Journal of TSAE Vol. 18 No. 1 (2012), 68–75

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (2555) 69–75
Available online at www.tsae.asia

บทความวิจัย

ISSN 1685-408X

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออก ประเทศไทย

Water Footprint of Sugarcane and Cassava for Ethanol Production in Eastern Thailand

สานิตย์ดา เตียวต๋อย[1]*, ชลิตา สุวรรณ[2], ธณัฏฐ์ยศ สมใจ[2]

Sanidda Tiewtoy[1], Chalita Suwan[2], Thanutyot Somjai[2]

[1]Faculty of Engineering .Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) Pathumthani, Thailand 12110

[2]Faculty of Industrial Technology. King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB) Prachinburi, Thailand 25230

*Corresponding author: Tel:+66-8-9480-4991, Fax:+66-2-549-3581, E-mail: saniddatiewtoy@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออก ประเทศไทย การหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ดำเนินการตามคู่มือการประเมินร่องรอยการใช้น้ำของ Hoekstra et al. (2011) จากการศึกษาพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของอ้อยเท่ากับ 192 $m^3.ton^{-1}$ เป็นสัดส่วน WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} เท่ากับ 161:11:19 ส่วนมันสำปะหลังมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยเท่ากับ 448 $m^3.ton^{-1}$เป็นสัดส่วน WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} เท่ากับ 342:40:66 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการใช้น้ำจะพบว่าน้ำฝนยังเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติสำหรับเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังเท่ากับ 48 และ 205 $Mm^3\ y^{-1}$ ตามลำดับ ผลการศึกษานี้อาจเป็นประโยชน์กับผู้วางนโยบายสำหรับการวางแผนเพื่อจัดการน้ำและจัดสรรน้ำในประเทศได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลวอเตอร์ฟุตพรินต์ในระดับภาคได้อีกด้วย

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพรินต์, อ้อย, มันสำปะหลัง, พืชพลังงาน

Abstract

The aim of this research was to assess water footprint (WF) of sugarcane and cassava cultivated in eastern Thailand for ethanol production. The water footprint was estimated according to “The Water Footprint Assessment Manual” of Hoekstra et al. (2011). The results of this study showed that the average WF of sugarcane was 192 $m^3.ton^{-1}$ and the ratio of WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} was 161:11:19. The average WF of cassava was 448 $m^3.ton^{-1}$ and the ratio of WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} was 342:40:66. With the proportion of water use taken into consideration, rainfall remained a key factor in the cultivation of sugarcane and cassava. The water demand for cultivation of sugarcane and cassava from natural sources was 48 and 205 $Mm^3\ y^{-1}$, respectively. The study findings would not merely be of use to policymakers for better water management but could be used as basis data of sub-national water footprint as well.

Keyword: Water footprint, Sugarcane, Cassava, Energy crop

1 บทนำ

กระทรวงพลังงานรับนโยบายจากรัฐบาลให้ดำเนินการจัดทำแผนพลังงานทดแทนระยะยาว 15 y (พ.ศ. 2551-2565) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) เพื่อกำหนดทิศทางและกรอบการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ การพัฒนาพลังงานทดแทนจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่นๆ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูง ที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น อ้อย, มันสำปะหลัง, ปาล์มน้ำมัน, ข้าว และข้าวโพด เป็นต้น ดังนั้นกระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์พัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเหล่านี้ เพื่อจะได้เป็นตลาด

ทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรไทย ทั้งยังส่งเสริมให้เกิดการผลิตและการใช้เอทานอลไม่น้อยกว่า 9 Ml day^{-1} ทดแทนการใช้น้ำมัน โดยมุ่งเน้นที่จะเพิ่มผลผลิตของอ้อยและมันสำปะหลังให้ได้อย่างน้อย 15 และ 5 ton rai^{-1} y^{-1} ในปี 2564 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ในขณะเดียวกันยุทธศาสตร์ในการกำหนดทิศทางการพัฒนาประเทศภายใต้แผนการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554) ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์และฟื้นฟูดูแลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า บริหารจัดการอย่างดี สร้างความเป็นธรรม ลดการเหลื่อมล้ำและความขัดแย้งในการใช้ประโยชน์ทรัพยากร มีแนวทางการพัฒนาและส่งเสริมการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ คุ้มค่า และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยจัดระบบการกระจายน้ำให้เหมาะสมในทุกภาคส่วน ทั้งภาคเกษตร อุตสาหกรรม และอุปโภค บริโภคและจัดทำข้อมูลการใช้น้ำ

จากนโยบายและแผนพัฒนาดังกล่าว การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชพลังงานจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นหากต้องการส่งเสริมการใช้พลังงานจากพืชพลังงาน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ (Water footprint) ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในพื้นที่ภาคตะวันออก ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบทางสถิติที่เกี่ยวกับการใช้น้ำในระดับภาคและใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวางแผนจัดการน้ำและจัดสรรน้ำในประเทศได้

2 วิธีการ

วิธีการดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ สำรวจข้อมูลการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง สรุปและสังเคราะห์ข้อมูลการเพาะปลูกที่รวบรวมได้จากแบบสอบถาม หาค่าการคายระเหยน้ำของพืชด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 โดยมีการนำเข้าข้อมูลภูมิอากาศ, ข้อมูลดิน และข้อมูลพืช สุดท้ายคือ การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกพืช ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการตามคู่มือการประเมินร่องรอยน้ำ “The Water Footprint Assessment Manual” ของ Hoekstra et al. (2011)

2.1 พื้นที่ศึกษา

การหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ 6 จังหวัด ได้แก่ จันทบุรี, ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, ปราจีนบุรี, ระยอง และสระแก้ว Figure 1 แสดงพื้นที่ที่ศึกษา จากรายงานสถิติการเกษตรของไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553; 2555) ข้อมูลเนื้อที่เพาะปลูกเฉลี่ยและผลผลิตเฉลี่ยของอ้อยและมันสำปะหลังในภาคตะวันออกระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2555 พบว่าพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว รองลงมาคือ ชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, ระยอง, จันทบุรี และปราจีนบุรี มีเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยเฉลี่ยเรียงตามลำดับมากสุดดังนี้ 207,872, 110,584, 46,292, 31,099, 20,222 และ 9,009 rai (6.25 rai = 1 ha) รวมทั้งหมด 425,078 rai มีผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 4,341,631 ton หรือคิดเป็น 10.21 ton rai^{-1} การปลูกมันสำปะหลังพบมากที่สุดคือ จังหวัดสระแก้ว, ชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, จันทบุรี, ปราจีนบุรี และระยอง มีเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ยเรียงตามลำดับดังนี้ 381,313, 301,978, 301,700, 230,031, 168,005 และ 158,623 rai รวมมีเนื้อที่ปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 1,541,649 rai และผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ย 4,341,631 ton หรือคิดเป็น 3.31ton rai^{-1}

2.2 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล

การสำรวจและการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามและข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัยและแหล่งข้อมูลอื่นๆ พื้นที่ในการสำรวจข้อมูลพิจารณาจากจังหวัดที่มีการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังมากที่สุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว, ชลบุรี, ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี ขนาดของกลุ่มตัวอย่างคำนวณจากสูตรของ Yamane (บุญมี, 2554) ได้แบบสอบถามของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังจำนวน 177 และ 655 ชุด ตามลำดับ มีระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และค่าความคลาดเคลื่อน +/- 10%

