

การตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยกำมะถันและสังกะสี ต่อลักษณะทางสรีรวิทยา
องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของงา (*Sesamum indicum* L.)^{1/}
Response of sulphur and zinc fertilizer application on physiological traits,
yield components and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.)^{1/}

ผู้ทำสัมมนา
อาจารย์ที่ปรึกษา

นิตยา ศรีสมบูรณ์^{2/}
ดร.อนนท์ จันทร์เกตุ^{3/}

บทคัดย่อ

การจัดการธาตุอาหารอย่างเหมาะสมเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มผลผลิตพืช การศึกษาการตอบสนองของการใช้ปุ๋ยกำมะถันร่วมกับสังกะสีต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของงา พบว่าอัตราปุ๋ยกำมะถัน และสังกะสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาตรรวงวัดตุ ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร อัตราการเจริญเติบโตของพืช อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ความสูงต้น การสะสมน้ำหนักราก จำนวนกิ่งต่อต้น องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิตเมล็ด จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และผลผลิตของน้ำมัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อดัชนีเก็บเกี่ยวของงา โดยที่อัตราปุ๋ยกำมะถันที่เหมาะสมสำหรับงาเท่ากับ 30-45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และอัตราปุ๋ยสังกะสีที่เหมาะสมเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งเป็นอัตราที่ทำให้งามีดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการเจริญเติบโตของพืช อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิตเมล็ด และผลผลิตน้ำมันที่สูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพการดูดใช้กำมะถัน และสังกะสีจะมีค่าลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของปุ๋ยดังกล่าว อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการดูดใช้กำมะถันจะเพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มขึ้นของการใส่ปุ๋ยสังกะสี ขณะที่ประสิทธิภาพการดูดใช้สังกะสีจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยกำมะถันในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้นกว่านี้ ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับปรุงการใช้ปุ๋ยสำหรับการเพาะปลูกงา และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์งาในอนาคต

คำสำคัญ: งา; กำมะถัน; สังกะสี; สรีรวิทยา; องค์ประกอบผลผลิต; ผลผลิตงา

^{1/}เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

^{2/}นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{3/}อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. บทนำ

งา (*Sesamum indicum* L.) เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยมีแนวโน้มเพิ่มพูนความสำคัญขึ้นทุกปี งาเป็นพืชที่ปลูกง่าย ลงทุนน้อย และทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี (อภิชาติ, 2531) จึงมีการปลูกอย่างแพร่หลายในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลก (Weiss, 1983) องค์ประกอบของเมล็ดงาประกอบด้วยน้ำมัน 40-50 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 20-25 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 20-25 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 5-6 เปอร์เซ็นต์ (Salunkhe *et al.*, 1992) งาถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ทั้งอาหาร สมุนไพร การแพทย์ และอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์หลักของเมล็ดงาคือการสกัดเป็นน้ำมันงา ซึ่งคิดเป็นมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้งานทั้งหมด ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น ทำอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือเชื้อเพลิง นอกจากนี้ งายังมีคุณสมบัติทางด้านการแพทย์ โดยเฉพาะสารสำคัญที่พบในงา เช่น เซซามิน (sesamin) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย อันเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเซลล์และความเสียหายในระบบต่างๆ ของร่างกาย (อริยาภรณ์, 2556)

การจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม เช่น การใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมเพียงอย่างเดียวในดินที่อุดมสมบูรณ์ต่ำ อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ได้คุณภาพผลผลิตเมล็ดพืชน้ำมันที่ดี เนื่องจากพืชอาจขาดธาตุอาหารที่จำเป็นอื่นๆ อีกหลายชนิด ธาตุกำมะถัน เป็นธาตุอาหารรองหนึ่งที่มีความจำเป็นเป็นอันดับ 4 รองจาก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สำหรับเมล็ดพืชน้ำมัน (Patel and Shelke, 1995) เนื่องด้วยกำมะถันมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนหลายชนิด ได้แก่ cystine cysteine และ methionine ซึ่งเป็นหน่วยโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลโปรตีน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นสารอาหารที่พืชน้ำมันดูดใช้ในปริมาณสูง (Kundu *et al.*, 2010) โดยมีจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์น้ำมัน และการสร้างคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังเพิ่มความทนทานต่อความเย็นและความแห้งแล้งได้อีกด้วย (Zhang *et al.*, 1999) นอกจากนี้ธาตุสังกะสียังเป็นอีกหนึ่งธาตุที่สำคัญในการผลิตพืชน้ำมัน รวมถึงงา เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการสร้างฮอร์โมนออกซิน และเอนไซม์หลายชนิด เช่น dehydrogenases, proteinases และ peptidases ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช นอกจากนี้สังกะสียังเป็นโครงสร้างกรดนิวคลีอิก ช่วยสร้างฮอร์โมนออกซิน และมีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน หากพืชขาดสังกะสีจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง และมีผลผลิตและคุณภาพผลผลิตลดลง (Havlin, 2005) เพราะฉะนั้นการจัดการธาตุอาหารอย่างครบถ้วนและสมดุลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกำมะถันและสังกะสี จะช่วยให้การเพาะปลูกประสบความสำเร็จและได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตงา จะสามารถช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการจัดการธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจของนักปรับปรุงพันธุ์พืชให้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ตอบสนองดีต่อการใช้ปุ๋ยกำมะถันและสังกะสี รวมถึงเพิ่มความเข้าใจเชิงลึกระดับสรีรวิทยาของงา ทำให้ออกแบบการปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างเหมาะสม ส่งผลทำให้เพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของสัมมนาฉบับนี้เป็นการรวบรวม

ข้อมูลการตอบสนองของปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีต่อลักษณะทางสรีรวิทยาการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของงา

2. งา และความสำคัญทางเศรษฐกิจ

งาจัดอยู่ในวงศ์ Pedaliaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sesame indicum* L. มีถิ่นกำเนิดในคาบสมุทรอินเดีย เขตประเทศปากีสถาน เมื่อ 5,000 ปีก่อน (Weiss, 1971) งาเป็นพืชไวต่อช่วงแสงออกดอกเมื่อช่วงแสงประมาณ 11 ชั่วโมง เป็นพืชวันสั้น ทนทานต่อสภาพแล้งได้ดี แต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเป็นกรดต่าง 5.5-8.0 แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่เป็นกรดจัด ปริมาณน้ำฝนตลอดปีตั้งแต่ 300-1,600 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่เหมาะสม 25-27 องศาเซลเซียส เกษตรกรส่วนมากนิยมปลูกโดยวิธีหว่าน งาเป็นพืชน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไขมัน 52 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17-18 เปอร์เซ็นต์ กากงาอุดมไปด้วยโปรตีน 28-48 เปอร์เซ็นต์ ไวตามิน แร่ธาตุ เมล็ดงาที่มีสีจางมีแนวโน้มมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงกว่าเมล็ดสีเข้ม และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าเมล็ดสีเข้ม

สำหรับประโยชน์งานั้นมีหลากหลายทั้งด้านการสกัดเป็นน้ำมัน หลังจากสกัดน้ำมันจะได้กากงาสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ทั้งเป็นอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ ทำปุ๋ย ใช้เป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของการบริโภคโดยตรง เช่น เป็นส่วนประกอบในขนมหวาน คั่วให้หอมนำมาใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์โรยหน้าขนมต่างๆ และเพิ่มกลิ่นรสของอาหาร (วัชร และจุฑามาศ, ม.ป.ป.) สำหรับผู้ผลิตงารายใหญ่ที่สุด 70.88 เปอร์เซ็นต์ของการผลิต คือ สหสาธารณรัฐแทนซาเนีย อินเดีย จีน ชูदान ในจีเรีย เมียนมาร์ บุร์กินาฟาโซ และเอธิโอเปีย (IBC, 2012) สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกงาประมาณ 381,000 ไร่ ผลผลิตรวม 35,000 ตัน ผลผลิตเมล็ดงาของประเทศไทย 45 เปอร์เซ็นต์ ใช้ภายในประเทศ 55 เปอร์เซ็นต์ใช้เพื่อการส่งออก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) โดยการจำหน่ายต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศปีละ 200-300 ล้านบาท โดยประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น ฮองกง อเมริกา ไต้หวัน มาเลเซีย และประเทศแถบตะวันออกกลาง ซึ่งตลาดดังกล่าวมีความต้องการเมล็ดงาปีละ 4 ล้านตัน แสดงให้เห็นว่ายังมีศักยภาพที่ดีพืชหนึ่ง หากมีการพัฒนาและส่งเสริมการผลิตงาให้มีคุณภาพและมาตรฐานตรงตามความต้องการตลาดต่างประเทศงาจึงเป็นพืชที่ทำรายได้สำคัญให้กับประเทศ (วัชร และจุฑามาศ, ม.ป.ป.)

อริยาภรณ์ (2556) และ Langham and Wiemers (2002) ได้จำแนกลักษณะพฤกษศาสตร์ของงา ดังนี้

ราก (root) เป็นระบบรากแก้ว (tap root system) มีรากแขนงลงตามความลึกชั้นดินกระจายหนาแน่นเพื่อหาอาหาร หยั่งลึกไปในดินมากกว่า 150 เซนติเมตร ความยาวรากทั้งด้านความลึกและความกว้างแผ่กระจายเท่าๆ กัน

ลำต้น (stem) งามีลำต้นเป็นเหลี่ยม 4-5 เหลี่ยม ตามความยาวของลำต้นไม่มีแกนสีของลำต้นมีสีเขียวเข้มปนสีม่วง อวบน้ำ อาจมีขนปกคลุมซึ่งจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีทั้งชนิดแตกกิ่งและไม่แตกกิ่งพันธุ์อายุสั้นจะแตกกิ่งน้อย พันธุ์อายุยาวจะแตกกิ่งมาก ความสูงตั้งแต่ 100-200 เซนติเมตร

ใบ (leaf) ใบงามีรูปร่างแตกต่างกันตั้งแต่ใบยาวเป็นรูปหอก (lanceolate) กลมรี (ovate) หรือใบเป็นแฉกเล็กหรือแฉกตื้น (palmately lobe or palmately compound) รูปของปลายใบ

