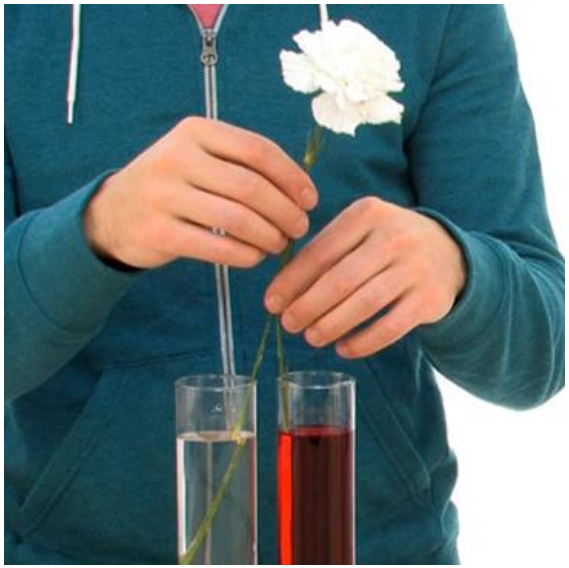
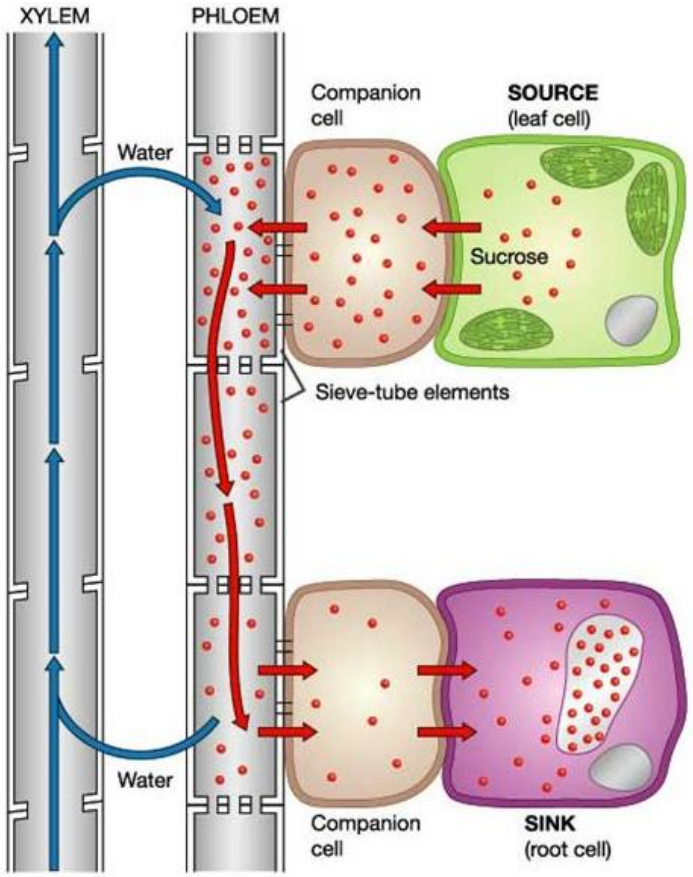
การลำเลียงของพืช

การลำเลียงน้ำของพืช

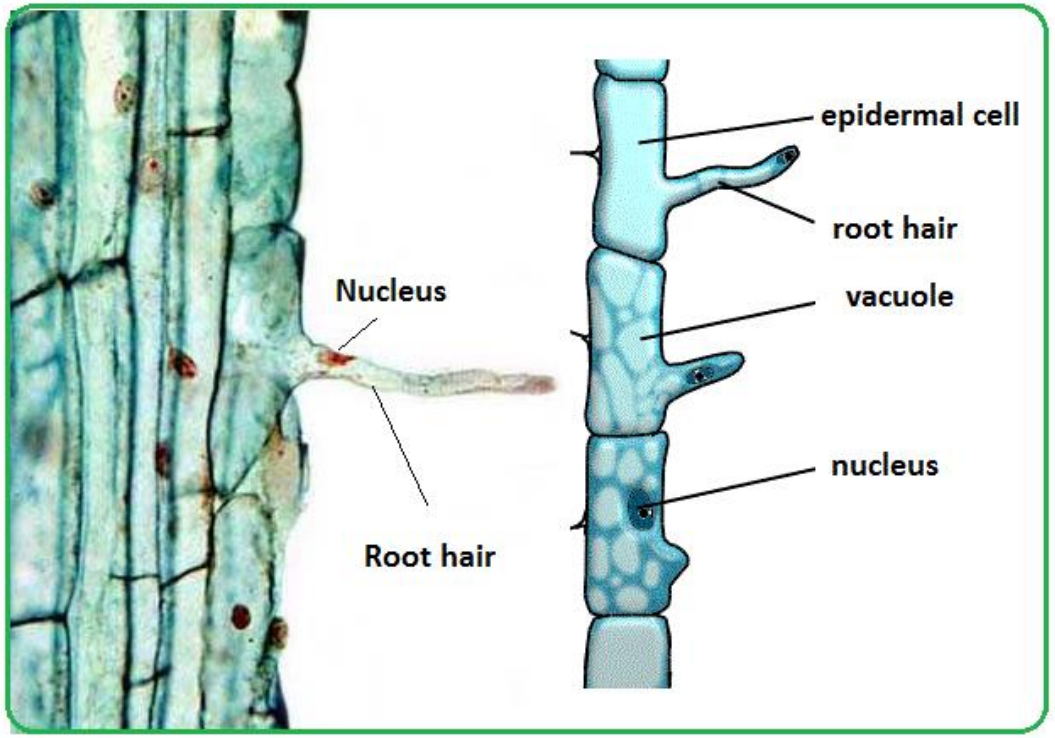


ชลศักย์ คือ พลังงานอิสระของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยน้ำจะมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่มีชลศักย์สูงไปบริเวณที่มีชลศักย์ต่ำ ชลศักย์จะเปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ เช่น การมีตัวละลาย แรงดัน และแรงดึง



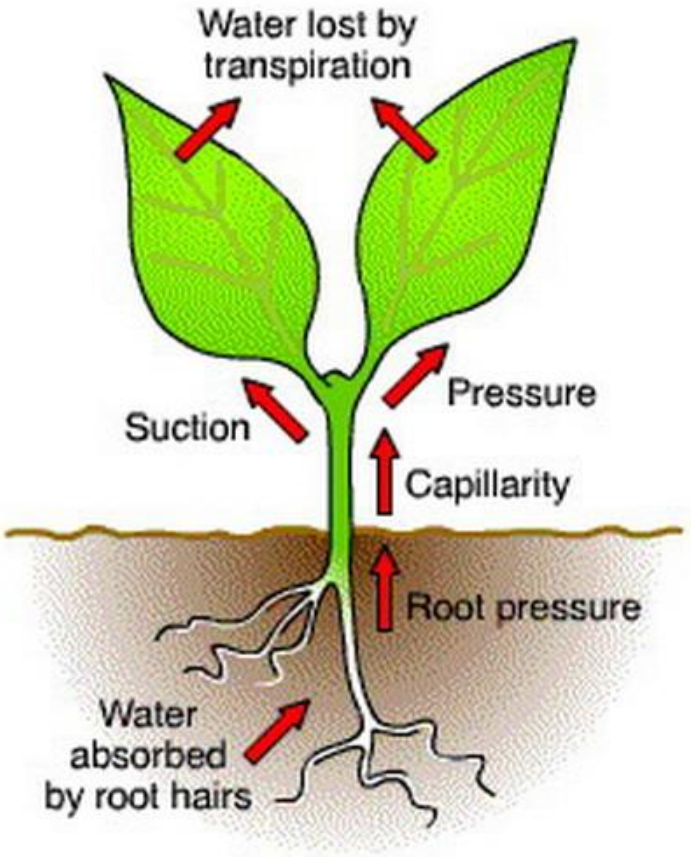
การลำเลียงน้ำ

เป็นการลำเลียงหลักในพืชบก ขนรากเป็นทำหน้าที่ดูดน้ำให้แก่พืช ขนรากเป็นเซลล์ที่มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ ทำให้บรรจุน้ำ สารอาหาร และสารต่าง ๆ ได้มาก การยื่นออกของขนรากทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำและสารอาหารต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น



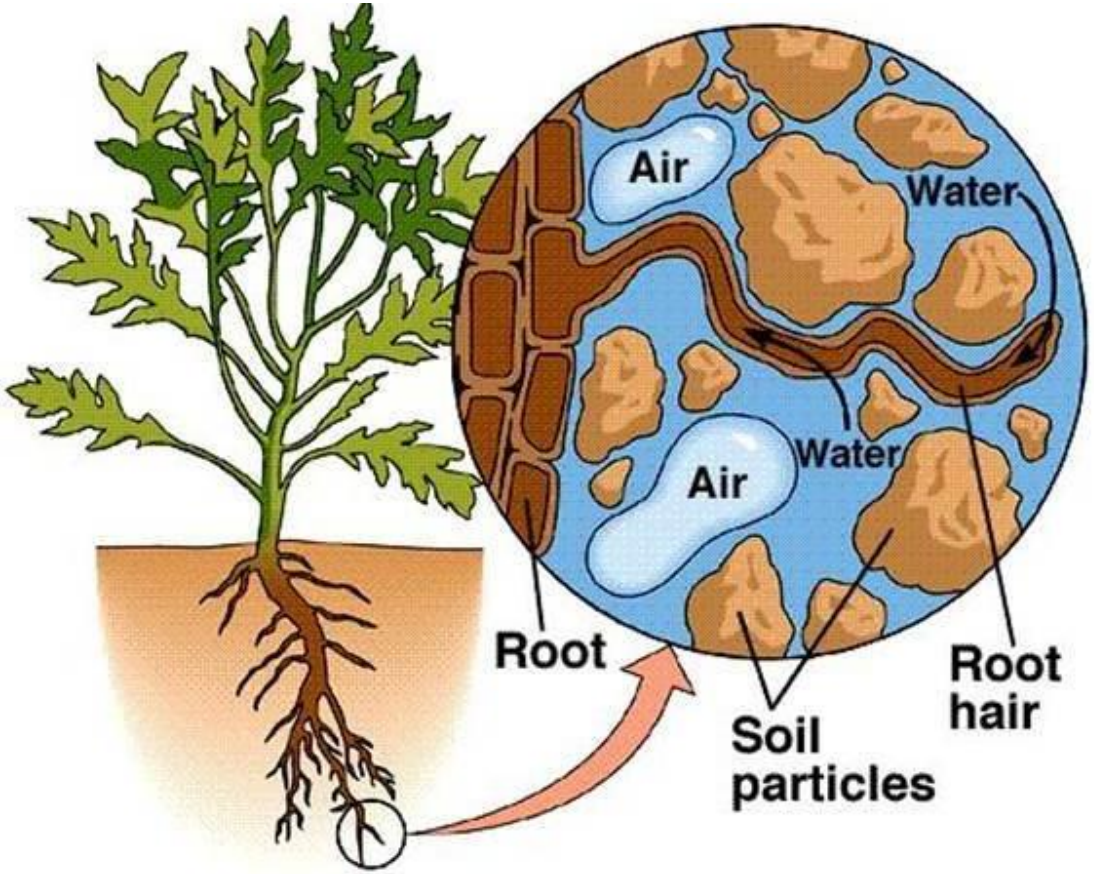
พืชสามารถส่งน้ำจากรากขึ้นไปจนถึงใบที่อยู่บนยอดได้นั้น มีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ

1. การดูดน้ำ
2. การคายน้ำ



การดูดน้ำของขนราก

- ขนราก (root hair) ดูดน้ำโดยกระบวนการออสโมซิส (osmosis) เนื่องจาก ความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายภายในราก มีมากกว่า น้ำในดินจึงแพร่เข้าสู่ขนรากได้ตลอดเวลา



- ถ้าหากความเข้มข้นของสารละลายในดินสูง พืชจะดูดน้ำได้ยากและยิ่งสูงมาก ๆ พืชไม่สมารถดูดน้ำได้ และพืชจะได้รับอันตราย

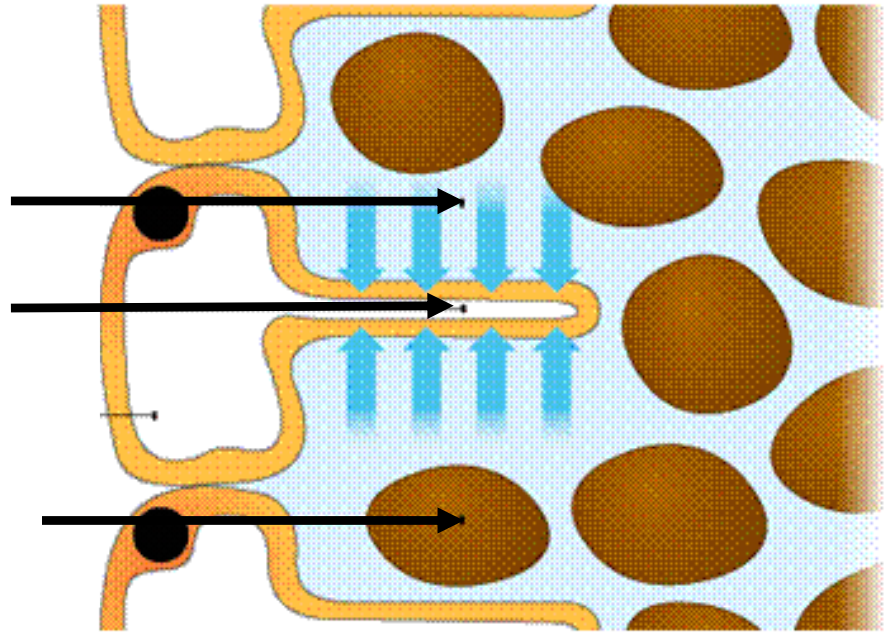
- การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่ดินในปริมาณมากจะมีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายในดินไม่มากนัก เนื่องจากสารอินทรีย์มีการสลายตัวได้ทีละน้อย พืชก็นำไปใช้ได้เรื่อย ๆ ความเข้มข้นของสารละลายในดินจึงไม่เปลี่ยนแปลง

