



ฤทธิ์ทางชีวภาพของนาโนชิฟเบสจากธรรมชาติ
ในการต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่นสู่ชุมชน
**Biological investigation of nano natural Schiff bases antifungal of
production rubber sheet to community**

โดย

สมหมาย ปะติตังโฆ

กิ่งแก้ว ปะติตังโฆ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

พ.ศ. 2556

(ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์)



ฤทธิ์ทางชีวภาพของนาโนชิฟเบสจากธรรมชาติ
ในการต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่นสู่ชุมชน
**Biological investigation of nano natural Schiff bases antifungal of
production rubber sheet to community**

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ปะติตังโฮ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิ่งแก้ว ปะติตังโฮ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

พ.ศ. 2556

(ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์)

Research Title: Biological investigation of nano natural Schiff bases antifungal of production rubber sheet to community

Researcher Sommai Patitungkho
Kingkaew Patitungkho

Organization Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

Academic year: 2014

No. 05/2013

Abstract

The purpose of this research was to study physicochemical characterizations and biological properties of copper nano-particles by using natural product derivatives to reduce agents against *Penicillium* sp. and *Aspergillus* sp. in the process of producing rubber sheets and to carry out antioxidant activities. The results revealed that copper nano-particles are in a needle shape and particle size between 35 and 81 nm. Regarding anti-free radical technique called DPPH, it showed that all sample substances went against anti-free radical while the substances against the radical with the low level of IC₅₀ were SRA-Sal and KU-INH-Cu particles. Regarding anti-free radical technique called FRAP, it was found that the best reduced substances for changing from Fe³⁺ to Fe²⁺ were KU-Sal particles. All eight particles can be used to protect fungi disease of rubber sheets (*Penicillium* sp. and *Aspergillus* sp.) in culture medium and the protective efficiency doubly increased upon using the particles with the rubber sheets. For investigating the mechanical properties, the results showed that an increase of tensile strength when the rubber sheet was mixed with copper nano-particles, especially the copper nano-particles, was produced by syringal dehyde salicylic hydrazone as the reducing agent was at the mean value of 7.00 kilogram. It could be concluded that in the process of producing the rubber sheets, copper nano-particles should be added in order to protect and eradicate the fungal disease and also to increase the mechanical properties of the rubber sheets.

Keywords: nano natural Schiff bases, rubber, antifungal

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ฤทธิ์ทางชีวภาพของนาโนชิฟฟ์เบสจากธรรมชาติใน การต้านเชื้อราของ กระบวนการผลิตยางแผ่นสู่ชุมชน Biological investigation of nano natural Schiff bases antifungal of production rubber sheet to community ครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อย่างสูง

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์พิสมัย ประชานันท์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ขอขอบคุณนางสาวสุรีพร ดัตถุยาวัตร ผู้ช่วยนักวิจัย และขอขอบคุณ บุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกต่อกิจกรรมในการดำเนินงานการวิจัยจนสำเร็จ ลุล่วงอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ปะติตั้งโฮ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิ่งแก้ว ปะติตั้งโฮ

14 พฤษภาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
กรอบแนวคิดของการวิจัย	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
นาโนเทคโนโลยี	5
การสังเคราะห์อนุภาคนาโน	7
การสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากอนุภาคนาโน	10
พันธุ์ยางพารา	11
การผลิต การใช้และการส่งออกยางพาราของโลก	15
การผลิต การใช้และการส่งออกยางพาราของไทย	18
พื้นที่ปลูกยางพารา	19
โรค และศัตรูยางพารา	26
การแปรรูปยางพาราดิบ	34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45

บทที่		หน้า
3	สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	52
	สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ	52
	วิธีการสังเคราะห์	53
	การศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง (Physicochemical properties)	56
	การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	56
	การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ	56
	การทดสอบความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา	58
	การศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา	59
	การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อราในยางแผ่น	60
	การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางแผ่น	61
	การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ	62
4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	63
	ผลการสังเคราะห์สาร	63
	ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์	65
	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope; SEM)	67
	ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	68
	ผลการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP	71
	ผลการทดสอบความสามารถการต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง	76
	ผลการทดสอบความสามารถการต้านเชื้อราบนยางแผ่น	78
	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล:ความเค้น-ความเครียดของแผ่น ยางพารา	81
	การถ่ายทอดผลการทดลองสู่ชุมชน	82
5	สรุป วิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	84
	บทนำ	84
	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	84
	ข้อเสนอแนะ	85
	บรรณานุกรม	86

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยและประเทศในภูมิภาคอาเซียน โดยไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก ด้วยปริมาณการส่งออกกว่า 2.73 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 39.61 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลกซึ่งมีปริมาณ 6.882 ล้านตัน มีพื้นที่ปลูกยางกว่า 16.89 ล้านไร่ โดยพื้นที่ที่ปลูกยางมากที่สุดคือภาคใต้ รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกและภาคกลางบางจังหวัด การส่งออกยางธรรมชาติของไทยส่วนใหญ่ส่งออกในรูปแบบของวัตถุดิบ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น เป็นต้น (ข้อมูลวิชาการยางพารา. 2553) ที่ผ่านมากษัตริย์มีการปลูกยางในหลายพื้นที่และได้ผลผลิตที่ดีดังกล่าวแล้ว แต่เนื่องจากขณะนี้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้เกษตรกรเริ่มประสบปัญหาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นภัยจากธรรมชาติ ความแปรปรวนของอากาศ ปริมาณของน้ำฝนในแต่ละช่วงฤดูกาล และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบาดของโรค ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบการปลูกยางพารา เช่น โรคเส้นดำที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora botryosa* Chee, *P.palmivora*(Butler.)Butler, โรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp., โรคเปลือกเน่าเกิดจากเชื้อรา *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst., โรครากขาวเกิดจากเชื้อรา *Rigidoporus microporus* (Fr.) Overeem [Syn:*Rigidoporus lignosus* (Klozsch) Imazeki] และที่เป็นปัญหาหลักและส่งผลกระทบต่ออย่างสำคัญยิ่งของเกษตรกรในจังหวัดบุรีรัมย์ คือ การเกิดเชื้อราของแผ่นยางพาราติบจากเชื้อรา *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. โดยมักเกิดเชื้อราในขั้นตอนการเก็บผลผลิตเพื่อรอจำหน่าย และในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง ส่งผลให้แผ่นยางมีคุณภาพต่ำ เปอร์เซ็นต์แผ่นยางน้อย เกษตรกรต้องใช้สารเคมีในการกำจัดเชื้อราของแผ่นยาง ทำให้เกษตรกรต้องมีรายจ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นเพื่อคงคุณภาพของแผ่นยางพาราให้อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในแผ่นยางพารา อีกทั้งยังส่งผลเสียต่อเกษตรกร และสิ่งแวดล้อมด้วย (<http://www.yangpara.com>. 2550)

จากเหตุผล ความจำเป็น และผลงานวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยนี้ได้นำสารผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ ทั้งในกลุ่ม แอลดีไฮด์และคีโตนมาทำการผสม (Hybrid) กับเอมีน แล้วได้สารใหม่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี ซึ่งเรียกว่า Schiff base และยังเป็น nano natural iron chelators ที่มีประสิทธิภาพสูง มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย และต้านเชื้อราหลายชนิด ทำให้คณะผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาสารต้านเชื้อราจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในกลุ่มนี้ต่อไป โดยนำ syringaldehyde สารสกัดจากเปลือกสน และ coumarin

สารสกัดจากชะเอม อบเชย หรือวานิลลา ซึ่งเป็นพืชที่พบมากในท้องถิ่น มาเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพในรูปของ Double pharmacophore แล้วนำไปรีดิคัลเกลียวของโลหะ และทดสอบฤทธิ์ในการต้านเชื้อราของยางแผ่น ซึ่งกำลังระบาดและเป็นปัญหาหนักของเกษตรกรที่ผลิตยางแผ่นในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นเร่งด่วนในการหาสารควบคุมหรือกำจัดเชื้อรา *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. และนอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังจะได้นำสารไปใช้ทดสอบกับเชื้อราต่างๆ เช่น *Phytophthora botryosa* Chee, *Rigidoporus microporus* และ *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. เพื่อให้ผลงานวิจัยนี้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นแนวทางในการผลิตสารดังกล่าวในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ มอร์โฟโลยีและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาร Schiff base ซิฟฟ์เบสคอปเปอร์คอมเพล็กซ์ ในการต้านเชื้อราของยางแผ่น *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. รวมทั้งฤทธิ์การต้านเชื้อราก่อโรคของต้นยางพารา *Phytophthora botryosa* Chee, *Rigidoporus microporus* และ *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. ความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ (normal Vero cell line) แบบมีส่วนร่วมของชุมชน

2.2 ถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกรกลุ่มปลูกยางพาราและหรือผลิตยางแผ่น

2.3 เพื่อศึกษาส่วนผสมของยาต้านเชื้อราในยางแผ่น

2.4 เพื่อศึกษาแนวทางในการผลิตยาต้านเชื้อราในระดับอุตสาหกรรม

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่จะได้รับและความคุ้มค่าของงานวิจัยมีดังนี้

3.1 ได้สาร Natural Schiff base และ Schiff base copper complexes ทั้งหมด 8 ตัว รวมทั้งทราบสมบัติทางเคมี เชิงฟิสิกส์ ฤทธิ์ในการต้านเชื้อราของยางแผ่น และฤทธิ์ต้านเชื้อราบางชนิดที่ก่อโรคของต้นยางพารา

3.2 ได้สารต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่นและต้นยางที่มีความจำเป็นเพราะเจาะจงต่อเชื้อโรค แต่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

3.3 ได้แนวทางการผลิตในระดับอุตสาหกรรมและแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อราให้กับเกษตรกรชาวสวนยางพาราทั้งในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และพื้นที่อื่นๆ ที่มีการระบาดของโรค

3.4 ได้สารกำจัดศัตรูพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ ที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ประมาณ 8 ตัว

3.5 ได้แนวทางการควบคุมศัตรูพืชแบบใหม่ โดยอาศัยความรู้ทางด้านนาโนเทคโนโลยี

3.6 ชุมชนได้รับและนำความรู้ด้านนาโนโลหะอินทรีย์ (nano natural organometallic control) ไปใช้ในการควบคุมศัตรูพืช ปลอดภัยที่เป็นพิษต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม

3.7 ได้รับความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารที่มี Impact factor 1 บทความ และหรือ จดสิทธิบัตร 1 เรื่อง

3.8 ผู้รับประโยชน์หรือผู้ที่นำผลการวิจัยไปใช้

3.8.1) กลุ่มเกษตรกรปลูกยางพาราและผลิดยางแผ่น อำเภอแคนดง จังหวัดบุรีรัมย์ และกลุ่มเกษตรกรอื่นๆ

3.8.2) กรมวิชาการเกษตร

3.8.3) มีนักวิจัยใหม่เพิ่มขึ้นจำนวน 3 ท่าน

3.8.4) เกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงานทางการศึกษากับชุมชน

3.8.5) เกษตรกรจะได้รับความรู้เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ซึ่งถือเป็นการพัฒนาคนแบบยั่งยืน

3.8.6) ได้แนวทางการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

4. ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีขอบเขตและผลที่ได้รับในระยะเวลาต่างๆ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้
ระยะที่ 1 (เดือนที่ 1-4)

4.1 ได้สารเคมีและอุปกรณ์การวิจัย

4.2 ได้อนุพันธ์ของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ Natural Schiff bases 4 ตัว

4.3 ได้ซึฟฟ์เบสคอปเปอร์คอมเพล็กซ์ (Natural Schiff base copper complexes)

4 ตัว

ระยะที่ 2 (เดือนที่ 5-8)

4.4 ได้ทราบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ของอนุพันธ์ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ Natural Schiff bases 4 ตัว และซึฟฟ์เบสคอปเปอร์คอมเพล็กซ์ 4 ตัว

4.5 ได้ทราบชนิดและขนาดของสารผลิตภัณฑ์หรือมอร์โฟโลยี (Morphology) ของสารในข้อ 4

4.6 ได้ทราบฤทธิ์ของสารในข้อ 4 ที่มีต่อเซลล์ปกติ (Vero cell line) หรือ Side effect ของสารทั้ง 8 ชนิด

4.7 ทดสอบคุณภาพของยางแผ่นหลังจากใช้สารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในการกำจัดเชื้อราก่อโรค ทดสอบความยืดหยุ่น สี plasticity และสมบัติอื่นๆ ของยางแผ่น

ระยะที่ 3 (เดือนที่ 9-12)

4.8 ได้ทราบฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านเชื้อรา *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Phytophthora botryosa* Chee, *Rigidoporus microporus* และ *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst.

4.9 ทราบคุณภาพของยางแผ่นหลังจากใช้สารต้านเชื้อราที่สังเคราะห์ได้

4.10 ประชุมตัวแทนเกษตรกรกลุ่มที่ปลูกยางพาราและผลิตยางแผ่น ถ่ายทอดเทคโนโลยีการเชื้อราและกำจัดเพลี้ยแป้งให้กับกลุ่มเกษตรกรเป้าหมาย (อำเภอแคนดง จังหวัดบุรีรัมย์)

4.11 ได้แนวทางการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

4.12 ได้รายงานฉบับสมบูรณ์ 1 ฉบับ

4.13 เตรียมต้นฉบับ (Manuscript preparation) เพื่อตีพิมพ์

4.14 เตรียมจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร

5. กรอบแนวคิดของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีทฤษฎีและสมมุติฐานในการนำมาเป็นกรอบแนวคิด คือ

ทฤษฎี: ผลกระทบธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ราก่อโรคพืช เพลี้ยแป้งและเพลี้ยกระโดด เมื่อมีโลหะอยู่ด้วยหรืออยู่ในรูปของ Organometallic agents จะทำให้สารเหล่านี้มีความจำเพาะเจาะจง (Selective action) สูง มีฤทธิ์ทางยาสูงขึ้น (Enhancement of activity) ใช้ในปริมาณที่น้อยลงก็ยังออกฤทธิ์ได้ดี (Lowering of therapeutic dosage) ไม่มีความเป็นพิษ (Lowering of subsequent toxicities) ละลายผ่านชั้นไขมันได้ดี (Increasing in liposolubility) จึงทำให้ยาเหล่านี้ซึมผ่านส่วนที่เป็นชั้นซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไขมันของเซลล์เชื้อโรคหรือศัตรูพืชได้ดี และที่สำคัญเมื่อใช้โลหะต่างชนิดกัน (Metal template) สารเหล่านี้ก็จะออกฤทธิ์ได้แตกต่างกันด้วย

สมมุติฐาน : สารที่เป็น natural Schiff base copper complexes น่าจะเป็นสารที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราในยางแผ่นได้ดีกว่า natural Schiff bases

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ฤทธิ์ทางชีวภาพของนาโนซิงค์เบสจากธรรมชาติในการต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่น แบบมีส่วนร่วมคณะผู้วิจัยขอเสนอแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยจัดลำดับเนื้อหาสาระสำคัญดังต่อไปนี้

- 2.1 นาโนเทคโนโลยี
- 2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน
- 2.3 การสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากอนุภาคนาโน
- 2.4 พันธุ์ยาง
- 2.5 การผลิต การใช้ และการส่งออกยางพาราของโลก
- 2.6 การผลิต การใช้ และการส่งออกยางพาราของไทย
- 2.7 พื้นที่ปลูกยางพารา
- 2.8 โรคและศัตรูยางพารา
- 2.9 การแปรรูปยางดิบ
- 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นาโนเทคโนโลยี

ปัจจุบันความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง การสื่อสารข้ามโลกอยู่เพียงแค่ปลายนิ้วการขนส่งสินค้าจำนวนมหาศาลข้ามทวีปเป็นเรื่องที่ดำเนินการเป็นกิจวัตร การส่งคนขึ้นไปสำรวจบนดวงจันทร์กลับเป็นเรื่องล้ำสมัย และโครงการสร้างอาณานิคมในอวกาศกำลังเริ่มเกิดขึ้นแทน องค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ ทางด้านเคมี และฟิสิกส์ ได้หลั่งไหลเข้ามาอย่างไม่ขาดสาย และก่อให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ ขึ้นจากทฤษฎีทางด้านควอนตัม และเปลี่ยนมุมมองเดิมๆ ที่เรามีต่อแสง สสาร และอนุภาค อย่างสิ้นเชิง (ศิริศักดิ์ เทพาคำ. 2551 : 4) การตระหนักและให้ความสำคัญถึงคุณภาพชีวิตเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของมนุษยชาติ จะเห็นได้จากเครื่องอำนวยความสะดวกและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีอยู่รอบตัวเรามากมาย คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประมวลผลจากข้อมูลที่มีจำนวนมหาศาล โทรศัพท์มือถือเพื่อส่งสัญญาณเสียง ตัวอักษรและภาพ เครื่องฟอกอากาศที่เคลือบอนุภาคเงินขนาดนาโนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ สารประทินผิวที่ทำให้ผิวขาวและลบริ้วรอยได้ดีขึ้น การพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ขั้นสูงเพื่อใช้ผลิตชิ้นงานต่างๆ แทนโลหะ เป็นต้น แต่สิ่งเหล่านี้บางอย่างยังไม่ตรงกับความต้องการหรือก่อให้เกิดมลพิษจากกระบวนการผลิต ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามเสาะแสวงหาทางเลือกต่างๆ และนาโนเทคโนโลยีนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในหลายๆ ประเทศเราสามารถนำนาโนเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมที่มีอยู่เดิม และสร้างอุตสาหกรรมสาขาใหม่ สร้างสินค้าตัวใหม่ ที่มีสมบัติเชิงนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน ไม่ว่าจะเป็นด้านสุขภาพ ความเป็นอยู่ สิ่งแวดล้อม พลังงาน ตลอดจนการจัดการกับข้อมูลดิจิทัล การโทรคมนาคม และความมั่นคงปลอดภัยของประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้ขนานนามนาโนเทคโนโลยีว่าเป็น “คลื่นลูกใหม่ของเทคโนโลยีแห่งการผลิตที่จะปฏิวัติอุตสาหกรรมในคริสต์ศตวรรษที่ 21” (วิวัฒน์ ตันตะพาณิชกุล. 2550 : 22)

2.1.1 คำจำกัดความของนาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับโครงสร้างที่หลากหลายของสสารที่มีมิติในสัดส่วนหนึ่งในพันล้านส่วน โดยใช้หน่วยความยาวเป็นเมตร คำว่า นาโน (Nano) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก ซึ่งหมายถึง แคร่หรือเล็ก หรือ หมายถึง หนึ่งส่วนพันล้านส่วน ($\frac{1}{1,000,000,000}$ หรือ 1×10^{-9}) โดยมีสัญลักษณ์เป็น nm ดังนั้น 1 นาโนเมตร (nm) จะเท่ากับหนึ่งส่วนพันล้านเมตร

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) หมายถึงศาสตร์ที่เกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในมิติที่มีขนาดเป็นหนึ่งส่วนพันล้านเมตร โดยมีสเกลอยู่ในช่วงประมาณ 1-100 นาโนเมตร สสารที่อยู่ในช่วงนี้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากคุณสมบัติขนาดใหญ่ที่เคยศึกษาอยู่แต่เดิม ดังนั้นนาโนเทคโนโลยีจึงเป็นการศึกษาสสารขนาดเล็กในระดับอะตอมและโมเลกุล

2.1.2 องค์ประกอบของนาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการการสร้าง การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือสิ่งต่างๆ ที่มีขนาดเล็กระหว่าง 1-100 nm นาโนเทคโนโลยีสามารถนำมาใช้จัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันอย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารต่างๆ มีสมบัติพิเศษทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ จึงมีประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งองค์ประกอบของนาโนเทคโนโลยีได้ดังนี้

- 1) ขนาดเล็กในระดับ 1 - 100 นาโนเมตร
- 2) มีหน้าที่ใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือมีสมบัติที่พิเศษขึ้น
- 3) ถูกต้อง แม่นยำ และควบคุมได้

คือสิ่งที่เรารู้ได้ว่าเป็นนาโนเทคโนโลยีจะต้องมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ประการ คือ ขนาดจะต้องอยู่ในช่วง 1 - 100 นาโนเมตร มีหน้าที่ใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือมีสมบัติพิเศษที่แตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากวัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจะมีสมบัติต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสงและสมบัติทางเคมี ดังตัวอย่างของทองคำ เมื่อมีขนาดในระดับนาโนจะมีสีแดง มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี

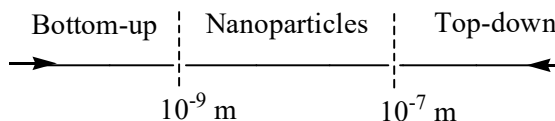
หรือเงินเมื่อมีขนาดในระดับนาโนจะมีสีเหลือง สีม่วง สีเทา มีสมบัติทางชีวภาพ เช่น ด้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดได้

2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน

เนื่องจากอนุภาคนาโนมีขนาดระหว่าง 1-100 นาโนเมตรหรือ 10^{-9} - 10^{-7} เมตร ดังนั้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนจึงสามารถสังเคราะห์ได้สองรูปแบบใหญ่ๆ คือ

ก. การเปลี่ยนขนาดอนุภาคจากใหญ่ที่ไม่ใช่ระดับนาโนสู่ระดับนาโน (Top-down approach) เป็นการสร้างวัตถุโดยใช้การตัดเฉือน หรือการทำเทคนิคใดๆ กับวัตถุขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงตามต้องการ เช่น การใช้นาโนลิโธกราฟี (Nanolithographic techniques) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับการสร้างชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์

ข. การเปลี่ยนขนาดที่เล็กกว่านาโนไปสู่นาโน (Bottom-up approach) เป็นการสร้างวัตถุจากอนุภาคขนาดเล็ก เช่น จากหลายๆ อะตอม หรือ หลายๆ โมเลกุล มารวมกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ บางครั้งเรียกเทคโนโลยีแบบนี้ว่า นาโนเทคโนโลยีเชิงโมเลกุล (Molecular nanotechnology) เช่น การรวมตัวโดยตัวเอง (Self-assembly) เป็นการรวมตัวของสสารด้วยพันธะเคมีของวัตถุที่มีโครงสร้างระดับนาโนจนเกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่นการรวมตัวของสารคอลลอยด์ เป็นต้น (ศรัญญา พรหมโคตร. 2551 : 3)

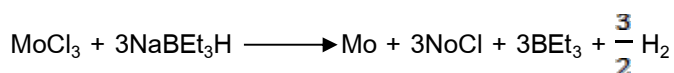


จากวิธีการสังเคราะห์ข้างต้นสามารถแบ่งย่อยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนอย่างจำเพาะลงไปได้อีกดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีทางเคมี (Chemical methods)

วิธีการสังเคราะห์ส่วนใหญ่ได้จากวิธีทางเคมีแทบทั้งสิ้นโดยมีวิธีที่หลากหลายในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะโดยส่วนใหญ่จะใช้ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ในการทำวัตถุนาโน เช่น NaBEt_3H และ NaBH_4 โดย Et คืออนุมูลเอทิล (Ethyl radical, C_2H_5) ตัวอย่างเช่น วัตถุนาโนของโมลิบดีนัม (Mo) จะถูกรีดิวซ์ในสารละลายโทลูอีน (Toluene) ด้วย NaBEt_3H ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ได้ผลผลิตของอนุภาคนาโนโมลิบดีนัมที่มีขนาด 1-5 นาโนเมตร

สมการการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นได้ดังนี้



วัตถุนาโนลูมิเนียมจะทำได้จากการแตกตัวของ $\text{Me}_2\text{EtNAIH}_3$ ในโทลูอีนและทำให้สารละลายนี้ร้อนที่ $105\text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเติม Titanium isopropoxide ลงในสารละลายไททาเนียมจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคนาโน เช่น วัตถุนาโนขนาด 80 นาโนเมตร จะเกิดจากไททาเนียม และสารลดแรงตึงผิว เช่น กรดโอเลอิก (Oleic acid) ที่เติมลงไปในการละลายจะช่วยเคลือบอนุภาคนาโนเหล่านี้ไม่ให้เกิดการรวมกลุ่มกัน (Aggregation)

2.2.2 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermolysis)

อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นโดยการแตกตัวของของแข็งที่อุณหภูมิสูงโดยมีแคโทดไอออนของโลหะและแอนไอออนโมเลกุลหรือสารประกอบอินทรีย์โลหะ กระบวนการนี้เรียกว่าการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermolysis) ตัวอย่างเช่น สารลิเทียมถูกสร้างมาจากการแตกตัวของลิเทียมเอไซด์ (Lithium azide, LiN_3) โดยสารตัวอย่างจะอยู่ในท่อควอตซ์ที่มีช่องเปิดถ่ายเทและให้ความร้อนจนถึง $400\text{ }^\circ\text{C}$ ที่อุณหภูมิ $370\text{ }^\circ\text{C}$ ลิเทียมเอไซด์จะแตกตัวแล้วให้แก๊สไนโตรเจนจะสังเกตเห็นได้จากความดันที่เพิ่มขึ้นบนอุปกรณ์ตรวจวัดสูญญากาศ อีกไม่กี่นาทีต่อมาความดันจะลดลงไปที่ค่าเริ่มต้น ซึ่งแสดงว่าแก๊สไนโตรเจนได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว คงเหลือไว้แต่อะตอมลิเทียมเกาะตัวกันเป็นโลหะคอลลอยด์ขนาดเล็ก วัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า $5\text{ }\mu\text{m}$ จะใช้วิธีนี้

ปัจจุบันสามารถตรวจวัดอนุภาคนาโนได้โดยวิธีเรโซแนนซ์พาราแมกเนติกอิเล็กตรอน (Electron paramagnetic resonance, EPR) โดยตรวจอิเล็กตรอนที่นำไฟฟ้าของวัตถุที่เป็นโลหะ วิธี EPR จะวัดพลังงานที่ดูดกลืนเมื่อมีรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟ จะเหนี่ยวนำการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะสปินที่เกิดการแบ่งโดยสนามแม่เหล็ก DC โดยทั่วไปแล้วคลื่นไมโครเวฟมีความสามารถในการทะลุทะลวงพื้นผิวโลหะได้น้อย จึงเป็นการยากที่จะสังเกต EPR ของอิเล็กตรอนที่นำไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามการสะสมตัวของวัตถุนาโนจะพบมากบนพื้นผิว และมีขนาดที่วัดได้จากความลึกที่เกิดการทะลุทะลวง ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการตรวจวัดอิเล็กตรอนการนำไฟฟ้า (Conducting electron) ด้วย EPR สัญญาณที่ได้จาก EPR จะค่อนข้างสมมาตร แต่ในกรณีของอิเล็กตรอนการนำไฟฟ้าจะมีผลการผ่อนคลาย (Relaxation effect) เข้ามาด้วยจึงทำให้ได้สัญญาณที่ไม่สมมาตร ซึ่งการไม่สมมาตรนี้จะสัมพันธ์กับมิติของวัตถุที่มีขนาดเล็ก ความไม่สมมาตรจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.2.3 วิธีเลเซอร์แบบกระแทก (Pulsed laser methods)

แสงเลเซอร์แบบกระแทกได้นำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน สารละลายเงินในเตรดและตัวรีดิทซ์จะไหลผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ผสมสาร (Blender-like device) ที่บริเวณนี้จะเกิดสารที่เป็นของแข็ง (Solid disk) ที่หมุนอยู่ สารละลายนี้จะถูกยิงด้วยแสงเลเซอร์แบบกระทบเป็นจังหวะทำให้เกิดจุดร้อนขึ้นบนผิวของสาร (Rotating disk substrate)

เงินในเตาและตัวรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยาที่จุดร้อน (Hot spot) ทำให้เกิดอนุภาคเงินขนาดเล็กแล้วถูกเหวี่ยงให้แยกออกจากสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ขนาดอนุภาคที่ได้จะขึ้นอยู่กับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ยิงและอัตราเร็วการหมุนของสาร วิธีนี้เหมาะกับอัตราเร็วในการผลิตประมาณ 2-3 กรัมต่อนาที