แหลม ผันแปรตามอายุ สภาพแวดล้อมและพันธุ์งา ก้านใบยาวประมาณ 5 เซนติเมตร สีขอบใบเขียวอ่อนไปจนถึงเข้ม บางพันธุ์มีสีเหลือง อาจมีขนบนใบและใต้ใบ ใบคู่แรกจะเกิดตรงกันข้าม (opposite) ใบบนเรียงตัวแบบสลับ (alternate) หรือแบบตรงกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ใบเป็นรูปหอก แผ่นใบจะเรียว มีขนาดก้านใบที่สั้นลง

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) จัดเป็นพืชผสมตัวเองที่อาจเกิดการผสมข้ามตามธรรมชาติโดยแมลงและลม ดอกเกิดบริเวณตาตรงซอกใบที่ติดลำต้น 1-3 ดอก มีต่อมน้ำหวาน (extra floral nectary) สีเหลืองหรือสีดำที่ฐานดอก ดอกมีกลีบประดับ (bract) ยาว 1 เซนติเมตร กลีบเลี้ยง (calyx) และกลีบดอก (petal) เชื่อมติดกันเป็นท่อยาว 3 เซนติเมตร คล้ายระฆังแยกเป็น 5 กลีบ มีลักษณะเหมือนลิ้นยื่นออกมา ขอบกลีบหยัก กลีบดอกมีสีขาว ขาวอมชมพู หรือม่วงอ่อน 1 ดอกจะมีเกสรเพศผู้ (stamen) 5 อัน ยาว 1.5-2.0 เซนติเมตร มี 4 อันที่สมบูรณ์ อีก 1 อันเป็นหมัน ก้านชูเกสรเพศเมีย (style) จำนวน 1 อัน ปลายยอดเกสรเพศเมีย (stigma) แยกเป็น 2 อับละอองเกสรมีสีเหลืองอ่อน

การบานของดอกจะเริ่มบานจากโคนไปสู่ปลายช่อดอก ระยะเวลาการปลุกจนกระทั่งให้ดอกจนสุดช่อดอกประมาณ 2-3 เดือน ดอกงามีอายุการบาน 2-3 วัน การบานของดอกเป็นแบบต่อเนื่อง (acropetal succession) ถ้ามีดอกที่ตูม 3 ดอกต่อซอกใบ ดอกที่อยู่ตรงกลางบานก่อนดอกที่อยู่ด้านข้างสองดอก ดอกงาจะเริ่มผสมเกสรในช่วง 4.00-7.00 น. ก่อนที่กลีบดอกจะคลี่บาน หลังจากผสมเกสรแล้วกลีบดอกจะร่วงหล่นไปในช่วง 17.00-19.00 น.ของวันเดียวกัน

ผลและเมล็ด ผลหรือฝักเป็นแบบ capsule ค่อนข้างป้อม รูปทรงกระบอก หรือแบน ฝักแบ่งเป็นแบบ 2 คาร์เพล (bicarpellate) 3 คาร์เพล (tricarpellate) และ 4 คาร์เพล (tetracarpellate) ส่วนมากงาที่ปลูกจะเป็นแบบ 2 และ 4 คาร์เพล ในแต่ละคาร์เพลจะมี 2 ลอคคูล ฝักจะมีขนปกคลุม ปลายฝักมีจะงอยแหลม ฝักงาจะแก่จากโคนลำต้นไปสู่ยอด เมล็ดเป็นรูปไข่เกาะติดกับผนังรังไข่ส่วนกลาง มีขนาดเล็กเรียงซ้อนกันในฝัก 70-100 เมล็ดต่อฝัก เปลือกหุ้มมีหลายสี ตั้งแต่สีขาว ขาวอมเหลือง น้ำตาล ดำเทา ขึ้นอยู่กับพันธุ์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ประมาณ 2-4 กรัม

เมล็ดงา มีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยชั้นเซลล์ epidermis ซึ่งเป็นเซลล์ชั้นนอกที่มีรูปร่างยาวเรียงตัวเป็นรัศมี แต่ละเซลล์มีเม็ดสี (pigment) ทำให้เห็นสีของเมล็ดงา พบแคลเซียมออกซาลेटสะสมในชั้นนี้จำนวนมาก ถัดเข้าไปเป็นชั้น endosperm ซึ่งเป็นเซลล์สะสมอาหารของเมล็ด ถัดไปเป็นชั้นใบเลี้ยงซึ่งในชั้นนี้จะประกอบด้วย aleurone grain, oil plasma ชั้นนี้จะพัฒนาเป็นใบเลี้ยงที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารให้กับต้นงาต่อไป

3. ธาตุอาหารและหน้าที่ทางสรีรวิทยา

3.1 บทบาทของธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช

ธาตุอาหารพืช คือธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของพืชโดยเมื่อพืชขาดธาตุนั้นๆจะทำให้ไม่สามารถดำรงชีพได้ครบวงจรชีวิตเพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไปได้ โดยปกติพืชได้รับธาตุอาหารส่วนใหญ่จากดิน และบางส่วนจากอากาศ (ยงยุทธ, 2552)

Arnon and Stout (1939) กล่าวว่า ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชมีทั้งหมด 17 ชนิด จำแนกว่าธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชนั้นต้องเข้าหลักเกณฑ์ 3 ประการ ดังนี้ 1) ธาตุนั้นต้องจำเป็น

