บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ดองดึง มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gloriosa superba* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Liliaceae (วิทย์, 2531 ; ดองดึงหัวขวาน, 2545 : ระบบออนไลน์ ; Ellison, 1995) ชื่อสามัญ Climbing Lily, Glory Lily, Malabar Glory Lily, Mozambigue Lily มีชื่อท้องถิ่นว่า ก้ามปู คมขวาน บ้องขวาน หัวขวาน ดาวดึงส์ ว่านก้ามปู มะขาโก้ง (วิชัย, 2521 ; The Nation commission organizing, 1995)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช, 2545 : ระบบออนไลน์)

หัว

หัวของดองดึงมีลักษณะเป็นแขนงคล้ายนิ้วมือ ปกติมี 2 แขนง (ข้างหนึ่งสั้นข้างหนึ่งยาวบางครั้งจะพบความยาวทั้งสองข้างใกล้เคียงกัน) บางครั้งอาจพบ 3-4 แขนง หัวอ่อนมีสีขาวอวบน้ำ หลังจากเก็บเกี่ยวและทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ผิวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ตรงปลายหัวทั้ง 2 ข้างมีจุดเจริญข้างละ 1 จุด ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของต้นใหม่ ปกติหัวดองดึงพักตัวอยู่ในดินตลอดฤดูแล้งและฤดูหนาว พอถึงฤดูฝนจุดเจริญเริ่มแตกเป็นต้นอ่อน และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเป็นลำต้นเหนือดิน ถ้าจุดเจริญดังกล่าวหักหรือถูกทำลายไปหัวดองดึงจะไม่งอก และไม่สามารถขยายพันธุ์ต่อไปได้อีก เมื่อบริเวณตุ่มสีขาวตรงจุดเจริญพัฒนาต่อไปเป็นลำต้นเหนือพื้นดิน ส่วนใต้ดินมีการสร้างหัวใหม่เกิดขึ้น หัวใหม่และลำต้นเหนือดินเจริญเติบโตต่อไป ส่วนหัวเก่าเริ่มฝ่อและแห้งไป ถึงแม้หัวของดองดึงมี 2 แขนง และมีจุดเจริญ 2 จุด แต่เมื่อนำไปปลูกส่วนใหญ่สามารถเจริญเป็นต้นแค่ด้านเดียวมีน้อยครั้งที่เจริญพร้อมกันทั้ง 2 ด้าน นอกจากก่อนปลูกมีการตัดแบ่งหัวเป็นคนละด้านแล้วแยกปลูกดองดึงจึงสามารถให้ต้นได้ทั้ง 2 ต้น

ลำต้นเหนือดิน

เป็นไม้เถาเลื้อยเจริญมาจากปลายจุดเจริญของหัวใต้ดิน ต้นที่เกิดใหม่เหนือพื้นดินมี ข้อ ปล้อง เห็นเด่นชัด มีเส้นรอบวง 0.5-1.5 เซนติเมตร ลำต้นสูง 1-3 เมตร โดยทั่วไปตรงปลาย

ยอดมีการแตกแขนง 3-5 แขนง ความยาวเฉลี่ยของแต่ละแขนง 0.25-1 เมตร แต่ละแขนงอาจมีการแตกแขนงย่อยต่อไปอีก 2-3 แขนง ความยาวเฉลี่ยของแขนง 10-14 เซนติเมตร แขนงหลักมีขนาดใหญ่กว่าแขนงอื่นภายในต้นเดียวกัน

ราก

รากของดองดึงมีลักษณะเป็นรากฝอยแผ่กระจาย เกิดขึ้นที่โคนของลำต้นบริเวณเหนือหัวเก่า เมื่อลำต้นเหนือดินแก่และเหี่ยวเฉา รากหมดหน้าที่และแห้งไปในที่สุด

ใบ

เป็นใบเดี่ยว มีการเรียงตัวแบบสลับ มีรูปยาวรีคล้ายใบหอกยาว 10-15 เซนติเมตร กว้าง 2-3.5 เซนติเมตร (Promjit *et al.*, 1996) ปลายใบแหลมเรียว ขดงอทำหน้าที่เป็นเครื่องยึดเหนี่ยวสิ่งข้างเคียง ช่วยพยุงลำต้นให้ตั้งตัวได้ เส้นใบย่อยเรียงขนานตามแนวยาวของใบเห็นได้ชัดเจนใบละ 6-8 เส้น

ดอก

เป็นดอกช่อ ออกตามง่ามใบ แต่ละดอกมี 6 กลีบ เมื่อดอกบานกลีบดอกมีลักษณะเรียวระหงและโค้งงอกลับขึ้นด้านบน ริมกลีบดอกเป็นลอนบิดไปมา (กัญจนา, 2542) เมื่อเริ่มบานปลายกลีบมีสีแดงเข้ม โคนกลีบมีสีเหลืองอมเขียว เมื่อดอกบานเต็มที่กลีบดอกยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ปลายกลีบเปลี่ยนเป็นสีแดงสด เส้นกลางใบด้านล่างของกลีบมีสีแดงอมเหลือง เมื่อดอกแก่จัดใกล้โรย กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง เกสรเพศผู้มี 3 คู่ โค้งกลับขึ้นด้านบนใต้กลีบดอก เกสรเพศเมียมีสีเขียวอยู่ด้านล่างสุดและตรงปลายเกสรโค้งกลับขึ้นด้านบนเช่นเดียวกัน ดอกดองดึงบานติดต้นอยู่ 8-10 วันจึงทิ้งกลีบ (นันทกา, 2538 ; Bryan and Griffiths, 1995) การพัฒนาของดอกพบว่า ระยะเวลาจากดอกตูมจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 9 วัน และระยะเวลาจากดอกบานถึงฝักแก่ประมาณ 84 วัน แต่ละดอกที่อยู่บนกิ่งแขนงเดียวกันทะยอยบานจากดอกล่างขึ้นข้างบนห่างกันดอกละประมาณ 3 วัน (สมสุข และ ปราโมทย์, 2541)

ฝักและเมล็ด

ฝักมีลักษณะเป็นรูปไข่ค่อนข้างยาว เปลือกหนามีสีเขียวเป็นมัน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 เซนติเมตร ฝักยาว 4-7 เซนติเมตร มี 3 พู แต่ละพูมีเมล็ดจำนวนมาก เมื่อฝักแก่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล ผิวของเปลือกย่นและแตกตามยาว เมล็ดกลมมีขนาด 2-3 มิลลิเมตร ผิวเรียบเป็น

มัน มีสีขาวเมื่อเมล็ดอ่อน เมล็ดแก่มีสีแดงส้ม จำนวนเมล็ดต่อฝักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของฝัก โดยทั่วไปพบ 30-50 เมล็ดต่อฝัก การติดฝักมากน้อยแล้วแต่ความสมบูรณ์ของต้น

