วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

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 ภิราญคำ[1], กิตติพงษ์ ศรีม่วง[2] และ พรทิพย์ เรือนปานันท์[1]*

Patawee Pirankham[1], Kittipong Srimuang[2] 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 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *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 (Pi = 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 Pi and plant age of nematode infection were correlated to growth, yield and disease severity of RD33. The Pi 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;

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) อย่างไรก็ดีปัญหาหลักของการเพาะปลูกข้าวคือการเข้าทำลายจากเชื้อสาเหตุโรคพืชและไส้เดือนฝอยรากปมข้าว (rice root-knot nematode) *Meloidogyne graminicola* เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่สร้างความเสียหายต่อต้นข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม (Bridge et al., 2005) โดยการเข้าทำลายรากทำให้รากเกิดอาการบวมโป่งบริเวณปลายรากลักษณะคล้ายตะขอ (hook-like) ส่งผลให้รากข้าวสูญเสียความสามารถในการดูดน้ำและอาหาร ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่และส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงในที่สุด ส่วนผลกระทบทางอ้อม ไส้เดือนฝอยรากปมเป็นตัวเปิดทางให้เชื้อก่อโรคพืชชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะเชื้อที่อยู่ในดิน (soil born pathogen) เช่นเชื้อรา *Fusarium, Pythium, Rhizoctonia* และ *Sclerotium* เข้าทำลายซ้ำเพิ่มความเสียหายแก่ข้าวมากขึ้น ไส้เดือนฝอยรากปมชนิดดังกล่าวนี้ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงมากถึง 87% (Lilley et al., 2011)

ในประเทศไทยพบการแพร่ระบาดของไส้เดือนฝอย *M. graminicola* ในพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั่วประเทศโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ยังไม่มีการประเมินความเสียหายที่แน่ชัด อีกทั้งแนวโน้มความเสียหายจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยชนิดดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมชนิดนี้ยังไม่ประสบความสำเร็จและข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอ โดยเฉพาะข้อมูลด้านการประเมินความเสียหายของการเจริญเติบโต ผลผลิตและความรุนแรงของโรครากปมของระดับจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยเริ่มต้นและอายุของข้าวในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งยังไม่มีการรายงานในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการประเมินความเสียหายจากปัจจัยดังกล่าวต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในพืชหลายชนิด ได้แก่ ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 (Siengchin et al., 2020), แตงกวา (Kayani et al., 2017) และ ซูกินี (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 จากนั้นนำไปฟักในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาณ 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. เพื่อทำไอโซเลต 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) จากนั้นเพิ่มจำนวนไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* โดยใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ในรากต้นกล้าข้าวอายุ 5 วัน ในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่บรรจุดินร่วนผสมทรายปลอดเชื้ออัตราส่วน 1: 1 ปริมาณ 5 กม. ดูแลในสภาพโรงเรือน เป็นเวลา 3 เดือน สำหรับใช้ในการวิจัย

การทดสอบผลของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* และอายุของข้าวพันธุ์ กข33 เมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย

นำเมล็ดข้าวพันธุ์ กข33 แช่ด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 1 วัน หลังจากนั้นเทน้ำออกและบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน จึงย้ายไปปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ที่บรรจุดินร่วนผสมทรายในอัตรา 1:1 ปริมาณ 5 กม. จากนั้นใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม *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 ของไส้เดือนฝอยรากปม 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 โดยใช้สารละลายไดเม็ทธิลซัลโฟไซด์ (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 ระดับ5 = เกิดปม มากกว่า 75% ตรวจนับจำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ต่อราก 1 กรัม จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปมต่อดิน 1 ก. โดยแยกไส้เดือนฝอยจากดิน 25 ก. ตามวิธีการ Baermann funnel (Baermann, 1917) และวัดอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม (Reproductive factor; Rf) จากผลรวมของจำนวนไข่ต่อราก 1 ก. ตัวอ่อนระยะที่ 2 /ราก 1 ก. และตัวอ่อนระยะที่ 2 /ดิน 1 ก. (Pf)/จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 เริ่มต้น (Pi) (Pokharel et al., 2012)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมและอายุข้าว ณ วันที่ใส่ไส้เดือนฝอยต่อพารามิเตอร์ต่าง 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) จำนวนไข่ในราก 13) จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก 14) จำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ในดิน 15) อัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม 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 อายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายและน้ำหนักผลผลิต/กอ ตามแบบจำลอง

