

การจัดการใบอ้อยเพื่อลดฝุ่นละอองขนาดเล็กและส่งเสริมการผลิตอ้อยอย่างยั่งยืน Sugarcane straw management to mitigate particulate matter and encourage sustainable sugarcane production

วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์^{1, 2, 3*}

Wanwipa Kaewpradit^{1, 2, 3*}

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

² ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

³ โครงการการจัดการธาตุอาหารเพื่อการผลิตอ้อยอย่างยั่งยืนภายใต้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

³ Nutrition Management for Sustainable Sugarcane Production under Climate Change Project, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

* Corresponding author: wanwka@gmail.com

Received: date; May 7, 2020 Accepted: date; August 13, 2020 Published: date

บทคัดย่อ: ประเทศไทยประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศอย่างรุนแรงในบางเวลา เนื่องจากปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter; PM) ได้แก่ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 (PM₁₀) และ 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) เพิ่มสูงขึ้น และหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กคือการเผาอ้อยซึ่งเป็นการเผาไหม้ชีวมวลในที่โล่งแจ้ง อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักชนิดหนึ่งของประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกทั่วประเทศสูงกว่า 10 ล้านไร่ ในฤดูเก็บเกี่ยวที่ผ่านมาพบว่ากว่า 50% ของปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงานน้ำตาลเป็นอ้อยไฟไหม้ซึ่งถูกเผาที่ระยะเก็บเกี่ยว การเผานอ้อยนั้นพบว่าทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กมีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก ผลึกของซิลิเกตที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนถูกระบุว่าเป็นสาเหตุของมะเร็งปอด การรณรงค์เพื่อลดการเผาอ้อยจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพของประชาชนส่วนใหญ่ ประเทศบราซิลซึ่งผลิตอ้อยได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกประสบความสำเร็จในการลดพื้นที่เผาอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวจากการใช้มาตรการสีเขียว ผ่านการส่งเสริมการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อย อย่างไรก็ตามกลับพบว่าผลผลิตอ้อยต่อพื้นที่เริ่มลดลงหลังการใช้มาตรการดังกล่าว 4 ปี สาเหตุหนึ่งอาจเพราะดินแน่นที่บหลังการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรขนาดใหญ่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นหากประเทศไทยต้องการรณรงค์ลดการเผาอ้อยโดยใช้มาตรการสีเขียวจึงควรดำเนินการควบคู่กับการปรับปรุงบำรุงดิน อาจเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสามารถบรรเทาหมอกพิษทางอากาศ ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของระบบการปลูกอ้อยเพื่อการผลิตอ้อยของประเทศไทยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การไถกลบใบอ้อย; ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน; ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน; ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก; มาตรการสีเขียว

ABSTRACT: There has been a severe air pollution in Thailand due to a rise of particulate matter (PM) i.e. PM₁₀ (particulate matter nominally <10 mm in diameter) and PM_{2.5} (particulate matter nominally <2.5 mm in diameter) concentration. One of the main sources of PM is Biomass burning under outdoor condition which happens considerably in sugarcane field at a harvesting period as sugarcane burning is the farmer preferred method to get rid of the leaves before sugarcane cutting. Sugarcane is an importance economic crop of Thailand, where the cultivated area is approximately 10 million rai. However, more than half of burned sugarcane translocated to sugar mill in last harvested season. Previous study revealed that silicate-dominated particle matter was found in sugarcane burning case and silicate-dominated PM (<4 mm aerodynamic diameter) was identified as a cause of lung cancer. Hence, campaign to reduce sugarcane burning is important to the health of Thai people. Brazil which is the biggest sugarcane producer in the world is an example of country who was able to lower sugarcane burning by adopting a green protocol to encourage farmers to use more harvesting machine. After adopting green protocol for 4 years, however, the average yield per area is decreasing. Therefore, Thailand should adopt a green protocol together with improve soil organic matter. This practice should be an alternative promising practice to mitigate sugarcane burning, air pollution encourages fertility of sugarcane system for environmentally friendly and sustainable sugarcane production of Thailand.

Keywords: sugarcane straw incorporation; PM₁₀; PM_{2.5}; silicate-dominated particle matter; green protocol

บทนำ

มลพิษทางอากาศซึ่งเกิดจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter; PM) ที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นวิกฤตสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ในปัจจุบันฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ถูกกำหนดว่าอันตรายต่อสุขภาพนั้นคือฝุ่นละอองขนาดเล็กขนาดเล็กลงกว่า 10 (PM₁₀) และ 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) PM_{2.5} ซึ่งฝุ่นทั้งสองชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับโรคร้ายแรงหลายชนิดได้แก่ โรคหลอดเลือด โรคหัวใจ รวมทั้งถูกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 ในการเกิดมะเร็งปอด (กรมอนามัย, 2558) แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม การเผาป่าและเศษซากวัสดุทางการเกษตร การเผาอ้อย จึงเป็นอีกหนึ่งแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ประเทศไทยนั้นมีพื้นที่ปลูกอ้อยกว่า 10 ล้านไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) การเผาอ้อยจึงอาจมีผลต่อมลพิษทางอากาศและส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชนในวงกว้าง โดยพบว่าระหว่างการเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยวทำให้เกิด PM₁₀ 1807 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Le Blond et al., 2017) นอกจากนี้การเผาอ้อยยังเป็นอีกสาเหตุที่สำคัญซึ่งทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก (silicate-dominated particle) และผลึกของซิลิเกตที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนนั้น พบว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากเป็นสาเหตุของมะเร็งปอด (Chekaway et al., 1999) และการเผาอ้อยยังปลดปล่อยสารตั้งต้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide; CO) สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ และก๊าซไนโตรเจนต่างๆ (N₂O, NO_x) อีกด้วย (Levine, 2000) บทความปริทรรศน์นี้จึงถูกเรียบเรียงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความเข้าใจถึงปัญหา สาเหตุของการเผาอ้อย ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยตลอดจนการศึกษาวิธีการลดพื้นที่เผาอ้อยจากประเทศที่ประสบความสำเร็จมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมภายในประเทศ เพื่อให้เกิดแนวทางป้องกันและแก้ไขมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาอ้อยในประเทศไทยอย่างยั่งยืน ขอบเขตของบทความนั้นประกอบด้วยสาเหตุของการเผาอ้อย มลภาวะทาง