ข้อมูลจากแบบสอบถามสรุปได้ว่าเกษตรกรเพาะปลูกอ้อยระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน อ้อยที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ LK 92-11 เตรียมดินโดยใช้ปุ๋ยมูลไก่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนการเพาะปลูก เนื่องจากภาคตะวันออกมีการเลี้ยงไก่เป็นจำนวนมาก ปุ๋ยมูลไก่ที่ใช้ในการเตรียมดินปริมาณเฉลี่ย 51 kg rai^{-1} ช่วงการบำรุงรักษาจะใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ประมาณ 52 kg rai^{-1} ส่วนข้อมูลการปลูกมันสำปะหลังสรุปได้ว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 51 เป็นที่นิยมปลูกระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม โดยเริ่มจากการเตรียมดินโดยใช้ปุ๋ยมูลไก่เป็นปุ๋ยรองพื้นประมาณ 54 kg

rai^{-1} ส่วนในช่วงการบำรุงรักษาจะใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ประมาณ 64 kg rai^{-1} สำหรับแหล่งน้ำที่ใช้เพาะปลูกพืชสองชนิดนั้นส่วนมากใช้น้ำฝน มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำอื่นบ้าง ได้แก่ น้ำผิวดิน, น้ำใต้ดิน และน้ำชลประทาน

การรวบรวมข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลดิน, ข้อมูลภูมิอากาศ และแผนที่การปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง นำข้อมูลพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังไปตรวจสอบเทียบกับข้อมูลชุดดินที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555) พบว่าอ้อยมีการปลูกมากในกลุ่มชุดดิน 17, 28, 35, 46, 48 และ 55 ส่วนมันสำปะหลังมีการปลูกมากในกลุ่มชุดดิน 17, 35 และ 48 ส่วนข้อมูลภูมิอากาศในรอบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) ของ 6 จังหวัดในภาคตะวันออกได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

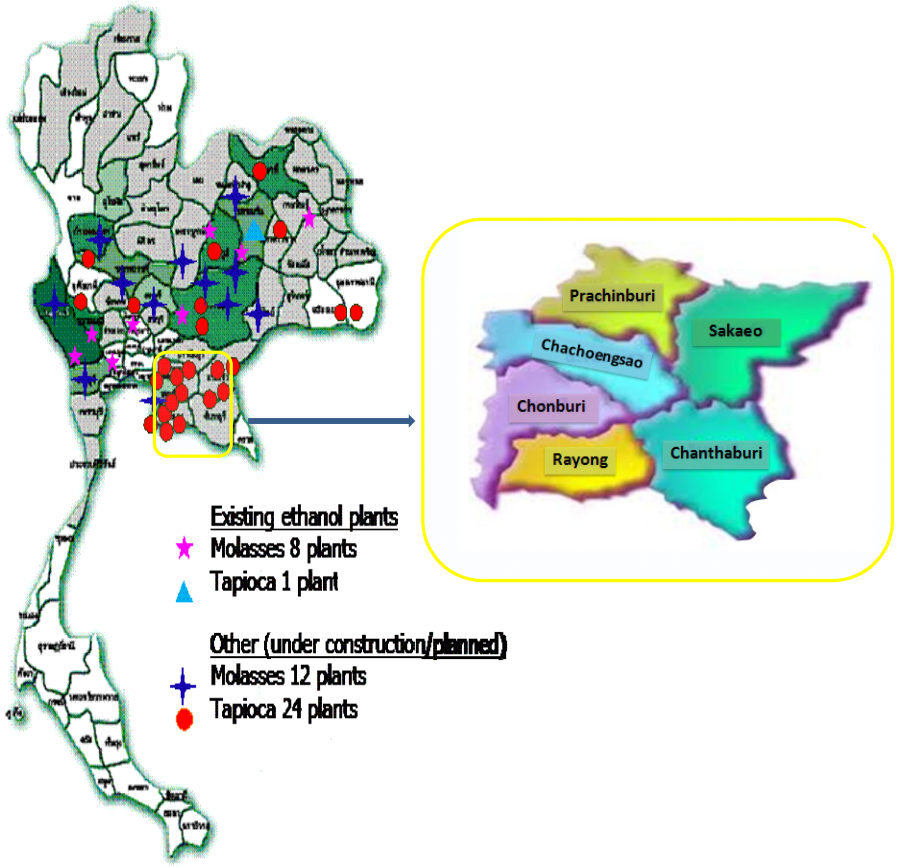

Figure 1 Ethanol plants in Thailand and the study area.
Source: DEDE (2008)

