ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน

นายภูชพงษ์ พรามจร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

EFFECTS OF EMISSION UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION SYSTEM ON GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER

Putchapong Pramjorn

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science Program in Crop Science

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย)
กรรมการ

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภุชพงษ์ พรามจร : ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน (EFFECTS OF EMISSION UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION SYSTEM ON GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ, 70 หน้า.

ระบบน้ำหยดเป็นระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดแต่ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำที่หัวหยด (emission uniformity) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยดต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ และศึกษาความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของทานตะวัน โดยมี 2 การทดลอง ประกอบด้วย การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำโดยแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย คือ 1) เทปน้ำหยดยาว 100 เมตร และ 2) 150 เมตร วางแผนการทดลองแบบ 3 x 5 factorial ใน CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด 5 ยี่ห้อ ได้แก่ A, B, C, D และ E ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ แรงดันน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ ผลการทดลองพบว่าความยาวของเทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด มีผลต่ออัตราการไหลและความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ โดยความยาวที่เพิ่มขึ้นของเทปน้ำหยดทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำลดลง แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงขึ้น และผลิตภัณฑ์ A มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงที่สุด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ E มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำที่สุดที่ความยาวเท่ากัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย คือ 1) เทปน้ำหยดยาว 70 และ 2) 140 เมตร วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 factorial ใน CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด 2 ยี่ห้อ ได้แก่ A และ E ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ แรงดันน้ำ 2 ระดับ ได้แก่ 0.5 และ 1.0 บาร์ ผลการทดลองพบว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของทานตะวัน โดยระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่ามาตรฐาน (80%) ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของทานตะวันมีความสม่ำเสมอภายในแปลง ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยมีค่าสูง ในขณะที่ระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน ส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของทานตะวันไม่มีความสม่ำเสมอภายในแปลง ทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตของทานตะวันต่ำ ดังนั้นการวางระบบน้ำหยด ควรออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อให้มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำให้สูงกว่ามาตรฐาน

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา ภุชพงษ์ พรามจร

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PUTCHAPONG PRAMJORN : EFFECTS OF EMISSION UNIFORMITY OF DRIP IRRIGATION SYSTEM ON GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SODCHOL WONPRASAID, Ph.D., 70 PP.

DRIP IRRIGATION/DRIP TAPE/WATER PRESSURE/EMISSION UNIFORMTY/ SUNFLOWER

Drip irrigation is the most efficient water application system. However, its efficiency partly depends on the uniformity of water distributed from the emitters (emission uniformity). In this study, two experiments were conducted to study the effects of drip tape brand, water pressure and drip tape length on emission uniformity of the drip irrigation system and to study the influence of emission uniformity of the drip irrigation system on sunflower growth and yield. In experiment 1, two sup experiments with different drip tape length installations (100 and 150 m.) were conducted. In each experiment, the experimental design was 3×5 factorial in CRD. The first factor was 5 drip tape brands (A, B, C, D and E) and the second factor was 3 water pressures (0.5, 1.0 and 1.5 bars). It was found that the length of drip tape, water pressure and drip tape brand affected the emission rate and the emission uniformity of the drip irrigation system. Increasing the length of drip tape led to the decrease in emission uniformity while increasing the water pressure subsequently increased the emission uniformity. Drip tape brand A had the highest emission uniformity while drip tape brand E had the lowest emission uniformity with the same length. In experiment 2, the effects of emission uniformity on growth and yield of sunflowers were studied. Two sub-experiments with different drip tape length installations (70 and 140 m.) were conducted. In each experiment, the experimental design was 2×2 factorial in CRD. The

first factor was 2 drip tape brands (A and E) and the second factor was 2 water pressures (0.5 and 1.0 bars). It was found that the growth and yield of sunflowers related to emission uniformity of the drip irrigation system. The emission uniformity of greater than the standard level (80%) resulted to high uniformity and high average yield. While the emission uniformity of less than the standard level led to low uniformity and low average yield. Therefore, a drip irrigation system should be designed and equipped to provide an emission uniformity with the standard level.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology Student's Signature Petchapoong

Academic Year 2017 Advisor's Signature Suwanmid

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยจากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา อลิฌาณ์ ตันตสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรณู ขำเลิศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารักษ์ ธีรอำพน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิญา เบือนสันเทียะ อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย อาจารย์ ดร.แหวนพลอย จินากูล อาจารย์ ดร.รุจมรกต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญจูง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม และคุณสหรัฐ นภากาศ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ และให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณอุทัย ยศจังหรีด เจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

ขอขอบคุณ พี่น้องบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ ให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้ด้วยดี ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตแก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ภุชพงษ์ พรามจร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ระบบให้น้ำแบบน้ำหยด 3

2.2 มาตรฐานอุปกรณ์ชลประทานสำหรับการเกษตร (ISO 9261) 7

2.3 ประสิทธิภาพของการชลประทาน 9

2.4 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช 14

2.5 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช 15

2.6 ทานตะวัน 17

3. วิธีดำเนินการทดลอง 21

3.1 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ 21

3.2 ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ของทานตะวัน 24

4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล 29

4.1 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ 29

4.2 ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของทานตะวัน 36

5. บทสรุป 59

รายการอ้างอิง 60

ภาคผนวก 65

ประวัติผู้เขียน 70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 การสูญเสียแรงดันภายในท่อ 12
2 เกณฑ์ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ 14
3 ระยะเวลาการเจริญเติบโตของทานตะวัน 19
4 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด 22
5 ความต้องการน้ำของพืช (ETc = ETp×Kc) 26
6 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ
ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ 32
7 คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง 34
8 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ
ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ 36
9 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ
ต่อความสม่ำเสมอของการกระจายความเข้มข้นปุ๋ย 37
10 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน
ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร 44
11 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน
ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร 44
12 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต
ของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร 47
13 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต
ของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร 48
14 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต
ของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร 50
15 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต
ของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

16 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอผลผลิต
และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร 53
17 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอผลผลิต
และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร 54
18 ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด
ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 อัตราการไหลของเทปน้ำหยดประเภทชดเชยแรงดัน 10
2 อัตราการไหลของเทปน้ำหยดประเภทไม่ชดเชยแรงดัน....10
3 ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่อความลาดชัน 11
4 การสูญเสียแรงดันภายในท่อ 12
5 การอุดตันของหัวหยด 13
6 อัตราการไหลของหัวจ่ายที่เกิดปัญหาอุดตัน....13
7 การคำนวนค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ....14
8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช....15
9 ผังแปลงการวางระบบน้ำหยดความยาว 100 และ 150 เมตร....23
10 ตำแหน่งและวิธีการวัดอัตราการไหล....23
11 ผังแปลงการวางระบบน้ำความยาว 70 และ 140 เมตร....25
12 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่ออัตราการไหล
ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 100 เมตร....30
13 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่ออัตราการไหล
ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 150 เมตร....30
14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด....33
15 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 0–20 ซม. การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 ม....39
16 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 20–50 ซม. การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 ม....39
17 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 0–20 ซม. การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 ม....40
18 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 20–50 ซม. การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 ม....40
19 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่างการทดลอง (มีนาคม–มิถุนายน 2559)....41
20 ปริมาณน้ำที่ได้รับตลอดฤดูปลูกในแต่ละโซน ที่ความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร....42
21 ปริมาณน้ำที่ได้รับตลอดฤดูปลูกในแต่ละโซน ที่ความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร....42
22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว
ของผลิตภัณฑ์ A และ E ก่อนการทดลอง....55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว หลังการทดลอง ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 70 เมตร 56
24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว หลังการทดลอง ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 140 เมตร 56

ภาพผนวก

1 การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5566)....66
2 เทปน้ำหยดหลังการทดสอบแรงดึง 66
3 การทดสอบความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ....67
4 การติดตั้งระบบน้ำหยด....67
5 การให้ปุ๋ยในระบบน้ำหยดด้วยปั๊มไฟฟ้า 68
6 ทานตะวันอายุ 15 วัน....68
7 ทานตะวันอายุ 45 วัน....69
8 ทานตะวันอายุ 60 วัน....69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

EU	=	ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ
DUI	=	ดัชนีการกระจายความสม่ำเสมอ
PC	=	เทปน้ำหยดแบบชดเชยแรงดัน
Non–PC	=	เทปน้ำหยดแบบไม่ชดเชยแรงดัน
PE	=	พอลิเอทิลีน
LDPE	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
LLDPE	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง
HDPE	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง
PWP	=	จุดเหี่ยวถาวร
FC	=	ความชื้นชลประทาน
ETc	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ
Kc	=	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
ETp	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการชลประทานแบบหยดหรือระบบน้ำหยดเป็นที่นิยมสำหรับการเพาะปลูกพืชในหลายพื้นที่ของโลก เนื่องจากเป็นระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงสุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น และสามารถนำมาใช้กับพืชทุกชนิดได้ในทุกสภาพดินและสภาพแวดล้อม งานวิจัยหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่าระบบน้ำหยดช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้ประมาณ 20% ในขณะที่ลดการใช้น้ำ 60% (Bui *et al.*,1985) ในประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากระบบน้ำหยดสำหรับการผลิตอ้อยและมันสำปะหลังในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งไพฑูรย์ ฟักเขียว (2557) รายงานว่าการปลูกมันสำปะหลังระบบอินทรีย์โดยใช้น้ำหยดให้ผลผลิต (น้ำหนักหัวสดต่อเหง้า) สูงกว่าไม่มีการให้น้ำและระบบน้ำหยดที่นำมาใช้ในไร่อ้อยแถบภาคกลางทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 8–10 ตัน/ไร่ เพิ่มเป็น 15–20 ตัน/ไร่ (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2551 และสำนักงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล, 2551)

การออกแบบระบบน้ำหยดให้มีประสิทธิภาพต้องอาศัยทักษะองค์ความรู้ที่ถูกต้องและเหมาะสม ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ประการแรกต้องมีการบริหารจัดการน้ำในด้านปริมาณและความถี่ของน้ำอย่างเหมาะสม ประการที่สองการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบหยดจะต้องได้รับการปฏิบัติอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอ (Netafim, 2011) และสุดท้ายคือ คุณภาพของวัสดุและอุปกรณ์ระบบน้ำหยดต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ปัจจุบันมีเทปหยดหลายยี่ห้อที่มีราคาและคุณภาพที่แตกต่างกัน เกษตรกรส่วนใหญ่มักซื้อยี่ห้อที่มีราคาถูกและไม่พิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การติดตั้งและเลือกใช้เทปหยดที่มีคุณภาพต่ำ จะส่งผลให้มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำ ประสิทธิภาพในการชลประทานต่ำ และผลผลิตพืชต่ำ (Solomon, 1984)

การสร้างแบบจำลองของการตอบสนองต่อการใช้น้ำในการเพาะปลูกพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างผลผลิตพืชและความสม่ำเสมอของการชลประทาน โดยการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินกระจายตัวดีและทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น (Warrick and Gardner, 1983; Letey *et al.*, 1984; Li, 1998).

มีการพัฒนามาตรฐานการออกแบบและประเมินผล เกี่ยวกับความสม่ำเสมอระบบน้ำหยดในหลายประเทศต่าง (Chinese Standard, 1995; ASABE, 2003) ASABE standard EP 405.1 (ASABE, 2003) แนะนำให้ความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ (EU) ควรมากกว่า 80%

ปัจจุบันยังไม่มีคำแนะนำที่เหมาะสม ถึงการเลือกใช้เทปน้ำหยด การออกแบบและการควบคุมแรงดันน้ำ ซึ่งผลรวมของปัจจัยเหล่านี้ จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ดังนั้นจึงทำการศึกษาการตอบสนองปัจจัยการจัดการระบบน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ และความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบน้ำหยดให้มีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

1.2.2 ศึกษาผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบน้ำหยด

ระบบน้ำหยด (drip/trickle irrigation) เป็นการให้น้ำแก่พืชด้วยระบบท่อที่ใช้แรงดันต่ำ อัตราให้น้ำน้อย ให้น้ำบ่อยครั้งแต่ละครั้งใช้เวลานาน และให้น้ำบริเวณเขตรากพืชแต่ไม่ครอบคลุมเต็มพื้นที่เขตรากทั้งหมด ปริมาณของดินเปียกอยู่ในวงจำกัด และไม่มีการซ้อนทับ (overlap) ดังนั้น การให้น้ำจะใช้ปริมาณพื้นที่น้อย และมีโอกาสสูญเสียน้ำน้อย (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) หลักการของการให้น้ำหยด คือ ให้ความชื้นแก่ดินในรูปของกรวยตัดแล้วให้รากพืชเจริญเติบโตอยู่ภายในกรวยความชื้นนั้น โดยรักษาระดับความชื้นในดินให้อยู่ในระดับความชื้นชลประทาน (field capacity, FC) ตลอดเวลา พืชสามารถเจริญเติบโตได้ต่อเนื่อง วิธีนี้ระบบรากจะไม่เจริญออกไปนอกกรวยความชื้น เพราะธาตุอาหารในดินจะเป็นประโยชน์บริเวณที่มีความชื้น

เริ่มมีการใช้ระบบน้ำหยดในทางตอนใต้ของประเทศอิสราเอล ในช่วงคริสตศักราช 1960 โดยเริ่มใช้กับการปลูกผักและแตง (melon) ในดินทราย อุณภูมิสูง และน้ำที่ใช้มีความเค็ม พบว่าสามารถนำมาใช้ได้ดี จึงเริ่มแพร่หลายไปต่างประเทศ ปัจจุบันระบบน้ำหยดเป็นที่นิยมในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ อิสราเอล นิวซีแลนด์ อิตาลี ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย เยอรมัน และฝรั่งเศส สำหรับประเทศไทยกำลังเป็นที่นิยม โดยมีพื้นที่เพาะปลูกในระบบน้ำหยดเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้จะมีการลงทุนจะสูงในปีแรก แต่วิธีการชลประทานแบบนี้มีความจำเป็น คุ้มค่าในการลงทุน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชเกือบทุกชนิด เช่น ไม้ผล ผัก และพืชไร่ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพราะวิธีนี้เหมาะกับดินที่ไม่ค่อยอุ้มน้ำ มีปัญหาดินเค็ม และแหล่งน้ำมีจำนวนจำกัด

องค์ประกอบของระบบน้ำหยด

1. หัวน้ำหยดหรือหัวปล่อยน้ำ (emitter, drippers, trickle) คือ อุปกรณ์ลดแรงดันน้ำจากแรงดันปกติ 0.5–1.5 บาร์ ให้เหลือต่ำที่สุดที่ทางออก น้ำจึงไหลออกมาในรูปหยดน้ำ ส่วนใหญ่จะทำเป็นทางเดินน้ำขนาดเล็ก (0.5–1.5 มิลลิเมตร) วกไปวนมาเหมือนเขาวงกต (labyrinth) โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1–12 ลิตร/ชั่วโมง และนิยมใช้กันมากคือ อัตราการไหล 2, 4 และ 8 ลิตร/ชั่วโมง มี 2 รูปแบบ คือ

1.1 แบบในท่อ (in–line) ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำ อยู่ภายในท่อมีรูปแบบดังนี้

1.1.1 แบบท่อกลม (drip hose) จะมีทางเดินน้ำฝังอยู่ภายในท่อมี 2 แบบ คือ

1) แบบท่อกลมที่ฝังในท่อ (integral dripper)

2) แบบท่อกลมที่มีอุปกรณ์มาสวมต่อท่อแขนง (in–line dripper)

1.1.2 แบบเทปน้ำหยด (drip tape) เป็นการนำแผ่นพีอี มาพับพร้อมกับอัดรูปทางเดินน้ำ ขนาดเล็กที่วกไปวนมา ท่อชนิดนี้สามารถจำแนกตามการควบคุมการให้น้ำของหัวน้ำหยด เป็น 2 แบบ คือ

1) แบบสามารถปรับลดแรงดันในการให้น้ำได้ หรือชดเชยแรงดัน (pressure compensated, PC หรือ flow regulated)

2) แบบไม่สามารถปรับลดแรงดันในการให้น้ำได้ (non–pressure compensated, Non–PC)

1.2 แบบบนท่อ (on–line) อุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำติดตั้งอยู่บนท่อแขนง โดยการเจาะและฝังลงไปโดยตรงเข้ากับท่อแขนง แล้วติดตั้งไว้ที่ปลายท่อขนาดเล็ก ลักษณะของหัวหยดส่วนใหญ่จะเป็นรูปกลม คล้ายเม็ดกระดุม หรือเรียกว่าหัวน้ำหยดแบบเม็ดกระดุม (button type)

2. ท่อแขนง (lateral line) เป็นท่อที่ทำมาจากวัสดุ พีอี (polyethylene, PE) หรือเทปน้ำหยด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12–25 มิลลิเมตร

3. ท่อแยกประธาน (sub–main line) เป็นท่อที่ต่อแยกจากท่อประธาน เพื่อแบ่งการควบคุมเป็นส่วนๆ หากระบบมีขนาดเล็ก ก็ไม่จำเป็นต้องมี ท่อแขนงต่อโดยตรงกับท่อประธาน โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25–50 มิลลิเมตร

4. ท่อประธาน (main line) เป็นท่อที่ต่อหรือเชื่อมกับท่อแยกประธานหรือท่อแขนง ไปสู่แหล่งน้ำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ขึ้นไป ท่อประธานนิยมทำมาจากวัสดุดังนี้

4.1 ท่อพีอี เป็นท่อที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการเกษตรโดยเฉพาะ ตัดต่อง่าย ทำให้สะดวกและรวดเร็วในการเจาะติดตั้งหัวกระจายน้ำ มีน้ำหนักเบา และสามารถขดเป็นม้วนสะดวกในการขนย้าย มีความยาวถึง 200 เมตร จึงลดจำนวนข้อต่อ ทำให้จุดที่รั่วจากการใช้ข้อต่อลดลงไปด้วย และมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรับน้ำหนักกดทับได้โดยตรงโดยไม่แตกหัก ท่อพีอีแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1) ชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene pipe, LDPE) มีความหนาแน่น 0.918–0.935 g/cm^2

2) ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (linear low density polyethylene pipe, LLDPE) มีความหนาแน่น 0.915–0.935 g/cm^2

3) ชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene pipe, HDPE) มีความหนาแน่นมากกว่า 0.940 g/cm^2

4.2 ท่อพีวีซี เป็นท่อที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาถูกเมื่อเทียบกับท่อชนิดอื่น หาซื้อได้ง่าย มีน้ำหนักเบา เชื่อมต่อได้ง่ายทั้งกาวและเกลียว นอกจากนี้ยังไม่เป็นสนิม และทนต่อ

การกัดกร่อนของกรดและสารเคมีด้วย แต่แตกหักได้จากแรงกดทับโดยตรงด้วยน้ำหนักมาก

5. อุปกรณ์ควบคุมความดัน (pressure valve) ควบคุมแรงดันไม่ให้เกินกว่าที่ออกแบบไว้

6. เครื่องกรอง (filter) เพื่อลดการอุดตันของสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำที่หัวจ่ายน้ำ เครื่องกรองจึงเป็นอุปกรณ์ในการนำไปสู่ความสำเร็จของระบบการให้น้ำที่ใช้แรงดันต่ำ นิยมใช้อยู่ 2 ชนิด

6.1 กรองชนิดผิว (surface filter) กรองชนิดนี้อาศัยพื้นที่ผิวในการกรอง ได้แก่ กรองตะแกรง (screen filter) ขนาดของรูบนตะแกรงทุกช่องจะเท่ากัน ตะกอนจะถูกกักไว้บนผิวของตะแกรง ดังนั้นเมื่อใช้งานไปตะกอนจะจับตัวทำให้รูตะแกรงมีขนาดเล็กลงทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายจึงมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำกว่ากรองชนิดอื่น

6.2 กรองชนิดความลึก (depth filter) เหมือนกับกรองตะแกรงที่มีรูขนาดต่างๆ เรียงซ้อนกันอยู่หลายชั้น ตะกอนขนาดใหญ่จะถูกดักไว้ด้วยรูที่มีขนาดใกล้เคียงกัน กระจัดกระจายไปทั่วความลึกของแผ่นกรอง ดังนั้นจึงไม่เกิดการจับตัวกันเป็นแผ่นกีดกันขวางทางเดินน้ำ การอุดตันจึงเกิดขึ้นยาก ประสิทธิภาพในการกรองจึงสูงกว่ากรองชนิดพื้นผิว แบ่งย่อยเป็นกรองช้า ได้แก่ กรองกรวด/ทราย (gravel/sand filter) และกรองเร็ว คือ กรองแผ่นดิสค์ (disc filter)