การขยายพันธุ์ (กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร, 2545 : ระบบออนไลน์)

การเพาะเมล็ด

เมล็ดดองดึงเกิดจากการผสมเกสรที่เกิดจากการผสมข้ามดอกหรือข้ามต้น โดยปกติการปลูกดองดึงในแปลงใหญ่จะปล่อยให้มีการถ่ายละอองเกสรตามธรรมชาติ แล้วนำไปขัดด้วยทรายหยาบจนเปลือกหุ้มเมล็ดหลุด (เมล็ดที่ขัดแล้วมีสีขาว) แล้วจึงนำเมล็ดไปเพาะในกระบะบรรจุทรายผสมถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 โดยให้เมล็ดจมในวัสดุประมาณ 1 เซนติเมตร เพาะ 7-10 วัน เมล็ดจึงเริ่มงอก เจริญเติบโตและมีการสร้างหัวครั้งแรกใช้เวลา 6-8 เดือน เมื่อนำหัวไปปลูก 2-3 ครั้ง ซึ่งใช้เวลา 2-3 ปี ดองดึงจึงให้ช่อดอกและผลิตหัวพันธุ์ได้

การแบ่งหัว

นิยมใช้มากกว่าการเพาะเมล็ด เพราะให้ดอกเร็วกว่า ต้นที่ได้มีลักษณะคงเดิมเหมือนต้นแม่พันธุ์ ก่อนปลูกนำเหง้าที่มีจุดเจริญนี้มาตัดแบ่งโดยตัดตรงบริเวณหักงอของหัว เมื่อตัดแบ่งหัวแล้วควรใช้ปูนแดงทาปิดปากแผลแล้วจึงนำไปปลูกในหลุมลึก 5 เซนติเมตร โดยวางหัวในแนวราบกับดินให้จุดเจริญอยู่ด้านบน แล้วจึงใช้ดินกลบ รดน้ำให้ชุ่ม ดองดึงให้ดอกภายใน 2-3 เดือนหลังปลูก การปลูกวิธีนี้นับจากการปลูกจนถึงติดฝักและเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 7 เดือน

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ส่วนของพืชที่นำมาใช้ขยายพันธุ์วิธีนี้คือ ส่วนที่เป็นจุดเจริญ ละอองเกสร รังไข่ และเมล็ด ใช้เวลาประมาณ 2 ปี จึงให้ดอก และสร้างหัวใหม่ได้ขนาดที่ต้องการ

การเจริญเติบโตของดองดึง

ดองดึงเป็นไม้ที่เจริญเติบโตได้ดี ทั้งในที่ที่มีแสงแดดจัด และแสงแดดร่มรำไรใต้ร่มเงา ชอบน้ำปานกลาง แต่มีการระบายน้ำดี น้ำไม่ขังเพราะสภาพน้ำขังทำให้รากเน่า กระทบต่อการเจริญบริเวณเหนือดิน (ศูนย์พันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย , 2545 : ระบบออนไลน์ ; Floridata, 2001 : Online)

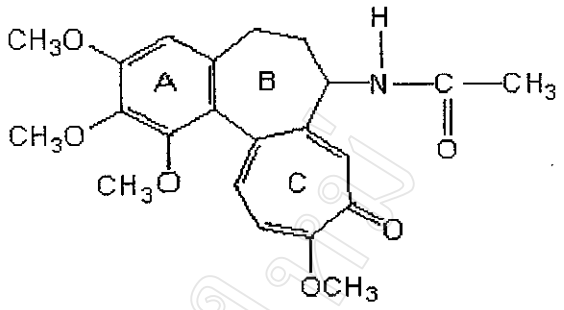
นันทิรา (2533) ศึกษาผลของขนาดหัวที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของดองดึง พบว่า หัวที่มีน้ำหนักมากกว่า 7 กรัมขึ้นไปสามารถให้ต้นที่ออกดอกได้ ส่วนหัวที่มีน้ำหนักระหว่าง 3-7 กรัม สามารถให้ต้นที่ออกดอกได้ร้อยละ 40 ในขณะที่หัวซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่า 3 กรัม ไม่สามารถให้ต้นที่มีดอกได้เลย และศึกษาอัตราการขยายขนาดของหัว พบว่า หัวดองดึงที่มีน้ำหนักก่อนปลูก 4-7 กรัม มีอัตราการขยายขนาดของหัวใหม่มากที่สุดคือ เพิ่มขึ้น 5-6 เท่า หัวที่มีน้ำหนักก่อนปลูก 7-10 กรัม มีอัตราการขยายขนาด 4-5 เท่า ส่วนหัวที่มีน้ำหนักก่อนปลูก 20 กรัมขึ้นไป มีอัตราการขยายขนาดเพียง 2-3 เท่า

Mamatha *et al.* (1993) ศึกษาการเจริญเติบโตของดองดึง พบว่าการงอกของหัวดองดึงมีเปอร์เซ็นต์ต่ำและไม่สม่ำเสมอ โดยวันที่ 15 หลังปลูก หัวงอก 20.63 เปอร์เซ็นต์ และ 56.9 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 30 หลังปลูก เมื่อพืชเริ่มออกดอกพบว่ามีใบเฉลี่ย 54.6 ใบ มีกิ่งก้าน 3.8 กิ่ง และในระยะเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นเป็น 8.5 กิ่ง มีความยาวเฉลี่ยของกิ่ง 58.4 เซนติเมตร และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตต่อปริมาณผลผลิต พบว่าฝักขนาดกลางให้เมล็ดมากที่สุด โดยผลผลิตของเมล็ด ขึ้นอยู่กับจำนวนของกิ่งก้านและพื้นที่ของใบ

Guo (1989) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระหว่างการสร้างหัวของดองดึง พบว่าปริมาณแป้ง และโคลชิซีน (colchicine) ในหัวดองดึง จะค่อยๆ เพิ่มปริมาณขึ้นจากระยะหัวเริ่มงอกจนกระทั่งมากที่สุดเมื่อหัวแก่ และพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสง และพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นด้วยหลังจากหัวเริ่มงอก และสูงสุดก่อนออกดอก