Seinhorst (1965) โดย $Y = m + (1-m)z^{(P-T)}$ โดยที่ P คือ จำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม (จำนวนไส้เดือนฝอยต่อดิน 1 กรัม), Y คือผลผลิตข้าวสัมพัทธ์ที่ P, T คือขีดจำกัดของความทนทานของข้าวต่อไส้เดือนฝอยรากปมชนิด *M. graminicola*, m คือผลผลิตขั้นต่ำเมื่อ Pi 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 ในดินและอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม **(Table 1)** สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Siengchin et al. (2020) ที่ได้รายงานว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* และอายุของต้นถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 ณ ขณะที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีความสัมพันธ์กับการลดลงของผลผลิต การเจริญเติบโต น้ำหนักของไรโซเบียมและความรุนแรงของการก่อโรค เช่นเดียวกับ Plowright and Bridge (1990) ได้รายงานว่าระดับจำนวนประชากรของไส้เดือนฝอยเริ่มต้นในดินและอายุของพืช ณ ขณะที่ไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของการเกิดโรคซึ่งประกอบด้วยระดับของการเกิดปมและอัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอย นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาเช่นเดียวกันในแตงกวาสายพันธุ์ Royal Sluis (Kayani et al., 2017) ขณะที่ปัจจัยของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมไม่มีผลต่อความยาวรวง ความสูงต้น วันที่ข้าวแทงรวง 100% จำนวนไข่และตัวอ่อนระยะที่ 2 ในราก และอายุของข้าวที่ถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดลีบ ความยาวรวง ความสูงต้นและปริมาณคลอโรฟิลล์ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Poudyal et al. (2005) พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความสูงและจำนวนไส้เดือนฝอยในรากข้าวพันธุ์ Masuli นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับความทนทานหรือต้านทานของพันธุ์ข้าวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ โดย Cabasan et al. (2018) รายงานว่าที่ระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยแตกต่างกันไม่มีผลต่อผลผลิต การเจริญเติบโตและความรุนแรงของโรคในข้าวสายพันธุ์ TOG5674, TOG5675 และ CG14 ซึ่งมีความต้านทานและทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ในขณะที่ระดับอายุพืชแตกต่างกันไม่มีผลต่อส่วนการเจริญเติบโตสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kabir et al. (2017) พบว่าระดับของอายุพืชเมื่อถูกไส้เดือนฝอย *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 galling 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 $P < 0.05$.

สำหรับผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมและอายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้า ทำลายต่อการเจริญเติบโตพบว่า 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)**

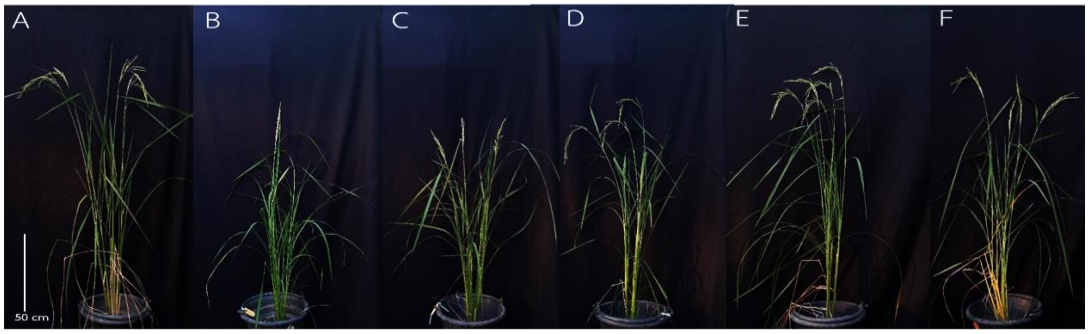

Figure 1 Effect of initial population of 10 J2/g soil inoculated at different ages of days after planting (dap) of plant height at 120 day; A: control, B: 0 dap, C: 10 dap, D: 30 dap, E: 60 dap และ F: 90 dap.

