การประยุกต์ใช้เชื้อราปฏิปักษ์เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลัง[1/]

Application of Antagonistic Fungi to Control Root-Knot Nematodes in Cassava[1/]

ผู้ทำสัมมนา **นางสาวพนิดา สายโสม[2/]**

อาจารย์ที่ปรึกษา **ดร.ภัทร์ลดา สุธรรมวงศ์[3/]**

บทคัดย่อ

โรครากปม (Root-knot Disease) เกิดจากไส้เดือนฝอย *Meloidogyne* spp. ที่มีความสำคัญก่อให้เกิดความเสียหาย และมีการระบาดของโรคอย่างกว้างขวางในประเทศไทย การเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมสามารถเข้าทำลายรากพืชและดูดสารอาหารทำให้เป็นปุ่มปม และสรีรวิทยาพืชผิดปกติทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังเสียหายได้ตั้งแต่ 20 - 100 เปอร์เซ็นต์ การระบาดของไส้เดือนฝอยรากปมในระดับความรุนแรงทำความเสียหายให้กับมันสำปะหลังได้ถึงร้อยละ 87 – 98 ของพื้นที่การระบาดจึงต้องมีการควบคุมโรคด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งการประยุกต์ใช้เชื้อราปฏิปักษ์เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง พบว่าการใช้ราปฏิปักษ์สามารถควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลังได้ผลดีเทียบเคียงกับสารเคมี carbosulfan นอกจากนี้การใช้เชื้อราปฏิปักษ์มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตพืชมีค่าหรือมากว่าการไม่ใช้ราปฏิปักษ์ ซึ่งราปฏิปักษ์ *T.harzianum, B.bassiana, M.anisopliae* รวมทั้ง *Purpureocillium lilacinum* เป็นเชื้อราที่มีคุณสมบัติเป็นเอนโดไฟต์ ซึ่งมีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืช และยังมีคุณสมบัติและกลไกที่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งพบว่าเชื้อ *T.harzianum* มีประสิทธิภาพคือเจริญเติบโตที่เร็ว และมีการเจริญเข้าบริเวณระหว่างเซลล์ของรากภายใน 24 ชั่วโมง สร้าง vesicle ในเซลล์ภายใน 48 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงการปลูกเชื้อชนิดนี้ให้กับพืช ทำให้มีการเจริญของเส้นใยเข้าครอบครองบริเวณรากพืชได้เร็ว ทำให้มีปฏิสัมพันธ์กับพืชมีความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรค ซึ่งได้ผลชัดเจนว่า เชื้อ *T.harzianum* ให้ผลการควบคุมที่ดี โดยทำให้ค่าตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอยมีค่าน้อย การที่เชื้อ *T.harzianum* มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมได้ดีนั้น อาจเนื่องจากมีกลไกในการเป็นปฏิปักษ์ต่อไส้เดือนฝอยได้หลายอย่าง อาทิ การทำลายไข่ ที่เกิดจากเอนไซม์ chitinase หรือแม้แต่การมีคุณสมบัติของการเจริญครอบคลุมรากพืชและกระตุ้นความต้านทานโรคพืชได้

คำสำคัญ: เชื้อราปฏิปักษ์; ไส้เดือนฝอยรากปม; มันสำปะหลัง

[1/]เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

[2/]นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3/]อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาอุบลราชธานี

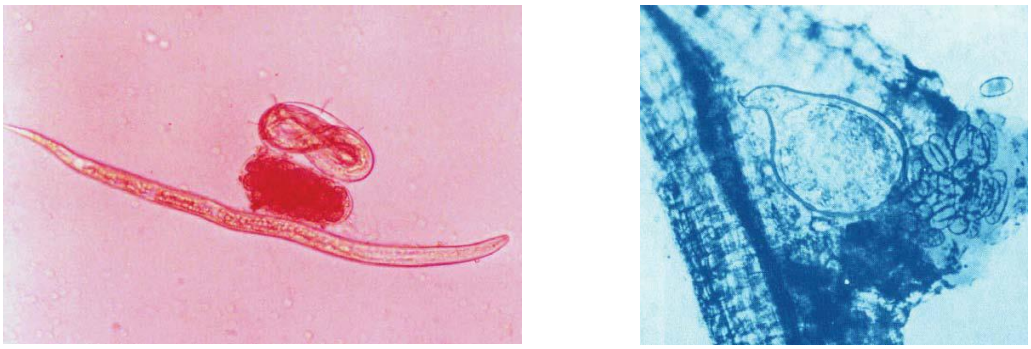
บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นผู้ส่งออกอันดับ1ของโลก มีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (6,080,383 ไร่) โดยปี 2564 มีผลผลิต 19,863,491 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ปัจจุบันการปลูกมันสำปะหลังเริ่มใช้น้ำแบบระบบน้ำหยดเพื่อเพิ่มผลผลิต ซึ่งไส้เดือนฝอยสามารถแพร่ระบาดในสภาพดินปลูกที่มีความชื้น เช่นจากวิธีการให้น้ำดังกล่าว และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรครากปมที่มีสาเหตุมาจากไส้เดือนฝอยรากปม (root-knot nematode *Meloidogyne* spp.) ซึ่งเป็นไส้เดือนฝอยศัตรูพืชที่สำคัญที่สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิด เช่น ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว พืชเส้นใย พืชหัว และพืชผัก ทั้งนี้ไส้เดือนฝอยรากปมมีหลายชนิด ประเทศไทยมี รายงานโรครากปมในมันสำปะหลังที่เกิดจากไส้เดือนฝอย *M.incognita* เป็นครั้งแรกในแปลงปลูกของเกษตรกร บริเวณปากทางเข้าอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย ต่อมามีรายงานว่าโรครากปมของมันสำปะหลังมีการระบาดรุนแรงในปี พ.ศ.2544 ที่จังหวัดชัยภูมิ ทำให้ผลผลิตเสียหายได้ตั้งแต่ 20-100 เปอร์เซ็นต์ (ภูมิ และคณะ, 2563) การระบาดของไส้เดือนฝอยรากปมในระดับรุนแรงทำความเสียหายให้กับมันสำปะหลังได้ถึงร้อยละ 87-98 ของพื้นที่ที่พบการระบาด และหากโรคนี้ระบาดในพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยเพียงร้อยละ 10 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดทั่วประเทศจะทำให้รายได้ลดลงถึง 10,950 ล้านบาท (พรทิพย์, 2560) ส่วนในต่างประเทศนั้น จากการสำรวจในประเทศอูดา พบว่ามีไส้เดือนฝอยหลายชนิดที่มีความสัมพันธ์กับมันสำปะหลังแต่มีบางชนิดที่ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ ซึ่งการสูญเสียผลผลิตหัวมันสำปะหลังนั้นมีสูงถึงเปอร์เซ็นต์ 98 เปอร์เซ็นต์อันเนื่องมาจากไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne* spp. จึงหาวิธีการป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอยศัตรูพืช และการป้องกันกำจัดมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้สารเคมี การใช้สารอินทรีย์ การควบคุมทางชีววิธี การใช้พันธุ์ต้านทาน และวิธีเขตกรรม ซึ่งการป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอยรากปมแต่ละวิธีนั้นต่างมีข้อจำกัด เช่น การใช้สารเคมีเป็นวิธีที่ลงทุนสูง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และตกค้างในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำวิธีการอื่นที่ปลอดภัย อาทิ ชีววิธีมาใช้ร่วมด้วยในการควบคุม เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นแนวทางที่ควรให้ความสำคัญ สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมนั้น มีการใช้ราปฏิปักษ์ ที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ดั้งนั้นในการทำสัมมนาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออภิปรายการประยุกต์ใช้เชื้อราปฏิปักษ์เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลัง

1. ไส้เดือนฝอยรากปม

ไส้เดือนฝอยรากปม (root-knot nematode *Meloidogyne spp.*) นี้ถูกจัดอยู่ใน order Tylenchida, family Meloidoynidae, subfamily Meloidogyninae, genus *Meloidogyne* ปัจจุบันมีการจัดจำแนกชนิดไส้เดือนฝอยรากปมที่อยู่ใน genus *Meloidogyne* ได้ถึง 80 ชนิด อย่างไรก็ตามมีเพียง 8 ชนิดเท่านั้นที่ มีรายงานการตรวจพบในประเทศไทย คือ *M. arenaria, M. exigna, M. graminicola, M. Harla, M. incognita, M. microcephala, M. javanica* และ *M. Haast* โดย *Meloidogyne* spp. มีรูปร่างลักษณะสัณฐานที่แตกต่างกันในเพศผู้และเพศเมีย คือ ตัวอ่อนระยะที่ 2 ทั้งเพศผู้และเพศเมีย รูปร่างยาวเรียว คือ ยาวประมาณ 380-450 ไมครอน เมื่อตัวอ่อนระยะที่ 2 เจริญเป็นตัวเต็มวัยเพศเมีย รูปร่างจะคล้ายลูกแพร์หรือคล้ายถุง (ภาพที่ 1) รังไข่มี 2 อัน รูปร่างโค้งยื่นไป ทางส่วนหัว ส่วนปลายของลำตัวที่มีลักษณะกลมจะมีช่องเปิดอวัยวะสืบพันธุ์และทวารหนัก นอกจากนี้บริเวณช่องเปิดอวัยวะสืบพันธุ์มีรอยย่นรอบๆ ช่องเปิดดังกล่าว รอยย่นนี้เรียกว่า perineal pattern ซึ่งใช้ เป็นหลักสำคัญในการจำแนกชนิดของไส้เดือนฝอยรากปม ส่วนตัวเต็มวัยเพศผู้ มีผนังลำตัวใสมีรอยย่น เล็กน้อย สไตเล็ตยาวประมาณ 20 – 24 ไมครอน อัณฑะมีจำนวน 1 อัน ลักษณะหางสั้นโค้งมนและที่ปลายหางมีอวัยวะสืบพันธุ์เห็นได้ชัดเจน (วราลักษณ์ ,2553)



ก. ข.

ที่มา: วราลักษณ์ (2560)

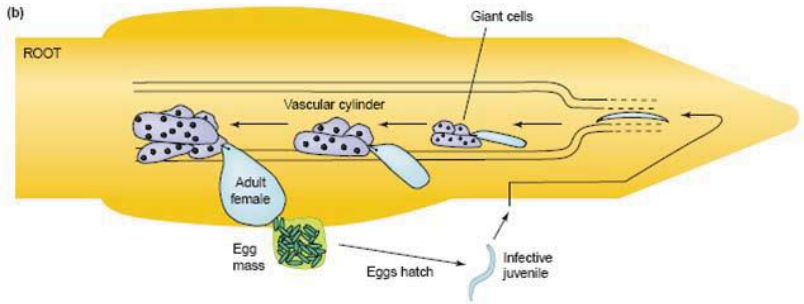
ภาพที่ 1 ลักษณะของไส้เดือนฝอย *Meloidogyne spp.*

ก.ตัวอ่อนระยะที่ 2

ข.ตัวเต็มวัยเพศเมีย

1.1 วงจรชีวิตของไส้เดือนฝอยรากปม

วงจรชีวิตไส้เดือนฝอยเริ่มจากไข่ของไส้เดือนฝอยรากปมมีรูปร่างกลมรี ผิวเรียบใส ขนาด - กว้าง 33-42 ไมครอน และยาว 78-97 ไมครอน ไข่ปะปนอยู่ในดินหรือเศษซากพืชที่เน่าเปื่อยอยู่ในดิน นิวเคลียสในไข่จะแบ่งเซลล์จนเกิดเป็นตัวอ่อนระยะที่หนึ่ง (first stage juvenile) อยู่ภายในไข่ ต่อมาตัวอ่อนระยะที่หนึ่งจะลอกคราบครั้งที่ 1 กลายเป็นตัวอ่อนระยะที่สอง (second stage juvenile) เจาะออกมาจากไข่มาอยู่ในดินแล้วเริ่มเข้าทำลายพืช ตัวอ่อนระยะนี้เป็นระยะเดี่ยวในชีพจักรที่อยู่ในดินและเข้าทำลายพืชได้ จึงเรียกว่า ตัวอ่อน ระยะทำลายพืช (infective stage juvenile) มีรูปร่างเรียวยาว (filiform) ขนาด 0.3-0.4 มม. ตัวอ่อนระยะที่ 2 นี่สามารถเคลื่อนที่เข้าหารากพืชได้ โดยการชักนำของสารที่ซึมออกมาจากรากพืช (root exudate) แล้วใช้หลอดดูดอาหาร (stylet) แทงผิวรากพืชบริเวณเนื้อเยื่อซึ่งเป็นบริเวณที่เซลล์ผิวอ่อนกว่าส่วนอื่นๆ พร้อมกับเคลื่อนตัวเข้าภายในราก แล้วฝังตัวอยู่ในบริเวณเซลล์ท่อน้ำท่ออาหาร ไส้เดือนฝอยจะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยผนังเซลล์ 3-4 เซลล์ที่อยู่บริเวณหัวของมันให้รวมกันกลายเป็นเซลล์ขนาดใหญ่ (giant cell) ซึ่งเป็นที่พักน้ำเลี้ยงที่ซึมมาจากเซลล์ข้างเคียง ตัวอ่อนระยะที่ 2 จะดูดกินน้ำเลี้ยงพืชจากเซลล์ขนาดใหญ่นี้โดยไม่เคลื่อนที่อีก และเจริญเติบโตโดยการลอกคราบครั้งที่ 2, 3 และ 4 กลายเป็นตัวอ่อนระยะที่ 3,4 และตัวเต็มวัย ตามลำดับ ในการลอกคราบแต่ละครั้งเพศเมียลำตัวจะพองอ้วนขึ้น จนในที่สุดจะมีรูปร่างหัวเล็ก ตัวอ้วนกลม คล้ายลูกแพร์ (pear shape) ขนาดประมาณ 0.8-1.5 มม. เมื่อเจริญเต็มที่จะสร้างกลุ่มไข่ (egg mass) ซึ่งภายในมีไข่ 200 - 500 ฟอง เมื่อไข่แก่จะทะลักออกมาจากตัวแม่และกลายเป็นตัวอ่อนเข้าทำลายพืชต่อไป ส่วนไส้เดือนฝอยเพศผู้จะมีรูปร่างทรงกระบอกยาว ขนาด 1.0-1.5 มม. มักจะออกจากพืชโดยปะปนอยู่กับเมือกที่ห่อหุ้มกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปมเป็นพวก parthenogenesis คือ การที่ไม่ไม่ได้รับการผสมกับเชื้อตัวผู้ก็สามารถฟักเป็นตัวอ่อนได้ การเป็นไส้เดือนฝอยเพศเมียมากหรือน้อยขึ้นกับพืชอาศัยที่ไส้เดือนฝอยเข้าไปอาศัย ถ้าเป็นพืชอาศัยที่ไม่ชอบโอกาสเปลี่ยนเป็นไส้เดือนฝอยเพศผู้จะสูง (วราลักษณ์, 2553)



ที่มา: วราลักษณ์ (2560)

ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne* spp.

