



การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออก มะเขือเทศสดของประเทศไทย

Assessing water footprint and virtual water related to export of fresh tomatoes of Thailand

มนัสวี พานิชนอก^{1*} สรัญญา ถีป้อม¹ และ นภาพร มีสะอาด²

¹สาขาวิชานาฏยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

²สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

Manuswee Phanichnok^{1*}, Sarunya Thiphom¹ and Napaporn Meesaard²

¹Environmental Health Program, Faculty of Public Health, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

²Occupational Health and Safety Program, Faculty of Public Health, Naresuan University,
Phitsanulok, 65000

*Corresponding author: manusweep@nu.ac.th

Received: 7 May 2024/ Revised: 11 July 2024/ Accepted: 16 July 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศและเพื่อประเมินน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563 โดยการประเมินแบ่งออกเป็น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา ผลการศึกษาพบว่า การปลูกมะเขือเทศในฤดูกลาง จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมดน้อยที่สุดคือ แม่ฮ่องสอน (244.50 ลบ.ม.ต่อตัน) รองลงมาคือ หนองคาย (246.51 ลบ.ม.ต่อตัน) และสกลนคร (251.91 ลบ.ม.ต่อตัน) ตามลำดับ เมื่อพิจารณารายประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า การปลูกมะเขือเทศมีการใช้น้ำสีน้ำเงินมากที่สุด รองลงมาคือ สีเทา และสีเขียว ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินมีความจำเป็นมากต่อการปลูกมะเขือเทศ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ปลูกมะเขือเทศยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติ ส่วนปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์สุทธิที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดพบว่ามีค่าเท่ากับ 163,692.61 ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์นี้ได้ไหลไปยังประเทศสิงคโปร์มากที่สุด รองลงมาคือ เมียนมาร์ และมาเลเซีย ตามลำดับ โดยน้ำถือเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าต่อประชาชนในประเทศ ในกรณีที่ประเทศผู้ส่งออกประสบภัยแล้งหรือมีปริมาณน้ำใช้ภายในประเทศน้อยอาจจำเป็นต้องวางแผนการผลิตสินค้าทางการเกษตรเพื่อการส่งออกในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการบริโภคน้ำภายในประเทศ

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ น้ำเสมือน การปลูกมะเขือเทศ การส่งออก

Abstract

This research aimed to evaluate water footprint of tomato cultivation and virtual water related to the export of fresh tomatoes in Thailand, 2020 which is divided into green, blue, and grey water footprints. The results showed that among the provinces where seasonal tomatoes were planted, the lowest total water footprint was Mae Hong Son (244.50 m³/ton), followed by Nong Khai (246.51 m³/ton) and Sakon Nakhon (251.91 m³/ton) respectively. Considering each type of water footprint, the most water consumption for tomato cultivation is blue, followed by grey and green, respectively, indicating that the water use from surface and groundwater sources is essential for growing tomatoes. This is because the amount of rain falling on the tomato planting areas is not enough to grow. The net volume of virtual water related to fresh tomato export is 163,692.61 m³/year, with the most virtual water flowing to Singapore, followed by Myanmar and Malaysia, respectively. Water is considered a precious resource for the people of that country. In cases where there is a drought or the amount of water use is low in the exporter country, it may be necessary to plan the production of exports in moderation to reduce the potential impact on domestic water use.

Keywords: Water footprint, Virtual water, Tomato cultivation, Export

บทนำ

มะเขือเทศเป็นพืชที่นิยมบริโภคในหลายๆ ประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีรสชาติที่ดี และรับประทานง่าย [1] มะเขือเทศอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามิน [2] โดยแร่ธาตุและวิตามินที่มีมากได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม ไบโอฟลาวิน ไทอามีน ไนอะซิน กรดแอสคอร์บิก และวิตามินเอ [1] นอกจากนี้มะเขือเทศยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญคือ สารไลโคปีนที่มีคุณสมบัติช่วยลดความเสี่ยงของเซลล์และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งชนิดต่างๆ เช่น มะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งปอด มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปากมดลูก รวมถึงลดความเสี่ยงต่อการป่วยเป็นโรคหัวใจ [3] ด้วยคุณประโยชน์ดังกล่าว มะเขือเทศจึงถูกนำมาบริโภคอย่างแพร่หลาย โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหาร และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม เช่น น้ำมะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศแช่แข็ง และแยมมะเขือเทศ รวมทั้งยังสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย

มะเขือเทศสามารถปลูกได้ในหลายประเทศทั่วโลก จากฐานข้อมูลสถิติการเกษตรขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database; FAOSTAT) [4] รายงานว่าปี พ.ศ. 2563 ประเทศที่มีผลผลิตมะเขือเทศมากที่สุด 5 อันดับแรกของโลกได้แก่ จีน อินเดีย ตุรกี สหรัฐอเมริกา และอียิปต์ ตามลำดับ ส่วนประเทศไทยมีผลผลิตเป็นอันดับที่ 74 ของโลก โดยประเทศไทยสามารถปลูกมะเขือเทศได้ทั่วประเทศทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตก ในปี พ.ศ. 2563 สามารถสร้างผลตอบแทนให้แก่เกษตรกรสูงถึง 40,000 บาทต่อไร่ [5] และจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [6] พบว่าปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตมะเขือเทศสดเท่ากับ 132,650 ตัน มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 37,420 ไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 ตันต่อไร่ จังหวัดที่มีกำลังการผลิตมะเขือเทศมากที่สุดคือ เชียงใหม่ รองลงมาคือ สกลนคร และหนองคาย ตามลำดับ ประเทศไทยปลูกมะเขือเทศเพื่อบริโภคภายในประเทศเป็นหลักและมีบางส่วนส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยพบว่าส่งออกไปยังประเทศสิงคโปร์มากที่สุด รองลงมาคือ เมียนมาร์ และมาเลเซีย ตามลำดับ นอกจากนี้ในบางฤดูกาลที่ประเทศไทยไม่สามารถปลูกมะเขือเทศได้จึงมีการนำเข้ามะเขือเทศจากต่างประเทศซึ่งพบว่านำเข้าจากประเทศจีนและนิวซีแลนด์มากที่สุด [7]



