

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

ดินเค็ม เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งต่อการจำกัดผลผลิตพืชของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งดินเค็มหลักอยู่บริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ซึ่งแอ่งทั้งสองถูกแบ่งโดยเทือกเขาภูพาน (สมศรี อรุณินท์, 2531) เนื่องจากดินเค็มมีการสะสมของหินเกลือในชั้นใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือที่สะสมบริเวณชั้นบนจึงเกิดขึ้นเสมอ ขึ้นกับปริมาณน้ำฝน และอัตราการระเหยน้ำจากผิวดิน ตลอดจนระดับน้ำใต้ดิน และความเข้มข้นของเกลือในน้ำใต้ดิน ในช่วงเวลาที่ฝนตกมากกว่าการระเหยน้ำที่ผิวดิน เกลือที่สะสมอยู่บริเวณชั้นบนจึงละลายและเคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำ ซึมผ่านลงสู่ดินชั้นล่าง และบางส่วนอาจเคลื่อนที่ลงสู่แม่น้ำลำคลอง แต่ในช่วงเวลาที่ปริมาณฝนตกต่ำกว่าอัตราการระเหยน้ำที่ผิวดิน และหากน้ำใต้ดินอยู่ในระดับ capillary zone สารละลายเกลือจึงเคลื่อนสู่ดินชั้นบน และเกิดการสะสมของเกลือที่ผิวดิน (Bells, 1983) เพิ่มพูน กীরติกสิกร (2526) รายงานว่า เกลือส่วนใหญ่พบในรูปประจุบวก (cation) พวกโซเดียม คัลเซียม แมกนีเซียม และรูปประจุลบ (anion) พวกคลอไรด์ ซัลเฟต ในพื้นที่ดินเค็มบางแห่งอาจพบ cation พวกโบแตสเซียม และ anion พวกไบคาร์บอเนต

### ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สมศรี อรุณินท์ อ้างโดย เพิ่มพูน กীরติกสิกร (2526) รายงานว่า พื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สามารถจำแนกโดยใช้ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมี ออกเป็น 5 กลุ่มคือ

1. พื้นที่ลุ่มที่ได้รับเกลือรุนแรงมาก พบค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินมากกว่า 16 mmho/cm บริเวณผิวดินมีเกลือจับตัวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด มีเกลือละลายอยู่ปริมาณสูงในน้ำใต้ดิน
2. พื้นที่ลุ่มที่ได้รับเกลือรุนแรงปานกลาง พบค่า EC 8 – 16 mmho/cm บริเวณผิวดินมีเกลือจับตัว 10 – 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ลักษณะพื้นที่ที่มีความจำเพาะต่อการเจริญเติบโตของพืชทนเค็ม (halophyte) บางชนิด
3. พื้นที่ลุ่มที่มีเกลือสะสมเล็กน้อย พบค่า EC 4 – 8 mmho/cm บริเวณผิวดินมีเกลือจับตัว 1 – 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด เกลือที่ละลายในดินอาจจำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตในพืช glycophyte ที่ทนเค็ม

4. พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินเค็ม พบค่า EC 2 – 4 mmho/cm บริเวณผิวดินมีเกลือจับตัว 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ชั้นใต้ดินมีการสะสมของหินเกลือ การละลายของเกลืออาจจำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตในพืชไม่ทนเค็ม

5. พื้นที่ไม่มีดินเค็ม พบค่า EC 0 – 2 mmho/cm มีเกลือละลายต่ำ ความเข้มข้นเกลือไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชไม่ทนเค็ม

#### ผลของเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืช

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นพืชกลุ่ม glycophyte ทนเค็มปานกลาง (moderately-tolerant) สามารถเจริญเติบโตและพัฒนาการได้ปกติที่ระดับ EC 0 – 4 mmho/cm อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่า EC ถึง 7.8 mmho/cm ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2529) Akbar และ Ponmanperuma (1982) รายงานว่า ความสามารถในการทนเค็มของข้าวเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวตั้งแต่ระยะงอกถึงระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ปกติข้าวสามารถทนเค็มได้ดีในระยะงอก ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (ระยะแตกกอ) และระยะเจริญเติบโตเต็มที่ ส่วนระยะที่ข้าวอ่อนแอพบในระยะต้นกล้าและระยะผสมเกสร นอกจากนี้ความสามารถในการทนเค็มของพืชขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือ ธรรมชาติหรือชนิดของเกลือ และระยะเวลาที่พืชได้รับเกลือ (Kaddah and Fakhry; Person *et al.*, cited in Akbar and Ponmanperuma, 1982). Black (1968) ได้เสนอทฤษฎีความเครียดจากเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยสรุปไว้ 3 ประเด็นคือ ประการแรก ทฤษฎีความเป็นประโยชน์ของน้ำ ประการที่สอง ทฤษฎีความดันออสโมติก ประการที่สาม ทฤษฎีเกี่ยวกับความจำเพาะของไอออนและความเป็นพิษของเกลือ ในทำนองเดียวกัน Greenway (1973) เสนอแนะว่าความเข้มข้นของโซเดียมและคลอไรด์สูงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้พืชมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของน้ำ ความจำเพาะของไอออนที่พืชได้รับ และการลดการลำเลียงของสารละลาย

Greenway และ Munns (1980) รายงานว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการลดการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้ประสิทธิภาพของการส่งผลิตอาหาร (source) และแหล่งรับอาหาร (sink) ลดลง ในประเด็นเดียวกัน Delane และคณะ (1982) ทดลองในข้าวบาร์เลย์ เพื่อหาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนย้าย photosynthate จากแหล่งผลิตไปยังแหล่งรับ โดยวัดปริมาณซูโครสที่ใบแก่ (source) และใบอ่อน (sink) พบว่าความเข้มข้นของ soluble carbohydrate ที่ใบอ่อนมีปริมาณสูงเมื่อได้รับความเข้มข้นของเกลือสูง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นของเกลือต่ำ ในทางตรงกันข้ามโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อ soluble carbohydrate ที่ใบแก่ ดังนั้น เกลืออาจมีผลต่อ sink Yeo และคณะ (1991) พบว่าต้นข้าวที่ได้รับเกลือ 50 มิลลิโมลาร์ทันที ปรากฏว่าบริเวณใบที่กำลังเจริญเติบโตไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ของแรงเต่ง แต่จุดเริ่มต้นที่ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลงเกิดจากการจำกัดของน้ำที่พืชได้รับ ซึ่งผลในระยะยาวทำให้เกิดการสะสมเกลือในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ (expanded leaf) Yeo และ Flowers (1986) พบว่า ข้าวที่ได้รับเกลือเป็นเวลานาน (วันและสัปดาห์) เกลือจะทำให้เกิดความเสียหายและการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากจากการสะสมเกลือที่แผ่นใบมากเกินไปโดยผ่านทาง transpiration stream ซึ่งการสะสมเกลือที่ใบไปลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงก่อนใบตาย พืชเกิด senescence เร็ว ทำให้ผลผลิตลดลง (Munns and Termaat, 1986) สำหรับการปรับตัวให้มีชีวิตรอดของพันธุ์ทนเค็ม อาจเกิดจากการลดความเข้มข้นของเกลือ (dilution effect) ในส่วนของลำต้น (Yeo and Flowers, 1984) ส่วนกลไกการปรับตัวของพืชทนเค็มพวก non-halophyte อาจเกิดได้ 4 แนวทาง คือ ประการแรก การจำกัดอัตราการคายน้ำ เพื่อควบคุมการขนส่งโซเดียมไปยังยอดพืช ประการที่สอง การกระตุ้นความเข้มข้นของไอออนจาก transpiration stream และการกำจัดไอออน ประการที่สาม การกระตุ้นความเข้มข้นของไอออนที่ยอดเพื่อการเจริญเติบโต ประการสุดท้าย การกำจัดไอออนที่มีมากเกินไปออกจากยอดพืช

