

จำนวนประชากรของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne graminicola* และอายุข้าวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและความรุนแรงของการเกิดโรคในข้าวพันธุ์ กข33

The effects of *Meloidogyne graminicola* population density and rice age of infection on growth yield and disease severity of RD33

ปฐวี ภิราญคำ¹, กิตติพงษ์ ศรีม่วง² และ พรทิพย์ เรือนปานันท์^{1*}

Patawee Pirankham¹, Kittipong Srimuang² and Pornthip Ruanpanun^{1*}

¹ ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

² ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ตำบลบ้านสร้าง อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี 25150

² Prachinburi Rice Research Center, Division of Rice Research and Development, Rice Department, Ban Sang, Prachin Buri 25150, Thailand

บทคัดย่อ: ไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne graminicola* เป็นศัตรูพืชที่สำคัญและสร้างความเสียหายต่อผลผลิตข้าวทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* (0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 1 และ 10 ตัว/ดิน 1 ก.) ในการเข้าทำลายข้าวพันธุ์ กข33 ที่ อายุ 0, 10, 30, 60 และ 90 วัน โดยประเมินความเสียหาย 3 ส่วนได้แก่ การเจริญเติบโต (ความสูงของกอ จำนวนต้น/กอ น้ำหนักสดของกอ จำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 100% และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด) ผลผลิต (น้ำหนักผลผลิต/กอ จำนวนรวง/กอ จำนวนเมล็ดดี/รวง จำนวนเมล็ดลีบ/รวงและ ความยาวรวง) และความรุนแรงของการเกิดโรค (ระดับการเกิดปม จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก และจำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดิน รวมถึงอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม) พบว่าระดับของประชากรและอายุข้าวเมื่อถูกทำลายมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต ผลผลิต และความรุนแรงของการเกิดโรคและที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายข้าวอายุ 10 วันทำให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข33 เสียหายมากที่สุด 77.79%

คำสำคัญ: ไส้เดือนฝอยรากปมข้าว; *Meloidogyne graminicola*; ความหนาแน่นของไส้เดือนฝอยเริ่มต้น; ความเสียหายของผลผลิต

ABSTRACT: The rice root-knot nematode (RKN), *Meloidogyne graminicola*, is a major causative agent to rice production in Southeast Asia. The objective of this study was to investigate the effect of initial population density (P_i = 0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 1 and 10 infective second-stage juveniles (j2)/1 g soil) of RKN inoculated at different ages (0, 10, 30, 60 and 90 days after planting (dap)) of the rice cultivars RD33 on the growth (plant height, no. of tillers/plant, shoot weight, days to 100% flowering, total chlorophyll), yield (grain yield/plant, no. of filled grains/panicle, no. of unfilled grains/panicle, no. of panicles/plant and panicle lengths/plant) and disease severity (galling index, no. of eggs/g root, no. of infective second-stage juvenile of RKN (J2)/g root and no. of J2/g soil and reproductive factor). The result indicated that P_i and plant age of nematode infection were correlated to growth, yield and disease severity of RD33. The P_i of 10 J2/g infected 10 dap rice showed the most yield loss up to 77.79%.

Keywords: rice root-knot nematode; *Meloidogyne graminicola*; initial population densities; rice damage

* Corresponding author: fagrptr@ku.ac.th

Received: date; October 11, 2022 Accepted: date; December 27, 2022 Published: date; March 8, 2023

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารที่นิยมบริโภคเป็นอาหารหลักทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในทวีปเอเชียและแอฟริกา โดยมีปริมาณการบริโภคมากกว่า 100 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (Seck et al., 2012) ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของโลก โดยผลิตข้าวกว่า 90% ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2563-2564 ทั้งหมด 62 ล้านไร่ ประกอบด้วยการปลูกแบบนาปรังและนาปี ผลผลิตรวมประมาณ 30 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการเพาะปลูกข้าวคือการเข้าทำลายจากเชื้อสาเหตุโรคพืชและไส้เดือนฝอยรากปมข้าว (rice root-knot nematode) *Meloidogyne graminicola* เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่สร้างความเสียหายต่อต้นข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม (Bridge et al., 2005) โดยการเข้าทำลายรากทำให้รากเกิดอาการบวมโป่งบริเวณปลายรากลักษณะคล้ายตะขอ (hook-like) ส่งผลให้รากข้าวสูญเสียความสามารถในการดูดน้ำและอาหาร ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่และส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงในที่สุด ส่วนผลกระทบทางอ้อม ไส้เดือนฝอยรากปมเป็นตัวเปิดทางให้เชื้อก่อโรคพืชชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะเชื้อที่อยู่ในดิน (soil born pathogen) เช่น เชื้อรา *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* และ *Sclerotium* เข้าทำลายซ้ำเพิ่มความเสียหายแก่ข้าวมากขึ้น ไส้เดือนฝอยรากปมชนิดดังกล่าวนี้ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงมากถึง 87% (Lilley et al., 2011)

ในประเทศไทยพบการแพร่ระบาดของไส้เดือนฝอย *M. graminicola* ในพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั่วประเทศโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ยังไม่มีการประเมินความเสียหายที่แน่ชัด อีกทั้งแนวโน้มความเสียหายจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยชนิดดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมชนิดนี้ยังไม่ประสบความสำเร็จและข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอ โดยเฉพาะข้อมูลด้านการประเมินความเสียหายของการเจริญเติบโต ผลผลิตและความรุนแรงของโรครากปมของระดับจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยเริ่มต้นและอายุของข้าวในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งยังไม่มีรายงานในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการประเมินความเสียหายจากปัจจัยดังกล่าวต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในพืชหลายชนิด ได้แก่ ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 (Siengchin et al., 2020), แตงกวา (Kayani et al., 2017) และ ชูเกี๊ยะ (López-Gómez et al., 2015) แต่สำหรับการศึกษาในข้าวนั้น มีเพียงการประเมินความเสียหายจากระดับจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยเริ่มต้นอย่างเดียวเท่านั้น (Poudyal et al., 2005) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสียหายของระดับจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยเริ่มต้นและอายุของข้าว เมื่อถูกไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* เข้าทำลายต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและความรุนแรงของโรครากปมข้าว ที่ระดับความหนาแน่นของประชากรเริ่มต้นที่ 0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 1 และ 10 ตัวต่อดิน 1 ก. ในข้าวพันธุ์ กข33 ที่อายุ 0, 10, 30, 60 และ 90 วัน ซึ่งเป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสงจึงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีและยังมีความต้านทานต่อเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ (Supapoj et al., 2009) จึงใช้เป็นตัวแทนพันธุ์ข้าวสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และผลงานวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญเพื่อใช้ในการพยากรณ์ความเสียหายของผลผลิตข้าวจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* รวมถึงการจัดการเพื่อป้องกันโรครากปมข้าวในประเทศไทย