สารประกอบไนโตรเจนในดองดึง

อัลคาลอยด์ (alkaloid) เป็นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ (organic nitrogen compound) มักพบในพืชชั้นสูง มีสูตรโครงสร้างซับซ้อน และแตกต่างกันมากมาย ปัจจุบันพบอัลคาลอยด์มากกว่า 5,000 ชนิด คุณสมบัติของอัลคาลอยด์คือ ส่วนใหญ่มีรสขม ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2545 : ระบบออนไลน์) ดองดึงเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีอัลคาลอยด์อยู่มาก ที่สำคัญได้แก่ โคลชิซีน มีสูตรโครงสร้าง $C_{22}H_{25}NO_6$ มีน้ำหนักโมเลกุล 399.44 (Harborne and Baxter, 1996) มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า (S)-N-(5,6,7,9-Tetrahydro-1,2,3,10-tetremethoxy-9-oxobenzo[alpha] heptalen-7-yl) acetamide เป็นผลึกสีเหลือง และสีจะเข้มขึ้นเมื่อถูกแสง มีจุดหลอมเหลว 153-457 องศาเซลเซียส เมื่อละลายมี pH 5.9 ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ โคลโรฟอร์ม และ น้ำ ละลายได้เล็กน้อยในอีเธอร์ แต่ไม่ละลายในปิโตรเลียม อีเธอร์ (Jaeger *et al.* , 2002 : Online ; geocities, 2002 : Online)



colchicine

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของโคลชิซีน (Sengbusch, 2003 : Online)

Rajagopalan and Khader (1995) พบว่าปริมาณโคลชิซีน (เปอร์เซ็นต์) และ ผลิตผลโคลชิซินในเมล็ดเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อ 70 วันหลังจากผสมเกสรแล้ว การเก็บเกี่ยวฝัก ควรเก็บหลังจาก 70 วันหลังผสมเกสรแล้วซึ่งทำให้ได้เมล็ด และปริมาณโคลชิซินสูงสุด

ดองดึงมีสารอัลคาลอยด์อยู่หลายชนิด ที่สำคัญคือ โคลชิซิน ซึ่งเป็นสารอัลคาลอยด์ชนิดหนึ่งที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งสะสมในส่วนต่างๆ ของดองดึง เช่น เมล็ดแก่ 1.35 เปอร์เซ็นต์ เนื้อของผล 0.86 เปอร์เซ็นต์ ดอก 0.40 เปอร์เซ็นต์ หัว 0.26 เปอร์เซ็นต์ ใบ 0.06 เปอร์เซ็นต์ และลำต้นมี 0.05 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง (Arambewela *et al.*, 1991; Kitcharoen and Eknamkul, 1993) Farooqi *et al.* (1993) พบว่าหัวดองดึงมีปริมาณโคลชิซิน 0.15-0.30 เปอร์เซ็นต์ และมีองค์ประกอบอื่นได้แก่ กรดเบนโซอิค กรดซาลิซาลิค สารสเตอร์รอยด์ และ เรซิน เป็นต้น ส่วนภายในเมล็ดพบโคลชิซิน และกรดริโอซีน 0.7-09 เปอร์เซ็นต์ Sarin *et al.* (1974) พบปริมาณอัลคาลอยด์ในเมล็ดทั้งหมด 0.81 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งในสารอัลคาลอยด์เหล่านี้พบโคลชิซีน 0.60 เปอร์เซ็นต์ ในหัวมีปริมาณอัลคาลอยด์ทั้งหมด 0.57 เปอร์เซ็นต์ เป็นโคลชิซีน 0.05 เปอร์เซ็นต์ กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร (2545 : ระบบออนไลน์) รายงานว่ามีปริมาณสารโคลชิซินในเมล็ดเฉลี่ย 0.88 เปอร์เซ็นต์ ในหัวเฉลี่ย 0.43 เปอร์เซ็นต์ Rajagopalan and Khader (1995) พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดมีปริมาณโคลชิซินมากที่สุดถึง 0.883 เปอร์เซ็นต์

โคลชิซีนมีสรรพคุณในการรักษา โรคปวดข้อ (gout) หรือรูมาติสซั่มได้ดี เสงี่ยม (2522) รายงานว่า ตามสรรพคุณยาโบราณกล่าวว่า เหง้าของดองดึง แก้โรคเรื้อน และคุดทะราด บาดแผล และขับผายลม แพทย์ตามชนบทใช้หัวดองดึงรับประทานแก้ลมจับโปง ลมเข้าข้อ (รูมาติสซั่ม) ได้ดี บางจังหวัดใช้ต้มรับประทานแก้ท้องอืดเฟ้อ หัวรับประทาน ขับพยาธิ แป้งที่ได้

จากรากดองดึงใช้แก้โรคหนองใน สำหรับสัตว์ ใช้ฝนทาแก้พิษงู พิษตะขาบ แมลงป่อง และแก้โรคผิวหนัง

ปกติโคลชิซีนใช้เป็นยาแผนปัจจุบันในการรักษาโรคไขข้ออักเสบเฉียบพลัน (acute gouty arthritis) แต่ไม่ใช่ยาแก้ปวด และไม่สามารถใช้รักษาอาการปวดอื่น โคลชิซีนไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของเม็ดเลือดขาวชนิด granulocyte ไม่ให้ไปที่บริเวณอักเสบ ทำให้เอนไซม์ที่ทำให้อักเสบและกรดแลคติกลดลง ซึ่งเป็นผลให้ลดการอักเสบ นอกจากมีประโยชน์ทางยาแล้วได้มีผู้รายงานฤทธิ์ข้างเคียงของโคลชิซีน คือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย และปวดท้อง เมื่อมีอาการดังกล่าวต้องหยุดยา เพราะอาจเกิดพิษเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะเวลาในการออกฤทธิ์และพิษแตกต่างกันมากในแต่ละคน (ดองดึงหัวขวาน, 2545 : ระบบออนไลน์) และมีรายงานว่าผู้ที่รับประทานต้นดองดึงเสียชีวิตและมีสัตว์ที่กินเข้าไปถึงแก่ความตาย หรือรับประทานรากก็ถึงแก่ความตาย ทำให้ผมร่วง เป็นพิษต่อหนู (คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2541)

ทางการเกษตร ใช้โคลชิซีนในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพราะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นเซลล์พืชให้เกิดโพลีพลอยด์ และ สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมได้ โดยเกิดจากโคลชิซีนเข้าขัดขวางการเกิดเส้นใยสปินเดิล และขัดขวางการแยกจากกันของโครโมโซมในระยะไมโทซีส โดยการเข้ารวมตัวกับองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนของไมโครทิวบิวส์ซึ่งจะมาเป็นเส้นใยสปินเดิล ปฏิกิริยานี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พืชพันธุ์ใหม่ ที่มีลักษณะแตกต่างจากพันธุ์เดิม ซึ่งโดยทั่วไปจะมีผลทำให้ได้ต้นพืชที่ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น (สิรนุช, 2540 ; กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช, 2545 : ระบบออนไลน์ ; Snyder, 2003 : Online)

