

สรุปบทเรียน วิชา 02037451: สรีรวิทยาของพืชสวน

ผศ.ดร.ลพ ภาณุตานนท์

2. ความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับน้ำ (Plant water relations)

สมบัติของน้ำ

1. เป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar molecule) เป็นตัวทำละลายที่ดี สารต่างๆ สามารถละลายได้ดีในน้ำ การละลายของเกลือแกง (NaCl) ในน้ำ: โมเลกุลของเกลือแกงแตกตัวเป็นไอออนบวก (Na^+) และไอออนลบ (Cl^-) โมเลกุลของน้ำมาห้อมล้อมแต่ละไอออนโดยรอบ โดยหันด้านที่มีประจุตรงข้ามเข้าหา เกิดเป็นสารละลายใส เนื้อเดียว น้ำตาลกลูโคสไม่แตกตัวเป็นไอออน แต่ละลายน้ำได้ดีเช่นกัน อาศัยหลักการเดียวกันคือแต่ละโมเลกุลของน้ำตาลถูกห้อมล้อมโดยรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ
2. มีพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำด้วยตัวเอง (cohesion) และระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลชนิดอื่นๆ (adhesion)
Cohesion ทำให้โมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ เคลื่อนที่ไปด้วยกันได้เมื่อมีแรงดึงหรือแรงดันมากระทำ Adhesion ทำให้เกิดการดูดซับของน้ำกับผิวสัมผัสต่างๆ เช่น น้ำที่เปียกผิวดิน น้ำที่ดูดซับกับผนังเซลล์ท่อลำเลียง
3. มีค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) สูง คือต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น (ประมาณ 4 J ในการทำให้น้ำหนัก 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส) พืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อมาก ช่วยรักษาระดับอุณหภูมิภายในต้นพืชไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมาก (temperature stabilization) เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกเปลี่ยนแปลงไป
4. มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (heat of vaporization) สูง คือต้องใช้พลังงานความร้อนสูงในการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำในรูปของเหลว เพื่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำ (540 แคลอรี/กรัม หรือ 2,260 J/g หรือ 40 kJ/mole) การคายน้ำออกจากใบพืชจึงทำให้อุณหภูมิของใบพืชเย็นลง (ความร้อนรอบๆ ถูกดูดไปใช้ในการทำให้น้ำเหลวระเหยกลายเป็นไอ)

หน้าที่สำคัญของน้ำภายในพืช

1. เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์
2. เป็นตัวทำละลายสารต่างๆ
3. เป็นตัวกลางในการขนส่ง ลำเลียง
4. รักษาระดับอุณหภูมิ
5. แรงดันของน้ำภายในเซลล์ทำให้เซลล์เต่ง (cell turgor)
6. การระเหยของน้ำช่วยระบายความร้อนออกจากพืช
7. ร่วมในปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญ

น้ำเคลื่อนที่ได้เองจากบริเวณที่มีพลังงานของน้ำสูง ไปยังบริเวณที่มีพลังงานศักย์ของน้ำต่ำกว่า เช่นการไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ พลังงานศักย์ของน้ำบนที่สูง $= mgh$ คือผลคูณของมวล ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง และความสูง นั่นคือยังมีมวลน้ำมาก และน้ำอยู่ในที่สูงมาก พลังงานศักย์ของน้ำก็ยังมีมาก

การเคลื่อนที่ของน้ำจากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูง เป็นการเคลื่อนที่สวนระดับพลังงานศักย์ ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกมาช่วย ดึง หรือ ดันน้ำ เช่น การสูบน้ำจากคลองชลประทาน ขึ้นไปเก็บในแท่งค้ำน้ำ

น้ำในระบบดิน-พืช-บรรยากาศต่อเนื่อง (soil-plant-atmosphere continuum) เคลื่อนที่จากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูง จาก ดินที่ชุ่มชื้น เข้าสู่ราก เคลื่อนที่ขึ้นไปตามลำต้น กิ่งก้าน ใบ และคายน้ำออกสู่บรรยากาศ เกิดขึ้นได้เอง โดยไม่มี แรงขับเคลื่อนจากภายนอก อาศัยการเคลื่อนที่ตามระดับพลังงานศักย์จากบริเวณที่มีพลังงานศักย์สูง คือในดินที่ชุ่มชื้น ไปสู่บริเวณที่มีพลังงานศักย์ต่ำกว่าในต้นพืช ในบรรยากาศเป็นบริเวณที่มีพลังงานศักย์ของน้ำต่ำที่สุดในระบบ

พลังงานศักย์ของน้ำ หรือ ศักย์ของน้ำ (Water potential)

หมายถึงพลังงานอิสระที่มีอยู่ในกลุ่มก้อนโมเลกุลของน้ำ ยังมีโมเลกุลของน้ำมาก ก็ยังมีพลังงานศักย์มาก พร้อมที่จะทำงาน เช่น เกิดการเคลื่อนที่

พลังงานศักย์ของน้ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ Ψ (อ่านว่า psi หรือซาย) แสดงค่าในรูป ความดัน มีหน่วยในระบบสากลเป็น พาสคาล (Pa) เช่น KPa (กิโลพาสคาล) MPa (เมกะพาสคาล) ก่อนหน้านี้ใช้หน่วยอื่นๆ เช่น bar, บรรยากาศ (Atm) เป็นต้น

การแสดงค่าในรูป ความดัน ทำให้สะดวกในการวัดค่า มีที่มาจาก พลังงานต่อปริมาตรของน้ำ 1 โมล โดยน้ำ 1 โมล มีปริมาตร = 18 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานศักย์ในหน่วยต่างๆ 1 MPa = 10 bar และ 1 bar มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1 บรรยากาศ

พลังงานศักย์ของน้ำ มีค่าผันแปรตามจำนวนโมเลกุลอิสระของน้ำ ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ น้ำทุกโมเลกุลเป็นอิสระ พร้อมที่จะทำงาน น้ำบริสุทธิ์จึงมีค่าพลังงานศักย์ของน้ำสูงที่สุด และนักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ (0) น้ำกลั่นในบีกเกอร์ มีค่าพลังงานศักย์ของน้ำ = 0 MPa เมื่อเติมปุ๋ยยูเรียลงไปใต้น้ำกลั่น ปุ๋ยละลาย พลังงานศักย์ของน้ำในบีกเกอร์นี้เปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร คำตอบคือเปลี่ยนแปลง การละลายของปุ๋ยในน้ำ หมายถึงมีโมเลกุลของน้ำเข้าไปห้อมล้อมโมเลกุลของยูเรียไว้ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำส่วนนี้จะสูญเสียความเป็นอิสระไป ส่งผลให้พลังงานศักย์ของน้ำโดยรวมลดลง เมื่อมีการเติมตัวถูกละลาย (solute) ลงไป ยังมี solute มากขึ้น พลังงานศักย์ของน้ำก็จะยิ่งลดลง

