บทที่ 5
อภิปรายผลการศึกษา

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่าน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 สูงและพันธุ์มข.35 ลดลง เมื่อระยะเวลาที่ได้รับเกลือเพิ่มมากขึ้น แต่พบว่าน้ำหนักแห้งรากของพันธุ์สจ.5 ต่ำกว่าพันธุ์มข.35 เล็กน้อย การตอบสนองต่อเกลือของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ปรากฏให้เห็นชัดเมื่อได้รับเกลือเป็นเวลามากกว่า 8 วันขึ้นไป ซึ่งในพันธุ์สจ.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าน้ำหนักแห้งต้นที่ระดับเกลือ 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ลดลง 27, 53 และ 81 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์มข.35 น้ำหนักแห้งต้นที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ลดลง 43 และ 73 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานทดลองของ Abel และ MacKenzie (1963) พบเช่นกันว่าในต้นถั่วเหลือง (*Glycine max* (L) Merrill cv.*Lee*) เมื่อได้รับเกลือที่ระดับความเค็ม 6.5 มิลลิโมห์/เซนติเมตร เป็นเวลา 20 วัน จะทำให้น้ำหนักแห้งต้นและความสูงของต้นลดลงเกือบถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบในต้นที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนน้ำหนักแห้งรากพบว่าลดลงเช่นกันในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ในต้นที่ได้รับเกลือ แต่มีเปอร์เซ็นต์ลดลงน้อยกว่าน้ำหนักแห้งราก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Shalhevet และคณะ (1995) ที่ได้รายงานว่า เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในดินที่ปลูกถั่วเหลืองจนระดับค่า EC เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 9.6 dSm^{-1} จะทำให้น้ำหนักแห้งต้นและรากลดลง 21 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำหนักแห้งรากไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก Sharp และ Davies อ้างถึงใน Shalhevet และคณะ (1995) เสนอว่าระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้เกิดการขาดน้ำในดินหรือในสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันเต่งลดลง การยืดตัวของเซลล์ในส่วนยอดจึงลดลงด้วย ในขณะที่แรงดันเต่งในรากได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันแต่ในการเกิดรากแขนง (lateral root initiation) ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันเต่งจึงทำให้การเจริญเติบโตของรากไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากเกลือมากนักและยังคงเจริญต่อไปได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองการเจริญเติบโตของรากในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ในต้นที่ได้รับเกลือ ยังคงมีระบบรากที่เจริญดีสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ แต่ในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ในต้นที่ได้รับเกลือที่ระดับความเค็ม 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ พบว่ารากไม่ค่อยเจริญและมีขนาดสั้นรวมกันเป็นกระจุก รากไม่แตกแขนงและมีสีน้ำตาลดำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบรากในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ได้รับความเสียหายจากเกลือรุนแรงกว่าพันธุ์สจ.5

ในภาวะที่ถั่วเหลืองเจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารปกติ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มีน้ำหนักแห้งต้นและรากสูงกว่าในพันธุ์สจ.5 เนื่องจากมีใบหนา ลำต้นอวบ ทรงพุ่มหนา พื้นที่ใบมากกว่าและผลผลิตต่อไร่สูงกว่า (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537) น้ำหนักแห้งต้นและรากของถั่วเหลืองทั้ง

สองพันธุ์เริ่มลดลงเมื่อได้รับเกลือเป็นระยะเวลา 12 วันขึ้นไป เช่นเดียวกับการลดลงของพื้นที่ใบ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักแห้งต้นและรากลดลงเป็นลำดับในต้นที่ได้รับเกลือที่ระดับความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากในช่วงที่ได้รับเกลือ เซลล์เกิดการขาดน้ำและแรงดันเต่งลดลง ทำให้พื้นที่ใบลดลงเหลือน้อยกว่าที่ควรจะเป็น จึงไปจำกัดการสังเคราะห์แสงรวมของทั้งต้น มีผลต่อการเจริญทางลำต้นและใบ (เฉลิมพล แซมเพชร อ้างถึงใน ประทีป มีศิลป์, 2537) และนอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งต้นของพันธุ์มข.35 ลดลงมากกว่าพันธุ์สจ.5 ในต้นที่ได้รับเกลือ อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบการทนต่อเกลือของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยพิจารณาจากแนวโน้มของน้ำหนักแห้งที่ลดลงต่อความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลานานขึ้น จะพบว่าความแตกต่างระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในช่วง 20 วันหลังจากที่ได้รับเกลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ที่ระดับเกลือ 120 มิลลโมลาร์ ไม่สามารถอยู่รอดได้เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์สจ.5 ที่ระดับเกลือเดียวกัน และสาเหตุที่ถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าพันธุ์สจ.5 นั้น อาจเป็นเพราะน้ำหนักเริ่มต้น (initial weight) ที่ 0 วันก่อนได้รับเกลือและอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) ของต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับเกลือ (0 มิลลิโมลาร์) ในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 สูงกว่าพันธุ์สจ.5 ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ประเด็นดังกล่าวน่าจะทำให้ค่าเฉลี่ยของการเพิ่มน้ำหนักแห้งในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มีมากกว่าพันธุ์สจ.5 แต่หลังจากที่ได้รับเกลือเป็นเวลา 12 วันขึ้นไปจวบจนจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในต้นที่ได้รับเกลือ ปรากฏว่าในพันธุ์มข.35 น้ำหนักแห้งต้นลดลงมากกว่าพันธุ์สจ.5

การลดลงของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์นั้น อาจเนื่องมาจากผลกระทบกระเทือนต่อแหล่งผลิตอาหาร (source) และ/หรือแหล่งรับอาหาร (sink) (Greenway และ Munns, 1980) ในการทดลองในข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) เพื่อหาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนย้าย photosynthate จากแหล่งผลิตอาหารไปยังแหล่งรับอาหาร โดยวัดปริมาณซูโครสที่ใบแก่และใบอ่อนนั้น Delane และคณะ (1982) พบว่าความเข้มข้นของ soluble carbohydrate ที่ใบอ่อนมีปริมาณสูงที่ระดับความเข้มข้นของเกลือสูง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นของเกลือต่ำ ในทางตรงข้ามเกลือโซเดียมคลอไรด์จะไม่มีผลต่อความเข้มข้นของ soluble carbohydrate ที่ใบแก่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการใช้ photosynthate ที่เนื้อเยื่ออาจหยุดชะงักและส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นพืชหยุดลง

แต่จากงานทดลองของเกริก และคณะ (2531) ที่ศึกษาในข้าวกข.6 พบว่าเมื่อระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณแป้งและน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ทั้งในใบแก่และใบอ่อนลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกลือโซเดียมคลอไรด์ไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือเนื่องจากการหายใจเพิ่ม จึงทำให้ปริมาณ photosynthate ไม่เพียงพอ การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง

นอกจากนี้เมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราส่วนระหว่าง root/shoot (R/S) เพิ่มขึ้น โดยพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มีค่า R/S สูงกว่าพันธุ์สจ.5 (ตารางที่ 5 และ 6) จากการที่ค่า R/S เพิ่มสูงขึ้นในต้นถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือในการศึกษาครั้งนี้ คล้ายคลึงกับการทดลองของ Sanders และ Markhart (1992) ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบรากของ *Phaseolus vulgaris* L. ในภาวะขาดน้ำ เนื่องจากได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าในสภาพที่พืชขาดน้ำ ลักษณะทางพันธุกรรมของรากมีความสำคัญมากกว่าลักษณะทางพันธุกรรมของยอดในการให้ผลผลิตของถั่วชนิดนี้ โดยเมื่อเซลล์ขาดน้ำ ค่าความต่างศักย์ของน้ำในใบลดลง R/S จึงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Khalil และคณะ (1992) ที่ชี้ให้เห็นว่าในภาวะที่ต้นกล้าของ *Acer pseudoplatanus* L. ที่อยู่ในสภาพขาดน้ำได้นั้น R/S จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แต่จากการศึกษาในต้นกล้าของยูคาลิปตัส 2 พันธุ์ ที่ได้รับภาวะขาดน้ำอย่างเดียว R/S ลดลง ถ้าได้รับทั้งภาวะขาดน้ำและขาดธาตุอาหารด้วย R/S จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักส่วนยอดลดลง นอกจากนี้ Shalhevet และคณะ (1995) เสนอว่าการแผ่กระจายของราก (root extension) และการยืดตัวของต้น (shoot elongation) ขึ้นอยู่กับแรงดันเต่งภายในเซลล์ ในขณะที่การเกิดใหม่ของรากแขนง (lateral root initiation) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันเต่ง ซึ่งการเจริญเติบโตของรากได้รับผลกระทบจากเกลือน้อยกว่าการเจริญเติบโตของต้น ใบและผล Munns และ Termatt (1986) รายงานว่า การเจริญของรากได้รับความเสียหายจากเกลือน้อยกว่าการเจริญของต้น เมื่อเพิ่มระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย ดังนั้นจึงทำให้อัตราส่วนรากต่อต้นเพิ่มขึ้น

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ

ในภาวะที่ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารปกติ พบว่าพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แต่ในภาวะที่ได้รับเกลือ พื้นที่ใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับเกลือ Moftah และ Michel (1987) ได้ศึกษาในถั่วเหลือง (*Glycine max* L. Merrill) ที่เจริญอยู่ในสารละลายอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือ 100 มิลลิโมลาร์ พบว่าการขยายขนาดของใบจะลดลง ใบอ่อนจะพัฒนาช้ามากและใบแก่จะร่วงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการขาดน้ำจากการที่ได้รับเกลือมีผลอย่างมากต่อการลดการแผ่ของใบ ดังนั้นจึงทำให้มีพื้นที่ใบน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบในต้นที่ไม่ได้รับเกลือ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kramer (1983) ที่พบการลดลงของพื้นที่ใบในข้าวโพด (*Zea may* L. cv *Pioneer 3377*) เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ จะเห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงมากกว่าในพันธุ์มข.35 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะประจำพันธุ์ของ

ถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ที่มีลักษณะใบกว้างและหนากว่าพันธุ์สจ.5 และมีความสูงเฉลี่ยของต้นมากกว่าพันธุ์สจ.5 (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537) จึงทำให้พื้นที่ใบรวมลดลงน้อยกว่าเมื่อได้รับเกลือ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเปรียบเทียบในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ในสภาพที่ไม่ได้รับเกลือพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีศักยภาพในการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข.35

