมีความสูง ความยาว ใบพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้น 20, 40 และ 80 mgL^{-1} สามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวมีการแตกกอและให้จำนวนรวงเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ที่ความเข้มข้น 40 mgL^{-1} ยังสามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวให้ผลผลิตจำนวน เมล็ดข้าวต่อรวงเพิ่มขึ้นอีกด้วย

สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์, เอื้อ สโลบล และอิสรา สุขสถาน (2548 : 1 - 4) ศึกษาผลของความเข้มข้นไคโตซานและความถี่ในการฉีดพ่นต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่า การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 20 mgL^{-1} ฉีดพ่น 4 ช่วงเวลา (ระยะต้นกล้า, ระยะแตกกอ ระยะก้านีรรวงและระยะออกรวง) มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดโมเลกุลของไคโตซานมีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตและผลผลิตของ ต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ด้วย (สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ และอิสรา สุขสถาน. 2548 : 37 - 43)

Sorawee Kleeekron (2005 : 56 - 57) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการกระตุ้น ผลผลิต ของข้าวพันธุ์กข 6 และกข 10 ในแปลงทดลองผลจากการทดลองพบว่า ข้าวพันธุ์กข 6 และกข 10 ที่ ถูกฉีดพ่นด้วยไคโตซานให้ผลผลิตที่สูงกว่าชุดควบคุม

จุฬารัตน์ ไชยนันท์ และศศิธร วงศ์เรือง (2552 : 78 - 86) ระบุว่าเมล็ดข้าวพันธุ์หลวง สันป่าตองที่แช่ด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 8 gL^{-1} ก่อนนำไปเพาะมีอัตราการงอกสูงสุดถึง 94.6%

ยางพารา

รัตนา คำฮอย (2555 : 124 - 132) ศึกษาผลการเจริญเติบโตของต้นยางพาราที่ได้รับ การกระตุ้นด้วยออลิโกไคโตซานพบว่าต้นยางพาราที่ได้รับการกระตุ้นด้วยออลิโกไคโตซาน เข้มข้น 10 และ 100 mgL^{-1} สามารถเพิ่มความสูงได้ถึง 105.07 และ 90.85 ซม. กิตเป็น 3.39 และ 3.40 เท่าของชุดควบคุมที่ไม่ได้รับออลิโกไคโตซาน