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	3.0 8 ± 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 ± 6.69b-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 ± 5.41b-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 อายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายต่อผลผลิต พบว่าน้ำหนักผลผลิตลดลง 30.73-77.79% จำนวนรวงลดลง 26.74-57.73% จำนวนเมล็ดดีลดลง 32.21-78.74% และจำนวนเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น 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) ภายในช่วงที่ใส่ตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม **(Figure 2)**

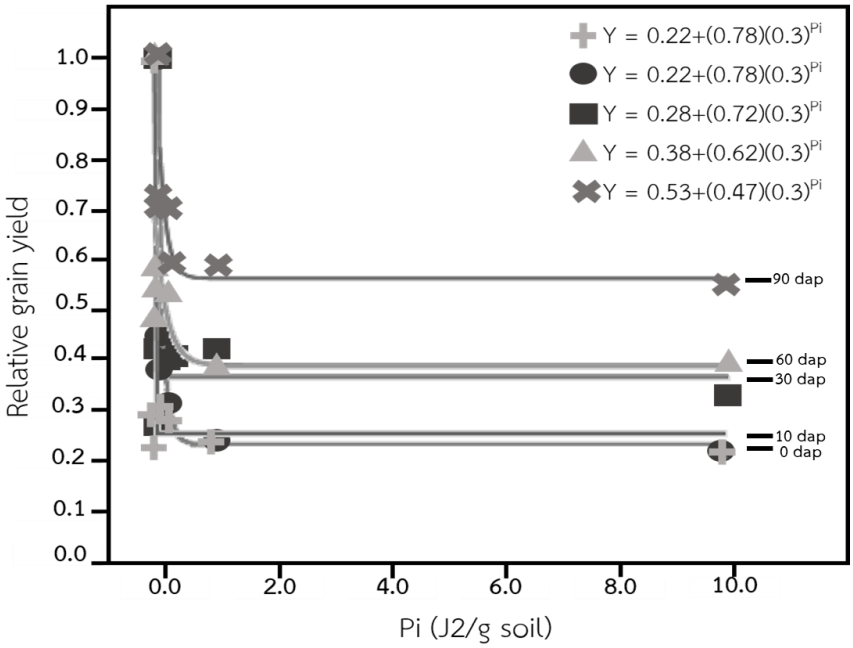

Figure 2 Relationship between initial population densities (Pi) of *M. graminicola* and the relative grain yield of RD33. Markings: plus, dot, fill square, triangle and cross are plants that were inoculated with the nematode at 0, 10, 30, 60 and 90 days after planting (dap), respectively.

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 ไส้เดือนฝอยรากปมที่เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าทำลายต้นข้าวที่อายุเท่ากันทำให้อัตราการขยายพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมลดลงขณะที่จำนวนตัว อ่อนระยะที่ 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 galling 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 วันจะเกิดการสูญเสียผลผลิต การเจริญเติบโตและเพิ่มความรุนแรงของการเกิดโรคสูงกว่าต้นข้าวที่มีอายุมากกว่า 30 วันขึ้นไป คาดว่าต้นข้าวในระยะต้นกล้าซึ่งอายุน้อยมีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลาย เนื่องจากการตอบสนองของระบบกลไกความต้านทานล่าช้าและสรีรวิทยาของระบบรากเหมาะสมต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย ส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตมากกว่าต้นข้าวในระยะแตกกอและระยะแทงรวงที่มีอายุมากกว่าเมื่อถูกไส้เดือนฝอยรากปมเข้าทำลาย (Shrestha et al., 2007) ซึ่งการศึกษานี้พบว่าระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.01 - 10 ตัว/ดิน 1 ก. เข้าทำลายต้นข้าวอายุน้อยกว่า 10 วัน จะสูญเสียผลผลิตมากกว่าต้นข้าวอายุ 30 วันขึ้นไป อย่างไรก็ดีแม้ว่าตามหลักความสัมพันธ์ของระดับอายุข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย 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 ออกมาจากรากพืชเพื่อดึงดูดไส้เดือนฝอยเข้าหาราก (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 ชี้ให้เห็นว่าเมื่อระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปมเพิ่มขึ้นแปรผันตรงต่อการลดลงของผลผลิต 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

