คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช
ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช

Crop Water Requirement

Reference Crop Evapotranspiration & Crop Coefficient

Handbook

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน

สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ

กรมชลประทาน

(ฉบับปรับปรุง กรกฎาคม 2554)

คำนำ

คู่มือการหาเรื่องปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืชเล่มนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน-น้ำ-พืช ขั้นตอนและวิธีการวางแผนการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืช เช่น ข้าว พืชไร่ พืชผัก ฯลฯ ตลอดจนการคิดคำนวณสูตรและสมการที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งทางด้านเกษตรและชลประทาน ให้กับผู้ที่ปฏิบัติงานในส่วนที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจศึกษาเพื่อจะได้มีความรู้และเข้าใจในหลักการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนงานและคิดคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช หรือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืชได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยเนื้อหาทั้งหมดจะกล่าวถึงนิยามศัพท์ที่สำคัญๆ ที่ใช้กันอยู่ในการชลประทานและเกษตรชลประทาน สูตรหรือวิธีการคำนวณต่างๆ ที่นิยมใช้กันอยู่ การจัดเตรียมข้อมูล ขั้นตอนและวิธีการคำนวณ ตลอดจนแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำไปใช้ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันถือได้ว่าข้อมูลที่เกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืชนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานทางด้านชลประทานและเกษตรชลประทานต้องศึกษาเรียนรู้และต้องมีความเชี่ยวชาญเป็นอันดับต้นๆ เพราะข้อมูลดังกล่าวถือว่าเป็นพื้นฐานของการวางโครงการชลประทาน การออกแบบระบบชลประทานและการบริหารจัดการน้ำให้แก่พื้นที่การเกษตร

อย่างไรก็ตามหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเล่มนี้นอกจากจะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชแล้วยังจะนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำในระดับโครงการชลประทาน การปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการส่งน้ำแล้วยังสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาแหล่งน้ำทางการเกษตร การพิจารณาวางโครงการ และการพิจารณาความเหมาะสมของโครงการ อันจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยความสะดวกรวดเร็วและถูกต้องได้อีกด้วย

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ค
<u>บทที่</u> 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<u>บทที่</u> 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน–น้ำ-พืช	3
2.1 คุณสมบัติของดิน	3
2.1.1 ส่วนประกอบและสถานะของดิน	3
2.1.2 เนื้อดิน	4
2.1.3 โครงสร้างของดิน	4
2.1.4 อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน	4
2.2 ชนิดของน้ำและความชื้นในดิน	5
2.2.1 น้ำในดิน	5
2.2.2 ความชื้นในดิน	6
2.3 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆของพืช	8
2.4 การหาค่าความชื้นในดิน	9
2.5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน	9
<u>บทที่</u> 3 องค์ประกอบในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช	11
3.1 นิยามศัพท์	11
3.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช	12
3.2.1 โดยการตรวจวัด	13
3.2.2 โดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<u>บทที่</u> 4 การคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช	22
4.1 ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น	22
4.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	22
4.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง	22
4.4 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝก	32
<u>บทที่</u> 5 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืช	36
5.1 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว	36
5.2 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่	44
5.3 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชผัก	49
<u>บทที่</u> 6 การให้น้ำแก่พืช	55
6.1 หลักการให้น้ำแก่พืช	55
6.2 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช	55
6.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำ	57
6.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน	57
6.3.2 สูตรที่ใช้คำนวณ	57
6.3.3 ตัวอย่างการคำนวณ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สมการและตารางประกอบการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง	62
ภาคผนวก ข ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)	81
ภาคผนวก ค ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่างๆ	6
2	แสดงความสามารถในการเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินต่างๆ	7
3	แสดงค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (As) ชนิดต่างๆ	10
4	แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์พืชเฉลี่ยตลอดอายุที่ได้จากผลการทดลอง	12
5	สรุปความต้องการข้อมูลของสูตรต่างๆเพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง	21
6	สรุปข้อมูลสภาพภูมิอากาศของการหาปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝก	23
7	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Modified Penman	24
8	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Blaney Criddle	25
9	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี E-pan	26
10	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Thornthwaite	27
11	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Hargreaves	28
12	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Radiation	29
13	การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith	30
14	แสดงปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกจากถัง Lysimeter และค่าสหสัมพันธ์พืช	32
15	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกและค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ	33
16	แสดงค่าสหสัมพันธ์พืชและค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ	34
17	แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข.23 ตามช่วงระยะการเจริญเติบโต	41
18	แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข.23 ตามช่วงระยะการเจริญเติบโตจากถังทดลองและจากสูตร	42
19	แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวพันธุ์ กข.23 ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	43
20	แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของงาดำพันธุ์นครสวรรค์	46
21	แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของงาดำพันธุ์นครสวรรค์ตามช่วงระยะการเจริญเติบโตจากถังทดลองและจากสูตร	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของงาดำพันธุ์นครสวรรค์ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ	48
23	แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของมะระจีน	52
24	แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของมะระจีนจากถังทดลองและจากสูตร	53
25	แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะระจีน	54
26	แสดงผลการคำนวณหาความลึกของน้ำที่ต้องส่งให้พืชตามค่าความลึกเขตรากพืช	58
27	Adjustment factor (c) in Presented Modified Penman Equation	71
28	Mean daily percentage (p) of annual daytime hours for different months and different latitudes	72
29	Pan coefficient (Kp) for Class A pan for different ground cover and levels of mean relative humidity and 24 hour wind.	73
30	Maximum possible duration of sunlight in the northern hemispheres expressed in units of 30 days of 12 hours each (d)	74
31	Saturation vapour pressure (e°(T)) for different temperatures(T)	75
32	Slope of vapour pressure curve (Δ) for different temperatures (T)	76
33	Number of the day in the year (J)	77
34	Conversion factors to convert wind speed measured at given height (over grass) to wind speed measured at standard height of 2 m above ground surface	78
35	Units and symbols	79
36	Performance of various ETo methods	80

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโดยปริมาตรและสถานะ	3
2	แสดงการแบ่งระดับชั้นของน้ำและความชื้นในดิน	5
3	แสดงความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ	8
4	กราฟแสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ	35
5	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ	35
6	แสดงรูปแบบของถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว	37
7	แสดงแผนผังการวางถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าวในแปลงทดลอง	38
8	แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของการวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว	39
9	ภาพตัดขวางของถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าวแสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ	40
10	แสดงแผนผังถังทดลองวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่	45
11	แสดงแผนผังถังทดลองวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชผัก	50
12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช	56
13	Prediction of ETo from Blaney Criddle **f** factor for different conditions of minimum relative humidity, sunshine duration and day time wind.	68
14	แสดงรูปแบบของการติดตั้งถาดวัดการระเหยในสภาพแวดล้อมต่างๆ	69
15	Prediction of ETo from W.Rs for different conditions of mean relative humidity and day time wind.	70

<u>บทที่</u> 1
บทนำ

1.1 <u>ความเป็นมา</u>

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ ความต้องการน้ำของพืช (Evapotranspiration or Consumptive Use ; ET) ในความเป็นจริงแล้วสามารถทำการตรวจวัดได้โดยตรง เช่น จากแปลงทดลองและจากถังวัดปริมาณการใช้น้ำ (Lysimeter) ซึ่งให้ผลที่ถูกต้องแต่มีปัญหาในทางปฏิบัติอยู่คือไม่สามารถนำผลไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกแหล่งอื่นๆ ที่ไม่มีเครื่องมือชนิดนี้หรือพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในสถานที่ใดหรือจังหวัดใดนั้นสามารถหาได้โดยการใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration ; ETo) และค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc) ซึ่งได้จากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศของท้องที่นั้นๆ นำมาคำนวณโดยใช้สูตรหรือวิธีการที่ออกแบบมาสำหรับการคำนวณหาโดยเฉพาะ นำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์พืชของพืชที่ต้องการจะปลูกหรือต้องการทราบค่าปริมาณการใช้น้ำก็จะได้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ ณ สถานที่ตามต้องการ

ในปัจจุบันมีสูตรหรือวิธีการต่างๆ สำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืชอยู่มากก็ตาม ซึ่งแต่ละสูตรที่ใช้คำนวณนั้นมีตั้งแต่สูตรเอมไพริกอลอย่างง่ายๆ ที่ต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียวหรือสองอย่าง ไปจนกระทั่งถึงสูตรที่มีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและต้องการข้อมูลหลายอย่างและมีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามไม่จำเป็นว่าสูตรที่ยุ่งยากและต้องการข้อมูลหลายๆ อย่างจะให้ค่าถูกต้องดีกว่าสูตรง่ายๆ เสมอไป การที่จะเลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่งมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการนั้นจะต้องพิจารณาจากลักษณะของงาน ความละเอียดถูกต้อง ข้อมูลสนับสนุนที่มีอยู่แล้วรวมถึงเครื่องมือเครื่องใช้ที่จะนำมาตรวจวัดเพื่อให้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์พืช

สูตรหรือวิธีการที่ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักยอมรับกันอย่างแพร่หลายสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงนั้นส่วนใหญ่เป็นวิธีการที่ FAO ให้การยอมรับและถูกนำมาใช้เผยแพร่ สำหรับวิธีการที่เหมาะสมกับประเทศไทยนั้นโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกันหลายสูตรซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและเป็นที่ยอมรับได้แก่วิธีการของ E-pan, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Radiation, Hargreaves และวิธีการของ Penman เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงสูตรที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยอาศัยพื้นฐานจากวิธีการของ Penman เช่น Modified Penman และ Penman-Monteith (Martin,1992 : 39-58) เป็นต้น จากการทดลองโดยใช้วิธีการของ Penman กับวิธีการต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับประเทศไทยและจากรายงานการใช้ในที่ต่างๆ จากทั่วโลกปรากฏว่าวิธีการของ Penman และวิธีการอื่นในตระกูล Penman ให้ผลการคำนวณที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ดีกว่าสูตรอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าวิธีการของ Penman ได้รวบรวมองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการใช้น้ำของพืชมารวมไว้อย่างครบถ้วนไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, ความยาวนานของชั่วโมงแสงแดด, รังสีดวงอาทิตย์ ฯลฯ

รวมถึงข้อมูลที่สำคัญของสภาพภูมิประเทศด้วย นอกจากนี้การพัฒนาวิธีการต่างๆ ก็ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าวิธีการอื่น

1.2 <u>วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือ</u>

1. เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องทางด้านชลประทานและเกษตรชลประทานในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ-พืช และความต้องการน้ำของพืช หรือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช

2. เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการดำเนินการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชและการคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration ; ETo) โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc) อย่างรวดเร็วและถูกต้องตามหลักวิชาการ

3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเอกสารอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง

1.3 <u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

1. ทำให้ผู้ปฏิบัติสามารถเรียนรู้และมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ-พืช และการใช้น้ำของพืช

2. สามารถวางแผนและดำเนินการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

3. สามารถเลือกใช้ และคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยอาศัยสูตรต่างๆ ได้โดยอาศัยโปรแกรมคำนวณที่ได้จัดทำขึ้นพร้อมกับการจัดทำเอกสารเล่มนี้สำหรับสูตรต่างๆเพื่อความสะดวกรวดเร็วและถูกต้องในการคำนวณค่าปริมารการใช้น้ำของพืชอ้างอิงต่อไป

4. สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืชได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

5. สามารถนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำของพืชทั้งหมดไปใช้ประโยชน์ทางด้านการชลประทานและเกษตรชลประทานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

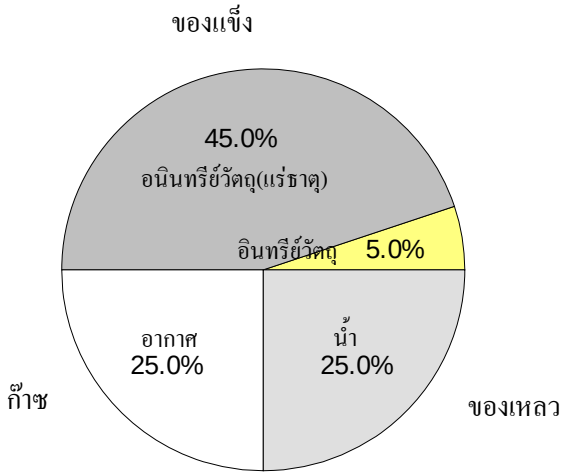
ความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน-น้ำ-พืช

2.1 คุณสมบัติของดิน

คุณสมบัติที่สำคัญของดินที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำและพืชที่สำคัญๆ คือ

2.1.1 ส่วนประกอบและสถานะของดิน

ดินทางการเกษตรที่เหมาะกับการปลูกพืชนั้นจะต้องหมายถึงดินที่มีส่วนประกอบ 4 อย่างคือ อินทรีย์วัตถุ อนินทรีย์วัตถุ น้ำและอากาศ ที่อยู่ในรูป 3 สถานะคือ อินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุรวมกันเป็นส่วนของของแข็ง ที่เหลือจะเป็นช่องว่างและช่องว่างเหล่านี้จะเป็นที่อยู่ของของเหลว ซึ่งเป็นสถานะของน้ำหรือสารละลายที่อยู่ในดินและก๊าซคือส่วนที่เป็นอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ไม่ได้เป็นของเหลวดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโดยปริมาตรและสถานะ

สำหรับช่องว่างในดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ ช่องว่างขนาดใหญ่และช่องว่างขนาดเล็ก ช่องว่างขนาดเล็กจะเป็นที่อยู่ของน้ำที่พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ ส่วนช่องว่างในดินขนาดใหญ่น้ำในดินสามารถไหลผ่านได้สะดวกจึงมักเป็นที่อยู่ของอากาศในดิน

2.1.2 <u>เนื้อดิน</u>

ลักษณะของเนื้อดินที่ระดับชั้นต่างๆ ในบริเวณเขตรากพืช เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรู้ เพราะลักษณะของเนื้อดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณน้ำที่ดินสามารถอุ้มเอาไว้ได้สำหรับให้พืชนำไปใช้และยังมีอิทธิพลต่อการไหลซึมของน้ำลงไปในดินอีกด้วย

เนื้อดินเป็นคุณสมบัติของดินที่บอกถึงความหยาบหรือความละเอียดของดิน ปกติแล้วดินจะประกอบด้วยส่วนผสมของอนุภาคหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ทราย (Sand) ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay)

สำหรับดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบหลัก เรียกว่า ดินเนื้อหยาบ และดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก เรียกว่า ดินเนื้อละเอียด ซึ่งจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินทรายซึ่งมีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย มีการระบายน้ำดีแต่อุ้มน้ำไว้ได้น้อย

2.1.3 <u>โครงสร้างของดิน</u>

โครงสร้างของดินเป็นคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการเรียงตัวและการเกาะกันระหว่างเม็ดดินเป็นก้อนดิน ปกติแล้วโครงสร้างของดินกำหนดจากรูปร่าง ขนาด ความคงทนต่อการแตกแยกของเม็ดดิน เพราะโครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดิน อัตราการซึมของน้ำลงในดิน ตลอดจนการแผ่กระจายของรากพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของดินในเขตรากพืชอยู่เสมอ

2.1.4 <u>อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน</u>

อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างเช่น โครงสร้างของดิน เนื้อดิน ความลึกของน้ำบนผิวดิน สภาพของผิวดิน ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ เป็นต้น

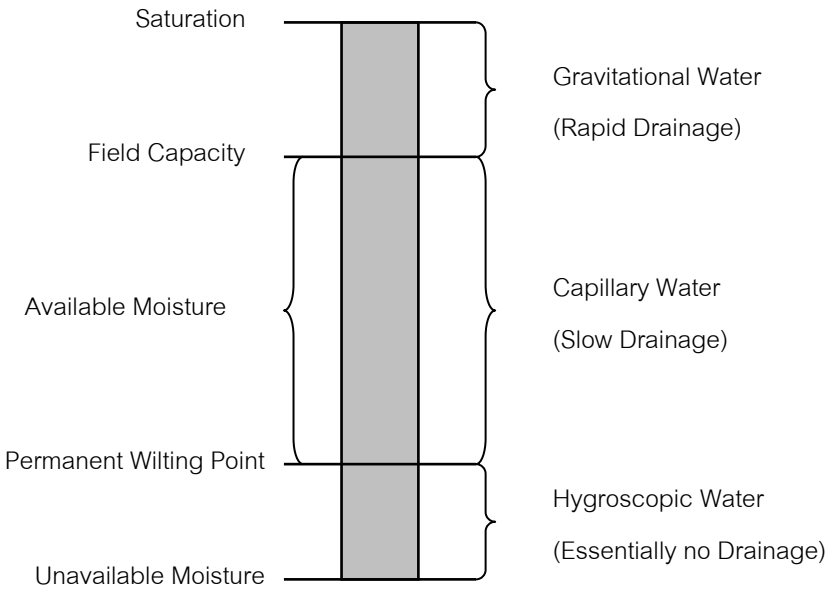
ค่าของอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินจะมีค่ามากเมื่อเริ่มต้นให้น้ำเนื่องจากผิวดินยังแห้งอยู่จึงดูดซับน้ำเอาไว้ได้อย่างรวดเร็ว แต่ขณะที่มีการให้น้ำต่อไปดินจะเริ่มมีการอิ่มตัวด้วยน้ำและค่าอัตรานี้จะค่อยๆ เริ่มลดลงจนถึงระดับหนึ่งที่ค่านี้จะมีค่าเกือบคงที่ตลอดไปจนกว่าจะหยุดการให้น้ำ

ในการให้น้ำแก่พืชนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการให้น้ำแบบพ่นฝอย ฉีดฝอยหรือแบบไมโครสปริงเกลอร์นั้น ไม่ควรให้น้ำในอัตราที่มากกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียของน้ำและการชะล้างพังทลายของดินได้

2.2 ชนิดของน้ำและความชื้นในดิน

2.2.1 น้ำในดิน

การเรียงตัวของเม็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆขึ้น เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ตามช่องว่างเหล่านี้และเกาะติดกับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินและน้ำ(Adhesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน(Cohesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่า แรงดูดซับ(Capillary Force) ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่าง เรากล่าวได้ว่าดินนั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาณสูงสุดที่ดินจะเก็บกักเอาไว้ได้ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ แต่เนื่องจากว่าสสารทุกชนิดที่อยู่บนพื้นผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลารวมถึงน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงดึงดูดระหว่างน้ำกับช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะน้อยกว่าช่องว่างขนาดเล็กดังนั้นเมื่อแรงดึงดูดดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำในดินก็จะมีการไหลออกนอกช่องว่างและไหลลงไปยังที่ต่ำกว่าซึ่งเรียกว่า น้ำอิสระ(Gravitation Water หรือ Free Water) เมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดการให้น้ำแก่พืช น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะถูกระบายออกโดยใช้เวลา 2-3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีน้ำอิสระจะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำที่มีในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งไม่ถูกระบายออกด้วยแรงดึงดูดของโลก อาจจะมีการระบายออกด้วยแรงดูดซับ(Capillary Water) ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ซึ่งช้ากว่าน้ำอิสระและจะมีทิศทางไปทางใดก็ได้โดยจะเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดูดซุบมากที่สุดเสมอและเป็นน้ำที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ได้



รูปที่ 2 แสดงการแบ่งระดับชั้นของน้ำและความชื้นในดิน

การสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดินและจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงจนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่งที่น้ำในดินไม่มีการเคลื่อนที่อีก ทั้งนี้เพราะว่าแรงที่น้ำหรือความชื้นจับยึดแน่น(Adhesive Force) เป็นแผ่นบางๆรอบเม็ดดินมีมากจนพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ พืชก็จะเหี่ยวเฉาและถ้าหากไม่มีการให้น้ำแก่พืชในตอนนี้แล้วพืชก็จะตายซึ่งน้ำยึดติดแน่นกับเม็ดดินและไม่สามารถที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือแรงดูดซับซึ่งเรียกว่า น้ำเยื่อ(Hygroscopic Water)

2.2.2 <u>ความชื้นในดิน</u>

ความชื้นในดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. <u>ความชื้นชลประทาน</u> (Field Capacity ; Fc)

หลังจากที่ Free Water ได้ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้ว ความชื้นในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จะคงเหลืออยู่แต่ Capillary water หรือปริมาณน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้เต็มที่ ซึ่งเรียกว่า *ความชื้นชลประทาน* (Field Capacity) หรือน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ที่ระดับแรงดัน 1/3 บรรยากาศ (บาร์) หรืออีกนัยหนึ่งในช่องว่างของดินที่ดูดซับน้ำไว้นี้จะมีแรงดึงดูดประมาณ 1/3 บาร์

ด้านการปฏิบัติในแปลงศึกษาทดลองฯ ค่าความชื้นชลประทานนี้ ไม่สามารถหาหรือคำนวณออกเป็นค่าที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่ายังมีการเคลื่อนที่ของ Capillary water อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงถือว่าปริมาณความชื้นในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีหลังจากที่มีฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำแล้ว 2 – 3 วันจะเป็นความชื้นที่ระดับความชื้นชลประทาน

<u>ตารางที่</u> 1 แสดงค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	ความชื้นชลประทาน (Field Capacity; Fc) % โดยน้ำหนักของดินแห้ง	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point; PWP) % โดยน้ำหนักของดินแห้ง
ดินทราย (Sandy)	6 – 12	2 – 6
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	10 – 18	4 – 8
ดินร่วน (Loam)	18 – 26	8 – 12
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	23 – 31	11 – 15
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay)	27 – 35	13 – 17
ดินเหนียว (Clay)	31 – 39	15 – 19

2. <u>ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร</u> (Permanent Wilting Point; PWP)

ความชื้นในดินที่พืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้เพียงพอสำหรับการคายน้ำ และหลังจากนั้นพืชจะเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เรียกว่า *ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร* (Permanent Wilting Point) หรืออีกนัยหนึ่งคือปริมาณน้ำที่ดูดซับไว้ด้วยแรงดึงดูด 15 บรรยากาศ (บาร์)

3. <u>ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้</u> (Available Moisture; AM)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตคือ Capillary Water ที่อยู่ระหว่าง Field Capacity และ Permanent Wilting Point ดังนั้นผลต่างระหว่างค่าความชื้นในดินทั้งสองนี้ก็คือ *ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้* (Available Moisture)

<u>ตารางที่</u> 2 แสดงความสามารถในการเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินต่างๆ

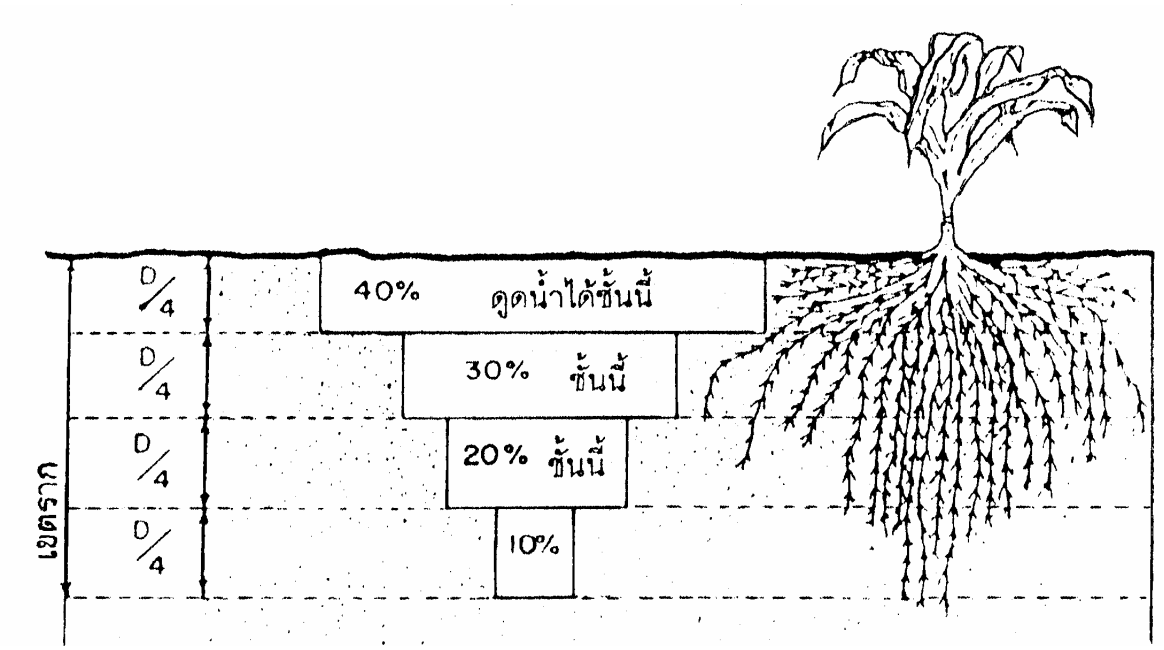
เนื้อดิน	ความสามารถเก็บน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
	ความลึกของน้ำเป็น มม./ความลึกของดิน 1 ซม.
ดินทราย (Sandy)	0.50 – 1.00 เฉลี่ย 0.7
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	1.0 – 1.50 เฉลี่ย 1.2
ดินร่วน (Loam)	1.20 – 1.90 เฉลี่ย 1.5
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	1.50 – 2.10 เฉลี่ย 1.8
ดินเหนียว (Clay)	1.30 – 2.50 เฉลี่ย 1.9

ความชื้นในดินช่วงจากความชื้นชลประทานถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร เป็นช่วงความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ซึ่งหมายความว่า ถ้าดินในเขตรากยังมีความชื้นอยู่เหนือระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้ว พืชส่วนใหญ่จะยังไม่มีการเหี่ยวเฉาในขณะที่ความชื้นลดลง แต่พืชบางชนิดที่ต้องการน้ำมากหรือมีความไวต่อการขาดน้ำสูงก็จะเริ่มมีอาการดังกล่าวให้เห็น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วจะไม่ยอมให้ค่าความชื้นในดินลดลงเข้าใกล้จุด PWP เป็นอันขาดทั้งนี้เพราะว่าเมื่อความชื้นในดินลดลงพืชจะใช้แรงดูดน้ำในดินเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากอัตราที่รากพืชดูดน้ำได้น้อยเกินไป การเจริญเติบโตของพืชจะหยุดชะงัก ผลผลิตลดลง ซึ่งวิธีการที่ถูกต้องควรเริ่มให้น้ำแก่พืชเมื่อความชื้นในดินลดลง 25-50 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเป็นสำคัญด้วย

2.3 <u>การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆของพืช</u>

เนื่องจากว่ารากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในตอนบนของเขตรากและในบริเวณโคนต้น ดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้อย่างรวดเร็ว นอกจากความชื้นที่พืชดูดไปใช้แล้ว ดินยังสูญเสียน้ำโดยการระเหยไปจากผิวดินอีก ขณะที่ความชื้นของดินในชั้นนี้ค่อยๆลดลงแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้น ในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงต้องมาจากดินในชั้นที่อยู่ต่ำลงมา

ในดินที่มีเนื้อสม่ำเสมอและมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตรากพืชจะใช้น้ำในตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก จากการทดลองพบว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีความชื้นมากพอกับความต้องการของพืชตลอดความลึก จะมีลักษณะการดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ ไปใช้คล้ายคลึงกัน กล่าวคือถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สอง 20 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สามและ 10 เปอร์เซ็นต์มาจากดินในชั้นที่สี่ตามลำดับ ดังแสดงใน <u>รูปที่</u> 3