2.2.4 วิธีการตกสะสมตัวของเฟสแบบไอ

การตกสะสมตัวของเฟสแบบไอ (Vapor phase deposition) สามารถที่จะใช้ในการทำแผ่นฟิล์มบางแบบชั้นที่มีชั้นอัดตัวแน่น หรือท่อนาโน เส้นใยนาโนหรืออนุภาคที่มีขนาดนาโน โดยทั่วไปแล้วเทคนิคนี้สามารถจำแนกได้อย่างกว้างๆ ได้ 2 แบบ คือการตกเคลือบด้วยไอทางกายภาพ (Physical vapor deposition, PVD) และการตกเคลือบด้วยไอทางเคมี (Chemical vapor deposition, CVD)

PVD เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของวัตถุที่เป็นของแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ วัตถุนี้เมื่อเย็นตัวลงจะตกสะสมตัวอีกครั้งหนึ่งบนซับสเตรต (Substrate) ซึ่งบางครั้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงใหม่ของตัววัตถุนั้น เช่น เกิดปฏิกิริยากับแก๊ส ตัวอย่างของกระบวนการแบบ PVD ครอบคลุมถึงการกลายเป็นไอโดยความร้อน (Thermal evaporation) เช่น ลำอิเล็กตรอนที่ทำให้ร้อนหรือการสังเคราะห์โดยใช้ไฟเผาให้ร้อน การระเหยโดยแสงเลเซอร์ (Laser ablation) หรือการตกสะสมตัวแบบเลเซอร์กระแทก (Pulsed laser ablation) โดยการกระแทกจะเกิดขึ้นในช่วงสั้นระดับนาโนวินาทีจากเลเซอร์ซึ่งมีเป้าหมายตรงไปยังพื้นผิวของวัตถุการกัดกร่อนโดยการเกิดประกายไฟ (Spark erosion) และการพ่นออก ซึ่งเป็น การเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมายโดยการระดมยิงด้วยอะตอมหรือไอออน

การตกเคลือบด้วยไอทางเคมี (CVD) เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาหรือการแตกสลายด้วยความร้อนของแก๊สที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิ 500-1,000 °C) และมีการตกสะสมตัวบนซับสเตรต ตัวอย่างแบบง่ายก็คือ การแยกสลายด้วยความร้อนของละอองลอย (Aerosol) โดยจะเกี่ยวข้องกับเกล็ดของโลหะในน้ำซึ่งจะทำให้เกิดการพ่นเป็นไอหมอกขนาดเล็ก เมื่อแห้งตัวลงจะผ่านไปสู่อุณหภูมิที่ร้อน การแยกสลายด้วยความร้อนนี้จะเปลี่ยนเกล็ดของโลหะไปเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเมื่อวัสดุผสมกันในสารละลายของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวที่ระดับอะตอม

การสลายตัวด้วยความร้อนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและได้อนุภาคที่มีขนาด 5-500 นาโนเมตร กระบวนการ CVD โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่แน่นอน เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวขนาดนาโนจะทำให้เกิดผลต่อแผ่นแบบ (Template) ตัวอย่างเช่น การผลิตท่อนาโนคาร์บอนจะใช้การแตกตัวของ Ethane ด้วยไฮโดเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่บนแผ่นแบบ ได้แก่ เหล็ก โคบอล หรือนิกเกิล ขนาดและการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาอาจกำหนดได้โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อนาโน (ศรัญญา พรหมโคตร. 2551 : 138-143)

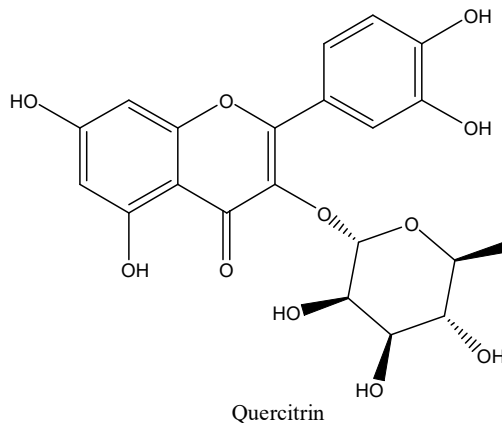
2.3 การสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากอนุภาคนาโน

จะได้ให้รายละเอียดโดยยกตัวอย่างงานวิจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้

Leonard *et al.* (Leonard *et al.* 2011 : 391-396) ได้สังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนด้วยตัวรีดิวซ์จากสารสกัดของโสมเกาหลี่ (Ginseng) เทียบกับ NaBH_4 พบว่าอนุภาคทองคำนาโนที่ได้มีขนาดแตกต่างกัน โดยถ้าใช้ตัวรีดิวซ์ที่แรง เช่น NaBH_4 จะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า การใช้สาร Ginseng นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคทองคำที่ได้จากการรีดิวซ์ด้วย Ginseng มีความเสถียรสูง ค่า Plasmon resonance band ยังปรากฏที่ 535 nm และไม่ตกตะกอน

Mu *et al.* (Mu, Bin *et al.* 2011 : 385-390) ได้สังเคราะห์ polyelectrolyte multilayer microcapsules ระหว่างโคโตซานกับออกซิไดส์ โซเดียมแอลกิเนต (OSA) พบว่าแคปซูลที่ได้มีความเสถียรที่ pH ต่ำ แต่เมื่อ pH สูง โครงสร้างนี้ก็จะถูกทำลายไป

Kumari *et al.* (Kumari, Avnesh *et al.* 2011 : 224-232) ได้ศึกษาสมบัติของเคอร์ซีทริน (Quercitrin) ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ โดยการบรรจุลงในแคปซูลระดับนาโน (nanoencapsulation)



ผลพบว่า สมบัติต่างๆ ของสารดังกล่าวนี้ดีขึ้น เช่น การต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการละลาย (Solubility) การซึมผ่าน (Permeability) และความเสถียร (Stability)

Das, Manash R. *et al.* (2011 : 16-22) ได้สังเคราะห์เงินนาโนในสารละลายที่มีแผ่นแกรฟีนออกไซด์ และศึกษาการต้านแบคทีเรีย ผลพบว่า ขนาดและรูปร่างของอนุภาคเงินนาโนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย AgNO_3 ส่วนการต้านแบคทีเรีย พบว่าอนุภาคเงินนาโนต้านแบคทีเรีย *E. coli* และ *P. aeruginosa* ทั้งในอาหาร Broth และ Agar plate สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ของอนุภาคเงินนาโน คือเข้าขัดขวางการทำงานของ DNA (DNA loses its replication activity) นอกจากนี้อนุภาคเงินนาโนยังเข้ารบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกระบวนการหายใจ (Respiratory enzymes) โดยเข้าไปสร้างพันธะกับหมู่ไทออล (Thiol group) (Rai, M. *et al.* 2009 : 76-83) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species, ROS) โดย

อนุภาคของเงินจะเข้าไปรบกวนทั้ง Cell wall, Cell membrane และเอนไซม์ดังกล่าว จึงส่งผลให้เซลล์ตายไปในที่สุด

He, Lili, *et al.* (2011) ได้แสดงให้เห็นว่า ZnO nanoparticles ที่มีขนาดอนุภาค 70 ± 15 nm สามารถต้านเชื้อราที่เกิดกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิด คือ *Botrytis cinerea* และ *Penicillium expansum* ได้ดี และนอกจากนี้ยังพบว่า ZnO nanoparticles มีสมบัติในการออกฤทธิ์เป็นแบบ Concentration dependence (คือ ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นฤทธิ์การต้านเชื้อราเพิ่มขึ้น) อีกด้วย โดยกลไกการออกฤทธิ์ของ ZnO คือสามารถช่วยให้เกิดการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่บริเวณผิวหน้าของ ZnO ที่ได้รับแสง จะเกิด Electron hole pairs (e^-h^+) แล้วรูนี้ก็จะปลดปล่อยน้ำออกมา จากนั้นโมเลกุลของน้ำจะแตกตัวเป็น OH^- และ H^+ แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนต่อไปได้ H_2O_2 จากนั้น H_2O_2 นี้จะเข้าสู่ Cell membrane และทำให้เชื้อราตายในที่สุด

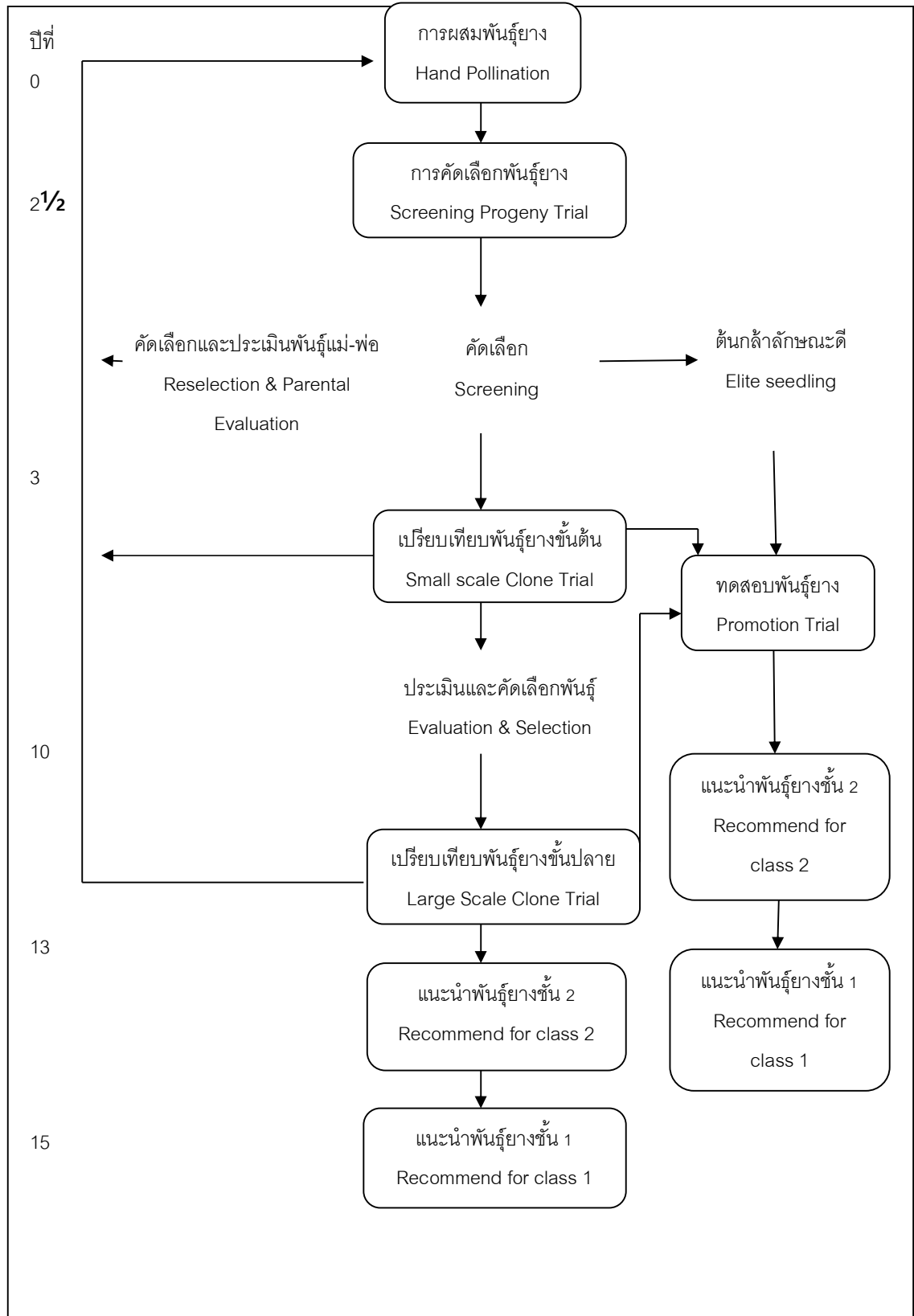
จากข้อมูลข้างต้นนี้จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติมีฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างกว้างขวาง ทั้งการต้านมะเร็ง ต้านแบคทีเรีย ต้านเชื้อราที่ก่อโรคในมนุษย์ สัตว์ และพืชเศรษฐกิจ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติทั้งหลายยังสามารถนำมาเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะต่างๆ เช่น เงิน และ ทองคำ เป็นต้น และนักวิจัยยังได้นำอนุภาคนาโนเหล่านี้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.4 พันธุ์ยาง

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2553 : 36-39) ได้ตระหนักและให้ความสำคัญของการปรับปรุงพันธุ์ยางมาโดยตลอด ดำเนินงานผสมพันธุ์ สร้างพันธุ์ยางลูกผสมของไทย รวบรวมพันธุ์ยางจากแหล่งปลูกต่างๆ และแลกเปลี่ยนพันธุ์ยางระหว่างประเทศ นำมาใช้แผนการปรับปรุงพันธุ์ยางที่เป็นมาตรฐานสากลที่ต้องใช้ระยะเวลาปรับปรุงพันธุ์นานถึง 30 ปี (แผนภูมิที่ 1) พันธุ์ยางที่ผ่านการคัดเลือก จะนำมาจัดทำคำแนะนำพันธุ์ยางทุก 4 ปี โดยพิจารณาจากพันธุ์ยางใหม่ที่ได้รับจากผลงานวิจัยปรับปรุงพันธุ์ยาง สภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกยาง และการตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกร จากเดิมที่แนะนำพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางเป็นหลักตั้งแต่ปี 2504 มาเป็นการปลูกยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง และ/หรือเนื้อไม้ ดังนั้น ในคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2546 สถาบันวิจัยยางจึงได้แนะนำพันธุ์ยางเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยาง กลุ่ม 2 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ และ กลุ่ม 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกร

การวิจัยปรับปรุงพันธุ์ยางของกรมวิชาการเกษตร จำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้พันธุ์ยางใหม่ ประกอบกับการขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งใหม่ทางภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกรวมทั้งภาคกลางบางจังหวัด ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้ขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งใหม่มากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องแนะนำพันธุ์ยางให้เหมาะสม

กับพื้นที่ ดังนั้นคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2550 สถาบันวิจัยยางจึงได้คัดเลือกพันธุ์ยางแนะนำให้เหมาะสมตามพื้นที่ปลูกยางเดิมทางภาคใต้และภาคตะวันออก และพื้นที่ปลูกยางใหม่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกรวมทั้งบางจังหวัดของภาคกลาง และยังคงแนะนำพันธุ์ยางเป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ และพันธุ์ยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้ โดยกลุ่มพันธุ์ยางชั้น 1 แนะนำเกษตรกรปลูกได้โดยไม่จำกัดเนื้อที่ปลูก และได้เพิ่มการแนะนำพันธุ์ยางใหม่ของไทยในกลุ่มพันธุ์ยางชั้น 2 ที่ยังต้องศึกษาการปรับตัวในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยพันธุ์ยางแต่ละพันธุ์มีลักษณะเด่นในเรื่องผลผลิต ความต้านทานโรค และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกษตรกรพิจารณาเลือกปลูกได้ตามความเหมาะสมของแหล่งปลูกยาง และวัตถุประสงค์ต่อไป



แผนภูมิที่ 2.1 การปรับปรุงพันธุ์ยาง

2.4.1 พันธุ์ยางแนะนำ

กลุ่ม 1 : พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง

พันธุ์ยางชั้น 1	สถาบันวิจัยยาง 251 BPM 24	สถาบันวิจัยยาง 226 RRIM 600	
พันธุ์ยางชั้น 2	สถาบันวิจัยยาง 209 สถาบันวิจัยยาง 225 สถาบันวิจัยยาง 405 สถาบันวิจัยยาง 411 Haiken 2 RRIC 100*	สถาบันวิจัยยาง 214* สถาบันวิจัยยาง 250 สถาบันวิจัยยาง 406 สถาบันวิจัยยาง 416 PR 302* RRIC 101	สถาบันวิจัยยาง 218* สถาบันวิจัยยาง 319 สถาบันวิจัยยาง 410 PR 305

กลุ่ม 2 : พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้

พันธุ์ยางชั้น 1	PB 235 RRIC 110	PB 255*	PB 26*
พันธุ์ยางชั้น 2	สถาบันวิจัยยาง 312 สถาบันวิจัยยาง 404 สถาบันวิจัยยาง 409 RRIC 121	สถาบันวิจัยยาง 325 สถาบันวิจัยยาง 407 สถาบันวิจัยยาง 412	สถาบันวิจัยยาง 403 สถาบันวิจัยยาง 408 สถาบันวิจัยยาง 413

กลุ่ม 3 : พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้

พันธุ์ยางชั้น 1	ฉะเชิงเทรา 50	AVROS 2037	BPM 1
พันธุ์ยางชั้น 2	สถาบันวิจัยยาง 401 RRII 118	สถาบันวิจัยยาง 414 RRII 203	สถาบันวิจัยยาง 415

*ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ปลูกยางใหม่

พันธุ์ยางชั้น 1 เป็นพันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูกโดยไม่จำกัดเนื้อที่ปลูก พันธุ์ยางแต่ละพันธุ์ในชั้นนี้ผ่านการทดลองและศึกษาลักษณะต่างๆอย่างละเอียด

พันธุ์ยางชั้น 2 เป็นพันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูกโดยจำกัดเนื้อที่ปลูก โดยปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของเนื้อที่ปลูกยางที่ถือครอง แต่ละพันธุ์ควรปลูกไม่น้อยกว่า 7 ไร่ พันธุ์ยางแต่ละพันธุ์ในชั้นนี้ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาลักษณะบางประการเพิ่มเติม

2.4.2 การเลือกพันธุ์ยาง

การให้ผลผลิตน้ำยาง และหรือเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ พันธุ์ยาง ความเหมาะสมของพื้นที่และการจัดการสวนยาง จากการศึกษารายชื่อวัสดุสภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณและการกระจายตัวของฝน อุณหภูมิความแรงของลม และการระบาดของโรคที่มีความสำคัญต่อการปลูกยาง เป็นปัจจัยสำคัญที่นำมาประกอบการพิจารณาการเลือกพันธุ์ยาง ปลูก และผลผลิตของพันธุ์ยางชั้น 1 ที่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ปลูกยางเดิม และพื้นที่ปลูกยางใหม่

2.5 การผลิต การใช้และการส่งออกยางของโลก

ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ มีการดำเนินการดังนี้ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ เกษตร. 2553 : 3-12)

ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกันในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เพื่อประโยชน์ด้านคุณภาพสินค้า และสามารถใช้แทนกันได้หลายกรณี สภาพการแข่งขัน การผลิตยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติแตกต่างกันที่การผลิตยางสังเคราะห์เป็นการผลิตจาก โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงสามารถควบคุมภาพ และปริมาณการผลิตตาม ความต้องการได้ แต่มีผลเสียจากกระบวนการผลิตที่มีการปลดปล่อยมลพิษสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง หรือภาวะโลกร้อนผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์ยังย่อยสลายได้ช้ากว่าผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ รวมทั้งโอกาสในการนำกลับมาใช้ ใหม่ของผลิตภัณฑ์ยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ยังน้อยกว่ายางธรรมชาติ โดยทั่วไปการใช้ยางสังเคราะห์ในแต่ละปีมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณการผลิต และส่วนใหญ่เป็นการใช้ในประเทศ ผู้ผลิตเพื่อป้อนโรงงานอุตสาหกรรมของตนเองเพื่อเป็นหลักประกันมิให้เกิดการขาดแคลนยาง เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น รัสเซีย เกาหลีใต้ ส่วนผลผลิตที่เกินความต้องการจะส่งออกไปยัง ประเทศอื่นๆ นอกจากนี้ยางสังเคราะห์ยังมีการวางแผนการผลิตที่แน่นอน มีการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า ทำให้ปริมาณการผลิต และการใช้ยางสังเคราะห์มีความสมดุลมากกว่ายางธรรมชาติ ขณะที่การผลิตยางธรรมชาติเป็นการผลิตใช้เชิงเกษตรกรรม สามารถปลูกทดแทนได้ อย่างต่อเนื่อง แตกต่างจากยางสังเคราะห์ที่ปริมาณมีแนวโน้มลดลงในระยะยาวตามปริมาณ น้ำมันดิบซึ่งเป็นทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไป หรือใช้เวลานานมากในการสร้างขึ้นใหม่ ประกอบกับกระบวนการผลิตยางพาราใช้สารเคมีค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจ ชนิดอื่น รวมทั้งในกระบวนการผลิตยางธรรมชาติใช้พลังงานน้อยกว่าผลิตยางสังเคราะห์เกือบทุก ทางด้านสภาพแวดล้อม โดยต้นยางพาราสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ช่วยสร้างความชุ่มชื้น และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ เศษซากใบ และเศษ ไม้ยางพารายังเป็นแร่ธาตุหมุนเวียนในพื้นที่ และการปลูกยางพาราจะช่วยลดปัญหาการพังทลาย ของดินในสภาพพื้นที่ที่มีความลาดเอียง และลาดชันที่ปลูกยางแบบขั้นบันได

2.5.1 การผลิต และการใช้ยางของโลก

ปี 2552 ปริมาณการผลิตยางของโลกมีจำนวนทั้งสิ้น 21.770 ล้านตัน เป็นยางธรรมชาติ 9.602 ล้านตัน และยางสังเคราะห์ 12.168 ล้านตัน ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ ปี 2548 และลดลงในปี 2551 – 2552 เนื่องจากได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน และฝนตกชุกในแหล่งปลูกยางของประเทศผู้ผลิตยางหลัก เช่นเดียวกับปริมาณการผลิตยางสังเคราะห์ที่ลดลงจากการปรับตัวสูงขึ้นของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ส่วนการใช้ยางของโลกมีปริมาณทั้งสิ้น 21.425 ล้านตัน เป็นยางธรรมชาติ 9.547 ล้านตันและยางสังเคราะห์ 11.878 ล้านตัน การใช้ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2548 และลดลงในปี 2551-2552 จากผลกระทบวิกฤตเศรษฐกิจโลกนับตั้งแต่ไตรมาสสุดท้ายของปี 2551 ส่งผลต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ก่อนจะฟื้นตัวในไตรมาสสุดท้ายของปี 2552

2.5.2 สัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ของโลก

ในรอบ 15 ปีที่ผ่านมา สัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 38.8 ในปี 2537 มาเป็นร้อยละ 39.2, 41.3, 43.3 และ 44.6 ในปี 2540, 2544, 2549 และ 2552 ตามลำดับ ขณะที่สัดส่วนการใช้ยางสังเคราะห์ลดลงจากร้อยละ 61.2 ในปี 2537 มาเป็นร้อยละ 60.8, 58.7, 56.7 และ 55.4 ในปี 2540, 2544, 2549 และ 2552 ตามลำดับเห็นได้ว่าปริมาณและสัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมยาง

2.5.3 การผลิต การใช้ และการส่งออกยางสังเคราะห์

2.5.3.1 การผลิตยางสังเคราะห์

ประเทศผู้ผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นประเทศอุตสาหกรรม มีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี 2548 – 2552 ปริมาณการผลิตยางสังเคราะห์ของโลกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า ปี 2552 จีนเป็นประเทศที่ผลิตยางสังเคราะห์มากที่สุดจำนวน 2.856 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 23.47 ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และรัสเซีย คิดเป็นร้อยละ 16.15, 10.39, 9.44 และ 8.56 ตามลำดับ โดยจีนได้พัฒนาเป็นประเทศผู้ผลิตยางสังเคราะห์รายใหญ่ของโลกแทนสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี 2551 เช่นเดียวกับเกาหลีใต้ที่มีการผลิตมากเป็น ลำดับที่ 4 แทนรัสเซีย ขณะที่สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และรัสเซีย ได้ปรับลดการผลิตจากปี 2551 ถึงร้อยละ 17.54, 23.44 และ 8.52 ตามลำดับ

2.5.3.2 การใช้ยางสังเคราะห์

ประเทศผู้ใช้อย่างสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นประเทศอุตสาหกรรม และเป็นกลุ่มเดียวกับประเทศผู้ผลิตในรอบ 5 ปี โดยตั้งแต่ปี 2548 – 2552 ปริมาณการใช้ยางสังเคราะห์ของโลกไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับปริมาณผลิต เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า ปี 2552 จีนเป็นประเทศที่ใช้อย่างสังเคราะห์มากที่สุด จำนวน 4.266 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 35.92 รองลงมา คือ

สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมนี และรัสเซีย คิดเป็นร้อยละ 12.19, 7.02, 3.79 และ 3.75 ตามลำดับ ทั้งนี้จีนนับเป็นประเทศที่มีอัตราการขยายตัวของการใช้ยางสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2548 ถึงปัจจุบัน ตรงข้ามกับประเทศผู้ใช้ยางสังเคราะห์อื่นๆ ที่มีอัตราการขยายตัวลดลง

2.5.3.3 การส่งออกยางสังเคราะห์

การส่งออกยางสังเคราะห์ตั้งแต่ปี 2548 – 2552 มีอัตราการขยายตัวที่ลดลง เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า เกาหลีใต้เป็นประเทศที่มีอัตราการขยายตัวมากที่สุด และต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2548 ถึงปัจจุบัน โดยปี 2552 มีการส่งออกมากที่สุดจำนวน 1.005 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 14.56 ของปริมาณส่งออกทั้งหมด รองลงมา คือ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น รัสเซีย และเยอรมนี คิดเป็นร้อยละ 14.14, 9.33, 9.20 และ 8.96 ตามลำดับ

2.5.4 การผลิต การใช้ และการส่งออกยางธรรมชาติ

2.5.4.1 การผลิตยางธรรมชาติ

ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกในรอบ 5 ปี ตั้งแต่ปี 2548 – 2552 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.83 ต่อปีแต่เป็นการขยายตัวในทิศทางที่ลดลงจากร้อยละ 11.02 ในปี 2548 มาเป็นร้อยละ 2.35 ในปี 2551 และมีอัตราการผลิตที่ลดลงในปี 2552 ร้อยละ 4.28 กล่าวคือ ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกลดลงจาก 10.031 ล้านตันในปี 2551 มาเป็น 9.602 ล้านตันในปี 2552 โดยประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีปริมาณการผลิต คิดเป็นร้อยละ 67.72 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ประกอบด้วยไทยร้อยละ 32.69 อินโดนีเซียร้อยละ 26.19 และมาเลเซียร้อยละ 8.84 ดังนั้น การเพิ่มหรือลดปริมาณการผลิตของประเทศผู้ผลิตหลักย่อมมีผลกระทบต่อราคายางในตลาดโลก ซึ่งไทย และอินโดนีเซียยังมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต โดยการขยายพื้นที่ปลูกใหม่เช่นเดียวกับเวียดนามที่มีอัตราการขยายตัวของการผลิตค่อนข้างสูง

2.5.4.2 การใช้ยางธรรมชาติ

ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของโลกในรอบ 5 ปีตั้งแต่ปี 2548 – 2552 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.02 ต่อปี โดยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นในปี 2548 – 2550 และลดลงในปี 2551 – 2552 กล่าวคือมีปริมาณการใช้ยางจำนวน 10.154 ล้านตัน ในปี 2551 มาเป็น 9.586 ล้านตันในปี 2552 หรือ ลดลงร้อยละ 5.59 เมื่อพิจารณารายประเทศ เห็นได้ว่าจีนเป็นประเทศผู้ใช้มากที่สุดในโลก โดยปี 2552 มีปริมาณการใช้ 3.669 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 38.27 ของปริมาณการใช้ยางทั้งโลก รองลงมาคือ อินเดีย สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น คิดเป็นร้อยละ 9.43, 7.17 และ 6.65 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ยาง ปี 2551 สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นมีการใช้ยางลดลง ขณะที่จีนและอินเดียมีการใช้ยางเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ จีนมีอัตราการใช้ยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่เป็นสมาชิกองค์การการค้าโลก และมีบทบาททางการค้านับตั้งแต่ปี 2545 เช่นเดียวกับอินโดนีเซียที่มีอัตราการขยายตัวของการใช้ยางเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก ผู้ผลิตยางยานพาหนะเข้าไปตั้งฐานการผลิตในประเทศ ซึ่งมีวัตถุดิบราคาถูก

2.5.4.3 การส่งออกยางธรรมชาติ

ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลกในรอบ 5 ปี ตั้งแต่ปี 2548 – 2552 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 0.48 ต่อปี โดยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นในปี 2548 – 2549 และลดลงในปี 2550 – 2552 กล่าวคือ มีปริมาณการส่งออกยาง จำนวน 7.277 ล้านตันในปี 2551 มาเป็น 6.882 ล้านตันในปี 2552 หรือลดลงร้อยละ 5.43 เมื่อพิจารณารายประเทศ เห็นได้ว่า ประเทศผู้ส่งออกยางเป็นประเทศผู้ผลิตยางหลักประกอบด้วย ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม มีปริมาณการส่งออกยางรวมร้อยละ 89.54 ของ ปริมาณส่งออกยางทั้งหมดของโลก โดยปี 2552 ไทยส่งออกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 39.61 รองลงมา คือ อินโดนีเซีย เวียดนาม และมาเลเซีย ร้อยละ 29.08, 10.62 และร้อยละ 10.23 ตามลำดับ

