โครงการวิจัยที่ 1

ศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารหลักในการพัฒนาการผลิต และคุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อน

The Effect of Macro Nutrient on the Production and Product Quality Improvement of *Perilla frutescens* (L.) Britton

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อเพื่อให้ทราบถึงปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และมีปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพทางเคมีของงาขี้ม้อนต่อความต้องการของตลาด และเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาขี้ม้อ โดยมีการทำการทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 ทำการศึกาอิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพทางเคมีของงาขี้ม้อน โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) มี 7 กรรมวิธี คือ ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), 100 (T5) กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 (T6) และ 1,000 (T7) กิโลกรัมต่อไร่ การทดลองที่ 2 ทำการศึกาอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพทางเคมีของงาขี้ม้อน โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) มี 7 กรรมวิธี คือ ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), 100 (T5) กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 (T6) และ 1,000 (T7) กิโลกรัมต่อไร่ และการทดลองที่ 3 ทำการศึกาอิทธิพลของธาตุโพแทสต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพทางเคมีของงาขี้ม้อน โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) มี 7 กรรมวิธี คือ ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), 100 (T5) กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 (T6) และ 1,000 (T7) กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการศึกษา พบว่า เมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางสรีระวิทยาของต้นงาขี้ม้อน การใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมส่งเสริมให้งาขี้ม้อนมีการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางสรีระวิทยาสูงสุด ในขณะที่เมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตราที่สูงกว่า 50 กิโลกรัมต่อไร่ งาขี้ม้อนจะเริ่มแสดงความเป็นพิษ (Toxicity) ซึ่ง

ส่งผลกระทบต่อการชะงักการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางด้านสรีระวิทยาของงาขี้ม้อน ผลผลิตของงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่จะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนสูงสุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราจะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด คุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียมในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่จะให้คุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน (การสะสม Protein, APX, SOD, LOX, Antioxidant activity, Lipid, α – linolenic acid, linoleic acid, oleic acid, steric acid, และ palmatic acid) สูงสุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราจะให้คุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด การสะสมปริมาณสาร Rosmarinic acid และ Total antioxidant activity จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ในขณะเดียวกันการสะสมสาร Rosmarinic acid และ Total antioxidant activity จะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส โดยจะพบการสะสมสารสำคัญทั้งสองในปริมาณสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียมจะพบการสะสมสารสำคัญทั้งสองในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่สูงขึ้น โดยมีการสะสมสารสำคัญทั้งสองเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

คำสำคัญ: งาขี้ม้อน, การดูดใช้ธาตุอาหาร, การเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืช, คุณภาพผลผลิตงาขี้ม้อน, กรดไขมันอิสระ, โอเมก้า – 3

Abstract

The experiments were aimed to evaluate the optimum concentration of plant nutrients as nitrogen (NH_4^+), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O) on growth and development, plant productivity, and product quality of perilla (*Perilla frutescens* L Britton). The experiments were conducted under 3 experiments: Experiment 1: The efficiency of nitrogen (NH_4^+) on growth and development, plant productivity, and product quality of perilla (*Perilla frutescens* (L.) Britton). The experiment was done under randomized complete block design (RCBD) with 5 replications. Treatments were nitrogen (NH_4^+) 0 (Control, T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), and 100 (T5) kg rai^{-1}, and the application of bio-fertilizer were 500 (T6) and 1,000 (T7) kg rai^{-1}. Experiment 2: The efficiency of phosphorus (P_2O_5) on growth and development, plant productivity, and product quality of perilla (*Perilla frutescens* (L.) Britton). The experiment was done under randomized complete block design (RCBD) with 5 replications. Treatments were phosphorus (P_2O_5) 0 (Control, T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), and 100 (T5) kg rai^{-1}, and the application of bio-fertilizer were 500 (T6) and 1,000 (T7) kg rai^{-1}. Experiment 3: The efficiency of potassium (K_2O) on growth and development, plant productivity, and product quality of perilla (*Perilla frutescens* (L.) Britton). The experiment was done under randomized complete block design (RCBD) with 5 replications. Treatments potassium (K_2O) 0 (Control, T1), 5 (T2), 30 (T3), 50 (T4), and 100 (T5) kg rai^{-1}, and the application of bio-fertilizer were 500 (T6) and 1,000 (T7) kg rai^{-1}. The experiment found that the application of nitrogen (NH_4^+), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O) at the rate of 30 (T3), and 50 (T4) kg rai^{-1} or bio-fertilizer at the rate of 1,000 kg rai^{-1} showed the highest of perilla physiological growth and development. On the other hand, the toxicity of N, P and K on perilla plant was found at the concentration at higher than 50 kg rai^{-1} of nitrogen (NH_4^+), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O). Moreover, nitrogen (NH_4^+) at 30 kg rai^{-1}, or phosphorus (P_2O_5) at 30, and 50 kg rai^{-1} and potassium (K_2O) at 50 kg rai^{-1} provided the highest of perilla grain. Additionally, at those concentrations of nitrogen (NH_4^+), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O), perilla grain provided the highest of grain perilla, which reached of protein, APX, SOD, LOX, Antioxidant activity, Lipid, α – linolenic acid, linoleic acid, oleic acid, and low of steric acid, and palmatic acid content. Nevertheless, the bio-fertilizers treatments showed the lowest of perilla grain yield and quality. However, the bio-fertilizer treatments contained the high content of rosmarinic acid (RoA), and total antioxidant activity in perilla leaf.

Keywords: Perilla, *Perilla frutescens* L Britton, nutrient uptake, product quality, omega - 3

1.1 รายนามคณะผู้วิจัยตามโครงการวิจัยที่ 1

1.1.1 หัวหน้าโครงการ

ดร. ปิติพงษ์ โตบันลือภพ

หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน: 3 5299 00050 03 7

หน่วยงานสังกัด: ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

หมายเลขโทรศัพท์: 0-4372-1728, โทรสาร 0-4374-3135,

หมายเลขโทรศัพท์ (มือถือ): 0-8700-93646

E-mail address: pitipongtho@yahoo.com

ที่อยู่ (ที่บ้าน): 256/13 หมู่บ้าน ถ. ปราจีนธาณี ต.ดงพระราม อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25000

1.1.2 ผู้ร่วมงานวิจัย

1.1.2.1 ดร.วิลาสินี จิตต์บรรจง

หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน: 3 8601 00266 52 2

หน่วยงานสังกัด: กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

หมายเลขโทรศัพท์: 0-2940-5628

หมายเลขโทรศัพท์ (มือถือ): 0-8175-06423

E-mail address: wilas111@yahoo.com

1.1.2.2 นายสมคิด พันโนราช

เลขประจำตัวประชาชน 1 4305 000 74 54 7

ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

หมายเลขโทรศัพท์ 087 – 5663968

E – mail: pannorat@gmail.com

1.1.3 ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

1.1.3.1 Prof. Dr. Elke Pawelzik

ตำแหน่ง: Full Professor (C3)

หน่วยงานสังกัด: Institute for Agricultural Chemistry, Department Quality of Plant Products, Georg-August University of Goettingen, Carl-Sprengel-Weg 1, D-37075 Goettingen, Germany
หมายเลขโทรศัพท์:+49-551-395545, **โทรสาร**: +49-551-395570
E-Mail: epawelz@gwdg.de

1.1.3.2 ศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วงษ์ใหญ่
หน่วยงานสังกัด: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ. พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์: 0-2579-0588, 0-2579-6131

1.1.3.3 อาจารย์ สุขุมาลย์ เลิศมงคล
ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์: 0-2579-0588, 0-2579-6131

1.2 หน่วยงานวิจัย

1.2.1 หน่วยงานหลัก

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000
หมายเลขโทรศัพท์: 0-4372-1728, **โทรสาร** 0-4374-3135,

1.2.2 หน่วยงานสนับสนุน

1.2.2.1 สถาบันวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50000
หมายเลขโทรศัพท์: 0-5394-4050

1.2.2.2 Institute for Agricultural Chemistry, Department Quality of Plant Products, Georg-August University of Goettingen, Carl-Sprengel-Weg 1, D-37075 Goettingen, Germany
หมายเลขโทรศัพท์: +49-551-395545, **โทรสาร**: +49-551-395570

1.2.2.3 ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) กรุงเทพมหานคร

1.2.2.4 กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
หมายเลขโทรศัพท์: 0-2940-5628

1.2.2.5 บริษัท เอฟ แอนด์ ที อินเตอร์เนชั่นมัล อะโกร บัสซิเนส จำกัด (F&T International Agro-Business Co. Ltd.) 70/52 ซอย 11 หมู่ 5 ต. บึงคำพร้อย อ.ลำลูกกา จ. ปทุนธานี 12150

1.3 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

งาขี้ม้อน (*Perilla frutescens* L. *Britton*) เป็นพืชที่มีความไวของแสง อุณหภูมิ การกระจายของฝน วันปลูก (สถาบันพืชไร่, 2542 ;2) อิทธิพลของธาตุอาหาร อายุการเก็บรักษา และการเร่งอายุซึ่งมีผลต่อคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ งาขี้มอนสามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดได้31 – 51 % ซึ่งเป็นแหล่งอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไลโนเลนิก (โอเมก้า- 3) 55 – 60 % กรดไลโนเลอิก (โอเมก้า- 6) 18- 22 % และกรดโอเลอิก (โอเมก้า -9) 0.080 – 0.17 % ซึ่งจัดว่าเป็น 3 องค์ประกอบของไขมันที่มีคุณค่าต่อสุขภาพผู้บริโภคโดยปกติแล้วแหล่งสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสาม นั้นพบได้มากใน น้ำมันลินิน น้ำมันปลา และน้ำมันงาขี้ม้อน โดยเฉพาะน้ำมันงาขี้ม้อนซึ่งเป็นน้ำมันที่มีความสมดุลของโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ดีกว่าน้ำมันอื่นๆ อีกสองชนิด ประโยชน์ของน้ำมันงาขี้ม้อนนั้นพบว่าสามารถควบคุมคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ป้องกันดรคอัลไซเมอร์ และใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคเอดส์ (ศิริวรรณ และคณะ, 2551) แต่ทั้งนี้คุณภาพการผลิตน้ำมันงาขี้ม้อนนั้นถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมดุลของธาตุอาหารพืชระหว่างทำการเพาะปลูก ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนา การให้ผลผลิต และที่สำคัญควบคุมความสมดุลของคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตที่ทำการเก็บเกี่ยวได้

ธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช (macro nutrients) มี 3 ชนิด คือ ธาตุไนโตรเจนช่วยให้พืชเจริญเติบโตและมีความแข็งแรง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น ทำให้พืชมีสีเขียวเข้มและพืชอวบขึ้น ธาตุไนโตรเจนยังเป็นส่วนที่สำคัญของสารประกอบต่างๆที่มีความสำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึม ธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ phospholipids ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้พลังงานแก่พืช และเป็นองค์ประกอบของ nucleoproteins ซึ่งจะมีความสำคัญเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของ phytin ซึ่งเปรียบเสมือนหนึ่งเป็นที่สะสมฟอสเฟตในเมล็ดพืช และธาตุโพแทสเซียม เป็นธาตุที่มีความสำคัญและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตพืช โดยเกี่ยวข้องกับการสร้าง เคลื่อนย้าย และสะสมสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง

ของพืช เช่น กระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล และการเคลื่อนย้าย สะสมแป้งและน้ำตาลภายในพืช ช่วยในการสะสมน้ำมัน เช่นในเมล็ดพืชตระกูลถั่ว และมีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจและการคายน้ำของพืช ธาตุอาหารหลักของพืช (macro nurients) ทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อผลผลิต คุณภาพเมล็ดพันทางเคมีและกายภาพของงาขี้ม้อน ทั้งนี้สภาพพื้นที่ทางการเกษตรโดยส่วนใหญ่ของประเทศไทยนั้นมีปัญหาที่สำคัญคือ ความสมดุลของธาตุอาหารหลักทั้งสามชนิดดังกล่าว ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อการกำหนดสมดุลของธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกงาขี้ม้อนเพื่อให้ได้ผลผลิตมีคุณภาพและเป็นที่ต้องการของตลาด

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และมีปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพทางกาย และทางเคมีต่อความต้องการของตลาด และเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาขี้ม้อนต่อไปในอนาคต

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี (free fatty acid, โปรตีน, Superoxide dismutase, Ascorbate peroxidase, Antioxidant activity, Lipoxygenase, ปริมาณสัดส่วนของไขมัน, และ rosmarinic acid content) ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน เพื่อให้ได้ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตสูงสุด เหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อผลิตอาหารเสริมสุขภาพ และยาต่อไป

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย สถานที่ทำการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง

1.6.1 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 อิทธิพลของธาตุอาหารไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

วิธีการทดลอง

โดยใช้เมล็ดปลูกในพื้นที่ปลูกทดสอบขนาด 3 ตารางเมตร โดยทำการปลูกทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบ Random Completely Bloke Design (RCBD) มี 5 ซ้ำ โดยมีหน่วยการทดลอง (Treatment) ดังนี้

Treatment 1 ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม)

Treatment 2 ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 5 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 3 ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 30 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 4 ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 50 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 5 ปริมาณไนโตรเจน (NH_4^+) 100 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 6 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 7 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

โดยควบคุมปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (P_2O_5) และปริมาณธาตุโพเตสเซียม (K_2O) ปริมาณ 30 กิโลกรัมต่อไร่

หมายเหตุ: ทำการเพิ่มกรรมวิธีการทดลองที่ 6 และ 7 จากแบบเสนอแผนงานวิจัย (Research proposal) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตอบสนองทางการเจริญเติบโต การพัฒนา และคุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อน เพื่อตอบวัตถุประสงค์สำหรับการผลิตพืชอินทรีย์ที่ปลอดการใช้สารเคมี เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อผลิตอาหารเสริมสุขภาพ และยาต่อไป

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของธาตุอาหารฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

วิธีการทดลอง

โดยใช้เมล็ดปลูกในพื้นที่ปลูกทดสอบขนาด 3 ตารางเมตร โดยทำการปลูกทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบ Random Completely Bloke Design (RCBD) มี 5 ซ้ำ โดยมีหน่วยการทดลอง (Treatment) ดังนี้

Treatment 1 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม)

Treatment 2 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 5 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 3 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 30 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 4 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 50 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 5 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 100 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 6 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

Treatment 7 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

โดยควบคุมปริมาณธาตุ ไนโตรเจน (NH_4^+) และปริมาณธาตุโพเตสเซียม (K_2O) ปริมาณ 30 กิโลกรัมต่อไร่

หมายเหตุ: ทำการเพิ่มกรรมวิธีการทดลองที่ 6 และ 7 จากแบบเสนอแผนงานวิจัย (Research proposal) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตอบสนองทางการ

เจริญเติบโต การพัฒนา และคุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อน เพื่อตอบวัตถุประสงค์สำหรับการผลิตพืชอินทรีย์ที่ปลอดการใช้สารเคมี เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อผลิตอาหารเสริมสุขภาพ และยาต่อไป

การทดลองที่ 3 อิทธิพลของธาตุอาหารโปรเตสเซียสต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

วิธีการทดลอง

โดยใช้เมล็ดปลูกในพื้นที่ปลูกทดสอบขนาด 3 ตารางเมตร โดยทำการปลูกทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบ Random Completely Bloke Design (RCBD) มี 5 ซ้ำ โดยมีหน่วยการทดลอง (Treatment) ดังนี้

Treatment 1 ปริมาณโพเตสเซียม (K_2O) 0 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีการควบคุม)
Treatment 2 ปริมาณโพเตสเซียม (K_2O) 5 กิโลกรัมต่อไร่
Treatment 3 ปริมาณโพเตสเซียม (K_2O) 30 กิโลกรัมต่อไร่
Treatment 4 ปริมาณโพเตสเซียม (K_2O) 50 กิโลกรัมต่อไร่
Treatment 5 ปริมาณโพเตสเซียม (K_2O) 100 กิโลกรัมต่อไร่
Treatment 6 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่
Treatment 7 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

โดยควบคุมปริมาณธาตุไนโตรเจน (NH_4^+) และปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (P_2O_5) ปริมาณ 30 กิโลกรัมต่อไร่

หมายเหตุ: ทำการเพิ่มกรรมวิธีการทดลองที่ 6 และ 7 จากแบบเสนอแผนงานวิจัย (Research proposal) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตอบสนองทางการเจริญเติบโต การพัฒนา และคุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อน เพื่อตอบวัตถุประสงค์สำหรับการผลิตพืชอินทรีย์ที่ปลอดการใช้สารเคมี เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อผลิตอาหารเสริมสุขภาพ และยาต่อไป

1.**6.2 สถานที่ทำการทดลอง**

1.6.2.1 สถานที่สำหรับการปลูกทดสอบ

ได้ดำเนินการปลูกทดสอบภายใต้สภาพแปลงที่มีการควบคุมระบบการจัดการน้ำ ณ สถานีวิจัยการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างเดือน มกราคม – กรกฎาคม 2553

1.6.2.2 สถานที่สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ได้ดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และสถาบันวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1.6.3 การบันทึกผลการทดลอง

1.6.3.1 การบันทึกผลการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

การเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของพืชปลูก ทำการบันทึกผลการทดลองที่ 70, 104, 134 และ 157 วันหลังการเพาะปลูก (day after planting) โดยทำการบันทึกผลการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยา ดังนี้

1.6.3.1.1 ความสูงของต้น (Plant high)

1.6.3.1.2 ปริมาณคลอโรฟิวส์ (Chlorophyll content)

1.6.3.1.3 ปริมาณพื้นที่ของใบ (Leaf area)

1.6.3.1.4 ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (Leaf area ratio; LAR)

ค่า LAR บ่งบอกถึงการมีจำนวนใบมาก หรือน้อย (leafiness) คำนวณจาก

$$LAR = LA / W$$

เมื่อ LA = พื้นที่ใบ

W = น้ำหนักแห้ง

1.6.3.1.5 ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (Specific leaf area; SLA)

ค่า SLA บ่งบอกถึงลักษณะการาจัดเรียงตัวของใบ หรือความหนาแน่นของใบต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของใบ หรืออาจบ่งบอกถึงความหนาบาง และความหนาแน่นของใบ ซึ่งมีผลต่อการกระจาย และการส่องผ่านของแสงภายในทรงพุ่มของพืช

$$SLA = LA / DWL$$

เมื่อ LA = พืนที่ใบ

DWL = น้ำหนักแห้งใบ

1.6.3.1.6 ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (Leaf area index; LAI)

ค่า LAI บ่งบอกถึงปริมาณของพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ปลูก

LAI = LA / area

เมื่อ LA = พืนที่ใบ

Area = พื้นที่ปลูก

1.6.3.1.7 ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (Specific leaf weight; SLW)

ค่า SLW บ่งบอกถึงความหนาบางของใบพืช โดยมีความสัมพันธ์ร่วมกับค่า LAR, LWR และ SLA ดังสมการ

$$LAR = SLA \times LWR$$

$$LA / DW = LA / DWL \times DWL / DW$$

ดังนั้น SLW = DWL / LA

1.6.3.1.8 ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (Leaf weight ratio; LWR)

ค่า LWR เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความมีใบมาก หรือน้อย โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากน้ำหนักเป็นเกณฑ์

LWR = DWL x W

เมื่อ DWL = น้ำหนักแห้งใบ

DW = น้ำหนักแห้งทั้งต้น

1.6.3.1.9 อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(Crop growth rate; CGR)

ค่า CGR เป็นดัชนีบ่งบอกถึงอัตราการสะสมน้ำหนักของพืชต่อพื้นที่เพาะปลูกต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยค่า CGR มีความสัมพันธ์กับค่า NAR และ LAI ดังนี้

CGR = NARx LAI

= (1 / LA x dW / dT) x LA / Area

1.6.3.1.10 ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (Net assimilation rate; NAR)

ค่า NAR บ่งบอกถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสงของใบพืช

$$NAR = DW / LA$$

$$= 1 / LA \times dW / dT$$

1.6.3.1.11 ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน (Economic yield)

1.6.3.1.12 ดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvested index; HI)

ค่า HI เป็นดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ปลูก

1.6.3.2 การบันทึกผลทางด้านองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

1.6.3.2.1 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเมล็ด (Total protein content; AOAC, 2000)

1.6.3.2.2 ปริมาณไขมันทั้งหมดในเมล็ด (Total lipid content; Lam and Proctor, 2000)

1.6.3.2.3 ค่ากิจกรรมกาต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดภายในเมล็ด (Total antioxidant activity; Kim *et al*., 2002)

1.6.3.2.4 ปริมาณ และองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid composition; GC-MS method – Xiu *et al*., 2005) ได้แก่ α – Linolenic acid (18:3, Ω – 3), Linoleic acid (18:2, Ω – 6), Oleic aicd (18:1, Ω – 9), Steric acid (18:0) และ Palmatic acid (16:0)

1.6.3.2.5 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD; Oberley and Spitz, 1985)

1.6.3.2.6 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX; Nakano and Asada, 1981)

1.6.3.2.7 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX; Mechehdani, 1990)

1.6.3.2.8 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate; Merrill and Watt, 1973)

1.6.3.2.9 ปริมาณน้ำตาล D-glucose, Sucrose, Lactose, และ Maltose (Luff – Schoorl method; Alexander *et al*., 1985)

1.7 ผลการดำเนินการ

1.7.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

1.7.1.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

1.7.1.1.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 70 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนที่ได้รับธาตุไนโตรเจนในระดับต่าง ๆ พบว่า ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ไม่มีความแตกต่างทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้ม พบว่า ที่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าดัชนี SLA สูงสุด และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตร 100 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธีการทดลอง เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีแนวโน้มสูงสุดเมื่อมีการใช้ไนโตรเจนอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ และต่ำสุดที่การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก (CGR) พบว่าไม่มีวามแตกต่างกันทางสถิติ พบว่ากรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ 30 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ 5 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) พื้นที่ใบ (LA) และความสูงของต้น (High) ขณะที่น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีแนวโน้มการใช้ธาตุไนโตรเจนที่อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ให้ค่าสูงสุดต่ำสุดที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตรา 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อ (ตารางที่ 1)

1.7.1.1.2 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 104 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุไนโตรเจนในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 104 วัน พบว่า ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ไม่มีความแตกต่างทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้งนี้ค่า LAR มีแนวโน้มลดลงตามอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า LAR สูงสุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (765.31, 773.52 ในกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้ม พบว่า ที่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าดัชนี SLA สูงสุด และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ที่อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) พบว่า งาขี้ม้อนมีค่า LAI เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจน โดยจะพบค่า LAI สูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนที่อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ (LAI = 5475.9 mm) โดยจะมีค่า LAI สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธีการทดลอง ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) พบว่า งาขี้ม้อนจะมีค่า LWR ลดลงเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น โดยจะพบค่า LWR สูงสุดเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น โดยจะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) กรณีปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL), ความสูงต้น (High), และน้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) พบว่า การใช้ธาตุไนโตรเจนมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใบ (LA) พบว่า งาขี้ม้อนจะมีพื้นที่ใบสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีพื้นที่ใบต่ำสุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) พบว่า งาขี้ม้อนจะมีค่า LAD ต่ำสุดในกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่กรรมวิธีทดลองการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 2)