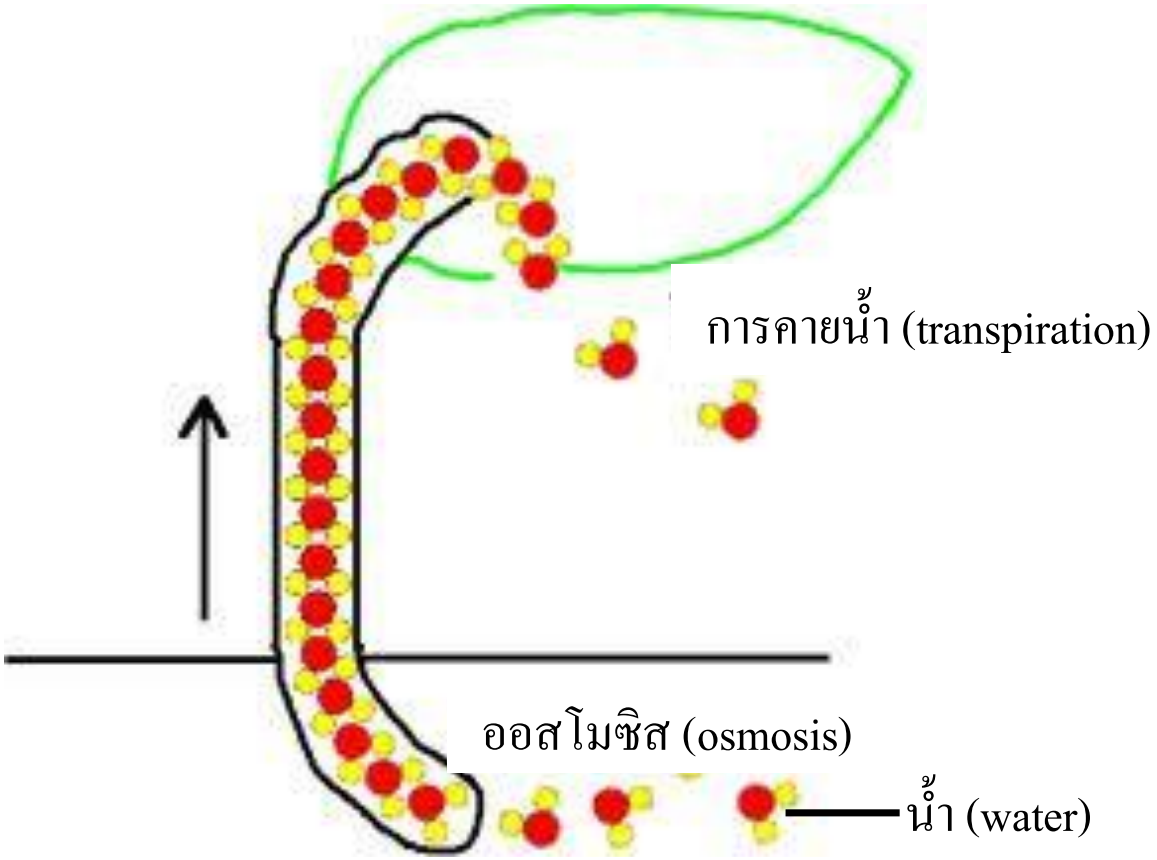
- ถ้าหากใส่ปุ๋ยอนินทรีย์หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ในปริมาณที่มาก ทำให้สารละลายรอบ ๆ รากมีความเข้มข้นมาก เพราะปุ๋ยวิทยาศาสตร์ละลายน้ำได้ดี พืชจึงดูดน้ำไม่ได้ทำให้พืชเหี่ยวเฉา และตายในที่สุดดังนั้นการใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งจึงดีกว่าการใส่ครั้งละมาก ๆ และนาน ๆ ครั้ง

น้ำ (water)

ขนราก (root hair)

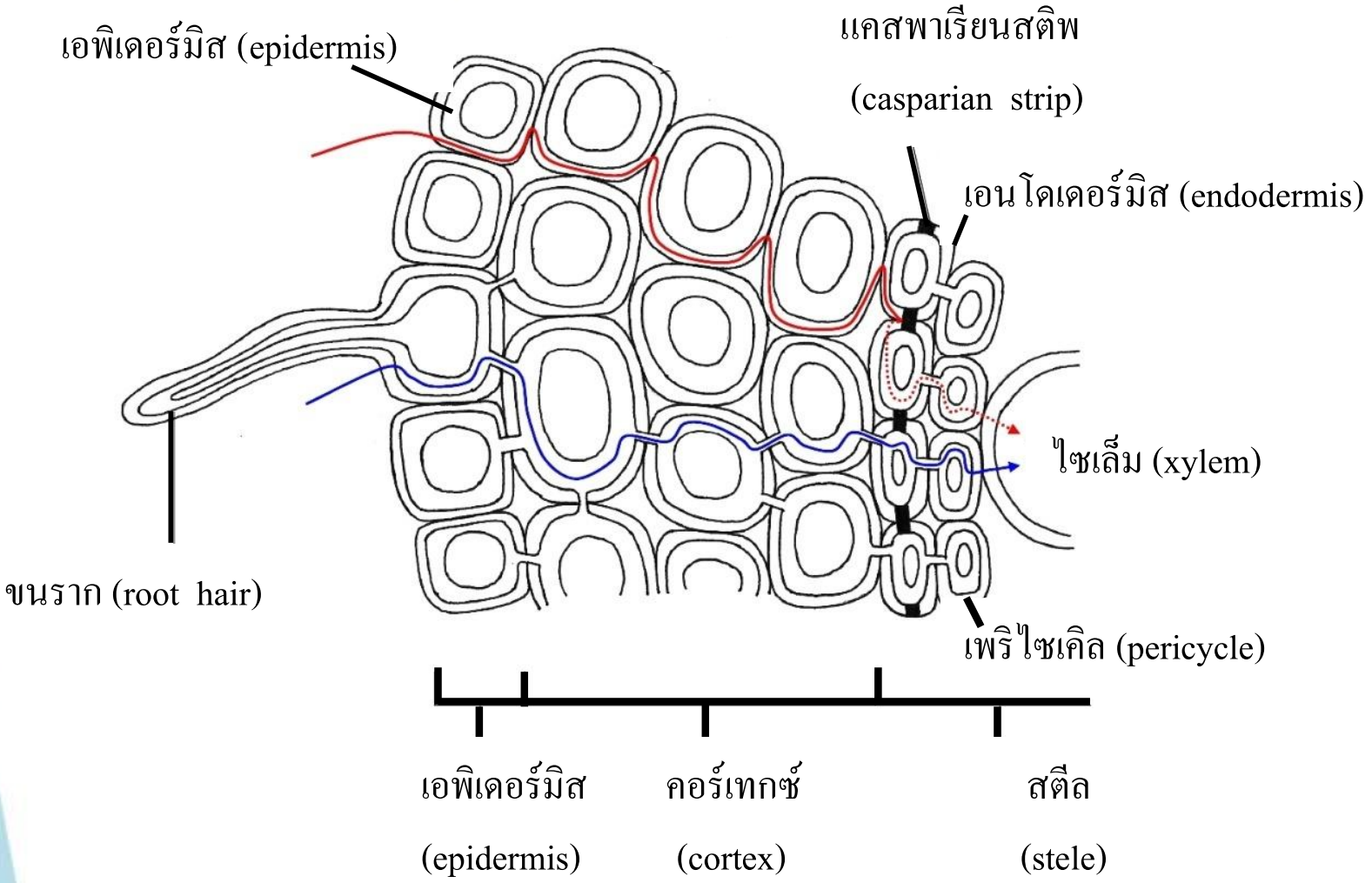
อนุภาคดิน (soil particle)




การคายน้ำ (transpiration)
ออสโมซิส (osmosis)
น้ำ (water)

การเคลื่อนที่ของน้ำในราก

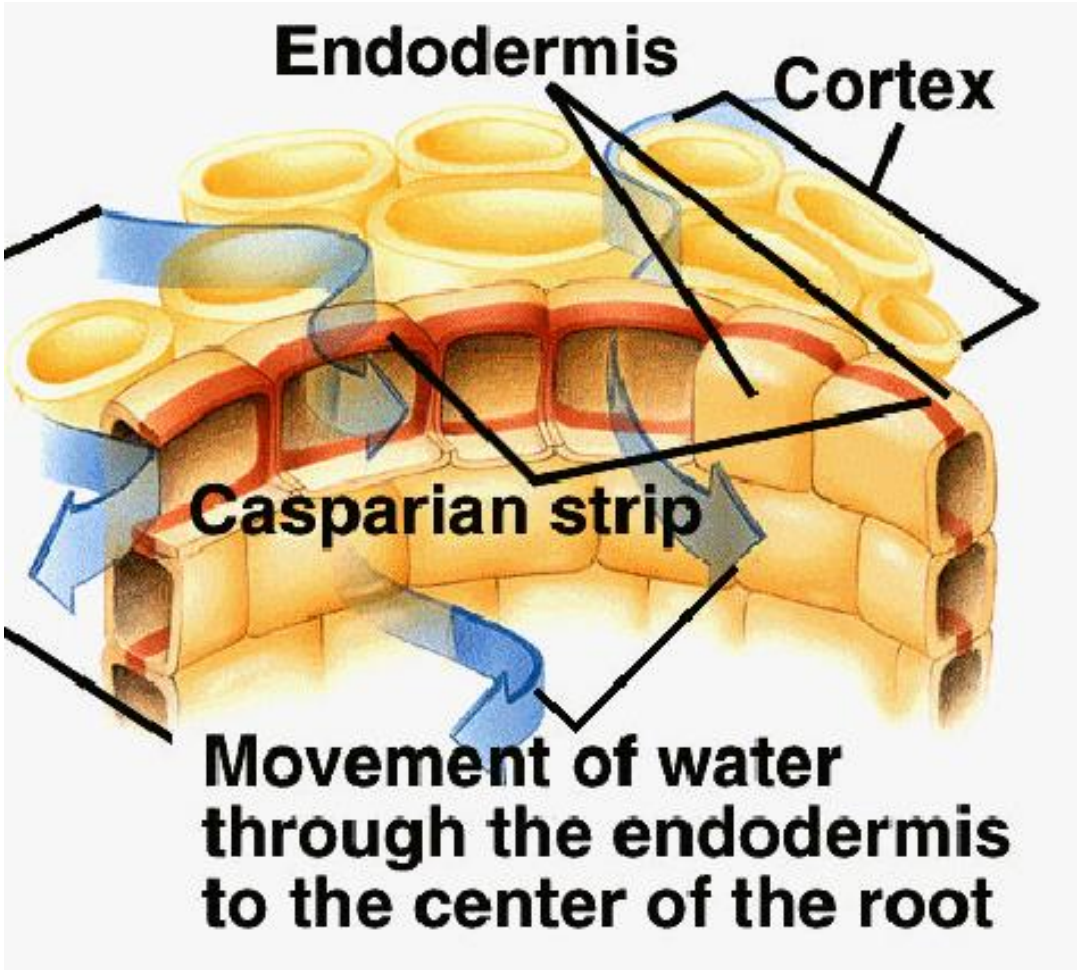
การเคลื่อนที่ของน้ำภายในราก เริ่มตั้งแต่น้ำจากดินจะเคลื่อนที่เข้าสู่ขนรากของเซลล์เอพิเดอร์มิส ผ่านเข้าสู่ชั้นคอร์เทกซ์มีชั้นเอนโดเดอร์มิสเป็นชั้นในสุด ผ่านเพริไซเคิลและเข้าสู่เล็มตามลำดับ การเคลื่อนที่ของน้ำในแนวรัศมีมี 2 วิธี คือ


เอพิเดอร์มิส (epidermis)
แคสพาเรียนสติพ
(casparian strip)
เอนโดเดอร์มิส (endodermis)
ไซเล็ม (xylem)
ขนราก (root hair)
เพริไซเคิล (pericycle)
เอพิเดอร์มิส
(epidermis)
คอร์เทกซ์
(cortex)
สตีล
(stele)

1. อโพพลาสต์ (apoplast) เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์และผ่านเซลล์ที่ไม่มีชีวิต (ยกเว้นเอนโดเดอร์มิส)

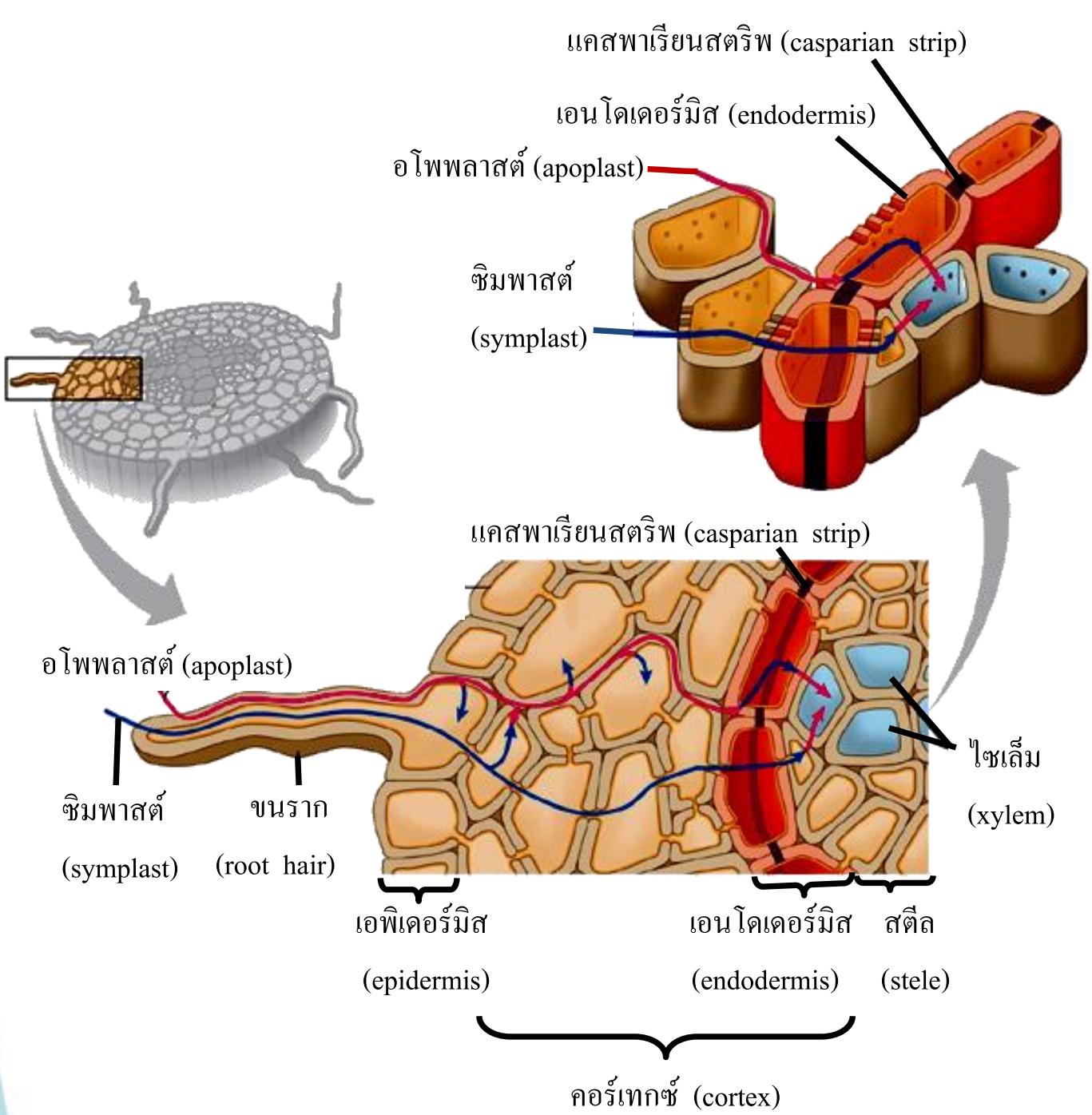
- เมื่อถึงเอนโดเดอร์มิส น้ำไม่สามารถผ่านช่องว่างระหว่างผนังเซลล์ได้ เนื่องจากระหว่างเซลล์ เอนโดเดอร์มิส มีสารซูเบอรินฉาบเคลือบอยู่เรียกว่า **แคสพาเรียนสติพ (casparian strip)** อุดช่องทางเดินของน้ำ