2.3 การหาค่าการคายระเหยน้ำของพืช

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ที่พัฒนาขึ้นมาโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2009) คำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชโดยวิธีการกำหนดการให้น้ำชลประทาน (Irrigation schedule option) ตามหลักการการสมดุลน้ำในดิน (Soil water balance) เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำและไม่ได้ซับซ้อน (Hoekstra et al., 2011) วิธีกำหนดการให้น้ำแบบให้น้ำชลประทานนั้นจะกำหนดเวลาและปริมาณน้ำดังนี้ ให้น้ำชลประทานเมื่อความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดวิกฤติ (Irrigation at critical depletion) และให้น้ำเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ระดับความชื้นชลประทาน (Refill soil to field capacity) วิธีนี้จะคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช (The adjusted crop evapotranspiration, $ET_{c,adj}$ หรือ ET_a) จากสมการดังต่อไปนี้

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_o \quad (1)$$

โดยที่ ET_c คือ การคายระเหยน้ำของพืช, ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (โปรแกรม CROPWAT 8.0 จะทำการคำนวณค่า ET_o ตามวิธีการของ FAO Penman Montieth), K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และ K_s คือ ผลกระทบที่เกิดจากการขาดน้ำต่อกระบวนการคายน้ำของพืช ซึ่งในสภาวะที่น้ำในดินมีปริมาณที่จำกัดค่า K_sจะมีค่าน้อยกว่า 1 และในสภาวะที่ดินไม่มีการขาดน้ำค่า K_s จะมีค่าเท่ากับ 1

นำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบค่าต่างๆ เพื่อหาค่าการคายระเหย ET_{green} และ ET_{blue} ดังต่อไปนี้

1) ในกรณีจำลองสถานการณ์โดยวิธีกำหนดให้น้ำชลประทานภายใต้เหตุการณ์แบบให้น้ำชลประทาน (Irrigated condition) กำหนดให้ $ET_{green} = ET_a - ET_{blue}$

โดยที่

ET_a = ค่าการคายระเหยน้ำของพืชจริงมีค่าเท่ากับค่าการใช้น้ำของพืชจริงคือ “Actual water use by crop”

ET_{blue}= ค่าที่ต่ำสุดระหว่าง“Total Net Irrigation” เทียบกับ “Actual irrigation requirement”

ET_{green}= การคายระเหยน้ำของพืชกรีน “The green water evapotranspired”

2) ในกรณีจำลองสถานการณ์โดยวิธีกำหนดให้น้ำชลประทานภายใต้เหตุการณ์แบบเกษตรน้ำฝน (Rain-fed condition) กำหนดให้ ETgreen= ETa และ ETblue = 0

หาปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop water use, CWU) ได้จากค่าการคายระเหยน้ำของพืชในแต่ละวันสะสมตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (Length of growing period, lgp) ซึ่งมีหน่วยเป็น ml คูณด้วยค่าปรับแก้ 1.6 จะได้ปริมาณน้ำที่พืชใช้มีหน่วยเป็น $m^3\ rai^{-1}$ ดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3