วิธีการศึกษา

การเตรียมไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne graminicola*

นำตัวอย่างข้าวที่ปรากฏอาการรากปม บริเวณปลายรากมีลักษณะเป็นปมและโค้งงอคล้ายตะขอ ในพื้นที่แปลงนาตำบลสามผง อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม (พิกัด 17°41'58"N และ 104°8'50"E) มาล้างรากให้สะอาด ใช้ปลายเข็มฉีดยาเบอร์ 22 (Nippo, Belgium) เขี่ยแยกกลุ่มไข่ 1 กลุ่มไข่ (single egg mass) ออกมาจากปมรากข้าว จากนั้นนำไปฟักในน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อปริมาณ 1 มล. ในจานหลุม ขนาด 24 หลุม โดยใช้ 1 กลุ่มไข่ต่อ 1 หลุม เป็นเวลา 72 ชม. จากนั้นนำไปใส่บริเวณรากต้นกล้าข้าวอายุ 5 วัน ที่ปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ที่บรรจุดินร่วนผสมทรายในอัตรา 1:1 ปริมาณ 200 ก. เพื่อทำโอโซเลต บริสุทธิ์ ดูแลรดน้ำเป็นเวลา 15 วัน จนกระทั่งเกิดปมที่รากข้าวจึงใช้ปลายเข็มเขี่ยตัวเต็มวัยเพศเมียมาระบุชนิดของไส้เดือนฝอยรากปมด้วยการดูลักษณะรอยย่นส่วนก้น (perineal patten) ตามวิธีการของ Hunt and Handoo (2009) และตรวจสอบชนิดของไส้เดือนฝอยรากปม

ด้วยวิธี Polymerase Chain Reaction โดยการใช้ไพรเมอร์จับจำเพาะ Mg-F3 (5'-TTATCGCATCATTTTATTTG- 3') และ Mg-R2 (5'-CGCTTTGTTAGAAAATGACCCT- 3') ตามวิธีการ Htay et al. (2016) จากนั้นเพิ่มจำนวนไล้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* โดยใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ในรากต้นกล้าข้าวอายุ 5 วัน ในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่บรรจุดินร่วนผสมทรายปลอดเชื้อ อัตราส่วน 1: 1 ปริมาณ 5 กม. ดูแลในสภาพโรงเรือน เป็นเวลา 3 เดือน สำหรับใช้ในการวิจัย

การทดสอบผลของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไล้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* และอายุของข้าวพันธุ์ กข33 เมื่อถูกไล้เดือนฝอยเข้าทำลาย

นำเมล็ดข้าวพันธุ์ กข33 แช่น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 1 วัน หลังจากนั้นเทน้ำออกและบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน จึงย้ายไปปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ที่บรรจุดินร่วนผสมทรายในอัตรา 1:1 ปริมาณ 5 กม. จากนั้นใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไล้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้น ได้แก่ 0.01 , 0.02, 0.1, 0.2, 1 และ 10 ตัว/ดิน 1 ก. ในข้าวอายุ 0, 10, 30, 60 และ 90 วัน และกรรมวิธีควบคุมที่เป็นต้นข้าวไม่ใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไล้เดือนฝอยรากปม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดสอบ 10 ซ้ำต่อกรรมวิธีในสภาพโรงเรือน ดูแลรดน้ำให้ปุ๋ยเมื่อต้นข้าวอายุ 15 และ 35 วัน โดยใช้สูตร 16-16-8 ปริมาณ 78.125 และ 156.25 กม./เฮกตาร์ตามลำดับ และเมื่อต้นข้าวอายุ 65 และ 95 วัน ให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ปริมาณ 31.25 และ 62.50 กม./เฮกตาร์ (Sungthongwises and Tanpan, 2017) เมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าว บันทึกผลการทดสอบ 3 ส่วนประกอบด้วยการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และความรุนแรงของการเกิดโรค

การประเมินผล

การเจริญเติบโต

วัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ความสูงต้น วันที่แทงรวง 100% จำนวนต้น/กอ น้ำหนักสดทั้งกอ วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบข้าวโดยเก็บใบข้าวอายุ 105 วัน โดยใช้สารละลายไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethyl sulfoxide) ในการสกัด จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 648.2 และ 664.9 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer ตามวิธีการของKoike et al. (2001)

ผลผลิต

ได้แก่ จำนวนรวง/กอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดดี/รวง จำนวนเมล็ดลีบ/รวงและ น้ำหนักเมล็ดดีที่ความชื้นไม่เกิน 14% (Cabasan et al., 2018)

ความรุนแรงของการเกิดโรค

ประเมินความรุนแรงของการเกิดโรค จากระดับการเกิดปม ตามวิธีการของ Hussey and Janssen (2002) ดังนี้ ระดับ 0 = ไม่เกิดปม; ระดับ 1 = เกิดปม 1 - 10%; ระดับ 2 = เกิดปม 11 - 25%; ระดับ 3 = เกิดปม 26 - 50%; ระดับ 4 = เกิดปม 51 - 75% และ ระดับ 5 = เกิดปม มากกว่า 75% ตรวจนับจำนวนไขและตัวอ่อนระยะที่ 2 ต่อราก 1 กรัม จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไล้เดือนฝอยรากปมต่อดิน 1 ก. โดยแยกไล้เดือนฝอยจากดิน 25 ก. ตามวิธีการ Baermann funnel (Baermann, 1917) และวัดอัตราการขยายพันธุ์ของไล้เดือนฝอยรากปม (Reproductive factor; Rf) จากผลรวมของจำนวนไขต่อราก 1 ก. ตัวอ่อนระยะที่ 2 /ราก 1 ก. และ ตัวอ่อนระยะที่ 2 /ดิน 1 ก. (Pf)/จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 เริ่มต้น (Pi) (Pokharel et al., 2012)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเริ่มต้นของไล้เดือนฝอยรากปมและอายุข้าว ณ วันที่ไล้ไล้เดือนฝอยต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ 1) ความสูงของกอ 2) จำนวนต้น/กอ 3) น้ำหนักสดของกอ 4) จำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 100% 5) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 6) น้ำหนักผลผลิต/กอ 7) จำนวนรวง/กอ 8) จำนวนเมล็ดดี/รวง 9) จำนวนเมล็ดลีบ/รวง 10) ความยาวรวง 11) ระดับการเกิดปม 12) จำนวนไขในราก 13) จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก 14) จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดิน 15) อัตราการขยายพันธุ์ของไล้เดือนฝอยรากปม โดย Pearson's correlation และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กล่าวไปข้างต้นของข้าวพันธุ์ กข33 โดย Tukey's range test (HSD) (P<0.05) ด้วยโปรแกรม R-program 3.4.1 (R Core Team, 2017) และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับจำนวนประชากรเริ่มต้น ณ อายุของข้าวเมื่อถูกไล้เดือนฝอยเข้าทำลายและน้ำหนักผลผลิต/กอ ตามแบบจำลอง

