บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

การทำการเกษตรบนพื้นที่สูงส่วนใหญ่เป็นการเกษตรแบบอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ประกอบกับลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชัน ง่ายต่อการชะล้างพังทลาย อีกทั้งอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศที่มักต้องเผชิญกับภัยแล้ง และภาวะฝนทิ้งช่วงในฤดูแล้งเป็นประจำทุกปี ทำให้การผลิตพืชบนพื้นที่ดังกล่าวเกิดปัญหาในด้านการจัดการน้ำ และธาตุอาหารเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้แนวทางในการใช้พื้นที่ที่มีทรัพยากรน้ำอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ (site specific nutrient management) ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการประเมินการจัดการดิน น้ำ และปุ๋ย สำหรับการผลิตพืชอย่างยั่งยืน ซึ่งเกษตรกรจำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการการใช้น้ำ และธาตุอาหารของพืช เพื่อที่จะสามารถประเมินการให้น้ำ และปุ๋ยอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิต โดยไม่ให้เกิดการสะสมมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช และไม่น้อยเกินไปจนเกิดภาวะขาดแคลน ดังนั้น หากทราบความต้องการน้ำ และธาตุอาหารของพืชที่ปลูกโดยมีการจัดการอย่างเหมาะสมแล้ว พืชก็จะสามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต และลดผลกระทบของสารเคมีที่อาจตกค้างสู่สิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินจำเป็น โดยมีทฤษฎี และผลงานที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1. การให้ปุ๋ยตามความต้องการธาตุอาหารพืช (nutrient requirement)

ความต้องการธาตุอาหารพืช สามารถคำนวณได้จากปริมาณธาตุอาหารที่ถูกนำออกไปจากพื้นที่ (crop removal) และปริมาณธาตุอาหารในดิน พืชแต่ละชนิดต้องการใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกันไป และดินที่ใช้ปลูกพืชก็มีความอุดมสมบูรณ์ที่แตกต่างกัน การใช้ปุ๋ยมากเกินปริมาณความต้องการธาตุอาหารของพืช 2-3 เท่า มีโอกาสที่ปุ๋ยจะตกค้าง และสะสมอยู่ในดินเป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ จากการศึกษาของชูชาติ และคณะ (2559) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำ และปุ๋ยแก่พืชสำคัญบนพื้นที่สูง พบว่า ระบบการให้น้ำควบคู่กับการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตเบบี้ฮ่องเต้ เบบี้คอส และคอส ที่ปลูกในโรงเรือนของเกษตรกร ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โถเกษตรกรให้น้ำเฉลี่ย 3.83, 2.37 และ 3.11 มิลลิเมตร/วัน ในฤดูร้อน และให้น้ำเฉลี่ย 3.30, 2.54 และ3.50 มิลลิเมตร/วัน ในการปลูกช่วงฤดูฝน ในขณะที่พริกหวาน และมะเขือเทศโครงการหลวง ที่ปลูกบนดินในโรงเรือนของเกษตรกร ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง ต้องการใช้น้ำเฉลี่ย 6.03 มิลลิเมตร/วัน สำหรับการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น ในโรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ

ซึ่งเป็นการปลูกในระบบสารละลาย มีการให้สารละลายธาตุอาหาร เฉลี่ย 40.7 มิลลิเมตร/วัน ส่วนปริมาณความต้องการธาตุอาหารสำหรับการผลิตผักในโรงเรือน ในช่วงฤดูร้อน เบบี้ฮ่องเต้ ต้องการไนโตรเจน (N) 0.88 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.23 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 2.40 กิโลกรัม/โรงเรือน คอสต้องการไนโตรเจน (N) 1.66 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.34 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 3.19 กิโลกรัม/โรงเรือน และเบบี้คอส ต้องการไนโตรเจน (N) 0.34 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.06 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 0.61 กิโลกรัม/โรงเรือน ในช่วงฤดูฝน เบบี้ฮ่องเต้ต้องการไนโตรเจน (N) 1.29 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.20 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 2.33 กิโลกรัม/โรงเรือน คอสต้องการไนโตรเจน (N) 0.90 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.17 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 1.65 กิโลกรัม/โรงเรือน และเบบี้คอสต้องการไนโตเจน (N) 0.36 กิโลกรัม/โรงเรือน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.07 กิโลกรัม/โรงเรือน และโพแทสเซียม (K_2O) 0.65 กิโลกรัม/โรงเรือน สำหรับการผลิตผักในโรงเรือนของเกษตรกรศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวางมะเขือเทศโครงการหลวง ต้องการไนโตรเจน (N) 5.95 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 2.53 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม (K_2O) 10.54 กรัม/ต้น ในขณะที่ พริกหวานต้องการไนโตรเจน (N) 2.39 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.48 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม (K_2O) 3.19 กรัม/ต้น ส่วนการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในโรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ ซึ่งเป็นการปลูกในวัสดุปลูก แตงกวาญี่ปุ่นต้องการไนโตรเจน (N) 4.48 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 1.88 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม (K_2O) 8.07 กรัม/ต้น (ชูชาติและคณะ, 2559)

2.2. การให้น้ำตามความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Requirement)

ความต้องการใช้น้ำของพืชสามารถประมาณการได้จากการปริมาณน้ำที่ใช้ในการคายระเหยของพืช (Crop Evapotranspiration) แต่การให้น้ำตามความต้องการของพืชนั้นจะมีความซับซ้อน เนื่องจากต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน-น้ำ-พืช รวมถึงสภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสภาพอากาศที่ผันแปรในแต่ละวัน ดังนี้

2.2.1. ปริมาณน้ำในดิน (Soil water content) หรือความชื้นของดิน (Soil moisture)

น้ำในดินจะบรรจุอยู่ในส่วนของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เมื่อมีน้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างในดิน เรียกว่า ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่แรงดึงน้ำในช่องว่างในดิน (matric force) แตกต่างกันไปตามขนาดของช่องว่าง น้ำที่จุในช่องว่างขนาดใหญ่จะมีแรงดึงน้ำต่ำกว่าในช่องว่างขนาดเล็ก ดังนั้น หากดินชั้นบนที่ได้รับน้ำฝนหรือน้ำชลประทานจนอิ่มตัวน้ำในช่องว่างของดินจะเคลื่อนที่สู่ดินชั้นถัดไปด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยแรงดึงน้ำที่จุในช่องว่างขนาดใหญ่ และปานกลางมักมีค่าต่ำกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกจะเคลื่อนที่ออกไปจากชั้นดินบน โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน ทำให้ชั้น ดินบน

เหลือน้ำที่จุในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งมีแรงดึงน้ำเท่ากับแรงดึงดูดของโลก ปริมาณความชื้น ณ จุดที่น้ำในดินอยู่เต็มช่องว่างขนาดเล็กคือปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถอุ้มไว้ได้ภายใต้แรงดึงดูดของโลก เรียกว่า ความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC) หรือความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Soil water holding capacity) ซึ่งถือว่าเป็นจุดความชื้นในดินสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และเมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นในดินจะลดลงไปเรื่อย ๆ อันเนื่องจากกระบวนการ การดูดใช้ของพืชเพื่อใช้ในการคายน้ำ (Transpiration) และการระเหยสู่บรรยากาศโดยตรง (Evaporation) ขณะที่ความชื้นในดินลดลงค่าของแรงดึงน้ำในดินที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่พืชไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ได้ทำให้พืชเหี่ยวเฉาตาย เรียกจุด ณ ความชื้นดินต่ำสุดที่พืชไม่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ว่า จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point, PWP) ซึ่งถือว่าเป็นจุดต่ำสุดของน้ำในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้น ช่วงของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available water, AW) อยู่ระหว่าง FC ถึง PWP เรียกปริมาณน้ำในดินสูงสุดที่เป็นประโยชน์ ต่อพืชได้ว่า ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด (Total available water capacity, TAWC) (มัตติกา, 2549; วิบูลย์, 2526) ทั้งนี้ ปริมาณความชื้นที่จุด FC PWP และ ค่า TAWC ของดินแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความจุความชื้นสนาม (FC) ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP) และปริมาณความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน (AWC)