- โมเลกุลของน้ำจึงต้องผ่านไซโทพลาซึมของเซลล์ชั้นเอนโดเดอร์มิสแล้วจึงผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นในคือเพริไซเคิลและไซเล็มต่อไป


Endodermis
Cortex
Casparian strip
Movement of water
through the endodermis
to the center of the root

2. ซิมพลาสต์ (symplast)

- เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากเซลล์หนึ่งผ่านไปสู่เซลล์หนึ่งโดยผ่านไซโทพลาซึมทางช่อง พลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata)


แคสพาเรียนสตริพ (casparian strip)
เอนโดเดอร์มิส (endodermis)
อโพพลาสต์ (apoplast)
ซิมพาสต์
(symplast)
แคสพาเรียนสตริพ (casparian strip)
อโพพลาสต์ (apoplast)
ซิมพาสต์
(symplast)
ขนราก
(root hair)
ไซเล็ม
(xylem)
เอพิเดอร์มิส
(epidermis)
เอนโดเดอร์มิส
(endodermis)
สตีล
(stele)
คอร์เทกซ์ (cortex)

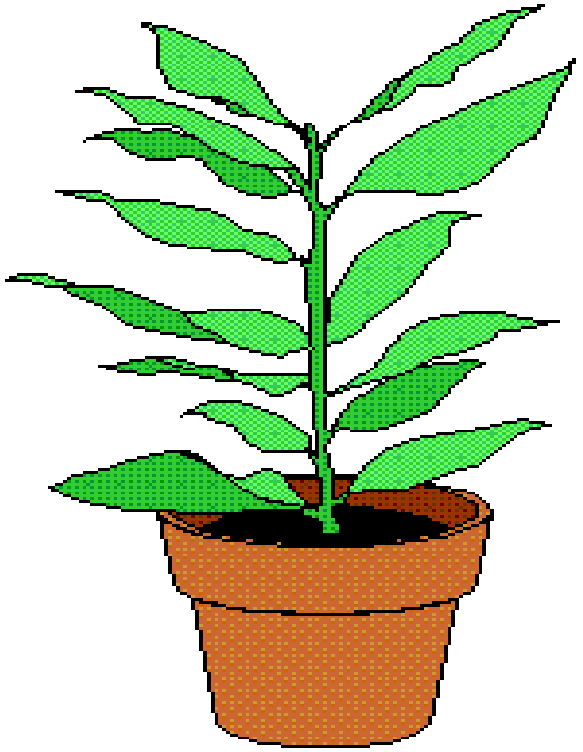
กระบวนการลำเลียงน้ำของพืช

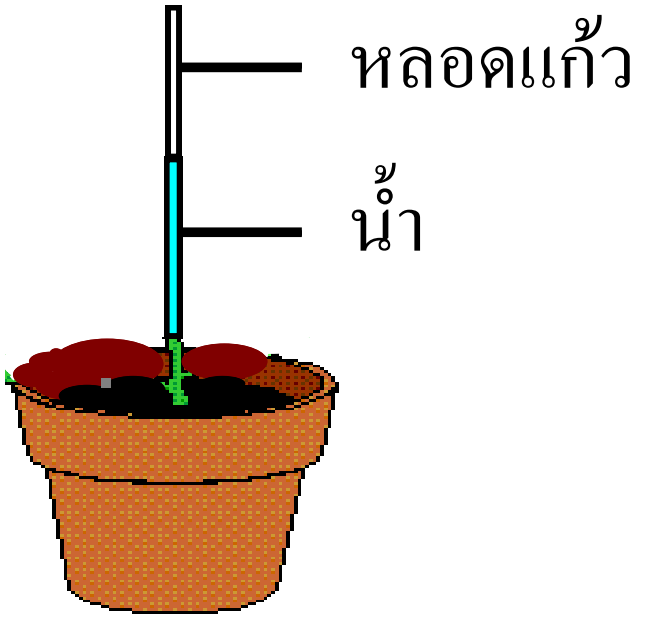
น้ำที่พืชดูดซึมจากในดินเข้าสู่ขนรากต่อจากนั้นจะเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อไซเล็ม (xylem) ภายในลำต้น การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นสายจากรากไปสู่ลำต้นสูง ๆ จึงจำเป็นต้องอาศัยแรงดันและแรงดึง คือ

1. แรงดันราก (root pressure)
2. แรงแคพิลารี (capillary action)
3. แรงดึงจากการคายน้ำ (transpiration pull)

1. แรงดันราก (root pressure)

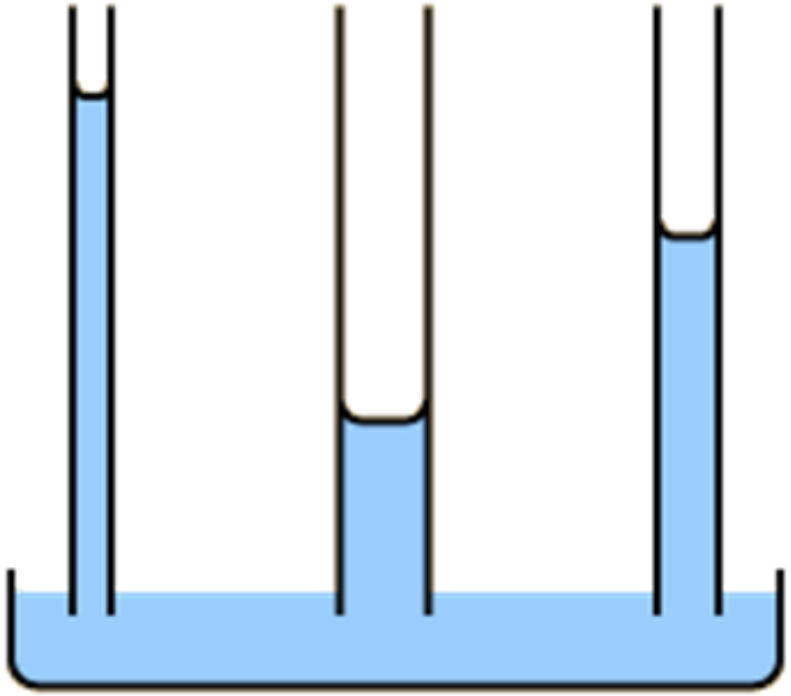
เกิดจากความเข้มข้นของน้ำในดินกับน้ำในท่อไซเล็ม โดยน้ำในท่อไซเล็มมีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำในดิน เนื่องจากมีพวกสารอาหารและสารละลาย ต่าง ๆ อยู่มาก จึงเกิดกระบวนการออสโมซิสของน้ำในดินเข้าสู่รากได้เรื่อย ๆ จึงเกิดแรงดันของน้ำภายในราก (hydrostatic pressure)





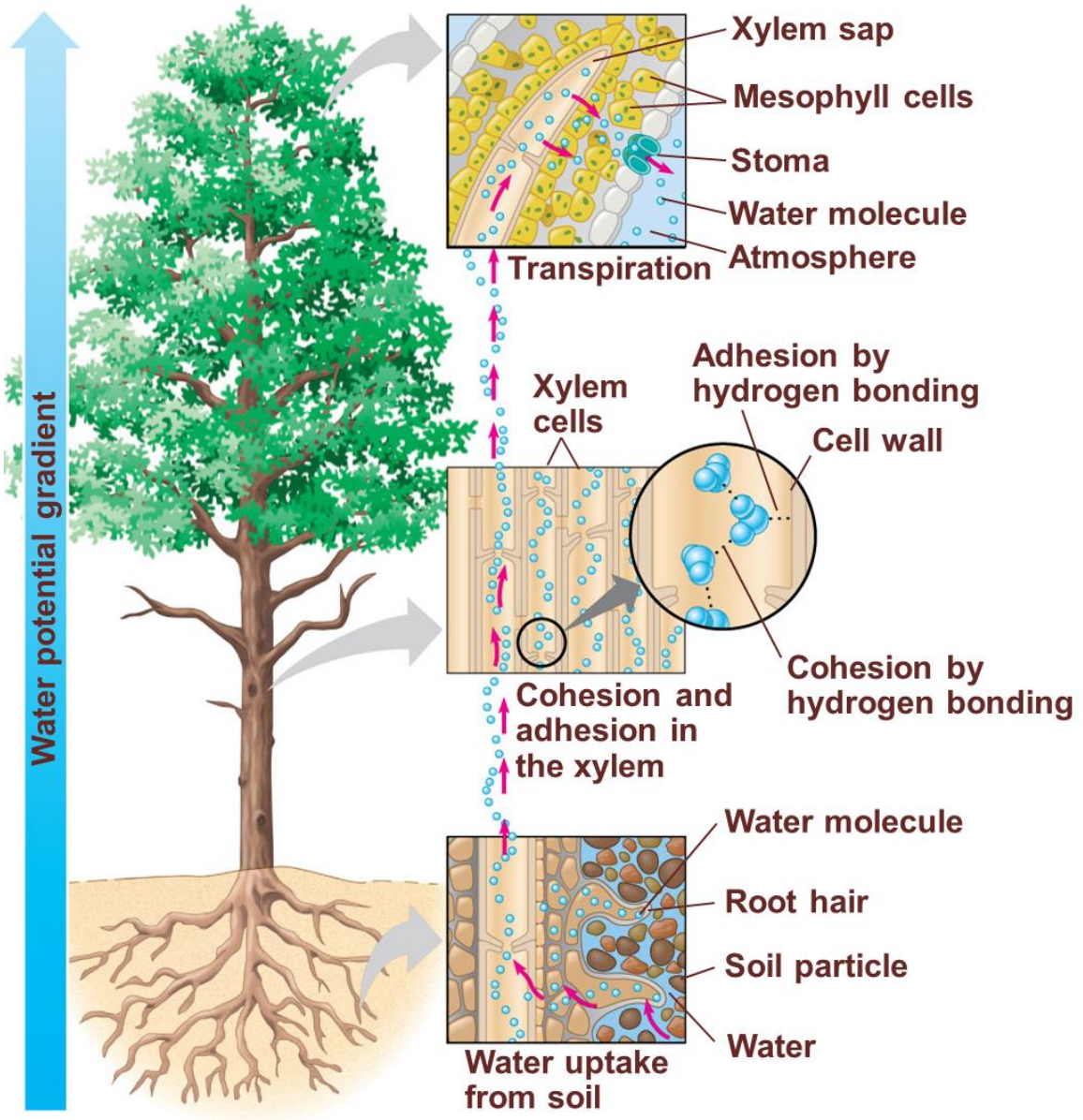
2. แรงแคพิลารี (capillary action)

เมื่อนำหลอดแก้วเล็ก ๆ จุ่มลงในไปในน้ำ จะพบว่าน้ำสามารถขึ้นไปในหลอดแก้วได้ เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับกับผนังด้านข้างของหลอดเล็ก ๆ เรียกแรงดึงดูดนี้ว่า **แรงแอดฮีชัน (adhesion)** ยิ่งหลอดมีขนาดเล็กเท่าไร น้ำยิ่งขึ้นไปได้สูง ในการลำเลียงน้ำของพืชเซลล์เทรคีดและเวสเซลในไซเล็มของพืชซึ่งเป็นหลอดที่มีขนาดเล็กทำให้น้ำลำเลียงขึ้นไปตามท่อ ช่วยในการลำเลียงของพืชขนาดเล็กได้



3. แรงดึงจากการคายน้ำ (transpiration pull)

การคายน้ำทำให้เกิดการดึงภายในท่อไซเล็มเพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไปทางปากใบ แรงดึงที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจากรากจนถึงใบ คือ **แรงโคฮีชัน (cohesion)** ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเอง และ **แรงแอดฮีชั่น** ซึ่งยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำและผนังเซลล์ของไซเล็มแรงต่าง ๆ เหล่านี้ช่วยดึงให้น้ำเคลื่อนติดต่อกันไปเป็นสายไม่ขาดตอนจึงทำให้พืชลำเลียงน้ำขึ้นที่สูง ๆ ได้


Water potential gradient
Xylem sap
Mesophyll cells
Stoma
Water molecule
Atmosphere
Transpiration
Xylem cells
Adhesion by hydrogen bonding
Cell wall
Cohesion by hydrogen bonding
Cohesion and adhesion in the xylem
Water molecule
Root hair
Soil particle
Water
Water uptake from soil