ในพืชไม่ทนเค็มพวก glycophyte เมื่อได้รับเกลือมีผลทำให้พื้นที่ใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่พืชทนเค็มพวก halophyte มีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมซึ่งเกี่ยวข้องกับการได้รับเกลือจากภายนอก (Greenway and Munns, 1980) พืชจะมีการลดอัตราการสูญเสียน้ำโดยเพิ่มความต้านทานที่ปากใบ และผลในระยะยาวจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายวิภาคและสัณฐานวิทยา เช่น การมีขนที่ผิวใบ ความอวบหนาของพืช และคุณสมบัติของ cuticle ในการลดอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านต้นพืช (Hajibagheri *et al.*, cited in Flowers and Yeo, 1989)

#### ผลของเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช

มีรายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการขาดน้ำ ที่เกิดจากความเครียดจากการขาดน้ำ และความเครียดจากเกลือ พบว่า ทำให้การนำที่ปากใบ ( $G_s$ ) และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การลดค่า  $G_s$  มีผลต่อความกว้างปากใบและการแพร่  $CO_2$  ผ่านเข้าสู่ใบพืช รวมทั้งการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ประสิทธิภาพในการตรึง  $CO_2$  และการคายน้ำของพืช Yeo และคณะ (1985) พบว่า การลดค่า  $G_s$  ทำให้ net assimilation rate และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อพื้นที่ใบลดลงในภาวะความเครียดจากเกลือ

Manson และ Colman (1983) พบว่า ในพืชพวก *Phaseolus* และ *Lycopersicon* เมื่อมีการลดศักย์ของน้ำจาก  $-1.08$  ถึง  $-1.88$  MPa ด้วย sorbitol ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของ

mesophyll cell ที่แยกออกมา (isolate) มีค่าลดลง โดยรายงานว่ สิ่งที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากการยับยั้งที่ปากใบ Yeo และคณะ (1985) เสนอแนะว่า การยับยั้งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ในข้าวที่ได้รับความเครียดจากเกลือ เกิดจากการขาดน้ำในเซลล์ของใบ ซึ่งเกิดจากการสะสมเกลือใน apoplast ผลของไซโตเคมิคัลที่สะสมในใบข้าว อาจทำให้เกิดทั้งการเปลี่ยนแปลงความดันออสโมติก และการสะสมไอออน ซึ่งความเข้มข้นของไซโตเคมิคัลในเนื้อเยื่อทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเนื้อเยื่อได้รับเกลือ  $120 \text{ mol m}^{-3}$  ทั้งนี้ ถ้าเกลือมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Yeo and Flowers, 1983) นอกจากนี้ ยังพบว่า การสะสมเกลือในใบ มีความสัมพันธ์กับการลดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งโครงสร้างภายในและขบวนการเมตาบอลิซึมซึ่งทำให้พืชได้รับความเสียหาย (Yeo and Flowers, 1986)

Berkowitz และ Gibbs (1983a,b) สรุปว่า ความเครียดจากการขาดน้ำจะยับยั้งกลไกทางชีวเคมีในคลอโรพลาสต์ โดยการเกิดสภาพกรดใน stroma และทำให้โครงสร้างภายในมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนผลทางตรงโดยการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือในคลอโรพลาสต์ Baker และ Meek (1983) สรุปว่า การเพิ่มความเข้มข้นเกลือในคลอโรพลาสต์ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและการสะสมไอออนเกลือในปริมาณมาก จึงไปยับยั้งการไหลของอิเล็กตรอนจากน้ำผ่าน photosystem II ดังนั้นความเครียดจากเกลือที่มีผลทำให้ปากใบปิด จึงไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำ ทำให้เกิดการขาดน้ำในพืชมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีผลต่อการลดพื้นที่ใบเนื่องจากมีใบตายมากขึ้น

### ผลของเกลือต่อการสะสมพอลิเอมีน

พอลิเอมีนเป็นสารประกอบที่จัดอยู่ในพวกสารกระตุ้นการเจริญเติบโตพืช (Bagni, 1989) พบในพวก prokaryotes และ eukaryotes รวมทั้งในพืชชั้นสูง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์พอลิเอมีนได้จะทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาผิดปกติ

Galston และ Sawhney (1990) รายงานว่า บทบาทของพอลิเอมีนต่อสรีรวิทยาพืชมี 4 ประการ ประการแรก พอลิเอมีนพวก putrescine, spermidine และ spermine พบในเซลล์ของพืชทุกเซลล์ มีความเข้มข้นประมาณ  $10 \mu\text{M}$  ถึง  $1 \text{ mM}$  ประการที่สอง พอลิเอมีนพบในรูปอิสระหรือจับกับ phenolic acid, สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และมหโมเลกุล ประการที่สาม ปริมาณที่สร้างขึ้นมาขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ สารเคมี และความเครียดทางกายภาพ ประการสุดท้าย การให้พอลิเอมีนแก่พืชและบางส่วนของพืช ทำให้มีการป้องกันการเกิด senescence ของใบพืชที่ถูกตัด การสร้าง embryoids และตาดอก (floral primordia)

## การสังเคราะห์พอลิเอมีนในพืช

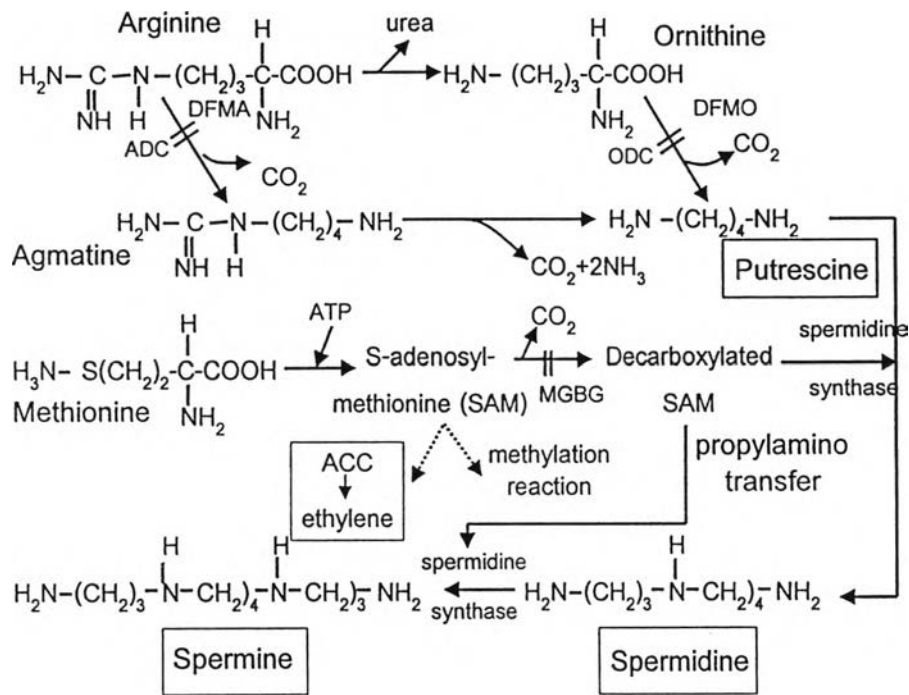
Bagni และ Pistocchi (1992) รายงานว่า พอลิเอมีนจำแนกได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม diamine ได้แก่ putrescine (1,4 – diaminobutane) กลุ่ม triamine ได้แก่ putrescine (1,8 –diamino –4–azooctane) และกลุ่ม tetramine ได้แก่ putrescine (1,12 – diamino 4,9 – diazododecane)

จากขบวนการเมตาบอลิซึมของพอลิเอมีน (ภาพที่1) พบว่าพอลิเอมีนสังเคราะห์จาก ornithine (Orn) และ arginine (Arg) โดยเอนไซม์ ornithine decarboxylase (ODC) และ arginine decarboxylase (ADC) ในที่นี้กรดอะมิโนพวก arginine, ornithine และ lysine จะเป็นแหล่งคาร์บอนหลัก ส่วน methionine จะมีการเปลี่ยนกลุ่ม propylamino ให้ putrescine (Put) เพื่อสร้าง spermidine (Spd) และเปลี่ยน spermidine เป็น spermine (Spd)