Soil Texture	FC % by V	PWP % by V	AWC % by V
Sand	10	5	5
Loamy Sand	12	5	6
Sandy Loam	18	8	10
Sandy Clay Loam	27	17	10
Loam	28	14	14
Sandy Clay	36	25	11
Silt Loam	31	11	20
Silt	30	6	24
Clay Loam	36	22	14
Silty Clay Loam	38	22	16
Silty Clay	41	27	14
Clay	42	30	12

ที่มา : https://www.decagon.com/en/support/how-do-i-determine-field-capacity/

2.2.2. หลักการให้น้ำชลประทานพืชผักในโรงเรือน

ผักถือว่าเป็นพืชที่ต้องการน้ำมาก วิธีการให้น้ำผักทั่วไปมักจะไม่ได้คำนึงถึงความจริงของความต้องการของพืช และปริมาณน้ำในดิน ทั้งนี้ ตามหลักการชลประทานจะคำนึงถึงประสิทธิภาพการให้น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำจำกัด โดยทั่วไปการชลประทานน้ำแก่พืชจะอาศัยหลักการความสมดุลระหว่างน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน และความต้องการใช้ของพืชเพื่อการคายระเหย

จากหลักการปริมาณน้ำที่ควรจะให้แก่พืชหรือน้ำชลประทาน (Irrigation water, IW) นั้นควรจะมีค่าเท่ากับน้ำที่พืชต้องการใช้ในการคายระเหย (Crop evapotranspiration, ETc) ดังสมการ

$$IW = ETc \qquad [1]$$

พบว่า ปริมาณน้ำที่พืชดูดใช้เพื่อการคายระเหยได้รับมาจากดิน ทั้งนี้ พืชแต่ละชนิดมีระดับความสามารถในการดูดใช้น้ำจากดินได้แตกต่างกัน ประกอบกับดินมีความจุของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันด้วย ดังนั้น การบริหารจัดการน้ำชลประทานแก่พืชจึงต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินและความต้องการใช้น้ำของพืชอย่างสมดุลกันเพื่อที่จะป้องกันการสูญเสียน้ำส่วนเกินจากการชลประทานที่มากเกินที่ดินจะสามารถจุไว้ได้ไปโดยสูญเสียไปกับกระบวนการซึมผ่านรากพืชไปยังดินชั้นลึกลงไป (Drainage) หรือการไหลบ่าหน้าดิน (Surface runoff) และอาจส่งผลให้รากพืชขาดออกซิเจนจากการอิ่มตัวของในดิน นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อการสูญเสียธาตุอาหารไปกับน้ำที่สูญเสียไปจากระบบรากพืช (root zone) อีกด้วย

การดูดใช้น้ำจากดินของพืชควรมีอัตราใกล้เคียงกับอัตราการคายน้ำของพืช หากอัตราการดูดใช้น้ำของพืชต่ำกว่าอัตราการคายน้ำของพืชจะทำให้พืชเกิดอาการเหี่ยว ทั้งนี้ อัตราการดูดใช้น้ำเพื่อการคายน้ำของพืช และการระเหยน้ำจากดินโดยตรงหรือรวมกันเป็นกระบวนการคายระเหยน้ำของแปลงพืช (Evapotranspiration) นั้น มีค่าผันแปรไปตามสภาพอากาศ หากสภาพอากาศมีอุณหภูมิสูง ความชื้นต่ำ และมีแสงแดดมาก อัตราการคายน้ำของพืชจะสูงขึ้น และอาจสูงกว่าอัตราการดูดใช้น้ำของรากพืชทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาชั่วคราว หากสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิต่ำลง แสงแดดลดลง ความชื้นเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการคายน้ำของใบพืชลดลงจนเท่ากับอัตราการดูดใช้น้ำของราก พืชก็จะทำให้พืชฟื้นจากอาการเหี่ยวนั้นกลับสู่สภาวะปกติได้ หากดินมีปริมาณความชื้นที่ลดลง (แรงดึงน้ำเพิ่มขึ้น) แต่พืชมีอัตราการคายน้ำเท่าเดิม และอัตราการดูดใช้น้ำของพืชลดลง ส่งผลทำให้แรงดูดน้ำโดยรากพืชยากลำบากขึ้น เหตุการณ์เช่นนี้ก็ทำให้พืชเกิดอาการเหี่ยวได้ และหากอาการเหี่ยวหรืออัตราการดูดใช้น้ำของพืชเกิดขึ้นบ่อย และอยู่ในช่วงที่สำคัญของพัฒนา และการเจริญเติบโตจะมีผลกระทบต่อการลดลงของผลผลิต หรือ คุณภาพเลวลงของพืชได้ ช่วงเวลาที่พืชขาดน้ำ และก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุด เรียกว่า ช่วงวิกฤต (critical period) โดยพืชแต่ละชนิดจะมีช่วงวิกฤตที่ความแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงช่วงวิกฤติในการขาดน้ำของพืชปลูกบางชนิด