Seinhorst (1965) โดย $Y = m + (1-m)z^{(P-T)}$ โดยที่ P คือ จำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม (จำนวนไส้เดือนฝอยต่อดิน 1 กรัม), Y คือผลผลิตข้าวสาลีที่ P, T คือขีดจำกัดของความทนทานของข้าวต่อไส้เดือนฝอยรากปมชนิด *M. graminicola*, m คือผลผลิตขั้นต่ำเมื่อ P_i เป็นค่าสูงสุด และ z เป็นค่าคงที่ ๆ น้อยกว่าหนึ่งเท่ากับ 0.3 (Plowright and Bridge 1990) และวิเคราะห์ความแตกต่าง ณ ช่วงวันหลังการใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ด้วย non-metric multidimensional scaling (NMDS) โดยโปรแกรม Statistics Software Package (PAST) version 4.02 (Hammer et al., 2001)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* และอายุของข้าวพันธุ์ กข33 เมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมและอายุของข้าว ณ วันที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายต่อความเสียหายของการเจริญเติบโต ผลผลิตและความรุนแรงของการเกิดโรคในข้าวพันธุ์ กข33 พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมสูงขึ้น แนวโน้มความเสียหายต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและความรุนแรงของโรคจะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อายุข้าวน้อยเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย แนวโน้มความเสียหายและความรุนแรงของโรคจะเพิ่มสูงขึ้น โดยระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับ จำนวนต้น น้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักของผลผลิต จำนวนรวง จำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดลีบ และอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมแต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับของการเกิดปมและจำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดิน (Table 1) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอายุข้าว ณ วันที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับ จำนวนต้น น้ำหนักสด น้ำหนักของผลผลิต และจำนวนรวงและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 100% ระดับของการเกิดปม จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดิน และอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม (Table 1) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Siengchin et al. (2020) ที่ได้รายงานว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* และอายุของต้นข้าวพันธุ์กำแพงแสน 2 ณ วันที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีความสัมพันธ์กับการลดลงของผลผลิต การเจริญเติบโต น้ำหนักของโรโซเปียมและความรุนแรงของการก่อโรคเช่นเดียวกับ Plowright and Bridge (1990) ได้รายงานว่ารระดับจำนวนประชากรของไส้เดือนฝอยเริ่มต้นในดินและอายุของพืช ณ วันที่ไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของการเกิดโรคซึ่งประกอบด้วยระดับของการเกิดปมและอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอย นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาเช่นเดียวกันในแตงกวาสายพันธุ์ Royal Sluis (Kayani et al., 2017) ขณะที่ปัจจัยของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมไม่มีผลต่อความยาวรวง ความสูงต้น วันที่ข้าวแทงรวง 100% จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก และอายุของข้าวที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดลีบ ความยาวรวง ความสูงต้นและปริมาณคลอโรฟิลล์ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Poudyal et al. (2005) พบว่ารระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความสูงและจำนวนไส้เดือนฝอยในรากข้าวพันธุ์ Masuli นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความทนทานหรือต้านทานของพันธุ์ข้าวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ โดย Cabasan et al. (2018) รายงานว่าที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยแตกต่างกันไม่มีผลต่อผลผลิต การเจริญเติบโตและความรุนแรงของโรคในข้าวสายพันธุ์ TOG5674, TOG5675 และ CG14 ซึ่งมีความต้านทานและทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ในขณะที่ระดับอายุพืชแตกต่างกันไม่มีผลต่อส่วนการเจริญเติบโตสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kabir et al. (2017) พบว่ารระดับของอายุพืชเมื่อถูกไส้เดือนฝอย *Heterodera schachtii* เข้าทำลายแตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาว

Table 1 Pearson correlation analysis (2-tailed) between the 15 parameters and initial population density and plant age at the time of inoculation

Parameter	Correlation with	
	Pi	Plant age
Plant height (cm)	0.036	0.083
Number of tillers/plant	-0.182*	0.163*
Shoot weight (g)	-0.271*	0.158*
Days to 100% flowering	-0.068	-0.361*
Total chlorophyll (mg/g)	-0.160*	-0.034
Yield/plant (g)	-0.215*	0.205*
No. of panicles/plant	-0.214*	0.192*
No. of filled grains/panicle	-0.248*	-0.062
No. of unfilled grains/panicle	-0.285*	0.098
Panicle lengths/plant (cm)	-0.125	-0.124
Root gall index	0.145*	-0.915*
No. of J2/g root	-0.001	-0.844*
No. of eggs/g root	0.069	-0.881*
No. of J2/g soil	0.139*	-0.279*
Reproductive factor	-0.304*	-0.265*

* Correlation is significant at $P < 0.05$.

สำหรับผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมและอายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายต่อการเจริญเติบโตพบว่า ความสูง จำนวนต้น น้ำหนักสด จำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 100% และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง 9.78 - 24.21, 22.33-52.93, 18.93-34.23, 4.51-5.08 และ 12.80-58.00% ตามลำดับ (Table 2) โดยการเจริญเติบโตของต้นข้าวจะได้รับผลกระทบสูงสุดเมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายต้นข้าวที่อายุ 10 วัน (Figure 1)

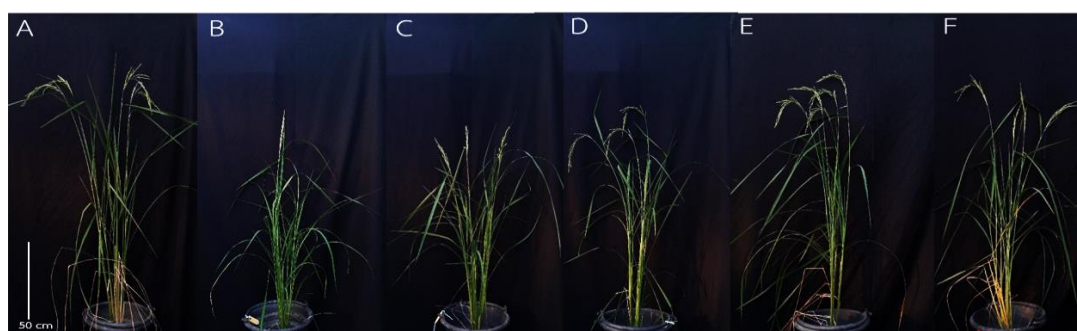


Figure 1 Effect of initial population of 10 J2/g soil inoculated at different ages of days after planting (dap) of plant height at 120 day; A: control, B: 0 dap, C: 10 dap, D: 30 dap, E: 60 dap และ F: 90 dap.

Table 2 Effect of initial population density (Pi) of *Meloidogyne graminicola* and plant ages at time of inoculation (days after planting; dap) on plant growth parameters of RD33