มะเขือเทศเป็นพืชที่ใช้ระยะเวลาในการปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเพียง 4-5 เดือน และต้องปลูกในพื้นที่ที่เหมาะสม จึงจะให้ผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพ มะเขือเทศเป็นพืชที่ชอบอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วงกลางวันอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ช่วงกลางคืนอยู่ระหว่าง 16-20 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างของดินอยู่ระหว่าง 5.5-7.0 [8] ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสูงเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดโรคทางใบและรากในมะเขือเทศได้ และต้องการแสงแดดตลอดทั้งวัน [9] มะเขือเทศจึงนิยมปลูกในช่วงฤดูหนาว แต่เนื่องจากมะเขือเทศนิยมรับประทานตลอดทั้งปี จึงได้ส่งเสริมให้มีการปลูกนอกฤดูกาลเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ทั้งนี้การปลูกมะเขือเทศนอกฤดูกาลให้ได้ผลผลิตดีควรปลูกในพื้นที่สูง สภาพอากาศที่ไม่ร้อนจัด มีวัสดุคลุมแปลงปลูกเพื่อลดการระเหยของน้ำในดิน ควรให้น้ำทุกวันอย่างสม่ำเสมอ และแปลงปลูกสามารถระบายน้ำได้ดี [10] การปลูกมะเขือเทศให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพนั้นปัจจัยด้านน้ำถือเป็นสิ่งสำคัญ การให้น้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยไม่น้อยจนกระทั่งพืชเหี่ยวเฉาและไม่มากจนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรน้ำโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งนี้ความต้องการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน และคุณสมบัติของดิน น้ำจึงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก หากเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ทราบถึงปริมาณการให้น้ำที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืชหรือปริมาณน้ำที่ควรใส่ลงในแปลงเพาะปลูกพืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเป็นปกติจะสะท้อนให้เห็นถึงความคุ้มค่าของการใช้น้ำทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ [11] วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถือเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และปัจจุบันได้มีการนำแนวทางการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาใช้ในการประเมินการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมของการผลิตพืชในหน่วยปริมาณน้ำต่อหน่วยผลผลิตพืชเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศ รวมถึงการประเมินในรูปน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทย ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการผลิตมะเขือเทศสดเหมือนเกิดการไหลออกนอกประเทศไปกับการส่งออก ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญต่อการวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมทั้งในเชิงพื้นที่และฤดูกาลเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด รวมทั้งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการส่งเสริมการปลูกมะเขือเทศเพื่อการส่งออก โดยเฉพาะในแง่ของปริมาณการส่งออกที่เหมาะสมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรน้ำภายในประเทศ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศในฤดูกาลและนอกฤดูกาลปี พ.ศ. 2563 และเพื่อประเมินปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดปี พ.ศ. 2563

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศและประเมินปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2563 โดยทำการศึกษาในทุกจังหวัดที่มีการปลูกมะเขือเทศ ซึ่งผลลัพธ์ของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint; WF) อยู่ในรูปหน่วยปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ดำเนินการตามคู่มือ The water footprint assessment manual: setting the global standard 2011 [12] แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นภายในดินอันเนื่องมาจากน้ำฝนที่ถูกใช้ในการปลูกพืช 2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินที่ถูกใช้ในการปลูกพืช และ 3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Grey water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางมลสารในน้ำเสียจากการปลูกพืชให้มีความเข้มข้นไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศได้ทำการประเมินตามภาพที่ 1 มะเขือเทศที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ มะเขือเทศบริโภค และมะเขือเทศโรงงาน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ไม่ระบุชนิดของมะเขือเทศเนื่องจากข้อมูลพืช (Crop Data) ของมะเขือเทศที่ใช้ในการคำนวณค่าความต้องการใช้น้ำของพืชไม่ได้แยกชนิดหรือสายพันธุ์ และแบ่งการปลูกออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกปลูกในฤดูกาล นิยมปลูกตั้งแต่เดือนตุลาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป และ

ช่วงที่ 2 คือ การปลูกนอกฤดูการ นิยมปลูกตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนมิถุนายน [13] ลักษณะดินที่ปลูกเป็นดินร่วนปนทรายที่สามารถระบายน้ำได้ดี [9] การใส่ปุ๋ยจะใส่ทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ ระยะต้นกล้า ก่อนออกดอก ช่วงติดดอก และช่วงผลเริ่มโต โดยการปลูกในฤดูการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 สูตร 46-0-0 และสูตร 13-13-21 จำนวน 100 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นปริมาณที่แนะนำให้ใช้กับการปลูกบนดินร่วนปนทราย ส่วนการปลูกนอกฤดูการจะใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และสูตร 46-0-0 ในปริมาณเท่ากับปลูกในฤดูการ แต่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 จะใช้ในปริมาณที่มากกว่าการปลูกในฤดูการอีก 30 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้เนื่องจากมะเขือเทศที่ปลูกนอกฤดูการต้องทนต่อสภาพอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าและเป็นการปลูกหลังจากทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตของการปลูกในฤดูการซึ่งทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุ [11]

การประเมินค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CropWat 8.0 [14] ที่พัฒนาขึ้นโดยกองพัฒนาที่ดินและน้ำขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ โปรแกรมนี้ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 ได้รับความนิยมและใช้คำนวณหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชด้วยสมการ Penman-Monteith จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืชและค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ตามลำดับ ส่วนการประเมินน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดใช้ข้อมูลค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหาคำนวณด้วยปริมาณการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทย วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1. การคำนวณค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศ

1.1 ค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration; ET) เป็นค่าการคายระเหยน้ำสะสมในพื้นที่เพาะปลูกตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช (Length of growing period; lgp) ค่า ET จะใช้โปรแกรม CropWat 8.0 ในการคำนวณและแสดงผลในหน่วยมิลลิเมตรคำนวณออกมาในรูปน้ำสีเขียว (ET_{green}) และน้ำสีน้ำเงิน (ET_{blue}) ใช้ข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละจังหวัดที่ปลูกมะเขือเทศ ประกอบด้วยข้อมูลสภาพอากาศ [15] ได้แก่ ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อวัน) ความยาวนานของแสงแดด (ชั่วโมง) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ข้อมูลพืชที่เกี่ยวข้องกับมะเขือเทศ [16] ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช (วัน) ความยาวของรากพืช (เมตร) ระดับการขาดน้ำของพืชที่ใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉา (%) ปัจจัยตอบสนองต่อการให้ผลผลิตพืช ความสูงของพืช (เมตร) และข้อมูลดิน [17] ได้แก่ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในดิน (มิลลิเมตรต่อเมตร) อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านดิน (มิลลิเมตรต่อวัน) ปริมาณความชื้นในดินที่เริ่มขาด (%) การหยั่งรากลึกในดินของพืช (เซนติเมตร)

