บทที่ 7
ราก
(Root)

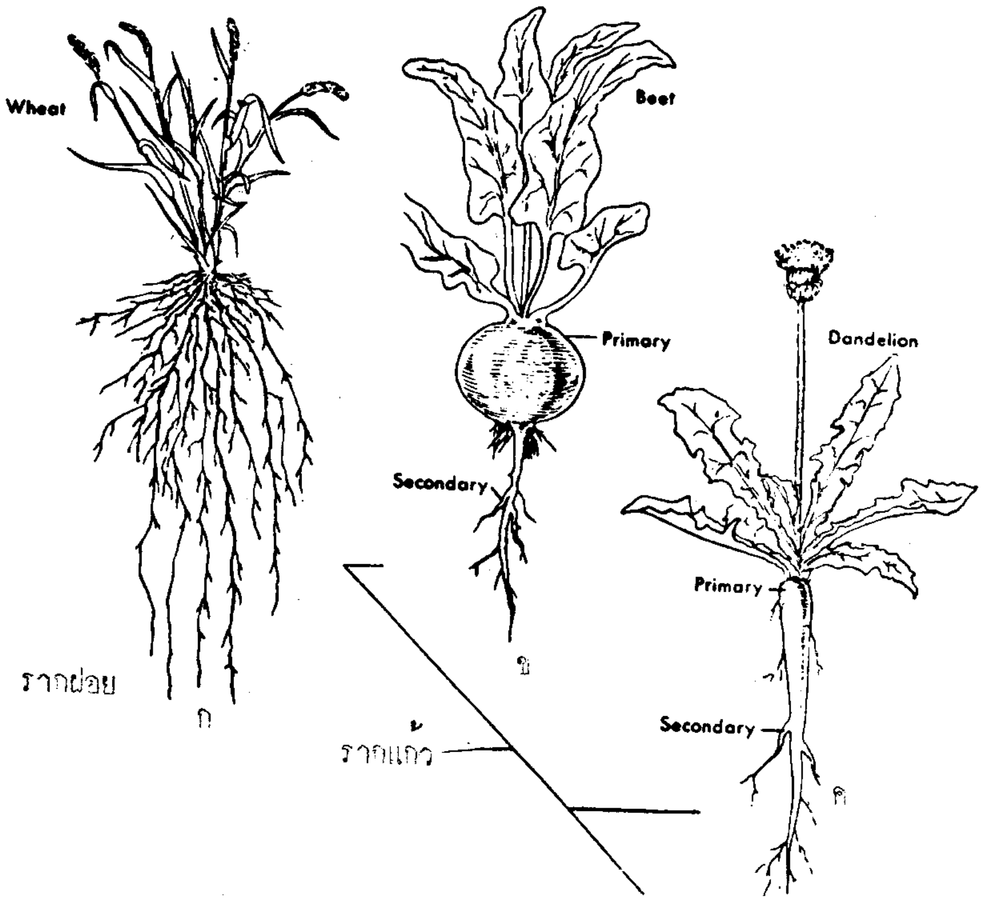
รากคืออวัยวะที่ทำหน้าที่ยึดลำต้นและดูดน้ำ เกลือ แร่ธาตุจากดิน รากบางชนิด อาจทำหน้าที่สะสมอาหาร รากต่างจากต้นตรงที่ไม่มีข้อและปล้อง รากมีขนาดแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชและสภาพของดินที่พืชขึ้นอยู่ด้วย

เมื่อเมล็ดเริ่มงอก จะเห็นมีรากแทงออกมาจากเปลือกหุ้มเมล็ด และยาวขึ้นอย่างรวดเร็วพร้อมกับหยั่งลงในดินทันที รากที่เห็นรากแรกนี้เรียกว่า Primary root เมื่อรากแรกนี้เจริญยาวออกมา จะมีแขนงของรากแตกออกมา เป็นรากเล็ก ๆ เกิดตรงบริเวณส่วนปลายของรากแรก รากแขนงจะเกิดเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อย ๆ โดยเกิดถัดลงมาทางปลายรากที่ยืดยาวออกอาจพบมีแขนงของรากแขนงแตกออกมาอีก ทำให้เกิดเป็นระบบของรากที่ซับซ้อนขึ้น

รากแรกนี้ถ้าเจริญเติบโตต่อไป จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นรากที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในระบบรากและถูกเรียกว่า รากแก้ว (Tap root) รากแก้วอาจมีขนาดยาวมาก เช่นรากของต้น Alfafa จะมีรากแก้วยาวถึง 15 ฟุต รากแก้วอาจจะมีรูปร่างกลม (ภาพที่ 7.1 ข) หรือผอมยาว (ภาพที่ 7.1 ค)

