บทปฏิบัติการที่ 5

STUDY ON THE MECHANISM ADAPTATION OF PLANT UNDER WATER STRESS

คำนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งพืช เนื้อเยื่อพืชต้องมีน้ำเพียงพอจะรักษาความเต่ง และใช้ในการยืดตัวของเซลล์ พืชที่ปลูกบนบกต้องสัมผัสกับอากาศที่ มีความชื้นค่อนข้างต่ำอยู่ตลอดเวลา แต่พืชมีความจำเป็นต้องเปิดปากใบเพื่อรับแก๊ส CO_2 ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต เมื่อพืชเปิดปากใบทำให้สูญเสียน้ำออกไปเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอากาศภายในใบมีความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอกใบเสมอ พืชจึงมีกลไกที่ที่ควบคุมให้ใบได้รับแก๊ส CO_2 โดยไม่ให้พืชสูญเสียน้ำมากจนเกิดอันตรายต่อพืช และต้องมีกลไกที่การดูดน้ำ และลำเลียงน้ำจากดินอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อชดเชยกับน้ำที่พืชคายออกไปเพื่อรักษาความเต่งของใบ

การคายน้ำ

การคายน้ำหมายถึงการสูญเสียน้ำออกจากพืชในรูปของไอน้ำออกทางปากใบ Cuticle หรือ Lenticel การสูญเสียน้ำเป็นการแลกเปลี่ยนกับการได้รับ CO_2 ในการเจริญเติบโตของข้าวโพด พืชต้องคายน้ำ 225 กิโลกรัม เพื่อให้พืชดูด CO_2 เข้ามาเพื่อสร้าง น้ำหนักแห้ง 1 กิโลกรัม ดังนั้นน้ำที่ดูดเข้าไปมากกว่า 99 % สูญเสียไปโดยการคายน้ำ มีเพียงส่วนน้อยที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต และกระบวนการทางชีวเคมี

การคายน้ำประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ การระเหย ของน้ำจากผนังเซลล์ของ Mesophyll และ Epidermis ที่สัมผัสกับช่องอากาศ ภายในใบ การแพร่ของไอน้ำจากช่องอากาศภายในใบผ่านรูปากใบ การแพร่ของไอน้ำจากรูปากใบผ่านชั้นอากาศนิ่ง (boundary layer) ที่เคลือบผิวใบภายนอก

แรงขับของการคายน้ำ

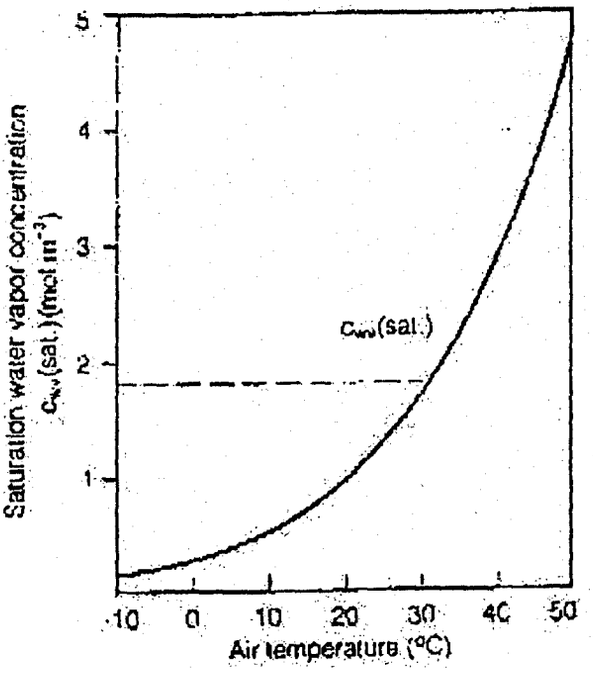
อัตราของการคายน้ำขึ้นกับ อัตราเร็วของการแพร่ของไอน้ำจากใบสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำ (gradient of water vapor concentration) ที่อยู่ภายในช่องอากาศของใบ และไอน้ำในอากาศภายนอก ความเข้มข้นของไอน้ำ(actual water vapor concentration, C_{wv})สามารถหาได้จากสูตร

$$RH = C_{WV}/C_{WV(sat)}$$

เมื่อ RH = ความชื้นสัมพัทธ์

C_{wv} = ความเข้มข้นของไอน้ำในอากาศขณะนั้น มีหน่วยเป็นปริมาณน้ำ ต่อ ปริมาณอากาศ เช่น mol/m^3