1.2 การเข้าทำลายของไส้เดือนเดือนฝอยและการจัดการของมันสำปะหลัง

ไส้เดือนฝอยรากปมสามารถแพร่ระบาดได้ดีในเนื้อดินชนิดร่วนปนทราย ไปกับระบบการให้น้ำหรือไหลไปกับน้ำฝน รวมทั้งติดไปกับเครื่องมือการเกษตรต่างๆ (มัทนา, 2551) และไส้เดือนฝอยรากปมจะเข้าทำลายระบบรากพืชโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงในเซลล์รากและทำให้เซลล์รากขยายใหญ่ผิดปกติซึ่งเรียกว่าเซลล์ใหญ่ (giant cell) เกิดเป็นรากปมซึ่งส่งผลต่อระบบการลำเลียงน้ำและอาหารของพืช ในกรณีที่มีการเข้าทำลายอย่างรุนแรงรากของพืชจะถูกทำลายมากจนพืชไม่สามารถให้ผลผลิตได้และตายในที่สุด (พรทิพย์, 2560) การจัดการของมันสำปะหลังสามารถทำได้หลายวิธี การไถพรวนดินดากแดดในช่วงฤดูแล้งนาน 2-4 สัปดาห์ แต่วิธีนี้อาจมีข้อจำกัดในบางพื้นที่และบางฤดูกาล การใช้พันธุ์ต้านทานเป็นวิธีที่ดีและประหยัดแต่อาจต้านทานไส้เดือนฝอยได้ระยะหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากไส้เดือนฝอยสามารถปรับตัวเข้าทำลายพืชได้ และการปลูกพืชหมุนเวียน ควรเลือกพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัยปลูกสลับมักไม่ค่อยได้ผลเนื่องจากไส้เดือน ฝอยรากปมมีพืชอาศัยกว้าง การวางแผนการปลูกพืชที่ดีจะช่วยลดจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยราก ปมให้อยู่ในระดับต่ำสุดที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ เป็นต้น (มัทนา, 2551)

2. การป้องกันกำจัด

2.1 สารเคมี

การใช้สารเคมีเป็นวิธีการที่สะดวกและมีประสิทธิภาพสูง สารเคมีหลายชนิดที่ใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมได้ดี เช่น methyl bromide ใช้รมดินฆ่าไส้เดือนฝอย, dazomet ใช้ฉีดลงในดินอย่างน้อยสองสัปดาห์ก่อนปลูกพืช, carbofuran ใช้โรยหว่านรองก้นหลุมก่อนปลูก นอกจากนี้ยังมี aldicarb,chloropierin,1,3-D,DBCP,D-Dmixture, EDB, ethoprop, femumiphos, fensulfothio, oxamyt, methan, thionazin แต่ปัญหาของการใช้สารเหล่านี้ คือมีราคาแพงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เฉพาะ พร้อมทั้งยังส่งผลตามมาในเรื่องสารพิษตกค้างในระบบนิเวศน์เมื่อมีการใช้เป็นระยะเวลานานและใช้อย่างเกินความจำเป็น อีกทั้งยังเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและพิษมากต่อสัตว์เลือดอุ่น เป็นต้น (มัทนา, 2551)

2.2 ชีววิธี

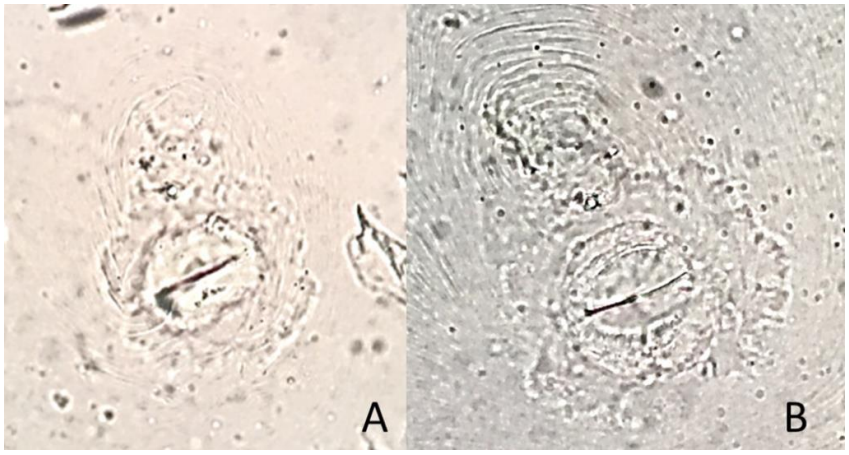
การควบคุมไส้เดือนฝอยโดยชีววิธี เป็นวิธีการนำสิ่งมีชีวิตที่เป็นศัตรูธรรมชาติมาใช้เพื่อควบคุมหรือทำลายไส้เดือนฝอย แม้จะเป็นวิธีการที่ได้ผลช้า แต่ให้ผลในการควบคุมอย่างยั่งยืน และที่สำคัญปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมทั้งมนุษย์มากกว่าการใช้สารเคมี มีการศึกษาการนำศัตรูธรรมชาติมาใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ศัตรูธรรมชาติของไส้เดือนฝอยมีหลายกลุ่ม เช่น เชื้อรา เป็นศัตรูธรรมชาติที่มีการศึกษากันมาก มีรายงานพบเชื้อรา 15 สกุล (genus) มากกว่า 400 ชนิด (species) ที่สามารถทำลายไส้เดือนฝอยได้ ลักษณะของการเข้าทำลายโดยเป็นปรสิต (parasite) หรือเป็นตัวห้ำ (predator) ต่อไส้เดือนฝอยในระยะไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย (มัทนา, 2551) และเชื้อรา *Paecilomyces lilacumas* นี้ถูกพบอยู่ใน กลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยได้ทำการศึกษาเชื้อราตัวนี้และพบว่าเชื้อราชนิดนี้สามารถใช้ใน การควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ได้ดี โดยเชื้อรา *P. lilacinus* เข้าทำลายไข่และตัว ไส้เดือนฝอยรากปมได้ และจากการศึกษาพบว่าเส้นใยของเกิดเป็นรูเล็กๆจนถึงชั้น vitelline layer ไข่ที่ถูกทำลายเริ่มบวมเมื่อเส้นใยราเจริญและแทงผ่านเชื้อรา *Paecilomyces Hilacinus* สามารถ