1.2 ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use; CWU) คำนวณได้จากค่าการคายระเหยน้ำสะสมในพื้นที่เพาะปลูกตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม CropWat 8.0 จากข้อ 1.1 และค่า 1.6 เป็นค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตรเป็นลูกบาศก์เมตรต่อไร่ [18] การคำนวณค่าความต้องการใช้น้ำของพืชสีเขียวคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และค่าความต้องการใช้น้ำของพืชสีน้ำเงินคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$CWU_{green} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} \quad (1)$$

$$CWU_{blue} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} \quad (2)$$

โดย CWU_{green} และ CWU_{blue} คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชสีเขียวและสีน้ำเงิน (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)

ET_{green} และ ET_{blue} คือ ค่าการคายระเหยน้ำสีเขียวและสีน้ำเงิน (มิลลิเมตร)

1.3 ค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมด (Total water footprint) เป็นผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในการปลูกพืชที่อยู่ในรูปน้ำสีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา โดยค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวคำนวณได้ดังสมการที่ 3 และค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินคำนวณได้ดังสมการที่ 4



$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (3)$$

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (4)$$

โดย WF_{green} และ WF_{blue} คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตันต่อไร่)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$WF_{Grey} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (5)$$

โดย WF_{grey} คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

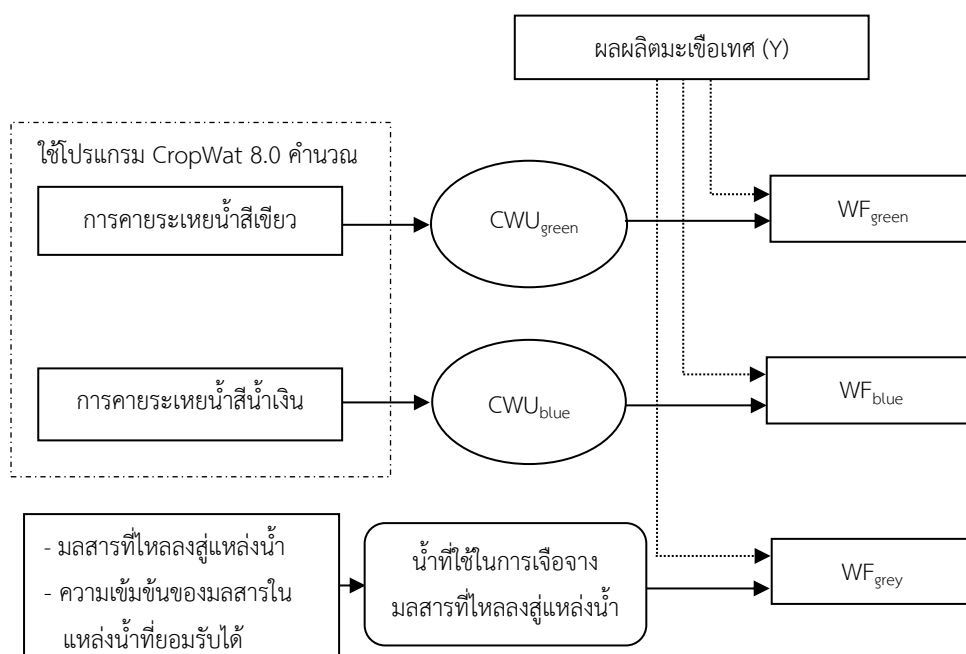
AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กิโลกรัมต่อไร่)

α คือ อัตราการชะล้างสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ งานวิจัยครั้งนี้คิดที่ร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก [19]

C_{max} คือ ค่าความเข้มข้นของมลสารในแหล่งน้ำผิวดินมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) งานวิจัยครั้งนี้ กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นของไนเตรทในหน่วยไนโตรเจนที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร [20]

C_{nat} คือ ค่าความเข้มข้นของมลสารตามธรรมชาติ งานวิจัยครั้งนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ [21]

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตันต่อไร่)



ภาพที่ 1 การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศ

2. การคำนวณค่าน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสด

น้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออก (Virtual Water Export; VW_{export}) คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ (ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสินค้าเพื่อการส่งออก) ซึ่งเสมือนว่าน้ำได้ไหลออกนอกประเทศไปกับการส่งออกผลิตภัณฑ์



นั้นๆ ในการวิจัยครั้งนี้จึงหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตมะเขือเทศเพื่อการส่งออก สามารถคำนวณค่าน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออกได้ดังสมการที่ 6

$$VW_{export} = CT_{export} \times WF_{product} \quad (6)$$

โดย VW_{export} คือ ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

CT_{export} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ส่งออก (ตันต่อปี)

$WF_{product}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

ทั้งนี้จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [7] พบว่าประเทศไทยมีทั้งการส่งออกและนำเข้ามะเขือเทศเพื่อการบริโภคจึงต้องคำนวณค่าน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการนำเข้า (Virtual Water Import; VW_{import}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$VW_{import} = CT_{import} \times WF_{product} \quad (7)$$

โดย VW_{import} คือ ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการนำเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

CT_{import} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า (ตันต่อปี)

$WF_{product}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

นอกจากนี้ยังพบว่าประเทศไทยได้ส่งออกมะเขือเทศในปริมาณที่มากกว่าการนำเข้า ดังนั้นจึงคำนวณหาปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์สุทธิที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศ คำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$VW_{net} = VW_{export} - VW_{import} \quad (8)$$

โดย VW_{net} คือ ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์สุทธิที่สัมพันธ์กับการส่งออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)

ผลการวิจัย

1. ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช

ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (CWU) สำหรับการปลูกมะเขือเทศทั้งในฤดูกลและนอกฤดูกลของประเทศไทยใช้โปรแกรม CropWat 8.0 ในการวิเคราะห์หาค่าการคายระเหยน้ำของพืช จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชตามสมการที่ 1 และ 2 ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความต้องการน้ำของพืชรายจังหวัดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563