รากแก้วจะทำหน้าที่สำคัญคือยึดลำต้น นอกจากนี้ยังช่วยไม่ให้ต้นไม้เหี่ยวเมื่อภูมิอากาศเกิดการแห้งแล้ง เนื่องจากรากแก้วสามารถดูดน้ำจากใต้ดินลึก ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น รากของพวกต้น Alfafa ที่พืชพวกนี้จะยังคงมีต้นสดเขียวในขณะที่ต้นหญ้าที่เกิดอยู่ในบริเวณเดียวกันแห้งจนเหลืองแล้ว เนื่องจากพวก Alfafa มีรากยาว สามารถดูดน้ำใต้ดินมาใช้ได้ จากตัวอย่างที่กล่าวสามารถใช้อธิบายได้ว่าทำไมต้นไม้จึงสามารถขึ้นอยู่ในบริเวณที่แห้งแล้งได้ นอกจากหน้าที่ดังกล่าวแล้ว รากแก้วของพืชบางชนิด ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารใต้ดินสำหรับต้นไม้ได้ด้วย รากของพืชพวกนี้หลายชนิดจึงใช้รับประทานได้ เช่นพวกหัวผักกาดต่าง ๆ ระบบของรากที่ประกอบด้วยรากแก้วนี้เรียก **Primary root system** หรือ **Tap root system**

พืชหลายชนิดจะมีรากแก้วอยู่เพียงช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ แล้วจะถูกแทนที่โดยกลุ่มของ Secondary root ซึ่งเจริญขึ้นมาอย่างรวดเร็ว และมีสาขาแตกออกไปทุกทิศทาง รากที่เจริญขึ้นมาใหม่นี้เรียก รากฝอย หรือ Fibrous root (ภาพที่ 7.1 ก) พบในพืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยวเกือบทุกชนิด เช่นในพืชพวกข้าว หญ้า ข้าวโพด เป็นต้น รากฝอยจะทำหน้าที่ดูดน้ำเกลือ



ภาพที่ 7.1 ชนิดของระบบราก ก. ระบบรากฝอย ข.-ค. ระบบรากแก้ว ที่รูปร่างของรากเปลี่ยนไปเพื่อให้เหมาะสมที่จะทำหน้าที่ และมีชื่อเรียกต่างกันออกไปอีกคือ โป่งออกเรียก fusiform (ข) พองออกแบบกรวยเรียก conical (ค)

แร่ธาตุต่าง ๆ ได้ดีมากในฤดูฝน และยังช่วยยึดเกาะดินได้ดี ช่วยป้องกันการฟุ้งกระจายของดินเมื่อโดนลมในฤดูแล้ง ด้วยเหตุนี้จึงมักมีการปลูกต้นไม้พวกที่มีรากฝอย เพื่อยึดดินในพื้นที่ที่เป็นดินทรายหรือบนพื้นที่ที่ลาดชัน ระบบรากที่ประกอบด้วยรากฝอยนี้เรียกว่า Fibrous root system

ชนิดของราก (Kind of roots)

รากแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด โดยดูจากตำแหน่งที่เกิดของรากคือ

1. **รากแก้ว** (Primary root หรือ Tap root) รากแก้วได้แก่รากแรกที่เจริญมาจาก radicle ของเอมบริโอ รากแก้วนี้เมื่อเกิดแล้วเจริญไปเรื่อย ๆ จะเป็นรากที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่ยึด

ลำต้น และมีแขนงแตกออกไปมากมาย รากแก้วของพืชบางอย่างก็จะเจริญเพียงช่วงสั้น ๆ แล้วจะหยุดเจริญ มีรากชนิดอื่นเกิดขึ้นมาทำหน้าที่แทน

2. **รากแขนง** (Secondary root) รากแขนงได้แก่แขนงของรากที่แตกออกมาจากรากแก้วอีกทีหนึ่ง และจะมีแขนงแตกออกไปจากรากแขนงได้อีกหลายชั้น โดยมีรากขนาดเล็กลงไปตามลำดับ รากแขนงจะทำหน้าที่ยึดลำต้น และดูดน้ำ เกลือ แร่ธาตุ รากแขนงมักจะมีกำเนิดมาจากเซลล์ในชั้นเพริไซเคิล (ภาพที่ 7.4) อาจมาจากเซลล์ชั้นเอนโดเดอร์มิสหรือคอร์เทกซ์ด้วย ในพืชพวกจิมโนสเปิร์มและไม้ดอก มักพบแขนงของรากยื่นออกมาในตำแหน่งที่ตรงข้ามกับแนวของ xylem arm (ภาพที่ 7.4) ตัวอย่างเช่น รากของพวกหัวผักกาด มี 2 xylem arm พบมีแขนงของรากแตกออกมาเป็น 2 แถวเหมือนกัน

3. **รากพิเศษ** (Adventitious roots) รากชนิดนี้ไม่ใช่สาขาของรากแก้ว เป็นรากที่เจริญมาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เจริญมาจากส่วนของต้น ตัวอย่างเช่นรากไทร หรือจากใบ เช่น รากของต้นตายใบเป็น เป็นต้น ในพืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยว จะมีรากแก้วเจริญออกมาเพียงช่วงเวลาสั้น ๆ แล้วรากแก้วจะฝ่อไป มีรากฝอยออกมาจากโคนต้น รากฝอยจึงจัดเป็นรากพิเศษชนิดหนึ่ง รากที่งอกออกมาจากต้นใต้ดินหรือจากส่วนที่แก่แล้วของรากคือรากที่มี secondary growth แล้วก็จัดเป็นรากพิเศษ รากพวกนี้มักมีกำเนิดมาจากเซลล์พวกพาเรงคิมาที่อยู่เหนือชั้นโฟเอม