อากาศ ผลกระทบของการเผาอ้อยต่อสมบัติบางประการของดินและผลผลิตอ้อย มาตรการลดการเผาอ้อยของประเทศไทยและ มาตรการสีเขียวของประเทศบราซิล รวมถึงแนวทางในการจัดการไบอ้อยเพื่อลดการเผาในระบบการปลูกอ้อย

การผลิตอ้อยและสาเหตุการเผาอ้อยของประเทศไทย

ประเทศไทยในปีการผลิต 2562/63 ผลิตอ้อยสดได้ปริมาณ 75 ล้านตัน ลดลงจากปีการผลิต 2561/62 ที่ผลิตอ้อย ได้สูงถึง 135 ล้านตัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่การผลิตอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากสามารถผลิตอ้อย ได้สูงถึง 45 % ของปริมาณอ้อยทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) อย่างไรก็ตามจาก ปริมาณอ้อยทั้งประเทศนั้นพบว่า 50% เป็นอ้อยที่ผ่านการเผาหรืออ้อยไฟไหม้ ซึ่งการเผาอ้อยของเกษตรกรนั้นมีอยู่ 3 ประเภทได้แก่ (1) การเผาไบอ้อยก่อนการเตรียมดิน เป็นการกำจัดเศษซากอ้อยและวัชพืช เพื่อให้สะดวกในการเตรียมดินปลูก (2) การเผาไบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว (Figure 1) เกิดจากปัญหาการขาดแคลนแรงงาน เกษตรกรจึงนิยมเผาไบอ้อย เพื่อให้ แรงงานตัดอ้อยได้รวดเร็วขึ้นเพราะไม่ต้องเสียเวลาในการลอกกาบไบและ (3) การเผาไบอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว เกษตรกรเผา เศษซากไบอ้อยที่คลุมอยู่บนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันไฟไหม้อ้อยต่อหลังจากที่มีหน่องอกแล้ว และทำให้สามารถใส่ปุ๋ย ได้สะดวกยิ่งขึ้น (ละอองดาวและรัชชัย, 2548) ปริมาณอ้อยไฟไหม้นั้นสะท้อนการเผาอ้อยในประเภทที่ 2 อย่างไรก็ตามการเผา ประเภทที่ 1 และ 3 ย่อมก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเช่นเดียวกัน



Figure 1 Pre-harvested sugarcane burning is one of the main sources of PM

มลภาวะทางอากาศ: ฝุ่นละอองขนาดเล็กและฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) และองค์การระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยโรคมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer: IARC) ได้ระบุว่ามลพิษทางอากาศเป็นสารก่อมะเร็งชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นสาเหตุ ของมะเร็งปอด (กรมอนามัย, 2558) แหล่งของมลพิษทางอากาศนั้นรวมถึงฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM) โดยเฉพาะ PM_{2.5} และ PM₁₀ หากความเข้มข้นของ PM_{2.5} เพิ่มสูงขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบรายงานอัตราการเสียชีวิตด้วยโรคต่างๆ ได้แก่ โรคมะเร็งทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นประมาณ 10% (Kim et al., 2018) ในขณะที่ ความเข้มข้นของ PM₁₀ เพิ่มสูงขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้ประชากรมีอายุขัยเฉลี่ยสั้นลงมากกว่าครึ่งปี (Ebenstein et al., 2017) สมาคมด้านโรคหัวใจของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Heart Association) ออกประกาศว่าการ

สัมผัส $PM_{2.5}$ ในระยะสั้นและระยะยาว สามารถทำให้เกิดโรคหัวใจและเกิดการเสียชีวิตจากโรคหัวใจได้มากขึ้นตามระดับความเข้มข้นและปริมาณของ $PM_{2.5}$ ที่สัมผัส (Brook et al., 2010) โดยพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เพิ่มขึ้นนั้นยังมีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะหัวใจขาดเลือด หัวใจล้มเหลว ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ และโรคหลอดเลือดสมอง การเผาอ้อยเป็นอีกหนึ่งแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยพบวาระหว่างการเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยวทำให้เกิด PM_{10} 1807 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Le Blond et al., 2017) ซึ่งค่ามาตรฐานรายปีของ PM_{10} ของประเทศไทยอยู่ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกซึ่งอยู่ที่ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) นอกจากนี้การเผาอ้อยยังปลดปล่อยสารตั้งต้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide; CO) สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ และก๊าซไนโตรเจนต่างๆ (Levine, 2000) การศึกษาการเผาอ้อยของประเทศไทยยังพบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) อีกด้วย (Sompoon et al., 2014)

