บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตและอาการขาดธาตุอาหารของหงส์เหิน

การศึกษาการเจริญเติบโตและอาการขาดธาตุอาหารของหงส์เหินโดยการให้สารละลายธาตุอาหารต่าง ๆ กัน 6 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ได้รับสารละลายที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นครบทุกธาตุได้แก่ (กรรมวิธีควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ขาดไนโตรเจน กรรมวิธีที่ 3 ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ขาดฟอสฟอรัส กรรมวิธีที่ 4 ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ขาดโพแทสเซียม กรรมวิธีที่ 5 ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ขาดแคลเซียม และกรรมวิธีที่ 6 ได้รับน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร

พบว่าการเจริญเติบโตในกรรมวิธีควบคุมที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารครบมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 4 - 12 ในทุก ๆ ด้าน ทั้งความสูงของต้น จำนวนใบต่อกอ จำนวนต้นต่อกอ และจำนวนช่อดอกต่อกอ อีกทั้งยังใช้เวลาในการออกดอกน้อยเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งในกรรมวิธีควบคุมมีมากที่สุด ซึ่งในกรรมวิธีควบคุมพืชมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและไม่พบอาการผิดปกติจนถึงสัปดาห์ที่ 16 ก่อนจะเข้าสู่ระยะพักตัว

1.1 ผลของการขาดไนโตรเจน จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของหงส์เหินอย่างมาก เพราะต้นที่ไม่ได้รับไนโตรเจนมีอาการแคระแกร็น ความสูงของต้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำมากเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าต้นที่ไม่ได้รับไนโตรเจนจะออกดอกช้าที่สุด มีจำนวนช่อดอกต่อกอน้อยมาก มีการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอช้า และมีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด เนื่องมาจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมนพืช กรดนิวคลีอิก และสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ซึ่งล้วนแต่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม (ยงยุทธ, 2541) ดังนั้นการขาดไนโตรเจนจึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก

นอกจากนี้การขาดไนโตรเจนยังทำให้หงส์เหินเกิดอาการใบมีสีเหลืองซีดขนาดเล็กส่วนเหนือดินแคระแกร็นและมีขนาดเล็กมาก การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างช้า ๆ โดยเริ่มแสดงอาการจากใบแก่ด้านล่างก่อน นอกจากนี้ยังพบว่าช่อดอกมีขนาดเล็ก ใบประดับสีชมพูมีจำนวนน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม และไม่มีการสร้างดอกจริง เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมนพืช

กรดนิวคลีอิก และสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ เมื่อขาดจะทำให้การเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นพืชผิดปกติ เมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะเกิดอาการคลอโรซิส คือใบจะมีสีเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏในใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่อลำเลียงอาหารได้ดี (สมบุญ, 2538) อาการขาดธาตุปรากฏชัดเจนที่ใบแก่เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบเหล่านั้นไปเลี้ยงใบอ่อน และเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา (ยงยุทธ, 2543) ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมาก ใบด้านล่างที่เหลืองจะหลุดร่วงจากต้นและค่อย ๆ ลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนั้นการเจริญเติบโตของส่วนยอดจะหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น (สมบุญ, 2538) อาการเช่นนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกันในพืชอื่นเช่นนาซิสซัส และคาร์เนชั่น ซึ่ง Ruamrungsri *et al.* (1996 b) รายงานว่า การปลูกนาซิสซัสพันธุ์ Garden Giant ในสารละลายที่ขาดไนโตรเจนจะทำให้การเจริญเติบโตของยอดหยุดชะงัก ใบเล็กและแคบ และ Medina (1993) รายงานว่า ต้นคาร์เนชั่นที่ขาดไนโตรเจนมีการเจริญเติบโตลดลง ปล้องสั้น แสดงอาการคลอโรซิส นอกจากนี้ยังพบว่าจะทำให้จำนวนดอกลดลง 40 % น้ำหนักแห้งลดลง 30 % ในการทดลองนี้ พบว่ารากของหงส์เหินมีการแตกแขนงน้อย เมื่ออยู่ในสภาพขาดไนโตรเจน