$C_{WV(sat)}$ = ความเข้มข้นของไอน้ำ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 12 °C อากาศที่มีปริมาตรเท่าเดิมมีศักยภาพที่รับไอน้ำได้เพิ่มมากกว่าเดิม 1 เท่าตัว (Taiz and Zeiger, 1991) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความเข้มข้นของไอน้ำเมื่ออากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ(Taiz and Zeiger, 1991)

การที่พืชเกิดการคายน้ำหรือการแพร่ของไอน้ำ จากใบสู่อากาศภายนอกนั้น ค่าความเข้มข้นของไอน้ำ(C_{WV}) จะต้องมีค่าลดลงตามเส้นทางจากช่องอากาศภายในใบ บริเวณรูปากใบ บริเวณรูปากใบ บริเวณผิวใบเหนือรูปากใบ และอากาศภายนอก แรงขับ(driving force) ที่ผลักดันให้เกิดการคายน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของไอน้ำเป็นสำคัญ ไม่ใช่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยสำคัญที่กำหนดความเข้มข้นของไอน้ำภายในใบ คืออุณหภูมิของใบเมื่ออุณหภูมิของใบสูงขึ้น (เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์) ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในใบลดลง ทำให้อัตราการระเหยของน้ำจากผนังเซลล์ Mesophyll ออกสู่ช่องว่างภายในใบเกิดเร็วขึ้น เพื่อปรับให้ช่องอากาศภายในใบมีค่า Water potential เท่ากับค่า Water potential ของใบอีกครั้งหนึ่ง และส่งผลให้อุณหภูมิของใบลดลงเนื่องจากการคายน้ำเป็นการช่วยระบายความร้อนออกจากใบ เพราะการเปลี่ยนสถานะของน้ำต้องดึงพลังงานความร้อนจากใบไปใช้

การวัดพลังงานความเข้มข้นของไอน้ำ (Water vapor concentration) ในทางปฏิบัติทำได้ยาก จึงนิยมวัดความดันไอ(vapor pressure) มากกว่า ดังนั้นแรงขับที่ทำให้เกิดการคายน้ำจึงขึ้นกับ

ความแตกต่างระหว่างความดันไอในช่องอากาศภายในใบ (e_{leaf}) กับความดันไอของอากาศ (vapor pressure gradient between leaf and surrounding air; e_{air}) หรือหลักการดังนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ

แรงผลักดันหรือแรงขับที่ทำให้เกิดการคายน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าความเข้มของไอน้ำหรือค่าความดันไอระหว่างใบกับอากาศ และค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำ นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ยังมีอิทธิต่ออัตราการคายน้ำโดย มีผลต่อค่าความดันไอน้ำหรือค่าความต้านทาน

ผลของความชื้นและอุณหภูมิ อัตราการคายน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความดันไอภายในใบและความดันไอของอากาศภายนอก ซึ่งค่าความดันไอนั้นจะขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความดันไอภายในใบมากที่สุดคืออุณหภูมิ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ภายในมักจะมีค่าค่อนข้างคงที่คือ ระหว่าง 98-100% ดังนั้นถ้ากำหนดให้ความชื้นสัมพัทธ์ของใบมีค่าคงที่ 100% เมื่ออุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นจาก 20^{0}C ไปเป็น 30^{0}C ความดันไอภายในใบจะเพิ่มเกือบ 100% จาก 2.34 kPa เป็น 4.24 kPa (ตารางที่ 2) ความดันไอในอากาศภายนอกนั้นแปรเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน

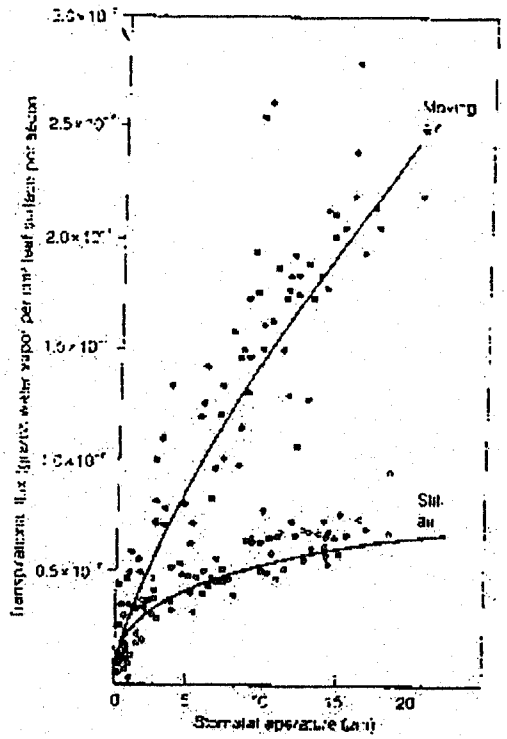
ตารางที่ 1 ค่าความดันไอ (vapor pressure) ในหน่วยของกิโลปาสคาล (kPa) ในขณะที่อากาศมีอุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ 10% 20% 80% และ 100%