การเปลี่ยนแปลงของราก (Modification of roots)

รากของพืชหลายชนิดจะมีการเปลี่ยนไปทำหน้าที่พิเศษนอกจากยึดลำต้น และดูดน้ำเกลือแร่ธาตุจากดิน รากที่ทำหน้าที่พิเศษนี้มักมีรูปร่างเปลี่ยนไปด้วย เพื่อให้เหมาะสมกับหน้าที่ใหม่ รากชนิดนี้พบทั้งที่อยู่ในดินและบนดิน อาจเปลี่ยนมาจากรากแก้ว หรือจากรากชนิดอื่นก็ได้ แบ่งออกตามรูปร่างและหน้าที่เป็นหลายชนิด คือ

ภาพที่ 7.2 รากพิเศษชนิดต่าง ๆ

ก. รากปีนป่ายของต้น Ivy

ข. รากค้ำของต้นข้าวโพด

ค. Pneumatophore ของต้นแสม

ง. รากค้ำของต้นโกงกาง พืชชนิดนี้ยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าทางเลนติเซล

1. **รากสะสมอาหาร** (Storage roots) ได้แก่รากที่เปลี่ยนไปทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร รากพวกนี้มักจะมีรูปร่างพองใหญ่เพื่อสะสมอาหาร (ภาพที่ 7.1) โดยอาจจะพองออกเป็นรูปกรวย (Conical root) โป่งออกตรงกลาง (Fusiform root) หรือมีรูปร่างป้อม (Napiform root) การพองของรากอาจจะเกิดจากรากแก้วพองออก ได้แก่หัวมันแกว หัวผักกาด และหัวไชเท้า หรือเป็นแขนงของรากพองออก ได้แก่หัวมันเทศ หัวมันสำปะหลัง และหัวกลอย เป็นต้น

2. **รากปีนป่าย** (Climbing roots) เป็นรากที่ใช้ปีนหรือเกาะติดกับหลัก หรือกำแพงเพื่อยึดลำต้น เช่นรากของพวกพลู องุ่น Ivy (ภาพที่ 7.2 ก) รากจะออกเป็นกลุ่มจากส่วนข้อของลำต้นพืชพวกนี้ปกติจะมีรากในดินที่ทำหน้าที่ดูดน้ำเกลือ แร่ธาตุอยู่แล้ว

3. **รากค้ำ** (Prop roots หรือ Brace roots) เป็นรากพิเศษที่เจริญเป็นวงโดยรอบข้อ เช่น รากข้าวโพด (ภาพที่ 7.2 ข) รากจะเกิดที่โคนต้นตรงข้อแรก ๆ และแทงลงดิน ทำหน้าที่ค้ำและยึดลำต้น ถ้าถมดินรอบข้อแรกของลำต้นที่กล่าว จะสังเกตเห็นรากค้ำเกิดเพิ่มขึ้นในข้อถัดขึ้นไปอีก พืชพวกโกงกางจะมีรากขนาดใหญ่เจริญออกมาจากลำต้น ทำหน้าที่ค้ำลำต้น จัดเป็นรากค้ำเช่นกัน (ภาพที่ 7.2 ง)

4. **รากสังเคราะห์แสง** (Photosynthetic roots) รากสังเคราะห์แสงจัดเป็นรากอากาศ พบในพืชพวกกล้วยไม้ (Tropical orchids) ที่อาศัยเกาะบนต้นไม้อื่น ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพราะมีสีเขียว โดยดูดน้ำจากความชื้นในอากาศ และดูดแร่ธาตุจากซากของสิ่งมีชีวิตที่ตกอยู่โดยรอบรากที่เพียงพอจะใช้ในการสังเคราะห์แสง รากอากาศเหล่านี้จะเป็นรากที่ค่อนข้างหนา เซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์มักจะพอง เพื่อดูดน้ำจากฝนที่ตกและน้ำค้างได้อย่างรวดเร็ว พวกกล้วยไม้มักจะมีเนื้อเยื่อเรียก **Velamen** ปกคลุมราก ทำหน้าที่สะสมน้ำให้แก่ราก

5. **Pneumatophore** พืชพวกไม้น้ำ เช่น แสม ลำพู จะมีรากแขนงที่ตั้งตรงขึ้นมาเหนือน้ำ เรียก Pneumatophore (ภาพที่ 7.2 ค) รากชนิดนี้มักจะมีช่องว่างระหว่างเซลล์กว้างและติดต่อกับปากใบที่ผิวราก ทำให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี มักมีรูปร่างทรงกรวยที่อาจแบนข้าง ๆ รากชนิดนี้บางทีเรียกชื่อสามัญว่า **Knees**