$$CWUgreen = 1.6x \sum_{d=1}^{lgp} ETgreen \quad (2)$$

$$CWUblue = 1.6x \sum_{d=1}^{lgp} ETblue \quad (3)$$

2.4 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ ของการปลูกพืช

วอเตอร์ฟุตพรินต์ (Water footprint, WF) หรือร่องรอยการใช้น้ำเป็นเครื่องชี้วัดปริมาณน้ำสะอาดในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณความต้องการน้ำจากทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิต วอเตอร์ฟุตพรินต์สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) กรีนวอเตอร์ฟุตพรินต์ (Green water footprint, WF_{green}) ใช้ชี้วัดปริมาณความต้องการน้ำในส่วนของปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน, 2) บลูวอเตอร์ฟุตพรินต์ (Blue water footprint, WF_{blue}) ใช้ชี้วัดปริมาณความต้องการน้ำในส่วนของแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน, 3) เกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ (Grey water footprint, WF_{grey}) ใช้ชี้วัดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการปรับสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ การหาค่าส่วนประกอบวอเตอร์ฟุตพรินต์ในกระบวนการปลูกพืชแสดงในสมการที่ 4-6 และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกพืชแสดงในสมการที่ 7

$$WF_{,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad m^3.ton^{-1} \quad (4)$$

$$W_{,blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad m^3.ton^{-1} \quad (5)$$

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times AR)/(c_{max} - c_{nat})}{Y} \quad m^3.ton^{-1} \quad (6)$$

$$WF_{total} = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \quad m^3.ton^{-1} \quad (7)$$

โดยที่ CWU คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ ($m^3\ rai^{-1}$), ค่า Y คือ ผลผลิตต่อพื้นที่ ($ton\ rai^{-1}$), α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การชะล้างของสารมลพิษ (%), AR คือ อัตราการใช้สารเคมี ($kg\ rai^{-1}$) และค่า c_{max} และ c_{nat} หมายถึง ระดับความเข้มข้นสูงสุดและระดับความเข้มข้นในธรรมชาติของมลสาร ($mg\ l^{-1}$) ตามลำดับ

3 ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ข้อมูลการให้น้ำของเกษตรกรจริงซึ่งได้จากแบบสอบถามมีทั้งใช้น้ำฝนอย่างเดียว, ใช้น้ำผิวดิน (คลอง/สระน้ำ), น้ำบาดาล และใช้น้ำผิวดินเสริมในกรณีที่น้ำฝนไม่พอ นำไปจำลองสถานการณ์ให้น้ำทั้งแบบเกษตรน้ำฝน (ไม่มีน้ำชลประทาน) และแบบให้น้ำชลประทานในโปรแกรม CROPWAT 8.0 แล้วนำผลการคายระเหยน้ำของพืชทั้งสองแบบหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก, ค่าการคายระเหยน้ำของพืช, ค่าความต้องการน้ำของพืช, ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพรินต์ (WF_{green}) และค่าบลูวอเตอร์ฟุตพรินต์ (WF_{blue}) ของการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 ตามลำดับ

การคำนวณค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ (WF_{grey}) ในการศึกษาครั้งนี้พิจารณาเฉพาะปริมาณปุ๋ยที่เป็นส่วนประกอบไนโตรเจน การใช้ยาฆ่าหญ้า และยาฆ่าแมลงจะไม่นำมาพิจารณา คำนวณค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ (WF_{grey}) ของการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังได้จากสมการที่ 6 สำหรับปุ๋ยมูลไก่คิดปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยมูลไก่ได้เท่ากับ 2.42% โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2541) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การชะล้างของสารมลพิษ (AR) เท่ากับ 10% ของอัตราการใช้ปุ๋ย (Chapagain et al., 2006) ค่าความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}) เท่ากับ 5 $mg\ l^{-1}$ ตามกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8, 2537) ค่าความเข้มข้นในธรรมชาติ (C_{nat}) กำหนดให้เป็นศูนย์เนื่องจากขาดข้อมูลที่เหมาะสม โดยอ้างอิงจากแนวความคิดของ Hoekstra et al. (2011) ส่วนผลการคำนวณแสดงใน Table 3

Table 1 Component of green and blue water footprint for sugarcane production.