ต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชถ้าขาดธาตุอาหารนั้นไปพืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวงจรการดำรงชีพได้ 2) อาการขาดธาตุนั้นของพืช จะแสดงออกเป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งป้องกันหรือแก้ไขอาการขาด โดยให้ธาตุอาหารพืชที่ขาดในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น ไม่มีธาตุอาหารอื่นใดมาแก้ไขทดแทนได้ 3) ธาตุอาหารพืชนั้นต้องไม่ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรงมิใช่เพียงแต่ช่วยแก้ไขความไม่เหมาะสมของสภาพทางเคมี หรือด้านอื่นของดินหรือวัสดุปลูกธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มี 17 ธาตุ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ

1. ธาตุอาหารมหธาตุ (macronutrient หรือ major element) หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) มี 9 ธาตุ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ธาตุอาหารที่ได้จากอากาศและน้ำ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งจะปรากฏเป็นรูปสารประกอบ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกซิเจน (O_2) จากอากาศ และน้ำ (H_2O) เมื่อรวมตัวกันจะมีในพืชไม่ต่ำกว่า 96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืช โดยจะถูกใบพืชที่มีสีเขียวและรากพืชดูดซึ่มมาใช้ในการสังเคราะห์แสงที่ใบ ผลิตเป็นอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารเหล่านี้จากอากาศและน้ำ จึงไม่ค่อยพบปัญหาการขาดธาตุดังกล่าวในพืช (2) ธาตุอาหารหลัก หรือธาตุปุ๋ย คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก และดินที่ใช้ในการเพาะปลูกมักจะขาดธาตุเหล่านี้ มี 3 ธาตุ คือ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ปุ๋ยเคมีที่ผลิตจำหน่ายในท้องตลาดมักมีธาตุทั้ง 3 เหล่านี้ จึงเรียกอีกชื่อว่า ธาตุปุ๋ย (3) ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากเช่นกัน แต่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก มี 3 ธาตุ คือ ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2. ธาตุอาหารเสริม หรือธาตุอาหารจุลธาตุ (micronutrient) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ถ้าขาดพืชไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิตของพืชได้ มี 8 ธาตุ ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) และนิเกิล (Ni) (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

3.2 บทบาทของกำมะถันและสังกะสีที่กับกระบวนการ metabolism ของพืช

กำมะถัน และสังกะสีเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช โดยกำมะถันเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น cysteine และ methionine ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของโปรตีนในพืช นอกจากนี้ กำมะถันยังมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การสร้างน้ำมัน และการเพิ่มความทนทานต่อสภาวะเครียดในพืช ในขณะที่สังกะสีมีบทบาทสำคัญในการเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด รวมถึงมีส่วนร่วมในการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน การสร้างโปรตีน และกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การขาดธาตุทั้งสองนี้สามารถส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืช โดยการขาดกำมะถันอาจทำให้ใบพืชมีสีเหลืองซีด การเจริญเติบโตชะงักงัน และผลผลิตลดลง ในขณะที่การขาดสังกะสีอาจทำให้เกิดอาการใบด่างระหว่างเส้นใบ การเจริญเติบโตแคระแกร็น และการพัฒนาของผลและเมล็ดผิดปกติ ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารทั้งสองนี้ อย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชโดยเฉพาะพืชน้ำมัน

Islam *et al.* (2019) ได้ศึกษาผลของการใส่สังกะสีอัตราที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของงา โดยศึกษาระดับกัมมะถันที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 18 และ 24 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และระดับสังกะสีที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 1.44, และ 2.88 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่าการใช้กัมมะถัน 18 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ร่วมกับการใช้สังกะสี 1.44 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้จำนวนใบ ก้านใบ ลำต้น ราก และน้ำหนักแห้งสูงสุด นอกจากนี้การใช้กัมมะถัน 18 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใช้สังกะสี 1.44 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ผลผลิตจำนวนฝักและน้ำหนักฝักสูงสุด ขณะที่ Ruchitha *et al.* (2023) ได้ศึกษาการตอบสนองของกัมมะถันและสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของงา ทดลองปลูกในดินร่วนปนทรายของประเทศอินเดีย และดินใกล้เคียงกับความเป็นกลาง โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ มี 10 ทรีตเมนต์ ได้แก่ การใช้กัมมะถันอัตราที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 15, 20 และ 25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการฉีดพ่นสังกะสีที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีควบคุม การศึกษานี้พบว่าการใช้กัมมะถัน 25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการฉีดพ่นสังกะสี 0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อความสูงของต้น (130.82 เซนติเมตร) จำนวนกิ่งต่อต้นเท่ากับ (4.89 กิ่ง) และจำนวนฝักต่อต้น (28.25 ฝัก) จำนวนเมล็ดต่อฝัก (46.88 เมล็ด) น้ำหนักแห้ง (13.41 กรัมต่อต้น) ผลผลิตเมล็ด (1253.01 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) และดัชนีเก็บเกี่ยว (36.00 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้การใช้กัมมะถัน 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการฉีดพ่นสังกะสี 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช (2.61 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) สูงที่สุด