	ความชื้นสัมพัทธ์				
อุณหภูมิ (^{0}C)	100%	80%	50%	20%	10%
30	4.24	3.40	2.12	0.85	0.42
20	2.34	1.87	1.17	0.47	0.23
10	1.23	0.98	0.61	0.24	0.12

ที่มา : Hopkins, W.G. 1995. Introduction to Plant Physiology. John Willey and Sons, New York.

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นผลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อความแตกต่างของค่าความดันไอระหว่างใบกับอากาศ (leaf-to-air vapor pressure gradient) จะเห็นว่าในเงื่อนไขที่ I ซึ่งใบกับบรรยากาศมีอุณหภูมิ 10^0C เท่ากัน (เช่นในเวลาเช้าในฤดูหนาว) และอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง (80%) ความดันไอของใบจะมีค่าสูงกว่าของบรรยากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในวันที่อากาศค่อนข้างแห้งคือมีความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังเช่นในเงื่อนไขที่ II จะทำให้ค่าความแตกต่างของความดันไอเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของกรณีที่ I ในเวลาสายเมื่ออุณหภูมิทั้งของใบและของอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 20^0C แต่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศยังคงเป็น 50% เท่าเดิม ในเงื่อนไข II แต่ถ้ามีทั้งการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ และลดความชื้นสัมพัทธ์ด้วยดังในเงื่อนไขที่ IV ความแตกต่างของค่าความดันไอจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 3 เท่าของกรณีที่ II เมื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขที่ V และ VI ซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ใบได้รับแสงแดดเต็มที่ ใบอาจจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศได้ถึง 5-10 ^{0}C ในสภาพนี้จะเห็นว่าความแตกต่างของค่าความดันไออาจสูงถึง 5-6 เท่าของเงื่อนไขที่ II ดังนั้นจะเห็นว่าทั้งอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดอัตราการคายน้ำ อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้นความชื้นในอากาศที่ลดลงและอุณหภูมิของใบที่สูงขึ้น ล้วนเป็นปัจจัยหลักที่เร่งอัตราการคายน้ำ

ผลของกระแสลม เมื่อกระแสลมมีความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากกระแสลมไปรบกวนชั้นของอากาศนิ่งที่เคลือบผิวใบ (boundary layer) ทำให้ความหนาของชั้นอากาศนิ่งดังกล่าวลดลงเป็นผลให้ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกจากใบลดลง จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของรูปากใบกับอัตราของการคายน้ำของใบ *Zebrina pendula* ในสภาพอากาศนิ่ง (Still air) กับสภาพที่มีกระแสลม (รูปที่ 2) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในสภาพที่อากาศนิ่งชั้นของอากาศที่นิ่งที่เคลือบผิวใบอยู่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้านทานการคายน้ำ และกระแสลมเป็นปัจจัยเร่งอัตราการคายน้ำ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของรูปากใบกับอัตราของการคายน้ำของใบ *Zebrina pendula* ในสภาพอากาศนิ่ง (กราฟล่าง) กับสภาพที่มีกระแสลม (กราฟบน) (Taiz and Zeiger, 1991)

ตารางที่ 2 ผลของอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ต่อความแตกต่างของค่าความดันไอระหว่างใบกับอากาศ ($e_{leaf} - e_{air}$) โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำในบรรยากาศคงที่

	Leaf		
I.	T = 10°C	T = 10°C	
	RH = 100%	RH = 80%	
	e = 1.23 kPa	e = 0.98kPa	0.25 kPa
II.	T = 10°C	T = 10°C	
	RH = 100%	RH = 50%	
	e = 1.23 kPa	e = 0.61 kPa	0.62 kPa
III.	T = 20°C	T = 20°C	
	RH = 100%	RH = 50%	
	e = 2.34 kPa	e = 1.17 kPa	1.17 kPa
IV.	T = 20°C	T = 20°C	
	RH = 100%	RH = 26%	
	e = 2.34 kPa	e = 0.61 kPa	1.73 kPa
V.	T = 30°C	T = 20°C	
	RH = 100%	RH = 50%	
	e = 4.24 kPa	e = 1.17 kPa	3.07 kPa
VI.	T = 30°C	T = 20°C	
	RH = 100%	RH = 26%	
	e = 4.24 kPa	e = 0.61 kPa	3.63 kPa