1.2 ผลของการขาดฟอสฟอรัส จากการทดลองจะเห็นได้ว่าหงส์เหินที่ไม่ได้รับฟอสฟอรัสมีอัตราการเจริญเติบโตในด้านต่าง ๆ ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยพบว่าความสูงของต้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดการทดลอง มีการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอช้า มีจำนวนช่อดอกต่อกอ จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญ เช่น กรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และเป็นองค์ประกอบของ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบพลังงานสูงที่มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์ ดังนั้นการขาดฟอสฟอรัสจึงมีผลกระทบต่อขบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ในเซลล์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นและใบหยุดชะงัก (ยงยุทธ, 2543 และสมบุญ, 2538)

อาการขาดธาตุฟอสฟอรัส ทำให้ใบของหงส์เหินมีขนาดเล็ก สอดคล้องกับรายงานของ McArthur and Knowles (1993) ศึกษาอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาและปริมาณธาตุอาหารในมันฝรั่ง พบว่า ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสทำให้พื้นที่ใบลดลงอย่างมาก การเจริญเติบโตของตาข้างและการขยายขนาดของใบลดลง จากการทดลองพบว่า ใบแก่ด้านล่างมีสีเขียวเข้ม ลำต้นเหนือดินแคระแกร็น แตกกอน้อย มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ได้รับธาตุอาหารครบ และพืชเข้าสู่ระยะพักตัวเร็วกว่ากรรมวิธีควบคุม ใบประดับสีชมพูมีจำนวนน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์

นอกจากนั้นยังพบว่าใบมีการขยายขนาดช้าจึงมีขนาดเล็กและจำนวนใบน้อย แม้ว่าการขยายขนาดใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดลงอย่างมากแต่คลอโรฟิลล์ลดลงน้อยกว่า ทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีใบสีเขียวเข้มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีค่าลดลง (ยงยุทธ, 2543) หลังจากนั้นใบพืชสะสมรงควัตถุพวกแอนโทไซยานินที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพู อาการจะเริ่มเกิดที่ใบแก่ก่อน ใบจะเป็นจุดแห้งตาย การเจริญเติบโตของพืชจะหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น (สมบุญ, 2538) ธาตุฟอสฟอรัสในพืชอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟตจะละลายน้ำได้ ธาตุฟอสฟอรัสจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ดีทั้งในท่อน้ำและเคลื่อนย้ายระหว่างเซลล์ได้ (นพดล, 2538) ดังนั้นอาการขาดธาตุจะเกิดที่ใบแก่ก่อน โดยฟอสฟอรัสจะเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปสะสมที่ใบอ่อน ดอก หรือเมล็ดที่กำลังเจริญเติบโต (นิตย์, 2541) นอกจากนี้แล้วการขาดฟอสฟอรัสยังมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ในสัปดาห์ที่ 12 และ 14 (ตารางที่ 6) จำนวนช่อดอกของหงส์เหินที่ขาดฟอสฟอรัสน้อยกว่าในกรรมวิธีควบคุม ในส่วนใต้ดิน พบว่า ลักษณะของรากในสภาพขาดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากการขาดฟอสฟอรัสเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ข้างล่างมากขึ้น ทำให้รากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสยังสามารถยืดตัวได้ในขณะที่ส่วนเหนือดินหยุดการเจริญเติบโตแล้ว เมื่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินลดลงมาก แต่มีผลกระทบต่อรากน้อย ดังนั้นพืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับรากลดลงด้วย (ยงยุทธ, 2543) ซึ่งจากภาพที่ 9 ข จะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินของหงส์เหินที่ขาดฟอสฟอรัสจะน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม ส่วนระบบรากมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 11)

1.3 ผลของการขาดโพแทสเซียม จากการทดลองจะเห็นได้ว่าหงส์เหินที่ไม่ได้รับโพแทสเซียมมีอัตราการเจริญเติบโตในด้านต่าง ๆ ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยพบว่ามีความสูงของต้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดการทดลอง มีการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอช้า มีจำนวนช่อดอกต่อกอ จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่โพแทสเซียมมีหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และการเคลื่อนย้ายสารทางท่อลำเลียงอาหาร มีบทบาทสำคัญในการสร้างสมดุลด้านประจุไฟฟ้า การควบคุมศักย์ออสโมซิสที่มีผลต่อการดูดน้ำ รักษาความเต่งของเซลล์ และควบคุมการปิดเปิดของปากใบ ดังนั้นการขาดโพแทสเซียมจึงอาจทำให้เกิดการเสียสมดุลในกระบวนการหายใจ มีการสะสมกรดอะมิโนและน้ำตาล ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช

อาการขาดธาตุโพแทสเซียมพบว่า ใบของหงส์เหินมีขนาดเล็ก ลำต้นเหนือดินแคระแกร็น ปล้องสั้นเมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับธาตุอาหารครบ นอกจากนี้ยังพบว่าใบแก่ด้านล่างมีสีเขียวเข้มสลับจางทำให้มองเห็นเป็นลักษณะแถบ ๆ ปลายใบและขอบแห้งตายก่อน ใบประดับสีชมพูมีจำนวนน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม เนื่องจากโพแทสเซียมเมื่ออยู่ในเซลล์ของพืชในสภาพไอออนที่ละลายน้ำ สามารถเคลื่อนที่ในพืชได้ดี (ชวนพิศ, 2544) ดังนั้นในภาวะที่ขาดแคลนโพแทสเซียม ทำให้โพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบแก่และอวัยวะอื่น ๆ เคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ ทำให้เกิดอาการผิดปกติ เช่น ใบเหลืองเกิดคลอโรซิสเป็นทาง ๆ เกิดขึ้นในใบแก่ก่อน และใบจะแห้งตายเป็นจุด ๆ บริเวณขอบและปลายใบ หรือใบอาจม้วนงอ หลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปทั่วลำต้น ลำต้นมีปล้องสั้น ส่วนยอดใบเป็นกระจุกเกิดลักษณะโรเซตต์ (ยงยุทธ, 2543 และสมบุญ, 2538) เนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ เมื่อขาดธาตุนี้ปากใบจะเปิดเพียงเล็กน้อย ความต้านทานของปากใบย่อมสูงขึ้น เป็นเหตุให้การแลกเปลี่ยนแก๊สมีอัตราต่ำลง และส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (ยงยุทธ, 2543) ดังนั้นหงส์เหินที่ขาดโพแทสเซียมจึงมีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและจำนวนใบ (ตารางที่ 2 และ 3) น้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า การขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชอาจล้มง่ายเนื่องจากการสะสมลิกนินในกลุ่มท่อลำเลียงน้อยกว่าปกติลำต้นจึงไม่แข็งแรง เหี่ยวเฉาง่ายเมื่อความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่น้อย และเป็นโรคง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์ ชนิดและปริมาณของอินทรีย์สารซึ่งทำให้พืชนั้นอ่อนแอต่อเชื้อโรค (ยงยุทธ, 2543) Rosolem and Mikkelsen (1991) รายงานว่า หากต้นฝ้ายขาดโพแทสเซียมมากกว่า 30 วัน จะทำให้การเจริญเติบโตของลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นจากส่วนล่างสู่ส่วนบนของต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความไวต่อการขาดโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้นจากส่วนของใบ สมอ ราก และลำต้นตามลำดับ ในหงส์เหินพบว่าการเจริญเติบโตเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไป จนกระทั่งพืชเข้าสู่ระยะพักตัว (ภาพที่ 3) สอดคล้องกับงานทดลองของ El-Midaoui *et al.* (1999) ซึ่งพบว่า ต้นทานตะวันที่ขาดธาตุโพแทสเซียมจะทำให้มีผลเสียต่อการเจริญเติบโต โดยที่ยอดจะแสดงอาการมากกว่าที่รากและพืชจะมีน้ำหนักแห้งลดลง

1.4 ผลของการขาดแคลเซียม จากการทดลองจะเห็นได้ว่า หงส์เหินที่ไม่ได้รับแคลเซียมมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง มีจำนวนใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำหนักแห้งก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า หงส์เหินมีจำนวนช่อดอกต่อกอมากและออกดอกเร็วที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม การที่ต้นหงส์เหินในกรรมวิธีที่ขาดแคลเซียมมีการเจริญเติบโตของต้นใกล้เคียงกับกรรมวิธีควบคุมนั้น อาจเนื่องมาจากแคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น