การลดลงของพื้นที่ใบนี้เป็นผลมาจากเซลล์มีการขยายตัวลดลง ซึ่งการขยายตัวของเซลล์ขึ้นอยู่กับแรงดันเต่งหรือน้ำในเซลล์ เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ และค่าศักย์ของน้ำในเซลล์ลดลง ทำให้เกิดการขาดน้ำในต้นพืช จึงส่งผลให้การแบ่งเซลล์ลดลง การสร้างใบใหม่ก็ลดลงด้วย (Rawson, 1986) ซึ่งการสร้างใบใหม่ในต้นที่ได้รับเกลือลดลงมากจากสภาพปกติ ดังนั้นพื้นที่ใบรวมจึงลดลงมาก การศึกษาในแอปเปิ้ล ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ นาน 24 วัน Gowing และคณะ (1990) พบว่าการแผ่ของใบและการเกิดใบใหม่ถูกยับยั้ง พื้นที่ใบลดลง 65 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองนี้ พื้นที่ใบถั่วเหลืองที่ลดลงมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับน้ำหนักแห้งต้นด้วย

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และ Specific Leaf Weight (SLW)

เมื่อพิจารณาค่า RGR ในต้นที่ได้รับเกลือของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เมื่อระยะเวลาที่ได้รับเกลือเพิ่มขึ้น

ในต้นปกติที่ไม่ได้รับเกลือ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีค่า RGR สูงกว่าพันธุ์มข.35 ซึ่งการเจริญเติบโตในช่วง 4 วันและ 8 วัน เมื่อได้รับเกลือเป็นไปในรูปแบบเดียวกันในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ (รูปที่ 9 และ 10, ตารางที่ 9 และ 10) และเมื่อความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่นานขึ้น ค่า RGR มีแนวโน้มลดลง การเจริญเติบโตก็ลดลงด้วย หลังจากที่ได้รับเกลือเป็นช่วงเวลา 16 วันขึ้นไป ที่ระดับเกลือความเข้มข้นสูงๆ (ระดับเกลือ 120 มิลลิโมลาร์) ซึ่งพันธุ์สจ.5 นั้นพบว่ามีค่า RGR สูงกว่าพันธุ์มข.35 ในภาวะที่ได้รับเกลือ โดยค่า RGR ในพันธุ์สจ.5 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติมากนัก ตรงข้ามกับพันธุ์มข.35 ในช่วงเวลา 12 วันขึ้นไป พบว่าค่า RGR ในต้นที่ได้รับเกลือแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ Bunce (1977) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขาดธาตุอาหารในดินกับการได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในถั่วเหลือง ที่ช่วงเวลาต่างๆกัน พบว่าในภาวะที่ได้รับเกลือ ค่า RGR ลดลงจากภาวะปกติแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ ในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ไม่พบความแตกต่างของค่า RGR เมื่อได้รับเกลือในช่วงเวลา 0-16 วัน แต่ที่ระยะเวลา 20 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ ค่า RGR ลดลง 60 เปอร์เซ็นต์และแตกต่างจากทุกระดับเกลือ

นอกจากนี้ Vanloo (1992) ยังพบว่าอิทธิพลที่สำคัญที่สุดในภาวะที่ความต่างศักย์ของน้ำลดต่ำลงในต้นพืชเมื่อได้รับเกลือ คืออัตราการขยายของพื้นที่ใบน้อยกว่าภาวะปกติ การสะสมอาหารจากการสังเคราะห์แสงลดลง และการสะสมน้ำหนักแห้งลดลงมากกว่าอัตราการขยายของพื้นที่ใบ เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงต่อใบลดต่ำลง จึงทำให้การเจริญเติบโตลดลงในถั่วเหลืองที่พื้นที่ใบลดลงมาก ในพันธุ์สจ.5นั้น เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใบรวมทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีศักยภาพในการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าพันธุ์มข.35 จึงมีค่า RGR สูงกว่า

จากผลการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าเมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์และการเพิ่มพื้นที่ใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลง ซึ่งถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 จะแสดงอาการถึงผลเสียให้เห็นได้ชัดกว่าพันธุ์สจ.5 โดยเฉพาะค่า RGR ที่ลดลงแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อได้รับเกลือเป็นเวลา 12 วันขึ้นไป ผลดังกล่าวอาจเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการ คือประการที่หนึ่ง ถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 อาจมีกลไกการเคลื่อนย้ายเกลือเข้ามาสะสมในใบและลำต้น ในอัตราที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ประการที่สอง อัตราการเคลื่อนย้ายของเกลือของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์อาจใกล้เคียงกัน แต่กระบวนการสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เป็นพื้นฐานของการเจริญเติบโตในต้นของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ถูกกระทบกระเทือนในระดับที่ต่ำกว่า และนำไปสู่การเจือจาง (dilution effect) หรือประการที่สาม เกลือมีผลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารอื่นๆ ในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มากกว่าพันธุ์สจ.5