ในดินและรากจะฟักออกมาจากไข่ในข้าวระยะแตกกอและระยะแทงรวงสูงกว่าข้าวในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา สำหรับการศึกษาผลกระทบของระดับจำนวนประชากรเริ่มต้นของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* ณ อายุของข้าวเมื่อถูกไส้เดือนฝอยเข้าทำลายยังต้องมีทดสอบความเสียหายในข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ เพิ่มเติมต่อไป เนื่องจากพันธุ์ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความต้านทานและความทนทานต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola* แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการคาดการณ์ความเสียหายของผลผลิตข้าวที่จะเกิดขึ้นรวมถึงการจัดการพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อลดผลกระทบจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *M. graminicola*

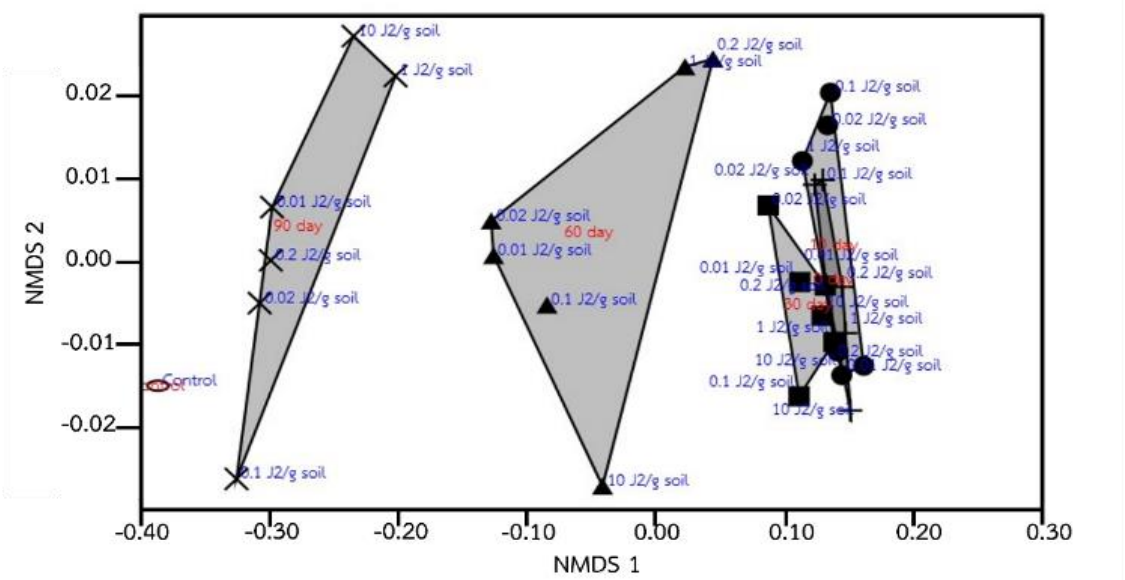

Figure 3 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) using Bray - Curtis dissimilarities for 15 parameter of initial population densities (Pi) and plant age of RD33. Markings: plus, dot, fill square, triangle, cross and oval are plants that were inoculated with the nematode at 0, 10, 30, 60, 90 days after 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 และจำนวนรวงและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนวันที่ข้าวแทงรวง 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. Geneeskd 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 RiI-5 caused by *Meloidogyne graminicola*. Fundamental and Applied Nematololgy. 17: 445-454.

R Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. http s. www. R-proje ct. 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, JW. 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. Chamarerk, 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.