<u>รูปที่</u> 3 แสดงความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ

2.4 <u>การหาความชื้นในดิน</u>

การหาค่าความชื้นในดินนั้น ในทางปฏิบัติสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการวัดความชื้นของดินโดยตรง (Gravimetric Sampling) การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน (Feel and Appearance) และการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Instruments) ได้แก่ การใช้เครื่องวัดแบบกระเปาะพรุน เช่น Tensiometer, การวัดโดยอาศัยการนำไฟฟ้า เช่น วิธี Gypsum Block, Porous Media และการวัดโดยใช้การกระจายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี เช่น วิธี Neutron Moisture Meter เป็นต้น ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการวัดความชื้นจากดินโดยตรงโดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปอบหาความชื้นเท่านั้นเพราะเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานศึกษาและทดลองหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช เพราะเป็นวิธีที่ให้ผลการตรวจวัดที่ค่อนข้างใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

การหาความชื้นจากดินโดยตรงโดยการเก็บตัวอย่างดิน เป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้ทราบว่าความชื้นในดินขณะนั้นลดลงถึงจุดที่ต้องให้น้ำได้หรือยัง โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในเขตรากพืชและที่จุดต่างๆ ที่สามารถใช้เป็นตัวแทนทั้งหมดของแปลงเพาะปลูก ตัวอย่างดินที่เก็บได้ควรจะมีน้ำหนักอย่างน้อย 100 กรัมและควรบรรจุอยู่ในภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้สูง มีน้ำหนักคงที่และต้องมีฝาปิดอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นรั่วไหล นำไปชั่งหาน้ำหนักดินเปียกแล้วนำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิระหว่าง 105-110 องศาเซลเซียสติดต่อกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างดินไม่ลดลงอีก จากนั้นจึงนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของดินแห้ง น้ำหนักของดินที่หายไปในการชั่งทั้งสองครั้งก็คือ จำนวนความชื้นในดินในขณะที่เก็บตัวอย่างนั่นเองโดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักของดินแห้ง

2.5 <u>การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน</u>

คุณสมบัติของดินในแปลงเพาะปลูกแต่ละแห่งมักจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการกำเนิดดินตลอดจนการเขตกรรม ทำให้ดินบางแห่งมีลักษณะแน่นทึบ บางแห่งมีลักษณะร่วนซุย บางแห่งมีเม็ดดินละเอียด บางแห่งมีเม็ดดินหยาบ คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและต่อความชื้นในดินที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวกับเนื้อดินและค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน

ค่าความถ่วงจำเพาะหรือค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Appearance Specific Gravity; As) คืออัตราส่วนระหว่างค่าความหนาแน่นของดิน (Bulk Density; Db) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันกับดินทั้งก้อนซึ่งรวมถึงช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย (γ)

การหาค่าความหนาแน่นของดินสามารถหาได้โดยใช้เครื่องมือสำหรับเจาะเก็บตัวอย่างดินที่รู้ปริมาตรความจุของกระบอกหรือปริมาตรของตัวอย่างดินที่เก็บได้คงที่ซึ่งส่วนมากจะให้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเมื่อนำตัวอย่างดินไปอบจนแห้งแล้วนำปริมาตรไปหารน้ำหนักตัวอย่าง ก็จะได้ค่าความหนาแน่นของดินตัวอย่างที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อ

$$Db = \frac{Ws}{V}$$

Db = ค่าความหนาแน่นของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

Ws = น้ำหนักของดินแห้ง (กรัม)

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เมื่อ As = ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน ( )

$$As = \frac{Db}{\gamma}$$

Db = ค่าความหนาแน่นของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

γ = ค่าความหนาแน่นของน้ำ

ในระบบเมตริกถ้าพิจารณาความหนาแน่นของน้ำ (γ) เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรแล้วค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏจะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของดินแต่จะต่างกันตรงที่ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏนั้นหน่วยจะหายไป และในระบบอังกฤษถ้าจะพิจารณาว่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 62.4 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตแล้ว ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏจะเท่ากับค่าความหนาแน่นของดินหารด้วย 62.4

ตารางที่ 3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (As) ชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As)
ดินทราย (Sandy)	1.55 - 1.80 (เฉลี่ย 1.65)
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	1.40 – 1.60 (เฉลี่ย 1.50)
ดินร่วน (Loam)	1.35 – 1.50 (เฉลี่ย 1.40)
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	1.30 – 1.40 (เฉลี่ย 1.35)
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay)	1.25 – 1.35 (เฉลี่ย 1.30)
ดินเหนียว (Clay)	1.20 – 1.30 (เฉลี่ย 1.25)

บทที่ 3
องค์ประกอบในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

3.1 นิยามศัพท์

1. การคายน้ำของพืช (Transpiration; T) หมายถึง การระเหยของน้ำออกจากต้นพืช โดยผ่านทางปากใบและผิวใบ มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา /หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

2. การระเหย (Evaporation; E) หมายถึง การระเหยของน้ำจากผิวน้ำและ/หรือผิวดิน มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลาหรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

3. ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Consumptive use or Crop Evapotranspiration; ET) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงๆ รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

4. ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) หรืออาจจะหมายรวมถึงค่า Potential Evapotranspiration; ETp ด้วยนั้น หมายถึงหลักการในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง โดยที่ดินจะต้องมีความชื้นอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลาและพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะต้องมีบริเวณกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำของพืชต้องกระทบกระเทือนจากอิทธิพลภายนอกมากนัก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน ทั้งนี้เพราะเพื่อต้องการให้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงนี้ขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลาและสถานที่ที่ใช้ทดลองนั้นหรือเป็นสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบ วิเคราะห์ ปรับปรุงตลอดจนแบ่งช่วงให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่จะนำไปใช้ โดยใช้สูตรหรือวิธีการคิดคำนวณที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Modified Penman, Penman Monteith, E-pan เป็นต้น

5. ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient; Kc) หมายถึง ค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) กับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) จากสูตรใดสูตรหนึ่ง โดยอยู่ในรูปสมการ

$$Kc = \frac{ET}{ETo}$$

ค่าสัมประสิทธิ์พืช จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปใช้งานในด้านชลประทานและการเกษตร ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในท้องถิ่นอื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นมาก่อนเลย เมื่อต้องการทราบก็สามารถนำค่า Kc มาคำนวณหาค่า ET ร่วมกับค่า ETo ที่ได้จากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นได้

สิ่งสำคัญที่สุดของการนำค่าสัมประสิทธิ์พืชไปใช้งานคือ จะต้องจำไว้เสมอว่าพืชแต่ละชนิด Kc ที่ได้จากการคำนวณสูตรหลายค่าด้วยกัน ดังนั้นก่อนนำค่า Kc ไปใช้งานต้องตรวจสอบเสียก่อนว่าเป็นค่า Kc ของสูตรใด เพื่อจะได้นำค่า ETo ของสูตรนั้นมาใช้ เพื่อค่า ET ที่ถูกต้องและนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าสัมประสิทธิ์พืชจะมีค่าที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและช่วงการเจริญเติบโตของพืชและสูตรที่ใช้ในการคำนวณหา ETo เป็นสำคัญ

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์พืชเฉลี่ยตลอดอายุที่ได้จากผลการทดลอง

สูตรหรือ วิธีการคำนวณ	ค่าสัมประสิทธิ์พืชเฉลี่ยตลอดอายุพืช		
	ข้าว (117 วัน)	งาดำ (89 วัน)	มะระ (74 วัน)
Modified Penman	1.37	0.84	1.03
Blaney-Criddle	0.98	0.64	1.21
E-pan (Pan Method)	1.49	0.89	1.08

3.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดนั้น สามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่วิธีการง่ายๆ ที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่สลับซับซ้อน ไปจนถึงวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษและมีราคาแพงสำหรับการตรวจวัด ซึ่งไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตามสุดท้ายผลลัพธ์ที่ได้จะต้องเป็นค่าการใช้น้ำของพืชที่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงค่าความเป็นจริงมากที่สุดและสามารถนำไปใช้งานได้จริง เป็นต้น หากจะแยกการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชออกตามวิธีการดำเนินการ สามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

3.2.1 <u>การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการตรวจวัด</u>

การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยตรงอาจทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสียตลอดจนมีปัญหาเข้ามาเกี่ยวข้องต่างๆ กัน การที่จะเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมหรือจัดหาเครื่องมือ ชนิดของพืชและองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายอย่าง วิธีการที่นิยมใช้กันโดยทั่วๆ ไปในงานด้านเกษตรชลประทานและวิศวกรรมชลประทานได้แก่

3.2.1.1. <u>การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช</u> (Lysimeter Tank)

การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืชนั้น ถ้าจะเปรียบเทียบกันแล้วก็คือกระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกพืชที่ต้องการวัดค่าการใช้น้ำ แล้วนำไปตั้งอยู่ท่ามกลางพื้นที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยให้มีสภาพทั้งภายในและภายนอกกระถางคล้ายคลึงกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด กระถางดังกล่าวต้องมีอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อจะได้นำมาคำนวณปริมาณน้ำใช้ของพืชในช่วงระยะเวลาต่างๆได้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชนิยมบอกเป็นค่าความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มิลลิเมตรต่อวัน ถังวัดการใช้น้ำของพืชที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแยกออกได้ตามลักษณะการทำงานเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก. <u>ประเภทวัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก</u>

ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบนี้วัดปริมาตรหรือความลึกของน้ำที่หายไปจากถังแล้วเทียบมาเป็นปริมาณน้ำที่พืชใช้ ถังที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

- ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปและระบายออกที่ก้นถัง

- ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ ถังแบบนี้มีการให้น้ำแก่พืชที่ปลูกโดยทางใต้ผิวดิน โดยการสร้างน้ำใต้ดินที่มีระดับคงที่ขึ้นภายในถัง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้ควบคุมโดยวาล์วลูกลอย

- ถังวัดการใช้น้ำของข้าว ถังแบบนี้ออกแบบไว้สำหรับวัดการใช้น้ำของข้าวโดยเฉพาะ ประกอบด้วยถังขนาดเดียวกัน 4 ถังเป็นถังเปิดหัวท้ายทั้ง 2 ด้านจำนวน 2 ถังและปิดก้นจำนวน 2 ถัง ในแต่ละแบบจะมีถังหนึ่งที่ไม่มีการปลูกข้าว แต่จะใช้วัสดุแบบอื่น เช่น หญ้าแห้งปักแทนข้าว

ข. <u>ประเภทวัดโดยอาศัยน้ำหนัก</u>

ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำของพืชโดยการสังเกตน้ำหนักหรือส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก เช่น ความดันหรือความเค้น โดยแยกออกได้เป็น

- ถังวัดการใช้น้ำแบบวัดด้วยเครื่องชั่ง
- ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย

3.2.1.2 <u>การศึกษาจากค่าความชื้นในดิน</u>

การศึกษาจากค่าความชื้นในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินที่สม่ำเสมอตลอดความลึก และระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินมาก วิธีวัดทำโดยการหาจำนวนความชื้นในดินก่อนและหลังให้น้ำแก่พืชทุกครั้ง

3.2.1.3 <u>การศึกษาจากแปลงทดลอง</u>

การศึกษาจากแปลงทดลอง แปลงทดลองควรมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินอย่างน้อย 25 เมตร ซึ่งจะทำให้เชื่อได้ว่าพืชไม่สามารถดูดน้ำใต้ดินมาใช้ได้ แล้วทำการทดลองโดยให้น้ำแก่พืชในปริมาณที่ต่างๆ กันแล้ววัดผลผลิตที่ได้รับ ซึ่งผลปรากฏว่าพืชทุกชนิดที่ทำการทดลองจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำเพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ให้แล้ว จะทำให้ผลผลิตลดลง จึงใช้ค่าปริมาณน้ำที่จุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงผลผลิตจากที่เพิ่มขึ้นเป็นลดลงนั้นเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ การทดลองนี้จะไม่มีน้ำไหลออกนอกแปลงทดลอง แต่ก็ไม่ได้วัดการไหลซึมของน้ำเลยเขตรากพืช ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชที่หาได้จึงมีค่าค่อนข้างสูงและไม่ได้รับความนิยม

3.2.2 <u>การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศ</u>

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่ง สูตรที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ ข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่และความสามารถในการนำไปใช้งาน ฯลฯ สูตรหรือวิธีการที่นิยมใช้กันในงานด้านชลประทานและเกษตรชลประทานซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 7 วิธีการ คือ Modified Penman, E–pan, Penman Monteith, Blaney Criddle, Thornthwaite, Hargreaves และ Radiation ซึ่งข้อมูลที่ต้องการ, รายละเอียดของสูตร รวมทั้งวิธีการคำนวณ สามารถกล่าวถึงโดยสังเขปได้ดังนี้

3.2.2.1 <u>ข้อมูล</u>

ข้อมูลที่ใช้คำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. <u>ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ</u>

ข้อมูลที่สำคัญของสภาพภูมิประเทศหรือทำเลที่ตั้งของสถานที่ที่ทำการคำนวณ ได้แก่ จุดพิกัดเส้นรุ้ง (Latitude) จุดพิกัดเส้นแวง (Longitude) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (altitude above mean sea level; MSL) เป็นต้น

2. ข้อมูลภูมิอากาศหรือสถิติอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่นำมาใช้ เป็นข้อมูลเฉลี่ยเป็นรายวัน, รายสัปดาห์หรือรายเดือนก็ได้แล้วแต่ช่วงการทดลองหรือความละเอียดของผลงานที่ต้องการ ข้อมูลที่สำคัญๆ สำหรับใช้ในการคำนวณ ได้แก่

1. อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature; °C แยกเป็น
   - อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย
   - อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย
   - อุณหภูมิเฉลี่ย
2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity; %)
   - ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย
3. ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2.00 ม. จากพื้นดิน (wind speed at 2.00 m. above ground; กม./วัน)
   - ความเร็วลมผิวดินเฉลี่ย
4. ชั่วโมงแสงแดด (Sunshine Duration; ชม./วัน)
   - ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย
5. การระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A pan (Evaporation; มม./วัน)
   - ค่าระเหยของน้ำเฉลี่ย

นอกจากนี้ ในกรณีที่ข้อมูลที่ต้องการดังที่กล่าวมาเกิดขาดหายไป เนื่องจากไม่ได้ทำการตรวจวัด หรือเครื่องมือตรวจวัดชำรุด ก็สามารถใช้ข้อมูลตัวอื่น นำมาปรับเปลี่ยนหรือแปลงค่าใช้แทนกันได้ เช่น

6. ค่าความครึ้มของเมฆ (Cloudiness; 0-10) สามารถใช้แทนค่าชั่วโมงแสงแดด
   - ความครึ้มของเมฆเฉลี่ย
7. ความเร็วลมที่ระดับความสูง.....เมตร. (wind speed at .....m. above ground; กม./วัน)
   - ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง.....เมตร.
8. ค่าความสูงจากพื้นดินของเครื่องมือวัดความเร็วลม (height of wind vane; m.) ใช้แทนความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2.00 ม. จากพื้นดิน
   - ความสูงจากพื้นดินเฉลี่ย……เมตร.

3.2.2.2 สูตรหรือวิธีการคำนวณ

สูตรหรือสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 7 สูตร ได้แก่

1. Modified Penman (FAO 24,1992:15-28)

ข้อมูลที่ต้องการ

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (สูงสุด, ต่ำสุด, เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความเร็วลมผิวดินหรือที่ระดับ 2.00 เมตร (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด (เฉลี่ย)

สมการ

$$ETo = c[W.Rn + (1-W).f(u).(e_s - e_a)]$$

ความหมาย

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

c = ค่าสำหรับใช้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Adjustment Factor) (ตารางที่ 27)

W = *factor* ที่อยู่ในเทอมที่เกี่ยวข้องกับรังสีแสงแดด

Rn = รังสีแสงแดดสุทธิ

(1-w) = อิทธิพลของลมและความชื้นในอากาศที่ทราบระดับและอุณหภูมิเฉลี่ย

f(u) = อิทธิพลของกระแสลม

(e_s-e_a) = ผลต่างระหว่างค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ย (e_s) กับความดันไอน้ำที่เป็นจริงเฉลี่ย (e_a)

2. Blaney-Criddle (FAO 24,1992:3-7 & Jensen,1983:200-203)

ข้อมูลที่ต้องการ

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (เฉลี่ย)

- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ต่ำสุด)
- ความเร็วลมกลางวันที่ระดับ 2.00 เมตร (U_2 day) (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด (เฉลี่ย)

สมการ

$$ETo = c\left[p\left(0.46T + 8\right)\right]$$

ความหมาย

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

T = ค่าอุณหภูมิประจำเดือนเฉลี่ย (°C)

P = เปอร์เซ็นต์ประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงกลางวันทั้งหมดในระยะเวลา 1 ปี (ตารางที่ 28)

c = ค่าปรับแก้ซึ่งมีผลมาจาก *RH min, n/N,* และ U_2 *day* (รูปที่ 13)

3. E-pan (FAO 24,1992:30-34 & Jensen,1983:203-205)

ข้อมูลที่ต้องการ

- ค่าการระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A pan (เฉลี่ย)

สมการ

$$ETo = kp\ x\ Epan$$

ความหมาย

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

Kp = ค่าสัมประสิทธิ์ของอ่างวัดการระเหยซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้ง *(ค่าเฉลี่ยสำหรับประเทศไทย = 0.85)* (รูปที่ 14 และตารางที่ 29)

Epan = ค่าการระเหยของน้ำที่อ่านได้จากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A Pan (มม.)

4. <u>Thornthwaite</u> (Brunce Withers & Stanley Vipond,1983:93-95)

<u>ข้อมูลที่ต้องการ</u>

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศรายเดือนตลอดปี (เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรายเดือนตลอดปี (เฉลี่ย)

<u>สมการ</u>

$$ETo = PET \; x \, m \, x 10$$

เมื่อ $$PET = e \, x \, d$$

โดยที่

e = $1.6\,(10T/I)^{a}$ เมื่อ $0.2 < T < 26.5$ °C และ

a = $(6.75\times10^{-7})I^{3} - (7.71\times10^{-5})I^{2} + (1.792\times10^{-2})I + 0.49239$ หรือ

e = $-39.702 + (3.09655)T - (0.041091)T^{2}$ เมื่อ $26.5 < T \leq 32.0$ °C และ

m = $1.505 \times [(100-Rh)/75] \times 0.372$

<u>ความหมาย</u>

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./เดือน)

PET = ค่าการระเหยน้ำของพืชโดยคำนวณจากสภาพภูมิอากาศตามสูตรของ Thornthwaite (ซม.)

e = ETo เฉลี่ยประจำเดือน

d = day length factor ประจำเดือน (<u>ตารางที่</u> 30)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน (°C)

I = Heat Index ของสถานีหรือสถานที่ทดลอง

$\sum i$ โดยที่ i = $(T/5)^{1.514}$

a = Exponent เกี่ยวกับที่ตั้งของสถานี

m = Humidity Factor

Rh = ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)

5. <u>Hargreaves</u> (Hargreaves and Samani,1985:96-99)

<u>ข้อมูลที่ต้องการ</u>

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศสูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ย (เฉลี่ย)

<u>สมการ</u>

$$ETo = 0.0023Ra(Tc + 17.8)\sqrt{TD}$$

<u>ความหมาย</u>

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

Ra = รังสีอาทิตย์ที่ได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุม สำหรับซีกโลกภาคเหนือหรือใต้ เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำที่ 20 °C (มม./วัน)

Tc = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)

TD = อุณหภูมิของอากาศสูงสุดเฉลี่ย (T_{max}) – อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (T_{min}) สำหรับช่วงระยะเวลาที่คำนวณ (°C)

6. <u>Radiation</u> (FAO 24,1992:8-14)

<u>ข้อมูลที่ต้องการ</u>

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความเร็วลมกลางวันที่ระดับ 2.00 เมตร (U_2 day) (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด (เฉลี่ย)

<u>สมการ</u>

$$ETo = c(W\ x\ Rs)$$

ความหมาย

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

Rs = รังสีแสงอาทิตย์ที่คิดเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ (มม./วัน)

W = *factor* ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความสูงจากระดับน้ำทะเล

c = ค่าตัวแปรปรับแก้ที่ขึ้นกับ RH mean, U_2 day (รูปที่ 15)

7. Penman Monteith (Smith,1990:47-58)

ข้อมูลที่ต้องการ

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (สูงสุด, ต่ำสุด, เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความเร็วลมผิวดินหรือที่ระดับ 2.00 เมตร (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด หรือค่าความครึ้มของเมฆ (เฉลี่ย)

สมการ

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

ความหมาย

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ ($MJ/m^2/d$)

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน ($MJ/m^2/d$)

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอ (kPa/°C)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (kPa/°C)

U_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ม. (m/s)

$(e_s - e_a)$ = ค่าความต่างของแรงดันไอ (kPa)

900 = *factor* ปรับแก้

ตารางที่ 5 สรุปความต้องการข้อมูลของสูตรต่างๆเพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

สูตร	ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์		ค่าระเหย	U_{day}	ลมที่ระดับ 2 ม. (U_2)	ชั่วโมงแสงแดด	อุณหภูมิของอากาศ			ความชื้นสัมพัทธ์		
	Latitude- Longitude	Altitude					สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
Modified Penman	●	●			●	●	●	●	●			●
Blaney-Criddle	●	●		●	●	●			●		●	
E-pan			●									
Thornthwaite									●			●
Hargreaves	●	●					●	●	●			
Radiation	●	●		●	●	●			●			●
Penman Monteith	●	●			●	●	●	●	●			●

บทที่ 4
การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช ในที่นี้จะขอใช้ตัวอย่างข้อมูลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกพันธุ์ราชบุรี ที่ได้ทำการทดลองที่สถานีศึกษาและทดลองการใช้น้ำชลประทานสามชุก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีมาเป็นตัวอย่างคำนวณ โดยเริ่มทดลองเมื่อ 1 มกราคม 2537 และสิ้นสุดเมื่อ 31 ธันวาคม 2537 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 365 วัน ซึ่งจะนำข้อมูลการใช้น้ำของพืชที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำ (Lysimeter) และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในช่วงที่ทดลองมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยใช้สูตรต่างๆ ทั้ง 7 สูตรตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้วและต่อจากนั้นจะได้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืช(Kc)ของหญ้าแฝกในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีต่อไป

4.1 ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น

ชื่อโครงการ	การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกพันธุ์ราชบุรี
สถานที่ดำเนินการ	สถานีค้นคว้าวิจัยการใช้น้ำชลประทานสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี
ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์	เส้นรุ้งที่ 14° – 46’ – 20” เส้นแวงที่ 100° – 05’ – 35” อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง + 8.660 เมตร
ระยะเวลาดำเนินการ	1 มกราคม 2537 ถึง 31 ธันวาคม 2537
ผู้ดำเนินการ	นายธีระพงษ์ พงษ์สว่าง และคณะ

4.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยานั่นเอง ข้อมูลที่จะนำมาใช้คำนวณจะต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ทำการทดลอง ข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นต่อการคำนวณสูตร ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ, ความเร็วลมผิวดิน, จำนวนชั่วโมงแสงแดด, ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และค่าการระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A Pan สำหรับรายละเอียดได้แสดงไว้ดัง ตารางที่ 6

4.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

รายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณสูตรต่างๆ ได้แสดงไว้ดัง ตารางที่ 7 – 13

ตารางที่ 6 สรุปข้อมูลสภาพภูมิอากาศของการหาปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝก

รายการ		ปี 2537												
		1-31 มค.	1-28 กพ.	1-31 มีค.	1-30 เมย.	1-31 พค.	1-30 มิย.	1-31 กค.	1-31 สค.	1-30 กย.	1-31 ตค.	1-30 พย.	1-31 ธค.	รวม เฉลี่ย
1. ปริมาณน้ำฝนรวม	มม.	7.2	-	210.4	3.7	84.9	151.8	26.4	93.9	196.0	129.7	-	-	903.5
จำนวนวันที่ฝนตก	วัน	1	-	4	1	13	12	16	17	19	10	-	-	93
2. จำนวนน้ำระเหยรวม	มม.	153.1	188.5	237.3	253.9	206.8	187.8	183.6	183.0	148.7	151.9	179.2	180.2	2254.0
เฉลี่ยต่อวัน	มม.	4.94	6.73	7.65	8.46	6.67	6.26	5.92	5.90	4.96	4.90	5.97	5.81	6.17
3. อุณหภูมิของอากาศ														
สูงสุด	°C	33.6	35.7	35.4	36.9	35.3	34.0	33.0	32.7	33.4	32.3	32.8	32.5	34.0
ต่ำสุด	°C	20.3	23.2	23.7	25.8	25.7	25.6	25.2	24.9	24.6	22.9	22.5	21.2	23.8
เฉลี่ย	°C	26.9	29.4	29.5	31.3	30.5	29.8	29.1	28.8	29.0	27.6	27.6	26.8	28.9
4. ความเร็วลมที่ระดับผิวดิน	กม./วัน	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8	60.3
(0.45 ม. เหนือผิวดิน)	กม./ชม	1.4	2.8	2.9	2.7	2.4	2.9	3.3	2.8	1.9	2.0	3.0	2.2	2.5
5. จำนวนชั่วโมงแสงแดดรวม	ชม.	279.8	241.0	238.1	283.0	218.1	121.4	112.1	111.6	181.7	253.8	276.3	186.6	2603.5
เฉลี่ยต่อวัน	ชม.	9.0	8.6	7.7	9.4	7.0	4.0	3.6	3.6	6.0	8.2	9.2	9.2	7.1
6. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ														
สูงสุด	%	80.0	81.5	79.9	78.9	80.9	78.1	78.1	78.1	97.1	97.9	91.5	92.9	85.7
ต่ำสุด	%	44.8	40.8	45.6	42.8	55.0	54.9	56.4	56.4	69.2	68.1	65.6	63.5	56.2
เฉลี่ย	%	62.4	61.1	62.7	60.8	67.9	66.5	67.2	67.2	83.1	83.0	78.5	78.2	70.9