Province	ET_{green} (mm)	ET_{blue} (mm)	ETa (mm)	CWU_{green} ($m^3.rai^{-1}$)	CWU_{blue} ($m^3.rai^{-1}$)	CWU_{total} ($m^3.rai^{-1}$)	Y ($ton.rai^{-1}$)	WF_{green} ($m^3.ton^{-1}$)	WF_{blue} ($m^3.ton^{-1}$)
Chanthaburi	945.3	13.7	959.0	1,512.5	21.8	1,534.3	10.2	148.3	2.1
Chachoengsao	1,021.1	38.3	1,059.4	1,633.8	61.3	1,695.0	9.8	166.7	6.3
Chonburi	1,001.5	32.0	1,033.5	1,602.5	51.2	1,653.7	10.0	160.2	5.1
Prachinburi	959.4	152.2	1,111.6	1,535.1	243.5	1,778.5	10.0	153.5	24.3
Rayong	1,131.9	90.7	1,222.6	1,811.0	145.2	1,956.2	10.2	177.5	14.2
Sakaeo	1,010.8	101.7	1,112.5	1,617.2	162.8	1,780.0	10.2	158.5	16.0

Table 2 Component of green and blue water footprint for cassava production.

Province	ETgreen (mm)	ETblue (mm)	ETa (mm)	CWUgreen (m3.rai-1)	CWUblue (m3.rai-1)	CWUtotal (m3.rai-1)	Y (ton.rai-1)	WFgreen (m3.ton-1)	WFblue (m3.ton-1)
Chanthaburi	659.7	39.7	699.4	1,055.5	63.6	1,119.1	3.4	310.4	18.7
Chachoengsao	732.1	27.9	760.0	1,171.2	44.7	1,215.9	3.2	366.0	14.0
Chonburi	814.2	23.0	837.2	1,302.7	36.8	1,339.5	3.6	361.9	10.2
Prachinburi	603.6	179.2	782.8	965.7	286.7	1,252.5	3.2	301.8	89.6
Rayong	775.2	68.3	843.5	1,240.3	109.3	1,349.6	3.2	387.6	34.2
Sakaeo	653.4	144.8	798.2	1,045.3	231.7	1,277.0	3.2	326.7	72.4

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกระบวนการปลูกพืช คือ ผลรวมของ WF_{green}, WF_{blue} และ WF_{grey} ดังสมการที่ 7 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังของภาคตะวันออกแสดงใน Table 4 และ Figure 2 ผลการวิจัยที่ได้พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อยมีค่าอยู่ระหว่าง 168-211 $m^3\ ton^{-1}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 191.5 $m^3\ ton^{-1}$ มีสัดส่วน WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} เท่ากับ 161:11:19 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลังมีค่าอยู่ระหว่าง 395-468 $m^3\ ton^{-1}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 448 $m^3\ ton^{-1}$ และมีสัดส่วนเท่ากับ 342:40:66

นำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยที่ได้จากการศึกษา ปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของภาคเหนือในประเทศไทย (Kongboon and Sampattagul, 2012) และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของโลก (Mekonnen and Hoekstra, 2011) แสดงดังใน Table 5 จะเห็นว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของอ้อยและมันสำปะหลังในภาคตะวันออกต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเลือกเงื่อนไขการใช้น้ำ, ข้อมูลด้านพืช, ข้อมูลดิน, การใส่ปุ๋ย, วันและช่วงเวลาปลูก, ผลผลิตของพืช และสภาพภูมิอากาศต่างกัน