น้ำในระบบดิน-พืช-บรรยากาศ ไม่ใช่ น้ำบริสุทธิ์ เป็นน้ำที่มีปุ๋ย เกลือ สารต่างๆ ละลายอยู่ น้ำบางส่วนดูดซับกับผิวสัมผัสต่างๆ ทำให้โมเลกุลบางส่วนสูญเสียความเป็นอิสระ ดังนั้นค่า พลังงานศักย์ของน้ำในระบบดิน-พืช-บรรยากาศ จึงมีค่าเป็นตัวเลข ติดลบ หรือมีค่า น้อยกว่าศูนย์ นั่นเอง

ตัวอย่างค่าพลังงานศักย์ของน้ำที่พบในระบบ

ดินที่ชุ่มชื้นมีค่าพลังงานศักย์ของน้ำ -0.03 ถึง -0.03 MPa

ใบของต้นพืชที่ได้น้ำอย่างเพียงพอ มีค่าพลังงานศักย์ของน้ำ -0.2 ถึง -0.8 MPa

บรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานศักย์ของน้ำ (ไอน้ำ) -98 MPa

ปัจจัยที่มีผลให้ค่าพลังงานศักย์ของน้ำในรูปของเหลวเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง

1. ตัวถูกละลาย (solutes) มี solute เพิ่มขึ้น สารละลายเข้มข้นขึ้น พลังงานศักย์ของน้ำ มีค่าลดลง
2. พื้นผิวสัมผัส (contact surfaces) มีผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น น้ำดูดซับกับผิวสัมผัสมากขึ้น พลังงานศักย์ของน้ำ มีค่าลดลง
3. แรงดึง (tension) และแรงดัน (pressure) น้ำที่ตกอยู่ภายใต้แรงดึง พลังงานศักย์ของน้ำจะลดลง น้ำที่ก่อให้เกิดแรงดัน มีพลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้น
4. แรงโน้มถ่วง (gravity) อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงที่มีต่อมวลน้ำ เพิ่มขึ้นตามความสูงจากพื้นดิน ส่งผลให้พลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อน้ำอยู่สูงจากผิวดิน

พลังงานศักย์ของน้ำ รูปของเหลว เป็นผลรวมของ 4 องค์ประกอบ คือ

1. **Osmotic or solute potential** (พลังงานศักย์ออสโมติก หรือพลังงานศักย์ตัวถูกละลาย) แทนด้วยสัญลักษณ์ Ψ_{π} มีค่าเป็นตัวเลขติดลบ เนื่องจาก solutes ที่ละลายในน้ำทำให้มีจำนวนโมเลกุลอิสระของน้ำน้อยลง พลังงานศักย์ของน้ำลดลง

2. **Matric potential** (พลังงานศักย์แมทริก) กรณีที่ผิวสัมผัสคือดิน เรียกว่า พลังงานกำกับกับก้อนดิน แทนด้วยสัญลักษณ์ Ψ_m มีค่าเป็นตัวเลขติดลบ เนื่องจาก น้ำบางส่วนมาดูดซับกับผิวสัมผัส ทำให้พลังงานศักย์ของน้ำลดลง ดินเหนียวมีเนื้อละเอียดกว่าดินทราย ในปริมาตรเท่าๆ กัน ดินเหนียวจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า จึงยึดน้ำหรืออุ้มน้ำไว้ได้ดีกว่าดินทราย อิทธิพลของผิวสัมผัสจะเด่นชัดขึ้นเมื่อเหลือนวลน้ำอยู่น้อย

3. **Pressure potential** (พลังงานศักย์ความดัน) แทนด้วยสัญลักษณ์ Ψ_p มีค่าเป็นตัวเลขติดลบ กรณีที่น้ำตกอยู่ภายใต้แรงดึง เพราะทำให้พลังงานศักย์ของน้ำลดลง เช่น น้ำในท่อ xylem ของพืชที่กำลังมีการคายน้ำ น้ำในหลอดดูดน้ำหวาน Ψ_p มีค่าเป็นบวก เมื่อน้ำก่อให้เกิดแรงดัน เพราะทำให้พลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้น เช่น น้ำที่ไหลเข้าไปในเซลล์แล้วดันให้เซลล์เต่ง

4. **Gravitational potential** (พลังงานศักย์โน้มถ่วง) แทนด้วยสัญลักษณ์ Ψ_g มีค่าเป็นตัวเลขบวก เมื่อน้ำอยู่ในบริเวณที่สูงจากพื้นดิน เพราะทำให้พลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้น ทุกๆ ความสูง 10 เมตรจากผิวดิน Ψ_g มีค่าเพิ่มขึ้น +0.1 MPa

สมการรวม

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_g$$

(-) (-) (-) (+ หรือ-) (+)

กรณีของ น้ำกลั่นในบีกเกอร์ วางบนพื้น มวลน้ำทั้งหมดเป็นอิสระ ไม่มีอิทธิพลจาก solute หรือ ผิวสัมผัสมาทำให้ พลังงานศักย์ของน้ำลดลง น้ำไม่ได้ก่อให้เกิดแรงดัน หรือตกอยู่ภายใต้แรงดึง และวางอยู่บนพื้นซึ่งเป็นระดับอ้างอิงไม่มี อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงมาทำให้พลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำกลั่นในสภาพนี้จึงมีค่าพลังงานศักย์ของน้ำ เท่ากับศูนย์ เครื่องหมายที่กำกับได้สมการ แสดงสภาพจริงของน้ำในระบบดิน-พืช-บรรยากาศ ที่ปัจจัยทั้ง 4 ด้านมีผล ต่อระดับพลังงานศักย์ของน้ำ และพลังงานศักย์ของน้ำในระบบมีค่าต่ำกว่าศูนย์เป็นตัวเลขติดลบ

เครื่องหมายลบ แสดงว่าองค์ประกอบนั้นมีค่าติดลบ ทำให้พลังงานศักย์ของน้ำลดลง เครื่องหมายบวก แสดงว่าองค์ประกอบนั้นมีค่าเป็นบวก และทำให้พลังงานศักย์ของน้ำเพิ่มขึ้น

Soil Water Potential (Ψ_{soil})