ชนิดพืช	ช่วงวิกฤติ
กะหล่ำปลี	เริ่มออกดอกจนเก็บเกี่ยว
กะหล่ำดอก	ตลอดฤดูกาลปลูก
พืชผักขนาดเล็ก	ตลอดฤดูกาลปลูก
ข้าวโพด	ผลิดอกจนถึงติดฝัก
ถั่ว	ผลิดอกจนถึงออกฝัก
ธัญพืช	ตั้งท้องออกรวง
ฝ้าย	ผลิดอกจนถึงสมอแก่
มะเขือเทศ	ผลิดอกออกผล
ไม้ผลประเภทส้ม	ผลิดอกออกผล
ยาสูบ	สูงประมาณ 50 ซม. ถึงผลิดอก
อ้อย	ช่วงเจริญเติบโตเต็มที่

ดังนั้น การจัดการน้ำชลประทานของพืชควรจะให้น้ำในดินมีปริมาณแห้งจนเกินไปที่จะส่งผลทำให้พืชแสดงอาการขาดน้ำ จนส่งผลต่อการเจริญ และคุณภาพผลผลิต ซึ่งตามหลักการส่วนมากจะอยู่ระหว่าง จุด FC จนถึง จุดที่น้ำลดลงไป 1/2 หรือ 1/3 ของระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ (0.5 – 0.75 AWC) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชว่าทนต่อระดับน้ำในดินได้ระดับใดหรือความสามารถในการทดแล้งได้ของพืช นั่นหมายความว่า การบริหารจัดการน้ำแก่พืชที่เพาะปลูกควรดูแลน้ำในดินในระดับ root zone ไม่ให้ลดต่ำกว่าระดับ 0.5 หรือ 0.75 AWC โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะวิกฤตของการพัฒนาของพืชชนิดนั้นๆ และปริมาณการให้น้ำแก่ดินแต่ละครั้งเป็นการยกระดับปริมาณน้ำในดินจากความชื้นดินที่มีอยู่ไปถึงจุดสูงสุดที่ดินจะสามารถจุได้คือความชื้นที่จุด FC จึงจะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติ และทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดได้ โดยสูญเสียน้ำน้อยที่สุดนั่นคือทำให้การเพาะปลูกพืชนั้น มีประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) สูงสุดได้

2.2.3. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

จากสมการสมดุลน้ำในดิน (Allen *et al.*,1998) ที่พิจารณาจากความสมดุลระหว่างน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการได้รับ และการสูญเสียน้ำจากดินด้วยกระบวนการต่างๆ ดังสมการที่ 2 ที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณการคายระเหยของน้ำจากดินในระดับรากพืชซึ่งได้รับ (Input) ได้น้ำจากฝน (P, Precipitation) น้ำชลประทาน (I, Irrigation) และน้ำที่ซึมขึ้นด้วยแรงแคปปิรารี่มาจากระดับน้ำใต้

ดิน (CR, Capillary rise) รวมถึงน้ำที่ได้รับหรือสูญเสียไปกับการซึมน้ำใต้ผิวดินในแนวนอน (ΔSF , Sub-surface flow) ที่ทำให้น้ำในดินเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้น (ΔSW) โดยน้ำที่ได้รับมามีการสูญเสียน้ำบางส่วนไปกับกระบวนการต่าง ๆ เช่น น้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน (RO, Surface runoff) และน้ำที่ซึมลงไปสู่ดินชั้นล่าง (DP, Deep Percolation)

$$ET = I + P + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW - RO - DP \quad [2]$$