7. เครื่องสูบน้ำ (pump) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลว และเป็นที่เพิ่มแรงดันในการจ่ายน้ำ ชนิดเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมกับระบบการให้น้ำแบบหยด คือ เครื่องสูบน้ำสำหรับงานส่งน้ำ สามารถสูบน้ำส่งไปได้ไกล เช่น เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pump) ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง (prime mover)

ข้อดีของระบบน้ำหยด

1. ได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ระบบชลประทานแบบอื่น ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพในขณะเดียวกันก็ประหยัดต้นทุนน้ำ ทำให้มีกำไรสูงกว่า (Locascio, 2005)

2. ประหยัดน้ำมากกว่าทุกๆ วิธี เนื่องจากเป็นการให้น้ำในบริเวณรากพืชโดยตรง พื้นที่ระหว่างต้นพืชหรือระหว่างแถวจะไม่เปียกน้ำ

3. ประหยัดต้นทุนในการบริหารจัดการ กล่าวคือ ลงทุนครั้งเดียวแต่ให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว ติดตั้งครั้งเดียวและใช้งานได้ตลอดอายุ สามารถควบคุมการ เปิด–ปิดน้ำ โดยใช้ระบบ manual และ automatic โดยเฉพาะระบบตั้งเวลาและตรวจจับความชื้นทำให้ประหยัดค่าแรง

4. ลดการระบาดของศัตรูพืชบางชนิดได้ดี เช่น โรคพืช และวัชพืช (Locascio, 2005)

5. สามารถใช้กับพืชประเภทต่างๆ ได้ทุกชนิด ยกเว้นพืชที่ต้องการน้ำขัง

6. ใช้ได้กับพื้นที่ทุกประเภทไม่ว่าดินร่วน ดินทราย หรือดินเหนียว รวมทั้งดินเค็มและดินด่าง โดยน้ำหยดจะไม่ละลายเกลือมาตกค้างอยู่ที่ผิวดิน

7. เหมาะสำหรับพื้นที่ขาดแคลนน้ำ ต้องการใช้น้ำอย่างประหยัด

8. ให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด 75–95% ซึ่งทำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

9. ประหยัดเวลาทำงาน ใช้เวลาไปทำงานอย่างอื่นได้เต็มที่ไปพร้อมกับการให้น้ำ

10. ระบบน้ำหยดสามารถให้ปุ๋ยและสารเคมีอื่นละลายไปกับน้ำพร้อมกัน ส่งผลให้ธาตุอาหารพืชกระจายอยู่ในบริเวณเขตรากพืช ส่งผลพืชให้ผลผลิตสูง และลดการสูญเสียธาตุอาหารไปจากดิน (Bar–Yosef, 1977) และทำให้ไม่ต้องเสียเวลาใส่ปุ๋ย พ่นยาอีก ทั้งนี้ต้องติดตั้งอุปกรณ์จ่ายปุ๋ย (injector) เข้ากับระบบ

ข้อเสียของระบบน้ำหยด

1. การอุดตัน เป็นปัญหาสำคัญที่สุดทำให้ระบบน้ำหยดต้องล้มเหลว จึงต้องมีกรองน้ำมาใช้ลดปัญหา แต่บางกรณีใช้การกรองอย่างเดียวไม่เพียงพอ ต้องมีการใช้สารเคมีเพิ่มเติม

2. ค่าบำรุงรักษาสูง มีการตรวจสอบระบบการทำงานต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ

3. จำกัดการเจริญเติบโตของรากพืช กรณีที่ให้น้ำแบบหยดเป็นหลัก และอยู่ในพื้นที่ฝนตกน้อย รากพืชจะเจริญหนาแน่นเฉพาะบริเวณที่เปียกน้ำเท่านั้น และการแผ่กระจายของรากน้อย เวลาลมพัดแรง พืชจะโยกคลอนหรือล้มได้

4. ค่าลงทุนค่อนข้างสูง เนื่องจากระบบนี้ต้องใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก และราคาอุปกรณ์ที่สูงจึงทำให้มีค่าลงทุนเฉลี่ย 5,000–7,000 บาท/ไร่ ฉนั้นระบบนี้จึงเหมาะที่จะใช้กับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูง ส่วนพื้นที่ลาดชันและน้ำที่ใช้จัดหามาด้วยราคาแพงไม่เหมาะที่จะให้น้ำด้วยวิธีนี้

การให้ปุ๋ยร่วมกับการให้น้ำ (Fertigation)

การให้ปุ๋ยร่วมกับการให้น้ำ คือ การให้ปุ๋ยโดยผสมปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้หมดลงไปในระบบน้ำ ซึ่งเมื่อพืชดูดน้ำไปใช้ก็จะมีการดูดธาตุอาหารขึ้นไปด้วย ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ทั้งน้ำและปุ๋ยไปพร้อมในเวลาเดียวกัน และบริเวณที่พืชต้องการ ซึ่งการให้ปุ๋ยวิธีนี้สามารถปรับสูตรปุ๋ยและความเข้มข้นปุ๋ยได้ทันที ลดแรงงานในการให้ปุ๋ย ลดการชะล้างปุ๋ยเกินกว่าระดับรากพืช และมีการแพร่กระจายของปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอบริเวณที่รากพืชอยู่ (มนตรี ค้าชู, 2538; Or and Coelho, 1996; Boyhan and Kelley, 2001) ในพื้นที่ที่มีระบบน้ำควรใช้ร่วมกับระบบการให้ปุ๋ยในระบบน้ำ เนื่องจากสำคัญ ทำให้การให้น้ำและปุ๋ยไปสู่ต้นพืชแต่ละต้นได้อย่างสม่ำเสมอ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของพืช 80–90% เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยทางดิน มีเพียง 95–50% (ทองดี บ้านดอน, 2540) ซึ่งระบบน้ำที่สามารถมีการแพร่กระจายน้ำไปสู่พืชได้อย่างสม่ำเสมอ และเหมาะกับการให้ปุ๋ยพร้อมระบบน้ำ คือ การให้น้ำแบบน้ำหยด หรือ แบบฉีดฝอย นอกจากการใส่ปุ๋ยไปพร้อมกับน้ำแล้ว สามารถใส่สารอื่นไปพร้อมระบบน้ำได้ด้วย เช่น ยาปราบวัชพืช และยาป้องกันกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น

2.2 มาตรฐานอุปกรณ์ชลประทานสำหรับการเกษตร (ISO 9261)

ISO คือ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน International Standards Organization ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี 2490 โดยมีสำนักงานใหญ่ ISO ตั้งอยู่ที่ นครเจนีวา สวิตเซอร์แลนด์ วัตถุประสงค์ขององค์การ ISO ก็เพื่อส่งเสริมการกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศ และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเศรษฐกิจ และขจัดข้อโต้แย้ง รวมถึงการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการพัฒนาความร่วมมือระหว่างประเทศในด้านวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ISO 9261 คือ มาตรฐานข้อมูลจำเพาะและวิธีการทดสอบหัวปล่อยน้ำ (emitters) และท่อกระจายน้ำ (emitting pipe) มาตรฐานสากลนี้ให้ความต้องการทางกลไกและการทำงานสำหรับผู้ผลิตระบบชลประทานทางการเกษตร

1. การผลิต และวัสดุ

1) ทั่วไป ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องไม่มีข้อบกพร่องในการผลิตทำให้ประสิทธิภาพลดลง และการผลิตหัวปล่อยน้ำ/ท่อกระจายน้ำ อุปกรณ์จะเชื่อมต่อได้ง่ายโดยมีหรือไม่มีที่รัด ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อด้วยมือหรือเครื่องมือที่เหมาะสม

2) ขนาด (ท่อ) ผู้ผลิตจะต้องระบุเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายนอก ภายใน และความหนา (มิลลิเมตร) ของผลิตภัณฑ์ และขนาดของผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแจ้งไว้ ขนาดของอุปกรณ์เชื่อมต่อจะต้องพอดีกับขนาดท่อท่อน้ำ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะเชื่อมต่อได้ง่าย

3) วัสดุ วัสดุที่ใช้สำหรับการผลิตหัวปล่อยน้ำ/ท่อกระจายน้ำ และอุปกรณ์ จะต้องทนต่อปุ๋ย หรือสารเคมีอื่นที่ใช้ทั่วไปในการชลประทาน และน้ำที่อุณหภูมิสูงถึง 60°C วัสดุที่ใช้จะต้องไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย และแบคทีเรีย โดยส่วนที่ได้รับแสง จะต้องมีลักษณะทึบแสง และป้องกันการเสื่อมสภาพจากรังสี UV

4) อุปกรณ์ ผู้ผลิตจะต้องสามารถจัดหาอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จะใช้กับท่อได้ และต้องมีความเหมาะสมทั้งขนาดและรูปร่าง เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อได้โดยใช้หรือไม่ใช้ที่รัด จุดเชื่อมต่อจะต้องแข็งแรงสามารถทนทานแรงดันต่อการทำงานได้ และอุปกรณ์ส่วนเชื่อมต่อจะต้องไม่กัดกร่อนวัสดุ และทำให้เกิดสนิม

2. ตัวอย่าง และเงื่อนไขการทดสอบ

1) การทดสอบตัวอย่าง สุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 5% ของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างจะประกอบด้วยส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

2) ลำดับการทดสอบ การทดสอบดำเนินการตามวิธีทดสอบ โดยเริ่มจากการวัดอัตราการไหลและความสม่ำเสมอของอัตราการไหล ตามลำดับ

3) เงื่อนไขการทดสอบ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (27°C) และอุณหภูมิน้ำ 20–26°C โดยใช้น้ำสะอาดที่ผ่านการกรอง ขนาดช่องว่างตะแกรง 75–100 ไมโครมิลลิเมตร หรือตามคำแนะนำ

ของผู้ผลิต โดยปริมาณสารปนเปื้อนต้องไม่เกิน 25 มิลลิกรัม/ลิตร

4) ความแม่นยำของเครื่องวัด เครื่องมือสำหรับการวัดแรงดันน้ำ จะต้องวัดค่าได้ มีความผิดพลาดไม่เกิน 1% ของค่าจริง และเครื่องมือการวัดอัตราการไหล จะต้องวัดค่าได้ มีความผิดพลาดไม่เกิน 5% ของอัตราการไหลต่ำสุด

3. วิธีการทดสอบ และข้อกำหนดความสม่ำเสมอของอัตราการไหล

1) ผลิตภัณฑ์ประเภทไม่ควบคุมแรงดัน นำอุปกรณ์มาติดตั้งและเปิดน้ำเข้าสู่ระบบ ปรับแรงดันน้ำเท่ากับที่ระบุไว้กับผลิตภัณฑ์ จึงเริ่มทำการวัดอัตราการไหลของน้ำจากหัวหยด จดบันทึกข้อมูลและนำค่า อัตราการไหลมาคำนวณตามสมการดังนี้

$$C_v = (S_q/Q) \times 100 \text{ ..... (สมการที่ 1)}$$

เมื่อ C_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของอัตราการไหล

S_q คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลตัวอย่าง (ลิตร/ชั่วโมง)

Q คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล (ลิตร/ชั่วโมง)

ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลจะต้องมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่อัตราการไหลน้อยสุด ไม่เกิน 7%

ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของอัตราการไหลจะต้องไม่เกิน 7%

2) ผลิตภัณฑ์ควบคุมแรงดัน การทดสอบผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะใช้เวลา 1 ชั่วโมงในการทดสอบ โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำอุปกรณ์มาติดตั้ง และเปิดน้ำเข้าสู่ระบบ ควบคุมแรงดันน้ำตามขั้นตอนดังนี้

1. รับแรงดันน้ำต่ำสุดที่หัวหยดทำงาน รักษาระดับแรงดันไว้ 3 นาที
2. เปลี่ยนแรงดันน้ำไว้สูงสุดที่หัวหยดทำงาน รักษาระดับแรงดันไว้ 3 นาที
3. สลับปรับแรงดันน้ำต่ำสุด–สูงสุด อย่างละ 2 ครั้ง รักษาระดับแรงดันครั้งละ 3 นาที
4. ปรับแรงดันน้ำไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างแรงดันน้ำสูงสุดและต่ำสุด รักษาระดับแรงดันไว้ให้ครบ 1 ชั่วโมง
5. ทันทีที่ปรับแรงดันตามข้อ 4. ได้ ทำการวัดอัตราการไหลตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ไม่ควบคุมแรงดัน

2.3 ประสิทธิภาพของการชลประทาน

ประสิทธิภาพของระบบชลประทาน จะได้รับการประเมินจากค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ และค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ซึ่งค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ เป็นพารามิเตอร์วัดความสามารถจ่ายน้ำ ด้วยอัตราการไหลหัวปล่อยที่เหมือนกันในระบบการให้น้ำหยด แสดงถึงคุณภาพจากการชลประทาน มีหน่วยการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) เป็นผลมาจากการออกแบบ การบำรุงรักษา และการจัดการระบบชลประทานโดย Mohammed *et al.* (2013) กล่าวว่าการออกแบบระบบน้ำหยดแบบดั้งเดิม (traditional network) มีการสูญเสียแรงดันมากกว่าระบบน้ำหยดแบบวนลูป (loop with carrier network) และ Tayel *et al.* (2012) ยังพบว่าความยาวเทปน้ำหยดที่เพิ่มขึ้นทำให้สูญเสียแรงดันมากเช่นกัน ซึ่งแรงดันที่สูญเสียไปส่งผลให้ความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำลดลงตามไปด้วย Merraim and Keller (1978) เสนอเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด จากอัตราการไหลมีค่ามากกว่า 80% ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี และ Solomon (1984) กล่าวว่าผลผลิตพืชเป็นอีกหนึ่งดัชนีชี้วัดความสม่ำเสมอ และประสิทธิภาพของระบบชลประทาน โดย Stern and Bresler (1983) พบว่าการกระจายน้ำในดินไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากประสิทธิภาพการกระจายน้ำต่ำของระบบการให้น้ำ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดไม่สม่ำเสมอเช่นกันภายใต้การปลูกที่มีคุณสมบัติของดินเหมือนกัน และ Smajstria *et al.* (2002) และ Troy (1995) พบว่าในพื้นที่ชลประทานที่มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูง จะส่งผลให้มีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพเพิ่มขึ้นและยังทำให้รายจ่ายลดลง เพราะมีการใช้น้ำแบบมีประสิทธิภาพในปริมาณที่จำกัด ลดการสูญเสียธาตุอาหาร ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่หากค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำตามไปด้วย เนื่องจากแต่ละบริเวณจะได้รับน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยบริเวณที่ที่ได้รับน้ำปริมาณมาก เกิดการท่วมขัง มีการสูญเสียน้ำจากการระเหยและการชะล้าง ส่วนบริเวณที่ได้รับน้ำปริมาณน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เฉลิม พล แซมเพชร (2542) กล่าวว่า ส่งผลให้พืชเกิดอาการขาดน้ำจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นเป็นอย่างมาก

1. ปัจจัยต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

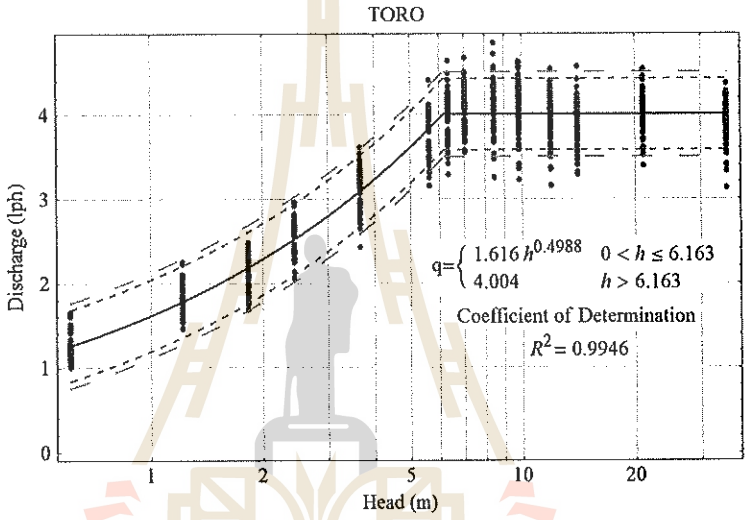
ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีผลมาจาก การออกแบบ การเลือกใช้อุปกรณ์ การจัดการระบบการให้น้ำ และการบำรุงรักษา ดังนี้

1) เทปน้ำหยด

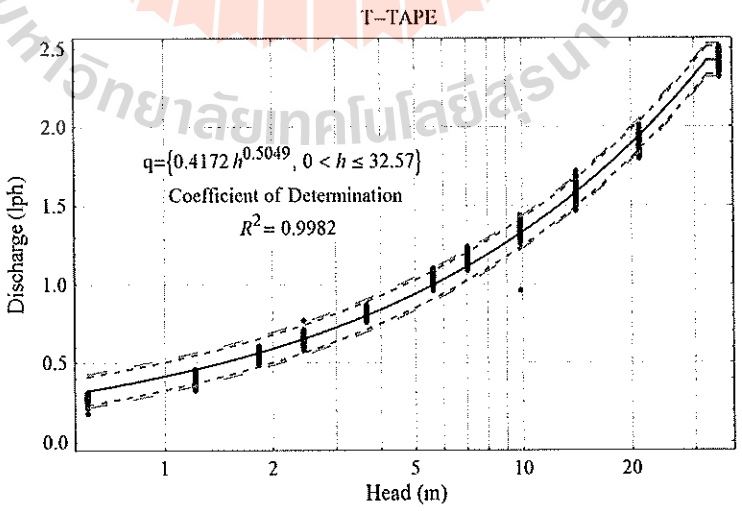
- คุณภาพเทปน้ำหยด นาวี จิระชีวี และคณะ (2556) กล่าวว่าปัจจุบันระบบน้ำหยดเป็นที่รู้จักแพร่หลายจึงมีการสั่งเทปน้ำหยดหลายแหล่งจากต่างประเทศเข้ามาจำหน่าย และมีการซื้อเครื่องจักรจาก ต่างประเทศมาผลิตภายในประเทศ โดยเฉพาะประเทศจีนซึ่งผลิตได้เกรดที่ต่ำกว่าในด้านความหนา และความทนทาน แต่มีราคาต่ำ (low–cost emitters) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ จาก

ต่างประเทศที่มีจำหน่ายมานานแล้ว (conventional emitters) เช่น อิสราเอล และ ออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังขาดข้อมูลพิจารณาคุณภาพ มีเพียงมาตรฐาน ISO 9261:2004 ที่เป็นมาตรฐานรับรอง

- ประเภทเทปน้ำหยด เทปน้ำหยดประเภทชดเชยแรงดัน จะมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูง เนื่องจาก แรงดันที่เปลี่ยนแปลงไม่ส่งผลให้อัตราการไหล (ภาพที่ 1) แต่เทปน้ำหยดประเภทไม่ชดเชยแรงดัน จะมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำ เนื่องจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 2)

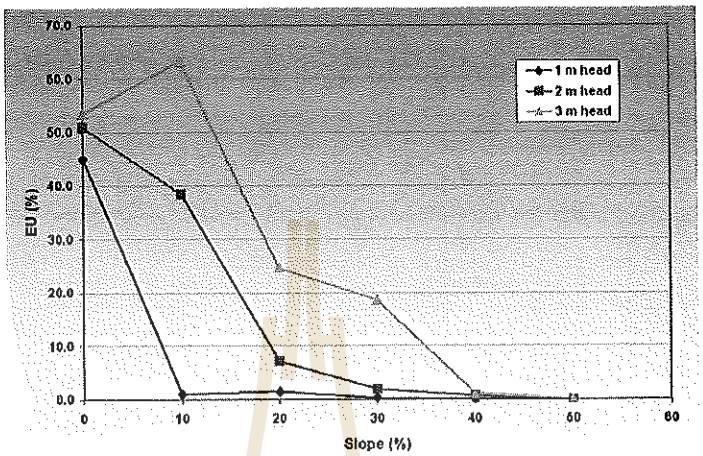


ภาพที่ 1 อัตราการไหลของเทปน้ำหยดประเภทชดเชยแรงดัน (ที่มา : Perea *et al.*, 2013)