เจริญเติบโตและแทงเส้นใยเข้าไปในผนังไข่ (egg shell) ทำให้ผนัง chitin และชั้นไขมันเข้าไปในตัวอ่อนไส้เดือนฝอย และเพิ่มปริมาณเส้นใยสีดำ conidiophore แทง ทะลุผิวหนังไข่ ทำให้ชั้น Vitelline layer แยกเป็น 3 ชั้น หนาขึ้นเล็กน้อย ชั้น chitin เปลี่ยนไปเป็น vacuole ชั้นไขมันหายไปทำให้ไข่และตัวอ่อนถูกทำลาย โดยเชื้อราชนิดนี้สามารถทำลายไข่ในกลุ่มไข่มากกว่า 60% และสามารถลดปริมาณปมได้ 70% และพบว่ารานี้สามารถลดจำนวนปมได้มากกว่าการใช้สารเคมี เมื่อตรวจกลุ่มไข่ที่เก็บมาจากบริเวณราก พืชพบว่า86% มีเชื้อราเข้าทำลาย ในจำนวนนี้ 54 % เป็นไข่ที่ถูกทำลายแล้ว (วราลักษณ์, 2553) จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจและเป็นแนวทางที่ควรให้ความสำคัญ สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม และยังมีราปฏิปักษ์อีกหลายชนิดที่สามารถควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม เช่น *Paecilomyces lilacinus, Pochoni achlamydosporia, Metarhizium anisopliae, Beauveria bassiana และTrichoderma* spp.เป็นต้น ทั้งนี้พบว่าในต่างประเทศมีการใช้ทั้งรา *P. lilacinus* และ รา *B. bassiana* ซึ่งให้ผลดีใกล้เคียงกัน และส่วนในประเทศไทยมีการนำรา *P. lilacinus* บางชนิดมาใช้โดยเน้นที่ควบคุมโรครากปมของมันสำปะหลัง (วราลักษณ์, 2553)

3. การประยุกต์ใช้ราปฏิปักษ์เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

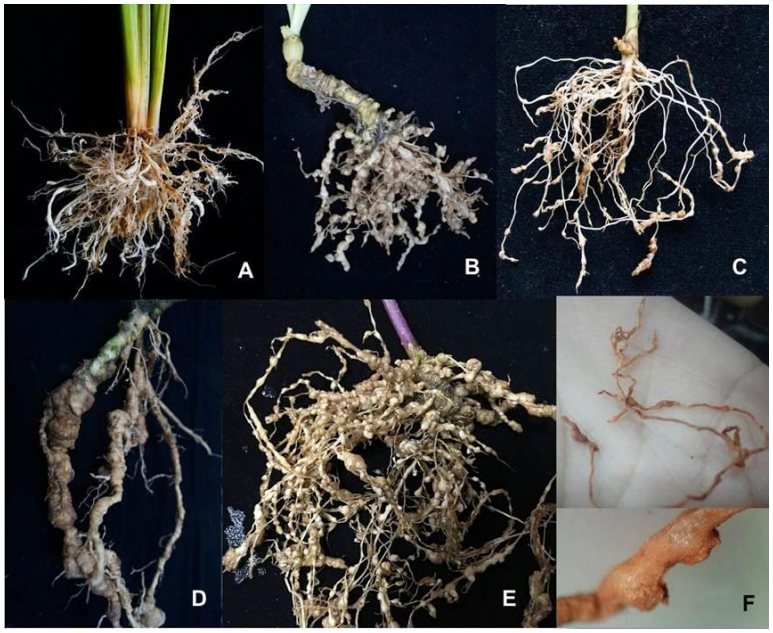
3.1 การเข้าทำลายรากมันสำปะหลังของไส้เดือนฝอยรากปม ที่แยกจากพืชอาศัยต่างชนิด

จากตรวจสอบชนิดของไส้เดือนฝอยรากปมโดยการดูจากลักษณะของ perineal pattern ของตัว เต็มวัยเพศเมียพบว่าตัวอย่างของไส้เดือนฝอยรากปมที่แยกจากมันสำปะหลัง พริกและข้าว มีลักษณะ คล้ายกันคือรูปร่าง perineal pattern เป็นรูปวงรีค่อนข้างกลม ส่วนของ dorsal arch เป็นสี่เหลี่ยมยกสูง ลายเส้น (striae) หยักเป็นคลื่น และไม่พบเส้นด้านข้าง (lateral line) ดังแสดงใน (ภาพที่ 3) ซึ่งตรงกับลักษณะของไส้เดือนฝอยรากปมชนิด *Meloidogyne incognita* และการก่อโรคของไส้เดือนฝอยรากปมที่แยกจากแปลงเพาะปลูกพืชต่างชนิดกันได้แก่ ไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ไอโซเลต RKN1 จากแปลงมันสำปะหลัง ไอโซเลต RKN2 จากแปลงพริกและไอโซเลต RKN3 จากนาข้าว กับพืช 6 ชนิดได้แก่1) มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 2) พริกบางช้าง 3) มะเขือเทศสีดา 4) ข้าวพันธุ์นางดำ 5) ขึ้นฉ่าย และ 6) ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน2 โดยพืชทั้ง 6 ชนิดเป็นพันธุ์อ่อนแอต่อไส้เดือนฝอย *M. incognita* พบว่าไส้เดือนฝอยไอโซเลต RKN1(ภาพที่3) สามารถเข้าทำลายพืชได้ทั้ง 6 ชนิดโดยทำให้รากพืชทั้งหมดเกิดปมในระดับรุนแรง (ภาพที่ 4) เมื่อนำรากพืชทั้งหมดมาย้อมดูตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยในราก ณ วันที่ 14 หลังจากที่มีการปลูกไส้เดือนฝอยลงไปนั้น พบตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยตั้งแต่ระยะที่ 2 จนถึงระยะที่ 4 ในพืช (ภาพที่ 5) โดยที่จำนวนของไส้เดือนฝอย *M. incognita* แต่ละระยะของแต่ละพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาของตัวอ่อน *M. incognita* ไอโซเลต RKN1 ไม่มีความแตกต่างในพืชอาศัยที่ต่างกัน (ภาพที่ 6) ในขณะที่ไส้เดือนฝอยรากปมไอโซเลต RKN2 และ RKN3 เข้าทำลายและก่อโรคใน พริก มะเขือเทศ ข้าว ขึ้นฉ่าย และ ถั่วเขียว แต่ไม่ก่อให้เกิดโรคกับมันสำปะหลัง ดังแสดงในภาพที่ 6B และ 6C (พรทิพย์, 2560)



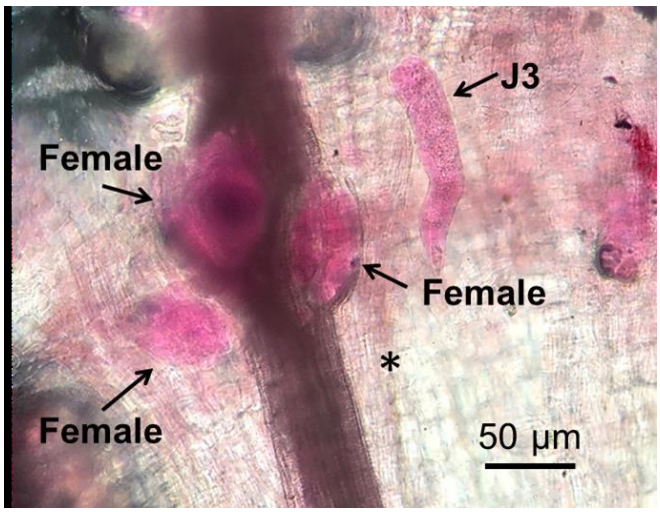
ที่มา: พรทิพย์ (2560)