Pi (J2/ g soil)	DAP	Plant height (cm) ^{1/}	No. of tillers/plant ^{1/}	Shoot weight (g) ^{1/}	Days to 100% flowering ^{1/}	Total chlorophyll (mg/g) ^{1/}
control	-	132.53 ± 4.86 a	12.14 ± 1.07 a	200.71 ± 11.54 a	76.00 ± 0.58 d-g	3.74 ± 0.22 a
0.01	0	115.16 ± 5.88 b-f	7.86 ± 1.46 c-h	162.71 ± 5.75 b-d	77.43 ± 0.98 a-e	2.38 ± 0.09 d-h
0.02	0	111.13 ± 5.31 b-h	7.43 ± 0.79 d-h	159.64 ± 10.12 b-g	77.43 ± 0.98 a-e	2.70 ± 0.38 b-f
0.1	0	105.41 ± 4.82 e-h	7.71 ± 1.11 d-h	160.36 ± 11.98 b-g	77.43 ± 0.98 a-e	2.26 ± 0.17 d-i
0.2	0	103.49 ± 10.5 f-h	9.57 ± 1.40 a-e	141.57 ± 12.6 d-h	79.71 ± 0.76 ab	2.48 ± 0.27 c-g
1	0	106.97 ± 5.63 d-h	7.14 ± 1.07 e-h	134.57 ± 7.02 gh	78.29 ± 0.76 a-d	1.84 ± 0.47 h-j
10	0	100.44 ± 6.33 h	5.71 ± 0.76 h	132.00 ± 6.26 h	79.43 ± 1.27 a-c	2.17 ± 0.49 e-j
0.01	10	116.00 ± 5.00 b-e	8.43 ± 0.79 b-g	151.79 ± 16.47 d-h	76.29 ± 0.76 d-g	3.08 ± 0.39 bc
0.02	10	112.77 ± 6.48 b-g	9.00 ± 1.00 b-f	144.43 ± 14.84 d-h	76.43 ± 0.79 d-g	2.77 ± 0.36 b-e
0.1	10	109.77 ± 6.22 b-h	10.00 ± 0.58 a-d	148.29 ± 13.22 d-h	77.43 ± 0.98 a-e	2.37 ± 0.16 d-h
0.2	10	101.61 ± 2.49 gh	7.43 ± 0.53 d-h	136.14 ± 6.96 e-h	79.71 ± 1.38 ab	2.20 ± 0.28 d-j
1	10	111.37 ± 12.56 b-h	6.14 ± 1.07 gh	135.57 ± 11.05 f-h	77.71 ± 0.76 a-e	1.57 ± 0.24 j
10	10	116.6 ± 5.27 b-e	6.57 ± 1.27 f-h	145.93 ± 7.97 d-h	79.86 ± 1.46 a	1.65 ± 0.22 ij
0.01	30	118.24 ± 6.14 b-d	7.71 ± 1.11 d-h	158.21 ± 12.71 c-h	76.43 ± 2.57 d-g	2.25 ± 0.26 d-i
0.02	30	113.39 ± 3.69 b-g	7.43 ± 0.98 d-h	155.00 ± 3.06 d-h	76.71 ± 1.25 c-g	2.49 ± 0.19 c-g
0.1	30	113.03 ± 4.59 b-g	7.57 ± 1.13 d-h	154.64 ± 20.54 d-h	75.57 ± 2.15 d-g	2.05 ± 0.13 g-j
0.2	30	108.14 ± 3.39 c-h	8.57 ± 1.13 b-g	149.21 ± 7.68 d-h	76.86 ± 1.07 b-f	2.10 ± 0.18 f-j
1	30	108.60 ± 8.21 c-h	7.71 ± 1.11 d-h	156.00 ± 16.90 d-h	76.43 ± 0.79 d-g	2.03 ± 0.12 g-j
10	30	113.24 ± 2.82 b-g	9.43 ± 2.64 b-e	145.50 ± 19.70 d-h	75.57 ± 2.15 d-g	2.15 ± 0.48 e-j
0.01	60	119.20 ± 6.78 b-d	10.43 ± 0.79 a-c	185.86 ± 12.57 ab	76.57 ± 0.98 c-g	2.63 ± 0.33 b-g
0.02	60	114.91 ± 5.3 b-f	11.00 ± 0.82 ab	166.64 ± 19.04 b-d	76.29 ± 0.76 d-g	2.71 ± 0.40 b-f
0.1	60	116.57 ± 4.65 b-e	8.86 ± 1.07 b-f	159.93 ± 8.69 b-g	76.57 ± 0.98 c-g	2.53 ± 0.28 c-g
0.2	60	114.49 ± 6.69 b-f	8.57 ± 1.13 b-g	153.21 ± 12.78 d-h	75.29 ± 1.89 e-g	2.42 ± 0.31 d-h
1	60	118.77 ± 5.41 b-d	8.14 ± 2.19 c-h	150.29 ± 13.46 d-h	73.86 ± 2.67 g	2.37 ± 0.21 d-h
10	60	114.37 ± 5.98 b-f	8.86 ± 1.68 b-f	150.86 ± 10.64 d-h	74.43 ± 3.31 fg	2.65 ± 0.51 b-g
0.01	90	121.86 ± 5.24 ab	9.86 ± 2.19 a-d	183.86 ± 17.87 a-c	77.14 ± 1.07 a-f	3.26 ± 0.15 ab
0.02	90	116.14 ± 2.41 b-e	9.57 ± 0.53 a-e	161.43 ± 9.87 b-f	77.14 ± 1.07 a-f	2.26 ± 0.37 d-i
0.1	90	108.14 ± 5.93 c-h	8.86 ± 1.35 b-f	154.00 ± 5.92 d-h	76.57 ± 0.98 c-g	2.40 ± 0.41 d-h
0.2	90	118.14 ± 6.36 b-d	9.14 ± 0.90 b-f	162.29 ± 17.02 b-e	76.57 ± 0.98 c-g	2.45 ± 0.21 c-h
1	90	117.86 ± 5.61 b-d	8.29 ± 1.38 c-h	151.29 ± 13.96 d-h	76.86 ± 1.07 b-f	3.06 ± 0.23 bc
10	90	119.57 ± 5.13 bc	8.86 ± 1.21 b-f	148.07 ± 15.63 d-	77.00 ± 1.00 a-f	2.83 ± 0.32 b-d

^{1/}Average ± SD (n = 10) and different letters in the same column represent significant differences among treatments (Tukey's test, P < 0.05)

เมื่อศึกษาผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ณ อายุข้าวเมื่อถูกใส่เดือนฝอยเข้าทำลายต่อผลผลิต พบว่าน้ำหนักผลผลิตลดลง 30.73-77.79% จำนวนรวงลดลง 26.74-57.73% จำนวนเมล็ดที่ลดลง 32.21-78.74% และจำนวนเมล็ดที่เพิ่มขึ้น 64.56-149.31% (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวปกติที่ไม่ใส่ไส้เดือนฝอย โดย ความ

เสียหายที่เกิดขึ้นกับผลผลิตข้าวพันธุ์ กข33 พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยตั้งแต่ 0.01 ตัว/ดิน 1 ก. เมื่อเข้าทำลายต้นข้าวทุกระดับอายุ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลผลิตข้าวลดลงสูงสุดที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของ ไส้เดือนฝอย 10 ตัว/ดิน 1 ก. เมื่อเข้าทำลายต้นข้าว ที่อายุ 10 วันหลังปลูก เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของผลผลิตและระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม ณ อายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายตามแบบจำลองของ Seinhorst $Y = m + (1-m)z^{(P-T)}$ พบว่าค่าสัมพัทธ์ของผลผลิตขั้นต่ำ (m) ที่คาดการณ์ถึงผลผลิตต่ำสุด ณ อายุของข้าวที่ 0, 10, 30, 60 และ 90 วัน เท่ากับ 0.22, 0.22, 0.28, 0.38 และ 0.53 ตามลำดับและไม่พบขีดจำกัดความทนทาน (T) ภายในช่วงที่ไส้ตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม (Figure 2)

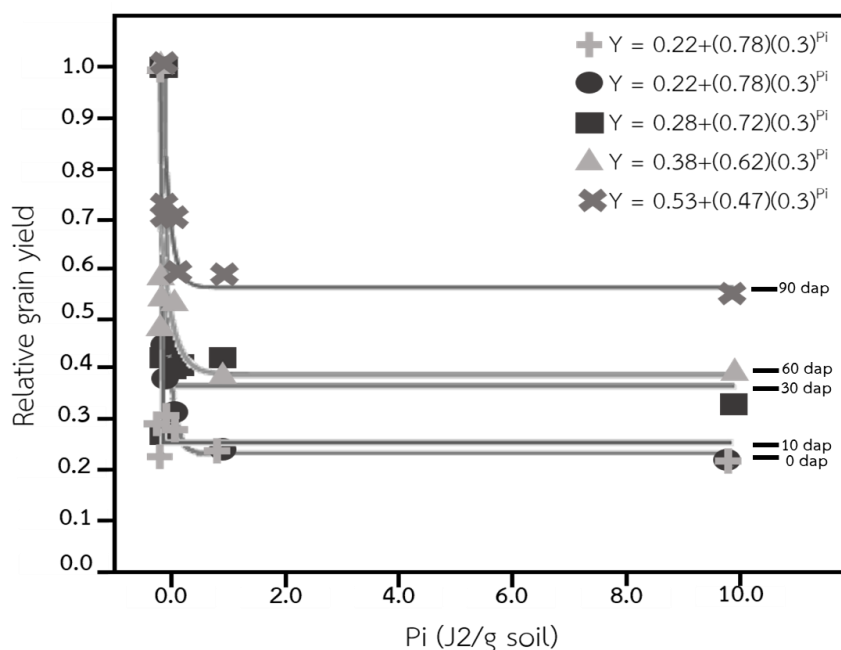


Figure 2 Relationship between initial population densities (Pi) of *M. graminicola* and the relative grain yield of RD33. Markings: plus, dot, fill square, triangle and cross are plants that were inoculated with the nematode at 0, 10, 30, 60 and 90 days after planting (dap), respectively.