2.6 การผลิต การใช้และการส่งออกยางพาราของไทย

2.6.1 การผลิต

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ. 2553 : 13-18) ศักยภาพการผลิตยางของไทยระหว่างปี 2548 – 2552 มีปริมาณการผลิตยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 2,937,158 ตันเมื่อปี 2548 เป็น 3,164,379 ตัน เมื่อปี 2552 หรือ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 7.73 เมื่อพิจารณาชนิดของยางที่ผลิตได้ พบว่า ส่วนใหญ่เป็นยางแท่งเอสทีอาร์ รองลงมาเป็นยางแผ่นรมควัน และน้ำยางข้น

2.6.2 การใช้

การใช้ยางธรรมชาติในประเทศของไทยปี 2552 มีจำนวน 399,415 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2548 ซึ่งมีปริมาณการใช้ 334,649 ตัน ร้อยละ 19.35 เมื่อพิจารณาชนิดของยางที่ใช้ในประเทศปี 2552 พบว่า ส่วนใหญ่ เป็นยางแผ่น รมควัน รองลงมาเป็นยางแท่งเอสทีอาร์ น้ำยางข้น และยางแผ่นผึ่งแห้ง โดยอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ยานพาหนะ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุด รองลงมา เป็นอุตสาหกรรมผลิตยางยืด ถูมือยาง ยางรัดของ และยางรถจักรยานยนต์ สำหรับ สัดส่วนปริมาณการใช้ยางธรรมชาติต่อปริมาณการผลิตยางของประเทศเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11.39 เมื่อปี 2548 เป็นร้อยละ 12.62 เมื่อปี 2552

2.6.3 การส่งออก

นอกจากผลิตยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกแล้ว ประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลกด้วย ปริมาณการส่งออกยางของไทยเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ในปี 2552 ปริมาณการส่งออกยางของไทยมีทั้งสิ้น 2,726,193 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2548 ที่มีปริมาณส่งออก 2,632,398 ตัน หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.56 ไทยมีสัดส่วนการส่งออกยาง ร้อยละ 39.61 ของการส่งออกยางทั้งหมดของโลก ส่วนใหญ่ส่งออกไป ยังตลาดหลัก ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ สำหรับชนิดของยางที่ส่งออกนั้น ในปี 2552 ไทย

ส่งออกยางแท่งร้อยละ 34.87 ยางแผ่นรมควันร้อยละ 25.48 น้ำยางข้นร้อยละ 21.85 ยางผสมร้อยละ 15.31 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2548 ที่มีการส่งออกเพียงร้อยละ 1.39 ที่เหลือส่งออกยางแผ่น ผึ่งแห้ง ยางสกิม ยางเครพ ยางแผ่นดิบ และยางอื่นๆ และปริมาณยางที่ส่งออกกว่าครึ่งหนึ่ง ส่งออกผ่านจังหวัดสงขลา ณ ท่าเรือสงขลา ท่าอากาศยานหาดใหญ่ และด่านสะเดา

2.7 พื้นที่ปลูกยางพารา

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553 : 29-33) พื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดของโลกมีประมาณ 69.91 ล้านไร่ ส่วนใหญ่หรือร้อยละ 76.67 เป็นพื้นที่ปลูกที่อยู่ในประเทศกลุ่มอาเซียน สภาพสวนยางส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก ใช้แรงงานในครัวเรือนเป็นหลัก โดยอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดจำนวน 21.47 ล้านไร่ รองลงมาไทย 16.89 ล้านไร่ และ มาเลเซีย 7.73 ล้านไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของประเทศอื่นๆ ทั้งนี้ประเทศในกลุ่มอาเซียนยังมี ศักยภาพในการขยายพื้นที่ได้อีกเนื่องจากมีสภาพพื้นที่ที่เหมาะสม โดยเฉพาะอินโดนีเซียและไทยยังมีพื้นที่ว่างและพื้นที่ปลูกพืชอื่นที่สามารถปรับเปลี่ยนไปปลูกยางได้รวมทั้งยังมีแรงงานในชนบทอยู่จำนวนมากเพียงพอต่อการผลิต เช่นเดียวกับเวียดนาม กัมพูชา พม่า และลาวที่มีการส่งเสริมปลูกยางในประเทศ และให้นักลงทุนต่างชาติเข้าไปลงทุนปลูกยาง

เมื่อพิจารณาจากการขยายตัวของประชากร และเศรษฐกิจโลก คาดว่าพื้นที่ปลูกยางของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกเพื่อรับรองความต้องการผลิตภัณฑ์ยางของผู้บริโภค โดยแหล่งผลิตยางที่สำคัญจะยังอยู่ในประเทศแถบอาเซียน นอกจากนี้การเคลื่อนไหวของราคายาง และนโยบายของแต่ละประเทศก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่ม หรือลดพื้นที่ปลูกยางเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ปลูกยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	พื้นที่ปลูก (ไร่)	พื้นที่กรีด (ไร่)	ผลผลิต (กก./ไร่/ปี)
1. อินโดนีเซีย	21,468,750	17,312,500	150
2. ไทย	16,889,686	11,773,064	278
3. มาเลเซีย	7,731,250	6,243,750	232
4. จีน	5,825,000	3,250,000	168
5. อินเดีย	4,250,000	2,912,500	280
6. เวียดนาม	4,213,750	2,635,000	275
7. พม่า	1,843,750	769,375	na
8. ไนจีเรีย	1,081,250	375,000	115
9. โกตดิวัวร์	1,012,500	825,00	249
10. บราซิล	994,375	585,000	144
11. ศรีลังกา	775,00	606,250	220
12. ฟิลิปปินส์	770,625	na	na
13. ไลบีเรีย	680,625	na	na
14. กัมพูชา	678,125	214,375	na
15. กัวเตมาลา	537,500	298,125	260
16. แคนเมอรูน	252,500	228,125	256
17. บังกลาเทศ	231,250	121,875	131
18. คองโก	218,750	na	na
19. ปาปัวนิวกินี	153,125	na	na
20. กานา	105,625	na	na
21. กาบอง	81,250	na	na
22. เม็กซิโก	70,000	-	-
23. กินี	37,500	na	na
24. สหภาพแอฟริกา	6,300	na	na
รวม	69,908,486	0	0

หมายเหตุ: na = not applicable (ไม่มีข้อมูล)

ที่มา : ปรับปรุงข้อมูลจาก IRSG (2010) และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2553)

2.7.1 พื้นที่ปลูกยางของไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งสิ้น 16,889,686 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2549 ซึ่งมีพื้นที่ 14,338,046 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.11 โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 11,339,658 ไร่ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2,845,542 ไร่ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง 2,103,908 ไร่ และภาคเหนือ 600,578 ไร่ รวมทั้งสิ้น 64 จังหวัด จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1,871,907 ไร่ โดยในจำนวนพื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศ เป็นพื้นที่ที่ยางมีอายุมากกว่า 6 ปี 11,773,064 ไร่ ในจำนวนนี้ร้อยละ 80.81 อยู่ในภาคใต้

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ปลูกยางของไทยรายจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่ปลูกยาง (ไร่)	
	พื้นที่ปลูก มากกว่า 6 ปี	พื้นที่ยางอายุ
1. สุราษฎร์ธานี	1,871,907	1,674,267
2. นครศรีธรรมราช	1,447,643	1,136,190
3. สงขลา	1,444,302	1,222,119
4. ตรัง	1,310,188	1,109,178
5. ยะลา	1,046,872	892,493
6. นราธิวาส	1,005,871	896,029
7. พังงา	757,025	541,437
8. กระบี่	625,231	516,498
9. พัทลุง	538,477	470,200
10. ชุมพร	464,622	391,891
11. ปัตตานี	295,185	255,358
12. สตูล	290,019	223,432
13. ระนอง	150,529	100,667
14. ภูเก็ต	91,787	87,417
รวมภาคใต้	11,339,658	9,514,176

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ปลูกยางของไทยรายจังหวัด (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ปลูกยาง (ไร่)	
	พื้นที่ปลูก มากกว่า 6 ปี	พื้นที่ยางอายุ
15. ระยอง	716,371	547,252
16. จันทบุรี	463,799	314,768
17. ตราด	287,783	231,248
15. ระยอง	716,371	547,252
16. จันทบุรี	463,799	314,768
17. ตราด	287,783	231,248
18. ชลบุรี	185,757	141,621
19. ประจวบคีรีขันธ์	182,399	88,721
20. ฉะเชิงเทรา	116,896	75,287
21. กาญจนบุรี	97,206	33,776
22. สระแก้ว	18,511	16,391
23. ราชบุรี	14,077	1,635
24. ปราจีนบุรี	11,539	3,885
25. เพชรบุรี	7,300	202
26. สุพรรณบุรี	1,200	20
27. สระบุรี	678	170
28. ลพบุรี	392	40
รวมภาคตะวันออกเฉียงและภาคกลาง	2,103,908	1,455,016

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ปลูกยางของไทยรายจังหวัด (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ปลูกยาง (ไร่)	
	พื้นที่ปลูก มากกว่า 6 ปี	พื้นที่ยางอายุ
29. หนองคาย	637,824	300,671
30. เลย	382,497	39,375
31. อุดรธานี	295,000	52,000
32. อุบลราชธานี	214,856	54,144
33. บุรีรัมย์	178,331	75,956
34. ศรีสะเกษ	176,096	49,162
29. หนองคาย	637,824	300,671
30. เลย	382,497	39,375
31. อุดรธานี	295,000	52,000
32. อุบลราชธานี	214,856	54,144
33. บุรีรัมย์	178,331	75,956
34. ศรีสะเกษ	176,096	49,162
35. สกลนคร	171,665	40,285
36. นครพนม	140,517	41,544
37. กาฬสินธุ์	137,398	19,383
38. มุกดาหาร	110,000	25,633
39. หนองบัวลำภู	94,288	7,762
40. สุรินทร์	90,686	32,578
41. ยโสธร	49,657	14,969
42. อำนาจเจริญ	42,418	4,635
43. ขอนแก่น	38,507	8,336
44. ชัยภูมิ	31,431	7,012
45. นครราชสีมา	25,833	4,978
46. ร้อยเอ็ด	24,657	8,082
47. มหาสารคาม	3,881	2,071
รวมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,845,542	789,031

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ปลูกยางของไทยรายจังหวัด (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ปลูกยาง (ไร่)	
	พื้นที่ปลูก มากกว่า 6 ปี	พื้นที่ยางอายุ
48. พิษณุโลก	145,328	2,675
49. เชียงราย	92,851	1,088
50. พะเยา	81,473	2,978
51. น่าน	47,728	2,594
52. เชียงใหม่	32,927	70
53. กำแพงเพชร	32,784	1,725
54. ลำปาง	25,866	30
55. เพชรบูรณ์	24,569	961
56. อุทัยธานี	21,878	2,425
57. สุโขทัย	19,906	-
58. ตาก	18,578	70
59. อุตรดิตถ์	18,025	30
60. แพร่	17,636	-
61. ลำพูน	8,865	-
62. นครสวรรค์	7,982	195
63. แม่ฮ่องสอน	2,286	-
64. พิจิตร	1,896	-
รวมภาคเหนือ	600,578	14,841
รวมทั้งประเทศ	16,889,686	11,773,064

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2553)

2.7.2 พื้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยาง

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน ระหว่างละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ กับ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการปลูกยาง เฉพาะอย่างยิ่ง ทางภาคใต้ และบางจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นแหล่งปลูกยางเดิม ต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งปลูกยางใหม่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งมีข้อจำกัดในการปลูกยาง

มากกว่าพื้นที่ปลูกยางเดิม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณน้ำฝน และการกระจายของฝน และบางพื้นที่เป็นที่สูง แต่เนื่องจากยางพาราสามารถปรับตัวในเข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี จึงสามารถปลูกยางในเกือบทุกภาคของประเทศ อย่างไรก็ตาม ต้นยางในภาคใต้เปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 – 7 ปีและให้ผลผลิต เฉลี่ย 285 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ขณะที่ต้นยางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปิดกรีดช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือนและให้ผลผลิตเฉลี่ย 221 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สำหรับต้นยางในภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ย 260 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีทั้งนี้ผลผลิตยางเปลี่ยนแปลงเกษตรกรจะต่ำกว่าผลผลิตวิชาการ โดยพบว่า การให้ผลผลิตของต้นยางไม่ว่าผลผลิตน้ำยาง และหรือเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ ความเหมาะสมของพื้นที่ พันธุ์ยาง และการจัดการสวนยาง ดังนั้น ในการปลูกสร้างสวนยาง นอกจากพิจารณาเลือกพันธุ์ยาง และการจัดการสวนยางที่ถูกต้องแล้ว ยังต้องพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับปลูกยางด้วย

2.7.3 ลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสม

เป็นพื้นที่ราบ มีความลาดชันไม่เกิน 35 องศา หากปลูกในพื้นที่ที่มีความลาดชันเกินกว่า 15 องศา ต้องทำขั้นบันได

หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร เป็นดินร่วนเหนียวหรือร่วนทราย ไม่มีชั้นหิน ชั้นดินดาน หรือชั้นกรวดอัดแน่นในระดับสูงกว่า 1 เมตรจากพื้นดิน

การระบายน้ำดี ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับผิวดินมากกว่า 1 เมตรไม่เป็นที่ลุ่มน้ำขังหรือน้ำท่วม

พื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 200 เมตร หากปลูกยางในพื้นที่ที่มีความสูงเกินกว่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตช้า

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ที่เหมาะสม ระหว่าง 4.5-5.5 ไม่ควรเป็นดินด่าง ดินเค็ม หรือดินเกลือ

2.7.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,250 มิลลิเมตรต่อปี การกระจายตัวของฝนดี มีจำนวนวันฝนตก 120-150 วัน ช่วงแล้งไม่เกิน 4 เดือน อุณหภูมิเหมาะสม ระหว่าง 26- 30 องศาเซลเซียส

2.8 โรค และศัตรูยางพารา

โรค และศัตรูของต้นยางพบได้ตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งถึงโคน มีสาเหตุทั้งจากสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต และเกิดขึ้นได้กับทุกส่วนของต้นยาง ทำให้ต้นยางชะงักการเจริญเติบโต ผลผลิตลดลง และอาจรุนแรงจนถึงต้นยางยืนต้นตาย แม้ว่ายางพาราจะมีโรคระบาดอยู่หลายชนิด ปัจจุบันพันธุ์ยางที่นิยมปลูกในประเทศจะอ่อนแอต่อบางโรคที่สำคัญ แต่ไม่มีผลกระทบทางเศรษฐกิจอย่างรุนแรง โรคยางพาราที่ระบาดส่วนใหญ่มีสาเหตุจากเชื้อรา สามารถจำแนกตามส่วนต่างๆ ของต้นยางที่ถูกเชื้อเข้าทำลาย ได้แก่ โรคใบ โรคกิ่งก้าน และลำต้น และโรคราก นอกจากโรคแล้ว ยังมีแมลงศัตรูยางบางชนิดที่ทำความเสียหายให้กับต้นยาง ดังนั้น ควรป้องกันรักษา และกำจัดโรคและแมลงศัตรูยางเพื่อให้ต้นยางอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์อยู่เสมอ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553 : 62-71)

โรคนยางพาราที่สำคัญ

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
โรคใบ			
โรคราแป้ง เกิดจากเชื้อรา <i>Oidium heveae</i> Steinm.	- ช่วงยางผลิใบใหม่ - อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสูง มีหมอกหรือละอองฝนตอนเช้า - เชื้อแพร่ระบาดโดยลมและแมลง	- ใบอ่อน บิดงอ เน่าและร่วง - ใบเพสลาด มีกลุ่มเส้นใยของเชื้อราสีขาว-เทาปกคลุมแผลที่ถูกทำลาย มีขนาดไม่แน่นอน	ต้นยางอ่อนใช้สารเคมีเช่น benomyl หรือ carbendazim หรือ sulphur ชนิดใดชนิดหนึ่ง ฉีดพ่นบนใบยางที่เริ่มผลิใหม่ทุก 5-7 วัน ระยะเวลาการรอยแผลจะเป็นสีเหลือง และกลายเป็นสีน้ำตาลเมื่อใบแก่
โรคใบจุด คอลเลโทตริคัม เกิดจากเชื้อรา <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) Sacc.	- ช่วงยางแตกใบอ่อน - ฝนตกชุก ความชื้นสูง - เชื้อแพร่ระบาดโดยน้ำฝน ลมและแมลง	- ใบอ่อน ปลายใบบิดงอเหี่ยวและร่วงหล่น - ใบเพสลาด อาจบิดงอ และมีจุดแผลสีน้ำตาลขอบสีเหลือง ขนาดจุดแผลหนาขึ้นตามอายุใบ	ต้นยางอ่อน ใช้สารเคมี zineb หรือ chlorothalonil หรือ benomyl หรือ propineb ชนิดใดชนิดหนึ่ง ฉีดพ่นบนใบยาง
		- ดอก พบเชื้อราสีขาวปกคลุม ทำให้ดอกร่วง - ใบอ่อน ปลายใบบิดงอเหี่ยวและร่วงหล่น - ใบเพสลาด อาจบิดงอ และมีจุดแผลสีน้ำตาลขอบสีเหลือง ขนาดจุดแผลหนาขึ้นตามอายุใบ - ต้นยางอ่อน ลำต้นเกิด	

โรคนางพาราที่สำคัญ (ต่อ)

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
		แผลสีน้ำตาล และอาจตาย จกยอดได้	
โรคใบจุดก้างปลา เกิดจากเชื้อรา <i>Corynespora cassiicola</i> (Burk.&Curt.) Wei.	- สภาพอากาศร้อนชื้น - เชื้อแพร่ระบาดโดยลม หรือ ฝน	- ใบเป็นแผล มีสีน้ำตาล อ่อน ขอบแผลสีน้ำตาล เข้ม และมีวงสีเหลือง ล้อมรอบรอยแผล เส้นใบ บริเวณรอยแผลมีสีน้ำตาล หรือดำ ลักษณะคล้าย ก้างปลา หากเป็นมากใบ จะร่วง หากระบาดรุนแรง ทำให้ร่วงทั้งต้นได้ - ลำต้นเกิดแผลสีน้ำตาล และอาจตายจากยอดได้	ต้นยางอ่อน ใช้ สารเคมี mancozeb หรือ benomyl ฉีด พ่นพุ่มใบ
โรคใบร่วง ไฟทอปโทรา เกิดจากเชื้อรา <i>Phytophthora botryose</i> Chee, <i>P. palmivora</i> (Butler) Butler และ <i>P.</i> <i>nicotianae</i> Van Breda De Haan ver. Parasitica(Dastur) Waterhouse	อุณหภูมิค่าความชื้นสูง ต่อเนื่องกันอย่างน้อย 4 วัน และมีแสงแดดน้อย กว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน	- ใบร่วงทั้งที่ยังมีสีเขียว ก้านใบมีรอยแผลซ้ำ สีน้ำตาลเข้ม และมีหยด น้ำยางเกาะติดอยู่ - ใบเกิดแผลสีน้ำตาลซ้ำน้ำ - ฝักยางเป็นแผลเน่า	ต้นยางอ่อน ฉีดพ่น ด้วยสารเคมี metalaxyl
โรคใบไหม้ลาดิน อเมริกัน เกิดจากเชื้อรา <i>Microcyclus ulei</i> (P. Henn.) von Arx	ยังไม่พบการระบาดใน ประเทศไทย (ระบาดในกลุ่มประเทศ แถบอเมริกากลาง อเมริกาใต้ และหมู่เกาะ คาริบเบียน)	- เปลือกของฝักมีขอบ แผลเป็นสีน้ำตาลดำ กลาง รอยแผลเป็นสีน้ำตาลแดง - ใบอ่อน เชื้อเริ่มทำลาย จากใต้ใบ เป็นแผลดำ ปก คลุมด้วยเส้นใยสีเขียว ใบอาจบิดม้วนและร่วง - ใบเพสลาด และใบอ่อนที่ ยังไม่ร่วง แผลจะลุกลาม ขึ้นด้านบนใบ	- ป้องกันไม่ให้เชื้อ ระบาดเข้ามาใน ประเทศโดยการ กักกันพืช หรือ - หากเกษตรกรพบ ลักษณะอาการของ โรค ให้นำตัวอย่าง ติดต่อหน่วยงานที่ เกี่ยวข้องของ กรมวิชาการเกษตร

โรคยางพาราที่สำคัญ (ต่อ)

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
		<ul style="list-style-type: none"> - ใบแก่ รอยแผลจะมีจุดเล็ก ๆ สีดำเรียงเป็นวง - แหวนรอบรอยแผล - ด้านบนใบ หลังจากระยะนี้ 1-2 เดือนจะเกิดเม็ดกลม - สีดำขนาดใหญ่ขึ้นรอบรอยแผลเดิม ในที่สุดเนื้อเยื่อตรงแผลจะหลุด - เป็นช่องโหว่ตามรอยแผล - กิ่งอ่อน เกิดแผลสีน้ำตาลรูปยาวรีตามความยาวของกิ่ง ขนาดไม่แน่นอน 	

โรคกิ่งก้านและลำต้น

โรคเส้นดำ	- เกิดขึ้นหลังจากการระบาดของโรคใบร่วง	- เนื้อรอยกรีดมีลักษณะ	- ใช้สารเคมี
เกิดจากเชื้อรา <i>Phytophthora botryosa</i>	ไฟทอปโทรา	ซ้ำ เป็นรอยยุบสีดำ ขยายตัวตามแนวตั้งของ	metalaxy หรือ fosethy ทาหน้ากรีด
Chee และ <i>P. palmivora</i> (Butler) Butler	- เกิดรุนแรงเมื่อกรีดยางติดต่อกันในฤดูฝน	ลำต้น มีลายเส้นสีดำบนเนื้อไม้	ก่อนฤดูกาลระบาย
		- หากอาการรุนแรง เปลือกใต้รอยกรีดปริแตก มีน้ำยางไหลตลอดเวลา และหลุดล่อน	- อาการที่หน้ากรีดให้เงื่อนไขส่วนที่เป็นโรคออก แล้วทาสารเคมี metalaxyl หรือ fosethyl ทุก 7 วัน อย่างน้อย 4 ครั้ง

โรคเปลือกเน่า	- อากาศในสวนยางถ่ายเทไม่ดี มีความชื้นสูงตลอดเวลา	- อาการคล้ายโรคเส้นดำ แต่จะพบเส้นใยของเชื้อราสีเทาปกคลุมที่รอยแผล	ใช้สารเคมี benomyl หรือ metalaxyl ฉีด
เกิดจากเชื้อรา <i>Ceratocystis fimbriata</i> Ellis&Halst.	- เชื้อแพร่ระบาดโดยลมแมลง และมีดกรีดยาง	- อาการรุนแรงเปลือกจะเน่าหลุดเหลือแต่เนื้อไม้สีดำ เมื่อเงื่อนไขเปลือกบริเวณข้างเคียงออกดูจะไม่พบอาการเน่าลุกลาม ซึ่งแตกต่างจากโรคเส้นดำ	พ่นหรือทาหน้ากรีดทุก 7 วันอย่างน้อย 4 ครั้ง

โรคนางพาราที่สำคัญ (ต่อ)

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
โรคราสีชมพู เกิดจากเชื้อรา <i>Corticium</i> <i>salmonicolor</i> Berk.&Br.	- ต้นยางอายุ 3 ปีขึ้นไป - ความชื้นสูง - เชื้อระบาด โดยลม และฝน	- เปลือกบริเวณคาคบหรือ กิ่งปริแตก มีน้ำยางไหล เมื่ออากาศชื้นจะพบเส้นใย เชื้อราสีขาวหรือสีชมพู ที่ผิวเปลือก - หากเป็นรุนแรง ส่วน ปลายกิ่งจะแห้งตาย และ มีกิ่งอ่อนแตกออกมาได้ รอยแผล - สภาพแวดล้อมไม่ เหมาะสม เชื้อราสีชมพู จะช้ำลงจนเป็นสีขาว	- ต้นยางอ่อนให้ตัด แต่งกิ่งแห้งตายเผา ทำลาย โดยตัดให้ต่ำ กว่ารอยแผล ประมาณ 2—3 นิ้ว แล้วทาสารเคมี เคลือบรอยตัด - ต้นยางที่ยังไม่เปิด กรีด เมื่อเป็นโรค ใช้ สารเคมีบอร์โดมิก เจอร์ (Bordeaux mixture) ทาบริเวณที่เป็นโรค - ต้นยางที่เป็นโรค ให้ขูดเปลือกบริเวณ รอยแผลออกแล้วทา สารเคมี benomyl หรือ tridemorph
โรคลำต้นเน่าของต้น ยางชำถุง เกิดจากเชื้อรา <i>Phytophthora</i> <i>nicotianae</i> Van Breda De Haan var. <i>parasitica</i> (Dastur) Waterhouse และ <i>P. palmivora</i> (Butl.) But.	เรือนเพาะชำที่มี ความชื้นสูง	เกิดรอยแผลสีดำเป็นรูป ยาวรีตามความยาวของ ลำต้น และขยายลุกลามไป รอบต้น	- ปรับสภาพเรือน เพาะชำให้อากาศ ถ่ายเทสะดวก - ตัดส่วนที่เป็นโรค ออกจากแปลงแล้ว เผาทำลาย - ใช้สารเคมี dimethomorph หรือ cymoxanil ผสม metalaxyl ฉีดพ่นเพื่อ ควบคุมโรค

โรคนาพาราที่สำคัญ (ต่อ)

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
โรคราก			
โรครากขาว เกิดจากเชื้อรา <i>Rigidoporus microporus</i> (Fr.) Overeem [Syn: <i>Rigidoporus lignosus</i> (Klozsch) Imazeki]	ระบาดในช่วงฤดูฝน แพร่กระจายได้โดยสาร สัมผัสระหว่างรากที่ เป็นโรครากของตน ปกติ หรือสปอร์เชื้อรา ปลิวไปตามลม	- ใบยางเหลืองแล้วร่วง และยืนต้นตาย - ผิวรากมีเส้นใยสีขาว ปกคลุม และจะเปลี่ยนเป็น เส้นกลมหนูนสีเหลืองซีด เมื่ออายุมากขึ้น - เนื้อไม้ของรากเป็นสีครีม ยุ่ยและเบา ถ้าอยู่ในที่ชื้น และจะอ่อนนุ่ม - ดอกเห็ดเป็นแผ่นครึ่ง วงกลมแผ่นเดี่ยว หรือ ซ้อนกันหลาย แผ่น ผิวด้านบน และด้านล่างมี สีส้ม โดยด้านล่างมีสีเข้ม กว่า ขอบดอกเห็ดมีสีขาว	- แปลงยางที่เคยเป็น โรคราก ก่อนปลูก ยางชำให้ใช้กัมมะถัน รองกันหลุม เพื่อ ปรับ pH ของดินให้ เหมาะสมต่อการ เจริญของเชื้อรา ปฏิบัติกับต่อโรคราก ขาว และป้องกันการ เจริญของเชื้อโรคราก - หากพบโรค ควร ขุดต้นและรากเผา ทำลายให้หมด - ขุดคูล้อมบริเวณ ต้นที่เป็นโรคเพื่อ ป้องกันไม่ให้โรค แพร่ระบาดไปยังต้น อื่น - ในต้นที่เริ่มเป็น โรคให้ใช้สารเคมี รักษาได้แก่ Tridemorph หรือ Cyproconazole หรือ Hexaconazole หรือ Propiconazole หรือ fenicolonil

โรควางพาราที่สำคัญ (ต่อ)