การลำเลียงน้ำในรากมี 3 แบบ

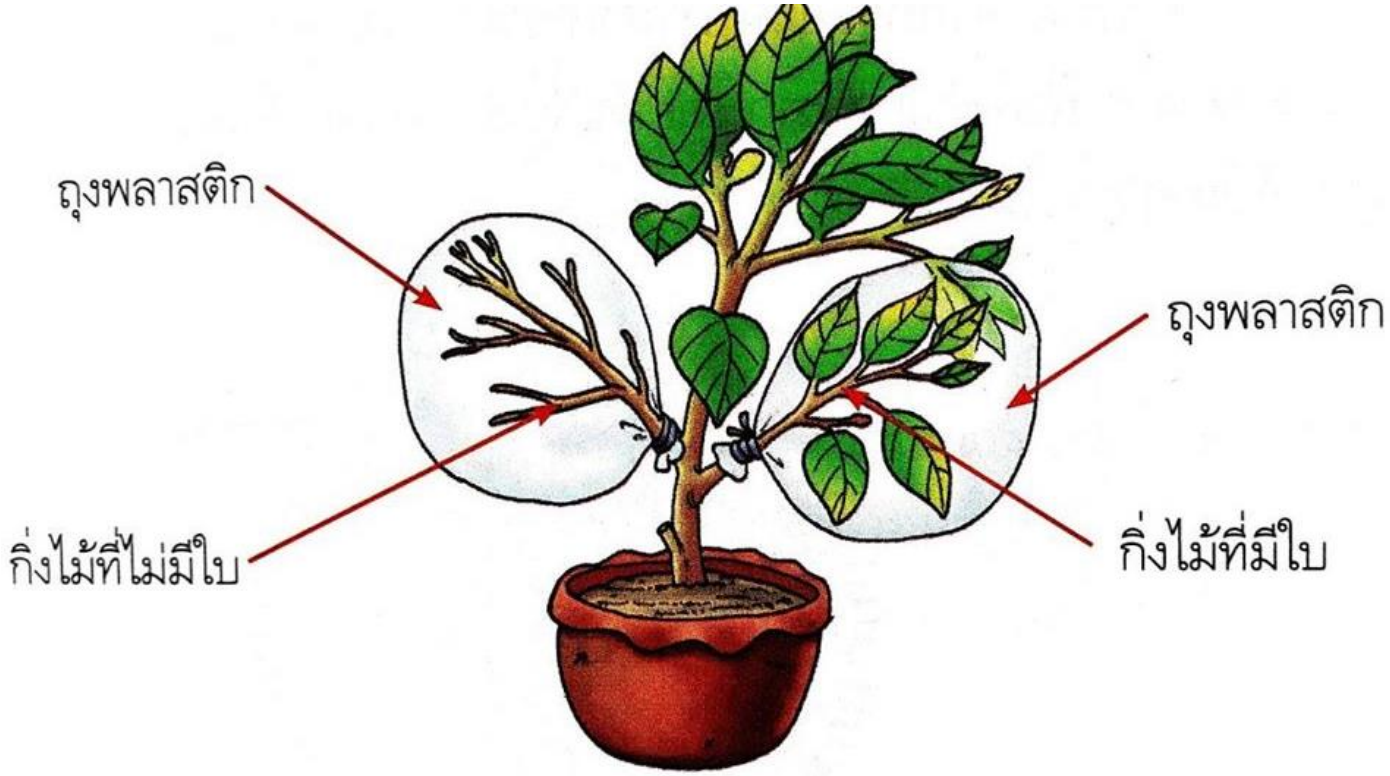
เมื่อน้ำเข้าสู่รากและเข้าสู่เซลล์แล้ว เคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งสู่เซลล์หนึ่ง ทางพลาสโมเดสมาตา เรียกการลำเลียงน้ำแบบนี้ว่า **แบบซิมพลาสต์**

เมื่อน้ำเข้าสู่รากและเข้าสู่เซลล์แล้ว เคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งสู่เซลล์หนึ่ง ทางพลาสโมเดสมาตา เรียกการลำเลียงน้ำแบบนี้ว่า **แบบซิมพลาสต์**

การลำเลียงน้ำแบบอโพพลาสต์ น้ำจะไม่ผ่านเข้าสู่เซลล์ แต่จะเคลื่อนที่ไปตามผนังเซลล์หรือช่องว่างระหว่างเซลล์ และการลำเลียงน้ำแบบทรานส์เมมเบรน น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสองเซลล์ที่

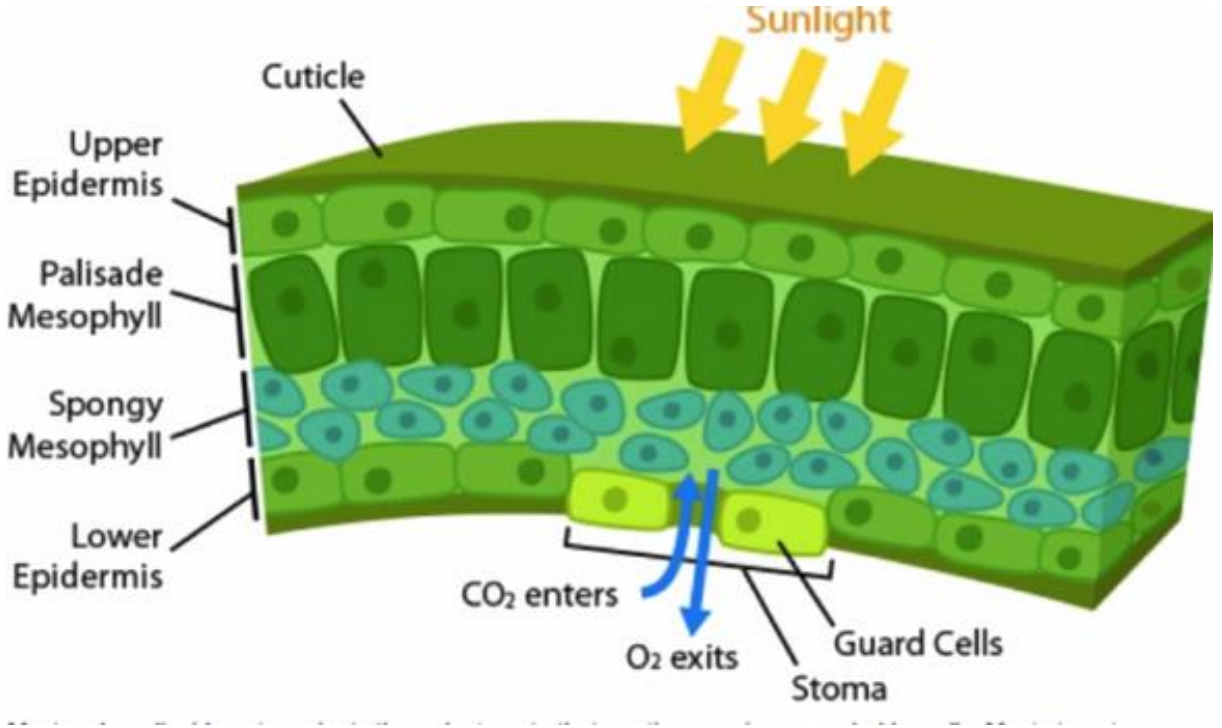
กัตเตชัน คือ ปรากฏการณ์ที่พืชสูญเสียน้ำในรูปของหยดน้ำผ่านทางรูหยาดน้ำ เกิดในภาวะที่พืชไม่เกิดการคายน้ำ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูงมากหรือปากใบปิด และน้ำในดินเคลื่อนที่เข้าสู่รากจนความดันรากมีมากพอ น้ำจะเคลื่อนที่ออกมาทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า **รูหยาดน้ำ** ซึ่งอยู่ปลายสุดของไซเล็มบริเวณขอบใบหรือปลายใบ

การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ

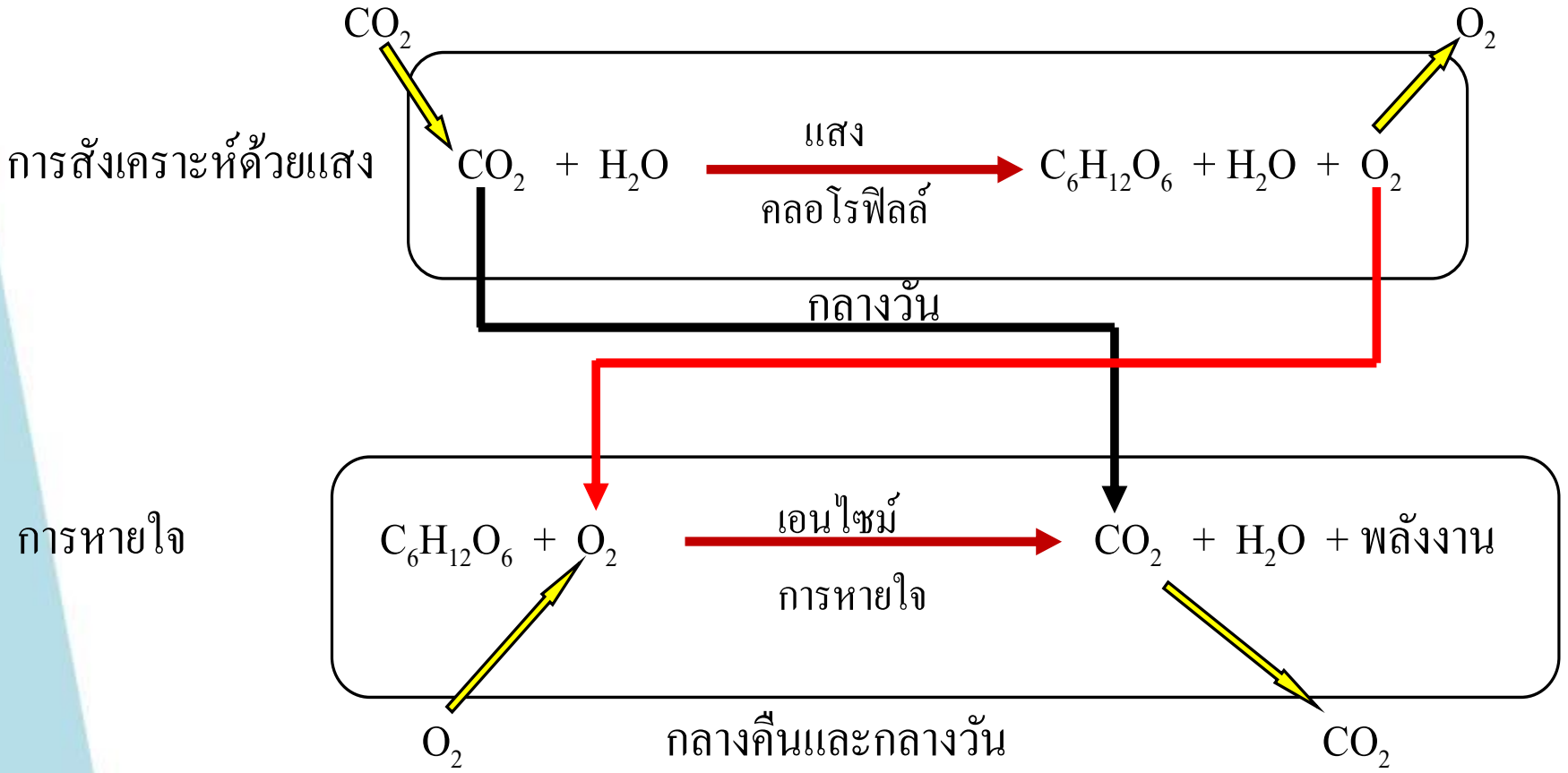


การทดลองการคายน้ำของพืช

พืชจะได้จากกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส การแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นที่ชั้นสปันจีเซลล์ เนื่องจากเซลล์เกาะกันอย่างหลวม ๆ ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์ พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของสปันจีเซลล์จะสัมผัสกับอากาศโดยตรง และในช่องว่างระหว่างเซลล์นี้จะมีความชื้นเกือบ 100 % ดังนั้น เยื่อหุ้มเซลล์ของสปันจีจึงเปียกชื้นเหมาะแก่การแลกเปลี่ยนแก๊สโดยตรง

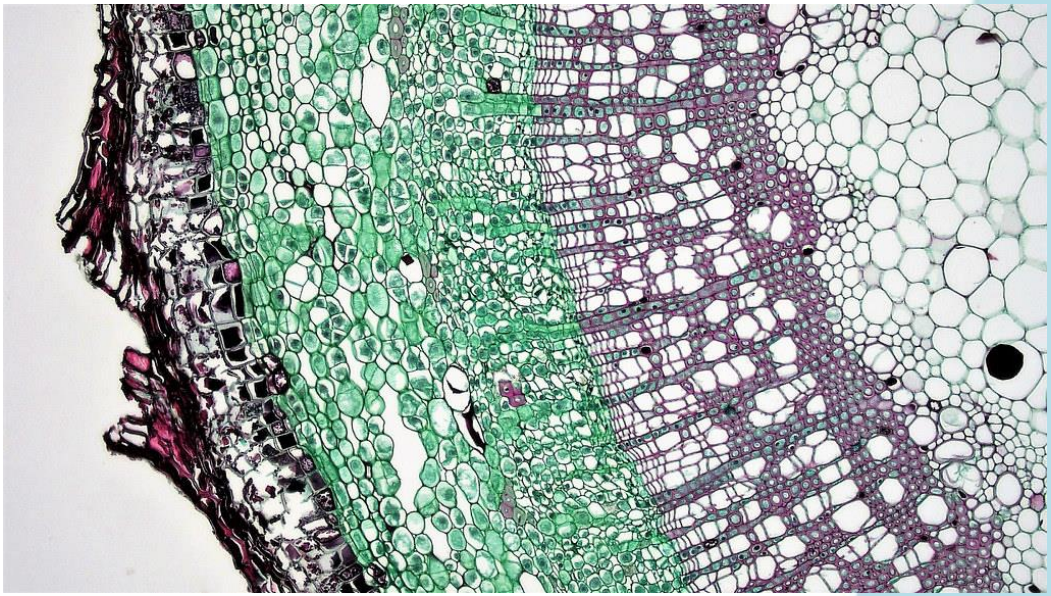


การเปิดหรือปิดของปากมีจุดประสงค์หลักคือการแลกเปลี่ยนแก๊สปากใบของพืชเปิดผลที่ตามมาคือ พืชจะมีการสูญเสียน้ำออกสู่บรรยากาศภายนอกในรูปของไอน้ำทางรูปากใบ เรียกว่า **การคายน้ำ (transpiration)**


การสังเคราะห์ด้วยแสง
CO_2
$CO_2 + H_2O$
แสง
คลอโรฟิลล์
$C_6H_{12}O_6 + H_2O + O_2$
O_2
กลางวัน
การหายใจ
$C_6H_{12}O_6 + O_2$
เอนไซม์
การหายใจ
$CO_2 + H_2O +$ พลังงาน
O_2
กลางคืนและกลางวัน
CO_2

- การแลกเปลี่ยนแก๊สที่บริเวณเลนทิเซล (lenticel) ซึ่งเป็นรอยแตกที่เปลือกไม้ เป็นช่องที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้