3.3 การตอบสนองของปุ๋ยกัมมะถันและสังกะสีต่อลักษณะทางสรีรวิทยา

3.3.1 ดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุ และประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร

พื้นที่ใบพืชและปริมาณรงควัตถุในใบพืชมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการสร้างอาหารของพืช พื้นที่ใบที่มากขึ้นทำให้พืชมีพื้นที่ผิวรับแสงมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกัน ปริมาณรงควัตถุ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ที่มีมากในใบพืช จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเจริญเติบโตที่ดีและการให้ผลผลิตที่สูงขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืช หมายถึงความสามารถของพืชในการนำธาตุอาหารที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ซึ่งมีความสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืชและพัฒนาเทคนิคการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปจนความจำเป็นได้แก่

ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารพืชมีหลายแบบ เช่น (1) ประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารที่ใส่ในการสร้างเป็นผลผลิต (Agronomic of efficiency; AE) ซึ่งแสดงถึงความคุ้มค่าของการใช้ปุ๋ยในแง่ของผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (2) ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (Apparent recovery efficiency; RE) หมายถึง ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยต่อปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของพืชในการนำปุ๋ยไปใช้ และ (3) ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารทางสรีรวิทยา (Physiological efficiency; PE) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่พืชได้รับเป็นผลผลิต ซึ่งเป็นการวัดผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่

ปุ๋ยเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตในกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยต่อการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ยเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดใช้ธาตุอาหารในทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย ทั้งนี้ Singh and Singh (2012) ได้อธิบายสูตรการคำนวณประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร (ธาตุกำมะถัน) ไว้ดังนี้

$$\text{Agronomic of efficiency (AE)}_s = \frac{Y_s - Y_c}{S \text{ applied}}$$

$$\text{Apparent recovery efficiency (RE)}_s = \frac{U_s - U_c}{S \text{ applied}}$$

$$\text{Physiological efficiency (PE)}_s = \frac{Y_s - Y_c}{U_s - U_c}$$

เมื่อ Y คือ ผลผลิต (yield); U คือ การดูดใช้ธาตุอาหาร (uptake); S คือการใส่ปุ๋ยกำมะถัน (Sulphur fertilized) และ C คือการไม่ใส่ปุ๋ย (control)

Yadav *et al.* (2020) ได้ศึกษาผลของกำมะถันและสังกะสีต่อดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุ (mg/g) และประสิทธิภาพการใช้ธาตุกำมะถันและสังกะสี วางแผนการทดลองแบบ factorial in randomized block design จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ ระดับกำมะถันที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปัจจัย B คือ ระดับสังกะสีที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จากผลการศึกษานี้พบว่า การใส่กำมะถัน และสังกะสีที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความแตกต่างของดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุ และประสิทธิภาพการใช้กำมะถัน และสังกะสีทุกลักษณะ (AE, RE และ PE) โดยที่ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณรงควัตถุจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อใส่ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยสังกะสีอัตรา 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้การใช้กำมะถัน อัตรา 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ยังส่งผลทำให้มีปริมาณรงควัตถุสูงที่สุดอีกด้วย และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีของดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณรงควัตถุ

สำหรับประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร พบว่าประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารที่ใส่ ในการสร้างเป็นผลผลิต (AE) ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (RE) และประสิทธิภาพการใช้ ธาตุอาหารทางสรีรวิทยา (PE) จะมีค่าลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยดังกล่าวที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการดูดใช้กำมะถันทั้ง AW_s , RE_s และ PE_s จะเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยสังกะสี ที่เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้สังกะสีเพื่อสร้างผลผลิต (AE_{Zn}) และประสิทธิภาพ การดูดใช้สังกะสีจากปุ๋ย (RE_{Zn}) จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยกำมะถันจากไม่มีการใส่ปุ๋ยกำมะถัน เป็นใส่ในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตรา ปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้นกว่านี้ แต่ประสิทธิภาพการใช้สังกะสีทางสรีรวิทยา (PE_{Zn}) จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อ การใส่ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้นกว่านี้

ตารางที่ 1 ดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุ (mg/g) ประสิทธิภาพการใช้ธาตุกำมะถันและสังกะสีภายใต้สภาพการใส่กำมะถัน และสังกะสีอัตราที่แตกต่างกัน

Treatment	Leaf	Chlorophyll	Sulphur-use efficiency			Zinc-use efficiency		
	area	content	AEs (kg	REs	PEs	AEZn (kg	REZn	PEZn
	index	(mg/g)	seed/kg	(%)	(kg/kg S)	seed/kg	(%)	(kg/kg Zn)
Sulphur (kg/ha)								
control	2.96	2.42	-	-	-	3.98	0.57	0.40
15	3.55	2.69	8.53	9.32	80.34	12.99	1.02	0.82
30	3.96	2.83	6.42	7.59	78.42	15.34	1.32	0.42
45	-	2.84	4.52	5.63	72.42	14.81	1.01	0.46
SEm±	0.10	0.05	0.21	0.19	2.17	0.40	0.003	0.02
CD (P=0.05)	0.29	0.14	0.62	0.54	6.27	1.15	0.009	0.05
Zinc (kg zinc sulphate/ha)								
control	2.90	2.46	0.71	2.96	21.11	0.00	0.00	0.00
10	3.57	2.67	4.63	5.46	62.50	14.88	2.40	0.59
20	3.98	2.80	6.78	6.79	74.34	11.81	1.96	0.56
30	4.12	2.84	7.35	7.34	73.52	8.66	1.50	0.43
SEm±	0.10	0.05	0.25	0.21	2.51	0.34	0.003	0.01
CD (P=0.05)	0.29	0.14	0.71	0.62	7.24	0.99	0.009	0.04