แต่สำหรับการจัดการน้ำในแปลงปลูกพืชในโรงเรือนที่มีการควบคุมระดับน้ำในชั้นดินเฉพาะระบบรากพืชให้มีปริมาณน้ำได้สูงสุดที่จุด FC จึงใช้แทนค่า SWCt ในสมการ [2] และมีการป้องกันไม่ให้น้ำเกิดการสูญเสียไปโดยการซึมสู่ดินชั้นล่าง (DP) และการเกิดการไหลบ่าหน้าดิน (RO) ไม่ได้รับน้ำจากฝน (P) และน้ำจากน้ำใต้ดิน (CR) ทำให้ปัจจัยเหล่านั้นมีค่าเป็นศูนย์ เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$ET = I \pm \Delta SW \quad [3]$$

หากพิจารณาตามหลักการชลประทานที่ต้องการให้พืชได้ใช้น้ำอย่างสม่ำเสมอ และควบคุมความชื้นดินก่อนให้ (SW1=FC) และหลังให้น้ำ (SW2=FC) ให้อยู่ระดับความชื้นสนาม นั่นหมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินหรือ ΔSW เป็นศูนย์ ซึ่งการให้น้ำของพืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (ET) เป็นหลัก โดย I = ET)

ทั้งนี้ การคายระเหยน้ำของพืชที่เกิดขึ้นจริง (actual ET, ETa) โดยปกติจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น สภาพอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ลม) ชนิดพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืช สภาวะของพืช (การขาดน้ำ การได้รับปุ๋ย การรบกวนของโรคและแมลง) แต่หากมีการควบคุมการให้ปุ๋ย และมีการอารักษ์ขาพืชไม่ให้มีโรค และแมลง และให้น้ำตามหลักการชลประทานเพื่อให้พืชได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่มีการขาดน้ำแล้วน่าจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตอย่างเต็มที่ และสูงสุด (optimum yield or maximum yield, Ym) นั่นคือ ต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำในดินให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้อย่างเพียงพอต่ออัตราการคายน้ำที่พืชต้องการในแต่สภาวะอากาศ จึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

นั่นหมายความว่า การให้น้ำชลประทานแก่พืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ต้องมีการพิจารณาควบคุมให้พืชนั้นๆ มีอัตราการคายระเหยสูงสุด (crop potential evapotranspiration, ETc) ขณะที่ต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำในดินให้มีปริมาณความชื้นที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้อย่างสะดวก กล่าวคือ ให้น้ำในดินมีในระดับที่ทำให้แรงดึงน้ำในดินไม่สูงเกินไปที่รากพืชจะดูดใช้ได้ไม่ยากลำบาก และทำให้สามารถมีอัตราการดูดใช้ของพืชเท่ากับอัตราการคายน้ำของพืช การพิจารณาการให้น้ำแก่พืชให้เหมาะสมต้องอาศัยหลักการความสัมพันธ์ของ พืช-น้ำ-ดิน หรือความต้องการน้ำของพืช และปริมาณความชื้นในดินนำมาพิจารณาร่วมกัน

ในส่วนของพืชควรพิจารณาจากความต้องการใช้น้ำของพืชสูงสุดซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการคายระเหยสูงสุด (ETc) ซึ่งการให้น้ำชลประทาน (I) ควรจะให้ตามความต้องการ

ของพืช ซึ่งสอดคล้องกับความสมดุลน้ำในดินของแปลงพืชที่มีการควบคุมการให้น้ำดังกล่าวข้างต้น ดังสมการที่ 4

$$I = ETc \quad [4]$$

เมื่อ I คือ ปริมาณน้ำที่พืชต้องการจากการชลประทาน (mm หรือ m^3) และETc คือ ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการคายระเหย (mm หรือ m^3) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$ETc = Kc*ETo \quad [5]$$