อ้อยเป็นพืชที่มีซิลิคอน (Si) ในปริมาณสูง อ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวมีซิลิคอนปริมาณ 379 กิโลกรัมซิลิคอนต่อเฮกตาร์ ในขณะที่พบโพแทสเซียมปริมาณ 362 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อเฮกตาร์และไนโตรเจนปริมาณ 140 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ (Samuels, 1969) เห็นได้ว่าอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวมีปริมาณซิลิคอนสูงกว่าธัญพืชหลักทั้ง 2 ชนิด ซิลิคอนเมื่อถูกอ้อยดูดใช้แล้วมักสะสมอยู่เซลล์พื้นผิว (epidermis cell) ซึ่งเรียกว่าชั้นซิลิกา (Silica layer) มีส่วนช่วยให้อ้อยลดการสูญเสียน้ำ ส่งเสริมความแข็งแรง ต้านทานต่อการหักล้ม รวมทั้งการเข้าทำลายของเชื้อราและแมลงต่างๆ นอกจากนี้เมื่ออ้อยคายน้ำที่ปากใบ (stomata) ยังเกิดการสะสมซิลิคอนที่เซลล์คุม (guard cell) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของปากใบ การสะสมซิลิคอนที่ปลายทางของการลำเลียงน้ำ ซิลิคอนจะอยู่ในรูปสัณฐานของซิลิคอนที่เรียกว่าฟิโวลิธ (phytolith; แร่ธาตุอาหารในรูปอนุภาคขนาดเล็ก) หากอ้อยมีการเจริญเติบโตปกติมักพบความเข้มข้นของซิลิคอนในส่วนของใบและกาบใบประมาณ 2.5% ที่ระยะเก็บเกี่ยว (Ayles, 1966) ดังนั้นหากอ้อยมีปริมาณใบ 1 ตันต่อไร่ ย่อมมีซิลิคอนเป็นองค์ประกอบในใบดังกล่าวถึง 25 กิโลกรัมต่อไร่ที่ระยะเก็บเกี่ยว

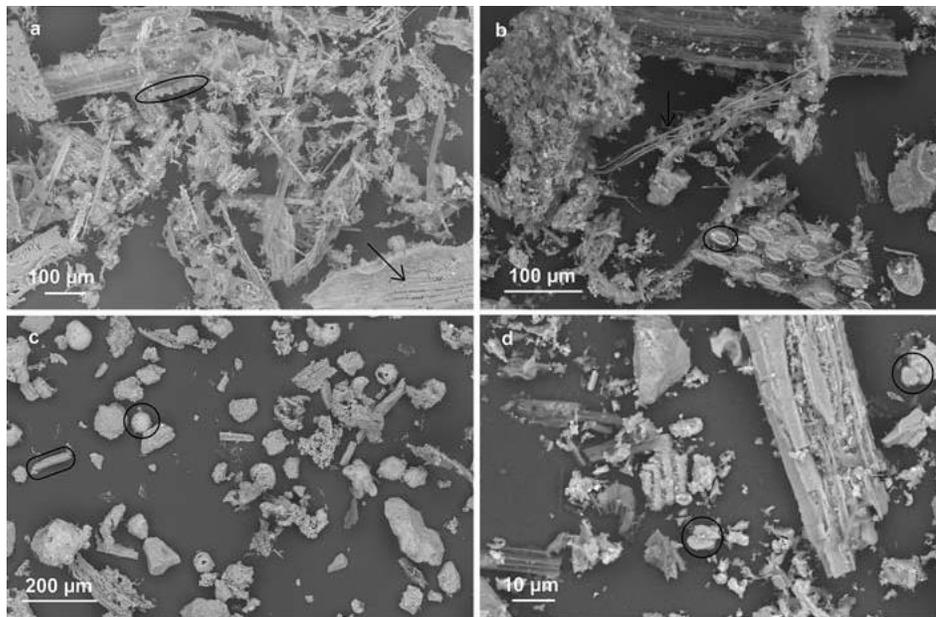


Figure 2 SEM (BSE) images of the ash samples a) silica trilobite phytoliths (circled) and elongated silica cells (arrow), (b) silica-edged stomata (circles) and carbonaceous fibre bundle (arrow), c) spherical silicate and prismatic silica particles (circled) and d) two phytoliths bodies (circled)

Source: Le Blond et al. (2010)

การเผาอ้อยซึ่งเป็นพืชที่สะสมซิลิโคนอยู่ในปริมาณมาก อาจเป็นกิจกรรมที่ทำให้ซิลิโคนที่สะสมอยู่ในอ้อยนั้นมีขนาดเล็กลงและสามารถกระจายในอากาศได้ สารประกอบของซิลิโคนที่มีแร่ธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบเรียกว่าซิลิเกต Le Blonde et al. (2008) รายงานว่าการเผาอ้อยนั้นส่งผลให้ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM) ที่เกิดขึ้นเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก (silicate-dominated particle) ดังแสดงใน **Figure 2** และผลึกของซิลิเกตที่มีขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนพบว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากเป็นสาเหตุของมะเร็งปอด (Chekaway et al., 1999) ในประเทศอินเดียพบว่าแรงงานที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเผาอ้อยมาเป็นเวลานานนั้นเจ็บป่วยเป็นมะเร็งปอด (Amre et al., 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าแรงงานในไร้อ้อยเขตชานเมืองป่วยเป็นมะเร็งเยื่อหุ้มปอด (mesothelioma) อีกด้วย (Le Blonde et al., 2010) ในประเทศบราซิลรายงานวาระหว่างฤดูเกี่ยวเก็บเกี่ยวอ้อย เด็กและผู้สูงอายุได้เข้ารับการรักษาโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 21.4 และ 31.03% ตามลำดับในพื้นที่ที่มีการเผาอ้อย (Cancado et al., 2006)