ภาพที่ 2 อัตราการไหลของเทปน้ำหยดประเภทไม่ชดเชยแรงดัน (ที่มา : Perea *et al.*, 2013)

2) ความลาดชั้นพื้นที่ (Slope) Ella *et al.* (2012) พบว่าค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำจะลดลงเมื่อความลาดชันเพิ่มขึ้น และที่ความชันมากกว่า 30% ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำจะลดลงมาก (ภาพที่ 3)

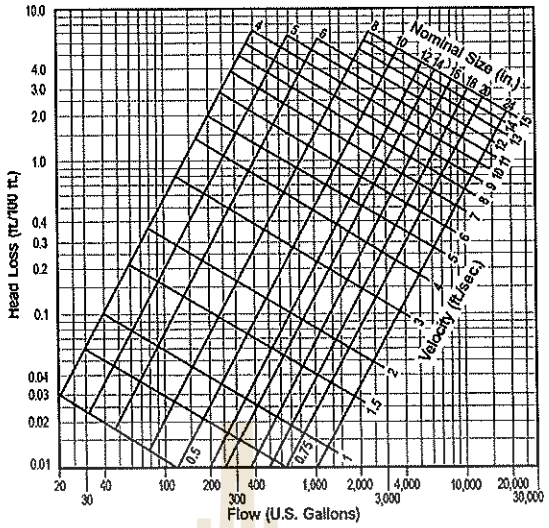


ภาพที่ 3 ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่อความลาดชัน (ที่มา: Ella *et al.*, 2012)

3) การสูญเสียจากการไหลภายในท่อ การเปลี่ยนแปลงความดันมีอิทธิพลต่อการไหลในท่อมาก การเปลี่ยนแปลงความดันอาจเกิดจากเปลี่ยนแปลงระดับของท่อ ความเร็วของของไหลในท่อและแรงเสียดทาน (friction)

การสูญเสียความดัน (pressure losses) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความดันในท่อเกิดการเปลี่ยนแปลง การสูญเสียความดันสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ major losses (hl) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ และ minor losses (hm) เกิดจากการที่ของไหล ไหลผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น gate valve, elbow ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่ และทางแยกต่าง ๆ

การสูญเสียแรงเสียดทานภายในท่อ (friction loss) ขึ้นอยู่กับ อัตราการไหล และขนาดภายในของท่อ โดยท่อที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการสูญเสียแรงเสียดทานมากกว่าท่อขนาดเล็ก และท่อที่มีอัตราการไหลสูงจะมีการสูญเสียแรงเสียดทานมากกว่าท่อที่มีอัตราการไหลต่ำ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 4 การสูญเสียแรงดันภายในท่อ

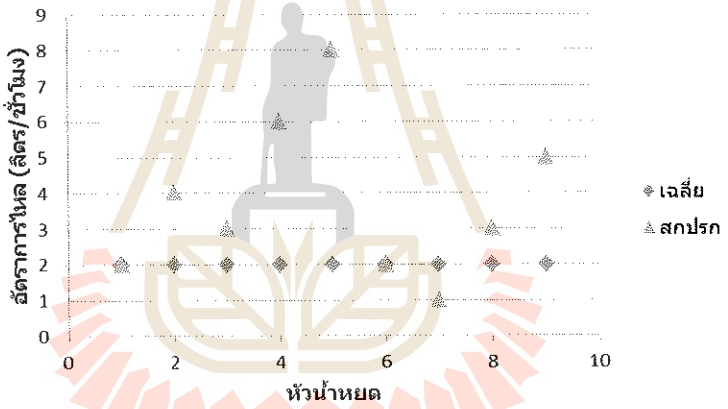
ตารางที่ 1 การสูญเสียแรงดันภายในท่อ

อัตราการไหล (ลิตร/ชั่วโมง)	ขนาดท่อ ½”		ขนาดท่อ ¾”	
	ความเร็วน้ำ (f/s)	แรงดันสูญเสีย (บาร์)	ความเร็วน้ำ (f/s)	แรงดันสูญเสีย (บาร์)
3.7	1.06	0.43	0.6	0.11
7.5	2.11	1.55	1.2	0.39
11.3	3.17	3.28	1.8	0.83

ที่มา : ดัดแปลงจาก Pressure Loss Through Water Meters

4) อายุการใช้งานเทปน้ำหยด เนื่องจากเทปน้ำหยดที่ผ่านการใช้งานมานาน เกิดปัญหาการอุดตันที่หัวหยด (ภาพที่ 4) ทำให้อัตราการไหลของหัวหยดเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 5 การอุดตันของหัวหยด



ภาพที่ 6 อัตราการไหลของหัวจ่ายน้ำที่เกิดปัญหาการอุดตัน (ที่มา : ปรับปรุงจาก Nakayama and Bucks, 1991)

2. การคำนวณค่าความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ (emission uniformity, EU)

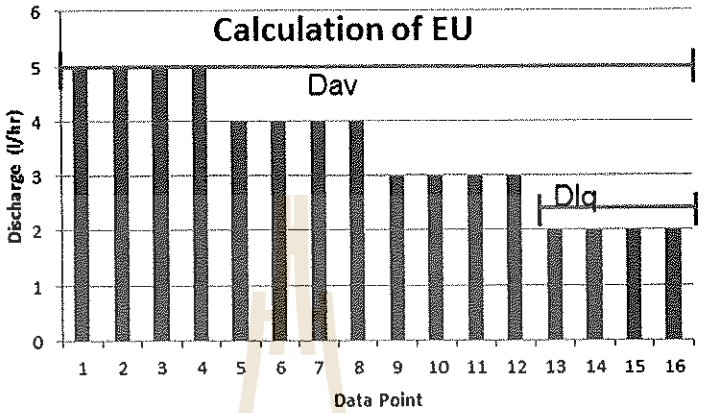
ประเมินความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ ในแปลงระบบน้ำหยดโดยแบ่งพื้นที่เก็บข้อมูลตามความยาวเทปน้ำหยดเป็น 4 โซน (จำนวน 16 จุด) (ดัดแปลงจาก Hassan, 2008) แต่ละจุดวัดอัตราการไหลของน้ำหยดจากหัวหยด 1 หัว โดยวัดปริมาตรน้ำในเวลา 5 นาที หาค่าเฉลี่ยจากจำนวน 2 ครั้ง คำนวณเป็นอัตราการไหลของหัวหยดแต่ละจุด นำค่าทั้ง 4 โซน ไปคำนวณค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำในสมการที่ 2

$$EU = (Dlq/Dav)\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 2)}$$

เมื่อ EU = ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ (%)

Dlq = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำโซนที่ต่ำสุด (ลิตร/ชั่วโมง)

Dav = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำทั้งหมด (ลิตร/ชั่วโมง)



ภาพที่ 7 การคำนวณค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

ทำการประเมินค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ก่อนการใช้งานและหลังการเก็บเกี่ยวทุกฤดู โดยแบ่งเกณฑ์ค่าความสม่ำเสมอการกระจายของน้ำไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

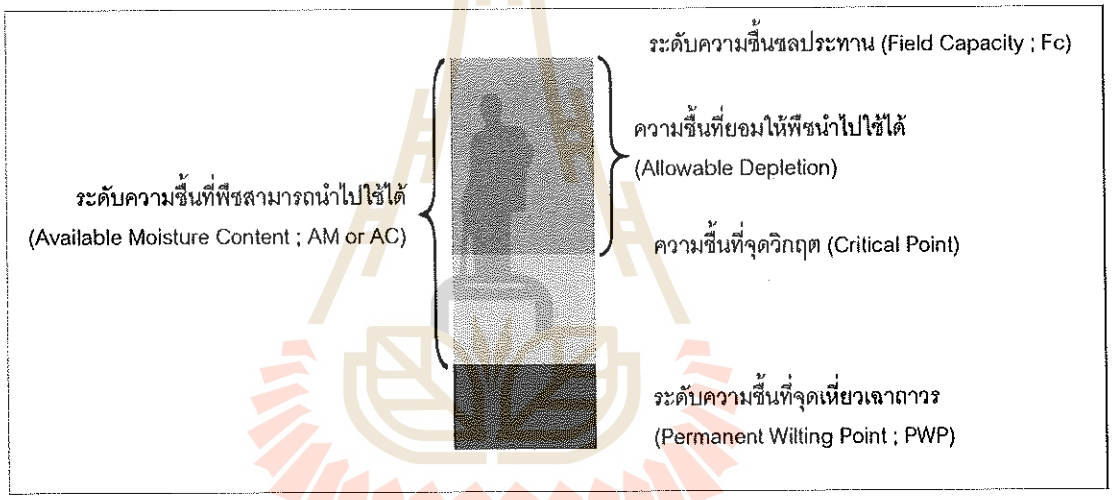
ระดับ	ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ (%)
ดีเยี่ยม	> 90 %
ดี	90–80 %
พอใช้ได้	80–70 %
แย่	70–60 %
รับไม่ได้	< 60 %

ที่มา : Hassan (2008)

2.4 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

การกำหนดการให้น้ำแก่พืชต้องทราบถึง 1. ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน 2. ความชื้นในดินที่จะยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ 3. ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน 4. ความสามารถในการระบายน้ำของดิน และนอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณและคุณภาพน้ำชลประทาน โดยการให้น้ำ

แก่พืช คือ การให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินในเขตรากพืชให้อยู่ในช่วงระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) กับความชื้นชลประทาน หรืออยู่ในช่วงความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ โดยการให้น้ำแก่พืชเริ่มให้เมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยการกำหนดระดับการให้น้ำที่เข้าใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวรขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืช และสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 50–70% ของความชื้นที่ พืชดูดไปใช้ได้ (ธีระพล ตั้งสมบุญ, 2549) ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไปเรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (allowable soil moisture deficiency) ส่วนความชื้นที่อยู่ในดินหลังจากที่พืชดูดความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้หมด เรียกว่า ความชื้นที่จุดวิกฤต (critical moisture level หรือ critical point)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

2.5 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการ คือ

1) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการวัดตรง มี 3 ลักษณะ คือ การศึกษาจากปริมาณความชื้นในดิน โดยทำการศึกษาจากแปลงทดลอง ทำการวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysiometer) ซึ่งวิธีนี้ให้ผลที่ถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่มีข้อจำกัด คือวิธีนี้จะให้ข้อมูลที่ถูกต้องกับสภาพพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดเท่านั้น นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน และใช้แรงงานมาก

2) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลศักย์การระเหยน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETp) และค่าสัมประสิทธิ์การ

ใช้น้ำของพืช (Kc) โดยมีหลักการและแนวคิด คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ สภาพของดิน ชนิด และอายุของพืช สภาพภูมิอากาศรอบๆต้นพืช และการจัดการการเพาะปลูก ซึ่งวิธีนี้สามารถหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ในสภาพพื้นที่ต่างๆ กันได้รวดเร็ว และสะดวกกว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการวัดโดยตรง

$$ETc = Kc \times ETp \quad \text{..... (สมการที่ 3)}$$

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ETp = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง หรือ potential evapotranspiration

ค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc) หมายถึง ค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลอง และตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืชกับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยค่า KC เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิด และอายุของพืชเพียงอย่างเดียว (Allen *et al.*, 1998; ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) เนื่องจาก ET และ ETp เป็นค่าการใช้น้ำที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยมีสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบอื่นๆ คล้ายคลึงกัน

$$Kc = ET/ETp \quad \text{..... (สมการที่ 4)}$$

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration; ETo) หรือ potential evapotranspiration; ETp หมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง โดยที่ดินจะต้องมีความชื้นอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลา และพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะต้องมีบริเวณกว้างพอที่จะไม่ทำให้การระเหย และการคายน้ำของพืชต้องกระทบจากอิทธิพลภายนอก เช่น การพัดผ่านของลม เนื่องจากต้องการให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสี อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม เป็นต้น ดังนั้นการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลานั้น ของสถานที่ที่ใช้ทดลอง หรือสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน

2.6 ทานตะวัน

ทานตะวันเป็นพืชท้องถิ่นของทวีปอเมริกา บริเวณประเทศเม็กซิโก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus L.* อยู่ในตระกูล Asteraceae ชื่อสามัญคือ Sunflower เป็นพืชในตระกูลเดียวกันกับเบญจมาศ คำฝอย ดาวเรือง เป็นพืชล้มลุกที่มีปลูกกันมากในเขตอบอุ่น โดยมีรากเป็นระบบรากแก้วหยั่งลึกลงไปประมาณ 150–270 เซนติเมตร มีรากแขนงแข็งแรง แผ่ขยายไปด้านข้างยาว 60–150 เซนติเมตร ลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 90–120 เซนติเมตร ใบจะออกสลับกัน ลักษณะของใบกลมรี กว้างประมาณ 10–20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ขอบใบจะเป็นรอยจักฟันเลื่อย ปลายใบแหลมมน (U) ใบจะมีมากจนกระทั่งดอกบาน หลังจากนั้นใบจะลดน้อยลง ดอกจะมีขนาดใหญ่ บานเต็มที่โตประมาณ 12–24 เซนติเมตร มีสีเหลืองสด ตรงกลางดอกจะมีเกสรเป็นวงเกือบเท่าตัวดอก กลีบดอกจะบานแผ่เป็นวงกลมทำให้เกสรดอกเด่นชัด เมล็ดจะอยู่ตรงบริเวณฐานรองดอก เมล็ดขนาดใหญ่จะอยู่รอบวงนอก ส่วนเมล็ดที่อยู่ใกล้กับกึ่งกลางจะมีขนาดเล็กลงตามลำดับ เมล็ดมีลักษณะรียาว เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำลายขาว เป็นพืชที่มีการปรับตัวเข้ากับสภาพของเขตร้อนได้ดีไม่ไวต่อแสง สามารถออกดอกให้ผลได้ทุกสภาพช่วงแสง ชอบอากาศอบอุ่นในเวลากลางวันและอากาศเย็นในเวลากลางคืน อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ อยู่ระหว่าง 18–25°C ปลูกได้ในดินแทบทุกประเภท แต่เจริญได้ดีในดินที่มีสภาพความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของดินประมาณ 5.7–8 และดินที่มีหน้าดินลึกอุ้มน้ำได้ดี แต่ไม่ชอบน้ำขังและไม่ชอบดินที่มีลักษณะเป็นกรด หากดินที่ปลูกมีความชื้นต่ำ ผลผลิตของเมล็ดจะต่ำ ทานตะวันมีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง อากาศเย็น อากาศร้อน และสภาพความอุดมสมบูรณ์ดินต่ำ ตลอดจนสภาพดินเกลือและเป็นด่างจัดได้

แต่เดิมทานตะวันเป็นเพียงไม้ดอกไม้ประดับเท่านั้น ต่อมาได้นำเมล็ดมาเป็นของขบเคี้ยว และสกัดเป็นน้ำมัน จึงทำให้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญพืชหนึ่ง การใช้ประโยชน์จากทานตะวันมีหลายลักษณะดังนี้ 1) เมล็ด ใช้บริโภคโดยตรง 2) เปลือกของลำต้น มีลักษณะเหมือนเยื่อไม้นำมาทำกระดาษสีขาวคุณภาพดี ลำต้นใช้ทำเชื้อเพลิง 3) ราก ใช้ทำแป้งเด็กสปาเก็ตตี้ ในรากมีวิตามินบี 1 และธาตุอีกหลายชนิด แพทย์แนะนำให้ใช้รากทานตะวันประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน 4) น้ำมัน น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดจะให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 35% และได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิคหรือกรดลิโนเลนิค สูงถึง 60–70% ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดคลอเรสเตอรอลที่เป็นสาเหตุของโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ และยังประกอบด้วยวิตามิน เอ ดี อี และเค ซึ่งคุณภาพของวิตามินอีจะสูงกว่าในน้ำมันพืชอื่นๆ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะไม่เกิดกลิ่นหืน ทั้งยังทำให้สีกลิ่นและรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากใช้เป็นน้ำมันพืชแล้วยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรม ทำเนยเทียม สีน้ำมันชักเงา สบู่ และน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ 5) กากเมล็ด กากเมล็ดที่ได้จากการสกัดน้ำมันออกแล้ว จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้ ในกากเมล็ดทานตะวันที่กะเทาะเปลือกและบีบน้ำมันออกแล้ว จะมี

โปรตีน 42% และใช้เป็นแหล่งแคลเซียมสำหรับปศุสัตว์ได้ดี แต่จะมีปริมาณกรดอะมิโนอยู่เล็กน้อย และขาดไลซีน จึงต้องใช้อย่างรอบคอบ เมื่อจะเอาไปผสมเป็นอาหารสัตว์ที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. การเจริญเติบโตของทานตะวัน

ทานตะวันจะมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ซึ่งมีปัจจัยในการควบคุมได้แก่ พันธุ์ของทานตะวัน และการได้รับปัจจัยการผลิต เนื่องจากทานตะวันแต่ละพันธุ์มีความต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน สามารถแบ่งลักษณะการเจริญเติบโตของทานตะวันออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

1) ระยะ vegetative stage เป็นระยะที่เริ่มจากต้นอ่อนโผล่พ้นดินเป็นต้นไป ซึ่งจะสิ้นสุดระยะนี้ เมื่อเริ่มมีดอกเกิดขึ้น การแบ่งเป็นระยะต่างๆ จะสังเกตจากจำนวนใบ การเจริญเติบโตในระยะนี้จะแทนด้วยตัวอักษร V

2) ระยะ reproductive stages เป็นการเจริญเติบโตในระยะที่ทานตะวันเริ่มจะมีดอก การแบ่งระยะต่างๆ จะสังเกตจาก พัฒนาการของดอก และการบานของดอก จะสิ้นสุดระยะนี้เมื่อถึงระยะแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) การเจริญเติบโตในระยะนี้จะแทนด้วยตัวอักษร R

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3 ระยะการเจริญเติบโตของทานตะวัน

ระยะการเจริญเติบโตของทานตะวัน	ลักษณะของการเจริญ
VE	เริ่มจากต้นกล้ามีใบเลี้ยงโผล่พ้นผิวดิน และมีใบจริงคู่แรกที่มีความยาวน้อยกว่า 4 เซนติเมตร
V1	การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ โดยการนับจำนวนใบจริงที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร (V1 = ใบที่ 1)
V2	การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ โดยการนับจำนวนใบจริงที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร (V2 = ใบที่ 2)
Vn	การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ โดยการนับจำนวนใบจริงที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร (Vn = ใบที่ n)
R1	เริ่มมองเห็นตาดอก ถ้ามองที่ปลายยอดจะเห็นใบประดับเป็นแฉกคล้ายรูปดาวปรากฏขึ้นมา
R2	ตาดอกเริ่มยืดตัวห่างจากใบ 0.5–2.0 เซนติเมตร
R3	ตาดอกยืดตัวมากขึ้น และห่างจากใบมากกว่า 2 เซนติเมตร
R4	ดอกเริ่มบาน จะเห็นกลีบดอก (ray flower) เป็นครั้งแรก
R5	ระยะดอกบาน และมีตัวเลขหลังจุดทศนิยมเป็นเปอร์เซ็นต์การบานของดอก
R5.1	เกิดการถ่ายละอองเกสรเกิดขึ้นของดอกย่อย 10%
R5.2	เกิดการถ่ายละอองเกสรเกิดขึ้นของดอกย่อย 20%
R6	ดอกบานเต็มที่กลีบดอก (ray flowers) เริ่มเหี่ยว
R7	ด้านหลังของจานดอกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน
R8	ด้านหลังของจานดอกเป็นสีเหลืองเต็มที่ แต่ใบประดับยังมีสีเขียวอยู่และอาจพบจุดสีน้ำตาลหลังจานดอก
R9	ใบประดับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล มีจุดสีน้ำตาลหลังจานดอกแสดง ถึงระยะที่มีการสุกแก่ทางสรีรวิทยา