ชื่อโรคและเชื้อสาเหตุ	การระบาด	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
โรครากแดง เกิดจากเชื้อรา <i>Ganoderma</i> <i>pseudoferreum</i> (Wakef) Over&Steinm	ระบาดในช่วงฤดูฝน แพร่กระจายได้โดยการ สัมผัสกันระหว่างรากที่ เป็นโรคกับรากของตน ปกติ หรือสปอร์เชื้อรา ปลิวไปตามลม	- ใบยางเหลืองแล้วร่วง และยืนต้นตาย - รากถูกปกคลุมด้วยเส้น ใยสีน้ำตาลแดง ซึ่งส่วน ปลายของเส้นใยจะมีสีขาว ครีม เส้นใยแก่จะจับกัน เป็นแผ่นสีน้ำตาลแดงเป็น มันวาว - ผิวรากขรุขระ มีก้อนดิน และหินเกาะติดอยู่ เนื้อไม้ ของรากมีสีน้ำตาลซีด และเปื่อยยุ่ย - ดอกเห็ดเป็นแผ่นแข็ง ด้านบนเป็นรอยย่นสี น้ำตาลแดงเข้ม ด้านล่าง เป็นสีเทา ขอบมีสีขาวครีม	- วิธีการเขตกรรม เช่นเดียวกับโรค รากขาว - ใช้สารเคมี tridemorph หรือ difinoconazole
โรครากน้ำตาล เกิดจากเชื้อรา <i>Phellinus noxius</i> (Corner) G.H. Cunn	ระบาดในช่วงฤดูฝน แพร่กระจายได้โดยการ สัมผัสกันระหว่างรากที่ เป็นโรคกับรากของตน ปกติ หรือสปอร์เชื้อรา ปลิวไปตามลม	- ใบยางเหลืองแล้วร่วง และยืนต้นตาย - ผิวรากมีเส้นใยสีน้ำตาล ปนเหลืองเหมือนกำมะหยี่ ปกคลุม เส้นใยเมื่อแก่จะ เป็นแผ่นสีน้ำตาลดำ - เนื้อไม้ของรากมีสี น้ำตาลซีดในระยะแรก ต่อมามีเส้นสีน้ำตาลแทรก อยู่ในเนื้อไม้ เนื้อไม้จะเบา และแห้ง - ดอกเห็ดเป็นแผ่นหนา และแข็ง ขนาดค่อนข้าง เล็ก ผิวด้านบนเป็นรอยย่น เป็นวงสีน้ำตาลเข้ม ผิวด้านล่างเป็นสีเทา	- วิธีการเขตกรรม เช่นเดียวกับโรค รากขาว - ใช้สารเคมี tridemorph

แมลงศัตรูยางพาราที่สำคัญ

ชื่อศัตรู	ลักษณะ	การทำลาย	การป้องกันกำจัด
ปลวก	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นปลวกใต้ดิน วรรณะทหาร มีหัวสีเหลือง เมื่อกัดจะปล่อยของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน - ทางเดินปลวกไม่ถูกชะล้างโดยง่าย ไม่สร้างจอมปลวก ทำรังภายในโคนต้น - ไข่ฟักออกเป็นตัวไม่ผ่านระยะตัวหนอน - แหล่งอาหารอยู่ไกลจากรังมาก อาจสร้างรังย่อยเป็นระยะ 	<ul style="list-style-type: none"> - ทำลายทุกอายุต้นยาง ทำให้ต้นโคนล้มขณะใบเขียว - กัดกินทั้งเนื้อเยื่อแห้งและสด - กัดกินส่วนรากและโคน 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้สารเคมี carbosulfan หรือ fipronil หรือใช้ไส้เดือนฝอย ราบโดนตัน ปริมาณขึ้นอยู่กับขนาดต้นยาง
หนอนทราย เป็นตัวอ่อนของแมลงหนูหลวง ซึ่งเป็นตัวงีบึกแข็งชนิดหนึ่ง	<ul style="list-style-type: none"> - ตัวหนอนมีสีขาว รูปร่างอเหมือนตัว C ลำตัวยาว 3-5 เซนติเมตร อาศัยอยู่ในดิน และรากตอยางเก่า - ตัวเต็มวัยจะขุดดินเป็นโพรงลึกลงไปเพื่อเข้าดักแด้ - ระบาดในพื้นที่ที่มีดินร่วนปนทราย 	<ul style="list-style-type: none"> กัดกินรากต้นยางเล็กอายุ 6-12 เดือน ทำให้ใบเหลืองและเหี่ยวแห้งตาย 	<ul style="list-style-type: none"> - ดักจับตัวเต็มวัยด้วยกับดักแสงไฟหรือปลูกลูกพีชล่อ เช่น ตะไคร้ เพื่อล่อตัวหนอนให้ออกมาและจับทำลาย - ใช้สารเคมี carbosulfan หรือ fipronil ราบโดรอปโคนต้นยางและตอยางเก่า
เพลี้ยหอย	<ul style="list-style-type: none"> - เกาะตามกิ่งก้านของต้นยาง - ตัวเมียสร้างเกาะสีน้ำตาลแก่ หนา ประมาณ 0.3-0.5 มิลลิเมตร ไว้ป้องกันตัว - ระบาดช่วงอากาศแห้งแล้ง 	<ul style="list-style-type: none"> ดูดกินน้ำเลี้ยงจากกิ่งก้านที่มีสีเขียว ทำให้ชะงักการเจริญเติบโต และกิ่งแห้งตาย 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ศัตรูธรรมชาติ เช่น แมลงและเชื้อราทำลายไข่และตัวอ่อน - ใช้สารเคมี malathion หรือ white oil ฉีดพ่น 3-4 ครั้ง

2.8.1 อาการเปลือกแห้งของต้นยาง

อาการเปลือกแห้ง เป็นการผิดปกติของต้นยางที่กรีดแล้วมีน้ำยางไหลน้อยมากหรือไม่ไหลเลย ถ้าเป็นแบบชั่วคราวหยุดกรีตระยะหนึ่งก็จะหายเป็นปกติ แต่ถ้าเป็นแบบถาวรยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ อาการเปลือกแห้งแบบนี้เป็นการผิดปกติทางด้านสรีรวิทยาภายในท่อน้ำยาง ไม่มีเชื้อสาเหตุ และไม่ถ่ายทอดสู่ต้นอื่นในปัจจุบัน พบว่า ประเทศไทยมีต้นยางเปลือกแห้ง เฉลี่ยร้อยละ 2-27 ของจำนวนต้นยางที่กรีดได้ ซึ่งมีผลต่อผลผลิตเกษตรกร และประเทศในภาพรวม

2.8.2 สาเหตุการเกิดอาการเปลือกแห้ง อาจเกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง หรือหลายปัจจัยร่วมกัน ดังนี้

1. การไม่หยุดกรีตช่วงต้นยางผลัดใบ จะทำให้มีจำนวนต้นยางเปลือกแห้งสูงสุด
2. ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ดินระบายน้ำไม่ดี และดินลูกรัง
3. การกรีดต้นยางขนาดเล็ก
4. พันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตสูงจะมีแนวโน้มการเกิดอาการเปลือกแห้งสูง
5. การใช้ระบบกรีต และสารเคมีเร่งน้ำยางที่ไม่เหมาะสมกับพันธุ์ยาง
6. สาเหตุไม่แน่ชัด อาจพบต้นเปลือกแห้งในต้นยางที่สมบูรณ์ หรือยังไม่เปิดกรีด

2.8.3 ลักษณะอาการ

การไหลของน้ำยางเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อาจไหลนานผิดปกติระยะสั้นๆ หลังจากนั้นหยุดไหล หรือน้ำยางไหลเป็นช่วงๆ บนรอยกรีด หรืออาจพบน้ำยางเข้มข้นมาก ส่วนลำต้นมีเปลือกแตกและล่อน เมื่อหยุดกรีตระยะหนึ่ง เปลือกงอกใหม่ อาจมีน้ำยางแต่ระยะสั้นเท่านั้น ถ้าขาดเปลือกจะพบจุดหรือชั้นเนื้อเยื่อสีน้ำตาล และลำต้นมีขนาดโตกว่าต้นปกติ

2.8.4 การรักษาและป้องกันต้นยางที่แสดงอาการเปลือกแห้ง

ในการรักษาต้นยางที่แสดงอาการเปลือกแห้งนั้น ต้นทุนสูงและได้ผลเพียงระยะหนึ่งเท่านั้น จนถึงปัจจุบันยังไม่พบวิธีการที่รักษาให้หายขาดได้ จึงควรเน้นที่การป้องกันไม่ให้เกิดต้นเปลือกแห้งมากกว่า คือ

1. ลดความเสี่ยงต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดอาการเปลือกแห้งดังกล่าวข้างต้น
2. เมื่อต้นยางแสดงอาการผิดปกติ ให้หยุดพักกรีตระยะหนึ่งเพื่อปรับสภาพต้นยาง
3. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดิน
4. ไม่ควรใช้สารเคมีกับพันธุ์ยางที่มีการตอบสนองต่อสารเคมีเร่งน้ำยางน้อย ได้แก่ พันธุ์ BPM 24

2.9 การแปรรูปยางพาราดิบ

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05-5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.0 โดยทั่วไปปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอยู่ระหว่างร้อยละ 25-45 แต่โดยเฉลี่ยมีส่วนประกอบ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553 : 79-89) ดังนี้

ส่วนประกอบ	เฉลี่ยร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1-1.2
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
เถ้า	1
น้ำ	64

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน โดยแต่ละอนุภาคมีอนุภาคมูลของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุภาคมูล จะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน

2.9.1 การรักษาสภาพน้ำยาง

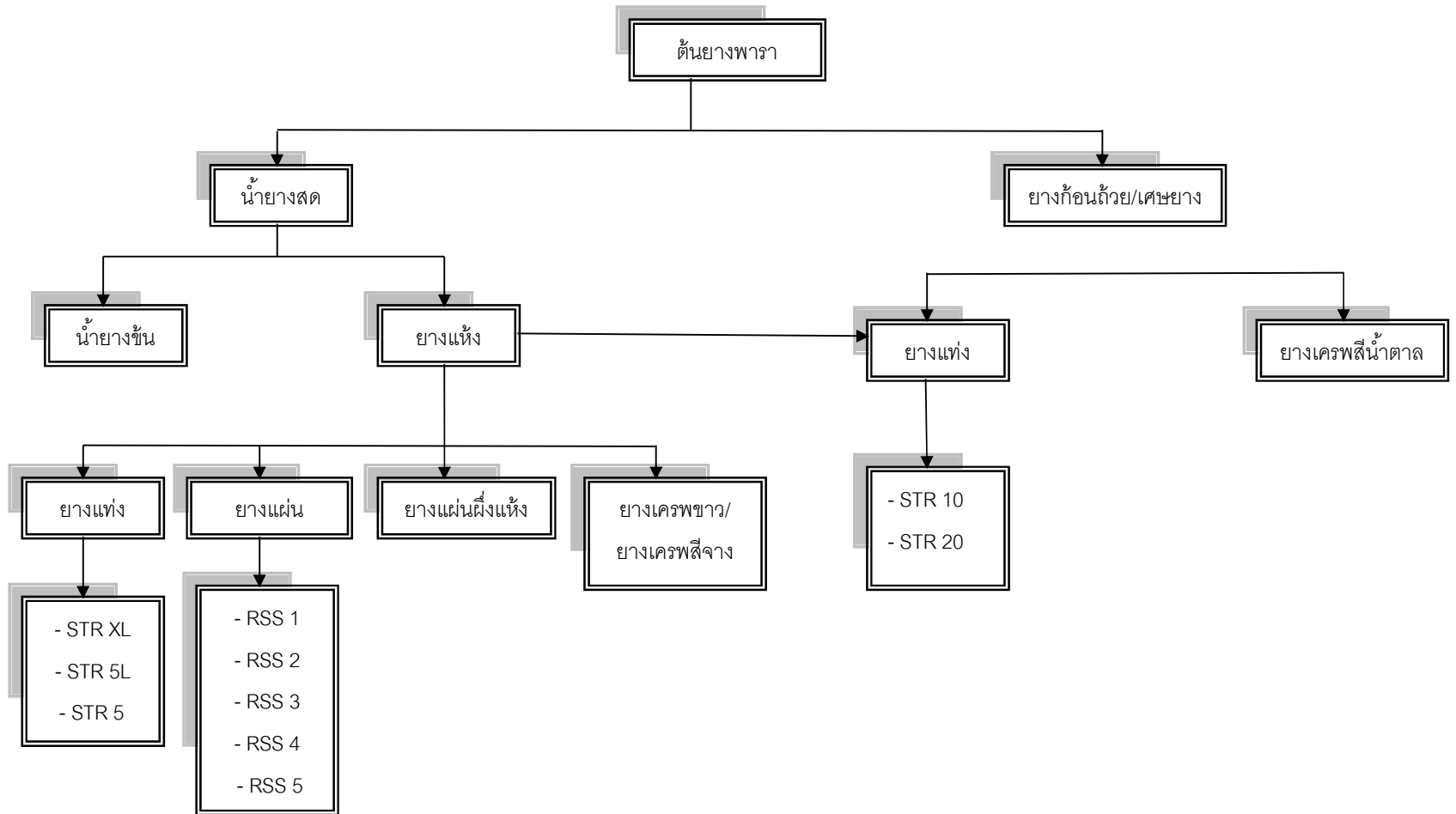
เมื่อได้น้ำยางสดจากต้นยาง หากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหารทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือมีอนุภาคมูลเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุภาคมูลรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้น จึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางโดยการเติมสารเคมี

การผลิตยางแผ่น สามารถเลือกใช้สารละลายแอมโมเนียไม่เกินร้อยละ 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยางหรือสารละลายโซเดียมซัลไฟท์ ร้อยละ 0.02-0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

การผลิตยางแท่ง ใช้สารละลายแอมโมเนียไม่เกินร้อยละ 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยางร่วมกับสารละลายกรดบอริก ร้อยละ 0.02-0.2 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

การผลิตน้ำยางข้น ใช้สารละลายแอมโมเนียร้อยละ 0.3-0.4 ต่อน้ำหนักน้ำยางร่วมกับ TMTD/ZnO ร้อยละ 0.025 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

อุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรม
ผลิตภัณฑ์ยาง สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ การผลิตน้ำยางข้นและการผลิตยางแห้ง
ซึ่งแผนผังการแปรรูปยางชนิดต่างๆจากน้ำยางสดแสดงไว้ในแผนภูมิที่ 2.2



แผนภูมิที่ 2.2 การแปรรูปยางดิบ

2.9.2 การผลิตยางแผ่นดิบ

การผลิตยางแผ่นชั้นดีควรทำยางให้สะอาด รีดแผ่นยางให้บาง สีของแผ่นยางสม่ำเสมอ ใช้น้ำและน้ำกรดถูกอัตราส่วน คุณภาพของยางแผ่นดิบขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต หากเกษตรกรผลิตยางแผ่นคุณภาพดีออกจำหน่าย ก็จะได้ราคาสูง การผลิตยางแผ่นคุณภาพดี มีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

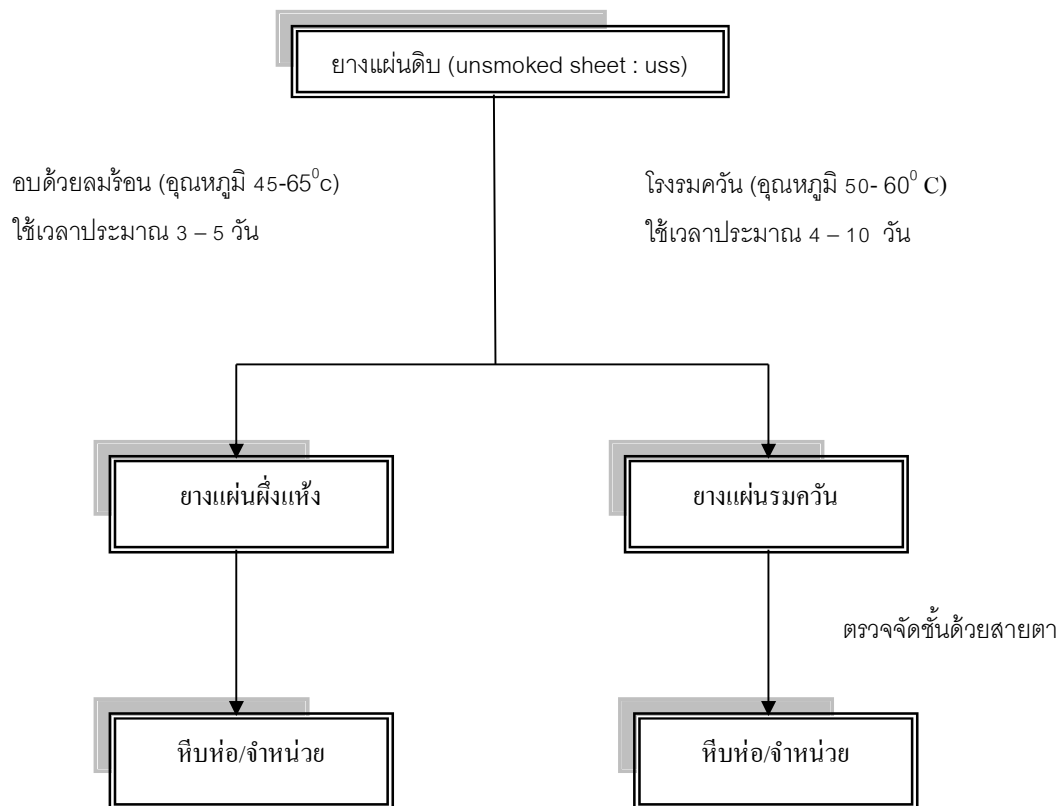
เก็บรวบรวมน้ำยางในภาชนะที่สะอาด กรองน้ำยางเพื่อแยกสิ่งสกปรก เจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาด แล้วเติมกรดฟอร์มิค กวนให้เข้ากัน กวาดฟอง รอให้น้ำยางจับตัวสมบูรณ์ ระวังไม่ให้มีสิ่งสกปรกหรือสิ่งปลอมปนหลุดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำก้อนน้ำยางที่จับตัวแล้วมานวดผ่านเครื่องรีดเรียบ และเครื่องรีดดอก ล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง ผึ่งในที่ร่มและมีอากาศถ่ายเทดี

2.9.2.1 ลักษณะของยางแผ่นคุณภาพดี

1. แผ่นยางสะอาด ไม่มีรอยคราบน้ำกรด หรือเหนียวเยิ้ม เมื่อยกแผ่นยางขึ้นส่องดูต้องไม่มีสิ่งสกปรก หรือจุดต่างดำเจือปนในเนื้อยาง และต้องไม่มีจุดฟองอากาศ
2. แผ่นบาง ความหนาของแผ่น 3-4 มิลลิเมตร แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้าง 40-45 เซนติเมตร ความยาว 80-85 เซนติเมตร
3. เนื้อยางแห้งใส สีของแผ่นยางสม่ำเสมอเป็นสีเดียวกันตลอดแผ่น ไม่ต่างดำหรือสลับลาย หรือมีสีคล้ำจนเกินไป
4. แผ่นยางมีลายดอกนูนเด่นชัด มีความยืดหยุ่น เมื่อดึงแผ่นยางออกดูเนื้อยางจะต้องไม่ขาดง่ายหรือเป็นรูพรุน

2.9.3 การผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง / ยางแผ่นรมควัน

กรรมวิธีการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง / ยางแผ่นรมควัน แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 2.3



แผนภูมิที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/ยางแผ่น

2.9.3 มาตรฐานของยางแผ่นรมควันที่สำคัญตัดแปลงมาจากมาตรฐาน Green

Book

2.9.3.1 ยางแผ่นรมควันชั้น 1x

จะต้องมีการควบคุมคุณภาพการผลิตทุกขั้นตอน แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง สะอาด รมควัน สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก กรวดทราย ยางไม่พอง เป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม ไม่มีราสนิมและไม่พบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่มีตำหนิใดๆ จะต้องไม่ขึ้นราหรือมีราแห้งเล็กน้อยเฉพาะผิวของแผ่นยางที่ใช้ห่อ

2.9.3.2 ยางแผ่นรมควันชั้น 1

แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากสิ่งสกปรก กรวดทราย ยางไม่พองเป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม ไม่มีราสนิมและไม่พบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่มีตำหนิใดๆ มีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่

ทั่วแผ่น และมีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย จะต้องไม่ขึ้นราหรือมีราแห้งเล็กน้อยเฉพาะผิวของแผ่นยางที่ใช้ห่อ

2.9.3.3 ยางแผ่นรมควันชั้น 2

แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากสิ่งสกปรก กวาดทราย ยางไม่พองเป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม และไม่พบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่มีตำหนิใดๆ มีฟองอากาศขนาดเล็ก และมีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย อนุญาตให้มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกินร้อยละ 5 ของตัวอย่างที่ตรวจ

2.9.3.4 ยางแผ่นรมควันชั้น 3

แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากสิ่งสกปรก กวาดทราย ยางไม่พองเป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม และไม่พบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป มีตำหนิที่ผิวแผ่นไม้เล็กน้อย มีฟองอากาศขนาดเล็ก และมีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย อนุญาตให้มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกินร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่ตรวจ

2.9.3.5 ยางแผ่นรมควันชั้น 4

แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง ปราศจากกวาดทราย ยางไม่พองเป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม และพบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไปเกิดขึ้นได้เล็กน้อย มีตำหนิที่ผิวแผ่น ไม้ดำปานกลางหรือสีคล้ำเล็กน้อย แผ่นยางมีสิ่งสกปรกและมีฟองอากาศปานกลาง อนุญาตให้มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของตัวอย่างที่ตรวจ

2.9.3.6 ยางแผ่นรมควันชั้น 5

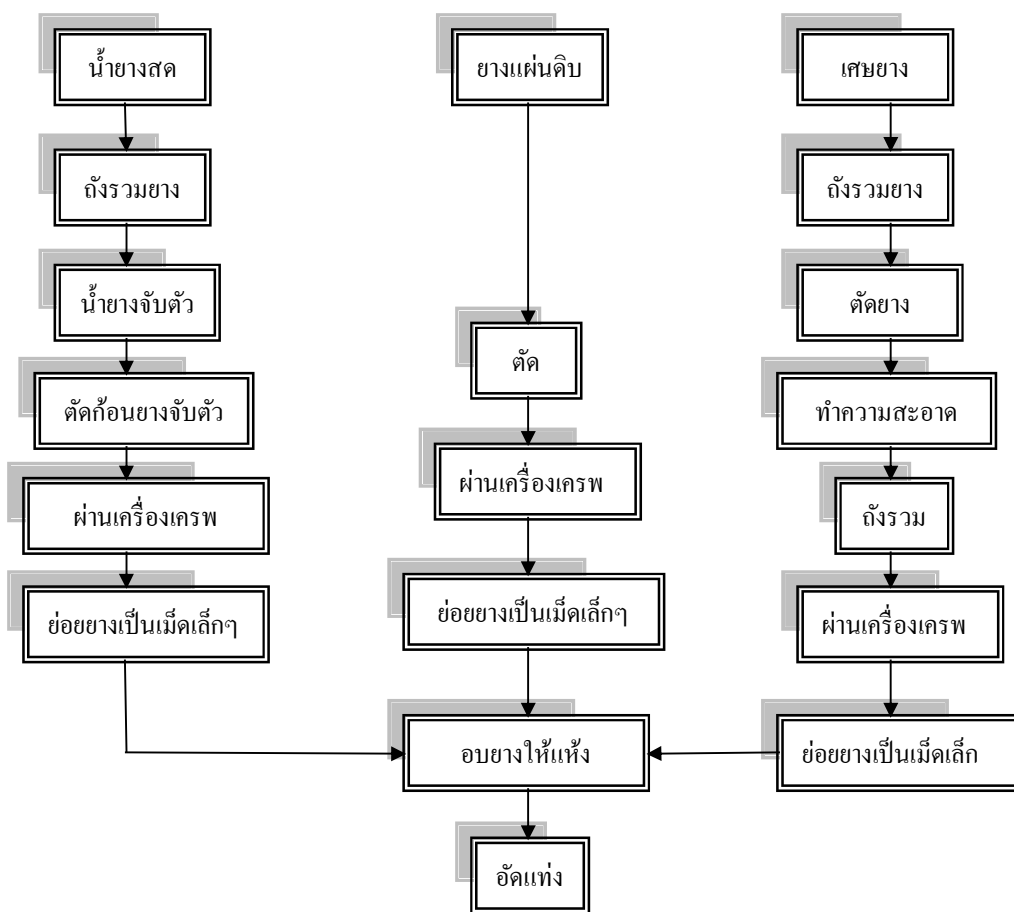
แผ่นยางต้องแห้งดี เนื้อแน่นแข็ง ปราศจากกวาดทราย ยางไม่พองเป็นถุง ไม่เหนียวเยิ้ม และพบรอยต่างเป็นดวงของยางที่ถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไปเกิดขึ้นได้เล็กน้อย มีตำหนิที่ผิวแผ่น ไม้ดำปานกลางหรือสีคล้ำเล็กน้อย แผ่นยางมีสิ่งสกปรกและมีฟองอากาศขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้เล็กน้อย อนุญาตให้มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกินร้อยละ 30 ของตัวอย่างที่ตรวจ

2.9.4 การผลิตยางแท่ง

ประเทศไทยเริ่มผลิตยางแท่งครั้งแรกเมื่อปี 2511 โดยมีชื่อเรียกว่ายางแท่ง ที ที อาร์ (TTR-Thai Tested Rubber) เพื่อให้สอดคล้องกับภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง และสอดคล้องกับการเรียกชื่อยางแท่งตามสากลสถาบันวิจัยยางจึงได้แก้ไข และปรับปรุงวิธีปฏิบัติของการบรรจุหีบห่อ การควบคุมคุณภาพ ขีดจำกัดของสมบัติยางแท่งบางประการ ได้ตัดชั้นยางบางชั้น เพิ่มชั้นยาง CV (Constant Viscosity) และเปลี่ยนชื่อเรียกเป็นยางแท่ง เอส ที อาร์ (STR – Standard Thai Rubber) เมื่อวันที่ 1 มกราคม 2539 โดยกำหนดให้ประกอบด้วย

ชั้นยาง 8 ชั้นคือ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 5 CV, STR 10, STR 10 CV, STR 20 และ STR 20 CV

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่ง ใช้ได้ทั้งน้ำยางสดที่ต้องทำให้จับตัวก่อนและยางแห้งที่จับตัวแล้ว เช่น ยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย เศษยางกันถ้วย และเศษยางอื่นๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการผลิต คือ ตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆอย่างรวดเร็ว ล้าง อบให้แห้งและอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 33.3 กิโลกรัม หรือ 35 กิโลกรัม กรรมวิธีการผลิตยางแท่ง แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 2.4 และข้อกำหนดมาตรฐานยางแท่งไทย แสดงไว้ในตารางที่ 34



แผนภูมิที่ 2.4 กรรมวิธีการผลิตยาง

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแท่งไทย

สมบัติ/ชั้นยางแท่ง	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5 CV**	STR 10	STR 10 CV**	STR 20	STR 20 CV**
	น้ำยาง		น้ำยาง/ยางแผ่น			ยางก้อน/ยางแผ่น		
ปริมาณสิ่งสกปรก%ไม่เกิน	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
ปริมาณไนโตรเจน, % ไม่เกิน	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน*	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ความอ่อนตัวเริ่มแรก, ไม่ต่ำกว่า	35.00	35.00	30.00	-	30.00	-	30.00	-
ดัชนีความอ่อนตัว, ไม่ต่ำกว่า	60.00	60.00	60.00	60.00	50.00	50.00	40.00	40.00
สี วัดด้วยไลวิบอนด์ ไม่เกิน	4.00	6.00	-	-	-	-	-	-
ความหนืด ML (1'+4') 100°C	-	-	-	**	-	**	-	**

แถบสี	ฟ้า	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตัวอักษรขาว บนพื้นเขียวอ่อน	น้ำตาล	ตัวอักษรขาวบน พื้นน้ำตาล	แดง	ตัวอักษรขาว บนพื้นแดง
-------	-----	-----------	-----------	--------------------------------	--------	-----------------------------	-----	--------------------------