นอกจากนี้ เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย ยังมีผลทำให้ค่า SLW ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีแนวโน้มของการเพิ่มค่า SLW ในต้นที่ได้รับเกลือมากกว่าในพันธุ์มข.35 โดยเฉพาะเมื่อได้รับเกลือมากกว่า 12 วันขึ้นไป การปรับตัวดังกล่าวนี้ จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเซลล์ mesophyll ต่อการแพร่ของ CO_2 แต่การปรับตัวดังกล่าวดูเหมือนว่าจะไม่สามารถทดแทนอย่างเพียงพอต่อการลดลงของประสิทธิภาพของกลไกทางชีวเคมีในการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 เมื่อได้รับเกลือ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าพันธุ์มข.35 ซึ่งการตอบสนองดังกล่าวอาจจะมีสาเหตุมาจากค่า SLW ที่เพิ่มขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE)

จากการศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ทั้งในใบอ่อน (ใบบนในตำแหน่งที่ 3 จากยอด) และใบแก่ (ใบล่างในตำแหน่งที่ 5 จากยอด) พบว่าอัตรา

การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในทั้งสองตำแหน่งใบ ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งสองตำแหน่งใบ พบว่าที่ตำแหน่งใบล่างมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าในใบบน และถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าในพันธุ์สจ.5 และได้รับความเสียหายมากกว่าจากการเพิ่มระดับเกลือในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองนี้จะเห็นว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ซึ่งประเมินจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ออัตราการคายน้ำ ในตำแหน่งใบล่างพบว่าค่า WUE มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่ได้รับเกลือเพิ่มมากขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ซึ่งค่า WUE ที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการคายน้ำลดลงเมื่อได้รับเกลือ ทำให้ค่า WUE ลดลงด้วย

Yeo, Caporn และ Flowers (1986) ได้รายงานถึงการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบข้าว เมื่อต้นข้าวได้รับเกลือพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ มีความสัมพันธ์ในทางลบ (negative correlation) กับการสะสมเกลือโซเดียมในเนื้อเยื่อพืช

จากเหตุผลในขณะนี้ทำให้เชื่อว่า การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ลดลง อาจเนื่องมาจากขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองที่ลดลง เมื่อปลูกในสารละลายที่มีเกลืออยู่สูงกว่า 40 มิลลิโมลาร์ การลดลงของการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผล 3 ประการ คือ ประการแรก เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายจะไปลดค่าศักย์ของน้ำในสารละลาย และทำให้พืชเกิดการขาดน้ำขึ้น ประการที่สอง พืชเคลื่อนย้ายเกลือเข้าไปในลำต้นเพื่อรักษาระดับศักย์ของน้ำในต้นพืช แต่การสะสมของเกลือในเนื่อเยื่อพืชอาจทำให้เกิดการขาดน้ำในระดับเซลล์ขึ้น ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์หรือจาก symplast เข้าสู่ส่วน apoplast ทำให้เซลล์สูญเสียความเต่ง (turgidity) ซึ่งอาจมีผลต่อการทำงานของ membrane-bound enzyme (Greenway,1973 ; Wyn Jones, 1981) หากเซลล์ของพืชลำเลียง (transport) เกลือเข้าสู่เซลล์เพื่อรักษาความเต่งแล้ว การสะสมเกลือเป็นปริมาณสูงๆ อาจมีผลต่อขบวนการเมตาบอลิซึมใน cytoplasm ของเซลล์ได้ ประการที่สาม เกลือในสารละลายอาจมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารชนิดอื่น โดยเฉพาะแคลเซียม จึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

Flowers และคณะ (1985) ได้ศึกษาถึงผลของการสะสมโซเดียมในเนื้อเยื่อที่มีต่อโครงสร้างภายใน (ultrastructure) ของเซลล์ และการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าว พบว่าเมื่อเกลือสะสมถึง 400 mmol kg dw จะทำให้โครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในข้าวพันธุ์ Amber เสียสภาพไปถึง 83 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ความเข้มข้นดังกล่าวแทบจะไม่มีผลต่อโครงสร้างคลอโรพลาสต์ของข้าวพันธุ์ IR 2513 และเมื่อโซเดียมสะสมในใบถึงระดับ 300-500 mmol kg dw จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวพันธุ์ Amber และ IR 2513 ลดลงเหลือ 39 และ 63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ Yeo และ Flowers (1983) พบอีกว่าปริมาณโซเดียม 1.3 mmol /g ethanol-insoluble จะทำให้เกิดการสูญเสียของคลอโรฟิลล์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในพันธุ์ Amber แต่

พันธุ์ IR 2513 จะสูญเสียคลอโรฟิลล์ 50 เปอร์เซ็นต์ก็ต่อเมื่อโซเดียมสะสมถึง 2.5 mmol /g ethanol-insoluble ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างใบอายุต่างๆในต้นข้าว IR 2513 Yeo และคณะ (1985) พบว่าใบแก่ (ใบที่ 5) จะมีการสะสมเกลือ (0.513 mmol g^{-1} DW) มากกว่าใบที่อ่อนกว่า (ใบที่ 3) (0.070 mmol g^{-1} DW) และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบที่ 5 จะต่ำกว่าที่ไม่ได้รับเกลือ ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบอ่อน (ใบที่ 3) จะไม่ได้รับอิทธิพลของเกลือแต่ประการใด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบแก่ต่ำกว่าในใบอ่อน และได้รับความเสียหายจากการได้รับเกลือรุนแรงกว่า Jones (1976) พบว่าเมื่อตัดใบของพืชและนำไปแช่ไว้ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในเวลา 15 นาที ซึ่งเขาได้เสนอแนะว่าอาจเกิดจากเซลล์สูญเสียแรงเต่ง

กรณีที่ได้รับเกลือมากเกินพอ ทำให้เกิดการขาดน้ำที่ระดับเซลล์และมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงนั้น ได้มีผู้ศึกษาในพืชหลายชนิด เช่นใน Spinach (Robinson และคณะ, 1983) และใน *Suaeda australis* (Robinson และ Downton, 1985) การเพิ่มขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ถึง 800 และ 500 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ พบว่าไม่มีผลต่อคุณสมบัติในการสังเคราะห์ด้วยแสงของคลอโรพลาสต์แต่อย่างใด แต่ในกรณีของ *Aster tripolium* และ *Pisum sativum* (Wignarajah และ Baker, 1981) พบว่า คุณสมบัติในการขนส่งอิเลคตรอนของ thylakoid จะลดลงเมื่อปลูกพืชทั้งสองในสารละลายที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงกว่า 500 มิลลิโมลาร์ขึ้นไป เป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงด้วย จากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเพิ่มขึ้น อาจก่อให้เกิดการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของใบถั่วเหลืองจนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ผลเสียดังกล่าวนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่า เกิดจากเซลล์สูญเสียแรงเต่งอันเนื่องมาจากอัตราการสะสมของเกลือใน apoplast สูงกว่าอัตราการสะสมเข้าสู่เซลล์ หรือเนื่องจากการสะสมของโซเดียมและคลอไรด์ในเซลล์สูงถึงขั้นวิกฤตต่อการทำงานของ organelles และ enzymes ใน cytoplasm หรือเนื่องจากสาเหตุทั้งสองประการ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเกลือที่อยู่ในใบ (เปอร์เซ็นต์จากชุดควบคุม) พบว่าปริมาณดังกล่าวในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 จะต่ำกว่าพันธุ์มข.35 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีระบบการป้องกันการสะสมของเกลือในใบที่ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 การป้องกันการสะสมของเกลือดังกล่าวอาจช่วยลดอิทธิพลของเกลือต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองได้ โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของเกลือต่ำกว่า 80 มิลลิโมลาร์ หรือเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับเกลือเป็นเวลาสั้นกว่า 8 วัน

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (chl)ในใบ

ปริมาณ chl *a*, chl *b* และ chl *a+b* ในใบ

คอลโรฟิลล์เอ เป็นรงควัตถุที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ยกเว้นในแบคทีเรีย หรืออาจกล่าวได้ว่าในสิ่งมีชีวิตที่มีการสังเคราะห์แสงและปล่อยกาซออกซิเจนออกมาเป็น product จะมี chl *a* อยู่ในเซลล์ที่มีสีเขียว ซึ่ง chl *a* ไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างที่มีแสงเท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานให้เป็น reduction potential ที่ PS II (P_{680}) และ PS I (P_{700}) ด้วย และ chl *a* เป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอีกด้วย โดยมีรงควัตถุอีกหลายชนิดคอยช่วยเสริมการทำงานของ chl *a* (ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, 2537)

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่ามีผลทำให้ปริมาณ chl *a* และ chl *b* ลดลงทั้งในใบบนและใบล่าง โดยที่ปริมาณ chl ในใบล่างจะลดลงมากกว่าในใบบน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วเหลืองสองพันธุ์พบว่าพันธุ์มข.35 มีการลดลงของปริมาณ chl *a* มากกว่าพันธุ์สจ.5 ทั้งในใบบนและใบล่างในต้นที่ได้รับเกลือ เช่นเดียวกับปริมาณ chl *b* และปริมาณ chl *a+b* ที่พบการตอบสนองในลักษณะเช่นเดียวกันกับปริมาณ chl *a* ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

การลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีผู้ศึกษาในพืชหลายชนิด เช่น Seemann และ Critchley (1985) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในใบถั่วพุ่ม *Phaseolus vulgaris* L. ที่ได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว ใบที่เหี่ยวมากจะลดลงมากกว่า เช่นเดียวกับใน spinach (*Spinacia oleracea*) ที่ศึกษาโดย Coughlan และ Wyn Jones (1980) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Gummuluru และคณะ (1989) ในข้าวสาลีพันธุ์ที่ทนแล้งและไม่ทนแล้ง ในภาวะที่ได้รับเกลือพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง โดยพันธุ์ที่สามารถทนแล้งได้มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าพันธุ์ที่ไม่ทน และยังสามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้ในระดับที่สูงกว่า ในภาวะที่ได้รับเกลืออีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระดับปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่ลดลงเมื่อได้รับเกลือระหว่าง chl *a* และ chl *b* จะพบว่า chl *a* มีแนวโน้มในการลดปริมาณลงมากกว่าใน chl *b* เนื่องจาก chl *a* อาจจะมีผลต่อการทำงานในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่า และในภาวะที่ได้รับเกลือมีผลทำให้การตรึง CO_2 ผ่านเข้าสู่ปากใบลดลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงด้วย นอกจากนี้ที่ระดับเกลือความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราของการขนถ่ายอิเลคตรอนจาก PS II ไปยัง PS I ลดลงอีกด้วย (Seemann และ Sharkey อ้างถึงใน Li และ Ong, 1998) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดลงของปริมาณ chl *a* เป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงด้วย เนื่องจาก chl *a*