จังหวัด	ค่า CWU ของการปลูกมะเขือเทศ ในฤดูกล (ลบ.ม.ต่อไร่)			ค่า CWU ของการปลูกมะเขือเทศ นอกฤดูกล (ลบ.ม.ต่อไร่)		
	สีเขียว	สีน้ำเงิน	รวม	สีเขียว	สีน้ำเงิน	รวม
ภาคเหนือ						
เชียงราย	50.40	579.04	629.44	219.52	737.28	956.80
เชียงใหม่	91.68	469.12	560.80	182.40	736.00	918.40
ตาก	93.12	544.32	637.44	179.04	847.20	1,026.24
พะเยา	93.28	486.72	580.00	251.36	754.08	1,005.44
เพชรบูรณ์	93.44	488.00	581.44	410.24	398.08	808.32
แม่ฮ่องสอน	194.88	318.08	512.96	243.84	606.40	850.24
ลำปาง	85.92	431.04	516.96	240.16	601.12	841.28



จังหวัด	ค่า CWU ของการปลูग्มะเชื้อเทศ ในฤดูกาล (ลบ.ม.ต่อไร่)			ค่า CWU ของการปลูग्มะเชื้อเทศ นอกฤดูกาล (ลบ.ม.ต่อไร่)		
	สีเขียว	สีน้ำเงิน	รวม	สีเขียว	สีน้ำเงิน	รวม
ลำพูน	111.36	420.64	532.00	223.36	717.44	940.80
อุทัยธานี	96.00	612.48	708.48	18.75	851.68	870.43
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ						
กาฬสินธุ์	113.60	594.08	707.68	256.00	636.32	892.32
ขอนแก่น	101.44	744.48	845.92	299.04	721.12	1,020.16
ชัยภูมิ	104.32	714.72	819.04	297.92	686.56	984.48
นครพนม	139.68	606.56	746.24	326.72	533.76	860.48
นครราชสีมา	87.52	670.72	758.24	273.44	756.16	1,029.60
บึงกาฬ	86.08	795.84	881.92	372.64	553.44	926.08
บุรีรัมย์	105.76	816.80	922.56	270.40	897.92	1,168.32
มุกดาหาร	95.84	638.08	733.92	217.28	751.68	968.96
ร้อยเอ็ด	102.08	702.40	804.48	256.32	793.60	1,049.92
เลย	83.68	589.28	672.96	268.48	698.40	966.88
ศรีสะเกษ	103.36	806.72	910.08	241.60	774.40	1,016.00
สกลนคร	133.92	554.88	688.80	363.52	541.60	905.12
หนองคาย	89.28	645.44	734.72	306.08	693.76	999.84
หนองบัวลำภู	82.40	666.56	748.96	299.52	692.64	992.16
อำนาจเจริญ	101.92	735.52	837.44	350.72	596.32	947.04
อุดรธานี	155.84	606.24	762.08	301.92	684.16	986.08
อุบลราชธานี	95.68	697.44	793.12	264.16	606.56	870.72
ภาคกลางและตะวันตก						
กาญจนบุรี	199.04	547.04	746.08	227.04	785.92	1,012.96
ชัยนาท	85.92	539.84	625.76	210.72	652.64	863.36
นครปฐม	180.96	515.52	696.48	198.08	717.60	915.68
ประจวบคีรีขันธ์	123.68	631.04	754.72	236.16	684.64	920.80
เพชรบุรี	144.64	725.76	870.40	106.88	1,022.56	1,129.44
ราชบุรี	125.44	646.08	771.52	234.24	708.32	942.56
ลพบุรี	92.16	707.52	799.68	211.52	843.68	1,055.20
สระบุรี	104.32	714.72	819.04	104.32	714.72	819.04
สุพรรณบุรี	101.76	658.08	759.84	137.92	814.40	952.32
ค่าเฉลี่ยทั้งประเทศ	110.01	617.74	727.75	245.75	708.92	954.67

ข้อมูลตารางที่ 1 ประเทศไทยสามารถปลูग्มะเชื้อเทศได้เกือบทุกภูมิภาคยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ ข้อมูลค่าเฉลี่ย CWU รวมทั้งหมดของทั้งประเทศพบว่าการปลูग्ในฤดูกาล (727.75 ลบ.ม.ต่อไร่) มีค่าน้อยกว่าการปลูग्นอกฤดูกาล (954.67 ลบ.ม.ต่อไร่) เนื่องจากการปลูग्นอกฤดูกาลเป็นการปลูग्ในช่วงฤดูร้อน (เริ่มปลูग्ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไป) จึงมีการคายระเหยน้ำในพื้นที่เพาะปลูग्มากกว่าการปลูग्ในฤดูกาล (เริ่มปลูग्ตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไป) เมื่อพิจารณารายภาค

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า CWU สีน้ำเงินทั้งการปลูग्ในฤดูกาลและนอกฤดูกาลมีค่ามากกว่าน้ำสีเขียวเกือบทุกจังหวัด ยกเว้นการปลูग्นอกฤดูกาลของจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีค่า CWU สีน้ำเงินน้อยกว่าสีเขียว แสดงให้เห็นว่าการปลูग्มะเชื้อเทศนั้น



จำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งผิวดินและใต้ดิน (น้ำสีน้ำเงิน) ในปริมาณที่สูงกว่าการใช้น้ำฝน (น้ำสีเขียว) หรือกล่าวได้ว่าปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ปลูกมะเขือเทศปี พ.ศ. 2563 ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินเพิ่ม ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนการจัดสรรทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะแหล่งน้ำสีน้ำเงินให้เพียงพอไม่ว่าจะเป็น การสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือระบบชลประทานเข้าสู่แปลงปลูกมะเขือเทศเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ตามปกติและไม่เกิดการเหี่ยวเฉา หากเกษตรกรปลูกมะเขือเทศในพื้นที่ที่รองรับเฉพาะน้ำฝน ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชอาจไม่เพียงพอซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตมะเขือเทศได้

2. ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศ

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งหมดของการปลูกมะเขือเทศทั้งในฤดูการและนอกฤดูการ เป็นผลรวมของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา คำนวณได้ตามสมการที่ 3, 4 และ 5 ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลผลิตมะเขือเทศและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศรายจังหวัดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563