ตารางที่ 7 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Modified Penman

Station :	**Samchook**		Latitude degree,LTD.....		**14.0**		Elevation of station above MSL.,(h)			**8.66**		
			lipda,LTL.....		**46.0**		Height of wind vane above ground,(z)			**0.45**		
Modified Penman Method			LT=0.01745*(LTD+LTL/60) =		0.258		$p=1010-.1115*H+(0.00175*H)^2$ =			1009.03		
Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Mean Temperature, T	° C	26.90	29.40	29.50	31.30	30.50	29.80	29.10	28.80	29.00	27.60	27.60	26.80
Mean Relative Humidity, RH	%	62.40	61.10	62.70	60.80	67.90	66.50	67.20	79.90	83.10	83.00	78.50	78.20
Sunshine Duration, n	hr./day	9.0	8.6	7.7	9.4	7.0	4.0	3.6	3.6	6.0	8.2	9.2	9.2
Wind Speed, U(z)	km./day	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8
$e_s=6.108\ exp(17.27*T/(T+237.3))$	mbar	35.44	40.99	41.23	45.70	43.66	41.95	40.29	39.60	40.06	36.93	36.93	35.24
$e_a=e_s*RH/100$	mbar	22.12	25.05	25.85	27.78	29.65	27.89	27.07	31.64	33.29	30.65	28.99	27.56
$U_2=U(z)*[4.87/ln(67.8*z - 5.42)]$	km./day	49.87	100.20	105.34	97.17	87.05	104.13	118.63	100.20	70.27	71.94	108.36	81.31
$f(U)=0.27*(1+U_2/100)$	km./day	0.405	0.541	0.554	0.532	0.505	0.551	0.590	0.541	0.460	0.464	0.563	0.490
$DL=[e_s/(T+276)]*[(6790/(T+276))-5.028]$		2.035	2.309	2.321	2.538	2.440	2.356	2.275	2.241	2.263	2.109	2.109	2.024
$w=DL/(DL+0.0006595*p)$		0.754	0.776	0.777	0.792	0.786	0.780	0.774	0.771	0.773	0.760	0.760	0.753
J=INT(30.42*M-15.23)		15	45	76	106	136	167	197	228	258	288	319	349
SD=0.4093*sin(0.0172*J-1.405)	radian	-0.373	-0.241	-0.040	0.166	0.329	0.407	0.375	0.239	0.045	-0.162	-0.331	-0.407
SL=1-0.01673*cos(0.01721*J)	radian	0.984	0.988	0.996	1.004	1.012	1.016	1.016	1.012	1.004	0.996	0.988	0.984
XX=sin(SD)*sin(LT)	radian	-0.093	-0.061	-0.010	0.042	0.082	0.101	0.093	0.060	0.011	-0.041	-0.083	-0.101
YY=cos(SD)*cos(LT)	radian	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888
NL=arcos(-XX/YY)	radian	1.467	1.506	1.560	1.615	1.661	1.685	1.675	1.635	1.583	1.528	1.480	1.457
N=7.64*NL	hr./day	11.21	11.50	11.92	12.34	12.69	12.87	12.79	12.49	12.09	11.67	11.31	11.13
$R_a=15.54*(NL*XX+sin(NL)*YY)/SL^2$	mm./day	12.19	13.45	14.90	15.73	15.92	15.84	15.82	15.73	15.15	13.95	12.55	11.81
n/N		0.80	0.75	0.65	0.76	0.55	0.31	0.28	0.29	0.50	0.70	0.81	0.83
$R_{ns}=0.77(0.25+0.50*n/N)*R_a$	mm./day	6.11	6.46	6.57	7.64	6.44	4.94	4.76	4.77	5.81	6.46	6.34	6.03
$R_{nl}=2.000424*10^{-9}*(0.34 -0.044 \sqrt{e_a})$ *(0.1+0.9*n/N)*$(T+273)^4$	mm./day	1.77	1.55	1.33	1.46	1.02	0.69	0.65	0.55	0.78	1.15	1.40	1.49
$(1-w)*f(U)*(e_s-e_a)$	mm./day	1.33	1.93	1.90	1.98	1.52	1.71	1.77	0.99	0.71	0.70	1.07	0.93
$w*R_n=w*(R_{ns}-R_{nl})$	mm./day	3.27	3.814	4.08	4.90	4.26	3.32	3.18	3.25	3.89	4.03	3.76	3.42
c (จากตารางที่ 21)		1.08	1.08	1.09	1.11	1.09	1.04	1.03	1.03	1.07	1.09	1.08	1.07
ETo=$c(w*R_n+(1-w)*f(U)*(e_s-e_a))$	mm./day	4.97	6.20	6.51	7.64	6.30	5.23	5.09	4.37	4.91	5.16	5.21	4.65
	mm./month	154.1	173.6	201.9	229.2	195.3	156.8	157.8	135.4	147.4	159.9	156.4	144.3

ตารางที่ 8 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Blaney-Criddle

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h)	**8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z)	**0.45**
Blaney-Criddle Method		LT=0.01745*(LTD+LTL/60) =	0.258		

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Mean Temperature, T	° C	26.90	29.40	29.50	31.30	30.50	29.80	29.10	28.80	29.00	27.60	27.60	26.80
Min Relative Humidity, RH	%	44.80	40.80	45.60	42.80	55.00	54.90	56.40	67.80	69.20	68.10	65.60	63.50
Sunshine Duration, n	hr./day	9.00	8.60	7.70	9.40	7.00	4.00	3.60	3.60	6.00	8.20	9.20	9.20
Wind Speed,U(z)	km./day	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8
	m./sec	0.382	0.767	0.807	0.744	0.667	0.797	0.909	0.767	0.538	0.551	0.830	0.623
U_2=U(z)*[4.87/ln(67.8*z - 5.42)]	m./sec	0.577	1.160	1.219	1.125	1.008	1.205	1.373	1.160	0.813	0.833	1.254	0.941
J=INT(30.42*M-15.23)		15	45	76	106	136	167	197	228	258	288	319	349
SD=0.4093*sin(0.0172*J-1.405)	radian	-0.373	-0.241	-0.040	0.166	0.329	0.407	0.375	0.239	0.045	-0.162	-0.331	-0.407
SL=1-0.01673*cos(0.01721*J)	radian	0.984	0.988	0.996	1.004	1.012	1.016	1.016	1.012	1.004	0.996	0.988	0.984
XX=sin(SD)*sin(LT)	radian	-0.093	-0.061	-0.010	0.042	0.082	0.101	0.093	0.060	0.011	-0.041	-0.083	-0.101
YY=cos(SD)*cos(LT)	radian	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888
NL=arcos(-XX/YY)	radian	1.467	1.506	1.560	1.615	1.661	1.685	1.675	1.635	1.583	1.528	1.480	1.457
N=7.6394*NL+0.1	hr./day	11.31	11.60	12.02	12.44	12.79	12.97	12.89	12.59	12.19	11.77	11.41	11.23
ค่า p (จากตารางที่ 22)		0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
f = p*(0.46*T+8)	mm.	5.30	5.60	5.82	6.27	6.39	6.30	6.20	5.95	5.98	5.59	5.38	5.08
n/N		0.80	0.74	0.64	0.76	0.55	0.31	0.28	0.29	0.49	0.70	0.81	0.82
$U_{2\ day}$ = 1.33 * U_2	m./sec	0.77	1.54	1.62	1.50	1.34	1.60	1.83	1.54	1.08	1.11	1.67	1.25
จากรูปที่...../กร๊าฟที่...../เส้นที่.....		9/5/1	9/5/1	9/5/1	9/5/1	9/9/1	9/9/1	9/9/1	9/9/1	9/9/1	9/6/1	9/3/1	9/3/1
ETo	mm./day	4.77	5.16	5.46	6.04	4.06	3.98	3.89	3.66	3.68	3.97	4.30	3.96
	mm./month	147.87	144.48	169.26	181.20	125.86	119.40	120.59	113.46	110.40	123.07	129.00	122.76

ตารางที่ 9 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี E-pan

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h)	**8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z)	**0.45**
E-pan Method				Windward side distance of green crop (m.)	**1000**

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Total Evaporation	mm./month	153.1	188.5	237.3	253.9	206.8	187.8	183.6	183.0	148.7	151.9	179.2	180.2
Average Evaporation, E	mm./day	4.94	6.73	7.65	8.46	6.67	6.26	5.92	5.90	4.96	4.90	5.97	5.81
Mean Relative Humidity, RH	%	62.40	61.10	62.70	60.80	67.90	66.50	67.20	79.90	83.10	83.00	78.50	78.20
Wind Speed, U(z)	km./day	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8
Case A : Pan placed in short green croped area													
K_p (จากตารางที่ 23)		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ETo = K_p * E	mm./day	4.20	5.72	6.51	7.19	5.67	5.32	5.03	5.02	4.21	4.17	5.08	4.94
	mm./month	130.14	160.23	201.71	215.82	175.78	159.63	156.06	155.55	126.40	129.12	152.32	153.17

ตารางที่ 10 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Thornthwaite

Station :	Samchook	Latitude	degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h) **8.66**
			lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z) **0.45**

Thornthwaite Method

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Mean Temperature, T	° C	26.90	29.40	29.50	31.30	30.50	29.80	29.10	28.80	29.00	27.60	27.60	26.80
Mean Relative Humidity, RH	%	62.40	61.10	62.70	60.80	67.90	66.50	67.20	79.90	83.10	83.00	78.50	78.20
$i = (T/5)^{1.514}$	° C	12.78	14.62	14.69	16.07	15.45	14.92	14.39	14.17	14.32	13.28	13.28	12.70
$I = \Sigma i$	° C	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67	170.67
$a = 6.75*10^{-7}*I^3-7.71*10^{-5}*I^2+ 1.792*10^{-2} * I + 0.49239$	° C	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66	4.66
$e = 1.6*(10*T/I)^a$ เมื่อ $0.2 \le T \le 26.5$	° C	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
$e = -39.702+3.09655*T-0.041091*T^2$ เมื่อ $26.5 \le T \le 32.0$	° C	13.86	15.82	15.89	16.96	16.52	16.08	15.61	15.40	15.54	14.46	14.46	13.77
$m = 1.505*[(100-RH)/75]^{0.372}$	%	1.164	1.179	1.161	1.182	1.098	1.115	1.106	0.922	0.865	0.866	0.946	0.950
d (จากตารางที่ 24)		0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
PET = e * d		13.45	14.40	16.36	17.64	18.33	17.37	17.48	16.63	15.85	14.61	13.74	13.36
ETo = PET *m*10	mm./month	156.52	169.71	189.92	208.58	201.24	193.72	193.45	153.33	137.04	126.55	129.90	126.97
	mm./day	5.05	6.06	6.13	6.95	6.49	6.46	6.24	4.95	4.57	4.08	4.33	4.10

ตารางที่ 11 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Hargreaves

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h) **8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z) **0.45**
Hargreaves Method		LT=0.01745*(LTD+LTL/60) :	0.258	

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Max Temperature, T_{max}	° C	33.6	35.7	35.4	36.9	35.3	34.0	33.0	32.7	33.4	32.3	32.8	32.5
Min Temperature, T_{min}	° C	20.3	23.2	23.7	25.8	25.7	25.6	25.2	24.9	24.6	22.9	22.3	21.2
Mean Temperature, T	° C	27.0	29.5	29.6	31.4	30.5	29.8	29.1	28.8	29.0	27.6	27.6	26.9
J=INT(30.42*M-15.23)		15	45	76	106	136	167	197	228	258	288	319	349
SD=0.4093*sin(0.0172*J-1.405)	radian	-0.373	-0.241	-0.040	0.166	0.329	0.407	0.375	0.239	0.045	-0.162	-0.331	-0.407
SL=1-0.01673*cos(0.01721*J)	radian	0.984	0.988	0.996	1.004	1.012	1.016	1.016	1.012	1.004	0.996	0.988	0.984
XX=sin(SD)*sin(LT)	radian	-0.093	-0.061	-0.010	0.042	0.082	0.101	0.093	0.060	0.011	-0.041	-0.083	-0.101
YY=cos(SD)*cos(LT)	radian	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888
NL=arcos(-XX/YY)	radian	1.467	1.506	1.560	1.615	1.661	1.685	1.675	1.635	1.583	1.528	1.480	1.457
$R_a=15.54*(NL*XX+\sin(NL)*YY)/SL^2$	mm./day	12.19	13.45	14.90	15.73	15.92	15.84	15.82	15.73	15.15	13.95	12.55	11.81
ETo$=0.0023*R_a*(T+17.8)*\sqrt{(T_{max}-T_{min})}$	mm./day	4.58	5.17	5.55	5.92	5.48	5.02	4.77	4.71	4.84	4.47	4.24	4.08
	mm./month	141.86	144.74	172.02	177.75	169.82	150.74	147.74	145.95	145.16	138.48	127.20	126.36

ตารางที่ 12 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Radiation

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h)	**8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z)	**0.45**
Radiation Method		LT=0.01745*(LTD+LTL/60) =	0.258	$p=1010-.1115*H+(0.00175*H)^2$ =	1009.03

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Mean Temperature, T	° C	26.90	29.40	29.50	31.30	30.50	29.80	29.10	28.80	29.00	27.60	27.60	26.80
Mean Relative Humidity, RH	%	62.40	61.10	62.70	60.80	67.90	66.50	67.20	79.90	83.10	83.00	78.50	78.20
Sunshine Duration, n	hr./day	9.00	8.60	7.70	9.40	7.00	4.00	3.60	3.60	6.00	8.20	9.20	9.20
Wind Speed,U(z)	km./day	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8
	m./sec	0.382	0.767	0.807	0.744	0.667	0.797	0.909	0.767	0.538	0.551	0.830	0.623
$U_2=U(z)*[4.87/\ln(67.8*z - 5.42)]$	m./sec	0.577	1.160	1.219	1.125	1.008	1.205	1.373	1.160	0.813	0.833	1.254	0.941
$e_s=6.108 \exp(17.27*T/(T+237.3))$	mbar	35.44	40.99	41.23	45.70	43.66	41.95	40.29	39.60	40.06	36.93	36.93	35.24
$DL=[e_s/(T+276)]*[(6790/(T+276))-5.028]$		2.03	2.31	2.32	2.54	2.44	2.36	2.27	2.24	2.26	2.11	2.11	2.02
w=DL/(DL+0.0006595*p)		0.754	0.776	0.777	0.792	0.786	0.780	0.774	0.771	0.773	0.760	0.760	0.753
J=INT(30.42*M-15.23)		15	45	76	106	136	167	197	228	258	288	319	349
SD=0.4093*sin(0.0172*J-1.405)	radian	-0.373	-0.241	-0.040	0.166	0.329	0.407	0.375	0.239	0.045	-0.162	-0.331	-0.407
SL=1-0.01673*cos(0.01721*J)	radian	0.984	0.988	0.996	1.004	1.012	1.016	1.016	1.012	1.004	0.996	0.988	0.984
XX=sin(SD)*sin(LT)	radian	-0.093	-0.061	-0.010	0.042	0.082	0.101	0.093	0.060	0.011	-0.041	-0.083	-0.101
YY=cos(SD)*cos(LT)	radian	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888	0.900	0.939	0.966	0.954	0.915	0.888
NL=arcos(-XX/YY)	radian	1.467	1.506	1.560	1.615	1.661	1.685	1.675	1.635	1.583	1.528	1.480	1.457
N=7.6394*NL+0.1	hr./day	11.31	11.60	12.02	12.44	12.79	12.97	12.89	12.59	12.19	11.77	11.41	11.23
$R_a=15.54*(NL*XX+\sin(NL)*YY)/SL^2$	mm./day	12.19	13.45	14.90	15.73	15.92	15.84	15.82	15.73	15.15	13.95	12.55	11.81
n/N		0.80	0.74	0.64	0.76	0.55	0.31	0.28	0.29	0.49	0.70	0.81	0.82
$R_s=(0.25+0.50*n/N)*R_a$	mm./day	7.90	8.35	8.50	9.88	8.33	6.40	6.16	6.18	7.52	8.35	8.19	7.79
$w*R_s$	mm./day	5.95	6.48	6.60	7.83	6.55	4.99	4.77	4.77	5.81	6.35	6.23	5.86
$U_{2\ day} = 1.33 * U_2$	m./sec	0.77	1.54	1.62	1.50	1.34	1.60	1.83	1.54	1.08	1.11	1.67	1.25
จากรูปที่...../กร๊าฟที่...../เส้นที่.....		10/3/1	10/3/1	10/3/1	10/3/1	10/3/1	10/3/1	10/3/1	10/4/1	10/4/1	10/4/1	10/4/1	10/4/1
ETo	mm./day	4.9	5.4	5.4	6.5	5.4	4.0	3.8	3.6	4.4	4.9	4.8	4.5
	mm./month	153.14	150.08	168.33	195.00	168.02	120.60	118.73	110.05	130.80	150.97	144.60	138.57

ตารางที่ 13 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(Z)	**8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z)	**0.45**

Penman Monteith Method

Items	Unit	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Max Temperature, T_{max}	° C	33.6	35.7	35.4	36.9	35.3	34	33	32.7	33.4	32.3	32.8	32.5
Min Temperature, T_{min}	° C	20.3	23.2	23.7	25.8	25.7	25.6	25.2	24.9	24.6	22.9	22.3	21.2
Mean Temperature, T	° C	27.0	29.5	29.6	31.4	30.5	29.8	29.1	28.8	29.0	27.6	27.6	26.9
Mean Relative Humidity, RH_{mean}	%	62.4	61.1	62.7	60.8	67.9	66.5	67.2	79.9	83.1	83.0	78.5	78.2
Sunshine Duration, n	hr./day	9.0	8.6	7.7	9.4	7.0	4.0	3.6	3.6	6.0	8.2	9.2	9.2
Wind Speed U(z)	km./day	33.0	66.3	69.7	64.3	57.6	68.9	78.5	66.3	46.5	47.6	71.7	53.8
	m./sec	0.382	0.767	0.807	0.744	0.667	0.797	0.909	0.767	0.538	0.551	0.830	0.623
$U_2=U(z)*[4.87/\ln(67.8*z - 5.42)]$	m./sec	0.577	1.160	1.219	1.125	1.008	1.205	1.373	1.160	0.813	0.833	1.254	0.941
$\varphi = 0.01745*(LTD+LTL/60)$	radian	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
J = int(30.42*M-15.23)		15	45	76	106	136	167	197	228	258	288	319	349
$\delta = 0.409 \sin(0.0172*J - 1.39)$	radian	-0.370	-0.236	-0.034	0.172	0.332	0.407	0.372	0.234	0.038	-0.168	-0.334	-0.407
$\omega_S = \arccos(- \tan\varphi * \tan\delta)$	radian	1.468	1.507	1.562	1.617	1.662	1.685	1.674	1.634	1.581	1.526	1.479	1.457
$dr = 1+0.033*\cos(0.0172*J)$	radian	1.032	1.024	1.009	0.992	0.977	0.968	0.968	0.977	0.991	1.008	1.023	1.032
$R_a = 37.6\ dr(\omega_S*\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_S)$	$MJ/m^2/day$	29.539	32.648	36.138	38.116	38.518	38.304	38.257	38.016	36.581	33.639	30.243	28.524
$N = 7.64\omega_S$	hr./day	11.218	11.516	11.933	12.350	12.697	12.872	12.788	12.482	12.078	11.660	11.301	11.131
n/N		0.802	0.747	0.645	0.761	0.551	0.311	0.282	0.288	0.497	0.703	0.814	0.827
$e°(T_{max}) = 0.6108 \exp[17.27*T_{max}/(T_{max} + 237.3)]$	kPa	5.202	5.844	5.748	6.241	5.717	5.319	5.030	4.946	5.144	4.836	4.974	4.891
$e°(T_{min}) = 0.6108 \exp[17.27*T_{min}/(T_{min} + 237.3)]$	kPa	2.382	2.844	2.931	3.322	3.302	3.283	3.206	3.149	3.093	2.792	2.693	2.518
$e_s = [e°(T_{max})+e°(T_{min})]/2$	kPa	3.792	4.344	4.339	4.781	4.509	4.301	4.118	4.048	4.119	3.814	3.833	3.704
$e_a = (RH_{mean}/100)*e_s$	kPa	2.366	2.654	2.721	2.907	3.062	2.860	2.767	3.234	3.423	3.166	3.009	2.897

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Station :	**Samchook**	Latitude degree,LTD.....	**14.0**	Elevation of station above MSL.,(h)	**8.66**
		lipda,LTL.....	**46.0**	Height of wind vane above ground,(z)	**0.45**

Penman Monteith Method

Items	**Unit**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
$e_s - e_a$	kPa	1.426	1.690	1.619	1.874	1.448	1.441	1.351	0.814	0.696	0.648	0.824	0.808
$\sqrt{e_a}$	kPa	1.538	1.629	1.649	1.705	1.750	1.691	1.664	1.798	1.850	1.779	1.735	1.702
$R_{ns} = 0.77[0.25+0.50(n/N)]R_a$	$MJ/m^2/day$	14.810	15.672	15.935	18.507	15.590	11.956	11.511	11.540	14.038	15.583	15.300	14.567
$R_{nl} = 2.45*10^{-9}[0.9*(n/N)+0.1]*(0.34-0.14*\sqrt{e_a})$ $*[(T_{max}+273)^4+(T_{min}+273)^4]$	$MJ/m^2/day$	4.076	3.552	3.055	3.350	2.359	1.616	1.546	1.291	1.808	2.669	3.240	3.407
$R_n = R_{ns} - R_{nl}$	$MJ/m^2/day$	10.734	12.119	12.879	15.157	13.232	10.340	9.965	10.248	12.230	12.914	12.060	11.160
G = 0 when daily soil heat flux over 10-30 day periods		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\lambda = 2.501-(2.361*10^{-3})T$	MJ/Kg.	2.437	2.431	2.431	2.427	2.429	2.431	2.432	2.433	2.433	2.436	2.436	2.438
$\Delta = 4098*e_s/(T+237.3)^2$	kPa/° C	0.223	0.250	0.250	0.271	0.258	0.247	0.238	0.234	0.238	0.223	0.224	0.218
$P = 101.3[(273+T_{mean})-(0.0065*Z)/(273+T_{mean})]^{5.26}$	kPa	101.200	101.201	101.201	101.201	101.201	101.201	101.201	101.201	101.201	101.200	101.200	101.200
$\gamma = 0.00163(P/\lambda)$	kPa/° C	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
ETo $= [0.408*\Delta*(R_n-G)+(900*\gamma*U_2*(e_s-e_a)/(T+273))]$	mm./day	3.76	4.74	4.95	5.75	4.83	4.06	3.98	3.56	4.01	4.14	4.09	3.73
$/[\Delta+\gamma*(1+0.34*U_2)]$	mm./month	116.62	132.59	153.39	172.60	149.71	121.89	123.30	110.34	120.34	128.46	122.75	115.66

4.4 <u>ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝก</u>

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝกจะใช้สมการและวิธีการคำนวณดังที่ได้กล่าวไว้แล้วใน <u>บทที่</u> 3 ในหัวข้อ 3.1 สำหรับตัวอย่างข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต่อการคำนวณที่ได้จากผลการทดลองฯ และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ รายละเอียดได้แสดงไว้ดัง <u>ตารางที่</u> 14- 16

<u>ตารางที่</u> 14 แสดงปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกจากถัง Lysimeter และค่าสหสัมพันธ์พืช

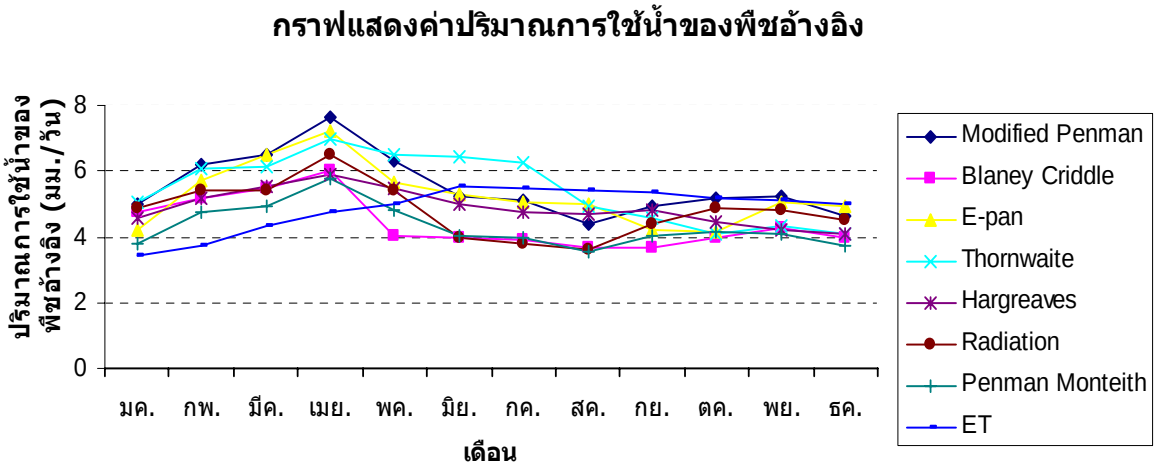
เดือน	ค่าระเหย (E) มม./วัน	น้ำฝน มม.	น้ำชลประทาน มม.	น้ำระบาย มม.	ปริมาณน้ำใช้ (ET)		ค่าสห-สัมพันธ์พืช (ET/E)
					ตลอดเดือน มม.	เฉลี่ยต่อวัน มม.	
มกราคม	4.94	7.2	150.0	50.5	106.7	3.44	0.69
กุมภาพันธ์	6.73	0	123.0	18.5	104.5	3.73	0.55
มีนาคม	7.65	210.4	49.0	125.5	133.9	4.32	0.56
เมษายน	8.46	3.7	171.5	32.7	142.5	4.75	0.56
พฤษภาคม	6.67	84.9	73.5	4.0	154.4	4.98	0.74
มิถุนายน	6.26	151.8	73.5	58.6	166.7	5.56	0.88
กรกฎาคม	5.92	26.4	147.0	3.6	169.8	5.47	0.92
สิงหาคม	5.90	93.9	98.0	23.6	168.3	5.43	0.92
กันยายน	4.96	196.0	49.0	84.9	160.1	5.34	1.07
ตุลาคม	4.90	129.2	73.5	43.0	159.7	5.15	1.05
พฤศจิกายน	5.97	0	171.5	17.4	154.1	5.14	0.86
ธันวาคม	5.81	0	247.0	91.9	155.1	5.00	0.86
รวม		903.5	1426.5	554.2	1775.8		
เฉลี่ย	6.17					4.86	0.79

ตารางที่ 15 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกและค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ

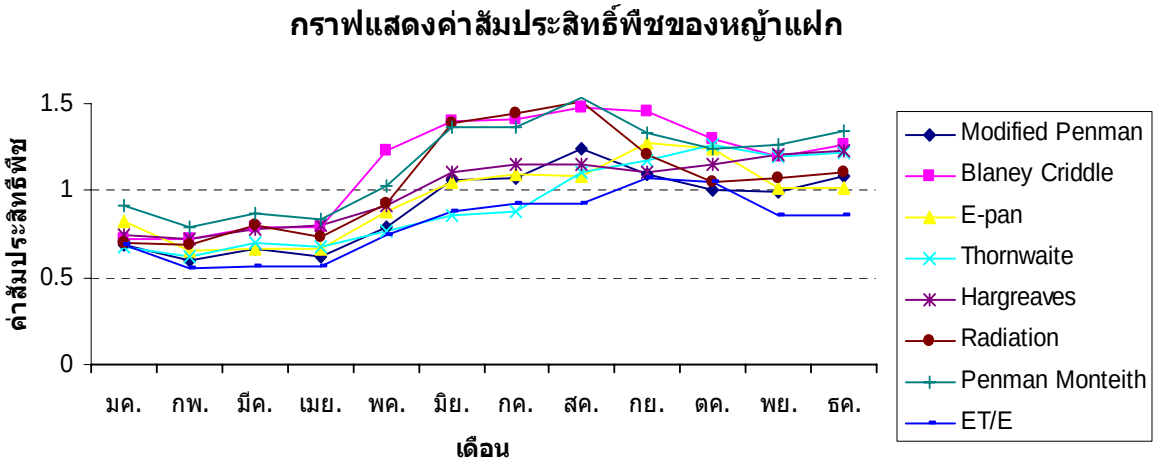
เดือน	จำนวนวัน	ET มม./วัน	ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration ; ETo) - มม./วัน						
			Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
มกราคม	31	3.44	4.97	4.77	4.20	5.05	4.58	4.90	3.76
กุมภาพันธ์	28	3.73	6.20	5.16	5.72	6.06	5.17	5.40	4.74
มีนาคม	31	4.32	6.51	5.46	6.51	6.13	5.55	5.40	4.95
เมษายน	30	4.75	7.64	6.04	7.19	6.95	5.92	6.50	5.75
พฤษภาคม	31	4.98	6.30	4.06	5.67	6.49	5.48	5.40	4.83
มิถุนายน	30	5.56	5.23	3.98	5.32	6.46	5.02	4.00	4.06
กรกฎาคม	31	5.47	5.09	3.89	5.03	6.24	4.77	3.80	3.98
สิงหาคม	31	5.43	4.37	3.66	5.02	4.95	4.71	3.60	3.56
กันยายน	30	5.34	4.91	3.68	4.21	4.57	4.84	4.40	4.01
ตุลาคม	31	5.15	5.16	3.97	4.17	4.08	4.47	4.90	4.14
พฤศจิกายน	30	5.14	5.21	4.30	5.08	4.33	4.24	4.80	4.09
ธันวาคม	31	5.00	4.65	3.96	4.94	4.10	4.08	4.50	3.73
รวม	365								
เฉลี่ย		4.86	5.52	4.41	5.26	5.45	4.90	4.80	4.30