หน้าที่ และความสัมพันธ์ ของธาตุอาหารกับการเจริญเติบโตของพืช

พืชต้องการธาตุอาหารชนิดต่างๆ ในการเจริญเติบโต และเพื่อให้กิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของพืชเป็นไปด้วยดี ธาตุอาหารต่างๆ เหล่านี้จึงมีบทบาทต่อการเจริญของพืช ทั้งในด้านแหล่งของพลังงานควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์ และกระบวนการสร้างเซลล์ เมื่อพิจารณาความสำคัญของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าธาตุอาหารหลักเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์พืช และกระบวนการสร้างเซลล์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน ซึ่งพืชจำเป็นต้องใช้ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของสารเหล่านี้ในปริมาณที่มาก ส่วนจุลธาตุนั้นส่วนใหญ่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งพืชต้องการจุลธาตุในปริมาณเพียงเล็กน้อย

เมื่อพืชได้รับธาตุหนึ่งธาตุใดไม่เพียงพอแก่ความต้องการของพืช หรือต่ำกว่าจุดวิกฤต (critical concentration) ทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่สมบูรณ์ เกิดอาการขาดธาตุอาหารในพืช

ผลผลิตพืชลดลง เมื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชมากกว่าจุดวิกฤตเพียงเล็กน้อยในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าพืชมีการเจริญเติบโตได้ดี ผลผลิตเพิ่มสูงสุด แต่ถ้าเพิ่มธาตุอาหารให้สูงกว่าระดับที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตจนมากเกินไปอาจจำกัดการเจริญเติบโตของพืช บางชนิดอาจทำให้พืชเกิดอาการเป็นพิษเนื่องจากธาตุอาหารที่มีมากเกินไป การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก พืชอาจตายได้ในที่สุด (สมบุญ, 2536)

ความสำคัญของไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในการปลูกพืชหัวโดยทั่วไป หลักการสำคัญก็คือ พืชชนิดนี้ต้องการไนโตรเจนมากในระยะแรกสำหรับการเจริญเติบโตของส่วนบน เพื่อให้มีใบ กิ่งก้านมาก และมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้สูง เมื่อถึงเวลาอันสมควรการเจริญเติบโตของส่วนบนถูกบังคับให้หยุด เพื่อให้คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นในระยะนี้เคลื่อนย้ายมาสะสมไว้ที่รากให้มากที่สุด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ไนโตรเจนในพืชพบได้ทั้งในรูป อนินทรีย์ และ อินทรีย์ ซึ่งจะจับกับ C, H, O และ S ในบางครั้ง ซึ่งธาตุนี้เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน เอนไซม์ กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ เบสเพียวรีน และ อัลคาลอยด์ พอร์ไฟริล โคเอนไซม์ของฮอร์โมนบางชนิด และสารประกอบอื่นๆ ไนโตรเจนในพืชประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ สะสมอยู่ในคลอโรพลาสต์ รากพืชชั้นสูงสามารถดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (NO^-_3) และเกลือแอมโมเนียม (NH^+_4) สารประกอบไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อของพืชมีทั้งในรูปอนินทรียสาร ได้แก่ แอมโมเนียม ไนเตรท กับอินทรียสารซึ่งเกิดการสังเคราะห์ขึ้นใหม่จากไนเตรท แอมโมเนียม และยูเรีย [$CO(HN_2)_2$] ที่พืชดูดได้ โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนในรูปที่เป็นอนินทรียสารสามารถสะสมในลำต้น และเนื้อเยื่อพืชได้ในรูปไนเตรท ส่วนแอมโมเนียมเมื่อเข้าสู่พืชแล้วถูกเปลี่ยนรูปเป็นอินทรียสารในราก ซึ่งมีอยู่มากในรูปของโปรตีน (ยงยุทธ, 2543; ชวนพิศ, 2544; Marschner, 1986; Jones, 1998; Sumner, 2000)

ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้จะแตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะ และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (Marschner, 1986) เมื่อพืชได้รับธาตุนี้มากหรือต่ำกว่าปกติย่อมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ พืชจะเติบโตช้าถ้าไม่มีการเติมธาตุไนโตรเจน ลักษณะอาการขาดธาตุไนโตรเจน คือ ใบเหลือง โดยเฉพาะใบแก่ ถ้าขาดอย่างรุนแรงใบจะเหลืองทั้งใบ และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วงหล่นจากต้น การพัฒนาของระบบรากไม่ดี (Ahn, 1993) ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป พืชจะมีการเจริญทางวัฒภาคมาก (vegetative

growth) ใบมีสีเขียวเข้ม มีการขยายเพิ่มขนาดและปริมาณเซลล์ทำให้ใบมีขนาดใหญ่ ใบมีจำนวนมาก มีรากน้อย กระบวนการเกิดดอกและเมล็ดถูกขัดขวาง อาจทำให้พืชออกดอกช้าหรือไม่ออกดอกเลย (สมบุญ, 2536; นิตย์, 2541)

การเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในพืช

ในดินที่มีการระบายอากาศดีไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปไนเตรทซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ว่าได้รับเฉพาะรูปไนเตรทเพียงอย่างเดียว ไนโตรเจนในรูปไนเตรทเคลื่อนย้ายได้ดีในไซเลม และสามารถเก็บไว้ในแวคิวโอลของราก ยอด และอวัยวะอื่นของพืชได้ ซึ่งการสะสมไว้ในแวคิวโอลนั้นมีความสำคัญต่อความสมดุลของแคทไอออน–แอนไอออน และการควบคุมออสโมซีสภายในเซลล์ แต่ไม่เคลื่อนย้ายในโฟลเอ็ม จึงไม่พบไนเตรทในน้ำเลี้ยงจากโฟลเอ็ม รูปที่เคลื่อนที่ไปทางโฟลเอ็มได้ดีมาก คือ กรดอะมิโน หรือเอไมด์ เมื่อไนเตรทเข้าสู่พืชจะถูกริดิวซ์จนได้แอมโมเนียมแล้วจึงเข้ารวมกับอินทรียสารบางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและเอไมด์ ส่วนแอมโมเนียมที่ถูกพืชดูดเข้าไปในเซลล์จะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ได้ทันที

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชสังเคราะห์ในเบื้องต้น เช่น กลูตาเมต และกลูตามีนนั้น พืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์ กรดอะมิโน โปรตีน และสารประกอบอื่นๆ กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์เกิดขึ้นได้ทั้งในรากและส่วนเหนือดิน ซึ่งต้องใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากใบเพื่อเป็นโครงคาร์บอน และแหล่งพลังงาน เมื่อสังเคราะห์กรดอะมิโน และเอไมด์ได้แล้ว ส่วนหนึ่งถูกลำเลียงทางไซเลมไปเลี้ยงต้น และใบ สำหรับสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายทางโกลหรือส่งไปยังแหล่งเก็บมีความแตกต่างกันระหว่างพืช (ยงยุทธ, 2543; Marschner, 1986)

