การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม

(Adaptation of Plants under Salinity)

วิชิตพล มีแก้ว[*] ณัฐพล ขันธปราบ[*] สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ[*,]**

*ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

**หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110 โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 8660

บทคัดย่อ

ความเค็ม (salinity) เป็นปัญหาที่สำคัญต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น อาจจะไปลดความสามารถในการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิตอันเนื่องจากอยู่ในสภาวะความเค็มจะไปยังยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นสิ่งมีชีวิตต้องมีการปรับตัวให้เข้าภาวะที่มีความเค็มให้ได้ โดยสิ่งมีชีวิตที่สามารถอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเค็มสูงได้ เรียกว่า ฮาโลไฟล์ (halophile) และสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวได้ภายใต้ภาวะความเค็มเรียกว่า สิ่งมีชีวิตทนเค็ม (halotolerant) พบได้ทั้งในพวกยูคาริโอต (eukaryote) และโพรคาริโอต (prokaryote) สำหรับกลไกที่ใช้ในการทนต่อความเค็มนั้น ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน และการสะสมสารบางชนิด เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และอนุพันธ์ ของกรดอะมิโน หรือพืชบางชนิดเพิ่มความอวบของใบแก่ หรืออาจจะขับเกลือออกทางต่อมเกลือซึ่งอยู่ที่ใบแล้วปล่อยให้ร่วงหล่น เช่น แสม และ โกงกาง

คำสำคัญ: ความเค็ม/ สิ่งมีชีวิตทนเค็ม/ การปรับตัว

บทนำ

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดเจริญได้ในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะเจริญอยู่ภายใต้ภาวะที่มีความเข้มข้นของสารละลายภายในและภายนอกเซลล์เท่ากันเพื่อรักษาสมดุลของน้ำให้คงที่ ภาวะที่สารละลายภายในและภายนอกเซลล์เท่ากันเรียกว่า สารละลายไอโซ-โทนิก (isotonic solution) ดังนั้นเมื่อสภาวะภายนอกเปลี่ยนแปลงไปโดยสารละลายภายนอกเซลล์น้อยกว่าภายในเซลล์ เรียกว่า สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution) ภาวะนี้น้ำจากภายนอกเซลล์จะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อทำให้สารละลายภายในเซลล์มีความเข้มข้นเข้าสู่ภาวะสมดุล สังเกตได้จากเซลล์สัตว์จะมีลักษณะขยายใหญ่ขึ้น เรียกว่า ภาวะเซลล์เต่ง (plasmoptysis) แต่ในเซลล์พืชไม่สามารถสังเกตได้เพราะมีผนังเซลล์ช่วยลดแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ในทางตรงข้าม

เมื่อเซลล์อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นภายนอกสูงกว่าภายในเซลล์ เรียกว่า สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution) ภาวะนี้น้ำจากภายในเซลล์จะแพร่สู่ภายนอกเซลล์เพื่อทำให้สารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นเข้าสู่ภาวะสมดุล (Campbell and Reece, 2002) สังเกตได้จากเซลล์พืชจะมีลักษณะเหี่ยวเพราะเซลล์จะแยกออกจากผนังเซลล์ และเซลล์สัตว์จะมีลักษณะเหี่ยวเพราะมีขนาดเล็กกว่าเดิม เรียกว่า ภาวะเซลล์เหี่ยว (plasmolysis) แสดงดังภาพที่ 1 ผลกระทบของเซลล์อีโลเดีย (Elodea cell) และเซลล์เม็ดเลือดแดง ภายใต้ภาวะที่ความเข้มข้นสารละลายภายนอกเซลล์ต่างกัน ดังนั้นเมื่อเซลล์ไม่สามารถปรับตัวได้ภายใต้ภาวะต่างๆ นั้น ก็จะทำให้เซลล์ทำงานผิดปกติ สำหรับภาวะที่มีความเค็มนั้นคือภาวะที่เซลล์อยู่ภายใต้สารละลายไฮเปอร์โทนิกนั่นเอง (Berg, 2000)