ภาพที่ 3 ลักษณะ perineal pattern ของไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* (A) ไอโซเลต RKN1 และ(B) ไอโซเลต RKN2



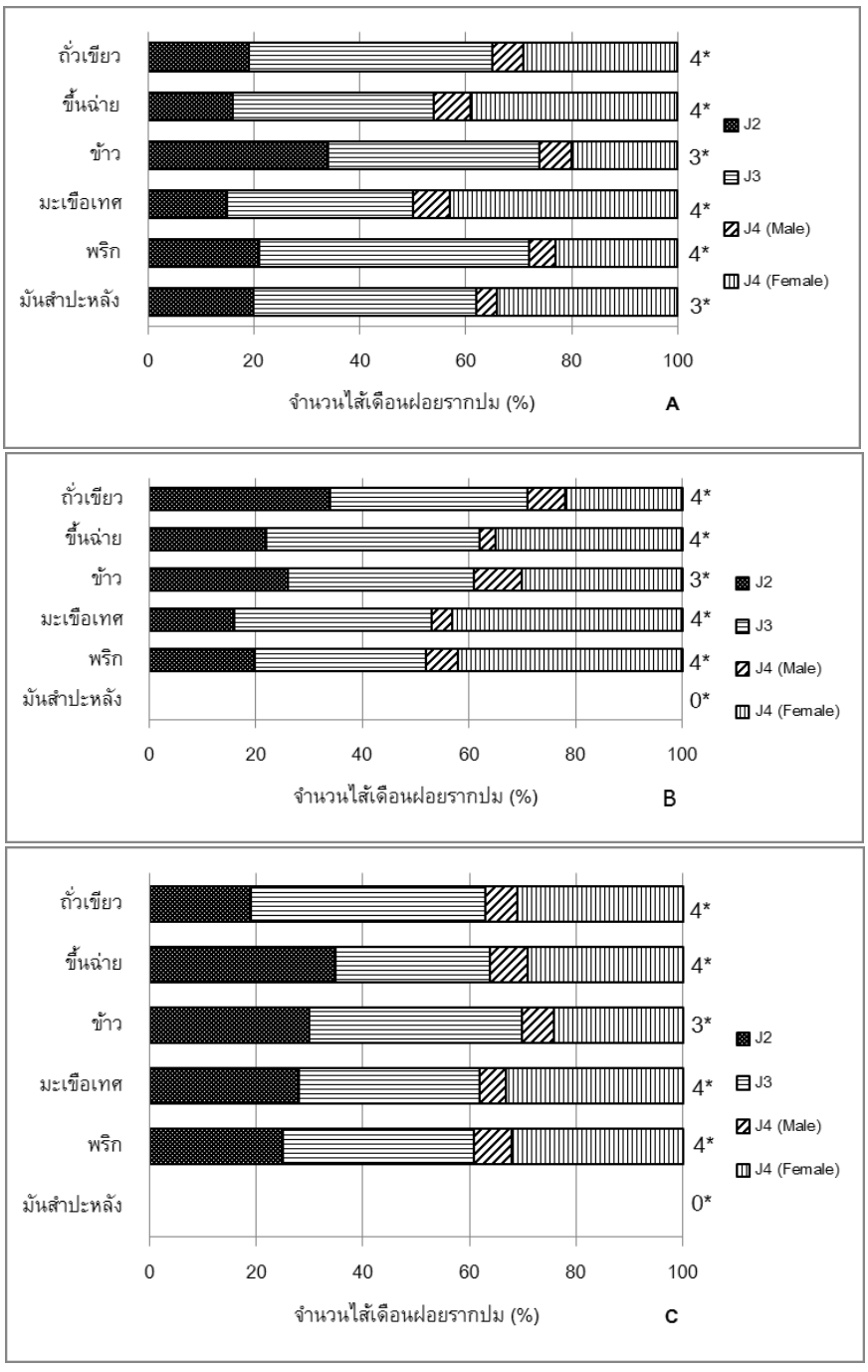
ที่มา: พรทิพย์ (2560)

ภาพที่ 4 ลักษณะรากปมที่เกิดจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ไอโซเลต RKN1 ในข้าว(A) ขึ้นฉ่าย(B) พริก(C) มะเขือเทศ(D) ถั่วเขียว(E) และมันสำปะหลัง (F)



ที่มา: พรทิพย์ (2560)

ภาพที่ 5 ลักษณะตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ในรากถั่วเขียวเมื่อย้อมด้วย NaOCl-acid fuchsin * คือเซลล์พืช J3 คือตัวอ่อนระยะที่ 3 และ Female คือตัวอ่อนระยะที่ 4 เพศเมีย

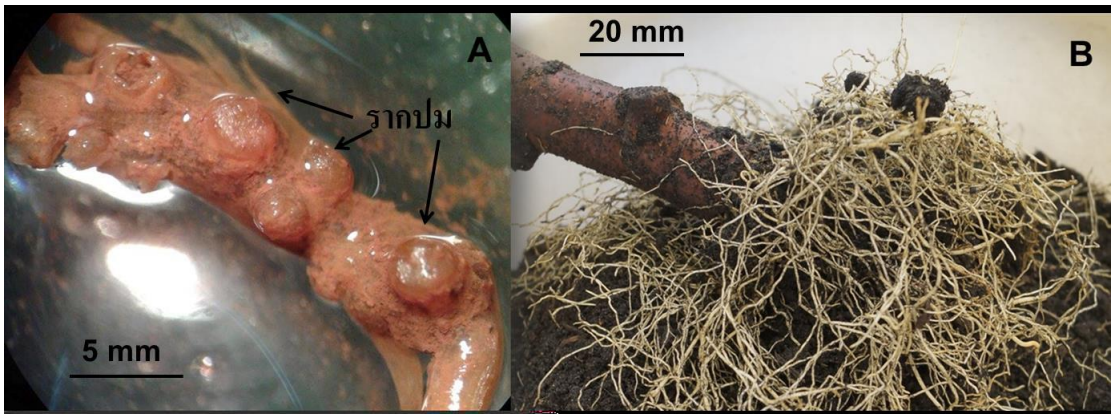


ที่มา: พรทิพย์ (2560)

ภาพที่ 6 แสดงร้อยจำนวนของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ไอโซเลต RKN1(A) RKN2 (B) และ RKN3 (C) และระยะต่างๆในรากพืชอาศัย หลังจากการปลูกไส้เดือนฝอยลงไป J2 คือตัวอ่อนระยะที่ 2 J3 คือตัวอ่อนระยะที่ 3 J4 (male) คือ ตัวอ่อนเพศผู้ระยะที่ 4 J2 (Female) คือตัวอ่อนเพศเมียระยะที่ 4 *ดัชนีการเกิดปมของพืช 45 วัน หลังจากการปลูกไส้เดือนฝอย

3.1.1 การประเมินการก่อโรคต่อมันสาปะหลังของไส้เดือนฝอย Meloidogyne incognita ไอโซเลต RKN1 รุ่นที่ 2