หมายเหตุ: AEs หมายถึง ประสิทธิภาพในการใช้กำมะถันที่ใส่ในการสร้างเป็นผลผลิต (kg seed/kg S) REs หมายถึง ประสิทธิภาพการดูดธาตุกำมะถัน (%)

PEs หมายถึง ประสิทธิภาพการใช้ธาตุกำมะถันทางสรีรวิทยา (kg seed/kg uptake of S) AEZn หมายถึง ประสิทธิภาพในการใช้สังกะสีที่ใส่ในการสร้างเป็นผลผลิต (kg seed/kg Zn) REZn หมายถึง ประสิทธิภาพการใช้ธาตุสังกะสีทางสรีรวิทยา (%) PEZn หมายถึง (kg seed/kg uptake of Zn)

SEm หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน CD หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา: Yadav *et al.* (2020)

3.3.2 อัตราการเจริญเติบโตของพืช และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

อัตราการเจริญเติบโตของพืช (crop growth rate, CGR) คือการวัดการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพของพืชต่อหน่วยพื้นที่และเวลา โดยแสดงถึงความสามารถของพืชในการสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate, RGR) เป็นการวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต่อหน่วยน้ำหนักเริ่มต้นและเวลา แสดงถึงประสิทธิภาพการผลิตของพืชโดยคำนึงถึงขนาดเริ่มต้นของพืช ซึ่งทั้ง 2 ลักษณะเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการผลิตของพืช

Yadav *et al.* (2020) ได้ศึกษาผลของกำมะถันและสังกะสีต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ วางแผนการทดลองแบบ factorial randomized block design

จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ ระดับกำมะถันที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปัจจัย B คือ ระดับสังกะสีที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่า การใช้กำมะถัน 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และกำมะถัน 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชในช่วงอายุ 0-30, 30-60 และ 60 วันถึงวันเก็บสุกแก่สูงที่สุด และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ช่วงอายุ 60 วัน ถึงวันสุกแก่สูงที่สุด ทั้งนี้การใช้สังกะสี 20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และสังกะสี 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชในช่วงอายุ 0-30, 30-60 และ 60 วัน จนถึงวันเก็บสุกแก่สูงที่สุด (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีของอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ทุกช่วงอายุ

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของพืช (CGR) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ภายใต้สภาพการใส่กำมะถัน และสังกะสีอัตราที่แตกต่างกัน

Treatment	CGR (g/m ² /day)			RGR (g/m ² /day)	
	0-30 DAS	30-60 DAS	60 DAS-At	30-60 DAS	60 DAS-At
	harvest time			harvest time	
Sulphur (kg/ha)					
control	4.07	21.93	2.53	142.2	143.2
15	4.67	28.43	4.07	150.2	151.9
30	4.97	31.07	9.32	152.9	158.2
45	5.13	32.00	9.50	153.9	159.1
SEm $\pm$	0.09	0.58	0.24	2.64	2.92
CD (P=0.05)	0.25	1.68	0.71	ns	8.44
Zinc (kg zinc sulphate/ha)					
control	3.96	24.27	3.57	144.8	146.5
10	4.74	27.97	5.95	149.5	152.6
20	5.00	30.15	8.38	151.9	156.5
30	5.13	31.04	7.51	152.9	156.7
SEm $\pm$	0.09	0.58	0.24	2.64	2.92
CD (P=0.05)	0.25	1.68	0.71	ns	8.44

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ DAS หมายถึง วันสุกแก่เก็บเกี่ยว SEm หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน CD หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา: Yadav *et al.* (2020)

3.4 การตอบสนองของปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีต่อพัฒนาการ องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต

3.4.1 ผลของกำมะถัน และสังกะสีต่อองค์ประกอบผลผลิต

Yadav *et al.* (2020) ได้ศึกษาผลของกำมะถันและสังกะสีต่อการพัฒนาการ องค์ประกอบ ผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต วางแผนการทดลองแบบ factorial randomized block design จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ ระดับกำมะถันที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปัจจัย B คือ ระดับสังกะสีที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่าการใส่ปุ๋ยกำมะถัน และสังกะสีอัตราที่ต่างกันส่งผลต่อความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และจำนวนกิ่งของงาที่ระยะเก็บเกี่ยว โดยพบว่าการใช้กำมะถัน 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และจำนวนกิ่งต่อต้นที่วันเก็บเกี่ยว สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 106.5-107.8 เซนติเมตร 136.1-139.9 กรัม และ 4.91-4.95 กิ่งต่อต้น ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้สังกะสี 20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และจำนวนกิ่งต่อต้นที่วันเก็บเกี่ยวสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 105.7-107.5 เซนติเมตร 130.6-131.0 กรัม และ 4.91-4.93 กิ่งต่อต้นตามลำดับ และไม่พบปฏิกิริยา สัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีของความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และจำนวนกิ่งของงาที่ ระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และจำนวนกิ่งของงาที่ระยะเก็บเกี่ยว ภายใต้สภาพการใส่ กำมะถัน และสังกะสีอัตราที่แตกต่างกัน