1.7.1.1.3ทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 134 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุไนโตรเจนในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 134 วัน พบว่า ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ความสูงต้น (High) น้ำหนักแห้ง (DW) และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธีการทดลอง ในขณะที่ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) และพื้นที่ใบ (LA) แสดงการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ จะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) พบว่า จะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และอัตราเจริญเติบโตต่อระยะเวลา (RGR) พบว่า จะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่การใช้ธาตุไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3)

1.7.1.1.4 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 157วันหลังการเพาะปลูก (ก่อนการเก็บเกี่ยว)

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุไนโตรเจนในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 157วันหลังการเพาะปลูก (ก่อนการเก็บเกี่ยว) พบว่า ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) และอัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR)ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) อัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL), ความสูงต้น (High), และน้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) จะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีการใช้ธาตุไนโตรเจนที่อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแสดงในแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราเจริญเติบโตต่อระยะเวลา (RGR) (ตารางที่ 4)

1.7.1.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน พบว่า การเจริญเติบโตและการพัฒนาของงาขี้ม้อนแตกต่างกันขึ้นกับทั้งสองปัจจัย โดยค่า SLW การใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่จะมีอัตราการเพิ่มค่า SLW สูงสุด ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจน 100 กิโลกรัมต่อไร่จะมีอัตราการเพิ่มค่า SLW ต่ำสุด (รูปที่ 1B) ในขณะที่อัตราการเพิ่มค่า CGR ของงาขี้ม้อนสูงสุดในกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่จะมีค่า CGR ต่ำสุด (รูปที่ 3A) ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่จะมีค่า NAR ต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีค่า NAR ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 3B) โดยการสะสมน้ำหนักแห้ง (DW) ของงาขี้ม้อน พบว่าจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีการสะสมน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 6A) ในขณะที่ค่า LAR, LAI, SLA, CL, LA, และ DWL จะมีค่าลดลงเป็นลำดับตามอายุการเจริญเติบโตของพืช แต่ทั้งนี้พบว่าค่า LAI (รูปที่ 2A), SLA (รูปที่ 2B), CL (รูปที่ 4A), LA (รูปที่ 4B), และ DWL (รูปที่ 5B) ในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจน 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่มีอัตราลดลงต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้

ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการลดลงของดัชนีการเจริญเติบโตดังกล่าวเร็วสุด ในขณะที่ค่า LAR อัตราการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 1A)

ตารางที่ 1: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 70 วันหลังการเพาะปลูก (70 day after planting; DAP)

Nitrogen (kg./rai)	LAR	SLA	LAI (mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA (mm)
0	3202.0a	23206ab	2128.3a	4.35E-05ab	0.14ab	48.6Bc	0.0227b	38.850a	37.85b	0.28ab	2.37b	6384.8a
5	4872.0a	28643ab	2232.7a	4.05E-05ab	0.1650a	42.53c	0.0195b	38.400a	35.5b	0.265ab	2.03b	6698.2a
30	1846.3a	26620ab	2912.2a	3.95E-05ab	0.07bc	145.31a	0.0477a	38.200a	49.85ab	0.325ab	4.995a	8736.5a
50	1935.4a	30281ab	2368.8a	3.65E-05ab	0.07bc	88.73abc	0.0376ab	33.850a	37.85b	0.25ab	3.935ab	7106.3a
100	1831.3a	17463b	2200.5a	6.00E-05a	0.11abc	84.34abc	0.0383ab	37.900a	59.15a	0.395a	4.01ab	6601.4a
OM500	1699.8a	49216a	2659.4a	2.15E-05b	0.04c	124.28ab	0.0469a	39.850a	38.5b	0.18b	4.735a	7978.3a
OM1000	2782.7a	27411ab	2793.8a	3.80E-05ab	0.11abc	101.83abc	0.0347ab	35.750a	39.15b	0.31ab	3.32ab	8381.5a

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 104 วันหลังการเพาะปลูก (104day after planting; DAP)

Nitrogen (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD
0	640.21ab	1102.5a	5300.70a	9.35E-04a	0.57bc	50.97a	1.65E-03ab	43.18a	76a	14.39a	25.29a	15902a	8.43a
5	659.18ab	1021.9a	4654.7abc	1.05E-03a	0.56c	44.75abc	2.04E-03a	42.50a	80a	13.79a	26.06a	13964abc	8.69a
30	581.49ab	1166.4a	5475.9a	8.90E-04a	0.50c	52.65a	1.78E-03ab	42.98a	84a	14.14a	28.64a	16428a	9.54a
50	577.91ab	1129.7a	5137.5abc	9.23E-04a	0.48c	49.40abc	2.00E-03ab	42.96a	73a	13.67a	29.08a	15412abc	9.69a
100	553.80b	1096.4a	5237.8ab	9.62E-04a	0.61bc	50.36ab	1.55E-03ab	44.24a	85a	14.52a	24.00a	15713ab	8.00a
OM5000	765.31a	1188.9a	3938.9bc	1.07E-03a	0.80ab	37.87bc	1.34E-03ab	35.04b	48b	12.44a	15.75b	11817bc	5.25b
OM1000	773.52a	848.2a	3818.3c	1.25E-03a	0.96a	36.71c	1.31E-03b	41.08ab	45b	13.69a	15.15b	11455c	5.05b

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 134 วันหลังการเพาะปลูก (134day after planting; DAP)

Nitrogen (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	453.77a	1414.5a	5233.1a	7.50E-04a	0.32a	50.32a	2.34E-03b	33.42ab	104a	11.14ab	34.91a	15699a	11.63a	0.32b
5	371.67ab	1327.7ab	4829.0a	8.04E-04a	0.29ab	46.43a	2.84E-03ab	33.18ab	119a	11.07ab	39.82a	14487a	13.27a	0.45b
30	280.53bc	971.9bc	3914.3ab	1.11E-03a	0.29ab	37.63ab	3.89E-03a	36.28ab	127a	12.10ab	42.28a	11743ab	14.09a	0.45b
50	337.03ab	1100.5ab	4628.7a	9.73E-04a	0.30ab	44.50a	3.22E-03ab	37.84a	124a	12.62a	41.62a	13886a	13.87a	0.41b
100	195.95c	679.8c	2710.9b	9.96E-04a	0.23b	26.06b	3.52E-03ab	28.68b	99.80a	9.56b	33.33a	8133b	11.11a	0.44b
OM5000	299.04bc	1062.9abc	3996.9ab	1.02E-03a	0.29ab	38.431ab	3.49E-03ab	34.32ab	119a	11.45ab	39.80a	11991ab	13.26a	0.80a
OM1000	314.16bc	1246.0ab	4378.5a	8.21E-04a	0.25ab	42.10a	3.30E-03ab	31.68ab	127a	10.55ab	42.28a	13135a	14.09a	0.91a

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

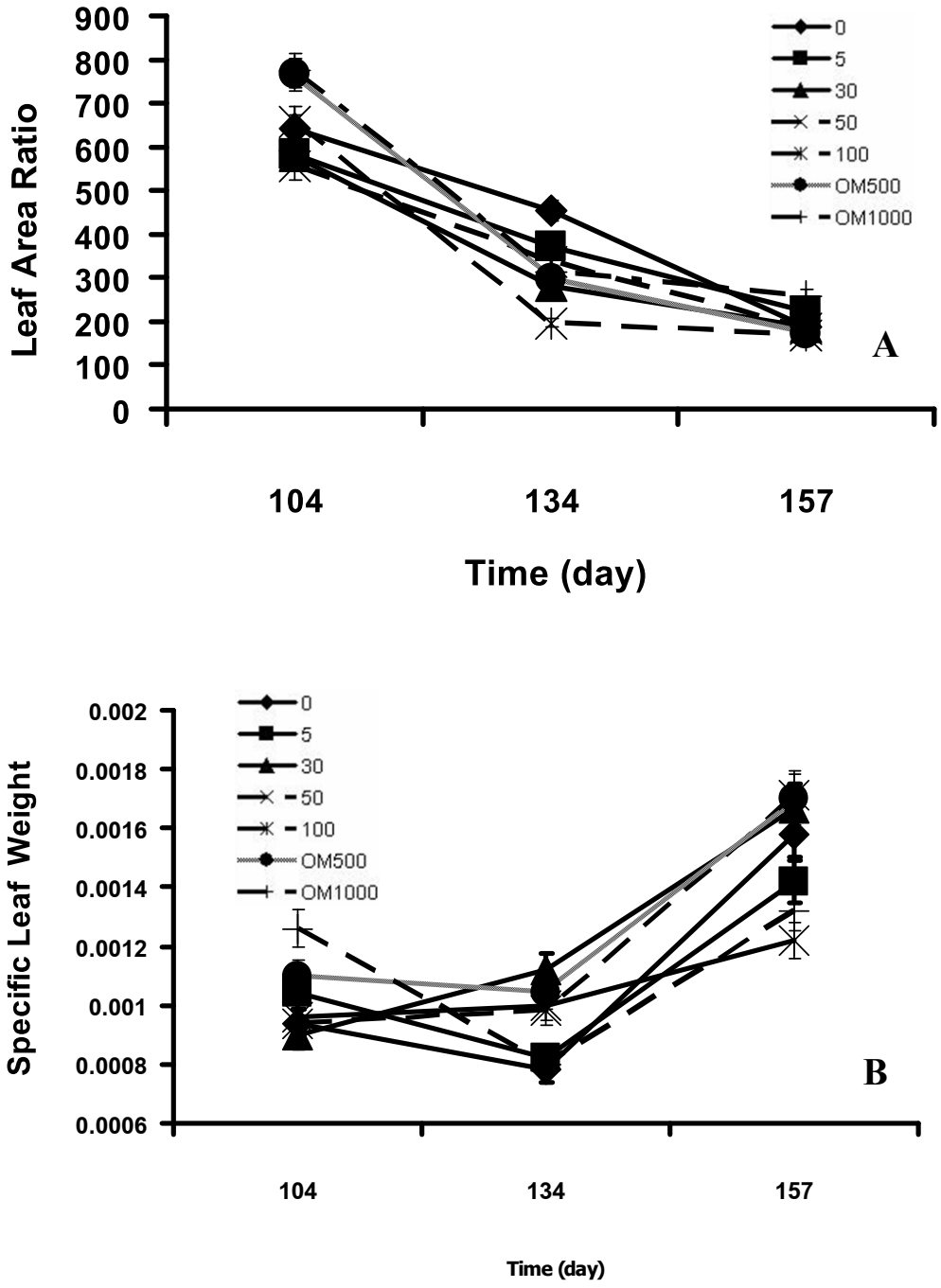
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 157 วันหลังการเพาะปลูก (157day after planting; DAP)

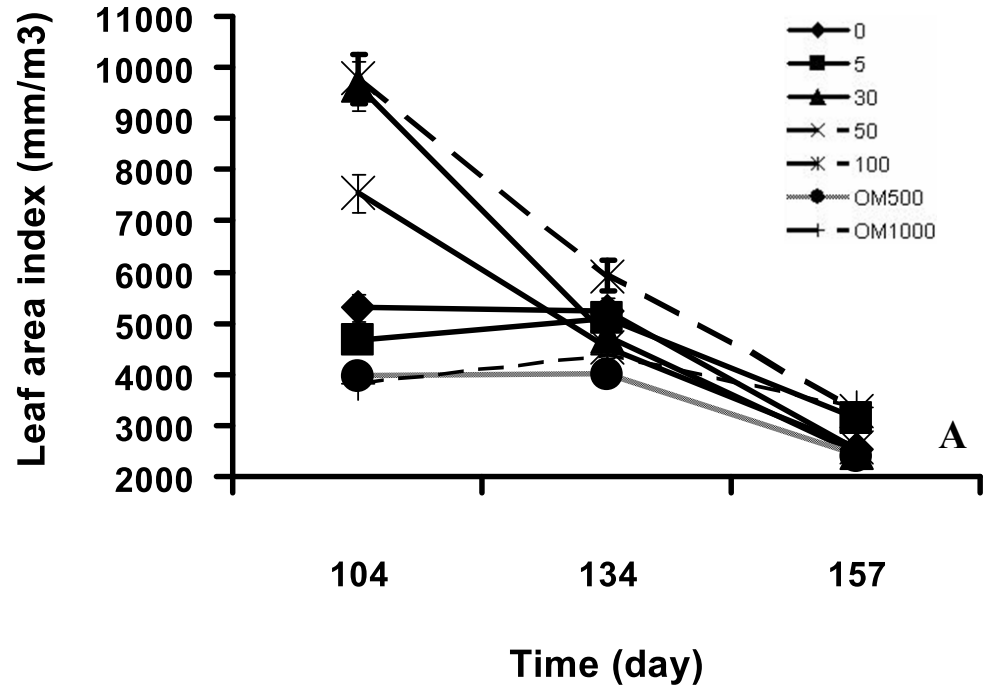
Nitrogen (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	188.10a	647.05a	2543.7a	1.58E-03ab	0.28a	16.20a	5.57E-03ab	35.56ab	124.40ab	11.84ab	41.54ab	7631a	13.84ab	0.28a
5	221.43a	798.56a	3203.8a	1.44E-03ab	0.26a	20.41a	5.48E-03ab	35.52ab	133.40a	11.83ab	44.43a	9612a	14.81a	0.20ab
30	188.02a	600.21a	2645.2a	1.68E-03a	0.31a	16.85a	5.35E-03ab	39.72a	126.80ab	13.23a	42.29ab	7936a	14.09ab	0.002abc
50	184.65a	594.54a	2576.3a	1.72E-03a	0.31a	16.41a	5.52E-03ab	39.20ab	126.60ab	13.05ab	42.17ab	7729a	14.05ab	0.02abc
100	168.86a	527.45a	2249.3a	1.22E-03b	0.25a	14.32a	3.85E-03b	30.76b	96.40b	10.25b	32.13b	6748a	10.71b	0.05bc
OM5000	171.36a	602.85a	2402.3a	1.72E-03a	0.29a	15.30a	5.84E-03a	35.92ab	125.80ab	11.97ab	41.96ab	7207a	13.98ab	0.096abc
OM1000	259.46a	864.57a	3348.3a	1.32E-03ab	0.30a	21.32a	4.64E-03ab	34.68ab	117.80ab	11.55ab	39.35ab	10045a	13.12ab	0.1280c

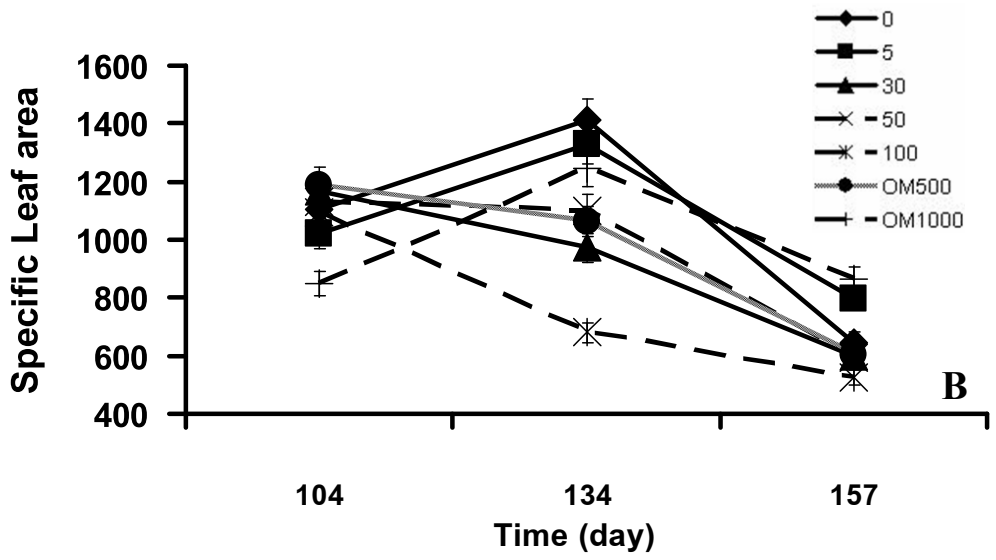
LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

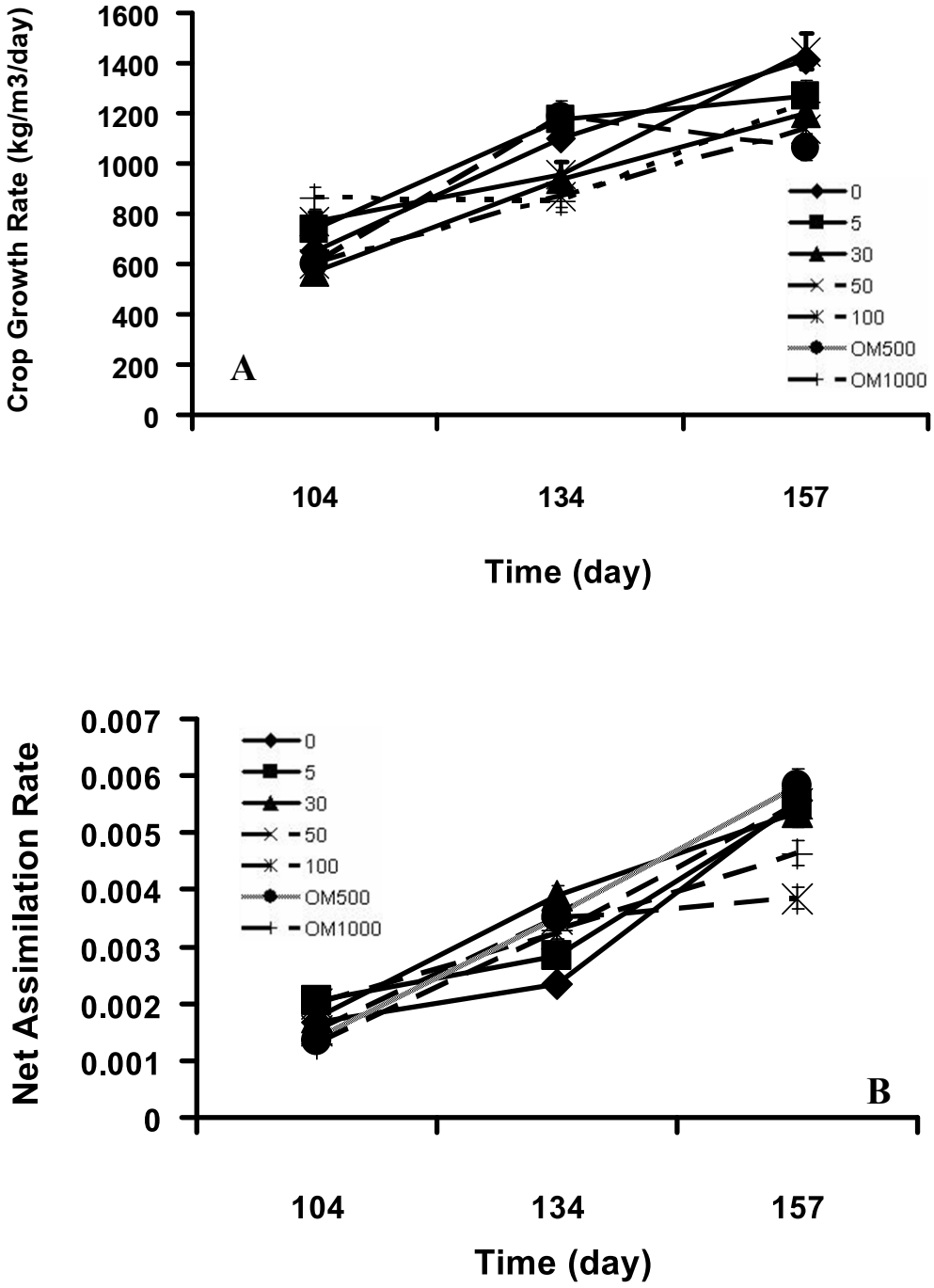


รูปที่ 1: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) (A) และอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