6. **รากปรสิต** (Haustoria) รากปรสิตได้แก่รากของต้นพืชที่มีความเป็นอยู่แบบปรสิต เช่นรากของต้นฝอยทอง กาฝาก พืชพวกนี้จะสร้างรากออกมาจากส่วนของต้น ชอนลงไปในต้นพืชที่อาศัยเกาะอยู่ (Host plant) โดยชอนลงไปในชั้นคอร์เทกซ์ หรือชั้นเนื้อเยื่อลำเลียง ทำหน้าที่ดูดน้ำและอาหารจากโฟเอมโดยตรง

Mycorrhiza

รากของพืชบางชนิดจะทำหน้าที่ดูดน้ำ และสารอาหารต่าง ๆ ได้ดีขึ้น เมื่อมีความเป็นอยู่แบบสมานชีวิน (Symbiosis) กับฟังไจ (Fungi) บางชนิด รากชนิดนี้ถูกเรียกว่า mycorrhiza

(พหูพจน์ mycorrhizae) โดยฟังไจจะเข้าไปอยู่ในชั้นคอร์เทกซ์ของรากพืช แต่ไม่ทำอันตรายต่อราก Mycorrhiza แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **Ectomycorrhiza** คือการอยู่รวมกันโดยฟังไจจะหุ้มอยู่ปลายนอกของราก เห็นเป็นเปลือกหนา เรียกเปลือกนี้ว่า hyphae mantle ฟังไจจะยื่นเส้นสายแทงเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ของราก รากของพืชพวกนี้จะมีขนาดสั้น แขนงของรากจะพองออก จำนวนรากขนอ่อนและขนาดของหมวกรากจะลดลง

2. **Endomycorrhiza** เป็นการอยู่รวมกันโดยฟังไจจะเข้าไปอยู่ภายในเซลล์ของรากเป็นส่วนใหญ่ มีปกคลุมอยู่ภายนอกเพียงเล็กน้อย รากของพืชจะมีลักษณะเหมือนรากปกติแต่จะมีสีเข้มขึ้น

การทำงานร่วมกันโดยฟังไจจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแร่ธาตุในดิน และสลายสารอินทรีย์จนมีประโยชน์ต่อต้นพืช ต้นพืชจะผลิตน้ำตาล Amino acid และสารอินทรีย์สารอื่น ๆ ให้กับฟังไจ

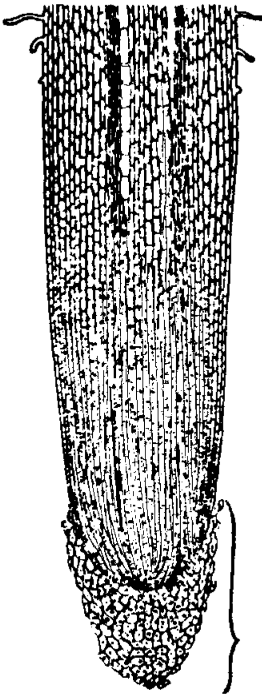
ส่วนประกอบของภายนอกของราก

ปลายรากเมื่อตัดตามยาวจะเห็นประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะแตกต่างกันเป็นส่วน ๆ (เขต) จากปลายสุดราก คือ

หมวกราก (Root cap) หมวกรากได้แก่กลุ่มเซลล์ที่อยู่ปลายสุดของราก (ภาพที่ 7.3) ทำหน้าที่ป้องกันเยื่อเจริญปลายราก ประกอบด้วยเซลล์พวกพาเรงคิมาที่ได้จากการแบ่งตัวของเยื่อเจริญบริเวณปลายราก เซลล์รอบนอกมักจะขรุขระเนื่องจากการฉีกขาดเมื่อรากเจริญแแทรกลงในดิน แต่จะมีการสร้างเซลล์หมวกรากขึ้นทดแทนเซลล์ที่ฉีกขาดไป ปลายรากที่เจริญลงในดินจะถูกคลุมด้วยสารเมือก (Mucilage) ซึ่งหมวกรากเป็นแหล่งสำคัญในการสร้างสารเมือกเหล่านี้ สารเมือกเหล่านี้จะปกคลุมไปถึงเขตรากขนอ่อนด้วย ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในดิน และป้องกันปลายรากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดสารอาหารมิให้แห้งแตกไป นอกจากนี้ เซลล์ในหมวกรากจะหายใจปล่อยพวกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมารวมกับน้ำในดินเกิดเป็นกรดอ่อน ๆ ได้แก่ กรดคาร์บอนิค กรดนี้จะช่วยในการแทรกตัวของรากลงในดิน โดยกรดจะไปละลายพวกแร่ธาตุบางอย่างในดินทำให้มีที่ว่างที่รากจะผ่าน โดยเฉพาะมีประโยชน์มากต่อรากที่เจริญอยู่บนหินปูน