ที่มา : ปิยะดา, 2540

ผลของขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของใบพืช โดยทั่ว ๆ ไปพืชที่มีพื้นที่ใบมากจะคายน้ำมากกว่าต้นที่มีพื้นที่ใบน้อย ดังนั้นถ้าต้องการลดปริมาณการคายน้ำของพืชแต่ละต้นสามารถทำได้โดยการปลิดใบทิ้ง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการคาย้ำของพืชทั้งต้นลดลง แต่อาจทำให้อัตราการคายน้ำต่อพื้นที่ใบของพืชที่เหลือเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนใบที่ลดลงทำให้ใบที่เหลืออยู่ได้รับแสงมากขึ้นและมีกระแสลมพัดผ่านมากขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป ใบที่มีขนาดเล็กหรือที่มีขอบใบเว้าหรือหยักมาก ๆ

มักจะมีค่าความต้านทานอันเนื่องมาจากชั้นอากาศนิ่งต่ำกว่าใบขนาดใหญ่ และขอบเรียบทำให้มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าการที่มีชั้นคิวทิเคิลหนาและมีปริมาณขี้ผึ้ง (wax) ในชั้นคิวทิเคิลมาก และมีขนสีขาวสะท้อนแสงปกคลุมผิวใบมากจะช่วยลดอัตราการคายน้ำ จึงมักพบใบพืชที่ขึ้นในที่แห้งแล้งมักจะมีลักษณะดังกล่าว

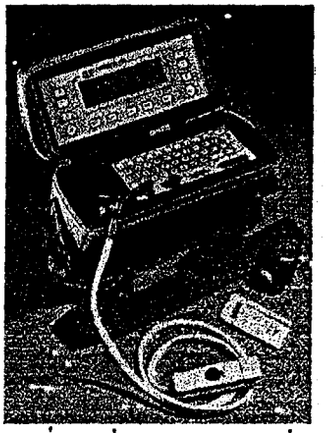
วัตถุประสงค์การทดลอง

ศึกษาความแตกต่างของค่า Stomatal resistance ระหว่าง พื้นที่บนใบ กับพื้นที่ใต้ใบ

ศึกษาความแตกต่างของค่า Stomatal resistance ระหว่างใบที่มีสภาพปกติ และใบที่มีสภาพ Stress

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

เลือกต้นชบาที่อยู่ภายใต้สภาพปกติ และ สภาพ stress นำใบชบาที่อยู่ในสภาพ Stress มาอย่างละ 10 ใบ แล้วนำมาวัด Stomatal resistance โดยใช้เครื่อง Porometer ยี่ห้อ Delta-T รุ่น AP4 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่อง Porometer ยี่ห้อ Delta-T รุ่น AP4

การใช้เครื่อง Porpmeter ซึ่งสามารถวัดได้ทั้ง Stomatal resistance และ stomatal conductance ในการวัดต้องดูหน่วยที่ปรากฏหน้าจอเครื่อง โดย

หน่วย - Sm^{-1}

- Scm^{-1}

- $m^2 s\ mol^{-1}$ จะเป็นหน่วยของ stomatal resistance

ส่วนหน่วย

- mms^{-1}

- cms^{-1}

- $mmolm^{-2}s^{-1}$ จะเป็นหน่วยของ stomatal conductance

หน่วยที่ใช้ในการทดลอง คือ cms^{-1} เป็นหน่วยของ *Stoamtal conductance* และในการวัดต้องมีเครื่องมือหนีบที่ใบพืช ไม่ควรหนีบบริเวณที่เป็นเส้นกลางใบ

การรวบรวมข้อมูล

เลือกใบชะบาจากต้นชะบาที่อยู่ภายใต้สภาพปกติและสภาพ stress มาอย่างละ 10 ใบ แล้วนำมาวัดค่า stomatal resistance ระหว่างพื้นที่บนใบกับพื้นที่ใต้ใบ โดยใช้เครื่อง Porometer ยี่ห้อ Delta-T รุ่น AP4

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS v.13 for window และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการวัดค่า stomatal resistance ระหว่างพื้นที่บนใบกับพื้นที่ใต้ใบของใบชะบาที่อยู่ภายใต้สภาพปกติและสภาพ stress

เอกสารอ้างอิง

ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธ์. 2540. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Delta-t devices LTD. 1998. Porometer type AP4.

Hopkins, W.G. 1995. Introduction to Plant Physiology. John Willey and Sons, New York.

Taiz, L., Zeiger, E. 1991. Plant physiology. Benjamin/ Cummings Pub. Califonia. USA.