การเผาอ้อยส่งผลอย่างไรต่อสมบัติบางประการของดินและผลผลิตอ้อย

อ้อยเป็นพืชที่มีมวลชีวภาพต่อพื้นที่สูง ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อพื้นที่ของประเทศไทยประมาณ 64 ตันต่อเฮกตาร์หรือ 10.24 ตันต่อไร่ (FAOSTAT, 2016) ส่งผลให้อ้อยดูดใช้ธาตุอาหารจากดินในปริมาณสูงเช่นกัน อ้อยดูดใช้ธาตุอาหารสะสมอยู่ตามลำต้น ราก และใบโดยประมาณ 0.7-0.9 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อตันน้ำหนักสด 0.22-0.26 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อตันน้ำหนักสด 1.28 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อตันน้ำหนักสด (Barners, 1974) การศึกษาในประเทศไทยพบว่าหากอ้อยมีผลผลิตที่ 10 ตันต่อไร่จะดูดใช้ไนโตรเจน 11 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ฟอสฟอรัส 7.4 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่และโพแทสเซียม 21.4 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่ (อิทธิสุนทร, 2553) ในเศษซากใบอ้อยนั้นประกอบด้วยธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน 39- 72 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ฟอสฟอรัส 4- 23 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โพแทสเซียม 35- 173 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แคลเซียม 9- 81 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แมกนีเซียม 6- 26 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และกำมะถัน 7- 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (Oliveira et al., 2002; Hemwong et al., 2009; Meier et al., 2006) การเผาอ้อยส่งผลให้เศษซากใบอ้อยถูกทำลายและสูญเสียธาตุอาหารซึ่งเป็นองค์ประกอบดังกล่าวไป แปลงอ้อยที่ผ่านการเผาเปรียบเทียบกับดินในแปลงอ้อยที่ไม่ผ่านการเผาและดินป่าซึ่งไม่เคยผ่านการทำการเกษตรมาก่อน พบว่าดินแปลงอ้อยที่ผ่านการเผานั้นมีปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำกว่าดินจากแปลงอ้อยที่ไม่ผ่านการเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 1**) สอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย โดยวิชญ์ภาสและวรรณวิภา (2563) ได้ศึกษาอิทธิพลของการเผาอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อยปลูกและอ้อยตอหนึ่ง พบว่ากรรมวิธีที่ไม่เผาอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อยปลูกและอ้อยตอหนึ่งนั้นส่งผลให้ดินที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อยมีอินทรีย์วัตถุที่สูงกว่ากรรมวิธีที่มีการเผาใบอ้อยอย่างต่อเนื่องก่อนการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 1 Some chemical properties of soil under different sugarcane harvesting systems and native forest (reference), at a depth of 0–20 cm.

	pH	P	K	Ca	Mg
		mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³	
Sugarcane with burn	4.52 b	10.17 b	0.05 b	0.71 b	0.21 b
Sugarcane without burn	5.13 a	17.17 a	0.10 a	1.27 a	0.38 a
Native forest	4.01 c	5.09 c	0.04 c	0.44 c	0.14 b
CV (%)	0.32	28.99	29.10	25.03	29.77

Averages followed by different letters in the columns differed statistically in the Tukey test (p < 0.05)

Modified from: Souza et al. (2012)

อย่างไรก็ตามการคืนไนโตรเจนสู่ดินอาจส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน (N availability) เพราะใบอ้อย นั้นมีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) อยู่ระหว่าง 80-110:1 (Calcino et al., 2018) เนื่องจากใบอ้อยมี C:N ratio สูง จึงส่งผลให้อัตราการย่อยสลายของใบอ้อยค่อนข้างช้า ใบอ้อยที่ถูกวางคลุมแปลงเป็นระยะเวลา 120 วันพบว่ามีน้ำหนักแห้งลดลง เพียง 10% (Hemwong et al., 2008) ดังนั้นการจัดการใบอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยการไถกลบอาจสามารถเพิ่มการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาสู่ดินได้มากขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าดินแปลงที่ได้รับการไถกลบใบอ้อยปริมาณ 1 ตันต่อไร่ เป็นเวลา 8 เดือนหลังการไถกลบ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าแปลงที่ได้รับการไถกลบใบอ้อยวางคลุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (วิมล และวรรณวิภา, 2561) การศึกษาอิทธิพลของการเผาใบอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบกับการไถกลบใบอ้อย (ไม่เผา) ที่ประเทศอินเดียพบว่า การไถกลบใบอ้อยส่งผลให้ดินมีอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าดินจากแปลงที่เผาอ้อยทั้งอ้อยปลูก อ้อยต่อ 1 อ้อยต่อ 2 และอ้อยต่อ 3 นอกจากนี้อิทธิพลดังกล่าวยังทำให้ผลผลิตอ้อยต่อ 1 อ้อยต่อ 2 และอ้อยต่อ 3 ในกรรมวิธีที่มีการไถกลบใบอ้อยสูงกว่าอ้อยที่ได้รับการเผาอีกด้วย (Suma and Savitha, 2015) ดังนั้นการไถกลบใบอ้อยจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการจัดการใบอ้อยเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินและส่งเสริมผลผลิตภาพของอ้อย อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นที่ปลูกอ้อยโดยทั่วไปนั้นมีขนาดใหญ่ การใช้แรงงานคนในการไถกลบอาจไม่สอดคล้องกับการปฏิบัติ ดังนั้นเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อใช้ในการไถกลบใบอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงอาจเป็นอีกแนวทางที่สามารถส่งเสริมการใช้คืนธาตุอาหารจากใบอ้อยกลับลงสู่ดินและบรรเทาการเผาอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยว

มาตรการลดการเผาอ้อยในประเทศไทยและมาตรการสีเขียว (Green Protocol) ของประเทศบราซิล

มาตรการลดการเผาอ้อยในประเทศไทยนั้น สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2562) ร่วมกับรัฐบาล ผลักดัน 3 มาตรการการแก้ไขปัญหาการเผาอ้อย คือ มาตรการทางกฎหมายรับอ้อยไฟไหม้เข้าหีบไม่เกินร้อยละ 0-5 % ภายใน 3 ปี มาตรการสนับสนุนจากภาครัฐในการซื้อเครื่องจักรกลทางการเกษตร และมาตรการด้านการบริหารจัดการไร่อ้อยเพื่อเป็นต้นแบบการเก็บเกี่ยวและการขนส่งอ้อยเข้าโรงงานปลอดจากการเผาอ้อย โดยเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตอ้อยสะอาด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานโลก (Bonsucro) นอกจากนี้สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ได้จัดทำโครงการเกษตรกรปลอดการเผา zero burn เป็นการลดปัญหามลพิษทางอากาศ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร โดยรมรณรงค์ให้เกษตรกรเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการไม่เผาทำลายวัสดุทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวลดการเผา 100 % ภายใน 3 ปี ทำให้ปีการผลิต 2562/63 สัดส่วนของอ้อยผ่านการเผาที่เข้าโรงงานลดลงเหลือ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2561/62 ที่พบว่าอ้อยที่ส่งเข้าโรงงานน้ำตาลเป็นอ้อยที่ผ่านการเผากว่า 70% อย่างไรก็ตามสัดส่วนของอ้อยตัดสดนั้นยังมีน้อยกว่าเป้าหมายของทางรัฐบาลอยู่มาก

บราซิลเป็นประเทศผู้ผลิตอ้อยอันดับหนึ่งของโลก (FAOSTAT, 2018) ทั้งยังสามารถผลิตอ้อยต่อพื้นที่ได้สูงที่สุดด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ประเทศบราซิลยังประสบความสำเร็จในการลดพื้นที่อ้อยไฟไหม้ที่ระยะเก็บเกี่ยวจากการใช้รถตัดอ้อยทดแทนแรงงานคนตัด พบว่าพื้นที่การเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเผาก่อนเก็บเกี่ยวและใช้แรงงานคนตัดลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2007 ในขณะที่การเก็บเกี่ยวอ้อยสดแบบใช้รถตัดอ้อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Figure 3) ทั้งนี้เนื่องจากประเทศบราซิลได้ประกาศใช้มาตรการสีเขียว (Green Protocol) ซึ่งเป็นมาตรการจัดการในไร่อ้อยอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มาตรการดังกล่าวเริ่มขึ้นในปี 2007 โดยการร่วมมือของผู้ว่าการรัฐ São Paulo รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสิ่งแวดล้อมและสมาคมอุตสาหกรรมผลิตอ้อยแห่งบราซิล (The Brazilian Sugarcane Industry Association: UNICA) ได้ร่วมทำข้อตกลงของมาตรการเกี่ยวกับทางด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มาตรการสีเขียวได้ส่งเสริมการผลิตและอุตสาหกรรมอ้อยในรัฐดังกล่าวอย่างยั่งยืน (Chaddad, 2010) นอกจากนี้มาตรการดังกล่าวยังได้บรรจุแนวทางการจัดการในไร่อ้อย เช่นการอนุรักษ์ดินและน้ำ การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือน

กระจกและการใช้สารเคมีทางการเกษตรไว้อีกด้วย มาตรการสีเขียวคาดหวังให้เกษตรกรหยุดการเผาอ้อยในพื้นที่ที่สามารถใช้รถตัดอ้อยได้ภายในปี 2021 และในพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้รถตัดได้ภายในปี 2031 โดยที่มาตรการดังกล่าวยังส่งเสริมให้มีการใช้ไบโอดีเซลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวภาพในการผลิตไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectricity) เกิดเป็นพลังงานสะอาดจากไบโอดีเซลอีกด้วย การจัดการไบโอดีเซลโดยการคืนไบโอดีเซลบางส่วนลงสู่แปลงอาจเป็นแนวทางที่ส่งเสริมสถานะธาตุอาหารในดินและผลผลิตของอ้อยได้ การศึกษาอิทธิพลของการนำไบโอดีเซลออกจากแปลงบางส่วนต่อผลผลิตอ้อยในประเทศบราซิล โดยดำเนินการศึกษา 2 สถานที่ 2 ฤดูปลูก พบว่าการคืนไบโอดีเซลสู่แปลงเพียง 50% ของไบโอดีเซลที่ระเหยเก็บเกี่ยวส่งผลให้อ้อยต่อมามีผลผลิตสูงสุด (Lisboa et al., 2018) สอดคล้องกับงานทดลองของ de Aquino et al. (2017) ซึ่งทั้ง 2 งานทดลองนั้นมีไบโอดีเซลที่ระเหยเก็บเกี่ยวประมาณ 8-20 ตันต่อเฮกตาร์หรือ 1.28-3.2 ตันต่อไร่