เมื่อ Kc คือ ค่าสัมประสิทธิการคายระเหยของพืชนั้น ๆ ขึ้นกับชนิดของพืช สภาพอากาศและระยะการพัฒนาของพืช มักจะมีการหาไว้แล้วในแต่ละประเทศ แต่หากไม่มีสามารถใช้ประมาณการจากประเทศอื่นที่มีสภาพอากาศใกล้เคียงกัน ETo คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่พืชอ้างอิง (หญ้า) ต้องการใช้ในการคายระเหย (mm) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากปัจจัยต่าง ๆ ของสภาพอากาศ ซึ่งมีหลายวิธีการ แต่ที่ FAO กำหนดให้เป็นมาตรฐานให้ค่าใกล้เคียงกับการคายระเหยสูงของพืชอ้างอิงคือวิธีของ Penman-Monteith

ขณะที่ในส่วนของความชื้นในดินอาศัยหลักการระดับความชื้นดินที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีในอัตราที่ต้องการ (ETc) อยู่ในช่วงระหว่างความชื้นสนาม (FC) ถึงระดับความชื้นที่ลดลงไปจากความชื้นสนามไม่เกิน 1/2 หรือ 1/3 ของความจุของน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total available water capacity, TAWC) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชว่าทนได้ในระดับใดที่จะไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตดังสมการที่ 6

$$I = FC - (0.5 \text{ or } 0.75)\ TAWC \quad [6]$$

เมื่อ I คือปริมาณน้ำในดินที่ต้องการเติมลงไปจากการชลประทาน (% by volume), FC คือปริมาณความชื้นสนาม (% by volume) และTAWC คือปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ได้ทั้งหมดในดินหรือความจุความชื้นในดิน (% by volume) สามารถหาได้จากความแตกต่างระหว่างความชื้นสนามและจุดความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP หน่วยเป็น % by volume) หรือ [FC–PWP] ทั้งนี้พืชประเภทผักส่วนใหญ่เป็นพืชไม่ทนต่อการขาดน้ำ จึงไม่ควรให้ปริมาณน้ำในดินลดลงไปเกิน 0.5 ของ TAWC

2.2.4. การกำหนดช่วงของการให้น้ำแต่ละครั้ง

จากความสัมพันธ์ พืช-น้ำ-ดิน จะได้ว่าเราสามารถใช้ความชื้นดินมาพิจารณาการให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้งได้จากสมการที่ [6] หรือหากไม่สามารถควบคุมความชื้นให้ลดลงได้ตามหลักการที่ 0.5 หรือ 0.75 TAWC เพื่อให้น้ำแต่ละครั้งแล้ว แต่ทราบความชื้น ณ เวลาที่จะให้น้ำ (SWt) สามารถหาปริมาณน้ำที่จะให้น้ำชลประทานได้จาก

$$I = FC - SWt \quad [7]$$

จากสมการที่ 4 การลดลงของปริมาณน้ำในดินถึง 0.5 หรือ 0.75 AWC นั้นจะกินเวลามากน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการคายระเหยน้ำของพืช (ETc, mm/day) สามารถหาระยะห่างของการให้น้ำแต่ละครั้งได้โดยการคำนวณจากปริมาณน้ำที่ลดลงไปหารด้วยอัตราการคายระเหยน้ำของพืช ดังสมการ

$$DI = (0.5 \text{ or } 0.75)\ TAWC / ETc \qquad [8]$$

เมื่อ DI คือช่วงการให้น้ำ หรือระยะห่างของการให้น้ำแต่ละครั้ง (วัน), TAWC คือ ความจุความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mm) และETc คือ อัตราการคายระเหยน้ำสูงสุดของพืช (mm/day)