พลังงานศักย์ของน้ำในดิน (Ψ_{soil}) ผันแปรตามปริมาณตัวถูกละลาย (solute) และผิวสัมผัสในดิน เช่น ผิวของอนุภาคดินเหนียวในเม็ดดินหรือก้อนดิน และอินทรีย์วัตถุ ค่า Ψ_{soil} เป็นผลรวมของ osmotic potential และ matric potential

$$\Psi_{\text{soil}} = \Psi_{\pi} + \Psi_m$$

ในดินที่อุดมสมบูรณ์ พืชเติบโตได้ดี พบว่า สารละลายดิน (soil solution) เจือจางมาก คือมีเกลือแร่ละลายในน้ำน้อยมาก อิทธิพลของ Ψ_{π} ต่อค่า Ψ_{soil} จึงมีน้อยมาก และสามารถตัดค่า Ψ_{π} ออกจากสมการข้างบนได้ (ไม่ต้องนำมาคำนวณ)

ยกเว้น ในดินเค็ม (saline soils) ที่มีเกลือละลายในสารละลายดินมาก อิทธิพลของเกลือทำให้ ค่า Ψ_{π} ติดลบมาก (ค่าน้อยลง) ส่งผลให้ค่า Ψ_{soil} มีค่าน้อยลงตามไปด้วย

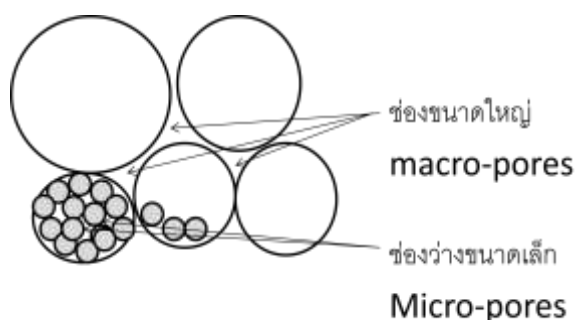
ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ในดินเพาะปลูกทั่วไป ค่า Ψ_{soil} ผันแปรตามอิทธิพลของผิวสัมผัสในดิน ดินเนื้อละเอียด มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ดูดซับน้ำได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ

การดูดซับของน้ำกับผิวสัมผัส น้ำในดิน ดูดซับกับผิวสัมผัสเช่น เม็ดดิน ก้อนดิน อินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียวที่อยู่ภายในเม็ดดิน ฯลฯ ในลักษณะเป็นชั้นฟิล์ม การดูดซับเกิดขึ้นเมื่อผิวสัมผัสมีประจุไฟฟ้า อนุภาคดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ มีประจุลบที่ผิวมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดี ต่างจากอนุภาคทรายที่ไม่ค่อยดูดซับน้ำ

ชั้นฟิล์มของน้ำที่อยู่ติดกับผิวสัมผัสถูกยึดไว้แน่นกว่าชั้นฟิล์มที่อยู่ห่างถัดออกไป ชั้นฟิล์มที่อยู่ห่างๆ มากๆ ผิวสัมผัสยึดไว้ไม่ไหว ก็จะถูกแรงโน้มถ่วงดึงลงสู่ที่ต่ำ หรือเกิดการระบายน้ำนั่นเอง ดังนั้นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ จะระบายออกตามแรงโน้มถ่วงได้ง่าย Ψ_m มีค่าติดลบมาก (ค่าต่ำ) บริเวณชั้นฟิล์มของน้ำชั้นในสุดติดกับผิวสัมผัส Ψ_m มีค่าติดลบน้อย (ค่าเข้าใกล้ศูนย์) บริเวณชั้นฟิล์มของน้ำที่ห่างผิวสัมผัสออกไป

ช่องว่างขนาดใหญ่ คือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ก้อนดิน ชิ้นอินทรีย์วัตถุขนาดต่างๆ

ช่องว่างขนาดเล็ก คือช่องเล็กๆ ที่แทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคขนาดเล็กๆ ที่มารวมกันเป็นเม็ดดิน หรือช่องที่แทรกตัวอยู่ในชิ้นของอินทรีย์วัตถุ



Ψ_m มีค่าผันแปรตามเนื้อดิน (soil texture) ดินเนื้อละเอียด (fine texture) ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวที่มีขนาดเล็กในสัดส่วนที่สูง จะดูดซับน้ำหรืออุ้มน้ำไว้ได้ดี Ψ_m มีค่าต่ำ (ติดลบมาก) ดินเนื้อหยาบ (coarse texture) มีอนุภาคขนาดใหญ่ คือ ทราย ในสัดส่วนที่สูง อุ้มน้ำได้น้อยกว่า อิทธิพลของผิวสัมผัสต่อการดูดซับน้ำมีน้อยกว่าในดินเนื้อละเอียด Ψ_m มีค่าสูงกว่า (ติดลบน้อย)

ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soils) เป็นสภาพที่เกิดขึ้นหลังฝนตก หรือมีการให้น้ำเต็มที่ ดินจะแฉะ ช่องว่างทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ทั้งหมดมีน้ำเข้าไปแทรก หากเกิดขึ้นต่อเนื่องจะทำให้ดินนั้นขาดแคลนออกซิเจน รากไม่สามารถหายใจได้ และเนื้อเยื่อรากตายในที่สุด Ψ_{soil} ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าติดลบน้อยๆ หรือเกือบจะเป็นศูนย์

ระดับความชื้นที่ความจุสนาม (Field capacity: FC) คือ ระดับความชื้นสูงสุดที่ดินในแปลงจะอุ้มหรือดูดซับไว้ได้ หลังจากน้ำส่วนเกินที่ยึดไว้ไม่อยู่ระบายออกไปตามแรงโน้มถ่วง น้ำที่ระบายออกได้ง่าย คือน้ำที่อยู่บริเวณใจกลางช่องว่างขนาดใหญ่ ซึ่งห่างจากผิวสัมผัส การระบายน้ำทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีอากาศแทรกเข้าไปแทน น้ำถูกยึดไว้ในช่องว่างขนาดเล็ก เป็นสภาพที่รากสามารถดูดใช้น้ำได้เป็นอย่างดี

Ψ_{soil} ที่ระดับความชื้น FC ในดินทั่วไป ไม่มีค่า - 0.03 MPa หรือ - 0.3 bars (ค่าติดลบ แต่เข้าใกล้ศูนย์)

ที่ระดับความชื้น FC อิทธิพลของผิวสัมผัสที่มีต่อการดูดซับน้ำ มีน้อยมาก หรือมีค่าเกือบจะเป็นศูนย์

จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point: PWP) เป็นระดับความชื้นในดินที่ต่ำมากจนทำให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ (ขาดน้ำที่สูญเสียไปจากการคายน้ำ + น้ำที่สะสมในเนื้อเยื่อ) ได้และพืชแสดงอาการเหี่ยว เมื่อจัดให้พืชที่เหี่ยวนั้นอยู่ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูง ใบพืชหยุดคายน้ำ เป็นเวลาข้ามคืน แล้วพืชนั้นยังไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาเต่งเป็นปกติได้ คือเกิดการเหี่ยวถาวร พืชที่ใช้อ้างอิงมักเป็นพืชที่เติบโตเร็ว และเหี่ยวง่าย เห็นชัด เมื่อขาดน้ำ เช่น ทานตะวัน

ที่ความชื้น PWP ในดินยังมีน้ำเหลืออยู่ แต่เป็นชั้นฟิล์มของน้ำที่ถูกดูดซับแน่นกับผิวสัมผัสในดิน อิทธิพลของ Ψ_m รุนแรง (Ψ_m มีค่าติดลบมาก หรือค่าน้อย) ทำให้ Ψ_{soil} มีค่าน้อยลง (ค่าติดลบมาก) ไปด้วย

Ψ_{soil} ที่ระดับความชื้น PWP ในดินทั่วไปมีค่าประมาณ - 1.5 MPa หรือ - 15 bars และ Ψ_{soil} ที่ระดับความชื้น PWP มีค่าโดยประมาณเท่ากับ Ψ_m

ระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ (Available water): คือระดับความชื้นในดินที่รากพืชสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้ในทางทฤษฎีหมายถึงระดับความชื้นระหว่าง field capacity (ระดับสูงสุด) กับ permanent wilting point (ระดับต่ำสุด)

ระดับความชื้นในดินที่สูงกว่า field capacity และไป ช่องว่างถูกแทนที่ด้วยน้ำทั้งหมด รากพืชไม่สามารถทนอยู่ได้นานเพราะขาดอากาศ (ออกซิเจน) ความสามารถในการดูดน้ำ ดูดธาตุอาหารลดลงมาก

ระดับความชื้นในดินที่ต่ำกว่า permanent wilting point แห้งไป ช่องว่างส่วนใหญ่มีอากาศแทรก เหลือน้ำอยู่น้อยมาก น้ำที่เหลือมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ ที่ถูกดูดซับไว้แน่นกับผิวสัมผัสในดิน รากพืชไม่สามารถดูดใช้ประโยชน์ได้ในทางปฏิบัติ ทำการให้น้ำกับพืชสวนในแปลงปลูกเมื่อดินมีระดับความชื้นอยู่ในช่วง 40-60% ของระดับความชื้นที่ field capacity จะไม่ปล่อยให้ดินแห้งจนถึงระดับ permanent wilting point แล้วค่อยให้น้ำ แม้พืชนั้นจะทนได้ก็ตาม เพราะจะทำให้พืชได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อการเติบโต ผลผลิต และคุณภาพ ยกเว้นกรณีที่จะชักนำให้พืชบางชนิดออกดอก โดยการรดให้น้ำ หรือจำกัดปริมาณน้ำที่ให้

Container capacity (CC) คือระดับความชื้นสูงสุดของดินหรือวัสดุปลูกที่อยู่ในภาชนะ หลังจากให้น้ำเต็มที่ แล้วน้ำส่วนเกินที่ดูดซับไว้ไม่ได้ ระบายออกไปตามแรงโน้มถ่วง มีลักษณะเช่นเดียวกับ field capacity ต่างกันที่ในภาชนะปลูก มีขนาดจำกัด การระบายน้ำเกิดขึ้นทางรูระบายด้านล่างภาชนะเป็นหลัก ต่างจากในสภาพแปลงที่น้ำสามารถแผ่ออกทางด้านข้างและด้านล่าง โดยทั่วไป สำหรับดินชนิดหนึ่งๆ เมื่อนำมาใส่กระถาง ค่า CC ที่ได้จะสูงกว่า ค่า FC ของดินชนิดนั้นเมื่ออยู่ในแปลง

Perched water table คือ บริเวณก้นภาชนะปลูกที่ดินหรือวัสดุปลูกมีสภาพอึดตัวด้วยน้ำ หลังรดน้ำ น้ำระบายจากดินหรือวัสดุปลูกด้านล่างสู่ด้านล่างออกทางรูระบายที่ก้นภาชนะ เมื่อรอนน้ำระบายหมด ระดับความชื้นที่ได้คือ CC จะพบว่าวัสดุปลูกที่ก้นภาชนะยังคงอึดตัวด้วยน้ำ รากที่อยู่บริเวณนี้อาจขาดอากาศได้ง่าย

- ดินหรือวัสดุปลูกในภาชนะทรงสูง มีการระบายน้ำได้ดีกว่าในภาชนะทรงแบน เช่น ถาดเพาะเมล็ด

Water potential ของเซลล์ (Ψ_{cell}) $\Psi_{\text{cell}} = \Psi_{\pi} + \Psi_p$

ในเซลล์ที่มีชีวิตค่า water potential เป็นผลรวมของ osmotic potential และ pressure potential แม้ว่าภายในเซลล์จะมี โปรตีน และสารต่างๆ ที่ดูดยืดยึดน้ำได้ แต่อิทธิพลของผิวสัมผัส (matric potential; Ψ_m) ที่มีต่อค่า water potential มีน้อยมาก (มีค่าเกือบจะเป็นศูนย์) จึงไม่นำมาคิด

- เมื่อภายในเซลล์มีการสะสม solute มากขึ้น ทำให้ค่า osmotic potential ลดลง (ค่าติดลบมากขึ้น) ส่งผลให้ค่า water potential ของเซลล์ลดลง
- เมื่อเซลล์ดูดน้ำ เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นภายในเซลล์ ทำให้ค่า pressure potential เพิ่มขึ้น (ค่าบวกมากขึ้น) ส่งผลให้ค่า water potential ของเซลล์เพิ่มขึ้น
- ในสภาวะปกติ เซลล์เต่ง ค่า water potential ยกคงเป็นค่าติดลบ

ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรงแต่โปร่ง ผนังเซลล์มีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยเซลลูโลสขนาดเล็ก (cellulose microfibril) ถักสานกัน มีความแข็งแรง แต่โปร่ง คล้ายกับลูกตะกร้อ ไม่ได้ทึบเหมือนกำแพง น้ำและสารต่างๆ ที่ละลายน้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ได้ง่าย ผนังเซลล์มีประจุลบที่ผิว จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารที่เป็น cation (ประจุบวก) ไว้ได้ส่วนหนึ่ง

