



พิมพ์ครั้งที่ 2

# สรีรวิทยาพืชไร่

## Physiology of Field Crops

ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอูทัย

สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2559

# สรีรวิทยาพืชไร่ Physiology of Field Crops

ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย

สาขาวิชาพืชไร่  
ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
2557

# สรีรวิทยาพืชไร่

ISBN: 978-974-672-867-6

ผู้แต่ง: ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย

เจ้าของและผู้จัดพิมพ์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
โทรศัพท์: 0 5394 3603, 0 5394 3604  
โทรสาร: 0 5394 3600  
<http://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: [cmupress.th@gmail.com](mailto:cmupress.th@gmail.com)

พิมพ์ครั้งแรก: มิถุนายน 2557

ราคา: 480 บาท

## ข้อมูลทางบรรณานุกรม

ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย.  
สรีรวิทยาพืชไร่.-- เชียงใหม่ :  
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557.  
232 หน้า.  
1. สรีรวิทยาพืช. I. ชื่อเรื่อง.  
575  
ISBN 978-974-672-867-6

ออกแบบและพิมพ์: บริษัท วิทอินดิไซน์ จำกัด

© สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของตำราเล่มนี้ รวมทั้งการจัดเก็บ  
ถ่ายทอดไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใดโดย  
ไม่ได้รับอนุญาต

กรณีต้องการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก กรุณาติดต่อ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์: 0 5394 3605 โทรสาร: 0 5394 3600

<http://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: [cmupress.th@gmail.com](mailto:cmupress.th@gmail.com)

# คำนิยม

หนังสือ “สรีรวิทยาพืชไร่” ที่อาจารย์ ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย ได้เรียบเรียงขึ้นนี้ ข้าพเจ้าเห็นว่ามีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาที่กำลังศึกษาวิชาด้านสรีรวิทยา และผู้ที่สนใจที่ทำงานในสาขาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิต โดยเฉพาะพืชไร่เป็นอย่างมาก นับเป็นหนังสือที่มีความทันสมัยและมีประโยชน์เล่มหนึ่ง

ศาสตราจารย์ ดร. จักรี เล็นทอง

# คำนำ

ความตั้งใจของผู้เขียนในการเขียนหนังสือเล่มนี้ตั้งแต่แรกอยากให้เป็นคู่มือตำราความรู้ในเรื่องสรีรวิทยาในทางพืชไร่ แต่ไม่อยากให้หนังสือมีเนื้อหาในทางสรีรวิทยาโดยตรงมากนัก เนื่องจากมีหนังสือและตำราดังกล่าวหลายเล่มอยู่แล้วที่เขียนไว้เป็นอย่างดีในเรื่องเกี่ยวกับสรีรวิทยาของพืช แต่ผู้เขียนอยากให้หนังสือออกมาในเชิงการรวมความรู้ทางสรีรวิทยาของพืชไร่และความรู้ทางการเกษตรด้านอื่นๆ ด้วย จึงเป็นที่มาของเนื้อหา “สรีรวิทยาพืชไร่” เล่มนี้ โดยมีเนื้อหาเริ่มจากความรู้กว้างๆ โดยทั่วไปของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชที่เกี่ยวข้องกับกลไกทางสรีรวิทยาพื้นฐานของพืช การสังเคราะห์แสงและการสร้างผลผลิต ระบบการเพาะปลูกพืช ปัจจัยจำกัดในระบบการเพาะปลูกพืช ฤดูปลูกกับปัจจัยภาวะแวดล้อมตามฤดูกาล ดิน ปัจจัยจำกัดเฉพาะพื้นที่ และความแตกต่างระหว่างพันธุ์พืช ตัวเลือกสำคัญในการเพาะปลูก โดยในแต่ละบทจะมีเนื้อหาย่อยที่ครอบคลุมให้รายละเอียดในการศึกษาสรีรวิทยาพืชกว้างขวางมากยิ่งขึ้น โดยเนื้อหาความรู้ที่ได้มาในแต่ละบทได้มาจากทั้งหนังสือที่แต่งไว้เป็นภาษาไทยและภาษาต่างประเทศ บทความวิชาการจากการตีพิมพ์งานวิจัยต่างๆ รวมทั้งจากตำราเรียนของมหาวิทยาลัยต่างประเทศที่ได้รวบรวมเอาไว้ในเว็บไซต์ต่างๆ เพื่อความทันสมัยและเป็นสากลของหนังสือเล่มนี้ในแง่มุมที่กว้างขึ้นมากกว่าหนังสือตำราสรีรวิทยาพืชที่มีอยู่ทั่วไป