ตารางที่ 16 แสดงค่าสหสัมพันธ์พืชและค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ

เดือน	จำนวนวัน	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
			Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
มกราคม	31	0.69	0.69	0.72	0.82	0.68	0.75	0.70	0.91
กุมภาพันธ์	28	0.55	0.60	0.72	0.65	0.62	0.72	0.69	0.79
มีนาคม	31	0.56	0.66	0.79	0.66	0.70	0.78	0.80	0.87
เมษายน	30	0.56	0.62	0.79	0.66	0.68	0.80	0.73	0.83
พฤษภาคม	31	0.74	0.79	1.23	0.88	0.77	0.91	0.92	1.03
มิถุนายน	30	0.88	1.06	1.40	1.05	0.86	1.11	1.39	1.37
กรกฎาคม	31	0.92	1.07	1.41	1.09	0.88	1.15	1.44	1.37
สิงหาคม	31	0.92	1.24	1.48	1.08	1.10	1.15	1.51	1.53
กันยายน	30	1.07	1.09	1.45	1.27	1.17	1.10	1.21	1.33
ตุลาคม	31	1.05	1.00	1.30	1.24	1.26	1.15	1.05	1.24
พฤศจิกายน	30	0.86	0.99	1.20	1.01	1.19	1.21	1.07	1.26
ธันวาคม	31	0.86	1.08	1.26	1.01	1.22	1.23	1.11	1.34
รวม	365								
เฉลี่ย		0.79	0.88	1.10	0.92	0.89	0.99	1.01	1.13



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝกที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ

บทที่ 5

การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

5.1 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว

การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว

A trial on consumptive use of rice

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าวจากการวัดโดยตรงจากถัง

    1.1. เพื่อหาค่าการระเหย (E; Evaporation)

    1.2. เพื่อหาค่าการคายน้ำ (T; Transpiration)

    1.3. เพื่อหาค่าการคายระเหย (ET; Evapotranspiration)

    1.4. เพื่อหาการซึมลึกของน้ำลงใต้ดิน (P; Percolation)

2. เพื่อหาวิธีการประมาณค่าการคายระเหยของข้าวที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศประมาณค่าการคายระเหยของข้าวในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ (Reference Crop Evapotranspiration)

3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำใช้ในการเจริญเติบโตในท้องที่อื่นๆ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

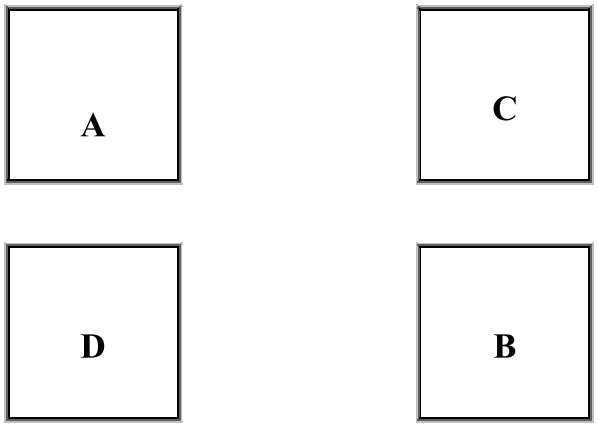
4. เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์พืช (ET/E) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ข้าวใช้ในการเจริญเติบโต ณ ท้องที่อื่นๆ โดยทราบเพียงค่าปริมาณน้ำที่ระเหยในท้องที่นั้นๆ

5. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำใช้กับผลผลิตต่อไร่ของข้าว จากการทดลองและศึกษาโดยวิธีดังกล่าว

การดำเนินงาน

1. ทำการทดลองโดยใช้ถัง Lysimeter ซึ่งประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ชุด หรือ 4 ซ้ำ แต่ละชุดประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง เป็นถังก้นปิด 2 ถังและถังก้นเปิด 2 ถังแต่ละถังมีขนาด 75x75x100 เซนติเมตร ปลูกข้าวในถังก้นเปิด 1 ถังและถังก้นปิด 1 ถังในแต่ละซ้ำ ส่วนที่เหลืออีก 2 ถังซึ่งเป็นถังก้นเปิด 1 ถังและถังก้นปิด 1 ถังนั้นไม่ปลูกข้าว แต่จะใช้วัสดุอื่นหรือต้นข้าวเทียมมาปักไว้แทน เพื่อให้สภาพภายในถังคล้ายถังที่ปลูกข้าวและบริเวณรอบๆ ถัง Lysimeter ทั้ง 4 ซ้ำจะปลูกข้าวเพื่อให้สภาพแวดล้อมโดยทั่วไปเหมือนนาแปลงใหญ่ ส่วนการเก็บข้อมูลสถิติต่างๆ จะเก็บเฉพาะในถังเท่านั้น

2. การให้น้ำและการวัดปริมาณน้ำ หลังจากปักดำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการให้น้ำจนกระทั่งระดับน้ำในถังทุกใบสูงจากระดับผิวดิน 10 เซนติเมตร และให้น้ำนอกถังจนมีระดับเดียวกันกับในถังด้วย ส่วนการวัดปริมาณน้ำใช้ของข้าวนั้น ได้จากการอ่านระดับน้ำในถังที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันโดยใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบขอ (Hook Gauge) ซึ่งติดตั้งถาวรตลอดการทดลองประจำแต่ละถัง หลังจากอ่านและตรวจสอบจนเป็นที่ถูกต้องแน่นอนแล้ว ก็จะเติมน้ำลงภายในถังทุกๆ ถังให้ได้ระดับ 10 เซนติเมตรดังเดิมทุกครั้งไป ซึ่งจะปฏิบัติเช่นเดียวกันนี้ทุกๆ วันในเวลาเดียวกัน ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทดลอง ค่าปริมาณน้ำใช้จะทราบได้จากผลต่างของระดับน้ำในระยะเวลา 2 วันติดต่อกัน



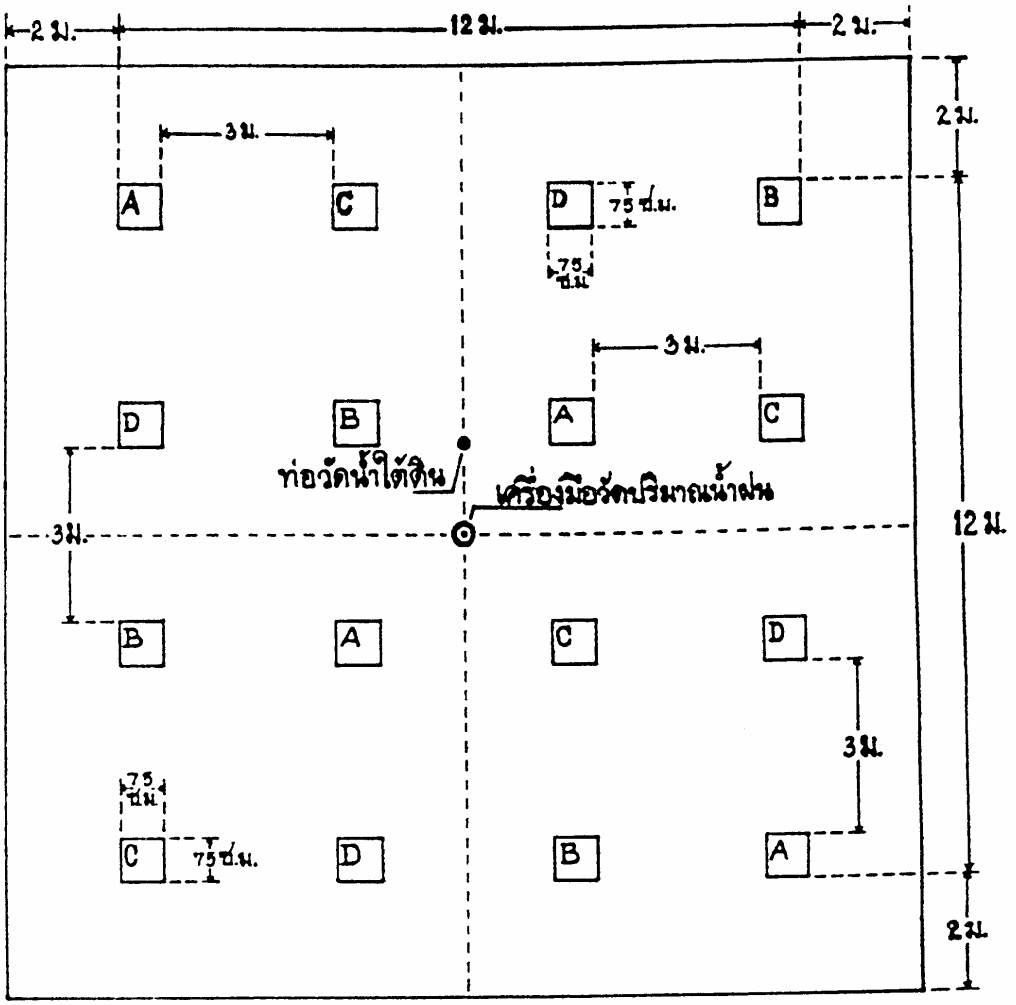
รูปที่ 6 แสดงรูปแบบของถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว

ถัง *A* เป็นถังปิดส่วนล่าง ใช้ปลูกข้าว ได้ค่า ET (Evapotranspiration)

ถัง *B* เป็นถังปิดส่วนล่าง ไม่ปลูกข้าว ได้ค่า E (Evaporation)

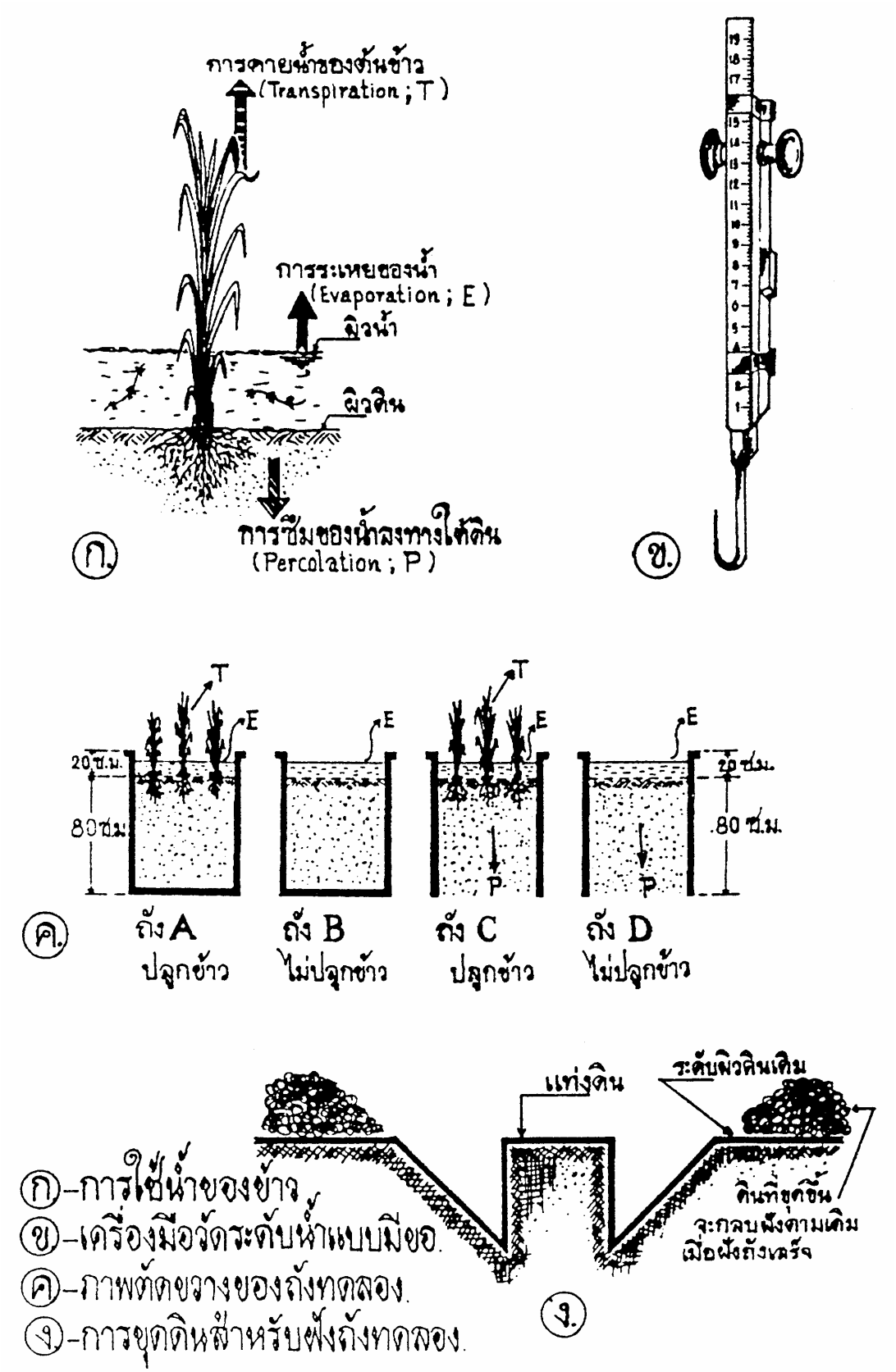
ถัง *C* เป็นถังเปิดส่วนล่าง ใช้ปลูกข้าว ได้ค่า ET + P (Evapotranspiration + Percolation)

ถัง *D* เป็นถังเปิดส่วนล่าง ไม่ปลูกข้าว ได้ค่า E + P (Evaporation + Percolation)

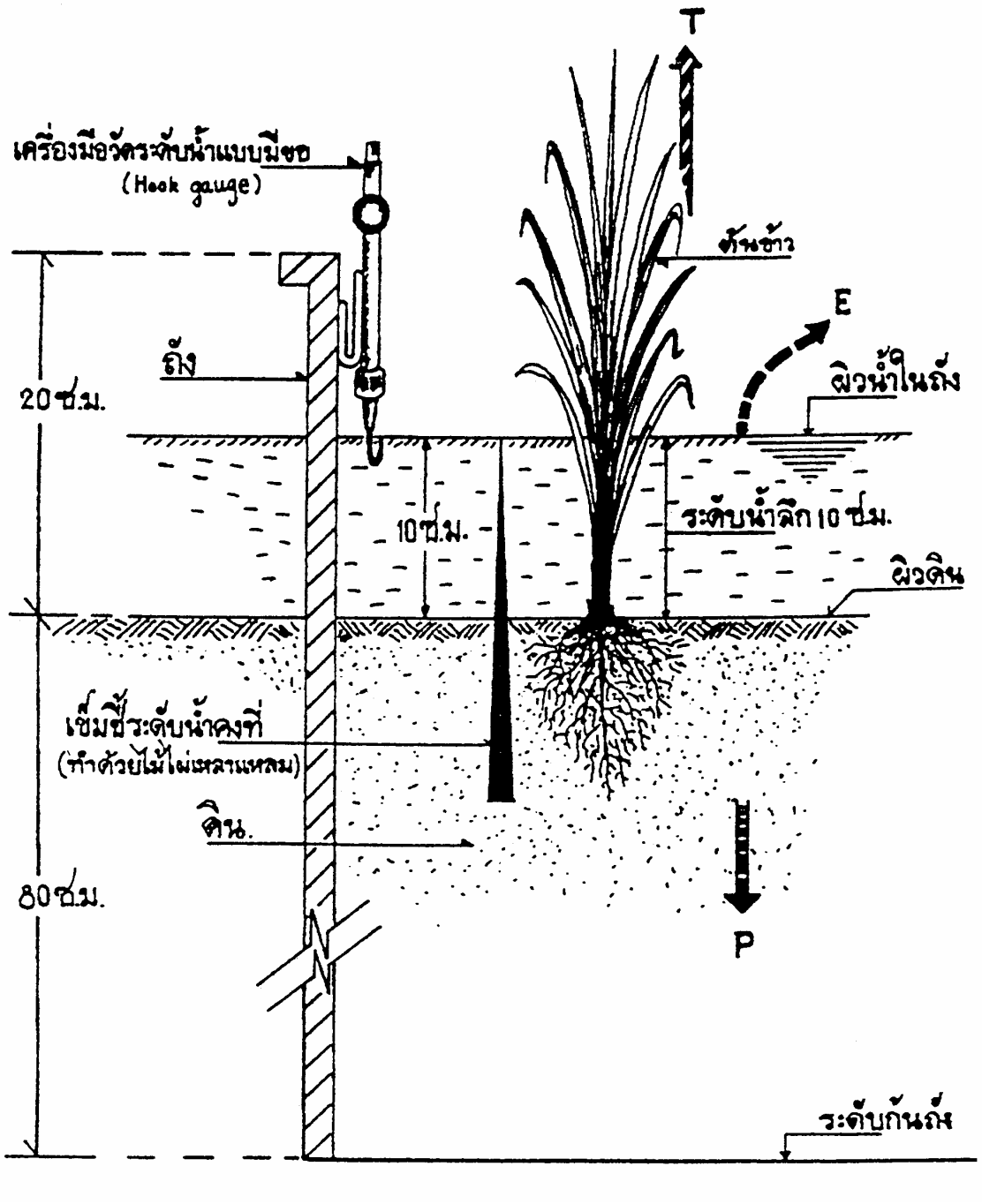


ถัง A เป็นถังปิดส่วนล่าง ใช้ปลูกข้าว ได้ค่า ET (Evapotranspiration)
ถัง B เป็นถังปิดส่วนล่าง ไม่ปลูกข้าว ได้ค่า E (Evaporation)
ถัง C เป็นถังเปิดส่วนล่าง ใช้ปลูกข้าว ได้ค่า ETP (Evapotranspiration รวม Percolation)
ถัง D เป็นถังเปิดส่วนล่าง ไม่ปลูกข้าว ได้ค่า EP (Evaporation รวม Percolation)
ขนาดของถัง 75 ซ.ม. × 75 ซ.ม. × 100 ซ.ม. ฝังลึก 80 ซ.ม. จากผิวดิน.

รูปที่ 7 แสดงแผนผังการวางถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าวในแปลงทดลอง



รูปที่ 8 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของการวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว



รูปที่ 9 ภาพตัดขวางของถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าวแสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข.23 ตามช่วงระยะการเจริญเติบโต

ช่วงระยะการเจริญ	จำนวนวัน	ค่าการระเหย (E) (Evaporation)		ค่าการคายน้ำ (T) (Transpiration)		ค่าการคายระเหย (E+T) (Evapotranspiration)		ค่าการซึมลึก (P) (Percolation)		ค่าการคายระเหยรวมค่าการซึมลึก (E+T+P)	
		ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน
ระยะตั้งตัว	12	31.08	2.59	9.80	0.82	40.88	3.41	3.90	0.32	44.78	3.73
ระยะแตกกอ	40	146.78	3.67	92.64	2.32	239.42	5.99	32.07	0.80	271.49	6.79
ระยะตั้งท้อง-ออกดอก	30	110.33	3.68	158.12	5.27	268.45	8.95	43.36	1.44	311.81	10.39
ระยะสร้างผลผลิต	20	62.33	3.11	97.94	4.90	160.27	8.01	23.09	1.16	183.36	9.17
ระยะแก่	15	27.09	1.81	45.95	3.06	73.04	4.87	15.12	1.01	88.16	5.88
ปักดำ-เก็บเกี่ยว (24 มค.28-21 พค.28)	117	337.61	3.23	404.45	3.45	782.06	6.68	117.54	1.01	899.60	7.69

หมายเหตุ : ทำการทดลองที่สถานีศึกษาและทดลองการใช้น้ำชลประทานแม่แตง จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 18 แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข.23 ตามช่วงระยะการเจริญเติบโตจากถังทดลองและจากสูตร

ช่วงระยะการเจริญ	จำนวน วัน	การระเหยจาก Class A Pan (Evaporation;E) มม.		การคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำ (Evapotranspiration) - มม./วัน							
				ปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากถังทดลอง (ET)		ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration)					
						สูตร Modified Penman (ETo)		สูตร Blaney Criddle (ETo)		สูตร E –pan (ETo)	
ระยะตั้งตัว	12	44.3	3.69	40.88	3.41	44.85	3.74	74.48	6.21	37.66	3.14
ระยะแตกกอ	40	198.6	4.96	239.42	5.99	188.63	4.72	287.20	7.18	168.81	4.22
ระยะตั้งท้อง-ออกดอก	30	166.6	5.55	268.45	8.95	159.17	5.31	213.60	7.12	141.61	4.72
ระยะสร้างผลผลิต	20	113.1	5.66	160.27	8.01	101.22	5.06	135.50	6.78	96.14	4.81
ระยะแก่	15	93.5	6.23	73.04	4.87	77.11	5.14	83.40	5.56	79.48	5.30
ปักดำ-เก็บเกี่ยว (24 มค.28-21 พค.28)	117	616.1	5.27	782.06	6.68	570.98	4.88	794.18	6.79	523.68	4.48

ET = การคายระเหย หรือ ปริมารการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงที่ได้จากการทดลอง

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณสูตรโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ 19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวพันธุ์ กข.23 ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ช่วงระยะการเจริญ	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)		
		Modified Penman	Blaney Criddle	E-pan
ระยะตั้งตัว	0.92	0.91	0.55	1.09
ระยะแตกกอ	1.20	1.27	0.83	1.42
ระยะตั้งท้อง-ออกดอก	1.61	1.69	1.26	1.89
ระยะสร้างผลผลิต	1.42	1.58	1.18	1.67
ระยะแก่	0.78	0.95	0.88	0.92
ปักดำ – เก็บเกี่ยว	1.27	1.37	0.98	1.49

วิธีการคำนวณ

ET/E = 782.06/616.10 = 1.27

Modified Penman = 782.06/570.98 = 1.37

Blaney Criddle = 782.06/794.18 = 0.98

E-pan = 782.06/523.68 = 1.49

5.2 <u>การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่</u>

การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่

A trial on consumptive use of field crop

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ในการคายระเหย (Evapotranspiration หรือ Consumptive Use) ตั้งแต่ระยะเวลาเริ่มปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

2. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำใช้ในการเจริญเติบโตในท้องที่อื่นๆ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

3. เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์พืช (ET/E) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต ณ ท้องที่อื่นๆ โดยทราบเพียงค่าปริมาณน้ำที่ระเหยในท้องที่นั้นๆ

4. เพื่อหาวิธีการประมาณค่าการคายระเหยของพืชที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศประมาณค่าการคายระเหยของพืชในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ (Reference Crop Evapotranspiration)

<u>การดำเนินงาน</u>

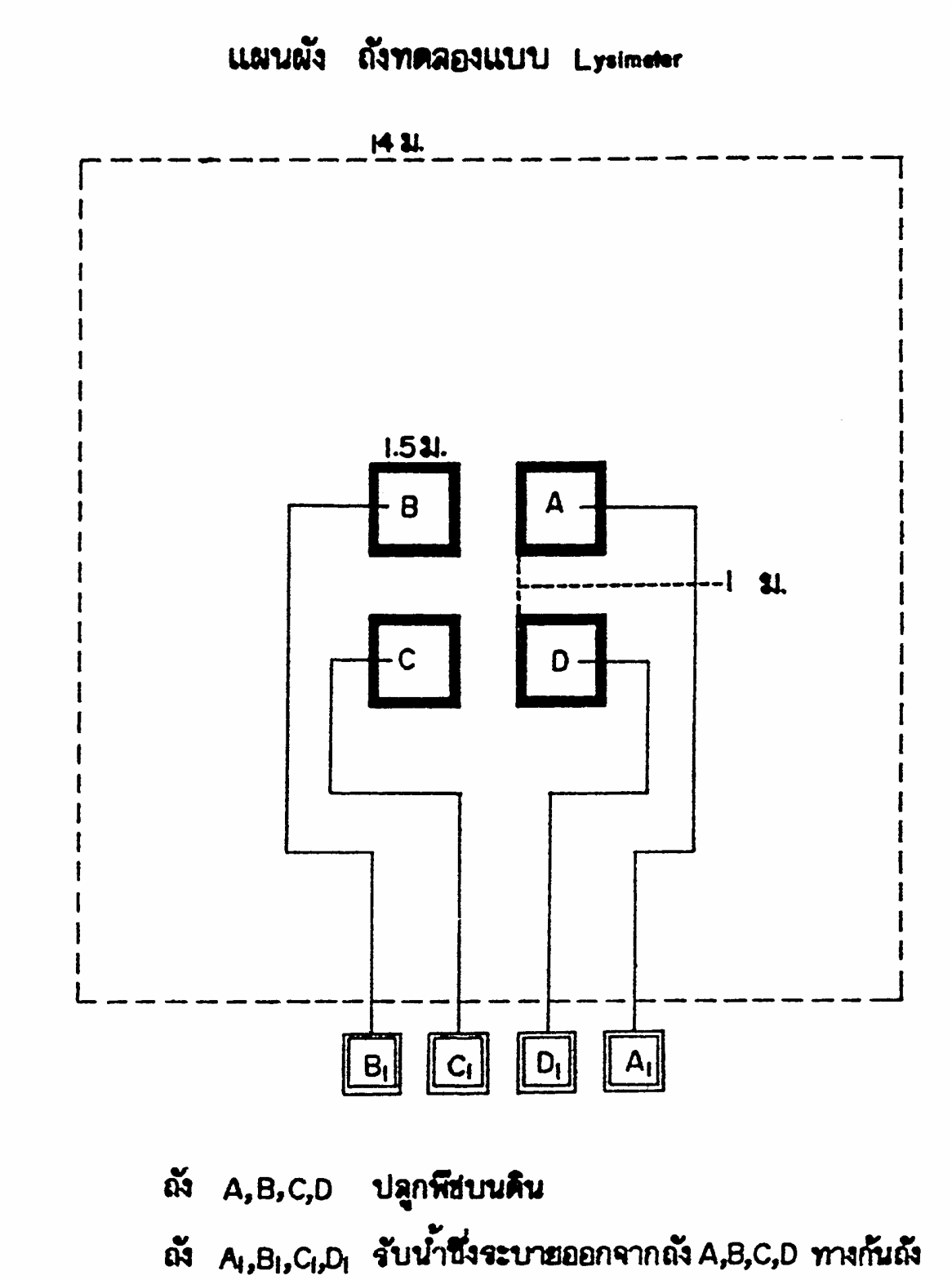
1. ทำการทดลองโดยใช้ถัง Lysimeter แบบ Percolation ซึ่งประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง แต่ละถังมีขนาด 1.5x1.5x1.5 เมตร ทุกถังจะมีท่อต่อไปยังถังใต้ดินของแต่ละถังต่างหากซึ่งมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร เพื่อรองรับปริมาณน้ำที่เหลือจากความสามารถอุ้มน้ำของดินในถังปลูก รอบๆบริเวณถัง Lysimeter ทำการปลูกพืชเพื่อให้สภาพแวดล้อมเหมือนแปลงใหญ่ ส่วนการเก็บข้อมูลจะเก็บเฉพาะในถังปลูกเท่านั้น

2. การให้น้ำ ก่อนปลูกพืชทำการให้น้ำจำนวนหนึ่งซึ่งต้องมากพอที่จะทำให้น้ำไหลออกจากถังปลูกพืชลงไปยังถังใต้ดิน เพื่อทำให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่งปริมาณน้ำจำนวนนี้ไม่ได้นำมาคำนวณด้วย ต่อมาอีกประมาณ 3 วันทำการปลูกพืช และจะให้น้ำอีกทุกครั้งเมื่อความชื้นในดินลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (PAC) จนกระทั่งเก็บเกี่ยวพืชเสร็จ จึงทำการให้น้ำเป็นครั้งสุดท้ายให้มากพอเพื่อทำให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทานอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณน้ำจำนวนนี้ต้องนำมาคำนวณด้วย