การเปลี่ยนแปลงของไนเตรท และ แอมโมเนียมเมื่อเข้าสู่พืช

พัชรา (2544) รายงานว่า พืชรีดิวซ์ไนเตรท (NO^-_3) ในดินไปเป็นแอมโมเนีย พืชส่วนใหญ่รับไนโตรเจนจากดินในรูปไนเตรท โดยวิธีการขนส่งแบบแอคทีฟ (active uptake mechanism) สำหรับไนเตรทในดินนั้นได้มาจากแอมโมเนียที่มีอยู่ในดินซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรท์ (NO^-_2) โดยแบคทีเรียในดินพวกไนโทรโซโมแนส (nitrosomonas) เมื่อพืชดูดซึมเอาไนเตรทในดินเข้าไปแล้ว ไนเตรทถูกรีดิวซ์ให้เป็นไนไตรท์โดยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส (nitrate reductase, NR) ซึ่งมีอยู่ในไซโทพลาสซึม และใช้ NAD(P)H เป็นตัวให้อิเลคตรอนตามสมการดังนี้

$$NO^-_3 + NAD(P)H + 2e^- + H^+ \xrightarrow{NR} NO^-_2 + NAD(P)^+ + H_2O$$

ต่อมาไนไตรท์ถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย โดยเอนไซม์ไนไตรท์รีดักเทส (nitrite reductase, NiR) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งพบในคลอโรพลาสต์ และใช้เฟอรีด็อกซินที่อยู่ในสภาพรีดิวซ์ (Fd_{red}) เป็นตัวให้อิเลคตรอน

$$NO^-_2 + 6Fd_{red} + 6H^+ \xrightarrow{NiR} NH_3 + Fd_{ox} + HO^- + H_2O$$

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นถูกนำไปสังเคราะห์กลูตาเมต และกลูตามีนต่อไป

ในกรณีที่พืชดูดไนเตรทได้มากก็นำไปสะสมไว้ในแวคิวโอลโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ สำหรับการดูดซึมแอมโมเนียมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเก็บไนโตรเจนในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีนที่ละลายน้ำได้ กรดอะมิโน เอไมด์ เป็นต้น บางครั้งพืชไม่สามารถใช้แอมโมเนียมที่มีได้ทั้งหมดเป็นเหตุให้มีการสะสมในเนื้อเยื่อพืชด้วย ข้อเสียของแอมโมเนียมที่สำคัญคือ เป็นแหล่งของไนโตรเจนเดียวที่เป็นอันตรายต่อการเติบโตของพืชหลายๆ ชนิด สาเหตุของความเป็นพิษที่เกิดจากแอมโมเนียมยังไม่ชัดเจน จากการศึกษายังไม่สามารถสรุปได้อย่างสมบูรณ์ แต่อธิบายได้ว่าการดูดซึมแอมโมเนียม ไอออน ที่รากทำให้ ไฮโดรเจน ไอออน หลุดออกมาเป็นผลให้บริเวณรากเพิ่มความเป็นกรดขึ้น และถ้ามีการสะสมแอมโมเนียมในเนื้อเยื่อพืชมาก โดยเฉพาะถ้าไปสะสมในเนื้อเยื่อที่มีการสังเคราะห์แสง จะยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นผลให้มี net photosynthesis ลดลง มีผลกระทบต่อเมแทบอลิซึมของพืช ทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก และผลผลิตที่ได้ลดลง ถ้าพืชได้รับแอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวนั้น แอมโมเนียมจะขัดขวางการดูดน้ำในพืช ทำให้ขาดความสมดุล ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอื่นๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Lasa *et al.*, 2001)

ดังนั้นการนำแอมโมเนียมที่รากพืชดูดได้หรือแอมโมเนียจากกระบวนการต่างๆ มาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนหรือเอไมด์จึงเป็นวิธีการป้องกันมิให้เป็นพิษต่อเซลล์พืช โดยปกติแอมโมเนียมในไซโทพลาสซึมมีน้อยกว่า 15 ไมโครโมลาร์ และแอมโมเนียมส่วนหนึ่งถูกสะสมในแวคิวโอล การที่ pH ในแวคิวโอล เป็นกรดจะช่วยป้องกันมิให้แอมโมเนียมแตกตัวเป็นแอมโมเนีย (ยงยุทธ, 2543)

ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีในพืช

Kumaraswamy *et al.* (1994) พบว่า การให้ไนโตรเจนในระหว่างปลูกดองดึงส่งเสริมให้ดองดึงมีการเจริญเติบโต ลำต้นทอดยาวมากขึ้น มีผลผลิตและสารประกอบในเมล็ดสูงขึ้น เมื่อเพิ่มระดับไนโตรเจนตั้งแต่ 0-160 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

Hanson and Howell (1995) ศึกษาการสะสมไนโตรเจน และการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพในองุ่นพันธุ์ Concord พบว่าในเถาองุ่น ไนโตรเจนเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากแตกตา 2 อาทิตย์ (18 กรัม) ในกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมากที่สุดเมื่อผลเจริญเติบโตเต็ม (75 กรัม) ในกลางเดือนมิถุนายน และเริ่มลดลงเมื่อใบเริ่มเสื่อมสภาพ

Rose and White (1994) ศึกษาการใช้ไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ต่อการเจริญเติบโตของ poinsettia พันธุ์ Celebrate โดยทดลองการใช้ไนโตรเจน 2 อัตรา คือ ให้ไนโตรเจนในอัตราคงที่คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ปริมาณไนโตรเจนไม่คงที่ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการใช้ไนโตรเจน พบว่าทั้งสองกรรมวิธีมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการพัฒนากิ่งข้าง โดยปริมาณมากที่สุดหลังจากปลูก 50-60 วัน และลดลงตลอดการพัฒนาของกลีบเลี้ยง หลังจาก 60 วัน พบว่าอัตราการสะสมไนโตรเจนลดลงสะท้อนให้เห็นการโยกย้ายไนโตรเจนจากใบไปที่กลีบเลี้ยง ซึ่งพบว่าเนื้อเยื่อที่ใบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำ ในกลีบเลี้ยงมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ และ ความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าที่ใบ

Llabres *et al.* (1987) ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดอะมิโนอิสระใน *Narcissus assoanus* ในส่วนเหนือดิน และหัว ในระยะการเติบโต 12 ระยะ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่มากที่สุดที่พบในส่วนเหนือดิน อยู่ในช่วงพืชกำลังออกดอก กรดอะมิโนอิสระที่พบมากในส่วนเหนือดิน คือ กลูตามิค แกมมาอะมิโนบูไทริค และ กรดแอสพาร์ติค ในขณะที่ในหัวมีปริมาณไนโตรเจนมากในช่วงหัวมีการเจริญเติบโตสูงสุด และพบกรดกลูตามิค และ อาร์จินีน และพบว่าปริมาณกรดอะมิโนรวมที่มากที่สุดเกิดขึ้นระหว่างช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น