ผู้เขียนได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างมากจากศาสตราจารย์ ดร.เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และ รองศาสตราจารย์ ดร. ศันสนีย์ จำจด ทั้งการเป็นที่ปรึกษาเรื่องเนื้อหาที่ประกอบกันเป็นหนังสือเล่มนี้และการแก้ไขตรวจทานข้อบกพร่องจากรองศาสตราจารย์ ดร. ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และอาจารย์ ดร. อยุธย์ คงปั้น จนหนังสือมีความสมบูรณ์ขึ้นมาเป็นลำดับ นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้รับความช่วยเหลือในเรื่องการอำนวยความสะดวกด้านการจัดพิมพ์และธุรการจาก นางจำพรพรรณ พิชัยเงาะ สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์เป็นอย่างมากสำหรับผู้ที่กำลังศึกษาวิชาสรีรวิทยาพืชไร่โดยทั่วไปหรือผู้ที่สนใจในรายละเอียดของสรีรวิทยาพืชที่แตกต่างกันไปจากตำราที่มีอยู่ทั่วไป



# สารบัญ

หน้า

## บทที่ 1

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชที่เกี่ยวข้อง

กับกลไกทางสรีรวิทยาพื้นฐานของพืช

ความสำคัญของการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืช	1
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชโดยทั่วไป	2
ส่วนประกอบพื้นฐานของเซลล์พืชและบทบาทหน้าที่	4

## บทที่ 2

การสังเคราะห์แสงและการสร้างผลผลิต

ปัจจัยกำหนดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช	33
ดัชนีพื้นที่ใบ	35
ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและการรับแสง	37
ดัชนีพื้นที่ใบและอัตราการเจริญเติบโต	38
กระบวนการสังเคราะห์แสง	41
ประโยชน์ของการสังเคราะห์แสง	42
การจับพลังงานแสง	45
การสังเคราะห์ ATP และ NADPH	49
การสังเคราะห์สารอินทรีย์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	50
ในกระบวนการ Enzymatic Reaction หรือ Dark Reaction	
การสังเคราะห์แสงของพืช $C_4$	51
การจับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชขอบน้ำ	54
Photorespiration	55
องค์ประกอบผลผลิต	56
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของผลผลิต	59
ความสำคัญของการศึกษาองค์ประกอบผลผลิต	60

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	62
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของดัชนีการเก็บเกี่ยว	63
ประสิทธิภาพในการให้ผลผลิต	64

### บทที่ 3

#### ระบบการเพาะปลูกพืช

ระบบการเพาะปลูกพืชในประเทศไทย	67
ระบบการเกษตรแบบยั่งยืน	69
การจัดจำแนกระบบการเกษตร	71
ประโยชน์ของระบบการปลูกพืช	81
การพิจารณาเลือกชนิดของพืชที่ปลูกร่วม	82
การประเมินประสิทธิภาพของการปลูกพืชร่วม	83
ผลผลิตเชิงปริมาณ และคุณภาพ	87
การปรับตัวต่อภาวะแวดล้อมของพืช	89
การจัดการในการเพาะปลูก	92

### บทที่ 4

#### ปัจจัยจำกัดในระบบการเพาะปลูกพืช

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยจำกัดในการปลูกพืช	98
การปรับตัวของพืชเมื่อเกิดปัจจัยจำกัด	99
ปัจจัยจำกัดในด้านธาตุอาหาร	103
การวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช	109
ความทนทานต่อปัจจัยจำกัดของสิ่งมีชีวิต	112
ความแปรปรวนตามฤดูกาลตามพื้นที่	113
ฤดูกาลปลูกข้าวในประเทศไทย	116

### บทที่ 5

#### ฤดูกาลปลูกกับปัจจัยสภาวะแวดล้อมตามฤดูกาล

ฝน-การกระจาย ปริมาณ ความแปรปรวน	125
แหล่งข้อมูลปริมาณน้ำฝน	127
อุณหภูมิต่ำ x ช่วงแสง กับพัฒนาการของพืช	133
การตอบสนองต่อช่วงแสง	133

การออกดอก	137
ปัจจัยที่มีผลต่อการชักนำให้เกิดดอก	137
อุณหภูมิสะสมกับการเจริญเติบโตของพืช	143
การติดผลและการเจริญของผล	144
การแก่และการสุกของผล	145
กรณีพิเศษของการทำนา ปลุกข้าวไร่	145

## บทที่ 6

### ดิน ปัจจัยจำกัดเฉพาะพื้นที่

ลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดิน	149
ธาตุอาหารพืชในดิน	152
ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช	153
การลำเลียงธาตุอาหารพืช	156
การนำเอาธาตุอาหารที่สะสมไว้ในรูปต่างๆ กลับออกมาใช้ประโยชน์	160
การตอบสนองต่อปุ๋ยของพืช	162
ธาตุอาหารในเมล็ด	170
จุลินทรีย์ตัวช่วยพืชหาอาหาร	174
แบคทีเรียไรโซเบียม	174
เชื้อราไมคอร์ไรซา	178