2. ความสำคัญทางเศรษฐกิจ

จากสถิติการเพาะปลูกพบว่าในปี พ.ศ. 2550/2551 ประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 162,679 ไร่ ได้ผลผลิต 19,346 ตัน โดยจังหวัดที่มีการปลูกทานตะวันมาก ได้แก่ จังหวัดลพบุรี สระบุรี เพชรบูรณ์ และนครสวรรค์ ซึ่งพบว่าผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนๆ สาเหตุที่ทำให้การผลิตลดลงเนื่องมาจาก ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าแรงงานกับค่าเมล็ดพันธุ์ และผลผลิตต่อไร่ต่ำ (119 กก./ไร่ ในปี พ.ศ. 2550/2551) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) แต่ในปัจจุบันมีความต้องการใช้เมล็ดทานตะวันเพื่อสกัดน้ำมันมากกว่าปีละ 100,000 ตัน แต่สามารถผลิตได้ต่ำกว่า 50% ของความต้องการ จึงมีการนำเข้าเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันเมล็ด ทานตะวัน รวมมูลค่ามากกว่า 470 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ดังนั้น ทานตะวันจึงเป็นพืชที่มีอนาคตดีเมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่ชนิดอื่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการที่จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ และผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน จึงได้ดำเนินการวิจัยโดยแบ่งทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การทดลองที่ 1 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยดต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

การทดลองนี้ใช้ความยาวเทปน้ำหยด ที่มีความยาวแตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ 100 และ 150 เมตร เนื่องจากความยาว 100 เมตร เป็นความยาวที่มีความนิยมใช้มากที่สุด และ 150 เมตร เป็นความยาวที่ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบผล เนื่องจากเป็นคำแนะนำจากข้อมูลผู้ผลิตเพื่อจำหน่าย ซึ่งในแต่ละการทดลอง (ความยาว 100 และ 150 เมตร) มีการวางแผนการทดลองและเก็บข้อมูลเหมือนกัน

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3×5 factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยจัด 2 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด 5 ยี่ห้อ

- A
- B
- C
- D
- E

โดยผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ยี่ห้อ สามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป แบ่งตามแหล่งผลิตได้ 2 ประเภท คือ 1) นำเข้าจากต่างประเทศ (ผลิตภัณฑ์ A) 2) ผลิตภายในประเทศ (ผลิตภัณฑ์ B, C, D และ E) และแบ่งตามลักษณะการผลิตได้ 2 ประเภท คือ 1) เทปกลม (ผลิตภัณฑ์ A, B, C และ D) 2) เทปแบน (ผลิตภัณฑ์ E) ซึ่งผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดทั้ง 5 ยี่ห้อมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 4

ปัจจัยที่ 2 คือ แรงดันน้ำ 3 ระดับ ที่ท่อประธานหน้าแปลง

- 0.5 บาร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- 1.0 บาร์
- 1.5 บาร์

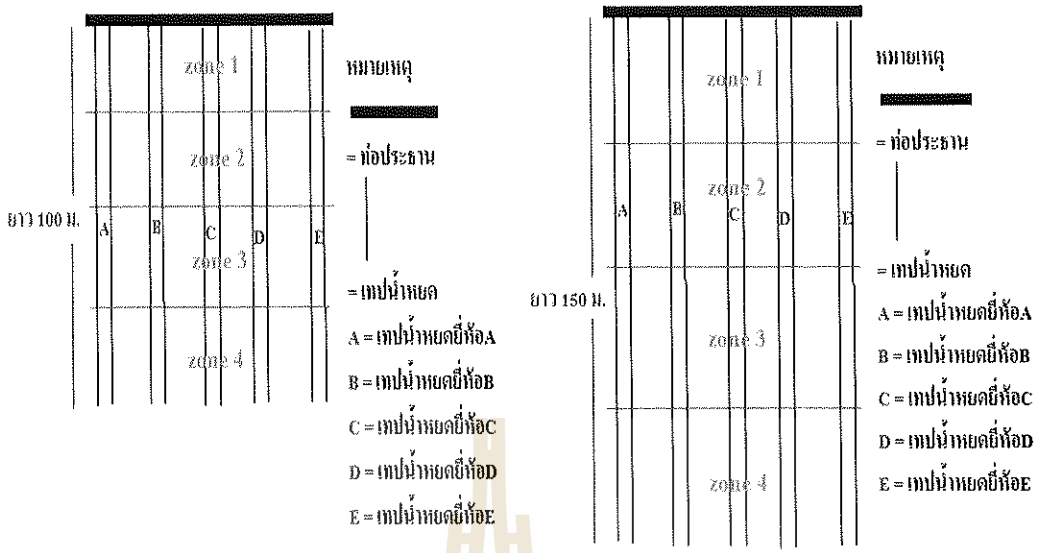
โดยแรงดันน้ำ 1.0 บาร์ เป็นแรงดันน้ำที่ผู้ผลิตเทปน้ำหยดแนะนำให้ใช้ ในขณะที่แรงดันน้ำ 0.5 และ 1.5 บาร์ เป็นแรงดันน้ำที่ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบผล

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด

ยี่ห้อ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ความหนา (มม.)	อัตราไหล (ล/ชม.)	ระยะห่างระหว่างหัวหยด (ซม.)
A	16	0.25	2.1	30
B	16	0.20	2.0	30
C	16	0.20	ไม่ระบุ	30
D	16	0.20	2.0	30
E	16	0.20	3.0	30

2. วิธีการทดลอง

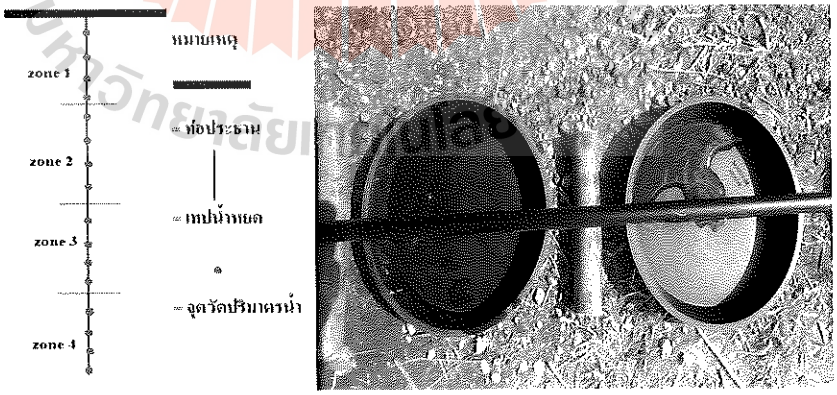
ทำการทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วางระบบน้ำหยดบนพื้นที่ที่สม่ำเสมอ โดยใช้ท่อประธานแบบพีอีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร ติดตั้งเข้ากับระบบกรองชนิดความลึก (แผ่นดิสต์) ขนาด 2 นิ้ว และเชื่อมต่อเทปน้ำหยดเข้ากับท่อประธานโดยตรง จำนวน 5 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 2 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ความยาวแถวละ 100 และ 150 เมตร เปิดน้ำเข้าสู่ระบบ ควบคุมแรงดันน้ำด้วยประตูน้ำ (water gate) และตรวจสอบด้วยเกจวัดแรงดันน้ำ (pressure gage) โดยมีการปรับแรงดันน้ำตามที่กำหนดไว้ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ ในแต่ละแรงดันน้ำทำการเก็บข้อมูล โดยแบ่งพื้นที่เป็น 4 ส่วน ส่วนละเท่าๆ กันตามความยาวเทปน้ำหยด (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ผังแปลงการวางระบบน้ำหยดความยาว 100 และ 150 เมตร

3. เก็บข้อมูล

3.1 อัตราการไหล แบ่งพื้นที่เก็บข้อมูลตามความยาวเทปน้ำหยดเป็น 4 โซน จากนั้นนำถาดพลาสติกสำหรับเก็บน้ำ (จำนวน 16 จุด) รองเก็บน้ำจากหัวหยดที่กึ่งกลางของแต่โซน (ภาพที่ 10) เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำเพื่อเก็บข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการไหลต่อหัวหยดในหน่วย ลิตร/ชั่วโมง



ภาพที่ 10 ตำแหน่งและวิธีการวัดอัตราการไหล

3.2 ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ นำข้อมูลจากอัตราการไหลมาคำนวณหาค่าความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำโดยใช้สูตรตามสมการที่ 2

$$EU = (Dlq/Dav)\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 2)}$$

3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติ ความต้านแรงดึง (tensile strength) ของเทปน้ำหยดทั้งหมด ด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5566) ด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที จากการจำลองการใช้งานจริงด้วยแรงดึงจากเครื่องจักร จำนวน 5 ซ้ำ/ตัวอย่าง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 16.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.2 การทดลองที่ 2 ผลความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน

การทดลองนี้ใช้ความยาวเทปน้ำหยด ที่มีความยาวแตกต่างกัน 2 ระยะ ได้แก่ 70 และ 140 เมตร เนื่องจากความยาว 70 เมตร เป็นความยาวที่ระบบน้ำหยดมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่ามาตรฐาน และ 140 เมตร เป็นความยาวที่ระบบน้ำหยดมีแนวโน้มความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน เพื่อต้องการศึกษาผลความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน ในแต่ละการทดลอง มีการวางแผนการทดลองและเก็บข้อมูลเหมือนกัน

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2×2 factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 2 ปัจจัยการทดลอง ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด 2 ยี่ห้อ จากการทดลองที่ 1 ซึ่งมีความสม่ำเสมอมากและน้อยที่สุด

- A
- E

ปัจจัยที่ 2 คือ แรงดันน้ำ 2 ระดับ ที่ท่อรองประธานหน้าแปลง

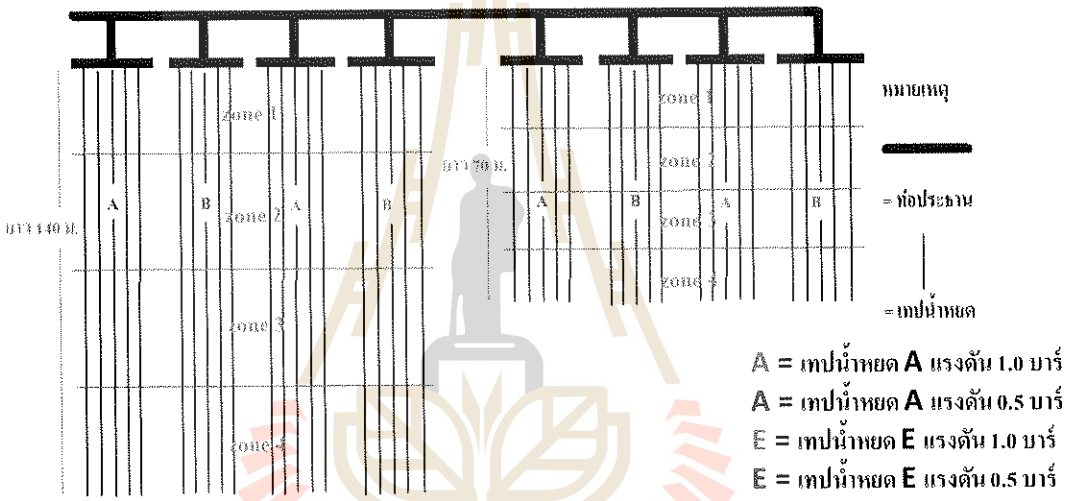
- 0.5 บาร์
- 1.0 บาร์

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแปลง ทำการทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เตรียมดินด้วย

แทรคเตอร์โดยการไถบุกเบิกเพื่อพลิกหน้าดิน และตากดินประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อฆ่าเชื้อโรคและกำจัดวัชพืช ไถพรวนและปั่นโรตาลี่เพื่อย่อยดินให้ละเอียด ปรับระดับดินให้สม่ำเสมอ และกาแถวระยะห่าง 70 เซนติเมตร ด้วยเครื่องกาแถวติดท้ายแทรกเตอร์

2.2 วางระบบน้ำหยด ออกแบบและติดตั้งโดยใช้ท่อประธานแบบพีอี ขนาด 63 มิลลิเมตร ท่อรองประธานขนาด 50 มิลลิเมตร และระบบกรองแบบแผ่นดิสค์ขนาด 2 นิ้ว โดยใช้ท่อรองประธานแบ่งแปลง เป็น 8 แปลงย่อย เชื่อมต่อเทปน้ำหยดเข้ากับท่อรองประธาน แปลงย่อยละ 8 แถว ที่ความยาว 70 เมตร 4 แปลง และ 140 เมตร 4 แปลง (ภาพที่ 11) เปิดน้ำเข้าสู่ระบบ ควบคุมแรงดันน้ำด้วยประตูน้ำ และตรวจสอบแรงดันน้ำด้วยเกจวัดแรงดันน้ำ



ภาพที่ 11 ผังแปลงการวางระบบน้ำความยาว 70 และ 140 เมตร

2.3 การปลูก ปลูกทานตะวันพันธุ์ไพโอเนียจัมโบ้ ในวันที่ 3 มีนาคม 2559 ด้วยวิธีการหยอดโดยแรงงานคน กำหนดระยะห่างระหว่างแถว 70 เซนติเมตร และ ระยะห่างระหว่างหลุม 30 เซนติเมตร หยอด 4 เมล็ดต่อหลุม กลบลึก 3-4 เซนติเมตร

2.4 การจัดการ

1) การให้น้ำ กำหนดการให้น้ำตามความต้องการน้ำของพืช จากสมการที่ 3 ($ETc = ETp \times Kc$) ดังตารางที่ 5 และกำหนดเวลาในการให้น้ำจากอัตราการไหลเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี ซึ่งทุกกรรมวิธีได้รับน้ำในปริมาณที่เท่ากัน (478 มิลลิเมตร) ตลอดฤดูปลูก

ตารางที่ 5 ความต้องการน้ำของพืช (ETc = ETp×Kc)

ข้อมูล	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
ETp (มม./วัน)	5.25	5.61	5.1	5.03
Kc	0.72	0.84	1.02	0.87
ETc (มม./วัน)	3.78	4.68	5.2	4.4

2) การให้ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สูตร 15-5-5 มีการให้ปุ๋ยพร้อมกับการให้น้ำด้วยปั๊มน้ำไฟฟ้า แบ่งให้ปุ๋ย 4 ครั้ง ที่อายุทานตะวัน 15, 30, 45 และ 60 วัน หลังปลูก

3) การป้องกันกำจัดวัชพืชและศัตรูพืช หลังจากปลูกเสร็จ พ่นสารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนงอก อัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 16 ลิตร เมื่อทานตะวันอายุ 15 วัน กำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน และเมื่อเริ่มพบการระบาดของโรคและแมลง จัดการโดยใช้สารเคมีพ่นตามลักษณะที่พบ

4) เมื่อทานตะวันมีอายุ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม และเมื่ออายุประมาณ 10–15 วัน ทำการพูนโคน

3. เก็บข้อมูล

3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติดินก่อนปลูกโดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 2 ระดับ คือ 0–15 และ 15–30 เซนติเมตร จำนวน 8 จุด จากการสุ่มทั่วทั้งแปลง แล้วนำมาผสมกัน โดยทำการวิเคราะห์ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity Meter วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley and Black (Black, 1965) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ด้วยวิธี Bray II (Bray *et al.*, 1945) วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K Ca) โดยสกัดดินด้วย NH_4OAC เข้มข้น 1.0 M วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001)

3.2 ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ แบ่งพื้นที่เก็บข้อมูลตามความยาวเทปน้ำหยดเป็น 4 โซน (จำนวน 16 จุด) (ดัดแปลงจาก Hassan, 2008) แต่ละจุดวัดอัตราการไหลของน้ำหยดจากหัวหยด 1 หัว โดยวัดปริมาตรน้ำในเวลา 5 นาที หาค่าเฉลี่ยจากจำนวน 2 ครั้ง คำนวณเป็นอัตราการไหลของหัวหยดแต่ละจุด นำค่าทั้ง 4 โซน ไปคำนวณค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำในสมการที่ 2 โดยเก็บข้อมูล 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการทดลอง (4 เดือน)

$$EU = (Dlq/Dav)\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 2)}$$

3.3 ความสม่ำเสมอการกระจายความเข้มข้นปุ๋ย แบ่งพื้นที่เก็บข้อมูลตามความยาวเทปน้ำหยดเป็น 4 โซน จากนั้นนำถาดพลาสติกสำหรับเก็บน้ำ (จำนวน 16 จุด) รองเก็บน้ำจากหัวหยดที่กึ่งกลางของแต่โซน เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำจากหัวหยด 1 หัว ด้วยเครื่อง EC meter แบบพกพา หาค่าเฉลี่ยจากจำนวน 2 ครั้ง เป็นค่า EC ของแต่ละจุด นำค่าทั้ง 4 โซน ไปคำนวณค่าความสม่ำเสมอการกระจายความเข้มข้นปุ๋ยในระบบน้ำหยดตามสมการที่ 5 โดยเก็บข้อมูล 2 ครั้ง พร้อมกับการให้ปุ๋ยที่อายุทานตะวัน 15 และ 45 วัน

$$DUI\ (EC) = (ECl_q/EC_{av})\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 5)}$$

เมื่อ DUI (EC) = ความสม่ำเสมอการกระจายความเข้มข้นปุ๋ย

EC_{lq} = ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำเฉลี่ยโซนที่ต่ำที่สุด (ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร)

EC_{av} = ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำเฉลี่ยทั้งหมด (ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร)

3.4 วิเคราะห์ความชื้นในดิน เก็บข้อมูล 2 ครั้ง เมื่อทานตะวันอายุ 1 และ 2 เดือน โดยเก็บตัวอย่างดินหลังการให้น้ำ 1 ชั่วโมง ในแต่ละแปลงจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 4 จุด ตาม แต่ละจุดเก็บ 5 ระดับความลึก คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร โดยหาความชื้นในดินด้วยวิธี Gravimetric

3.5 บันทึกปริมาณที่ให้น้ำตลอดระยะเวลาการปลูก

3.6 บันทึกปริมาณน้ำฝนตลอดระยะเวลาการปลูก

3.7 การเจริญเติบโต

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 16 ต้น (4 โซน โซนละ 4 ต้น) หาค่าเฉลี่ยในแต่ละโซนและคำนวณค่าความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต ดังสมการที่ 6

$$DUI\ (Growth) = (GRl_q/GR_{av})\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 6)}$$

เมื่อ DUI (Growth) = ความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต

GRl_q = ค่าการเจริญเติบโตเฉลี่ยโซนที่ต่ำที่สุด

GR_{av} = ค่าการเจริญเติบโตเฉลี่ยทั้งหมด

โดยมีวัดการเจริญเติบโตดังต่อไปนี้

1) ความสูง วัดความสูงของต้นจากพื้นดินถึงคอดอกเป็นเซนติเมตร เมื่อทานตะวันอายุ 30 วัน และทำการบันทึกทุก 15 วัน จนกระทั่งทานตะวันอายุ 60 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) น้ำหนักแห้ง ตัดต้นที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดินทั้งหมดล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง เมื่อทานตะวันอายุ 30 วัน และทำการบันทึกทุก 15 วัน จนกระทั่งทานตะวันอายุ 60 วัน

3) พื้นที่ใบ วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องพื้นที่และสัดส่วนการถูกทำลายของใบแบบตั้งโต๊ะ เมื่อทานตะวันอายุ 30 วัน และทำการบันทึกทุก 15 วัน จนกระทั่งทานตะวันอายุ 60 วัน

3.8 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

เก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 16 ต้น (4 โซนโซนละ 4 ต้น) หาค่าเฉลี่ยในแต่ละโซนและคำนวณค่าความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ดังสมการที่ 7

$$DUI\ (Yield) = (Ylq/Yav)\times 100 \quad \text{..... (สมการที่ 7)}$$

เมื่อ DUI (Yield) = ความสม่ำเสมอผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

Ylq = ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยโซนที่ต่ำที่สุด

Yav = ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยทั้งหมด

โดยมีการวัดผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดังนี้

1) น้ำหนักผลผลิต สุ่มเลือกดอกทานตะวัน จากนั้นทำการกะเทาะเมล็ดออกแล้วจึงทำการชั่งเมล็ดทั้งหมดบันทึกผล จากนั้นคำนวณเป็นน้ำหนักผลผลิตต่อไร่ โดยหาได้จาก น้ำหนักผลผลิตต่อไร่ = (พื้นที่ปลูก/1,600) × น้ำหนักเมล็ด