2.2.5 ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (Water-use efficiency, WUE)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช เป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถใช้น้ำของพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตโดยเปรียบเทียบกับผลผลิตสูงสุดของพืชที่ควรได้รับ ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชในแง่ของทางด้านการเกษตร (Ayman, 2013) คำนวณได้จากสัดส่วนของผลผลิตต่อพื้นที่ของพืชหารด้วยปริมาตรน้ำที่ใช้ในการผลิตพืชต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นน้ำหนักของผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น กิโลกรัมต่อตารางเมตร (kg/m^3) เป็นต้น ดังสมการ

$$WUE\ (kg/m^3) = Y / Vw \qquad [9]$$

เมื่อ Y คือน้ำหนักผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (kg/m^2) และ Vw คือปริมาตรน้ำที่ใช้ในการสร้างผลผลิตนั้น (m^3) แต่ในเชิงปริมาณของใช้น้ำของพืชเพื่อนำไปใช้ในการระเหยน้ำจากดิน (E) หรือการคายน้ำของพืช (T) ซึ่งนำไปสู่ผลผลิตต่าง ๆ ของพืช หาได้ดังสมการที่ 10

$$WUE = (N/T) /(1+(E/T)) \qquad [10]$$

เมื่อ: E ปริมาณการระเหยของน้ำจากดิน, N คือน้ำหนักแห้งของผลผลิต N/T คือประสิทธิภาพการคายน้ำของพืช, T คือ ปริมาณการคายน้ำของพืช

2.2.6. การให้น้ำแบบน้ำหยด (Drip Irrigation)

การให้น้ำแบบหยดเป็นการให้น้ำแก่พืชที่ควบคุมบริเวณให้น้ำเป็นจุดที่มุ่งเน้นไปยังเขตของรากพืชโดยตรง ทำให้ใช้น้ำน้อย และดินมีแรงดึงน้ำต่ำอยู่ตลอดเวลา วิธีการส่วนใหญ่จะให้น้ำหยดออกจากท่อน้ำพลาสติก หรือ หัวฉีดช่องขนาดเล็กประมาณ 1-2 มิลลิเมตร บางครั้งอาจมีปัญหาการอุดตันจึงจำเป็นต้องมีระบบกรอง (วิบูลย์, 2526) ระบบนี้ลดปริมาณการสูญเสียน้ำรอบดิน พบว่าประสิทธิภาพของการให้น้ำระบบน้ำหยดลดการใช้น้ำ 30-50% เมื่อเทียบกับการให้น้ำแบบพื้นผิวที่ใช้เป็นประจำ (Nolan O'Connor and Khanjan Mehta, 2016) สอดคล้องกับ Maisiri *et al.*, (2005) เปรียบเทียบวิธีการให้น้ำแบบชลประทานพื้นผิว และวิธีให้น้ำแบบน้ำหยดกับพืชผัก พบว่า

ผลผลิตผักเมื่อมีการให้น้ำทั้ง 2 วิธีการ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยที่วิธีการให้น้ำแบบชลประทานพื้นผิวได้ผลผลิต 7.8 ตัน/เฮกแตร์ ส่วนวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดได้ผลผลิต 8.5 ตัน/เฮกแตร์ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการใช้ปุ๋ยร่วมด้วย ซึ่งการให้น้ำหยดใช้น้ำเพียง 35% ของการให้น้ำแบบชลประทานพื้นผิว จะเห็นได้ว่าวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดประหยัดน้ำกว่า 50% และสามารถควบคุมปริมาณการให้น้ำ และปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Kaijing Yang *et al.* (in press) ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนดินเปียก (ฟอสฟอรัส) และปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตมันฝรั่งภายใต้ระบบการให้น้ำหยดที่คลุมด้วยพลาสติก ผลการวิจัยพบว่า มันฝรั่งสามารถเพาะปลูกเมื่ออัตราฟอสฟอรัสปานกลาง P (40-50%) และอัตราของไนโตรเจน (135-150 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกแตร์) ภายใต้น้ำหยดกับคลุมด้วยพลาสติก ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ และเป็นการประหยัดน้ำ และปุ๋ยไนโตรเจน

Surendran U, *et al.*, (2016) พบว่า การให้น้ำหยดแบบต้นทุนต่ำ สามารถเพิ่มผลผลิตอ้อย (118.60 ตัน/เฮกแตร์) ในพื้นที่ขาดแคลนน้ำ (เขตเกษตรแห้งแล้ง) ได้อย่างยั่งยืน และเป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจมากกว่าการชลประทานแบบน้ำท่วม (94.40ตัน/เฮกแตร์) ในแง่ของการประหยัดพลังงานน้ำ และสิ่งแวดล้อม

