

Abstract

Sugarcane production need the high volume of water for producing sugarcane yield. Recently, effect of climate change and increasing of planting area cause to increasing of water used for sugarcane production. So, water management needs to be optimized. This study had analyzed the water footprint of sugarcane to assess the water footprint of sugarcane production under rainfed condition. The experiment was conducted by observed yield and field management from farmer field in 13 provinces for 119 samples. Field management, weather data and yield of sugarcane were collected. The results showed that the water footprint had many different values ranged from 25.9 - 455.6 m³/t. The main cause was from the various of sugarcane yield. Therefore, the good management will result in higher yield and more water use efficiency.

6. คำนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศประมาณ 10 ล้านไร่ กระจายอยู่ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก (นิรนาม, 2560) และมีแนวโน้มมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นจากนโยบายของรัฐบาลที่จะปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่ไม่เหมาะสมมาปลูกอ้อยทดแทน พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดปลูกอยู่บนชุดดินที่มากกว่า 200 ชุดดิน และมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 800-2,400 มิลลิเมตรต่อปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่จำกัดที่ไม่สามารถควบคุมได้มีหลากหลาย ส่งผลให้การจัดการมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิสังคมและข้อจำกัดทางทุนทรัพย์ โดยเฉพาะการจัดการเรื่องน้ำ วิธีการที่ช่วยในการคำนวณการใช้น้ำของอ้อยวิธีหนึ่งคือ water footprint (WF) ซึ่งมีการคำนวณผลรวมของการใช้น้ำจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ แหล่งน้ำจากธรรมชาติ เช่นน้ำฝนและความชื้นในดิน (green water) แหล่งน้ำชลประทาน (blue water) และน้ำที่ใช้บำบัดของเสียจากการใช้ปุ๋ยเคมี (grey water) จากรายงานของ Gerbens-Leenes และ Hoekstra (2012) พบว่าค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำสำหรับผลิตอ้อยเท่ากับ 209 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ขณะที่ Ratchayuda และ Sate (2012) พบว่าค่า water footprint ของอ้อยที่ปลูกในภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 226 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และการศึกษาของเจษฎา (2553) ที่ศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าอ้อยต้องการน้ำประมาณ 120 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน หรือคิดเป็นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 12,000 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อฤดูปลูก (คิดที่ผลผลิต 100 ล้านตันต่อปี) ในขณะที่ประเทศไทยมีแนวโน้มของการผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโรงงานน้ำตาล แต่การศึกษาการใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุม หรือวิเคราะห์ต่างสถานที่และต่างเวลากัน จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงควรมีการศึกษาหาปริมาณน้ำสำหรับการผลิตอ้อยของทั้งประเทศ เพื่อการวางแผนการผลิตรวมถึงการจัดการน้ำในแต่ละแหล่งปลูกเพื่อให้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในการผลิตอ้อยมากขึ้น การศึกษานี้ได้ทำการประเมินค่าอเวอเจอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยในประเทศไทยภายใต้

สภาพการผลิตแบบอาศัยน้ำฝน ระหว่างปี 2559-2561 เพื่อหาค่าอเวอเทอ์ฟุตพริ้นท์ของอ้อย สำหรับนำไปใช้ในการวางแผนจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการผลิตอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อย
- 2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

- วิธีการ

การเก็บข้อมูลในแปลงทดลอง

เก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยของแปลงทดลองที่ดำเนินการในไร่เกษตรกร 13 จังหวัด เพื่อหาอเวอเทอ์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อย ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ กาญจนบุรี ขอนแก่น ปราจีนบุรี มุกดาหาร เลย สุโขทัย กาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ อุทัยธานี สุพรรณบุรี นครราชสีมา และมหาสารคาม โดยการสุ่มเก็บผลผลิตพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 แถว แถวยาว 5 เมตร จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลวันปลูก วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศที่อยู่ในแปลงทดลอง หรือสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินค่าอเวอเทอ์ฟุตพริ้นท์ (WF) ประเมินจากน้ำ 3 ประเภทคือ 1) Green water (WF_{Green}) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชเอาไปใช้ 2) Blue water (WF_{Blue}) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WF_{Grey}) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐาน ค่าอเวอเทอ์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ

$$WF = WF_{Green} + WF_{Blue} + WF_{Grey}$$

เมื่อ WF = water footprint

WF_{Green} = Green water footprint

WF_{Blue} = Blue water footprint

WF_{Grey} = Grey water footprint

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

$WF_{Green} = CWR$

เมื่อ $P_{eff} > CWR$ และ

$WF_{Green} = P_{eff}$

เมื่อ $P_{eff} < CWR$

และ CWR คำนวณได้จากสมการ

$$CWR = \sum ET_c$$

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

เมื่อ CWR = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

ET_o = ปริมาณน้ำต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคติ นับตั้งแต่วันที่ปลูกถึงวันที่เก็บเกี่ยว

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET_o = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

P_{eff} = ปริมาณฝนใช้การ = $0.80 \times$ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้

$WF_{Blue} = 0$ เมื่อ $P_{eff} > CWR$

$WF_{Blue} = CWR - P_{eff}$ เมื่อ $P_{eff} < CWR$

ส่วนค่า Gray water คำนวณได้จากสมการ

$$WF_{Grey} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y}$$

เมื่อ AR = อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

α = สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย

C_{max} = ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กก./ลบ.ม.)

C_{nat} = ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติที่พิจารณา (กก./ลบ.ม.)

Y = ผลผลิตต่อพื้นที่ (กก./ไร่)

ในการทดลองนี้ใช้ค่า $\alpha = 0.1$, $C_{max} = 5$ กก./ลบ.ม., $C_{nat} = 0$ กก./ลบ.ม.

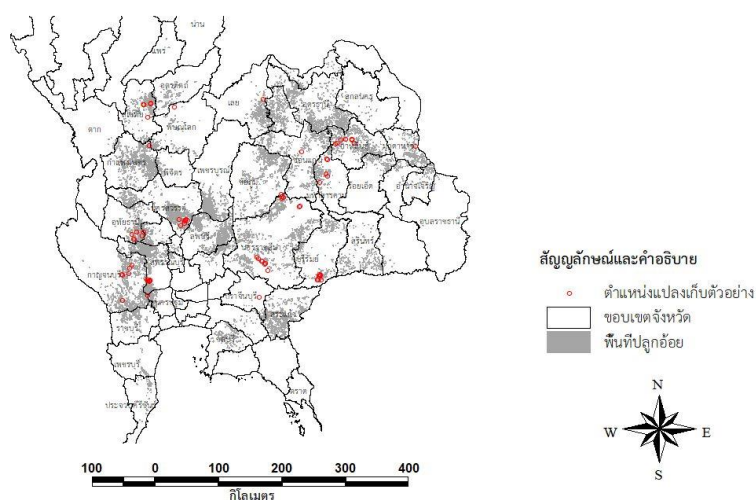
- เวลาและสถานที่ ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2561 ที่ไร่อะโวคาโด 13 จังหวัด

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยในพื้นที่ปลูกอ้อย จำนวน 13 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ 16 แปลง จังหวัดกาญจนบุรี ขอนแก่น ปราจีนบุรี มุกดาหาร และเลย จังหวัดละ 9 แปลง จังหวัดสุโขทัย

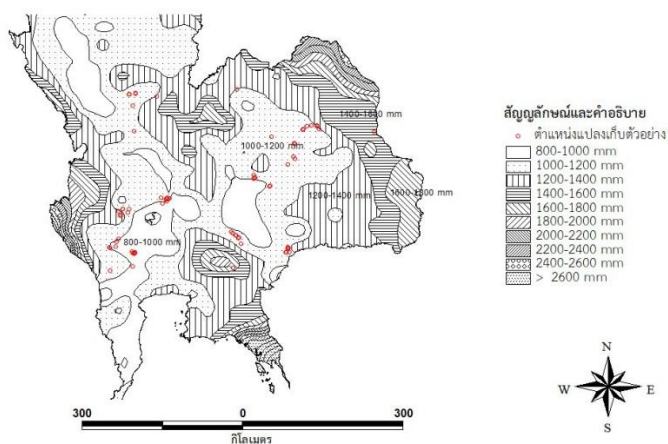
กาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ อุทัยธานี สุพรรณบุรี นครราชสีมา และมหาสารคาม รวม 119 แปลง (ภาพ 1) ส่วนใหญ่ปลูกอ้อยในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมของปีถัดไป พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1000-1200 มิลลิเมตรต่อปี มีบางพื้นที่อยู่ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีต่ำ 800-1000 มิลลิเมตรต่อปี ได้แก่พื้นที่ปลูกในเขตจังหวัดนครสวรรค์และสุพรรณบุรี และในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีสูง 1600-1800 มิลลิเมตรต่อปี ได้แก่พื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดปราจีนบุรี (ภาพ 2)

แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทย ปีการผลิต 2559/60 และตำแหน่งแปลงเก็บตัวอย่าง



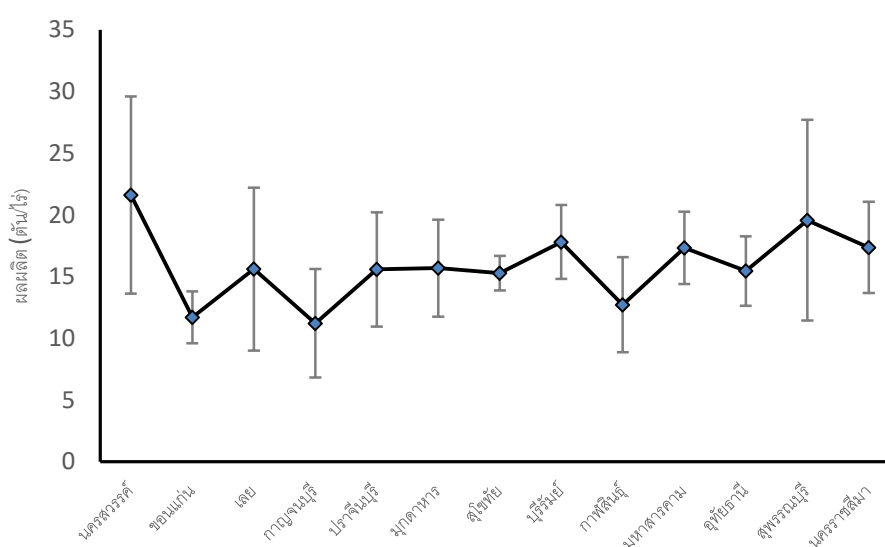
ภาพ 1 พื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2559/60 และตำแหน่งแปลงเก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าอวอเตอร์พุตพรีนธ์

แผนที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ในคาบ 30 ปี และตำแหน่งแปลงเก็บตัวอย่าง



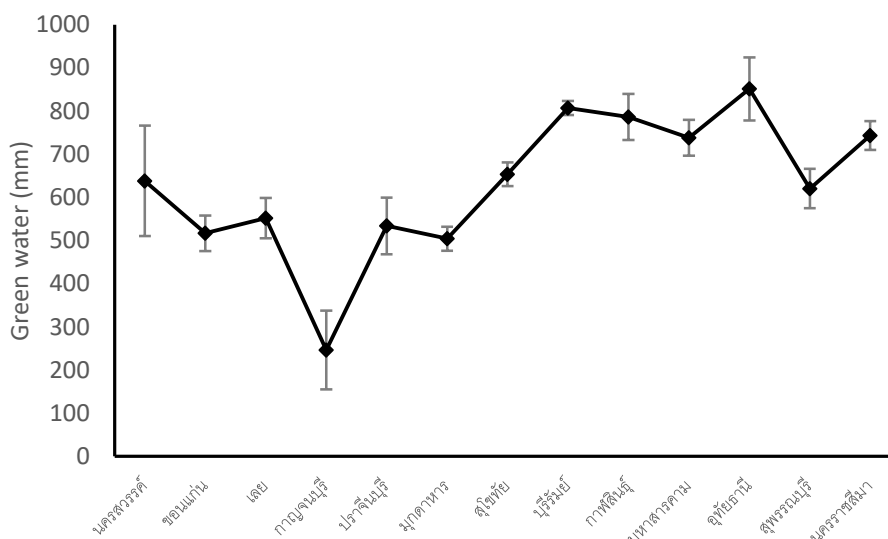
ภาพ 2 เขตปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ในคาบ 30 ปี (2522-2551) และตำแหน่งแปลงเก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าอวอเตอร์พุตพรีนธ์