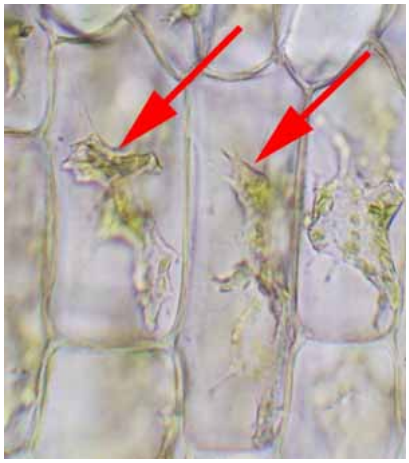
สิ่งมีชีวิตทนเค็ม

สิ่งมีชีวิตต้องมีการปรับตัวให้เข้าภาวะที่มีความเค็มให้ได้ โดยสิ่งมีชีวิตที่สามารถอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเค็มสูงได้ เรียกว่า ฮาโลไฟล์ (halophile) โดยสามารถจัดจำแนกสิ่งมีชีวิตนี้ได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ นันฮาโลไฟล์ (non-halophile) สไลท์ฮาโลไฟล์ (slight halophile) โมเดอเรทฮาโลไฟล์ (moderate halophile) และเอ็กซ์ทรีมฮาโลไฟล์ (extreme halophile) ทั้งนี้สามารถจำแนกได้โดยความเข้มข้นของเกลือในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้ง 4 ประเภทนี้จะอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์น้อยกว่า 0.2 โมลาร์ 0.2 – 1.2 โมลาร์ 1.2 – 2.5 มาลาร์ และ มากกว่า 2.5 โมลาร์ขึ้นไป ตามลำดับ และสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวได้ภายใต้ภาวะความเค็มเรียกว่า สิ่งมีชีวิตทนเค็ม (halotolerant) พบได้ทั้งพืชขนาดใหญ่จนถึงจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กแบคทีเรีย และไซยาโนแบคทีเรีย เช่น *Bacillus subtilis Aphanothece halophttica* และ *Avicinea marina* เป็นต้น (Csonka and Hanson, 1991; Ventosa et al., 1998)

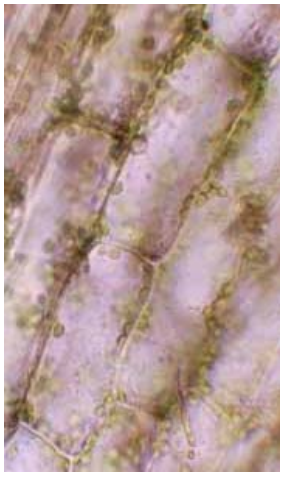
ความเค็มเป็นปัญหาหนึ่งทางด้านการเกษตรของประเทศ เพราะพื้นที่ที่มีความเค็มไม่สามารถทำการเกษตรหรือปลูกพืชเศรษฐกิจได้ ทั้งนี้เพราะความเค็มส่งผลกระทบต่อการเจริญของสิ่งชีวิตทั้งพืชและสัตว์รวมถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ได้แก่ แบคทีเรีย และไซยาโนแบคทีเรีย ความเค็ม คือ ปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำมีหน่วยวัดเป็นกรัมต่อน้ำหนึ่งตันหรือหนึ่งส่วนในพันส่วน หรือ พีพีที (ppt = part per ton) สำหรับประเทศไทยพื้นที่ที่ประสบปัญหาความเค็มได้แก่ บริเวณที่อยู่ใกล้กับทะเล และดินเค็มที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น บริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งครอบคลุมจังหวัดดังต่อไปนี้ สุรินทร์ (อำเภอชุมพลบุรี และอำเภอท่าตูม) มหาสารคาม (อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย) บุรีรัมย์ (อำเภอพุทไธสง) ศรีสะเกษ (อำเภอภายีไศล) ยโสธร (อำเภอมหาชนะชัย) และ ร้อยเอ็ด (อำเภอปทุมรัตต์ อำเภอเกษตรวิสัย อำเภอสุวรรณภูมิ และอำเภอโพนทราย) แสดงบริเวณพื้นที่ดินเค็มทุ่งกุลาร้องไห้ ดังภาพที่ 2