* ขีดจำกัดของผู้ผลิตไม่เกิน 0.50%

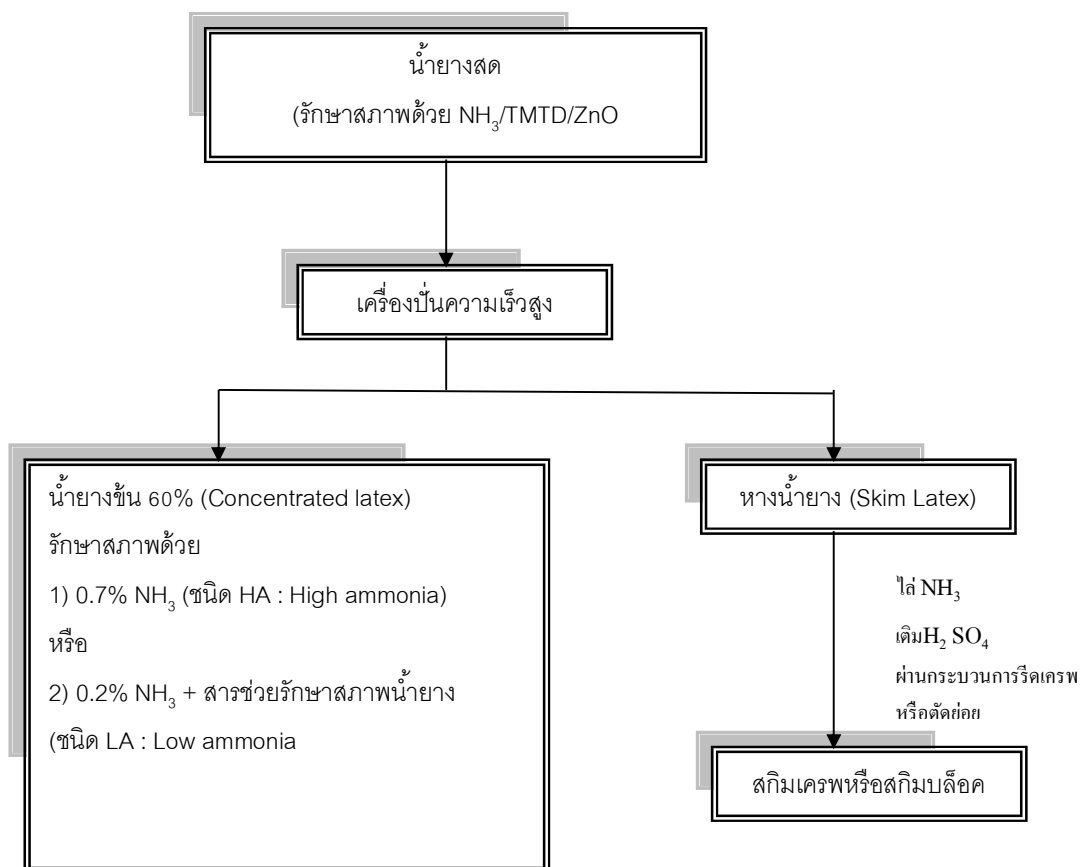
** ขีดจำกัดของ
 STR 5 CV มีค่าความหนืด 70 (+7, -5), 60 (+7, -5) และ 40 (+7, -5)
 STR 10 CV มีค่าความหนืด 60 (+7, -5)
 STR 20 CV มีค่าความหนืด 65 (+7, -5)

หมายเหตุ : กราฟแสดงลักษณะยางคงรูปโดยใช้สูตรยาง ACS 1 หรือสูตรของผู้ซื้อ/ ผู้ผลิต จัดให้ตามความต้องการ

2.9.5 การผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางเฉลี่ยประมาณร้อยละ 33 ทำให้การขนส่งและการซื้อขายไม่สะดวก นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปเข้ากระบวนการผลิตเพื่อทำผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางอย่างน้อยร้อยละ 60

วิธีผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ วิธีทำให้เกิดครีม วิธีปั่นและวิธีแยกด้วยไฟฟ้า แต่การผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน กรรมวิธีในการผลิตน้ำยางข้น แสดงในแผนภูมิที่ 2.5



แผนภูมิที่ 2.5 กรรมวิธีการผลิตน้ำ

2.9.6 การรักษาสภาพน้ำยางชั้นในปัจจุบันมีใช้อยู่ 5 ระบบคือ

2.9.6.1 น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.7

2.9.6.2 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2

ร่วมกับ สารละลายSodium pentachlorophenate ปริมาณร้อยละ 0.2

2.9.6.3 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2

ร่วมกับสารละลายกรดบอริกปริมาณร้อยละ 0.24

2.9.6.4 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2

ร่วมกับ Zinc diethyl dithiocarbamate (ในรูปสารแขวนลอย) ปริมาณร้อยละ 0.2

2.9.6.5 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2

ร่วมกับ Tetramethylthiuram disulphide (TMTD) (ในรูปสารแขวนลอย) ปริมาณร้อยละ 0.013

และ Zinc Oxide (ZnO)(ในรูปสารแขวนลอย)ปริมาณร้อยละ 0.013

ผู้ใช้น้ำยางชั้นนิยมซื้อตามมาตรฐานคุณภาพ ซึ่งข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางชั้นไทย แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางเข้มข้นไทย (มอก.980-2552)

สมบัติ	ขีดจำกัดน้ำยางข้นชนิดปั่น	
	HA	LA
ปริมาณของแข็งทั้งหมด ^{1/} , %(มวล/มวล), ต่ำสุด	61.0	61.0
ปริมาณเนื้อยางแห้ง, %(มวล/มวล), ต่ำสุด	60.0	60.0
ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยาง ^{2/} , %(มวล/มวล), สูงสุด	1.7	1.7
ความเป็นต่าง (ในรูปแอมโมเนีย),%(มวล/มวล)ของน้ำยาง (ไม่น้อยกว่า)	0.60	0.29 (ไม่น้อยกว่า)
เวลาความคงตัวของเครื่องกล ^{3/} , วินาที, ต่ำสุด	650	650
ปริมาณของยางจับตัว,% (มวล/มวล) สูงสุด	0.03	0.03
ปริมาณธาตุทองแดง, มก./กก. ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด	8	8
ปริมาณแมงกานีส, มก./กก. ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด	0.10	0.10
ปริมาณตะกอน,% (มวล/มวล) สูงสุด		
จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA No.)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ แต่ต้องไม่เกิน 0.06	
จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ^{4/} (KOH No.)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ แต่ต้องไม่เกิน 0.7	
การตรวจสีด้วยสายตา	ไม่เป็นสีฟ้าหรือสีเทา	
การตรวจกลิ่นภายหลังการทำให้เป็นกลางโดยกรดบอริก	ไม่มีกลิ่นบูดเน่า	

1/ ปริมาณของแข็งทั้งหมดเลือกได้ตามที่ต้องการ

2/ ผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง

3/ เวลาความคงตัวของเครื่องกลต่ำสุดอาจเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้

4/ ถ้าน้ำยางประกอบด้วยกรดบอริก จำนวน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อาจเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้ โดยปริมาณที่ เกินไปนั้นมีสมมูลย์เท่ากับกรดบอริก ซึ่งทดสอบหาได้โดยวิธีของ ISO 1802

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำเกษตรกรรมเป็นอาชีพที่มีความสำคัญของไทยอย่างยิ่งและในปัจจุบันสภาพแวดล้อมได้เปลี่ยนแปลงไปทำให้พืชที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกประสบปัญหาด้านโรคต่างๆ จนทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลง พร้อมทั้งส่งผลให้ผลผลิตไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้เกษตรกรต้องหาแนวทางการแก้ปัญหา โดยเกษตรกรส่วนใหญ่จะเลือกใช้สารเคมีในการแก้ปัญหาซึ่งไม่คำนึงถึงผลกระทบที่จะตามมา การใช้สารเคมีนั้นเมื่อใช้ตามปริมาณที่กำหนดจะเกิดคุณอนันต์ แต่ถ้าใช้เกินปริมาณก็อาจเกิดโทษมหันต์ ดังนั้นการเลือกใช้สารที่ได้จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพราะประเทศไทยของเราเป็นประเทศที่มีทรัพยากรธรรมชาติอันอุดมสมบูรณ์ และปัจจุบันการนำผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมาสกัดให้ได้สารที่ใช้ในการต้านโรคพืชก็มีอยู่มากมาย ซึ่งแต่ละตัวจะมีฤทธิ์ในการต้านโรคที่แตกต่างกัน สารเหล่านี้สามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติ ไม่เกิดสารพิษตกค้าง ส่งผลดีต่อเกษตรกร ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ทั้งยังเป็นทางเลือกโลกให้มีความสมดุลต่อไป

การศึกษาวิจัยทางด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีนักวิทยาศาสตร์มากมายหลายกลุ่มได้ดำเนินการอยู่ในห้องปฏิบัติการต่างๆ ทั่วทุกมุมโลก เพื่อเป้าหมายเดียวกันคือ การพัฒนาเพิ่มฤทธิ์ให้เป็นยารักษาโรคมนุษย์ สัตว์ และพืช รวมทั้งใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ในที่นี้จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษาของกลุ่มที่สอดคล้องกับงานวิจัย ดังนี้

ฉันททิพ คำนวนทิพย์และคณะ (2551) ศึกษาผลของการใช้ซีโอไลต์และเบนโทโนนซ์ในการเป็นสารหน่วงไฟของยางธรรมชาติ ตลอดจนผลของสารดังกล่าวที่มีต่อสมบัติต่างๆ ทั้งสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ งานวิจัยนี้ได้ทำการผสมยางธรรมชาติกับซีโอไลต์ในปริมาณ 40, 80 และ 120 phr และทำการผสมยางดังกล่าวกับเบนโทโนนซ์ในปริมาณ 5-20 phr แล้วนำไปทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 160°C และทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางทั้งความหนืดมูเน่ พฤติกรรมการคงรูป สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และการติดไฟ จากผลการทดลองพบว่ายางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณ 120 phr มีผลการทดสอบระดับการติดไฟตามมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ V-TEST ในระดับ V-0 และยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ในปริมาณตั้งแต่ 80 phr ขึ้นไป จะมีผลการทดสอบระดับการติดไฟมาตรฐานการทดสอบ UL 94 แบบ HB-TEST มีค่าอัตราการเผาไหม้ (Burning Rate) ต่ำกว่า 30 mm/sec แต่การเติมซีโอไลต์ลงไปในยางธรรมชาติจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติลดลง และการเติมเบนโทโนนซ์ลงไปในยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ เบนโทโนนซ์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารหน่วงไฟให้กับซีโอไลต์ โดยช่วยชะลออัตราเร็วของการเผาไหม้ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ให้ช้าลง และนอกจากนี้การเติมเบนโทโนนซ์ ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่มีการเติมซีโอไลต์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติเกี่ยวกับความทนต่อแรงดึงและการฉีกขาด

วิมล อินทอง (2554) ศึกษา นาโนคอมโพสิตของโครงข่ายพอลิเมอร์แบบแทรกสอดในสถานะน้ำจากยางธรรมชาติ พอลิเมทิลเมทาคริเลทและเลเยอร์ซิลิเกต โดยเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาตินาโนคอมโพสิตที่มีการใช้สารตัวเติมเคลย์ระดับสเกลนาโนเมตรทดแทนการใช้สารตัวเติมเคลย์ทางการค้า เพื่อที่จะลดปริมาณการใช้สารตัวเติมเคลย์ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มยางยังคงได้รับการเสริมแรงที่ดีโดยที่ไม่ส่งผลต่อสมบัติความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้พลาสติกชนิดพอลิเมทิลเมทาคริเลทร่วมกับยางธรรมชาติเพื่อลดความเสียหายบริเวณผิวแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ ซึ่งจะนำไปสู่การหลีกเลี่ยงการใช้ผงแบงในการลดความเสียหายจากการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบปกติมีสมบัติทางเชิงกล (สมบัติความทนต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความทนต่อแรงฉีกขาด) การลดความเสียหายบริเวณผิวและปริมาณไนโตรเจนดีที่สุด การใช้ออร์กาโนเคลย์จะทำให้แผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีสมบัติทางเชิงกล และการลดการเสียหายที่ดีกว่าการใช้เคลย์ทางการค้า และเบนโทไนซ์เคลย์ การใช้หมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลทในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้แผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีสมบัติทางเชิงกลที่ไม่ดี นอกจากนี้สมบัติการเสียหายบริเวณผิว และปริมาณไนโตรเจนของแผ่นฟิล์มยางจะลดลงด้วย และการใช้ตัวริเริ่มในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้สมบัติทางเชิงกลเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ แต่ความเสียหายและปริมาณไนโตรเจนจะลดลงและคงที่ การใช้ตัวริเริ่มเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์จะให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติที่ดีกว่าการใช้ไปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต และคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์เตตระเอทิลลีนเพนตะมีน ตามลำดับ

ระพีพันธ์ แดงตันกีและคณะ (2554) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์และคอปเปอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรีย เพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในห้องน้ำ โดยใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเฉลี่ย 10-60 นาโนเมตรและอนุภาคคอปเปอร์นาโนขนาดเฉลี่ย 30-60 นาโนเมตร นำมาทดสอบกับเชื้อ 4 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* และเชื้อรา *A. flavus* และ *Penicillium* sp. ผลพบว่า เมื่อใช้อนุภาคซิลเวอร์และคอปเปอร์นาโนที่อัตราส่วนความเข้มข้น 100:100 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* และเชื้อรา *A. flavus* และ *Penicillium* sp. อนุภาคซิลเวอร์และคอปเปอร์นาโนการใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและอนุภาคคอปเปอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา และเมื่อทำการทดสอบเชิงกลพบว่า อัตราส่วนของความเข้มข้นดังกล่าวมีความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นและระยะยืดไม่แตกต่างจากเดิม ดังนั้นความเข้มข้นดังกล่าวจึงเหมาะในการนำไปผสมกับยางเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ต้านแบคทีเรียและรา

อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และคณะ (2554) ทำการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซลเจลและกระบวนการสภาวะของแข็งจากซิงค์แอซิเตตไดไฮเดรตและสารเพิ่มความเสถียร 2 ชนิด คือ ซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) พร้อมศึกษาอิทธิพลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และชนิดของสารเพิ่มความเสถียร

ต่อโครงสร้างผลึก ค่าแลตทิซพารามิเตอร์ ขนาดผลึกเฉลี่ย ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและรูปร่างนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (XRD) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล นอกจากนี้การวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นรูปร่างที่เป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคประมาณ 183-431 นาโนเมตร เมื่อสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล โดยขนาดผลึกและขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเร็วรอบของการกวนเพิ่มขึ้น ขณะที่นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสภาวะของแข็ง มีขนาดอนุภาค 87-197 นาโนเมตร โดยรูปร่างเป็นทรงกลมและมีลักษณะคล้ายดอกไม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ขนาดอนุภาคและรูปร่างของนาโนซิงค์ออกไซด์มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นเกรดการค้า

จากการศึกษาผลของอนุภาคและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้น (ZSS-F) ในยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับนาโนซิงค์ออกไซด์ทางการค้า (ZoNop®) และซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้ในยาง (ZRG) ต่อเวลาในการวัลคาไนซ์ การทดสอบการบ่มเร่ง ลักษณะการกระจายตัวของนาโนซิงค์ออกไซด์ในเมทริกยางธรรมชาติและสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาด พบว่า เมื่อนำนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นแทนซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้ในยางทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นและสมบัติเชิงกลหลังการบ่มเร่งไม่แตกต่างกับก่อนการบ่มเร่ง โดยสามารถใช้นาโนซิงค์ในปริมาณที่น้อยกว่าซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้กับยางได้ถึง 10 เท่า นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ เช่น เวลาในการวัลคาไนซ์ ความเสถียรทางความร้อน ความแข็ง ความชุ่ม ความหนาแน่นเชื่อมขวางของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติลดลงและเวลาในการสกอรัซ (TS2) เมื่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นและนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีกว่าซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้กับยาง (ZRG)

สำหรับการศึกษาความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียด้วยซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นและขนาดอนุภาคแตกต่างกันต่อแบคทีเรียทั้งแกรมลบและแกรมบวกที่แยกจากแผ่นยางที่ขึ้นรูป โดยทดสอบด้วยวิธี Agar well diffusion, Colorimetric broth microdilution และ Time-kill curve พบว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคลดลงและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิดแกรมบวกได้มากกว่าแกรมลบ การทำลายแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณน้อยและเวลาการทำลายที่สั้นเมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์เกรดที่ใช้กับยาง

Lopez *et al.* (Lopez, Lidia M. *et al.* 2002 : 237) ได้แสดงให้เห็นถึงสมบัติทางชีวภาพของ lipophilic O-naphthoquinone ซึ่งเป็น quinine ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติมีฤทธิ์เป็นยารักษาโรคต่างๆ เช่น antibacterial, antifungal, trypanocidal และ cytotoxic effects โดยสมาชิกที่สำคัญของสารในกลุ่มนี้คือ β -lapachone (3,4-dihydro-2,2-dimethyl-2H-naphtho

[1,2b] pyran-5,6-dione) มีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งหลายชนิดได้ดี เช่น Yoshida and walker sarcoma, epidermoid laryngeal carcinoma, melanoma, promyelocytic-leukemia, prostate, breast, ovary, colon, hepatoma และ lung cancer cells อีกด้วย

Azmi *et al.* (Azmi, A.S. *et al.* 2005 : 3131) ได้แสดงให้เห็นว่า resveratrol (3,4',5-trihydroxy stilbene) ซึ่งเป็นสารพวก polyphenol ที่ได้จากพืชต่างๆ เช่น ใบบ่ม (mulberries) และ องุ่น (grapes) มีสมบัติทาง chemopreventive properties, anti-inflammatory, anti-platelet, anti-mutagenic effects และยังมีสมบัติเป็น agonist สำหรับ estrogen receptor นอกจากนี้ยังป้องกันโรคหัวใจ (cardiovascular protective properties) และป้องกันพืชไม่ให้เกิดโรคจากเชื้อรา ขัดขวาง DNA polymerase และ ribonucleotide reductase, ยับยั้ง LDL oxidationต่อต้านการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งทั้ง 3 ระยะคือ tumor initiator, promotion และ progression ดังนั้น resveratrol สามารถชักนำให้เกิด apoptosis ในผู้ป่วยโรคมะเร็งได้ นักวิจัยกลุ่มเดียวกันนี้ยังได้ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่ม polyphenol ที่ได้จากพืช เช่น flavonoids, tannins และ curcumins พบว่า สามารถชักนำให้เกิด oxidative DNA damage แม้ว่าจะใช้เพียงลำพัง หรือในรูป metal compounds เช่น Cu(II) สมบัติหลายประการของสารเหล่านี้ เช่น เกาะกับ DNA และการทำลาย (degradation) คล้ายคลึงกับสารต้านมะเร็งอื่นๆ เช่น bleomycin, adriamycin และ 4'-(9-acridinylamino) methanesulphone-m-anisidine (mAMSA) โดย polyphenolic resveratrol สามารถทำให้สาย DNA แตกเมื่อมี Cu^{2+} ไอออนอยู่ด้วย

DiSilvestra *et al.* (DiSilvestra, R.A. *et al.* 2005 : 251) ศึกษาผลการต้านอนุมูลอิสระของ soy isoflavone อาจจะช่วยป้องกันการกลับซ้ำของมะเร็งเต้านมได้ แต่ isoflavone ที่ออกฤทธิ์คล้าย estrogen อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม การออกฤทธิ์เช่นนี้ของ isoflavone เป็นผลมาจากเอนไซม์ 2 ชนิดที่มี copper อยู่คือ superoxide dismutase 1 (SOD 1; ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระจึงป้องกันโรคมะเร็งเต้านมได้) และ ceruloplasmin (เพิ่มการผลิต estrogen เมื่อมีมากจึงเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาของสตรีเอเชียถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดมะเร็งเต้านมและอาหารที่มีถั่ว พบว่า ผู้หญิงเอเชียใช้ที่มี isoflavone จากบ๊วยในปริมาณน้อยในสตรีที่เป็นมะเร็งเต้านม เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แสดงว่าสตรีที่บริโภคถั่วปริมาณน้อยมีโอกาสเกิดโรคมะเร็ง

Al-Haiza *et al.* (Al-Haiza, M.A. *et al.* 2003 : 275) ใช้ coumarins เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่สำคัญในการใช้ประโยชน์ เช่น ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bactericides), ฆ่าเชื้อรา (fungicides), ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory), anticoagulant และ anticancer agents สมบัติทางเภสัชวิทยาเหล่านี้ทำให้นักวิจัยสนใจที่จะสังเคราะห์อนุพันธ์ใหม่ๆ ให้มีมากยิ่งขึ้นไปอีก โดยมีลักษณะที่แตกต่างกันที่วง heterocyclic ที่เชื่อมต่อกับ coumarin (coumarin moiety)

Kostova *et al.* (Kostova, Irena *et al.* 2005 : 542) ทำการสังเคราะห์สารประกอบของ Lanthanum (III) กับ bis-coumarins ศึกษาสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ด้วยเทคนิค EA, IR, ^1H -และ ^{13}C -NMR และ mass-spectral data ตามลำดับ โดยสเปกตรัมของสารประกอบเหล่านี้เทียบกับลิแกนด์อิสระ พบว่า La(III) ทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ที่ตำแหน่ง deprotonated hydroxyl ทั้ง 2 หมู่ สำหรับ cytotoxicity ใช้เทคนิค MTT assay กับ HL-60, BV-173 และ SKW-3 cell lines ผลที่ได้คาดว่าสารประกอบเหล่านี้เป็นตัวทำให้เกิดการตายของเซลล์ (trigger programmed cell death หรือ apoptosis)

Lewis *et al.* (Lewis, A. *et al.* 2004 : 4550) ได้ศึกษาอนุพันธ์ของคูมาริน (coumarin) dicumarol (3,3'-Methylene bis[4-hydroxycoumarin] เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก sweet clover (*Melilotus alba*) ใช้เป็นยา anticoagulant นอกจากนี้ สารคูมาริน และอนุพันธ์ของมันยังใช้เป็นยาต้านมะเร็ง โดยเฉพาะต้านการเจริญเติบโตของเซลล์ในระยะ malignant cell lines (*in vitro*) นอกจากนี้ยังได้ทดสอบทางคลินิก (clinical trials) พบว่า สามารถออกฤทธิ์ต้าน prostate cancer, malignant melanoma และ metastatic renal cell carcinoma ได้ด้วย

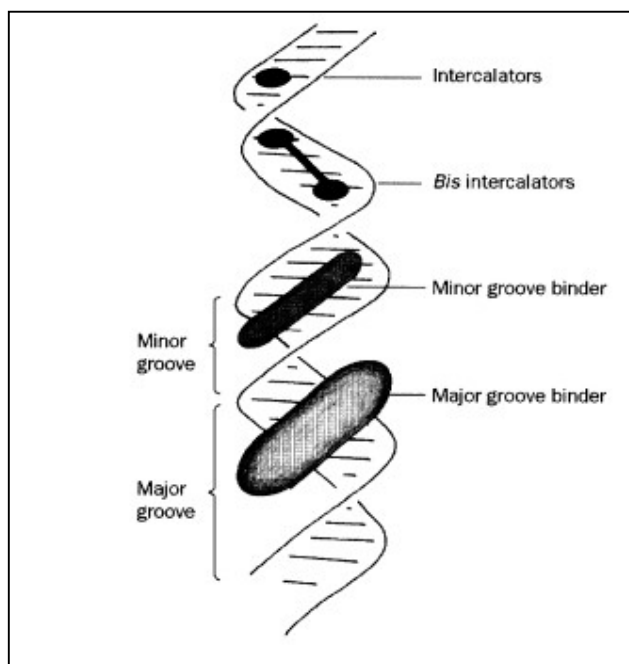
Leonard *et al.* (Leonard *et al.* 2011 : 391-396) ได้สังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนด้วยตัวรีดิวซ์จากสารสกัดของ โสมเกาหลี่ (Ginseng) เทียบกับ NaBH_4 พบว่า อนุภาคทองคำนาโนที่ได้มีขนาดแตกต่างกัน โดยถ้าใช้ตัวรีดิวซ์ที่แรง เช่น NaBH_4 จะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าการใช้สาร Ginseng นอกจากนี้ยังพบว่า อนุภาคทองคำที่ได้จากการรีดิวซ์ด้วย Ginseng มีความเสถียรสูง ค่า Plasmon resonance band ยังปรากฏที่ 535 nm และไม่ตกตะกอน

Das *et al.* (Das, Manash R. *et al.* 2011 : 16-22) ได้สังเคราะห์เงินนาโนในสารละลายที่มีแผ่นแกรไฟีนออกไซด์ และศึกษาการต้านแบคทีเรีย ผลพบว่า ขนาดและรูปร่างของอนุภาคเงินนาโนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย AgNO_3 ส่วนการต้านแบคทีเรีย พบว่า อนุภาคเงินนาโนต้านแบคทีเรีย *E.coli* และ *P.aeruginosa* ทั้งในอาหาร Broth และ Agar plate

He, Lili *et al.* (2011) ได้แสดงให้เห็นว่า ZnO nanoparticles ที่มีขนาดอนุภาค 70 ± 15 nm สามารถต้านเชื้อราที่เกิดกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิด คือ *Botrytis cinerea* และ *Penicillium expansum* ได้ดี และนอกจากนี้ยังพบว่า ZnO nanoparticles มีสมบัติในการออกฤทธิ์เป็นแบบ concentration dependence (คือความเข้มข้นเพิ่มขึ้นฤทธิ์การต้านเชื้อราเพิ่มขึ้น) อีกด้วย โดยกลไกการออกฤทธิ์ของ ZnO คือสามารถช่วยให้เกิดการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่บริเวณผิวหน้าของ ZnO ที่ได้รับแสง จะเกิด electron hole pairs ($e^- - h^+$) แล้วรูนี้ก็จะปลดปล่อยน้ำออกมา จากนั้นโมเลกุลของน้ำจะแตกตัวเป็น OH^- และ H^+ แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนต่อไปได้ H_2O_2 จากนั้น H_2O_2 นี้จะเข้าสู่ cell membrane และทำให้เชื้อราตายในที่สุด

Smid, Eddy J., et al. (1995) ได้นำสารสกัดจากสมุนไพรชนิดต่างๆ รวม 15 ชนิด มาทดสอบการต้านเชื้อรา *Penicillium hirsutum* ของดอกทิวลิป (Tulip) พบว่า เมื่อจุ่มดอกทิวลิปลงในสารละลายของซินนามาลดีไฮด์ เข้มข้น 3.9 mM สามารถลดเชื้อราลงได้ 40 เท่า นอกจากนั้นสารละลายดังกล่าวยังรักษาคุณภาพของดอกไม้ได้ดีอีกด้วย

นอกจากนั้นยังพบว่า กลไกการออกฤทธิ์ โดยสมุนไพรเข้าไปรบกวนกระบวนการสังเคราะห์ cell wall และ ทำลาย cell wall ด้วยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Interference of fungal cell wall and cell wall destruction plus radical scavenging effect)



ภาพที่ 2.1 Mode of DNA acting drugs

จากข้อมูลข้างต้นนี้จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติมีฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างกว้างขวาง (Broad spectrum) ทั้งการต้านมะเร็ง ต้านแบคทีเรีย ต้านเชื้อราที่ก่อโรคในมนุษย์ สัตว์ และพืช และเมื่อขนาดของอนุภาคแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นสารชนิดเดียวกันก็ออกฤทธิ์แตกต่างกัน ซึ่งตำแหน่งการออกฤทธิ์เมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดต่างกัน แสดงในภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะทำให้เซลล์ของเชื้อราตายโดยรบกวนการทำงานของ DNA Gyrase และ Topoisomerase enzyme ทำให้ DNA ไม่สามารถดำเนินกิจกรรมสำคัญต่อการดำรงชีวิต เช่น การซ่อมแซม หรือการจำลองตัวเอง (Replication หรือ transcription) ได้ นอกจากนั้นอนุภาคของโลหะยังสามารถเข้าสู่ Haber-Weiss cycle หรือ Fenton reaction เพื่อผลิต ROS (reactive

oxygen species) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ของเชื้อโรค นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติทั้งหลายยังสามารถนำมาเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะต่างๆ เช่น ทองแดง เงิน และทองคำ เป็นต้น และนักวิจัยยังได้นำอนุภาคนาโนเหล่านี้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ จากผลงานวิจัยของกลุ่มต่างๆ ดังกล่าว รวมทั้งของกลุ่มคณะผู้วิจัยเองที่ได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ต้านเชื้อรา แบคทีเรีย ทั้งโรคมะเร็งและพืชเศรษฐกิจ จึงทำให้ทีมงานมีความสนใจที่จะนำสารที่ได้จากผลผลิตทางธรรมชาติ ได้แก่ Syringaldehyde และ Coumarin ซึ่งต่างก็เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมาเพิ่มฤทธิ์ โดยเทคนิค Double pharmacophores จะได้สารใหม่ที่เรียกว่า natural Schiff bases แล้วนำไปคอนจูเกตกับเกลือของโลหะทองแดง เกิดเป็นอนุภาคในระดับนาโนเมตร จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) และทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ (Biological activities) ในการต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่นที่เป็นปัญหาของเกษตรกรที่แปรรูปยางแผ่นขายให้สามารถเก็บไว้ได้นาน ผลที่ได้โครงการวิจัยนี้จะแก้ปัญหาให้เกษตรกรได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 Syringal dehyde, Sigma-Aldrich, Germany.

3.1.1.2 4-Hydroxycoumarin, Fluka Biochemica, Switzerland.

3.1.1.3 Salicylic hydrazide, Aldrich, Germany.

3.1.1.4 Isoniazid, Fluka, China.

3.1.1.5 Methanol, BDH Laboratory Supplies Pools, England.

3.1.1.6 N, N-Dimethylformamide, Ajax Finechem, New Zealand.

3.1.1.7 Dimethyl sulphoxide, Sigma-Aldrich Laborchemikakien GmbH,
Germany.

3.1.1.8 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine, Serva Fein Bio Chemica GmbH
and Co.KG, Germany.

3.1.1.9 Ferrous chloride tetrahydrate, Fluka, Germany.

3.1.1.10 Ferric chloride anhydrous, Fluka Chemica, Germany.

3.1.1.11 Ethyl alcohol, Carlo Erba, France.

3.1.1.12 Hydrochloric acid, Carlo Erba, USA. Switzerland.

3.1.1.13 Acetic acid, Carlo Erba, USA.

3.1.1.14 น้ำกลั่น

3.1.1.15 Copper (II) chloride dihydrate

3.1.1.16 Potato dextrose agar, Himedia Laboratories, India.

3.1.1.17 2,4,6-Tri (2-pyridyl)-s-triazine, Sigma-Aldrich,Switzerland.

3.1.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.1.2.1 UV spectrophotometer, Pharmacia Biotech

3.1.2.2 Autoclave. Hirayama, Scientific promotion Co.,LTD.

3.1.2.3 Lamina air flow cabinets, Safelab, United Kingdom.

3.1.2.4 Hot air oven. Memmert,Scientific promotion Co., LTD.

3.1.2.5 Biological Incubator, Hotpack, Philadelphia, USA.

3.1.2.6 Boekel Scientific Dricycler, Philadelphia, USA.

- 3.1.2.7 UV lamp, Gamag, Switzerland.
- 3.1.2.8 Hotplate & stirrer, Jenway Ltd., Essex, United Kingdom.
- 3.1.2.9 Volumetric Flask, Herka intercolor, Germany.
- 3.1.2.10 Beaker ขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1000 mL, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.11 Pipetman, Gilson Medical Electronics, France.
- 3.1.2.12 Spectronic 20 genesis, Spectronic Instruments, USA.
- 3.1.2.13 Crest Ultrasonic Cleaner, ETLTesting Laboratories Inc.,

NJ. USA.

- 3.1.2.14 Microscope, Nikon, Japan.
- 3.1.2.15 Test tube screw cap, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.16 Plate for bacterium growth, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.17 Graduated Cylinder, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.18 Paper disk, Whatman antibiotic assay discs, diam. 6 mm,

Sigma-Aldrich, Germany.

- 3.1.2.19 Micro Test Tubes with caps, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.20 Microhaematocrit tubes, Herlev, Denmark.
- 3.1.2.21 Magnet Retriever, PTFE Labware, India.
- 3.1.2.22 Erlenmeyer flask 2000 and 3000 ml, Pyrex, Germany.
- 3.1.2.23 Buchi melting point apparatus, Model B-545, Sigma-Aldrich,

Germany.

- 3.1.2.24 ขวดสีชา
- 3.1.2.25 ข้อนตักสาร
- 3.1.2.26 ขวดก้นกลม Pyrex glass ware, USA.
- 3.1.2.27 กระจาดอลูมิเนียมฟอยล์, Unifoil, Thailand.
- 3.1.2.28 กระจาดชั่งสาร
- 3.1.2.29 เครื่องชั่งสาร (Analytical balance), Sartorius AG Göttingen, Germany.

3.2 วิธีการสังเคราะห์

การสังเคราะห์สารมีวิธีการดังนี้ คือ

3.2.1 อุปกรณ์สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์

1. ขวดก้นกลม
2. Magnetic stirrer (เครื่องกวนสารเคมี)
3. Condensers

4. Magnetic bar (แท่งแม่เหล็กกวนสาร)
5. Methanol
6. Syringaldehyde
7. Coumarin
8. Salicylic hydrazide
9. Isoniazid
10. Copper (II) chloride dehydrate

3.2.2 การสังเคราะห์ลิแกนด์ (Schiff base hydrazone ligands)

3.2.2.1 การสังเคราะห์สาร Coumarin-Salicylic hydrazide (KU-Sal)

1. ชั่งสารคูมาริน (Coumarin; 0.1 g) ละลายในขวดก้นกลมด้วย เมทานอล (Methanol; 5 mL) กวนสารอย่างต่อเนื่องพร้อมกับให้ความร้อน ณ อุณหภูมิ 40-60 °C เป็นเวลา 20 นาที สารละลายจะใสไม่มีสี
2. เติมสารที่จะเข้าทำปฏิกิริยาซาลิไซลิกไฮดราไซด์ (Salicylic hydrazide; 0.0938 g) สารผสมเริ่มต้นมีสีขาวขุ่น จึงเติม Methanol (5 mL) สารละลายจะใสไม่มีสีเช่นเดิมเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที สารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนเกิดขึ้น
3. ทดสอบความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคทิลเลเยอร์-โครมาโทกราฟี โดยทำการชะ (Develop) ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วสังเกตผลภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต (UV-lamp)
4. ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใน 2 วัน
5. นำสารละลายที่ได้มากรองและปล่อยให้แห้งภายใต้ระบบสุญญากาศเป็นเวลา 2 วัน

3.2.2.2 การสังเคราะห์สาร Coumarin-Isoniazid (KU-INH)

1. ชั่งสารคูมาริน (Coumarin; 0.1 g) ละลายในขวดก้นกลมที่มีตัวทำละลายเมทานอลอยู่ 10 mL ให้ความร้อนและกวนอย่างต่อเนื่อง จนคูมารินละลายหมด
2. เติมสาร Isoniazid 0.0845 g ลงไปผสมกัน และกวนสารผสมนี้ต่อเนื่องไปพร้อมกับอุณหภูมิตั้งไว้ระหว่าง 40-60 °C เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที สารละลายเริ่มเปลี่ยนแปลงโดยเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองอ่อน แสดงว่าสารทั้งสองทำปฏิกิริยากันและมีสารใหม่เกิดขึ้น
3. ทดสอบความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคทิลเลเยอร์-โครมาโทกราฟีดีเวลลอป (Develop) ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม และสังเกตผลภายใต้แสงยูวี (UV-lamp)

4. ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใน 6 ชั่วโมง

5. กรองและเก็บสารละลายในระบบสุญญากาศ

3.2.2.3 การสังเคราะห์สาร Syringal dehyde -Salicylic hydrazide

(SRA-Sal)

1. ซิงสารไซลิ่งกอลดีไฮด์ (Syringal dehyde; 0.1 g) ละลายในขวดก้นกลมด้วยตัวทำละลายเมทานอล (Methanol) ปริมาตร 10 mL กวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิช่วง 40-60 °C จนไซลิ่งกอลดีไฮด์ละลายหมด

2. จากนั้นเติมสารละลายซาลิไซลิกไฮดราไซด์ในเมทานอล (Salicylic hydrazide; 0.0835 g) สารอินทรีย์ทั้งสองชนิดจะทำปฏิกิริยาการควบแน่นกัน โดยสังเกตเบื้องต้นจากสารละลายเริ่มเปลี่ยนแปลงจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองใส

3. กวนต่อไปและให้ความร้อน ทดสอบความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาด้วย เทคนิคทิลเลเยอร์โครมาโทกราฟี โดยดีเวลลอป (Develop) ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม แล้วนำไปสังเกตผลภายใต้แสงยูวี

4. เมื่อปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์แล้วกรองและเก็บสารใหม่ไฮดราโซน (Novel hydrazone ligand) ไว้ในระบบสุญญากาศ (Vacuum) ขำมคั้นจะได้ผลึกเกิดขึ้น

3.2.2.4 การสังเคราะห์สาร Syringal dehyde – Isoniazid (SRA-INH)

1. ซิงสารไซลิ่งกอลดีไฮด์ 0.1 g ละลายเมทานอล 10 mL กวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C จนไซลิ่งกอลดีไฮด์ละลายหมด จะสังเกตเห็นสารละลายใส

2. เติมรีเอเจนต์ Isoniazid (INH; 0.0752 g) ประมาณ 1 ชั่วโมง สารละลายเริ่มเปลี่ยนแปลงจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองใส แสดงว่าได้ผลผลิตเกิดขึ้น

3. หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วกรองและเก็บไว้ในระบบสุญญากาศ จะได้ผลึกของไฮดราโซน

3.2.3 วิธีการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน

สารประกอบเชิงซ้อนทุกตัวสังเคราะห์ด้วยวิธีที่คล้ายคลึงกันคือนำสาร Schiff base ligands มาทำปฏิกิริยากอนจูเกตชันกับ Cu ในตัวทำละลายเมทานอล (methanolic solvent) ด้วยอัตราส่วนโดยโมล 1:1 ปรับความเป็นกรด-เบสของสารละลายให้ได้ pH ~6 กวนสารละลายอย่างต่อเนื่อง ณ อุณหภูมิ 40-60 °C ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

3.3 การศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง (Physicochemical properties)

นำสารที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมาศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) โดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

3.3.1 การวัดสมบัติการละลายในตัวทำละลายต่างๆ เช่น เมทานอล เอทานอล ไดมethyl ซัลฟอกไซด์ และไดเมทิลฟอร์มาไมด์

3.3.2 วิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว (Melting point) นำสารที่สังเคราะห์ได้ทุกตัวมาหาจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Melting point

3.3.3 การสังเกตลักษณะผลึก สี และคำนวณหาผลผลิตร้อยละ (% yield)

3.3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy

3.3.5 วิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ (Elemental analysis) วิเคราะห์หาธาตุ Carbon, Hydrogen, Nitrogen และ Oxygen ในสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

3.4.1 ตัดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้า

3.4.2 นำตัวอย่างไปฉาบทองด้วยเครื่อง Ion sputter (ยี่ห้อ Balzers, model SCD 040)

3.4.3 นำไปส่องดูด้วย SEM (ยี่ห้อ JEOL, model JSM-6400)

3.5 การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

3.5.1 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay

การทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay หรือ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl เป็นสารอนุมูลอิสระ (Free radical) สามารถรับ Electron หรือ Hydrogen radical ได้ ซึ่งเมื่อ DPPH อยู่ในรูปสารละลายใน Absolute methanol จะมีสีม่วง และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ Antioxidant จะทำให้มีสีจางลง โดยใช้ BHT (Butylated hydroxytoluene) เป็นสารมาตรฐานที่ให้ผลบวกในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้ ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงเป็นค่า IC_{50} โดยต้องมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จึงจะถือว่ามียุทธิต้านอนุมูลอิสระ

3.5.1.1 การเตรียมสารละลายเพื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay

1. เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g/mL}$ ในสารละลาย absolute methanol
2. เตรียมสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 12.5, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ

โดยความเข้มข้น 12.5 ppm บีเปตสารมา 1.25 mL ปรับปริมาตรให้ครบ 10 mL

ความเข้มข้น 25 ppm บีเปตสารมา 2.5 mL ปรับปริมาตรให้ครบ 10 mL

ความเข้มข้น 50 ppm บีเปตสารมา 5 mL ปรับปริมาตรให้ครบ 10 mL

3. เตรียมขวดสีชา 24 ขวด เพราะในแต่ละความเข้มข้นจะต้องใช้ขวดสีชาจำนวน 3 ขวด และอีก 1 ขวด เป็นขวด control รวมเป็น 25 ขวด

4. นำขวดสีชา ทั้ง 25 ขวด ไปอบไว้ที่อุณหภูมิ 100 °C รอให้ขวดเย็นจึงนำมาใช้ได้

3.5.1.2 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

assay

1. บีเปต 1 ml ของสารละลายตัวอย่างและสารมาตรฐาน ในแต่ละความเข้มข้น ใส่ในขวดสีชา 3 ใบ เพื่อทำการทดสอบสารตัวอย่างละ 3 ครั้ง (triplicate)

2. บีเปต Methanolic DPPH radical 2 ml ใส่ขวดสีชาในแต่ละความเข้มข้น

3. เขย่าให้สารเข้ากัน นำขวดทั้ง 25 ใบ เก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 30 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง SPECTRONIC 20 GENESYS ที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยวัดจากความเข้มข้นต่ำไปยังความเข้มข้นสูง

5. คำนวณหาค่า % inhibition ดังสมการ

$$\% \text{ inhibition} = \frac{\text{OD}_{\text{control}} - \text{OD}_{\text{sample}}}{\text{OD}_{\text{control}}} \times 100$$

OD_{control} คือ ค่า absorbance ของ control (มีเฉพาะ DPPH)

OD_{sample} คือ ค่า absorbance ของ สารละลายตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน

3.5.2 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP)

การทดสอบด้วยวิธี FRAP assay (Ferric reducing antioxidant power) assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระ (reducing agent) โดยอาศัยคุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยา redox-linked colorimetric method โดยที่ ferric tripyridyltriazine (Fe³⁺-TPTZ) complex จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ ทำให้เกิด Fe²⁺-TPTZ complex ดังนั้นวิธีนี้ สามารถใช้วัด total reducing power ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้ Fe³⁺ เปลี่ยนเป็น Fe²⁺ ได้ เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานคือ FeSO₄ สร้างกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณ Fe²⁺ ที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นค่า FRAP value (Fe(II)/g)

3.5.2.1 การเตรียมสารละลายเพื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี **Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP)** ทำได้ดังนี้

1. Acetate buffer (300 ml, pH 3.6) โดยชั่ง 3.1 g ของ Sodium acetate, glacial acetate acid 16 ml ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 L ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C
2. Dilute HCl เป็น 40 mM โดยปิเปต 1.46 ml ของน้ำกลั่นผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
3. Ferric chloride มา 0.051 g ละลายโดยน้ำกลั่น 10 ml
4. TPTZ (2, 4, 6 – tri [2 – pyridyl] – s – triazin) 10 ml, 0.031 g ละลายใน HCl 40 mM จากนั้นละลายใน water bath ที่อุณหภูมิ 50 °C (เตรียมใหม่ทุกครั้งเวลาใช้)
5. การเตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยการนำสารละลาย acetate buffer, Ferric chloride และ TPTZ ในปริมาตร 100 ml, 10 ml , 10 ml ตามลำดับ ผสมให้เข้ากันใน water bath ที่อุณหภูมิ 37 °C

3.5.2.2 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี **Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP)**

1. ปิเปตสารตัวอย่างที่ความเข้มข้นเท่ากับ 12.5, 25, 50 และ 100 ตามลำดับ โดยปิเปต 150 μ L ของสารละลายตัวอย่าง แล้วปิเปต 3 mL ของสารละลาย FRAP ลงขวดเดิมที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่ เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 37°C
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงในนาที่ที่ 6 ที่ความยาวคลื่น 593 nm
3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Ferrous sulfate คำนวณหาปริมาณ Relative antioxidant activity (FRAP value) จากกราฟมาตรฐานของ FeSO_4 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ FeSO_4 กับค่า absorbance โดยต้องเจือจางสารตัวอย่างให้อยู่ในช่วงกราฟมาตรฐาน

3.6 การทดสอบความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา

3.6.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ

1. Hotplate
2. Erlenmeyer flask ขนาด 250 mL
3. Plate
4. เครื่อง Lamina air flow

5. ตะเกียงแอลกอฮอล์
6. สาร PDA (Potato dextrose agar)
7. แ่างแก้ว
8. ข้อนตักสาร
9. น้ำกลั่นปริมาตร 1000 mL
10. เครื่อง autoclave
12. แอลกอฮอล์
13. กระดาษ pH
14. กรดไฮโดรคลอริก
15. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.6.2 วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา

1. ชั่ง Potato dextrose agar
2. ละลายและทำให้สุกด้วยความร้อนบน Hot plate ซึ่งใช้ความร้อนระดับ 2
3. ปรับค่า pH ของอาหารให้เหมาะสมกับเชื้อรา
4. นำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที
5. นำอาหารไปเทลง Plate (จานเลี้ยงเชื้อ) ในเครื่อง Laminar flow

3.6.3 เชื้อราที่นำมาใช้ในการทดสอบฤทธิ์

1. *Penicillium* sp.
2. *Aspergillus* sp.

3.6.4 ขั้นตอนการเขี่ยเชื้อ

1. เผล loop จนร้อนแดง รอให้ loop เย็น จากนั้นใช้ loop เขี่ยเชื้อมาแตะที่ผิววุ้น ใกล้เคียง จานเพาะเชื้อ ลาก loop เบาๆ โดยใช้ด้านแบนของปลาย loop แตะเบาๆ บนผิววุ้นไปมา 4-5 ครั้ง ระวังอย่าให้ loop ผังลงในวุ้น ปิดฝาจานเพาะเชื้อ
2. ขีดเชื้อแบบ Streak plate ทำการขีดครั้งที่ 2 โดยใช้ loop เขี่ยเชื้อ ผ่านเชื้อที่แตะไว้ครั้งแรก ลากไปมา 5-6 ครั้ง ขีดครั้งที่ 3 โดยการหมุนจานเล็กน้อยให้เหมาะและ การขีดครั้งที่ 4 ให้ลาก loop ไปมา 2-3 ครั้ง

3.7 การศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา

3.7.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. Plate
2. Cotton buds
3. Paper disk
4. ตะเกียงแอลกอฮอล์

5. แอลกอฮอล์
6. Erlenmeyer flask
7. สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้
8. Control คือ DMSO

3.7.2 วิธีการศึกษาการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา

1. นำเชื้อราเกลี่ยบน plate ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ โดยใช้ loop เขี่ยเชื้อจากสต็อกมาเกลี่ยลงบน plate แล้วใช้ Cotton bud ที่ฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave นาน 15 นาที เกลี่ยเชื้อราให้ทั่ว plate
2. เตรียมสารตัวอย่างโดยชั่งสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด เตรียมเป็นความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ สาร KU-Sal เตรียมความเข้มข้นเป็น 100, 200 และ 300 ppm โดยชั่งสารมา 0.0050 g ปรับปริมาตรด้วย DMSO (Dimethyl sulfoxide)
3. บีบสารตัวอย่างจากความเข้มข้น 300 ppm ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml ที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ความเข้มข้น 100 ppm	บีบ 3.33 ml	ปรับปริมาตรเป็น 10 ml
ความเข้มข้น 200 ppm	บีบ 6.66 ml	ปรับปริมาตรเป็น 10 ml
4. นำ Paper disk วางบนแผ่นกระดาษที่เคลือบแต่ละความเข้มข้น แล้วบีบกระดาษละลายตัวอย่าง 20 μ l ลงบน Paper disk ในแต่ละความเข้มข้น แล้วนำ Paper disk เก็บไว้ในที่มีแสงสว่าง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางบนเชื้อที่เตรียมไว้ข้างต้นตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้ในข้อที่ 1
5. นำเชื้อไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ ในกรณีของเชื้อราใช้อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 3-5 วัน
7. วัด Clear zone และบันทึกผล

3.8 การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อราในยางแผ่น

การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อราในยางแผ่นประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. นำแผ่นยางพารา มาตัดเป็นวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร แล้ววางแผ่นยางพาราใน plate
2. นำแผ่นยางพาราที่ตัดได้ไปฆ่าเชื้อด้วยแสง UV เป็นเวลา 15 นาที
3. นำเชื้อราเกลี่ยบน plate ที่มียางแผ่นอยู่ โดยเผา loop จนร้อนแดง รอให้ loop เย็น จากนั้นใช้ loop เขี่ยเชื้อมาแตะที่แผ่นยางลาก loop เบาๆ โดยใช้ด้านแบนของปลาย loop

ตะเบาๆ บนยางแผ่นไปมา 4-5 ครั้ง ปิดฝาจานเพาะเชื้อ ชีตเชื้อแบบ Streak plate ทำการชิตครั้งที่ 2 โดยใช้ loop เชียเชื้อ ผ่านเชื้อที่ตะไว้ครั้งแรก ลากไปมา 5-6 ครั้ง ชิตครั้งที่ 3 โดยการหมุนจานเล็กน้อยให้เหมาะและการชิตครั้งที่ 4 ให้ลาก loop ไปมา 2-3 ครั้ง

4. เตรียมสารตัวอย่างโดยชั่งสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด เตรียมเป็นความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ เช่นสาร KU-Sal เตรียมความเข้มข้นเป็น 100, 200 และ 300 ppm โดยชั่งสารมา 0.0050 g ปรับปริมาตรด้วย DMSO (Dimethyl sulfoxide)

5. บีบสารตัวอย่างจากความเข้มข้น 300 ppm ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml ที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ความเข้มข้น 100 ppm บีบ 3.33 ml ปรับปริมาตรเป็น 10 ml

ความเข้มข้น 200 ppm บีบ 6.66 ml ปรับปริมาตรเป็น 10 ml

6. นำ Paper disk วางบนแผ่นกระจกสีเหลี่ยมแต่ละความเข้มข้น แล้วบีบสารละลายตัวอย่าง 20 μ l ลงบน Paper disk ในแต่ละความเข้มข้น แล้วนำ Paper disk เก็บไว้ในที่มีแสงสว่าง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางบนเชื้อที่เตรียมไว้ข้างต้นตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้ในข้อที่ 3

7. นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ ในกรณีของเชื้อราใช้อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 3-5 วัน

8. วัด Clear zone และบันทึกผล

3.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางแผ่น

3.9.1 ทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile properties)

นำยางแผ่นที่ผ่านการผสมกับสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดโดยตัดแผ่นยางให้มีขนาด 3x5 เซนติเมตร มาทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile properties) ตามมาตรฐาน ISO 37-1994 (E) ด้วยเครื่อง Lloyd โดยใช้ความเร็วในการดึงขึ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อทดสอบหาค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100%, ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) และระยะยืดก่อนขาด (elongation at break) แล้วหาค่าเฉลี่ยของขึ้นทดสอบ 8 ตัวอย่าง

3.9.2 การทดสอบความทนแรงฉีกขาด (Tear strength)

ทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ISO 34 (Angle test piece) ด้วยเครื่องเทนไซล์ (Tensile test machine) ด้วยอัตราเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดคือค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ยางเกิดการฉีกขาดต่อความหนาของชั้นตัวอย่าง (มีหน่วยเป็น N/mm)

3.9.3 ทดสอบค่าความแข็ง (Hardness Shore A)

ทดสอบความแข็ง (Shore a hardness) ด้วยเครื่องวัด Shore Durometer (Model 716) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยที่การวัดจะรายงานค่าความแข็ง (hardness number) ภายใต้ระยะเวลากด (Indentation time) 15 วินาที และบันทึกค่า Median จากค่าที่วัดได้ทั้งหมด 5 ค่า

3.10 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ

ทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ (Vero cells) โดยเติม Vero cells 45 μl (3.3×10^4 cells/mL) ลงในแต่ละหลุมของ 384-well plates ที่มีสารตัวอย่างอยู่ 5 μl เจือจางด้วย DMSO 0.5 % แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37°C มี CO₂ 5% เป็นเวลา 4 วันแล้ววัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ (excitation ที่ 485 nm และ emission ที่ 535 nm) สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับค่าการตอบสนองของเซลล์เพื่อหา IC₅₀

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

จากการทดลอง คณะผู้วิจัยจะได้ให้รายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการสังเคราะห์สารตัวอย่าง

4.1.2 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง

4.1.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM)

4.1.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

4.1.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

4.1.6 ผลการทดสอบความสามารถการต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง

4.1.7 ความสามารถในการต้านเชื้อราบนแผ่นยาง

4.1.8 สมบัติเชิงกล: ความเค้น – ความเครียดของแผ่นยาง

4.2 ผลการสังเคราะห์สาร

การสังเคราะห์ได้ผลดังรายละเอียดและตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

4.2.1 การสังเคราะห์ตัวรีดิวซ์ (Natural reducing hybrid hydrazone reagents)

1) สาร **KU-Sal** : นำคูมารินมาควั่นกับซาลิไซลิกไฮดราไซด์ โดยละลายสารคูมารินกับตัวทำละลายเมทานอล 5 mL เมื่อคูมารินละลายหมด เติมซาลิไซลิกไฮดราไซด์ พร้อมกับอุ่นและกวนสารผสมอย่างต่อเนื่องจะได้สารละลายใสไม่มีสี กรองและเก็บไว้จะได้ผงละเอียดไม่มีสี

2) สาร **KU-INH** : นำคูมารินมาควั่นกับไอโซไนแอซิด (isoniazid; INH) โดยละลายคูมารินในเมทานอล พร้อมให้ความร้อนและกวนสารอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง สารละลายเริ่มมีสีเหลืองอ่อน ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปอีกประมาณ 6 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ กรองและเก็บไว้ 2 วัน จะได้ผลึก สีขาวแกมส้ม

3) สาร **SRA-Sal** : นำไซลิ่งกอลดีไฮด์ (Syringal dehyde) มาควั่นกับซาลิไซลิกไฮดราไซด์ (Salicylic hydrazide) ในตัวกลางเมทานอล ให้ความร้อนและกวนสารผสมอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตสีเหลืองแกมน้ำตาล กรองและเก็บไว้จะได้ผลึกสีน้ำตาล

4) สาร **SRA-INH** : โดยนำไซลิ่งกอลดีไฮด์มาทำปฏิกิริยา Schiff base condensation กับไอโซไนแอซิดในสภาวะที่ไม่รุนแรง ในตัวกลางของเมทานอล เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายสีเหลือง เมื่อเก็บไว้ข้ามคืนจะได้ผลึกสีเหลืองเกิดขึ้น

4.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ (Copper nanoparticles)

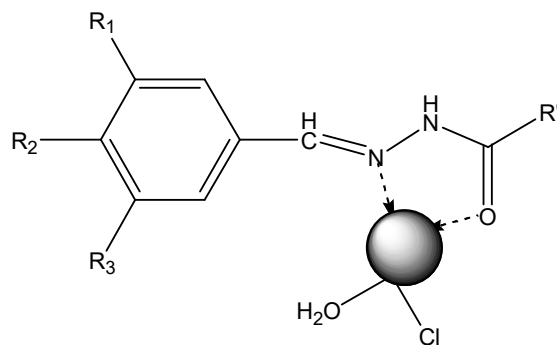
การสังเคราะห์คอปเปอร์นาโนสามารถทำได้ด้วยกระบวนการทางเคมี โดยนำผลึกของรีดิวซิงเอเจนต์ในข้อ 4.2.1 มารีดิวซ์สารละลายของเกลือคอปเปอร์ ได้ผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) อนุภาคคอปเปอร์นาโนจาก **KU-Sal** : นำสาร KU-Sal (Coumarin salicylic hydrazone) มารีดิวซ์สารละลายของคอปเปอร์ เร่งให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยการให้ความร้อนจะได้สารสีเขียวเกิดขึ้นทันทีและเกิดสมบูรณ์ในเวลา 3 ชั่วโมง

2) อนุภาคคอปเปอร์นาโนจาก **KU-INH** : ใช้สาร KU-INH ทำปฏิกิริยากับสารละลายของคอปเปอร์ในอัตราส่วน 1:1 โดยโมล ในตัวกลางเมทานอลที่ร้อน จะได้อนุภาคของคอปเปอร์นาโนสีเขียวแกมดำเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

3) อนุภาคคอปเปอร์นาโนจาก **SRA-Sal** : ละลาย SRA-Sal ในเมทานอลที่ร้อนและกวนสารอย่างต่อเนื่อง และค่อยๆ หยดสารละลายของคอปเปอร์ที่ละลาย สารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมดำ ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ภายใน 1 ชั่วโมง กรองและทำให้แห้งในระบบสุญญากาศ นำไปศึกษาสมบัติอื่นๆ ต่อไป

4) อนุภาคคอปเปอร์นาโนจาก **SRA-INH** : ละลายตัวรีดิวซ์ SRA-INH ในตัวกลางของเมทานอล อุ่นและกวนต่อเนื่องจนสารละลายหมดแล้วค่อยๆ หยดสารละลายเกลือของคอปเปอร์ จะได้สารละลายสีเขียวใส ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง กรองและเก็บไว้ในระบบสุญญากาศจะได้อนุภาคสีเขียวแกมดำ นำไปศึกษาสมบัติต่างๆ ต่อไป



4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สูตรอย่างง่าย ผลผลิตร้อยละ สีของอนุภาคและจุดหลอมเหลว

ชื่อสามัญ (Trivial name)	สูตรโมเลกุล	ผลผลิต ร้อยละ	จุด หลอมเหลว (°C)	สีของสาร
1. KU-Sal	$C_{16}H_{14}N_2O_5$	90.45	144.4	สีขาวขุ่น
2. KU-INH	$C_{15}H_{13}N_3O_4$	94.25	164.4	สีขาวแกมส้ม
3. SRA-Sal	$C_{16}H_{16}N_2O_5$	87.41	215.2	สีน้ำตาล
4. SRA-INH	$C_{15}H_{17}N_3O_5$	78.82	219.2	สีเหลือง
5. KU-Sal-Cu	$[C_{16}H_{14}N_2O_5CuCl_2(H_2O)]$	39.49	254.2	สีเขียวแกมน้ำตาล
6. KU-INH-Cu	$[C_{15}H_{13}N_3O_4CuCl_2(H_2O)]$	62.70	164.4	สีเขียวเข้ม
7. SRA-Sal-Cu	$[C_{16}H_{16}N_2O_5CuCl_2(H_2O)]$	34.59	288.9	สีดำ
8. SRA-INH-Cu	$[C_{15}H_{17}N_3O_5CuCl_2(H_2O)]$	33.03	201.3	สีเขียวขี้ม้า

จากตารางที่ 4.1 เมื่อทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด พบว่า สารคูมาริน เมื่อนำมาควบแน่นกับเอมีน (Salicylic hydrazide; Sal) จะได้สารที่รีดิวิซต์ตัวใหม่ กำหนดรหัสเป็น KU-Sal มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{16}H_{14}N_2O_5$ มีจุดหลอมเหลวที่ 144.4 °C เนื้อสารมีสีขาวขุ่น และสารคูมารินเมื่อนำมาควบแน่นกับเอมีน (Isoniazid; INH) ได้สารที่กำหนดรหัสเป็น KU-INH มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{13}N_3O_4$ มีจุดหลอมเหลวที่ 164.4 °C เนื้อสารมีสีขาวแกมส้ม จากนั้นนำสารใหม่ทั้งสองชนิดไปรีดิวิซต์สารละลายเกลือของโลหะคอปเปอร์ จะได้อนุภาคนาโนคอปเปอร์ที่สามารถเขียนสูตรอย่างง่ายเป็น KU-Sal-Cu มีจุดหลอมเหลวที่ 254.2 °C เนื้อสารมีสีเขียวแกมน้ำตาล และอนุภาคนาโนคอปเปอร์ตัวที่สองคือ KU-INH-Cu จุดหลอมเหลวที่ 164.4 °C เนื้อสารมีสีเขียวเข้ม นอกจากนี้ยังได้นำสารไซลิงกอลดีไฮด์มาควบแน่นกับเอมีน Sal ได้สารใหม่ SRA-Sal มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{16}H_{16}N_2O_5$ มีจุดหลอมเหลวที่ 215.2 °C เนื้อสารมีสีน้ำตาล และสารไซลิงกอลดีไฮด์นำมากควบแน่นกับเอมีน INH ได้สารใหม่ SRA-INH มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{17}N_3O_5$ มีจุดหลอมเหลวที่ 219.2 °C เนื้อสารมีสีเหลือง เมื่อนำมารีดิวิซต์เกลือของคอปเปอร์ จะได้อนุภาคนาโนคอปเปอร์สองชนิด คือ SRA-Sal-Cu มีจุดหลอมเหลวที่ 288.9 °C เนื้อสารมีสีดำ และ SRA-INH-Cu มีจุดหลอมเหลวที่ 201.3 °C เนื้อสารมีสีเขียวขี้ม้า

ตารางที่ 4.2 มวลโมเลกุล และ Elemental analysis ของสารที่ได้จากการสังเคราะห์

สารตัวอย่าง	MW	Elemental analysis							
		% C		% H		% N		% O	
		Cal.	Found	Cal.	Found	Cal.	Found	Cal.	Found
KU-Sal	314.30	61.08	60.98	4.45	4.50	8.90	9.00	25.45	25.40
KU-INH	299.29	60.14	60.12	4.34	4.37	14.03	14.01	21.38	21.42
SRA-Sal	316.32	60.69	60.70	5.05	5.04	8.85	8.89	25.29	25.30
SRA-INH	319.32	56.36	56.40	5.32	5.30	13.15	13.15	25.05	25.02
KU-Sal-Cu	484.78	39.60	39.48	2.88	3.00	5.77	5.70	16.50	16.45
KU-INH-Cu	469.77	38.31	38.29	2.76	2.75	8.94	9.01	13.62	13.67
SRA-Sal-Cu	504.81	38.03	38.05	3.16	3.12	5.54	5.55	15.84	15.79
SRA-INH-Cu	489.80	36.74	36.68	3.47	3.50	8.57	8.50	16.33	16.35

จากตารางที่ 4.2 พบว่า สารตัวอย่างจะมีค่ามวลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ส่วนผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ พบว่า เปอร์เซนต์ธาตุองค์ประกอบจากการคำนวณ (Cal.; Calculation) มีค่าสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyser, Perkin Elmer PE2400 Series II, USA.

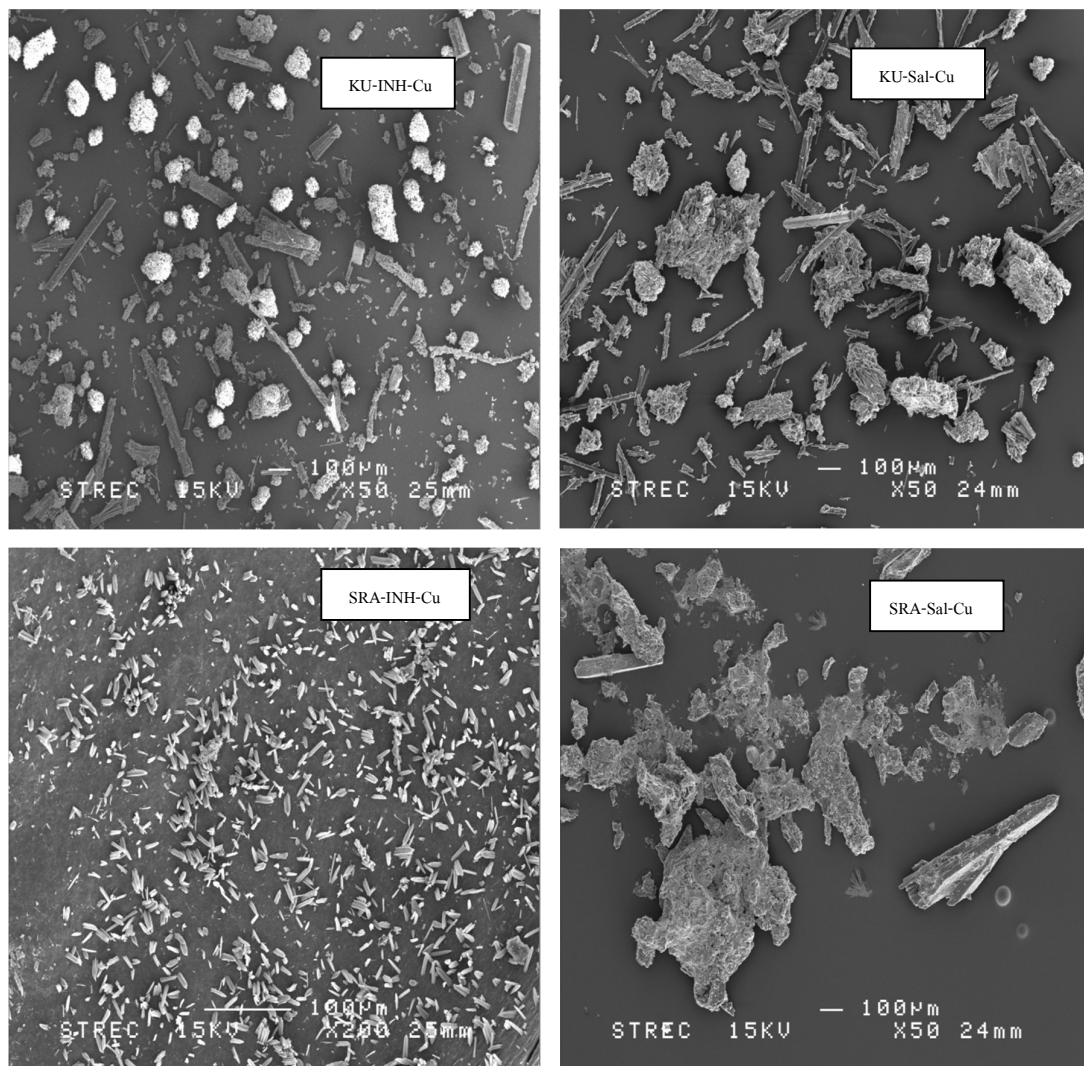
ตารางที่ 4.3 สถานะและการละลายได้ของสารตัวอย่างในตัวทำละลายชนิดต่างๆ

สารตัวอย่าง	สถานะของสาร	การละลายของสาร			
		DMSO	DMF	Methanol	Ethanol
1. KU-Sal	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
2. KU-INH	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
3. SRA-Sal	ผลึก	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
4. SRA-INH	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
5. KU-Sal-Cu	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
6. KU-INH-Cu	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
7. SRA-Sal-Cu	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
8. SRA-INH-Cu	ของแข็ง	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าสารทั้ง 8 ชนิด ส่วนใหญ่จะมีสถานะเป็นผงละเอียด (Fine powder) แต่มีเพียงสารชนิดเดียวคือสาร SRA-Sal ที่มีสถานะเป็นผลึก (Crystal) และสารทั้ง 8 ชนิด สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี

4.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope; SEM)

เมื่อนำอนุภาคนาโนทั้ง 4 ชนิด ไปสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน และวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางมอร์โฟโลยีของอนุภาคคอปเปอร์นาโนจากกล้อง SEM

จะเห็นว่าอนุภาคทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะเป็นรูเข็ม (Needle form) จากตัวทำละลายเมทานอล และมีขนาดอนุภาค KU-Sal-Cu 38 nm, KU-INH-Cu 35 nm, SRA-Sal-Cu 53 nm และ SRA-INH-Cu 81 nm ตามลำดับ

4.5 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง โดยวิธี DPPH radical scavenging assay ซึ่งมีสาร 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl เป็นอนุมูลอิสระมาตรฐาน (Free radical) สามารถรับ Electron หรือ Hydrogen radical ได้ เมื่อ DPPH อยู่ในรูปสารละลายในเมทานอล (Absolute methanol) จะมีสีม่วงและเมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) จะทำให้มีสีของสารละลายจางลง การวิจัยในครั้งนี้ใช้ BHT (Butylated hydroxy toluene) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน วิธีนี้ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) ดังตารางที่ 4.4 และแปลงเป็นค่า IC₅₀ ในตารางที่ 4.5 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างแต่ละชนิดกับค่า IC₅₀ ดังภาพที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารแต่ละชนิดด้วยเทคนิค DPPH

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 520 nm			$\bar{x} \pm \text{SD}$	Radical scavenging activity (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
KU-Sal	12.5	0.267	0.264	0.279	0.270±0.008	33.002
	25	0.262	0.211	0.195	0.222±0.035	44.748
	50	0.240	0.219	0.161	0.206±0.041	48.718
	100	0.149	0.156	0.152	0.152±0.004	62.283
KU-INH	12.5	0.310	0.360	0.345	0.338±0.026	18.865
	25	0.288	0.265	0.280	0.277±0.012	33.413
	50	0.275	0.270	0.269	0.271±0.003	34.932
	100	0.240	0.259	0.244	0.247±0.010	40.608
SRA-Sal	12.5	0.384	0.397	0.386	0.389±0.007	38.352
	25	0.198	0.257	0.224	0.226±0.030	64.131
	50	0.177	0.155	0.181	0.171±0.014	72.900
	100	0.079	0.087	0.096	0.087±0.009	86.160

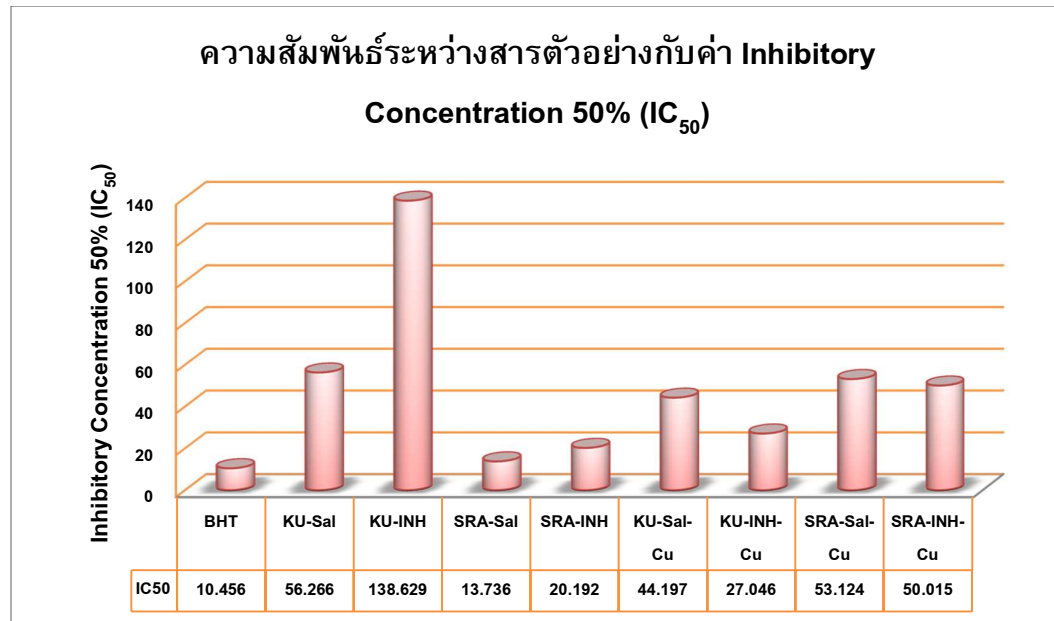
ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารแต่ละชนิดด้วยเทคนิค DPPH (ต่อ)

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 520 nm			$\bar{x} \pm SD$	Radical scavenging activity (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
SRA-INH	12.5	0.392	0.398	0.391	0.394 ± 0.004	37.612
	25	0.272	0.285	0.294	0.284 ± 0.011	55.045
	50	0.147	0.153	0.147	0.149 ± 0.003	76.387
	100	0.097	0.096	0.084	0.092 ± 0.007	86.501
KU-Sal-Cu	12.5	0.546	0.569	0.574	0.563 ± 0.015	17.690
	25	0.416	0.466	0.397	0.426 ± 0.036	37.671
	50	0.115	0.384	0.209	0.236 ± 0.137	65.497
	100	0.089	0.078	0.091	0.086 ± 0.007	87.427
KU-INH-Cu	12.5	0.510	0.555	0.590	0.552 ± 0.040	19.347
	25	0.360	0.325	0.191	0.292 ± 0.089	57.310
	50	0.072	0.074	0.082	0.076 ± 0.005	88.889
	100	0.052	0.086	0.075	0.071 ± 0.017	89.620
SRA-Sal-Cu	12.5	0.614	0.605	0.605	0.608 ± 0.005	11.111
	25	0.530	0.545	0.542	0.539 ± 0.008	21.199
	50	0.290	0.257	0.268	0.272 ± 0.017	60.283
	100	0.093	0.093	0.105	0.097 ± 0.007	85.819
SRA-INH-Cu	12.5	0.665	0.718	0.425	0.603 ± 0.156	74.610
	25	0.402	0.381	0.412	0.398 ± 0.016	63.889
	50	0.223	0.273	0.245	0.247 ± 0.025	41.764
	100	0.151	0.252	0.118	0.174 ± 0.070	11.891
BHT	12.5	0.202	0.219	0.212	0.211 ± 0.009	47.643
	25	0.187	0.192	0.197	0.192 ± 0.005	52.357
	50	0.092	0.099	0.097	0.096 ± 0.004	76.179
	100	0.088	0.067	0.072	0.076 ± 0.011	81.224

จากตารางที่ 4.4 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์การจับอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging effect) เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย DPPH กับสารตัวอย่าง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} 520 nm ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่น (Wave length) ที่สารละลาย DPPH สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด ดังนั้นค่าการดูดกลืนแสงของสาร DPPH เปลี่ยนไปจะทำให้สีของสารจางลง แสดงว่า สารมีสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนต์โดยการเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH โดยสารละลาย DPPH free radical ได้รับอิเล็กตรอนหรืออะตอมอิสระ สังเกตจากค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} 520nm ลดลงแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ แสดงผลที่ชัดเจนได้ตั้งตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 ค่า IC_{50} ของสารตัวอย่างในการต้านอนุมูลอิสระ

สารตัวอย่าง	IC_{50} (Inhibitory Concentration 50%)
KU-Sal	56.266
KU-INH	138.629
SRA-Sal	13.736
SRA-INH	20.192
KU-Sal-Cu	44.197
KU-INH-Cu	27.046
SRA-Sal-Cu	53.124
SRA-INH-Cu	50.015
BHT	10.456



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสารตัวอย่างกับค่า Inhibitory Concentration 50% (IC₅₀)

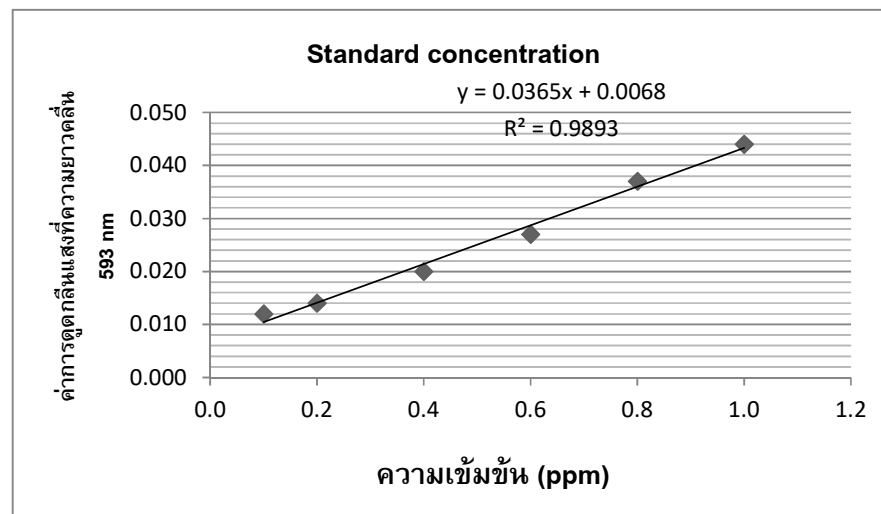
จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.2 แสดงค่า IC₅₀ ของสารตัวอย่างในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การจับอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดกับสารมาตรฐาน พบว่า สารตัวอย่างมีค่า IC₅₀ ที่ต่ำและใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน ได้แก่ SRA-Sal และ SRA-INH

4.6 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

การทดสอบด้วยวิธี FRAP assay (Ferric reducing antioxidant power assay) เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระ (reducing agent) โดยอาศัยสมบัติการเป็นตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยา Redox-linked colorimetric method โดยที่ Ferric tripyridyltriazine (Fe³⁺-TPTZ) complex จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ทำให้เกิดเป็น Fe²⁺-TPTZ complex ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้วัด Total reducing power ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้ Fe³⁺ เปลี่ยนเป็น Fe²⁺ ได้ เทียบกับสารต้านมาตรฐาน FeSO₄ ได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่ามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

Standard concentration (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm
0.0	0.000
0.1	0.012
0.2	0.014
0.4	0.020
0.6	0.027
0.8	0.037
1.0	0.044



ภาพที่ 4.3 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

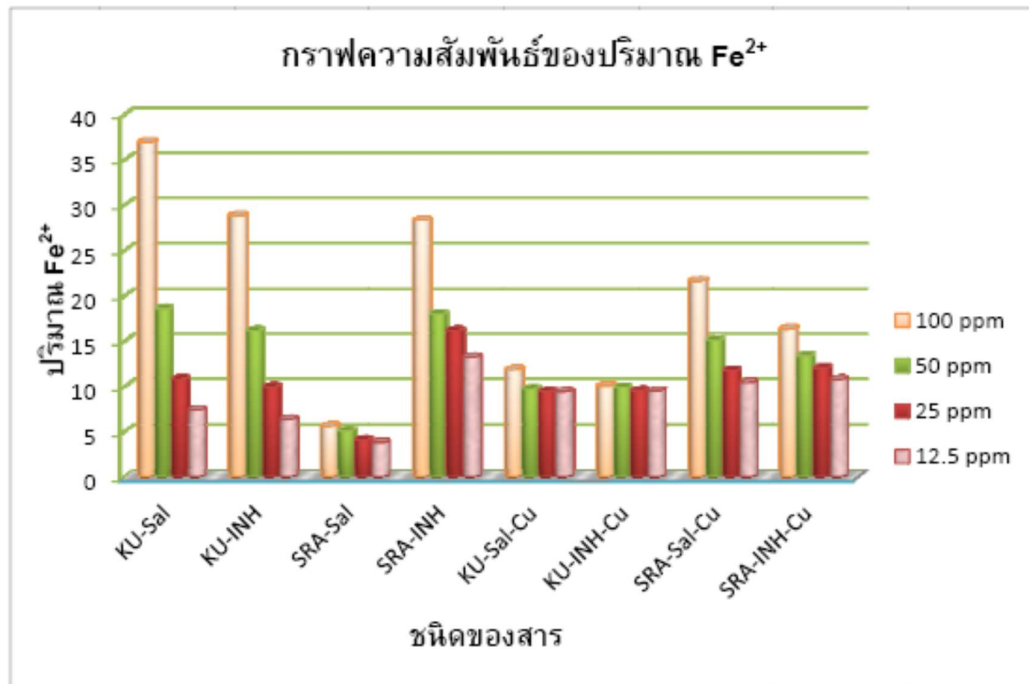
ตารางที่ 4.7 ปริมาณของ Fe^{2+} ที่ได้จากการรีดิวซ์ Fe^{3+} โดยสารตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm			$\bar{x} \pm SD$	ปริมาณของ Fe^{2+}
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
KU-Sal	12.5	0.273	0.263	0.279	0.272 ± 0.008	7.388
	25	0.417	0.380	0.385	0.394 ± 0.020	10.777
	50	0.674	0.670	0.674	0.673 ± 0.002	18.527
	100	1.491	1.225	1.290	1.335 ± 0.139	36.910
KU-INH	12.5	0.241	0.231	0.229	0.234 ± 0.006	6.333
	25	0.361	0.359	0.371	0.364 ± 0.006	9.944
	50	0.588	0.577	0.599	0.588 ± 0.011	16.166
	100	1.011	1.084	1.034	1.043 ± 0.037	28.805
SRA-Sal	12.5	0.163	0.137	0.130	0.143 ± 0.017	3.805
	25	0.140	0.156	0.162	0.153 ± 0.011	4.083
	50	0.187	0.184	0.193	0.188 ± 0.005	5.055
	100	0.297	0.295	0.298	0.297 ± 0.002	5.583
SRA-INH	12.5	0.485	0.468	0.493	0.482 ± 0.013	13.222
	25	0.580	0.575	0.608	0.588 ± 0.018	16.166
	50	0.640	0.666	0.652	0.653 ± 0.013	17.972
	100	0.918	1.056	1.102	1.025 ± 0.096	28.305
KU-Sal-Cu	12.5	0.343	0.347	0.345	0.345 ± 0.002	9.416
	25	0.339	0.349	0.349	0.346 ± 0.006	9.444
	50	0.349	0.36	0.356	0.355 ± 0.006	9.694
	100	0.375	0.532	0.390	0.432 ± 0.087	11.833
KU-INH-Cu	12.5	0.350	0.349	0.343	0.347 ± 0.004	9.472
	25	0.344	0.346	0.357	0.349 ± 0.007	9.527
	50	0.363	0.357	0.367	0.362 ± 0.005	9.888
	100	0.368	0.368	0.366	0.367 ± 0.001	10.027

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของ Fe^{2+} ที่ได้จากการรีดิวซ์ Fe^{3+} โดยสารตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP (ต่อ)

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm			$\bar{x} \pm SD$	ปริมาณของ Fe^{2+}
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
SRA-Sal-Cu	12.5	0.380	0.383	0.377	0.380 ± 0.003	10.388
	25	0.431	0.427	0.43	0.429 ± 0.002	11.750
	50	0.534	0.547	0.566	0.549 ± 0.016	15.083
	100	0.825	0.743	0.782	0.783 ± 0.041	21.583
SRA-INH-Cu	12.5	0.384	0.397	0.395	0.392 ± 0.007	10.722
	25	0.434	0.437	0.442	0.438 ± 0.004	12.000
	50	0.485	0.490	0.483	0.486 ± 0.004	13.333
	100	0.540	0.623	0.619	0.594 ± 0.047	16.333

จากตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณของ Fe^{2+} ที่ได้จากการรีดิวซ์ Fe^{3+} โดยสารตัวอย่างในการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า เมื่อนำสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด ที่เตรียมความเข้มข้นระหว่าง 12.5, 25, 50 และ 100 ppm ตามลำดับ จะเห็นสารแต่ละชนิดมีค่าเฉลี่ยของ Fe^{2+} แปรตามความเข้มข้น และ เมื่อกำหนดหาค่าความเข้มข้นของ Fe^{2+} ที่เกิดจากการรีดิวซ์ Fe^{3+} ของสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน พบว่า สารตัวอย่างที่ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ได้ดีที่สุดคือ KU-Sal ซึ่งสามารถรีดิวซ์ Fe^{3+} ไปเป็น Fe^{2+} ได้มากกว่าสารชนิดอื่น รองลงมาคือ KU-INH, SRA-INH, SRA-Sal-Cu, SRA-INH-Cu, Ku-Sal-Cu, KU-INH-Cu และ SRA-Sal ตามลำดับ เพื่อให้มองเห็นภาพของสารในการรีดิวซ์ Fe^{3+} ไปเป็น Fe^{2+} ได้อย่างชัดเจนจึงได้นำปริมาณของ Fe^{2+} ที่เกิดจากการรีดิวซ์ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดไปสร้างกราฟดังภาพที่ 4.4

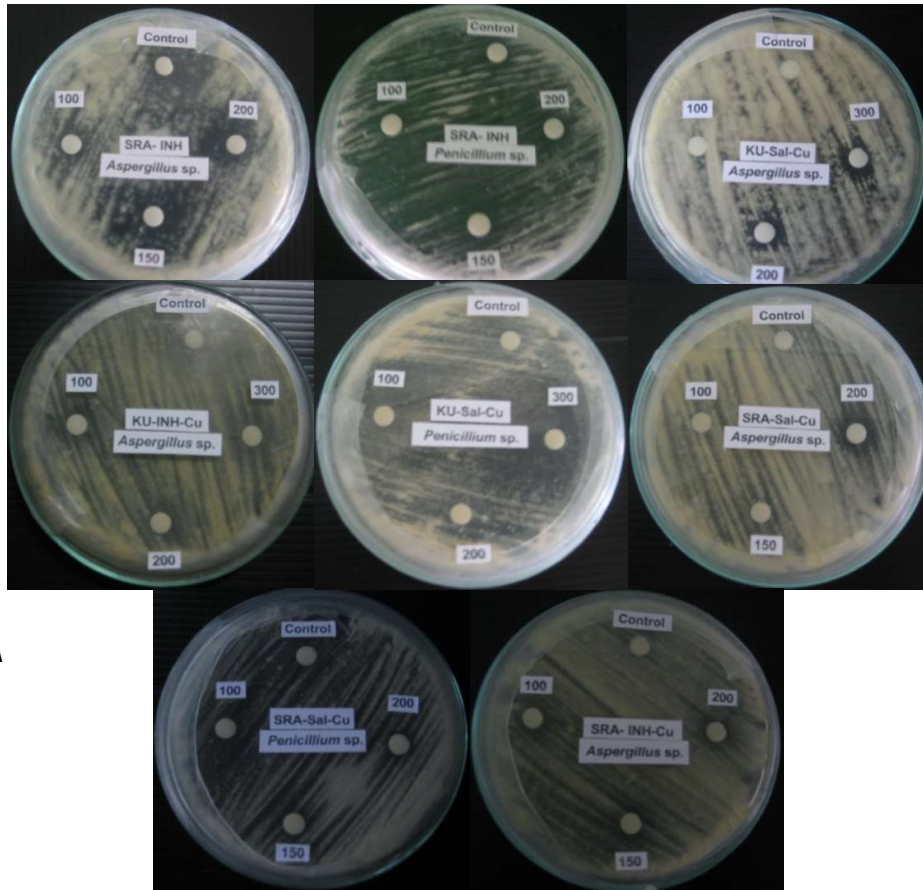


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณ Fe^{2+} ที่เกิดจากการถูกรีดิวซ์ของ Fe^{3+} ด้วยสารตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณ Fe^{2+} สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า สารตัวอย่างแต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ได้แตกต่างกันซึ่งจะแปรผันตามความเข้มข้นสารที่มีความเข้มข้นมากจะสามารถต้านอนุมูลอิสระได้สูงและสารที่มีความเข้มข้นของสารน้อยจะมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำ ซึ่งสารที่มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือสาร KU-Sal และสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือสาร SRA-Sal สังเกตได้อย่างชัดเจนจากภาพที่ 4.4

4.7 ผลการทดสอบความสามารถการต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง

การทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. โดยเตรียมสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด ให้มีความเข้มข้น 100, 150 และ 200 ppm แล้วนำไปทดสอบฤทธิ์กับเชื้อรา โดยเทคนิค Paper disc diffusion ในห้องปฏิบัติการ สังเกตและบันทึกผล ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 การต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.5 การทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. ของสารตัวอย่าง พบว่า สารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ ตั้งแต่ความเข้มข้น 100 ppm และสารตัวอย่างแต่ละชนิดออกฤทธิ์ต้านเชื้อราทั้งสองได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 300 ppm ดังนั้นจึงใช้ความเข้มข้นนี้เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นในการทดสอบ ครั้งต่อไป

ตารางที่ 4.8 ความสามารถการต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ppm)	Clear zone (mm)							
		<i>Penicillium sp.</i>				<i>Aspergillus sp.</i>			
		1	2	3	$\bar{x} \pm SD$	1	2	3	$\bar{x} \pm SD$
KU-Sal	control	-	-	-		-	-	-	
	300	9	14	10	11.00±2.64	8	8	8	8.00±0.00
	400	11	15	11	12.33±2.30	12	9	9	10.00±1.73
	500	13	17	13	14.33±2.309	15	10	10	11.67±2.88
KU-INH	control	-	-	-		-	-	-	
	300	7	8	7	7.33±0.57	7	-	-	2.33±4.04
	400	8	8	8	8.00±0.00	12	-	-	4.00±6.92
	500	10	9	12	10.33±1.52	14	-	7	7.00±7.00
SRA-Sal	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	10	0	12	7.33±6.42	11	11	12	11.33±0.57
	400	13	9	13	11.67±2.30	13	12	13	12.67±0.57
	500	14	25	15	18.00±6.08	14	13	18	15.00±2.64
SRA-INH	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	8	8	8	8.00±0.00	11	10	11	10.67±0.57
	400	8	8	9	8.33±0.57	12	11	9	10.67±1.52
	500	9	9	10	9.33±0.57	13	13	12	12.67±0.57
KU-Sal-Cu	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	8	8	8	8.00±1.00	9	8	8	8.33±0.57
	400	8	8	9	8.33±0.57	10	9	7	8.67±1.52
	500	9	9	10	9.33±0.57	10	10	9	9.67±0.57
KU-INH-Cu	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	8	9	7	8.00±1.00	9	9	8	8.67±0.57
	400	9	9	8	8.67±0.57	9	9	9	9.00±0.00
	500	10	10	9	9.67±0.57	10	11	10	10.33±0.57

ตารางที่ 4.8 ความสามารถการต้านเชื้อราของสารตัวอย่าง (ต่อ)

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ppm)	Clear zone (mm)							
		<i>Penicillium sp.</i>				<i>Aspergillus sp.</i>			
		1	2	3	$\bar{x} \pm SD$	1	2	3	$\bar{x} \pm SD$
SRA-Sal-Cu	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	8	8	8	8.00±0.00	8	7	8	7.67±0.57
	400	9	9	9	9.00±0.00	9	8	9	8.67±0.57
	500	10	10	10	10.00±0.00	10	11	10	10.33±0.57
SRA-INH-Cu	control	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	0	8	7	5.00±4.35	8	7	8	7.67±0.57
	400	8	9	8	8.33±0.57	9	8	9	8.67±0.57
	500	10	10	10	10.00±0.00	10	9	10	9.67±0.57

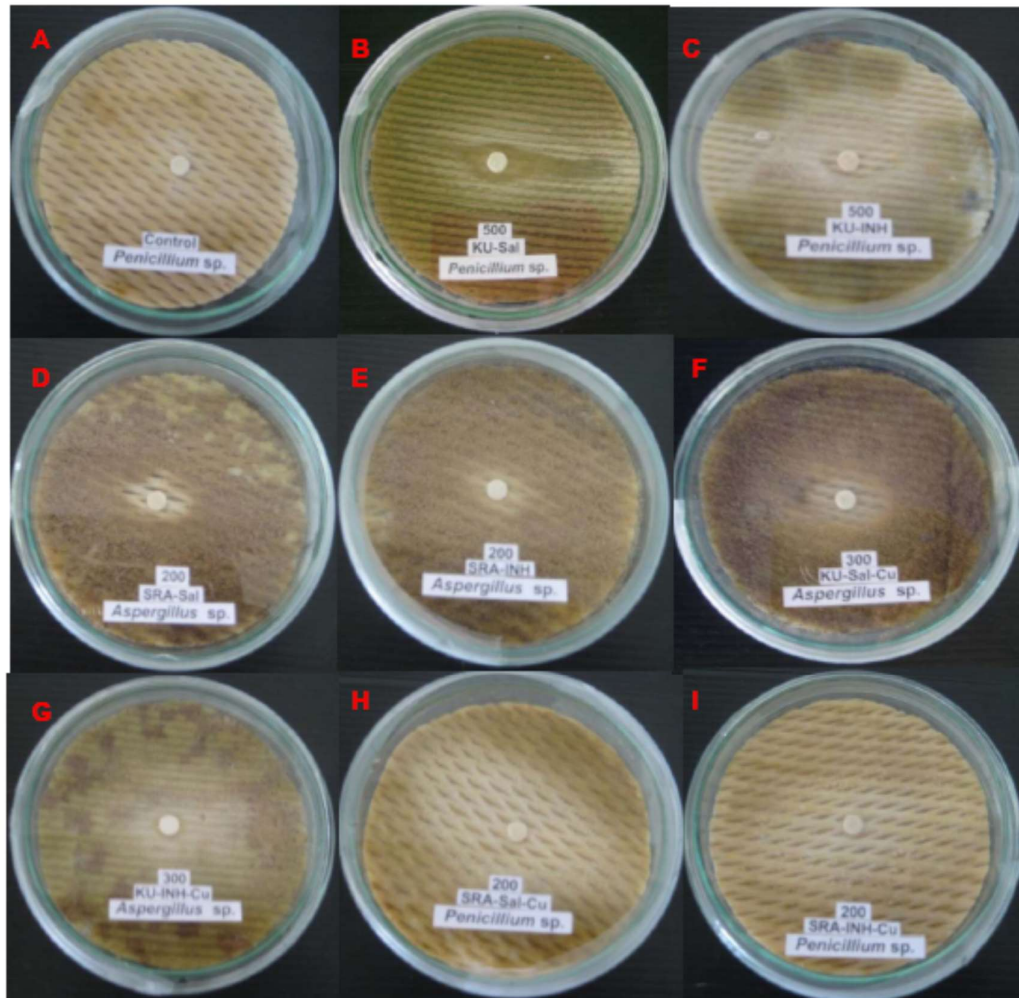
การทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อรา *Penicillium sp.* และ *Aspergillus sp.* ของสารตัวอย่าง โดยเตรียมสารตัวอย่าง ทั้ง 8 ชนิด ความเข้มข้น 300, 400 และ 500 ppm แล้วนำสารไปทดสอบฤทธิ์ด้วยเทคนิค Paper disc diffusion จำนวน 3 ซ้ำ วัดวงใส คำนวณหาค่าเฉลี่ยและ

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารตัวอย่างในการต้านเชื้อราของแผ่นยาง จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Penicillium sp.* พบว่า สาร SRA-Sal มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา *Penicillium sp.* ของแผ่นยางได้ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* พบว่า สาร SRA-Sal มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา *Aspergillus sp.* ของแผ่นยางได้ดีที่สุดเช่นกัน

4.8 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อราบนแผ่นยาง

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อรา *Penicillium sp.* และ *Aspergillus sp.* ของแผ่นยางพาราโดยเทคนิค Paper disc diffusion สารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด มีความสามารถในการต้านเชื้อราได้ดีที่ความเข้มข้นสูงสุดของสารตัวอย่างแต่ละชนิด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกความเข้มข้นสูงสุดของสารทั้ง 8 ชนิด มาทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อราในแผ่นยางพาราโดยเตรียมสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดเป็นความเข้มข้นที่ต่างกัน เช่น 200, 300 และ 500 ppm แล้วนำสารไปทดสอบฤทธิ์กับเชื้อราโดยจะใช้แผ่นยางพาราวางลงในจานเลี้ยงเชื้อแล้วนำเชื้อรามามากลี่ยให้ทั่วแผ่นยาง

จากนั้นจึงนำ Paper disc กลุ่มสารตัวอย่าง มาวางลงบนแผ่นยางที่เตรียมไว้ สังเกตและบันทึกผล ซึ่งผลการทดลองได้ผลดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การต้านเชื้อราบนแผ่นยาง โดย a) คือ การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. ของสารควบคุม b) คือ การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. ของสาร KU-Sal c) คือ การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. ของสาร KU-INH d) คือ การต้านเชื้อรา *Aspergillus* sp. ของสาร SRA-Sal e) คือ การต้านเชื้อรา *Aspergillus* sp. ของสาร SRA-INH f) คือ การต้านเชื้อรา *Aspergillus* sp. ของสาร KU-Sal-Cu g) คือ การต้านเชื้อรา *Aspergillus* sp. ของสาร KU-INH-Cu h) คือ การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. ของสาร SRA-Sal-Cu i) คือ การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. ของสาร SRA-INH-Cu

จากภาพที่ 4.6 พบว่า สารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดสามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Penicillium* sp. และ เชื้อรา *Aspergillus* sp. ในแผ่นยางพาราได้และสารตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราได้ผลดีที่สุด คือ สาร SRA-Sal-Cu ซึ่งจะมีขนาดวงใสกว้างกว่า สารตัวอย่างชนิดอื่น สังเกตจากภาพที่ 4.6

ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. ของ แผ่นยางพารา โดยนำเชื้อรามาเกลี่ยให้ทั่วแผ่นยางจากนั้นนำ Paper disc จุ่มสารตัวอย่าง วางลงบนแผ่นยางที่เตรียมไว้ สังเกตและบันทึกผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความสามารถการต้านเชื้อราบนแผ่นยางของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ppm)	Clear zone (mm)							
		<i>Penicillium</i> sp.				<i>Aspergillus</i> sp.			
		1	2	3	$\bar{x} \pm SD$	1	2	3	$\bar{x} \pm SD$
Control	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KU-Sal	300	19	21	19	19.67±1.155	19	20	16	18.33±2.082
KU-INH	300	20	18	19	19.00±1.000	17	19	18	18.00±1.000
SRA-Sal	300	20	19	20	19.67±0.577	18	19	21	19.33±1.528
SRA-INH	300	21	20	19	20.00±1.000	18	19	23	20.00±2.646
KU-Sal-Cu	300	19	17	19	18.33±1.155	19	21	18	19.33±1.528
KU-INH-Cu	300	15	14	20	16.33±3.215	17	24	16	19.00±4.359
SRA-Sal-Cu	300	21	23	28	24.00±3.606	19	21	20	20.00±1.000
SRA-INH-Cu	300	25	21	24	23.33±2.082	19	21	19	19.67±1.155

จากตารางที่ 4.9 สารตัวอย่างที่มีความสามารถในการต้านเชื้อรา *Penicillium* sp. บนแผ่นยางพาราได้ดีที่สุดคือคอปเปอร์นาโนที่มีตัวรีดิวซ์เป็นไซลิ่งกอลดีไฮด์ซาลิไซลิกไฮดรอกไซด์ (SRA-Sal-Cu) มีค่าเฉลี่ยของขนาดวงใสเท่ากับ 24.00 มิลลิเมตร รองลงมา คือ คอปเปอร์นาโนที่มีตัวรีดิวซ์เป็นไซลิ่งกอลดีไฮด์ไอโซไนแอซิดไฮดรอกไซด์ (SRA-INH-Cu) ซึ่งมีขนาดวงใสเท่ากับ 23.33 มิลลิเมตร ส่วนสารที่มีความสามารถในการต้านเชื้อรา *Aspergillus* sp. ในแผ่นยางพาราได้ดีที่สุดคือ SRA-Sal-Cu มีขนาดวงใสเท่ากับ 20.00 มิลลิเมตร รองลงมา คือ สาร SRA-INH-Cu มีขนาดวงใสเท่ากับ 19.67, มิลลิเมตร นั่นคือคอปเปอร์นาโนที่มีตัวรีดิวซ์

เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติไซลิงกอลดีไฮด์จะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราก่อโรคของแผ่นยางทั้งสองชนิดได้ดีที่สุด สำหรับคอปเปอร์นาโนที่มีตัวรีดิวซ์เป็นสารคูมารินซาลิไซลิกไฮดราโซนและคูมารินไอโซไนแอซิดไฮดราโซนต้านเชื้อราก่อโรคของแผ่นยางได้น้อย

4.9 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล: ความเค้น-ความเครียดของแผ่นยางพารา

ทำการทดสอบความเค้นและความเครียดของแผ่นยางพาราที่ได้ทดสอบกับสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด โดยนำสารตัวอย่างแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นสูงสุด เช่น 500, 300 และ 200 ppm มาทดสอบกับแผ่นยางพาราแล้วนำแผ่นยางพาราที่ทดสอบกับสารทั้ง 8 ชนิด มาตัดให้มีความหนา 10 มิลลิเมตรมีความยาว 1.5 เซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดแผ่นยางพาราที่ทดสอบกับสารตัวอย่าง ทั้ง 8 ชนิด ต้องทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบสมบัติความเค้น – ความเครียดของแผ่นยางพารา

สารตัวอย่าง	แผ่นยางพารา		ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (kg)			$\bar{x} \pm SD$
	ความหนา (mm)	ความยาว (cm)	1	2	3	
Control	10	1.5	4	5	5	4.66±0.57
KU-Sal	10	1.5	5.6	5.2	5.2	5.33±0.23
KU-INH	10	1.5	7.2	5.8	6.2	6.40±0.72
KU-Sal-Cu	10	1.5	5.8	5.6	5.2	5.53±0.30
KU-INH-Cu	10	1.5	5.6	5.0	9.6	6.73±2.50
SRA-Sal	10	1.5	6.4	5.2	5.4	5.66±0.64
SRA-INH	10	1.5	7.6	5.4	4.6	5.86±1.55
SRA-Sal-Cu	10	1.5	5.8	7.6	7.6	7.00±1.03
SRA-INH-Cu	10	1.5	5.4	6	6.2	5.86±0.41

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบสมบัติความเค้นและความเครียดของแผ่นยางพารา เมื่อนำแผ่นยางพาราไปผสมกับสารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด แล้วนำมาทดสอบความเค้นและความเครียดเพื่อหาแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารา พบว่า แผ่นยางพารามีความต้านทาน

แรงดึงสูงสุด คือ แผ่นยางพาราที่นำผสมกับอนุภาคนาโนคอปเปอร์ (ระพีพันธ์ แดงตันกี และคณะ 2554) โดยเฉพาะอนุภาคนาโนที่มีตัวรีดิวซ์เป็นโซลิ่งกอลดีไฮด์ซาลีไซลิกไฮดรอกไซด์ (SRA-Sal-Cu) มีค่าเฉลี่ยที่ 7.00 กิโลกรัม และแผ่นยางที่รับแรงดึงได้น้อยที่สุดคือ แผ่นยางที่ทดสอบกับสาร KU-Sal ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 5.33 กิโลกรัม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารควบคุม พบว่า แผ่นยางทดสอบเติมสารตัวอย่างมีความทนต่อแรงดึงดีกว่าแผ่นยางควบคุม แสดงว่า สารตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทนต่อแรงดึงได้ดี จึงควรได้รับการพัฒนา โดยเฉพาะสารนาโนคอปเปอร์เหล่านี้ เพื่อนำมาใช้ในการต้านเชื้อราของกระบวนการผลิตยางแผ่น เพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นให้กับยางธรรมชาติต่อไป

4.10 การถ่ายทอดผลการทดลองสู่ชุมชน

เมื่อทราบผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว ทีมวิจัยได้คัดเลือกแบบเจาะจงเฉพาะอนุภาคที่มีประสิทธิภาพสูงไปทดสอบในแปลงร่วมกับเกษตรกร พร้อมกับดำเนินการถ่ายทอดให้กับเกษตรกรในจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น โดยการบรรยายและสาธิตวิธีการเตรียมสารและใช้ประโยชน์สารตัวอย่างดังภาพ 4.7-4.8



ภาพที่ 4.7 การบรรยายยางพาราของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ปะติตังโช และคณะ ณ บ้านหนองโน ตำบลโคกสะอาด อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพที่ 4.8 การทดลองและบรรยายงานวิจัยยางพาราของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ปะติตังโฆ และคณะ ณ บ้านหนองโน ตำบลโคกสะอาด อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในบทนี้คณะผู้วิจัยได้สรุปประเด็นต่างๆ ที่ได้จากการทำวิจัย ดังนี้คือ การสังเคราะห์ศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ มอร์โฟโลยีของตัวรีดิวซ์ (Reducing agents) และอนุภาคนาโนคอปเปอร์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวรีดิวซ์ต่างๆ แสดงให้เห็นถึงฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านเชื้อราก่อโรคของกระบวนการผลิตยางแผ่น (*Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp.) ผลต่อสมบัติเชิงกลของยางแผ่น นอกจากนี้ยังได้ผลการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH และ FRAP assay อีกด้วย

5.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้งตัวรีดิวซ์และอนุภาคนาโนคอปเปอร์ พบว่า ได้ผลผลิตในเปอร์เซ็นต์สูงและอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผลึก (Crystal) มีรูปร่างและมอร์โฟโลยีที่แตกต่างกัน ลักษณะที่โดดเด่นเป็นรูปเข็ม (Needle forms) ขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 35 ถึง 81 nm มีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 144.4 ถึง 288.9 °C

เทคนิค DPPH method จะเห็นว่า อนุภาคส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลเสรี DPPH ได้ดีโดยเฉพาะอนุภาค SRA-Sal และ KU-INH-Cu ส่วนผลการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค FRAP method พบว่า อนุภาค KU-Sal มีประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ Fe^{3+} ไปเป็น Fe^{2+} ได้สูงสุด รองลงมาคือ KU-INH ซึ่งผลการทดสอบฤทธิ์ของสารที่สังเคราะห์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH และ เทคนิค FRAP ที่มีความสัมพันธ์กันน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสารที่มีความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กได้ดีอาจจะแสดงสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนไม่ดี (โอภา วัชรคุปต์. 2549) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและขนาดของโมเลกุลของสารที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (มณฑนา ภาณุมากรณ์. 2552) ดังนั้น การที่ตัวรีดิวซ์และอนุภาคนาโนคอปเปอร์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีเพราะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและโมเลกุลไม่เกะกะ (Steric effect)

จึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ดี แต่มีความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กได้น้อยในเทคนิค FRAP

ผลการต้านเชื้อราก่อโรคของยางแผ่น พบว่า อนุภาคทั้ง 8 ชนิด สามารถต้านเชื้อราก่อโรคของยางแผ่นทั้ง *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. บนจานเพาะเชื้อได้ และเมื่อนำอนุภาคทั้งหมดนี้ไปทดสอบกับเชื้อราดังกล่าวที่เจริญเติบโตอยู่บนยางแผ่น พบว่า ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า แสดงว่าอนุภาคคอปเปอร์นาโนต้านเชื้อราเหล่านี้ได้ดี

บนยางแผ่นของเกษตรกร (ระพีพันธ์ แดงตันกี และคณะ. 2554) จึงเป็นการค้นพบใหม่ที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง

ผลการศึกษาความเครียดและความเค้น เมื่อเติมอนุภาคคอปเปอร์นาโนในยางแผ่นพบว่า ยางแผ่นทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอนุภาคนาโนที่มีตัวรีดิวซ์เป็นโซลิ่งกอลลดีไฮด์ ซาลิไซลิกไฮดราโซน (SRA-Sal-Cu) มีค่าเฉลี่ยที่ 7.00 กิโลกรัม และแผ่นยางที่รับแรงดึงได้น้อยที่สุดคือ แผ่นยางที่ทดสอบกับสาร KU-Sal ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 5.33 กิโลกรัม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารควบคุม พบว่า แผ่นยางทดสอบเติมสารตัวอย่างมีความทนต่อแรงดึงดีกว่าแผ่นยางควบคุม นั่นคือการเติมอนุภาคนาโนคอปเปอร์ลงในกระบวนการผลิตยางแผ่นนอกจากจะป้องกันกำจัดเชื้อราแล้วยังเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางให้สูงขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำองค์ความรู้ทางด้านนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในด้านการเกษตร ซึ่งถือเป็นการวิจัยที่แปลกใหม่ของประเทศไทย หลักการ ทฤษฎีรวมทั้งผลที่ได้จากการวิจัยยังสามารถถูกถ่ายทอดให้กับเกษตรกร จึงถือเป็นการวางรากฐาน ให้ความรู้และในขณะเดียวกันยังเป็นการสร้างความตระหนักให้กับเกษตรกรได้รับประโยชน์ รู้ทันเทคโนโลยีใหม่ และป้องกันการถูกหลอกจากพ่อค้าบางกลุ่มได้อีกด้วย สิ่งสำคัญและจำเป็นที่จะต้องดำเนินการต่อไปอีก

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.1.1 จะต้องวิจัยเพื่อวิเคราะห์กลไกที่แท้จริงเกี่ยวกับ Mode of action ของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้กับการออกฤทธิ์ต่อราและเพลี้ยว่าเป็นอย่างไร

5.3.1.2 ศึกษาต้นทุนในการผลิตสารตัวอย่าง

5.3.1.3 ต้องทดสอบสารตัวอย่างในหลายพื้นที่และหลายช่วงเวลา เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสามารถใช้ได้ในสภาพอย่างไรบ้าง

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้

5.3.2.1 สารนาโนที่สังเคราะห์ได้สามารถนำไปใช้ฉีดพ่นในแปลงผัก เช่น หอม และกระเทียม เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อราได้ สารเหล่านี้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

5.3.2.2 สามารถนำอนุภาคนาโนคอปเปอร์ไปใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่น และแปลงปลูกยางพาราได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ฉันททิพ คำนวนทิพย์และคณะ. (2551). การพัฒนาสมบัติในการต้านทานการติดไฟของ
ยางธรรมชาติโดยใช้ nano clay และ Zeolite. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย (สกว).
- ณัฐวุฒิ สุทธิพงษ์, วรากร ศรีสุระพล. (2010). ค้นเมื่อ 6 กันยายน 2555 ค้นจาก
http://www.ie.eng.chula.ac.th/academics/course/2104328/assignments/01-industries_21.pdf.
- ณัฐพันธุ์ ศุภกา และ วราภรณ์ ภิรสิริ. (2549). นาโนเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- เนื่องพนิช สินชัยศรี และสาทร สิริสิงห์. (2548). ข้อเท็จจริง การใช้สารเคมี กับ การพัฒนา
เกษตร ไทย. กรุงเทพฯ : มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เยาวพา สุวัตถิ. (2009). ค้นเมื่อ 6 กันยายน 2555 ค้นจาก
<http://www.gpo.or.th/rdi/html/microbe.html> 2009.
- ปิยนุช ทองผาสุก. (2550). ผลของรังสีแกมมาต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและ
สารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นิวเคลียร์ครั้งที่ 10 วันที่ 16-17 สิงหาคม 2550. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรรณี เต็มรุ่งเรือง. (2550). ฤทธิ์การการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกต้นวงศอบเชย. ในรายงาน
ผลงานวิจัย ประจำปี 2550. กรุงเทพฯ : สำนักงานวิจัยการจัดการป่าไม้และ
ผลิตผลป่าไม้.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2547). การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพรมะเขือ
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ระพีพันธ์ แดงตันกี และคณะ. (2554). ยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์และคอปเปอร์
นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในรองเท้า.
กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2552). ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี.
กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- วิมล อินทอง. (2554). นาโนคอมโพสิตของโครงข่ายพอลิเมอร์แบบแทรกสอดในสถานะ
น้ำยางจากยางธรรมชาติ พอลิเมทิลเมทาครีเลทและเลเยอร์ซิลิเกต. กรุงเทพฯ :
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). **ข้อมูลวิชาการ ยางพารา 2553**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อรสา ภัทร์ไพบุลย์ชัย. (2554). **การเตรียมและใช้งานซิงค์ออกไซด์นาโนในยางธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).
- อิทธิพล พจนสัจ. (2551). **การตรวจวัดความเข้มข้นโดยวิธีวัดค่าความหนืดและโดยวิธีทางแสง**. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).
- โอภา วัชรคุปต์. (2549). **สารต้านอนุมูลอิสระ**. กรุงเทพฯ : พีเอสพรีนท์.
- Al-Haiza, M.A., Mostafa, M.S., and El-Kady, M.Y. (2003). "Synthesis and biological evaluation of some new coumarin derivatives," **Molecules**. 8 : 275-286.
- Das, Manash R., et al. (2011). "Synthesis of silver nanoparticles in an aqueous suspension of grapheme oxide sheets and its antimicrobial activity," **Colloids and Surfaces B : Biointerfaces**. 83 : 16-22.
- DiSilvestra, R.A. et al. (2005). "Soy isoflavone supplementation elevates erythrocyte superoxide dismutase, but not plasma ceruloplasmin in postmenopausal breast cancer survivors," **Breast Cancer Research & Treatment**. 89 : 251-255.
- He, Lili, Liu, Yang, Mustapha, Azlin, and Lin, Mengshi. (2011). "Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*," **Microbiological Research**. 166 : 207-215.
- Kostova, Irena, et al. (2005). "Cytotoxic activity of new lanthanum (III) complexes of bis-coumarins," **EJ Med Chem**. 40 : 542-551.
- Leonard, Kwati, et al. (2011). "Insitu green synthesis of biocompatible ginseng capped gold nanoparticles with remarkable stability," **Colloids and Surfaces B : Biointerfaces**. 82 : 391-396.
- Lopez, Lidia M., et al. (2002). "Effect of the lipophilic o-naphthoquinone CG 10-248 on rat liver mitochondria structure and function," **Biocell**. 26(2) : 237-245.
- Lewis, Anne., et al. (2004). "Treatment of pancreatic cancer cells with dicumarol induces cytotoxicity and oxidative stress," **Clinical Cancer Research**. 10 : 4550-4558.
- Mu, Bin, Lu, Chunyin, and Liu, Peng. (2011). "Disintegration-controllable stimuli-responsive polyelectrolyte multilayer microcapsules via covalent layer-by-layer assembly," **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 82 : 385-390.

Smid, Eddy J., et al. (1995). "Secondary plant metabolites as control agents of postharvest *Penicillium* rot on tulip bulbs," **Postharvest Biological and Technology**. 6 : 303-312.