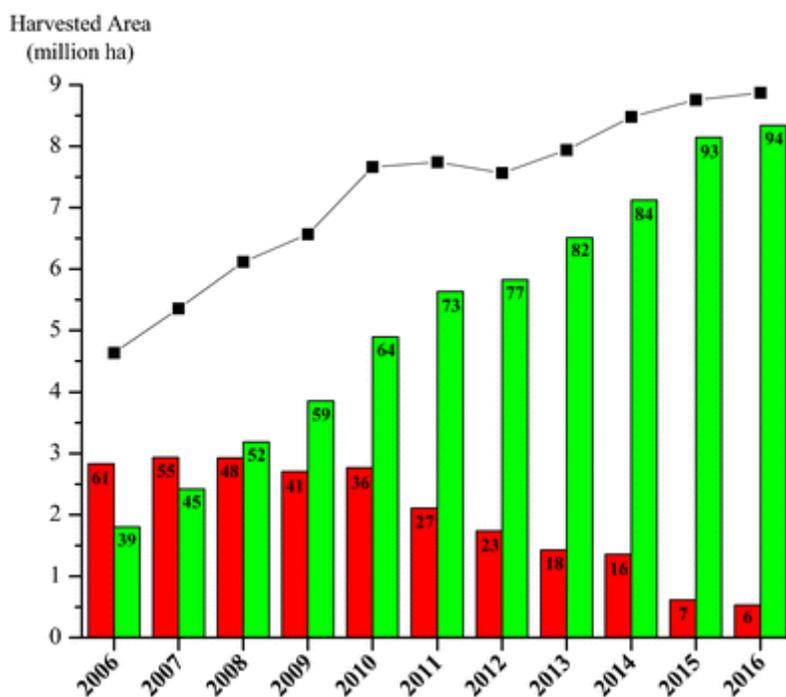


Figure 3 Total harvested area (black line) in south-central Brazil and evolution (in percentage) of the type of harvest during 2006–2016: manual burned (red bars) versus green mechanized (green bars)

Source: Bordonal et al (2018)

แม้ว่าประเทศบราซิลสามารถลดพื้นที่เผาอ้อยที่ระเหยเก็บเกี่ยวลงได้ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่กลับพบว่าผลผลิตต่อพื้นที่ลดลงตั้งแต่ปี 2011 (Figure 4) เป็นที่น่าสังเกตว่าอาจเกิดจากการใช้เครื่องจักรการเกษตรเข้าทำงานในแปลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ดินแน่นทึบประกอบกับการปรับปรุงบำรุงดินที่อาจไม่เพียงพอ แนวทางการลดความแน่นทึบของดินนั้นทำได้โดยการใช้เศษไบโอดีเซลคลุมแปลง ซึ่งสามารถลดความแน่นทึบของดินในแง่ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ที่ระดับ 20-40 เซนติเมตรได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินในแปลงที่ไม่มีไบโอดีเซลคลุมแปลง (Dalchiavon et al., 2013) นอกจากนี้การปลูกพืชปุ๋ยสด เช่น ปอเทืองและโสนแอฟริกันในช่วงแปลงว่างหลังรื้อตอปลูกอ้อยใหม่ หลังจากนั้นทิ้งเศษซากพืชปุ๋ยสดให้ย่อยสลายบนแปลงยังสามารถลดความหนาแน่นรวมของดินได้อีกด้วย (ปรีชา และคณะ, 2539) นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีการปลูกพืชปุ๋ยสดหรือข้าวไรในช่วงแปลงว่างก่อนปลูกอ้อยใหม่นั้นยังสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและส่งเสริมผลผลิตของอ้อยให้สูงขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย (Thawaro et al., 2017) อย่างไรก็ตามในประเทศไทย การส่งเสริมการใช้รถตัดอ้อยรวมทั้งเครื่องจักรกลเกษตรอื่นๆ ย่อมอยู่บนพื้นฐานการเข้าถึงเครื่องจักรกลทางการเกษตรของเกษตรกร ประกอบกับสภาพภูมิประเทศที่ความลาดชันและหน้าดินของแปลงอ้อยไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเครื่องจักรกลทางการเกษตร นอกจากนี้การพิจารณาใช้เครื่องมือดังกล่าว เกษตรกรควรวางแผนตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมแปลง เพื่อให้เครื่องจักรกลทางการเกษตรสามารถเข้าทำงานได้ระหว่างระยะห่างของร่องอ้อย หากรัฐบาลต้องการส่งเสริมควรมีมาตรการสนับสนุนการเข้าถึงรถตัดอ้อย อย่างไรก็ตามความอุดมสมบูรณ์ในแง่ของอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกอ้อยส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ต่ำมาก การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินควบคู่ไปนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากเพื่อให้การผลิตอ้อยของประเทศไทยมีเสถียรภาพต่อไป