ที่พืชต้องการในปริมาณไม่มาก ตัวอย่างเช่น ในใบยาสูบและข้าวโพดมีแคลเซียมเพียง 210 มก. ต่อลิตร ทั้งยาสูบและข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติในดินที่มีแคลเซียมเพียงเล็กน้อย (ชวนพิศ, 2544) นอกจากนี้ ยงยุทธ (2543) ยังกล่าวว่า จีโนไทป์ของพืชแต่ละชนิดมีอิทธิพลในการกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมในพืช โดยพืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เมื่อพืชมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงสุด ในมะเขือเทศมีแคลเซียม 12.9 มก. ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ขณะที่หญ้าไรย์มีแคลเซียมในเนื้อเยื่อ 0.7 มก. ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแคลเซียมในมะเขือเทศสูงกว่าหญ้าไรย์ถึง 40 เท่า ดังนั้นหงส์เหินซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จึงมีความต้องการแคลเซียมต่อการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย แคลเซียมที่สะสมอยู่ในหัวก่อนปลูกอาจเพียงพอต่อการเจริญเติบโต พืชจึงไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารดังกล่าว

อาการขาดธาตุแคลเซียมพบว่า ใบมีขนาดไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม พบอาการปลายรากมีสีน้ำตาล บริเวณปลายรากไม่เจริญเพราะเนื้อเยื่อจะไม่สร้างผนังเซลล์ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว โดยบริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อเจริญของราก ลำต้น หรือส่วนที่กำลังแบ่งเซลล์จะได้รับผลกระทบอย่างมาก เนื่องจากแคลเซียมมีความจำเป็นสำหรับการสร้างมิดเดิลลาเมลลา ซึ่งคั่นเซลล์ที่ได้จากการแบ่งตัวออกเป็น 2 เซลล์ แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก อาการขาดธาตุแคลเซียมจะเกิดที่บริเวณใบอ่อนก่อน (นิตย์, 2541 และสมบุญ, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ruamrungsri *et al.*(1996 b) ศึกษานาซิสซัสพันธุ์ Garden Giant ที่ปลูกเลี้ยงในสารละลายที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ อาการขาดแคลเซียม ทำให้การเจริญเติบโตของรากหยุดชะงัก ปลายรากมีสีน้ำตาล

1.5 ผลของการไม่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุดในทุก ๆ ด้าน ทั้งความสูง จำนวนใบ และน้ำหนักแห้ง การที่พืชได้รับน้ำเพียงอย่างเดียวทำให้ใบมีสีเหลืองซีดตลอดใบ และมีขนาดเล็ก ต้นแคระแกร็นมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ได้รับธาตุอาหารครบ แตกกอน้อย การเจริญเติบโตหยุดชะงัก นอกจากนี้ยังพบว่า หงเหินส์สามารถออกดอกได้เช่นกันแต่มีจำนวนช่อดอกน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ช่อดอกมีขนาดเล็ก ไม่มีการสร้างดอกจริง ใบประดับมีสีซีดจางเมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับธาตุอาหารครบ และระยะเวลาที่ใช้ในการออกดอกนานที่สุด การที่หงส์เหินในกรรมวิธีที่ได้รับเฉพาะน้ำกลั่นมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดในทุก ๆ ด้าน เนื่องมาจากต้นหงส์เหินมีแต่ธาตุอาหารที่สะสมในหัวจากฤดูกาลก่อนเท่านั้น เมื่อพืชใช้ธาตุอาหารที่สะสมมาหมดแล้ว และไม่ได้รับธาตุอาหารเพิ่มจึงทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาด้านต่าง ๆ หยุดชะงัก

2. การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารสะสมในหงส์เหิน

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในกรรมวิธีควบคุม โดยศึกษาในส่วนเหนือดิน 3 ระยะ คือ ระยะเริ่มงอก ระยะออกดอก และระยะพักตัว และในส่วนสะสมอาหารใต้ดินของพืช 4 ระยะ คือ หัวก่อนปลูก ระยะเริ่มงอก ระยะออกดอก และระยะพักตัว พบว่า ในระยะเริ่มงอกปริมาณรวมของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนใต้ดินลดลง แต่ส่วนเหนือดินกลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากในช่วงนี้พืชมีการใช้อาหารสะสมในหัวสำหรับการเจริญเติบโตของทั้งยอดและราก เมื่อเข้าสู่ระยะออกดอก ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนบนดินและส่วนใต้ดิน และเพิ่มขึ้นสูงสุดในระยะพักตัว ในระยะออกดอกนี้พืชมีการขยายขนาดของใบ ลำต้น และรากสะสมอาหารเต็มที่ สามารถสังเคราะห์แสง และดูดอาหารได้เต็มที่ ส่วนในระยะพักตัวนั้น เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายในพืชได้ดี จึงมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนเหนือดินที่ชราภาพสู่ส่วนรากสะสมอาหาร ส่วนปริมาณรวมของธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และมากที่สุดในระยะพักตัว นอกจากนี้ยังพบว่าในระยะพักตัวปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนใต้ดินมีปริมาณมากกว่าส่วนเหนือดิน

ในกรรมวิธีที่ขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม พบว่ามีความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากเมื่อพืชขาดธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง จะทำให้ปริมาณการสะสมธาตุอาหารนั้นในเนื้อเยื่อลดลง ในการทดลองครั้งนี้กรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนพบว่า หลังเก็บเกี่ยวหัวแล้วหงส์เหินมีการสะสมไนโตรเจนน้อยกว่าในกรรมวิธีควบคุมทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน (ตารางที่ 9) ในกรรมวิธีที่ขาดฟอสฟอรัส และขาดโพแทสเซียมก็เป็นในทำนองเดียวกัน (ตารางที่ 10 และ 11) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hernandez and Pacheco (1986) ที่รายงานว่า กระวาน (*Elettaria cardamomum*) ที่ปลูกในสภาพขาดไนโตรเจนจะสะสมไนโตรเจนในต้นลดลงประมาณ 2.0% เมื่อเทียบกับต้นปกติ และเมื่อปลูกในสภาพขาดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ก็จะให้ผลในทำนองเดียวกัน โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสลดลง 0.5% และโพแทสเซียมลดลงประมาณ 3.3% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นปกติ นอกจากนี้พืชที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีมาก หรือมีน้อยจนเกิดสภาพขาดแคลน ทำให้เกิดการขาดสมดุลของธาตุอาหาร ส่งผลให้ปริมาณการดูดธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งลดลงได้ ในหงส์เหินการขาดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีความสัมพันธ์กับปริมาณสะสมธาตุดังกล่าว นอกจากนี้ การขาดแคลเซียมทำให้พืชมีการสะสมแมกนีเซียมมากกว่ากรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 13) เนื่องจากระหว่างไอออนของธาตุอาหารจะมีการแข่งขัน ส่งเสริม หรือมีอิทธิพล

ตรงข้ามกัน เช่น เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินมากเกินไปทำให้พืชดูดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้น้อยลง การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูงเป็นสาเหตุให้พืชขาดธาตุเหล็กหรือสังกะสีได้ ในพืชที่มีไนเตรตมากจะมีการดูดซัลเฟตและฟอสเฟตได้สูงขึ้น ในดินที่มีทองแดงปริมาณสูงจะทำให้รากเจริญเติบโตช้า และเมื่อเติมแคลเซียมลงไปทำให้ความเป็นพิษของทองแดงลดลง รากเจริญเติบโตเร็วขึ้น (ชวนพิศ, 2544 ; ยงยุทธ, 2543)

ปริมาณธาตุอาหารสะสมในหงส์เหินในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