4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ 6 จังหวัด ได้แก่ จันทบุรี, ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, ปราจีนบุรี, ระยอง และสระแก้ว จากการศึกษาพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 192 $m^3\ ton^{-1}$ มีสัดส่วน WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} เท่ากับ 161:11:19 คิดเป็นร้อยละ 84:6:10 ของค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์รวม ส่วนมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 448 $m^3\ ton^{-1}$ มีสัดส่วน WF_{green}:WF_{blue}:WF_{grey} เท่ากับ 342:40:66 คิดเป็นร้อยละ 76:9:15 ของค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์รวม ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตเอทานอลซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณานโยบายการส่งเสริมการใช้เอทานอลของประเทศได้ จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่าอ้อยสด 1 ton สามารถผลิตเอทานอลได้ 70 l และมันสด 1 ton สามารถผลิตเอทานอลได้ 180 l ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบต่อการผลิตเอทานอล 1 l หากเลือกอ้อยเป็นวัตถุดิบจะต้องใช้อ้อยสด 14.286 kg และจากข้อมูลวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อยภาคตะวันออกจะสามารถคำนวณได้ว่ามีน้ำเกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกอ้อย 2.74 m^3 แต่หากใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะต้องใช้มันสำปะหลัง 5.556 kg และมีน้ำเกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกมันสำปะหลัง 2.49 m^3 หากพิจารณาผลกระทบจากการผลิตเอทานอลต่อทรัพยากรน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกพืชพลังงานพบว่าการเลือกมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะใช้ทรัพยากรน้ำ

น้อยกว่าอ้อยเล็กน้อย งานวิจัยนี้ยังพบว่า WF_{green} มีสัดส่วนมากกว่าประเภทอื่นแสดงให้เห็นว่าน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังในภาคนี้ ในส่วนของ WF_{blue} อ้อยและมันสำปะหลังมีความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 48 $Mm^3 y^{-1}$ และ 205 $Mm^3 y^{-1}$ ตามลำดับ ค่าดังกล่าวสามารถนำไปพิจารณาร่วมกับค่าความต้องการน้ำสำหรับพืชเกษตรชนิดอื่นและความต้องการน้ำสำหรับภาคอุตสาหกรรม รวมถึงน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เพื่อการจัดสรรทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมต่อไป

ทางเลือกสำหรับการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์คือ การเพิ่มผลผลิตต่อไร่ การปลูกพืชคลุมดินเพื่อลดการคายระเหยน้ำในดินจะช่วยลด WF_{green} การลดค่า WF_{blue} สามารถดำเนินการโดยเปลี่ยนรูปแบบการให้น้ำ โดยให้มีการสูญเสียน้ำลดลงเช่น ระบบชลประทานแบบน้ำน้อย (ระบบน้ำหยด หรือระบบฉีดฝอย) รวมถึงการปรับปรุงระยะเวลาและปริมาณการให้น้ำให้เหมาะสมกับชนิดของพืช และการลดค่า WF_{grey} สามารถทำได้โดยลดการใช้ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมกับลักษณะดินและชนิดของพืช รวมถึงการใช้ปุ๋ยที่พืชจะสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่ายโดยมีปุ๋ยตกค้างในดินน้อย ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์

5 กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ได้รับทุนการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

Table 3 Calculation of grey water footprint for sugarcane and cassava in eastern Thailand.

Province	C_{max}	N leaching fraction	Sugarcane (m^3 ton^{-1})			Cassava (m^3 ton^{-1})		
			(N) Fertilizer application rate	Yield	WF_{grey}	(N) Fertilizer application rate	Yield	WF_{grey}
	(mg l^{-1})		(kg rai^{-1})	(ton rai^{-1})	(m^3 ton^{-1})	(kg rai^{-1})	(ton rai^{-1})	(m^3 ton^{-1})
Chanthaburi	5	0.10	9.9	10.2	19.3	11.2	3.4	65.7
Chachoengsao	5	0.10	9.8	9.8	18.0	9.8	3.2	61.1
Chonburi	5	0.10	10.1	10.0	20.2	12.3	3.6	68.5
Prachinburi	5	0.10	11.8	10.0	23.5	10.8	3.2	67.8
Rayong	5	0.10	9.9	10.2	19.3	10.5	3.2	65.7
Sakaeo	5	0.10	8.0	10.2	15.7	10.8	3.2	67.4

Table 4 Water footprint of sugarcane and cassava production in eastern Thailand.