2) ขนาดเมล็ด ทำการชั่งเมล็ดที่ผ่านการนวดแล้วจำนวน 100 เมล็ด จำนวน 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

3) ขนาดดอก ทำการสุ่มวัดเส้นผ่านศูนย์กลางตามรูปทรงของดอกทานตะวันที่มีความกว้าง ที่สุดเป็นเซนติเมตร

3.9 วิเคราะห์คุณสมบัติ ความต้านแรงดึง ของเทปน้ำหยด ด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5566) ด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที จำนวน 5 ซ้ำ/ตัวอย่าง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว เก็บข้อมูล 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการทดลอง (4 เดือน)

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 16.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least-Significant Different (LSD)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

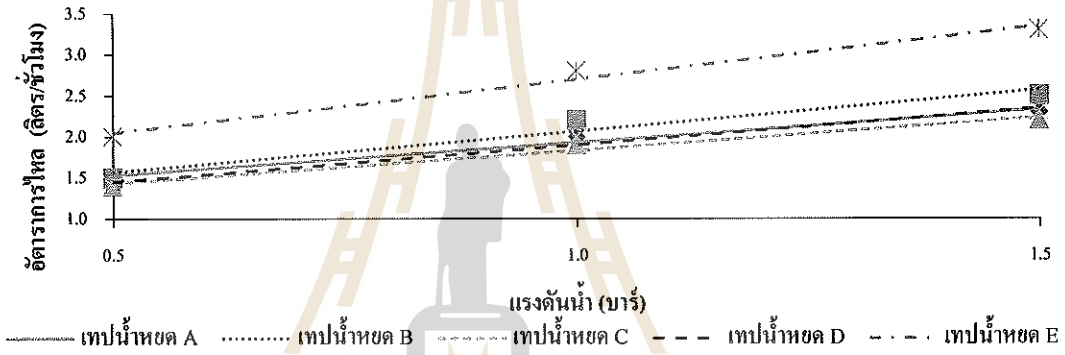
บทที่ 4
ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยดต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

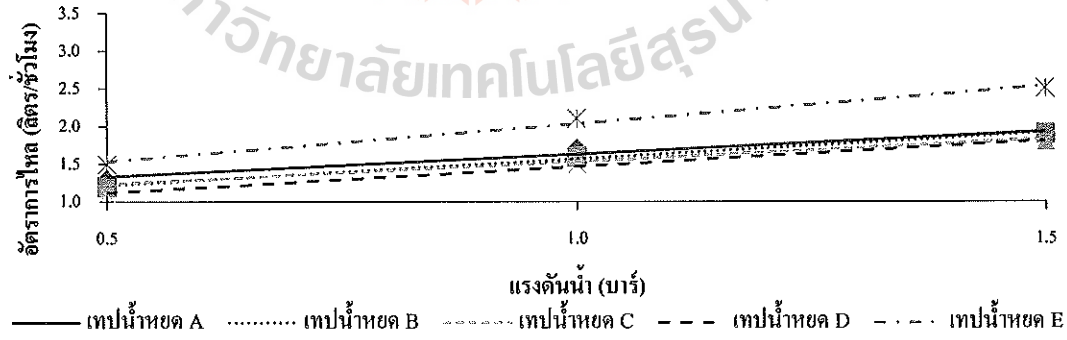
1. อัตราการไหล

จากการเก็บข้อมูลอัตราการไหลของเทปน้ำหยด A, B, C, D และ E ที่ความยาว 100 และ 150 เมตร และแรงดันน้ำ 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้เทปน้ำหยดมีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน โดยเทปน้ำหยดทั้ง 5 ยี่ห้อ คือ A, B, C, D และ E จะมีรูปแบบอัตราการไหลที่คล้ายคลึงกัน คือจะมีอัตราการไหลในปริมาณน้อยเมื่อแรงดันของน้ำต่ำและจะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นตามแรงดันน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 12 และ 13) เนื่องจากเทปน้ำหยดทั้ง 5 ยี่ห้อ เป็นเทปน้ำหยดประเภทไม่สามารถปรับแรงดันได้ จะมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำ เนื่องจากแรงดันที่เปลี่ยนแปลงส่งผลให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่เทปน้ำหยดที่สามารถปรับแรงดันได้จะมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูง เนื่องจากแรงดันที่เปลี่ยนไปไม่ส่งผลให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง (Perea *et al.*, 2013) โดยเทปน้ำหยด A, B, C และ D มีอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่แรงดันน้ำระดับเดียวกันไม่แตกต่างกัน ในขณะที่เทปน้ำหยด E จะมีอัตราการไหลเฉลี่ยสูงกว่าเทปน้ำหยดยี่ห้ออื่น เนื่องจากคุณสมบัติของเทปน้ำหยด E มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะเป็นแบบแบน (smooth) โดยกระบวนการผลิตมีการนำขอบของเทปน้ำหยดทั้งสองด้านมาประกบกัน เพื่อให้เกิดเป็นช่องทางเดินน้ำสำหรับลดอัตราการไหลออกของน้ำ ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงต่างจากยี่ห้ออื่นที่เป็นแบบกลม (spiral) มีกระบวนการผลิตโดยใส่แผ่นพลาสติกแข็งที่มีความยืดหยุ่นต่ำสำหรับลดอัตราการไหลออกของน้ำทำให้เทปน้ำหยด E มีอัตราการไหลสูงกว่าเทปน้ำหยดอื่น ที่แรงดันน้ำระดับเดียวกัน โดยที่ความยาว 100 เมตร เทปน้ำหยด E มีอัตราการไหลเฉลี่ย ที่แรงดันน้ำ 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ อยู่ที่ 2.0, 2.8 และ 3.3 ลิตร/ชั่วโมง (ภาพที่ 12) ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำการใช้ คือ แรงดันน้ำ 1.0 บาร์ จะมีอัตราการไหล 3.0 ลิตร/ชั่วโมง และเทปน้ำหยด A, B, C และ D มีอัตราการไหลเฉลี่ย ที่แรงดัน 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ อยู่ระหว่าง 1.4–1.5, 1.9–2.2 และ 2.2–2. ลิตร/ชั่วโมง (ภาพที่ 12) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าแนะนำการใช้ คือ แรงดันน้ำ 1.0 บาร์ จะมีอัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง และที่ความยาว 150 เมตร เทปน้ำหยด E มี

ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำการใช้ คือ แรงดันน้ำ 1.0 บาร์ จะมีอัตราการไหล 3.0 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนเทปน้ำหยด A, B, C และ D มีอัตราการไหลเฉลี่ยที่แรงดัน 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ อยู่ระหว่าง 1.1–1.3, 1.5–1.7 และ 1.8–1.9 ลิตร/ชั่วโมง (ภาพที่ 13) ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำการใช้ คือ แรงดันน้ำ 1.0 บาร์ จะมีอัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง จากการทดลองสรุปได้ว่าความยาวเทปน้ำหยดที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลง เพราะเกิดจากการสูญเสียแรงดันในท่อ สอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียหลัก ที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหลโดยความสูญเสียจะมีอัตราคงที่ต่อความยาวท่อ ดังนั้นความดันสถิตในของไหลจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ (คมสัน วงศ์วีรชันธ์, 2548) ทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลงตามความยาวท่อ



ภาพที่ 12 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่ออัตราการไหล ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 100 เมตร



ภาพที่ 13 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่ออัตราการไหล ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 150 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

จากการเก็บข้อมูลอัตราการไหลของเทปน้ำหยด A, B, C, D และ E ที่ความยาว 100 และ 150 เมตร และแรงดันน้ำ 0.5, 1.0 และ 1.5 บาร์ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของเทปน้ำหยด พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ระหว่างแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ จากการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 100 เมตร แรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเพิ่มขึ้นตาม โดยความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 86.7% (0.5 บาร์), 91.9% (1.0 บาร์) และ 92.0% (1.5 บาร์) (ตารางที่ 6) เทปน้ำหยด A และ C ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าเทปน้ำหยด B, D และ E โดยความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 92.8, 92.7, 89.7, 90.6 และ 85.2% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 150 เมตร แรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกัน ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยแรงดันน้ำ 1.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 83.5, 76.0 และ 65.7% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) และเทปน้ำหยด A ส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าเทปน้ำหยด B, C, D และ E ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 82.8, 80.6, 77.1, 71.3 และ 63.7% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเทปน้ำหยด E มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของเทปน้ำหยดที่มีลักษณะเป็นเทปแบนและอัตราการไหลสูง โดยกระบวนการผลิตเทปแบน ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างผิวท่อภายในไม่เรียบ เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล ซึ่งแรงเสียดทานนั้นสัมพันธ์กับความหยาบของผิวท่อ (คมสัน วงศ์วีรขันธ์, 2548) ทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันมาก เช่นเดียวกับท่อที่มีอัตราการไหลสูงจะเกิดการสูญเสียแรงดันมากกว่าท่อที่มีอัตราการไหลต่ำ ในขณะที่เทปน้ำหยดยี่ห้ออื่นๆ เป็นลักษณะกลมไม่มีรอยต่อระหว่างผิวท่อ และมีอัตราการไหลต่ำจึงเกิดการสูญเสียแรงดันน้อยกว่า และเทปน้ำหยด A เป็นเทปน้ำหยดที่มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงสุด ซึ่ง นาวี จิระชีวี และคณะ (2556) กล่าวว่าสินค้า (เทปน้ำหยด) นำเข้ามาจากประเทศที่มีผลิตภัณฑ์จำหน่ายมานาน (conventional emitter) มีคุณภาพสูง ส่วนเทปน้ำหยดยี่ห้ออื่นๆ มีการนำเข้าสินค้ามาจากประเทศที่มีความน่าเชื่อถือต่ำ และบางส่วนซื้อเครื่องจักรมาผลิตภายในประเทศ ซึ่งปัจจุบันยังขาดข้อมูลการพิจารณาเลือกใช้ และแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงดันน้ำที่สูงมีผลให้อัตราการไหลสม่ำเสมอส่งผลให้ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำก็สูงตามไปด้วย สอดคล้องกับทฤษฎีความดันของไหลที่จุดใดจุดหนึ่ง (fluid pressure at a point) ว่าแรงดันมีผลทำให้อัตราการไหลสม่ำเสมอและเทปน้ำหยดยาว 100 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าเทปน้ำหยดยาว 150 เมตร เพราะความยาวมี

ผลต่อการสูญเสียแรงดัน สอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียหลัก (major loss) ที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล โดยความสูญเสียจะมีอัตราคงที่ต่อความยาวท่อ ดังนั้นแรงดันสถิตในของไหลจะลดลงอย่างสม่ำเสมอ (คมสัน วงศ์วีรขันธ์, 2548) ทำให้อัตราการไหลของน้ำระหว่างต้นสายกับปลายสายแตกต่างกันมาก และทำให้ค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำลดลงตามไปด้วย โดยการติดตั้งเทปน้ำหยดที่ความยาว 150 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำเฉลี่ยส่วนใหญ่ต่ำกว่า 80% ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ (ASAE, 1988)

ตารางที่ 6 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

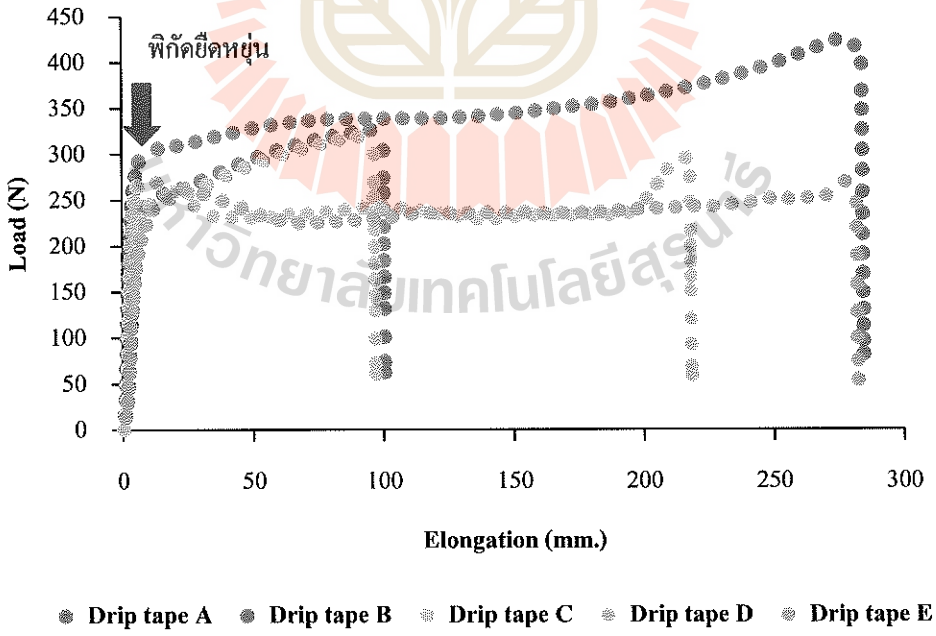
กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ (%)	
	ความยาว 100 เมตร	ความยาว 150 เมตร
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)		
- A	92.8a	82.8a
- B	89.7b	77.1c
- C	92.7a	80.6b
- D	90.6b	71.3d
- E	85.2c	63.7e
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)		
- 1.5 บาร์	92.0a	83.5a
- 1.0 บาร์	91.9a	76.0b
- 0.5 บาร์	86.7b	76.7c
% CV	1.34	1.45
F-test		
ปัจจัยที่ 1	**	**
ปัจจัยที่ 2	**	**
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. การทดสอบความต้านทานแรงดึง (tensile test)

จากการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดมาทดสอบความต้านแรงดึง พบว่ามีสมบัติแบบวัสดุพลาสติกชนิดยืดหยุ่น (flexible plastic) คือในช่วงแรกจะยืดตัวได้ค่อนข้างน้อยเมื่อเพิ่มความเค้น จนถึงขณะหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นยืดตัวอย่างมากเมื่อเทียบกับความเค้น และขาดในที่สุด โดยผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดยี่ห้อ A, D และ E จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุบางตัว แข็ง และเหนียว เนื่องจากมีช่วงยืดตัวยาว และผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดยี่ห้อ B และ C จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุบางตัว แข็ง และแข็งแรง เนื่องจากมีช่วงยืดตัวสั้น โดยเทปน้ำหยด A, B, C, D และ E มีคุณสมบัติความเค้น (tensile stress) เท่ากับ 42, 32, 31, 29 และ 26 MPa ตามลำดับ และมีค่าการยืดตัว (elongation) เท่ากับ 244, 100, 96, 218 และ 282 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 14) ซึ่งคุณสมบัติข้างต้นขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้ จากคุณสมบัติความต้านแรงดึง สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติความต้านแรงดึงที่ดีควรมีค่าทนแรงดึงสูง เนื่องจากการติดตั้งและเก็บเทปน้ำหยด ใช้แรงดึงมากจากทั้งแรงคนและเครื่องจักร ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมคือผลิตภัณฑ์ A เนื่องจากแรงที่กระทำต่อต่อพิกัดยืดหยุ่น (elastic limit) มีค่าสูงสุด โดยเมื่อผ่านจุดนี้ไปวัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (plastic deformation) (การทดสอบแรงดึง, 2552) ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงทั้งขนาด และความหนาของเทปน้ำหยด ส่งผลให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง และมีการรั่วซึม



ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด

4.2 การทดลองที่ 2 ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตทานตะวัน

1. คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง

คุณสมบัติของดินแสดงในตารางที่ 7 โดยดินที่ใช้จัดเป็นเนื้อดินร่วนปนเหนียว ที่ค่า pH 7.1 อินทรียวัตถุปานกลาง (1.7%) available P (7.1 มก./กก.) มีค่าค่อนข้างต่ำ exchangeable K (106.1 มก./กก.) มีค่าสูง exchangeable Ca (1,153 มก./กก.) มีค่าปานกลาง exchangeable Mg (98.32 มก./กก.) มีค่าต่ำ โดยในภาพรวมจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง

คุณสมบัติดิน	ค่าวิเคราะห์
pH	7.1
EC (ไมโครซีเมนส์/ม.)	125.4
Organic matter (%)	1.7
Available P (มก./กก.)	7.1
Exchangeable K (มก./กก.)	106.1
Exchangeable Ca (มก./กก.)	1,153
Exchangeable Mg (มก./กก.)	98.32

2. ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

จากการเก็บข้อมูลอัตราการไหลของเทปน้ำหยด A และ E ที่การทดลองความยาว 70 และ 140 เมตร และแรงดันน้ำ 0.5 กับ 1.0 บาร์ แล้วนำมาคำนวณเป็นความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของเทปน้ำหยด พบว่าทั้งก่อนและหลังการทดลอง (4 เดือน) ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง แรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดต่อความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ ในขณะที่ก่อนการทดลองแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกัน ความยาว 70 เมตรไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 96.4 และ 95.9% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) เทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 96.3 และ 96.1% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) และความยาว 140 เมตร พบว่าแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยแรงดันน้ำ 1.0 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าแรงดันน้ำ 0.5 บาร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.2 และ 86.7% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) และเทปน้ำหยด A ทำ

ให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่า เทปน้ำหยด E มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.4 และ 81.6% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) หลังการทดลองพบว่าแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกัน ความยาว 70 เมตรไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 95.9 และ 95.4% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) เทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 95.8 และ 95.5% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ในขณะที่ความยาว 140 เมตร พบว่าแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยแรงดันน้ำ 1.0 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าแรงดันน้ำ 0.5 บาร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.4 และ 79.3% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) และเทปน้ำหยด A ทำให้ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าเทปน้ำหยด E มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.2 และ 71.1% ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

จากผลการทดลองทั้ง 2 ครั้ง สรุปได้ว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยดหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยลดลงจากก่อนการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Nakayama and Bucks (1991) เรื่องอายุการใช้งานของเทปน้ำหยด และปัญหาความสะอาดของน้ำ ส่งผลต่อการอุดตันที่หัวจ่ายน้ำ เนื่องจากเครื่องกรองมีความละเอียดเพียง 130 ไมครอน ซึ่งไม่สามารถกรองได้ทั้งหมด และเทปน้ำหยด E ที่การทดลองความยาว 140 เมตร มีความสม่ำเสมอลดลงมาก ผลจากการกำจัดวัชพืชและการพูนโคน ทำให้เทปน้ำหยดรั่วซึมจากการฉีกขาด ต้องมีการซ่อมแซมด้วยข้อต่อ (3–5 ชิ้น/เทปน้ำหยด) ซึ่งลักษณะภายนอกของเทปน้ำหยด E ที่ขรุขระส่งผลให้รอยต่อไม่สนิทเกิดช่องว่าง มีการซึมของน้ำและสูญเสียแรงดัน ส่งผลให้ความสม่ำเสมอลดลงมาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 8 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ (%)			
	ความยาว 70 เมตร		ความยาว 140 เมตร	
	เริ่มการทดลอง	4 เดือนหลังการทดลอง	เริ่มการทดลอง	4 เดือนหลังการทดลอง
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)				
- A	96.3±0.53	95.8±0.59	93.4±0.12	90.2±0.92
- E	96.1±0.50	95.5±0.82	81.6±0.84	71.1±1.34
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)				
- 1.0 บาร์	96.4±0.44	95.9±0.52	88.2±2.33	82.4±3.90
- 0.5 บาร์	95.9±0.56	95.4±0.85	86.7±2.99	79.3±4.65
% CV	1.4	2.0	1.2	3.5
F-test				
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	**	**
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	*	*
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

3. ความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ย

จากการเก็บข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า จากน้ำจากหัวหยดที่ผสมกับสารละลายปุ๋ย โดยวิธีที่ใช้ปั๊มไฟฟ้า อัตราการดูด 30 ลิตร/ชั่วโมง ของเทปน้ำหยด A และ E กับแรงดันน้ำ 0.5 กับ 1.0 บาร์ ที่ความยาว 70 และ 140 เมตร และ แล้วนำมาคำนวณเป็นความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ยในระบบน้ำหยด พบว่าการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ครั้ง ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ย โดยแรงดันน้ำและผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดความยาว 70 เมตร ที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอของความเข้มข้นของปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 92.4 และ 93.1% ตามลำดับ (ตารางที่ 9) เทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 93.1 และ 92.3% ตามลำดับ (ตารางที่ 9) และที่การทดลองความยาว 140 เมตร พบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 92.7 และ 92.2% ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ในขณะที่เทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอความ

เข้มข้นของปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 93.4 และ 91.6% ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความสม่ำเสมอความเข้มข้นของปุ๋ยไม่มีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ให้ปุ๋ย (ปั๊มน้ำไฟฟ้า) มีอัตราการดูดคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับ Amin *et al.* (2006) ทำการศึกษาความสม่ำเสมอของการกระจายปุ๋ยของอุปกรณ์ให้ปุ๋ย 4 ชนิด คือ venturi, proportional dosing pump, ถังแบบไหลผ่านผสม (flow by–pass) และ ปั๊มแบบใช้ไฟฟ้า ในระบบน้ำหยดที่ความยาวของการเทปน้ำหยด 50 เมตร พบว่าอุปกรณ์ให้ปุ๋ย 3 ชนิด คือ venturi, proportional dosing pump และปั๊มแบบใช้ไฟฟ้า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติค่าความสม่ำเสมอของความเข้มข้นปุ๋ย โดยอุปกรณ์ให้ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิดมีค่าความสม่ำเสมอของความเข้มข้นปุ๋ยเฉลี่ยอยู่ที่ 99, 96 และ 97% ตามลำดับ แต่ปริมาณปุ๋ยที่ได้รับขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ โดยพบว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงจะส่งผลให้ความสม่ำเสมอการกระจายปุ๋ยสูงตามไปด้วย (Li *et al.*, 2007)

ตารางที่ 9 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอของความเข้มข้นปุ๋ย

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอของความเข้มข้นปุ๋ย (%)			
	ความยาว 70 เมตร		ความยาว 140 เมตร	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)				
- A	92.3±0.53	92.8±0.72	91.3±0.69	92.8±0.56
- E	92.4±0.79	92.3±0.79	91.8±0.52	92.1±0.42
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)				
- 1.0 บาร์	92.4±0.68	92.7±0.66	93.6±0.71	91.9±0.47
- 0.5 บาร์	93.8±0.67	92.5±0.86	93.1±0.75	93.0±0.45
% CV	2.0	2.2	1.8	1.3
F-test				
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

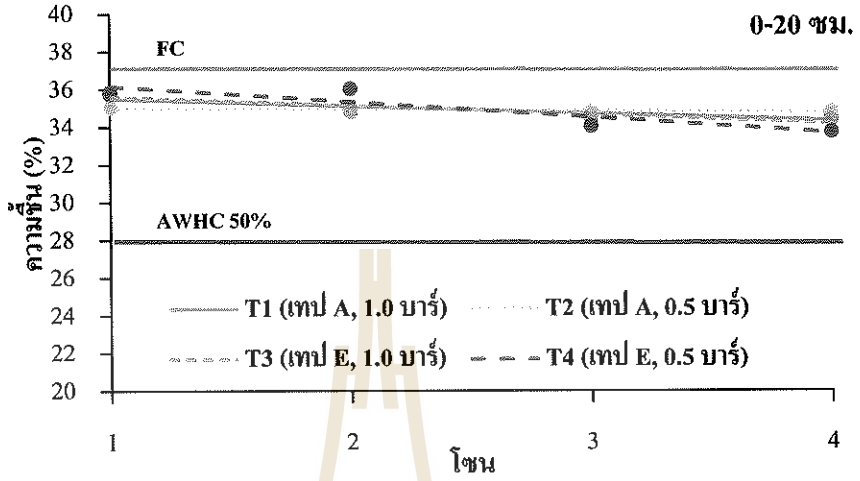
5. ความชื้นในดิน (moisture content)

จากการเก็บข้อมูลความชื้นในดินหลังการได้วยวิธีการวัดความชื้นมาตรฐาน (gravimetric method) 1 และ 2 เดือนหลังปลูก ในการทดลองที่ความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร เป็นดินร่วนเหนียว หลังการให้น้ำ 1 ชั่วโมง พบว่ามีความชื้นในดินจากการให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกผิวดินถึง 20 เซนติเมตร และที่ระดับความลึกจาก 20–50 เซนติเมตร เป็นความชื้นเดิม โดยที่ระดับความลึก 0–20 เซนติเมตร มีค่าความชื้นในดินดังนี้ T1 (เทปน้ำหยด A แรงดัน 1.0 บาร์) 34.6–35.8%, T2 (เทปน้ำหยด A แรงดัน 0.5 บาร์) 34.8–35.1%, T3 (เทปน้ำหยด E แรงดัน 1.0 บาร์) 34.4–35.9% และ T4 (เทปน้ำหยด E แรงดัน 0.5 บาร์) 33.8–36.1% (ภาพที่ 15) และที่ระดับความลึก 20–50 เซนติเมตร มีค่าความชื้นในดินดังนี้ T1 21.0–22.3%, T2 20.9–21.5%, T3 20.9–21.5% และ T4 20.9–22.0% (ภาพที่ 16)

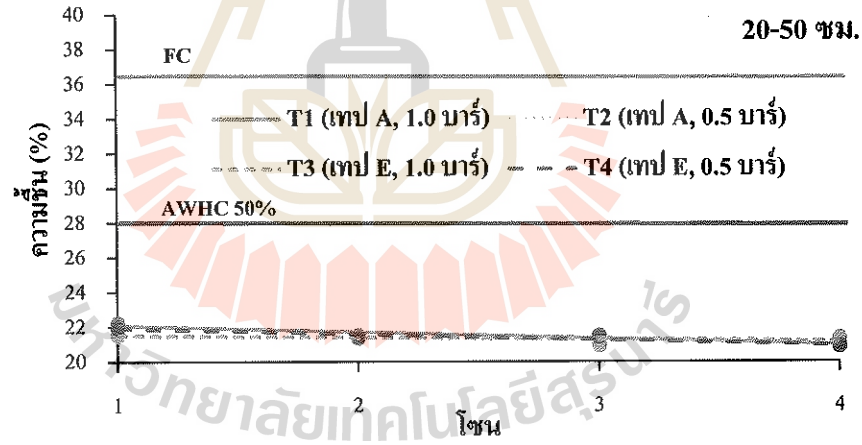
และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร หลังการให้น้ำ 1 ชั่วโมง พบว่ามีความชื้นในดินจากการให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกผิวดินถึง 20 เซนติเมตร และที่ระดับความลึกจาก 20–50 เซนติเมตร เป็นความชื้นเดิม โดยที่ระดับความลึก 0–20 เซนติเมตร มีค่าความชื้นในดิน ดังนี้ T1 34.0–36.6%, T2 34.1–36.4%, T3 30.0–39.5% และ T4 30.1–40.0% (ภาพที่ 17) และที่ระดับความลึก 20–50 เซนติเมตร มีค่าความชื้นในดินดังนี้ T1 20.7–21.6%, T2 20.7–21.5%, T3 21.1–21.6% และ T4 20.4–21.7% (ภาพที่ 18)

จากการทดลองสรุปได้ว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำและการกระจายความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่าระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอในการกระจายน้ำสูง จะส่งผลให้มีการกระจายความชื้นในดินสม่ำเสมอเช่นกัน ที่การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร ไม่มีความแตกต่างกัน คือ ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0–20 เซนติเมตร มีค่าความชื้นใกล้เคียงกับค่าความชื้นชลประทาน (37.5%) และที่ระดับความลึกจาก 20–50 เซนติเมตร มีค่าความชื้นใกล้เคียงกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร (18.7%) และที่การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่า T1 และ T2 ที่ระดับความลึก 0–20 เซนติเมตร และ ทุกกรรมวิธีที่ระดับความลึก 20–50 เซนติเมตร มีการกระจายความชื้นในดินสม่ำเสมอ แต่ T3 และ T4 ที่ระดับความลึก 0–20 เซนติเมตร มีการกระจายความชื้นในดินไม่สม่ำเสมอ มีค่าความชื้นในดินโซนที่ 3 และ 4 ใกล้เคียงกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน 50% (AWHC) ซึ่ง Orta (2002) รายงานว่าความชื้นในดินบริเวณรากที่ต่ำกว่า 50% AWHC ให้ผลผลิตและพื้นที่ใบทานตะวันลดลง และการรักษาความชื้นชลประทานที่ระดับ 10–20 เซนติเมตร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำทานตะวันสูง เนื่องจากความสามารถของระบบรากทานตะวันที่จะดูดน้ำขึ้นอยู่กับความลึก และความหนาแน่นของราก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Connor and Jones (1985) พบว่าทานตะวันที่มีการให้น้ำ มีความลึกรากถึง 1.7 เมตร และมีความหนาแน่นของรากสูงสุด 1.6 เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตรดิน อยู่ในช่วง 0–20 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับทานตะวัน

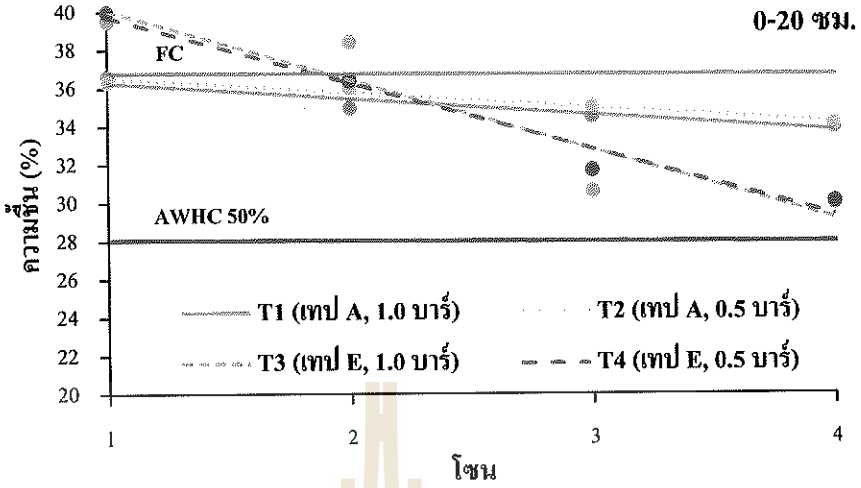
ที่ไม่ให้น้ำจะมีความหนาแน่นของรากเพียง 0.4 เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตรดิน ที่ระดับความลึกเดียวกัน



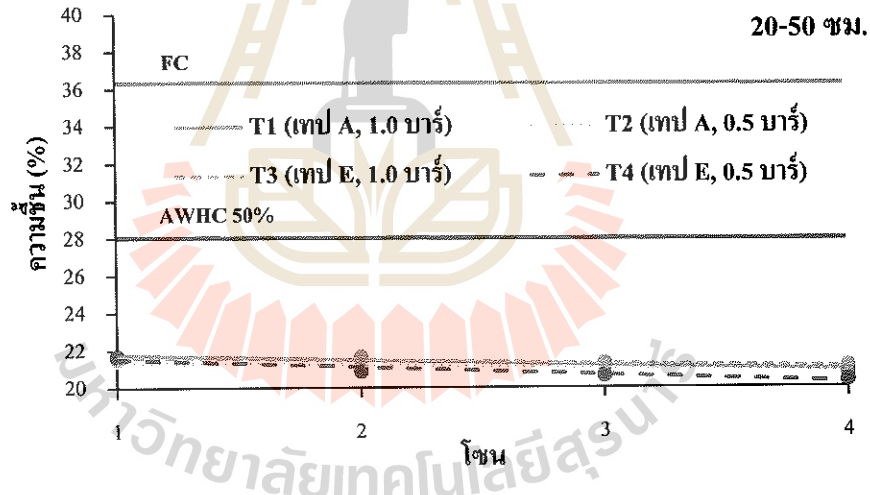
ภาพที่ 15 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 0–20 ซม. ในการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 ม.



ภาพที่ 16 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 20–50 ซม. ในการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 ม.



ภาพที่ 17 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 0–20 ซม. ในการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 ม.



ภาพที่ 18 ความชื้นในดินที่ความลึกระหว่าง 20–50 ซม. ในการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 ม.

6. ปริมาณการให้น้ำตลอดฤดูปลูก

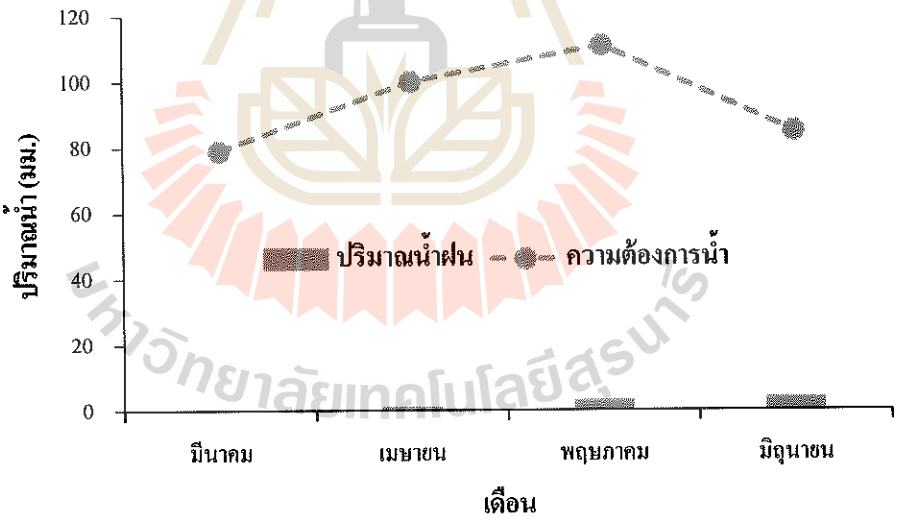
ทานตะวันเป็นพืชไร่ที่ทนแล้ง มีความต้องการน้ำตลอดฤดูปลูกเพียง 478 มิลลิเมตร (จากการคำนวณตามความต้องการน้ำของพืช) จากการทดลองทานตะวันได้รับน้ำจากการชลประทานทั้งหมด เนื่องจากช่วงที่ทำการทดลอง ระหว่างวันที่ 7 มีนาคม – 25 มิถุนายน 2559 มีปริมาณฝนเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 19) ไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยที่การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

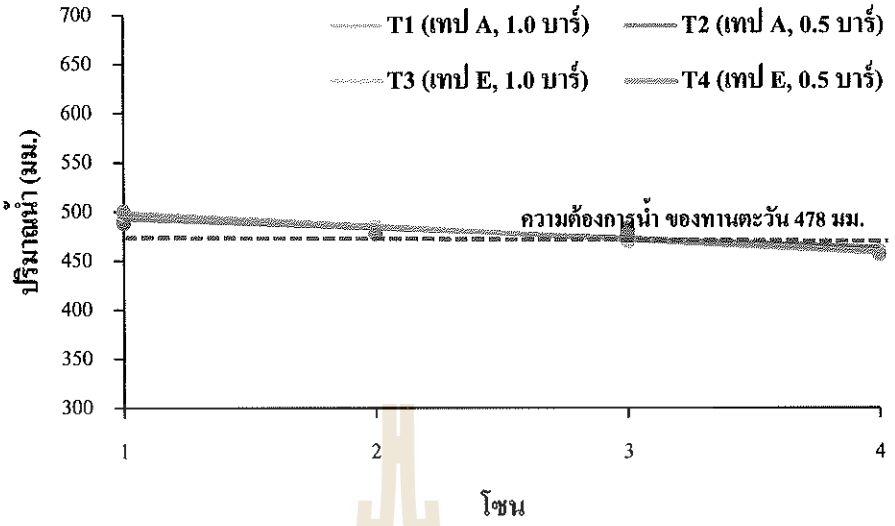
ตลอดฤดูปลูกทานตะวันได้รับน้ำปริมาณใกล้เคียงกับความต้องการ (478 มิลลิเมตร) พบว่า T1 ได้รับน้ำ 460–491 มิลลิเมตร, T2 ได้รับน้ำ 456–489 มิลลิเมตร, T3 ได้รับน้ำ 460–498 มิลลิเมตร และ T4 ได้รับน้ำ 457–501 มิลลิเมตร (ภาพที่ 20) ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยดทุกกรรมวิธีมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน (80%)

และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร ตลอดการทดลองทานตะวันได้รับน้ำปริมาณเฉลี่ยใกล้เคียงกับความต้องการในบางกรรมวิธี พบว่า T1 ได้รับน้ำ 437–537 มิลลิเมตร, T2 ได้รับน้ำ 414–543 มิลลิเมตร, T3 ได้รับน้ำ 362–645 มิลลิเมตร และ T4 ได้รับน้ำ 338–621 มิลลิเมตร (ภาพที่ 21) ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีความแตกต่างกัน ใน T3 และ T4 เนื่องจากความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (80%) จึงทำให้ต้นแปลงและท้ายแปลงได้รับปริมาณน้ำแตกต่างกันมาก

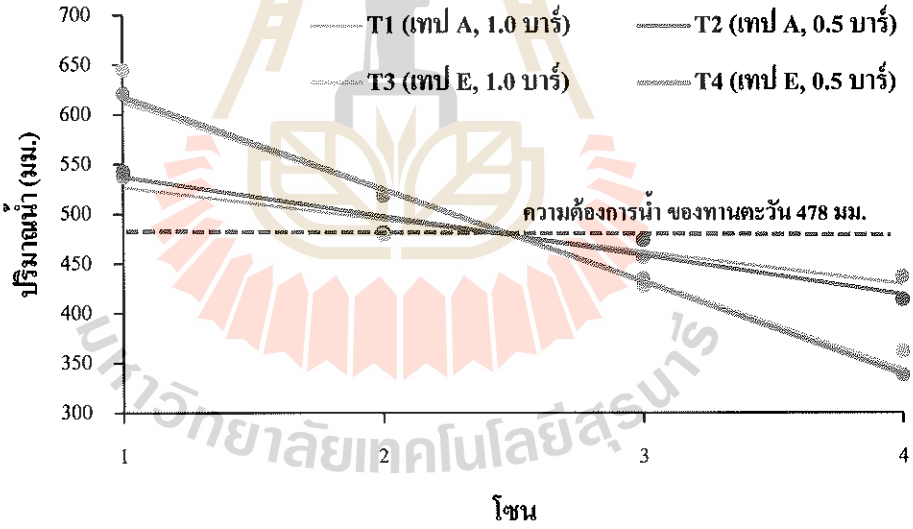
จากการทดลอง สรุปได้ว่าปริมาณน้ำแต่ละโซนที่ได้รับ มีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ โดยพบว่าระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอในการกระจายน้ำสูง จะส่งผลให้มีการปริมาณน้ำที่ให้แต่ละโซนมีปริมาณใกล้เคียงกันตามไปด้วย



ภาพที่ 19 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่างการทดลอง (มีนาคม–มิถุนายน 2559)



ภาพที่ 20 ปริมาณน้ำที่ได้รับตลอดฤดูปลูกในแต่ละโซน ที่ความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร



ภาพที่ 21 ปริมาณน้ำที่ได้รับตลอดฤดูปลูกในแต่ละโซน ที่ความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร

7. การเจริญเติบโต

7.1 ค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด และแรงดันน้ำ การทดลองความยาวทั้ง 2 ระดับ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทานตะวัน ระหว่างผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด

กับแรงดันน้ำ ที่การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยความสูง เท่ากับ 169 และ 168 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ เท่ากับ 5,684 และ 5,637 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้น เท่ากับ 124 และ 124 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ส่วนเทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสูงเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 169 และ 168 เซนติเมตร ตามลำดับ พื้นที่ใบเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5,677 และ 5,644 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 124 และ 124 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่าแรงดันน้ำที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ทานตะวันมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยความสูง เท่ากับ 124 และ 125 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ เท่ากับ 5,056 และ 4,905 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้น เท่ากับ 116 และ 105 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 11) แต่พบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ส่งผลให้ทานตะวันมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A ทำให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยความสูงกว่าเทปน้ำหยด E ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความสูง เท่ากับ 134 และ 116 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ เท่ากับ 5,342 และ 4,619 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้น เท่ากับ 119 และ 102 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