Lis-Krzyscin (1999) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และผลความแตกต่างของระดับไนโตรเจนใน *Pelargonium* x *hortorum* พันธุ์ Pinto Salmon Orange ที่ปลูกในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือน โดยใช้กระถางที่มีพื้นที่ 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร บรรจุทรายต่อพีทอัตรา 2 : 1 ใช้ไนโตรเจน 6 อัตรา คือ 100 120 140 160 180 และ 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง พบว่าอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง มีความยาวของยอดหลัก และจำนวนกิ่งก้าน และ จำนวนช่อดอกเพิ่มขึ้น ที่ระดับไนโตรเจน 160 180 และ 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตมากและออกดอกหนาแน่น ซึ่งพบว่าที่ระดับไนโตรเจน 160 มิลลิกรัมต่อกระถาง เป็นระดับไนโตรเจนต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเจอราเนียม

Talukder *et al.* (2000) ศึกษาผลของช่วงเวลาการปลูก และระดับไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระเทียม โดยแบ่งช่วงการปลูกเป็น 2 ช่วง คือ 31 ตุลาคม และ 30 พฤศจิกายน และใช้ไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0 75 125 และ 175 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่า การเจริญเติบโต และผลผลิตของกระเทียม ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาปลูกที่แตกต่างกัน และอัตราการใช้ไนโตรเจน ซึ่งการปลูกกระเทียมเร็วส่งผลให้การเติบโต และผลผลิตดีกว่าปลูกในช่วงหลัง ส่วนการใช้ไนโตรเจนในระดับที่สูงที่สุดคือ 175 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ให้ผลผลิตสูงที่สุด คือ 4.62 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งการปลูกกระเทียมเร็ว (31 ตุลาคม) และใช้ไนโตรเจนในอัตราที่สูง (175 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ทำให้ผลผลิตที่ได้สูงที่สุด

Jaksungnaro and Akali (2001) ศึกษาผลของช่วงเวลาการหว่าน และระดับไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของแตงกวาพันธุ์ AAUC2 โดยเปรียบเทียบช่วงการหว่าน 3 ช่วง คือ 21 มีนาคม 5 เมษายน และ 20 เมษายน และไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0 25 50 และ 75 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่า ช่วงเวลาการหว่านมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และจำนวน ขนาด ผลผลิต และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยการหว่านช่วงแรก (21 มีนาคม) ให้ผลดีที่สุดเกือบทุกข้อมูลที่ศึกษา ยกเว้นขนาดของผล ส่วนการใช้ไนโตรเจนนั้น พบว่ามีอิทธิพล อย่างชัดเจน ทั้งในเรื่องของการเจริญเติบโต การติดผล ผลผลิต คุณภาพของผล โดยระดับไนโตรเจนที่ 50 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ให้ผลดีที่สุด

claassen and Willcox (1974) ศึกษาผลของรูปของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ไอออน ในมะเขือเทศ และถั่ว โดยสังเกตจากระดับของแคลเซียมและแมกนีเซียมในสารละลาย พบว่า การเจริญเติบโตของยอด และราก ในมะเขือเทศ และถั่ว ลดลงเมื่อปลูกในสารละลายที่มีแอมโมเนียม โดยไม่ปรับ pH ของสารละลาย แต่ถ้าเติมโดโลไมท์ลงไป ช่วยทำให้มะเขือเทศมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เท่ากับการปลูกในสารละลายที่มีไนเตรทเพียงอย่างเดียว พบการแข่งขันในการดูดใช้ แคลเซียม และแมกนีเซียม ในมะเขือเทศที่ปลูกด้วยแอมโมเนียม ซึ่งการแข่งขันลดลงได้ด้วยการควบคุม pH คือเติมโดโลไมท์ หรือ แคลเซียมซัลเฟต นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณเนื้อเยื่อส่วนยอด มีแคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับองค์ประกอบที่ราก ส่วนในยอดถั่ว พบว่าปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมไม่แตกต่างกันเมื่อปลูกด้วยไนเตรทหรือแอมโมเนียม ในขณะที่การปลูกในสารละลายแอมโมเนียม ลดปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อราก

Briskin *et al.* (2000) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนต่อปริมาณ hypericins (hypericin และ pseudohypericin) ในใบของ St. John's Wort พบว่าระดับไนโตรเจนที่ลดลง ทำให้ปริมาณ

ไฮเปอร์ริซินในใบเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮเปอร์ริซินที่ใบเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ไนโตรเจน และสิ่งแวดล้อมที่ปลูกพืช

Nowacki *et al.* (1976) ศึกษาผลของไนโตรเจนต่อปริมาณอัลคาลอยด์ในพืช พบว่าปริมาณอัลคาลอยด์พวก indole alkaloid และ solanum glycoalkaloid เพิ่มขึ้นประมาณ 2-10 เท่า เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในอัตราที่สูง การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนมีผลทำให้มีการสร้างกรดอะมิโนมากขึ้น และกรดอะมิโนจะถูกนำไปสังเคราะห์ให้เป็นสาร secondary metabolite เช่น อัลคาลอยด์ เป็นต้น Tarar *et al.* (1987) พบว่ามีกรดอะมิโนถึง 18 ชนิดที่พบในส่วนต่างๆ ของดองดึง มีเฉพาะ 8 ชนิดที่พบในเมล็ด ใบ ดอกหรือหัว ส่วนลิวซีน และ วาลีนมีอยู่ในทุกส่วนของต้นดองดึง

Demeyer and Dejaegere (1993) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนต่อปริมาณอัลคาลอยด์ของ *Datura stramonium* ซึ่งมี hyoscyamine เป็นอัลคาลอยด์หลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ พบว่าอัลคาลอยด์ชนิดนี้สังเคราะห์ภายในราก โดยใช้กรดอะมิโน Phe และ Orn เป็นสารตั้งต้น โดยการศึกษานี้ต้องการทราบว่าไนโตรเจนรูปใดจะมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์อัลคาลอยด์ชนิดนี้ ซึ่งการทดลองนี้พบว่า ในขณะที่พืชเยาว์วัย (อายุ 4-12 สัปดาห์หลังปลูก) ในส่วนบนของพืช (ใบ และลำต้น) ที่ได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรทเพียงอย่างเดียว มีปริมาณ hyoscyamine สูงกว่า หลังจากสัปดาห์ที่ 12 ปริมาณ hyoscyamine เริ่มลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นที่ลดลง ส่วนการให้ไนโตรเจนรูปไนเตรท 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับแอมโมเนียม 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณสารเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งสัปดาห์ที่ 16 หลังปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างนี้มีปริมาณ scopolamine เพิ่มขึ้นร่วมด้วย สรุปคือกรรมวิธีที่ได้รับไนเตรทร่วมกับแอมโมเนียมทำให้พืชมีปริมาณอัลคาลอยด์สูงที่สุด ส่วนปริมาณไนโตรเจนในต้นพืช ศึกษาจากสัปดาห์ที่ 12-20 หลังปลูก พบว่ากรรมวิธีที่ได้รับไนเตรทร่วมกับแอมโมเนียมมีจำนวน ไนโตรเจนสูงกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Demeyer and Dejaegere (1997) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนต่อปริมาณอัลคาลอยด์ใน *Datura stramonium* ที่ปลูกภายใต้โรงเรือน โดยควบคุมปริมาณแร่ธาตุ pH และอัตราส่วนของธาตุอาหารหลักคงที่ ยกเว้นไนเตรท พบว่า เมื่อพืชเยาว์วัยระดับไนเตรทที่สูงทำให้ความเข้มข้นของอัลคาลอยด์ลดลง เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่แล้วได้รับไนเตรทในระดับที่สูง พบว่ามีการดูดใช้ไนโตรเจนมากขึ้น และ มีปริมาณอัลคาลอยด์เพิ่มมากขึ้น ผลของระดับไนเตรทต่ออัตราส่วนของปริมาณ hyoscyamine:scopolamine ขึ้นอยู่กับระยะการพัฒนาของพืชด้วย