2.1 ปริมาณไนโตรเจน จากการทดลองพบว่าในกรรมวิธีควบคุมในระยะเริ่มงอก ปริมาณของธาตุไนโตรเจนในส่วนใต้ดินลดลงแต่ส่วนเหนือดินกลับเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าในช่วงนี้พืชมีการใช้ไนโตรเจนที่สะสมในหัวสำหรับการเจริญเติบโตของทั้งยอดและราก ปริมาณไนโตรเจนสะสมจึงลดลง เมื่อเข้าสู่ระยะออกดอกปริมาณธาตุไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นในส่วนเหนือเนื่องจากในระยะออกดอกเป็นระยะที่พืชสร้างดอก ผล เมล็ด และอวัยวะสะสมอาหาร ทำให้พืชต้องการไนโตรเจนสูงขึ้น ไนโตรเจนในส่วนใต้ดินจึงถูกนำมาใช้มากขึ้น ในระยะพักตัวปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในส่วนใต้ดินพบว่าในระยะเริ่มงอกปริมาณไนโตรเจนในส่วนใต้ดินลดลงเนื่องจากพืชนำไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตด้านบน ในระยะออกดอกปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเนื่องจากมีการสร้างดอกและผล ซึ่งมีความต้องการธาตุอาหารสูง ทำให้การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากส่วนเหนือดินไปยังรากลดลง และเป็นเหตุให้กิจกรรมการดูดธาตุอาหารของรากลดลงด้วย (ยงยุทธ, 2543) ปริมาณไนโตรเจนจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในระยะพักตัวปริมาณไนโตรเจนในส่วนใต้ดินมีปริมาณมากว่าส่วนเหนือดิน และความเข้มข้นสูงสุดของไนโตรเจนพบในส่วนใต้ดิน เนื่องจากในระยะที่พืชเข้าสู่ระยะพักตัว ไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ดีในพืช เมื่อส่วนเหนือดินเข้าสู่ระยะพักตัว ใบและลำต้นเทียมเข้าสู่ระยะชราภาพไนโตรเจนจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่รากสะสมอาหารเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตในปีต่อไป

ในกรรมวิธีที่พืชขาดไนโตรเจนทำให้มีปริมาณไนโตรเจนน้อยมากเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ในกรรมวิธีที่ขาดฟอสฟอรัสก็มีผลทำให้ให้มีปริมาณไนโตรเจนลดลง ซึ่ง Bezyludnyi and Belenkevich (1971) รายงานว่าหากพืชขาดฟอสฟอรัสจะทำให้การดูดไนโตรเจนช้าลง และยังทำให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีนลดลงตามไปด้วย กรรมวิธีที่ขาดโพแทสเซียมและกรรมวิธีที่ได้รับน้ำกลั่นก็ให้ผลทำนองเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีที่ขาดแคลเซียมมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับกรรมวิธีควบคุม แสดงว่าการขาดแคลเซียมมีผลต่อการดูดไนโตรเจนของพืชน้อยมาก

2.2 ปริมาณฟอสฟอรัส จากการทดลองพบว่าในกรรมวิธีควบคุมในระยะเริ่มงอก ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสในส่วนใต้ดินลดลง แต่ส่วนเหนือดินกลับเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่ระยะออกดอก ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น ในระยะพักตัวปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในส่วนใต้ดินพบว่าในระยะเริ่มงอก ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนใต้ดินลดลง ในระยะออกดอก ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในระยะพักตัวปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนใต้ดินมีปริมาณมากกว่าส่วนเหนือดิน และความเข้มข้นสูงสุดของฟอสฟอรัสพบในส่วนใต้ดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสอธิบายได้เช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน

พบว่ากรรมวิธีที่ขาดฟอสฟอรัสทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในส่วนของพืชลดลง เนื่องจากพืชไม่ได้รับฟอสฟอรัสเพิ่ม ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ได้รับน้ำกลั่น ในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนก็ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีที่ขาดโพแทสเซียมและขาดแคลเซียมเห็นผลไม่มากนักแต่มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 10)

2.3 ปริมาณโพแทสเซียม จากการทดลองพบว่าในกรรมวิธีควบคุมในระยะเริ่มงอก ปริมาณรวมของธาตุโพแทสเซียมในส่วนใต้ดินลดลง แต่ส่วนเหนือดินกลับเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่ระยะออกดอก ปริมาณธาตุโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น ในระยะพักตัวปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในส่วนใต้ดินพบว่า ในระยะเริ่มงอกปริมาณโพแทสเซียมในส่วนใต้ดินลดลง ในระยะออกดอก ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และในระยะพักตัวปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมดังกล่าวสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน

ในกรรมวิธีที่ขาดโพแทสเซียมทำให้ปริมาณโพแทสเซียมสะสมในส่วนของพืชลดลง เนื่องจากพืชไม่ได้รับโพแทสเซียมเพิ่ม ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ได้รับน้ำกลั่นตลอดการทดลอง ในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนก็ทำให้ปริมาณลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีที่ขาดแคลเซียมพบว่า มีปริมาณของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินในระยะพักตัวไม่ต่างจากกรรมวิธีควบคุม แต่ในส่วนใต้ดินมีปริมาณลดลงเล็กน้อย

2.4 ปริมาณแคลเซียม จากการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมในส่วนเหนือดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยพบปริมาณแคลเซียมสูงสุดในระยะที่ 4 ระยะออกดอกเข้าสู่ระยะพักตัว ช่วงนี้แคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมในส่วนใต้ดินพบว่า เมื่อระยะเริ่มงอกปริมาณแคลเซียมลดลง เมื่อเข้าสู่ระยะออกดอกมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่

ระยะพักตัวปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยพบว่าความเข้มข้นสูงสุดของแคลเซียมพบในส่วนเหนือดินในระยะที่พืชเข้าสู่ระยะพักตัว เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก เมื่อเข้าสู่ระยะพักตัวจึงไม่มีการเคลื่อนย้ายแคลเซียมออกจากเซลล์ที่แก่ชรา

ในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจน ขาดฟอสฟอรัส และกรรมวิธีที่ได้รับน้ำกลั่น จะมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมในส่วนเหนือดินและใต้ดินลดลง เนื่องจากแคลเซียมเคลื่อนย้ายได้ยาก การเคลื่อนย้ายส่วนมากจะเคลื่อนย้ายทางไซเลม (ยงยุทธ, 2543) โดยอาศัยแรงจากการคายน้ำ ในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจน ขาดฟอสฟอรัส และกรรมวิธีที่ได้รับน้ำกลั่น ใบมีขนาดเล็ก พื้นที่ใบน้อยจึงคายน้ำได้น้อย การเคลื่อนย้ายแคลเซียมจึงเกิดขึ้นน้อย ในกรรมวิธีที่ขาดโพแทสเซียมเห็นผลไม่มากนักแต่มีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมลดลงเช่นเดียวกัน

2.5 ปริมาณแมกนีเซียม จากการทดลองพบว่าปริมาณแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะออกดอก แต่ในระยะพักตัวปริมาณแมกนีเซียมปริมาณแมกนีเซียมกลับลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณแมกนีเซียมในส่วนใต้ดินพบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะพักตัว เมื่อเข้าสู่ระยะพักตัวปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยพบว่าความเข้มข้นสูงสุดของแมกนีเซียมพบในส่วนใต้ดินในระยะที่พืชเข้าสู่ระยะพักตัว เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ดี เมื่อเข้าสู่ระยะพักตัวจึงมีการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียมออกจากเซลล์ที่แก่ชราย้ายเข้าสู่รากสะสมอาหารเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตในปีต่อไป

ในกรรมวิธีที่ที่ขาดแคลเซียมทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในพืชเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการดูดแมกนีเซียมไอออนจะลดลงมากหากมีไอออน K^+, NH^+_4, Ca^{2+} และ H^+ ในสารละลายสูง เนื่องจากไอออนเหล่านี้มีผลทำให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลง โดยเฉพาะไอออนของ Ca^{2+} มีความสามารถแย่งจับ และทำปฏิกิริยา ได้ดีกว่า Mg^{2+} (ยงยุทธ, 2543) ในกรรมวิธีที่ขาดแคลเซียมมีไอออน Ca^{2+} น้อย จึงไม่สามารถควบคุมปริมาณของแมกนีเซียม ทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในพืชเพิ่มสูงขึ้น ส่วนกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนและขาดฟอสฟอรัสมีปริมาณแมกนีเซียมในพืชต่ำ เนื่องจากแมกนีเซียมเคลื่อนย้ายได้ยาก การเคลื่อนย้ายส่วนมากจะเคลื่อนย้ายทางไซเลม (ยงยุทธ, 2543) โดยอาศัยแรงจากการคายน้ำ ในกรรมวิธีที่ขาดไนโตรเจนและขาดฟอสฟอรัส มีใบขนาดเล็ก พื้นที่ใบน้อยจึงคายน้ำได้น้อย การเคลื่อนย้ายและดูดแมกนีเซียมจึงเกิดขึ้นน้อย ในกรรมวิธีที่ขาดโพแทสเซียมเห็นผลไม่มากนักแต่มีผลทำให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลงเล็กน้อย