## บทที่ 7

### ความแตกต่างระหว่างพันธุ์พืช ตัวเลือกสำคัญในการเพาะปลูก

ความแตกต่างของพันธุ์พืชในการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม	195
การเลือกพันธุ์พืชให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม	196
ความหลากหลายของพันธุกรรมข้าวไทย	202
แหล่งความหลากหลายของพันธุกรรมข้าว	204
การปรับปรุงพันธุ์พืช	206

## ภาคผนวก

ชื่อสามัญและชื่อวิทยาศาสตร์ของพืช	211
ดัชนีคำค้น	213



# สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบพืช ของพืช $C_3$ ตอนที่มืดและมีแสงและไม่มีแสง (A) และขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงบริเวณไทลาคอยด์ (B)	2
ภาพที่ 1.2 ลักษณะทั่วไปของต้นพืช ส่วนต้น และราก	2
ภาพที่ 1.3 เนื้อเยื่อ Epidermis ชั้นนอก ของใบพืช (A) ซึ่งแสดงลักษณะของเนื้อเยื่อหลัก 3 ชนิด คือ Parenchyma (B), Collenchyma (C), Sclerenchyma (D) และส่วนของเนื้อเยื่อ Xylem และ Phloem (E)	6
ภาพที่ 1.4 ส่วนประกอบของเซลล์พืช	7
ภาพที่ 1.5 ส่วนประกอบของผนังเซลล์ (A) และผนังเซลล์ชั้นแรก (primary cell wall) และชั้นที่สอง (secondary cell wall) และการเชื่อมต่อกับเซลล์ (B)	9
ภาพที่ 1.6 ผนังเซลล์ของพืชที่ขาดธาตุโบรอน (A) และไม่ขาดธาตุโบรอน (B)	10
ภาพที่ 1.7 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช ที่ประกอบไปด้วยโปรตีน และฟอสโฟลิปิด 2 ชั้น	12
ภาพที่ 1.8 ชนิดต่างๆ ของโปรตีน Anchored ที่เชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อ โดยผ่านกรดไขมัน (prenyl group หรือ phosphatidylinositol)	13
ภาพที่ 1.9 ลักษณะโครงสร้างของ Nuclues และ Nuclear envelope (A) และภาพวาดแสดงส่วนประกอบของ Nulceus กับ Nuclear pores (B)	14
ภาพที่ 1.10 Nuclear pore complex ที่ทำหน้าที่เป็นช่องผ่านอยู่ตรงบริเวณ Nuclear envelope	15
ภาพที่ 1.11 ลักษณะการพันกันของเส้นดีเอ็นเอในระยะเมตาเฟสโครโมโซม	16
ภาพที่ 1.12 ขั้นตอนในการแสดงออกของยีน (A) และการรวมตัวกันของกรดอะมิโนบนไรโบโซม โดยการช่วยเหลือของทีอาร์เอ็นเอ เพื่อสร้างโพลีเปปไทด์ (B)	18

ภาพที่ 1.13	เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum)	19
ภาพที่ 1.14	ภาพของกอลจิบอดีจากกล้องอิเล็กตรอน จากเซลล์ส่วนรากของต้นยาสูบ	21
ภาพที่ 1.15	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงส่วนของโปรโตพลาสต์ (protoplast) จากเนื้อเยื่อส่วนออลูโรน (aleurone) ของเมล็ดพืช	22
ภาพที่ 1.16	ภาพแสดงลักษณะของไมโทคอนเดรียภายในเซลล์พืช	23
ภาพที่ 1.17	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์	25
ภาพที่ 1.18	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงส่วนของเพอรอกซิโซมจากส่วนของมีโซฟิลล์ในเซลล์พืช	26
ภาพที่ 1.19	ภาพวาดแสดงส่วนของท่อไมโครทิวบูลในแนวยาวใน 1 ไมโครทิวบูลประกอบไปด้วย 13 โปรโตฟิลาเมนต์ ซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวของหน่วย $\alpha$ และ $\beta$ ดังภาพ (A) และแผนภาพแสดงการปรากฏของเส้นไมโครฟิลาเมนต์ (B)	28
ภาพที่ 1.20	แบบจำลองของอินเตอร์มีเดียท ฟิลาเมนต์ จากส่วนของโปรตีน มอนอเมอร์	28
ภาพที่ 1.21	แผนภาพแสดงการแบ่งตัวแบบไมโทซิสในเซลล์พืช	30
ภาพที่ 1.22	ภาพแสดงลักษณะของพลาสมาเดสมาตาระหว่างเซลล์	32
ภาพที่ 2.1	ปฏิกิริยาเมื่อแสงสว่างตกกระทบบนคลอโรพลาสต์	37
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เอและบี	43
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างและส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์ที่เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงในเซลล์พืช	45
ภาพที่ 2.4	การสร้างพลังงานโดยตรงควัตถุที่รวมตัวกันอยู่ในระบบแสง (photosystem) ตรงบริเวณเนื้อเยื่อไทลาคอยด์	46
ภาพที่ 2.5	ระบบแสงที่ 1 (photosystem I) และ 2 (photosystem II) ตรงบริเวณเนื้อเยื่อไทลาคอยด์	47
ภาพที่ 3.1	ส่วนประกอบ 3 ลักษณะของระบบการเกษตรแบบยั่งยืนที่เปรียบได้กับเก้าอี้ 3 ขา ซึ่งมีลักษณะทางเศรษฐศาสตร์ สภาพแวดล้อม และชุมชน	70
ภาพที่ 3.2	ระบบการเกษตรที่ราบลุ่ม ที่ดอน และที่สูง	72