3. การระบายน้ำ หลังจากส่งน้ำครั้งแรกแล้ววัดน้ำระบายจากถังใต้ดินก่อนปลูกเพื่อหักออกไม่นำมาคำนวณหาปริมาณน้ำใช้ของพืช หลังจากนั้นทำการวัดน้ำระบายประมาณ 7 วันครั้ง นอกจากวันไหนฝนตกหนักให้วัดในวันรุ่งขึ้นเพื่อป้องกันน้ำล้นถัง

<u>การคำนวณหาปริมาณน้ำส่ง</u>

การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้แก่พืช จะมีหลักการและวิธีการคำนวณดังจะกล่าวถึงใน <u>บทที่</u> 6 (6.3)



รูปที่ 10 แสดงแผนผังถังทดลองวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่

ตารางที่ 20 แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของงาดำพันธุ์นครสวรรค์

ถังปลูกพืช	ช่วงระยะการเจริญเติบโต	น้ำฝน		ปริมาณน้ำชลประทาน	ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากถังปลูก	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)			ปริมาณน้ำที่ระเหยจาก Class A pan	ET/E
		ปริมาณ มม.	จำนวน วัน	มม.	มม.	ตลอดช่วงการเจริญเติบโต มม.	จำนวน วัน	เฉลี่ยต่อวัน มม.	มม.	
A	เจริญเติบโตทางลำต้น	16.7	2	176.0	12.9	179.8	44	4.09	268.9	0.67
B	ออกดอก	48.7	2	32.0	44.0	36.7	7	5.24	38.7	0.95
C	สร้างผลผลิต	196.0	6	144.0	226.8	113.2	25	4.53	126.4	0.89
D	แก่	20.1	3	48.0	21.3	46.8	13	3.60	63.9	0.73
รวม	ปลูก-เก็บเกี่ยว (18 มีค.-15 มิย.29)	281.5	13	400.0	305.0	376.5	89	4.23	497.9	0.76

หมายเหตุ : ทำการทดลองที่สถานีศึกษาและทดลองการใช้น้ำชลประทานเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 21 แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของงาดำพันธุ์นครสวรรค์ ตามช่วงระยะการเจริญเติบโตจากถังทดลองและจากสูตร

ช่วงระยะการเจริญเติบโต	จำนวน	การคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำ (Evapotranspiration)							
		ปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากถังทดลอง (ET)		ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration)					
		ตลอดช่วง	ต่อวัน	Modified Penman		Blaney Criddle		E – pan	
				ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน
	วัน	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
เจริญเติบโตทางลำต้น	44	179.8	4.09	241.1	5.48	345.8	7.86	228.6	5.19
ออกดอก	7	36.7	5.24	32.8	4.69	38.3	5.47	32.9	4.70
สร้างผลผลิต	25	113.2	4.53	115.7	4.63	137.0	5.48	107.4	4.30
แก่	13	46.8	3.60	58.4	4.49	67.5	5.19	54.3	4.18
ปลูก-เก็บเกี่ยว (18 มีค.-15 มิย.29)	89	376.5	4.23	448.0	5.03	588.6	6.61	423.2	4.75

ET = การคายระเหย หรือ ปริมารการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงที่ได้จากการทดลอง

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณสูตรโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ 22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของงาดำพันธุ์นครสวรรค์ ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ช่วงระยะการเจริญ	จำนวนวัน	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)		
			Modified Penman	Blaney Criddle	E-pan
เจริญเติบโตทางลำต้น	44	0.67	0.74	0.52	0.79
ออกดอก	7	0.95	1.12	0.96	1.11
สร้างผลผลิต	25	0.89	0.98	0.83	1.05
แก่	13	0.73	0.80	0.69	0.86
ปลูก – เก็บเกี่ยว	89	0.76	0.84	0.64	0.89

5.3 <u>การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชผัก</u>

การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชผัก

A trial on consumptive use of vegetable

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ในการคายระเหย (Evapotranspiration หรือ Consumptive Use) ตั้งแต่ระยะเวลาเริ่มปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

2. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำใช้ในการเจริญเติบโตในท้องที่อื่นๆ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

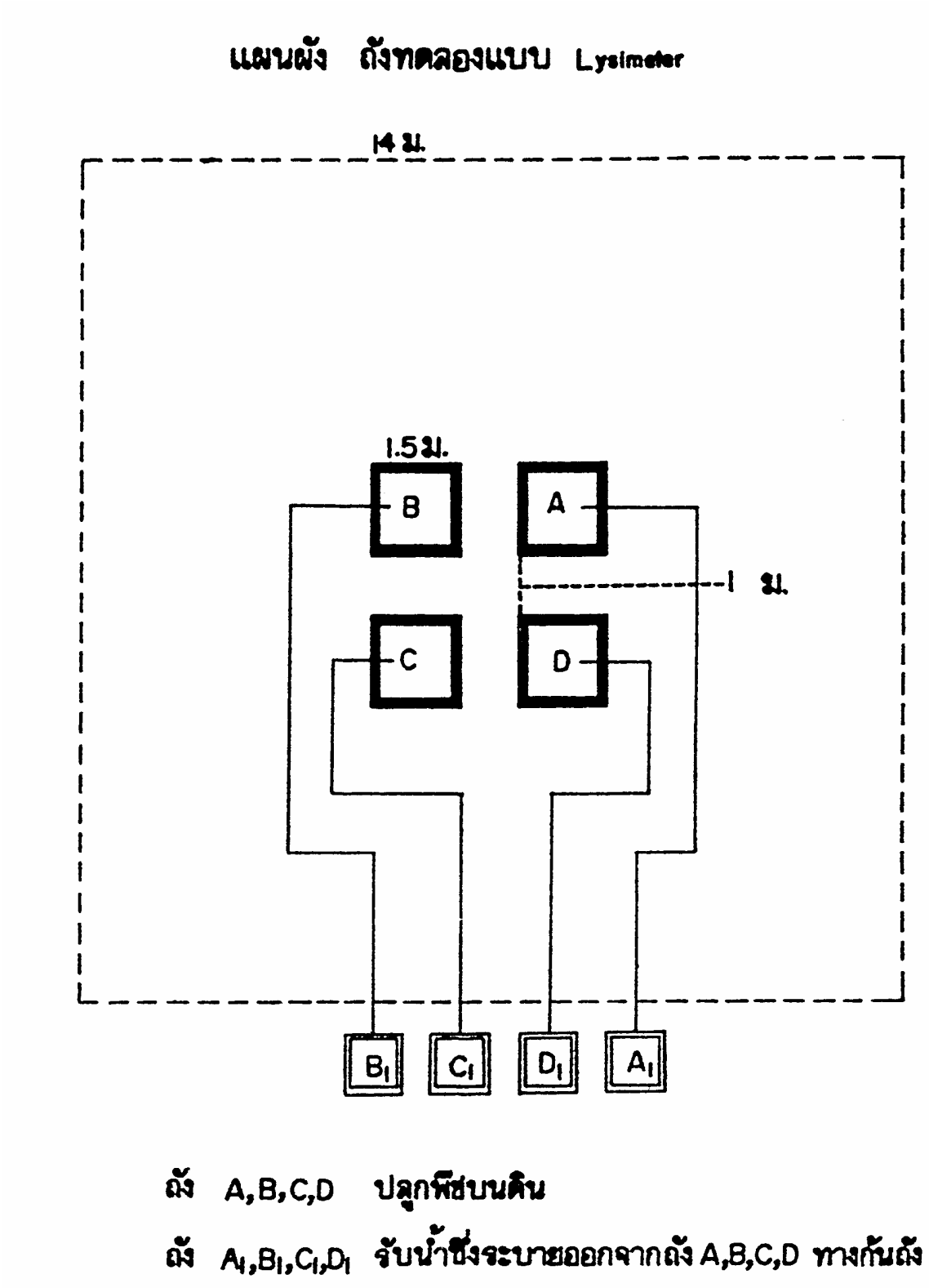
3. เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์พืช (ET/E) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต ณ ท้องที่อื่นๆ โดยทราบเพียงค่าปริมาณน้ำที่ระเหยในท้องที่นั้นๆ

4. เพื่อหาวิธีการประมาณค่าการคายระเหยของพืชที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศประมาณค่าการคายระเหยของพืชในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ (Reference Crop Evapotranspiration)

<u>การดำเนินงาน</u>

1. ทำการทดลองโดยใช้ถัง Lysimeter แบบ Percolation ซึ่งประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง แต่ละถังมีขนาด 1.5x1.5x1.5 เมตร ทุกถังจะมีท่อต่อไปยังถังใต้ดินของแต่ละถังต่างหากซึ่งมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร เพื่อรองรับปริมาณน้ำที่เหลือจากความสามารถอุ้มน้ำของดินในถังปลูก รอบๆบริเวณถัง Lysimeter ทำการปลูกพืชเพื่อให้สภาพแวดล้อมเหมือนแปลงใหญ่ ส่วนการเก็บข้อมูลจะเก็บเฉพาะในถังปลูกเท่านั้น

2. การให้น้ำ ก่อนปลูกพืชทำการให้น้ำจำนวนหนึ่งซึ่งต้องมากพอที่จะทำให้น้ำไหลออกจากถังปลูกพืชลงไปยังถังใต้ดิน เพื่อทำให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่งปริมาณน้ำจำนวนนี้ไม่ได้นำมาคำนวณด้วย ต่อมาอีกประมาณ 3 วันทำการปลูกพืช และจะให้น้ำต่อไปอีกทุกครั้งเมื่อค่าความชื้นในดินลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (PAC) จนถึงระดับความชื้นชลประทานเมื่อพืชมีอายุระหว่าง 1-15 วัน, ลดลง 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อพืชอายุระหว่าง 16-30 วัน, ลดลง 15 เปอร์เซ็นต์เมื่อพืชอายุระหว่าง 31-45 วัน และลดลง 20 เปอร์เซ็นต์เมื่อพืชอายุระหว่าง 46-60 วัน ตามลำดับ จนกระทั่งเก็บเกี่ยวพืชเสร็จจึงทำการให้น้ำเป็นครั้งสุดท้ายให้มากพอเพื่อทำให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทานอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณน้ำจำนวนนี้ต้องนำมาคำนวณด้วย (โดยปกติพืชผักจะต้องการน้ำมากและความชื้นในดินค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมักทำการให้น้ำทุกวัน)



รูปที่ 11 แสดงแผนผังถังทดลองวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชผัก

3. การระบายน้ำ หลังจากส่งน้ำครั้งแรกแล้ววัดน้ำระบายจากถังใต้ดินก่อนปลูกเพื่อหักออกไม่นำมาคำนวณหาปริมาณน้ำใช้ของพืช หลังจากนั้นทำการวัดน้ำระบายประมาณ 7 วันครั้ง นอกจากวันไหนฝนตกหนักให้วัดในวันรุ่งขึ้นเพื่อป้องกันน้ำล้นถัง

การคำนวณหาปริมาณน้ำส่ง

การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้แก่พืช จะมีหลักการและวิธีการคำนวณดังจะกล่าวถึงใน บทที่ 6 (6.3)

ตารางที่ 23 แสดงผลการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของมะระจีน

ช่วงระยะเวลา	น้ำฝน		ปริมาณน้ำชลประทาน	ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากถังปลูก	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET)			ปริมาณน้ำที่ระเหยจาก Class A pan	ET/E
	ปริมาณ มม.	จำนวน วัน	มม.	มม.	ตลอดช่วงการเจริญเติบโต มม.	จำนวน วัน	เฉลี่ยต่อวัน มม.	มม.	
31 ธค.31 - 6 มค.32	-	-	134.21	62.34	71.87	25	2.87	139.50	0.52
7 มค.32 – 26กพ.32	3.5	2	314.46	27.35	290.61	49	5.93	248.15	1.17
ปลูก-เก็บเกี่ยว (13 ธค.31-26 กพ.32)	3.5	2	448.67	89.69	362.48	74	4.90	387.65	0.93

หมายเหตุ : ทำการทดลองที่สถานีศึกษาและทดลองการใช้น้ำชลประทานสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ 24 แสดงค่าการคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของมะระจีนจากถังทดลองและจากสูตร

ช่วงระยะการเจริญเติบโต	จำนวน	การคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำ (Evapotranspiration)							
		ปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากถังทดลอง (ET)		ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration)					
		ตลอดช่วง	ต่อวัน	Modified Penman		Blaney Criddle		E –pan	
				ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน	ตลอดช่วง	ต่อวัน
	วัน	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.	มม.
31 ธค.31 - 6 มค.32	25	71.87	2.87	116.93	4.67	98.21	3.93	118.60	4.74
7 มค.32 – 26กพ.32	49	290.61	5.93	234.33	4.78	201.09	4.10	216.88	4.43
ปลูก-เก็บเกี่ยว (13 ธค.31-26 กพ.32)	74	362.48	4.90	351.26	4.75	299.30	4.04	335.48	4.53

ET = การคายระเหย หรือ ปริมารการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงที่ได้จากการทดลอง

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณสูตรโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ 25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะระจีน

ช่วงระยะการเจริญ	จำนวนวัน	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)		
			Modified Penman	Blaney Criddle	E-pan
31 ธค.31 - 6 มค.32	25	0.52	0.61	0.73	0.60
7 มค.32 – 26กพ.32	49	1.17	1.24	1.11	1.34
ปลูก – เก็บเกี่ยว	74	0.93	1.03	1.21	1.08

บทที่ 6
การให้น้ำแก่พืช

6.1 หลักการใช้น้ำของพืช

การใช้น้ำของพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและระยะการเจริญเติบโต โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูก และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมากที่สุดเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ออกดอกออกผลและจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผลแก่และถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว เราอาจจะแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกได้เป็น 3 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแตกใบ ช่วงออกดอกและช่วงออกผล สำหรับช่วงแตกใบยังแบ่งออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกผลก็อาจแบ่งออกเป็น 2 ช่วงได้เช่นเดียวกันคือ ช่วงที่ผลหรือเมล็ดยังสดอยู่ และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้ง ซึ่งพืชจะต้องการน้ำน้อยมากหรืออาจจะถูกเก็บเกี่ยวที่ช่วงการเจริญเติบโตระยะใดระยะหนึ่งก็ได้ พวกผักต่างๆ เช่น ผักกาดขาว ผักคะน้า กระหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง หญ้าเลี้ยงสัตว์ จะเก็บเกี่ยวในช่วงแตกใบ พวกดอกไม้ต่างๆ และพวกผักที่ใช้ดอกเป็นอาหาร เช่น กระหล่ำดอกจะเก็บเกี่ยวในช่วงออกดอก ส่วนพวกที่ใช้ผลสดเป็นอาหาร เช่น มะเขือเทศ ข้าวโพด ส้ม กล้วย แตงโม ฯลฯ จะเก็บเกี่ยวในช่วงผลสด สำหรับพืชพวกที่ต้องรอให้แห้งเสียก่อนจึงเก็บเกี่ยวก็มี ข้าว ฝ้าย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วที่ใช้เมล็ดเป็นอาหาร เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง เป็นต้น

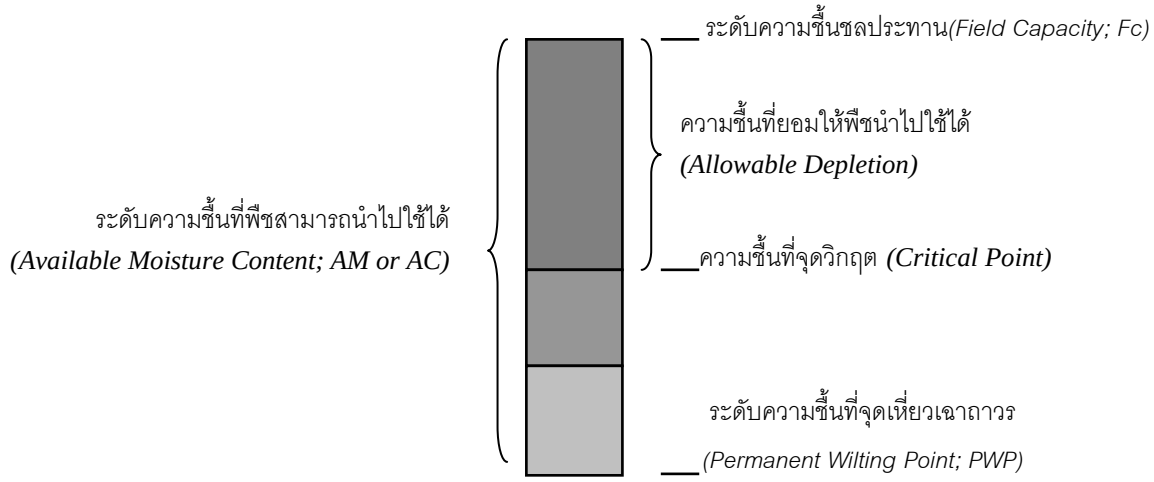
การใช้น้ำในขณะที่พืชยังเล็กอยู่นั้นค่อนข้างน้อย อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่พืชใช้กับปริมาณน้ำที่ระเหยจากถาดวัดการระเหย (ET/E) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่จะมาจากการระเหยจากผิวดิน เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ กล่าวคือ ในระยะหลังของช่วงแตกใบและในช่วงออกดอกพืชจะมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.75-1.0 หรือบางครั้งอาจจะมากกว่า 1.0 ได้บ้างเล็กน้อย ยกเว้นพืชบางชนิด เช่น สับปะรด ซึ่งจะมีอัตราส่วนประมาณ 0.35 ทั้งนี้เพราะรูใบของสับประรดจะปิดในตอนกลางวัน ในช่วงออกผลการใช้น้ำของพืชจะลดลงเพราะพืชมีการเจริญเติบโตน้อยลงแต่จะลดไม่มากนักในระยะที่ผลยังสดอยู่ กล่าวคือ จะลดจากระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่การใช้น้ำจะลดลงมากในช่วงผลแห้ง

6.2 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

การกำหนดการให้น้ำแก่พืชเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในการชลประทานระดับไร่นา ซึ่งจะเกี่ยวพันและมีผลกระทบโดยตรงต่อการปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง ตลอดจนเพื่อให้ได้ประโยชน์จากน้ำชลประทานอย่างเต็มที่ การที่จะกำหนดการให้น้ำให้ถูกต้องเหมาะสม จำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ-พืช เป็นอย่างดี เรื่องดินจำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติของดินในแปลงเพาะปลูกเกี่ยวกับขีดความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ของดิน ความชื้นในดิน

ที่จะยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ ลักษณะการดูดซึมน้ำของดินและความสามารถในการระบายน้ำของดิน เรื่องน้ำจำเป็นจะต้องรู้ถึงปริมาณและคุณภาพน้ำชลประทานตลอดจนรอบเวรในการส่งน้ำชลประทาน และเรื่องพืชจำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติบางประการของพืช เช่น การใช้น้ำของพืช ความสามารถในการทนแล้ง และระยะวิกฤติของพืช ความสำเร็จหรือล้มเหลวของการให้น้ำแก่พืชหรือการชลประทานระดับไร่นาขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช จะมีความรู้ความเข้าใจตลอดจนมีข้อมูลเกี่ยวกับ ดิน น้ำและพืช มากน้อยแค่ไหน พึงจำไว้เสมอว่า การกำหนดการให้น้ำที่ไม่เหมาะสม นอกจากจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์แล้วยังก่อให้เกิดผลเสียหายแก่พืชและผลผลิตตลอดจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำตามมาอีกด้วย

เมื่อไรจึงควรทำการให้น้ำและต้องให้เป็นปริมาณเท่าใด ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการกำหนดการให้น้ำแก่พืชหรือการชลประทานในระดับไร่นา การให้น้ำแก่พืชคือการให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินในเขตรากพืชให้อยู่ในช่วงระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) กับความชื้นชลประทาน (Fc) หรือพูดง่ายๆ ว่าอยู่ในช่วงความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ การให้น้ำแก่พืชจะเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวรส่วนจะให้ลดลงใกล้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืช และสภาพภูมิอากาศ เช่น ความแห้งแล้ง หรือความชุ่มชื้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช โดยทั่วๆ ไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลง 50-75 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไป เรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (Allowable soil Moisture Deficiency) หรือเรียกสั้นๆ ว่า Allowable Depletion ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ไปหมดแล้วคือ ความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical Moisture Level หรือ Critical Point)



<u>รูปที่</u> 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

จากรูปพอจะสรุปได้ว่า การให้น้ำแก่พืชจะต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤต และปริมาณน้ำที่ให้จะต้องมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงความชื้นชลประทาน ซึ่งถ้าหากทำการให้น้ำไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินลดต่ำลงกว่าความชื้นที่จุดวิกฤต จะมีผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชทำให้เกิดการเหี่ยวเฉา ผลผลิตและคุณภาพลดลง

แต่การที่จะรู้ว่าความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤตหรือยัง จะต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินในเขตรากพืช ซึ่งมีทางทำได้ 3 วิธีคือ การวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก การวัดความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส และวิธีสุดท้ายคือ การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 วิธีดังกล่าว จะช่วยทำให้ทราบว่าควรจะให้น้ำแก่พืชได้หรือยัง และถ้าต้องให้จะต้องให้ด้วยปริมาณเท่าใด ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้มีค่าอยู่ระหว่างความชื้นชลประทานถึงความชื้นที่จุดวิกฤต จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและลักษณะของดิน

6.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำ

การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้แก่พืชจะยึดหลักการคือ จะต้องส่งน้ำให้แก่พืชในปริมาณที่พอดีและตรงตามช่วงเวลาและความต้องการของพืชเป็นสำคัญ ซึ่งข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและต้องทราบก่อนการคำนวณได้แก่

6.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน

- กลุ่มของดิน (Texture Class)
- ค่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity)
- ค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)
- ค่าความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Available Moisture)
- ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Apparent Specific Gravity)
- ค่าความลึกของเขตรากพืชตามช่วงอายุพืช (Root Zone Depth)

6.3.2 สูตรที่ใช้คำนวณ

$$d = \frac{pw\,x\,As\,x\,D}{100}$$

เมื่อ

d = ค่าความลึกของน้ำที่จะต้องส่งให้แก่พืช (มิลลิเมตร)

Pw = ค่าความชื้นที่จะต้องเพิ่มเติมให้แก่ดินจนถึงระดับความชื้นชลประทาน (%)

As = ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน

D = ค่าความลึกของเขตรากพืชหรือความลึกของดินที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปถึงหลังการให้น้ำ (มิลลิเมตร)

6.3.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ 26 แสดงผลการคำนวณหาความลึกของน้ำที่ต้องส่งให้พืชตามค่าความลึกเขตรากพืช

อายุพืช วัน	ความลึกเขตรากพืช มม.	As	ความชื้นชลประทาน %	ความชื้นก่อนให้น้ำ %	ความลึกของน้ำที่ให้ มม.
1 – 30	150	1.32	14.50	7.25	14.36
31 – 60	300	1.32	14.50	7.25	28.71
61 – 90	450	1.32	14.50	7.25	43.07
91 – 120	600	1.32	14.50	7.25	57.42

จากสูตร

$$d = \frac{pw\,x\,As\,x\,D}{100}$$

เมื่อ

Pw = 14.50 – 7.25 = 7.25 %

As = 1.32

D = 150 มม.

แทนค่าจะได้

$$d = \frac{7.25 x 1.32 x 150}{100}$$

= 14.36 มม.

เอกสารอ้างอิง

เกษตรชลประทาน,ฝ่าย.2540. ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสหสัมพันธ์พืช.กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน. 72 หน้า

ธีระพงษ์ พงษ์สว่างและคณะ. 2537. การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของหญ้าแฝกพันธุ์ราชบุรีที่สถานีค้นคว้าวิจัยการใช้น้ำชลประทานสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี. ฝ่ายเกษตรชลประทาน กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน. 28 หน้า

ฝ่ายเผยแพร่การใช้น้ำชลประทาน. 2554. ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธีของ Penman-Monteith ฉบับปรับปรุง. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 136 หน้า

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 274 หน้า.

ศจี เจริญยิ่ง.2535. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช. ฝ่ายเกษตรชลประทาน กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน. 41 หน้า.

ส่งเสริมเทคโนโลยี,กอง. 2543. คู่มือการฝึกอบรมการออกแบบติดตั้งระบบให้น้ำแบบประหยัด (Micro-Irrigation) และการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. หน้า 3,6

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน.2551. ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี Penman-Monteith. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 59 หน้า

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. 2524. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการชลประทานระดับไร่นา. 284 หน้า

Alle,R.G., Martin Smith, W.O. Pruitt, L.S. pereira. 1996. Modification to the FAO Crop Coefficient Approach. Proceeding of the ASAE International Conference On Evapotranspiration And Irrigation Scheduling San Antonio, Taxas. 10 p.

Bruce Withers & Stanley Vipond. 1974. Irrigation: Design and Practice. Batsford Academic and Educational Limited, London. p. 66-69

FAO & WMO. ____. Applications of Climatic Data for Effective Irrigation Planning and Management Training Manual. P. 58

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

FAO Paper 24. 1992. Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 144 p.

FAO Paper 46. 1992. CROPWAT A Computer Program for Irrigation Planning and Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.126 p.

Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani. 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Applied Engrg. In Agric., 1(2). p. 96-99

Jensen, M.E. 1983. Design and Operation of Farm Irrigation System(Revised Printing). American Society of Agricultural Engineers, Michigan. p. 200- 205

Martin Smith, FAO. 1990. Report on the Expert Consultation on revision of FAO Methodology for Crop Water Requirements. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 60 p.

Martin Smith, W.O. Pruitt, L.S. Pereira. 1996. Modification to the FAO Crop Coefficient Approach. Proceedind of the ASAE International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, San Antonio, Taxas. 10 p.

ภาคผนวก ก

สมการและตารางประกอบการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

Penman-Monteith Equation and components

[ ] Recommended combination formula is :

$$ETo = \frac{0.408\,\Delta\left(R_n - G\right) + \gamma \dfrac{900}{T + 273} U_2 \left(e_s - e_a\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + 0.34\,U_2\right)}$$

where :

ETo	:	reference crop evapotranspiration [mm d^{-1}]
R_n	:	net radiation at crop surface [MJ m^{-2} d^{-1}]
G	:	soil heat flux [MJ m^{-2} d^{-1}]
T	:	average temperature [°C]
Δ	:	slope vapour pressure curve [kPa °C^{-1}]
γ	:	psychrometric constant [kPa °C^{-1}]
U_2	:	windspeed measured at 2m height [m s^{-1}]
e_s	:	saturation vapour pressure [kPa]
e_a	:	actual vapour pressure [kPa]
(e_s-e_a)	:	saturation vapour pressure deficit [kPa]
900	:	conversion factor

When no measured radiation data are available, the net radiation can be estimated as follows:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = 0.77\left(0.25 + 0.50\,\frac{n}{N}\right) R_a$$

$$R_{nl} = 2.45\,x10^{-9}\left(0.9\,\frac{n}{N} + 0.1\right)\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right)\left(T_{kx}^4 + T_{kn}^4\right)$$

$$G = 0.14\left(T_{month\ \ n} - T_{month\ \ n-1}\right) \approx 0$$

where :

R_n	:	net radiation [MJ m^{-2} d^{-1}]
R_{ns}	:	net shortwave radiation [MJ m^{-2} d^{-1}]
R_{nl}	:	net longwave radiation [MJ m^{-2} d^{-1}]
R_a	:	extraterrestrial radiation [MJ m^{-2} d^{-1}]
n/N	:	relative sunshine fraction
T_{kx}	:	maximum temperature [K]
T_{kn}	:	minimum temperature [K]
e_a	:	actual vapour pressure [kPa]
G	:	soil heat flux [MJ m^{-2} d^{-1}]

Parameter Used in Equations :-

[ ] Latent Heat of Vaporization (λ)

$$\lambda = 2.501 - \left(2.361x10^{-3}\right)T$$

where : λ = latent heat of vaporization [MJ kg^{-1}]
T = air temperature [°C]

[ ] Slope Vapour Pressure Curve (Δ)

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T+237.3)^2}$$

where : Δ = slope vapour pressure curve [kPa °C^{-1}]
T = air temperature [°C]
e_s = saturation vapour pressure at temperature T [kPa]

[ ] Psychometric Constant (γ)

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda}$$

where : γ = psychrometric constant [kPa °C^{-1}]
P = Atmospheric pressure [kPa]
λ = latent heat of vaporization [MJ kg^{-1}]

[ ] Atmospheric Pressure (P)

$$P = P_o\left(\frac{T_{ko} - \alpha\left(z - z_o\right)}{T_{ko}}\right)^{\frac{g}{\alpha R}}$$

where: P = atmospheric pressure at elevation z [kPa]
P_o = atmospheric pressure at sea level [kPa]
Z = elevation [m]
Z_o = elevation at reference level [m]
g = gravitational acceleration = 9.8 [m s^{-2}]
R = specific gas constant = 287 [J kg^{-1} K^{-1}]
T_{ko} = reference temperature [K] at elev. $Z_o \approx 273+T$ [°C]
α = conatant lapse rate saturated air = 0.0065 [K m^{-1}]

Recommended :

P_o = 101.3 [kPa] at Z_o = 0 m.
T_{ko} = (Tmean + 273) [K] when T in °C

$$P = 101.3\left(\frac{(T_{mean}+273)-0.0065Z}{T_{mean}+273}\right)^{5.26}$$

[ ] Saturation Vapour Pressure at the Air Temperature (e°(T))

$$e^\circ(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27\ T}{T + 237.3}\right]$$

where :

e°(T) = saturation vapour pressure at the air temperature T [kPa]
T = air temperature [°C]
exp[..] = 2.7183 (base of natural logarithm) raised to the power [..]