- ผนังเซลล์ ถือว่า เป็นส่วนที่อยู่ภายนอกเซลล์
- ส่วนที่อยู่ภายในเซลล์คือส่วนที่ถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane, plasma membrane, plasmalemma)

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) ประกอบด้วยชั้นฟอสโฟลิพิดคู่ (phospholipid bilayer) ที่มีโปรตีนแทรกตัวอยู่ โปรตีนเหล่านี้เสมือนประตู หรือทำหน้าที่ขนส่ง (transport proteins) น้ำและสารต่างๆ ผ่านเข้าหรือออกจากเซลล์ เซลล์ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ (เลือกผ่าน) ให้มากน้อย ยากง่าย แตกต่างกัน โดยอาศัยการทำงานของโปรตีนขนส่งเหล่านี้ โปรตีนขนส่งมีความจำเพาะต่อสารที่จะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เช่น น้ำ เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เซลล์ทาง โปรตีนอควาพอริน (aquaporin) โพแทสเซียม เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เซลล์ทาง K^+ ion channel เป็นต้น

แวคิวโอล (vacuole) เป็นอวัยวะขนาดใหญ่ ทำหน้าที่สะสมน้ำและ solutes: ครอบคลุมปริมาตรกว่า 80% ภายในเซลล์ มีเยื่อหุ้มแวคิวโอล (tonoplast) ห่อหุ้ม ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ น้ำ น้ำตาล กรดอินทรีย์ ธาตุอาหาร รงควัตถุแอนโทไซยานิน ฯลฯ สะสมในแวคิวโอล

ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) คือส่วนที่อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์กับแวคิวโอล มีสภาพเป็นของเหลว เป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ต่างๆ เช่น นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ ไมโทคอนเดรีย ไรโบโซม รวมทั้งเอนไซม์ โปรตีน ฯลฯ แม้จะมีปริมาตรเพียงไม่ถึง 10% ของเซลล์ แต่เป็นส่วนที่มีกิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์เกิดขึ้น

การดูดน้ำของเซลล์ทำให้เซลล์เกิดความเต่ง (turgidity):

- น้ำเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ หรือเซลล์ดูดน้ำเข้าไปได้ เมื่อค่า water potential ภายนอก มากกว่า ค่า water potential ภายในเซลล์
- เซลล์โตเต็มที่ ผนังเซลล์ไม่ขยายตัวอีก เมื่อเซลล์ดูดน้ำ ภายในเซลล์จะเกิดแรงดัน ส่วนผนังเซลล์ที่ไม่ยืดหยุ่น แล้วดันต้านกลับ ทำให้เซลล์เต่ง (turgid) คล้ายกับการสูบลมยางรถจักรยาน ยางในขยายขนาด ดันไปชนยางนอกที่ไม่ยืดหยุ่น ยางนอกดันต้านกลับ ทำให้ยางเต่ง แข็ง

- สมมติว่า ขณะที่เซลล์ดูดน้ำ ไม่มีการสร้างหรือสะสม solute และปริมาตรรวมของเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ osmotic potential มีค่าคงที่ แต่ pressure potential มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นเพราะน้ำที่เข้าไปในเซลล์ก่อให้เกิดแรงดัน ค่า water potential ของเซลล์จะเพิ่มขึ้น และเซลล์เต่งขึ้น
- เมื่อค่า water potential ภายนอก และ ภายในเซลล์ เท่ากัน การเคลื่อนที่ของน้ำเข้าหรือออกจากเซลล์มีค่าสุทธิเท่ากับศูนย์ (เข้า เท่ากับ ออก หรือ การเคลื่อนที่หยุดลง)
- ในสภาพที่เซลล์เต่งเต็มที่ ค่า water potential ของเซลล์ยังคงเป็นตัวเลขติดลบ (อิทธิพลจาก solute ที่สะสมอยู่ในแวคิวโอล และไซโทพลาสซึม)

เซลล์สูญเสียความเต่ง (flaccid) หรือเหี่ยว (wilt) เมื่อมีการสูญเสียน้ำมากเกินไป หรือดูดน้ำเข้ามาชดเชยไม่ทัน

- เมื่อเซลล์สูญเสียน้ำ ความเต่งของเซลล์ลดลง ค่า pressure potential จะลดลง เซลล์เหี่ยวหรือสูญเสียความเต่งเมื่อ pressure potential มีค่าลดลงเป็น ศูนย์ ไม่มีแรงดันที่กระทำต่อผนังเซลล์
- เนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์ผนังบาง เช่น ใบของผัก กลิบบอกไม้ เมื่อเซลล์สูญเสียความเต่ง จะสังเกตเห็นการเหี่ยวชัดเจน
- เนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์ผนังหนา เช่น ก้าน ใบพืชที่แข็งเช่นใบมะม่วง ใบมะพร้าว เมื่อเซลล์สูญเสียความเต่ง จะสังเกตอาการได้ไม่ชัด เพราะผนังเซลล์ที่แข็งทำให้เนื้อเยื่อส่วนนั้นมีความคงตัว

Water potential ของพืชทั้งต้น $\Psi_{\text{plant}} = \Psi_{\pi} + \Psi_p + \Psi_g$

เป็นผลรวมของ osmotic potential, pressure potential และ gravitational potential (กรณีส่วนของพืชที่สนใจอยู่สูงจากพื้นมาก) องค์ประกอบของ water potential ผันแปรขึ้นกับว่าเป็นภายในเซลล์ที่มีชีวิต หรือ ภายนอกเซลล์ หรือในเซลล์ที่ตายแล้ว

- **ในเนื้อเยื่อที่มีชีวิต** ภายในเซลล์ ค่า osmotic potential มีค่าติดลบเสมอ เนื่องจากการสะสม solute ต่างๆ และค่า pressure potential มีค่าเป็นบวก เมื่อเซลล์มีความเต่ง หรือ ค่าเป็นศูนย์ (กรณีสูญเสียความเต่ง)
- **ในเนื้อเยื่อที่ไม่มีชีวิต หรือภายนอกเซลล์** หมายถึงในท่อน้ำ (xylem) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ตายแล้ว ภายนอกเซลล์ หมายถึงในผนังเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ สารละลายในบริเวณดังกล่าวเจือจางมากเมื่อเทียบกับภายในเซลล์ที่มีชีวิต ค่า osmotic potential มีค่าเกือบจะเป็นศูนย์ เพราะแทบไม่มีอิทธิพลของ solute และสารละลายในบริเวณนี้ตกอยู่ภายใต้แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ ดังนั้น pressure potential จึงมีค่าติดลบ (น้ำตกอยู่ภายใต้แรงดึง)