ผลผลิตเฉลี่ยของอ้อยทั้ง 119 แปลง เท่ากับ 16.3 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดนครสวรรค์มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตสูงที่สุด 21.6 ตันต่อไร่ แต่ในขณะเดียวกันก็มีค่าความแปรปรวนค่อนข้างสูง 8.0 ตันต่อไร่ เนื่องจากมีช่วงวันปลูกที่กว้าง คือตั้งแต่พฤศจิกายน 2558 จนถึงเมษายน 2559 ในแปลงที่ปลูกช้าและการจัดการแปลงไม่ดีได้รับผลผลิตต่ำมาก แต่ในขณะเดียวกันแปลงที่ปลูกเร็วก็จะได้รับผลผลิตสูง ในทำนองเดียวกันกับผลผลิตอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี มีจำนวน 1 แปลงที่ได้รับผลผลิตมากกว่าแปลงอื่นๆ 38.8 ตันต่อไร่ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของจังหวัดเท่ากับ 19.6 ตันต่อไร่ ทำให้มีค่าความแปรปรวนสูงตามไปด้วย ในกลุ่มของผลผลิตต่ำ ได้แก่แปลงปลูกในจังหวัดกาญจนบุรี ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ เนื่องจากมีช่วงอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จากการสังเกตพบว่าบางแปลงมีวัชพืชมาก ทำให้ได้รับผลผลิตต่ำ (ภาพ 3)



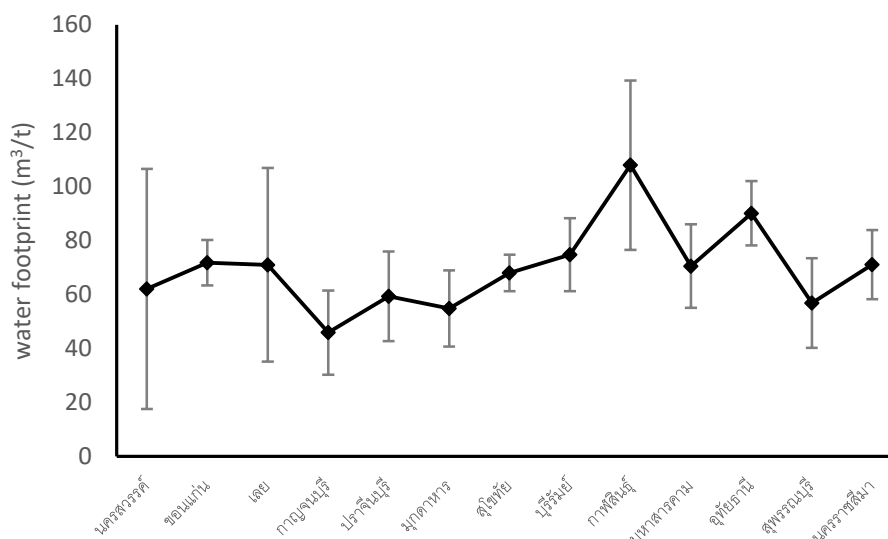
ภาพ 3 ผลผลิตเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตอ้อยรายจังหวัด ที่เก็บตัวอย่างในช่วงปีการผลิต 2559/60–2560/61

ในส่วนของค่าปริมาณน้ำฝนใช้การและความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่ออ้อย (Green water) พบว่ามีความแตกต่างกัน ถึงแม้ปลูกในพื้นที่จังหวัดเดียวกัน เนื่องจากมีความแตกต่างกันของวันปลูกและวันเก็บเกี่ยว โดยมีค่า Green water เฉลี่ยของทั้ง 119 แปลง เท่ากับ 620.7 มิลลิเมตร ในจังหวัดที่มีช่วงวันปลูกและวันเก็บเกี่ยวใกล้เคียงกัน จะมีค่าความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ ได้แก่แปลงปลูกอ้อยในจังหวัดสุโขทัย มุกดาหาร บุรีรัมย์ และนครราชสีมา ในทางตรงกันข้ามจังหวัดที่มีช่วงของวันปลูกและวันเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันมาก จะทำให้มีค่าความแปรปรวนของค่า Green water สูงตามไปด้วย ได้แก่จังหวัดนครสวรรค์ กาญจนบุรี และอุทัยธานี อย่างไรก็ตาม ค่า Green water ยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันของค่าการคายระเหยน้ำ ทำให้ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่อยู่ในเขตปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1000-1200 มิลลิเมตร แต่มีค่าการคายระเหยต่างกัน จึงทำให้มีค่า Green water ของแต่ละจังหวัดแตกต่างกันไปด้วย (ภาพ 4)