จังหวัด	ผลผลิต (ตันต่อไร่)	ค่า WF ของการปลูกมะเขือเทศ ในฤดูกาล (ลบ.ม.ต่อตัน)				ค่า WF ของการปลูกมะเขือเทศ นอกฤดูกาล (ลบ.ม.ต่อตัน)			
		สีเขียว	สีน้ำเงิน	สีเทา	รวม	สีเขียว	สีน้ำเงิน	สีเทา	รวม
ภาคเหนือ									
เชียงราย	2.43	20.74	238.29	144.13	403.16	90.34	303.41	176.25	570.00
เชียงใหม่	3.58	25.61	131.04	97.70	254.35	50.95	205.59	119.48	376.02
ตาก	3.91	23.82	139.21	89.48	252.51	45.79	216.68	109.43	371.90
พะเยา	3.05	30.58	159.58	114.86	305.02	82.41	247.24	140.46	470.11
เพชรบูรณ์	2.10	44.50	232.38	166.56	443.44	195.35	189.56	203.68	588.59
แม่ฮ่องสอน	3.53	55.21	90.11	99.18	244.50	69.08	171.78	121.29	362.15
ลำปาง	3.43	25.05	125.67	101.91	252.63	70.02	175.25	124.63	369.90
ลำพูน	2.31	48.21	182.10	151.67	381.98	96.69	310.58	185.47	592.74
อุทัยธานี	1.29	74.22	473.51	270.59	818.32	14.50	658.44	330.89	1,003.83
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ									
กาฬสินธุ์	3.18	35.76	186.99	110.16	332.91	80.58	200.28	134.71	415.57
ขอนแก่น	2.57	39.47	289.66	136.18	465.31	116.35	280.57	166.53	563.45
ชัยภูมิ	1.97	53.02	363.22	177.87	594.11	151.40	348.91	217.51	717.82
นครพนม	3.99	35.05	152.19	87.82	275.06	81.98	133.93	107.39	323.30
นครราชสีมา	2.67	32.73	250.86	130.90	414.49	102.27	282.81	160.08	545.16
บึงกาฬ	4.62	18.62	172.11	75.69	266.42	80.59	119.69	92.56	292.84
บุรีรัมย์	2.33	45.47	351.15	150.47	547.09	116.25	386.02	184.00	686.27
มุกดาหาร	3.04	31.49	209.63	114.99	356.11	71.38	246.95	140.61	458.94
ร้อยเอ็ด	2.95	34.58	237.94	118.56	391.08	86.83	268.84	144.99	500.66
เลย	2.10	39.82	280.43	166.56	486.81	127.77	332.36	203.68	663.81
ศรีสะเกษ	2.21	46.75	364.92	158.32	569.99	109.29	350.30	193.60	653.19
สกลนคร	4.14	32.38	134.18	84.63	251.19	87.90	130.96	103.49	322.35
หนองคาย	4.40	20.29	146.68	79.54	246.51	69.56	157.66	97.26	324.48
หนองบัวลำภู	2.35	35.03	283.35	148.78	467.16	127.32	294.43	181.94	603.69
อำนาจเจริญ	1.57	64.97	468.89	223.13	756.99	223.58	380.15	272.85	876.58
อุดรธานี	2.60	59.90	233.01	134.52	427.43	116.04	262.96	164.50	543.50



จังหวัด	ผลผลิต (ตันต่อไร่)	ค่า WF ของการปลูกมะเขือเทศ ในฤดูกลาง (ลบ.ม.ต่อตัน)				ค่า WF ของการปลูกมะเขือเทศ นอกฤดูกลาง (ลบ.ม.ต่อตัน)			
		สีเขียว	สีน้ำเงิน	สีเทา	รวม	สีเขียว	สีน้ำเงิน	สีเทา	รวม
อุบลราชธานี	2.46	38.87	283.34	142.19	464.40	107.32	246.42	173.88	527.62
ภาคกลางและตะวันตก									
กาญจนบุรี	2.77	71.75	197.21	126.18	395.14	81.85	283.33	154.30	519.48
ชัยนาท	1.78	48.20	302.84	196.34	547.38	118.21	366.12	240.10	724.43
นครปฐม	2.96	61.19	174.31	118.35	353.85	66.98	242.64	144.72	454.34
ประจวบคีรีขันธ์	2.48	49.77	253.96	140.85	444.58	95.04	275.53	172.25	542.82
เพชรบุรี	2.70	53.63	269.08	129.76	452.47	39.63	379.12	158.68	577.43
ราชบุรี	2.70	46.53	239.65	129.82	416.00	86.89	262.73	158.76	508.38
ลพบุรี	3.19	28.91	221.97	109.80	360.68	66.36	264.68	134.27	465.31
สระบุรี	3.92	53.02	363.22	89.38	505.62	53.02	363.22	109.30	525.54
สุพรรณบุรี	2.42	42.08	272.14	144.74	458.96	57.03	336.78	176.99	570.80
ค่าเฉลี่ยทั่วประเทศ	-	46.34	238.57	134.09	419.00	94.42	275.86	163.97	534.24
ค่าเฉลี่ยทั่วประเทศ WF รวมในฤดูกลางและนอกฤดูกลาง						476.62			

ข้อมูลตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ย WF รวมทั้งหมดทั้งประเทศของการปลูกมะเขือเทศในฤดูกลาง (419.00 ลบ.ม.ต่อตัน) มีค่าน้อยกว่าการปลูกนอกฤดูกลาง (534.24 ลบ.ม.ต่อตัน) เมื่อพิจารณาารายภาคของการปลูกในฤดูกลางพบว่าจังหวัดในภาคเหนือที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ อุทัยธานี (818.32 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ แม่ฮ่องสอน (244.50 ลบ.ม.ต่อตัน) จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ อำนาจเจริญ (756.99 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ หนองคาย (246.51 ลบ.ม.ต่อตัน) จังหวัดในภาคกลางและตะวันตกที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ ชัยนาท (547.38 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ นครปฐม (353.85 ลบ.ม.ต่อตัน) ส่วนผลการศึกษาของการปลูกนอกฤดูกลางพบว่า จังหวัดในภาคเหนือที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ อุทัยธานี (1,003.83 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ แม่ฮ่องสอน (362.15 ลบ.ม.ต่อตัน) จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ อำนาจเจริญ (876.58 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ บึงกาฬ (292.84 ลบ.ม.ต่อตัน) จังหวัดในภาคกลางและตะวันตกที่มีค่า WF รวมทั้งหมดมากที่สุดคือ ชัยนาท (724.43 ลบ.ม.ต่อตัน) และจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ นครปฐม (454.34 ลบ.ม.ต่อตัน) ซึ่งจังหวัดที่มีค่าอัตราการฟุ่ตพริ่นท์มากที่สุด เช่น อุทัยธานี และอำนาจเจริญ จะพบว่ามีค่าผลผลิตมะเขือเทศ (ตันต่อไร่) ในปริมาณที่น้อยมากในขณะที่ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลบ.ม.ต่อไร่) ตามตารางที่ 1 มีค่าสูงมากจึงส่งผลให้ค่าอัตราการฟุ่ตพริ่นท์ (ลบ.ม.ต่อตัน) มีค่าสูงมากตามไปด้วย ดังนั้นหากมีการส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศในปริมาณที่สูงขึ้นจะสามารถลดค่าอัตราการฟุ่ตพริ่นท์ลงได้