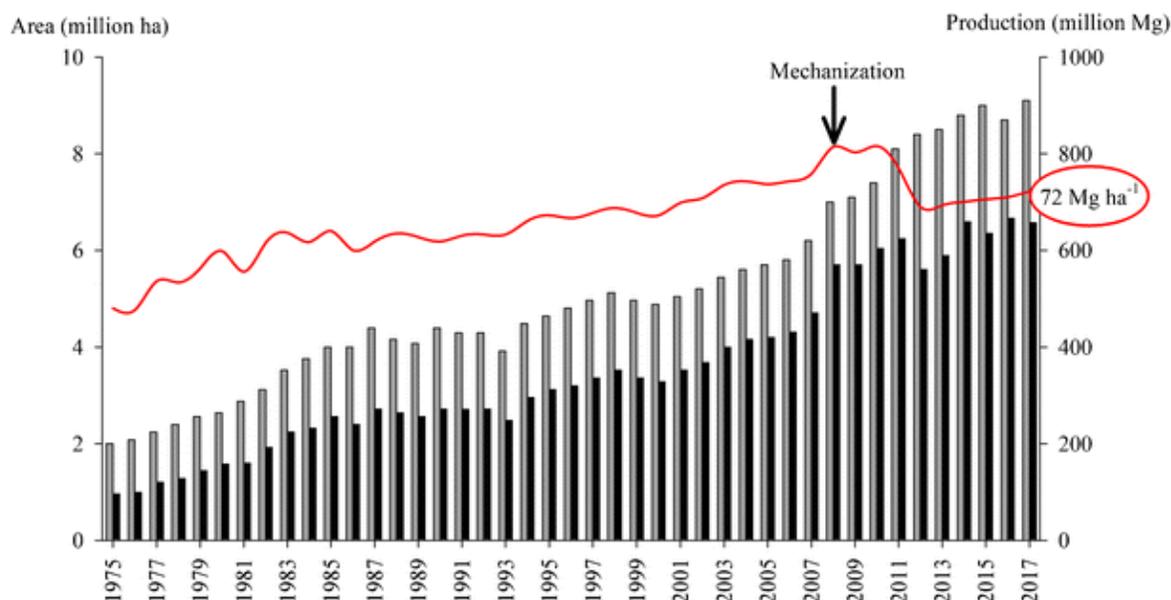


Figure 4 Reported annual sugarcane production (black bars) and evolution of cultivated area (gray bars), including average yields of sugarcane (red line) in Brazil between 1975 and 2017

Source: Bordonal et al (2018)

สรุป

การเผาอ้อยนั้นเป็นแหล่งหนึ่งของการกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สำคัญและส่งเสริมให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก (silicate-dominated particle) แพร่กระจายไปในบรรยากาศ ส่งผลเสียร้ายแรงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ดังนั้นการจัดการไบอ้อยให้เหมาะสมเพื่อลดการเผาอ้อยบรรเทาความรุนแรงของมลพิษทางอากาศจากการผลิตอ้อยได้ การนำมาตรการสีเขียวที่ดำเนินการในประเทศบราซิลมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยให้เหมาะสมโดยการส่งเสริมการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรและรถตัดอ้อยนั้น ควรเริ่มตั้งแต่การเตรียมแปลง เพื่อให้ระยะปลูกของอ้อยไม่เป็นอุปสรรคการทำงานของเครื่องจักร การวางแผนการทำงานของเครื่องจักรกลทางการเกษตร เพื่อให้เครื่องจักรกลเข้าทำงานในแปลงอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการปรับปรุงบำรุงดิน เช่น การปลูกพืชปุ๋ยสดในช่วงแปลงว่างหรือต่อรอบปลูกอ้อยใหม่ การใช้ไบอ้อยคลุมแปลง การไถกลบไบอ้อยคืนสู่ดิน เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและส่งเสริมผลิตภาพของอ้อย อย่างไรก็ตามภาครัฐและเอกชนควรมีส่วนสนับสนุนทั้งด้านความรู้และปัจจัยในการเข้าถึงทรัพยากรต่างๆ ของเกษตรกร จึงจะผลักดันให้การผลิตอ้อยของประเทศไทยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ “ฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ” มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับทุนวิจัยบูรณาการ ปีงบประมาณ 2562 ผ่านโครงการ “ความยั่งยืนของระบบการปลูกอ้อยที่ได้รับการไถกลบใบอ้อยในสัดส่วนที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับการเผา” ภายใต้แผนงาน “ลดการเผาใบอ้อยอย่างยั่งยืนโดยการเพิ่มมูลค่าและจัดการใบอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพที่ระยะเก็บเกี่ยว”

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. 2558. แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ. แหล่งข้อมูล <http://hia.anamai.moph.go.th/download/hia/manual/book/book44.pdf>. ค้นเมื่อ 29 เมษายน 2563
- กรมควบคุมมลพิษ. 2561. ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <http://www.pcd.go.th/file/28-11-61.pdf>. ค้นเมื่อ 1 เมษายน 2563
- ปรีชา พรหมณีย์ เจริญ บัววงศ์ ประชา ถ้ำทอง อรรถสิทธิ์ บุญธรรม เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง จักรินทร์ ศรีธธาพร มล. จักรานพคุณ ทองใหญ่และพรพิมล ชัยวรรณคุปต์. 2539. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและเพิ่มผลผลิตอ้อยโดยระบบเกษตรยั่งยืน. วารสารวิชาการเกษตร. 14(2): 97-106.
- ละอองดาว แสงกล้า, และธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2548. ผลกระทบจากการเผาใบอ้อยและแนวทางการแก้ไข. แหล่งข้อมูล: <http://nadang.loei.doae.go.th/lmager1/032556/do2.pdf>. ค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2561
- วิษณุภาส อีสา, และ วรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2563. การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนของดินส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายหลังได้รับการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบไม่เผาใบ ภายใต้สภาพดินเหนียวที่ได้รับการเผาใบอย่างเนื่อง. วารสารเกษตรพระวรุณ 17 (1): 21-32.
- วิมล ภูกองไชย, และวรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2561. การจัดการเศษซากใบอ้อยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจน. แก่นเกษตร. 46(ฉบับพิเศษ 1): 25-29.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2562. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2561/62. แหล่งข้อมูล: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9040.pdf> ค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2562
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2563. รายงานการผลิตอ้อยและน้ำตาลทราย ฤดูการผลิต 2562/2563. แหล่งข้อมูล: <http://www.sugarzone.in.th>. ค้นเมื่อ 30 เมษายน 2563
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2553. การใช้ค่าวิเคราะห์ดินกำหนดการใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดินปลูกอ้อย. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยปีงบประมาณ 2553 สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม.
- Amre, D.K., C. Infante-Rivard, A. Dufresne, P.M. Dyrkawale, and P. Ernst. 1999. Case-control study of lung cancer among sugar cane farmers in India. *Occupational and Environmental Medicine*.58: 548–552.
- Ayres, A.S. 1966. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Science*. 101 (3): 216-227.
- Barners, A.C. 1974. *The sugarcane*. John Wiley & Sons, New York.
- Bordonal, R. de O., J.L.N. Carvalho, R. Lal, E.B. de Figueiredo, B.G.de Oliveira, and N.L. Scala Jr. 2018. Sustainability of sugarcane production in Brazil. *Agronomy for Sustainable Development*. 38: 1-23