จากการทดลองสรุปได้ว่าการเจริญเติบโตของทานตะวันมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ สอดคล้องกับงานทดลอง Salmerón *et al.* (2012) พบว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ทำให้การทดลองที่ความยาว 70 เมตร มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน เนื่องจากทุกกรรมวิธีมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่า 90% ทั้งก่อนและหลังการทดลอง (ตารางที่ 8) จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีเยี่ยม (Hassan, 2008) ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำใกล้เคียงกัน (478 มิลลิเมตร) ตลอดทั้งแปลง เพียงพอต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Thakuria *et al.* (2004) รายงานว่า การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน มีพัฒนาการขึ้นจากการชลประทาน และ Aziz and Soomro (2001) พบว่าการเพิ่มความถี่ในการชลประทานส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตต่อทานตะวันเช่นกัน แต่การทดลองที่ความยาว 140 เมตร พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เทปน้ำหยด E มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน โดยก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.6% และหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.1% (ตารางที่ 8) จึงทำให้ทานตะวันได้รับน้ำปริมาณน้ำแต่ละโซนแตกต่างกัน (โซน 1 ได้รับน้ำ 633 มิลลิเมตร, โซน 2 ได้รับน้ำ 498 มิลลิเมตร, โซน 3 ได้รับน้ำ 431 มิลลิเมตร และ โซน 4 ได้รับน้ำเพียง 350 มิลิเมตร) (ภาพที่ 19) ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน และความต้องการน้ำของทานตะวันต่อการการเจริญเติบโต สอดคล้องกับรายงานของ Taha

et al. (2001) พบว่าการเพิ่มระดับการให้น้ำสามารถเพิ่มความสูงในทานตะวันด้วย และ Kadasidda *et al.* (2015) รายงานว่าทานตะวันมีความสูง 228 เซนติเมตร ที่ประสิทธิภาพระบบน้ำ 85–95% (ระบบน้ำหยด) และสูง 200 เซนติเมตร ที่ประสิทธิภาพระบบน้ำ 45–60% (ระบบไหลตามร่อง) เช่นเดียวกับ Sezen *et al.*(2011) ที่พบว่าระบบน้ำหยดส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบสูงกว่าระบบสปริงเกลอร์ เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบชลประทาน และ Nandagpal *et al.* (1996) และ Tomar *et al.* (1997) รายงานว่าการให้น้ำในปริมาณที่เพียงพอสามารถเพิ่มความสูงในทานตะวันได้ แต่ในทางกลับกันหากพืชได้รับน้ำในปริมาณไม่เพียงพอ เฉลิมพล แซมเพชร (2542) กล่าวว่า พืชที่ได้รับการขาดน้ำในปริมาณที่น้อยลงจะทำให้พืชมีการขาดน้ำ ซึ่งการขาดน้ำนี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นเป็นอย่างมาก ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นลดลง เช่น การสะสมน้ำหนักแห้งของต้น ใบ ราก และน้ำหนักแห้งรวมมีค่าลดลง

ตารางที่ 10 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 70 เมตร

กรรมวิธี	การเจริญเติบโต		
	ความสูง (ซม.)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	169±1.59	5,677±278	124±5.51
- E	168±1.22	5,644±63	124±3.20
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	169±1.09	5,684±44	124±2.56
- 0.5 บาร์	168±1.62	5,637±282	121±5.83
% CV	2.2	9.7	9.8
F-test			
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 11 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร

กรรมวิธี	การเจริญเติบโต		
	ความสูง (ซม.)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	134±2.71	5,342±91	119±1.67
- E	116±0.38	4,619±155	102±6.82
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	124±5.77	5,056±196	116±5.37
- 0.5 บาร์	125±3.78	4,905±209	105±6.17
% CV	6.2	6.7	9.7
F-test			
ปัจจัยที่ 1	*	**	*
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

7.2 ความสม่ำเสมอ

จากการวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ กับการทดลองความยาวทั้ง 2 ระดับ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตทานตะวัน ระหว่างผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดกับแรงดันน้ำ ที่การทดลองความยาวเทปน้ำหยด 70 เมตร ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำที่ต่างกัน ไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตแตกต่างกันทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A และ E ทำให้มีความสม่ำเสมอความสูงเท่ากับ 87 และ 88% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอพื้นที่ใบเท่ากับ 88 และ 88% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 86 และ 87% ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ส่วนแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอความสูงเท่ากับ 88 และ 87% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอพื้นที่ใบเท่ากับ 88 และ 87% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 87 และ 86% ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่าระดับแรงดันน้ำที่ต่างกันไม่ส่งผลให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้

ทานตะวันมีความสม่ำเสมอความสูงเท่ากับ 81 และ 81% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอพื้นที่ใบเท่ากับ 81 และ 80% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 80 และ 80% ตามลำดับ (ตารางที่ 13) แต่พบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ส่งผลให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A ทำให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตสูงกว่าเทปน้ำหยด E โดยมีค่าความสม่ำเสมอความสูงเท่ากับ 84 และ 77% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอพื้นที่ใบเท่ากับ 85 และ 76% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 86 และ 73% ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตของทานตะวัน มีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ โดยความสม่ำเสมอการกระจายน้ำที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำใกล้เคียงความต้องการ (478 มิลลิเมตร) กันทั้งแปลง ส่งผลให้ทานตะวันมีการเจริญเติบภายในแปลงไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตทานตะวันมีค่าสูง ในขณะที่กรรมวิธีที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำแตกต่างกันระหว่างต้นแปลงกับท้ายแปลง ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน และความต้องการน้ำของทานตะวันต่อการการเจริญเติบโต ทำให้ทานตะวันที่ได้รับน้ำในปริมาณที่น้อยลงจะทำให้พืชมีการขาดน้ำ ซึ่งการขาดน้ำนี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นเป็นอย่างมาก ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นลดลง เช่น การสะสมน้ำหนักแห้งของต้น ใบ ราก และน้ำหนักแห้งรวมมีค่าลดลง (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542) จึงทำให้ความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตภายในแปลงมีค่าต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 12 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต		
	ความสูง (%)	พื้นที่ใบ (%)	น้ำหนักแห้งต้น (%)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	87±0.61	88±0.46	86±0.79
- E	88±0.49	88±0.35	87±0.85
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	88±0.54	88±0.35	87±0.69
- 0.5 บาร์	87±0.53	87±0.39	86±0.86
% CV	2.2	9.7	9.8
F-test			
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 13 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอการกระจายการเจริญเติบโต		
	ความสูง (%)	พื้นที่ใบ (%)	น้ำหนักแห้งต้น (%)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	84±1.44	85±1.33	86±0.79
- E	77±1.42	76±0.88	73±1.79
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	81±1.89	81±2.21	80±3.23
- 0.5 บาร์	81±1.88	80±2.35	80±3.05
% CV	3.6	4.1	4.7
F-test			
ปัจจัยที่ 1	**	**	**
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

8. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

8.1 ค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน พบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ การทดลองความยาว 70 เมตร ที่ต่างกันไม่ส่งผลให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยขนาดดอกเท่ากับ 17 และ 16 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดเท่ากับ 6.7 และ 6.3 กรัม/100เมล็ด ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 286 และ 282 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 14) และพบว่าเทปน้ำหยด A และ E ทำให้มีค่าเฉลี่ยขนาดดอกเท่ากับ 16 และ 17 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดเท่ากับ 6.5 และ 6.6 กรัม/100เมล็ด ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 283 และ 285 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่าแรงดันน้ำที่ต่างกันไม่ส่งผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวันแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดดอกเท่ากับ 14 และ 14 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดเท่ากับ 6.4 และ 6.2 กรัม/100เมล็ด ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 274 และ 270 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 15) และผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ไม่ส่งผลให้ขนาดเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A และ E ทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดเท่ากับ 6.4 และ 6.2 กรัม/100เมล็ด แต่ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ส่งผลให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยขนาดดอกและผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A ทำให้ทานตะวันมีค่าเฉลี่ยขนาดดอกและผลผลิตสูงกว่าเทปน้ำหยด E โดยค่าเฉลี่ยขนาดดอกเท่ากับ 15 และ 13 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 285 และ 260 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวันมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ สอดคล้องกับงานทดลอง Stern and Bresler (1983) พบว่าในดินชนิดเดียวกันที่ปลูกข้าวโพดด้วยระบบน้ำที่มีการกระจายน้ำสม่ำเสมอ ให้ผลผลิตสูงกว่าระบบน้ำที่กระจายน้ำไม่สม่ำเสมอ และ Salmerón *et al.* (2012) พบว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต จึงทำให้การทดลองที่ความยาว 70 เมตร มีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไม่แตกต่างกัน เนื่องจากทุกกรรมวิธีมีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่า 90% ทั้งก่อนและหลังการทดลอง (ตารางที่ 8) จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีเยี่ยม (Hassan, 2008) ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำใกล้เคียงความต้องการ (478 มิลลิเมตร) ตลอดทั้งแปลง เพียงพอต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Thakuria *et al.* (2004) รายงานว่าการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน มีพัฒนาการขึ้นจากการชลประทาน และ Aziz and Soomro (2001) พบว่าการเพิ่มความถี่ในการชลประทานส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน แต่การทดลองที่ความยาว 140 เมตร พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เทปน้ำหยด E มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน โดยก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81% และหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71% (ตารางที่ 8) จึงทำให้ทานตะวันได้รับน้ำปริมาณน้ำแต่ละโซนแตกต่างกัน (โซน 1 ได้รับน้ำ 633 มิลลิเมตร, โซน 2 ได้รับน้ำ 498 มิลลิเมตร, โซน 3 ได้รับน้ำ 431 มิลลิเมตร และ โซน 4 ได้รับน้ำ เพียง 350 มิลิเมตร) (ภาพที่ 19) ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน และความต้องการน้ำของทานตะวันต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ซึ่งสอดคล้องกับ Alahdadi *et al.* (2011) และ Kassab *et al.* (2012) ที่ได้ศึกษาการให้น้ำแก่ทานตะวัน พบว่าปริมาณน้ำที่ทานตะวันได้รับลดลง ทำให้ขนาดดอก น้ำหนักดอก และผลผลิตลดลงตามไปด้วย แต่ไม่ส่งผลทำให้ขนาดเมล็ดแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมของพันธ์ทานตะวันมีผลมากกว่าสิ่งแวดล้อม (Reddy and Reddi, 2012)

ตารางที่ 14 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร

กรรมวิธี	องค์ประกอบผลผลิต		
	ขนาดดอก (ซม.)	ขนาดเมล็ด (ก/100เมล็ด)	ผลผลิต (กก./ไร่)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	16±0.32	6.5±0.19	283±13.2
- E	17±0.34	6.6±0.39	285±10.8
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	17±0.24	6.7±0.17	286±6.24
- 0.5 บาร์	16±0.35	6.3±0.38	282±15.9
% CV	4.2	12.3	12.7
F-test			
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 15 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร

กรรมวิธี	องค์ประกอบผลผลิต		
	ขนาดดอก (ซม.)	ขนาดเมล็ด (ก/100เมล็ด)	ผลผลิต (กก./ไร่)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	15±0.22	6.4±0.24	285±5.96
- E	13±0.25	6.2±0.14	260±4.97
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	14±0.41	6.4±0.24	274±6.63
- 0.5 บาร์	14±0.63	6.2±0.14	270±8.71
% CV	3.6	8.0	5.3
F-test			
ปัจจัยที่ 1	**	ns	*
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

8.2 ความสม่ำเสมอ

จากการวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ต่อความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน พบว่าผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ซึ่งการทดลองความยาว 70 เมตร ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำที่ต่างกัน ไม่ส่งผลให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอขนาดดอกเท่ากับ 88 และ 87% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดเท่ากับ 88 และ 87% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอผลผลิตเท่ากับ 87 และ 86% ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ส่วนเทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอขนาดดอกเท่ากับ 87 และ 88% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดเท่ากับ 88 และ 88% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอผลผลิตเท่ากับ 87 และ 86% ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่าระดับแรงดันน้ำที่ต่างกัน ไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวันแตกต่างกันทางสถิติ โดยแรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ ทำให้ความสม่ำเสมอขนาดดอกเท่ากับ 82 และ 82% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดเท่ากับ 86 และ 85% ตามลำดับ ความสม่ำเสมอผลผลิตเท่ากับ 81 และ 80% ตามลำดับ (ตารางที่ 17) และผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ไม่ส่งผลให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติโดยเทปน้ำหยด A และ E ทำให้ความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดเท่ากับ 86.5 และ 84.6% แต่ผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสม่ำเสมอขนาดดอก และผลผลิตทานตะวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเทปน้ำหยด A ทำให้ทานตะวันมีความสม่ำเสมอขนาดดอกและผลผลิตสูงกว่าเทปน้ำหยด E โดยมีความสม่ำเสมอขนาดดอกเท่ากับ 87 และ 76% ตามลำดับ และความสม่ำเสมอผลผลิตมีค่าเท่ากับ 85 และ 75% ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน มีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ โดยความสม่ำเสมอการกระจายน้ำที่สูงกว่ามาตรฐาน ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำใกล้เคียงความต้องการการ (478 มิลลิเมตร) กันทั้งแปลง ส่งผลให้ทานตะวันมีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตภายในแปลงไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตทานตะวันมีค่าสูง แต่กรรมวิธีที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้ทานตะวันได้รับปริมาณน้ำแตกต่างกันระหว่างต้นแปลงกับท้ายแปลง ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินและความต้องการน้ำของทานตะวันต่อการการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alahdadi *et al.* (2011) และ Kassab *et al.* (2012) ที่ได้ศึกษาการให้น้ำแก่ทานตะวัน พบว่าปริมาณน้ำที่ทานตะวันได้รับลดลง ทำให้ขนาดดอก, น้ำหนักดอก และผลผลิตลดลงตามไปด้วย แต่ไม่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอขนาดเมล็ดแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมของพันธ์ทานตะวันมีผลมากกว่าสิ่งแวดล้อม (Reddy and Reddi, 2012)

ตารางที่ 16 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อความสม่ำเสมอผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 70 เมตร

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอองค์ประกอบผลผลิต		
	ขนาดดอก (%)	ขนาดเมล็ด (%)	ผลผลิต (%)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	87±1.30	88±0.95	86±0.74
- E	88±1.15	88±1.15	87±1.27
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	88±0.89	88±0.78	87±1.14
- 0.5 บาร์	87±1.43	87±1.27	86±1.01
% CV	2.2	9.7	9.8
F-test			
ปัจจัยที่ 1	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 17 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดและแรงดันน้ำต่อความสม่ำเสมอผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของทานตะวัน ที่การติดตั้งเทปน้ำหยด 140 เมตร

กรรมวิธี	ความสม่ำเสมอองค์ประกอบผลผลิต		
	ขนาดดอก (%)	ขนาดเมล็ด (%)	ผลผลิต (%)
ปัจจัยที่ 1 (เทปน้ำหยด)			
- A	87±0.69	86±0.88	85±1.36
- E	76±0.87	84±0.66	75±1.34
ปัจจัยที่ 2 (แรงดันน้ำ)			
- 1.0 บาร์	82±2.62	86±079	81±2.58
- 0.5 บาร์	82±2.51	85±0.89	80±2.60
% CV	2.6	2.2	4.5
F-test			
ปัจจัยที่ 1	**	ns	**
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1 × ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns

[1]ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

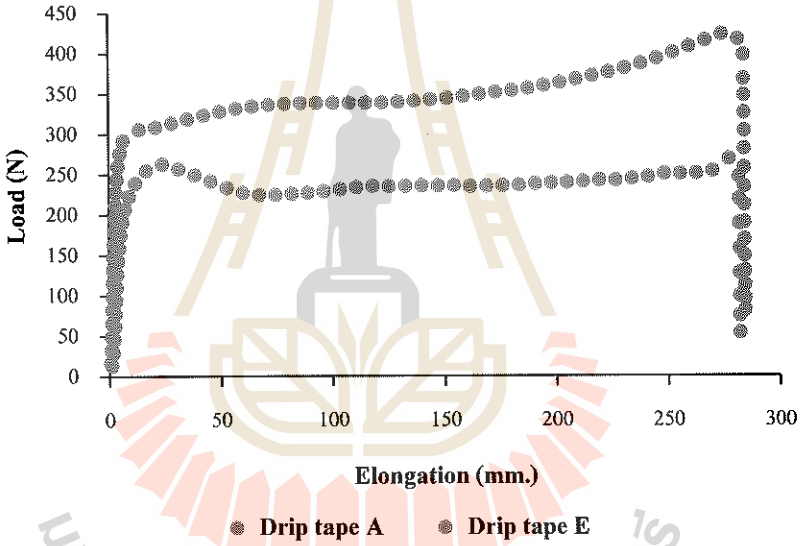
[2]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E

9. การทดสอบความต้านแรงดึง

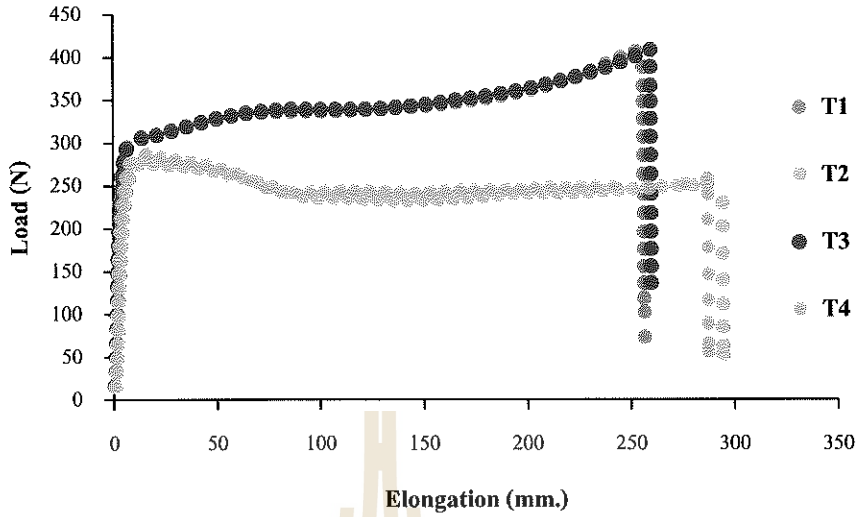
จากการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด มาทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron model 5566) ก่อนและหลังการทดลอง พบว่ามีสมบัติแบบวัสดุพลาสติกชนิดยืดหยุ่น (flexible plastic) คือ ในช่วงแรกจะยืดตัวได้ค่อนข้างน้อยเมื่อเพิ่มความเค้นจนถึงขณะหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นยืดตัวอย่างมากเมื่อเทียบกับความเค้น และขาดในที่สุด โดยผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยดทั้ง 2 ยี่ห้อจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุบางตัว แข็ง และเหนียว เนื่องจากมีช่วงยืดตัวยาว โดยเทปน้ำหยด A และ E ก่อนการทดลอง มีคุณสมบัติค่าความเค้นสูงสุด 42 และ 26 MPa ตามลำดับ และค่าการยืดตัว 284 และ 282 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 22) ซึ่งคุณสมบัติข้างต้นขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้ ในขณะที่ความยาว 70 เมตรหลังการทดลอง พบว่า T1, T2, T3 และ T4 มีคุณสมบัติค่าความเค้นสูงสุด 40, 25, 40 และ 25 MPa ตามลำดับ และค่าการยืดตัว 256, 294, 259 และ 287 มิลลิเมตร (ภาพที่ 23) ตามลำดับ

และการทดลองความยาวเทปน้ำหยด 140 เมตร พบว่า T1, T2, T3 และ T4 มีคุณสมบัติความเค้น39, 25, 40 และ 25 MPa ตามลำดับ และค่าการยืดตัว 245, 309, 246 และ 310 มิลลิเมตร (ภาพที่ 24) ตามลำดับ