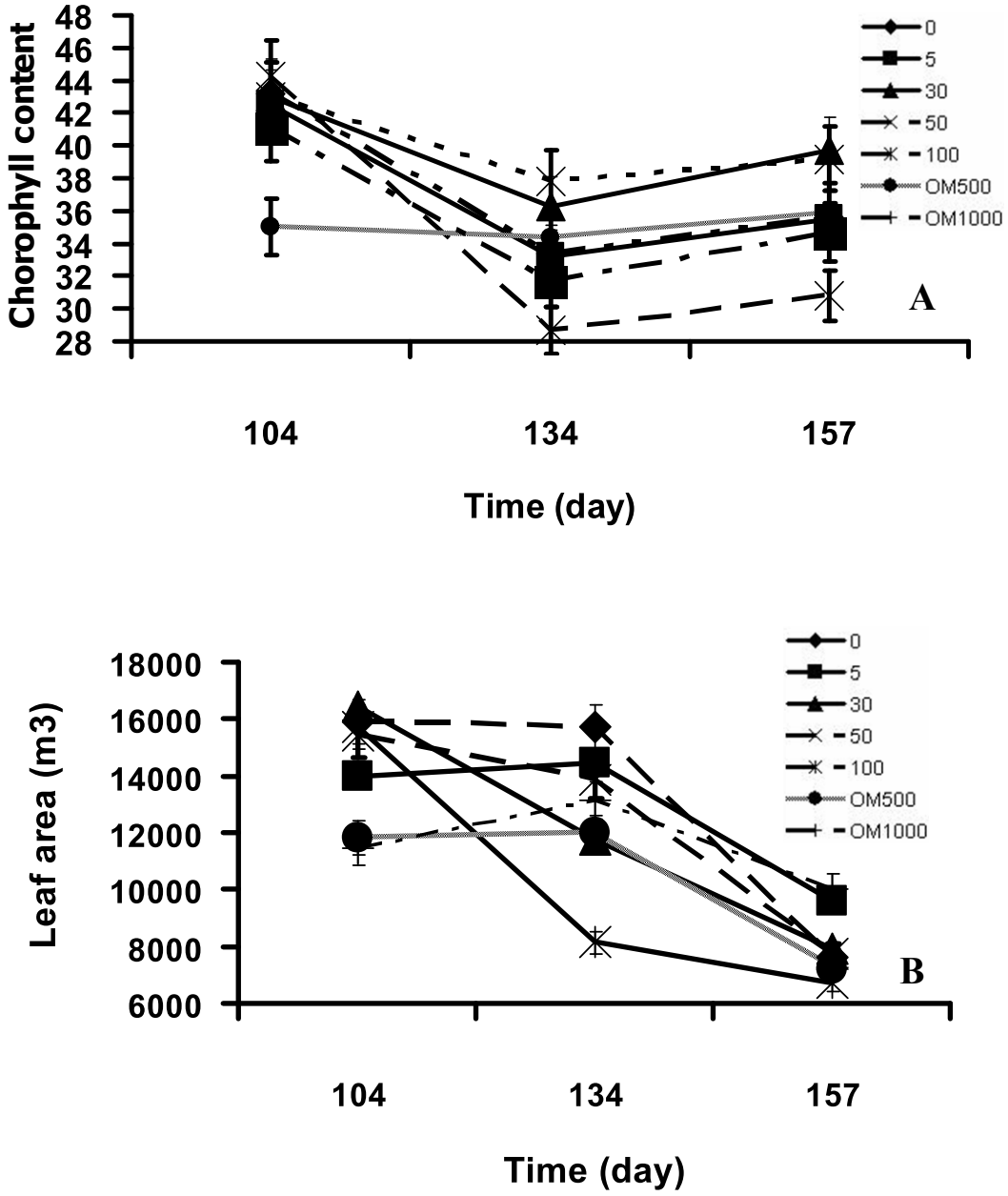




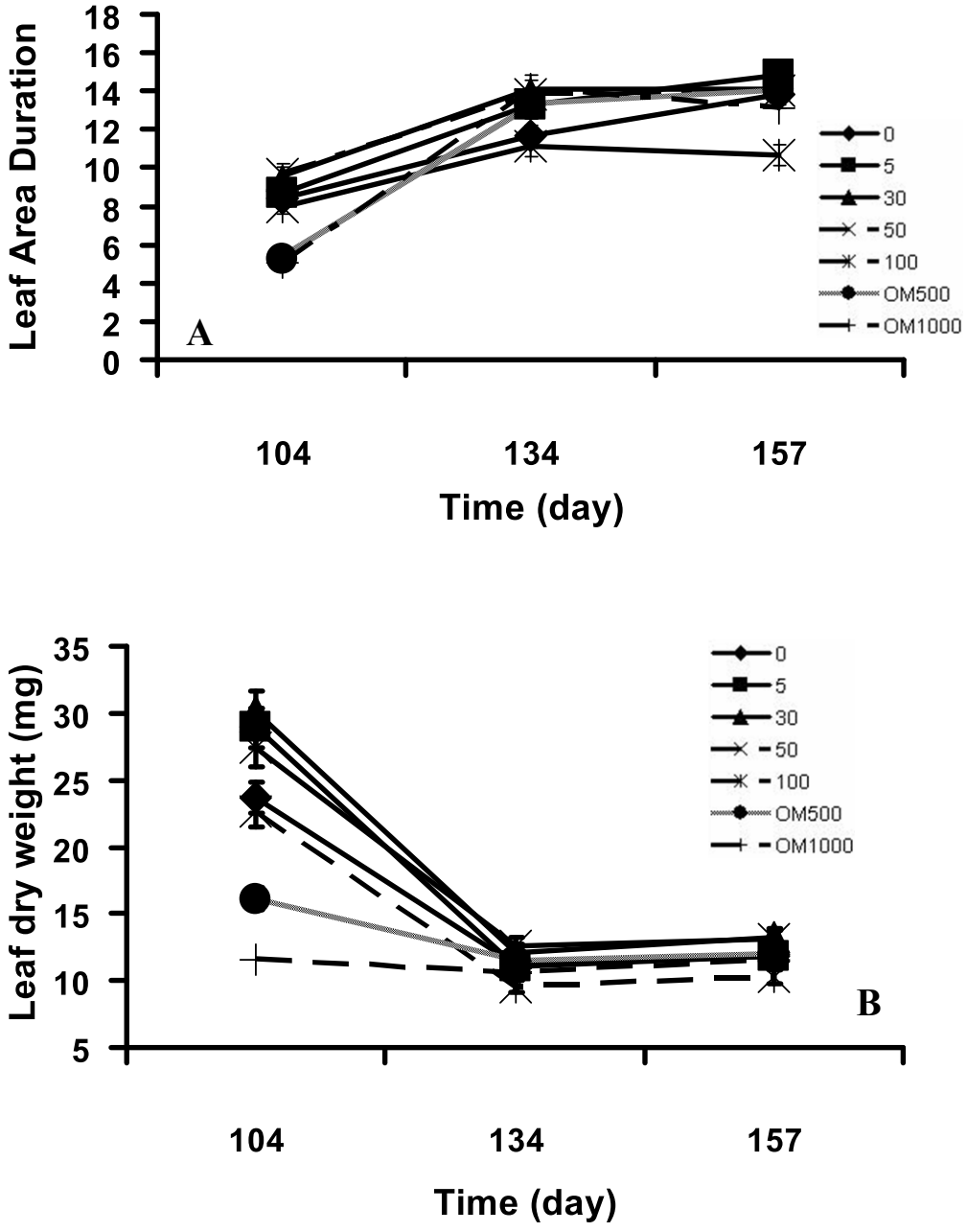
รูปที่ 2: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) (A) และค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



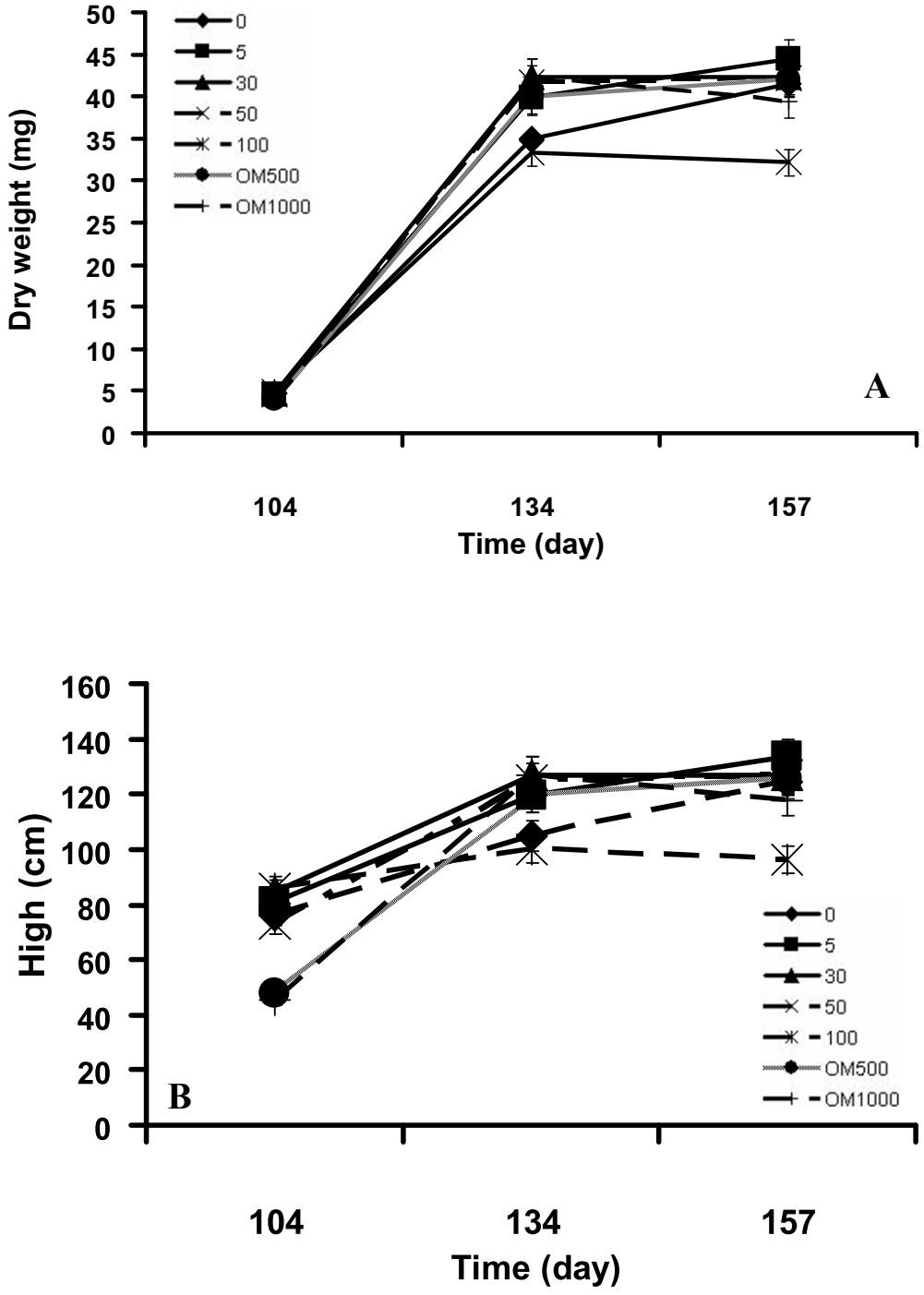
รูปที่ 3: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก (CGR) (A) และค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 4: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) (A) และพื้นที่ใบ (LA) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 5: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) (A) และน้ำหนักแห้งของใบ (DWL) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

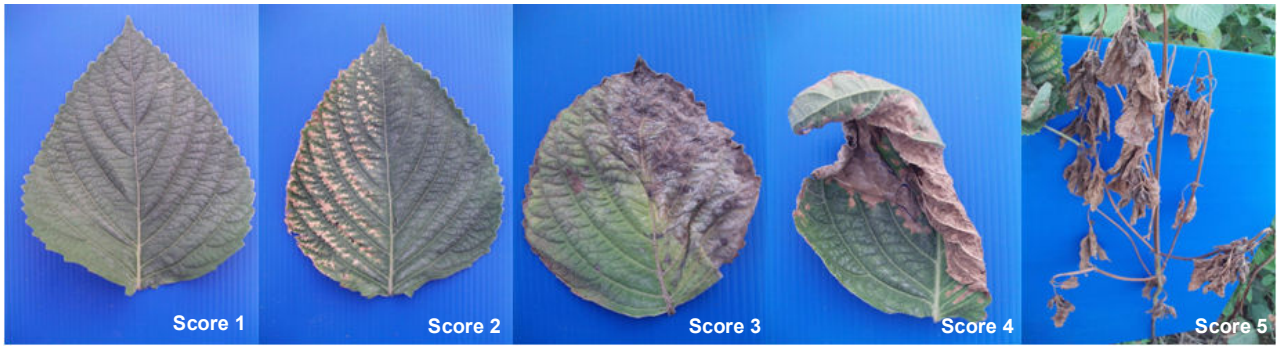


รูปที่ 6: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) (A) และความสูงต้น (High) (B) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

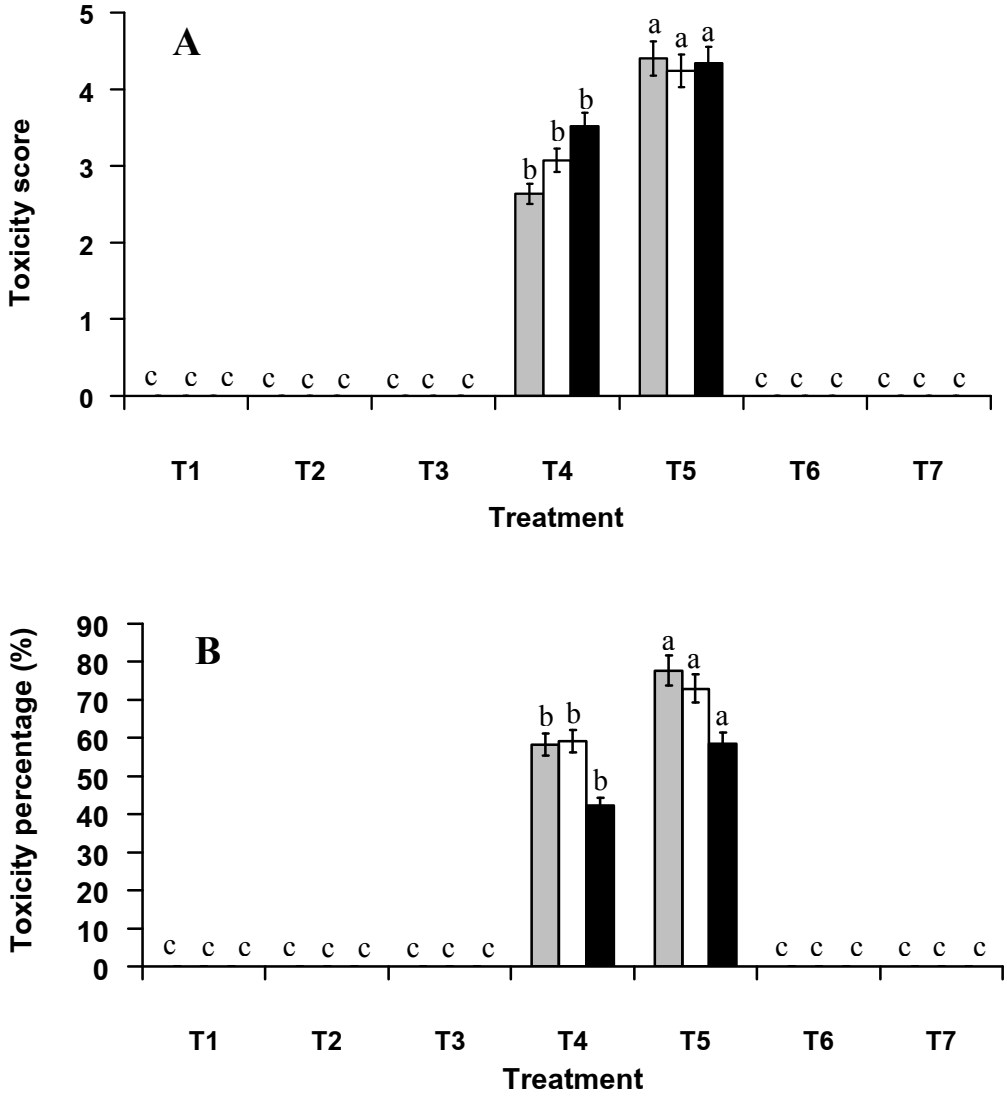
รูปที่ 7: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

1.7.1.1.6 อัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการเกิดความเป็นพิษ (Nitrogen toxicity) ต่องาขี้ม้อน

จากการศึกษาการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราต่าง ๆ พบว่า การใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราที่สูงตั้งแต่ 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะส่งผลให้งาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษ (nitrogen toxicity) เนื่องจากความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจน โดยอาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนในระยะแรกพืชจะแสดงอาการลำต้นมีขนาดเล็ก อ่อน และล้มง่าย พืชมีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น และใบมากส่งผลให้พืชมีการออกดอก และติดเมล็ดช้าส่งผลให้ผลผลิตของเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง เมื่องาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนในระดับรุนแรงพืชจะแสดงอาการใบไหม้ (Leaf bright) โดยจะเริ่มจากบริเวณขอบใบเข้าสู่กลางใบ หากอาการความเป็นพิษเกิดรุนแรงขึ้น จะส่งผลให้งาขี้ม้อนเกิดอาการใบไหม้ทั้งแผ่นใบ โดยจากการศึกษาการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราต่าง ๆ ต่อการเกิดความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจน พบว่า อาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนจะเริ่มพบในกรรมวิธีการทดลองที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะพบระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษอยู่ในระดับ 2.60 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 58.22 ของทั้งแปลงทดสอบ และระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษจะสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะมีระดับความรุนแรงของความเป็นพิษอยู่ในระดับ 4.40 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 77.70 ของทั้งแปลงทดสอบ โดยในกรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 5 – 30 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราไม่พบอาการความเป็นพิษเนื่องจากธาตุไนโตรเจน(รูปที่ และรูปที่)



รูปที่ 8: ระดับความรุนแรงของการเกิดความเป็นของการใช้ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen toxicity)

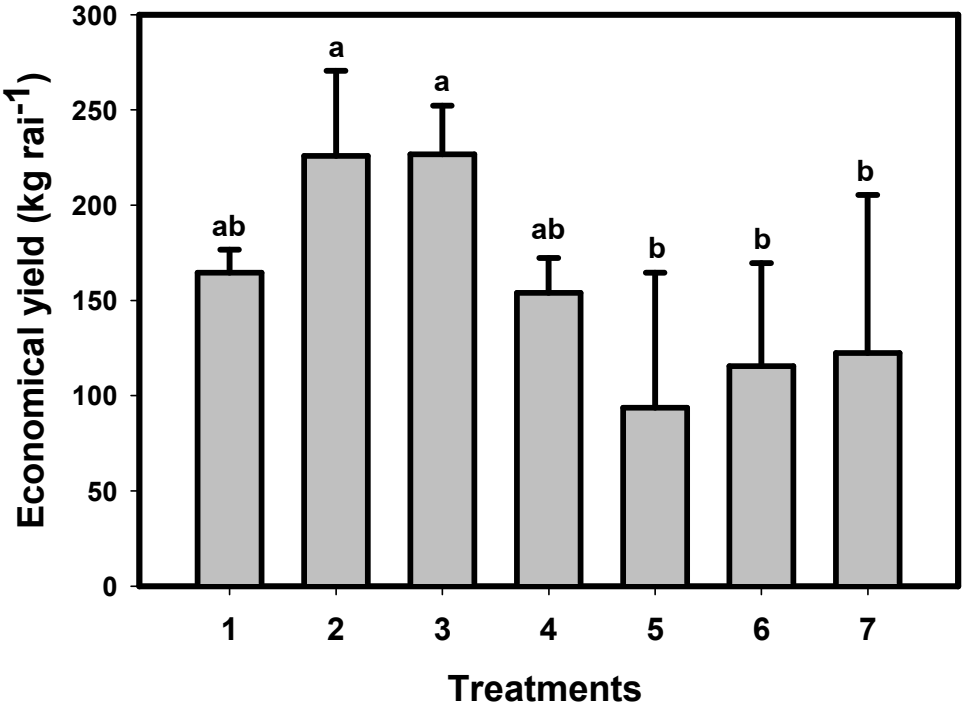


รูปที่ 9: อิทธิพลของการใช้ธาตุอาหารพืช และปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่าง ๆ ต่อการเกิดความเป็นพิษ (Nutrient toxicity) ต่องาขี้ม้อน, A: ระดับความรุนแรงของความเป็นพิษของธาตุอาหารพืช (จาก 1: มีความรุนแรงในระดับต่ำ – 5: มีความรุนแรงในระดับสูง), B: ร้อยละของการเกิดความเป็นพิษของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในแปลงปลูกทดสอบ เมื่อ ▒ : ธาตุไนโตรเจน, ▢ : ธาตุฟอสฟอรัส และ ■ : ธาตุโพแทสเซียม

รูปที่ 10: ความรุนแรงของการเกิดความเป็นของการใช้ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen toxicity) ภายในแปลงปลูกทดสอบงาขี้ม้อน

1.7.1.2 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า การใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 5 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่จะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนสูงสุด คือ 225.91 และ 226.65 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อ จะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด (93.71, 115.56, และ 122.36 กิโลกรัมต่อไร่) (รูปที่ 1) โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน กล่าวคือ ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวจะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 5 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีควบคุม การใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 11: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนในระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการเก็บเกี่ยว

1.7.1.3 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน และปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

7.1.3.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein) กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidation enzymatic activity) ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX) และ เอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) จะมีการสะสมในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีควบคุมจะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ เหล่านั้นน้อยที่สุด ในขณะที่การสะสมองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มของธาตุไนโตรเจน โดยจะพบการสะสมขององค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้สูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ธาตุไนโตรเจน และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวในปริมาณที่ใกล้เคียงกับการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับการสะสมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไขมันที่สะสมในเมล็ด คือ เอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) (ตารางที่ 13)

ในขณะที่การสะสมคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโครส ซูโครส แลคโทส และมัลโทส พบว่า คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ จะมีการสะสมสูงสุดในกรรมวิธีควบคุม และการสะสมจะลดลงตามลำดับเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนที่อัตราที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 14)

การสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมัน α – linolenic acid (Ω – 3), linoleic acid (Ω – 6) และoleic aicd (Ω – 9) และกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ steric acid และ palmatic acid พบว่า ในกรรมวิธีควบคุมจะมีการสะสมไขมันทั้งหมด และกรดไขมันในปริมาณต่ำสุด และการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันสูงสุด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 5: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein), ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX), Superoxide dismutase (SOD), และ Lipoxygenase (LOX) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Protein (g 100g-1)	APX (µmole min^{-1} 100mg^{-1} protein)	SOD (activity mg^{-1} protein)	LOX (activity mg^{-1} protein)	Antioxidant activity (IC_{50})
Control	13.25±1.045e	0.2474±0.015e	5.8389±0.133cd	0.6344±0.044c	2.2864±0.113e
N-5 kg rai-1	14.41±0.217d	0.2669±4.031E-03d	6.0850±0.088c	0.6846±9.940E-03b	2.4440±0.027d
N-30 kg rai-1	15.65±0.143b	0.2899±2.650E-03ab	6.6095±0.060b	0.6968±0.040b	2.6092±0.024b
N-50 kg rai-1	16.62±0.45a	0.2978±0.0165a	7.0190±0.189a	0.7897±0.021a	2.7706±0.074a
N-100 kg rai-1	15.07±0.159bc	0.279±2.918E-03bc	5.9240±0.458ccd	0.6953±0.021b	2.5112±0.026cd
OM-500 kg rai-1	14.80±0.167cd	0.2725±5.950E-03cd	5.6909±0.538cd	0.6925±0.017b	2.4664±0.027d
OM-1000 kg rai-1	15.39±0.302bc	0.2830±5.405E-03bc	6.4988±0.127b	0.7052±0.030b	2.5652±0.050bc

APX: ascorbate peroxidase enzymatic activity, SOD: superoxide dismutase enzymatic activity, LOX: Lipoxygenase enzymatic activity

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 6: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate), น้ำตาลกูลโคส (Glucose), ซูโครส (Sucrose), แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Carbohydrate (g 100g^{-1} DM)	Glucose (g 100g^{-1} DM)	Sucrose (g 100g^{-1} DM)	Lactose (g 100g^{-1} DM)	Maltose (g 100g^{-1} DM)
Control	33.9±5.017a	3.082±0.459a	2.054±0.301a	4.662±0.684a	5.546±0.821a
N-5 kg rai-1	28.322±1.042b	2.576±0.094d	1.716±0.064d	3.858±0.142d	4.634±0.173d
N-30 kg rai-1	22.361±0.689d	2.034±0.064e	1.356±0.042e	3.05±0.095e	3.66±0.112e
N-50 kg rai-1	17.705±2.15e	1.612±0.197cd	1.074±0.129cd	2.414±0.296cd	2.9±0.352cd
N-100 kg rai-1	25.174±0.766cd	2.29±0.068cd	1.526±0.045cd	3.434±0.104cd	4.118±0.127cd
OM-500 kg rai-1	26.47±0.804bc	2.406±0.071bc	1.606±0.047bc	3.606±0.108bc	4.332±0.131bc
OM-1000 kg rai-1	23.618±1.450cd	2.146±0.134cd	1.43±0.088e	3.218±0.198e	3.864±0.234e

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 7: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และกรดไขมันอิสระ Linolenic acid (W – 3), Linoleic acid (W – 6), Oleic acid (W – 9), Steric acid, และ Palmatic acid ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Lipid (g 100g^{-1} DM)	linolenic acid (mg g^{-1}DM)	linoleic acid (mg g^{-1}DM)	Oleic acid (mg g^{-1}DM)	Steric acid (mg g^{-1}DM)	Palmitic acid (mg g^{-1}DM)
Control	50.75±3.531f	32.987±2.295f	9.389±0.653f	8.881±0.618f	1.0404±.0.072f	3.654±0.254f
N-5 kg rai-1	54.766±0.793e	35.598±0.516e	10.132±0.146e	9.584±0.095e	1.1227±0.016e	3.9431±0.057e
N-30 kg rai-1	59.485±0.545b	38.665±0.354b	11.005±0.101b	10.41±0.298b	1.2197±0.011b	4.2829± 0.039b
N-50 kg rai-1	63.171±1.705a	41.061±1.108a	11.687±0.315a	11.055±0.043a	1.295±0.035a	4.5483± 0.0.122a
N-100 kg rai-1	57.258±0.607cd	37.218±1.0.394cd	10.593±0.112cd	10.02±0.106cd	1.1738±0.0124cd	4.1226±0.043cd
OM-500 kg rai-1	56.232±0.637de	36.551±0.414de	10.403±0.117de	9.841±0.111de	1.1528±0.013de	4.0487±0.045de
OM-1000 kg rai-1	58.49±1.148bc	38.018±0.746bc	10.821±0.212bc	10.236±0.201bc	1.199±0.023bc	4.2113±0.082bc