Water potential ของไอน้ำในบรรยากาศ ผันแปรตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ

จากความสัมพันธ์
$$\Psi_{\text{atm}} = \frac{RT}{V_w} \ln(RH / 100) + \Psi_g$$

- ☐ R = gas constant = 8.134 cm³.MPa / mol.°K
- ☐ T = absolute temperature (°K) °K = (°C) + 273.15
- ☐ V_w = partial molal volume of water or vol. of 1 mole of water; cm³ / mol)
- ☐ Ln = natural logarithm
- RH = relative humidity (%)

- R และ Vw เป็นค่าคงที่ หากพิจารณาค่า water potential ของไอน้ำในบรรยากาศ ที่ระดับอุณหภูมิคงที่ ค่าจะผันแปรโดยตรงกับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของบรรยากาศ Ψ_g จะมีผลต่อเมื่ออยู่สูงจากพื้นมากๆ
- เป็นความสัมพันธ์แบบ logarithm คือเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้ค่า water potential เปลี่ยนแปลงมาก
- ในสภาพบรรยากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (RH = 100%) ค่า $\ln(RH/100)$ จะเป็น $\ln 1$ และมีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ค่า water potential = 0 นั่นคือสภาพบรรยากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ คืออิ่มตัวด้วยโมเลกุลอิสระของน้ำในรูปไอน้ำ เป็นสภาพที่มี water potential สูงที่สุด และมีค่าเท่ากับศูนย์

ดูตัวอย่างค่า water potential ของไอน้ำในบรรยากาศ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เปลี่ยนไป อุณหภูมิมีผลต่อค่า water potential อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ water potential ต่ำลง

RH (%)	Ψ_{atm} (MPa at 20°C)	Ψ_{atm} (MPa at 35°C)
100	0	0
99	-1.36	-1.42
90	-14.2	-14.9
50	-93.6	-98.0

น้ำเคลื่อนที่จากดินที่ชุ่มชื้นซึ่งมี water potential สูง มาสู่ผิวรากซึ่งมี water potential ต่ำกว่า

รากพืชดูดน้ำ ทำให้ดินบริเวณรอบๆ ผิวรากมีน้ำน้อยลง อิทธิพลของผิวสัมผัสในดินแสดงออกเด่นชัดขึ้นเมื่อความชื้นในดินลดลง (Ψ_m มีค่าติดลบมากขึ้น) ส่งผลให้ค่า water potential บริเวณผิวรากต่ำกว่าดินที่มีความชุ่มชื้นรอบๆ ราก

น้ำเคลื่อนที่มายังรากด้วยกลไก **การเคลื่อนที่เชิงมวล (mass flow หรือ bulk flow)** เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำหลายร้อยหลายพันโมเลกุลเป็นกลุ่มก้อนพร้อมๆ กัน ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของน้ำแบบ mass flow เช่น การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากก๊อกเมื่อเราเปิดน้ำ เป็นต้น

การเคลื่อนที่เชิงมวลของน้ำ อาศัยความแตกต่างของค่า water potential (water potential gradient) ระหว่าง 2 จุดเป็นตัวกำหนด เช่น ความแตกต่างของ water potential ระหว่างดินบริเวณติดกับผิวราก ซึ่งมี water potential ต่ำ กับดินที่ชุ่มชื้นรอบๆ ราก ซึ่งมี water potential สูงกว่า

Water potential gradient เพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีการคายน้ำ การคายน้ำทำให้ water potential ของใบลดลง และก่อให้เกิดแรงดึงในท่อน้ำ ขณะที่รากยังคงดูดน้ำได้มีค่า water potential สูงกว่าในใบ เมื่อมีความแตกต่างของ water potential ระหว่างใบกับราก จะส่งเสริมการเคลื่อนที่เชิงมวลของน้ำจากรากขึ้นสู่ใบทางท่อน้ำ

ภายในเซลล์มีการสะสม solute อิทธิพลของ osmotic potential จึงแสดงออกมากขึ้น (ค่าติดลบมากขึ้น) ส่งผลให้ค่า water potential ภายในเซลล์เหล่านี้นี้ลดลง ส่งเสริมการดูดน้ำเข้าสู่เซลล์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำมายังผิวราก

1) **ความสามารถในการนำน้ำของดิน (soil hydraulic conductivity)** คือความสามารถของดินในการยอมให้น้ำผ่าน ดินเนื้อหยาบ มีช่องว่างขนาดใหญ่แทรกอยู่มาก น้ำไหลผ่านได้ง่าย หรือดินมีความสามารถในการนำน้ำผ่านได้ดี ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว มีช่องว่างขนาดเล็กมาก ยึดน้ำไว้ได้ดี (อุ้มน้ำได้ดี) แต่น้ำไหลผ่านได้ช้ากว่า

2) **ระดับความชื้นในดิน (soil moisture content)** ข้อ 1 เป็นจริงเมื่อดินชุ่มชื้น มีน้ำมาก แต่เมื่อดินแห้งลง น้ำเหลือน้อยลง อิทธิพลของผิวสัมผัสในดินจะเด่นชัดขึ้น น้ำที่เหลือมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่ยึดติดกับผิวสัมผัสในดิน การไหลเกิดขึ้นได้น้อย แม้ว่าดินจะมีช่องว่าง มีความโปร่ง เพราะน้ำถูกดูดซับไว้

การเคลื่อนที่ของน้ำและธาตุอาหารที่ละลายมากับน้ำ

แม้ธาตุอาหารจะละลายอยู่ในน้ำ แต่ระหว่างการเคลื่อนย้าย ธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุที่เป็นประจุบวก (cations) มีโอกาสติดขัดกับอนุภาคดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุในดิน หรือผนังเซลล์ของท่อน้ำ ซึ่งถือประจุลบ ไม่ได้ไปพร้อมกับน้ำทั้งหมด

ระดับ pH ในดินมีผลต่อการละลาย / การตกตะกอนของธาตุอาหาร ฟอสฟอรัสมักตกตะกอนเมื่อมีสภาพเป็นกรดจัดหรือด่างจัด จุลธาตุหลายชนิดตกตะกอนในสภาพที่ดินเป็นด่าง ทำให้ธาตุอาหารไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับน้ำได้ทั้งหมด

เยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มอแกเนลล์ มีสมบัติเลือกผ่าน และยอมให้น้ำผ่านได้ดีกว่า solutes ที่ละลายมากับน้ำ ทำให้ธาตุอาหารไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับน้ำได้ทั้งหมด

Aquaporin (aqua = น้ำ porin = รู) เป็นโปรตีนขนส่งบนเยื่อหุ้มเซลล์ ที่ยอมให้น้ำผ่าน ขณะที่ไอออนที่ละลายมากับน้ำไม่สามารถผ่านได้ เมื่อเซลล์ตกอยู่ในสภาพขาดน้ำมักพบว่าการสร้าง aquaporin เพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มการขนส่งน้ำเข้าสู่เซลล์

ไอออนของธาตุอาหารจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ทางโปรตีนขนส่งที่มีความจำเพาะต่อไอออนนั้นๆ โปรตีนขนส่งแบ่งตามลักษณะได้ 2 ประเภทคือ channel และ carrier

แชนแนล (channel): เป็นโปรตีนขนส่งที่มีลักษณะเป็นช่องเปิด ยอมให้ไอออนของธาตุอาหารที่มีขนาดเล็กกว่าช่องนั้นผ่านไปได้เมื่อส่วนที่เป็นประตูเปิดออก

แครีเออร์ (carrier): เป็นโปรตีนขนส่งอีกประเภทหนึ่ง ที่จับกับไอออนของธาตุอาหารทางฝั่งหนึ่งของเยื่อหุ้ม และไปปล่อยออกทางอีกฝั่งหนึ่งของเยื่อหุ้ม แครีเออร์มีความจำเพาะต่อไอออนของธาตุอาหารชนิดหนึ่งๆ

ในสภาวะที่เซลล์พืชขาดธาตุอาหาร มักพบว่าการสร้างโปรตีนขนส่งของธาตุอาหารชนิดนั้นๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการขนส่งธาตุอาหารเข้าสู่เซลล์

ทบทวนเรื่องบริเวณต่างๆ ของราก และหน้าที่ ได้แก่ หมวกราก (root cap) จุดเจริญที่ปลายราก (root apical meristem) :ซึ่งเซลล์บริเวณนี้มีการแบ่งตัวอย่างต่อเนื่อง (zone of cell division) บริเวณถัดขึ้นไปเซลล์ที่แบ่งตัวแล้วจะยืดตัว (zone of cell elongation) ทำให้รากยาวขึ้น ถัดขึ้นไปเป็นบริเวณที่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ (zone of cell differentiation) เช่น เซลล์ผิว (epidermal cells) บางส่วนเปลี่ยนแปลงไปเป็นรากขนอ่อน (root hairs) เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและธาตุอาหาร

น้ำและธาตุอาหารที่รากดูดเข้ามาจะต้องเคลื่อนที่ตามแนวรัศมีผ่านเนื้อเยื่อชั้นต่างๆ ได้แก่ epidermis (เนื้อเยื่อชั้นผิว), cortex (เนื้อเยื่อส่วนที่เปรียบเสมือนเนื้อของราก ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาจำนวนมาก), endodermis (เนื้อเยื่อชั้นที่เซลล์มีผนังหนา เรียงตัวชิดติดกันไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ มีการสะสมลิกนินและซูเบอรินเป็นแถบ (Casparian stripe) คัดในผนังเซลล์ ทำให้ส่วนนั้นทึบ น้ำและธาตุอาหารไม่สามารถผ่านได้) ก่อนจะมาถึง stele (ส่วนที่เป็นระบบท่อลำเลียง มีท่อน้ำและท่ออาหารอยู่ด้วยกัน) บริเวณใจกลางของราก

เส้นทางตามแนวรัศมี มี 2 เส้นทางคือ apoplast และ symplast

Apoplast หมายถึงส่วนที่อยู่ภายนอกเซลล์ ได้แก่ ผนังเซลล์ ช่องว่างระหว่างเซลล์ รวมไปถึงภายในเซลล์ที่ตายแล้ว เช่น เซลล์ท่อน้ำ (xylem)

น้ำและธาตุอาหารเคลื่อนที่ใน apoplast ได้สะดวก

น้ำใน apoplast ตกอยู่ภายใต้แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ

เส้นทาง apoplast ตามแนวรัศมีจาก epidermis นั้น เข้ามาได้ถึง endodermis แต่ไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ของชั้นนี้ไปสู่เนื้อเยื่อชั้นต่อลำเลียงในชั้นถัดเข้าไปได้ เนื่องจากมีสารลิกนิน ซูเบอร์ริน สะสมอยู่ในผนังเซลล์ ไม่ยอมให้น้ำผ่าน จำเป็นต้องย้ายไปเคลื่อนที่ในระบบ symplast เพื่อเข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นถัดไป

Symplast หมายถึงส่วนที่อยู่ภายในเซลล์ที่มีชีวิต น้ำและธาตุอาหารจะต้องเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อเข้าสู่ cytoplasm ภายในเซลล์ เมื่อเข้าไปภายในเซลล์หรือ ระบบ symplast แล้ว สามารถเคลื่อนที่ต่อไปยังเซลล์ข้างเคียงได้อย่างต่อเนื่อง เพราะ cytoplasm ของแต่ละเซลล์ที่อยู่ติดกัน เชื่อมต่อกันทางช่องเปิด **พลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata)**

- น้ำใน symplast ก่อให้เกิดแรงดัน ทำให้เซลล์เต่ง

การเคลื่อนที่ระยะทางไกล การเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นพืชในระยะทางไกล เช่น จากราก สู่ ลำต้น จากกิ่งไปสู่ใบ เกิดขึ้นในท่อน้ำ (xylem) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ตายแล้ว มาเรียงต่อกัน หัวและท้ายเซลล์เปิด ภายในหลอด มีลักษณะเหมือนท่อ มีผนังเซลล์หนา ทนต่อแรงดึงที่เกิดขึ้นในท่อได้ดี ไม่ยุบตัวง่าย

การเคลื่อนที่ของน้ำในท่อน้ำ เป็นแบบ mass flow น้ำไปพร้อมกันเป็นกลุ่มก้อน จากรากขึ้นสู่ส่วนเหนือดิน อาศัยแรงดึงเนื่องจากการคายน้ำเป็นแรงขับเคลื่อนหลักในการเคลื่อนที่ ดินที่ชุ่มชื้นมีค่า water potential สูงที่สุดในระบบ ราก ลำต้น กิ่งก้าน ใบ มี water potential ลดลงเป็นลำดับ บรรยากาศรอบๆ ต้นพืชมีค่า water potential ต่ำที่สุดในระบบ