ค่าอัตราการฟุ่ตพริ่นท์ที่จำแนกรายประเภทพบว่า วอเตอร์ฟุ่ตพริ่นท์สีน้ำเงินมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสีเทา และสีเขียว ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปลูกมะเขือเทศของประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินมากที่สุด รองลงมาคือน้ำที่ใช้ในการเจือจางมลสารหรือน้ำเสียที่เกิดจากการเพาะปลูกแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ปริมาณของเสียคิดที่ร้อยละ 10 ของการใช้น้ำในโตรเจนทั้งหมด) เพื่อให้แหล่งน้ำนั้นมีค่ามลสารไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด การศึกษาค้นคว้านี้เทียบค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ที่ได้กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในหน่วยไนโตรเจนที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางมลสารที่เข้มข้นที่สุดคือปุ๋ยไนโตรเจนจะถือว่าปริมาณน้ำที่สามารถเจือจางมลสารชนิดอื่นคือปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไปพร้อมกันด้วย และสุดท้ายมีการใช้น้ำฝนในปริมาณน้อยที่สุด



3. ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสด

การประเมินปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563 จำนวนตามสมการที่ 6, 7 และ 8 โดยค่าตัวแปรพหุคูณทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ใช้ค่าเฉลี่ยตัวแปรพหุคูณทั้งหมดของการปลูกในฤดูกลางและนอกฤดูกลาง (476.62 ลบ.ม.ต่อตัน) เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากข้อมูลปริมาณการส่งออกมะเขือเทศสด [7] เป็นข้อมูลการส่งออกทั้งหมดทั้งประเทศซึ่งไม่สามารถคำนวณแยกการส่งออกมะเขือเทศสดจากการปลูกในฤดูกลางหรือนอกฤดูกลางได้ ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออก (VW_{export}) และปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการนำเข้ามะเขือเทศสดแสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณการส่งออกและปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563

ประเทศ	ปริมาณการส่งออก (ตันต่อปี)	VW_{export} (ลบ.ม.ต่อปี)
กัมพูชา	55.07	26,247.59
มาเลเซีย	234.98	111,994.81
ลาว	83.92	39,996.72
สิงคโปร์	340.25	162,168.84
ฮ่องกง	3.33	1,585.25
เมียนมาร์	319.93	152,486.74
รวม	1,037.48	494,479.95

ข้อมูลตารางที่ 3 ประเทศไทยส่งออกมะเขือเทศสดทั้งสิ้น 1,037.48 ตัน โดยส่งไปยังประเทศสิงคโปร์ มากที่สุด (340.25 ตันต่อปี) รองลงมาคือเมียนมาร์ (319.93 ตันต่อปี) และมาเลเซีย (234.98 ตันต่อปี) ตามลำดับ ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการส่งออกมะเขือเทศสดพบว่ามีค่าทั้งหมดเท่ากับ 494,479.95 ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์นี้ได้ไหลออกไปยังประเทศสิงคโปร์เท่ากับ 162,168.84 ลบ.ม.ต่อปี ประเทศเมียนมาร์เท่ากับ 152,486.74 ลบ.ม.ต่อปี และประเทศมาเลเซียเท่ากับ 111,994.81 ลบ.ม.ต่อปี

ตารางที่ 4 ปริมาณการนำเข้าและปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการนำเข้ามะเขือเทศสดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563

ประเทศ	ปริมาณการนำเข้า (ตันต่อปี)	VW_{import} (ลบ.ม.ต่อปี)
นิวซีแลนด์	10.43	4,970.69
สาธารณรัฐประชาชนจีน	683.60	325,816.65
รวม	694.03	330,787.34

ข้อมูลตารางที่ 4 ประเทศไทยนำเข้ามะเขือเทศสดทั้งสิ้น 694.03 ตัน โดยนำเข้าจากประเทศจีน (683.60 ตันต่อปี) และประเทศนิวซีแลนด์ (10.43 ตันต่อปี) ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ของการนำเข้ามะเขือเทศสดเท่ากับ 330,787.34 ลบ.ม.ต่อปี ดังนั้นปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์สุทธิที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดมีค่าเท่ากับ 163,692.61 ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงการส่งออกมะเขือเทศสดของประเทศไทยเกิดการไหลของน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ออกนอกประเทศพร้อมกับการส่งออก โดยน้ำถือเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าต่อประชาชนในประเทศ หากในปีที่ประเทศผู้ส่งออกประสบภัยแล้งหรือมีปริมาณน้ำใช้ภายในประเทศน้อยอาจจำเป็นต้องวางแผนการผลิตสินค้าทางการเกษตรเพื่อการส่งออกในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อการบริโภคน้ำภายในประเทศ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การปลูกมะเขือเทศของประเทศไทยปี พ.ศ. 2563 พบว่าค่าเฉลี่ยความต้องการใช้น้ำของพืชรวมทั้งหมดของการปลูกในฤดูกลาง (727.75 ลบ.ม.ต่อไร่) มีค่าน้อยกว่าการปลูกนอกฤดูกลาง (954.67 ลบ.ม.ต่อไร่) โดยการปลูกในฤดูกลางจังหวัดที่มีค่า



น้อยที่สุดคือ แม่ฮ่องสอน (512.96 ลบ.ม.ต่อไร่) รองลงมาคือ ลำปาง (516.96 ลบ.ม.ต่อไร่) ลำพูน (516.96 ลบ.ม.ต่อไร่) และ เชียงใหม่ (560.80 ลบ.ม.ต่อไร่) ตามลำดับ การปลูกนอกฤดูกาลจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ เพชรบูรณ์ (808.32 ลบ.ม.ต่อไร่) รองลงมาคือ สระบุรี (819 ลบ.ม.ต่อไร่) ลำปาง (841.28 ลบ.ม.ต่อไร่) และแม่ฮ่องสอน (850.24 ลบ.ม.ต่อไร่) ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของเครื่องฟุ้งพินท์รวมทั้งหมดของการปลูกมะเขือเทศพบว่าการปลูกในฤดูกาล (419.00 ลบ.ม.ต่อตัน) มีค่าน้อยกว่า การปลูกนอกฤดูกาล (534.24 ลบ.ม.ต่อตัน) โดยการปลูกในฤดูกาลจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดของคือ แม่ฮ่องสอน (244.50 ลบ.ม.ต่อตัน) รองลงมาได้แก่ หนองคาย (246.51 ลบ.ม.ต่อตัน) สกลนคร (251.91 ลบ.ม.ต่อตัน) และตาก (252.51 ลบ.ม.ต่อตัน) ตามลำดับ การปลูกนอกฤดูกาลจังหวัดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ บึงกาฬ (292.84 ลบ.ม.ต่อตัน) รองลงมาคือ สกลนคร (322.35 ลบ.ม.ต่อตัน) นครพนม (323.30 ลบ.ม.ต่อตัน) และหนองคาย (324.48 ลบ.ม.ต่อตัน) ตามลำดับ