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.7.1.3.2.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในผลผลิตใบของงาขี้ม้อนระหว่างการเจริญเติบโตระยะ 104, 134 และ 157 วันหลังการเพาะปลูก พบว่า ที่ระยะการเจริญเติบโต 157 วันหลังการเพาะปลูกมีการสะสมของทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสาร Rosmarinic acid ในปริมาณสูงสุด คือ 1.367 ± 0.336 และ 21.19 ± 4.281 µmole g^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนจะมีการสะสมสารสำคัญทั้งสองน้อยสุด เมื่อพิจารณาถึงอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง คือ สารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid พบว่า การสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระในผลผลิตใบงาขี้ม้อนนั้นจะมีแนวโน้มการสะสมลดลงตามอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจน โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด (IC_{50} = 0.749 ± 0.359) ในขณะที่กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีควบคุม และการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตราต่ำสุด คือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบในปริมาณสูงสุด คือ IC_{50} = 1.187 ± 0.340, 1.134 ± 0.424 และ 1.125 ± 0.686 ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลวแนวโน้มการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบมีลักษณะเช่นเดียวกับ

แนวโน้มการสะสมของสาร Rosmarinic acid ภายในใบ กล่าวคือ สาร Rosmarinic acid จะมีการสะสมในใบต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 5 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ คือ 12.57 ± 6.749 และ 10.99 ± 5.703 μmole g^{-1} ในขณะที่การสะสมสาร Rosmarinic acid จะสูงสุดในกรรมวิธีควบคุม กรมมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

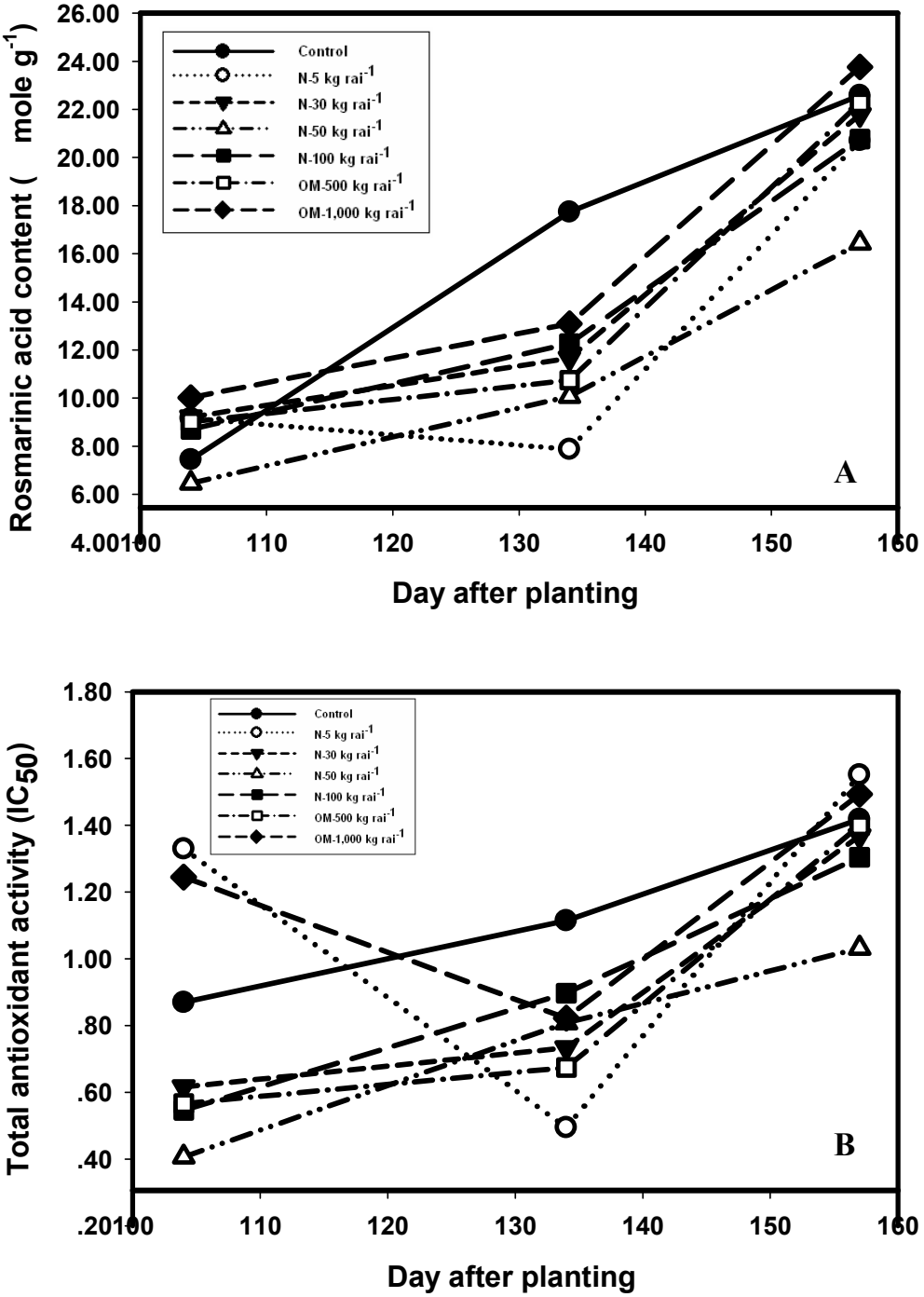
ตารางที่ 8: อิทธิพลของระยะเจริญเติบโต และธาตุไนโตรเจนต่อการสะสมกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) และสาร Rosmarinic acid ภายในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

Treatment	Total antioxidant activity (IC_{50})	Rosmarinic acid content (μmole g^{-1})
Planting time (Day after planting; DAP)		
104	0.797 ± 0.487b	8.57 ± 2.344c
134	0.792 ± 0.283b	11.92 ± 4.107b
157	1.367 ± 0.336a	21.19 ± 4.281a
Fertilizer application (kg rai^{-1})		
Control (0)	1.134 ± 0.424ab	15.92 ± 6.764a
N - 5	1.125 ± 0.686ab	12.57 ± 6.749bc
N - 30	0.906 ± 0.445bc	14.22 ± 7.065ab
N - 50	0.749 ± 0.359c	10.99 ± 5.703c
N - 100	0.916 ± 0.397bc	13.91 ± 5.671ab
OM – 500	0.878 ± 0.415c	14.01 ± 6.598ab
OM – 1,000	1.187 ± 0.340a	15.63 ± 6.659a
cv	32.50	23.78

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง พบว่า การสะสมสารสำคัญทั้งสองชนิดทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต ในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid สูงสุด แต่กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid ต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีการทดลองอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 2A) ในขณะที่การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ แต่กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการ

สะสมสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีการทดลองอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 2B)



รูปที่ 12: อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ (A) และสาร Rosmarinic acid (B) ในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

7.2 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

1.7.2.1 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

1.7.2.1.1 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 70 วันหลังการเพาะปลูก

อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อนหลังการปลูกเป็นระยะเวลา 70 พบว่า ทุกกรรมวิธีในการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าดัชนีการเจริญเติบโตของพืชทั้ง LAR, SLA, LAI, SLW, LWR, NGR, CGR, CL, DWL, DW, และ LA (ตารางที่ 5)

1.7.2.1.2 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 104 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 104 วัน พบว่า ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) และค่าพื้นที่ใบ (LA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) และอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) พบว่าจะมีค่าสูงสุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และมีค่าต่ำสุดเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ค่าปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ความสูงต้น (High) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) และพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD)มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตราที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา (ตารางที่ 6)

1.7.2.1.3 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 134 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 134 วัน พบว่า ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) และค่าพื้นที่ใบ (LA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งเมื่อมีการ

ใช้ธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ความสูงของต้น (High) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) พื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) และอัตราเจริญเติบโตต่อระยะเวลา (RGR) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 7)

1.7.2.1.4 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 157 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 157 วัน พบว่า ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) และพื้นที่ใบ (LA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ความสูงของต้น (High) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) พื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) และอัตราเจริญเติบโตต่อระยะเวลา (RGR) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัส โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 8)

1.7.1.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน พบว่า การเจริญเติบโตและการพัฒนาของงาขี้ม้อนแตกต่างกันขึ้นกับทั้งสองปัจจัย LAR, SLA, CGR, ความสูง, การสะสมน้ำหนักแห้ง, LA, และ LAD จะมีความแตกต่างในระยะแรกของการเจริญเติบโต แต่เมื่อในระยะการเก็บเก็บดัชนีดังกล่าวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัส ในขณะที่ค่า LAI, SLW, NAR, CL, LAD, และ DWL จะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา และมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 9: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 70 วัน วันหลังการเพาะปลูก (70 day after planting; DAP)

Phosphorus (kg./rai)	LAR	SLA	LAI (mm^2)	SLW	LWR	NGR	CGR	CL	Hight	DWL	DW(g)	LA (mm)
0	3202.0a	23206a	2128.3a	4.35E-05a	0.14a	0.0227a	48.60a	37.85a	38.85a	0.28a	2.37a	6384.8a
5	3350.2a	40384a	2471.8a	2.60E-05a	0.07a	0.0422a	110.13a	49.8a	33.3a	0.195a	4.42a	7415.3a
30	2660.6a	27185a	2851.4a	4.00E-05a	0.095a	0.0393a	111.34a	48.3a	40.25a	0.34a	4.115a	8554.3a
50	1806.7a	34312a	2499.1a	3.40E-05a	0.055a	0.0411a	106.31a	61.5a	38.8a	0.23a	4.305a	7497.2a
100	2680.5a	27034a	2202.6a	3.70E-05a	0.1a	0.0313a	68.42a	54.85a	36.1a	0.245a	3.275a	6607.8a
OM500	1699.8a	49216a	2659.4a	2.15E-05a	0.04a	0.0469a	124.28a	38.5a	39.85a	0.18a	4.915a	7978.3a
OM1000	2782.7a	27411a	2793.8a	3.80E-05a	0.11a	0.0347a	101.83a	39.15a	35.75a	0.31a	3.63a	8381.5a

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 104 วัน วันหลังการเพาะปลูก (104 day after planting; DAP)

Phosphosrus (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD
0	640.2a	1102.5a	5300.7a	9.35E-04ab	0.578bc	50.97a	1.65E-03a	43.18ab	76.00ab	14.39ab	25.29bc	15902a	8.43bc
5	634.1a	946.1a	4679.2a	1.09E-03ab	0.67bc	44.99a	1.62E-03a	43.86ab	72.40b	14.87a	22.242c	14038a	7.42c
30	924.6a	1914.2a	9634.7a	8.42E-04ab	0.45c	92.64a	1.90E-03a	45.52a	91.00a	14.76ab	32.42a	28904a	10.81a
50	1029.5a	2166.5a	9781.1a	6.58E-04b	0.51c	94.05a	1.30E-03a	38.90bc	88.20ab	13.51ab	27.15b	29343a	9.05b
100	729.7a	1518.4a	7544.8a	9.27E-04ab	0.49c	72.55a	1.90E-03a	45.58a	82.60b	14.52ab	29.80ab	22635a	9.93ab
OM5000	747.0a	1197.9a	3938.9a	10.5E-03ab	0.76ab	37.87a	1.40E-03a	35.04c	48.00c	12.21b	16.49d	11817a	5.49d
OM1000	773.5a	848.2a	3818.3a	12.5E-03a	0.96a	36.71a	1.31E-03a	41.08abc	45.60c	13.694ab	15.15d	11455a	5.052d

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 11: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 134 วัน วันหลังการเพาะปลูก (134 day after planting; DAP)

Phosphorus (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	453.77a	1414.5a	5233.1a	7.50E-04a	0.32a	50.31a	2.34E-03b	33.42ab	104.80b	11.14ab	34.91b	15699a	11.63b	1.04b
5	340.25a	1267.3a	5093.2a	8.14E-04a	0.26b	48.97a	3.10E-03ab	36.24a	137.20a	12.08a	45.68a	15280a	15.23a	1.39a
30	317.73a	1201.0a	4752.7a	8.50E-04a	0.26b	45.69a	3.29E-03ab	35.54a	137.00a	11.85a	45.66a	14258a	15.22a	1.39a
50	404.02a	1446.8a	5929.3a	9.16E-04a	0.26b	57.01a	3.66E-03a	35.50a	137.00a	11.83a	45.66a	17788a	15.22a	1.39a
100	310.27a	1136.0a	4531.0a	9.43E-04a	0.28ab	43.56a	3.33E-03ab	36.02a	129.80a	12.01a	43.31a	13593a	14.43a	1.31a
OM5000	299.04a	1062.9a	3996.9a	1.02E-03a	0.29ab	38.43a	3.52E-03ab	34.32ab	119.40ab	11.45ab	39.80ab	11991a	13.26ab	1.20ab
OM1000	314.16a	1246.0a	4378.5a	8.21E-04a	0.25b	42.10a	3.30E-03ab	31.68b	127.00a	10.55b	42.28a	13135a	14.09a	1.29a

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

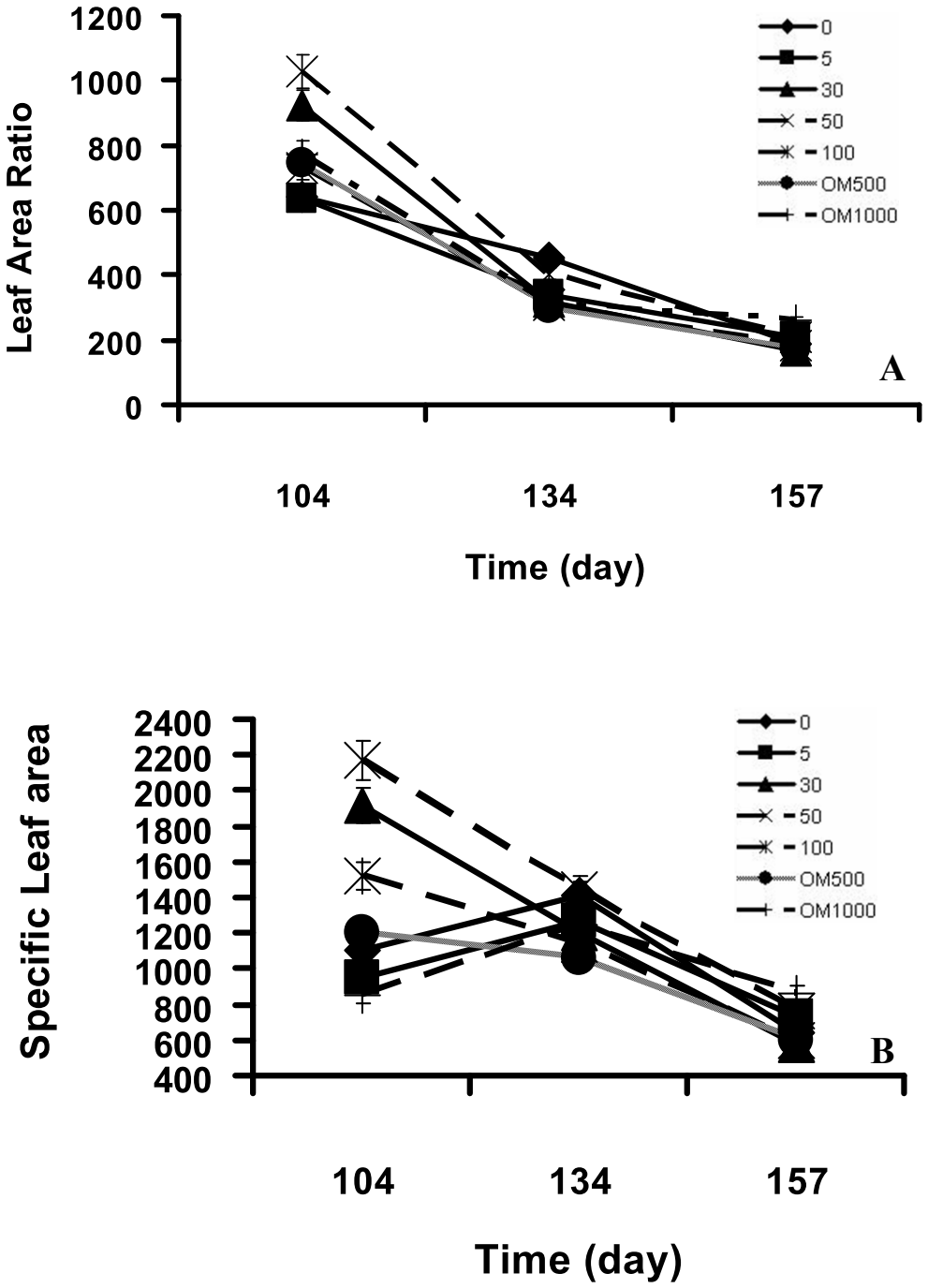
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 157 วัน วันหลังการเพาะปลูก (157 day after planting; DAP)

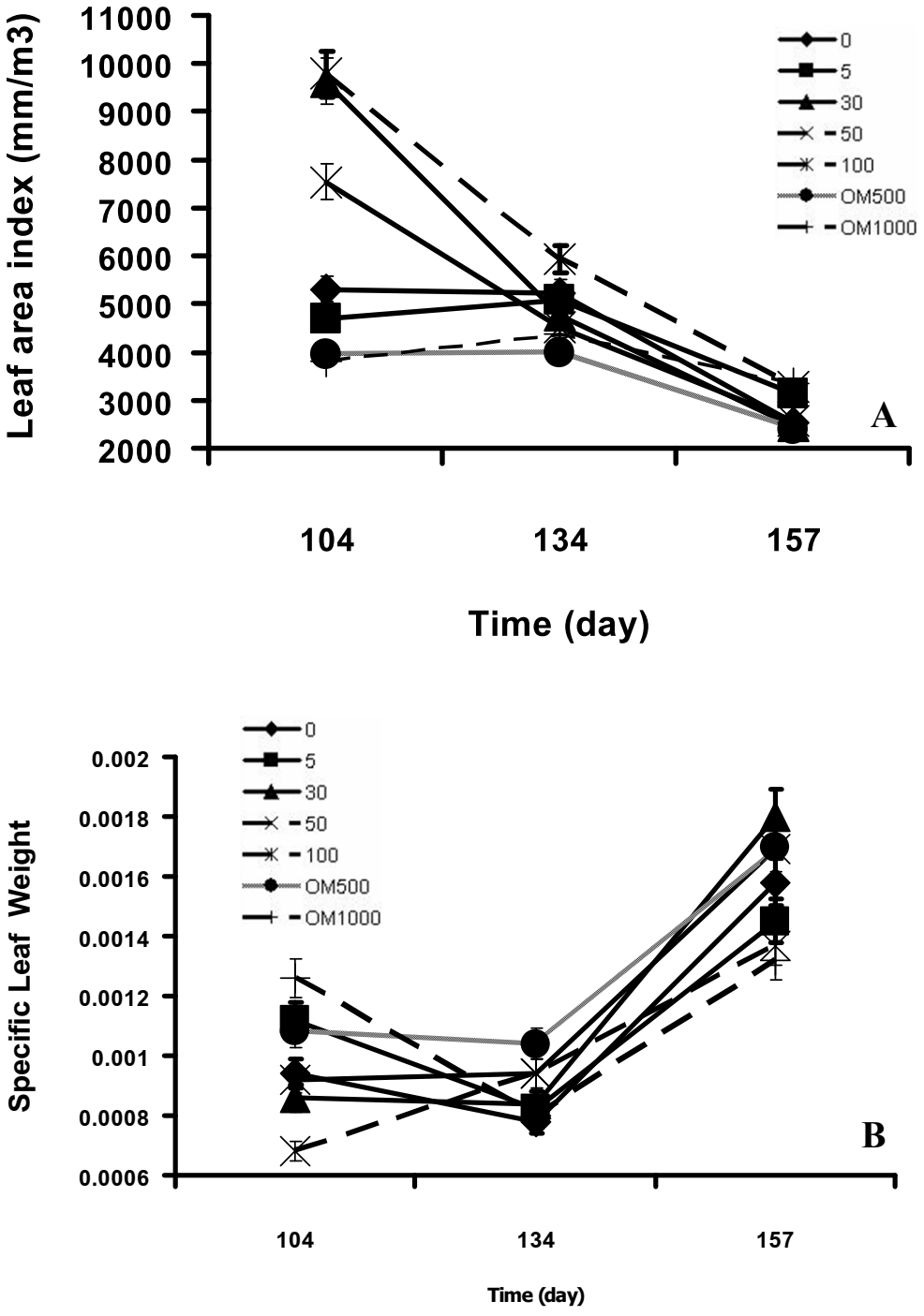
Phosphorus (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	168.08b	647.05a	2543.7a	1.58E-03ab	0.28a	16.20a	5.57E-03a	35.56cd	24ab	11.84bc	41.54ab	7631a	13.84ab	0.28a
5	188.10ab	734.54a	3125.1a	1.38E-03ab	0.28a	19.90a	5.23E-03a	38.32abc	134ab	12.77ab	45.52ab	9375a	15.173ab	0.01b
30	209.05ab	571.60a	2477.1a	1.44E-03ab	0.29a	15.78a	6.20E-03a	39.00a	134ab	12.99a	44.78ab	7431a	14.92ab	0.03b
50	208.72ab	765.84a	3265.7a	1.80E-03a	0.27a	20.80a	5.04E-03a	38.42ab	140a	12.79ab	46.81a	9797a	15.60a	0.05ab
100	181.71ab	598.68a	2581.4a	1.70E-03ab	0.30a	16.44a	5.65E-03a	38.84a	129ab	12.94a	43.06ab	7744a	14.35ab	0.01b
OM5000	171.36ab	602.85a	2402.3a	1.72E-03ab	0.29a	15.30a	5.84E-03a	35.92bcd	125ab	11.97bc	41.96ab	7207a	13.98ab	0.09ab
OM1000	259.46a	864.57a	3348.3a	1.32E-03b	0.30a	21.32a	4.64E-03a	34.68d	117b	11.55c	39.35b	10045a	13.12b	0.12b

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

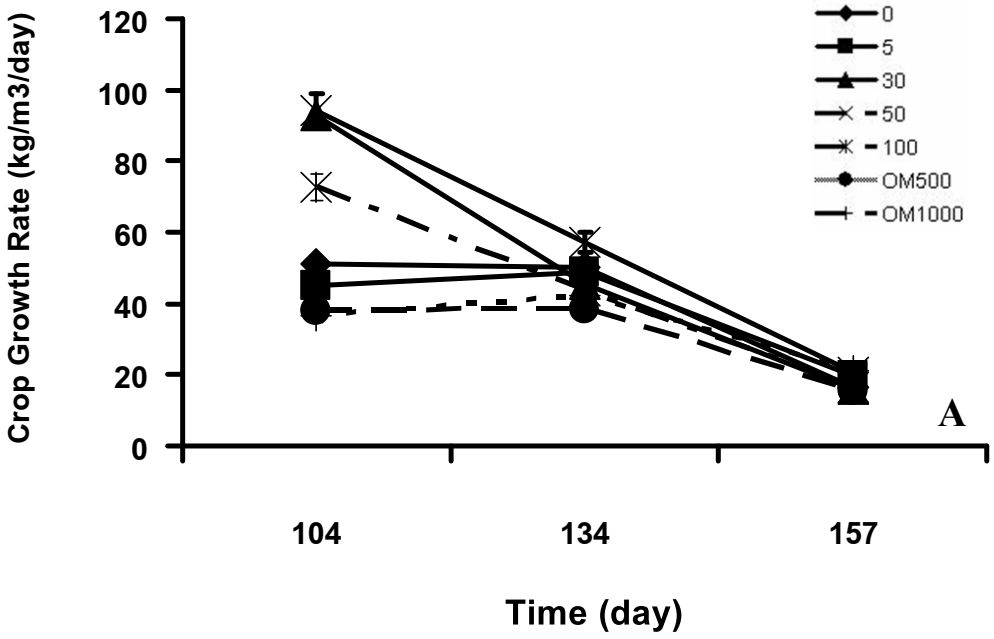
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