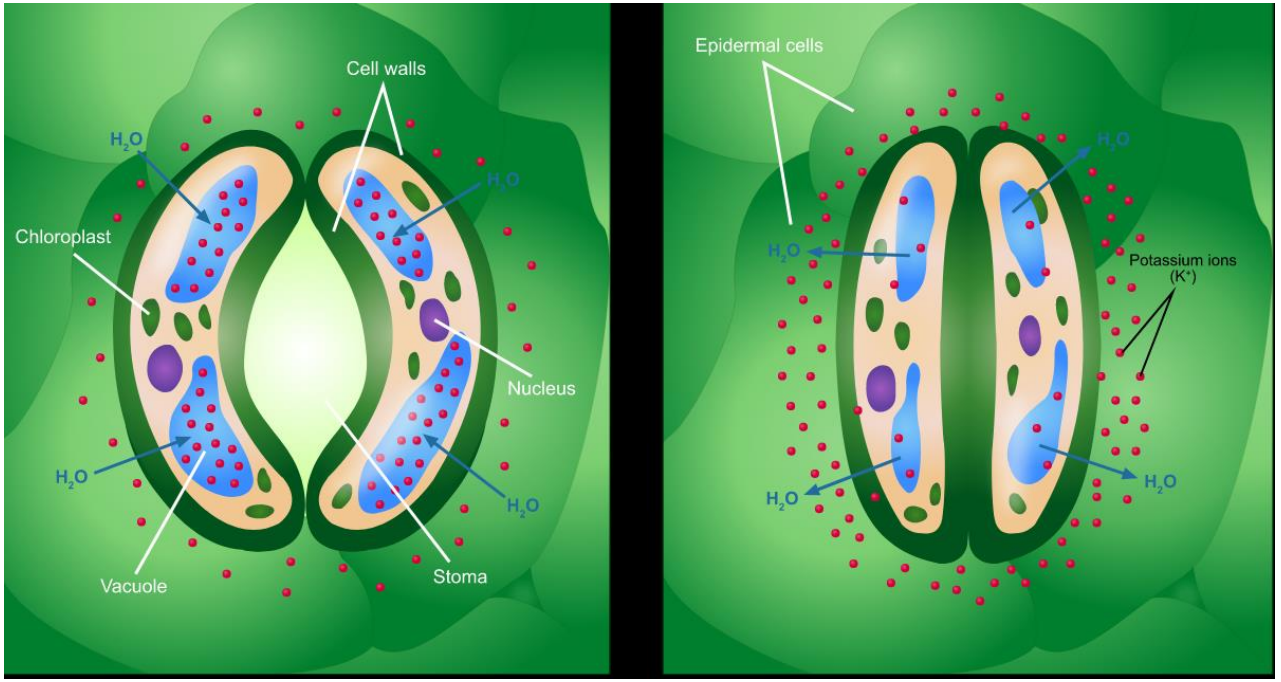
- บริเวณราก โดยอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินจะแพร่ผ่านทางเซลล์ผิวรากเข้าสู่ราก



การคายน้ำ (transpiration) เป็นกระบวนการที่พืชกำจัดน้ำออกจากต้นพืช ส่วนพืชคายน้ำในรูปของไอน้ำ

- น้ำที่พืชดูดขึ้นไปจะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพียงร้อยละ 1- 2 เท่านั้น น้ำส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 98 - 99 จะสูญเสียไปในรูปของการคายน้ำ

- น้ำส่วนใหญ่ระเหยออกทางรูปากใบ (stomatal pore)



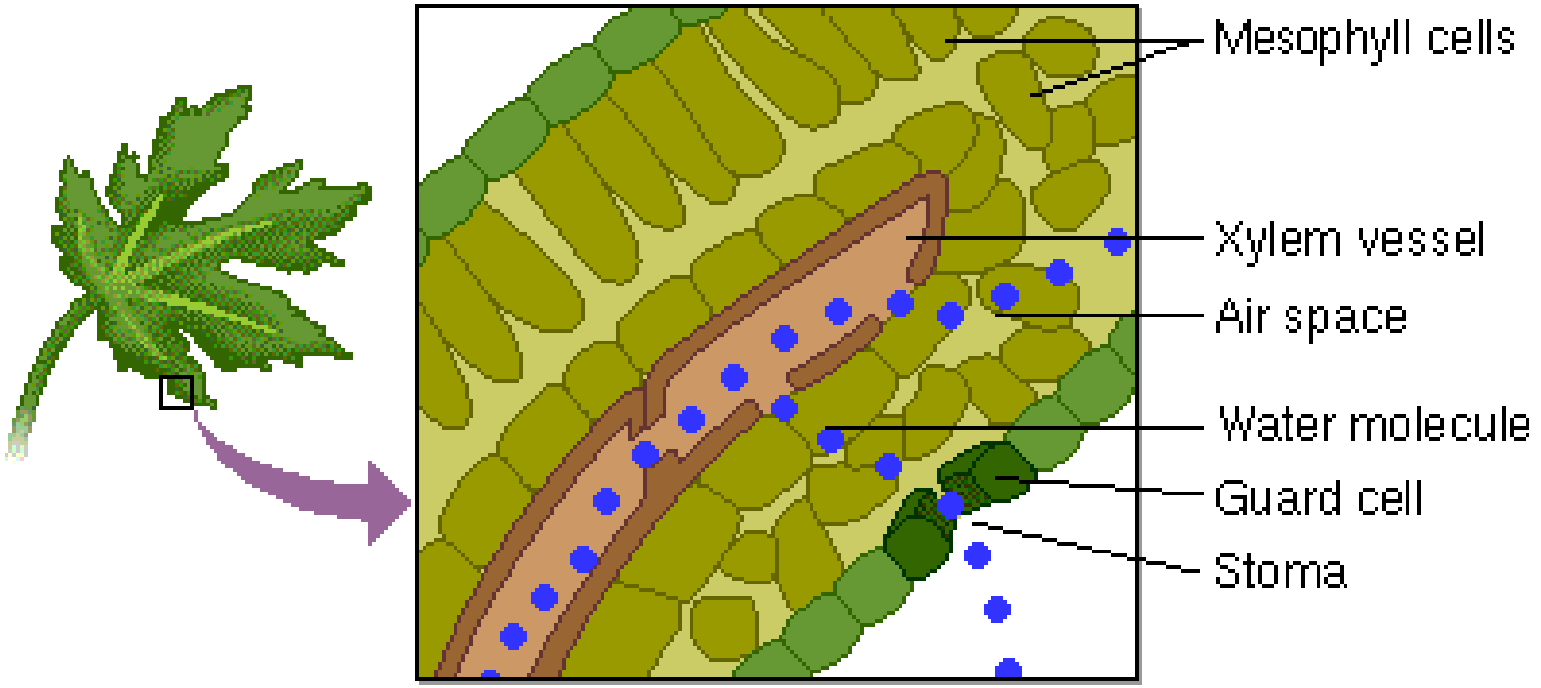
การคายน้ำของพืชมี 2 วิธี คือ การคายน้ำในรูปของไอน้ำ และการคายน้ำในรูปของหยดน้ำ

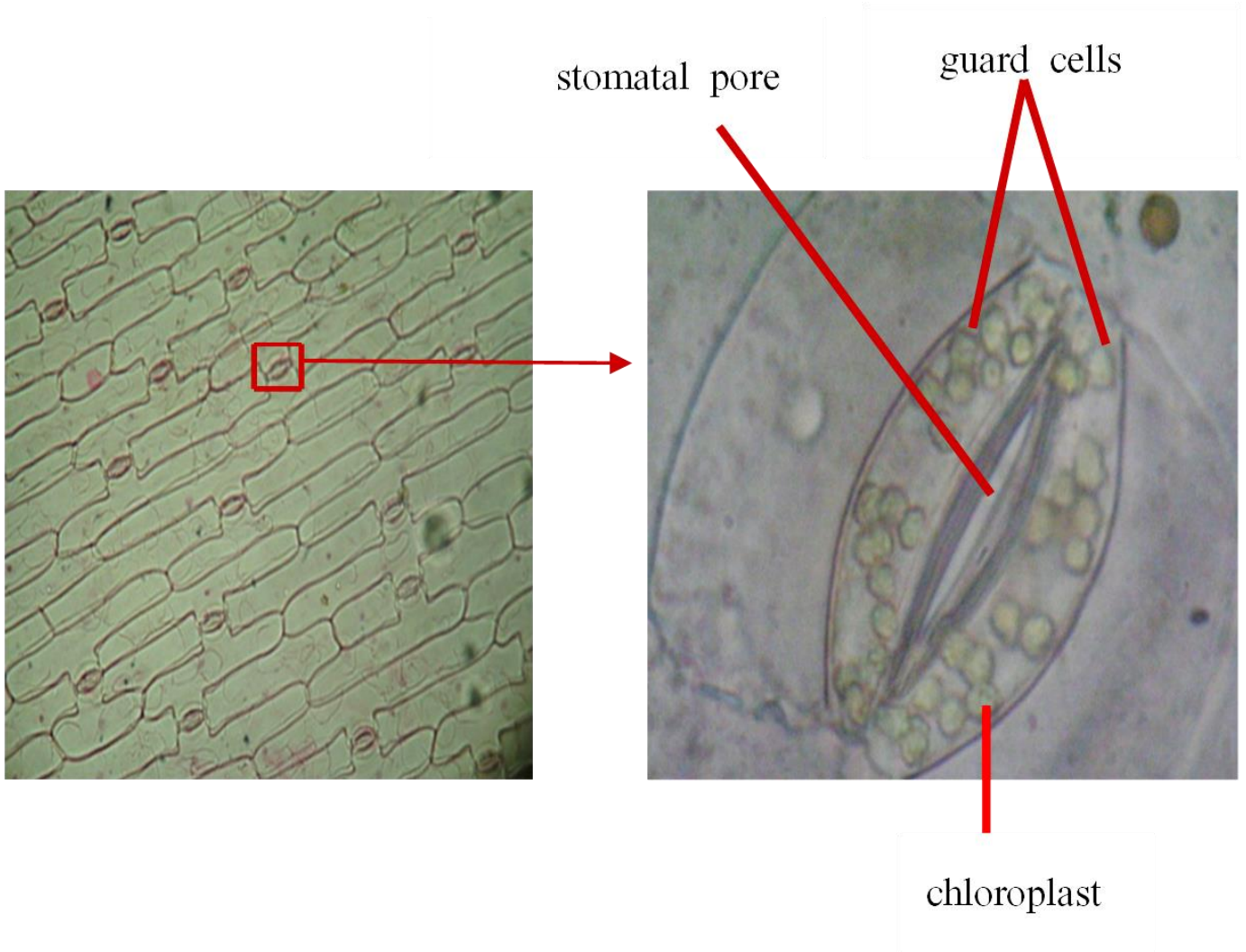
1. การคายน้ำในรูปของไอน้ำ (transpiration) เกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ

- การคายน้ำทางปากใบ (stomatal transpiration)
- การคายน้ำทางผิวใบ (cuticular transpiration)
- การคายน้ำทางเลนทิเซล (lenticular transpiration)

1.1 การคายน้ำทางปากใบ (stomatal transpiration)

การคายน้ำทางปากใบ เป็นการคายน้ำซึ่งเกิดขึ้นมาก ถึง 90 % ปากใบพบมากตามผิวใบ โดยเฉพาะผิวใบด้านล่าง (lower epidermis)