เขตเยื่อเจริญ (Meristematic region) เขตเยื่อเจริญคือเขตที่รากมีการเจริญแบ่งเซลล์ เป็นเขตที่กินเนื้อที่เพียงนิดเดียว ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเล็กที่มีการแบ่งตัวแบบไมโทซิสตลอดเวลา ทำให้รากมีจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น

เขตยืดตัว (Elongation region) เขตยืดตัวประกอบด้วยเซลล์ที่ค่อนข้างยืดยาว ทำหน้าที่ดันให้รากแทงลงดิน ส่วนนี้จะมีความยาวประมาณ 2 - 5 มิลลิเมตร

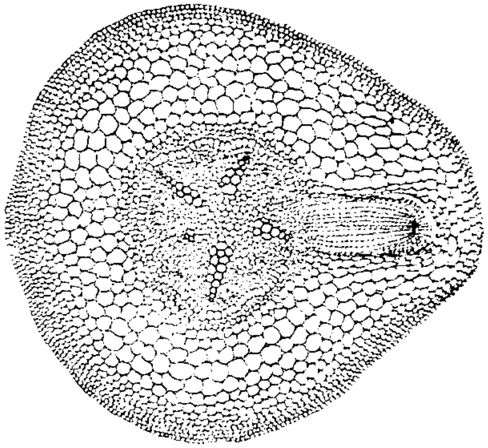


ภาพที่ 7.3 แสดงเนื้อเยื่อบริเวณปลายราก จะเห็นหมวกรากที่ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น ทำหน้าที่ป้องกันส่วนเนื้อเยื่อเจริญที่อ่อนแอของรากไม่ให้ได้รับอันตราย

เขตรากขนอ่อน (Root hair zone หรือ Maturation region) หลังจากเซลล์ยืดยาวเต็มที่แล้ว รากก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก โดยเซลล์ที่บริเวณผิวจะสร้างระยางค์ยื่นออกไปเรียกรากขนอ่อน ส่วนเซลล์ภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับหน้าที่ การศึกษาส่วนต่าง ๆ ภายในรากจะดูได้จากบริเวณนี้ รากขนอ่อนนี้จะถูกสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในบริเวณที่ต่ำลงมาทางปลายรากเมื่อรากยาวออก รากขนอ่อนที่เกิดก่อนอยู่บนสุดจะมีอายุระยะหนึ่งก็จะตายไป พบว่าอัตราการเกิดใหม่และตายไปของรากขนอ่อนจะเท่ากัน จึงทำให้เห็นจำนวนรากขนอ่อนคงที่ เขตนี้จะมีความยาวตั้งแต่หนึ่งถึงหลายเซนติเมตร รากขนอ่อนเองก็มีขนาดและความยาวแตกต่างกันไป เท่าที่พบรากขนอ่อนที่ยาวที่สุดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร

ส่วนประกอบภายในของราก

ส่วนประกอบภายในของราก ส่วนใหญ่ศึกษาจากเขตที่รากเจริญเต็มที่แล้ว คือเขตรากขนอ่อน จากการตัดรากตามขวาง จะเห็นรากประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ จากภายนอกเข้ามาคล้ายกับในลำต้น มีแตกต่างกันบ้างในรายละเอียด และหน้าที่เฉพาะของแต่ละส่วน ซึ่งจะกล่าวตั้งแต่ชั้นนอกสุดเข้ามาดังนี้คือ (ภาพที่ 7.4)



ภาพที่ 7.4 ถั่ว (*Phaseolus* sp.) ตัดขวางแสดงจุดกำเนิดของรากแขนง (จาก Bold, 1967)

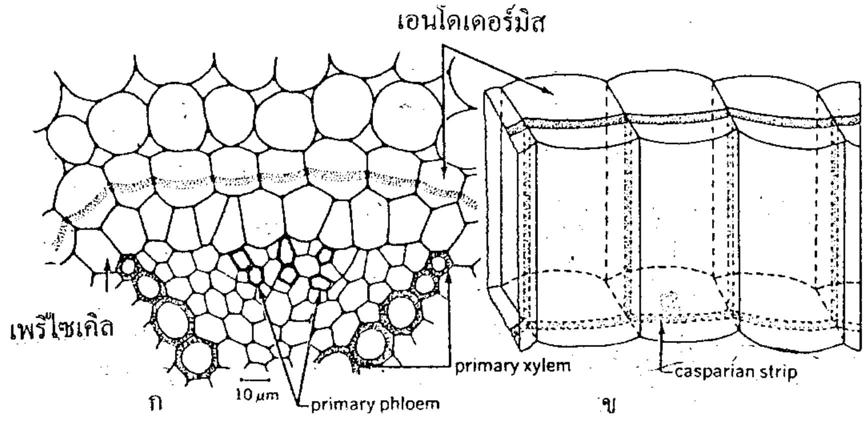
ผิวราก *(Epidermis)* ชั้นนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์แถวเดียว มีบ้างที่ประกอบด้วยเซลล์หลายแถวที่รู้จักกันดีคือ เวลาเมน (Velamen) เป็นผิวรากที่พบตรงปลายราก เช่น รากกล้วยไม้ เวลาเมนประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้ว ผนังหนา เรียงกันหลายชั้น ในฤดูแล้งจะมีแต่อากาศแทรกอยู่ในเวลาเมน แต่ในฤดูฝนจะเต็มไปด้วยน้ำแทรกอยู่ในช่องระหว่างเซลล์ ทำให้จัดเวลาเมน เป็นเนื้อเยื่อดูดซึมชนิดหนึ่ง

ผิวรากในรากจะต่างจากในต้นทั้งโครงสร้างและหน้าที่ การมีคิวติน และความหนาของผนังเซลล์ที่พบในเซลล์ชั้นผิวต้นนั้นจะรบกวนการดูดซึมสารอาหารและน้ำของรากเซลล์ในชั้นนี้พบมีผนังเซลล์ที่เป็นเยื่อพวกเซลลูโลสที่บางและอ่อนนุ่ม และมีรากขนอ่อนยื่นออกมาทำหน้าที่ดูดซึมเกลือ แร่ธาตุในดิน

คอร์เทกซ์ (Cortex) คอร์เทกซ์เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากผิวรากเข้ามา กินเนื้อที่กว้างกว่าคอร์เทกซ์ของลำต้น ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้นที่อาจประกอบด้วยเซลล์ชนิดเดียวล้วน ๆ มีโครงสร้างอย่างง่าย ๆ หรือประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด ในรากของพืชพวกจิมโนสเปิร์มและพืช

ใบเลี้ยงคู่ที่มี Secondary growth ที่พบมีการสูญเสียคอร์เทกซ์ไปอย่างรวดเร็วนั้น เนื่องจากคอร์เทกซ์จะประกอบด้วยเซลล์พวกพาเรงคิมาเป็นส่วนใหญ่ ส่วนพืชพวกที่สามารถรักษาชั้นคอร์เทกซ์ไว้ตลอดชีวิต เช่น พืชพวกใบเลี้ยงเดี่ยวหลายชนิด คอร์เทกซ์มักประกอบด้วยเซลล์พวกสเคอเรงคิมาจำนวนมากแทรกปนอยู่กับเซลล์พวกพาเรงคิมา ทำให้ชั้นคอร์เทกซ์แข็งแรง เซลล์พวกพาเรงคิมาปกติมีหน้าที่สะสมอาหาร แต่พวกรากอากาศมักมีคลอโรฟิลล์อยู่ในเซลล์ชั้นนี้ เซลล์พาเรงคิมาที่มีคลอโรฟิลล์อยู่เรียกว่า คลอเรงคิมา (Chlorenchyma)

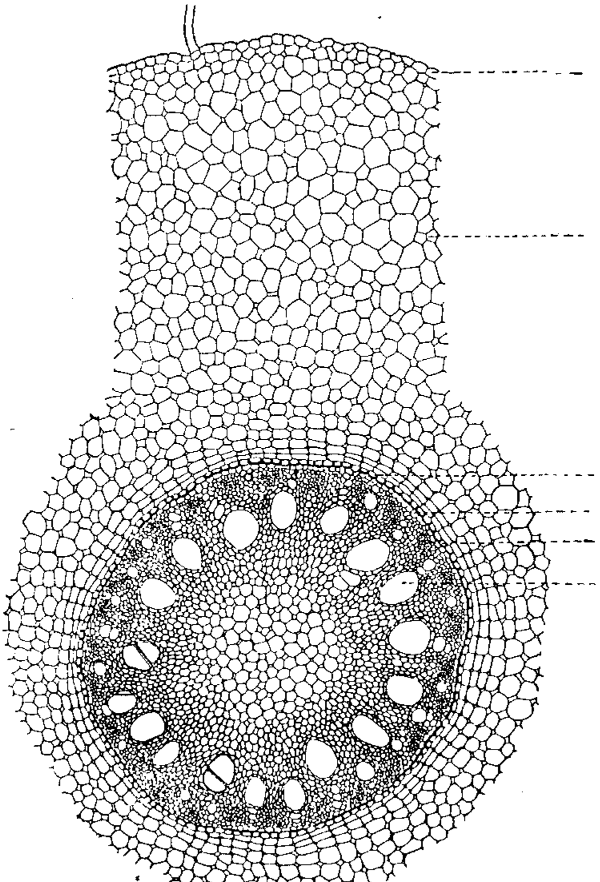
ชั้นในสุดของคอร์เทกซ์ คือชั้น เอนโดเดอร์มิส ประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงติดกันจนไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ ลักษณะสำคัญของเซลล์ในชั้นนี้คือมี Casparian strip เกิดที่ผนังด้าน anticlinal wall (ภาพที่ 7.5) ซึ่งพบเสมอในเอนโดเดอร์มิสของรากเป็นแถบที่ประกอบด้วยลิกนิน ซูเบอริน และไขมันบางชนิด แต่ส่วนใหญ่พบว่าประกอบด้วยสารประกอบประเภทซูเบอริน เซลล์พวกนี้มักมีผนังเซลล์ด้านขนานกับรัศมี (Radial wall) และผิวในของเส้นสัมผัส (Inner tangential wall) ของลำต้นหนา เซลล์บางเซลล์บริเวณปลายกลุ่มไซเลมที่ยื่นออกไปจะมีผนังบางเรียก passage cells เป็นบริเวณที่มีการผ่านของสารละลายระหว่างคอร์เทกซ์และเนื้อเยื่อลำเลียง ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวส่วนใหญ่ไม่มี secondary growth พบมีเอนโดเดอร์มิสเกิดขึ้นเสมอทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเนื้อเยื่อภายในรากถัดเข้าไป ในพืชพวกจิมโนสเปิร์มพบมีเอนโดเดอร์มิสหลายชั้นเห็นชัดเจน พืชพวกไม้ดอกพบมีบ้างไม่มีบ้างแล้วแต่ชนิดของพืช พวกพืชน้ำมักไม่มีเอนโดเดอร์มิส



ภาพที่ 7.5 เอนโดเดอร์มิสจากรากของ morning glory (Convolvulus arvensis) ตัดขวาง แสดงตำแหน่งของเอนโดเดอร์มิส (ก) และแผนภาพของเซลล์ในเอนโดเดอร์มิส เห็น casparian strip เกิดที่ผนังด้าน transverse และด้าน radial (Anticlinal wall) ไม่พบที่ผนังด้าน tangential (Esau, 1977)

สติล (Stele) สติลคือส่วนของรากที่อยู่ถัดเอนโดเดอร์มิสเข้ามา ประกอบด้วยกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงเป็นส่วนใหญ่ เหมือนกันหมดทั้งในพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว กินบริเวณแคบกว่าคอร์เทกซ์ บริเวณตรงกลางอาจประกอบด้วยไส้ใน ไส้ในอาจประกอบด้วยเซลล์พวกพาเรงคิมาอย่างเดียว หรือรวมกับเซลล์พวกสเคอเรงคิมาที่มีผนังเซลล์หนา หรือประกอบด้วยไซเลม ระบบเนื้อเยื่อลำเลียงในรากจะแยกจากคอร์เทกซ์ให้เห็นชัดเจนกว่าในต้นด้วยลักษณะหลายอย่างคือ ข้อแรกเนื้อเยื่อลำเลียงจะเรียงติดกันแน่นไม่มี leaf gap ข้อสองเนื้อเยื่อนี้ถูกล้อมด้วยเซลล์ชั้นเพริไซเคิล ซึ่งอาจหนาชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ ข้อสามมีชั้นเอนโดเดอร์มิสล้อมเพริไซเคิลอีกทีหนึ่ง

เพริไซเคิล (Pericycle) ในรากที่ยังอ่อนอยู่ เพริไซเคิลจะประกอบด้วยเซลล์พวกพาเรงคิมาที่มีผนังบาง ในไม้ดอกและจิมโนสเปิร์มเซลล์ชั้นนี้สามารถแบ่งเซลล์เกิดเป็นรากแขนงได้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นคอร์กแคมเบียม เมื่อมี secondary growth แคมเบียมบางส่วนก็เกิดจากเซลล์ในชั้นนี้ ไม้ดอกมักพบเพริไซเคิล เป็นเซลล์แถวเดียว แต่ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น พืชวงศ์ Poaceae บางชนิด เช่น *Agave, Dracaena* และปาล์ม กับพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น *Celtis, Morus, Salix, Castanea, Calycanthus* เหล่านี้ เพริไซเคิลจะประกอบด้วยเซลล์หลายชั้น การมีเพริไซเคิลที่ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้นนี้เป็นลักษณะที่พบในพวกจิมโนสเปิร์มทั่วไป (Esau, 1953) รากส่วนใหญ่จะมีเพริไซเคิล ยกเว้นพวกไม้น้ำและพืชที่มีความเป็นอยู่แบบปรสิต



ภาพที่ 7.6 รากของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว *(Hedychium coronarium)* ตัดขวางแสดงเนื้อเยื่อภายในมองเห็นสติลคอร์เทกซ์ส่วนหนึ่ง และเอพิเดอร์มิส (Brown, 1969)

เนื้อเยื่อลำเลียง (Vascular tissue) เนื้อเยื่อลำเลียงของรากจะมีการเรียงตัวสลับกันระหว่างโฟเอมและไซเลม โดยโฟเอมจะเรียงตัวอยู่ริม ๆ เป็นกลุ่ม ในบริเวณใต้เพริไซเคิล ส่วนไซเลมอาจเกิดสลับกับโฟเอม (ภาพที่ 7.6) หรือเกิดเป็นกลุ่มอยู่ตรงกลางราก (ภาพที่ 7.4) และมีเนื้อเยื่อไซเลมยื่นออกไปในแนวรัศมี ถ้าไม่มีไซเลมเกิดอยู่กลางราก บริเวณนี้จะมีไส้ในเกิดแทน