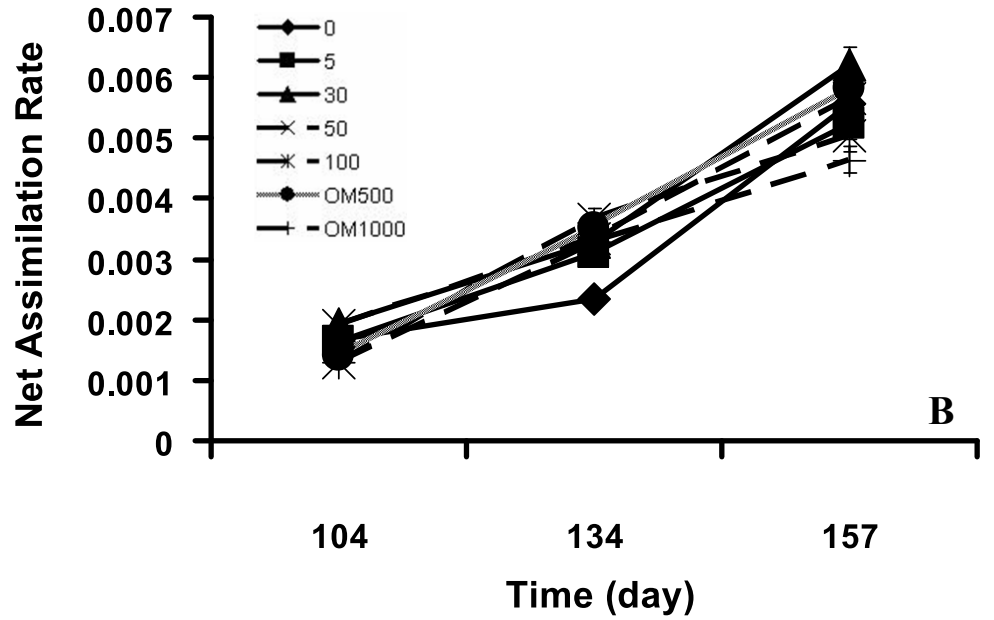


รูปที่ 13: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) และค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

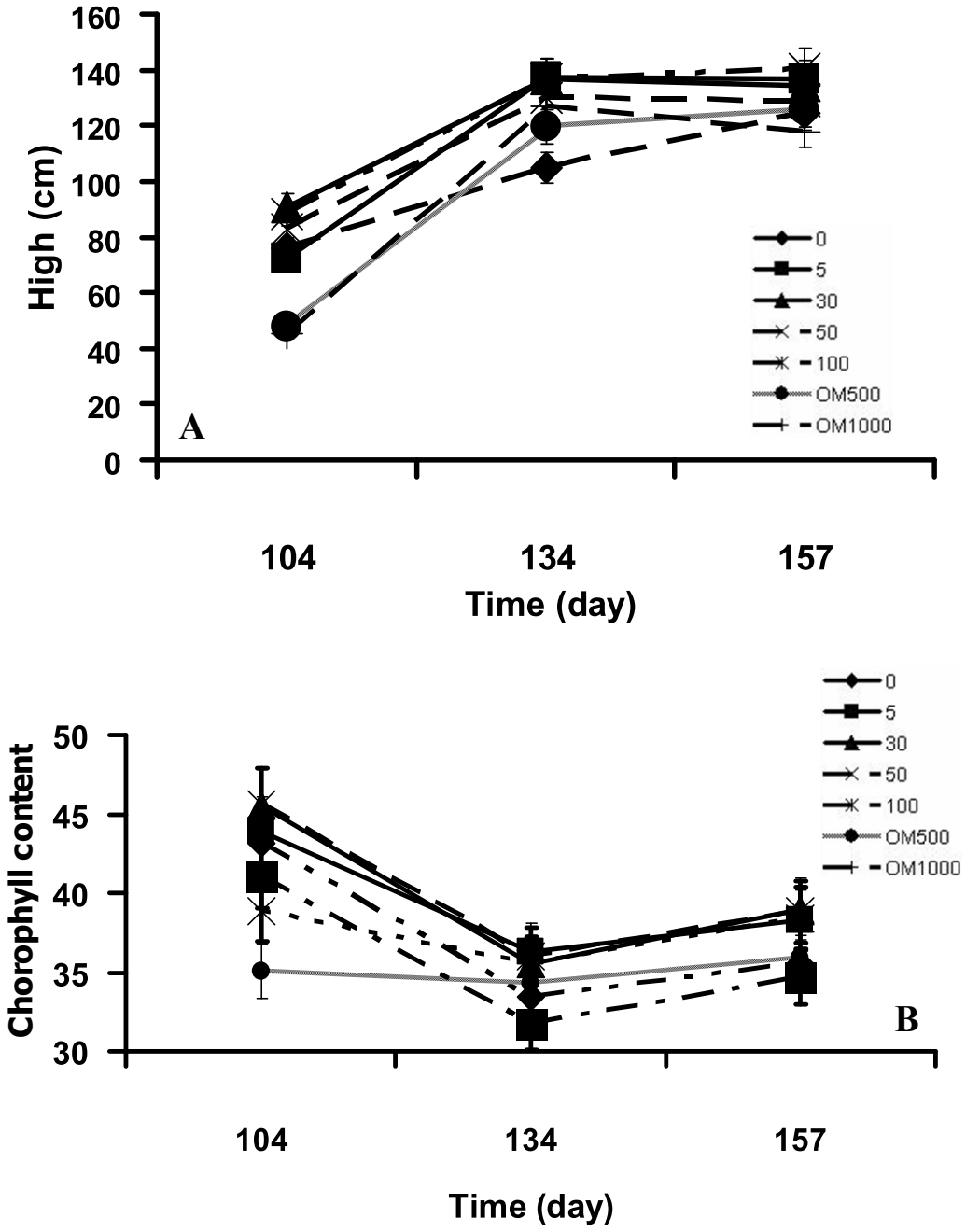


รูปที่ 14: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) และค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

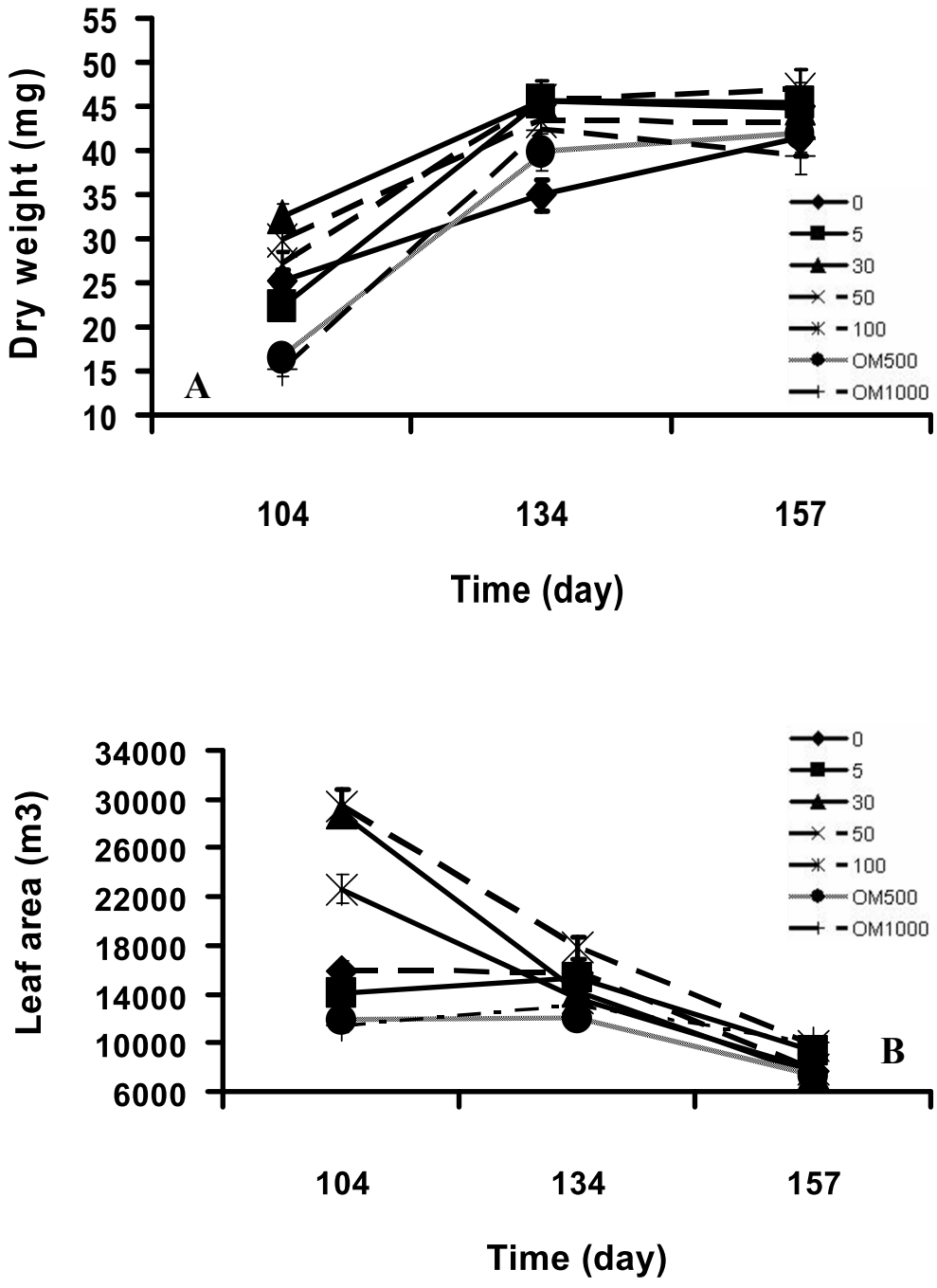




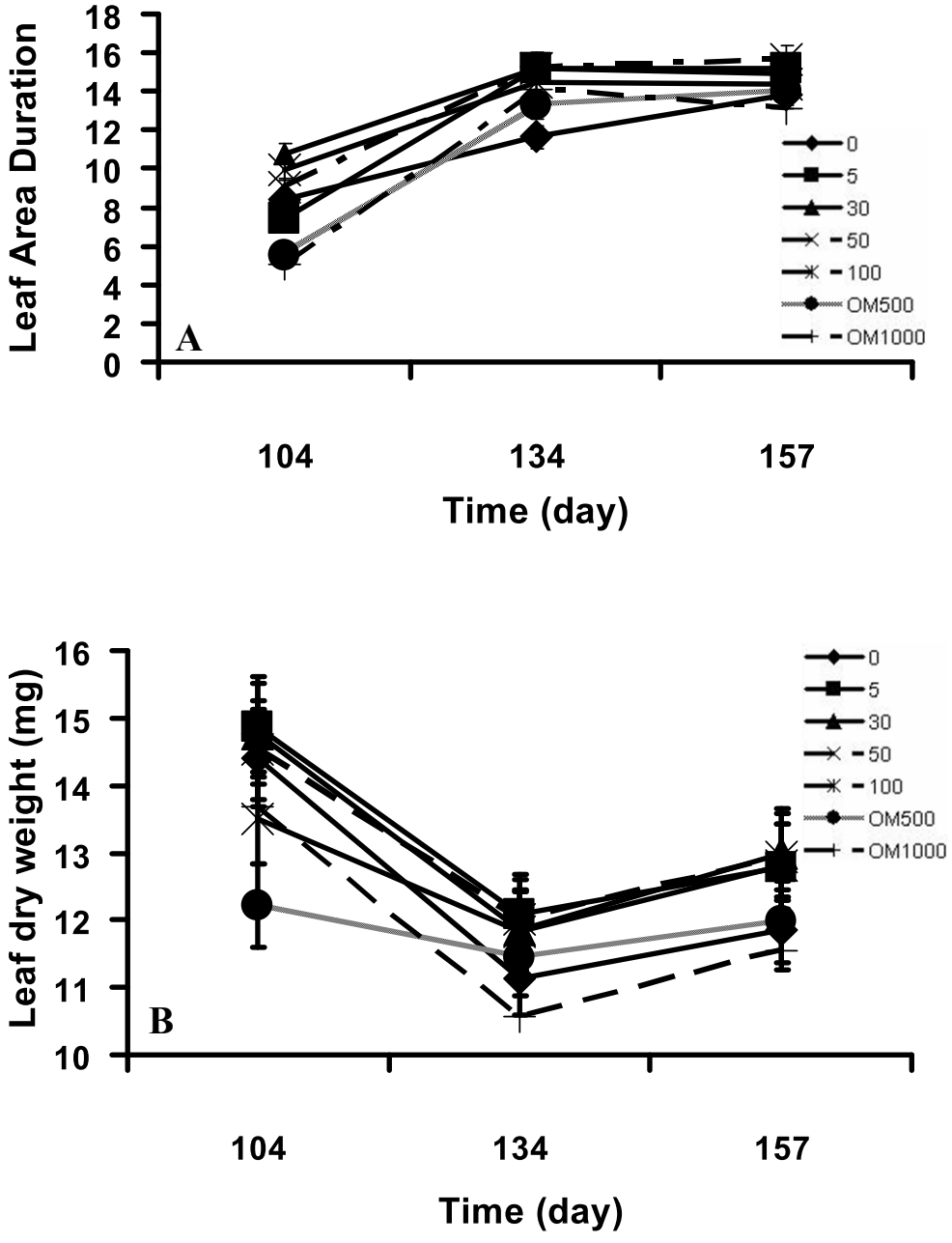
รูปที่ 15: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก (CGR) และค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 16: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของต้น (High) และปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 17: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) และพื้นที่ใบ (LA) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

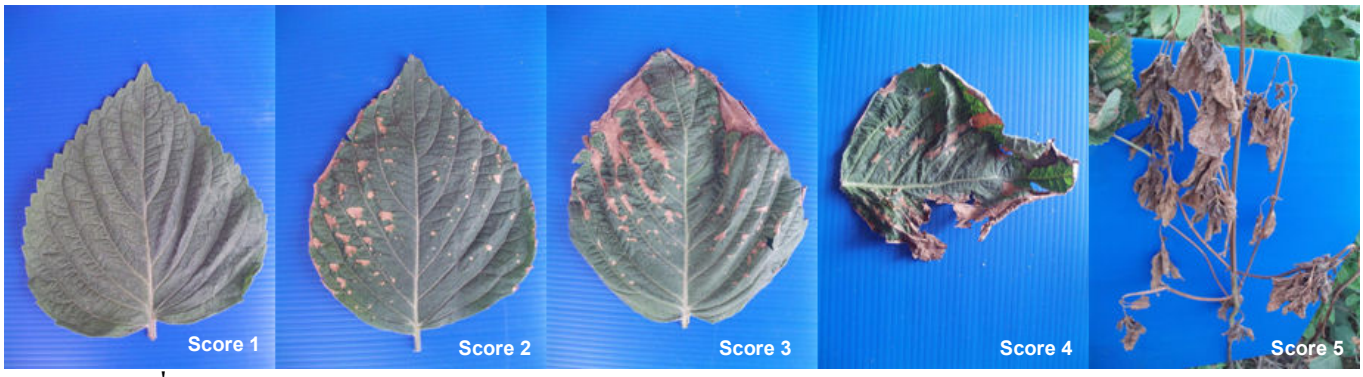


รูปที่ 18: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) และน้ำหนักแห้งของใบ (DWL) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

รูปที่ 19: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

1.7.1.1.6 อัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการเกิดความเป็นพิษ (Phosphorus toxicity) ต่องาขี้ม้อน

จากการศึกษาการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ พบว่า การใช้ธาตุฟอสฟอรันสในอัตราที่สูงตั้งแต่ 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะส่งผลให้งาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษ (phosphorus toxicity) เนื่องจากความเป็นพิษของธาตุฟอสฟอรัส โดยอาการความเป็นพิษของธาตฟอสฟอรัสในระยะแรกพืชจะแสดงอาการลำต้นมีขนาดเล็ก อ่อน และล้มง่าย ต้นเล็ก ผอมแกรน ใบเล็กลงผิดปกติ สีใบบริเวณส่วนยอด และใบล่างมีสีแตกต่างกันอย่างชัดเจน พืชมีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น และใบลดลงส่งผลให้พืชมีการออกดอกช้า และจำนวนลดลง และติดเมล็ดลดลง และช้าส่งผลให้ผลผลิตของเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง เมื่องาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษของธาตุฟอสฟอรัสในระดับรุนแรงพืชจะแสดงอาการใบไหม้ (Leaf bright) โดยจะเริ่มจากบริเวณขอบใบเข้าสู่กลางใบ หากอาการความเป็นพิษเกิดรุนแรงขึ้น จะส่งผลให้งาขี้ม้อนเกิดอาการใบไหม้ทั้งแผ่นใบ โดยจากการศึกษาการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ต่อการเกิดความเป็นพิษของธาตุฟอสฟอรัส พบว่า อาการความเป็นพิษของธาตุฟอสฟอรัสจะเริ่มพบในกรรมวิธีการทดลองที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะพบระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษอยู่ในระดับ 3.07 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุฟอสฟอรัสดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 59.12 ของทั้งแปลงทดสอบ และระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษจะสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะมีระดับความรุนแรงของความเป็นพิษอยู่ในระดับ 4.24 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุไนโตรเจนดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 73.01 ของทั้งแปลงทดสอบ (รูปที่ และรูปที่)

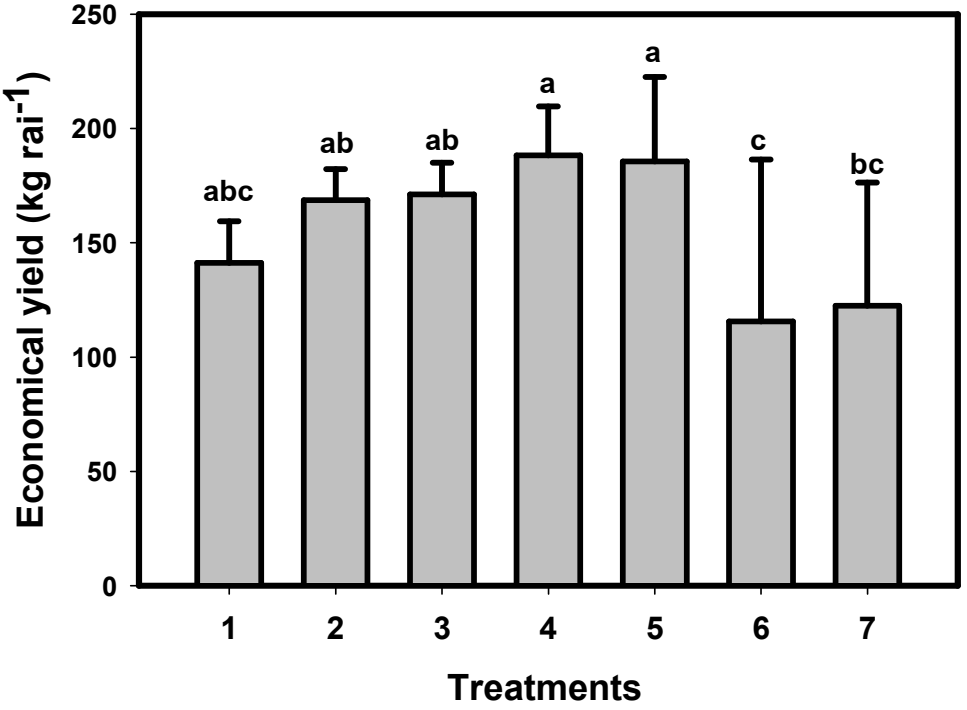


รูปที่ 20: ระดับความรุนแรงของการเกิดความเป็นของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus toxicity)

รูปที่ 21: ความรุนแรงของการเกิดความเป็นของการใช้ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus toxicity) ภายในแปลงปลูกทดสอบงาขี้ม้อน

1.7.2.2 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณผลผลิตงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลผลิตงาขี้ม้อนสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน 188.17 และ 185.55 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราจะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด คือ 115.56 และ 122.39 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (รูปที่ 2) โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน กล่าวคือ ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวจะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีควบคุม และในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 22: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการเก็บเกี่ยว

1.7.2.3 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน และปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

7.2.3.1 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein) กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidation enzymatic activity) ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX) และ เอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) จะมีการสะสมในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า จะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวสูงสุด ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับการสะสมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไขมันที่สะสมในเมล็ด คือ เอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) (ตารางที่ 16)

ในขณะที่การสะสมคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโครส ซูโครส แลคโทส และมัลโทส พบว่า คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ จะมีการสะสมสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา และการสะสมจะลดลงตามลำดับเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสที่อัตราที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 17)

การสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมัน α – linolenic acid (Ω – 3), linoleic acid (Ω – 6) และoleic aicd (Ω – 9) และกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ steric acid และ palmatic acid พบว่า ในกรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา และกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่จะมีการสะสมไขมันทั้งหมด และกรดไขมันในปริมาณต่ำสุด และการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตราที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันสูงสุด (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 13: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein), ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX), Superoxide dismutase (SOD), และ Lipoxygenase (LOX) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Protein (g 100g-1)	APX (µmole min^{-1} 100mg^{-1} protein)	SOD (activity mg^{-1} protein)	LOX (activity mg^{-1} protein)	Antioxidant activity (IC_{50})
Control	16.12± 2.039bc	0.2907±0.009abc	6.541±0.225abc	0.727± 0.025abc	2.894±0.090a
P-5 kg rai-1	15.63±1.196c	0.2917± 0.013abc	6.564±0.309abc	0.729±0.034abc	2.815±0.123a
P-30 kg rai-1	18.89±1.698a	0.3215±0.023a	7.235±0.526a	0.804±0.058a	2.333±0.210c
P-50 kg rai-1	18.49±1.302ab	0.3128±0.016a	7.038±0.365a	0.782± 0.040a	2.436±0.146bc
P-100 kg rai-1	18.35±0.962ab	0.3078±0.014ab	6.926±0.315ab	0.769± 0.035ab	2.771±0.126ab
OM-500 kg rai-1	15.56±0.938c	0.2593± 0.015c	5.834±0.351c	0.648±0.039c	2.617±0.140abc
OM-1000 kg rai-1	16.24±4.028bc	0.2707±0.067c	6.091±1.511bc	0.677±0.168bc	2.625±0.604abc

APX: ascorbate peroxidase enzymatic activity, SOD: superoxide dismutase enzymatic activity, LOX: Lipoxygenase enzymatic activity