2.2.7 การควบคุมการให้น้ำชลประทานแก่พืชผักแบบอัตโนมัติ

การให้น้ำชลประทานแก่พืชแบบอัตโนมัติเป็นการใช้หลักวิชาการการใช้น้ำของพืชในการจัดการน้ำชลประทานแก่พืชอย่างเหมาะสมตามความต้องการใช้น้ำของพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงอย่างมีประสิทธิภาพ (optimized yield) ด้วยการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการดำเนินการ ระบบการให้น้ำชลประทาน (Automatic irrigation system) มีหลายระบบ ตามหลักการที่ใช้ในควบคุมการให้น้ำ เช่น เวลา (Time base system) ปริมาณน้ำ (Volume Based System) ความชื้นในดิน (soil moisture) สภาพอากาศ (Weather base system) เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้กล่าวถึงในบางระบบที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ระบบการให้น้ำโดยการควบคุมด้วยเวลา (Time Base System)

ระบบนี้เป็นการควบคุมการ เปิด-ปิด น้ำด้วยเครื่องควบคุมเวลา (time clock controller) ระบบนี้จำเป็นต้องรู้เวลาที่แน่นอนในการให้น้ำ และปิดน้ำ โดยเครื่องจะถูกกำหนดให้เริ่มเปิดจ่ายน้ำตามเวลาที่กำหนดไว้ทุกวัน และจะปิดน้ำเมื่อใช้เวลาตามที่กำหนดไว้ เช่น 1 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งนี้ผู้ใช้ต้องคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวันตามที่พืชต้องการใช้ (water requirement, ลิตรต่อวัน) และอัตราการไหลของน้ำที่ให้ (application rate, ลิตรต่อชั่วโมง)

2) ระบบการให้น้ำโดยการควบคุมด้วยสภาพอากาศ (Weather base system)

เนื่องจากสภาพอากาศเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ลม และแสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการคายระเหย ของพืช (ETc) การผันแปรของสภาพอากาศทำให้พืชมีการดูดใช้น้ำจากดินในอัตราที่แตกต่างกันทำให้การปลูกพืชชนิดเดียวกันในแต่คนละช่วงเวลา หรือฤดูกาลมีความต้องการใช้น้ำแตกต่างกัน ดังนั้น การใช้ปัจจัยทางสภาพอากาศเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการคายระเหยของพืชอ้างอิงเพื่อนำไปสู่การประมาณการค่าการคายระเหยของพืชที่ต้องการด้วยการคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยน้ำของพืชชนิดนั้นๆ (Kc) ทำให้สามารถกำหนดอัตราการให้น้ำแก่พืชได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการของพืชได้ ทั้งนี้การให้น้ำอาจใช้ร่วมกับการกำหนดด้วยเวลา หรืออุปกรณ์รับสัญญาณ (sensor) สภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ เพื่อกำหนดการให้น้ำเป็นอัตโนมัติได้

3) ระบบการให้น้ำโดยการควบคุมด้วยความชื้นดิน (Soil moisture base system)

ระบบนี้ใช้หลักการแรงดึงน้ำในดินเป็นตัวกำหนดการให้น้ำซึ่งปริมาณน้ำที่จะให้ในแต่ละครั้งจะขึ้นกับชนิดของดิน และระดับแรงดึงน้ำที่กำหนดไว้ตามชนิดของเนื้อดิน ดังนั้นวิธีการนี้จำเป็นต้องรู้ชนิดของดิน โดยเฉพาะเนื้อดินเพื่อสามารถกำหนดปริมาณน้ำที่จะให้แต่ละครั้งจากความแตกต่างของระดับความชื้นดินที่ลดลงไปจากจุดความชื้นสนาม (FC) หรือที่แรงดึงน้ำในดินประมาณ 0.1 บาร์ จนถึงจุดวิกฤตของความชื้นดินต่อพืช การให้น้ำวิธีการนี้ความถี่ของการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับการใช้น้ำของพืชที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมได้ตลอดเวลา เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ลม ความชื้นอากาศ รวมถึงระยะการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจะมีผลต่อการดูดใช้น้ำจากดินของพืช