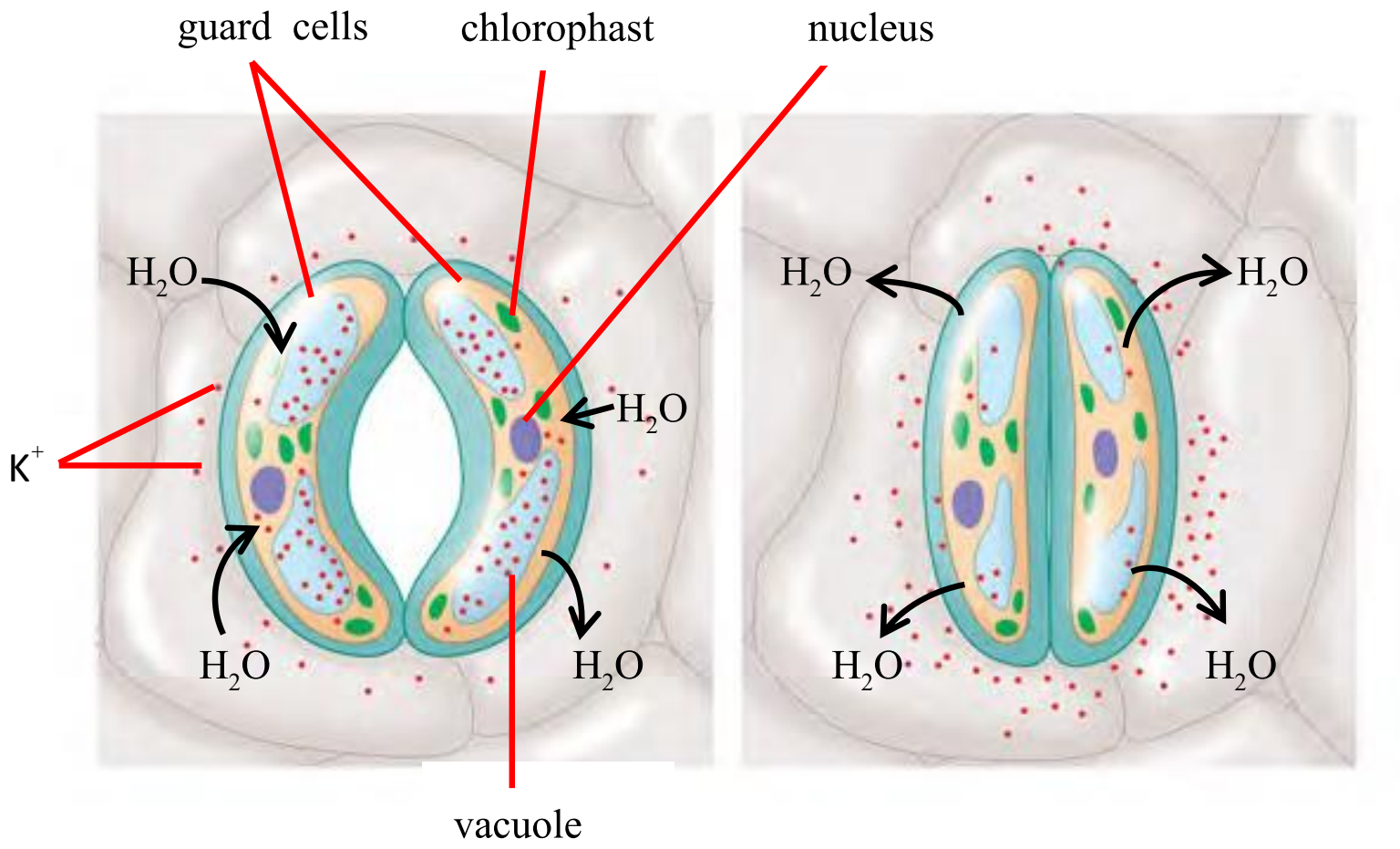

stomatal pore
guard cells
chloroplast

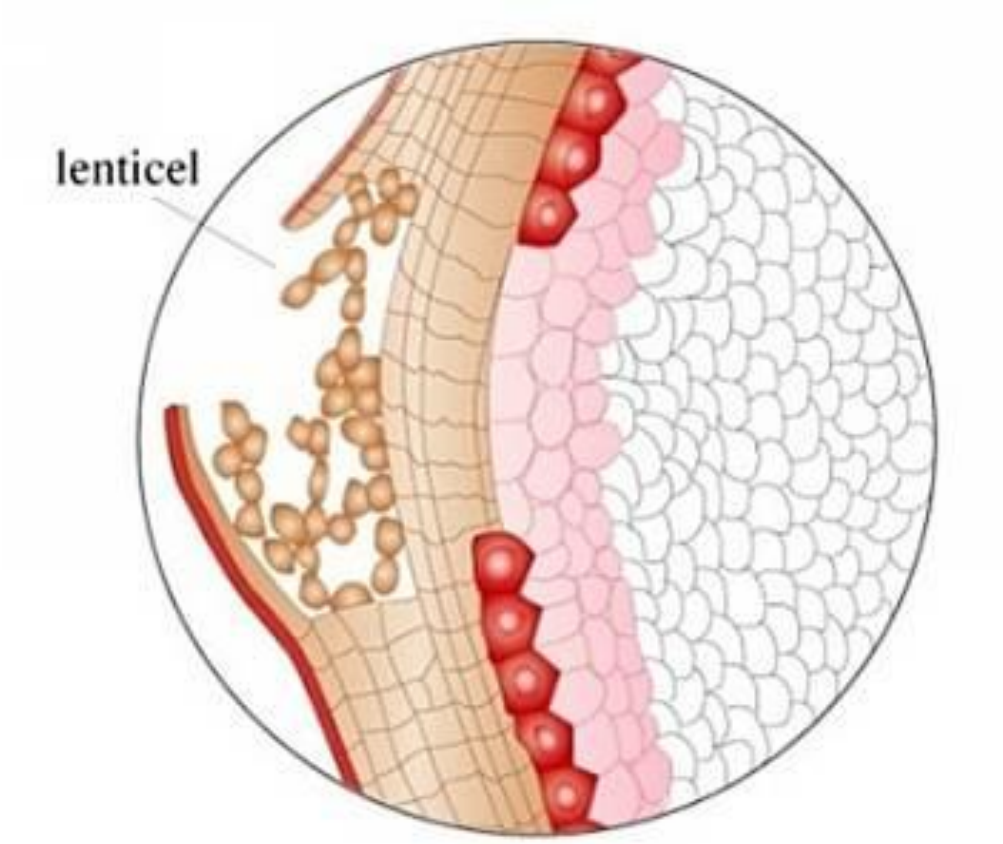
1.2 การคายน้ำทางผิวใบ (cuticular transpiration)

การคายน้ำทางผิวใบ เป็นบริเวณผิวใบมีสารคล้ายขี้ผึ้ง เรียกว่า คิวติน (cutin) เคลือบอยู่ ทำให้พืชคายน้ำออกทางผิวใบน้อย ซึ่งเกิดขึ้นได้ไม่เกิน 10 %

1.3 การคายน้ำทางเลนทิเซล (lenticular transpiration)

การคายน้ำทางเลนทิเซล เป็นการคายน้ำออกทางโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรอยแตกที่เปลือกของลำต้นพืชที่มีการเติบโตทุติยภูมิ และมีพืชบางชนิดเท่านั้นที่พบเลนทิเซล


guard cells
chlorophast
nucleus
H_2O
K^+
H_2O
H_2O
H_2O
vacuole
H_2O
H_2O
H_2O
H_2O


lenticel

2. การคายน้ำในรูปของหยดน้ำ (guttation)

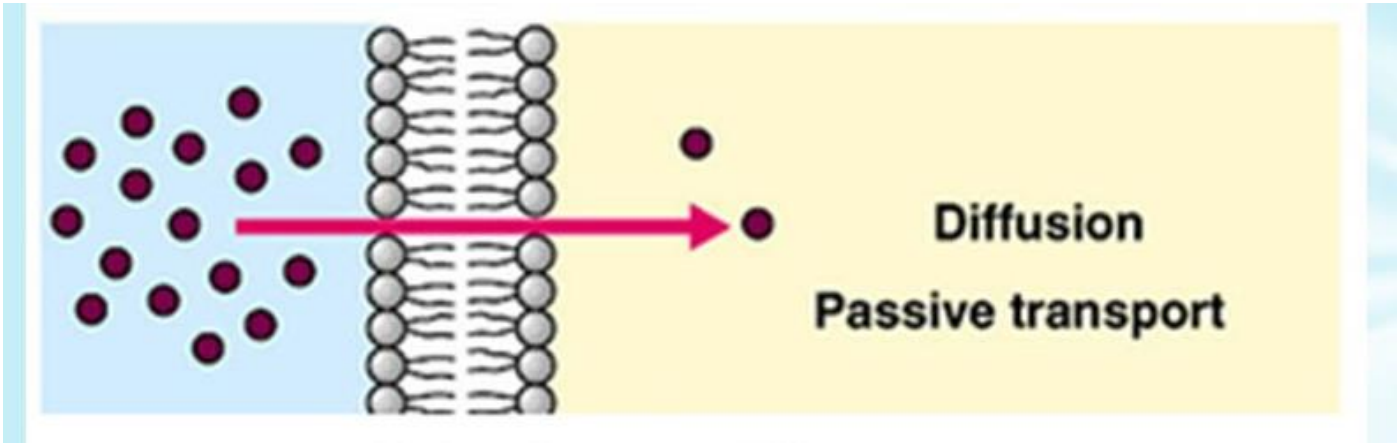
สิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีความชื้นสูง อากาศเย็น ลมสงบ ไม่มีแสงแดด เช่น ภายหลังฝนตกนาน ๆ พืชไม่สามารถคายน้ำออกทางปากใบได้พืชจะคายน้ำในลักษณะของหยดน้ำออกมาตามรูเล็ก ๆ ของเส้นขอบใบที่เรียกว่า รูไฮดราโทด (hydrathode) กระบวนการนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันที่เกิดขึ้นภายในรากเรียกว่า **แรงดันราก (root pressure)**

การลำเลียงธาตุอาหาร

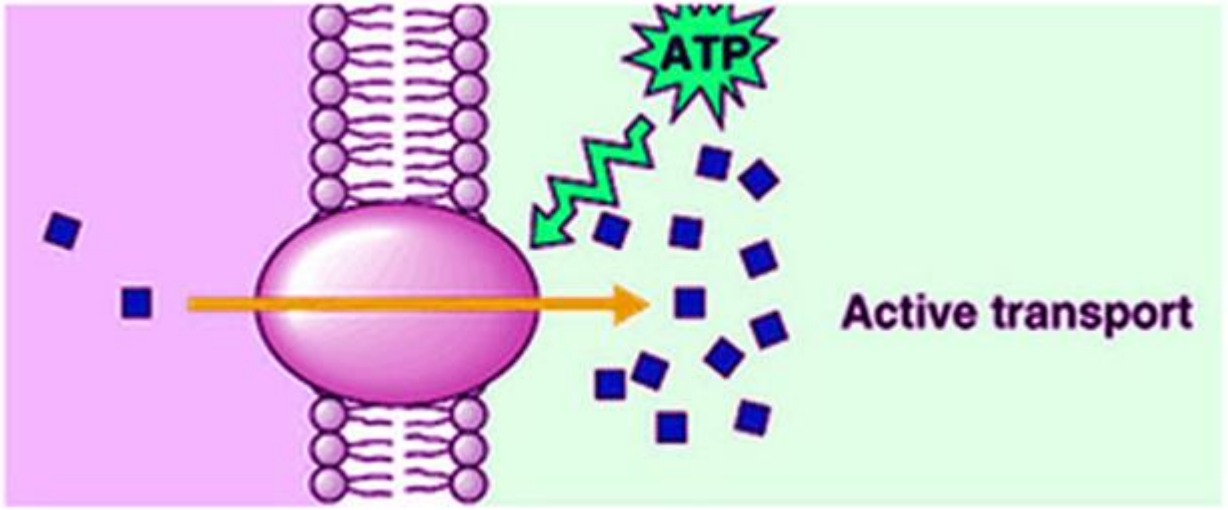
พืชลำเลียงสารอาหาร (nutrient) ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ โดยจะลำเลียงไปพร้อม ๆ กับการลำเลียงน้ำ

กระบวนการลำเลียงสารอาหารในราก ดูดซึมเข้าสู่ขนราก 2 วิธี คือ

1. **การลำเลียงแบบไม่ใช้พลังงาน** (passive transport) โดยธาตุอาหารจะแพร่จากภายนอกเซลล์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังภายในเซลล์ที่มีความเข้มข้นต่ำ



2. การลำเลียงแบบใช้พลังงาน (active transport) เป็นการนำแร่ธาตุจากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยไปยังบริเวณที่มีแร่ธาตุมากกว่าโดยต้องใช้พลังงานจากการหายใจช่วย



สารอาหารที่เข้าไป
ในไซเล็ม

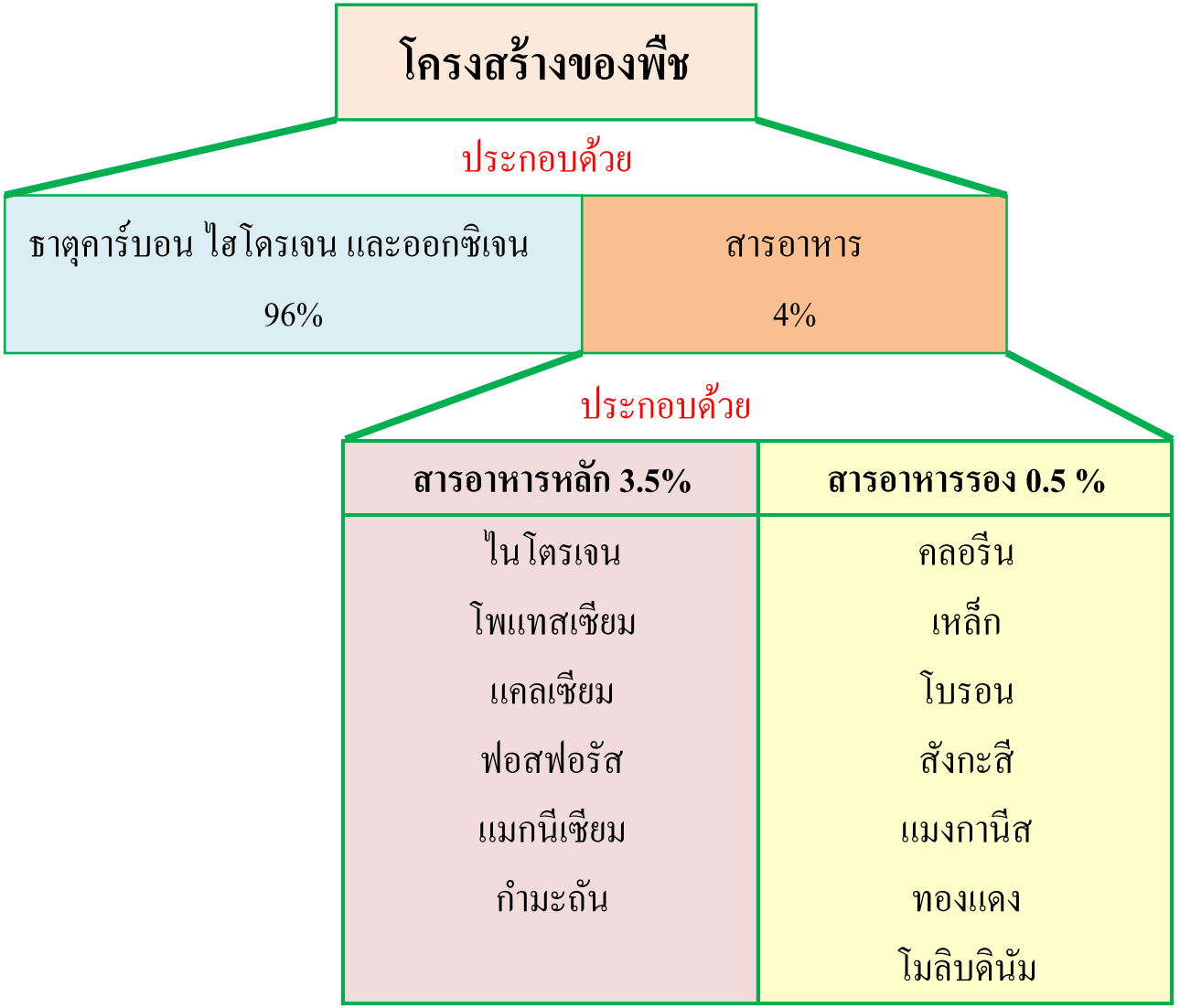
ชั้นคอร์เทกซ์ของราก

โดยเส้นทาง อโพพลาสต์ หรือซิมพลาสต์

เซลล์ชั้นเอนโดเดอร์มิสก่อนเข้าสู่ไซเล็ม

ส่วนธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนนั้น เป็น
องค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ในโครงสร้างพืช

โครงสร้างพืชประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ของสารอินทรีย์ 96 % และมีสารอาหาร 4 % ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ดังแผนภาพ



ธาตุจำเป็น	สัญลักษณ์ทางเคมี	รูปของธาตุที่พืชนำไปใช้ได้	ค่าร้อยละของธาตุที่พบในเนื้อเยื่อพืช (น้ำหนักแห้ง)
คาร์บอน	C	CO_2	45.0
ออกซิเจน	O	O_2 , H_2O , CO_2	45.0
ไฮโดรเจน	H	H_2O	6.0
ธาตุในสารอาหารหลัก			
ไนโตรเจน	N	NO_3^- , NH_4^+	1.5
โพแทสเซียม	K	K^+	1.0
แคลเซียม	Ca	Ca^{2+}	0.5
ฟอสฟอรัส	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	0.2
แมกนีเซียม	Mg	Mg^{2+-}	0.2
กำมะถัน	S	SO_4^{2-}	0.1
ธาตุในสารอาหารรอง			
คลอรีน	Cl	Cl^-	0.01
เหล็ก	Fe	Fe^{2+}	0. 01
โบรอน	B	$H_2BO_3^-$	0.002
สังกะสี	Zn	Zn^{2+}	0.002
แมงกานีส	Mn	Mn^{2+}	0. 005
ทองแดง	Cu	Cu^+, Cu^{2+}	0.0006
โมลิบดีนัม	Mo	MoO_4^{2-}	0.00001

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารอาหารของพืช

มีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. **สารอาหารหลัก (macronutrients)** เป็นสารอาหารที่มีปริมาณสูงกว่าร้อยละ 0.1 ของธาตุที่พบในเนื้อเยื่อพืช (น้ำหนักแห้ง) มี 6 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S)