- Brook, R.D., S. Rajagopalan, C. A. Pope III, J.R. Brook, A. Bhatnagar, A.V. Diez-Roux, F. Holguin, Y. Hong, R.V. Luepker, M.A. Mittleman, A. Peters, D. Siscovick, S.C. Smith Jr. L. Whitsett, and J.D. Kaufman. 2010. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation*. 121: 2331–2378
- Calcino, D., B. Schroeder, J. Panitz, A. Hurney, D. Skocaj, A. Wood, and B. Salter. 2018. Australian sugarcane nutrition manual. Sugarcane Research Australia.
- Cancado, J.E.D., P.H.N. Saldiva, L.A.A. Pereira, L.B.L.S. Lara, P. Artaxo, L.A. Martinelli, M.A. Arbex, A. Zanobetti, and A.L.F. Braga. 2006. The impact of sugar cane burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environmental Health Perspectives* 114: 725–729.
- Chaddad, F.R. 2010. UNICA: Challenges to Deliver Sustainability in the Brazilian Sugarcane Industry. *International Food and Agribusiness Management Review*. 13: 173-192
- Chekoway, H., J.M. Hughes, H. Weill, N.S. Seixas, and P.A. Demers. 1999. SiO₂ exposure, radiological silicosis, and lung cancer mortality in diatomaceous earth industry workers. *Thorax*. 54: 56–59.
- Dalchiavon, F.C., M. de Passos e Carvalho, R. Montanari, M. Andreotti, and E. Augusto Dal Bem. 2013. Sugarcane trash management assessed by the interaction of yield with soil properties. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 37: 1709-1719
- de Aquino, G. S., C. de Conti Medina, D.C. da Costa, M. Shahab, and A.D. Santiago. 2017. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. *Industrial Crops and Products*. 102: 58-64.
- Ebenstein, A., M. Fan, M. Greenstone, G. He, and M. Zhou. 2017. New Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 114: 10384–10389.
- FAOSTAT. 2016. Sugarcane: Thailand. <http://www.fao.org/3/x0513e/x0513e24.htm>. Accessed April 25, 2019
- FAOSTAT. 2018. Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed April 25, 2020
- Hemwong, S., G. Cadisch, B. Toomsan, V. Limpinuntana, P. Vityakon, and A. Patanothai. 2008. Dynamics of residue decomposition and N₂ fixation of grain legumes upon sugarcane stover retention as an alternative to burning. *Soil & Tillage Research*. 99: 84-97
- Kim, Jong-Hun, In-Hwan Oh, Jae-Hyun Park, and Hae-Kwan Cheong. 2018. Premature deaths attributable to long-term exposure to ambient fine particulate matter in the Republic of Korea. *Journal of Korean Medical Science*. 33. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e251>.
- Le Blond, J.S., B.J. Williamson, C.J. Horwell, A.K. Monro, C.A. Kirk, and C. Oppenheimer. 2008. Production of potentially hazardous respirable silica airborne particulate from the burning of sugarcane. *Atmospheric Environment*. 42: 5558-5568
- Le Blond, J.S., C.J. Horwell, B.J. Williamson, and C. Oppenheimer. 2010. Generation of crystalline silica from sugarcane burning. *Journal of Environmental Monitoring*. 12: 1459–1470

- Le Blond, J.S., S. Woskie, C.J. Horwell, and B. J. Williamson. 2017. Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing: A respiratory health hazard? *Atmospheric Environment*. 149: 34-46
- Levine, J. S. 2000. Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissions released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. In Innes, J., M. Beniston and M. Verstraete (eds). *Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. 15-31 p.
- Lisboa, I. P., M. R. Cherubin, R.P. Lima, C.C. Cerri, L.S. Satiro, B.J. Wienhold, M.R. Schmer, V.L. Jin, and C.E. Cerri. 2018. Sugarcane straw removal effects on plant growth and stalk yield. *Industrial Crops and Products*. 111: 794-806.
- Meier, E.A., P.J. Thorburn, M.K. Wegener, and K.E. Basford. 2006. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soil in the wet tropics of North Queensland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 75: 101-114.
- Oliveira, M.W., P.C.O. Trivelin, G. Kingston, M.H.P. Barbosa, and A.C. Vitti. 2002. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agriculture environments in Brazil. *In: Conference of the Australian society of sugarcane technologists. Proceedings, Cairn, 24; 2002. pp. 1- 10.*
- Thawaro, N., B. Toomsan, and W. Kaewpradit. 2017. Sweet Sorghum and Upland Rice: Alternative Preceding Crops to Ameliorate Ethanol Production and Soil Sustainability within the Sugarcane Cropping System. *Sugar Tech*. 19(1): 64-71.
- Samuels, G. 1969. Silicon and sugar. *Sugar y Azucar*. 66: 25-29.
- Sornpoon, W., S. Bonnet, P. Kasemsap, P. Prasertsak and S. Garivait. 2014. Estimation of Emissions from Sugarcane Field Burning in Thailand Using Bottom-Up Country-Specific Activity Data. *Atmosphere*. 5: 669-685
- Souza, R.A., T.S. Telles, W. Machado, M. Hungria, J.T. Filho, and M.F. Guimaraes. 2012. Effect of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture Ecosystem & Environment*. 155: 1-6.
- Suma, R., and C.M. Savitha. 2015. Integrated sugarcane trash management: A novel technology for sustaining soil health and sugarcane yield. *Advances in Crop Science & Technology*. 3: 160-163.