ภาพที่ 3.3	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแต่ละภาคระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2493-2540	74
ภาพที่ 3.4	ระบบชลประทานแบบต่าง ๆ ในการเกษตรชลประทาน	75
ภาพที่ 3.5	ระบบการเกษตรธรรมชาติ เกษตรอินทรีย์	77
ภาพที่ 4.1	การไหลของน้ำจากรอยร้าวที่อยู่ต่ำสุดของถ้ำน้ำตามทฤษฎี ของ Leibig's law of the minimum	98
ภาพที่ 4.2	เปรียบเทียบ น้ำ และปุ๋ยในโตรเจน ที่เป็นปัจจัยจำกัด การเจริญเติบโตของพืชตามทฤษฎีของ Leibig's law of the minimum และ Compensatory theory	99
ภาพที่ 4.3	การปรับตัวของพืชต่อปัจจัยจำกัดในระดับ Acclimation และ Adaptation	100
ภาพที่ 4.4	ปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์เก่าดอยสะเก็ด และเก่าหอม ม.ช. ที่ปลูกในสภาพน้ำแห้งและน้ำขังที่ระดับไนโตรเจนต่ำ (70 มก./กก. ดิน) (N70) และสูง (210 มก./กก. ดิน) (N210)	102
ภาพที่ 4.5	สีเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวเก่าพันธุ์เก่าดอยสะเก็ดและเก่าหอม ม.ช. ที่ปลูกในสภาพน้ำแห้ง (aerobic) และน้ำขัง (submerged) ที่ระดับไนโตรเจนต่ำ (70 มก./กก. ดิน) (N70) และสูง (210 มก./กก. ดิน) (N210)	102
ภาพที่ 4.6	อาการขาดธาตุไนโตรเจน (A) และธาตุเหล็ก (B) ของถั่วเหลือง	108
ภาพที่ 4.7	ผลของการเติมธาตุแมกนีเซียมต่อปริมาณความเข้มข้นของ ธาตุแมกนีเซียมในส่วนของเนื้อเยื่อลำต้น (straw) และเมล็ด (grain) ของธัญพืช	111
ภาพที่ 4.8	แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่ตอบสนองต่อปริมาณ ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช	111
ภาพที่ 4.9	การคำนวณจุดวิกฤติความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในส่วน ของเส้นกลางใบของทั้งหมด 8 ระยะเวลาเจริญเติบโตของใบพืช	112
ภาพที่ 4.10	พื้นที่เพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในประเทศไทย	121
ภาพที่ 5.1	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย	130
ภาพที่ 5.2	ข้อมูลการประเมินผลกระทบของปริมาณน้ำฝนที่มีต่อ การเจริญเติบโตของพืชในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย โดยพิจารณาจากค่า Generalized Monsoon Index (GMI)	131

ภาพที่ 6.1	การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารสู่รากพืชแบบลักษณะของ Passive และ Active โดยผ่านช่อง Channel protein และ Carrier protein ตามลำดับ	155
ภาพที่ 6.2	การเคลื่อนที่ของน้ำและธาตุอาหารในท่อน้ำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem)	157
ภาพที่ 6.3	การเคลื่อนที่ของน้ำตาลในท่ออาหาร จากส่วนที่สร้างอาหาร (sink) เข้าไปยังส่วนที่ใช้อาหาร (source) โดยแรงดันไฮโดรสตาติก (hydrostatic pressure) ในท่ออาหาร	158
ภาพที่ 6.4	การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารภายในท่อน้ำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) แบบ Apoplast และ Symplast	160
ภาพที่ 6.5	การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ระยะ 2 สัปดาห์ หลังการเพาะเมล็ดในกล่องที่บรรจุดินที่ไม่มีธาตุสังกะสี และมีการจัดการใส่ธาตุสังกะสีในรูปแบบต่างๆ กัน เปรียบเทียบกับ ไม่ใส่ธาตุสังกะสีกล่องแรกด้านซ้ายมือ คือไม่มีการใส่ธาตุสังกะสี กล่องที่ 2 ใส่ธาตุสังกะสีในเมล็ดก่อนเพาะ กล่องที่ 3 ใส่ธาตุสังกะสีในดิน และกล่องที่ 4 ใส่ธาตุสังกะสีทั้งในเมล็ดและในดิน	170
ภาพที่ 6.6	(A) Arbuscule of arbuscular mycorrhizal fungi, (B) Spores of arbuscular mycorrhizal fungi, (C) Vesicle of an endomycorrhizal fungus in root	178
ภาพที่ 6.7	<i>Glomus</i> spp.	179
ภาพที่ 6.8	<i>Sclerocystis</i> spp.	179
ภาพที่ 6.9	<i>Acaulospora</i> spp.	180
ภาพที่ 6.10	<i>Entrophospora</i> spp.	180
ภาพที่ 6.11	<i>Gigaspora</i> spp.	181
ภาพที่ 6.12	<i>Scutellospora</i> spp.	181
ภาพที่ 6.13	แสดงลักษณะการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากพืช (A) ลักษณะการเจริญของเส้นใยนอกรากพืช (B) แสดงการสร้างเวสิเคิลเพื่อการเก็บสะสมอาหารในรากพืช และการสร้างสปอร์บนเส้นใยนอกรากพืช (C) โครงสร้างของไมคอร์ไรซาในรากพืช	183