ปฏิกิริยาสร้าง Put ในพืชชั้นสูง เกิดได้ 2 pathway คือ จาก ODC และ ADC ส่วนในสัตว์และเชื้อราบางชนิด พวก phyto – pathogenic fungi มีการสร้าง Put จากขบวนการ decarboxylation ของ Orn ทั้ง ODC และ ADC พบกระจายตัวอยู่ตามเนื้อเยื่อและถูกกระตุ้นให้สร้างในภาวะที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การสร้างพอลิเอมีนจาก ADC พบในการตอบสนองต่อความเครียด (Young and Galston, 1983) ส่วน ODC พบในภาวะการสร้างเซลล์ใหม่ และการแบ่งเซลล์ (Cohen et al., 1982)

## รูปของพอลิเอมีนที่พบในพืช

พอลิเอมีนในพืชพบในรูปโมเลกุลอิสระ แต่อาจจับตัวกับโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น amide ของ hydrocinnamic acid หรือกับโปรตีน หรือพบในรูปที่ conjugate กับ phenolic acid cinnamic และ ferulic (Smith, 1985) ซึ่งในรูป conjugate นี้ อาจพบมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของพอลิเอมีนทั้งหมดในเซลล์ (Torrighiani et al., 1987) Serafini-Fracassini และคณะ (1989) รายงานว่า เอนไซม์ transglutaminase และ transglutaminase – like สามารถจับตัวกับพอลิเอมีนและโปรตีน เพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลายประกอบเชิงซ้อนได้ ซึ่งพบในพืช พอลิเอมีนที่จับตัวกับ peptide หรือโปรตีน พบในพืชหลายชนิด ได้แก่ ใน pollen ของแอปเปิล (Bagni et al., 1981) และส่วนหัวของ *Helianthus tuberosus* (Serafini – Fracassini et al., 1989)



ภาพที่ 1 การสังเคราะห์พอลิเอมีนในพืช

## ตำแหน่งและเอ็นไซม์ที่ใช้สร้างพอลิเอมีนในพืช

การศึกษาพอลิเอมีนในส่วนต่างๆ (compartment) ของพืชยังมีข้อจำกัด เนื่องจากขณะทดลองพบการไหลย้อนกลับของพอลิเอมีนซึ่งเกิดจาก organelle ที่แยกออกมา ดังนั้นควรมีการศึกษาในส่วนที่มีเอ็นไซม์ ซึ่งเป็นบริเวณที่สร้างและสลายตัวของพอลิเอมีน (Bagni and Pistocchi, 1992) ในปัจจุบันพบเอ็นไซม์ S-adenosylmethionine decarboxylase (SAMDC) อยู่ในไซโตพลาสซึม (Torrighiani *et al.*, 1987) ขณะที่เอ็นไซม์ ADC และ ODC ส่วนใหญ่อยู่ในนิวเคลียส, คลอโรพลาสต์ และไมโทคอนเดรีย โดย ODC เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ ส่วน ADC เกี่ยวข้องกับภาวะเครียดจากการขาดน้ำ pH หรือเกลือ (Bagni, 1989) ขณะที่ SAMDC เป็นแหล่งสร้างเอทิลีน โดยผ่านสารตัวกลาง 1-aminocyclopropane-1 - carboxylic acid (ACC) ส่วนเอทิลีนชักนำให้เกิด senescence และพอลิเอมีนทำหน้าที่ antisenescence