ความต้องการใช้น้ำของพืชจำแนกรายประเภททั้งการปลูกในฤดูกาลและนอกฤดูกาลพบว่า น้ำสีน้ำเงินมีค่ามากกว่า สีเขียว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปลูกมะเขือเทศจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในปริมาณที่มากกว่า การใช้น้ำฝน และช่วงเวลาปลูกมะเขือเทศเป็นช่วงที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำฝนในปริมาณที่น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของ พืชจึงจำเป็นต้องได้รับน้ำจากระบบชลประทานหรือการสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้ามาในแปลงปลูกเพื่อให้มะเขือเทศ เจริญเติบโตได้ตามปกติโดยไม่เกิดการเหี่ยวเฉา และสิ่งสำคัญคือการให้น้ำแก่พืชในปริมาณที่มากกว่าค่าความต้องการใช้น้ำของ พืชอาจเป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนของเครื่องฟุ้งพินท์จำแนกรายประเภททั้งการปลูกในฤดูกาลและนอกฤดูกาล พบว่าเครื่องฟุ้งพินท์สีน้ำเงินมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สีเทา และสีเขียว ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความ ต้องการใช้น้ำของพืชที่พบว่าสีน้ำเงินมีค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการปลูกมะเขือเทศอาจต้องมีค่าใช้จ่ายจากการสูบน้ำและ นำน้ำจากระบบชลประทานหรือจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินเข้ามาในแปลงปลูกจึงเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตได้ รวมถึง การใช้น้ำจากแหล่งน้ำสีน้ำเงินในปริมาณมากอาจส่งผลกระทบต่อการจัดสรรปันส่วนน้ำอย่างเป็นธรรมเพื่อการเกษตรสำหรับพืชชนิด อื่นๆ ที่ปลูกในช่วงเวลาเดียวกันได้ ส่วนปริมาณน้ำสีเทาพบว่าการปลูกในฤดูกาล (134.09 ลบ.ม.ต่อตัน) มีค่าน้อยกว่าการปลูก นอกฤดูกาล (163.97 ลบ.ม.ต่อตัน) เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่น้อยกว่า และการศึกษาครั้งนี้เป็นการปลูก มะเขือเทศบนดินร่วนปนทรายซึ่งเป็นตัวแทนชนิดของดินทั่วประเทศ ทั้งนี้การปลูกมะเขือเทศสามารถปลูกบนดินชนิดอื่นได้ เช่น ดินร่วนปนดินเหนียว ดังนั้นพื้นที่เพาะปลูกที่เป็นดินร่วนปนดินเหนียวจึงมีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่แตกต่างและส่งผลให้ ค่าของเครื่องฟุ้งพินท์สีเทาแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ได้

จังหวัดที่มีค่าของเครื่องฟุ้งพินท์รวมทั้งหมดน้อยที่สุด เช่น แม่ฮ่องสอน หนองคาย สกลนคร และตาก ควรได้รับการ ส่งเสริมให้มีการปลูกมะเขือเทศในฤดูกาลเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับผลผลิตที่เกิดขึ้นจึงเกิดความ คุ่มค่าทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ หรืออาจพิจารณาร่วมเลือกส่งเสริมการปลูกในพื้นที่ที่มีการใช้น้ำสีน้ำเงิน น้อยเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยจังหวัดที่มีค่าของเครื่องฟุ้งพินท์สีน้ำเงินน้อยที่สุด คือได้แก่ แม่ฮ่องสอน (90.11 ลบ.ม.ต่อตัน) รองลงมาคือลำปาง (125.67 ลบ.ม.ต่อตัน) เชียงใหม่ (131.04 ลบ.ม.ต่อตัน) และ สกลนคร (134.18 ลบ.ม.ต่อตัน) นอกจากนี้ กรุง สีตะธนี [22] ได้กล่าวว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกมะเขือเทศให้ได้ผลผลิต ที่ดีควรปลูกบนพื้นที่สูงและมีอากาศเย็นโดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับจากผล การศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าจังหวัดที่มีค่าของเครื่องฟุ้งพินท์น้อย (แม่ฮ่องสอน หนองคาย สกลนคร และตาก) เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่สูง และมีอากาศค่อนข้างเย็นจึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่จะได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกมะเขือเทศ และธงชัย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ [23] ได้กล่าวถึงการศึกษาที่จะช่วยลดค่าของเครื่องฟุ้งพินท์ลงได้นั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มผลผลิต (หน่วย ต้นต่อไร่) ให้สูงมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำ (หน่วย ลบ.ม.ต่อตัน) ลดลงได้ ส่วนการปลูกมะเขือเทศนอกฤดูกาลนั้นสามารถ กระทำได้โดยพิจารณาส่งเสริมให้ปลูกในจังหวัดที่มีค่าของเครื่องฟุ้งพินท์นอกฤดูกาลน้อย เช่น บึงกาฬ สกลนคร นครพนม และ หนองคาย เป็นต้น

ค่าของเครื่องฟุ้งพินท์ของการปลูกมะเขือเทศในแต่ละจังหวัดมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากในแต่ละพื้นที่มีสภาพอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ความยาวนานของแสงแดด) ปริมาณน้ำฝน และผลผลิตต่อไร่ที่แตกต่างกัน และผลการศึกษา

ค่าวอเตอร์พวพรีนธ์ของการปลูกมะเขือเทศในต่างประเทศพบว่าบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำ Pinios ตอนกลางของประเทศกรีซ [24] มีค่าวอเตอร์พวพรีนธ์อยู่ระหว่าง 37-131 ลบ.ม.ต่อตัน รวมไปถึงผลการศึกษาศึกษาการปลูกมะเขือเทศของประเทศออสเตรเลีย [25] มีค่าวอเตอร์พวพรีนธ์เท่ากับ 212.24 ลบ.ม.ต่อตัน ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของประเทศไทยที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 476.62 ลบ.ม.ต่อตัน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของทวีปที่มีผลต่อสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ชนิดและคุณภาพของดินปลูกที่แตกต่างกันจึงมีผลให้ค่าวอเตอร์พวพรีนธ์แตกต่างกันไปด้วย