ผลของแอมโมเนียมและไนเตรทต่อการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในพืช

Ruamrungsri *et al.* (2000) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของแอมโมเนียม และไนเตรทในรากนาร์ซิสซัส พันธุ์ Garden Giant โดยการติดฉลากด้วย $^{15}NH^{+}_{4}$ หรือ $^{15}NO^{-}_{3}$ ในสารละลายที่ให้กับพืช พบว่า สารละลายที่มีแอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวจะถูกรากดูดซึมอย่างรวดเร็วหลังจากให้สารแล้ว 2 วัน ซึ่งเร็วกว่าการให้สารละลายที่มีไนเตรทเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ในช่วง 4-7 วันหลังให้สาร จำนวนของไนโตรเจนที่ดูดซึมได้ทั้ง 2 รูปเกือบเท่ากัน เมื่อให้สารละลายแอมโมเนียมร่วมกับไนเตรท รากเลือกดูดแอมโมเนียมก่อนแล้วตามด้วยไนเตรท การมีแอมโมเนียมร่วมอยู่ด้วยจะยับยั้งการดูดและการใช้ประโยชน์ของไนเตรท จากการใช้สารละลายไนโตรเจนแก่พืช พบว่ารากนาร์ซิสซัสมีปริมาณแอสพาราจีนเป็นกรดอะมิโนอิสระหลัก เมื่อให้แอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวกับพืช ความเข้มข้นของกลูตามีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดย $^{15}NH^{+}_{4}$ จะเปลี่ยนเป็นกลูตามีน แต่เมื่อให้ไนเตรทเพียงอย่างเดียว แอสพาราจีน และกลูตามีนมีการสะสมที่ระดับใกล้เคียงกัน

King *et al.* (1995) ศึกษาการดูดใช้แอมโมเนียม และไนเตรทตลอดการพัฒนาของเบญจมาศทั้ง 3 พันธุ์ คือ Iridon Sequoia และ Sequest โดยการศึกษาในสารละลายไฮโดรโปนิคที่ประกอบด้วย แอมโมเนียมซัลเฟต และ แคลเซียมไนเตรทอย่างละ 1 มิลลิโมล (mM) ตลอด 90 วัน (1 วงจรชีวิต) จากการใช้ไนโตรเจนทั้ง 2 รูป พบว่าวันที่เก็บเกี่ยว และพันธุ์ของเบญจมาศนั้นมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบการดูดใช้ไนโตรเจนมีความคล้ายกันในระหว่างพันธุ์ การสูญเสียไนโตรเจนจากสารละลายไฮโดรโปนิค (มิลลิกรัมต่อต้น) มากที่สุดเกิดขึ้นในช่วง 40-60 วัน อย่างไรก็ตามการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในพืช (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) เกิดขึ้นมากที่สุดในหนึ่งเดือนแรกของการพัฒนาและลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันที่ 90 วันที่ 40-60 การพัฒนาของใบใหม่เริ่มหยุด และมีการพัฒนาของตาดอกจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว หลังจากช่วงนี้ การดูดใช้ไนโตรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดอกมีการบานเต็มที่ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืช และความต้องการไนโตรเจน สรุปคือการใช้ไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพนั้นต้องคำนึงถึงรูปของไนโตรเจนและช่วงเวลาที่พืชต้องการควบคู่กัน

Balvoll (1993) ศึกษาการใช้แอมโมเนียม และไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนกับกะหล่ำพันธุ์ Lennox และมะเขือเทศพันธุ์ Virosa โดยปลูกในกระถางพลาสติกที่บรรจุ sphagnum peat กำหนดไนโตรเจน 3 อัตรา คือ 100-110 200-220 และ 400-440 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการปลูกพืชในโดยใช้โตรเจนระดับที่สูง การใช้แอมโมเนียมร่วมกับไนเตรท ทำให้พืชมีการเติบโตดีที่สุด ส่วนระดับไนโตรเจนที่ต่ำ พบว่าการใช้ไนเตรทเพียงอย่างเดียวให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้ในรูปแอมโมเนียมร่วมกับไนเตรท ตรงกันข้ามกับการใช้ไนเตรทเพียงอย่างเดียวในระดับที่สูงทำให้

เกิดความเครียดจากความเค็ม (salt stress) ส่วนใช้แอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวโดยเฉพาะในระดับที่สูงทำให้พืชเป็นอันตรายได้

Yen and Lin (1999) ศึกษาผลของความเข้มข้น และรูปไนโตรเจน (ไนเตรท ยูเรีย และแอมโมเนียม) ต่อการเติบโตของเดหลี (*Spathiphyllum*) พบว่าไนโตรเจนความเข้มข้น 8 มิลลิโมล ทำให้พืชมีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งของยอด และรากดีที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นไนโตรเจนถึง 32 มิลลิโมล ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น แต่ใบมีการยับย่น (puckered leaves) มีอาการ necrosis และ chlorotic spot เพิ่มขึ้นด้วย อัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น 0-8 มิลลิโมล ทำให้ที่ใบมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมเพิ่มขึ้น และ มีปริมาณแคลเซียมลดลง แต่ในระหว่างความเข้มข้นไนโตรเจน 8 และ 32 มิลลิโมล์พบว่า ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีปริมาณคงที่ ผลผลิตของพืชจะมีคุณภาพดีที่สุดเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรท หรือยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน และได้รับในรูปแอมโมเนียมน้อยที่สุด ซึ่งการให้แอมโมเนียมแก่พืชในปริมาณที่มากทำให้ใบมีอาการ necrotic ซึ่งอาการ necrotic นี้สามารถบรรเทาได้โดยการเติมโดโลไมท์ 9 กรัมต่อลิตรในอาหาร