ภาพที่ 6.14	ลักษณะการเจริญเติบโตของถั่วพุ่ม (A) และไมยราบ (B) ที่ได้รับการปลูกเชื้อ <i>Acaulospora</i> sp. เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (AM0) เมื่อปลูกในดินที่มีสภาพเป็นกรด (pH=5)	191
ภาพที่ 7.1	ศูนย์รวมความหลากหลายของพันธุกรรมข้าวในภูมิภาคต่างๆ	205
ภาพที่ 7.2	ความหลากหลายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ	205

CSA



# สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ผลผลิตของข้าวกล้าพันธุ์เก่าดอยสะเก็ดและบึงอู่ในสภาพแอโรบิกและขังน้ำ	4
ตารางที่ 1.2	เปรียบเทียบความแตกต่างของส่วนประกอบพื้นฐานในเซลล์ของพืชและสัตว์	5
ตารางที่ 1.3	ส่วนประกอบหลักในเซลล์พืชและหน้าที่การทำงาน	8
ตารางที่ 2.1	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อหน่วยพื้นที่ใบของพืชชนิดต่างๆ	35
ตารางที่ 2.2	ดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมสามารถรับแสงได้ร้อยละ 95 ของพืชแต่ละชนิด	36
ตารางที่ 2.3	ปริมาณการดูดซับ การสะท้อนกลับและการลอดผ่านของแสงที่คลื่นแสงต่างๆ	37
ตารางที่ 2.4	อัตราการเจริญเติบโตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มากที่สุดของพืชแต่ละชนิดในช่วงระยะเวลาเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินชนิดเดียวกัน	39
ตารางที่ 2.5	รงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในพืชชนิดต่างๆ	44
ตารางที่ 2.6	ช่วงความยาวคลื่นของแสงต่างๆ	47
ตารางที่ 2.7	ความแตกต่างในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช $C_3$ และ $C_4$	53
ตารางที่ 2.8	ตัวอย่างพืชที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบ $C_3$ และ $C_4$	54
ตารางที่ 2.9	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะปลูกต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆ และผลผลิตของทานตะวัน	58
ตารางที่ 2.10	เปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง ผลผลิตและดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวชนิดอินดิกาและจาโปนิกา ที่ปลูกในสภาพของปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกัน	63
ตารางที่ 3.1	ปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็ก สังกะสี และฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกเปรียบเทียบในสภาพน้ำแห้งและน้ำขัง	76