[ ] Saturation Vapour Pressure (e_s)

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{\max}) + e^\circ(T_{\min})}{2}$$

where :

e°(T) = saturation vapour pressure at the air temperature T [kPa]
T_{max}, T_{min} = air temperature [°C]

[ ] Actual vapour pressure (e_a) derived from relative humidity data

For RH_{max} and RH_{min} :

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{\min})\frac{RH_{\max}}{100} + e^\circ(T_{\max})\frac{RH_{\min}}{100}}{2}$$

For RH_{mean} :

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100}\left[\frac{e^\circ(T_{\max}) + e^\circ(T_{\min})}{2}\right]$$

where :

e_a = actual vapour pressure [kPa]
$e°(T_{min})$ = saturation vapour pressure at daily minimum temperature [kPa]
$e°(T_{max})$ = saturation vapour pressure at daily maximum temperature [kPa]
RH_{max} = maximum relative humidity [%]
RH_{min} = minimum relative humidity [%]

[ ] Vapour Pressure Deficit (VPD)

$$VPD = e_s - e_a$$

where :
VPD = vapour pressure deficit [kPa]

[ ] Soil Heat Flux (G)

$$G = 0.14 \left(T_{month\ n} - T_{month\ n-1} \right) \approx 0$$

where :
$T_{month\ n}$ = temperature [°C] on month n
$T_{month\ n-1}$ = temperature [°C] in preceding on month n-1

[ ] Extraterrestrial Radiation (R_a)

$$R_a = 37.6\, d_r \left(\omega_s \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s \right)$$

where :
R_a = extraterrestrial radiation [MJ m^{-2} d^{-1}]
d_r = relative distance Earth - Sun
δ = solar declination [rad]
φ = latitude [rad]
ω_s = sunset hour angle [rad]

$$d_r = 1 + 0.033 \cos (0.0172\ J)$$
$$\delta = 0.409 \sin (0.0172\ J - 1.39)$$
$$J = integer\ (30.42\ M - 15.23)$$

where : J = number of the day in the year
M = month number (1 - 12)

[ ] Daylight Hours (N)

$$N = 7.64\,\omega_S$$

where : N = maximum day light hours [h]

[ ] Windspeed (U_2)

$$U_2 = U_Z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

where :
U_z = windspeed measurement at height z [m s^{-1}]
U_2 = windspeed at 2 m height [m s^{-1}]
z = height of wind vane or height of windspeed measurements [m]

[ ] Day Wind (U_{day})

$$U_{day} = \frac{2\,U\,(U_{day}/U_{night})}{(1 + U_{day}/U_{night})}$$

where :
U_{day} = windspeed during day time (07.00 – 19.00 hrs) [m s^{-1}]
U_{night} = windspeed during night time (19.00 – 07.00 hrs) [m s^{-1}]
U = average windspeed over 24 hours [m s^{-1}]

For average conditions :

$$U_{day}/U_{night} \approx 2$$

$$U_{day} = 1.33U$$

$$U_{2\,day} = 1.33\,U_2$$

[ ] Conversions : Cloundiness --→ n/N ratio

cloundiness oktas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
n/N ratio	.95	.85	.75	.65	.55	.45	.30	.15	-

cloundiness tenths	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n/N ratio	.95	.85	.80	.75	.65	.55	.50	.40	.30	.15	-

[ ] Conversions SI - C.G.S. system

Pressure :	1 mbar	=	0.1 kPa (kiloPascal)
Radiation :	1 cal cm^{-2} d^{-}	=	0.041868 MJ m^{-2} d^{-1}
	1 MJ m^{-2} d^{-1}	=	23.884 cal cm^{-2} d^{-1}
		=	0.408 mm d^{-1}
	1 mm d^{-1}	=	2.45 MJ m^{-2} d^{-1}
		=	58.6 cal cm^{-2} d^{-1}
	1 W m^{-1}	=	0.0864 MJ m^{-2} d^{-1}
		=	2.064 cal cm^{-2} d^{-1}
Velocity :	1 knot	=	0.515 m s^{-1}
		=	1.85 km hr^{-1}
		=	44.5 km d^{-1}
Degree :	1 Radian	=	π /180 Decimaldegrees

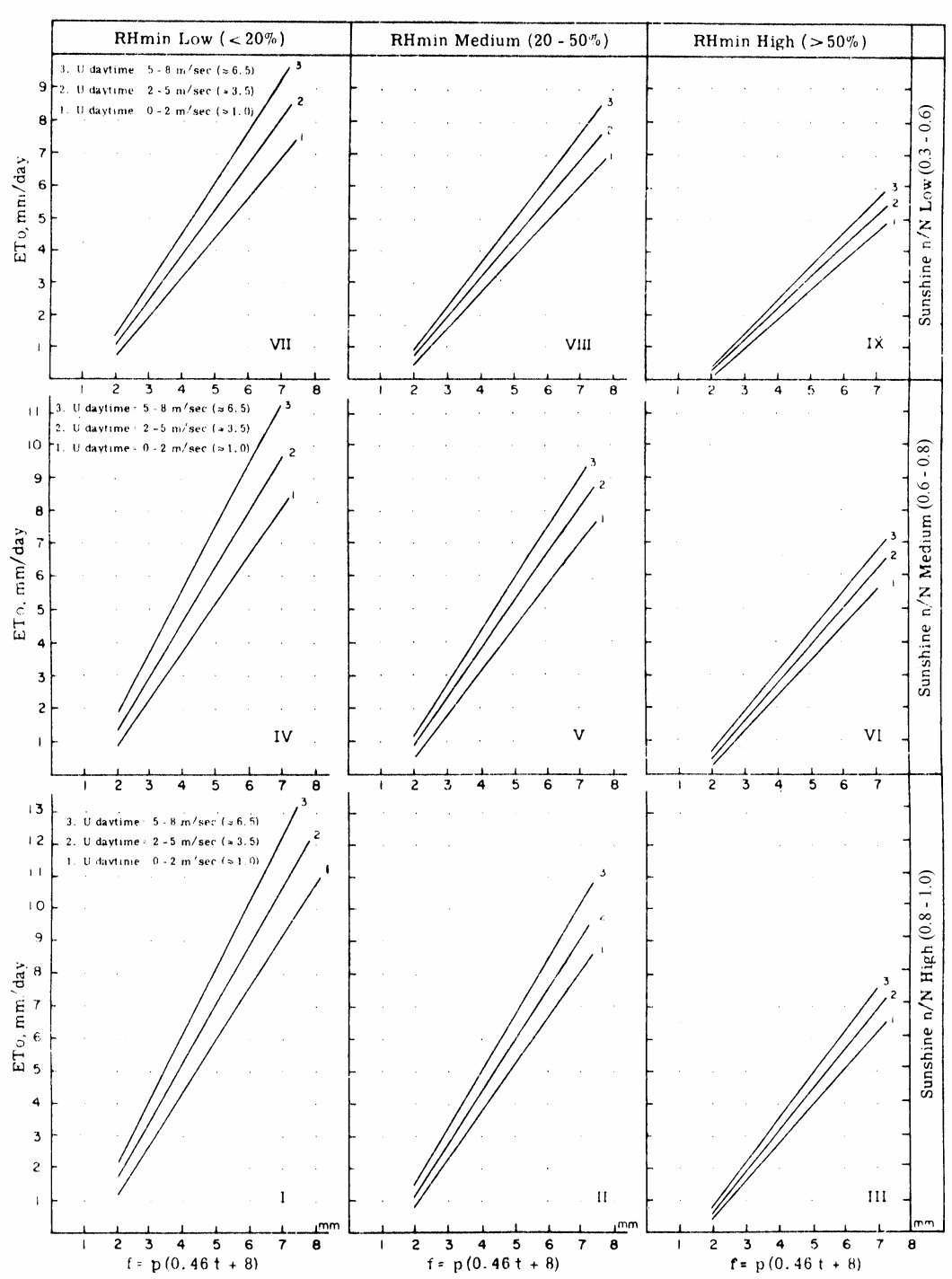
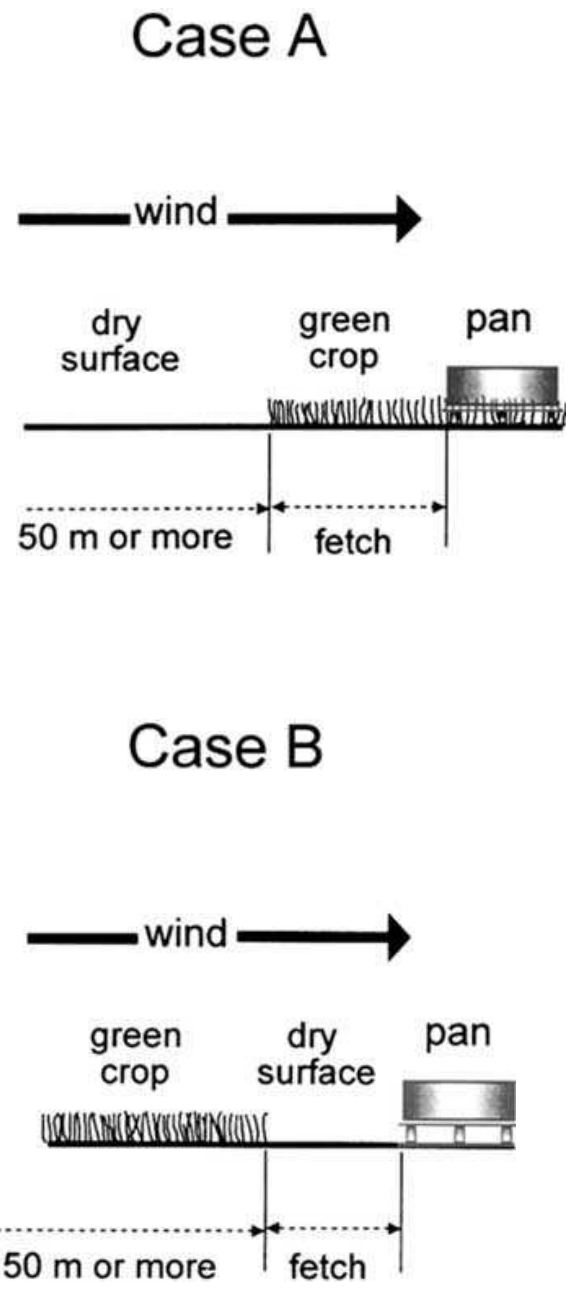


Fig. 1 Prediction of ETo from Blaney-Criddle f factor for different conditions of minimum relative humidity, sunshine duration and day time wind.

รูปที่ 13 Prediction of ETo from Blaney-Criddle f factor for different conditions of minimum relative humidity, sunshine duration and day time wind



รูปที่ 14 แสดงรูปแบบของการติดตั้งถาดวัดการระเหยในสภาพแวดล้อมต่างๆ

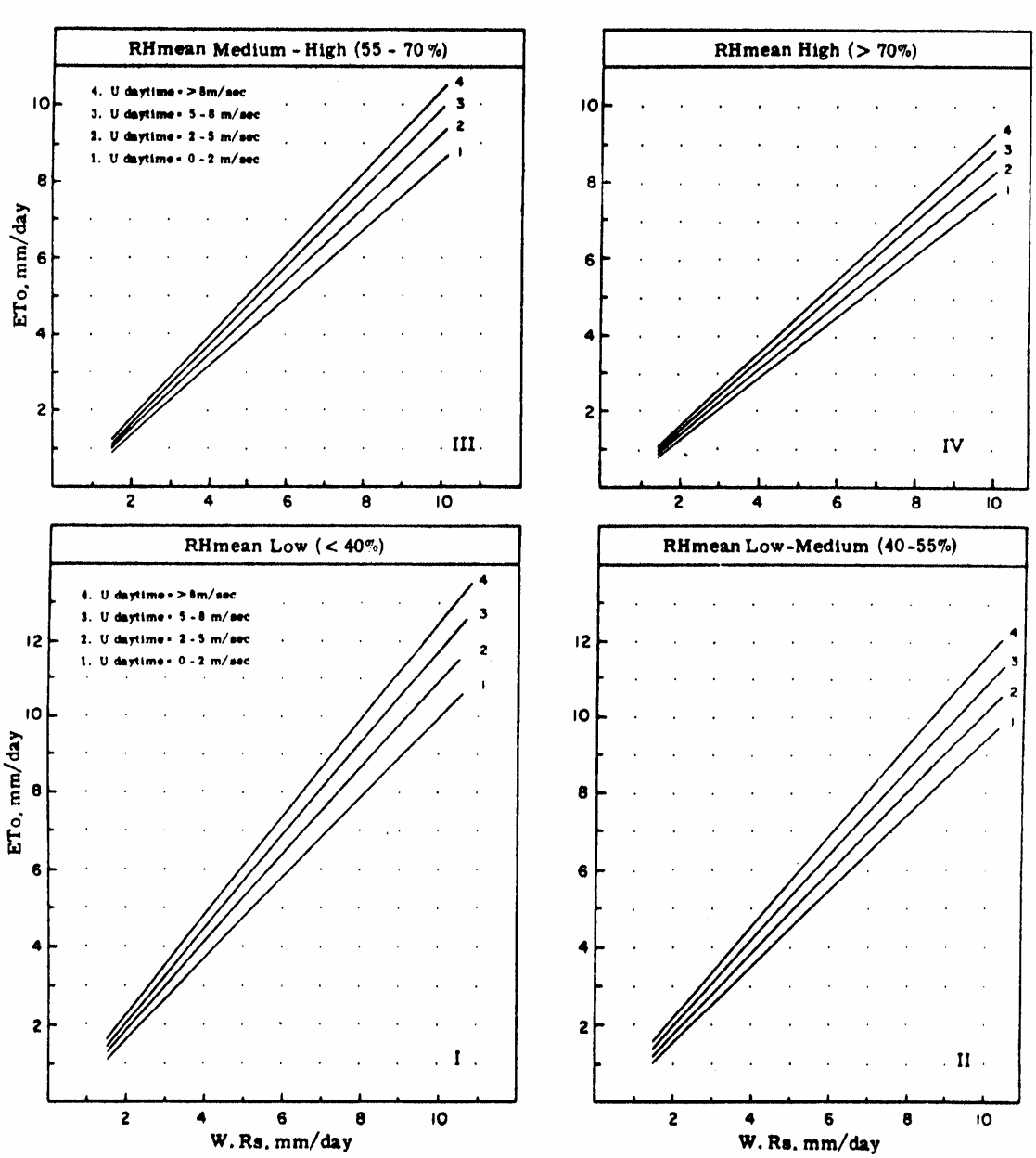


Fig. 2 Prediction of ETo from W. RS for different conditions of mean relative humidity and day time wind.

รูปที่ 15 Prediction of ETo from W.Rs for different conditions of mean relative humidity and day time wind

ตารางที่ 27 Adjustment factor (c) in Presented Modified Penman Equation

	RHmax = 30 %				RHmax = 60 %				RHmax = 90 %			
Rs mm/day	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Uday m/sec	Uday/Unight = 4.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.79	.84	.92	.97	.92	1.00	1.11	1.19	.99	1.10	1.27	1.32
6	.68	.77	.87	.93	.85	.96	1.11	1.19	.94	1.10	1.26	1.33
9	.55	.65	.78	.90	.76	.88	1.02	1.14	.98	1.01	1.16	1.27
	Uday/Unight = 3.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.76	.81	.88	.94	.87	.96	1.06	1.12	.94	1.04	1.18	1.28
6	.61	.68	.81	.88	.77	.88	1.02	1.10	.86	1.01	1.15	1.22
9	.46	.56	.72	.82	.67	.79	.88	1.05	.78	.92	1.06	1.18
	Uday/Unight = 2.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.69	.76	.85	.92	.83	.91	.99	1.05	.89	.98	1.10	1.14
6	.53	.61	.74	.84	.70	.80	.94	1.02	.79	.92	1.05	1.12
9	.37	.48	.65	.76	.59	.70	.84	.95	.71	.91	.96	1.06
	Uday/Unight = 1.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.64	.71	.82	.89	.78	.86	.94	.99	.85	.92	1.01	1.05
6	.43	.53	.68	.79	.62	.70	.84	.93	.72	.82	.95	1.00
9	.27	.41	.59	.70	.50	.60	.75	.87	.62	.72	.87	.96

ตารางที่ 28 Mean daily percentage (p) of annual daytime hours for different months and different ltitudes

N. Lats.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
40	0.22	0.24	0.27	0.30	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21
35	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22
30	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
25	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
20	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
19	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
17	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
15	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
14	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
13	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
10	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26
7	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
5	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Training Manual: Applications of Climatic data for Effective Irrigation Planning and Management,FAO & WMO, p.58

ตารางที่ 29 Pan coefficients (K_p) for Class A pan for different pan siting and environment and different levels of mean relative humidity and wind speed (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24)

Class A pan	Case A: Pan placed in short green cropped area				Case B: Pan placed in dry fallow area			
RH mean (%) ®		low < 40	medium 40 - 70	high > 70		low < 40	medium 40 - 70	high > 70
Wind speed (m/s)	Windward side distance of green crop (m)				Windward side distance of dry fallow (m)			
Light	1	.55	.65	.75	1	.7	.8	.85
< 2	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.5	.6	.7
Moderate	1	.5	.6	.65	1	.65	.75.	.8
2-5	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1000	.7	.8	.8	1000	.45	.55	.6.
Strong	1	.45	.5	.6	1	.6	.65	.7
5-8	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1000	.65	.7	.75	1000	.4	.45	.55
Very strong	1	.4	.45	.5	1	.5	.6	.65
> 8	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1000	.55	.6	.65	1000	.35	.4	.45

ตารางที่ 30 Maximum possible duration of sunlight in the northern hemispheres expressed in units of 30 days of 12 hours each (d)

N. Lats.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
7	1.01	0.92	1.03	1.02	1.07	1.04	1.07	1.06	1.01	1.02	0.98	1.00
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
13	0.99	0.91	1.03	1.04	1.10	1.07	1.10	1.08	1.02	1.01	0.97	0.98
14	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
15	0.97	0.90	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
17	0.96	0.90	1.03	1.05	1.12	1.10	1.13	1.10	1.02	1.00	0.94	0.95
19	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
20	0.95	0.89	1.03	1.05	1.12	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25	0.93	0.88	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
28	0.91	0.87	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88

Irrigation: Design and Practice, Bruce Withers & Stanley Vipond, 1974 p.83

ตารางที่ 31 Saturation vapour pressure (e°(T)) for different temperatures (T)

T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa
1.0	0.657	13.0	1.498	25.0	3.168	37.0	6.275
1.5	0.681	13.5	1.547	25.5	3.263	37.5	6.448
2.0	0.706	14.0	1.599	26.0	3.361	38.0	6.625
2.5	0.731	14.5	1.651	26.5	3.462	38.5	6.806
3.0	0.758	15.0	1.705	27.0	3.565	39.0	6.991
3.5	0.785	15.5	1.761	27.5	3.671	39.5	7.181
4.0	0.813	16.0	1.818	28.0	3.780	40.0	7.376
4.5	0.842	16.5	1.877	28.5	3.891	40.5	7.574
5.0	0.872	17.0	1.938	29.0	4.006	41.0	7.778
5.5	0.903	17.5	2.000	29.5	4.123	41.5	7.986
6.0	0.935	18.0	2.064	30.0	4.243	42.0	8.199
6.5	0.968	18.5	2.130	30.5	4.366	42.5	8.417
7.0	1.002	19.0	2.197	31.0	4.493	43.0	8.640
7.5	1.037	19.5	2.267	31.5	4.622	43.5	8.867
8.0	1.073	20.0	2.338	32.0	4.755	44.0	9.101
8.5	1.110	20.5	2.412	32.5	4.891	44.5	9.339
9.0	1.148	21.0	2.487	33.0	5.030	45.0	9.582
9.5	1.187	21.5	2.564	33.5	5.173	45.5	9.832
10.0	1.228	22.0	2.644	34.0	5.319	46.0	10.086
10.5	1.270	22.5	2.726	34.5	5.469	46.5	10.347
11.0	1.313	23.0	2.809	35.0	5.623	47.0	10.613
11.5	1.357	23.5	2.896	35.5	5.780	47.5	10.885
12.0	1.403	24.0	2.984	36.0	5.941	48.0	11.163
12.5	1.449	24.5	3.075	36.5	6.106	48.5	11.447

ตารางที่ 32 Slope of vapour pressure curve (Δ) for different temperatures (T)

T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C
1.0	0.047	13.0	0.098	25.0	0.189	37.0	0.342
1.5	0.049	13.5	0.101	25.5	0.194	37.5	0.350
2.0	0.050	14.0	0.104	26.0	0.199	38.0	0.358
2.5	0.052	14.5	0.107	26.5	0.204	38.5	0.367
3.0	0.054	15.0	0.110	27.0	0.209	39.0	0.375
3.5	0.055	15.5	0.113	27.5	0.215	39.5	0.384
4.0	0.057	16.0	0.116	28.0	0.220	40.0	0.393
4.5	0.059	16.5	0.119	28.5	0.226	40.5	0.402
5.0	0.061	17.0	0.123	29.0	0.231	41.0	0.412
5.5	0.063	17.5	0.126	29.5	0.237	41.5	0.421
6.0	0.065	18.0	0.130	30.0	0.243	42.0	0.431
6.5	0.067	18.5	0.133	30.5	0.249	42.5	0.441
7.0	0.069	19.0	0.137	31.0	0.256	43.0	0.451
7.5	0.071	19.5	0.141	31.5	0.262	43.5	0.461
8.0	0.073	20.0	0.145	32.0	0.269	44.0	0.471
8.5	0.075	20.5	0.149	32.5	0.275	44.5	0.482
9.0	0.078	21.0	0.153	33.0	0.282	45.0	0.493
9.5	0.080	21.5	0.157	33.5	0.289	45.5	0.504
10.0	0.082	22.0	0.161	34.0	0.296	46.0	0.515
10.5	0.085	22.5	0.165	34.5	0.303	46.5	0.526
11.0	0.087	23.0	0.170	35.0	0.311	47.0	0.538
11.5	0.090	23.5	0.174	35.5	0.318	47.5	0.550
12.0	0.092	24.0	0.179	36.0	0.326	48.0	0.562
12.5	0.095	24.5	0.184	36.5	0.334	48.5	0.574

ตารางที่ 33 Number of the day in the year (J)

Day	January	February	March*	April*	May*	June*	July*	August*	September*	October*	November*	December*
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177,	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

* add 1 if leap year

J can be determined for each day (D) of month (M) by
J = **INTEGER** (275 M/9 - 30 + D) - 2
IF (M < 3) **THEN J = J + 2**
also, **IF** (leap year and (M > 2)) **THEN** J = J + 1

For ten-day calculations, compute J for day D = 5, 15 and 25 For monthly calculations, J at the middle of the month is approximately given by

J = **INTEGER** (30.4 M - 15)

ตารางที่ 34 Conversion factors to convert wind speed measured at given height (over grass) to wind speed measured at standard height of 2 m above ground surface

z height (m)	Conversion factor	z height (m)	conversion factor	z height (m)	conversion factor	z height (m)	conversion factor
-	-	2.2	0.980	4.2	0.865	6.0	0.812
-	-	2.4	0.963	4.4	0.857	6.5	0.802
-	-	2.6	0.947	4.6	0.851	7.0	0.792
-	-	2.8	0.933	4.8	0.844	7.5	0.783
1.0	1.178	3.0	0.921	5.0	0.838	8.0	0.775
1.2	1.125	3.2	0.910	5.2	0.833	8.5	0.767
1.4	1.084	3.4	0.899	5.4	0.827	9.0	0.760
1.6	1.051	3.6	0.889	5.6	0.822	9.5	0.754
1.8	1.023	3.8	0.881	5.8	0.817	10.0	0.748
2.0	1.000	4.0	0.872	6.0	0.812	10.5	0.742

ตารางที่ 35 Units and symbols

PREFIXES

Units can be used as such or in multiples :

Tera	(T) and which is	10^{12}
Giga	(G)	10^{9}
Mega	(M)	10^{6}
Kilo	(k)	10^{3}
Hecto	(h)	10^{2}
Deca	(da)	10^{1}
Deci	(d)	10^{-1}
Centi	©	10^{-2}
Milli	(m)	10^{-3}
Micro	(m)	10^{-6}
Nano	(n)	10^{-9}
Pico	(p)	10^{-12}
Femto	(f)	10^{-15}
Atto	(a)	10^{-18}

TEMPERATURE

Standard unit : degree Celsius (°C)

degree Fahrenheit (°F)	(°C) = (°F-32) 5/9
Kelvin (K)	1K = (°C) + 273.16

PRESSURE (air pressure, vapour pressure)

Standard unit : kilopascal (kPa)

millibar (mbar)	1 mbar = 0.1 kPa
bar	1 bar = 100 kPa
centimetre of water (cm)	1 cm of water = 0.09807 kPa
millimetre of mercury (mmHg)	1 mmHg = 0.1333 kPa
atmospheres (atm)	1 atm = 101.325 kPa
pound per square inch (psi)	1 psi = 6.896 kPa

WIND SPEED

Standard unit : metre per second ($m\ s^{-1}$)

kilometre per day ($km\ day^{-1}$)	1 $km\ day^{-1}$ = 0.01157 $m\ s^{-1}$
nautical mile/hour (knot)	1 knot = 0.5144 $m\ s^{-1}$
foot per second ($ft\ s^{-1}$)	1 ft/s = 0.3048 $m\ s^{-1}$

RADIATION

Standard unit : megajoule per square metre and per day ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$) or as equivalent evaporation in mm per day ($mm\ day^{-1}$)

equivalent evaporation (mm/day)	1 $mm\ day^{-1}$ = 2.45 $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$
joule per cm^2 per day ($J\ cm^{-2}\ day^{-1}$)	1 $J\ cm^{-2}\ day^{-1}$ = 0.01 $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$
calorie per cm^2 per day ($cal\ cm^{-2}\ day^{-1}$)	1 cal = 4.1868 J = 4.1868 10^{-6} MJ
	1 $cal\ cm^{-2}\ day^{-1}$ = 4.1868 10^{-2} $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$
watt per m^2 ($W\ m^{-2}$)	1 W = 1 $J\ s^{-1}$
	1 $W\ m^{-2}$ = 0.0864 $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$