การเคลื่อนที่ระยะทางสั้นๆ เช่นจากภายนอกเซลล์เข้าสู่เซลล์ จาก cytoplasm เข้าสู่ vacuole อาศัยกระบวนการ **แพร่ (diffusion)** เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำโดยสุ่ม บางโมเลกุลไปเร็ว บางโมเลกุลไปช้า แต่ทิศทางหลักคือเคลื่อนที่จากบริเวณที่มี water potential สูง (มีโมเลกุลของน้ำมาก) ไปสู่บริเวณที่มี water potential ต่ำกว่า (มีโมเลกุลของน้ำน้อย)

ออสโมซิส (osmosis) เป็นกระบวนการแพร่ของโมเลกุลของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) จากด้านที่มี water potential สูง (มีโมเลกุลของน้ำมาก) ไปยังอีกด้านหนึ่งของเยื่อซึ่งมี water potential ต่ำกว่า เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำเหลืออยู่น้อย หรือ จากการมี solutes สะสมอยู่มาก เยื่อเลือกผ่านยอมให้น้ำผ่านได้สะดวก แต่ไม่ยอมให้ solutes ผ่าน

การเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นพืชอาศัยแรงขับเคลื่อน 4 แรงสำคัญ คือ

แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ (transpiration pull) แรงยกตัวในท่อขนาดเล็ก (capillary force) แรงดันราก (root pressure) และความแตกต่างของ water potential ระหว่าง 2 จุด (water potential gradient)

แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ (transpiration pull) เป็นแรงขับเคลื่อนหลักในการดึงน้ำที่รากพืชดูดเข้ามาให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่ส่วนเหนือดิน การคายน้ำก่อให้เกิดแรงดึงภายในท่อน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยตัวเอง (cohesion) ทำให้น้ำถูกดึงให้เคลื่อนที่ต่อเนื่องกันขึ้นมาเป็นกลุ่มเป็นก้อน (mass flow) เหมือนสายโซ่ ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำยังสามารถยึดเกาะกับผิวผนังท่อน้ำ (adhesion) ทำให้น้ำไม่ถูกแรงโน้มถ่วงของโลกดึงกลับลงไป

แรงยกตัวในท่อขนาดเล็ก (capillary force) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยตัวเอง และระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผิวสัมผัส ทำให้เกิดแรงยกตัวเมื่อน้ำอยู่ในท่อขนาดเล็ก คอลัมน์ของน้ำจะสูงขึ้นผกผันกับขนาดของท่อที่เล็กลง โดยเฉพาะในท่อน้ำ (xylem) ซึ่งเป็นท่อที่มีขนาดเล็กมากๆ อย่างไรก็ตาม capillary force ไม่ใช่แรงขับเคลื่อนหลักในการเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นพืช

แรงดันราก (root pressure) แรงดันที่เกิดขึ้นภายในระบบรากดันให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นสู่ส่วนเหนือดินในขณะที่ไม่มีการคายน้ำ และมีความชื้นในบรรยากาศสูง ถ้าตัดต้นกล้วยในแปลงตอนเช้าตรู่ให้ขีดโคนต้น จะพบว่ามือน้ำพุ่งขึ้นมาจากรอยตัด นั่นคือผลจากแรงดันราก แรงดันรากไม่ใช่แรงขับเคลื่อนหลัก และหมดไปเมื่อพืชเริ่มมีการคายน้ำ

ตอนกลางคืน พืชหยุดการคายน้ำ จึงไม่มีแรงดึงเนื่องจากการคายน้ำที่จะพาน้ำและธาตุอาหารจากรากขึ้นสู่ส่วนเหนือดิน ธาตุอาหารที่รากดูดเข้ามา จึงสะสมในเซลล์ของรากเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า water potential ลดต่ำลง เป็นสภาพที่ส่งเสริมให้มีการดูดน้ำเข้าสู่รากเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดแรงดันราก การดูดและการสะสมธาตุอาหารในรากเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยพลังงาน รากต้องได้รับออกซิเจนเพียงพอ

Guttation: การสูญเสียน้ำออกจากใบพืชในรูปหยดน้ำทางรูเปิด **ไฮดาโทด (hydathode)** พบที่บริเวณปลายใบหรือเกิดมากตอนเช้าตรู่ ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์สูง พืชปิดปากใบไม่คายน้ำ เป็นผลจากแรงดันราก (root pressure)

เซลล์บริเวณปลายยอดที่กำลังเติบโตได้รับน้ำจากเซลล์ที่โตเต็มที่แล้วในบริเวณใกล้เคียง

เซลล์ที่ปลายยอดต้องการน้ำเพื่อดันให้เซลล์ขยายขนาด บริเวณปลายยอด ท่อน้ำ (xylem) ยังไม่พัฒนา น้ำแพร่จากเซลล์ที่โตเต็มที่แล้ว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่า water potential สูง ไปยังเซลล์ที่กำลังเติบโตบริเวณปลายยอด ซึ่งมีค่า water potential ต่ำกว่า เป็นการเคลื่อนที่โดยอาศัยความแตกต่างของค่า water potential (water potential gradient) ระหว่าง 2 จุด

เซลล์ที่โตเต็มที่แล้ว ผนังเซลล์ไม่ยืดตัวอีก เมื่อเซลล์ดูดน้ำเข้าไป น้ำก่อให้เกิดแรงดันภายใน (ดันออก) ขณะที่ผนังเซลล์ที่ไม่ยืดตัวอีกดันด้านกลับ ผลลัพธ์คือ เซลล์เกิดความต่ง (turgidity) หรืออีกนัยหนึ่ง pressure potential มีค่ามากนั่นเอง เซลล์ที่โตเต็มที่แล้ว จึงมีค่า water potential สูง

เซลล์ที่กำลังเติบโต ผนังเซลล์ยังยืดตัวได้เพื่อรองรับการขยายขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อเซลล์มีการดูดน้ำ น้ำก่อให้เกิดแรงดันภายในเซลล์ ดันให้เซลล์ขยายขนาด ผนังเซลล์ยืดหยุ่นตาม ทำให้เซลล์ไม่ต่งเต็มที่ pressure potential จึงมีค่าน้อย ประกอบกับเซลล์มีการสะสม solute ทำให้ osmotic potential มีค่าติดลบมาก ผลลัพธ์คือ เซลล์ที่กำลังเติบโตมีค่า water potential ต่ำกว่าเซลล์ที่โตเต็มที่แล้ว