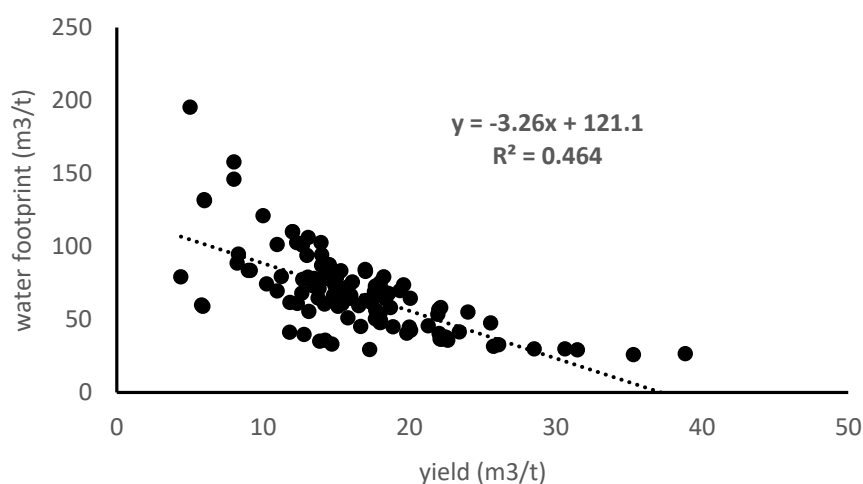
ภาพ 4 ปริมาณฝนใช้การและความชื้นดินเฉลี่ยที่เป็นประโยชน์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายจังหวัด ที่ปลูกใน ฤดูกาลผลิต 2559/60-2560/61

สำหรับค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของทั้ง 119 แปลง เท่ากับ 68.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่อนข้างมาก ทั้งนี้จากการศึกษาที่ผ่านมาใช้ค่าผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศจะมีค่าประมาณ 10 ตันต่อไร่ ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับการศึกษารุ่นนี้ที่มีค่าผลผลิตเฉลี่ย 16.3 ตันต่อไร่ ซึ่งค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้กับผลผลิตที่ได้รับ ดังนั้นเมื่อผลผลิตสูงขึ้นจะทำให้ค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์ต่ำลง โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 195.4 และ 25.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 ค่าพบว่ามีอยู่ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตอ้อยของจังหวัดนครสวรรค์มีความแปรปรวนสูงจึงทำให้ค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์มีความแปรปรวนสูงตามไปด้วย ในขณะที่ค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์เฉลี่ยรายจังหวัดพบว่ามีความเฉลี่ยสูงสุดในจังหวัดกาฬสินธุ์ 107.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตอยู่ในกลุ่มที่ต่ำ แต่มีค่าปริมาณ Green water เฉลี่ยค่อนข้างสูง ทำให้คิดเป็นค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์ที่ได้สูงกว่าจังหวัดอื่นๆ ส่วนจังหวัดที่มีค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์ต่ำที่สุดได้แก่จังหวัดกาญจนบุรี ถึงแม้ว่าผลผลิตของจังหวัดกาญจนบุรีอยู่ในระดับต่ำ แต่พบว่าค่า Green water มีค่าอยู่ในกลุ่มต่ำตามไปด้วย เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้น จึงทำให้มีค่าอวเตอร์พุตพรีนธ์ต่ำ (ภาพ 5)