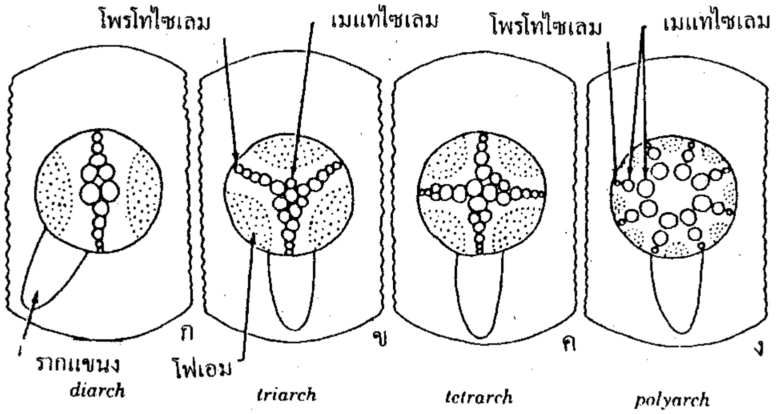
ในพืชพวกใบเลี้ยงคู่ส่วนใหญ่จะมีกลุ่มของไซเลมยื่นออกไปจำนวนน้อย เช่น ในรากแก้วมักพบมีจำนวนของไซเลมที่ยื่นออกไปเป็น 2 กลุ่ม (Diarch) 3 กลุ่ม (Triarch) และ 4 กลุ่ม (Tetraarch) แต่อาจมีจำนวนมากถึง 5 หรือ 8 กลุ่ม (Polyarch - ภาพที่ 7.7) ในไม้น้ำเช่นพวกกระจับ *(Trapa natans)* พบมีเพียงกลุ่มเดียว ในพวกพืชใบเลี้ยงเดี่ยวต้นอ่อนอาจพบมีกลุ่มของไซเลมในรากแก้วคล้ายในรากพืชใบเลี้ยงคู่ ส่วนต้นที่โตเต็มที่จะมีรากพิเศษที่มีกลุ่มของไซเลมจำนวนมาก พวกรากพิเศษมักจะมีจำนวนกลุ่มของไซเลมมาก อาจพบเป็น 100 กลุ่ม หรือมากกว่า เช่นที่พบในรากของพืชวงศ์ Palmae ได้แก่มะพร้าว และวงศ์ Pandanaceae ได้แก่เตย ลำเจียก รากของพืชพวกจิมโนสเปิร์มส่วนใหญ่มีไซเลมยื่นไปเพียง 2 กลุ่ม

จะเห็นว่าในพืชมีดอก สติลในส่วนของรากและลำต้นของพืชต้นเดียวกันจะต่างกันคือ สติลในรากมักเป็นโพรโทสติล ส่วนในต้นของพืชใบเลี้ยงคู่เป็นยูสติล ใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นเอแทคโทสติล ดังนั้น จะต้องมีบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของสติลแบบของรากมาเป็นของลำต้นส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นตรงบริเวณไฮโปคอทิลหรือบริเวณก่อนถึงไฮโปคอทิลของเมล็ด ซึ่ง Eames and McDaniales ได้กล่าวถึงวิธีการเปลี่ยนแปลงมีด้วยกัน 4 แบบ ที่จะไม่นำมากล่าวในที่นี้

การเกิดของรากแขนงและรากพิเศษ

รากแขนงจะเกิดเมื่อรากถูกกระตุ้นด้วย auxins และ growth requlator อื่น ๆ รากแขนงจะมีกำเนิดจากเซลล์ได้ 3 ตำแหน่งคือ ส่วนมากเกิดจากเซลล์ชั้นเพริไซเคิล นอกจากนี้อาจมีกำเนิดมาจากเซลล์ชั้นเอนโดเดอร์มิสที่พบมากในพืชมีดอกชั้นต่ำ และเกิดจากเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ที่อยู่เหนือชั้นเอนโดเดอร์มิส 1-2 แถว พบมากในพืชมีดอกวงศ์ Papilionaceae Convolvulaceae และพืชน้ำบางชนิด

รากพิเศษ (Adventitious root) คำนี้มีความหมายกว้างขวาง อาจหมายถึงรากที่เกิดบนส่วนของต้นทั้งใต้ดินและบนดิน และรากที่เกิดบนรากแก่ ๆ โดยเฉพาะพวกที่มี secondary growth ที่บางครั้งจะแยกออกจากรากแขนงได้ยาก บริเวณที่ให้กำเนิดรากพิเศษมักจะเป็นบริเวณที่มีเนื้อไม้อ่อน เช่นในต้นพวก runner หรือ stolon มักจะมีกำเนิดจากเซลล์ชั้นพิตเรย์สำหรับพวกที่ไม่มี secondary growth ส่วนพืชที่มี secondary growth มักจะมีกำเนิดมาจากโฟเอม ในพืชน้ำมักเกิดจาก interfasicular cambium



ภาพที่ 7.7 แสดงตำแหน่งของรากแขนงที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของไซเลมและโฟลเอมของรากแรก
ก-ค พืชใบเลี้ยงคู่
ง พืชใบเลี้ยงคู่
(Esau, 1977)