ในปัจจุบันมีการเสนอให้ นิเกิล (Ni) ซิลิกอน (Si) และโซเดียม (Na) เป็นธาตุที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากเพิ่มขึ้นอีก 3 ธาตุ

2. สารอาหารรอง (micronutrients) เป็นสารอาหารที่มีปริมาณร้อยกว่าร้อยละ 0.1 ของธาตุที่พบในเนื้อเยื่อพืช (น้ำหนักแห้ง) ได้แก่ โบรอน (B) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

การคำนวณปุ๋ยผสม

ในการใช้ปุ๋ยผสมต้องมีการนำปุ๋ยเดี่ยวต่าง ๆ มาผสมกัน จึงเป็นสิ่งสำคัญซึ่งมีวิธีการคำนวณตามตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่าง ปุ๋ยเกรด 15 - 15 - 8 จำนวน 40 กิโลกรัมจะมีธาตุในปุ๋ยแต่ละชนิดจำนวนเท่าไร

วิธีคำนวณ หาธาตุที่อยู่ในปุ๋ยจากโจทย์ที่กำหนดให้

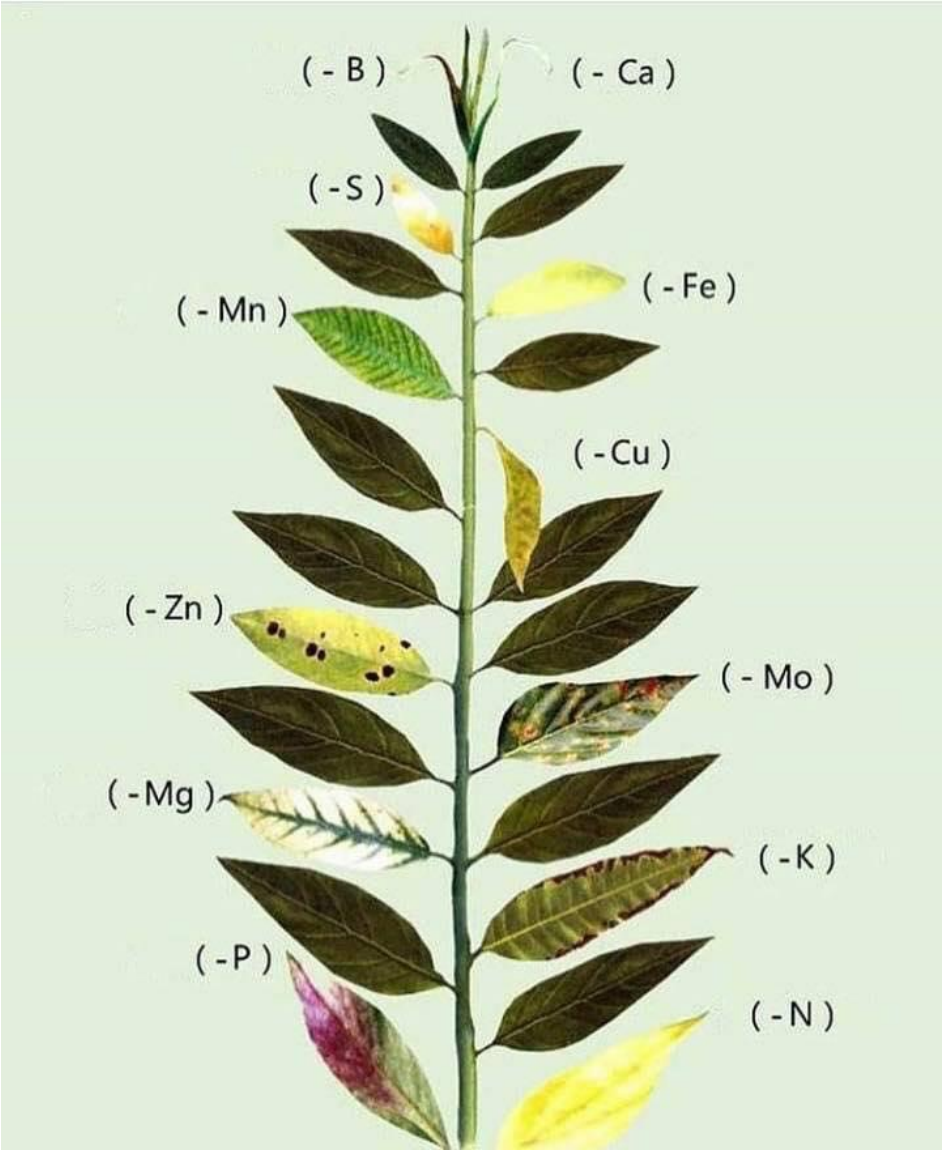
ธาตุไนโตรเจน (N) $\frac{15 \times 40}{100}$ = 6 กิโลกรัม

ธาตุฟอสฟอรัส (P) $\frac{15 \times 40}{100}$ = 6 กิโลกรัม

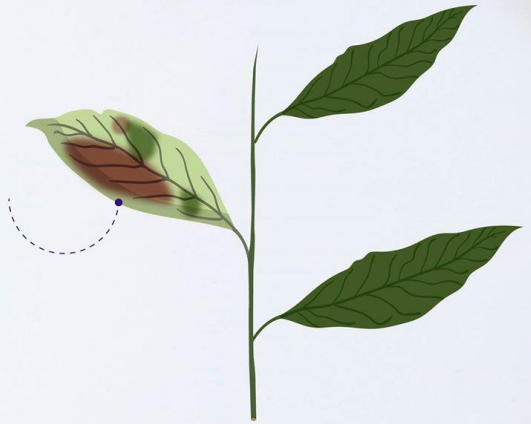
ธาตุโพแทสเซียม (K) $\frac{8 \times 40}{100}$ = 3.2 กิโลกรัม

ดังนั้น ปุ๋ยเกรด 15 - 15 - 8 ประกอบด้วย ไนโตรเจน 6 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 6 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 3.2 กิโลกรัม

อาการขาดปุ๋ยของพืช



พืชโตช้า ต้นแคระแกรน ใบมีสีเหลืองหากพืชมีอาการโตช้า ต้นแคระแกรน ออกดอกลดลง ผล รากหรือส่วนที่สะสมอาหารมีขนาดลดลง ใบแก่ที่อยู่ตอนล่างของพืช มีสีเขียวจางแล้วกลายเป็นสีเหลืองอ่อน เริ่มซีดจากปลายใบ ถ้ารุนแรงเป็นสีน้ำตาลลามสู่กลางใบเป็นรูปตัววี (V) ใบจะร่วงก่อนกำหนด แสดงว่าพืชขาด ไนโตรเจน



ขาด **ฟอสฟอรัส (P)**

ใบแก่สีม่วงแดง ขอบใบม้วน ผอมสูง ลำต้นบิด

ขาด **โพแทสเซียม (K)**

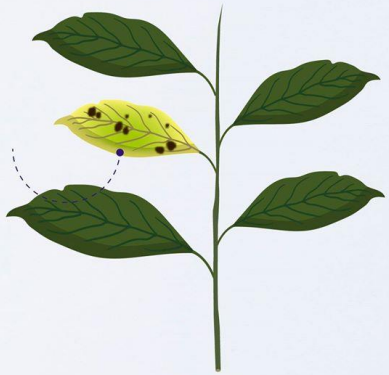
ใบแก่มีสีเหลืองซีด มีจุดสีน้ำตาลไหม้

ขาด **แมกนีเซียม (Mg)**

ใบสีจุดสีเหลืองทั่วทั้งใบ ปลายใบแห้ง

ขาด **โมลิบดินัม (Mo)**

ใบซีด มีจุดด่างกระจาย ใบม้วนเข้าข้างใน



ขาด **สังกะสี (Zn)**

ใบมีจุดเหลืองคล้ายราสนิม

ขาด **ทองแดง (Cu)**

ใบมีสีเขียวจัดแต่ค่อยๆกลายเป็นสีเหลือง

ขาด **แมงกานีส (Mn)**

ใบมีขนาดเล็ก ใบอ่อนมีจุดสีขาวหรือจุดสีเหลือง

ขาด **เหล็ก (Fe)**

ใบอ่อนเล็กกว่าปกติ มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ

ขาด **กำมะถัน (S)**

โตช้า ใบเล็กลง ใบยอดอ่อนมีสีเหลือง

ขาด **แคลเซียม (Ca)**

ใบอ่อนไม่คลี่ออกจากกัน ใบบิดเบี้ยว ม้วนงอไปข้างหน้า

ขาด **โบรอน (B)**

ยอดใบไหม้ โตช้า ใบอ่อนบางผิดปกติ

การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

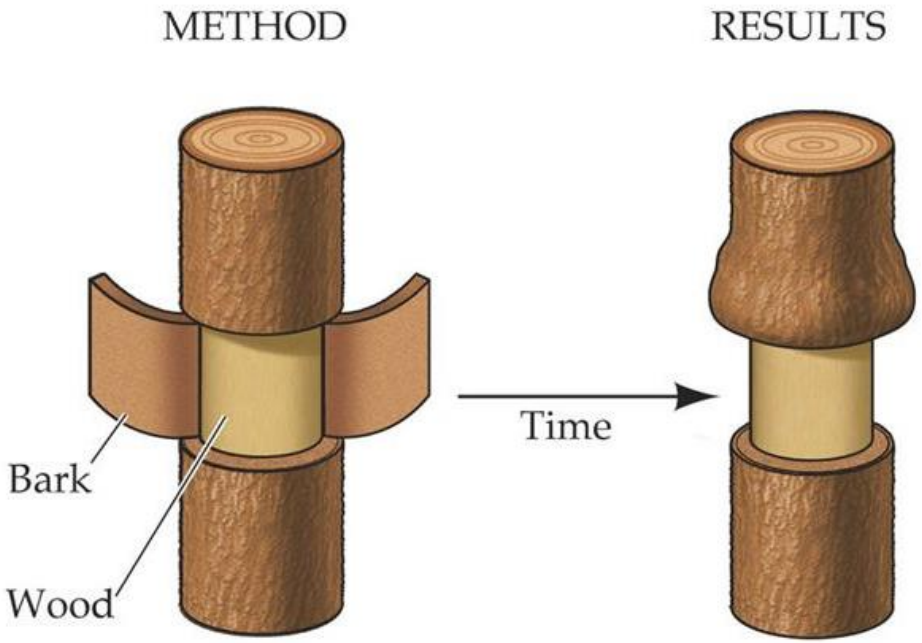
มีการปั๊มอากาศเติมลงในสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์เป็นการให้ออกซิเจนแก่รากพืช เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เพราะหากรากพืชไม่ได้รับออกซิเจนเป็นเวลานาน พืชอาจจะตายได้

ในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์ ปัจจัยที่มีผลต่อการนำธาตุอาหารเข้าสู่รากพืชในรูปของธาตุอาหาร pH ของสารละลาย ออกซิเจน

Fresh Garden
HYDROPONICS CENTER

การลำเลียงอาหาร

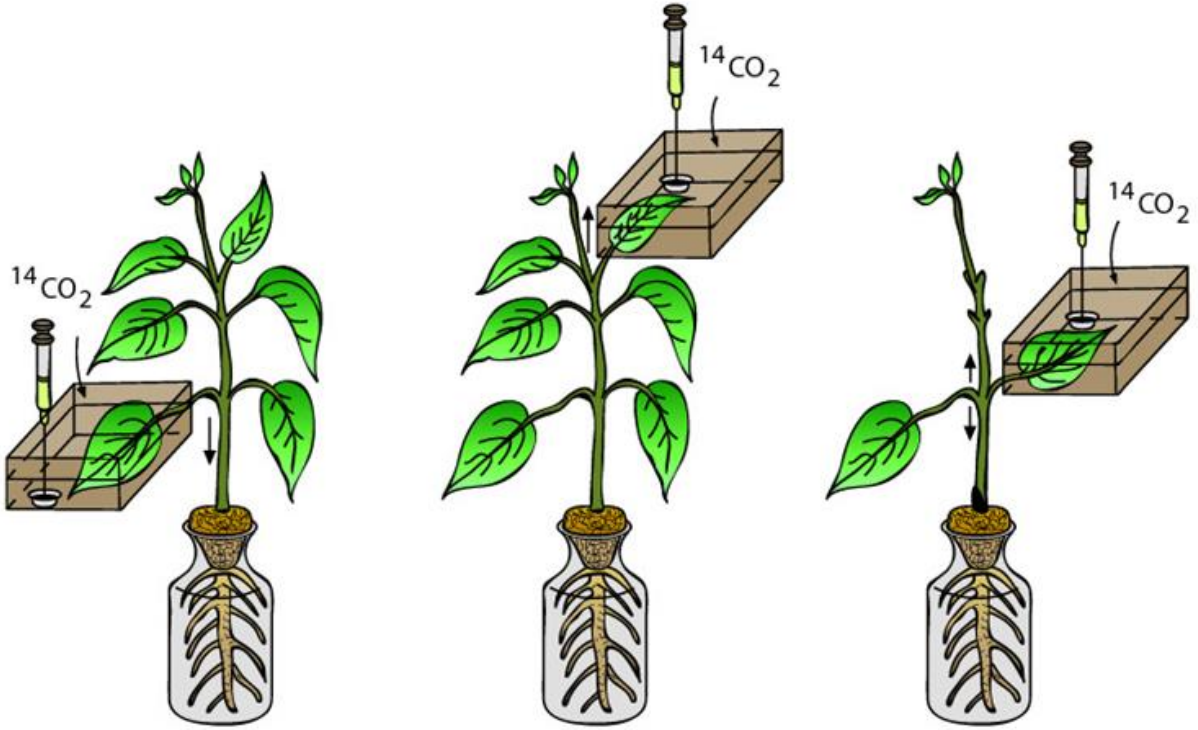
มาร์เซลโล มัลพิจิ (Marcello malpighi) ได้ควั่นเปลือกรอบลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ โดยให้รอยควั่นห่างกันประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อปล่อยให้พืชเจริญระยะหนึ่งพบว่าเปลือกของต้นไม้เหนือรอยควั่นตอนบนจะขยายพองออก



จากความรู้นี้ สามารถนำเอาไปใช้ในการตอนกิ่งพืช คือ เมื่อมีอาหารสะสมเหนือบริเวณรอยควั่นและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น มีความชื้นเพียงพอ พืชก็จะสามารถงอกรากพิเศษออกมาได้