Treatment	Plant height (cm)	Day matter accumulation	Branches/plant
	At harvest time	(g/m row length)	At harvest time
<i>Sulphur (kg/ha)</i>			
control	91.5	85.6	4.32
15	99.6	111.5	4.66
30	106.5	136.1	4.91
45	107.8	139.9	4.95
SEm $\pm$	2.3	2.3	0.08
CD (P=0.05)	6.8	6.5	0.22
<i>Zinc (kg zinc sulphate/ha)</i>			
control	91.5	95.4	4.31
10	100.7	116.0	4.68
20	105.7	130.6	4.91
30	107.5	131.0	4.93
SEm $\pm$	2.3	2.3	0.08
CD (P=0.05)	6.8	6.5	0.22

หมายเหตุ: SEm หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน CD หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา: Yadav *et al.* (2020)

นอกจากนี้ Yadav *et al.* (2020) ยังได้ทำการบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต ได้แก่จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีเก็บเกี่ยวของงา พบว่า การใส่ปุ๋ยก้ามะถัน และสังกะสีอัตราที่ต่างกันส่งผลต่อจำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งรวม แต่ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของดัชนีเก็บเกี่ยวของงา การใช้ก้ามะถัน 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้จำนวนฝักต่อต้น (34.5–35.1 ฝักต่อต้น) จำนวนเมล็ดต่อฝัก (51.1–52.7 เมล็ดต่อต้น) ผลผลิตเมล็ด (712–723 กิโลกรัม) และน้ำหนักแห้งรวม (3,056–3,120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) มีค่ามากที่สุด ขณะที่การใช้สังกะสี 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้จำนวนฝักต่อต้น (35.4 ฝักต่อต้น) จำนวนเมล็ดต่อฝัก (52.6 เมล็ดต่อฝัก) ผลผลิตเมล็ด (749 กิโลกรัม) และน้ำหนักแห้งรวมของงา (3,164 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) มีค่ามากที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีเก็บเกี่ยวของงาภายใต้สภาพการใส่ก้ามะถัน และสังกะสีอัตราที่แตกต่างกัน

Treatment	Capsules/plant	Seed/capsule	Seed yield (kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Harvest index (%)
Sulphur (kg/ha)					
control	18.9	30.8	519	2,167	24.00
15	29.1	43.2	647	2,741	23.44
30	34.5	51.1	712	3,056	23.24
45	35.1	52.7	723	3,120	23.07
SEm $\pm$	0.6	1.3	18	65	0.70
CD (P=0.05)	1.8	3.9	53	188	ns
Zinc (kg zinc sulphate/ha)					
control	19.5	30.2	489	2,176	22.56
10	28.9	43.2	638	2,712	23.54
20	33.9	51.8	725	3,032	23.93
30	35.4	52.6	749	3,164	23.72
SEm $\pm$	0.6	1.3	18	65	0.70
CD (P=0.05)	1.8	3.9	53	188	ns

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ SEm หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน CD หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา: Yadav *et al.* (2020)

3.4.2 ผลของก้ามะถันและสังกะสีต่อคุณภาพผลผลิต

Yadav *et al.* (2022) ได้ศึกษาผลของการใช้ธาตุก้ามะถันและสังกะสีอัตราที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และโปรตีน วางแผนการทดลองแบบ factorial randomized block design จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัย A คือ ระดับก้ามะถันที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปัจจัย B คือ ระดับสังกะสีที่ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กิโลกรัม

ต่อเฮกตาร์ พบว่าอัตราปุ๋ยกำมะถัน และสังกะสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และผลผลิตน้ำมัน โดยพบว่าการใช้กำมะถัน 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีน (21.0-21.5 เปอร์เซ็นต์) สูงที่สุด ขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำมัน (51.6 เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตน้ำมันในเมล็ด (375.9 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อมีการใช้กำมะถัน 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (ตารางที่ 5) ขณะที่การใช้สังกะสี 20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โปรตีน (21.19-21.50 เปอร์เซ็นต์) เปอร์เซ็นต์น้ำมัน (49.2-50.6 เปอร์เซ็นต์) สูงที่สุด และการใช้สังกะสี 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จะมีผลผลิตน้ำมันในเมล็ด (382.4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) สูงที่สุด การศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และผลผลิตน้ำมันของงา

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และผลผลิตน้ำมันของงาภายใต้สภาพการใส่กำมะถัน และสังกะสีอัตราที่แตกต่างกัน

Treatment	Protein content (%)	Oil content (%)	Oil yield (kg/ha)
Sulphur levels (kg/ha)			
cotrol	16.3	44.1	229.8
15	18.8	47.2	307.7
30	21.0	50.1	359.1
45	21.5	51.6	375.9
SEm $\pm$	0.53	0.91	10.8
CD (P=0.05)	1.53	2.64	31.2
Zinc levels (kg zinc sulphate/ha)			
control	16.10	45.2	221.8
10	18.89	47.9	307.7
20	21.19	49.2	360.5
30	21.50	50.6	382.4
SEm $\pm$	0.53	0.91	10.8
CD (P=0.05)	1.53	2.64	31.2