Table 3 Effect of initial population density (Pi) of *Meloidogyne graminicola* and plant ages at time of inoculation (days after planting; dap) on on yield of RD33

Pi (J2/ g soil)	DAP	Yield/plant (g) ^{1/}	No. of panicles/plant ^{1/}	No. of filled grains/panicle ^{1/}	No. of unfilled grains/panicle ^{1/}	Panicle length s/plant (cm) ^{1/}
control	-	19.36 ± 2.11 a	10.14 ± 0.69 a	94.90 ± 7.10 a	36.52 ± 5.69 k	26.79 ± 0.94 ab
0.01	0	5.87 ± 1.44 e-g	7.00 ± 1.15 b-h	27.55 ± 6.77 e-g	71.62 ± 8.06 a-i	26.00 ± 2.09 ab
0.02	0	4.62 ± 0.73 g	7.71 ± 1.11 a-g	21.69 ± 3.44 g	73.52 ± 6.54 a-h	25.71 ± 0.58 ab
0.1	0	6.17 ± 1.39 e-g	8.57 ± 1.51 a-d	28.96 ± 6.52 e-g	79.33 ± 12.02 a-f	24.29 ± 1.25 a-c
0.2	0	5.56 ± 2.24 fg	6.43 ± 0.98 c-i	20.21 ± 4.09 g	82.14 ± 8.37 a-e	24.20 ± 1.68 a-c
1	0	4.93 ± 1.21 fg	7.00 ± 1.83 b-h	26.10 ± 10.49 fg	67.09 ± 7.53 c-j	25.90 ± 2.77 ab
10	0	4.31 ± 0.87 g	5.14 ± 0.90 g-i	23.14 ± 5.71 fg	62.14 ± 4.58 e-j	23.43 ± 1.78 bc
0.01	10	8.67 ± 0.89 c-g	7.14 ± 1.21 b-h	40.70 ± 4.18 c-g	78.86 ± 4.40 a-f	24.29 ± 2 a-c
0.02	10	7.29 ± 1.46 c-g	5.86 ± 0.69 e-i	34.23 ± 6.85 c-g	69.95 ± 10.90 b-i	25.84 ± 2.06 ab
0.1	10	7.46 ± 2.37 c-g	7.86 ± 1.07 a-f	35.02 ± 11.13 c-g	90.72 ± 15.30 a	23.57 ± 1.69 bc
0.2	10	6.00 ± 2.55 e-g	5.14 ± 1.77 g-i	28.14 ± 11.99 e-g	86.86 ± 10.18 a-c	24.03 ± 1.34 a-c
1	10	4.51 ± 1.39 g	4.29 ± 0.49 i	21.18 ± 6.54 g	64.24 ± 5.83 d-j	23.59 ± 2.3 bc
10	10	4.30 ± 1.51 g	4.57 ± 0.53 hi	20.17 ± 7.08 g	66.90 ± 7.45 c-j	23.90 ± 0.93 a-c
0.01	30	8.32 ± 1.81 c-g	7.00 ± 0.58 b-h	39.06 ± 8.51 c-g	90.48 ± 10.91 ab	24.83 ± 1.06 a-c
0.02	30	5.44 ± 2.30 fg	5.29 ± 1.50 f-i	25.53 ± 10.79 fg	91.05 ± 17.31 a	25.20 ± 1.27 a-c
0.1	30	8.02 ± 2.89 c-g	9.43 ± 2.51 ab	37.62 ± 13.56 c-g	90.05 ± 11.36 ab	24.64 ± 2.49 a-c
0.2	30	7.89 ± 2.90 c-g	5.86 ± 1.07 e-i	37.04 ± 13.59 c-g	84.05 ± 4.74 a-d	22.10 ± 0.44 c
1	30	8.36 ± 2.93 c-g	6.00 ± 1.73 d-i	39.23 ± 13.75 c-g	79.52 ± 10.02 a-f	23.87 ± 2.10 a-c
10	30	6.60 ± 1.64 d-g	7.14 ± 1.35 b-h	31.00 ± 7.71 d-g	60.43 ± 3.06 f-j	23.86 ± 1.86 a-c
0.01	60	11.28 ± 2.61 bc	7.57 ± 1.40 a-g	52.92 ± 12.22 bc	51.14 ± 13.24 i-k	27.01 ± 0.57 a
0.02	60	9.29 ± 2.96 b-f	7.14 ± 0.90 b-h	43.59 ± 13.9 b-f	70.62 ± 13.44 a-i	25.54 ± 1.53 ab
0.1	60	10.41 ± 1.63 b-e	8.86 ± 1.46 a-c	48.83 ± 7.65 b-e	75.33 ± 4.58 a-g	23.94 ± 2.66 a-c
0.2	60	10.19 ± 0.76 b-e	6.00 ± 1.00 d-i	47.82 ± 3.58 b-e	73.67 ± 10.46 a-h	23.57 ± 2.44 bc
1	60	7.26 ± 2.95 c-fg	8.29 ± 1.25 a-e	34.09 ± 13.87 c-g	74.00 ± 12.5 a-h	24.81 ± 1.24 a-c
10	60	7.47 ± 2.15 c-g	5.86 ± 0.69 e-i	35.06 ± 10.11 c-g	62.38 ± 3.56 e-j	23.86 ± 1.52 a-c
0.01	90	13.41 ± 2.20 b	8.29 ± 0.95 a-e	62.93 ± 10.34 b	48.43 ± 10.48 jk	24.07 ± 1.30 a-c
0.02	90	13.71 ± 2.55 b	9.57 ± 1.72 ab	64.33 ± 11.97 b	55.00 ± 9.84 g-k	24.13 ± 0.92 a-c
0.1	90	13.43 ± 4.79 b	8.57 ± 1.27 a-d	63.03 ± 22.50 b	64.43 ± 13.54 d-j	25.33 ± 0.23 a-c
0.2	90	11.26 ± 2.39 bc	7.43 ± 1.90 b-g	52.83 ± 11.22 bc	60.10 ± 3.40 f-j	24.60 ± 1.64 a-c
1	90	11.06 ± 1.87 b-d	7.57 ± 1.13 a-g	51.92 ± 8.80 b-d	72.72 ± 17.81 a-h	24.63 ± 0.51 a-c
10	90	10.18 ± 2.74 b-e	7.00 ± 0.82 b-h	47.76 ± 12.86 b-e	54.48 ± 9.50 h-k	25.59 ± 1.28 ab

^{1/}Average ± SD (n = 10) and different letters in the same column represent significant differences among treatments (Tukey's test, P < 0.05)

ผลการศึกษาความรุนแรงของการเกิดโรคพบว่าระดับการเกิดปม จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในรากเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมในดินเพิ่มขึ้น และเข้าทำลายต้นข้าวที่อายุน้อย และการเกิดโรคสูงสุดที่ระดับ จำนวนประชากรเริ่มต้น 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน นอกจากนี้พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของ ไส้เดือนฝอยรากปมที่เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าทำลายต้นข้าวที่อายุเท่ากันทำให้อัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมลดลงขณะที่จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม/ดิน 1 ก. ไม่แตกต่างกัน (Table 4)

Table 4 Effect of initial population density (Pi) of *Meloidogyne graminicola* and plant ages at time of inoculation (days after planting; dap) on disease severity of RD33