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็น reduction potential ในระบบแสงของ photosystem I และ II ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (chl *a+b*) จะเห็นว่ามีปริมาณลดลงเช่นกัน เมื่อได้รับเกลือเป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของ chl a/b จะเห็นว่ามีปริมาณลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับงานทดลองของ Robinson และคณะ (1983)

การตอบสนองของปริมาณคลอโรฟิลล์ในภาวะที่ต้นพืชได้รับเกลือนั้น อาจมีความแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของพืช สายพันธุ์และระยะเวลาที่ได้รับเกลือ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ chl *a* และ chl *b* ในต้นที่ได้รับเกลือในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีปริมาณสูงกว่าในพันธุ์มข.35 และเมื่อได้รับเกลือเป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณ chl *a* และ chl *b* ในพันธุ์มข.35 มีแนวโน้มลดลงมากกว่าพันธุ์สจ.5 โดยพันธุ์สจ.5 ยังคงสามารถรักษาระดับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไว้ได้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงนี้สอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบที่ลดลงด้วย

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมเกลือโซเดียมและคลอไรด์ในเนื้อเยื่อพืช

เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย จะทำให้เปอร์เซ็นต์โซเดียมและคลอไรด์ในส่วนใบ ลำต้นและรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโตของพืช จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อระดับเกลือในสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 0-120 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์เพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับผลการทดลองของ Durand และ Lacan (1994) ที่ศึกษาในถั่วเหลือง (*Glycine max* L. Merrill cv Hodgson) พบว่าปริมาณเกลือโซเดียมและคลอไรด์ในใบและลำต้นเพิ่มสูงขึ้น เมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 3 วัน และในงานทดลองของ Seemann และ Critchley (1985) พบว่าที่ระดับเกลือมากกว่า 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาณของโซเดียมและคลอไรด์ใน *Phaseolus vulgaris* L.เพิ่มสูงขึ้นเกือบ 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบในต้นที่ไม่ได้รับเกลือ และปริมาณของคลอไรด์จะพบสะสมอยู่มากที่ vacuole และใน chloroplast-cytoplasm ซึ่งในส่วนของ vacuole จะเป็น major compartment ที่สำคัญของการขจัดเกลือที่มากเกินไปออกจาก cytoplasm มาเก็บไว้ยังส่วนนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของ chloroplast มีบทบาทสำคัญในการกำจัดเกลือมาเก็บไว้เช่นเดียวกัน ซึ่งโดยทั่วไปพบในพืช halophyte และ non-halophyte ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า เมื่อระดับเกลือในสารละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสะสมของเกลือในเนื้อเยื่อของพืชเพิ่มขึ้น จนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการทำงานของเซลล์และ organells ต่างๆ จึงเป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงด้วย

ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ที่ที่พบสะสมในเนื้อเยื่อนี้ ในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 พบว่ามีการสะสมเพิ่มสูงขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าพันธุ์มข.35 และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของการสะสมโซเดียม

และคลอไรด์ในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 และ มข.35 พบว่ามีการสะสมโซเดียม (เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ที่ใบน้อยกว่าลำต้น แต่ในรากจะพบว่ามีการสะสมต่ำกว่าส่วนทั้งสอง (ตารางที่ 33-38) ส่วนการสะสมคลอไรด์ พบว่าในถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีการสะสมคลอไรด์ในส่วนของลำต้นมากกว่าในใบ ตรงกันข้ามกับในพันธุ์มข.35 ซึ่งคลอไรด์มีการสะสมในใบมากกว่าในลำต้น (ตารางที่ 39-42) กรณีที่ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์ไว้ที่ใบน้อยกว่าในลำต้นนั้น ทั้งนี้อาจเป็นกลไกอันหนึ่งของพืชไม่ทนเค็ม (glycophyte) ที่จะลดความเป็นพิษของโซเดียมในส่วนของใบที่เกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและขบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ในใบ โดยสะสมเกลือไว้ที่ลำต้น (Greenway และ Munns, 1980)

จากผลการทดลองนี้พบว่า โซเดียมมีการสะสมเพิ่มสูงขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ในตำแหน่งของลำต้น ใบและรากตามลำดับ (ตารางที่ 33-38) ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองของ Durand และ Lacan (1994) ที่ได้ศึกษาในถั่วเหลือง ที่ได้รับความเข้มข้นของเกลือ 50 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณของโซเดียมเพิ่มสูงขึ้นในลำต้น รากและใบตามลำดับ (ปริมาณไอออน Na^+ เท่ากับ 46 ±18, 23 ± 3 และ 10 ± 3 μmol g^{-1} FW) และปริมาณของเกลือคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดในใบ รองลงมาคือในลำต้นและรากตามลำดับ (ปริมาณไอออน Cl^- เท่ากับ 107 ±16, 72 ± 5 และ 20 ± 4 μmol g^{-1} FW) และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของเกลือโซเดียมที่พบในรากต่ำกว่าทุกส่วนของต้นพืช ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากน้ำหนักแห้งของรากที่นำมาวิเคราะห์มีน้ำหนักน้อยไป เนื่องจากในต้นถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือ การเจริญของรากได้รับความเสียหาย รากไม่ค่อยเจริญ ทำให้น้ำหนักแห้งของรากลดลงด้วย (น้ำหนักแห้งของใบและลำต้นที่นำมาวิเคราะห์เท่ากับ 500 mg แต่น้ำหนักแห้งของรากใช้จำนวนรากต่อต้นทั้งหมด ซึ่งน้ำหนักที่ได้อยู่ระหว่าง 100-200 mg และลดต่ำลงในต้นที่ได้รับเกลือ)

สำหรับการสะสมเกลือคลอไรด์ ในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 พบว่ามีการสะสมเกลือคลอไรด์ไว้ที่ส่วนของใบมากกว่าในลำต้น เช่นเดียวกับงานทดลองของ Durand และ Lacan (1994) ซึ่งตรงกันข้ามกับพันธุ์สจ.5 ที่มีการสะสมเกลือคลอไรด์ไว้ที่ส่วนของลำต้นมากกว่าในใบ ซึ่งเป็นผลทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ได้รับความเสียหายมากกว่า Abel และ MacKenzie (1963) รายงานว่าในต้นถั่วเหลือง ซึ่งจัดว่าเป็น salt-sensitive species ที่มีการสะสมของเกลือคลอไรด์ไว้ในส่วนของลำต้นและใบเท่ากับ 15000 ppm และ 30000 ppm ตามลำดับ ต้นถั่วเหลืองจะเกิดอาการเหี่ยวและตายไปในที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองนี้ในถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 จะเห็นได้อย่างชัดเจนในระยะเวลา 16 วันหลังจากได้รับเกลือ พบว่าเกลือคลอไรด์มีการสะสมในใบเป็นปริมาณมาก และเพิ่มสูงขึ้นจากต้นที่ไม่ได้รับเกลือประมาณ 8 เท่า (ตารางที่ 41) และที่ระยะเวลา 20 วันเมื่อสิ้นสุดการทดลองต้นถั่วเหลืองเริ่มแสดงอาการเหี่ยวและตาย ไม่สามารถอยู่รอดได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทนต่อเกลือของพืชทนเค็ม (halophyte) และพืชไม่ทนเค็ม (glycophyte) พบว่า พืชทนเค็ม

อาจจะมีกลไกของการกำจัดเกลือออกจากต้น โดยอาจจะมีต่อมเกลือหรือการไม่ดูดเกลือเข้าไป แต่โดยทั่วไปพืชไม่ทนเค็มส่วนใหญ่จะมีการสะสมไอออนของเกลือเหล่านี้ไว้ในใบเป็นปริมาณมาก (Flowers และคณะ อ้างถึงใน Wignarajah และ Baker, 1981)

ส่วนการสะสมเกลือคลอไรด์ในพันธุ์สจ.5 ที่มีการสะสมไว้ในส่วนของลำต้นมากกว่าในใบ ถือว่าเป็นการป้องกันตัวเองจากพิษของเกลือของพืชอย่างหนึ่ง เพื่อไม่ให้ขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้นในใบได้รับความเสียหาย เมื่อพิจารณาจากปริมาณเกลือโซเดียมและคลอไรด์ที่เพิ่มสูงขึ้นในตำแหน่งต่างๆ ของต้นพืช ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ชี้ให้เห็นว่า ถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีระบบการป้องกันการสะสมของเกลือที่ดีกว่าพันธุ์มข.35 การป้องกันการสะสมของเกลือดังกล่าว อาจช่วยลดความรุนแรงของเกลือต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของต้นถั่วเหลืองได้

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณไอออนของโซเดียมคลอไรด์ โดยจากการศึกษาผลของเกลือที่มีต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่าทั้งในใบอ่อนและใบแก่ มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเป็นผลเนื่องจากปริมาณของโซเดียมและคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นในใบ โดยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะได้รับความเสียหายเพิ่มมากขึ้น เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นระยะเวลานานขึ้น

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมโปแตสเซียมในเนื้อเยื่อพืช

สำหรับอิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์โปแตสเซียมในเนื้อเยื่อพืชนั้น พบว่าระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณโปแตสเซียมลดลงในลำต้นและราก แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในใบเมื่อได้รับเกลือเป็นระยะเวลานานขึ้น

