# ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและตะไคร่สำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่

## Anti-microbial Efficiency for Linear Low-density Polyethylene Doped with Fungicide and Algaecide

**อัฐพงษ์ กิตติ์ชัยวัชร์**[1] ขวัญเนตร สมบัติสมภพ[2] อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์[1]
ธีระศักดิ์ หมากผิน[1] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ[1,*]

Atthapong Gitchaiwat[1] Kwannate sombatsompop[2] Apisit Kositchaiyong[1]
Teerasak Markpin[1] Narongrit Sombatsompop[1,*]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและตะไคร่บนชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ โดยสารยับยั้งเชื้อรา ได้แก่ Carbendazim Triclosan และ 3-Iodopropinyl-N-butylcarbamate (IPBC) ส่วนสารยับยั้งตะไคร่คือ Terbutryn สำหรับวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา ประกอบด้วยการทดสอบการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อรา (Inhibition of growth) ด้วยเทคนิค Disk diffusion test และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1413-76 โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) ส่วนวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่ ได้แก่ การวัดรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone) และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3731 –04 โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll A) เชื้อราและตะไคร่ทดสอบ คือ *Aspergillus Niger* และ *Chlorella vulgaris* ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมสาร IPBC และ Triclosan ในช่วง 1,000 ถึง 50,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราที่ทดสอบจากการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อราอยู่ในช่วง 52 - 100 % และ 8 - 57 % ตามลำดับ ในขณะที่ชิ้นงานที่ผสมสาร Carbendazim ไม่แสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราได้ ส่วนผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักแห้งของเชื้อรา พบว่า พอลิเอทิลีนทีผสมสาร IPBC มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่ พบว่า การผสมสาร Terbutryn ในช่วง 250 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนักในพอลิเอทิลีนส่งผลให้มีค่ารัศมีการยับยั้งตะไคร่ในช่วง 31 – 38 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลงตามปริมาณสาร Terbutryn ที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ สำหรับการนำสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่มาผสมพร้อมกันในวัสดุพอลิเอทิลีน โดยเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพกับในกรณีการใช้สารยับยั้งเชื้อราหรือตะไคร่เพียงอย่างเดียวนั้น พบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรายังคงมีค่าเท่าเดิม ในขณะที่ประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่มีค่าต่ำลง

## Abstract

This work studied the anti-fungal and anti-algal performances of linear low-density polyethylene (LLDPE) filled Carbendazim, Triclosan, and 3-Iodopropinyl-N-butylcarbamate (IPBC) as anti-fungal agents and Terbutryn as anti-algal agent. Disk diffusion method and dry weight techniques (ASTM D1413-76, using *Aspergillus Niger* as testing fungi, were used as anti-fungal

testing method while an inhibition zone and Chlorophyll A evaluation (ASTM D3731-04), using *Chlorella vulgaris* as testing algae, were used as anti-algal testing method . The results revealed that the LLDPE filled with 1,000 – 50,000 ppm of IPBC and Triclosan gave the growth inhibitions of *Aspergillus Niger* of 52 – 100 % and 8 – 57 %, respectively, whereas Carbendazim did not show any growth inhibition. IPBC was the most effective anti-fungal agent in this work. The LLDPE with Terbutryn of 250 – 1,000 ppm gave clear zone radius 31 – 38 mm and the results showed that the Chlorophyll A decreased with increasing Terbutryn content. LLDPE with mixed anti-fungal and anti-algal agents had a reducing effect only on the anti-algae performance.

**Keywords**

Polyethylene / Fungicide / Algaecide / Dry weight / Chlorophyll A

A. Gitchaiwat: pong_pong266@hotmail.com

[1]กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (กลุ่มวิจัย P-PROF) คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Polymer PROcessing and Flow (P-PROF) research group, School of Energy, Environment and Materials,
King's Mongkut's University of Technology Thonburi

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
College of industrial technology department of civil and environmental engineering technology,
King's Mongkut's of Technology North of Bangkok

## คำนำ

ผลิตภัณฑ์จากวัสดุพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ถือเป็นผลิตภัณฑ์สามารถพบเห็นได้ทั่วไปและเป็นที่นิยมใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุดชนิดหนึ่ง เช่น แผ่นฟิล์มหรือภาชนะบรรจุอาหาร อุปกรณ์หรือสุขภัณฑ์ต่างๆ ภายในบ้าน อุปกรณ์ทางการเกษตร ได้แก่ ผ้าใบกันฝน ผ้าใบสำหรับรองใต้บ่อบำบัดน้ำ หรือผ้าใบที่ใช้คลุมโรงเรือนในการปลูกผัก (http://th.88db.com/Buy-Sell/Industrial-Products/ad-77284/, 12/02/2010) โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นมีสมบัติในการต้านทานต่อสภาพภูมิอากาศ และเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในสภาวะการใช้งานที่เอื้อต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะเชื้อราและตะไคร่นั้น พื้นผิวผลิตภัณฑ์สามารถเป็นเสมือนแหล่งสะสมที่เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญได้ (Seytriedsberger *et al*., 2006, Appendini *et al*., 2002 และ Kalyon *et al*., 2002)

ในปัจจุบัน การใช้สารยับยั้งเชื้อราหลายชนิดได้มีการใช้งานโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยการผสมเข้ากับตัวทำละลายและพ่นลงบนผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการเพาะปลูก หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพาะปลูก เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากเชื้อราได้ จากตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีสารยับยั้งเชื้อราหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดี เช่น Cinnamaldehyde A-methyl cinnamaldehyde, (E)-2-methylcinnamic acid, Eugenol, Isoeugenol และ 3-Iodopropinyl-N-butylcarbamate (IPBC) เนื่องจากสมบัติทางเคมีของสารดังกล่าวที่หมู่โครงสร้างทางเคมี เช่น

หมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde) หมู่ที่เป็นกรด (Acid group) หมู่คาร์บาเมต (Carbamate) และโครงสร้างพันธะคู่แบบคอนจูเกท (Conjugated double bond) ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ (Cheng *et al*., 2008 และ Sorensen *et al*., 2010) ส่วนงานวิจัยของ Lopez-Herrera และคณะ (Lopez-Herrera *et al*., 2007) พบว่า สารยับยั้งเชื้อราชนิดเบนโนมิล (Benomyl) คาร์เบนดาซิม (Carbendazim) ฟลัวซินัม (Fluazinam) และ ไทโอฟาเนทเมททิล (Thiophanate methyl) สามารถยับยั้งเชื้อราผุขาวจากต้นอาร์โวคาโดได้ โดยสารยับยั้งเชื้อราชนิดฟลัวซินัมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราดังกล่าวดีที่สุด นอกจากนี้ ในส่วนการศึกษาการผสมสารยับยั้งเชื้อราในวัสดุพอลิเมอร์นั้น ได้มีงานวิจัยของ Mura และคณะ (Mura *et al*., 1999) ได้ใช้เทคนิครามานสเปคโทรสโคปิคเพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารยับยั้งเชื้อราชนิดฟลูออฟอลเพท (Fluorfolpet) ในฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ พบว่า การเติมพลาสติไซเซอร์ส่งผลต่อการกระจายตัวของสารยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้

สำหรับการศึกษาการใช้สารยับยั้งตะไคร่นั้น Rioboo และคณะ (Rioboo *et al.,* 2002) ได้ศึกษาการใช้สารยับยั้งตะไคร่ 2 ชนิด ได้แก่ สารไอโซโพรทูรอน (Isoproturon หรือ 3,94-Isopropylphenyl-1,1 dimethylurea) ซึ่งมีหมู่ฟีนิลยูเรีย (Phenylurea) และสารเทอร์บิวตริน (Terbutryn หรือ 2-Methylthio-4-ethylamino-6-tert.butylamino-triazin-1, 3, 5) ซึ่งมีหมู่ไตรอะซีน (Triazine) เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารทั้งสองชนิด จากการทดสอบโดยการวัดค่า $EC_{50}$ สารเทอร์บิวตรินมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของตะไคร่ได้ดีกว่าไอโซโพรทูรอน 2 เท่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากสารเทอร์บิวตรินมีความสามารถในการละลายในไขมันได้ดีเนื่องจากมีหมู่เมทิลไทโอ (Methylthio) ในตำแหน่งที่ 6 ของวงแหวนไตรอะซีน (Triazine) จึงสามารถทะลุผ่านไปยังชั้นคลอโรพลาส และยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของเซลล์ตะไคร่ได้

ในส่วนการป้องกันผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ไม่ให้มีเชื้อราและ/หรือตะไคร่เจริญได้นั้น สามารถทำได้โดยการผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่เข้ากับวัสดุดังกล่าวได้โดยตรง โดยหลักการเลือกใช้สารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่นั้น สารดังกล่าวต้องสามารถทนต่อสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ เช่น อุณหภูมิและความดันในเครื่องขึ้นรูป โดยยังคงประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและตะไคร่ได้ ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา การศึกษาการใช้สารยับยั้งเชื้อราหรือสารยับยั้งตะไคร่กับวัสดุพอลิเมอร์ยังมีอยู่น้อยมาก โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ร่วมกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาผลของปริมาณการผสมสารยับยั้งเชื้อราและสารยับยั้งตะไคร่ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น รวมถึงผลของการผสมร่วมกันระหว่างสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราด้วยวิธีการทดสอบการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อรา (Inhibition of growth) ด้วยเทคนิค Disk diffusion test และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1413-76 โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) และการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของตะไคร่โดยการวัดรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone) และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3731 –04 โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll A)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัสดุวิจัย

ข้อมูลเกรดวัตถุดิบ ชื่อทางการค้า สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และแหล่งผลิต แสดงดัง**ตารางที่** 1

**ตารางที่** 1 ชื่อและรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

| Polymer and Chemicals | | Chemical name | Abbreviation | Supplier |
|---|---|---|---|---|
| Polymer | | Linear low density polyethylene (M380RU/RUP) | LLDPE | Siam Cement Group Company |
| Fungicides | Carbendazim | Benzimidazol-2-yl-carbamicacid methyl ester | CB | Troy Asia Co, Ltd. |
| | Triclosan | 5-chloro-2-(2,4-dichlorophenoxy)phenol | TS | |
| | IPBC | 3-Iodopropinyl-N-butylcarbamate | IPBC | |
| Algaecide | Terbutryn | 2-Methylthio-4-ethylamino-6-tert.butylamino-triazin-1,3,5 | TT | |
| Type of microbe | | Name | Supplier | |
| Fungi | | *Aspergillus Niger* (TISTR 3245) | Thailand Institute of Scientific and Technological Research | |
| Algae | | *Chlorella vulgaris* (TISTR 8580) | | |

**การเตรียมชิ้นงานทดสอบ**

การเตรียมชิ้นงานเริ่มจาก การผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กับสารยับยั้งเชื้อราหรือตะไคร่โดยใช้เทคนิคการผสมแบบแห้ง (Dry blending) ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง โดยปริมาณความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราทั้ง 3 ชนิดที่ผสมในพอลิเอทิลีนอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 50,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณความเข้มข้นของสารยับยั้งตะไคร่อยู่ในช่วง 250 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก จากนั้น นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานทดสอบซึ่งมีความหนา 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส แรงดัน 100 บาร์ จากนั้นตัดชิ้นงานตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ โดยการทดสอบการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อราและการทดสอบรัศมีการยับยั้งการเจริญของตะไคร่นั้น ชิ้นงานทดสอบมีรูปร่างเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ส่วนการทดสอบการชั่งน้ำหนักแบบแห้งและการทดสอบการวัดคลอโรฟิลล์ เอ ชิ้นงานมีขนาด 50 x 50 ตารางมิลลิเมตร

**การทดสอบสมบัติการต้านทานการเจริญของเชื้อรา**

1. การทดสอบการวัดระยะต้านการเจริญของเชื้อราด้วยเทคนิค Disk diffusion test เริ่มจากการวางเชื้อราทดสอบ (Fungal disk) บนอาหารเลี้ยงเชื้อราแบบแข็ง (Potatoes dextrose agar) บริเวณตรงกลางของจานเพาะเชื้อ จากนั้นวางชิ้นงานทดสอบทั้งทางด้านซ้ายและด้านขวาของเชื้อราทดสอบ โดยให้มีระยะห่างจากเชื้อราทดสอบ 15 มิลลิเมตร ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ การบันทึกผลทดสอบทำได้โดยการวัดขนาดระยะการเจริญของเชื้อรา เปรียบเทียบกันระหว่างเชื้อราที่เจริญบนจานเพาะเชื้อที่มีและไม่มีชิ้นงานทดสอบ (การเจริญของเชื้อราควบคุม) จากนั้นคำนวณเป็นเปอร์เซนต์การต้านทานการเจริญของเชื้อรา (Growth inhibition of fungi) โดยนำระยะการเจริญของเชื้อราควบคุมลบด้วยระยะการเจริญของเชื้อราที่มีชิ้นงานทดสอบหารด้วยระยะการเจริญของเชื้อราควบคุมคูณด้วย 100

2. การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1413-76 โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) เริ่มโดยการเตรียมตัวกลางทดสอบจากอาหารเลี้ยงเชื้อราแบบเหลวที่มีความเข้มข้นของเชื้อรา $10^6$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ จากนั้น บรรจุชิ้นงานทดสอบในขวดรูปชมพู่ดังกล่าว และทำการเขย่าด้วยความถี่ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังการทดสอบในเวลาที่กำหนด ทำการกรองตัวกลางทดสอบ

เพื่อหาน้ำหนักของเชื้อราที่สามารถเจริญได้ โดยทำการอบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณของเชื้อราในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีชิ้นงานที่มีและไม่มีสารยับยั้งเชื้อราผสมอยู่

**การทดสอบสมบัติการต้านทานการเจริญของตะไคร่**

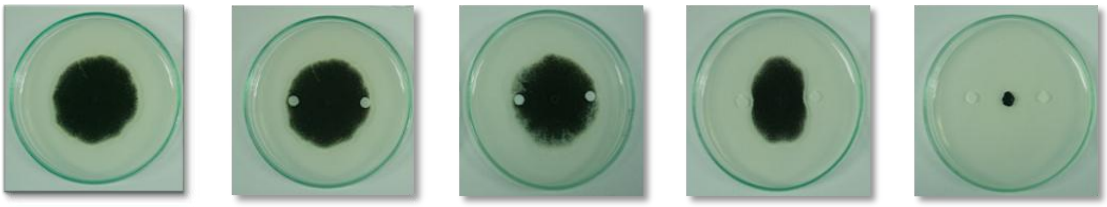
1. วิธีทดสอบรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (Inhibition zone) เริ่มโดยการวางชิ้นงานทดสอบบนอาหารสำหรับเลี้ยงตะไคร่แบบกึ่งแข็ง โดยกำหนดให้ปริมาณเซลล์ตะไคร่เริ่มต้นในอาหารกึ่งแข็งมีค่าประมาณ $10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ขณะทำการทดสอบมีการให้และไม่ให้แสงสลับกันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสงประมาณ 2000 ลักซ์ อุณหภูมิทดสอบ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นบันทึกรัศมีการยับยั้งการเจริญของตะไคร่หรือการเกิดบริเวณใสรอบชิ้นงานทดสอบ โดยนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสลบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานแล้วหารด้วย 2

2. การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3731 –04 โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เริ่มโดยเตรียมตัวกลางทดสอบจากอาหารเลี้ยงเชื้อตะไคร่แบบเหลวในขวดรูปชมพู่ ให้มีปริมาณตะไคร่เริ่มต้นประมาณ $10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นบรรจุชิ้นงานทดสอบ ทำการบ่มเพาะเชื้อและเขย่าที่ความถี่ 150 รอบต่อนาที ขณะทำการทดสอบมีการให้และไม่ให้แสงสลับกันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิทดสอบ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นทำการสกัดคลอโรฟิลล์โดยใช้เมทานอล ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงในที่มืด แล้วนำไปแยกส่วนที่เป็นเซลล์และคลอโรฟิลล์ออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารสกัดที่ได้มาวัดความเข้มแสงโดยใช้เครื่อง UV spectrometer เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยเปรียบเทียบในกรณีผลการทดสอบที่ได้จากชิ้นงานที่มีและไม่มีสารยับยั้งตะไคร่ผสมอยู่ การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทำได้โดยอาศัยสมการที่ 1 (Lee และ Shen, 2004)

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ} = [(A_{650} \times 25.5) + (A_{665} \times 4)] \times 10 \times 100 \qquad \text{สมการที่ 1}$$

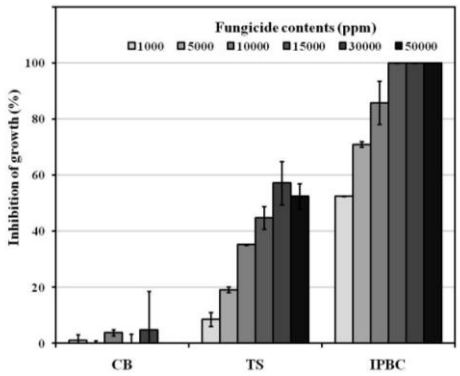
## ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะการเจริญของเชื้อราชนิด *Aspergillus Niger* เปรียบเทียบกันระหว่างกรณีชิ้นงานที่ไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อรา และผสมสารยับยั้งเชื้อรา 3 ชนิด ที่ความเข้นข้น 15,000 ส่วนในล้านส่วน ในพอลิเอทิลีน แสดงดัง**รูปที่ 1** พบว่า ชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมสาร TS และ IPBC สามารถแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับกรณีชิ้นงานที่ผสมสาร CB ซึ่งมีลักษณะและขนาดการเจริญของเชื้อราใกล้เคียงกับกรณีชิ้นงานที่ไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อฯ และเชื้อราควบคุม

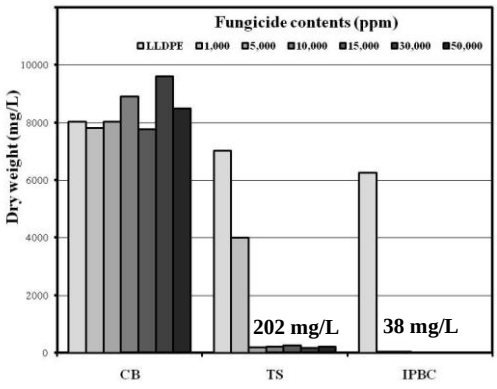


a b c d e

**รูปที่ 1** การเจริญของเชื้อรา *Aspergillus Niger* ของวิธีทดสอบระยะต้านการเจริญของเชื้อราโดย a) เชื้อราควบคุม b) เชื้อราที่วางชิ้นงานที่ไม่เติมสารยับยั้ง c) เชื้อราที่วางชิ้นงานผสม CB d) เชื้อราที่วางชิ้นงานผสม TS e) เชื้อราที่วางชิ้นงานผสม IPBC ที่ความเข้มข้น 15,000 ส่วนในล้านส่วน

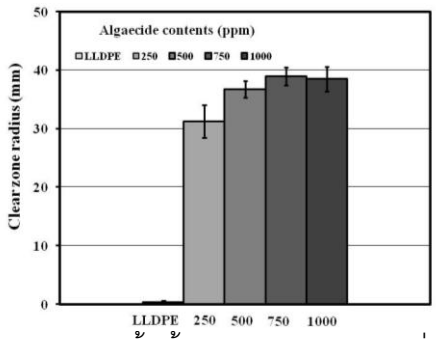



**รูปที่** 2 เปอร์เซนต์การยับยั้งเชื้อราชนิด *Aspergillus Niger* ที่ทดสอบกับพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราชนิดและปริมาณต่างๆ

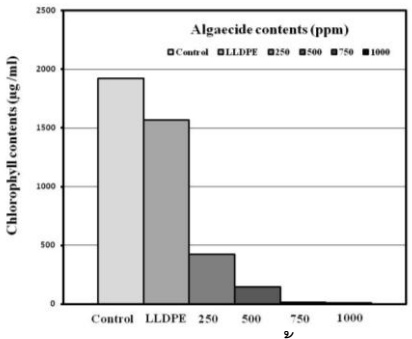



**รูปที่** 3 ปริมาณน้ำหนักแห้งของเชื้อราชนิด *Aspergillus Niger* ที่ทดสอบกับพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราชนิดและปริมาณต่างๆ

สำหรับผลของปริมาณความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราชนิดต่างๆ ที่ผสมในพอลิเอทิลีนแสดงดัง**รูปที่** 2 และ**รูปที่** 3 โดยเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราใน**รูปที่** 2 พบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมสารยับยั้งเชื้อฯ ยกเว้นในกรณีการผสม CB โดยสารยับยั้งเชื้อราชนิด TS มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งฯ สูงสุด 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 30,000 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อราชนิด IPBC มีค่าดังกล่าวสูงสุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 15,000 ส่วนในล้านส่วน ส่วนผลการทดสอบที่แสดงดัง**รูปที่** 3 ซึ่งได้จากเทคนิคการชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของเชื้อราทดสอบ ผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อราที่ผสมในพอลิเอทิลีนสอดคล้องกับผลการทดสอบการวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา โดยพบว่า การเพิ่มปริมาณ CB ในพอลิเอทิลีนไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ส่วนผลของการผสมสารชนิด TS และ IPBC พบว่า น้ำหนักแห้งของเชื้อราทดสอบมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสาร โดยค่าน้ำหนักแห้งต่ำสุดกรณีการผสมสาร TS และ IPBC มีค่าเท่ากับ 202 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5,000 ส่วนในล้านส่วน และ 38 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของการผสมเป็น 1,000 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ทั้งนี้ สาเหตุที่ทำให้พอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราทั้งสามชนิดแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อที่แตกต่างกัน เนื่องจาก สมบัติทางกายภาพของสารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการผสม และการกระจายของสารยับยั้งในชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่แตกต่างกัน รวมถึงกลไกและประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิดซึ่งได้อธิบายไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา (Medina *et al*., 2007, Schweizer, 2001 และ Butters *et al*., 2003)

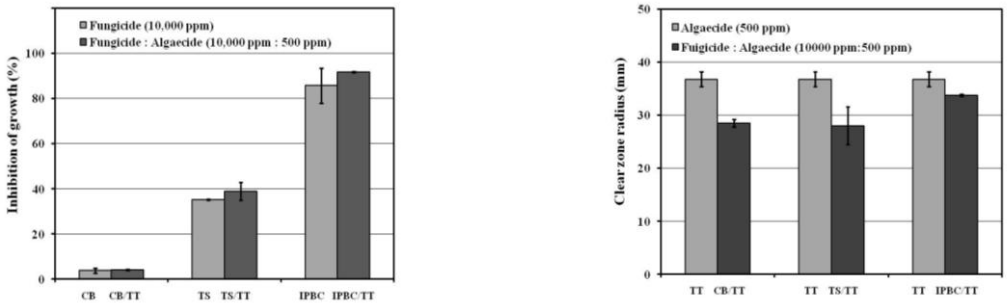



**รูปที่** 4 ระยะรัศมียับยั้งเชื้อ *Chlorella vulgaris* ที่ทดสอบกับชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งตะไคร่




**รูปที่** 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของเชื้อ *Chlorella vulgaris* ที่ทดสอบกับชิ้นงานพอลิเอทิลีนผสมสารยับยั้งตะไคร่

**รูปที่** 4 แสดงค่ารัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ของชิ้นงานพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมสาร TT พบว่า ที่ปริมาณการผสมความเข้มข้น 250 ส่วนในล้านส่วน มีค่ารัศมีการยับยั้งเท่ากับ 31.25 มิลลิเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 38.50 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้น 1,000 ส่วนในล้านส่วน ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการแพร่ของสาร TT มีมากขึ้นตามปริมาณการผสม สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าคลอโรฟิลล์ เอ แสดงดัง**รูปที่** 5 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสารยับยั้งตะไคร่ในชิ้นงานพอลิเอทิลีน โดยมีค่าลดลงต่ำสุดเท่ากับ 0 ไมโครกรัมคลอโรฟิลล์ต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 1,000 ส่วนในล้านส่วน โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่ลดลงนั้นเนื่องจากสารยับยั้งตะไคร่ไปขัดขวางขั้นตอนการสังเคราะห์แสงของตะไคร่ โดยไปทำลายในส่วนชั้นคลอโรพลาสของเซลล์ จึงส่งผลให้เซลล์ตะไคร่สร้างอาหารเองไม่ได้และหยุดการเจริญในที่สุด (Rioboo *et al.,* 2002)




**รูปที่** 6 ค่าเปอร์เซนต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (ซ้าย) และระยะรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ (ขวา) ของชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ร่วมกันที่สัดส่วน 10,000:500

สำหรับผลการทดสอบผลของการผสมกันร่วมกันระหว่างสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่แสดงดัง**รูปที่** 6 โดยสัดส่วนการผสมกันระหว่างสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่คือ 10,000 ต่อ 500 ในกรณีการทดสอบการต้านการเจริญของเชื้อรา ชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราร่วมกับสารยับยั้งตะไคร่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราใกล้เคียงกับกรณีชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราเพียงอย่างเดียว ในขณะที่กรณีการทดสอบการต้านการเจริญของตะไคร่ ชิ้นงานที่ผสมสารทั้งสองชนิดร่วมกันมีระยะรัศมียับยั้งการเจริญของตะไคร่ลดลง ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อราผสมสารยับยั้งตะไคร่ในชิ้นงานเดียวกันจะไม่รบกวนต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่

## สรุป

ผลงานวิจัยพบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อราชนิด Carbendazim Triclosan และ IPBC ในช่วงความเข้มข้น 1,000 – 50,000 ส่วนในล้านส่วนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นส่งผลให้ชิ้นงานพอลิเอทิลีนมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อรา โดยสารยับยั้งเชื้อราชนิด IPBC มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสูงที่สุด สารยับยั้งเชื้อราชนิด Carbendazim ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อรา ส่วนการทดสอบความต้านทานการเจริญของตะไคร่โดยใช้สารยับยั้งตะไคร่ชนิด Terbutryn ในช่วงความเข้มข้น 250 - 1,000 ส่วนในล้านส่วนพบว่าชิ้นงานมีประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมสารยับยั้งเชื้อตะไคร่เช่นเดียวกัน และเมื่อนำสารยับยั้งเชื้อราและตะไคร่ที่อัตราส่วน 10,000 ต่อ 500 ส่วนในล้านส่วน มาผสมกับชิ้นงานพอลิเอทิลีนพบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ประสิทธิภาพการยับยั้งตะไคร่มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อราหรือตะไคร่เพียงอย่างเดียว

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (ทุนวิจัยมหาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สัญญาเลขที่ MRG–WI525S075) และบริษัท ทรอยเอเชีย จำกัด (Troy Asia Co, Ltd.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับห้องปฏิบัติการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

LLDPE, Available: http://th.88db.com/Buy-Sell/Industrial-Products/ad-77284/, [12 February 2010]

G. Sentriedsberger, K. Rametsteiner and W. Kern. 2006. **Polyethylene Compounds with Antibacterial Surface Properties.** European Polymer Journal. 42(12): 3383-3389.

P. Appendini. and J.H. Hotchkiss. 2002. **Review of Antimicrobial Food Packaging**. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3(2): 113–126.

B.D. Kalyon and U. Olgun. 2002. **Antibacterial efficacy of triclosan incorporated polymers**. American Journal of Infection Control. 29(2): 124-125.

S. Cheng, J. Liu, E. Chang and S. Chang. 2008. **Antifungal activity of cinnamaldehyde and eugenol congeners against wood-rot fungi**. Bioresource Technology. 99(11): 5145–5149.

G. Sørensena, A.L. Nielsena, M. Pedersena, S. Poulsen, H. Nissen, M. Poulsen and S.D. Nygaard. 2010. **Controlled release of biocide from silica microparticles in wood paint**. Progress in Organic Coatings. 68(4): 299–306.

C.J. Lopez-Herrera and T. Zea-Bonilla. 2007. **Effects of benomyl, carbendazim, fluazinam and thiophanate methyl on white root rot of avocado**. Crop Protection. 26(8): 1186–1192.

C. Mura, J. Yarwood, R. Swart and D. Hodge. 2000. **Raman microscopic studies of the distribution of the fungicide fluorfolpet in plasticised PVC films**. Polymer. 41(24): 8659–8671

C. Rioboo, O. Gonzalez, C. Herrero and A. Cid. 2002. **Physiological response of freshwater microalga (Chlorella vulgaris) to triazine and phenylurea herbicide**. Aquatic Toxicology. 59(3-4): 225-235.

Lee YK, Shen H. 2004. **Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology.** Basic culturing techniques. In: Richmond A, editor.UK: Blackwell Science Ltd. p. 44.

A. Medina, R. Mateo, F.M. Valle-Algarra, E.M. Mateo and M. Jiménez. 2007. **Effect of carbendazim and physicochemical factors on the growth and ochratoxin A production of Aspergillus carbonarius isolated from grapes**. International Journal of Food Microbiology. 119(3): 230-235.

H.P. Schweizer. 2001 **Triclosan: a widely used biocide and its link to antibiotics**. FEMS Microbiology Letters. 202(1): 1-7.

J.A.Butters, K.U. Devi, C.M. Mohan and V. Sridevi. 2003. **Screening for tolerance to bavistin, a benzimidazole fungicide containing methyl benzimidazol-2-yl carbamate (MBC), in Beauveria bassiana: Sequence analysis of the b-tubulin gene to identify mutations conferring tolerance.** Mycological Research. 107(3): 260-266.