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate), น้ำตาลกูลโครส (Glucose), ซูโครส (Sucrose), แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Carbohydrate (g $100g^{-1}$ DM)	Glucose (g $100g^{-1}$ DM)	Sucrose (g $100g^{-1}$ DM)	Lactose (g $100g^{-1}$ DM)	Maltose (g $100g^{-1}$ DM)
Control	30.05± 3.066abc	2.73±0.278abc	1.82±0.185abc	4.12±0.420abc	4.85±0.495abc
P-5 kg rai-1	30.37±2.209abc	2.76±0.202abc	1.84±0.133abc	4.16±0.300abc	4.90±0.354abc
P-30 kg rai-1	21.73±5.836c	1.98±0.530c	1.32±0.351c	2.98±0.801c	3.50±0.939c
P-50 kg rai-1	23.70±4.130c	2.15±0.376c	1.44±0.252c	3.25±0.568c	3.82±0.665c
P-100 kg rai-1	24.75±3.463bc	2.25±0.313bc	1.50± 0.210bc	3.39±0.475bc	3.99±0.559bc
OM-500 kg rai-1	36.28±3.746a	3.30±0.338a	2.19±0.226a	4.97± 0.513a	5.85±0.604a
OM-1000 kg rai-1	33.54±16.122ab	3.05±1.465ab	2.03±0.977ab	4.59±2.207ab	5.41±2.600ab

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 15: อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และกรดไขมันอิสระ Linolenic acid (W – 3), Linoleic acid (W – 6), Oleic acid (W – 9), Steric acid, และ Palmatic acid ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Lipid (g $100g^{-1}$ DM)	linolenic acid (mg g^{-1}DM)	linoleic acid (mg g^{-1}DM)	Oleic acid (mg g^{-1}DM)	Steric acid (mg g^{-1}DM)	Palmitic acid (mg g^{-1}DM)
Control	52.33±1.801abc	67.92±0.329abc	18.89±1.167abc	18.36±0.314abc	2.14±0.035abc	7.53±0.127abc
P-5 kg rai-1	52.51±2.4741abc	68.19±0.444abc	18.96±1.607abc	18.42±0.433abc	2.15±0.031abc	7.56±0.176abc
P-30 kg rai-1	57.88±4.211a	75.17±0.758a	20.89±2.733a	20.31±0.739a	2.37±0.066a	8.33±0.302a
P-50 kg rai-1	56.30±2.922a	73.12±0.529a	20.33±1.897a	19.76±0.510a	2.31±0.087a	8.10±0.211a
P-100 kg rai-1	55.41±2.527ab	71.96±0.458ab	20.00±1.64ab	19.44±0.44ab	2.27±0.05ab	7.97±0.184ab
OM-500 kg rai-1	46.67±2.810c	60.61±0.509c	16.85±1.826c	16.37±0.493c	1.91±0.089c	6.72±0.204c
OM-1000 kg rai-1	48.72±12.092bc	63.27±2.182bc	17.58±7.853bc	17.09±2.122bc	1.99±0.249bc	7.01±0.870bc

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.7.2.3.2 อิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

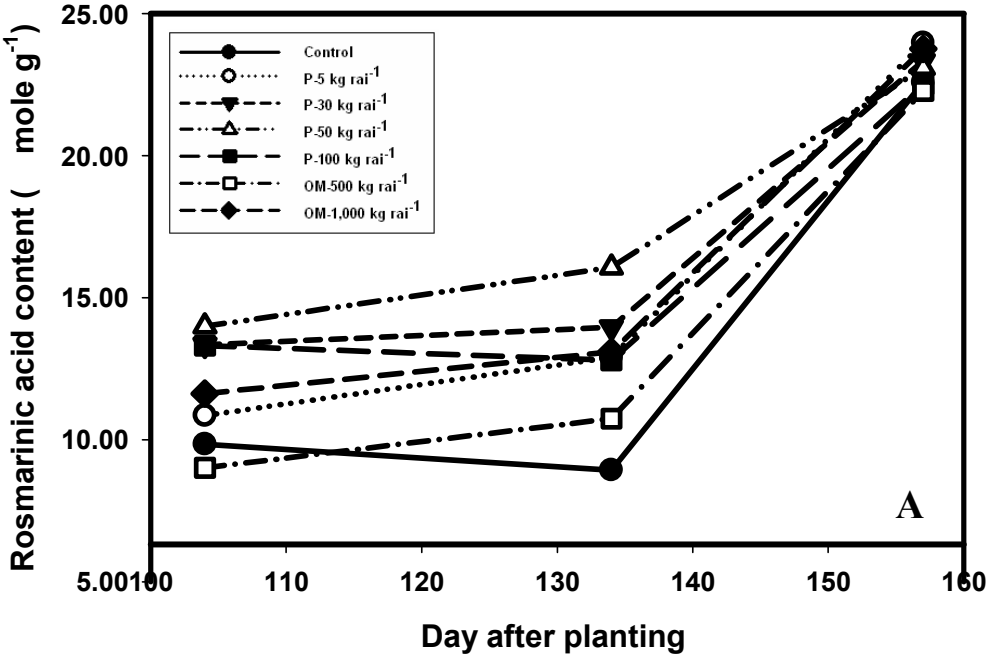
จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในผลผลิตใบของงาขี้ม้อนระหว่างการเจริญเติบโตระยะ 104, 134 และ 157 วันหลังการเพาะปลูก พบว่า ที่ระยะการเจริญเติบโต 157 วันหลังการเพาะปลูกมีการสะสมของทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสาร Rosmarinic acid ในปริมาณสูงสุด คือ 1.489 ± 0.282 และ 23.06 ± 2.934 μmole g^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่ในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนจะมีการสะสมสารสำคัญทั้งสองน้อยสุด เมื่อพิจารณาถึงอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง คือ สารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid พบว่า การสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระในผลผลิตใบงาขี้ม้อนสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (IC_{50} = 1.246 ± 0.533) ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่จะมีการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด (IC_{50} = 0.880 ± 0.415) ในขณะที่การสะสมสาร Rosmarinic acid ภายในใบ พบว่า การสะสมสาร Rosmarinic acid จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในทุก ๆ อัตรา หรือ กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ในกรรมวิธีควบคุมจะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid ต่ำสุด (ตารางที่)

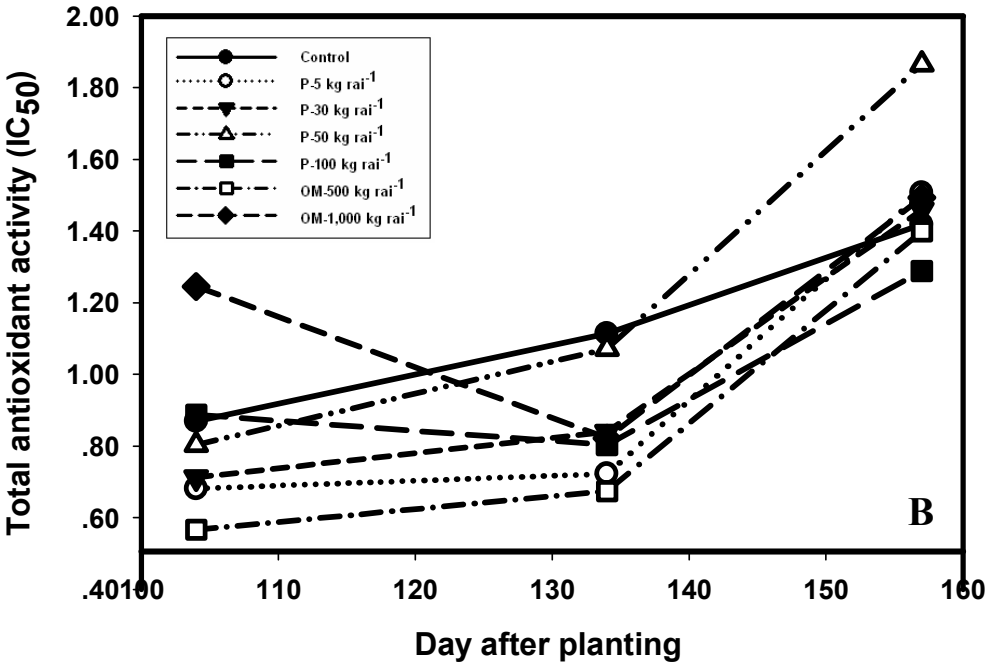
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง พบว่า การสะสมสารสำคัญทั้งสองชนิดทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต ในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยการตอบสนองของการสะสมสาร Rosmarinic acid ต่อช่วยระยะเวลาการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัส พบว่า จะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid ที่แตกต่างกันใช้ช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน แต่เมื่อถึงระยะการเก็บเกี่ยว พบว่า การสะสมสาร Rosmarinic acid ในใบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4A) ในขณะที่การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แต่กรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุไนโตรเจนอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด ในขณะที่กรรมวิธีการทดลองอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4B)

ตารางที่ 16: อิทธิพลของระยะเจริญเติบโต และธาตุฟอสฟอรัสต่อการสะสมกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) และสาร Rosmarinic acid ภายในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

Treatment	Total antioxidant activity (IC_{50})	Rosmarinic acid content (µmole g^{-1})
Planting time (Day after planting; DAP)		
104	0.823 ± 0.357b	11.71 ± 3.065b
134	0.864 ± 0.242b	12.64 ± 2.940b
157	1.489 ± 0.282a	23.06 ± 2.934a
Fertilizer application (kg rai^{-1})		
Control (0)	1.134 ± 0.424abc	13.78 ± 6.898c
P - 5	0.970 ± 0.430cd	15.91 ± 6.444ab
P - 30	1.003 ± 0.430bcd	16.84 ± 5.778a
P - 50	1.246 ± 0.533a	17.71 ± 4.507a
P - 100	0.993 ± 0.331cd	16.20 ± 5.308a
OM – 500	0.880 ± 0.415d	14.01 ± 6.598bc
OM – 1,000	1.187 ± 0.340ab	16.16 ± 6.196a
cv	24.44	17.31

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%





รูปที่ 23: อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ (A) และสาร Rosmarinic acid (B) ในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

1.7.3 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพการผลผลิตของงาขี้ม้อน

1.7.3.1 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

1.7.3.1.1 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 70 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนที่ได้รับธาตุโปรแตสเซียมในระดับต่าง ๆ พบว่า LAR ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่กรรมวิธีการใช้ธาตุโปรแตสเซียมที่ 30 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ค่า SLA และ LAI พบว่าทุกกรรมวิธีการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่า SLW พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่ในกรรมวิธีควบคุมจะมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่กรรมวิธีการใช้ธาตุโปรแตสเซียมที่ 5 กิโลกรัมต่อไร่ LWR ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะมีแนวโน้มสูงสุดที่การให้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และต่ำสุดที่การให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัม NGR พบว่าไม่มีควมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่ากรรมวิธีที่มีให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่จะให้ค่าที่สูงสุด และจะต่ำสุดที่การให้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ CGR พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะมีแนวโน้มสูงสุดที่การให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่และต่ำสุดที่การให้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ CL พบว่าทุกกรรมวิธีไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ High พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีสูงสุดที่การให้ปุ๋ยโปรแตสเซียม 30 กิโลกรัมต่อไร่ และต่ำสุดการให้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ DWL พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะมีแนวโน้มสูงสุดที่การให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ต่ำสุดที่การใช้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 5 กิโลกรัมต่อไร่ DW พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจะมีแนวโน้มสูงสุดที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ต่ำสุดที่การให้ปุ๋ยโปรแตสเซียมที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และ LA พบว่าทุกกรรมวิธีในการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9)

1.7.3.1.2 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 104 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 104 วัน พบว่า ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมโดยจะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ธาตุโพแทสเซียมตั้งแต่อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่เป็นต้นไป ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีค่า LAR สูงสุด ในขณะที่ค่าค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบ

ต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ความสูงของต้น (High) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) พื้นที่ใบ (LA) และพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียม โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมตั้งแต่อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นต้นไป ในขณะที่ในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีค่าการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นงาขี้ม้อนต่าง ๆ เหล่านั้นต่ำสุด ในขณะที่ค่าน้ำหนักแห้งของใบ (DWL) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10)

1.7.3.1.3 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 134 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 134 วัน พบว่า ค่าค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) และพื้นที่ใบ (LA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าดัชนีการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นงาขี้ม้อนอื่น ๆ ทั้งค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) น้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) ความสูงของต้น (High) พื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) และอัตราเจริญเติบโตต่อระยะเวลา (RGR) ต่างมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียม โดยจะพบค่าอัตราการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นงาขี้ม้อนสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราตั้งแต่ 30 กิโลกรัมต่อไร่เป็นต้นไป ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะพบการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นงาขี้ม้อนต่ำสุด (ตารางที่ 11)

1.7.3.1.4 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน ณ 157 วันหลังการเพาะปลูก

การเจริญเติบโตของต้นงาขี้ม้อนต่อการตอบสนองของธาตุโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ภายหลังการปลูก 157 วัน พบว่า ค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักใบ (LWR) อัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) และพื้นที่ใบ (LA) มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) น้ำหนักแห้งของใบ (DWL) น้ำหนักแห้งของ

ต้นพืช (DW) และพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) พบว่า จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่เมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นงาขี้ม้อนลดลงต่ำสุด ในขณะที่ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) จะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ธาตุโพแทสเซียมตั้งแต่อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่เป็นต้นไป (ตารางที่ 12)

1.7.3.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัส และระยะเวลาในการเจริญเติบโตต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน พบว่า ในทุกดัชนีการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนทั้งค่า LAR, SLA, CGR, ความสูง, การสะสมน้ำหนักแห้ง, LA, LAD, LAI, SLW, NAR, CL, LAD, และ DWL มีการเปลี่ยนแปลงต่อกรรมวิธีการทดลอง และระยะเวลาการเจริญเติบโตในแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ จะมีความแตกต่างในระยะแรกของการเจริญเติบโต แต่เมื่อในระยะการเก็บเกี่ยวทุกกรรมวิธีจะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา และมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 17: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 70 วันหลังการเพาะปลูก (70 day after planting; DAP)

Potassium (kg/rai)	LAR	SLA	LAI (mm^2)	SLW	LWR	NGR	CGR	CL	Hight	DWL	DW(g)	LA (mm)
0	3202ab	23206a	2128.3a	4.35E-05a	0.14ab	0.022ab	48.6b	38.85a	37.85b	0.28ab	2.37ab	6384.8a
5	6986ab	55754a	2745.9a	2.10E-05b	0.11ab	0.0178ab	46.04b	36.8a	33b	0.165b	1.86ab	8237.7a
30	3561ab	34088a	2073.6a	3.00E-05ab	0.1ab	0.0212 ab	42.7b	38.25a	53.8a	0.185ab	2.205ab	6220.8a
50	10187a	41359a	2619.4a	2.40E-05ab	0.25a	0.0115b	30.39b	35.55a	24.5b	0.19ab	1.19b	7858.2a
100	2354ab	40820a	2328.3a	2.50E-05ab	0.06b	0.0407ab	95.29ab	36.15a	39.65ab	0.175b	4.255ab	6984.8a
OM500	1700b	49216a	2659.4a	2.15E-05b	0.04b	0.0469a	124.28a	39.85a	38.5b	0.18ab	3.63ab	7978.3a
OM1000	2783ab	27411a	2793.8a	3.80E-05ab	0.11ab	0.0347ab	101.83ab	35.75a	39.15ab	0.31a	4.915a	8381.5a

LAR: leaf area ratio, SLA: specific leaf area, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 18: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 104 วันหลังการเพาะปลูก (104 day after planting; DAP)

Photassium (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD
0	640.21abc	1102.5a	4222.7ab	9.08E-04b	0.49c	40.60ab	1.65E-03ab	41.64ab	68.00b	14.39a	25.29a	13396ab	8.43a
5	657.73ab	1174.8a	4355.2ab	9.35E-04ab	0.56c	41.88ab	1.72E-03ab	41.44ab	76.00ab	13.79 a	26.07a	13066ab	8.69a
30	491.53bc	940.5a	4465.5ab	1.11E-03ab	0.51c	42.94ab	2.35E-03a	43.18a	82.80ab	14.14a	28.64a	15902a	9.55a
50	459.10c	956.8a	5300.7a	1.25E-03a	0.96a	50.97a	2.23E-03a	42.06a	90.40a	13.67a	29.09a	16268a	9.70a
100	537.21bc	871.2a	5422.5a	1.19E-03ab	0.62bc	52.14a	1.99E-03ab	45.64a	82.00ab	14.52a	24.00a	12668ab	8.00a
OM5000	765.31a	1188.9a	3938.9b	1.07E-03ab	0.58bc	37.87b	1.34E-03b	35.04b	48.00c	12.45a	15.76b	11817b	5.25b
OM1000	773.52a	848.2a	3818.3b	1.05E-03ab	0.80ab	36.71b	1.31E-03b	41.08ab	45.60c	13.69a	15.16b	11455b	5.05b

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 19: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 134 วันหลังการเพาะปลูก (134 day after planting; DAP)

Photassium (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	254.35b	1414.5a	5233.1a	7.80E-04a	0.23c	50.32a	2.34E-03b	33.42bc	104.80d	11.14cd	34.91d	15699a	11.63d	0.32b
5	333.73ab	1275.0a	5212.5a	8.40E-04a	0.26bc	50.12a	3.13E-03ab	37.10a	140.80ab	12.37ab	46.97ab	15638a	15.65ab	0.69a
30	321.73ab	1207.5a	5010.1a	8.60E-04a	0.29b	48.17a	3.24E-03ab	37.38a	141.40ab	12.47a	47.16ab	15030a	15.71ab	0.62ab
50	453.77a	1069.8a	4248.6a	1.02E-03a	0.32a	40.85a	4.34E-03a	35.48ab	149.20a	11.83abc	49.71a	12746a	16.57a	0.68a
100	364.47ab	1479.7a	5730.3a	9.40E-04a	0.26bc	55.10a	3.35E-03ab	35.02ab	135.20abc	11.67bc	45.046abc	17191a	15.01abc	0.70a
OM5000	299.04ab	1062.9a	3996.9a	1.04E-03a	0.26bc	38.43a	3.52E-03ab	34.32b	119.40cd	11.45c	39.80cd	11991a	13.26cd	0.80a
OM1000	314.16ab	1246.0a	4378.5a	8.00E-04a	0.25bc	42.10a	3.29E-03ab	31.68c	127.00bc	10.56d	42.28bc	13135a	14.09bc	0.90a

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

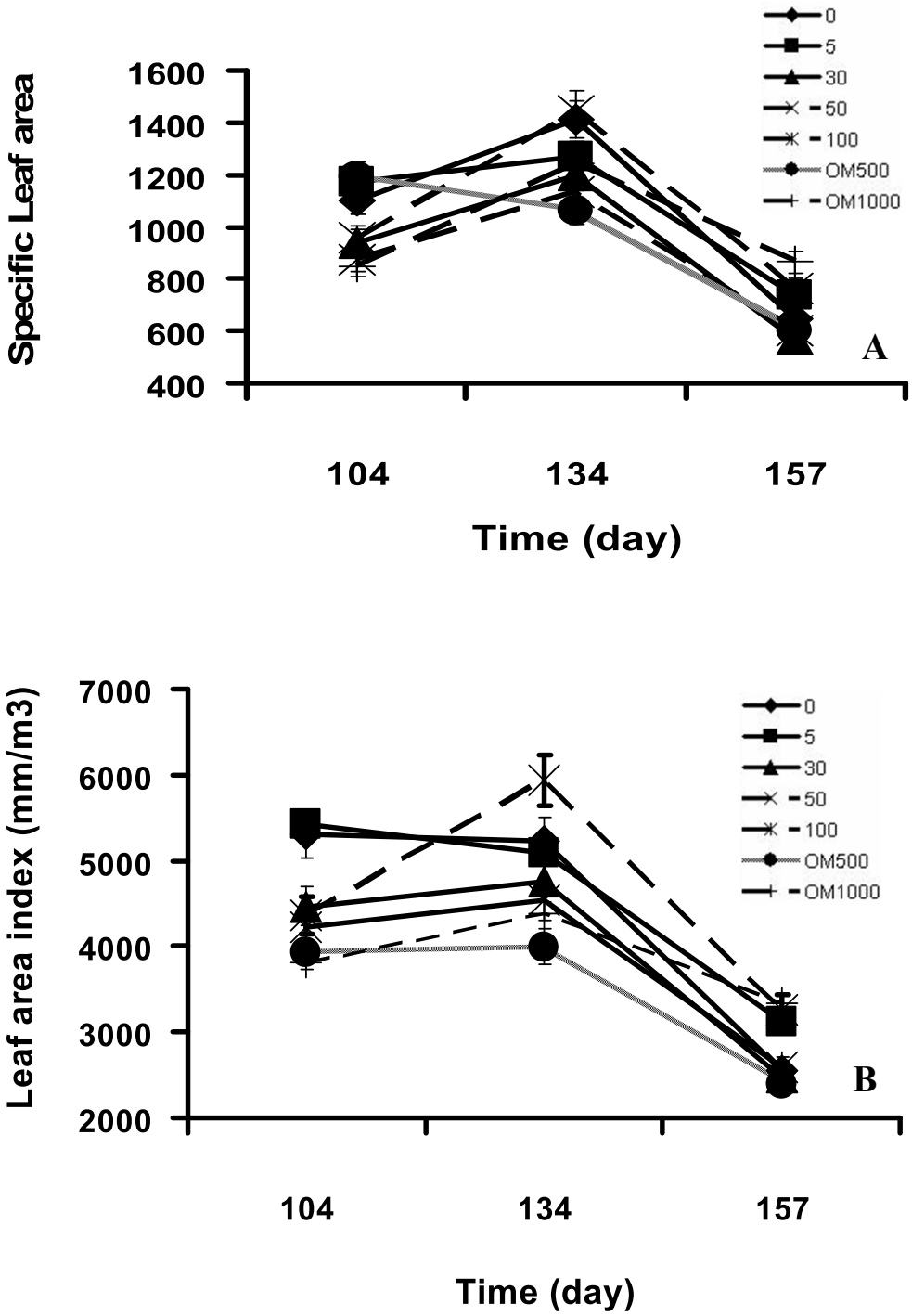
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน ณ 157 วันหลังการเพาะปลูก (157 day after planting; DAP)