Pi (J2/ g soil)	dap	Root gallings index ^{1/}	No. of eggs/g root ^{1/}	No. of J2/g root ^{1/}	No. of J2/g soil ^{1/}	Reproductive factor ^{1/}
0.01	0	4.57 ± 0.53 ab	22952.38 ± 3267.00 b-f	11000.00 ± 4038.00 c-e	2.50 ± 0.68	3395.49×10 ³ ± 643.85 b
0.02	0	4.57 ± 0.53 ab	19500.00 ± 5318.55 d-g	12047.60 ± 4067.40 b-d	2.18 ± 0.83	1577.49×10 ³ ± 389.84 d
0.1	0	4.43 ± 0.53 a-c	20857.14 ± 4834.70 c-f	12357.10 ± 3966.80 b-d	2.58 ± 0.84	332.17×10 ³ ± 81.83 f-h
0.2	0	4.86 ± 0.38 a	25285.71 ± 4054.85 a-d	12190.50 ± 3006.80 b-d	3.01 ± 0.47	187.40×10 ³ ± 21.07 f-h
1	0	5.00 ± 0.00 a	26476.19 ± 4344.46 a-c	11714.30 ± 1609.30 b-d	3.13 ± 0.44	38.19×10 ³ ± 4.81 f-h
10	0	5.00 ± 0.00 a	28595.24 ± 4739.37 ab	10952.40 ± 1985.40 c-e	2.99 ± 0.50	3.95×10 ³ ± 0.33 h
0.01	10	4.29 ± 0.76 a-c	29738.10 ± 3558.84 a	15571.40 ± 1742.30 ab	2.22 ± 0.50	4531.18×10 ³ ± 355.45 a
0.02	10	4.71 ± 0.49 ab	20404.76 ± 4207.42 c-f	14333.30 ± 3153.50 a-c	2.01 ± 0.43	1737.01×10 ³ ± 207.76 d
0.1	10	4.86 ± 0.38 a	18761.91 ± 2058.98 e-g	17500.00 ± 1726.70 a	2.21 ± 0.47	362.64×10 ³ ± 32.81 fg
0.2	10	4.86 ± 0.38 a	25809.52 ± 3731.04 a-d	10119.00 ± 3167.70 c-f	2.24 ± 0.27	179.66×10 ³ ± 31.41 f-h
1	10	5.00 ± 0.00 a	20571.43 ± 3220.10 c-f	7166.70 ± 3104.70 e-h	2.56 ± 0.33	27.74×10 ³ ± 3.45 gh
10	10	5.00 ± 0.00 a	26714.29 ± 3915.44 a-c	10738.10 ± 3027.40 c-e	2.39 ± 0.62	3.74×10 ³ ± 0.31 h
0.01	30	3.71 ± 0.76 b-e	22500.00 ± 2654.49 b-f	5952.40 ± 1413.30 f-i	2.85 ± 0.46	2845.53×10 ³ ± 339.64 c
0.02	30	3.43 ± 0.79 c-e	18285.71 ± 1978.39 fg	4857.10 ± 969.10 g-j	2.69 ± 0.32	1157.28×10 ³ ± 116.81 e
0.1	30	3.00 ± 0.58 d-f	23904.76 ± 4264.25 a-f	4333.30 ± 1496.90 h-k	2.38 ± 0.27	282.40×10 ³ ± 43.75 f-h
0.2	30	4.00 ± 0.82 a-d	23047.62 ± 3412.55 b-f	10809.50 ± 1834.40 c-e	3.26 ± 0.59	169.30×10 ³ ± 23.47 f-h
1	30	4.29 ± 0.49 a-c	25119.05 ± 1899.60 a-e	10119.00 ± 2231.30 c-f	2.91 ± 0.46	35.24×10 ³ ± 3.62 f-h
10	30	4.57 ± 0.53 ab	23904.76 ± 6519.10 a-f	8738.10 ± 2795.30 d-g	3.11 ± 0.92	3.26×10 ³ ± 0.7 h
0.01	60	1.71 ± 0.49 h-j	2238.10 ± 774.94 j	1571.40 ± 629.90 jk	1.39 ± 0.34	381.09×10 ³ ± 110.32 f
0.02	60	1.86 ± 0.69 g-i	2285.71 ± 643.45 j	1381.00 ± 487.90 jk	1.59 ± 0.46	183.41×10 ³ ± 49.08 fgh
0.1	60	1.71 ± 0.49 h-j	3666.67 ± 763.76 j	1761.90 ± 615.10 i-k	1.65 ± 0.69	54.30×10 ³ ± 9.22 fgh
0.2	60	2.29 ± 0.95 f-h	13452.38 ± 2362.35 gh	2619.00 ± 826.20 i-k	2.18 ± 0.62	80.37×10 ³ ± 9.09 fgh
1	60	2.86 ± 0.69 e-g	10761.90 ± 3933.30 hi	2523.80 ± 1123.9 i-k	2.21 ± 0.75	13.29×10 ³ ± 4.37 gh
10	60	3.14 ± 0.69 d-f	4500.00 ± 1194.12 ij	3476.20 ± 830.20 h-k	1.91 ± 0.64	0.80×10 ³ ± 0.19 h
0.01	90	0.71 ± 0.49 j	299.91 ± 267.94 j	285.70 ± 208.90 k	1.77 ± 0.51	58.74×10 ³ ± 33.87 f-h
0.02	90	0.86 ± 0.38 ij	220.71 ± 145.46 j	266.00 ± 261.70 k	2.65 ± 0.42	24.47×10 ³ ± 17.56 gh
0.1	90	0.86 ± 0.38 ij	153.33 ± 96.30 j	181.00 ± 24.40 k	2.08 ± 0.68	3.36×10 ³ ± 0.86 h
0.2	90	1.00 ± 0.00 ij	245.24 ± 179.17 j	323.80 ± 135.40 k	2.48 ± 0.63	2.86×10 ³ ± 1.13 h
1	90	1.14 ± 0.38 ij	1142.86 ± 390.02 j	666.70 ± 372.70 jk	2.05 ± 0.62	1.81×10 ³ ± 0.65 h
10	90	1.29 ± 0.49 h-j	714.29 ± 356.35 j	571.40 ± 317.10 jk	2.53 ± 0.60	0.13 ×10 ³ ± 0.05 h

^{1/}Average ± SD (n = 10) and different letters in the same column represent significant differences among treatments (Tukey's test, P < 0.05)