ประเทศไทยปลูกมะเขือเทศเพื่อบริโภคภายในประเทศเป็นหลัก หากเหลือจากการบริโภคจึงนำไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ซึ่งพบว่ามี การส่งออกมะเขือเทศสดในปริมาณไม่สูงมากนักและส่งออกไปยังประเทศเพื่อนบ้านเป็นหลัก ดังนั้น ปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์สุทธิที่สัมพันธ์กับการส่งออกมะเขือเทศสดจึงยังมีค่าไม่สูงมากนัก (163,692.61 ลบ.ม./ปี) ทั้งนี้การประเมินปริมาณน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ยังแสดงถึงการใช้น้ำเพื่อการผลิตสินค้าและบริการเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศ เกิดภาพการไหลของน้ำออกจากประเทศผู้ผลิตสินค้าไปยังประเทศผู้นำเข้าสินค้า หากน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ไหลไปยังประเทศที่ขาดแคลนน้ำใช้ก็จะเกิดผลดีต่อประเทศผู้นำเข้าสินค้าซึ่งเป็นการลดการใช้น้ำเพื่อการผลิตของตน สำหรับประเทศผู้ส่งออก จำเป็นต้องมีการวางแผนปริมาณการส่งออกให้เหมาะสม เนื่องจากการไหลของน้ำเสมือนผลิตภัณฑ์ออกนอกประเทศในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์น้ำของประชาชนภายในประเทศผู้ส่งออกได้โดยเฉพาะในปีที่เกิดการขาดแคลนน้ำหรือภัยแล้ง การประเมินวอเตอร์พวพรีนธ์ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการจัดสรรทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมและเป็นธรรม เกิดประโยชน์ต่อการวางแผนการจําจัดรูปแบบการเพาะปลูกพืชที่หลากหลายชนิดในพื้นที่เดียวกัน และในเวลาเดียวกันได้อย่างเหมาะสม การเลือกชนิดพืชที่ปลูกบนพื้นที่เขตรองรับทั้งน้ำฝนและน้ำชลประทานหรือเขตรองรับเฉพาะน้ำฝนได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้ผลผลิตที่ดี คําค่าทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และด้านทรัพยากรธรรมชาติ และไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ในภาคส่วนอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

1. Sainju UM, Dris R, Singh B. Mineral nutrition of tomato. J Food Agric Environ 2003;1(2):176-83.
2. วันดี ทาตระกูล, วิภา หอมหวล, สนธยา นุ่มท้วม, รังสรรค์ เจริญสุข. การพัฒนาวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานจากกากมะเขือเทศและมันสำปะหลัง. พืชญโลก: คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2557.
3. Haraira A, Mazhar HS, Ahmad A, Khalid MN, Tariq M, Nazir S, et al. Enhancing health benefits of tomato by increasing its antioxidant contents through different techniques: A review. Adv Life Sci 2022;9(2):131-42.
4. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Crops and livestock products. [Internet]. 2020 [cited 2024 Feb 23]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
5. กรมส่งเสริมการเกษตร. มะเขือเทศ ปี พ.ศ. 2563. [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 23 ก.พ. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2565/23potato.pdf>
6. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. มะเขือเทศ: ผลผลิต พื้นที่ปลูก ปี พ.ศ. 2563. [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 3 พ.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/tomato%2063.pdf>



7. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. มะเขือเทศ: ฐานข้อมูลปริมาณการส่งออกและนำเข้า ปีพ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร; 2565.
8. กรุง สีตะธนี. การปลูกมะเขือเทศ: เอกสารเผยแพร่ อันดับที่ 70. นครปฐม: สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2543.
9. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3. เทคโนโลยีการผลิตมะเขือเทศแบบผสมผสาน. [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 26 ก.พ. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.doa.go.th/share/showthread.php?tid=2440>
10. สมภพ ฐิตะวสันต์. การปลูกมะเขือเทศนอกฤดู. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2526;1:40-9.
11. มนัสวี พานิชนอก, ภัทรนัย ไชยพรม. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะเขือเทศโรงงานในจังหวัดลำปาง. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา. ชลบุรี; 2563. หน้า 61-70.
12. Hoekstra AJ, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen M. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London: Earthscan; 2011.
13. มูลนิธิโครงการหลวง. คู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูง. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน); 2557.
14. Land and Water Development. Software CropWat 8.0. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. 2023 [cited 2023 Mar 7]. Available from: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
15. กรมอุตุนิยมวิทยา. ฐานข้อมูลสภาพอากาศและปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ: กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม; 2023.
16. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Crop evapotranspiration, irrigation and drainage paper, No. 56. Rome: Development and Management Service; 2006.
17. สมปอง นิลพันธ์. การศึกษาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ของชุดดินต่าง ๆ ในประเทศไทย เพื่อกำหนดระยะเวลาและปริมาณการให้น้ำแก่พืช. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน; 2553.
18. ทิพย์ภา สุขุมลชาติ, อติชัย พรพรมหมินทร์, สุรัชย์ ลิขวัฒนาการ. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของชาวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มช. 2556;40(1):67-78.
19. Franke NA, Boyacioglu H, Hoekstra AY. Grey water footprint accounting - tier 1 supporting guidelines: Value of water research report series, No. 65. Delft: UNESCO-IHE; 2013.
20. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา [อินเทอร์เน็ต]. 2537 [เข้าถึงเมื่อ 3 พ.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/1650004.pdf>
21. Mekonnen MM, Hoekstra AY. (2011). The green, blue, and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrol Earth Syst Sc 2011;15(5):1577-2011.
22. กรุง สีตะธนี. สภาพแวดล้อมและการปลูกมะเขือเทศในฤดูกาลต่างๆ. นครปฐม: สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2554.
23. ธงไชย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และผลิตภัณฑ์ยางพารา. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2560.
24. Evangelou E, Tsadilas C, Tserlikakis N, Tsiouras A, Kyritsis A. Water footprint of industrial tomato cultivations in the Pinios river basin: soil properties interactions. Water 2016;8(11):515
25. Iqbal H, Imteaz MA, Khastagir A. Water footprint: applying the water footprint assessment method to Australian agriculture. J Sci Food Agric 2021;101(10):4090-8.