หมายเหตุ: SEm หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน CD หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา: Yadav *et al.* (2022)

4. สรุป

อัตราปุ๋ยกำมะถันและสังกะสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุ ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร อัตราการเจริญเติบโตของพืช อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ความสูงต้น การสะสมน้ำหนักรากแห้ง จำนวนกิ่งต่อต้น องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิตเมล็ด จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และผลผลิตของน้ำมัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบผลกระทบต่อดัชนีเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่าอัตราปุ๋ยกำมะถันที่เหมาะสมต่อเฮกตาร์ เท่ากับ 30-45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และอัตราปุ๋ยสังกะสีที่เหมาะสมเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เนื่องจากเป็นอัตราที่ช่วยเพิ่มลักษณะทางสรีรวิทยา นำไปสู่การให้องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตเมล็ดที่สูงที่สุด สำหรับประสิทธิภาพการดูดใช้กำมะถัน และสังกะสีจะมีค่าลดลงตามระดับ การเพิ่มขึ้นของปุ๋ยดังกล่าว ทั้งนี้ประสิทธิภาพการดูดใช้กำมะถันจะเพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มขึ้นของการใส่ปุ๋ยสังกะสี และประสิทธิภาพการดูดใช้สังกะสีจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยกำมะถันในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้นกว่านี้

5. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2563. ข้อมูลการเพาะปลูกงา. แหล่งที่มา: [http:// www.agriman. doae. go.th/](http://www.agriman.doe.go.th/). สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2567.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. ม.ป.ป. ธาตุอาหารพืช. แหล่งที่มา: http://www.ppsf.doe.go.th/publication/soil_fer/035-047.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2567.
- ยงยุทธ โอสธสภ. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัชร และจุฑามาศ, ม.ป.ป. งา. พืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชาติ ผลเกิด. 2543. การปลูกงาและการดูแลรักษา. แหล่งที่มา: https://www.baanjomyut.com/library5/agricultural_knowledge/farm_products/42.html. สืบค้นวันที่ 19 กรกฎาคม 2567
- อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์. 2556. งานการผลิต การปรับปรุงพันธุ์และการแปรรูป. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- Arnon, D.L., and P.R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*. 14: 371–375.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* 7th rd.
- Institute of Biodiversity Conservation (IBC). 2012. Ethiopia: Third country report on the state of plant genetic resources for food and agriculture. Addis Ababa, Ethiopia.
- Islam, M.S., M.T. Ail, M.K. Hasan, A.H. Wais, M.A. Hakim, B.A.G. Bari, and M.K. Chowdhury. 2019. Response of sulphur and zinc on the growth and yield traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) at Old Himalayan Piedmont Plain soil. *Agricultural Sciences* 3(1): 98–115.

- Kundu, C.K., S. Mondal, B. Basu, and P. Bandopadhyay. 2010. Effect of doses and time of sulphur application on yield and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environment and Ecology* 28(4): 2629–2631.
- Langham, D.R., and T. Wiemers. 2002. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. P157–173. In J. Janick and A. Whipkey (eds.). *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Patel, J.R., and V.B. Shelke. 1995. Effect of farmyard manure, phosphorus and sulphur on growth, yield and quality of Indian mustard. *Indian Journal of Agronomy* 43 : 713–717.
- Ruchitha, P., C. Umesha, and G. Ashok. 2023. Response of sulfur and zinc on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environment and Ecology* 1674-1679.
- Salunkhe, D.K., J.K. Chavan, R.N. Adsule, and S.S. Kadam. 1992. *World oilseeds: chemistry, technology, and utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold
- Singh, A.K., and R.S. Singh. 2012. Effect of phosphorus and bioinoculants on yield, nutrient uptake and economics of long duration pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Indian Journal of Agronomy* 57(3): 265–269.
- Weiss, E.A. 1971. *Castor, sesame and safflower*. Loonard Hill, London. 867 pp.
- Weiss, E.A. 1983. Sesame. In *Oilseed Crops*. Longman, London. Pp. 282-340
- Yadav, P., S.S. Yadav, K. Garg, L.R. Yadav, S.K. Yadav, and R.K. Shekhawat. 2020. Effect of sulphur and zinc fertilization on yield, uptake and nutrient-use efficiency of sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy* 65(3): 377-381.
- Yadav, P., S.S. Yadav, K. Garg, and S. Yadav. 2020. Effect of sulphur and zinc fertilization on growth, yield attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy*. 65(1): 120-124.
- Yadav, P., S.S. Yadav, L.R. Yadav, and S. Choudhary. 2022. Effect of sulphur and zinc fertilization on seed yield, protein, and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Semi-arid Eastern Plains of Rajasthan. *Annals of Agricultural Research* 43(3): 322-326.
- Zhang, Z., K. Sun, A. LU, and X. Zhang. 1999. Study on the effect of S fertilizer application on crops and the balance of S in soil. *Journal of Agricultural Science* 5. 25–27.