ดินเค็ม คือ ดินที่มีเกลือผสมอยู่ในเนื้อดิน จึงมีรสเค็ม ความเค็มทำให้สภาพแวดล้อมในดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ทำให้ดินมีเนื้อแน่นทึบ รากพืชชอนไชยาก แร่ธาตุบางอย่างละลายออกมาจนเป็นพิษ ผลของความเค็มทำให้พืชขาดน้ำ พืชต่างๆ ปรับตัวเข้ากับสภาพความเค็มได้ต่างกัน พืชตระกูลถั่วจัดว่าเป็นพืชทนเค็มน้อย ข้าว อ้อย หน่อไม้ฝรั่ง ทนเค็มปานกลาง ฝ้าย ผักกาดหัวและหญ้าบางชนิด มีความสามารถทนต่อความเค็มได้สูง

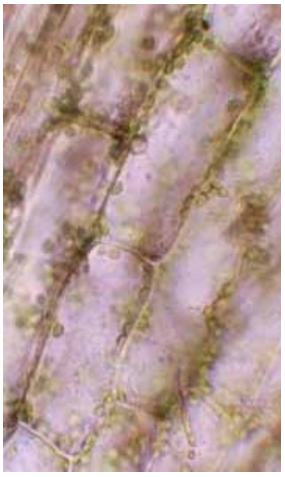
ก) เซลล์อีโลเดีย



สารละลายไฮเปอร์โทนิก

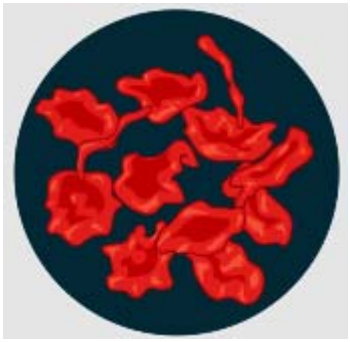


สารละลายไอโซโทนิก



สารละลายไฮโปโทนิก

ข) เซลล์เม็ดเลือดแดง



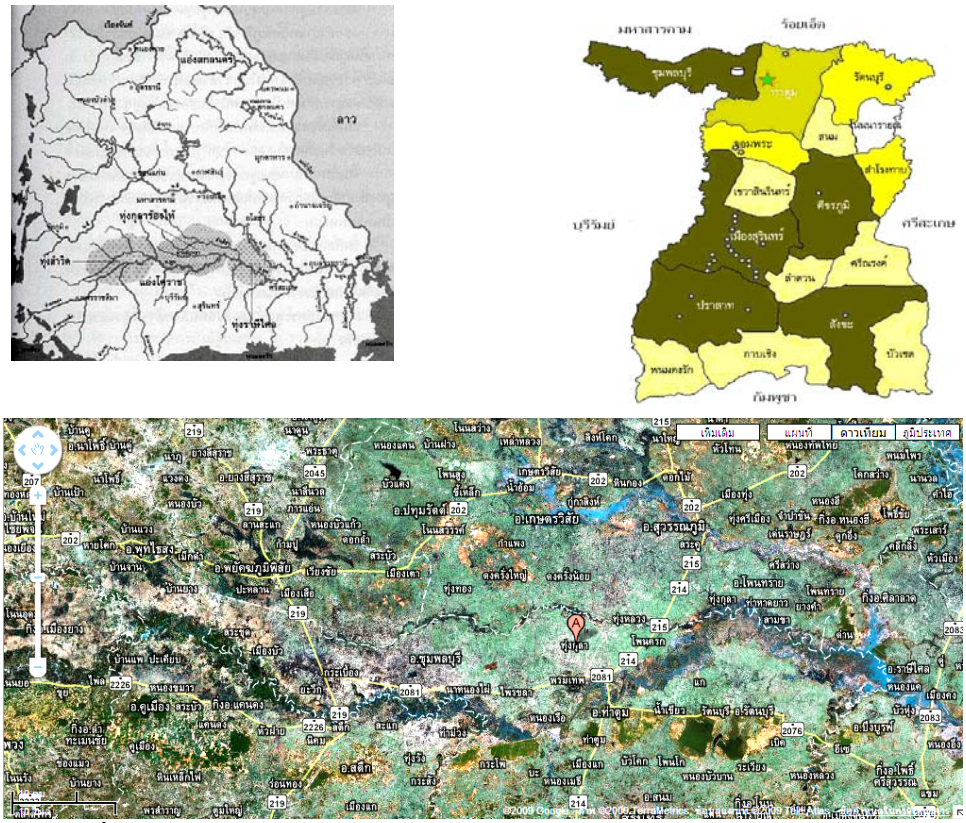
สารละลายไฮเปอร์โทนิก

สารละลายไอโซโทนิก

สารละลายไฮโปโทนิก

ภาพที่ 1 ลักษณะของเซลล์อีโลเดียและ เซลล์เม็ดเลือดแดง ภายใต้ภาวะสารละลายแตกต่างกัน

ที่มา (Berg, 2002)



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้

ที่มา (วิริยะธุรกิจ, 2546; สหพืชผลท่าตูม, 2550; แผนที่ประเทศไทย, 2552)

สาเหตุการเกิดดินเค็มมี 2 ประการคือ ประการแรกมาจากการแพร่ของน้ำเค็มจากทะเลหรือน้ำเค็มใต้ดิน เช่น ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และประการที่สองมาจากพาหะที่พาเกลือแพร่กระจายไปสู่ที่ต่างๆ เช่น มนุษย์ ลม และน้ำ สำหรับประเทศไทยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ ลักษณะของดินเค็มที่สังเกตได้ชัดเจนจะเห็นขุยเกลือขึ้นตามผิวดิน ทั้งนี้ดินเค็มแบ่งเป็น 4 ประเภท ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือในดิน ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของดินเค็มประเภทต่างๆ ได้แก่ ดินเค็มน้อย ดินเค็มปานกลาง และดินเค็มจัด **ดินเค็มน้อย** หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือในดินประมาณร้อยละ 0.12 – 0.25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (2 – 4 เดซิซีเมนต่อเมตร) **ดินเค็มปานกลาง** หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือในดินประมาณร้อยละ 0.25 – 0.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (4 – 8 เดซิซีเมนต่อเมตร) **ดินเค็มมาก** หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือในดินประมาณร้อยละ 0.5 – 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (8 – 16 เดซิซีเมนต่อเมตร) และ**ดินเค็มจัด** หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือมากกว่าร้อยละ 1 (มากกว่า 16 เดซิซีเมนต่อเมตร) ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดเจริญได้ภายใต้ภาวะที่มีความเค็มต่างกัน หากพืชที่ปรับตัวไม่ได้จะแสดงลักษณะอาการต่างๆ ดังนี้คือ การเจริญเติบโตลดลง ใบสีเข้มขึ้น ใบหนาขึ้น ปลายใบไหม้ ปลายใบม้วนงอ ผลผลิตลดลง และถ้าปรับตัวไม่ได้จะตายในที่สุด (อรุณี ยูวะนิยม และ สมศรี อรุณินท์, 2540)

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทดินเค็มและพืชที่เจริญภายใต้ภาวะดินเค็ม

ประเภทของดิน	ความเข้มข้นของเกลือ (ร้อยละน้ำหนักต่อปริมาตร)	การนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	ชนิดพืช
เค็มน้อย	0.12	2	ถั่วฝักยาว ผักกาด เยียบีรา ถั่วเขียว ถั่วเหลือง งา ลิ้นจี่ มะม่วง
เค็มปานกลาง	0.25	4	บวบ พริกยักษ์ หอมใหญ่ กุหลาบ ทานตะวัน ข้าวโพด มะกอก องุ่น
เค็มมาก	0.5	8	กะหล่ำดอก กระเทียม หอมแดง แตงโม ข้าวทนเค็ม ฝรั่ง ยูคาลิปตัส มะยม
	0.75 – 1.0	12 - 16	ผักโขม ผักกาดหัว คะน้า ชบา เฟื่องฟ้า ละมุด มะขาม มะพร้าว
เค็มจัด	>1.0	>16	เข็ม เขียวหมื่นปี โกงกาง แสม สะเม็ด ชะคราม หนามแดง หญ้าดิกซี

ที่มา (สมศรี อรุณินท์, 2540)