Province	Sugarcane (m^3.ton^{-1})				Cassava (m^3.ton^{-1})			
	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{total}	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{total}
Chanthaburi	148.3	2.1	19.3	169.7	310.4	18.7	65.7	394.8
Chachoengsao	166.7	6.3	18.0	191.0	366.0	14.0	61.1	441.1
Chonburi	160.2	5.1	20.2	185.5	361.9	10.2	68.5	440.6
Prachinburi	153.5	24.3	23.5	201.3	301.8	89.6	67.8	459.2
Rayong	177.5	14.2	19.3	211.0	387.6	34.2	65.7	467.5
Sakaeo	158.5	16.0	15.7	190.2	326.7	72.4	67.4	466.5
Average	160.8	11.3	19.3	191.5	342.4	39.9	66.0	448.3

Table 5 Comparison of this Study Result, Northern Thailand and Global Average Water Footprint.

Area	Sugarcane ($m^3.ton^{-1}$)				Cassava($m^3.ton^{-1}$)			
	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{total}	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{total}
Eastern Thailand	161	11	19	192	342	40	66	448
Northern Thailand	90	87	25	202	192	232	85	509
Global Average	139	57	13	210	550	0	13	564

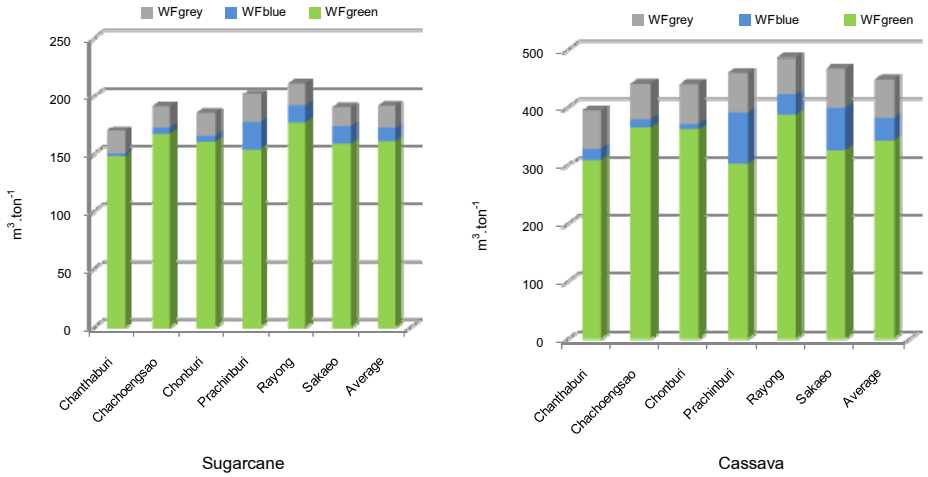

Figure 2 Water footprint of sugarcane and cassava production in eastern Thailand.

6 เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2541. ปริมาณธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุอินทรีย์. กองปฐพีวิทยา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2555. ดินของไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี. กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564). กระทรวงพลังงาน.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2554. สถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 – 2553). กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

บุญมี พันธุ์ไทย. 2554. ระเบียบวิธีวิจัยการศึกษาเบื้องต้นภาควิชาการประเมินและการวิจัย. Available at: e-book.ram.edu/e-book/m/MR3 9 3 / chapter6 . pdf. Accessed 18 ก.ย. 2554.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537). 2537. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 111 ตอนที่16 ง.

แผนการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559). 2554. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. สถิติการเกษตรของไทย ปี 2552. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการเกษตรของไทย ปี 2554. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G. and Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics 60, 186-203.

Department of Alternative Energy Development and Efficienty (DEDE). 2008. Facilitation Workshop under the T@W Project. Montien Hotel. 25 February 2008, Bangkok.

FAO. 2009. CROPWAT 8.0 Model. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Washington, DC: Earthscan.

Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2011. The Green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 15, pp. 1577-1600.

Kongboon, R. and Sampattagul, S. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand.2012. International Conference in Asia Pacific Business Innovation and Technology Management. Procedia - Social and Behavioral Sciences 40, 451 – 460.