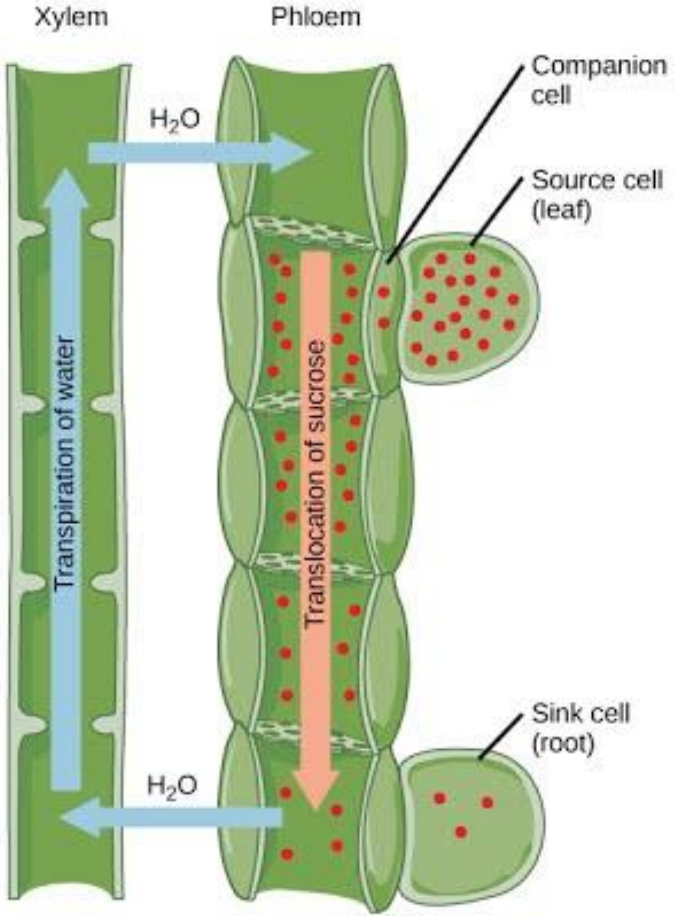
ต่อมาได้มีผู้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลำเลียงน้ำตาลในพืช โดยใช้ธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ 14C และให้อยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกมา ซึ่งพืชสามารถดูดนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากนั้นจึงให้พืชได้รับแสงเป็นเวลา 35 นาที แล้วนำเนื้อเยื่อต่าง ๆ มาทำให้แห้งโดยการแช่แข็ง และตัดเป็นแผ่นบาง ๆ นำไปวางบนแผ่นฟิล์มถ่ายรูปและให้อยู่ในห้องมืด เพื่อตรวจสอบน้ำตาลที่มีธาตุกัมมันตรังสี 14C ดังสมการ

$$^{14}CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรพลาส}]{} {}^{14}C_6H_{12}O_6 + O_2 + H_2O$$



ก. ข. ค.

การลำเลียงจะมี 2 ทิศทาง คือ ขึ้นไปส่วนบนและลงล่าง ซึ่งแตกต่างจากการลำเลียงน้ำและสารอาหารที่ลำเลียงทางไซเล็ม และมีทิศทางลำเลียงจากรากไปสู่ยอดใบ



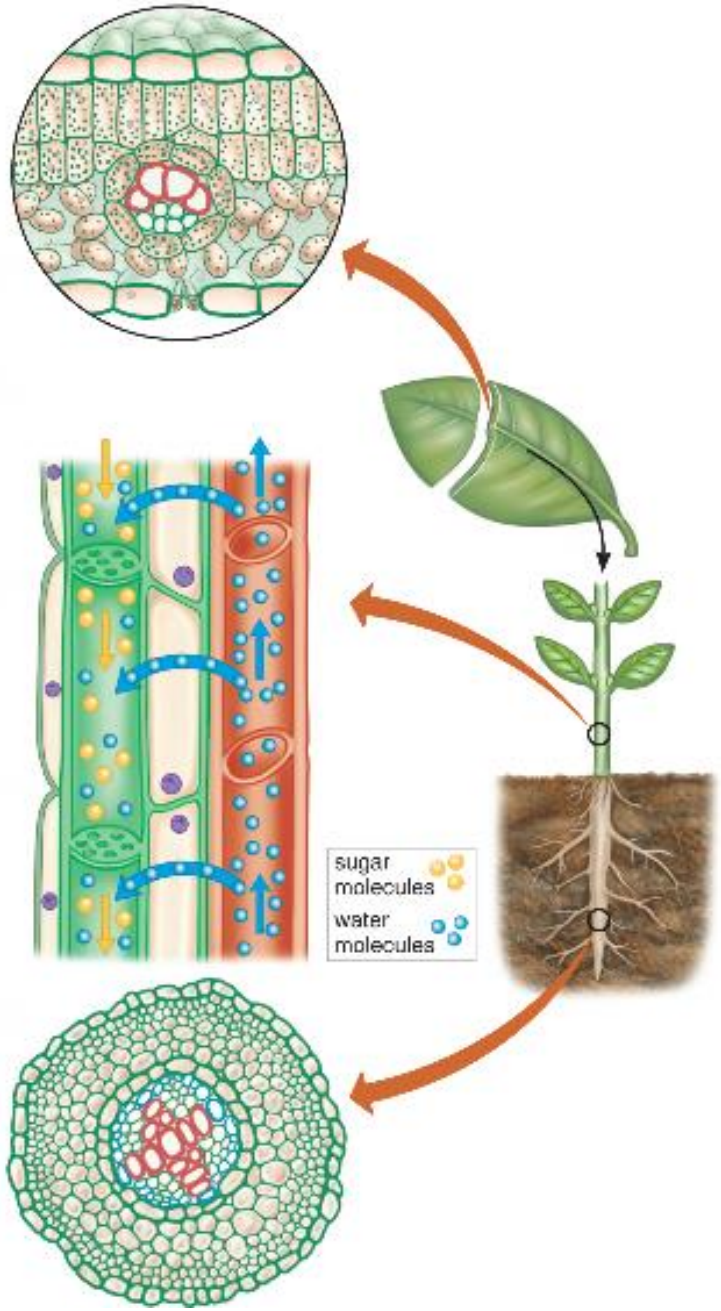
กระบวนการลำเลียงอาหาร

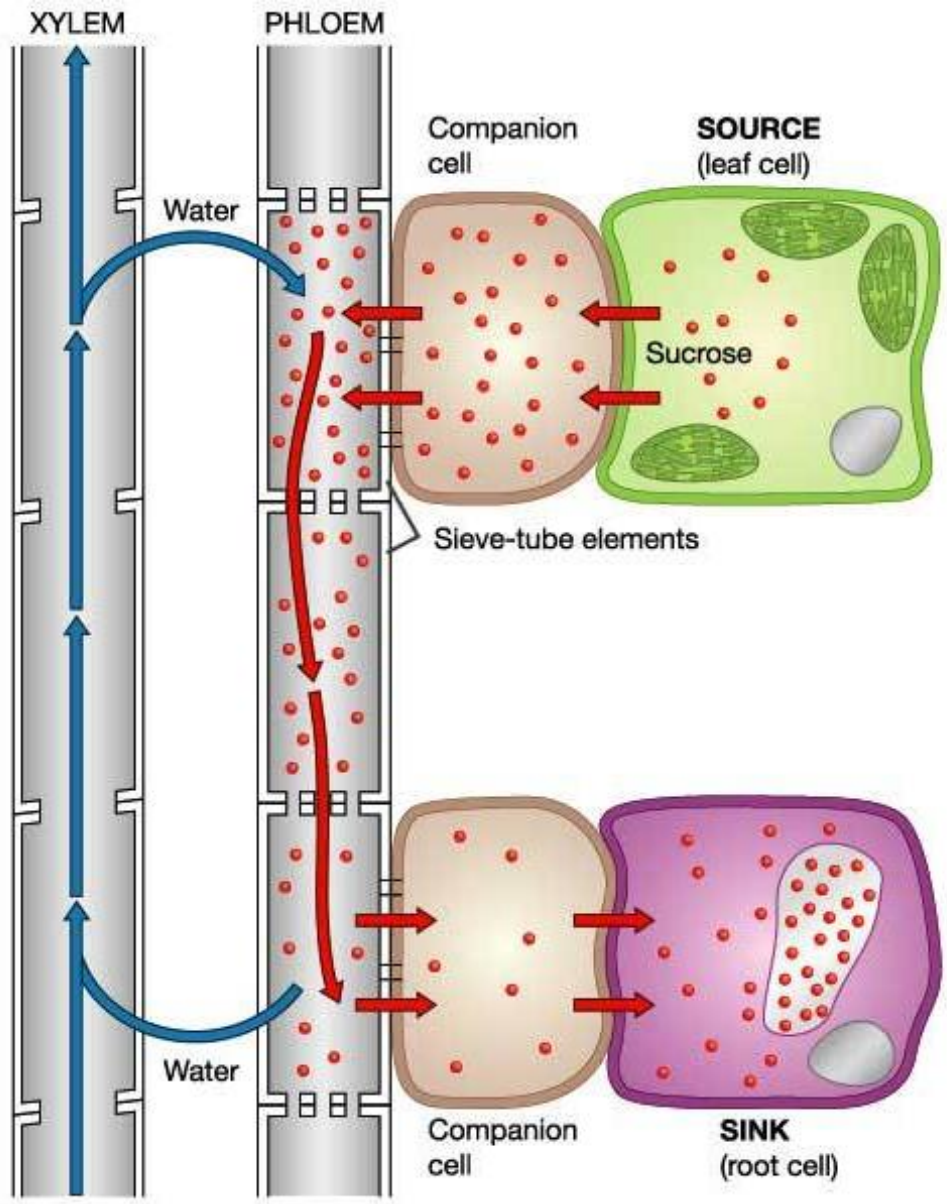
อาหารที่พืชสร้างขึ้นได้แก่ น้ำตาล หรือสารประกอบอื่น ๆ ที่ถูกเปลี่ยนไป จากนั้นถูกลำเลียงไปตามเนื้อเยื่อโฟลเอ็ม ลักษณะของเนื้อเยื่อโฟลเอ็มจึงมีคุณลักษณะที่ต่างจากเนื้อเยื่อไซเล็มดังนี้

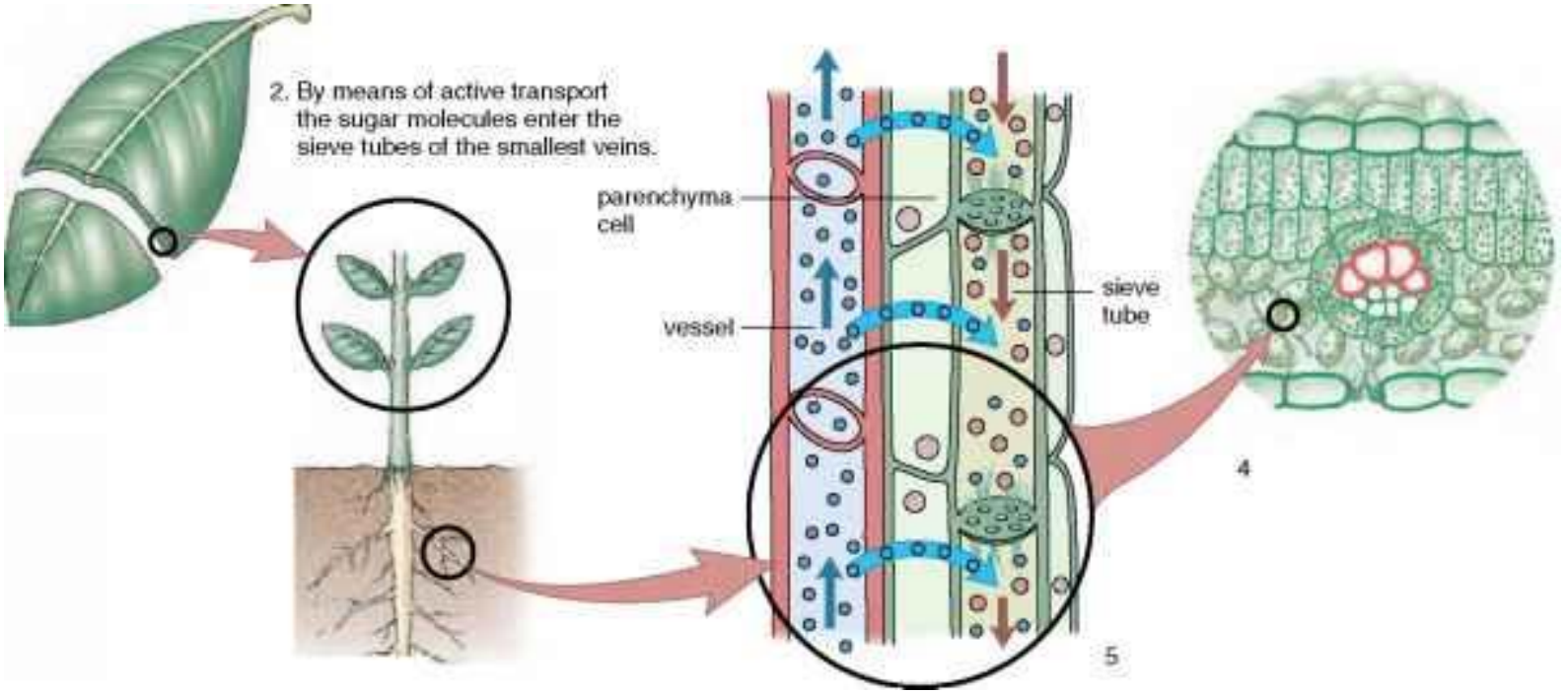
1. ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ของโฟลเอ็มต้องเป็นเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ การลำเลียงจึงจะเกิดขึ้นได้ ถ้าเซลล์ตายการลำเลียงจะหยุดทันที ซึ่งต่างจากไซเล็ม เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงเป็นเซลล์ที่ไม่มีชีวิต

2. อัตราการลำเลียงในโฟลเอ็มเกิดได้ช้ากว่าการลำเลียงน้ำและสารอาหารในไซเล็มมาก ซึ่งมักไม่เกิน 1 ใน 10 ของการลำเลียงในไซเล็มและมีค่าอยู่ประมาณ 100 เซนติเมตรต่อชั่วโมง

3. ทิศทางการลำเลียงในโฟลเอ็มเกิดได้ทั้งแนวขึ้นและลงในเวลาเดียวกัน (translocation) ซึ่งต่างจากการลำเลียงในไซเล็มที่มีการลำเลียงในแนวขึ้นเพียงทิศทางเดียว


sugar molecules
water molecules


XYLEM
PHLOEM
Companion cell
SOURCE (leaf cell)
Water
Sucrose
Sieve-tube elements
Water
Companion cell
SINK (root cell)


2. By means of active transport the sugar molecules enter the sieve tubes of the smallest veins.
parenchyma cell
vessel
sieve tube
4
5