ผลของความเค็มที่มีต่อพืช

พืชเจริญภายใต้ภาวะที่มีความเค็มได้ไม่ดี เนื่องจากความดันออสโมติกที่รากพืช สัมผัสกับสารละลายที่มีเกลือในความเข้มข้นที่สูงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าชลศักย์(water potential) จึงเป็นผลให้พืชนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลงตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้นทำให้ค่าชลศักย์ของสารละลายในดินต่ำกว่าในต้นพืช จึงทำให้น้ำในเซลล์พืชเคลื่อนย้ายจากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอก ส่งผลให้พืชแสดงอาการขาดน้ำ และเกิดความเป็นพิษเนื่องจากไอออนบางชนิด (toxic effect) เมื่อสารละลายในดินมีความเข้มข้นของไอออนสูง พืชจะดูดและสะสมไอออนเหล่านั้นจนถึงระดับเป็นพิษ และมีผลโดยตรงต่อสรีรวิทยาของพืช เมื่อพืชได้รับโซเดียมคลอไรด์ความเค็มของเกลือจะทำให้พืชดูดสะสมไอออน ผลที่เกิดส่วนใหญ่เกิดจากความเป็นพิษของโซเดียมและคลอไรด์ที่มีมากเกินไปหรือทำให้พืชขาดน้ำเนื่องจากเกลือเข้าไปมากเกินไปแต่พืชก็จะมีกรรมวิธีในการบรรเทาอาการเป็นพิษจากเกลือโดยการขับเกลือออกทางรากหรือเก็บไว้ในแวคิวโอล นอกจากนี้การงอกของรากหอมใหญ่และถั่วเขียวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น (Laloknam et al., 2008)

การศึกษาผลของความเครียดจากน้ำที่ชักนำโดยโซเดียมคลอไรด์และภาวะความแห้งแล้งต่อใบของข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และถั่วเขียว ได้ใช้พืชอายุ 25 วัน ไปศึกษาในภาวะที่มีแรงดันออสโมติกเท่ากัน คือ สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ และโพลิเอทีลีนไกลคอล (PEG) เข้มข้น 180 กรัมต่อลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า พืช 3 ชนิด คือข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และ ถั่วเขียว มีน้ำหนักแห้งของใบลดลงทั้งสองภาวะ ในขณะที่ข้าวสาลีในภาวะที่มี PEG น้ำหนักแห้งของใบจะลดลงมากกว่าภาวะที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่าในพืชทุกชนิดปริมาณของน้ำลดลงทั้งสองภาวะรวมถึงปริมาณ K^+และ NO_3^- ด้วย ในขณะที่ Na^+และ Cl^- เพิ่มขึ้น ในข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ และ ถั่วแดง พบว่าปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และปริมาณสารอินทรีย์และน้ำตาลมีปริมาณลดลงในพืชทุกชนิดทั้งสองภาวะแต่มีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในข้าวสาลี และถั่วเขียว ภายใต้ความเครียดของโซเดียมคลอไรด์ และ PEG มีผลทำให้ปริมาณกรดมาลิกเพิ่มขึ้นมากที่สุดในข้าวสาลี ทั้งนี้ความสามารถของพืชในการปรับตัวให้เหมาะสมกับภาวะต่างๆ จะขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาและเมแทบอลิซึมของพืช ซึ่งจะแตกต่างกันเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะที่อันตราย

อย่างไรก็ตามความเค็มเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญของพืชทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงและส่งผลกระทบต่อเกษตรกรทั่วทุกมุมโลก เนื่องจากความเค็มไปยับยั้งการเจริญของรากและยอดของพืช ทำให้การเจริญของใบลดลง และผนังเซลล์หนาขึ้นจึงมีผลทำให้การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงไปด้วย (เนื่องจากความเป็นพิษของธาตุโซเดียมและคลอรีน และแรงดันออสโมติก) ดังนั้นพืชที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจต้องตายในที่สุด

สำหรับพืชหรือสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวได้จะใช้กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ หรือการสะสมสารบางชนิดเช่น สารอินทรีย์ กรดอะมิโน หรือ น้ำตาล ซึ่งได้มีการทดลองใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ทำให้เกิดภาวะเป็นพิษ สารละลายนี้จะให้ให้โซเดียมไอออนและคลอ-ไรด์ไอออน และใช้พอลิเอทธิลีนไกลคอลทำให้เกิดภาวะแห้งแล้งดังเช่นที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยควบคุมให้แรงดันออสโมติกเท่ากัน พืชที่ใช้ในการทดสอบคือ พืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และถั่วเขียว นำไปเพาะปลูกภายใต้สภาวะความเค็ม จากนั้นตรวจสอบความสามารถในการกระจายตัวของสารอนินทรีย์ (Cl^-, Na^+, K^+ และ NO^{3-}) สารละลายอินทรีย์ (กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และ น้ำตาล) และปริมาณโพรลีน (Laloknam et al., 2008; Saffan, 2008)

ผลของความเค็มต่อการงอกของพืช

พืชส่วนใหญ่จะมีความอ่อนแอต่อความเค็มในช่วงที่เกิดการงอกมากกว่าในช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากความเค็มของดินมีผลต่อการงอกของเมล็ด 2 ประการ คือจะลดอัตราการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและการมีไอออนในสารละลายของดินมากจนเป็นพิษต่อความงอก เมื่อมีการระเหยน้ำจากดินจะทำให้มีการนำเกลือขึ้นมาสะสมไว้ที่ดินชั้นบน ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับที่มีเมล็ดพืชอยู่ การได้รับเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้อัตราการงอกลดลงหรืออาจจะใช้ระยะเวลาในการงอกนานขึ้น และเมื่อเมล็ดเริ่มงอกการเจริญเติบโตของรากและการยืดของลำต้นจะล่าช้า การใช้อาหารสะสมในเมล็ดเพื่อการเจริญเติบโตของกล้าอ่อนเป็นไปในอัตราต่ำ กล้าอ่อนจะไม่ค่อยแข็งแรง เป็นผลให้อัตราการงอกน้อยลงด้วย และเมล็ดพืชที่กำลังงอกในความเค็มที่ไม่สูงเกินไปอาจปรับแรงดันออสโมติกได้โดยการดึงดูดไอออนต่างๆ ในดินเค็มนั้นเข้าไปทำให้เซลล์เข้าสู่ภาวะสมดุล แต่ถ้าพืชชนิดใดที่กำลังงอกไม่สามารถดูดไอออนเหล่านั้นเข้าไปได้เพียงพอ เมล็ดพืชดังกล่าวก็ไม่สามารถปรับแรงดันออสโมติกได้ ตัวอย่างเช่น เมล็ดถั่วเขียวจะมีอัตราการงอกลดลงเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะที่มีความเค็มสูงและมีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งพบว่าอัตราการงอกลดลงเป็นครึ่งหนึ่งจากภาวะปกติ (Laloknam et al., 2008)

ผลของความเค็มต่อการเจริญของพืช

ความเค็มมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง เนื่องจากความเค็มจะมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชในหลายๆ ด้าน เช่น มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลต่อการหายใจของพืช ทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัดเพราะมีการหายใจมากขึ้นหรือมีการใช้สารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น และยังพบว่าความเค็มจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนแปลงไป คือยับยั้งการดูดธาตุอาหารอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสมดุลของประจุที่ทำให้เกิดความเค็ม โดยพบว่าความสมดุลระหว่างธาตุโซเดียมกับโพแทสเซียมในสภาพที่มีความเค็มสูงจะเป็นแบบหักล้างกัน คือเมื่อปริมาณประจุชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซึมประจุอีกชนิดหนึ่งลดลง เมื่อพืชมีการดูดโซเดียมเข้าไปมากจึงทำให้พืชไม่สามารถใช้โพแทสเซียมได้เต็มที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2539) นอกจากนี้พบว่าภาวะที่มีไกลซีน บีเทน โพรลีน และกลีเซอรอล จะทำให้รากของหอมใหญ่และถั่วเขียวเจริญได้ภายใต้ภาวะที่มีความเครียดจากเกลือเช่นเดียวกับภาวะปกติ (Laloknam et al., 2008)