ตารางที่ 3.2	การรับรองมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อาหารอินทรีย์ของประเทศต่างๆ	78
ตารางที่ 3.3	เปรียบเทียบค่าดัชนีต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบการปลูกพืชแซมระหว่าง ข้าวโพด-ถั่วเหลือง และข้าวโพด-ถั่วมะแฮะ	86
ตารางที่ 3.4	ผลผลิตข้าวของเกษตรกรบนพื้นที่สูงในช่วง 5 ปี ในพื้นที่ที่มีจำนวนต้นปะดะขึ้นหนาแน่นแตกต่างกัน ในระบบการเกษตรแบบทำไร่เลื่อนลอยของเกษตรกร	87
ตารางที่ 3.5	ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ (ธาตุเหล็ก สังกะสี และสารแอนโทไซยานิน) ในข้าวกล้องของข้าวเก่าพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	88
ตารางที่ 3.6	ความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) ในข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์ต่างๆ กัน	93
ตารางที่ 4.1	ปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ	97
ตารางที่ 4.2	ปริมาณไขมันและส่วนประกอบอื่นๆ ในพลาสมาเมมเบรนของใบต้นกล้าทานตะวันเมื่อปลูกในรูปแบบที่ไม่มีปัจจัยจำกัด และมีน้ำเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของต้นกล้า	101
ตารางที่ 4.3	ปริมาณธาตุอาหารในดินพืชที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช	104
ตารางที่ 4.4	ธาตุอาหารหลักและรอง	105
ตารางที่ 4.5	อาการขาดธาตุอาหารและธาตุอาหารเป็นพิษของพืช	106
ตารางที่ 4.6	ลักษณะของการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในท่อลำเลียงอาหารของพืช	108
ตารางที่ 4.7	ปริมาณธาตุอาหารในส่วนและอายุต่างๆ กันของโอดและเรป	110
ตารางที่ 4.8	เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อพื้นที่ของข้าวนาปี และนาปรังในปีเพาะปลูก 2555	119
ตารางที่ 4.9	ผลผลิตข้าวนาปีและนาปรังในประเทศไทย ในปีเพาะปลูก 2553-2555	119
ตารางที่ 4.10	ผลผลิตข้าวเปลือกนาปี (ข้าวดอกมะลิ 105 กข15 และปทุมธานี 1) และนาปรัง (ปทุมธานี 1)	120
ตารางที่ 5.1	สถิติปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) แต่ละฤดูกาลในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย	132
ตารางที่ 5.2	ช่วงของอายุขั้นต่ำสุดก่อนที่พืชพร้อมจะออกดอก	137
ตารางที่ 5.3	ผลของการค้นช่วงมืดด้วยแสง red (R) หรือ far-red (FR) ที่มีต่อการเกิดดอกของ cocklebur และถั่วเหลือง	138

ตารางที่ 5.4	ข้อมูลวันออกดอก วันเก็บเกี่ยว และจำนวนวันจากวันที่ออกดอก จนถึงเก็บเกี่ยวของทั้ง 4 พันธุ์ในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน	141
ตารางที่ 5.5	ผลผลิตของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ที่ปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน	142
ตารางที่ 5.6	ปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ที่ปลูกในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน	143
ตารางที่ 5.7	อายุเก็บเกี่ยวของข้าวไร่วางแสงแต่ละพันธุ์	147
ตารางที่ 6.1	น้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ กข 21 ที่ปลูกในแปลงปุ๋ยพืชสดถั่วเล็บมีอนาง และไมยราบเปรียบเทียบกับแปลงที่มีการทำปุ๋ยพืชสด	152
ตารางที่ 6.2	สารประกอบเคมีที่พบในของเหลวภายในท่ออาหารของต้นละหุ่ง ( <i>ricinus communis</i> )	159
ตารางที่ 6.3	การนำเอาธาตุอาหารที่สะสมไว้ในรูปต่างๆ กลับออกมาใช้ประโยชน์ในระหว่างช่วงการออกดอกและการสุกแก่ของฝักของถั่ว	162
ตารางที่ 6.4	ผลผลิตของข้าวพันธุ์ก่ำตอยสะเกิดและก่ำหอม มช. ที่ปลูกในสภาพไนโตรเจน 2 ระดับในสภาพน้ำแห้ง และน้ำขัง	163
ตารางที่ 6.5	ปริมาณสารแอนโทไซยานินในเมล็ดของข้าวพันธุ์ก่ำตอยสะเกิด และก่ำหอม มช. ที่ปลูกในสภาพไนโตรเจน 2 ระดับในสภาพน้ำแห้ง และน้ำขัง	164
ตารางที่ 6.6	สูตรปุ๋ยต่างๆ ของปุ๋ยที่มีอัตราส่วนเดียวกันคือ 1:1:1	165
ตารางที่ 6.7	ผลผลิตของข้าว (วัดที่ความชื้น 14%) ที่ปลูกในสภาพนาสวน และมีรูปแบบการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและการพ่นทางใบเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ย ในแหล่งที่ปลูกต่างกันของประเทศจีนและประเทศไทย	169
ตารางที่ 6.8	ปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือกที่ปลูกในสภาพนาสวน และมีรูปแบบการใส่ปุ๋ยทางดินและการพ่นทางใบเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ย ในแหล่งที่ปลูกต่างกันของประเทศจีนและประเทศไทย	169
ตารางที่ 6.9	คำแนะนำจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ในการให้ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าวไม่วางแสง สูตรปุ๋ยเคมี และอัตราการใช้ตามชนิดของเนื้อดิน	172
ตารางที่ 6.10	คำแนะนำจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ในการให้ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าววางแสง สูตรปุ๋ยเคมี และอัตราการใช้ตามชนิดของเนื้อดิน	173