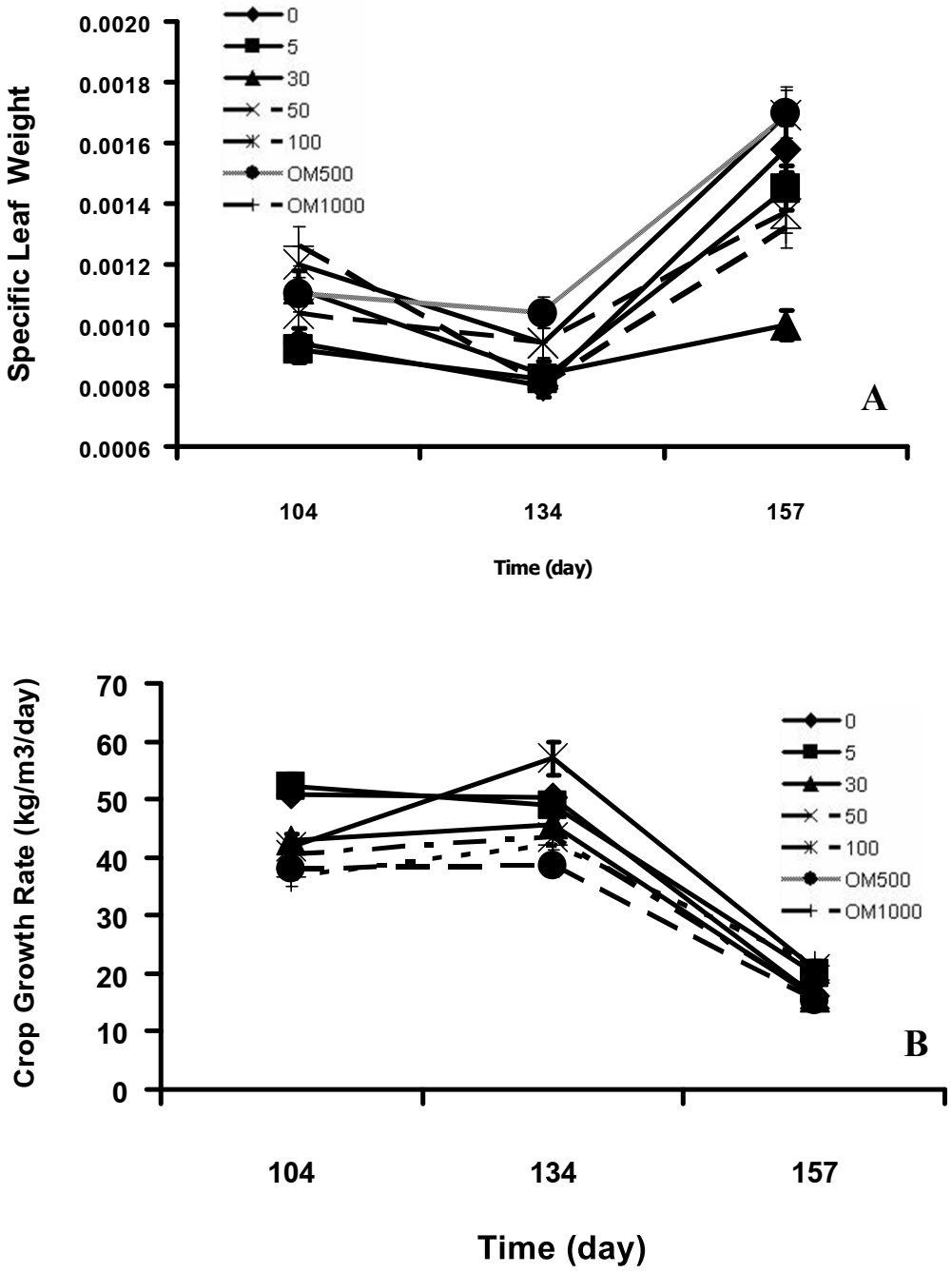
Photassium (kg./rai)	LAR	SLA	LAI(mm)	SLW	LWR	CGR	NAR	CL	High (cm)	DWL	DW	LA(mm)	LAD	RGR
0	188.10ab	647.05ab	2543.7a	1.58E-03ab	0.28a	16.20a	5.57E-03a	35.56bc	124.40ab	11.84ab	41.54ab	7631a	13.84ab	0.28a
5	195.36ab	723.96ab	2861.8a	1.42E-03ab	0.26a	18.23a	5.46E-03a	39.48a	145.40a	11.83ab	44.43a	8585a	14.81a	-0.11ab
30	177.17ab	566.00b	2488.3a	1.76E-03ab	0.31a	15.84a	5.70E-03a	39.10a	147.00a	13.23a	42.29ab	7465a	14.09ab	-0.21bc
50	171.40ab	553.37b	2402.5a	1.84E-03a	0.31a	15.30a	5.85E-03a	37.84ab	139.40ab	13.05ab	42.17ab	7208a	14.05ab	-0.32bc
100	151.50b	474.11b	2522.0a	1.36E-03b	0.25a	16.06a	4.25E-03a	38.86a	128.20ab	10.25b	32.13b	7566a	10.71b	-0.56c
OM5000	171.36ab	602.85ab	2402.3a	1.72E-03ab	0.29a	15.30a	5.84E-03a	35.92bc	125.80ab	11.97ab	41.96ab	7207a	13.98ab	0.09ab
OM1000	259.46a	864.57a	3348.3a	1.32E-03b	0.30a	21.32a	4.64E-03a	34.68c	117.80b	11.55ab	39.35ab	10045a	13.12ab	-0.12ab

LAR: leaf area ratio, SLR: specific leaf ratio, LAI: leaf area index, SLW: specific leaf weight, LWR: leaf weight ratio, CGR: crop growth ratio, NAR: net assimilation rate, CL: chlorophyll content, DWL: dry weight leaf, DW: dry weight, LA: leaf area, LAD: leaf area duration, RGR: relative growth rate

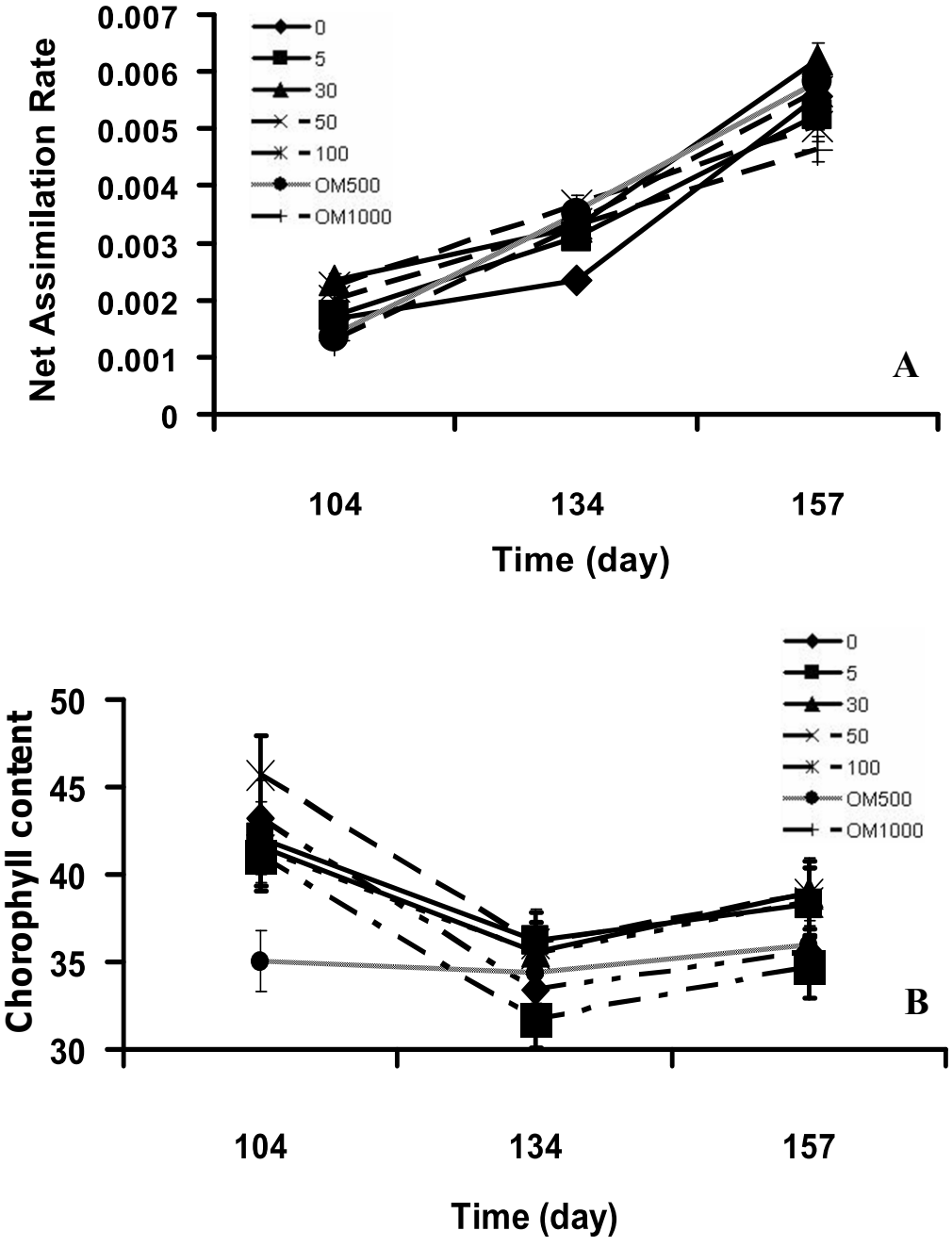
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



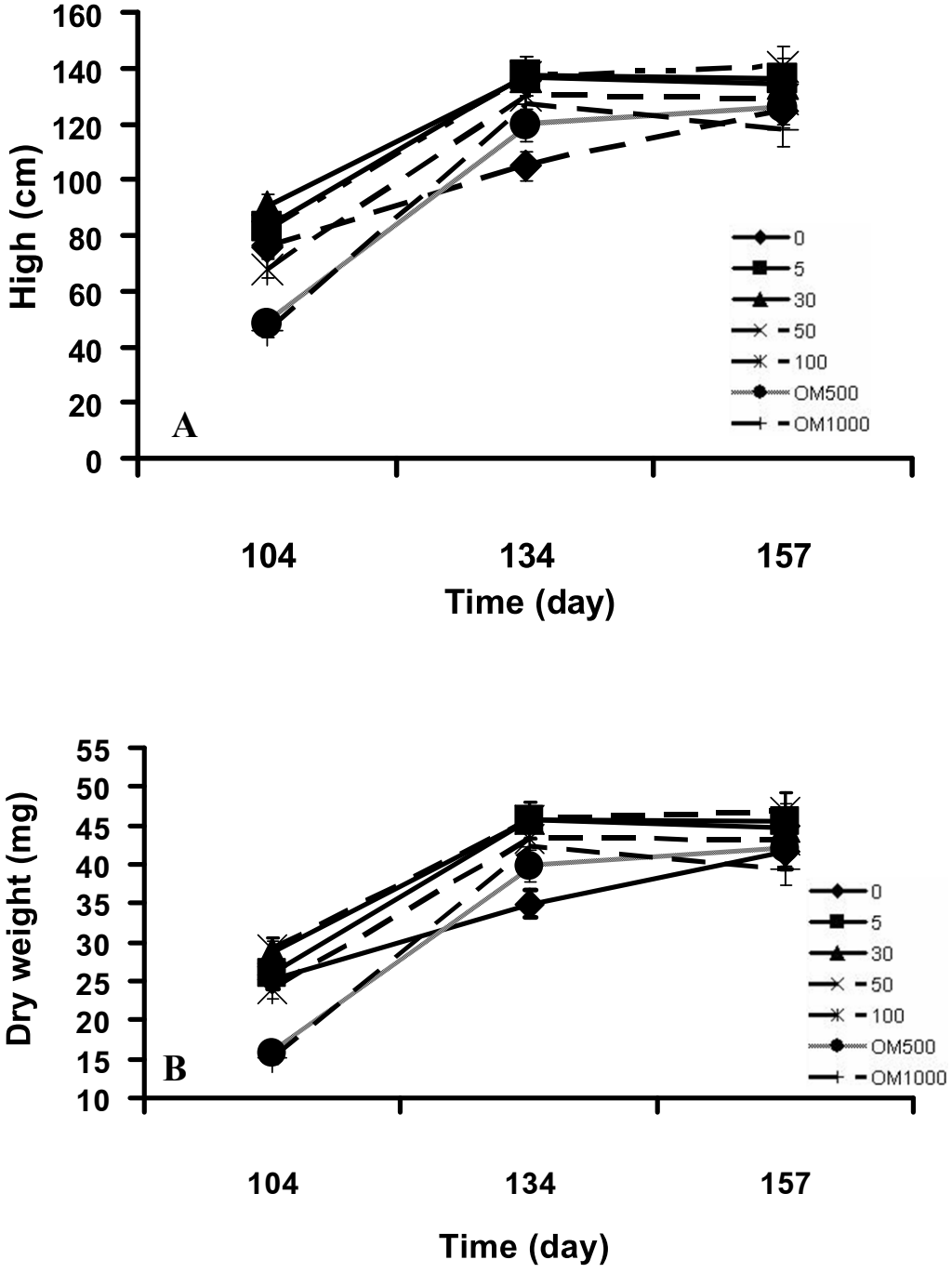
รูปที่ 24: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อค่าอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนัก (SLA) และค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก (LAI) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



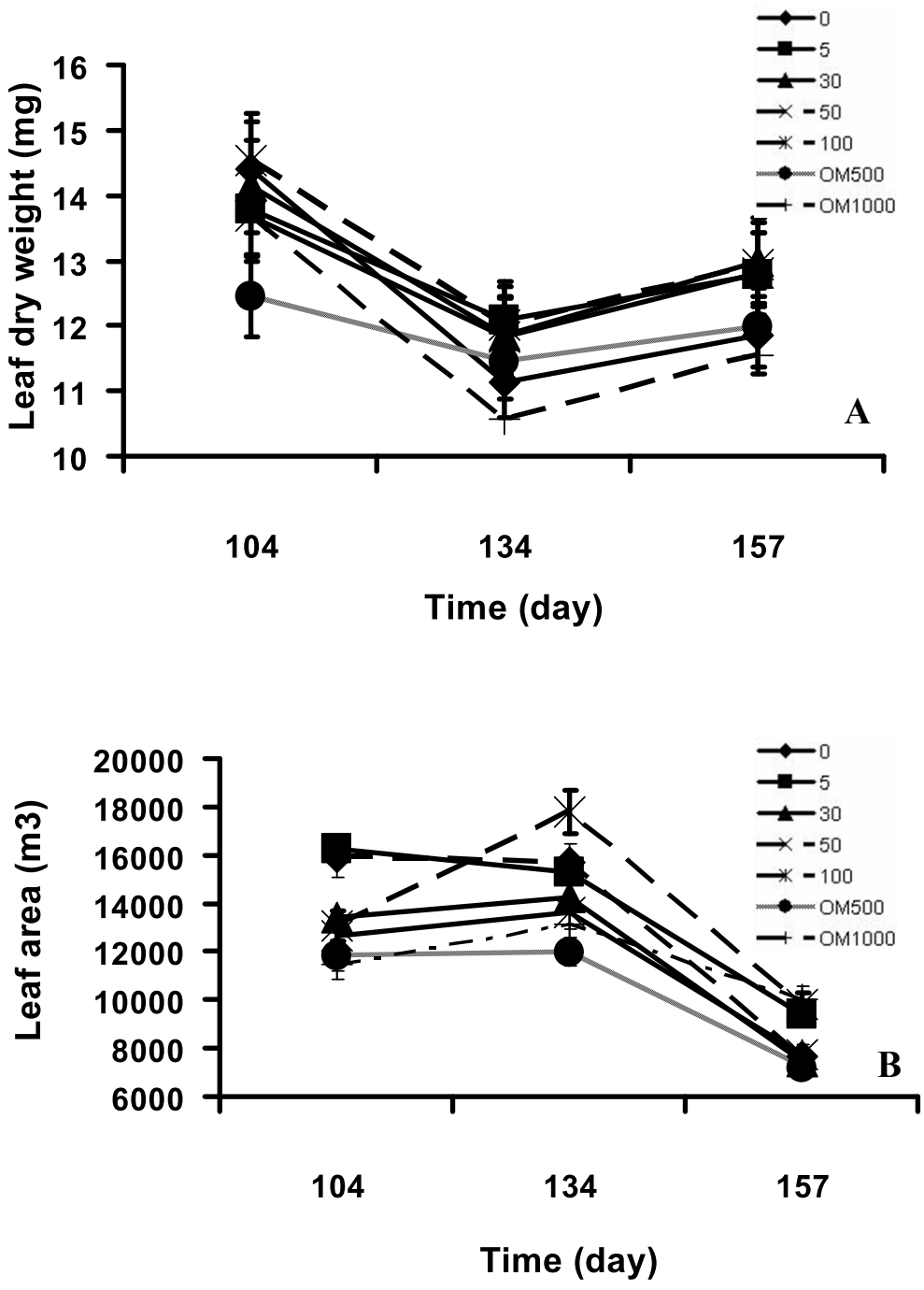
รูปที่ 25: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อค่าอัตราส่วนของน้ำหนักใบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (SLW) และอัตราส่วนของน้ำหนักที่พืชสร้างต่อหน่วยพื้นที่ปลูก(CGR) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



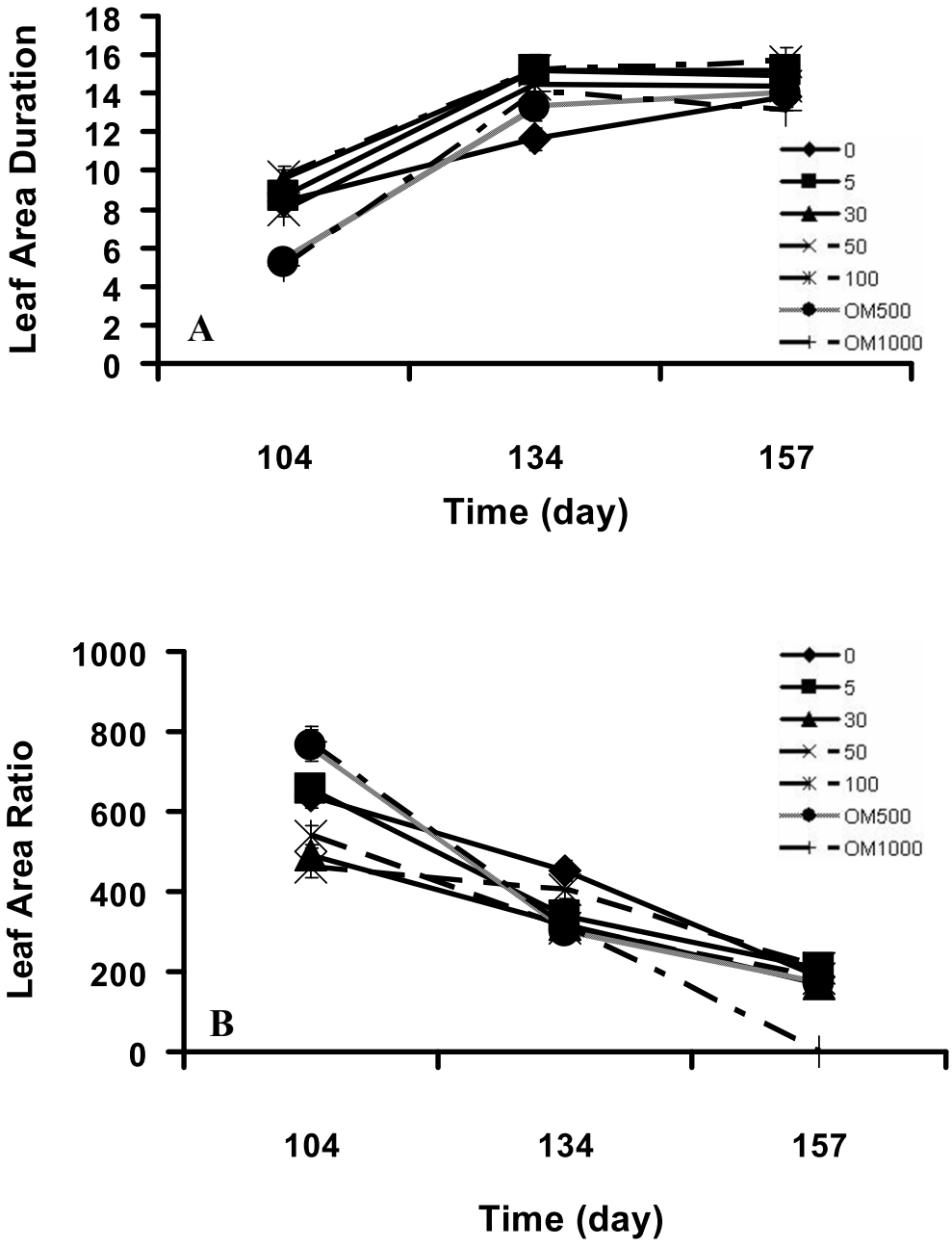
รูปที่ 26: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อค่าอัตราส่วนการสร้างน้ำหนักของพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) และปริมาณคลอโรฟิวส์ (CL) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 27: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อความสูงของต้น (High) และน้ำหนักแห้งของต้นพืช (DW) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 28: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อพื้นที่ใบ (LA) และน้ำหนักแห้งของใบ (DWL) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก



รูปที่ 29: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อพื้นที่ใบต่อระยะเวลาการปลูก (LAD) และค่าสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักทั้งหมดของต้นพืช (LAR) ระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

รูปที่ 30: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียม และปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ หลังการเพาะปลูก

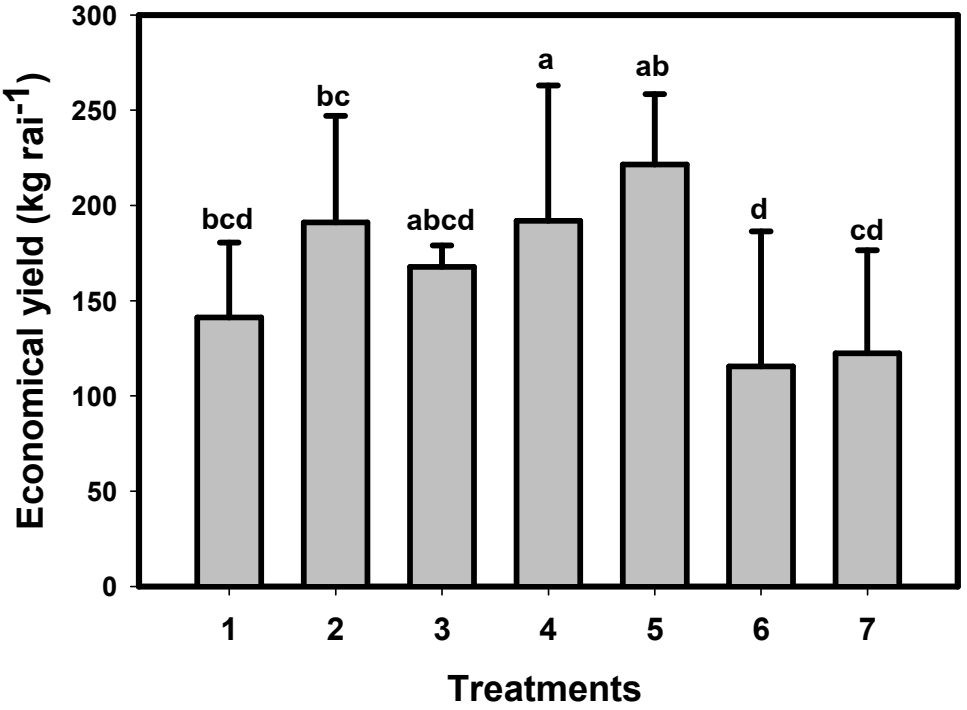
1.7.1.1.6 อัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการเกิดความเป็นพิษ (Potassium toxicity) ต่องาขี้ม้อน

จากการศึกษาการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราต่าง ๆ พบว่า การใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราที่สูงตั้งแต่ 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะส่งผลให้งาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษ (nitrogen toxicity) เนื่องจากความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียม โดยอาการความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียมในระยะแรกพืชจะแสดงอาการลำต้นมีขนาดเล็ก อ่อน และล้มง่าย พืชมีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น และใบมากส่งผลให้พืชมีการออกดอก และติดเมล็ดช้าส่งผลให้ผลผลิตของเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง เมื่องาขี้ม้อนแสดงอาการความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียมในระดับรุนแรงพืชจะแสดงอาการใบไหม้ (Leaf bright) โดยจะเริ่มจากบริเวณขอบใบเข้าสู่กลางใบ หากอาการความเป็นพิษเกิดรุนแรงขึ้น จะส่งผลให้งาขี้ม้อนเกิดอาการใบไหม้ทั้งแผ่นใบ การสะสมน้ำหนักของเมล็ดลดลง คุณภาพของผลผลิต โดยเฉพาะการสะสมน้ำมัน และสารกลุ่มน้ำตาลลดลง โดยจากการศึกษาการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราต่าง ๆ ต่อการเกิดความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียม พบว่า อาการความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียมจะเริ่มพบในกรรมวิธีการทดลองที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะพบระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษอยู่ในระดับ 3.52 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียมดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 42.29 ของทั้งแปลงทดสอบ และระดับความรุนแรงของอาการความเป็นพิษจะสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะมีระดับความรุนแรงของความเป็นพิษอยู่ในระดับ 4.34 โดยการเกิดอาการความเป็นพิษของธาตุโพแทสเซียมดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 58.55 ของทั้งแปลงทดสอบ (รูปที่ และรูปที่)

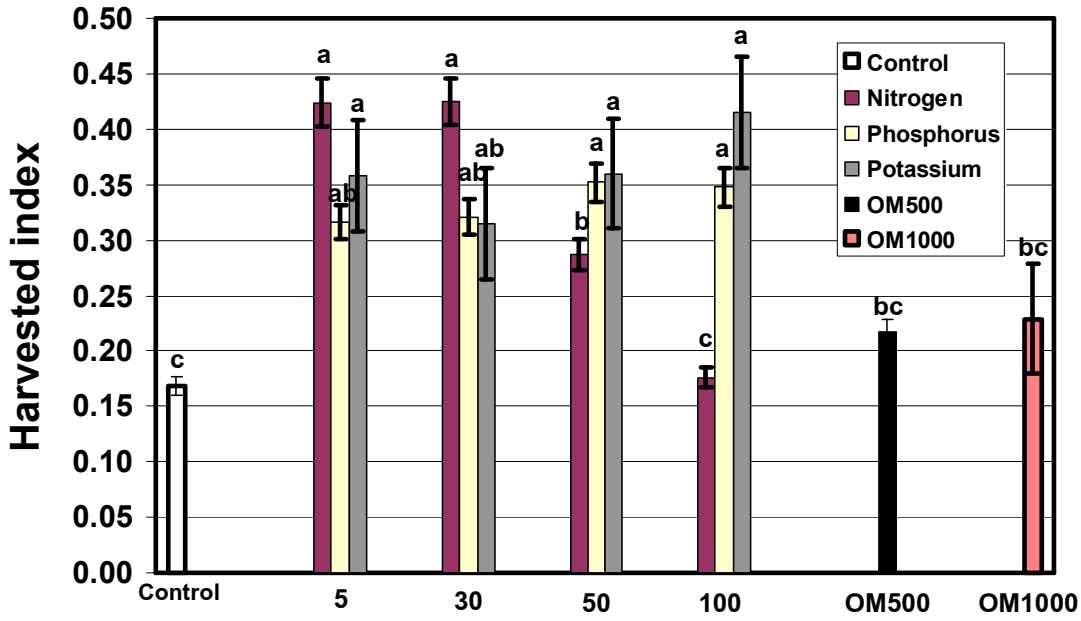
รูปที่ 31: ระดับความรุนแรงของการเกิดความเป็นของการใช้ธาตุโพแทสเซียม (Potassium toxicity)

1.7.3.2 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิต และดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณผลผลิตงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าผลผลิตงาขี้ม้อนสูงสุดเมื่อมีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน 191.92 และ 221.44กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่จะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด คือ 115.56 กิโลกรัมต่อไร่ (รูปที่ 3) โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตเมล็ดงา ขี้ม้อนดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน กล่าวคือ ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวจะมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในทุกอัตรา และจะมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีควบคุม และในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 32: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการเก็บเกี่ยว



รูปที่ 33: อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีการเก็บเกี่ยวของงาขี้ม้อน

1.7.3.3 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน และปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

7.3.3.1 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein) กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidation enzymatic activity) ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX) และ เอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) จะมีการสะสมในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติ โดยจะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวสูงขึ้น เมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจะมีการสะสมองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวสูงสุด (ตารางที่) ในขณะที่การสะสมคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ พบว่า การสะสมจะลดลงตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่เพิ่มสูงขึ้น โดยจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ สูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และในกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่)

การสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมัน α – linolenic acid (Ω – 3), linoleic acid (Ω – 6) และoleic aicd (Ω – 9) และกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ steric acid และ palmatic acid พบว่า ในกรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตรา และกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่จะมีการสะสมไขมันทั้งหมด และกรดไขมันในปริมาณต่ำสุด และการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีการสะสมปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมันสูงสุด (ตารางที่)

ตารางที่ 21: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein), ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX), Superoxide dismutase (SOD), และ Lipoxygenase (LOX) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Protein (g 100g-1)	APX (µmole min^{-1} 100mg^{-1} protein)	SOD (activity mg^{-1} protein)	LOX (activity mg^{-1} protein)	Antioxidant activity (IC_{50})
Control	16.12±1.0453bc	0.293±0.0152bc	5.861±0.1337bc	0.708±0.0441bc	2.370±0.1136bc
K-5 kg rai-1	15.63±0.2172c	0.28±4.031E-034c	5.68±0.08822c	0.687±9.940E-03c	2.300±0.0277c
K-30 kg rai-1	18.89±0.1436a	0.344±2.650E-03a	6.869±0.0607a	0.830±0.0402a	2.776±0.0240a
K-50 kg rai-1	18.49±0.4488ab	0.336±0.0165ab	6.725±0.1895ab	0.813±0.0213ab	2.720±0.0748ab
K-100 kg rai-1	18.35±0.1597ab	0.334±2.918E-03ab	6.671±0.4584ab	0.806±0.0212ab	2.700±0.0264ab
OM-500 kg rai-1	15.56±0.1677c	0.28±5.950E-033c	56.57±0.5382c	0.68±0.01724c	2.288±0.0278c
OM-1000 kg rai-1	16.24±0.3022bc	0.295±5.405E-03bc	5.905±0.1276bc	0.714±0.0304bc	2.388±0.0504bc

APX: ascorbate peroxidase enzymatic activity, SOD: superoxide dismutase enzymatic activity, LOX: Lipoxygenase enzymatic activity

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 22: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate), น้ำตาลกูลโครส (Glucose), ซูโครส (Sucrose), แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Carbohydrate (g $100g^{-1}$ DM)	Glucose (g $100g^{-1}$ DM)	Sucrose (g $100g^{-1}$ DM)	Lactose (g $100g^{-1}$ DM)	Maltose (g $100g^{-1}$ DM)
Control	28.80±5.0174abc	2.50±0.4594abc	3.72±0.3015abc	8.17±0.6847abc	4.63±0.8210abc
K-5 kg rai-1	32.87±1.0425ab	2.86±0.0945ab	4.24±0.0643ab	9.33±0.1420ab	5.29±0.1733ab
K-30 kg rai-1	23.15±0.6894c	2.02±0.0643c	2.99±0.0428c	6.57±0.0954c	3.73±0.1125c
K-50 kg rai-1	20.82±2.1543c	1.81±0.1974c	2.69±0.1295c	5.91±0.2966c	3.35±0.3525c
K-100 kg rai-1	25.45±0.7668bc	2.21±0.0686bc	3.28±0.0456bc	7.22±0.1041bc	4.09±0.1270bc
OM-500 kg rai-1	33.16±0.8049ab	2.88±0.0716ab	4.28±0.0472ab	9.41±0.1083ab	5.33±0.1310ab
OM-1000 kg rai-1	34.29±1.450a	2.98±0.1341a	4.43±0.0880a	9.73±0.1985a	5.52±0.2349a

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 23: อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมที่ระดับต่าง ๆ ต่อการสะสมไขมันทั้งหมด (Total lipid) และกรดไขมันอิสระ Linolenic acid (W – 3), Linoleic acid (W – 6), Oleic acid (W – 9), Steric acid, และ Palmatic acid ในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

Treatment	Lipid (g $100g^{-1}$ DM)	linolenic acid (mg g^{-1}DM)	linoleic acid (mg g^{-1}DM)	Oleic acid (mg g^{-1}DM)	Steric acid (mg g^{-1}DM)	Palmitic acid (mg g^{-1}DM)
Control	58.58±3.5318bc	67.05±2.2957bc	12.89±0.6534bc	16.50±0.6181bc	2.48±.0.0724bc	6.99±0.2543bc
K-5 kg rai-1	50.01±0.7938c	65.00±0.5160c	12.50±0.1469c	16.00±0.0955c	2.40±0.0163c	6.77±0.0572c
K-30 kg rai-1	60.45±0.5458a	78.59±0.3548a	15.11±0.1010a	1935±0.2985a	2.90±0.0112a	8.19±0.0393a
K-50 kg rai-1	59.18±1.7055ab	76.93±1.1086ab	14.80±0.3155ab	18.94±0.0437ab	2.84±0.0350ab	8.01±0.0.1228ab
K-100 kg rai-1	58.71±0.6070ab	76.32±1.0.3946ab	14.68±0.1123ab	18.78±0.1062ab	2.82±0.0124ab	7.95±0.0437ab
OM-500 kg rai-1	49.78±0.6372c	64.71±0.4142c	12.45±0.1179c	15.93±0.1115c	2.39±0.0131c	6.75±0.0459c
OM-1000 kg rai-1	51.97±1.1483bc	67.56±0.7464bc	12.99±0.2124bc	16.63±0.2010bc	2.49±0.0235bc	7.04±0.0827bc

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.7.3.3.2 อิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในใบงาขี้ม้อน

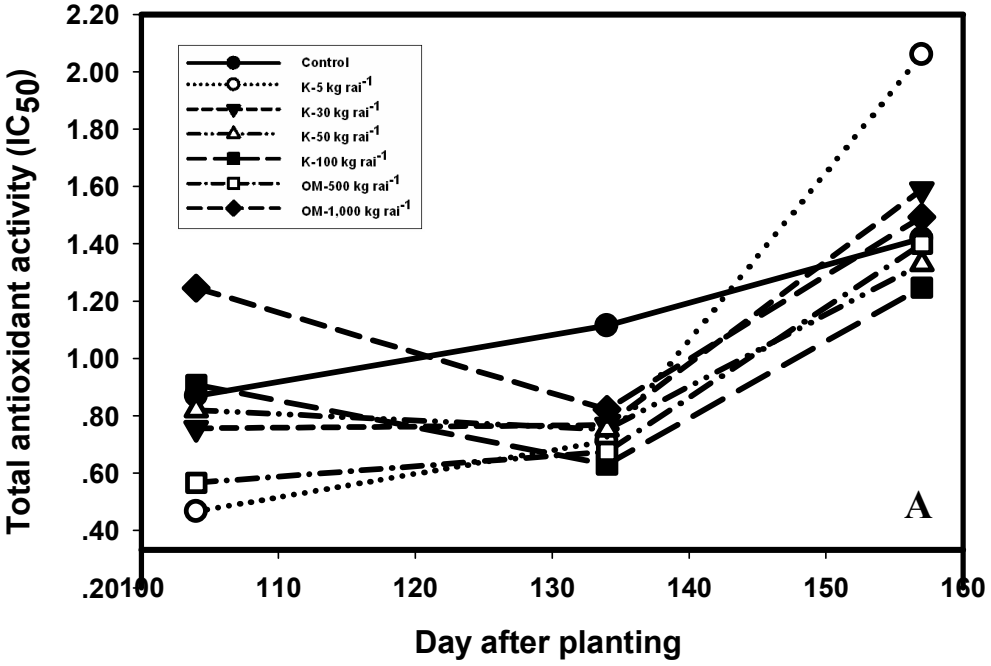
จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมปริมาณสาร Rosmarinic acid และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) ในผลผลิตใบของงาขี้ม้อนระหว่างการเจริญเติบโตระยะ 104, 134 และ 157 วันหลังการเพาะปลูก พบว่า ที่ระยะการเจริญเติบโต 157 วันหลังการเพาะปลูกมีการสะสมของทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสาร Rosmarinic acid ในปริมาณสูงสุด คือ 1.505 ± 0.396 และ 15.24 ± 2.821 μmole g^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่ในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อนจะมีการสะสมสารสำคัญทั้งสองน้อยสุด เมื่อพิจารณาถึงอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง คือ สารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid พบว่า การสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระในผลผลิตใบงาขี้ม้อนสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (IC_{50} = 1.187 ± 0.340) และมีแนวโน้มการสะสมของสารต้านอนุมูลอิสระในใบงาขี้ม้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่สูงขึ้น แต่เมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 50 - 100 กิโลกรัมต่อไร่จะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid ลดลง ในขณะที่การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า จะมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบงาขี้ม้อนต่ำสุดในกรรมวิธีควบคุม และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระภายในใบงาขี้ม้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่)

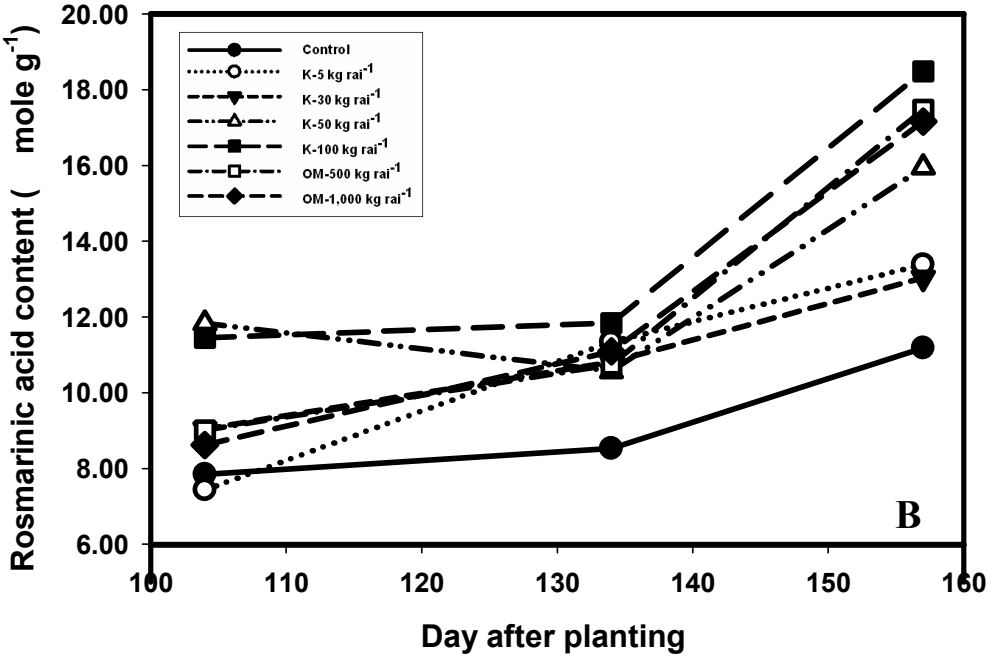
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของระยะเวลาการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการสะสมสารสำคัญทั้งสอง พบว่า การสะสมสารสำคัญทั้งสองชนิดทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ และสาร Rosmarinic acid มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต ในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยการตอบสนองของการสะสมสาร Rosmarinic acid ต่อช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียม พบว่า จะมีการสะสมสาร Rosmarinic acid ที่แตกต่างกันใช้ช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน แต่เมื่อถึงระยะการเก็บเกี่ยว พบว่าการสะสมสาร Rosmarinic acid ในใบจะสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียม 5 กิโลกรัมต่อไร่ (รูปที่ 4A) ในขณะที่การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระจะมีการสะสมเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่มากขึ้น โดยจะมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ แต่กรรมวิธีที่มีควบคุมจะมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด (รูปที่ 4B)

ตารางที่ 24: อิทธิพลของระยะเจริญเติบโต และธาตุโพแทสเซียมต่อการสะสมกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant activity) และสาร Rosmarinic acid ภายในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

Treatment	Total antioxidant activity (IC_{50})	Rosmarinic acid content (µmole g^{-1})
Planting time (Day after planting; DAP)		
104	0.804 ± 0.362b	9.32 ± 2.420c
134	0.782 ± 0.219b	10.70 ± 1.702b
157	1.505 ± 0.396a	15.24 ± 2.821a
Fertilizer application (kg rai^{-1})		
Control (0)	1.134 ± 0.424ab	9.18 ± 1.959d
K - 5	1.079 ± 0.794abc	10.71 ± 2.998c
K - 30	1.038 ± 0.451abc	10.96 ± 1.935c
K - 50	0.966 ± 0.379bc	12.78 ± 3.011ab
K - 100	0.928 ± 0.289bc	13.92 ± 3.498a
OM – 500	0.880 ± 0.415c	12.41 ± 4.362b
OM – 1,000	1.187 ± 0.340a	12.29 ± 3.387b
cv	27.28	14.12

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%





รูปที่ 34: อิทธิพลของระยะการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ (A) และสาร Rosmarinic acid (B) ในผลผลิตใบงาขี้ม้อน

รูปที่ 35: แปลงปลูกทดสอบการตอบสนองของงาขี้ม้อนต่อธาตุอาหารหลักตั้งแต่เริ่มทำการทดสอบ -ช่วงระยะเวลาที่ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโต 70 วันหลังการเพาะปลูก (70 day after planting; DAP)

รูปที่ 36: แปลงปลูกทดสอบการตอบสนองของงาขี้ม้อนต่อธาตุอาหารหลักที่ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโต 104 วันหลังการเพาะปลูก (104 day after planting; DAP)

รูปที่ 37: แปลงปลูกทดสอบการตอบสนองของงาขี้ม้อนต่อธาตุอาหารหลักที่ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตระหว่างการสร้างผลผลิต (134 วันหลังการเพาะปลูก; 134 day after planting; DAP) – ระยะเก็บเกี่ยว และผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

1.8 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนา ผลผลิต และคุณภาผลผลิตงาขี้ม้อนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และมีปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพทางกาย และทางเคมีต่อความต้องการของตลาด และเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาขี้ม้อนต่อไปในอนาคตสามารถสรุปผลการดำเนินการ ดังนี้

1.8.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของงาขี้ม้อน

การใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมส่งเสริมให้งาขี้ม้อนมีการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางสรีระวิทยาสูงสุด ในขณะที่เมื่อมีการใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตราที่สูงกว่า 50 กิโลกรัมต่อไร่ งาขี้ม้อนจะเริ่มแสดงความเป็นพิษ (Toxicity) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการชะงักการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางด้านสรีระวิทยาของงาขี้ม้อน

1.8.2 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณผลผลิตของงาขี้ม้อน

การใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อปริมาณผลผลิตงาขี้ม้อน พบว่า ผลผลิตของงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่จะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนสูงสุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราจะให้ผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด

1.8.3 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อคุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อน

1.8.3.1 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อคุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน

การใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อคุณภาพผลผลิตงาขี้ม้อน พบว่า คุณภาพผลผลิตของงาขี้ม้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยการใช้ธาตุไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัสในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียมในอัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่จะให้คุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนสูงสุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองอัตราจะให้คุณภาพผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อนต่ำสุด ทั้งนี้จากการศึกษา พบว่า

การสะสม Protein, APX, SOD, LOX, Antioxidant activity, Lipid, α – linolenic acid, linoleic acid, oleic acid, steric acid, และ palmatic acid นั้นจะเป็นสัดส่วนแปรผกผันกับการสะสมคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

1.8.3.2 อิทธิพลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการสะสมสาร Rosmarinic acid และ Total antioxidant activity ในใบงาขี้ม้อน

การสะสมปริมาณสาร Rosmarinic acid และ Total antioxidant activity จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของงาขี้ม้อน เมื่อพิจารณาถึงการใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการสะสมสาร Rosmarinic acid และ Total antioxidant activity พบว่า การสะสมสารสำคัญทั้งสองจะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการใช้ธาตุไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส โดยจะพบการสะสมสารสำคัญทั้งสองในปริมาณสูงสุดในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียมจะพบการสะสมสารสำคัญทั้งสองในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ธาตุโพแทสเซียมที่สูงขึ้น โดยมีการสะสมสารสำคัญทั้งสองเมื่อมีการใช้ธาตุโพแทสเซียมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาสามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์เพื่อใช้ในการส่งเสริม เผยแพร่การผลิตงาขี้ม้อนเพื่อให้ได้ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตสูงสุด เพื่อเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภคโดยตรง หรือเพื่อเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาขี้ม้อนต่อไปในอนาคต

1.9 ข้อเสนอแนะของโครงการ

จากผลการวิจัยครั้งนี้หากสามารถนำผลที่ได้ไปใช้เพื่อการส่งเสริมในด้านการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตร ซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านของเกษตรกรภาคเหนือตอนบนของประเทศ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติของงาขี้ม้อน พบว่า เป็นพืชที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับพืชท้องถิ่นชนิดนี้ โดยการพัฒนาเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภคโดยตรง และสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เข้มข้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านสารเสริมสุขภาพ และป้องกันโรคได้ เนื่องจากคุณสมบัติของงาขี้ม้อนมีสารที่สามารถช่วยในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมสารเสริมสุขภาพ ยา และผลิตภัณฑ์เสริมความงามต่าง ๆ ดังผลการวิจัยที่ได้เสนอไปแล้วข้างต้น

เนื่องด้วย สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้กำหนดวิทัศน์ประเทศสู่ปี 2570 โดยเตรียมการเพื่อวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.

2555 - 2559) ได้มองหาพลังขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจใหม่ที่เน้นการพัฒนาด้วยการเจริญเติบโตแบบสมดุลและยั่งยืนบนพื้นฐานของความได้เปรียบที่แท้จริงของประเทศ โดยการมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มคุณค่า/สร้างมูลค่าให้กับสินค้าที่ไทยมีความสามารถในการแข่งขันอยู่แล้ว รวมถึงการมุ่งเน้นส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันในกลุ่มสินค้าที่ไทยมีศักยภาพ/มีความสามารถหลัก (Core Competency) และสร้างสรรค์มูลค่าให้เป็นปัจจัยขับเคลื่อนใหม่ ซึ่งนำไปสู่จุดเปลี่ยนโครงสร้างสินค้าและบริการที่สำคัญของไทยในอนาคต เป็นการยกระดับสู่เศรษฐกิจยุคใหม่ด้วยการนำความคิดเรื่อง “เศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Creative Economy)” มาเป็นแนวทางในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนเป็นอย่างมาก หากสามารถพัฒนาต่อยอดจนนำไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากด้วยตัวของผลิตภัณฑ์จากงาขี้ม้อนสามารถที่จะพัฒนาไปสู่การเป็นเศรษฐกิจสร้างสรรค์ได้ โดยสามารถเชื่อมโยงได้ทั้งภาคการศึกษา การพัฒนาระบบการเกษตร อุตสาหกรรม บริการ และการตลาด ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายรายได้ และความยั่งยืนในระยะยาว นั่นคือการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สมดุลและยั่งยืนอย่างแท้จริงต่อไป

ดังนั้น จากข้อมูลพื้นฐานดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวิจัย และพัฒนาการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เช่น การวิจัย และพัฒนาสารสกัดจากผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเป็นสารเสริมสุขภาพ และความงาม การวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์เข้มข้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านสารเสริมสุขภาพ ผลิตภัณฑ์เสริมความงาม และป้องกันโรค ต่อไปในอนาคต