Ren *et al.* (1992) ศึกษาผลของความแตกต่างของรูปไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ *Capsicums annuum* พันธุ์ Nongda โดยใช้ไนโตรเจนในรูปและอัตราส่วนดังนี้ ไนเตรท 100 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรท 75 เปอร์เซ็นต์ + แอมโมเนียม 25 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรท 50 เปอร์เซ็นต์ + แอมโมเนียม 50 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรท 25 เปอร์เซ็นต์ + แอมโมเนียม 75 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียม 100 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรท 50 เปอร์เซ็นต์ + แอมโมเนียม 50 เปอร์เซ็นต์ และ ยูเรีย 100 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูใบไม้ร่วงถึงฤดูหนาว พบว่า อัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรทสูง สนับสนุนการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ทางด้านสืบพันธุ์ และให้ผลผลิตสูง ถ้าใช้ไนเตรท 25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับแอมโมเนียม 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตมีมากที่สุด คือ 349 กรัมต่อต้น การใช้ไนเตรท และ ยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจน ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้ามาก และผลผลิตลดลง ส่วนในฤดูฝนถึงฤดูร้อน การใช้ไนเตรท 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับแอมโมเนียม 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโต และพัฒนาอย่างมาก การรวมกันระหว่างแอมโมเนียม และยูเรียที่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช รูปและอัตราส่วนของไนโตรเจน ที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง และ ปริมาณแร่ธาตุในใบ

Kim *et al.* (2002) ศึกษาผลของรูปไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้สารละลายธาตุอาหารใน pecan (*Carya illinoinensis* Wangenh. K. Koch) โดยศึกษาไนโตรเจน 3 อัตรา คือ แอมโมเนียม : ไนเตรท อัตรา 25:75 50:50 และ 75:25 พบว่า สารละลายธาตุอาหารที่มีปริมาณแอมโมเนียมสูง จะยับยั้งการเติบโตของต้นกล้า โดยพืชที่ได้สารละลาย แอมโมเนียม : ไนเตรต ใน

อัตรา 75:25 มีมวลต่ำ อัตราส่วนของรากต่อยอดลดลง และน้ำหนักใบต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในกรรมวิธีที่มีอัตราส่วนสารละลาย 50:50 พบว่ามีการเจริญเติบโตของรากสูงที่สุด ส่วนระดับของ แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีสในใบ พบว่ามีปริมาณสูงในพืชที่เจริญเติบโตภายใต้อัตราแอมโมเนียม :ไนเตรต 25:75 อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมต่อน้ำหนักแห้งสูงที่สุดในกรรมวิธีที่มีอัตราส่วนของ แอมโมเนียม:ไนเตรต เป็น 75:25 แสดงว่า pecan ชอบใช้แอมโมเนียมจากสารละลายธาตุอาหาร

Lee *et al.* (1993) ศึกษาผลของไนเตรท และแอมโมเนียมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตแตงกวา โดยศึกษาในสารละลายของ Hoagland and Arnon เป็นเวลา 3 เดือน โดยกำหนดให้มีปริมาณไนโตรเจนทุกกรรมวิธีเท่ากันหมด แต่มีอัตราส่วนของไนเตรทต่อแอมโมเนียมต่างกัน คือ 100:0 75:25 หรือ 50:50 พบว่า ความสูงต้น พื้นที่ใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกในกรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 100:0 มีมากกว่ากรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 50:50 แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 75:25 ส่วนกรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 100:0 มีปริมาณ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงที่สุด กรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 100:0 และ 75:25 มีผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 50:50 (4.50 3.96 และ 23.0 กิโลกรัม (ผล) ต่อต้น ตามลำดับ) กรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 50:50 เกิดการโค้งของผลมากที่สุด และรากมีการดูดใช้ออกซิเจนต่ำที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป pH ในสารละลายจะลดลงในกรรมวิธีที่มีอัตราส่วน 75:25 และ 50:50 โดยเฉพาะในกรรมวิธีหลัง แต่ไม่เกิดขึ้นในกรรมวิธีที่มีอัตรา 100:0

Lasa *et al.* (2001) ศึกษาการสะสมไนโตรเจน ในผักโขม (*Spinacea oleracea* L.) ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) และ ถั่ว (*Pisum sativum* L.) โดยใช้แอมโมเนียมและไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าผักโขมมีความทนทานต่อแอมโมเนียมน้อยที่ สุดรองลงมาคือ ทานตะวัน และถั่ว การสะสมแอมโมเนียมที่ยอดมีความเกี่ยวพันกับการเจริญเติบโตที่ลดลง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) ซึ่งข้อมูลนี้พบว่าตำแหน่งที่มีการนำแอมโมเนียมไปใช้ประโยชน์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการควบคุมความทนทานต่อแอมโมเนียมที่แตกต่างในแต่ละชนิดของพืช

Barker and Maynard (1972) ศึกษาอิทธิพลอาหารที่มีไนโตรเจน ต่อการสะสมแคตไอออน และ ไนเตรท ในถั่ว และแตงกวา จากการทดลอง ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ในสารละลายที่มีไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่า ในยอดแตงกวามีการสะสมแคตไอออน และไนเตรทสูงกว่าในยอดถั่ว ในขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชนิดพืช สารละลายธาตุอาหารที่มีแอมโมเนียมยับยั้งการสะสมแคตไอออนในแตงกวา แต่ไม่พบในถั่ว

ความแตกต่างของการสะสมแคตไอออนในยอดเป็นคุณสมบัติของรูปไนโตรเจนในการเคลื่อนย้ายจากรากไปที่ยอด

Pill and Lambeth (1977) ศึกษาการใช้แอมโมเนียม และไนเตรท ที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนโดยปราศจากการปรับ pH ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของไอออน และความสัมพันธ์ของน้ำในมะเขือเทศ พบว่าเมื่อปลูกพืชในสารละลายที่มีแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน ในยอดและรากมีความเข้มข้นของ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และ ไนเตรทลดลง ในใบและรากการเคลื่อนที่ของน้ำถูกขัดขวาง (water flux) ทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลง เมื่อเทียบกับการปลูกพืชในสารละลายที่มีไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน แต่เมื่อปรับ pH ในสารละลายให้เท่ากับ 6.5 พบว่าสัดส่วนของน้ำหนักสดของยอดต่อรากในไนโตรเจนทั้งสองรูปลดลง ส่วนพืชที่ปลูกในสารละลายที่ใช้แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าการขัดขวางการเคลื่อนที่และความเครียดของน้ำในใบลดลง แต่ที่รากกลับมากขึ้น และมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมในยอดมากขึ้น สรุป pH ในสารละลายมีผลเล็กน้อยต่อความเข้มข้นของไอออนในเนื้อเยื่อพืช