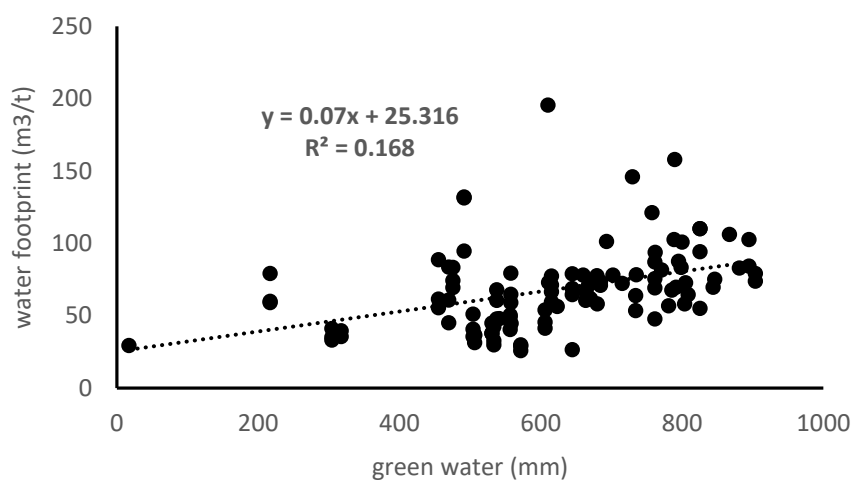
ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยของค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายจังหวัด ที่ปลูกในฤดูกาลผลิต 2559/60-2560/61

เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับผลผลิตพบว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ กล่าวคือ เมื่อผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าลดลง หมายความว่าอ้อยที่มีผลผลิตสูงจะมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำได้ดีกว่าอ้อยที่มีผลผลิตต่ำ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ได้มีการควบคุมการจัดการให้เหมือนกันทุกแปลงทดลองที่เก็บตัวอย่าง ผลผลิตอ้อยที่ต่ำจึงอาจเกิดจากการจัดการแปลงที่ไม่ดี นอกจากนั้นอาจเกิดจากการได้รับปัจจัยการผลิตอื่นไม่เพียงพออีกด้วย ดังนั้นการจัดการแปลงอ้อยที่ดีจะทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ลดค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลงได้ (ภาพ 6)



ภาพ 6 ความสัมพันธ์ของค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับผลผลิตอ้อยที่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน

และเมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับค่าปริมาณน้ำฝนใช้การและความชื้นดินที่อ้อยสามารถนำไปใช้ได้ระหว่างการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวพบว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำมาก ($R^2=0.167$) (ภาพ 7) ซึ่งให้เห็นว่าบางพื้นที่ถึงแม้ว่ามีปริมาณน้ำฝนและความชื้นมากเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของอ้อย แต่ไม่ได้ทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลดลง ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงขึ้นอยู่กับผลผลิตของอ้อยมากกว่า



ภาพ 7 ความสัมพันธ์ของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับปริมาณน้ำฝนและความชื้นดินที่อ้อยนำไปใช้ได้ในช่วงระหว่างการปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตอ้อยแบบอาศัยน้ำฝนมีค่าเฉลี่ย 71.6 ลบ.ม./ตัน อย่างไรก็ตามมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง เนื่องมาจากความหลากหลายของการจัดการแปลงปลูก ทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนสูงซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ดังนั้นการจัดการแปลงที่ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง จะเป็นการช่วยลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

-

11. คำขอบคุณ -

-

12. เอกสารอ้างอิง

- เจษฎา ภัทรเลอพงศ์. 2553. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงด้วยแสงสุทธิและศักยภาพของน้ำในใบอ้อยเพื่อหาค่าสอบเทียบแบบจำลองมวลชีวภาพของอ้อย. หน้า 58-95 ใน รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยภายใต้แผนแม่บท โครงการสร้างพื้นฐานทางปัญญา โครงการระยะยาว ปี 2552: เล่มที่ 2 ด้านดิน น้ำและปุ๋ย. กรุงเทพฯ
- นิรนาม. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/60. กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อย และน้ำตาลทราย สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กรุงเทพฯ 127 หน้า.
- Gerbens-Leenes P.W. and A.Y. Hoekstra. 2012. The Water Footprint of Sweeteners and Bioethanol. *Environment International* 40:202-211.
- Ratchayuda K. and S. Sate. 2012. Water Footprint of Bioethanol Production from Sugarcane in Thailand. *Journal of Environment and Earth Science* 2:61-68.

13. ภาคผนวก

-