Yoshida (1971) รายงานว่า การเพิ่มเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณโปแตสเซียมในตอซังข้าวลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Guerrier (1996) พบว่าปริมาณโปแตสเซียมในต้นมะเขือเทศลดลงเช่นกัน เมื่อได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 140 มิลลิโมลาร์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ Seemann และ Critchley (1985) รายงานว่าปริมาณโปแตสเซียมในใบของถั่วพุ่ม (*Phaseolus vulgaris* L.) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายจาก 0-150 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่ระดับของแคลเซียมและแมกนีเซียม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเขาได้เสนอแนะว่าระดับของโปแตสเซียมและโซเดียมที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ เพื่อที่จะทำให้เกิดการสมดุลต่อปริมาณของคลอไรด์ที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งการตอบสนองของปริมาณโปแตสเซียมต่อระดับเกลือที่เพิ่มขึ้นในสารละลายหรือในดินของพืชหลายชนิดๆ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ในพืชส่วนใหญ่ที่เป็น salt-tolerant glycophyte เช่น *Atylosia serica* และในถั่วเหลือง *Glycine max* cv. *Lee* พบว่ามีการสะสมของโปแตสเซียมในใบเมื่อต้นพืชได้รับเกลือ ในพืชที่เป็น sensitive glycophytes ไม่สามารถที่จะรักษา

โปแตสเซียมในใบเมื่อต้นพืชได้รับเกลือ ในพืชที่เป็น sensitive glycophytes ไม่สามารถที่จะรักษาปริมาณโปแตสเซียมในใบไว้ได้เมื่อได้รับเกลือความเข้มข้นสูงๆ ซึ่งทำให้ต้นพืชได้รับความเสียหายมากขึ้น (Pessarakli, 1994) แต่จากผลการทดลองนี้ พบว่าปริมาณโปแตสเซียมในใบเพิ่มสูงขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ทำการศึกษา มีการปรับตัวให้สามารถทนต่อภาวะเค็มได้ โดยมีการสะสมโปแตสเซียมเพิ่มขึ้นในใบ เพื่อปรับค่าความดันออสโมติคภายในเซลล์เพื่อที่จะรักษา water balance ในต้นพืช โดยพบว่าโปแตสเซียมเป็นไอออนที่เกี่ยวข้องกระบวนการ osmotic regulation และสามารถที่จะไปแข่งขันกับโซเดียมในการเลือกผ่านไอออนของเมมเบรนได้ (ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, 2537) ซึ่งจากรายงานการวิจัยของ Boursier และ Lauchli (1990) พบว่าโปแตสเซียมจะมีการสะสมมากในกาบใบ (sheath) ของข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* L.) ซึ่งเขาได้เสนอว่าโปแตสเซียมที่สะสมเพิ่มมากขึ้น อาจจะไปมีผลบรรเทาความเป็นพิษของโซเดียมให้น้อยลง และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกระบวนการ osmotic adjustment ซึ่งถือว่าเป็นกลไกการปรับตัวของพืชอย่างหนึ่งให้สามารถอยู่รอดได้ ส่วนปริมาณโปแตสเซียมในต้นและรากที่ลดลงนั้น ทั้งนี้เนื่องจากการดูดโปแตสเซียมและโซเดียมมีการแข่งขันในลักษณะที่เรียกว่า antagonism (Yoshoda, 1971) โดยเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมในสารละลายเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณโปแตสเซียมลดลง ซึ่งเกิดจากภาวะการแข่งขันระหว่างไอออนทั้งสอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ทำการศึกษา พบว่าปริมาณโปแตสเซียมในต้นและรากลดลง ซึ่งเกิดจากภาวะ antagonism ระหว่าง Na^+ และ K^+ แต่มีการสะสมโปแตสเซียมในใบ ซึ่งเป็นการปรับตัวของถั่วเหลืองอย่างหนึ่งเพื่อให้สามารถทนต่อภาวะเค็มได้

จะเห็นได้ว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ อาจเป็นสาเหตุต่อการลดการลำเลียงธาตุอาหารที่จำเป็นของต้นพืช โดยเฉพาะโปแตสเซียม เมื่อพืชขาดโปแตสเซียม มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในต้นพืชได้รับความเสียหายอีกด้วย (Solov'ev อ้างถึงใน Beadle, 1985)

เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินถึงอัตราการสะสมของเกลือโซเดียมในใบ ลำต้นและราก ระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีอัตราการสะสมเกลือต่ำกว่าพันธุ์มข.35 เช่นเดียวกับการสะสมคลอไรด์ในใบและลำต้น นอกจากนี้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5สูงกว่าพันธุ์มข.35 จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นอาจสรุปได้ว่า เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมและคลอไรด์ในเนื้อเยื่อของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ต่ำกว่าพันธุ์มข.35 อาจเนื่องมาจากถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีการเคลื่อนย้ายเกลือเข้ามาสะสมในใบในอัตราที่ต่ำกว่าพันธุ์มข.35 หรืออัตราการเคลื่อนย้ายของเกลือของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์อาจใกล้เคียงกัน แต่กระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เป็นพื้นฐาน

ของการเจริญเติบโตในใบของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ถูกกระทบกระเทือนในระดับที่ต่ำกว่า และนำไปสู่การเจือจาง (dilution effect) ดังนั้นความแตกต่างในการตอบสนองของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ต่อการเพิ่มขึ้นของเกลืออาจมาจากสาเหตุ 2 ประการนี้ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เมื่อวิเคราะห์จากผลการทดลองและเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้เชื่อว่าปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายที่พืชได้รับ จะทำให้มีการสะสมของเกลือโซเดียมและคลอไรด์ในเนื้อเยื่อสูงถึงขั้นวิกฤตต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และนำไปสู่การลดลงของอัตราการเจริญเติบโตของต้นถั่วเหลือง