กลไกในการทนเค็มของพืช

การทนเค็มของพืชคือความสามารถของพืชที่เจริญได้ภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น โดยพืชอาจมีการปรับตัวให้เหมาะสมในรูปแบบต่างๆ เช่น ความผิดปกติทางใบด้วยการห่อใบเพื่อลดการคายน้ำทางปากใบ สีของใบพืชเข้มขึ้นเนื่องจากใบมีคลอโรฟิลล์มาก และมีสารเคลือบใบ (cuticle) หนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ถ้ามีอาการรุนแรงอาจพบอาการปลายใบไหม้ เกิดจุดประบนใบ ใบม้วน และใบเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ การทนเค็มในช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็แตกต่างกันโดยช่วงระยะเวลาเริ่มแรกอาจเกิดความรุนแรงมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปสักระยะเวลาหนึ่งก็อาจปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลของพืชแต่ละชนิดได้ (อรุณี ยูวะนิยม และ สมศรี อรุณินท์, 2540)

พืชมีกลไกในการทนเค็มแตกต่างกัน ได้แก่ การใช้ต่อมเกลือ (salt gland) ลดปริมาณการสะสมเกลือในไซโทพลาสซึมโดยนำไปเก็บสะสมไว้ที่แวคิวโอล มีการสร้างเอนไซม์ต่างๆ เพื่อให้มีความสามารถทนต่อความเข้มข้นของเกลือสูง สะสมเกลือไว้ในบริเวณรากและลำต้น และมีการดูดน้ำเข้าสู่เซลล์เพื่อลดความเข้มข้นของเกลือในไซโทพลาสซึม รากพืชสามารถที่จะแทรกตัวในดินที่เป็นแผ่นทึบได้ หรือรากพืชจะหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีความเค็มสูง (เช่น รากจะอยู่บริเวณผิวดินถ้าดินชั้นล่างเค็ม) อาจสร้างสารเคลือบใบ หรือสร้างใบให้หนาขึ้นเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้ พืชบางชนิดจะมีการย้ายโซเดียมจากใบอ่อนไปยังใบแก่ ซึ่งจะได้รับอันตรายน้อยกว่า มีการเปลี่ยนแปลงให้ออกดอกเร็วหรือช้าเพื่อหลีกเลี่ยงช่วงที่ดินเค็ม หรือมีการลดความเครียดจากเกลือโดยการสะสมกรดอะมิโนและอนุพันธ์กรดอะมิโนบางชนิด เช่น โพรลีน กลูตาเมต และไกลซีน-บีเทน เป็นต้น (อรุณี ยูวะนิยม และ สมศรี อรุณินท์, 2540; Laloknam et al., 2008; Laloknam et al., 2006)

พืชชอบเกลือสามารถปรับตัวให้เจริญได้โดยใช้กลไกการทนเค็ม 2 ลักษณะ คือ กลไกการหลีกเลี่ยงเกลือ (salt avoidance) เช่น การอวบน้ำ (succulence) เพื่อรักษาสมดุลออสโมติกภายในเซลล์ พืชพวกนี้ ได้แก่ ชะคราม (*Suaeda maritema* Dum.) และ ผักเบี้ยทะเล (*Sesuvium portulacustum* L.) พืชบางชนิดจึงมีกระบวนการหลีกเลี่ยงเกลือ โดยรากจะเคลื่อนไปในทิศทางที่ดินไม่เค็มมาก หรือมีความชื้นเพียงพอที่เจือจางเกลือในดิน ทำให้ทนเค็มได้ปานกลาง เช่น หญ้าชันอากาศ (*Panicum repens* L.) และ หญ้าแพรก สำหรับหญ้าคาลล่า (*Leptochloa fusca* L.) ทนเค็มได้ในระดับสูงเพราะมีการลดจำนวนและปรับขนาดของโครงสร้างภายใน ได้แก่ ท่อลำเลียงน้ำและอาหาร พืชบางชนิดใช้กลไกการกำจัดเกลือ (salt excluded) เช่น การขับเกลือ (excretion) ออกจากใบและกาบใบ เพื่อปรับสมดุลออสโมติกในพืช เช่น โกงกาง (อรุณี ยูวะนิยม และ สมศรี อรุณินท์, 2540)

บทสรุป

ความเค็มมีผลต่อการเจริญของพืช เพราะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมผิดปกติ ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ส่งผลทำให้การงอกและการเจริญของพืชลดลง สิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถทนเค็มเรียกว่า ฮาโลไฟล์ ซึ่งอาศัยอยู่ภายใต้ระดับความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างกัน ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่เยื่อหุ้มเซลล์และแวคิวโอล รวมถึงการสะสมสารบางชนิด เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และ อนุพันธ์ของกรดอะมิโน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2539). **ดินเค็ม**. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ 2540-2544) กับโครงการพัฒนาดินเค็มเอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-4. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.