EVAPOTRANSPIRATION

Standard unit : millimetre per day ($mm\ day^{-1}$)

m^3 per hectare per day ($m^3\ ha^{-1}\ day^{-1}$)	1 $m^3\ ha^{-1}\ day^{-1}$ = 0.1 $mm\ day^{-1}$
litre per second per hectare (1 $s^{-1}\ ha^{-1}$)	1 $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ = 8.640 $mm\ day^{-1}$
equivalent radiation in megajoules per square metre per day ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)	1 $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ = 0.408 $mm\ day^{-1}$

ตารางที่ 36 Performance of various ETo methods (after Jensen et al., 1990)

LOCATIONS	HUMID			ARID		
Performance Indicator	Rank No.	Over [1] Estimate	Stand. Error [2]	Rank No.	Over-[1] Estimate	Stand. Error [2]
COMBINATION METHODS						
Penman-Monteith	1	+ 4%	0.32	1	- 1%	0.49
FAO-24 Penman (c=1)	14	+ 29%	0.93	6	+ 12%	0.69
FAO-24 Penman (corrected)	19	+ 35%	1.14	10	+ 18%	1.1
FAO -PPP-17 Penman	4	+ 16%	0.67	5	+ 6%	0.68
Penman (1963)	3	+ 14%	0.60	7	- 2%	0.70
Penman 1963, VPD #3	6	+ 20%	0.69	4	+ 6%	0.67
1972 Kimberley Penman	8	+ 18%	0.71	8	+ 6%	0.73
1982 Kimberley Penman	7	+ 10%	0.69	2	+ 3%	0.54
Businger-van Bavel	16	+ 32%	1.03	11	+ 11%	1.12
RADIATION METHODS						
Priestley Taylor	5	- 3%	0.68	19	- 27%	1.89
FAO-Radiation	11	. + 22%	..0.79	... 3	.. + 6%	... 0.62
TEMPERATURE METHODS						
Jensen-Haise	12	- 18%	0.84	12	- 12%	1.13
Hargreaves	10	+ 25%	0.79	13	- 9%	1.17
Turc	2	..+ 5%	..0.56	.. 18	.. - 26%	... 1.88
SCS Blaney-Crddle	15	+ 17%	1.01	15	- 16%	1.29
FAO Blaney-Criddle	9	+ 16%	0.79	9	0%	0.76
Thornwaite	13	- 4%	0.86	20	- 37%	2.4
PAN EVAPORATION METHODS						
Class A Pan	20	+ 14%	1.29	17	+ 21%	1.54
Christiansen	18	- 10%	1.12	16	- 6%	1.41
FAO Class A	17	- 5%	1.09	14	+ 5%	1.25

[1] Over- or underestimation as percentage from 11 lysimeter data locations, corrected for reference type

[2] Weighted standard error of estimates, mm/day

ภาคผนวก ข

ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)

ตารางที่		หน้า
1	ข้าว กข.	84
2	ข้าวขาวดอกมะลิ 105	85
3	ข้าวบาสมาติ	86
4	ข้าวสาลี	87
5	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	88
6	ข้าวโพดหวาน	89
7	ข้าวฟ่าง	90
8	ถั่วเหลือง	91
9	ถั่วเขียว	92
10	งา	93
11	ทานตะวัน	94
12	แตงโม	95
13	กะหล่ำดอก	96
14	คะน้า	97
15	มะเขือเทศ	98
16	หอมหัวใหญ่	99
18	หอมแดง	100
18	มะระ	101
19	ดอกบานชื่น	102
20	ฝ้าย	103
21	อ้อย	104
22	ละหุ่ง	105
23	หน่อไม้ฝรั่ง	106
24	เผือก	107

ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc) (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	มะนาว (1-3 ปี)	108
26	มะนาว (3-5 ปี)	109
27	มะม่วง	110
28	ส้มโอ	111
29	หญ้าแฝก	112
30	กุหลาบ	113
31	หญ้ารูซี่	114
32	ถั่วลิสง	115
32	ข้าวนาหว่านน้ำตม (สุพรรณบุรี 1)	115
32	ยาสูบ	115
33	มะลิ	116
33	กล้วยน้ำว้า	116
33	กล้วยหอม	116
33	ขนุน	116
33	หญ้าเนเปียร์แคระ	116
33	ถั่วไมยรา	116
33	ปทุมมา	116
33	ธูปฤาษี	116

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าว กข.

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.90	1.10	1.23	0.76	0.90	1.29	1.03
2	0.94	1.24	1.21	0.85	0.92	1.38	1.07
3	0.98	1.52	1.27	1.06	1.11	1.35	1.12
4	1.13	1.65	1.55	1.14	1.24	1.57	1.29
5	1.21	1.67	1.55	1.12	1.31	1.77	1.38
6	1.27	1.64	1.89	1.07	1.23	1.88	1.45
7	1.32	2.10	1.87	1.39	1.54	1.78	1.50
8	1.30	1.66	1.86	1.09	1.22	1.87	1.48
9	1.26	1.74	1.72	1.15	1.24	1.77	1.42
10	1.21	1.68	1.42	1.19	1.27	1.73	1.34
11	1.11	1.68	1.48	1.17	1.23	1.51	1.23
12	0.85	1.18	1.29	0.81	0.89	1.15	0.94
13	0.75	1.13	1.13	0.78	0.85	0.63	0.86
เฉลี่ย	1.09	1.54	1.49	1.05	1.15	1.53	1.24

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวขาวดอกมะลิ 105

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.60	0.93	0.76	0.75	0.68	0.78	0.66
2	0.70	1.23	0.80	0.84	0.82	1.02	0.79
3	0.86	1.37	1.13	0.92	0.90	1.17	0.97
4	1.05	1.54	1.26	1.26	1.18	1.45	1.18
5	1.20	1.62	1.33	1.07	1.10	1.74	1.35
6	1.30	1.75	1.22	1.13	1.24	1.83	1.51
7	1.39	2.34	1.73	1.61	1.52	1.96	1.61
8	1.42	2.12	1.58	1.76	1.74	1.85	1.64
9	1.40	2.06	1.84	1.75	1.59	1.83	1.62
10	1.36	1.75	1.93	1.19	1.33	1.80	1.60
11	1.32	1.88	1.49	1.32	1.32	1.75	1.55
12	1.24	1.91	1.35	1.38	1.37	1.76	1.46
13	1.10	1.53	1.26	3.13	1.08	1.49	1.28
14	0.92	1.15	0.97	0.82	0.89	1.31	1.08
เฉลี่ย	1.13	1.64	1.31	1.20	1.19	1.53	1.31

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวบาสมาติ

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	1.11	1.30	1.46	1.55	0.95	1.24	1.22
2	1.18	1.50	1.60	1.72	1.03	1.33	1.30
3	1.23	1.44	1.85	1.45	1.03	1.49	1.36
4	1.27	1.70	1.45	1.71	1.20	1.47	1.45
5	1.29	1.72	1.86	1.38	1.10	1.52	1.47
6	1.30	1.66	1.66	1.59	1.21	1.54	1.49
7	1.30	1.71	1.71	1.65	1.18	1.56	1.49
8	1.30	1.72	1.48	1.56	1.18	1.60	1.48
9	1.28	1.77	1.57	1.14	1.09	1.62	1.46
10	1.26	1.69	1.58	1.34	1.19	1.58	1.44
11	1.22	1.74	1.30	1.20	1.09	1.70	1.36
12	1.17	1.67	1.26	1.18	1.09	1.51	1.23
13	1.06	1.34	1.36	1.01	0.96	1.35	1.11
14	0.88	1.04	1.22	0.82	0.80	1.12	0.93
เฉลี่ย	1.22	1.58	1.50	1.33	1.08	1.48	1.34

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวสาลี

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.41	0.62	0.56	0.37	0.47	0.59	0.50
2	0.43	0.56	0.49	0.32	0.45	0.65	0.52
3	0.50	0.66	0.70	0.44	0.60	0.67	0.61
4	0.63	0.74	0.88	0.64	0.79	0.77	0.76
5	0.95	1.11	1.21	1.40	1.04	1.17	1.11
6	1.08	1.35	1.32	2.09	1.06	1.27	1.26
7	1.14	1.41	1.36	2.36	1.15	1.29	1.33
8	1.16	1.48	1.42	2.42	1.17	1.37	1.38
9	1.14	1.38	1.42	2.01	1.13	1.43	1.37
10	1.07	1.28	1.44	1.26	1.04	1.29	1.32
11	0.92	1.13	1.19	1.14	0.93	1.09	1.14
12	0.67	0.69	0.86	0.83	0.66	0.76	0.83
13	0.48	0.58	0.62	0.66	0.52	0.58	0.62
14	0.35	0.45	0.48	0.37	0.40	0.46	0.46
15	0.30	0.42	0.39	0.32	0.34	0.40	0.39
เฉลี่ย	0.75	0.90	0.94	0.87	0.78	0.90	0.91

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.50	0.67	0.62	0.53	0.67	0.58	0.63
2	0.57	0.80	0.74	0.48	0.67	0.71	0.72
3	0.68	0.93	0.98	0.50	0.69	0.85	0.86
4	0.89	1.12	1.05	1.03	1.10	0.99	1.13
5	1.12	1.39	1.24	1.48	1.37	1.29	1.35
6	1.26	1.56	1.46	1.77	1.56	1.45	1.52
7	1.33	1.70	1.52	1.55	1.49	1.57	1.61
8	1.35	1.81	1.77	1.43	1.53	1.63	1.63
9	1.34	1.80	1.55	1.42	1.52	1.61	1.58
10	1.30	1.71	1.56	1.07	1.20	1.66	1.50
11	1.20	1.62	1.22	1.07	1.25	1.54	1.38
12	1.00	1.31	1.07	1.06	1.13	1.26	1.15
13	0.77	1.04	0.66	0.63	0.74	1.07	0.90
14	0.58	0.79	0.61	0.71	0.68	0.72	0.67
เฉลี่ย	0.99	1.31	1.14	1.03	1.13	1.20	1.19

ตารางที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวโพดหวาน

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.55	0.66	0.70	0.67	0.58	0.70	0.65
2	0.58	0.84	0.86	0.85	0.72	0.85	0.68
3	0.71	1.03	1.02	1.04	0.85	1.00	0.84
4	0.84	1.18	1.17	1.22	0.97	1.18	0.99
5	0.96	1.20	1.20	1.37	0.97	1.17	1.16
6	1.01	1.15	1.17	1.39	0.92	1.15	1.22
7	1.00	1.10	1.14	1.45	0.85	1.14	1.21
8	0.95	0.90	0.95	1.04	0.69	0.94	1.15
9	0.78	0.67	0.71	0.68	0.50	0.66	0.96
10	0.59	0.44	0.48	0.37	0.33	0.44	0.72
11	0.50	0.21	0.25	0.05	0.14	0.17	0.61
เฉลี่ย	0.77	0.85	0.88	0.92	0.68	0.85	0.93

ตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของข้าวฟ่าง

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.49	0.66	0.69	0.53	0.59	0.59	0.54
2	0.52	0.71	0.72	0.54	0.63	0.63	0.57
3	0.59	0.80	0.68	0.55	0.62	0.74	0.68
4	0.73	1.05	0.95	0.72	0.90	0.90	0.84
5	0.91	1.25	1.09	0.90	1.03	1.13	1.05
6	1.05	1.46	1.40	1.00	1.17	1.28	1.21
7	1.12	1.61	1.28	0.86	0.96	1.49	1.23
8	1.15	1.65	1.56	1.37	1.39	1.39	1.26
9	1.14	1.67	1.52	1.53	1.59	1.34	1.25
10	1.09	1.64	1.68	1.25	1.36	1.36	1.20
11	0.99	1.44	1.46	1.23	1.30	1.19	1.12
12	0.83	1.20	1.08	0.84	0.94	1.03	0.94
13	0.69	0.95	1.00	0.78	0.79	0.81	0.78
14	0.61	0.87	0.92	0.79	0.89	0.70	0.69
15	0.57	0.79	0.90	0.79	0.81	0.62	0.65
16	0.55	0.71	0.74	0.70	0.73	0.61	0.62
เฉลี่ย	0.81	1.14	1.10	0.89	0.98	0.97	0.91

ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของถั่วเหลือง

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.57	0.85	0.65	0.53	0.68	0.72	0.64
2	0.62	0.84	0.70	0.66	0.65	0.74	0.69
3	0.73	1.06	0.89	0.81	0.95	0.89	0.81
4	0.91	1.28	1.08	0.75	0.86	1.15	1.01
5	1.13	1.59	1.30	0.99	1.05	1.48	1.23
6	1.22	1.77	1.32	1.23	1.31	1.51	1.32
7	1.25	1.82	1.64	1.05	1.22	1.22	1.35
8	1.23	1.65	1.58	1.51	1.31	1.43	1.34
9	1.16	1.55	1.41	1.24	1.13	1.42	1.27
10	1.00	1.35	1.45	1.05	1.20	1.17	1.09
11	0.78	1.05	1.13	0.76	0.85	0.92	0.85
12	0.68	0.86	0.74	0.81	0.80	0.74	0.74
13	0.64	0.82	0.83	0.65	0.62	0.75	0.74
14	0.62	0.78	0.85	0.67	0.60	0.78	0.72
เฉลี่ย	0.89	1.22	1.10	0.91	0.95	1.06	0.99

ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของถั่วเขียว

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.49	0.65	0.40	0.29	0.35	0.40	0.58
2	0.74	0.70	0.63	0.51	0.58	0.67	0.87
3	1.00	0.80	0.88	0.72	0.80	0.93	1.18
4	1.24	1.11	1.12	0.95	0.99	1.20	1.40
5	1.13	1.58	1.36	1.15	1.14	1.45	1.28
6	1.05	1.51	1.20	1.10	1.04	1.37	1.19
7	0.58	0.97	0.82	0.72	0.67	0.90	0.66
8	0.39	0.62	0.50	0.47	0.43	0.58	0.44
9	0.30	0.31	0.22	0.20	0.18	0.25	0.34
เฉลี่ย	0.77	0.92	0.79	0.68	0.69	0.86	0.88

ตารางที่ 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของงา

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.49	0.69	0.64	0.76	0.72	0.56	0.59
2	0.58	0.82	0.68	0.81	0.79	0.67	0.70
3	0.73	1.04	1.00	0.99	1.00	0.85	0.85
4	0.96	1.42	1.33	1.21	1.33	1.16	1.11
5	1.06	1.53	1.38	1.48	1.56	1.23	1.23
6	1.10	1.61	1.44	1.47	1.58	1.31	1.28
7	1.11	1.58	1.39	1.36	1.54	1.37	1.24
8	1.08	1.57	1.36	0.93	1.19	1.39	1.21
9	1.01	1.39	1.30	1.14	1.24	1.22	1.13
10	0.88	1.21	1.13	0.80	0.92	1.08	0.98
11	0.63	0.86	0.87	0.89	0.91	0.73	0.71
12	0.49	0.60	0.64	0.49	0.59	0.60	0.55
เฉลี่ย	0.84	1.17	1.09	1.03	1.11	0.99	0.97

ตารางที่ 11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของทานตะวัน

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.56	0.60	0.72	0.62	0.58	0.56	0.68
2	0.60	0.66	0.89	0.61	0.55	0.66	0.73
3	0.62	0.68	0.88	0.77	0.71	0.66	0.75
4	0.64	0.64	0.93	0.78	0.68	0.65	0.78
5	0.66	0.81	0.94	0.69	0.72	0.76	0.81
6	0.69	0.91	0.93	0.60	0.69	0.82	0.85
7	0.73	0.82	0.92	0.82	0.85	0.82	0.90
8	0.77	0.84	0.97	0.88	0.91	0.85	0.95
9	0.83	0.95	1.21	1.14	0.95	0.95	0.97
10	0.90	1.17	1.22	0.80	0.92	1.09	1.06
11	0.94	1.05	1.14	1.09	1.20	1.04	1.10
12	0.98	1.14	1.16	1.09	1.14	1.12	1.03
13	0.80	0.81	0.92	0.98	0.96	0.87	0.92
14	0.70	0.74	0.80	0.90	0.79	0.78	0.80
15	0.63	0.78	0.74	0.72	0.71	0.75	0.72
เฉลี่ย	0.73	0.84	0.96	0.84	0.84	0.83	0.87

ตารางที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของแตงโม

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.67	0.73	0.80	0.93	0.58	0.77	1.02
2	0.86	1.00	1.09	1.25	0.73	0.93	1.14
3	1.21	1.44	1.67	1.75	1.07	1.31	1.60
4	1.44	1.64	1.79	1.90	1.21	1.61	1.90
5	1.59	1.83	1.77	2.23	1.33	1.73	2.10
6	1.48	1.87	1.54	2.07	1.25	1.60	1.90
7	1.35	1.84	1.58	1.92	1.19	1.51	1.73
8	1.12	1.32	1.44	1.60	1.03	1.25	1.44
9	0.80	0.99	0.88	1.04	0.70	0.92	1.03
10	0.60	0.78	0.83	0.63	0.52	0.67	0.75
11	0.52	0.71	0.65	0.52	0.47	0.59	0.65
12	0.41	0.56	0.52	0.41	0.35	0.47	0.52
เฉลี่ย	1.01	1.20	1.18	1.21	0.84	1.08	1.32

ตารางที่ 13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของกะหล่ำดอก

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.89	1.13	0.77	0.84	1.06	1.02	1.01
2	0.95	1.11	1.04	1.13	1.17	1.04	1.36
3	1.00	1.18	1.24	1.14	1.12	1.10	1.43
4	1.03	1.21	1.01	1.05	1.14	1.17	1.47
5	1.04	1.22	1.09	1.21	1.29	1.11	1.49
6	1.02	1.18	1.30	2.17	1.16	1.11	1.19
7	1.00	1.19	1.28	2.08	1.14	1.09	1.17
เฉลี่ย	0.99	1.18	1.09	1.27	1.15	1.09	1.30

ตารางที่ 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของคะน้า

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.46	0.61	0.61	0.59	0.61	0.56	0.54
2	0.54	0.70	0.70	0.68	0.59	0.63	0.60
3	0.61	0.83	0.72	0.78	0.75	0.74	0.68
4	0.64	0.89	0.85	0.79	0.77	0.77	0.72
5	0.70	0.96	0.80	0.82	0.83	0.85	0.78
6	0.74	1.02	0.86	0.98	0.91	0.91	0.83
7	0.65	0.90	0.73	0.91	0.79	0.80	0.73
8	0.60	0.81	0.67	0.79	0.69	0.74	0.67
เฉลี่ย	0.61	0.84	0.74	0.79	0.74	0.75	0.69

ตารางที่ 15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะเขือเทศ

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.59	0.66	0.74	0.59	0.66	0.63	0.73
2	0.66	0.73	0.86	0.76	0.82	0.69	0.82
3	0.74	0.83	0.92	0.76	0.83	0.77	0.91
4	0.82	0.92	1.02	0.84	0.90	0.84	1.01
5	0.91	0.96	1.23	1.12	0.98	0.87	1.12
6	0.98	1.03	1.22	1.18	0.96	0.98	1.21
7	1.05	1.13	1.35	1.27	1.05	1.05	1.30
8	1.10	1.16	1.41	1.33	1.03	1.13	1.36
9	1.12	1.23	1.48	1.26	1.15	1.20	1.41
10	1.12	1.20	1.52	1.17	1.14	1.17	1.41
11	1.09	1.20	1.49	1.11	1.11	1.17	1.37
12	1.04	1.15	1.52	0.97	1.02	1.09	1.31
13	0.96	1.08	1.34	0.98	0.98	1.00	1.22
14	0.85	1.00	1.25	0.85	0.88	0.92	1.08
15	0.72	0.84	1.30	0.76	0.76	0.78	0.92
เฉลี่ย	0.92	1.00	1.23	0.97	0.95	0.95	1.15

ตารางที่ 16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหอมหัวใหญ่

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.59	0.79	0.73	0.49	0.64	0.76	0.75
2	0.60	0.76	0.65	0.60	0.74	0.70	0.76
3	0.64	0.75	0.84	0.69	0.73	0.69	0.80
4	0.71	0.82	0.86	0.84	0.84	0.73	0.88
5	0.81	0.92	0.97	1.02	1.02	0.83	1.01
6	0.90	1.03	1.11	1.08	0.98	0.92	1.12
7	0.96	1.09	1.18	1.02	1.00	1.02	1.21
8	1.04	1.15	1.39	1.15	1.06	1.08	1.32
9	1.07	1.21	1.24	1.16	1.11	1.11	1.38
10	1.08	1.30	1.88	1.08	1.10	1.24	1.41
11	1.09	1.38	1.51	0.96	1.09	1.23	1.40
12	1.07	1.28	1.37	1.21	1.15	1.13	1.37
13	1.04	1.31	1.17	1.06	1.02	1.17	1.33
14	1.01	1.20	1.27	1.20	1.12	1.08	1.29
15	0.95	1.21	1.18	0.97	1.00	1.11	1.22
เฉลี่ย	0.90	1.10	1.15	0.98	0.99	1.00	1.15

ตารางที่ 17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหอมแดง

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.59	0.73	0.76	0.64	0.62	0.65	0.72
2	0.67	0.80	1.07	0.76	0.70	0.70	0.82
3	0.77	0.96	0.99	0.91	0.87	0.87	0.94
4	0.85	1.05	1.18	1.14	1.00	0.87	1.05
5	0.93	1.12	1.06	1.31	1.03	0.93	1.15
6	0.97	1.10	1.23	1.44	1.02	0.99	1.20
7	0.97	1.07	1.20	1.40	0.97	0.99	1.20
8	0.93	1.03	1.21	1.38	0.95	0.95	1.15
9	0.84	0.90	1.17	0.90	0.79	0.86	1.08
10	0.72	0.79	0.90	0.77	0.70	0.75	0.92
11	0.60	0.69	0.83	0.66	0.63	0.60	0.77
12	0.52	0.57	0.66	0.58	0.53	0.53	0.67
เฉลี่ย	0.78	0.89	1.01	0.95	0.81	0.81	0.97

ตารางที่ 18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะระ

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.68	0.76	0.68	0.98	0.93	0.69	0.88
2	0.84	0.91	0.89	1.26	1.07	0.86	1.09
3	0.98	1.11	1.04	1.47	1.28	1.02	1.23
4	1.08	1.23	1.10	1.60	1.23	1.15	1.35
5	1.14	1.27	1.43	1.73	1.33	1.19	1.43
6	1.18	1.31	1.52	1.75	1.31	1.26	1.48
7	1.19	1.54	1.49	1.26	1.19	1.49	1.47
8	1.18	1.52	1.41	1.45	1.26	1.34	1.46
9	1.14	1.38	1.32	1.48	1.24	1.24	1.41
10	1.10	1.35	1.20	1.62	1.30	1.20	1.36
11	1.04	1.32	1.16	1.46	1.24	1.19	1.29
เฉลี่ย	1.05	1.23	1.18	1.46	1.22	1.13	1.31

ตารางที่ 19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของบานชื่น

สัปดาห์ที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.25	0.22	0.36	0.36	0.27	0.24	0.36
2	0.42	0.36	0.55	0.50	0.44	0.38	0.58
3	0.56	0.49	0.73	0.61	0.59	0.52	0.77
4	0.68	0.62	0.90	0.71	0.72	0.64	0.93
5	0.79	0.74	1.05	0.80	0.84	0.76	1.07
6	0.88	0.86	1.18	0.87	0.95	0.87	1.18
7	0.95	0.97	1.30	0.92	1.03	0.97	1.27
8	1.01	1.07	1.40	0.97	1.11	1.06	1.33
9	1.05	1.17	1.50	1.01	1.18	1.15	1.38
เฉลี่ย	0.73	0.72	1.00	0.75	0.79	0.73	0.99

ตารางที่ 20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของฝ้าย

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.71	0.81	0.76	1.13	0.74	0.71	0.88
2	1.03	1.20	1.11	1.96	1.03	1.01	1.19
3	1.08	1.22	1.20	1.26	1.08	1.12	1.34
4	0.98	1.15	1.04	1.18	0.98	1.05	1.15
5	0.75	0.96	0.99	0.77	0.72	0.88	0.85
6	0.55	0.70	0.63	0.54	0.55	0.66	0.62
เฉลี่ย	0.85	1.02	0.96	1.03	0.85	0.92	1.01

ตารางที่ 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของอ้อย

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.47	0.56	0.56	0.56	0.60	0.53	0.65
2	0.68	0.83	0.84	0.71	0.83	0.80	0.86
3	0.85	1.04	0.94	0.88	1.00	1.04	1.13
4	1.03	1.28	1.27	1.06	1.16	1.21	1.35
5	1.20	1.54	1.73	1.18	1.35	1.41	1.56
6	1.00	1.17	1.50	1.14	1.19	1.06	1.29
7	0.86	0.98	1.23	0.80	1.16	0.96	1.20
8	0.65	0.68	0.74	0.93	0.88	0.63	0.93
9	0.50	0.57	0.48	0.53	0.55	0.53	0.63
10	0.42	0.53	0.45	0.44	0.48	0.48	0.52
เฉลี่ย	0.76	0.90	0.92	0.82	0.91	0.85	1.01

ตารางที่ 22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของละหุ่ง

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.70	0.88	0.90	0.77	0.68	0.76	0.76
2	0.79	0.79	0.87	0.88	0.68	0.77	0.86
3	0.82	0.82	0.90	0.93	0.67	0.84	1.01
4	0.84	0.83	1.06	0.93	0.77	0.83	1.02
5	0.81	0.81	0.92	0.90	0.80	0.79	1.01
6	0.73	0.82	0.97	0.82	0.80	0.78	0.89
7	0.60	0.68	0.74	0.67	0.67	0.67	0.70
8	0.41	0.47	0.48	0.45	0.46	0.46	0.47
เฉลี่ย	0.71	0.74	0.82	0.76	0.68	0.72	0.84

ตารางที่ 23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหน่อไม้ฝรั่ง

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.62	0.88	0.85	0.66	0.72	0.77	0.68
2	1.00	1.48	1.32	1.14	1.20	1.23	1.10
3	1.27	1.82	1.76	1.37	1.44	1.56	1.42
4	1.31	1.82	1.60	1.55	1.60	1.55	1.48
5	1.07	1.30	1.23	1.49	1.30	1.14	1.29
6	0.88	1.08	1.06	1.01	1.01	0.98	1.08
7	0.71	0.97	0.92	0.99	0.90	0.81	0.83
8	0.56	0.81	0.69	0.80	0.78	0.65	0.66
9	0.47	0.67	0.60	0.64	0.69	0.55	0.55
10	0.54	0.75	0.64	0.58	0.65	0.65	0.61
11	0.66	0.87	0.77	0.59	0.67	0.83	0.76
12	0.66	0.89	0.84	0.66	0.77	0.81	0.74
เฉลี่ย	0.76	1.06	0.97	0.90	0.94	0.91	0.93

ตารางที่ 24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของเผือก

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.93	1.32	1.08	1.32	1.32	1.08	1.00
2	1.15	1.59	1.32	1.51	1.57	1.36	1.23
3	2.06	2.72	2.39	2.19	2.52	2.47	2.14
4	2.16	2.84	2.77	1.93	2.30	2.70	2.27
5	1.62	2.17	2.30	1.56	1.84	1.97	1.66
6	1.46	1.77	1.77	1.15	1.39	1.54	1.50
เฉลี่ย	1.52	2.03	1.83	1.63	1.83	1.78	1.63

ตารางที่ 25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะนาว(1-3 ปี)