## หน้าที่ของพอลิเอมีนในพืช

### 1. บทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช

พอลิเอมีนมีบทบาทต่อขบวนการในพืชหลายอย่าง เช่น การแบ่งเซลล์ การสร้างราก การสร้างและพัฒนาการของดอก ควบคุมการสุกของผล การเสื่อมสภาพของเซลล์ (senescence) และการเปลี่ยนแปลงของระบบท่อลำเลียง (vascular differentiation) Evan และ Malmberg (1989) รายงานว่า การให้พอลิเอมีนแก่โปรโตพลาสต์และเซลล์ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการคงสภาพและการเพิ่มการแบ่งเซลล์อย่างสม่ำเสมอ บางกรณีอัตราส่วนของ Put/(Spd+Spm) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการยึดตัว โดยเฉพาะในส่วนต้นกล้า (Shen and Galston, 1985) นอกจากนี้ Solocum และ Flores (1991) รายงานว่า การเปลี่ยน Put ไปเป็น Spd มีความสำคัญต่อการควบคุมอัตราการแบ่งเซลล์ Put จะทำความเสียหายต่อเซลล์ ขณะที่ Spd และ Spm มีความจำเป็นในการสร้างเซลล์ระยะ G1 ถึง S

### 2. บทบาทต่อการเกิด anti-senescence ในพืช

Kaur – Sawhney และ Galston (1979) รายงานว่า การให้พอลิเอมีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ จะช่วยชะลอหรือป้องกันขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิด senescence เช่น การลดปริมาณคลอโรฟิลล์ โปรตีน และ RNA (ซึ่งวัดจากการลดกิจกรรมของเอ็นไซม์ protease และ Rnase) ของใบ

พืชใบเลี้ยงเดี่ยว และพืชใบเลี้ยงคู่ นอกจากนี้ Kaur – Sawhney และคณะ (1982) ศึกษาผลของพอลิเอมีนต่อการเกิด anti – senescence ในใบข้าวโอ๊ตที่บ่มในที่มืด พบว่า เมื่อนำใบแช่ในสารละลายที่มีพอลิเอมีน จะขัดขวางการเกิด senescence ซึ่งวัดจากการคงสภาพของคลอโรฟิลล์ การยับยั้งกิจกรรมเอ็นไซม์ Rnase และ protease ในการศึกษาการสุกแก่ของผล Law และคณะ (1991) พบว่า มะเขือเทศก่อนการสุกแก่ สามารถยืดอายุโดยการให้ Put ที่ขั้วผล (peduncle) เมื่อให้พอลิเอมีนความเข้มข้นสูงจะยับยั้งทั้งการสุกแก่ และการสร้างเอทิลีน ส่วนพอลิเอมีนที่ความเข้มข้นต่ำ จะไม่สามารถควบคุมการสุกแก่ แต่สามารถควบคุมการสร้าง เอทิลีนได้ อย่างไรก็ตาม พอลิเอมีนอาจไม่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับขบวนการสุกแก่ (Galston and Kaur – Sawhney, 1990) ส่วนการสร้าง เอทิลีน ที่ ACC ถูกควบคุมโดยพอลิเอมีน ทำให้มีการส่งคาร์บอนจาก SAM เพื่อมาสร้างพอลิเอมีน ในทางตรงกันข้าม การสร้างพอลิเอมีนถูกควบคุมโดย MGBG และ DFMA ดังนั้น จึงทำให้เกิดการสร้างเอทิลีน (Bagni and Pistocchi, 1992)

### การสร้างพอลิเอมีนในภาวะความเครียดจากสิ่งแวดล้อม

#### ความเครียดจากอุณหภูมิต่ำ

Lee และคณะ (1995) พบว่า การสะสม Put ในข้าวมีความสัมพันธ์กับความเครียดจากอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้พอลิเอมีนอาจช่วยรักษาสภาพของเมมเบรน และช่วงยืดอายุของเซลล์ในภาวะดังกล่าว นอกจากนี้การสร้างพอลิเอมีนยังมีความสัมพันธ์ในพืชพวก *Phaseolus* สายพันธุ์ที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ การสร้างพอลิเอมีนที่เพิ่มขึ้นในภาวะดังกล่าว โดยเฉพาะการสร้าง Put ซึ่งพบในพืชหลายชนิด จะมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม ในสายพันธุ์ที่ทนต่อความเครียดจากอุณหภูมิต่ำได้ดี จะสามารถสร้าง Put เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่ทนต่อสภาพอุณหภูมิต่ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงหรือมีการสร้าง Put น้อยกว่า (Guye *et al.*, 1986)