แผนที่ประเทศไทย . (2552). **แผนที่ทุ่งกุลาร้องไห้.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2552 จากเว็บไซต์: http:// maps.google.co.th/maps/mpl?ie=UTF8&moduleurl=http://maps.google.co.th/help/maps/local_search/

วิริยะธุรกิจ. (2552). **นิตยสาร สารคดี**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2552 จากเว็บไซต์: http://www.sarakadee. com/m-boran/2003/04-06/images/thungkula_14.jpg

ยงยุทธ โอสถสภา. (2524). **พืชกับความเค็มของดิน**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สหพืชผลท่าตูม. (2550). **แผนที่ทุ่งกุลาร้องไห้**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2552 จากเว็บไซต์: http://www. myjasminerice. com/images/contact/our_location_map.jpgmapplet.html&z=7&utm_campaign=th&utm_medium=et&utm_source=th-et-apac-th-gns-ls

เล็ก มอญเจริญ. (2540). **ความเค็มกับการเจริญเติบโต**. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน.

สมศรี อรุณินท์. (2539). **ดินเค็มในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สันติภาพ ปัญจพรรค์. (2543). **เอกสารประกอบการสอนเรื่องดินเค็มและพืชทนเค็ม**. ขอนแก่น: ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศุภจิตรา ชัชวาล, กนกวรรณ เกิดในมงคล, ปรีดา บุญ-หลง. (2545). สรีรวิทยาของการตอบสนองต่อสภาวะเครียดของพืช. **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์**, 1(1): 221-241.

อรุณี ยูวะนิยม และ สมศรี อรุณินท์. (2540). การวิจัยชอบเกลือเพื่อปลูกบนพื้นที่ดินเค็มจัด. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ**, 13 (1): 4-23.

Berg, S. (2000). **Principle biology 241**. Retrieved August 1, 2010, from http://course.winna.edu/sberg/////241 f99/Lec-note/Membrane.htm

Campbell, N.A., and Reece, J.B. (2002). **Biology** (6 th edition). San Francisco, USA: Pearson Education.

Csonka, L.N., and Hanson, A. D. (1991). Prokaryotic osmoregulation: Genetics and Physiology. **Annual Review of Microbiology**, 45: 569 – 606.

Laloknam, S., Tanaka, K., Buaboocha, T., Waditee, R., Incharoensakdi, A., Hibino, T., Tanaka, Y., and Takabe, T. (2006). Halotolerant Cyanobacterium *Aphanothece halophytica* Contains a Betaine Transporter Active at Alkaline pH and High Salinity. **Applied Environmental Microbiology**, 72(9): 6018 – 6026.

Laloknam, S., Sirisopana, S., Limchoovong, S., Phornphisutthimas, S., Kosiarpa, T., Areeyadej, W., Puangkwan, P., and Nilapai, Y. (2008). **Betaine, Glycerol, and Proline enhance seed germination and plant growth of Mung bean (*Vignaradiate* L.) under high salinity**. The 34th Congress on Science and Technology of Thailand. Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand:(CD-ROM).

Laloknam, S., Suksanchananun, C., Phornphi-sutthimas, S., Sirisopana, S., Limchoo-wong, S., and Rai, V. (2008). **Reduction of salt stress in onion root by glycerol, betaine and proline**. The 4th Naresuan Research Conference. Naresuan University, Pisanulok, Thailand: (CD-ROM).

Saffan, S.E.S. (2008). Effect of salinity and osmotic stresses on some economic plants. Research **Journal of Agriculture and Biological Sciences**, 4(2): 159 – 166.

Ventosa, A., Nicto, J. J., and Oren, A. (1998). Biology of moderately halophilic aerobic bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, 62: 504 – 544.