จากผลการทดสอบการก่อโรคของ J2 ของไส้เดือนฝอย *M. incognita* ไอโซเลต RKN1 รุ่นที่ 2 ต่อมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 โดยแยกไส้เดือนฝอยรากปม RKN1 รุ่นที่ 2 จาก มันสำปะหลัง พริก มะเขือเทศ ข้าว ขึ้นฉ่าย และ ถั่วเขียว ซึ่งเป็นพืชอาศัยของไส้เดือนฝอยรากปมไอโซเลต RKN1 รุ่น 1 พบว่า มีเพียง J2 ของไส้เดือนฝอย *M. incognita* รุ่นที่ 2 ที่แยกได้จากมันสำปะหลังเท่านั้นที่ทำให้รากของมันสำปะหลังเกิดปม (ภาพที่7) ในขณะที่ J2 ที่แยกจาก พริก มะเขือเทศ ข้าว ขึ้นฉ่าย และถั่วเขียว ไม่ทำให้มันสำปะหลังเกิดรากปมได้และไม่พบตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยรากปมในรากมันสำปะหลัง (พรทิพย์, 2560)



ที่มา: พรทิพย์ (2560)

ภาพที่ 7 ลักษณะรากปมของมันสำปะหลังเมื่อถูกไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* ไอโซเลต RKN1 รุ่นที่ 2 ที่แยกจากมันสำปะหลังเข้าทำลาย (A) และลักษณะของรากมันสำปะหลังหลังจากมีการปลูกไส้เดือนฝอยไอโซเลต RKN1 รุ่นที่ 2 ที่แยกจากพริกลงไป (B)

3.2 พันธุ์มันสำปะหลังที่ต้านทานต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย

ภูมิ และคณะ (2563) ทดสอบพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง5, พันธุ์ระยอง7, พันธุ์ระยอง9, พันธุ์ระยอง11, พันธุ์ระยอง13, พันธุ์ระยอง72, พันธุ์ระยอง90, เกษตรศาสตร์50, ห้วยบง60, และห้วยบง80 ในสภาพการราดไข่ไส้เดือนฝอยรากปม พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่มีจำนวนปมต่อระบบรากมากที่สุดคือพันธุ์ระยอง 9 ส่วนมันสำปะหลังที่มีจำนวนปมน้อยที่สุดคือ พันธุ์ระยอง 13 แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังที่มีความอ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยรากปม คือ พันธุ์ระยอง 9 ทั้งนี้ได้คัดเลือกพันธุ์ระยอง 9 ไปทดสอบการควบคุมโรครากปมนี้ด้วยราปฏิปักษ์ เพื่อให้ผลที่มีความชัดเจนสำหรับนำมาประยุกต์ใช้โดยชีววิธี เช่นราปฏิปักษ์กับพันธุ์อื่นๆ สำหรับพันธุ์ที่แข็งแรงเมื่อประเมินจากค่าตัวชี้วัดที่สำคัญ (จำนวนปมต่อระบบราก) และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์อ่อนแอแล้ว พันธุ์แข็งแรงที่มีค่าตัวชี้วัดดังกล่าวอยู่ในกลุ่มน้อย - น้อยที่สุด 3 ลำดับ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 13, เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 90 ตามลำดับ จึงเป็นพันธุ์ที่น่าสนใจ เพื่อการนำไปศึกษาต่อไปในสภาพไร่ที่ความแตกต่างกันเช่น พื้นที่ ชนิดดิน และฤดูกาล เป็นต้น

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์ต่อโรครากปมมันสำปะหลัง

ภูมิ และคณะ (2563) ทดสอบประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์ ได้แก่ *B. bassiana, P. lilacinus, M. anisopliae* และ *T. harzianum* เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย carbosulfan และการไม่ใช่ทั้งราปฏิปักษ์และ carbosulfan ต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*M. incognita*) ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในสภาพโรงเรือนทดลอง โดยทำการทดสอบ 2 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝนและฤดูหนาว ผลการทดสอบใน 2 ฤดู พบว่าราปฏิปักษ์ 4 ชนิด และ carbosulfan มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ทั้งราปฏิปักษ์และสารเคมี แต่มีการราดไข่ไส้เดือนฝอย ทั้งนี้ในฤดูฝนการใช้ *T. harzianum* 7 วัน ก่อนการราดไข่ก็ให้ผลที่ดีในการควบคุมไส้เดือนฝอย ซึ่งแม้ว่าทำให้มีจำนวนกลุ่มไข่และจำนวนตัวเต็มวัยเพศเมียต่อราก 1 กรัม มีจำนวนไม่น้อยที่สุด แต่ก็ทำให้จำนวนไข่ต่อราก 1 กรัมมีน้อยที่สุด ทั้งนี้สามารถลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากลงได้ 89.67% ส่วนในฤดูหนาวนั้นการใช้ *T. harzianum* ที่ 7 วัน ก่อนการราดไข่ ให้ผลรองลงมา ทุกตัวชี้วัดปริมาณไส้เดือนฝอยรากปม สามารถลดจำนวนกลุ่มไข่ต่อระบบรากลงได้ 93.92% ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า ราปฏิปักษ์ที่ 7 วันก่อนการราดไข่ไส้ฝอยสามารถนำมาประยุกต์ใช้และมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารเคมี carbosulfan ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมมันสำปะหลังในสภาพเรือนทดลองได้ทั้ง 2 ฤดู ทั้งนี้ราปฏิปักษ์ที่สำคัญและมีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมมีหลายสกุล เช่น *Paecillomyces, Pochonia, Metarhizium, Trichoderma, Beauveria, Neonothopanus* เป็นต้น

ตารางที่1 ประสิทธิภาพของเชื้อราที่เป็นปฏิปักษ์ต่อการติดเชื้อและการเจริญเติบโตของพืชมันสำปะหลังที่ติดเชื้อ *Meloidogyne incognita* ที่ทดสอบในฤดูฝน

Treatment	Egg masses/root system	Eggs/g root	Female adults/g root	Shoot height(cm)	Shoot and root fresh weight	Root fresh weight(g)	Reduction of egg masses(%)
1.Product 1(7day)+RKN eggs	28.59cd	59.49bcd	10.00cde	15.50ef	129.70cd	4.84bcd	85.97
2.Product 2(7day)+RKN eggs	38.63bcd	47.57cd	10.88bcd	18.50bcd	168.44abc	6.31abc	81.05
3.Product 3(7day)+RKN eggs	52.18bc	47.13cd	13.63b	18.75bcd	181.00ab	6.80ab	74.40
4.Product 4(7day)+RKN eggs	21.05de	15.88ef	4.25f	17.75bcde	201.24a	7.68a	89.67
5.Product 1(5day)+RKN eggs	23.67de	48.89cd	8.38de	16.38def	112.89d	4.39cd	88.39
6.Product 2(5day)+RKN eggs	31.47cd	84.22b	12.25bc	20.25ab	120.57cd	3.64d	84.56
7.Product 3(5day)+RKN eggs	21.80de	69.40bc	8.13de	20.00abc	112.23d	3.82d	89.30
8.Product 4(5day)+RKN eggs	37.66bcd	68.97bc	12.50bc	17.25cdef	139.40bcd	4.53bcd	81.52
9.Product 1(3day)+RKN eggs	45.83bcd	84.74b	12.88bc	17.25cdef	134.59bcd	4.63bcd	77.51
10.Product2(3day)+RKN eggs	61.88	57.14 bcd	13.13b	18.00bcde	150.08bcd	6.66abc	69.64
11.Product3(3day)+RKN eggs	29.75cd	55.60 bcd	10.88bcd	18.50bcd	132.30cd	5.15bcd	85.40
12.Product4(3day)+RKN eggs	40.10bcd	65.48bc	10.88bcd	19.25bc	145.26bcd	4.67bcd	80.33
13.Product1(0day)+RKN eggs	37.85bcd	68.75bc	8.63de	17.88bcde	132.21cd	4.75bcd	81.43
14.Product2(0day)+RKN eggs	42.83bcd	67.75bc	10.75bcd	20.50ab	126.96cd	4.99bcd	78.99
15.Product3(0day)+RKN eggs	26.29cd	46.35cd	7.63e	21.88a	133.55cd	4.58bcd	87.10
16.Product4(0day)+RKN eggs	29.55cd	60.82bcd	8.38de	22.00a	109.06d	4.43cd	85.50
17.Nematicide(carbosulfan)(0day)	20.87de	32.80de	3.75f	17.38cdef	112.14d	5.37bcd	89.76
18.Control1+RKN eggs	203.82	125.36a	32.75a	14.75f	112.48d	6.24abc	0
19.Control2+(No RKN eggs)	**0**.00e	0.00f	0.00g	17.25cdef	104.94d	5.07bcd	
F-test	**	**	**		**	**	
C.V.(%)	37.16	30.56	17.54		21.8	26.95	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0. 05, DMRT) ไข่ RKN = การราดไข่ไส้เดือนฝอยที่รากปม, Product1 = *Beauveria bassiana*, Product2 = *Paecilomycesv ilacinus*, Product3 = *Metarhizium anisopliae*, Product4 = *Trichoderma harzianum*

ที่มา: ภูมิ และคณะ (2563)

ตารางที่2 ประสิทธิภาพของเชื้อราที่เป็นปฏิปักษ์ต่อการติดเชื้อและการเจริญเติบโตของพืชมันสำปะหลังที่ติดเชื้อ *Meloidogyne incognita* ที่ทดสอบในฤดูหนาว

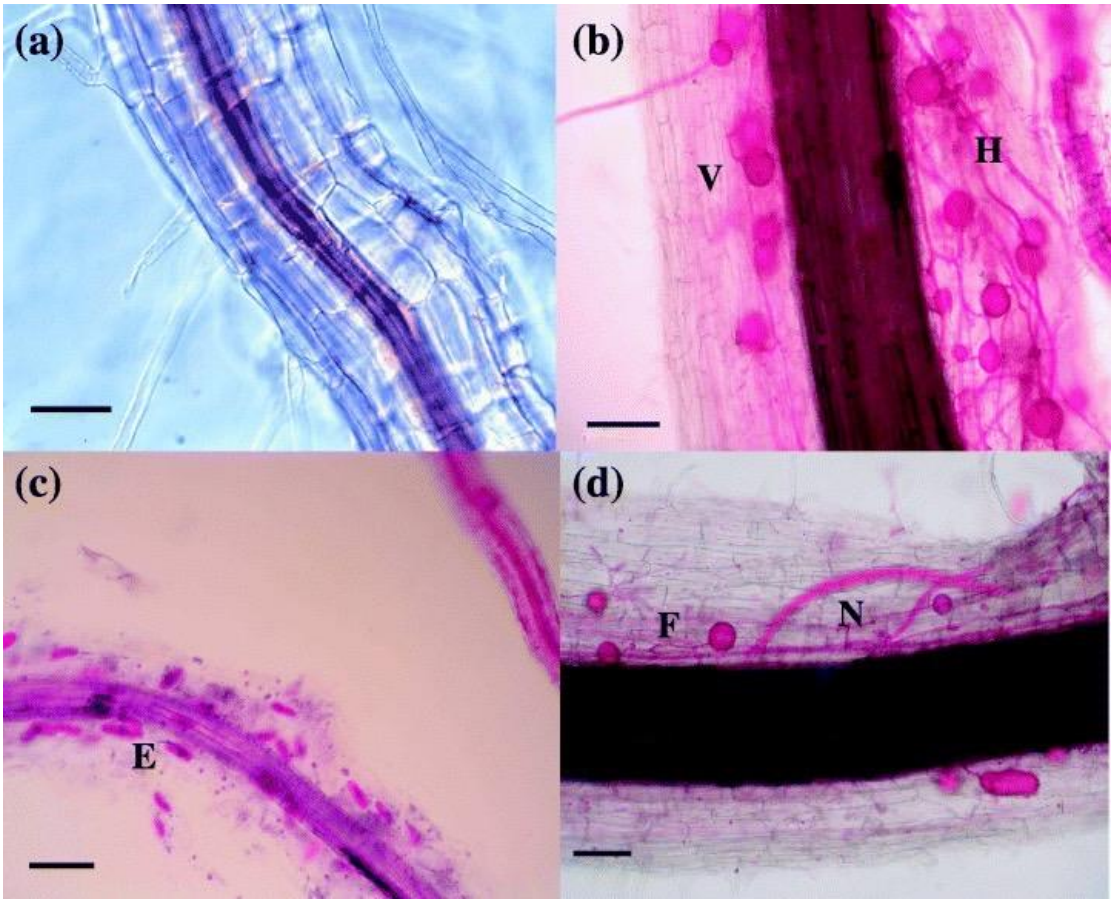
Treat+H21+A+A1:H25	Egg masses/root system	Eggs/g root	Female adults/g root	Shoot height(cm)	Shoot and root fresh weight	Root fresh weight(g)	Reduction of egg masses(%)
1.Product 1(7day)+RKN eggs	221.94c	19.27b	11.88cde	21.25e	165.01cde	23.83ef	88.43
2.Product 2(7day)+RKN eggs	252.70c	11.78c	11.88cde	23.00bcde	175.07abc	31.22cd	86.83
3.Product 3(7day)+RKN eggs	276.77c	19.33b	10.63def	27.00a	171.92abcd	23.57ef	85.58
4.Product 4(7day)+RKN eggs	116.64de	8.80c	6.63gh	24.75abc	172.68abcd	25.33ef	93.92
5.Product 1(5day)+RKN eggs	193.52cde	22.10b	13.00cd	24.75abc	187.02ab	24.64ef	89.91
6.Product 2(5day)+RKN eggs	236.20c	20.57b	13.88c	24.50bcd	165.24cde	25.04ef	87.69
7.Product 3(5day)+RKN eggs	485.53b	19.76b	21.50b	23.75bcde	190.22a	36.80b	74.70
8.Product 4(5day)+RKN eggs	190.60cde	22.48b	11.25cdef	23.00bcde	146.97efg	21.51f	90.07
9.Product 1(3day)+RKN eggs	280.83c	17.87b	12.50cd	22.00de	153.21defg	27.60de	85.36
10.Product2(3day)+RKN eggs	239.05c	18.33b	13.50c	22.00de	175.98abc	23.62ef	87.54
11.Product3(3day)+RKN eggs	435.68b	17.63b	19.50b	25.00ab	166.70bcde	35.90bc	77.29
12.Product4(3day)+RKN eggs	263.65c	17.21b	11.38cde	23.50bcde	140.08fg	27.42de	86.26
13.Product1(0day)+RKN eggs	208.13cd	19.07b	9.63def	23.25bcde	160.27cdef	23.95ef	89.15
14.Product2(0day)+RKN eggs	240.75	17.74b	8.75fg	23.50bcde	152.37defg	25.00ef	87.45
15.Product3(0day)+RKN eggs	405.17b	17.54b	19.75b	24.00bcd	142.95fg	35.24bc	78.88
16.Product4(0day)+RKN eggs	202.46cd	12.48c	6.25h	24.25bcd	153.17defg	25.50ef	89.45
17.Nematicide(carbosulfan)(0day)	97.14e	7.98c	4.75h	23.25bcde	147.84efg	23.53ef	94.94
18.Control1+RKN eggs	1918.86a	41.93a	41.75a	18.00f	131.64g	45.23a	0
19.Control2+(No RKN eggs)	**0**.00f	0.00d	0.00i	22.25cde	145.78efg	23.31ef	
F-test	**	**	**	**	**	**	
C.V.(%)	19.79	18.56	12.79	6.7	8.18	12.18	

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0. 05, DMRT) ไข่ RKN = การราดไข่ไส้เดือนฝอยที่รากปม, Product1 = *Beauveria bassiana*, Product2 = *Paecilomycesv ilacinus*, Product3 = *Metarhizium anisopliae*, Product4 = *Trichoderma harzianum*

ที่มา: ภูมิ และคณะ (2563)

3.4 ปฏิกิริยาของการไมคอร์ไรซาร่วมกับจุลินทรีย์ เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอย

Albuquerque da Silva Campos M. (2020) ทดลองใช้ไมคอร์ไรซาในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในพืช พบว่าการตอบสนองของพืชต่อไมคอร์ไรซาขึ้นอยู่กับชนิดพืช แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ไมคอร์ไรซาสามารถลดจำนวนและขนาดไส้เดือนฝอยได้ ดังนั้นจึงชัดเจนว่าไมคอร์ไรซาสามารถลดจำนวนไส้เดือนฝอยในขั้นตอนของการพัฒนาต่างๆ และลดความรุนแรงของโรคในพืชที่ติดเชื้อไมคอร์ไรซาสามารถใช้กับจุนลินทรีย์ได้ ไม่เพียงแต่จะช่วยให้เพิ่มการเจริญเติบโตของพืชแต่ยังลดจำนวนไข่ของไส้เดือนฝอย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรักษาร่วมกับจุนลินทรีย์ดีกว่าใช้เพียงไมคอร์ไรซา การใช้ไมคอร์ไรซาเป็นการป้องกันทางชีวภาพที่ปลอดภัยและยั่งยืนเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมส่งผลให้มีผลผลิตที่ยั่งยืน



ที่มา: Eduardo *et al.* (2005)

ภาพที่ 8 รากแอมโมฟีลาอาเรนาเรียย้อมด้วยกรด fuchsin เพื่อตรวจหาการติดเชื้อจากเชื้อราอาร์บัสคลาร์ไมคอร์ไรซา (AMF) และไส้เดือนฝอย (a) รากที่ไม่ติดเชื้อ; (b) AMF colonization (V, ถุงน้ำ; H, hyphae); (c) รากที่เน่าเต็มไปด้วยไข่ไส้เดือนฝอย (E); (d) รากที่ติดเชื้อ AMF (F) and adult nematodes (N). Bar,100 μm.

สรุป

จากการศึกษาการเข้าทำลายรากมันสำปะหลังของไส้เดือนฝอยรากปม ที่แยกจากพืชอาศัยต่างชนิด พบว่าไส้เดือนฝอยรากปมไอโซเลต RKN1 รุ่นที่ 2 ที่เจริญในมันสำปะหลังเท่านั้นที่ยังคงความสามารถในการก่อโรคในมันสำปะหลังได้ในขณะที่ตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยที่เจริญในพืชอื่นสูญสียความสามารถในการเข้ารากและการก่อโรคในมันสำปะหลัง เป็นไปได้ว่าพืชอาศัยอื่นมีผลต่อกระบวนการในการก่อโรคของไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ไอโซเลต RKN1และสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้โดยชีววิธีราปฏิปักษ์กับพันธุ์มันสำปะหลัง 10 พันธุ์ สำหรับพันธุ์ที่แข็งแรง เมื่อประเมินจากค่าตัวชี้วัดที่สำคัญ(จำนวนปมต่อระบบราก) พันธุ์แข็งแรงอยู่ในกลุ่มน้อย-น้อยที่สุด 3 ลำดับ คือพันธุ์ระยอง13,เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 90 ตามลำดับ และการศึกษาการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมโดยชีววิธีคือประยุกต์ใช้เชื้อราปฏิปักษ์พบว่า การใช้ราปฏิปักษ์สามารถควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในมันสำปะหลังได้ผลดีเทียบเคียงกับสารเคมี curbosulfan และพบว่าการใช้เชื้อราปฏิปักษ์มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตพืชมีค่ามากว่าการไม่ใช้ราปฏิปักษ์ ซึ่งราปฏิปักษ์ *T.harzianum, B.bassiana, M.anisopliae* รวมทั้ง *Purpureocillium lilacinum* (ชื่อเดิม *P. lilacinus*) เป็นเชื้อราที่มีคุณสมบัติเป็นเอนโดไฟต์ ซึ่งมีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืช เชื้อราปฏิปักษ์ยังมีคุณสมบัติและกลไกที่หลากหลายที่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเชื้อ *T.harzianum* ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ อีกทางเลือกที่ดีการใช้ไมคอร์ไรซาร่วมกับจุลินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าดีกว่าการใช้ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวไม่เพียงแต่จะช่วยให้เพิ่มการเจริญเติบโตของพืชแต่ยังลดจำนวนไข่ของไส้เดือนฝอย การใช้ไมคอร์ไรซาเป็นการป้องกันทางชีวภาพที่ปลอดภัยและยั่งยืนเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมส่งผลให้มีผลผลิตที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

พรทิพย์ เรือนปานันท์. 2560. การศึกษาการเข้าทำลายรากมันสำปะหลังของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognit* ที่แยกจากพืชอาศัยต่างชนิดกัน. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 9(9):26-36.

ภูมิ ต๊ะอุ่น, วีระศักดิ์ ศักดิ์สิริรัตน์, ศิวิลัย สิริมังคารัตน์ และดวงรัตน์ ธงภักดิ์. 2563. ประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมของมันสำปะหลัง. วารสารแก่นเกษตร 48(1):131-142.

ภูมิ ต๊ะอุ่น, วีระศักดิ์ ศักดิ์สิริรัตน์, ศิวิลัย สิริมังคารัตน์ และดวงรัตน์ ธงภักดิ์. 2563. การเปรียบเทียบพันธุ์มันสำปะหลังต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม และประสิทธิภาพของราปฏิปักษ์รูปการค้าในการควบคุม. วารสารเกษตร 36(1):35-45.

มัทนา วานิชย์. 2551. ศักยภาพของเชื้อราบางชนิดในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วราลักษณ์ สุปิณะ. 2553. การคัดเลือกพันธุ์พริกต้านทานและปฏิกิริยาต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. แหล่งที่มา: https://www.oae.go.th. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2565.

Albuquerque da Silva Campos M. 2020. Bioprotection by arbuscular mycorrhizal fungi in plants infected with *Meloidogyne* nematodes: A sustainable alternative. Elsevier journal 135(1):1-8.

Da la Pena E., Susana Rodriguez E., Helena F., and Maurice M. 2006. Mechanism of control of root-feeding nematodes by mycorrhizal fungi in the dune grass Ammophila arenaria. Journal compilation. 169: 829-840.