ตารางที่ 6.11	น้ำหนักแห้งของถั่วพุ่ม และไมยราบที่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา <i>Acaulospora</i> sp.เปรียบเทียบกับการไม่ใส่เชื้อ เก็บตัวอย่างเมื่อพืชมีอายุได้ 56 วัน	191
ตารางที่ 7.1	อาการของข้าวที่เกิดจากสภาวะเครียดของอุณหภูมิตั้งในระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ	198
ตารางที่ 7.2	ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อผลผลิตข้าวสาลีในประเทศออสเตรเลีย ในช่วงปี ค.ศ. 2005-2010	199
ตารางที่ 7.3	ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้องของพันธุ์ข้าวต่างๆ	201
ตารางที่ 7.4	ปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวสาลีชนิดต่างๆ	202



# บทที่ 1

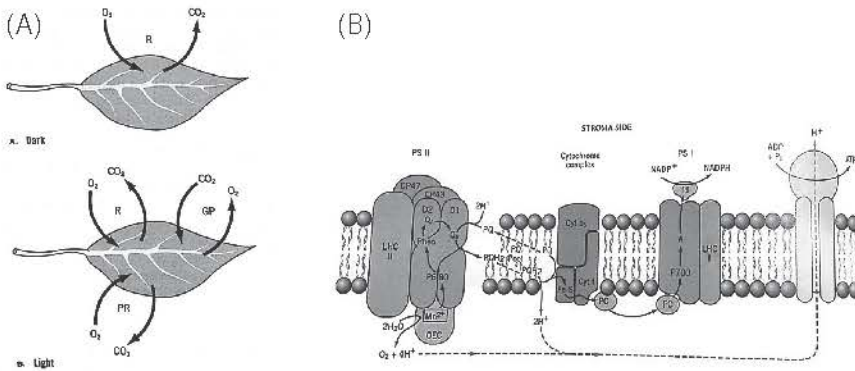
## ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืช ที่เกี่ยวข้องกับกลไกทางสรีรวิทยาพื้นฐานของพืช

### Plant morphological characteristics in relation to basic physiological mechanisms

#### ความสำคัญของการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืช

คำว่า “cell” มีรากฐานคำศัพท์มาจากภาษาละตินว่า “cella” ซึ่งมีความหมายว่า กล่องหรือห้องเก็บของ โดยพบว่ามีการใช้คำศัพท์นี้ครั้งแรกในการศึกษาทางชีววิทยา เมื่อปี ค.ศ. 1665 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ Robert Hooke ซึ่งเขาได้ใช้ในการอธิบาย ลักษณะของเซลล์ที่เขาพบในไม้คอร์ก ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่เขาสามารถ เห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ การศึกษาเรื่องเกี่ยวกับสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชมีความ จำเป็นในการศึกษาเกี่ยวกับสรีรวิทยาของพืชเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีลักษณะทาง ชีวเคมีหลาย ๆ อย่างที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกันอยู่อย่างแยกไม่ได้กับลักษณะทางสัณฐาน วิทยาของเซลล์พืช ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชจึงถือได้ว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญใน การศึกษาทางสรีรวิทยาพืชก็ว่าได้ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาเรื่องหน้าที่การทำงานของ การทำงานหนึ่งของเซลล์พืช เราจะต้องทราบและระบุให้แน่ชัดว่าการทำงานนั้นเกิดขึ้นในเซลล์ ส่วนสัณฐานใดของพืช เช่น การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณ ใบพืช ของพืช  $C_3$  ตอนที่ไม่มีแสงและไม่มีแสง และขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงบริเวณ ไทลาคอยด์ เป็นต้น การระบุตำแหน่งการทำงานให้ชัดเจนว่าเกิดในส่วนใดของเซลล์พืช จะ สามารถอธิบายกลไกในการเกิดได้อย่างละเอียดและชัดเจนมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 1.1) ทั้งนี้ เนื่องจากกลไกทางสรีรวิทยาของพืชค่อนข้างมีความสลับซับซ้อนอยู่เป็นจำนวนมาก ในบาง กระบวนการสามารถเกิดได้หลายส่วนและหลายเซลล์ ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการสังเคราะห์ แสงที่เกิดได้ทั้งในส่วนของมีโซฟิลล์ (mesophyll) และบันเดิลชีท (bundle sheath) ใน พืช  $C_4$  เป็นต้น

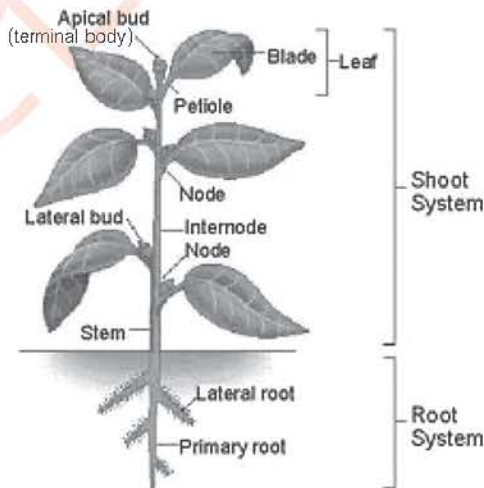




ภาพที่ 1.1 การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบพืช ของพืช  $C_3$  ตอนที่ไม่มีแสงและไม่มีแสง (A) และขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงบริเวณไทลาคอยด์ (B)  
ที่มา: Hopkins and Huner (2009)

**ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์พืชโดยทั่วไป**

ส่วนต่างๆ ของพืชที่ทำหน้าที่ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตนั้น อาจจะแบ่งออกเพื่อสะดวกต่อการศึกษาเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่อยู่ใต้ดินซึ่งทั่วๆ ไปคือ ราก (root) และส่วนที่อยู่เหนือดิน (shoot) ที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ใบ (leaf) และต้น (stem) ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ลักษณะทั่วไปของต้นพืช ส่วนต้น และราก  
ที่มา: Taiz and Zeiger (2006)

1) ราก มีหน้าที่หลักในการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารจากดินสู่ลำต้นและยึดลำต้นให้พืชตั้งตัว ในพืชบางชนิดส่วนของรากยังเป็นที่สะสมแป้ง ส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่ต้นพืชคือส่วนที่อยู่ทางปลายราก บริเวณที่เป็นรากขน (root hairs) รากขนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ผิวนอกของราก (epidermis) มีขนาดเล็ก ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร และมีอายุสั้น เมื่อรากหลักเจริญต่อไปเรื่อยๆ นั้น รากขนที่มีอายุมากขึ้นจะตายไปและเกิดรากขนใหม่บริเวณใกล้ปลายรากต่อไปเรื่อยๆ ในการทำหน้าที่ รากขนเล็กๆ เหล่านั้นจะซ่อนเข้าไปตามช่องว่างเม็ดดินและสัมผัสกับเม็ดดินที่มีเกลือแร่ธาตุอาหารที่ละลายอยู่กับน้ำและเกาะอยู่ที่ผิวเป็นชั้นบางๆ โดยดูดซึมเข้าไปสู่ส่วนกลางของลำต้น อิทธิพลของสภาพแวดล้อมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต แดกแขนง และการแพร่กระจายของรากพืช เช่น ดินที่ร่วนซุยรากพืชสามารถจะซ่อนเข้าไปถึงอนุภาคดินที่มีธาตุอาหารได้สะดวกกว่าดินที่เกาะกันอย่างหลวมๆ หรือแน่นทึบเกินไป ถ้าปลูกพืชในสภาพที่มีน้ำได้ดินอยู่ลึก รากจะซ่อนเข้าไปใต้ดินได้มากกว่าในสภาพที่น้ำได้ดินตื้น หรือรากพืชจะมีการเจริญเติบโตแตกสาขาหนาแน่นตรงบริเวณที่มีธาตุอาหารหรือปุ๋ยอยู่มากกว่า นอกจากนี้ยังมีสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดและด่าง อากาศ และจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากทั้งสิ้น นอกจากนี้ชนิดหรือพันธุ์ของพืชจะมีความสามารถในการแตกรากต่างกันด้วย เช่น ข้าวฟ่างจะมีปริมาณการแตกรากมากกว่าข้าวโพดเป็นสองเท่า เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาลักษณะโครงสร้างและรูปแบบการเจริญเติบโตตลอดจนถึงสภาพแวดล้อมที่จะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของรากพืชแต่ละชนิดจึงมีประโยชน์ต่อการปลูกพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากพืชแต่ละชนิดหรือแม้แต่นชนิดเดียวกันแต่คนละสายพันธุ์จะมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกันออกไป เช่น การพิจารณาปลูกพืชที่เหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ ความลึกในการไถพรวนดิน การจัดระยะระหว่างแถว ระหว่างต้นพืช การจัดระบบในการปลูกพืช ตำแหน่งการใส่ปุ๋ยที่จะให้พืชนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาเรื่องดังกล่าวจะต้องระบุชนิดพืชที่ปลูกและการจัดการสภาพแวดล้อมให้ชัดเจน ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวกล้า 2 พันธุ์ คือพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและป้อชูในสภาพแอโรบิกและขังน้ำ พบว่าผลผลิตของข้าวกล้าทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อสภาพการปลูกแตกต่างกัน (ตารางที่ 1.1) โดยในสภาพการปลูกแบบแอโรบิก พันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีผลผลิตมากกว่าพันธุ์ป้อชู แต่ในทางตรงกันข้ามการปลูกในสภาพน้ำขังกลับทำให้ข้าวพันธุ์ป้อชูมีผลผลิตมากกว่าพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และพบว่าพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดไม่มีความแตกต่างของผลผลิตข้าวเมื่อปลูกในสภาพน้ำแตกต่างกัน ในขณะที่พันธุ์ป้อชูพบว่า การปลูกในสภาพน้ำขังทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากการปลูกในสภาพแอโรบิก ซึ่งความแตกต่างของผลผลิตข้าวในการปลูกที่สภาพ