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ณ อายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายต่อความเสียหายโดยรวมทั้งหมดของต้นข้าวพันธุ์ กข33 ด้วย non-metric multidimensional scaling (NMDS) พบว่าความเสียหายโดยรวมทั้งหมดของต้นข้าวพันธุ์ กข33 สูงสุดเมื่อต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน ถูกไส้เดือนฝอยรากปมทุกระดับจำนวนประชากรจำนวนเริ่มต้นเข้าทำลาย (Figure 3) จากการศึกษาผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ณ อายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย แสดงให้เห็นว่าทุกระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมเมื่อเข้าทำลายต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน จะเกิดการสูญเสียผลผลิต การเจริญเติบโตและเพิ่มความรุนแรงของการเกิดโรคสูงกว่าต้นข้าวที่มีอายุมากกว่า 30 วันขึ้นไป คาดว่าต้นข้าวในระยะต้นกล้าซึ่งอายุน้อยมีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลาย เนื่องจากการตอบสนองของระบบกลไกความต้านทานลำข้าวและสรีรวิทยาของระบบรากเหมาะสมต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย ส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตมากกว่าต้นข้าวในระยะแตกกอและระยะแทงรวงที่มีอายุมากกว่าเมื่อถูกไส้เดือนฝอยรากปมเข้าทำลาย (Shrestha et al., 2007) ซึ่งการศึกษานี้พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.01 - 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน จะสูญเสียผลผลิตมากกว่าต้นข้าวอายุ 30 วันขึ้นไป อย่างไรก็ตามแม้ว่าตามหลักความสัมพันธ์ของระดับอายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย ต้นข้าวอายุ 0 วัน จะมีความอ่อนแอและได้รับความเสียหายมากกว่าต้นข้าวอายุ 10 วัน แต่ในการศึกษานี้พบว่าจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอย 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายต้นข้าวที่อายุ 10 วัน ทำให้น้ำหนักผลผลิตลดลงสูงสุด 77.79% เป็นไปได้ว่ารากของต้นข้าวอายุ 0 วัน ยังไม่มีการงอกและการพัฒนาของระบบรากส่งผลให้ไส้เดือนฝอยไม่สามารถเข้าทำลายได้ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าว ณ ที่อายุ 10 วัน ที่มีการงอกและการพัฒนาของระบบรากและเอื้อต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม เนื่องจากรากของพืชสามารถปลดปล่อย root exudate ออกจากรากพืชเพื่อดึงดูดไส้เดือนฝอยเข้าหาราก (Perry, 2005) ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตมากกว่าต้นข้าวอายุ 0 วัน ซึ่งผลการศึกษาของ Poudyal et al. (2005) พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* 0.1-10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายข้าว ณ อายุที่ 10 วัน ส่งผลให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ Masuli ลดลง 31-97% ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ที่น้ำหนักของผลผลิตลดลง 30.73-77.79% เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามแบบจำลองของ Seinhorst ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมเพิ่มขึ้นแปรผันตรงต่อการลดลงของผลผลิต ณ อายุของข้าวเท่ากัน ซึ่งพบว่าจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอย 10 ตัว/ดิน 1 ก. ทำให้ผลผลิตลดลงมากกว่าจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยระดับอื่น ๆ Prasad et al. (1990) พบว่าหากความหนาแน่นของตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ในดินเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตรวมถึงการเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ใส่ไส้เดือนฝอยรากปม นอกจากนี้ความหนาแน่นของตัวอ่อนระยะที่ 2 ตั้งแต่ 1-2 ตัว/ดิน 1 ก. ยังส่งผลให้ข้าวในระยะต้นกล้ามีอัตราการตายเพิ่มขึ้น Plowright and Bridge (1990) พบว่าเมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นสูงขึ้นส่งผลให้ความสูงกอ น้ำหนักกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดดี/รวง และจำนวนเมล็ดทั้งหมด/กอของต้นข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นสูงส่งผลต่อการลดลงของส่วนผลผลิตอื่น ๆ และการเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนรวง จำนวนเมล็ดดี ความสูง จำนวนต้น น้ำหนักสด รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์และเพิ่มจำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 100% ซึ่งต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน เมื่อถูกไส้เดือนฝอยรากปมเข้าทำลายจะได้รับผลกระทบมากกว่าต้นข้าวอายุ 30 วันขึ้นไป เป็นไปได้ว่าต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน เมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายบริเวณรากซึ่งผนังเซลล์มีความอ่อนแอกว่ารากข้าวอายุมากกว่า 30 วัน ส่งผลให้การก่อโรคและความรุนแรงของโรค ได้แก่ ระดับของการเกิดปม การสร้างไข่และการฟักของไข่ภายในรากเพิ่มขึ้นสูง ปัจจัยเหล่านี้จึงส่งผลเสียต่อการพัฒนาของระบบรากและสรีรวิทยาของต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวเกิดอาการใบเหลืองเนื่องจากการลำเลียงธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงโดยมีคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลตัวรับพลังงานจากแสงผิดปกติ ลำต้นแคระแกร็น การแตกกอน้อยกว่าปกติ จนนำไปสู่การลดลงของจำนวนรวงและเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ทำให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตลดลง (Freire et al., 2013; Kyndt et al., 2014) นอกจากนี้อัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยในรากลดลงเมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยสูงขึ้น เป็นเพราะไส้เดือนฝอยเกิดการแข่งขันหาอาหารภายในรากที่มีพื้นที่อย่างจำกัด ส่งผลให้สารอาหารไม่เพียงพอสำหรับการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยตัวเต็มวัยเพศเมียเพื่อสร้างไข่ (Phillis, 1991) และในงานศึกษานี้จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปมในดินไม่แตกต่างกัน เนื่องจากรากข้าวในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยามีความหนาแน่นในกระถางสูงจึงไม่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตภายในดินสอดคล้องกับ Prot et al. (1994) พบว่าจำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอย

ในดินและรากจะฟักออกมาจากไข่ในข้าวระยะแตกกอและระยะทรงรวงสูงกว่าข้าวในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา สำหรับการศึกษาผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ณ อายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายยังต้องมีทดสอบความเสียหายในข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ เพิ่มเติมต่อไป เนื่องจากพันธุ์ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความต้านทานและความทนทานต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้ในการคาดการณ์ความเสียหายของผลผลิตข้าวที่จะเกิดขึ้นรวมถึงการจัดการพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อลดผลกระทบจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola*

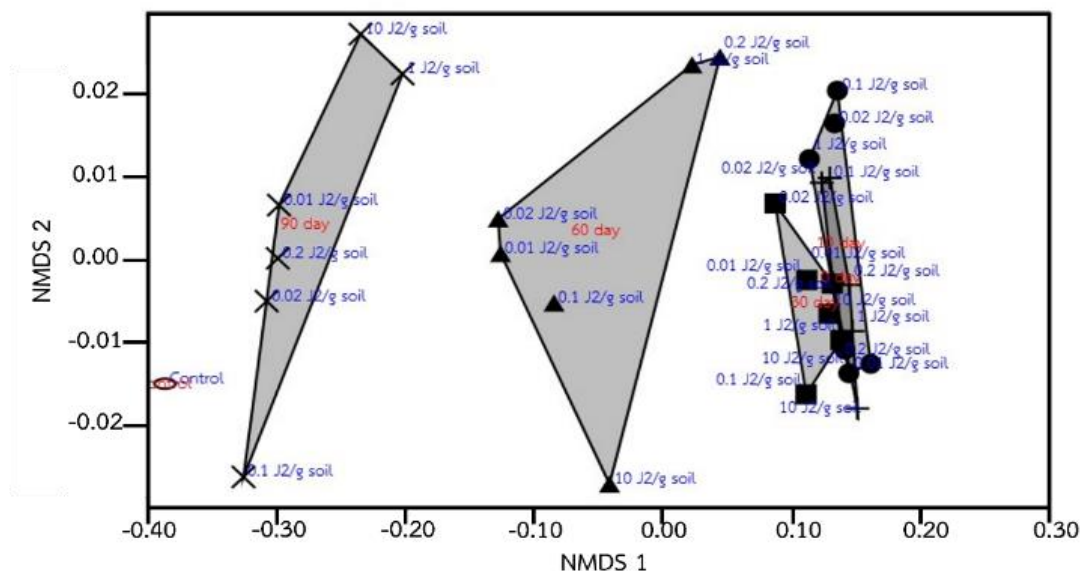


Figure 3 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) using Bray - Curtis dissimilarities for 15 parameter of initial population densities (Pi) and plant age of RD33. Markings: plus, dot, fill square, triangle, cross and oval are plants that were inoculated with the nematode at 0, 10, 30, 60, 90 days after planting and non-inoculated plants (control), respectively.