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
มีค.	0.91	1.36	1.15	2.14	1.75	1.09	1.10
เมย.	1.17	1.72	1.49	2.14	2.19	1.44	1.38
พค.	1.25	1.78	1.60	1.86	2.11	1.57	1.44
มิย.	1.30	1.77	1.68	1.57	1.86	1.64	1.50
กค.	1.12	1.58	1.66	1.47	1.71	1.40	1.29
สค.	0.94	1.38	1.31	1.25	1.51	1.19	1.08
กย.	1.15	1.74	1.60	1.65	1.90	1.45	1.30
ตค.	1.23	1.85	1.90	1.90	2.11	1.51	1.40
พย.	1.03	1.45	1.59	2.06	1.90	1.18	1.18
ธค.	0.99	1.26	1.17	3.16	1.80	1.10	1.19
มค.	0.88	1.06	0.99	1.83	1.11	0.95	1.06
กพ.	0.85	1.10	0.98	1.12	1.05	0.94	1.02
เฉลี่ย	1.07	1.49	1.39	1.74	1.71	1.28	1.25

ตารางที่ 26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะนาว(3-5 ปี)

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
มีค.	0.97	1.45	1.23	2.28	1.86	1.16	1.17
เมย.	1.25	1.84	1.60	2.29	2.34	1.54	1.47
พค.	1.31	1.86	1.67	1.95	2.21	1.64	1.51
มิย.	1.38	1.88	1.79	1.66	1.98	1.74	1.59
กค.	1.17	1.65	1.72	1.53	1.79	1.46	1.35
สค.	0.99	1.46	1.37	1.31	1.59	1.25	1.14
กย.	1.18	1.79	1.64	1.69	1.95	1.49	1.33
ตค.	1.25	1.88	1.91	1.94	2.14	1.54	1.42
พย.	1.06	1.50	1.62	2.12	1.96	1.21	1.21
ธค.	1.07	1.36	1.28	3.41	1.95	1.19	1.28
มค.	0.96	1.15	1.09	1.99	1.21	1.04	1.16
กพ.	0.92	1.19	1.07	1.21	1.14	1.02	1.11
เฉลี่ย	1.12	1.57	1.47	1.84	1.80	1.35	1.31

ตารางที่ 27 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของมะม่วง

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
มิย.	1.84	2.35	2.21	1.63	1.51	2.35	2.10
กค.	2.06	2.62	2.28	1.76	1.70	2.62	2.46
สค.	2.33	3.13	3.10	2.28	2.00	2.95	2.53
กย.	2.07	2.78	2.64	2.35	2.07	2.46	2.28
ตค.	2.12	2.75	2.85	2.48	2.21	2.42	2.29
พย.	2.29	2.54	2.63	2.68	2.13	2.35	2.50
ธค.	1.54	1.63	1.76	1.79	1.32	1.58	1.90
มค.	1.44	1.60	1.89	1.65	1.37	1.48	1.69
กพ.	1.29	1.52	1.55	1.52	1.37	1.34	1.61
มีค.	1.04	1.32	1.44	1.20	1.23	1.14	1.27
เมย.	1.06	1.35	1.36	1.23	1.25	1.23	1.24
พค.	1.04	1.34	1.27	1.22	1.24	1.24	1.19
เฉลี่ย	1.60	1.98	1.99	1.74	1.59	1.82	1.92

ตารางที่ 28 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของส้มโอ

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
ธค.	1.44	1.52	1.65	1.60	1.31	1.48	1.74
มค.	1.32	1.46	1.72	1.42	1.32	1.38	1.62
กพ.	1.19	1.38	1.63	1.44	1.15	1.24	1.45
มีค.	0.91	1.15	1.15	1.05	1.03	1.05	1.12
เมย.	0.87	1.12	1.01	1.01	0.96	1.01	1.02
พค.	1.00	1.30	1.28	1.25	1.16	1.17	1.13
มิย.	1.73	2.21	2.09	1.53	1.42	2.21	1.97
กค.	2.04	2.59	2.23	1.74	1.68	2.59	2.44
สค.	2.17	2.92	2.92	2.12	1.87	2.74	2.36
กย.	1.79	2.40	2.28	2.03	1.79	2.12	1.97
ตค.	1.82	2.36	2.43	2.13	1.90	2.08	1.96
พย.	1.74	1.93	1.98	2.04	1.62	1.78	1.90
เฉลี่ย	1.44	1.76	1.77	1.56	1.41	1.64	1.72

ตารางที่ 29 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้าแฝก

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
ธค.	0.69	0.72	0.82	0.68	0.75	0.70	0.91
มค.	0.60	0.72	0.65	0.62	0.72	0.69	0.79
กพ.	0.66	0.79	0.66	0.70	0.78	0.80	0.87
มีค.	0.62	0.79	0.66	0.68	0.80	0.73	0.83
เมย.	0.79	1.23	0.88	0.77	0.91	0.92	1.03
พค.	1.06	1.40	1.05	0.86	1.11	1.39	1.37
มิย.	1.07	1.41	1.09	0.88	1.15	1.44	1.37
กค.	1.24	1.48	1.08	1.10	1.15	1.51	1.53
สค.	1.09	1.45	1.27	1.17	1.10	1.21	1.33
กย.	1.00	1.30	1.24	1.26	1.15	1.05	1.24
ตค.	0.99	1.20	1.01	1.19	1.21	1.07	1.26
พย.	1.08	1.26	1.01	1.22	1.23	1.11	1.34
เฉลี่ย	0.88	1.10	0.92	0.89	0.99	1.01	1.13

ตารางที่ 30 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของกุหลาบ

เดือนที่	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
1	0.70	0.96	0.92	0.66	0.72	0.72	0.89
2	0.78	1.05	0.90	0.68	0.72	1.05	0.95
3	1.21	1.28	1.58	1.00	1.05	1.43	1.46
4	1.25	1.47	1.53	1.08	1.11	1.49	1.49
5	0.93	1.19	1.21	0.87	0.88	0.99	1.16
6	1.04	1.23	1.44	1.02	1.02	1.00	1.33
7	1.60	1.47	2.17	1.59	1.52	1.32	2.07
8	1.37	1.24	1.74	1.43	1.25	1.09	1.79
9	1.66	1.35	2.43	1.82	1.53	1.31	2.17
10	1.76	1.55	2.65	1.79	1.58	1.48	2.25
11	1.39	1.40	1.94	1.59	1.24	1.42	1.73
12	1.44	1.35	2.05	1.45	1.41	1.25	1.90
เฉลี่ย	1.26	1.29	1.71	1.25	1.17	1.21	1.60

ตารางที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชของหญ้ารูซี่

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient ; Kc)						
	Modified Penman	Blaney-Criddle	E-pan	Thornthwaite	Hargreaves	Radiation	Penman-Monteith
พค.	0.68	0.98	0.85	0.64	0.78	0.83	0.88
มิย.	0.96	1.32	1.25	0.86	1.07	1.16	1.23
กค.	0.76	1.15	1.03	0.64	0.94	0.86	1.03
สค.	0.72	1.04	1.05	0.59	0.83	0.90	0.98
กย.	0.60	0.87	0.82	0.58	0.72	0.69	0.77
ตค.	0.83	1.20	1.05	0.77	0.99	0.89	1.09
พย.	0.44	0.53	0.56	0.40	0.51	0.45	0.58
ธค.	0.93	0.95	1.14	1.16	1.01	0.95	1.24
มค.	0.64	0.64	0.88	0.68	0.69	0.63	0.85
กพ.	0.95	1.05	1.27	1.07	1.02	0.98	1.24
มีค.	0.43	0.50	0.60	0.45	0.45	0.46	0.57
เมย.	0.80	0.90	1.04	0.81	0.94	0.90	1.05
เฉลี่ย	0.73	0.93	0.96	0.72	0.83	0.81	0.96

ตารางที่ 32 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธีของ Penman Monteith ของพืชต่างๆ รายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	ถั่วลิสง	ข้าวนาหว่านน้ำตม (สุพรรณบุรี 1)	ยาสูบ
1	0.60	0.80	0.45
2	0.72	1.05	0.57
3	0.85	1.25	0.69
4	0.94	1.40	0.88
5	1.17	1.50	1.01
6	1.24	1.55	1.36
7	1.28	1.60	1.61
8	1.36	1.63	1.48
9	1.04	1.68	1.44
10	0.99	1.60	1.30
11	0.91	1.50	1.21
12	0.77	1.36	1.00
13	0.60	1.08	1.00
14	0.50	0.65	
15	0.45		
16			
เฉลี่ย	**0.89**	**1.33**	**1.08**

ตารางที่ 33 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธีของ Penman Monteith ของพืชต่างๆ รายเดือน

เดือนที่	มะลิ	กล้วยน้ำว้า	กล้วยหอม	ขนุน	หญ้าเนเปียร์แคระ	ถั่วไมยรา	ปทุมมา	ธูปฤาษี
1	1.35	0.76	1.94	0.84	1.12	0.65	0.35	0.91
2	1.49	1.10	1.74	0.65	0.76	1.41	0.61	0.80
3	1.08	1.45	1.78	1.27	1.77	1.53	0.65	0.88
4	1.84	1.64	1.96	1.29	2.11	0.75	0.62	1.01
5	1.46	2.30	2.07	1.01	1.81	0.54	1.14	1.27
6	0.90	2.11	2.18	1.29	1.90	0.68	0.67	1.48
7	1.74	2.38	2.18	1.59	1.95	0.92	0.52	1.53
8	2.18	2.29	1.88	1.73	2.28	1.12	0.74	1.49
9	2.32	3.28	1.86	1.77	2.25	1.28		1.54
10	2.19	3.19	2.21	1.38	1.98			1.73
11	2.56	3.39	2.02	1.58	1.37			1.75
12	2.35	3.39	2.22	1.83	1.25			1.70
เฉลี่ย	**1.79**	**2.27**	**2.00**	**1.35**	**1.71**	**0.99**	**0.66**	**1.34**

ภาคผนวก ค

ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith

Reference Crop Evapotranspiration by Penman Monteith

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคเหนือ	119
2	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	120
3	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคกลางและตะวันตก	121
4	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคตะวันออก	122
5	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคใต้	123

ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคเหนือ

หน่วย : ม.ม./วัน

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แม่ฮ่องสอน	2.83	3.55	4.51	5.22	4.46	3.59	2.93	3.32	3.11	3.32	3.02	2.68
-แม่สะเรียง	2.89	3.86	4.78	5.11	4.35	2.92	2.82	2.72	3.07	3.09	2.93	2.84
เชียงราย	2.83	3.50	4.40	5.05	4.35	4.00	3.53	3.38	3.45	3.43	3.17	2.63
-สถานีฯเกษตร เชียงราย	2.79	3.42	4.26	4.77	4.13	3.85	3.40	3.27	3.71	3.38	3.14	2.64
พะเยา	2.83	3.53	4.45	4.91	4.40	3.69	3.58	3.38	3.40	3.23	2.92	2.58
เชียงใหม่	3.21	4.09	5.26	6.12	4.97	4.30	3.80	3.62	3.67	3.74	3.35	3.03
-ดอยอ่างขาง	3.16	4.36	5.30	5.18	3.95	3.50	3.27	3.06	3.23	2.92	2.98	2.65
-สถานีฯเกษตร แม่ใจ้	3.07	3.71	4.59	4.85	3.86	3.92	2.94	3.37	3.09	3.68	3.38	3.03
ลำปาง	3.07	3.73	4.69	4.98	4.44	4.06	3.61	3.46	3.51	3.42	3.13	2.84
-เถิน	3.64	4.54	5.60	5.77	4.39	4.27	3.86	3.67	3.73	3.64	3.77	3.45
-สถานีฯเกษตร ลำปาง	2.77	3.26	4.06	4.22	3.78	3.45	3.37	3.28	3.06	3.29	3.11	2.70
ลำพูน	2.94	3.79	4.73	5.46	4.56	3.78	3.68	3.47	3.47	3.35	3.06	2.74
แพร่	2.98	3.70	4.48	4.91	4.57	3.73	3.59	3.44	3.50	3.41	3.17	2.68
น่าน	2.88	3.49	4.39	4.63	4.25	3.88	3.43	3.33	3.43	3.47	3.04	2.70
-สถานีฯเกษตร น่าน	2.88	3.54	4.37	4.83	4.14	3.78	3.37	3.27	3.72	3.74	3.32	2.81
-ท่าวังผา	2.88	3.56	4.55	4.67	4.28	3.56	3.46	2.78	3.41	3.40	3.11	2.65
-ทุ่งช้าง	3.14	3.81	4.76	4.91	4.39	4.22	3.76	3.29	3.73	3.92	3.29	2.90
อุตรดิตถ์	3.25	3.88	4.77	4.91	4.43	3.59	3.50	3.40	3.52	3.59	3.48	2.99
ตาก	3.20	4.16	5.25	5.80	4.94	3.86	3.93	3.84	3.33	3.39	3.21	2.94
-แม่สอด	3.32	4.08	4.96	5.41	4.21	3.00	2.88	2.79	3.15	3.52	3.48	3.31
-เขื่อนภูมิพล	3.23	4.12	5.14	5.67	4.59	3.81	3.80	3.74	3.26	3.41	3.16	3.01
-อุ้มผาง	3.12	3.71	4.30	4.51	3.70	2.75	2.69	2.64	2.52	2.99	3.33	2.98
-สถานีฯเกษตร ดอยมูเซอ	4.14	3.87	4.88	5.76	4.46	3.61	2.84	2.59	2.91	2.9	3.15	2.93
พิษณุโลก	3.27	4.01	4.99	5.32	4.71	3.78	3.65	3.51	3.27	3.55	3.42	3.19
เพชรบูรณ์	3.33	4.05	4.96	5.18	4.16	3.69	3.58	3.43	3.22	3.69	3.73	3.41
-หล่มสัก	3.15	3.83	4.34	4.53	4.04	3.66	3.59	2.93	3.18	3.57	3.48	3.12
-วิเชียรบุรี	3.31	4.07	4.56	4.73	4.08	3.64	3.58	2.93	3.22	3.53	3.49	3.26
กำแพงเพชร	3.26	3.91	4.35	5.01	4.45	3.92	3.5	3.41	3.55	3.48	3.34	3.11
สุโขทัย	3.36	4.03	4.66	5.72	4.44	4.32	3.94	3.78	3.66	3.66	3.51	3.26
-สถานีฯเกษตร ศรีสำโรง	3.04	3.49	4.47	4.96	3.95	3.93	3.54	3.43	3.49	3.44	3.45	3
พิจิตร	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯ เกษตรพิจิตร	3.28	3.89	4.35	4.6	4.05	3.98	3.5	3.4	3.19	3.47	3.58	3.24

ตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วย : ม.ม./วัน

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
หนองคาย	3.11	3.78	4.62	4.62	4.03	3.56	3.51	3.41	3.51	3.63	3.31	3.04
เลย	3.28	4.06	4.81	5.06	4.43	4.07	3.66	3.55	3.55	3.55	3.23	3.04
-สถานีฯเกษตร เลย	3.19	3.95	4.73	4.76	4.20	3.89	3.87	3.39	3.84	3.50	3.42	3.00
อุดรธานี	3.32	4.07	4.85	5.21	4.56	4.08	3.71	3.55	3.61	3.73	3.70	3.22
สกลนคร	3.44	4.09	4.87	5.02	4.40	3.99	3.57	3.44	3.86	3.90	3.64	3.25
-สถานีฯเกษตร สกลนคร	3.14	3.75	4.48	5.00	4.36	4.26	3.86	3.69	3.98	3.77	3.38	3.09
นครพนม	3.33	3.86	4.30	4.50	3.95	3.47	3.42	3.33	3.48	3.60	3.60	3.16
-สถานีฯเกษตร นครพนม	3.52	4.03	4.48	4.96	4.28	4.25	3.81	3.32	3.83	3.57	3.59	3.25
ขอนแก่น	3.65	4.18	5.09	4.97	4.67	4.29	3.88	3.68	3.61	3.79	3.83	3.63
-สถานีฯเกษตร ท่าพระ	3.20	3.81	4.48	4.76	4.25	3.91	3.88	3.36	3.48	3.59	3.48	3.18
มุกดาหาร	3.65	4.18	5.00	5.15	4.11	3.64	3.56	3.43	3.57	3.80	3.95	3.53
มหาสารคาม	3.57	4.19	4.71	5.22	4.62	4.22	3.84	3.64	3.62	3.76	3.83	3.58
กาฬสินธุ์	4.15	4.89	5.40	5.45	4.80	4.32	4.22	3.65	3.71	4.06	4.30	4.10
ชัยภูมิ	3.60	4.20	5.00	5.12	4.47	4.13	3.77	3.61	3.60	3.78	3.89	3.51
ร้อยเอ็ด	3.49	4.13	4.66	4.83	4.22	3.90	3.84	3.64	3.61	3.63	3.68	3.51
-สถานีฯเกษตร ร้อยเอ็ด	4.04	4.44	4.92	5.25	4.59	4.62	4.21	3.90	3.60	3.78	4.10	3.90
อุบลราชธานี	4.00	4.53	4.93	5.03	4.45	3.96	3.87	3.71	3.43	3.71	4.23	4.22
-สถานีฯเกษตรอุบลฯ	3.63	3.68	4.23	4.13	3.65	3.64	3.56	2.87	3.22	3.34	3.64	3.42
ศรีสะเกษ	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯเกษตร ศรีสะเกษ	3.40	3.92	4.56	4.75	4.42	4.43	4.19	3.71	3.85	3.62	3.79	3.45
นครราชสีมา	3.37	3.95	4.39	4.64	4.20	3.95	3.89	3.79	3.36	3.42	3.51	3.41
-สถานีฯเกษตร ปากช่อง	4.71	4.71	5.01	4.81	4.20	4.54	4.26	4.04	3.38	3.50	4.44	4.52
-โชคชัย	3.47	4.21	4.68	4.74	4.09	4.18	3.82	3.72	3.31	3.60	3.57	3.42
สุรินทร์	3.76	4.36	4.83	4.87	4.21	4.12	3.71	3.61	3.62	3.70	3.84	3.80
-สถานีฯเกษตร สุรินทร์	3.52	3.97	4.38	4.56	3.96	3.98	3.53	3.45	3.58	3.60	3.67	3.43
-ท่าตูม	3.54	4.20	4.78	4.99	4.43	4.03	3.96	3.52	3.55	3.72	3.89	3.62
บุรีรัมย์	4.17	4.81	5.27	5.49	4.74	4.66	4.14	3.67	3.64	3.86	4.12	3.98
-นางรอง	3.62	4.16	4.81	4.94	4.38	4.00	3.94	3.55	3.60	3.75	3.92	3.57

<u>ตารางที่</u> 3 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคกลางและตะวันตก

หน่วย : ม.ม./วัน

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
นครสวรรค์	3.71	4.87	6.06	6.06	4.55	4.10	3.92	3.71	3.32	3.57	3.51	3.37
-สถานีฯเกษตร ตากฟ้า	3.94	4.35	4.88	4.93	4.46	4.02	3.89	3.48	3.57	3.54	3.86	3.81
ชัยนาท	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯเกษตร ชัยนาท	3.30	3.68	4.34	4.56	4.31	4.27	3.84	3.47	3.42	3.26	3.31	3.21
อยุธยา	3.95	4.20	4.58	4.58	4.02	4.10	3.73	3.68	3.36	3.46	3.92	3.94
ปทุมธานี	3.54	3.85	4.44	4.64	4.05	4.15	3.62	3.59	3.26	2.90	3.83	3.54
ราชบุรี	4.04	4.61	5.27	5.15	4.00	3.96	3.57	3.63	3.44	3.39	3.86	4.01
สุพรรณบุรี	3.45	4.11	4.83	5.01	4.36	3.99	3.89	3.32	3.45	3.45	3.58	3.50
-สถานีฯเกษตร อู่ทอง	3.46	4.12	4.74	4.87	3.89	3.90	3.52	3.51	3.25	3.54	3.47	3.41
ลพบุรี	3.76	4.32	4.78	5.09	4.11	3.67	3.59	3.56	3.27	3.65	3.86	3.82
-บัวชุม	4.03	4.89	5.48	5.03	4.22	3.82	3.73	3.05	3.25	3.65	3.85	3.93
กาญจนบุรี	3.60	4.36	4.80	5.30	4.19	3.72	3.71	3.72	3.44	3.33	3.42	3.51
-ทองผาภูมิ	3.44	4.08	4.71	5.14	3.81	3.31	2.73	2.69	2.61	3.16	3.39	3.33
กรุงเทพมหานคร	3.52	4.17	4.78	4.69	4.10	4.07	3.98	3.46	3.07	3.23	3.62	3.49
-ท่าเรือคลองเตย	4.51	4.57	5.18	5.04	4.56	4.61	4.47	4.46	4.27	3.97	4.96	4.77
-ท่าอากาศยานดอนเมือง	4.14	4.80	5.37	5.54	4.94	4.63	4.60	4.43	3.95	3.87	4.11	4.04
สมุทรปราการ	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯเกษตร บางนา	1.14	2.03	3.25	3.75	3.74	3.96	3.74	3.36	2.60	1.79	1.46	0.99
เพชรบุรี	3.59	4.23	4.87	4.89	4.22	3.74	3.66	3.17	3.38	3.08	3.39	3.49
ประจวบคีรีขันธ์	3.82	4.19	4.38	4.77	4.22	3.93	3.90	3.89	3.68	3.49	3.84	4.18
-หัวหิน	3.93	4.49	5.06	5.07	4.51	4.18	3.79	3.81	3.49	3.45	3.74	4.02
-สถานีฯเกษตร หนองพลับ	3.77	4.25	4.49	4.65	3.84	3.82	3.40	2.92	3.26	3.32	3.40	3.43
นครปฐม	3.70	4.35	5.15	5.12	4.02	4.00	3.63	3.16	3.44	3.69	3.92	3.66

<u>ตารางที่</u> 4 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคตะวันออก

หน่วย : ม.ม./วัน

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ฉะเชิงเทรา	3.85	3.83	4.19	4.31	3.86	3.52	3.46	3.46	3.26	3.33	3.47	3.51
ปราจีนบุรี	3.87	4.04	4.30	4.62	3.98	3.50	3.45	3.43	3.27	3.79	4.10	4.07
-กบินทร์บุรี	3.75	4.08	4.33	4.67	3.98	3.50	3.43	2.87	3.22	3.36	3.93	3.94
สระแก้ว	3.96	4.46	4.67	4.66	3.96	3.88	3.45	3.40	3.24	3.64	3.92	3.78
-อรัญประเทศ	3.89	4.35	4.98	4.91	4.11	4.06	3.99	3.60	3.35	3.42	3.61	3.64
ชลบุรี	4.09	4.55	4.83	5.14	4.48	4.13	4.12	3.74	3.43	3.49	4.09	4.16
-เกาะสีชัง	3.87	4.19	4.46	4.77	4.24	4.07	3.98	3.94	3.48	3.47	4.00	4.27
-พัทยา	4.14	4.37	4.83	4.81	4.31	4.19	4.14	4.14	3.61	3.56	4.13	4.49
-สัตหีบ	3.99	4.36	4.66	4.98	4.27	4.26	4.17	3.70	3.71	3.39	4.08	4.21
-แหลมฉบัง	4.83	4.71	5.28	5.30	4.64	4.67	4.69	4.56	4.10	3.70	4.74	4.84
ระยอง	3.75	4.34	4.54	4.83	4.33	4.15	4.08	4.03	3.55	3.51	3.77	3.78
-สถานีฯเกษตร ห้วยโป่ง	3.56	3.61	4.10	4.24	3.83	3.79	3.42	3.44	3.29	3.35	3.64	3.59
จันทบุรี	3.72	3.71	4.08	4.35	3.44	2.85	2.85	2.84	2.69	3.34	3.83	3.95
-สถานีฯเกษตร พลิ้ว	3.94	3.73	3.98	4.20	3.42	3.36	3.34	2.84	3.20	3.31	3.78	3.86
ตราด	3.80	3.83	4.17	4.28	3.89	3.35	3.32	2.87	3.22	3.35	3.68	3.84

ตารางที่ 5 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) โดยวิธี Penman Monteith ของภาคใต้

หน่วย : ม.ม./วัน

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ชุมพร	3.45	4.10	4.55	4.50	3.89	3.54	3.49	3.53	3.39	3.38	3.40	3.44
-สถานีฯเกษตร สวี	3.34	3.61	4.13	4.15	3.74	4.12	3.68	3.83	3.67	3.36	3.08	3.27
ระนอง	3.84	4.21	4.29	4.27	3.76	3.34	3.27	3.30	3.20	3.31	3.41	3.52
สุราษฎร์ธานี	3.55	4.24	4.34	4.28	3.80	3.47	3.42	3.49	3.36	3.07	3.10	3.27
-ท่าอากาศยาน สุราษฎร์ฯ	3.65	4.06	4.42	4.42	3.90	3.51	3.49	3.53	3.41	3.13	3.15	3.08
-เกาะสมุย	3.65	4.24	4.56	4.42	4.26	3.97	3.97	4.05	3.89	3.43	3.43	3.38
-สถานีฯเกษตร สุราษฎร์ฯ	3.32	4.04	4.37	4.24	3.65	3.60	3.61	3.68	3.61	3.34	2.99	3.11
-พระแสง	3.49	4.00	4.20	4.24	3.41	3.62	3.28	3.35	3.30	3.08	2.89	3.10
นครศรีธรรมราช	3.19	3.79	4.14	4.15	3.77	3.75	3.76	3.55	3.35	3.09	2.83	2.95
-สถานีฯเกษตรนครฯ	3.31	3.72	4.04	4.21	3.67	3.67	3.68	3.80	3.70	3.44	3.08	2.94
-ฉวาง	3.45	3.81	4.11	4.10	3.64	3.52	3.16	3.57	3.54	3.01	3.07	2.93
พัทลุง	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯเกษตร พัทลุง	3.46	4.00	4.11	4.26	3.77	4.04	3.74	3.88	3.86	3.59	3.17	3.07
-ตะกั่วป่า	3.83	4.17	4.14	4.13	3.70	3.31	3.28	3.36	3.22	3.03	3.42	3.48
ภูเก็ต	4.29	4.62	4.55	4.34	3.84	3.81	3.78	3.98	3.43	3.53	3.65	3.83
-ท่าอากาศยานภูเก็ต	4.04	4.37	4.58	4.36	3.93	3.93	3.92	3.78	3.52	3.19	3.32	3.67
-เกาะลันตา	4.23	4.51	4.47	4.11	3.61	3.58	3.58	3.72	3.58	3.34	3.06	3.68
กระบี่	4.08	4.73	4.42	4.21	3.73	3.58	3.54	3.63	3.57	3.07	3.27	3.50
ตรัง	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-ท่าอากาศยานตรัง	4.21	4.86	4.67	4.30	3.71	3.60	3.24	3.35	3.26	3.12	3.27	3.64
สงขลา	3.94	4.34	4.48	4.51	3.91	3.90	3.91	4.09	3.92	3.36	3.09	3.37
-สถานีฯเกษตร คอหงส์	3.71	4.24	4.24	4.26	3.75	3.67	3.68	3.83	3.49	3.58	2.97	3.26
-สะเดา	3.51	4.03	4.14	4.14	3.66	3.53	3.55	3.38	3.31	3.15	2.89	3.06
-ท่าอากาศยานหาดใหญ่	3.80	4.22	4.50	4.06	3.57	3.56	3.62	3.75	3.56	3.28	2.99	2.94
สตูล	4.43	4.6	4.4	4.18	3.64	3.52	3.53	3.65	3.28	3.14	3.32	3.8
ปัตตานี	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-ท่าอากาศยานปัตตานี	3.36	3.95	3.91	3.95	3.49	3.39	3.42	3.52	3.48	3.25	2.95	2.85
ยะลา	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-	.-
-สถานีฯเกษตร ยะลา	3.53	4.20	4.25	4.31	3.77	3.66	3.66	3.80	3.75	3.59	2.94	3.10
นราธิวาส	3.32	3.82	4.07	4.19	3.75	3.63	3.61	3.72	3.4	3.25	2.94	2.92