#### การขาดธาตุอาหาร

ในการศึกษาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหารในพืช Young และ Galston (1984a) พบว่า การขาดโปแตสเซียม สามารถชักนำให้กิจกรรมเอ็นไซม์ ADC เพิ่มขึ้นในต้นกล้าของข้าวโอ๊ต ที่ปลูกในสารละลาย Hoagland's ได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ Put สามารถทดแทนการสูญเสียประจุบวกจากการขาดโปแตสเซียมได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ในทำนองเดียวกัน Young และ Galston (1984) พบว่า การขาดโปแตสเซียมในยาสูบทำให้การสร้าง Put เพิ่มขึ้น 7 เท่า ส่วน p-methylamine และ hydroxycinnamic acid



amides ซึ่งเป็น polyamine – phenolic conjugate มีปริมาณลดลงตามการลดลงของโปแตสเซียมในข้าวบาร์เลย์ ทำให้ปริมาณ Put และกิจกรรมเอ็นไซม์ ADC เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Smith, 1985)

สำหรับภาวะเครียดจากโลหะหนัก Weinstein และคณะ (1986) สรุปว่า การให้แคดเมียมในข้าวโอ๊ตที่เด็ดใบและต้นกล้าทั้งต้น ทำให้ Put เพิ่มขึ้น 10 เท่า แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่ม Spd และ Spm การตอบสนองดังกล่าวถูกยับยั้งโดยการเติม Difluoromethylarginine (DFMA) ซึ่งจะยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์ ADC ที่มีความสำคัญต่อการสร้าง Put ในภาวะที่ได้รับคามเครียดจากแคดเมียม อย่างไรก็ตาม พบว่ากิจกรรมเอ็นไซม์ ADC เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### ความเครียดจากออสโมติก

Flores (1991) รายงานว่า เมื่อนำใบข้าวโอ๊ตที่ถูกตัดเป็นท่อนมาแช่ในสารละลายฟอสเฟต (phosphate buffer) โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่มี sorbitol หรือ manitol ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ พบว่า มี Put เพิ่มขึ้น 60 เท่า เมื่อได้รับความเครียดออสโมติกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนในสารละลายฟอสเฟตไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ Put ในทางตรงกันข้าม ปริมาณ Spd จะเพิ่มขึ้น 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ Spm นอกจากนี้ ในการศึกษาอาจใช้สารที่ซึมผ่านเซลล์ได้ (permeable) และไม่ซึมผ่านเซลล์ (nonpermeable) มาทดลอง ได้แก่ sorbitol, manitol, proline, betain และ sucrose ซึ่งให้ผลในการทำงานเดียวกันคือ ทำให้ระดับ Put เพิ่มขึ้น (Flower and Galston, 1984)

### ความเครียดจากเกลือ

Friedman และคณะ (1983) พบว่า ความเครียดจากเกลือทำให้มีการสะสม Put ในใบถั่วเขียวระยะต้นกล้า ขณะเดียวกันไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเอ็นไซม์ ADC และ ODC ที่เก็บจากพืชส่วนเหนือดิน แต่กลับพบเอ็นไซม์ ODC ในส่วนรากเพิ่มขึ้น 2 – 8 เท่า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของ Put , Spd และ Spm ในพืชพวก *Vicia faba*, *Atriplex* spp. และ *Salicornia europaea* ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ 750 มิลลิโมลาร์ (Priebe and Jager, 1978) สำหรับการทดลองในข้าว Krishnamurthy และ Bhagwat (1989) พบว่า พันธุ์ข้าวไม่ทนเค็มจะมีการสะสม Put สูงในส่วนต้น (shoot) แต่มี Spd และ Spm ต่ำ ส่วนพันธุ์ข้าวทนเค็มมีการสะสมชนิดของพอลิเอมีนในทิศทางตรงกันข้ามกันคือมีการสะสม Spd และ Spm สูง แต่มี Put ต่ำ