สรุป

ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* และอายุข้าวเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเสียหายของปริมาณและคุณภาพของผลผลิต โดยระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ จำนวนต้น น้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักของผลผลิต จำนวนรวง จำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดลีบและอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมและมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับของการเกิดปมและจำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดินและอายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ จำนวนต้น น้ำหนักสด น้ำหนักของผลผลิต และจำนวนรวงและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนวันที่ข้าวทรงรวง 100% ระดับของการเกิดปม จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดินและอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากและผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* และอายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย พบว่าไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข33 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายข้าวพันธุ์ กข33 ในช่วงอายุน้อยกว่า 10 วัน ทำให้ส่วนการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงสูงสุด โดยน้ำหนักผลผลิตลดลงสูงสุด 77.79% รวมถึงทำให้เกิดความรุนแรงของโรคสูงสุดเช่นกันและที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมอย่างน้อย 0.01 ตัว/ดิน 1 ก. ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงต่ำสุดที่ 30.73%

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาในโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) เลขที่ SCA-CO-2561-7028TH

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร (ข้าว). แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th>. ค้นเมื่อ 4 สิงหาคม 2565.
- Adam, M.A., M.S. Phillips, and V.C. Blok. 2005. Identification of *Meloidogyne* spp. from North East Libya and comparison of their inter and intra-specific genetic variation using RAPDs. *Nematology*. 7(4): 599-609.
- Baermann, G. 1917. A simple method for the detection of *Ankylostomum* (nematode) larvae in soil tests. *Geneesk. Tijdschr. Ned. Indie*. 57: 131-137.
- Bridge, J., R.A. Plowright, and D. Peng. 2005. Nematode parasites of rice. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*, (Ed. 2), 87-130.
- Cabasan, M.T.N., A. Kumar, and D. De Waele. 2018. Effects of initial nematode population density and water regime on resistance and tolerance to the rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* in African and Asian rice genotypes. *International Journal of Pest Management*. 64(3): 252-261.
- Fanelli, E., A. Cotroneo, L. Carisio, A. Troccoli, S. Grosso, C. Boero, and F. De Luca. 2017. Detection and molecular characterization of the rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* in Italy. *European Journal of Plant Pathology*. 149(2): 467-476.
- Freire, J.D.O., L.F. Cavalcante, R.D. Nascimento, and A.M. Rebequi. 2013. Chlorophyll content of leaf and mineral composition of passion fruits irrigated with saline water and biofertilizers. *Revista de Ciências Agrárias*. 36: 57-70.
- Hammer, O., D.A. Harper, and P.D. Ryan. 2001. Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1): 9.
- Htay, C., H. Peng, W. Huang, L. Kong, W. He, R. Holgado, and D. Peng. 2016. The development and molecular characterization of a rapid detection method for rice root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*). *European Journal of Plant Pathology*. 146(2): 281-291.
- Hunt, D.J., and Z.A. Handoo. 2009. Taxonomy, identification and principal species, pp. 55-97. In R.N. Perry, M. Moens, J.L. Starr, eds. *Root-knot Nematodes*. CAB International, Wallingford, UK.
- Hussey, R.S. and G.J.W. Janssen. 2002. Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species, pp. 43-70. In J.L. Starr, R. Cook, Bridge J, eds. *Plant resistance to parasitic nematodes*. CAB International, Wallingford, UK.
- Kabir, M.F., J.K. Lee, and D.W. Lee. 2017. Effect of Plant Age and Nematode Inoculation Density on Final Population of *Heterodera schachtii* on Chinese cabbage. *Korean journal of applied entomology*. 56(4): 413-420.
- Kayani, M.Z., T. Mukhtar, and M.A. Hussain. 2017. Effects of southern root knot nematode population densities and plant age on growth and yield parameters of cucumber. *Crop Protection*. 92: 207-212.
- Koike, T., M. Kitao, Y. Maruyama, S. Mori, and T.T. Lei. 2001. Leaf morphology and photosynthetic adjustments among deciduous broad-leaved trees within the vertical canopy profile. *Tree Physiology*. 21(12-13): 951-958.

- Kyndt, T., D. Fernandez, and G. Gheysen. 2014. Plant-parasitic nematode infections in rice: molecular and cellular insights. *Annual Review of Phytopathology*. 52: 135-153.
- Lilley, C.J., T. Kyndt, and G. Gheysen. 2011. Nematode resistant GM crops in industrialised and developing countries, pp. 527-541. In *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Springer, Dordrecht.
- López-Gómez, M., E. Flor-Peregrín, M. Talavera, F.J. Sorribas and S. Verdejo-Lucas. 2015. Population dynamics of *Meloidogyne javanica* and its relationship with the leaf chlorophyll content in zucchini. *Crop Protection* 70: 8-14.
- Perry, R.N. 2005. An evaluation of types of attractants enabling plant-parasitic nematodes to locate plant roots. *Russian Journal of Nematology*. 13(2): 83-88.
- Phillis, J.D. 1991. Assessment of potato yield loss caused by potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Nematologia Mediterranea*. 19: 345-347.
- Plowright, R., and J. Bridge. 1990. Effect of *Meloidogyne graminicola* (Nematoda) on the establishment, growth and yield of rice cv. IR36. *Nematologica*. 36(1-4): 81-89.
- Pokharel, R.R., J.M. Duxbury, and G. Abawai. 2012. Evaluation of protocol for assessing the reaction of rice and wheat germplasm to infection by *Meloidogyne graminicola*. *Journal of nematology*. 44(3): 274-283.
- Poudyal, D.S., R.R. Pokharel, S.M. Shrestha, and G.B. Khatri-ChetriA. 2005. Effect of inoculum density of rice root knot nematode on growth of rice cv. Masuli and nematode development. *Australasian Plant Pathology*. 34(2): 181-185.
- Prasad, J.S., M.S. Panwar, and Y.S. Rao. 1990. Influence of root-knot nematode infection on rice under simulated rainfed lowland conditions. *Nematologia Mediterranea*. 18(2): 195-197.
- Prot, J.C., L.M. Villammeva, and E.B. Gergon. 1994. The potential of increased nitrogen supply to mitigate growth and yield reductions of upland rice cultivars UPL Ril-5 caused by *Meloidogyne graminicola*. *Fundamental and Applied Nematology*. 17: 445-454.
- R Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. <http://www.R-project.org>.
- Randig, O., M. Bongiovanni, R.M. Carneiro, and P. Castagnone-Sereno. 2002. Genetic diversity of root-knot nematodes from Brazil and development of SCAR markers specific for the coffee-damaging species. *Genome*. 45(5): 862-870.
- Seck, P. A., A. Diagne, S. Mohanty, and M.C. Wopereis. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. *Food security*. 4(1): 7-24.
- Seinhorst, J.W. 1965. The relationship between nematode density and damage to plants. *Nematologica*. 11:137-154.
- Shrestha, R., F. Uzzo, M.J. Wilson, and A.H. Price. 2007. Physiological and genetic mapping study of tolerance to root-knot nematode in rice. *New Phytologist*. 176(3): 665-672.

- Siengchin, K., P. Ruanpanun, and P. Somta. 2020. Damage potential of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* Chitwood) population density on plant growth parameters related to plant age of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences. 26(1): 111-122.
- Sungthongwises, K., and T. Tanpan. 2018. Effect of vermicompost-chemical mixed fertiliser on the growth and macronutrient use efficiency of upland rice cv. Sakonnakhon. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 40:1039-1042.
- Supapoj, N., C. Boonyawit, B. Jongdee, O. Voravat, V. Chamarek, J. Phengrat, and S. Sripodok. 2009. RD33 (Hawm Ubon 80) rice variety. Rice Research Journal. 3(2): 20-38.
- Zijlstra, C. 2000. Identification of *Meloidogyne chitwoodi*, *M. fallax* and *M. hapla* based on SCAR-PCR: a powerful way of enabling reliable identification of populations or individuals that share common traits. European Journal of Plant Pathology. 106(3): 283-290.