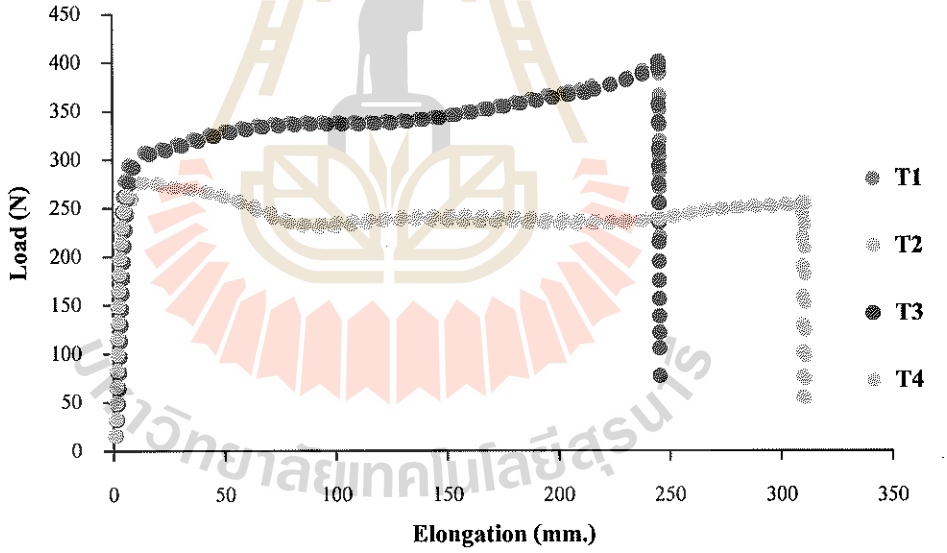
จากผลการทดลองสรุปได้ว่าค่าความเค้นสูงสุดและค่าการยืดตัว ก่อนและหลังการทดลองมีการเปลี่ยนแปลง และแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเทปน้ำหยดมีอายุการใช้งานน้อย (4 เดือน) ใช้แรงดันน้ำต่ำ (1.0 และ 0.5 บาร์) จึงไม่ทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง (Xu, 2004) และเทปน้ำหยดทั้ง 2 ยี่ห้อ ในกระบวนการผลิต มีส่วนผสมป้องกันรังสี UV จึงทำให้การเสื่อมสภาพช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2002) พบว่า หลังจากพอลีเมอร์ได้รับรังสี UV จากแสงแดด 300 ชั่วโมง ผลการทดสอบความต้านแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว ของผลิตภัณฑ์ A และ E ก่อนการทดลอง



ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวหลังการทดลอง ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 70 เมตร



ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวหลังการทดลอง ที่การติดตั้งเทปน้ำหยดยาว 140 เมตร

10. ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน

จากการนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบผลของความสัมพันธ์ระหว่างกรรมวิธีต่างๆ กับความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำ การเจริญเติบโต และผลผลิต (ตารางที่ 18) จะเห็นได้ว่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ลดลงเมื่ออายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอการเจริญเติบโต (ความสูง พื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง) และความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (ขนาดดอก ผลผลิต) ของทานตะวันและความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต (ความสูง พื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง) เช่นเดียวกับความสม่ำเสมอผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (ขนาดดอก ผลผลิต) ของทานตะวัน โดยกรรมวิธีที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน จะส่งผลให้ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยความสูงมีค่าระหว่าง 84–88% และ 133–169 เซนติเมตร ความสม่ำเสมอ และค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบมีค่าระหว่าง 85–88% และ 5,292–5,737 ตารางเซนติเมตร ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยการสะสมน้ำหนักแห้งมีค่าระหว่าง 86–87% และ 118–125 กรัม/ต้น ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยขนาดดอกมีค่าระหว่าง 87–88% และ 15–17 เซนติเมตร และความสม่ำเสมอ และค่าเฉลี่ยผลผลิตมีค่าระหว่าง 85–87% และ 281–285 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่ 18) ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน โดยมีค่าดังนี้ ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยความสูงมีค่าระหว่าง 77–78% และ 114–117 เซนติเมตร ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบมีค่าระหว่าง 75–77% และ 4,518–4,719 ตารางเซนติเมตร ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยการสะสมน้ำหนักแห้งมีค่าระหว่าง 73–74% และ 93–111 กรัม/ต้น ความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยขนาดดอกมีค่าระหว่าง 76–77% และ 13–14 เซนติเมตร และความสม่ำเสมอและค่าเฉลี่ยผลผลิตมีค่าระหว่าง 75–76% และ 256–264 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่ 18)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 18 ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำของระบบน้ำหยด ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน

กรรมวิธี	EU น้ำ (%)		การเจริญเติบโต						ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต					
			ความสูง		พื้นที่ใบ		น้ำหนักแห้ง		ขนาดดอก		ขนาดเมล็ด		ผลผลิต	
	ก่อน	หลัง	DUI	เฉลี่ย	DUI	เฉลี่ย	DUI	เฉลี่ย	DUI	เฉลี่ย	DUI	เฉลี่ย	DUI	เฉลี่ย
70 ม.														
T1	96	96	88	169	88	5,738	87	124	88	17	88	6.6	87	284
T2	95	95	87	168	87	5,616	86	125	87	16	87	6.4	86	281
T3	96	95	88	169	88	5,630	87	125	88	17	88	6.8	87	287
T4	96	95	88	167	87	5,658	86	122	88	16	87	6.3	86	282
140 ม.														
T1	93	90	85	134	85	5,393	86	121	88	15	87	6.6	85	284
T2	93	89	84	133	85	5,292	86	118	87	15	85	6.1	85	285
T3	83	73	74	114	77	4,719	74	111	76	14	84	6.2	76	264
T4	80	69	77	117	75	4,518	73	93	77	13	84	6.2	75	256

หน่วย : DUI = %, ความสูง = เซนติเมตร, พื้นที่ใบ = ตารางเซนติเมตร, น้ำหนักแห้ง = กรัม/ต้น, ขนาดดอก = เซนติเมตร, ขนาดเล็ด = กรัม/100 เมล็ด, ผลผลิต = กิโลกรัม/ไร่

บทที่ 5
บทสรุป

จากการทดลองทั้งสองการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

5.1 ผลของผลิตภัณฑ์เทปน้ำหยด แรงดันน้ำ และความยาวเทปน้ำหยด ต่อความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

– ผลิตภัณฑ์ A มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงที่สุด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ E มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำที่สุดที่ความยาวเท่ากัน

– เทปน้ำหยดยาว 100 เมตร มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่าระดับมาตรฐาน (80%) ในขณะที่ความยาว 150 เมตร แรงดันน้ำ 0.5 บาร์ มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน และแรงดันน้ำ 1.0 และ 1.5 บาร์ มีเพียงบางยี่ห้อที่สามารถให้ความสม่ำเสมอในการกระจายน้ำสูงกว่าระดับมาตรฐาน

– แรงดันน้ำ 1.5 บาร์ มีค่าความสม่ำเสมอสูงกว่ามาตรฐาน แต่แรงดันน้ำ 1.0 และ 0.5 บาร์ มีค่าความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่าที่ความยาว 150 เมตร ในบางยี่ห้อ

5.2 ผลของความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทานตะวัน

– ความสม่ำเสมอการกระจายน้ำมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอ และค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ขนาดดอกและผลผลิตทานตะวัน

– ระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำสูงกว่ามาตรฐาน (80%) ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของทานตะวันมีความสม่ำเสมอภายในแปลง ทำให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตและผลผลิตสูง

– ระบบน้ำหยดที่มีความสม่ำเสมอการกระจายน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน ส่งผลให้ทานตะวันไม่มีความสม่ำเสมอการเจริญเติบโตและผลผลิตภายในแปลง ทำให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำ

– การวางระบบน้ำหยด ควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอการกระจายน้ำเป็นลำดับแรก โดยออกแบบและเลือกอุปกรณ์เพื่อให้มีค่าความสม่ำเสมอของการกระจายน้ำสูงกว่ามาตรฐาน

รายการอ้างอิง

เฉลิมพล แซมเพชร. (2542). **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 276 หน้า.

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งสกุล, นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. (2545). **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช**. วารสารเคหการเกษตร. 4708.

ทองดี บ้านดอน. (2540). **เทคโนโลยีระบบน้ำ**. วารสารเคหการเกษตร. 21(10): 157–165.

ธีระพล ตั้งสมบุญ. (2549). **การใช้น้ำของพืช**. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน. กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน. สำนักอุทกวิทยา และบริหารน้ำ.

นาวี จิระชีวี, สราวุฒิ ปานทน, สันธาร นาควัฒนานุกูล, วุฒิพล จันทร์สระคู, สุรชัย สวยลึก และกาญจนา กิระศักดิ์. (2556). การทดสอบและประเมินผลการให้น้ำหยดสำหรับไร่อ้อยนอกเขตชลประทานในภาคกลาง. **การประชุมวิชาการของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14.**

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. (2551). ปลูกอ้อยอินทรีย์ระบบน้ำหยดเทคนิคการเพิ่มผลผลิตของ บุญสืบ กันศิริ จ.สุพรรณบุรี. **เทคโนโลยีชาวบ้าน.** 20 (435): หน้า 48.

ไพฑูรย์ ฟักเขียว. (2557). การศึกษาระบบการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยดุสิต.** 7(3): 93–102.

ไพบูลย์ วิวัตน์. (2551). **การทดสอบแรงดึง.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://tonanasia.com/wordpress/techniques/technical-library/-tension-test/

มนตรี ค้ำชู. (2538). **หลักการชลประทานแบบหยด**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2551). **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2551**. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. เอกสารสถิติเลขที่ 414.

สำนักงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล. (2551). นิรัตน์ ดีดศรี ปราชญ์ชาวไร่อ้อยแห่งนครสวรรค์. **วารสารอุตสาหกรรมน้ำตาลและอ้อย.** 4 (3): หน้า 4.

A. Halim Orta, Tolga Erdem and Yesim Erdem. (2002). Determination of Water Stress Index in Sunflower. **Helai Journal**. 25 (37): 27-38.

Alahdadi, I., Oraki, H and Khajani, F.P. (2011). Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. **African Journal of Biotechnology.** 10 (34): 6504–6509.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **FAO**. Rome.

Amin, A., Ebabi, F., and Eltomy, E. (2006). Fertigation Methods Effects on Water and Fertilizer Uniformity in Drip Irrigation. **Journal of Agricultural Engineering.** 13: 122–136.

ASAE Standards. (1988). **Field Evaluation of Micro Irrigation Systems.** 358 (45).

ASABE Standards. (2003). **Design and Installation of Micro Irrigation Systems.** 405.

Aziz, A.K and Soomro, A.G. (2001). Effect of water stress on the growth, yield and oil content of sunflower. **Pakisthan Journal of Agricultural Sciences.** 38: 1–2.

Bar-Yosef, B. and Sagiv, B. (1982). Response of tomatoes to N and water applied via a trickle irrigation system. I. Nitrogen. **Agronomy Journal**. 74: 633–639.

Black, C.A. (1965). Method of soil analysis In: the series **Agronomy American Society of Agronomy Inc**, Medison, Wisconsin, USA.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T. (1945). Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci**. 59: 39–45.

Boyhan, G., Granberry, Darbie and Kelley, T. (2001). Onion production guide, Bulletin 1198. **College of Agricultural and Environmental Sciences**, University of Georgia, p. 56.

Chinese Standard. (1995). **Chinese National Standard SL 103–1995: Standard for Micro Irrigation Systems**. Ministry of Water Resources, Beijing.

Connor, D.j., and T.R. Jones. (1985). Response of sunflower to strategies of irrigation. Effect of drip and surface furrow irrigation on growth, yield and water use efficiency of sunflower hybrid DRSH-1. **Progressive Research**.10 (Sp-VII), 3872–3875.

E S. Nakayama and D. A. Bucks. (1991). **Water quality in drip/trickle irrigation: A review**. Irrigation science. 12: 187–192.

H. Perea, M.ASCE, J. Enciso-Medina, V. P. Singh, F.ASCE, D. P. Dutta and B. J. Lesikar. (2013). Statistical Analysis of Non-Pressure-Compensating and Pressure-Compensating Drip Emitters. **Irrigation and Drainage Engineering**. 139: 986–994. Doi: 10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000644

Hassan, F. A. (2008). **Evaluation of Emission Uniformity for Efficient Micro Irrigation.** Retrieved from http://www.trickle-l.com/new/archives/eeu.html.

Huapeng Zhang, Meiwu Shi, Jianchun Zhang and Shanyuan Wang. (2003). Effects of Sunshine UV Irradiation on the Tensile Properties and Structure of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Fiber. **Journal of Applied Polymer Science**. 89: 2757–2763.

Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. **CRC Press LLC**, Boca Raton, Florida.

Kadasiddappa, M.M., Praveen Rao, V., Yella Reddy, K., Ramulu, V., Uma Devi, M., Naredar Reddy, S and Mallappa B.V. (2015). Morphological and physiological responses to water stress. **Field Crop Research**. 12: 91–103.

Kassab, O.M., Abo Ellil, A.A and Abo El-Kheir, M.S.A. (2012). Water use efficiency and productivity of two sunflower cultivars as influenced by three rates of drip irrigation water. **Journal of Applied Sciences Research.** 8: 3524–3529.

Letey, J., Vaux, H.J. and Feinerman, E. (1984). Optimum crop water application as affected uniformity of water infiltration. **Agronomy Journal**. 76: 435–441.

Li, J. (1998). Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. **Agricultural Water Management**. 38: 135–146.

Li, J., Meng, Y., and Li, B. 2007. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters. **Irrigation Science**. 25(2): 117–125.

Locascio, S.J. (2005). Management of irrigation for vegetables: past, present, and future. **Horticulture Technology.** 15: 477–481

Merriam, J.L. and Keller, J. (1978). **Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management.** Utah State University. Logan, Utah.

Mohammed A., Almajeed A and Alabas. (2013). Evaluation the Hydraulic Performance of Drip Irrigation System with Multi Cases. **Global Journals Inc**. 13 (2): 12–18.

Mohamed tayel, David lightfoot and Hani Mansour. (2012). Effects of drip irrigation circuit design and lateral line lengths: I—On pressure and friction loss. **Agricultural Sciences**. 3 (3): 392–399.

Nandagopal, A., Subramanian, K.S., Gopalan, A and Balasubramanian, A. (1996). Influence of irrigation at critical stages on yield and quality of sunflower. **Madras Agricultural**

Journal. 85(3): 152–154.

Netafim. (2011). **Drip Irrigation Features.** Retrieved from http://sugarcanecrop.com/drip_irrigation

Or, D. and Coelho, F.E. (1996). Soil water dynamics under drip irrigation: transient flow and uptake models. **Trans. ASAE** 39: 2017–2025.

Reddy, Y.T and Reddi, S.G.H. (2012). **Efficient Use of Irrigation Water**. 2nd edition, Kalyani publishers, New Delhi.

Salmerón, M., Urrego, Y., Isla, R. and Cavero, J. (2012). Effect of Non-Uniform Sprinkler Irrigation and Plant Density on Simulated Maize Yield. **Agricultural Water Management**. 113: 1–9.

Shinde, S.H., Pawar, A.D and Pal, P.S. (1990). Growth, Yield and quality parameters of summer sunflower. **Journal of Maharashtra Agricultural Universities**. 38 (2): 98–100.

Smajstria, A.G., Boman, B.J., Haman, D.Z., Pitts, D.J. and Zazueta, F.S. (2002). Field evaluation of microirrigation water application uniformity. **BUL265.** Retrieved from https://www.google.co.th/search?q=Smajstrla,+A.G.,+Boman,+B.J.,+Haman,+D.Z.,+Pitts,+D.J.+and+Zazueta,+F.S.+(2002).+Field%09evaluation+of+microirrigation+water+application+uniformity,+Document+No.%09BUL265,+Institute+of+Food+and+Agricultural+Sciences,+University+of+Florida.&sa=X&ved=0ahUKEwixusG_29TZAhUFQI8KHS_HDR4Q7xYIIygA&biw=1366&bih=662

Solomon, K.H. (1984). Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. **Irrigation Science.** 5 (3): 161–172.

Stern, J. and Bresler, E. (1983). Nonuniform sprinkler irrigation and crop yield. **Irrigation Science.** 4: 17–29.

Taha, M., Mishra, B.K and Acharya, N. (2001). Effect of irrigation and nitrogen on yield and yield attributing characters of sunflower. **Annals of Agricultural Research.** 22: 182–186.

Tao Xu. (2004). **Matrix free fiber reinforced polymeric composites via high–temperature high–pressure sintering** (Unpublished doctor of philosophy dissertation). University of Massachusetts Amherst, Amherst, USA.

Thakuria, R.K., Harbir, S and Tej, S. (2004). Effect of irrigation and anti-transparent on growth and yield of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Annals of Agricultural Research.** 25: 433–438.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Tomar, H.P.S., Singh, H.P and Dadhwal, K.S. (1997). Effect of irrigation, nitrogen and phosphorus on growth and yield of spring sunflower. **Indian Journal of Agronomy.** 42 (2): 169–172.

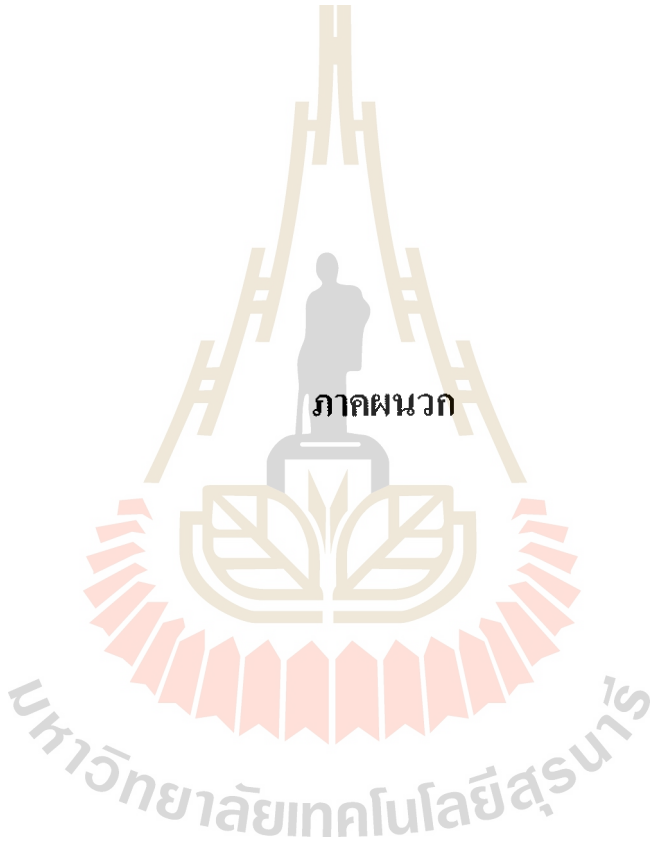
Troy R. (2003). **Irrigation Efficiency and Uniformity** (Unpublished doctor dissertation). university of florida, USA.

V. B. Ella, M.R. Reyes and R. Yoder. (2008). Effect of Hydraulic Head and Slope on Water Distribution Uniformity of a Low Uniformity Low-Cost Drip Irrigation System. **ASABE Annual International Meeting- Providence, Rhode Island** 20th.

Warrick, A.W. and Gardner, W.R. (1983). Crop yield as affected by spatial variation of soil and irrigation. **Water Resources Research**. 19: 181–186.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5566)

ภาพผนวกที่ 2 เทปน้ำหยดหลังการทดสอบแรงดึง

ภาพผนวกที่ 3 การทดสอบความสม่ำเสมอการกระจายน้ำ

ภาพผนวกที่ 4 การติดตั้งระบบน้ำหยด

ภาพผนวกที่ 5 การให้ปุ๋ยในระบบน้ำหยดด้วยปั๊มไฟฟ้า

ภาพผนวกที่ 6 ทานตะวันอายุ 15 วัน

ภาพผนวกที่ 7 ทานตะวันอายุ 45 วัน

ภาพผนวกที่ 8 ทานตะวันอายุ 60 วัน

ประวัติผู้เขียน

นายภุชพงษ์ พรามจร เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2535 ที่บ้านใหม่นาดี ตำบลบ้านขาม อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1–3 ที่โรงเรียนบ้านใหม่นาดี ชั้นประถมปีที่ 4–6 ที่โรงเรียนชุมชนชวนวิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1–6 ที่โรงเรียนบำเหน็จณรงค์วิทยาคม จังหวัดชัยภูมิ และเมื่อปี พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ปี พ.ศ. 2556 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนเรียนดีจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระดับบัณฑิตศึกษา ระหว่างที่ศึกษาได้เข้าร่วมประชุมเสนอผลงาน ภาคโพสเตอร์ เรื่อง Emission Uniformity ในการประชุมวิชาการ International Forum–Agriculture, Biology, and Life Science (IFABL 2017) ระหว่างวันที่ 27–29 มิถุนายน 2560 ณ Kyoto International Community House เมืองเคียวโต ประเทศญี่ปุ่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี