

การใช้แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเพื่อประเมินฤทธิ์  
การต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง

USE OF CdS QUANTUM DOTS FOR EVALUATION OF TOTAL  
ANTI-OXIDANT CAPACITY OF *Tagetes erecta* Linn. FLOWER EXTRACT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-SC-M-012-017

การใช้แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเพื่อประเมินฤทธิ์  
การต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง

USE OF CdS QUANTUM DOTS FOR EVALUATION OF TOTAL  
ANTI-OXIDANT CAPACITY OF *Tagetes erecta* Linn. FLOWER EXTRACT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014- SC-M-012-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**USE OF CdS QUANTUM DOTS FOR EVALUATION OF TOTAL  
ANTI-OXIDANT CAPACITY OF *Tagetes erecta* Linn. FLOWER EXTRACT**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2014**

**KMITL-2014-SC-M-012-017**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2014**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเพื่อประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ  
ทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง

Use of CdS Quantum dots for Evaluation of Total Anti-oxidant  
Capacity of Tagetes erecta Linn. Flower Extract

นักศึกษา

นายสนธยา พันธุ์รัตน์

รหัสประจำตัว

53650905

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	มนตรีวิเศษ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	ประดิษฐ์เวียงคำ	
ผศ.ดร.บุญเอก ยิ่งยงณรงค์กุล	ยิ่งยงณรงค์กุล	
ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น	เชิงชั้น	
ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง	เจริญยิ่ง	

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุชนัน ธีระบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 16 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเพื่อประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง
นักศึกษา	นายสนธยา พันธุ์รู้ดี
รหัสประจำตัว	53650905
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมี
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ณัฐภูมิ เชิงชั้น

### บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาวิธีสำหรับประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง โดยอาศัยสมบัติเชิงแสงของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ต่อการลดลงของความเข้มของการเรืองแสงในสารสกัดชั้นต่างๆ ของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เปรียบเทียบกับดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาด แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ถูกสังเคราะห์จากแคดเมียมไนเตรดและโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ในตัวทำละลายผสมของเมทานอลและไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ที่อุณหภูมิห้อง ผลการสังเคราะห์พบค่าการเรืองแสงสูงสุดที่ 730 นาโนเมตร เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร และผลทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี CdS QDs พบว่าสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร และปากคลองตลาดมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 67.94 และ 44.74  $\mu\text{g/ml}$  ตามลำดับ เมื่อนำสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลจากทั้ง 2 แหล่งมาสกัดแบบแบ่งส่วนด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิล แอซิเตต และบิวทานอล พบค่า  $EC_{50}$  ของสารสกัดจากแปลงเกษตรเท่ากับ 677.06, 184.07, 37.27 และ 54.12  $\mu\text{g/ml}$  ตามลำดับ และจากปากคลองตลาดเท่ากับ 838.50, 140.62, 13.46 และ 14.74  $\mu\text{g/ml}$  ตามลำดับ ซึ่งผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน DPPH คือสารสกัดดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาดมีฤทธิ์ที่ดีกว่าจากแปลงเกษตรและสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตต มีค่า  $EC_{50}$  สูงสุดเท่ากับ 13.46  $\mu\text{g/ml}$

**คำสำคัญ :** ดอกดาวเรือง ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ควอนตัมดอท การเรืองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Use of CdS Quantum dots for Evaluation of Total Anti-oxidant Capacity of <i>Tagetes erecta</i> Linn. Flower Extract
<b>Student</b>	Sontaya Phanrudee
<b>Student ID</b>	53650905
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Chemistry
<b>Year</b>	2014
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Patchanee Charoenying
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Dr. Nathawut Choengchan

### ABSTRACT

The aim of this research is to present a method development, quenching of fluorescence intensity of cadmium sulfide quantum dots (CdS QDs), for evaluation of total antioxidant capacity of *Tagetes erecta* Linn. flower extract from Pak khlong talat (the flower market) compared with KMITL flower farm. The quantum dot was prepared from  $3.2 \times 10^{-3}$  M cadmium nitrate and  $3.2 \times 10^{-3}$  M sodium sulfide in mixed solvent between methanol and dimethyl formamide at room temperature. Maximum emission wavelength was found at 730 nm. When the quantum dot was excited at wavelength 370 nm. The antioxidant capacity result on methanolic extract of *T. erecta* flower from Pak khlong talat and KMITL farm when tested with the quantum dot method showed  $EC_{50}$  44.74 and 67.94  $\mu\text{g/ml}$  respectively. Furthermore methanolic extract from Pak khlong talat and KMITL farm were extracted by solvent partitioning method with hexane, dichloromethane, ethyl acetate and butanol. The KMITL farm revealed  $EC_{50}$  677.06, 184.07, 37.27 and 54.12  $\mu\text{g/ml}$  respectively. While the Pak khlong talat showed  $EC_{50}$  838.50, 140.62, 13.46 and 14.74  $\mu\text{g/ml}$  respectively. These results were consistent with the DPPH method that Pak khlong talat is shown antioxidant activity better than KMITL farm. And the ethyl acetate fraction was the highest antioxidant displays  $EC_{50}$  13.46  $\mu\text{g/ml}$ .

**Keywords :** *Tagetes erecta* Linn. flower, Anti-oxidant capacity, Quantum dot, Fluorescence

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ณัฐภูมิ เจริญชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธวาท มนต์วิเศษ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ พร้อมทั้งช่วยตรวจทานความถูกต้อง เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.บุญเอก ยิ่งยงณรงค์กุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ได้สละเวลาอันมีค่า มาเป็นกรรมการตรวจสอบความถูกต้องของการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข ตรวจทาน เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จรัสญ เล้าสินวัฒนา อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุเคราะห์พืชทดสอบดาวเรือง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นันทนา อรุณฤกษ์ อาจารย์ประจำสาขาโอบุสวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้การอนุเคราะห์การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีมาตรฐาน DPPH

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาเคมี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือบริการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา (ยกเว้นค่าธรรมเนียม) แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

นายสนธยา พันธุ์รัฐดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	4
2.1 ควอนตัมคอต	4
2.1.1 นิยามของควอนตัมคอต	4
2.1.2 คุณลักษณะและสมบัติของควอนตัมคอต	5
2.1.3 ควอนตัมคอตกับการเรืองแสง	9
2.1.4 ประเภทและการเกิดปรากฏการณ์เรืองแสงของสาร	11
2.1.5 กระบวนการลดการเรืองแสง (Quenching)	14
2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ	15
2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสารต้านอนุมูลอิสระ	15
2.2.2 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ	17
2.2.3 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 วิธีการตรวจวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ	31
2.3.1 เทคนิคการตรวจวัดด้วยเครื่องอีพีอาร์สเปกโทรสโกปี	31
2.3.2 เทคนิคทางด้านไฟฟ้าเคมี	32
2.3.3 เทคนิคที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีในการตรวจวัด	33
2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเรือง	39
2.4.1 ชนิดของดอกดาวเรือง	40
2.4.2 สารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาวเรือง	41
2.4.3 ลักษณะโครงสร้างของสารให้สีและน้ำมันหอมระเหย ในดอกดาวเรือง	41
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>52</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	52
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	53
3.3 การเตรียมการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	54
3.3.1 การเตรียมสารละลายแคดเมียมในเตรด	54
3.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	54
3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	54
3.5 การตรวจสอบสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์	55
3.6 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	55
3.7 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	56
3.8 การศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการปั่นกวนที่ใช้สังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	56
3.9 การศึกษาอิทธิพลของเวลาการปั่นกวนในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	56
3.10 การศึกษาความเสถียรของแคดเมียมซัลไฟด์	57
3.11 การศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.12 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง	58
3.13 การเตรียมสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล	58
3.14 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก	60
3.15 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล	61
3.16 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล	61
3.17 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต	62
3.18 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้น ไดคลอโรมีเทน	63
3.19 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน	63
3.20 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิกด้วยวิธีของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)	64
3.21 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง ด้วยวิธีมาตรฐาน DPPH	65
3.22 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง จากแปลงเกษตรและปากคลองตลาดด้วยวิธี CdS QDs	66
3.22.1 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบ ชั้นเมทานอล	66
3.22.2 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นบิวทานอล	67
3.22.3 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นเอทิล แอซิเตต	67
3.22.4 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นไดคลอโรมีเทน	67
3.22.5 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นเฮกเซน	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	68
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	68
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	69
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	70
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลความเร็วในการปั่นกวนที่ใช้สังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	71
4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาการปั่นกวนในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	71
4.6 ผลการศึกษาความเสถียรของแคดเมียมซัลไฟด์	72
4.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์	74
4.8 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ไปประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ	75
4.9 ผลการเตรียมสารสกัดหยาบจากดอกดาวเรือง	76
4.10 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง ด้วยวิธี DPPH	78
4.11 ผลการตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง จากแปลงเกษตร ด้วยวิธีของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	80
4.11.1 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบ ชั้นเมทานอล	80
4.11.2 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นบิวทานอล	81
4.11.3 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นเอทิล แอซิเตต	83
4.11.4 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้น ไดคลอโรมีเทน	84
4.11.5 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นเฮกเซน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.12 ผลการตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง จากปากคลองตลาด ด้วยวิธีของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	87
4.12.1 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นเมทานอล	87
4.12.2 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นบิวทานอล	88
4.12.3 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นเอทิล แอซิเตต	90
4.12.4 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ชั้นไคคลอโรมีเทน	91
4.12.5 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นเฮกเซน	93
4.13 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ทดสอบ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ	94
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	96
5.1 สรุปผลการวิจัย	96
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
 เอกสารอ้างอิง	 98
ภาคผนวก	106
ประวัติผู้เขียน	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอะตอมและเปอร์เซ็นต์พื้นผิวอะตอม	7
2.2 แสดงประเภทของการลูมิเนสเซนซ์ตามแหล่งพลังงานกระตุ้น	12
2.3 คุณสมบัติของลูมิเนสเซนซ์บางชนิด	12
2.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสารต้านอนุมูลอิสระ	16
2.5 สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบบ่อยและแหล่งอาหารที่พบมาก	20
2.6 ค่า TEAC (Trolox equivalent antioxidant concentration) ของฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ	22
2.7 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (TEAC, mM) ของสารกลุ่มกรดฟีนอลิก	28
3.1 ตารางแสดงความเข้มข้นของแคเดเมียม ไนเตรตและ โซเดียมซัลไฟด์	55
3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนของตัวทำละลาย	57
3.3 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายกรดแอสคอร์บิก	60
3.4 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารสกัดชั้นเมทานอล	61
3.5 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารสกัดชั้นบิวทานอล	62
3.6 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตต	62
3.7 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารสกัดชั้น ไดคลอโรมีเทน	63
3.8 ตารางแสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาณของสารสกัดชั้นเฮกเซน	64
3.9 ตารางแสดงการคำนวณค่าความเข้มแสง Stern-Volmer	65
4.1 น้ำหนักสารสกัดและผลได้เป็นร้อยละ (percentage yield)	77
4.2 ค่า $EC_{50}$ ของสารสกัดหยาบดอกดาวเรือง	79
4.3 ผลการตรวจสอบการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) รูปทรงเรขาคณิตของผลึกนาโน cubooctahedral ที่อัตราการเติบโตต่าง ๆ กัน	7
(b) การพัฒนาการของรูปทรงเมื่อระนาบผลึกมีการเปลี่ยนแปลง	
(c) รูปทรงเรขาคณิตของอนุภาคนาโนเชิงซ้อน decahedral และ icosahedral	
2.2 แสดงแผนภาพของวัสดุผลึกนาโนทั้ง 4 ชนิดซึ่งจำแนกตามมิติของผลึก	8
2.3 แสดงโครงสร้างผลึก Cubic zinc blend, Hexagonal wurtzite และ High pressure rock-salt phase	8
2.4 แผนภาพแสดงระดับพลังงานของควอนตัมดอทเทียบกับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์	9
2.5 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของควอนตัมดอทตามขนาดต่าง ๆ	10
2.6 แสดงภาพการคายพลังงานของ โมเลกุลเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานภายนอก	11
2.7 (บน) แผนภาพระดับพลังงานแสดงกระบวนการกระตุ้นและกระบวนการลดการกระตุ้น	14
(ล่าง) สเปกตรัมของกระบวนการต่าง ๆ	
2.8 แสดงโครงสร้างของฟลาเวอน (flavan)	18
2.9 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่าง ๆ	19
2.10 โครงสร้างสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox	21
2.11 ผลของโครงสร้างแบบ <i>ortho</i> -dihydroxy บนวง B ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	24
2.12 ผลของหมู่แทนที่ 3-OH บนวง C ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	24
2.13 ผลของความไม่อิ่มตัวของวง C ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	25
2.14 เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มฟลาโวนอล ฟลาโวน และฟลาโวนิน	26
2.15 แสดงตำแหน่งและ โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์	27
2.16 วิถีทางของการสังเคราะห์สารกลุ่ม Phenylpropanoids ในพืช	29
2.17 โครงสร้างของน้ำมันหอมระเหยในดอกดาวเรือง	41
2.18 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสไปเป็นกรดกลูโคนิกโดยใช้ QD- GOD/HRP	43
2.19 กลไกของอนุภาคนาโนเมื่อกระตุ้นด้วยรังสี X - ray	44
2.20 แสดงเส้นทางการสังเคราะห์ QDs-con A แบบ One Step และ Two Step	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แผนภูมิแสดงการสกัดสารจากดอกดาวเรืองด้วยวิธีการสกัดแบบแบ่งส่วน (solvent partitioning extraction)	59
3.2 แสดงการสร้างกราฟ Stern-Volmer	65
3.3 แสดงตารางความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดจากดอกดาวเรืองบน 96 well microplate	66
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS QDs)	68
4.2 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่นแสง ( $\lambda_{ex}$ ) ที่ 370 นาโนเมตร	69
4.3 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ที่สังเคราะห์ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ	70
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอุณหภูมิของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ	70
4.5 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ที่ระยะเวลาในการปั่นกวนต่างๆ	71
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร กับเวลา (นาทิจ)	72
4.7 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท หลังจากสังเคราะห์แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์	73
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร กับเวลา (นาทิจ) ที่ตั้งทิ้งไว้	73
4.9 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ที่สังเคราะห์ในตัวทำละลายต่างๆ	74
4.10 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของกรดแอสคอร์บิก เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	75
4.11 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	76
4.12 สีของสารละลาย DPPH หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดหยาบดอกดาวเรือง	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท	80
4.14 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	81
4.15 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	82
4.16 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	82
4.17 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	83
4.18 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต โดยใช้วิธี CdS QDs	84
4.19 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นไดคลอโรมีเทน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	84
4.20 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	85
4.21 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน เมื่อทำ ปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	86
4.22 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน โดยใช้วิธี CdS QDs	86
4.23 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	87
4.24 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความ เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	88
4.25 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความเข้มขึ้นของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs	89
4.27 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	90
4.28 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความเข้มขึ้นของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต โดยใช้วิธี CdS QDs	90
4.29 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นไดคลอโรมีเทน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	91
4.30 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความเข้มขึ้นของสารสกัดหยาบชั้นไดคลอโรมีเทนโดยใช้วิธี CdS QDs	92
4.31 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs	93
4.32 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง $I_0/I$ กับความเข้มขึ้นของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน โดยใช้วิธี CdS QDs	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญย่อ

CdS QDs	=	แคดเมียมซัลไฟด์ ควอนตัมดอท
DPPH	=	2,2-ได ฟีนิล-1-พิกริลไฮดราซิล
DMF	=	ไดเมทิลฟอร์มาไมด์
DMSO	=	ไดเมทิลซัลฟอกไซด์
MeOH	=	เมทานอล
BHT	=	บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน
TAC	=	Total antioxidant capacity
ORAC	=	Oxygen radical absorbance capacity
TEAC	=	Trolox equivalent antioxidant concentration
FRAP	=	Ferric reducing antioxidant power
EPR	=	Electron paramagnetic resonance
EC	=	Effective Concentration
IC	=	Inhibitory Concentration
AE	=	Antiradical Efficiency
nm	=	นาโนเมตร
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เป็นที่นิยมสำหรับผู้ใส่ใจและดูแลสุขภาพ เนื่องจากมีฤทธิ์ในการกำจัดหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกลไกการเผาผลาญอาหารของร่างกาย หรือสภาพแวดล้อมและมลภาวะที่เป็นพิษ อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์เกี่ยวกับการทำลายหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือการเกิดริ้วรอยก่อนวัยอันควร เป็นต้น [1,2,3,4] สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมีมากมาย แต่กลุ่มที่สำคัญคือ กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก เนื่องจากมีปริมาณสูงและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยสารประกอบฟีนอลิกนั้นเป็นสารที่ได้รับจากภายนอกพบอยู่มากในธรรมชาติอันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ไวน์แดง และซ็อกโกแลต เป็นต้น [5,6,7,8] ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ จัดเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ของพืช ดังนั้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายจะได้รับก็ขึ้นอยู่กับการบริโภคอาหารประจำวันเหล่านั้นนั่นเอง [9] แต่ก็เป็นปัญหาไม่น้อยสำหรับผู้ที่ไม่นิยมรับประทานพืชผักผลไม้ ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลเหล่านี้ เพราะฉะนั้นการทราบถึงฤทธิ์และปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระย่อมเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคทั่วไป และมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ยา เวชสำอาง หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ต้องเกี่ยวข้องกับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติให้อยู่ในรูปของยา อาหารเสริมซึ่งง่ายแก่การบริโภคมากขึ้น [10] ดังนั้นกรรมวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณและฤทธิ์ย่อมมีความสำคัญต่อคุณภาพของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้ โดยวิธีที่ใช้ในปัจจุบันเพื่อประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น เทคนิค Chromatography, Chemiluminescence (CL), Spectrophotometry, Electron spin resonance (ESR), Cyclic voltammetry (CV), Oxygen radical absorbance capacity (ORAC), Total oxidant scavenging capacity (TOSC), Ferric reducing antioxidant power (FRAP), 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) และ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay [11,12,13,14,15,16] และเนื่องด้วยวิธีการที่หลากหลายเหล่านี้ ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันทำให้ยังไม่มีวิธีที่เป็นมาตรฐานสำหรับการประเมินหาฤทธิ์และปริมาณของสารต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุโมลิสระ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีสำหรับตรวจวัดนั้นขึ้นอยู่กับความถูกต้อง แม่นยำ ความสะดวกรวดเร็ว และค่าใช้จ่าย โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันนิยมเลือกใช้วิธีการตรวจวัด โดยอาศัยการติดตามการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์ที่มีสีซึ่งเป็นอนุโมลิสระคงตัว เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลาในการตรวจวัด ความคงตัวของสีของสารอินทรีย์ และไม่สามารถใช้เปรียบเทียบความว่องไวของสารต้านอนุโมลิสระได้ [17] จึงเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาสารที่มีสมบัติทางแสงที่ดีกว่าอนุโมลิสระคงตัวของสารอินทรีย์ และประกอบกับในปัจจุบันนี้วัสดุระดับนาโนก็กำลังเป็นที่สนใจ และนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายทั้งด้านการแพทย์ ด้านเทคโนโลยี ชีวภาพ และอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

“ควอนตัมดอท (Quantum dots; QDs)” เป็นผลึกคริสตัลขนาดนาโนเมตร (Nano crystal) ที่ถูกพัฒนามาขึ้นในช่วงปี 1980 เพื่อการใช้งานด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ควอนตัมดอทประกอบด้วยอะตอมของธาตุหมู่ I-VII, II-VI และ III-V ในตารางธาตุ เป็นสารอนินทรีย์กึ่งตัวนำ มีจำนวนอะตอมเป็นร้อยหรือพันมาประกอบกันเป็นรูปผลึก โดยขนาดของควอนตัมดอทสามารถเปลี่ยนแปลง หรือควบคุมได้ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งขนาดที่แตกต่างกันของควอนตัมดอทจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงแสง เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในควอนตัมดอทถูกกระตุ้นมันจะเปล่งแสง (ฟลูออเรสเซนส์) ที่อยู่ในช่วงคลื่นแสงที่แคบ และคลื่นแสงที่ถูกเปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของควอนตัมดอท ซึ่งสามารถเปล่งแสงสีได้หลากหลาย [18,19] และด้วยสีสันทันที่หลากหลายของผลึกขนาดนาโนเหล่านี้ ทำให้เป็นที่ดึงดูดความสนใจ และไม่ใช่ว่าแค่สีสันทันที่โดดเด่น สะดุดตา แต่ยังมีคุณสมบัติที่ซ่อนอยู่อย่างหลากหลาย ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น จอรับแสงเลเซอร์ จอโทรทัศน์ ดีเทคเตอร์ตรวจวัดการแผ่รังสีของสารนิวเคลียร์ และใช้เป็นไดโอดเรืองแสง เป็นต้น [20,21] ทางด้านการแพทย์ ใช้เป็นไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดปริมาณกรดยูริก [22] น้ำตาล [23] หรือโปรตีนในปัสสาวะ [24] ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงหรือความผิดปกติของเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม [25] และเมื่อปี พ.ศ. 2549 มีรายงานการใช้ควอนตัมดอทเพื่อติดตามอาการหลังการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งด้วยการฉายรังสี [26] เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ ควอนตัมดอท (CdS QDs) ด้วยวิธีการอย่างง่าย เพื่ออาศัยสมบัติเชิงแสง และนำมาพัฒนาเป็นวิธีสำหรับประเมินฤทธิ์การต้านอนุโมลิสระของสารสกัดจากดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta* Linn.) ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณประโยชน์

มากมาย สามารถใช้ส่วนของดอกเป็นส่วนผสมของอาหารไก่ไข่เพื่อให้ไข่แดงมีสีแดงสวยทดแทนสารสังเคราะห์ และส่วนใบของดาวเรืองสามารถสะสมสารหนูได้ถึง 42% จึงมีประโยชน์ในการฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู [27] อีกทั้งยังมีรายงานเกี่ยวกับสรรพคุณทางยาที่น่าสนใจมากมายในการรักษาโรคริดสีดวง โรคริดสีข่าน แผลเรื้อรัง และบรรเทาอาการปวดฟกช้ำ เป็นต้น [28] โดยผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ มุ่งหวังให้สามารถใช้เป็นแนวทางหรือนำไปสู่การประยุกต์ใช้แทนวิธีการเดิมหรือเป็นทางเลือกใหม่แก่ผู้ที่สนใจศึกษาวิธีการด้านของสารอนุโมลอิสระจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติชนิดอื่นต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติทางแสงของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ได้
2. เพื่อทำการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกดาวเรือง
3. เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดของดอกดาวเรือง ด้วยแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาสภาวะการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท
2. ทำการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระออกจากดอกดาวเรือง
3. ตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดด้วยแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงวิธีการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)
2. ได้ทราบถึงปริมาณของสารสกัดชั้นต่างๆ จากดอกดาวเรือง
3. ได้ทราบถึงวิธีการตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดดอกดาวเรือง และกลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดลงของความเข้มแสงของควอนตัมดอท
4. ใช้เป็นแนวทางเลือกใหม่สำหรับการประเมินหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจากแหล่งอื่นๆ
5. เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ควอนตัมดอท

##### 2.1.1 นิยามของควอนตัมดอท [29]

ดอท (dot) หรือหมุดที่เป็นกลุ่มของอะตอมหรือผลึกซึ่งมีมิติเป็นศูนย์ (zero-dimensional atom clusters) และเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกที่มีคุณสมบัติทางแสงตามทฤษฎีควอนตัม

จากทฤษฎีควอนตัม (quantum theory) ที่นำเสนอโดย แมกซ์ คาร์ล แอร์นสต์ ลูควิก พลังค์ (Max Karl Ernst Ludwig Planck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ซึ่งได้เสนอและอธิบายเกี่ยวกับการเปล่งรังสีว่า รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมามีลักษณะเป็นกลุ่มๆ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยเล็กๆ เรียกว่า ควอนตัม (quantum) ขนาดของควอนตัมขึ้นกับความถี่ของรังสี และแต่ละควอนตัมมีค่าพลังงาน (E) โดยที่ค่าพลังงานเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่ (V) ตามสมการ

$$E \propto \nu$$

$$E = h\nu$$

เมื่อ  $E$  = พลังงานหนึ่งควอนตัมแสง (J)

$h$  = ค่าคงที่ของพลังค์ ( $6.62 \times 10^{-34}$  Js)

$\nu$  = ความถี่ ( $s^{-1}$ )

จากทฤษฎีควอนตัมพบว่า กลุ่มของอะตอมที่สั่นด้วยความถี่สูงจะเปล่งแสงที่มีพลังงานสูงๆ เท่านั้น ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ โอกาสที่จะพบอะตอมที่สั่นสะเทือนด้วยความถี่สูงมากๆ หรือต่ำมากๆ นั้นมีน้อย ดังนั้นความเข้ม (ซึ่งขึ้นกับพลังงานและจำนวนอะตอม) ของพวกที่มีความถี่ดังกล่าวจึงน้อยกว่า ซึ่งตรงกับผลการทดลองที่กราฟเส้นโค้งลดลงในบริเวณที่มีความถี่สูงมาก และต่ำมาก นอกจากนี้ แม้อะตอมต่างๆ จะสั่นด้วยความถี่ต่างกัน

จะมีความถี่ค่าหนึ่งที่เป็นของอะตอมส่วนใหญ่ ความถี่ค่านี้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งใช้อธิบายการเปลี่ยนจุดสูงสุดของกราฟกับอุณหภูมิได้ โดยการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) นั้น เมื่อแสงที่มีความถี่ ( $\nu$ ) เหมาะสมตกกระทบผิวหน้าของโลหะ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานั้นว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” จากการศึกษาพบว่า โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแสงตกกระทบมีความถี่สูงกว่าค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าจำเพาะสำหรับสารนั้นๆ ความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้นี้เรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม (threshold frequency;  $\nu_0$ ) ซึ่งพลังงานน้อยที่สุดของโฟตอนที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวของสารนั้นๆ จะเท่ากับแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส คือ  $E = h\nu_0$  ถ้าใช้แสงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม พลังงานส่วนที่เกินนี้จะไปทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น โดยพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงนั้นๆ แต่ขึ้นกับความถี่ และจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะขึ้นกับความเข้มของแสง ถ้าลดความเข้มของแสงลง จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะลดลงด้วย และในปี ค.ศ.1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) นักฟิสิกส์ทฤษฎี ชาวเยอรมัน ได้ใช้แนวคิดของแมกซ์ พลังค์ ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอนนี้ได้อย่างถูกต้อง เขาเสนอว่าแสงควรมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคได้ด้วย เรียกว่า โฟตอน (photon) และใช้ทฤษฎีของพลังค์กำหนดค่าพลังงานของโฟตอนนั้น กล่าวคือ อนุภาคแสง 1 โฟตอนที่มีความถี่  $\nu$  มีพลังงาน  $E_\nu = h\nu$  คิดเป็น 1 ควอนตัม ค่าพลังงานของโฟตอนเป็นค่าเฉพาะสำหรับแสงที่มีความถี่หนึ่งๆ เท่านั้น ดังนั้นพลังงานของ 1 ควอนตัมของแสงสีแดง 1 โฟตอน มีค่าน้อยกว่าพลังงาน 1 ควอนตัมของแสงสีน้ำเงิน 1 โฟตอน (แสงสีน้ำเงินมีความถี่สูงกว่า)

### 2.1.2 คุณสมบัติและสมบัติของควอนตัมดอท [30, 31]





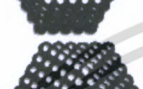
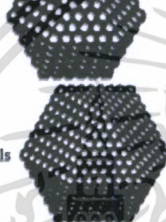
ควอนตัมดอท (Quantum Dot) เป็นอนุภาคนาโนที่ประกอบขึ้นจากธาตุสองหมู่ในตารางธาตุเพริออดิก (periodic table) ได้แก่ ธาตุหมู่ที่สองกับหมู่ที่หก (II-VI) หมู่ที่สามกับหมู่ที่ห้า (III-V) หรือหมู่ที่สี่กับหมู่ที่หก (IV-VI) โดยอนุภาคเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โทรนิค เช่น วงจรของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จุดเด่นของควอนตัมดอท คือ มีขนาดเล็กมาก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-10 นาโนเมตร หรือ 10-50 อะตอม นอกจากนั้นการนำไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากภาวะกระตุ้นภายนอก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

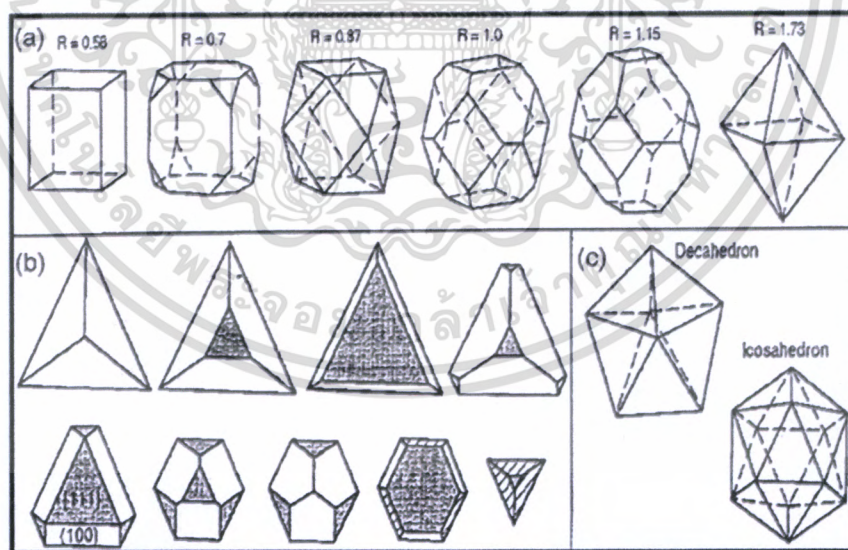
ความต่างศักย์ และฟลักซ์ของโฟตอน (photon flux) หรือ จำนวนโฟตอนต่อเวลาต่อพื้นที่ เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) โดยปกติโลหะแคดเมียมเป็นตัวนำไฟฟ้า แต่ซีลีเนียมไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่เมื่อนำโลหะสองชนิดมารวมกัน บวกกับการกระตุ้นจากภายนอก จึงได้แคดเมียมซีลีไนด์เป็นอนุภาคนาโน และสามารถนำไฟฟ้าได้

โครงสร้างนาโน (nanostructure) มีคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอนุภาคนาโนคือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรค่อนข้างสูง สัดส่วนพื้นที่ผิวของอะตอมที่สูงมากดังกล่าวทำให้อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากก้อนปริมาตรของวัสดุในขนาดใหญ่ การเตรียมอนุภาคนาโนนั้น มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 ขั้นตอน คือ การก่อตัว (nucleation) การเกาะกลุ่ม (coalescence) และการเติบโต (growth) อนุภาคนาโนจะเริ่มเกิดจากการการก่อตัวจากแก่นกลางจากนั้นจึงค่อยๆ เกาะกลุ่ม และรวมตัวกันเกิดเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้น ด้วยเหตุนี้อนุภาคนาโนหลายๆ อนุภาคจะถูกสร้างขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากกลุ่มอะตอมเรียงตัวกันเป็นรูปแบบกล่อ่งลูกบาศก์ หรือ โครงสร้างรูปหกเหลี่ยมแบบปิดชนิดต่างๆ ซึ่งโครงสร้างหนึ่งๆ อาจเกิดจากการก่อตัวรอบๆ แก่นกลางอะตอมหนึ่ง โดยในชั้นแรกมี 12 อะตอม ชั้นที่สองมี 42 อะตอม และชั้นที่สามมี 92 อะตอม เป็นต้น จำนวนอะตอมในแต่ละชั้นจะถูกกำหนดโดยตัวเลข  $10n^2+2$  สามารถแสดงให้เห็นได้ ดังตารางที่ 2.1 โดยทั่วไปแล้วรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ จะถูกกำหนดโดยองค์ประกอบและคุณสมบัติหลายๆ อย่างของการสังเคราะห์วัสดุ หรือกลไกการก่อรูป การเกาะรวมตัวกันของอนุภาคนาโน สำหรับโลหะบางชนิด เช่นอนุภาคนาโนของโลหะทรานซิชัน โครงสร้างต่างๆ สามารถเกิดขึ้นใหม่โดยแตกต่างไปจากลักษณะของโครงสร้างของก้อนผลึกเดิม โครงสร้างเหล่านี้ ได้แก่ cubooctahedron icosahedron และ decahedron ดังรูปที่ 2.1 โครงสร้าง หรือระนาบของพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันไม่เพียงแต่ทำให้ความหนาแน่นเชิงผิวของอะตอมต่างกัน แต่ยังทำให้โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ พันธะ และปฏิกิริยาทางเคมีแตกต่างกัน การควบคุมขนาด รูปทรงและโครงสร้างอนุภาคนาโนของโลหะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญยิ่งเพราะมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากระหว่างตัวแปรเหล่านี้กับคุณสมบัติเชิงแสงเชิงไฟฟ้า หรือตัวกระตุ้นปฏิกิริยา เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอะตอมและเปอร์เซ็นต์พื้นผิวอะตอม

Full shell clusters	Total number of atoms	Surface atoms (%)
One shell 	13	92
Two shells 	55	76
Three shells 	147	63
Four shells 	309	52
Five shells 	561	45
Seven shells 	1415	35

(ที่มา: S.C. Tjong, H. Chen, Materials Science and Engineering R45, 2004)

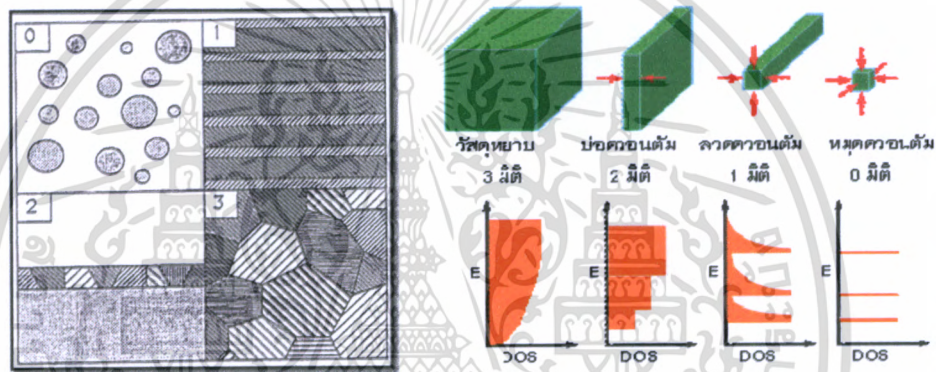


รูปที่ 2.1 (a) รูปทรงเรขาคณิตของผลึกนาโน cubooctahedral ที่อัตราการเติบโตต่างๆ กัน  
 (b) การพัฒนาการของรูปทรงเมื่อระนาบผลึกมีการเปลี่ยนแปลง  
 (c) รูปทรงเรขาคณิตของอนุภาคนาโนเชิงซ้อน decahedron และ icosahedron

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

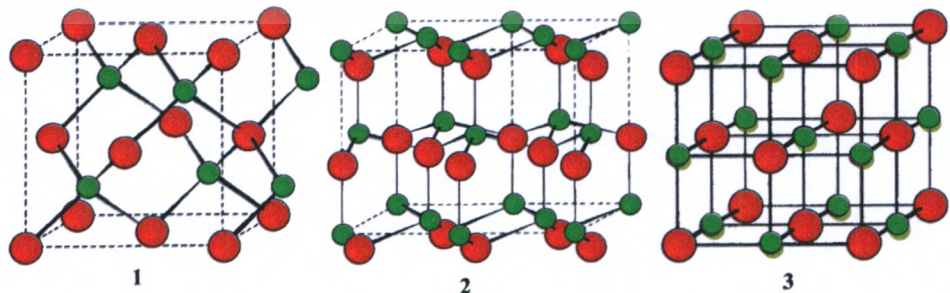
วัสดุผลึกนาโน สามารถจัดแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางหรือมิติของผลึกกับความหนาแน่นของสถานะ (density of states, DOS) และนอกจากนี้รูปของผลึกยังสามารถจัดแบ่งได้เป็นรูปทรงแผ่นหรือผลึกแบบชั้น (layer-shaped crystalline) ผลึกรูปทรงแท่ง (rod-shaped crystalline) และผลึกรูปขวานสมมาตร (equiaxed crystalline) [32]

1. กลุ่มอะตอมมิติศูนย์ (zero-dimensional atom clusters)
2. โครงสร้างเนื้อเยื่อหลายชั้น 1 มิติ (one dimensional modulated multilayers)
3. โครงสร้างเนื้อเยื่อละเอียดหลายชั้น 2 มิติ (two dimensional ultrafine-grained overlayers)
4. โครงสร้างผลึกนาโน 3 มิติ (three-dimensional nanocrystalline structure)



รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพของวัสดุผลึกนาโนทั้ง 4 ชนิด ซึ่งจำแนกตามมิติของผลึก

แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) นั้นมีรูปโครงสร้างของผลึกคริสตัลอยู่ 3 ประเภทคือ Cubic zinc blende Hexagonal wurtzite และ High pressure rock-salt phase โดยรูปโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal wurtzite จะเป็นที่น่าสนใจมากกว่าเนื่องจากมีความเสถียรสูงและสังเคราะห์ได้ง่าย พบได้ทั้ง bulk และ nanocrystalline ในขณะที่รูปโครงสร้างผลึกแบบ Cubic zinc blende และ High pressure rock-salt จะพบเฉพาะ nanocrystalline เท่านั้น [33]

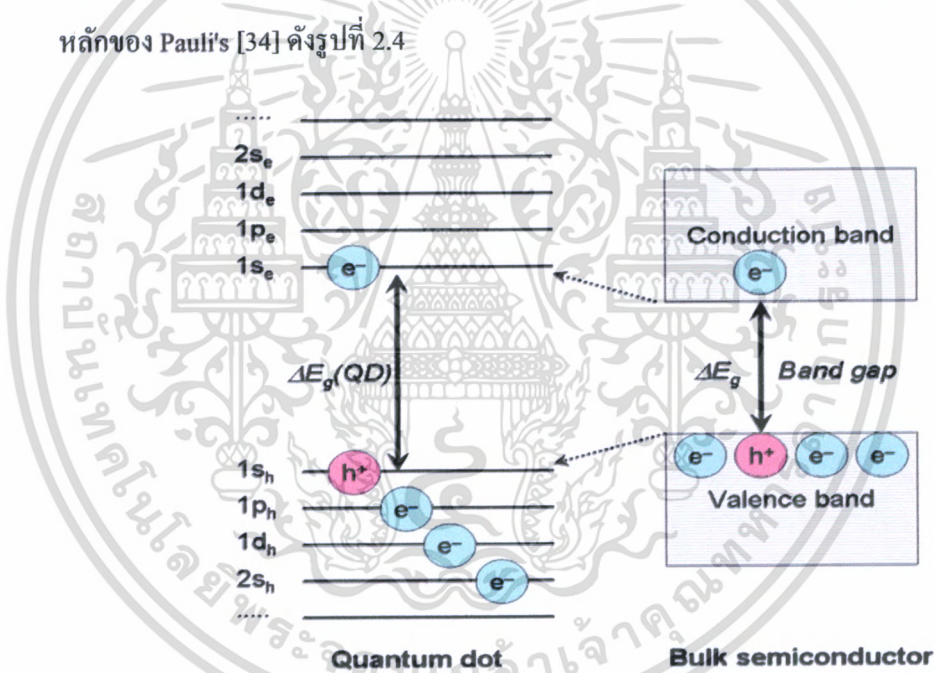


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึก Cubic zinc blende (1) Hexagonal wurtzite (2) และ High pressure rock-salt phase (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ควอนตัมดอทกับการเรืองแสง

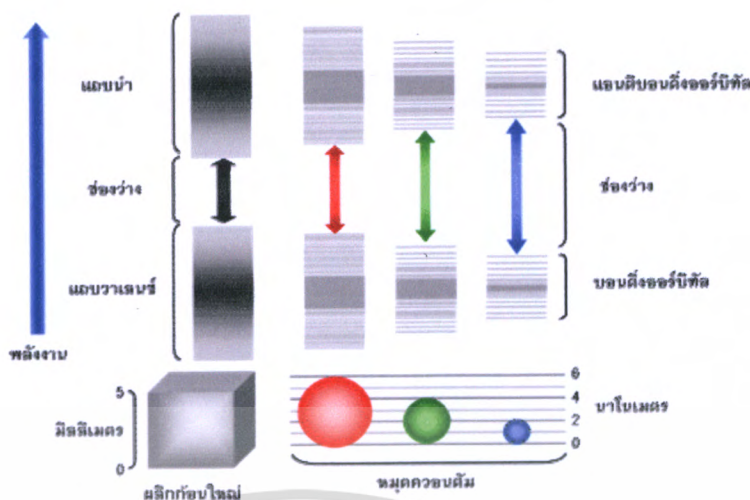
เมื่ออนุภาคของควอนตัมดอทได้รับการกระตุ้นจากภายนอกอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ สามารถทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากชั้นนอกสุดที่มีอิเล็กตรอนอยู่ หรือ เวเลนซ์แบนด์ (valence band) ไปสู่ชั้นว่างเปล่าที่เรียกว่า คอนดักชันแบนด์ (conduction band) ทำให้เกิดหลุมบวก (positively charged hole) ในเวเลนซ์แบนด์ และมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นในคอนดักชันแบนด์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า เอกซิตอน (exciton) และระยะห่างระหว่างหลุมบวกและอิเล็กตรอน เรียกว่า รัศมีเอกซิตอน บอร์ห์ (exciton bohr radius) โดยระยะห่างนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของควอนตัมดอท โดยระดับพลังงานในวัสดุชนิดนี้ไม่ต่อเนื่อง แต่จะอยู่เป็นชั้นๆ (discrete) ซึ่งเมื่อเทียบกับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่มีระยะห่างของระดับพลังงานที่น้อย จะถูกกีดกันทางควอนตัม (quantum confinement) ตามหลักของ Pauli's [34] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงระดับพลังงานของควอนตัมดอทเทียบกับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์

การเปลี่ยนระดับพลังงานของควอนตัมดอท โดยการเพิ่มขึ้นหรือการหายไปของอิเล็กตรอนในควอนตัมดอทนั้น จะส่งผลต่อระยะห่างระหว่างระดับพลังงานและสมบัติของวัสดุ เช่น ถ้าแบนด์แกป (band gaps) มีขนาดกว้างขึ้นการดูดกลืนแสงในช่วงระดับพลังงานมากขึ้น หรือในช่วงความยาวคลื่นสั้นลง (blue shift) ในทางตรงข้ามถ้าแบนด์แกปแคบจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น (red shift) [35] ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

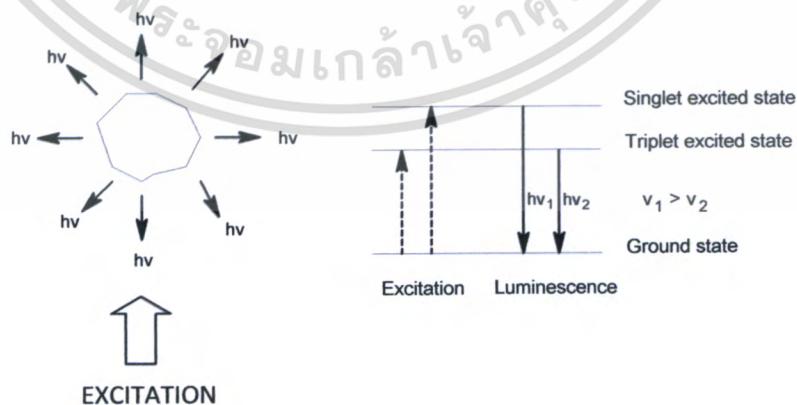


รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของควอนตัมดอทตามขนาดต่างๆ

2.1.4 ประเภทและการเกิดปรากฏการณ์เรืองแสงของสาร [37]

2.1.4.1 ลูมิเนสเซนซ์

ลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) หรือ การเปล่งแสง เป็นปรากฏการณ์ของโมเลกุลที่ถูกกระตุ้น (excited molecules) เกิดการคายพลังงานออกมาในรูปแสงหรือโฟตอน (photon emission) ดังรูปที่ 2.6 โดยกระบวนการที่ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า บางครั้งจึงเรียกการเกิดลูมิเนสเซนซ์ว่า ปรากฏการณ์แสงเย็น (cold light phenomena) ในกรณีหลอดไฟสีเหลืองเป็นหลอดไส้โลหะโซเดียม เมื่อให้ไฟฟ้าแล้วทำให้โลหะเกิดความร้อนให้แสงสีเหลือง กรณีนี้ไม่จัดเป็นการเกิดลูมิเนสเซนซ์



รูปที่ 2.6 แสดงการคายพลังงานของโมเลกุลเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนของการเกิดปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เป็นดังนี้



ชนิดของลูมิเนสเซนซ์แบ่งตามแหล่งพลังงานที่ให้กับโมเลกุล ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งเรียกชื่อโดยการเติมชื่อชนิดของพลังงานไว้หน้าคำว่า “ลูมิเนสเซนซ์” เช่น การเรืองแสงของหนอนเรืองแสง (glow-worm) หรือหิ่งห้อย (fireflies) เกิดจากกระบวนการทางชีววิทยา จึงเรียกการเปล่งแสงชนิดนี้ว่า การเปล่งแสงของสิ่งมีชีวิต หรือ ไบโอลูมิเนสเซนซ์ (bioluminescence) แสงที่เกิดจากผลของปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า การเปล่งแสงทางเคมี (chemiluminescence) ถ้าพลังงานมาจากอนุภาคที่มีพลังงานสูง หรืออนุภาคกัมมันตรังสี เรียกว่า เรดิโอลูมิเนสเซนซ์ (radioluminescence) การเปล่งแสงที่พลังงานกระตุ้นเป็นแสง จึงเรียกว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) คุณสมบัติของการลูมิเนสเซนซ์บางชนิดแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของการลูมิเนสเซนซ์ตามแหล่งพลังงานกระตุ้น

ประเภทของการลูมิเนสเซนซ์	แหล่งของพลังงานกระตุ้น
Bioluminescence	Biological process
Cathodoluminescence	Cathod ray
Chemiluminescence	Chemical energy
Electroluminescence	Electric field
Photoluminescence	Photons
Thermoluminescence	Thermal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของลูมิเนสเซนซ์บางชนิด

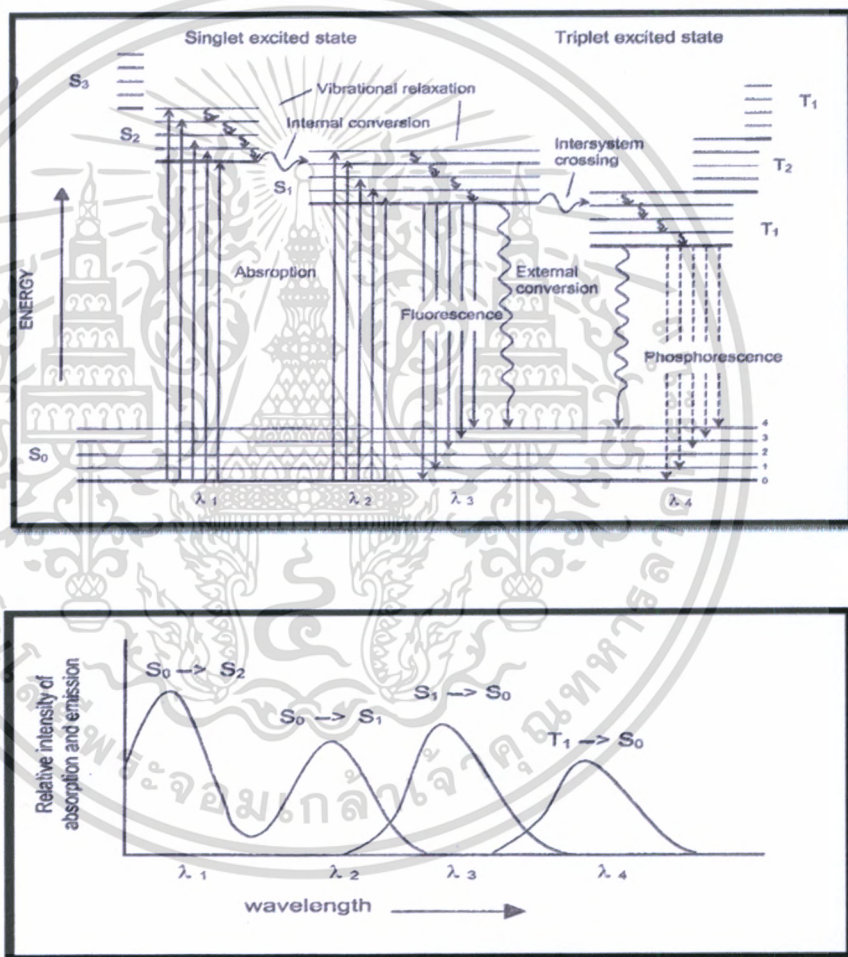
ลูมิเนสเซนซ์ประเภท	ตัวอย่างการนำไปใช้	ประสิทธิภาพของแสง
Black body radiation	Tungsten filament lamp	~ 5%
Photoluminescence	Fluorescent lamp	~ 20%
Cathodoluminescence	Television screen	~ 10%
Electroluminescence	Light-emitting diode, flat, panel display	0.1-50%

#### 2.1.4.2 ฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์

การฟลูออเรสเซนซ์ของโมเลกุล จัดเป็นกระบวนการ โฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยเกิดหลังจากดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตแล้ว โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้น โดยการลดพลังงานในกระบวนการที่เรียกว่า การลดการกระตุ้น (deexcitation process หรือ deactivation) ซึ่งมีทั้งกระบวนการที่ไม่เกิดแสง (radiationless process) และกระบวนการที่เกิดแสง (radiation process) โมเลกุลส่วนใหญ่สูญเสียพลังงาน โดยการคายพลังงานในรูปความร้อนที่เกิดจากการชนกันของโมเลกุล บางโมเลกุลหลังสูญเสียพลังงานจากการชนกันแล้วอิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้น (ground state) โดยการคายพลังงานในรูปแสงหรือเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งนอกจากการเกิดฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นกระบวนการที่ให้แสงแล้ว ฟอสฟอเรสเซนซ์ก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ให้แสงเช่นกัน โดยการกลับสู่สถานะพื้นของอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงานของการสั่นต่ำสุดของชั้นพลังงานกระตุ้นสถานะเดี่ยว (singlet excited state) แล้วคายพลังงานในรูปแสงนั้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟลูออเรสเซนซ์” โดยส่วนมากการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ของโมเลกุลจะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่าการดูดกลืนแสง การเลื่อนไปที่ความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นนี้เรียกว่า “Stokes shift” โดยหลักการแล้วการโฟโตลูมิเนสเซนซ์เป็นกระบวนการกระตุ้นและลดการกระตุ้นที่เกี่ยวข้องกับโฟตอน แต่เนื่องจากมีกระบวนการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมกันในลักษณะแข่งขัน อัตราของกระบวนการทั้งหมดเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นโมเลกุลด้วยแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตหรือวิสิเบิล อิเล็กตรอนจากสถานะเดี่ยวในสถานะพื้น ( $S_0$ ) ที่ชั้นพลังงานจากการสั่นต่ำสุดจะดูดกลืนพลังงานแสงแล้วเคลื่อนที่ไปยังชั้นพลังงานในสถานะกระตุ้นทั้งสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นอันดับที่หนึ่ง ( $S_1$ ) และสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นอันดับที่สอง ( $S_2$ ) ที่ชั้นพลังงานจากการสั่นต่างๆ ดังรูปที่ 2.7 (บน) การกระตุ้นโมเลกุลนี้จะเกิดแถบการดูดกลืนแสง 2 แถบ แถบที่หนึ่งมี  $\lambda_{max}$  ที่ความยาวคลื่น  $\lambda_1$  (การทรานสิชันชนิด  $S_0 \rightarrow S_1$ ) และอีกแถบมี  $\lambda_{max}$  ที่ความยาวคลื่น  $\lambda_2$  (การทรานสิชันชนิด  $S_0 \rightarrow S_2$ ) ซึ่ง  $\lambda_1$  เป็นความยาวคลื่นที่สั้นกว่า  $\lambda_2$  ดังรูปที่ 2.7 (ล่าง)

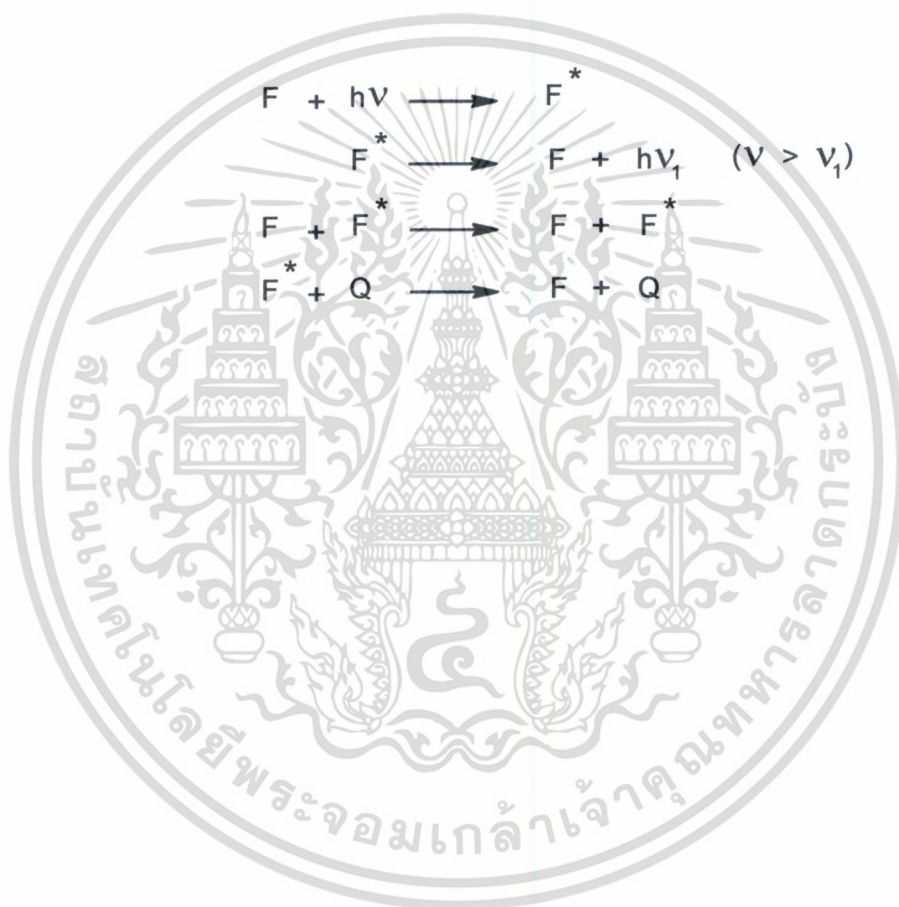


รูปที่ 2.7 (บน) แผนภาพระดับพลังงานแสดงกระบวนการกระตุ้นและกระบวนการลดการกระตุ้น (ล่าง) สเปกตรัมของกระบวนการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 กระบวนการลดการเรืองแสง (Quenching)

Quenching เป็นคำที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ของการลดลงของค่าความเข้มของการฟลูออเรสเซนซ์ใดๆ ที่เกิดจากผลขององค์ประกอบของสารละลายเองคือ ตัวสารตัว อย่างเอง (F) และ/หรือ สารอื่นที่อยู่ในองค์ประกอบ (Q) รวมทั้งตัวทำละลายด้วย โดยกระบวนการฟลูออเรสเซนซ์ทั่วไป และกระบวนการฟลูออเรสเซนซ์ดังกล่าวจะเกิดลดลงในกระบวนการที่ไม่เกิดแสง โดยเกิดการ quenching จากสารตัวอย่างเองหรือการ quenching จากสารอื่นหรือ quencher ดังกล่า ้ต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ [38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45]

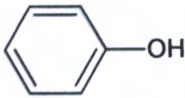

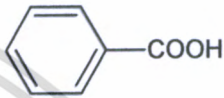
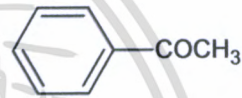
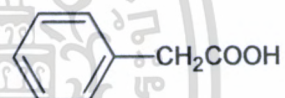
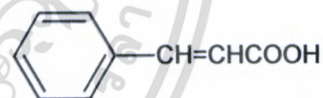
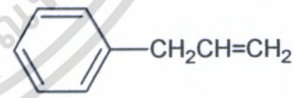
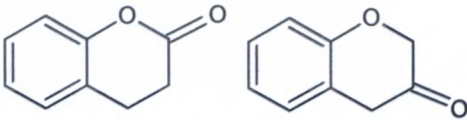
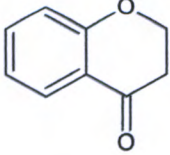
ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับทั่วไปในวงการแพทย์ว่า พยาธิสภาพ พยาธิวิทยา รวมถึงพยาธิสรีรวิทยาของการเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือโรคมะเร็ง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ดังนั้นการทำลายหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระดังกล่าว จะช่วยในการป้องกัน หรือรักษาโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น จากการศึกษาทางระบาดวิทยาจำนวนมากยืนยันถึงการลดอัตราเสี่ยงและเพิ่มอัตราการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ รวมถึงโรคอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับอนุมูลอิสระจากการบริโภคผักและผลไม้ ซึ่งผลดังกล่าวมาจากมีความเกี่ยวข้องกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารประเภทวิตามินซี เบต้า-แคโรทีน ( $\beta$ -carotene) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) รวมถึงสารกลุ่มพอลิฟีนอลิก (polyphenolics) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoids) เป็นต้น โดยในปัจจุบัน พบว่าสารประกอบในกลุ่มพอลิฟีนอลิก เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอก และพบได้มากในธรรมชาติ อันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ชอกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด ในธรรมชาติ นับจากโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟีนิลโพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น แม้ว่าปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 มิลลิกรัมถึง 1 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน สารพอลิฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ด้านแบคทีเรีย ค้านไวรัส ค้านการอักเสบ ค้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ้มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตจากฤทธิ์การขยายหลอดเลือดเหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

### 2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสารต้านอนุมูลอิสระ

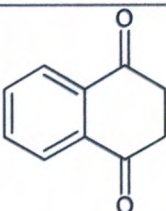
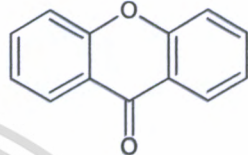
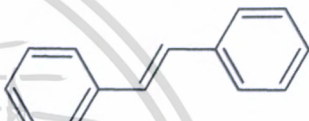
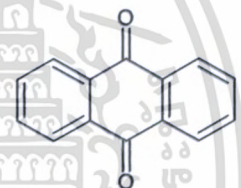
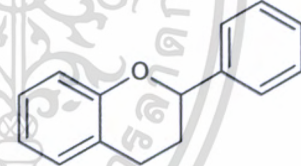
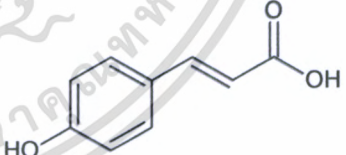
โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงแหวนโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี อย่างน้อย 1 หมู่ ถือเป็น secondary metabolites ของพืชผัก โดยในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติทางโครงสร้างที่สัมพันธ์กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มนี้ อันได้แก่สารกลุ่มที่สำคัญได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิกต่างๆ ที่สำคัญและพบบ่อย

ตารางที่ 2.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสารต้านอนุมูลอิสระ

ประเภท	จำนวนคาร์บอน	โครงสร้างพื้นฐาน
Simple phenols	$C_6$	
Benzoquinones	$C_6$	
Phenolic acids	$C_6C_1$	
Acetophenones	$C_6C_2$	
Phenylacetic acids	$C_6C_2$	
Hydroxycinnamic acids	$C_6C_3$	
Phenylpropenes	$C_6C_3$	
Coumarins, Isocoumarins	$C_6C_3$	
Chromones	$C_6C_3$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสารต้านอนุมูลอิสระ

ประเภท	จำนวนคาร์บอน	โครงสร้างพื้นฐาน
Naphthoquinones	$C_6C_4$	
Xanthenes	$C_6C_1C_6$	
Stilbenes	$C_6C_2C_6$	
Anthraquinones	$C_6C_2C_6$	
Flavonoids	$C_6C_3C_6$	
Lignins	$(C_6C_3)_n$	

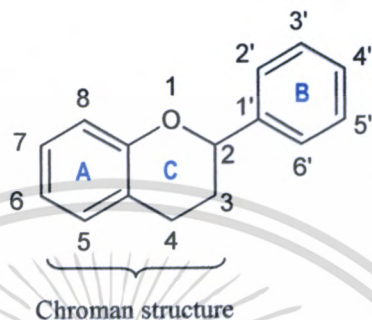
## 2.2.2 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

### 2.2.2.1 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

สารฟลาโวนอยด์พบอยู่ทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกไม้ ดอก ผล หรือเมล็ด ในสัตว์สามารถพบได้บ้าง โดยเชื่อว่ามาจากพืชที่บริโภคเข้าไปมากกว่าเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ในร่างกายของสัตว์เอง ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารสำคัญของกลุ่มพอลิฟีนอล มีสูตร โครงหลักเป็นฟลาเวอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม เรียงกันเป็นระบบ  $C_6C_3C_6$  โดยมีวงเบนซีน 2 วง จับกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 ทำให้โครงสร้างหลักที่ได้เหมือนโครงสร้างหลักของวิตามินอี ที่เป็นโครงสร้างแบบโครแมน (chroman) หรือเบนโซไพแรน (benzopyran)

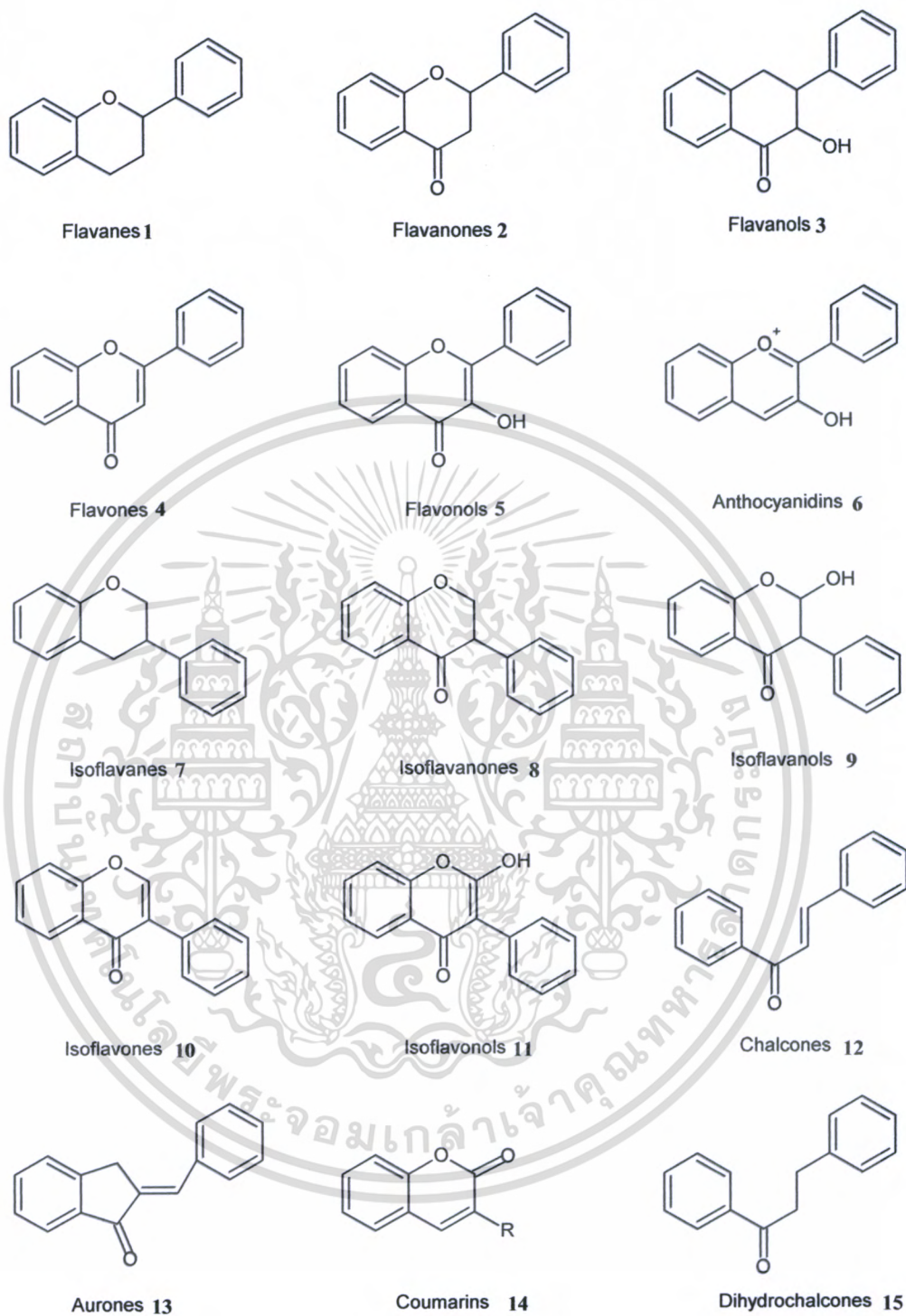


รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของฟลาแวน (flavan)

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่ม ตามความแตกต่างของสูตรโครงสร้าง โดยเฉพาะที่วงซี (C) ซึ่งเป็นวงที่มีอะตอมออกซิเจนอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น อีเทอร์ ดีโตน รวมทั้งการมีหมู่ไฮดรอกซีแทนที่บนวงเอโรมาติกในโมเลกุล ตัวอย่างของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่

ฟลาแวน (flavanes 1)	ไอโซฟลาแวน (isoflavanes 7)	ชาลโคน (chalcones 12)
ฟลาวาโนน (flavanones 2)	ไอโซฟลาวาโนน (isoflavanones 8)	ไดไฮโดรชาลโคน (dihydrochalcones 15)
ฟลาวานอล (flavanols 3)	ไอโซฟลาวานอล (isoflavanols 9)	แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins 6)
ฟลาโวน (flavones 4)	ไอโซฟลาโวน (isoflavones 10)	คูมาริน (coumarins 14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรโครงสร้างหลักนี้จะมีหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะที่วง A และ B ส่วนใหญ่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซี เมททอกซี และน้ำตาลต่างๆ (ในกรณีที่เป็นกลัยโคไซด์) การแทนที่ของหมู่ต่างๆ เหล่านี้ที่ตำแหน่งต่างๆ ทำให้เกิดเป็นสารฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2.5 สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบบ่อยและแหล่งอาหารที่พบมาก

โครงสร้างหลัก	ชื่อสาร	แหล่งอาหารที่พบ
Flavanes	Epicatechin	ชาเขียว ชาดำ
	Catechin	ไวน์แดง
	Epigallocatechin	
	Epicatechin gallate	
Flavanones	Naringin	ผลของพืชตระกูลส้ม มะนาว
	Taxfolin	เปลือก ผลของพืชตระกูลส้ม มะนาว
	Fisetin	
	Hesperetin	
Flavonols	Kaemferol	ผักลึค (leek) บดลอคโคลี ส้มเกรฟฟรุต ชาดำ แอปเปิ้ล เบอร์รี่ โอลีฟ ไวน์แดง
	Quercetin	ผลองุ่น ไวน์แดง แกรนเบอร์รี่
	Myricetin	
Flavones	Chrysin	เปลือกผลไม้
	Apigenin	ขึ้นฉ่าย (celery) ผักชีฝรั่ง
Anthraquinones	Malvidin	ผลองุ่นแดง ไวน์แดง
	Cyanidin	ลูกเชอร์รี่ ผลราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่
	Apigenidin	ผลไม้และเปลือกไม้ที่มีสี
Phenylpropanoids	Ferulic acid	ข้าวสาลี ข้าวโพด มะเขือเทศ ผักขม
	Caffeic acid	ผลองุ่นขาว ผักขม กาแฟ หน่อไม้ฝรั่ง
	<i>p</i> -coumarin acid	ผลองุ่นขาว กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง
	Chlorogenic acid	แอปเปิ้ล เชอร์รี่ สาลี ลูกพรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

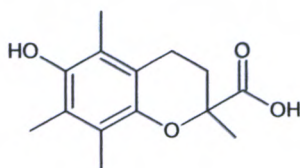
ฟลาโวนอยด์ในรูปอกลัยโคโคน (aglycone) เป็นสารพวกฟีนอลิกหรือพอลิฟีนอลิก มักมีพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และสามารถแยกได้จากเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว ซึ่งที่พบในธรรมชาติมักอยู่ในรูปอกลัยโคไซด์ เนื่องจากการมีน้ำตาลเข้ามาจับในโมเลกุล ทำให้สารนั้นละลายได้ดีในน้ำและอยู่ในเซลล์แควิวโอว ถ้าสารฟลาโวนอยด์ที่หมู่ไฮดรอกซิลถูกเติมหมู่เมทิลได้เป็นหมู่เมทอกซิล จะทำให้สามารถละลายได้ในไขมัน และอยู่ในส่วนของไซโทพลาสซึม ซึ่งพบในพืชตระกูลส้ม โดยทั่วไปฟลาโวนอยด์อกลัยโคไซด์มี 2 ชนิด คือ ฟลาโวนอยด์-โอ-อกลัยโคไซด์ (Flavonoid-O-glycosides) ซึ่งหมู่น้ำตาลจะเข้าเกาะที่หมู่ไฮดรอกซิล และฟลาโวนอยด์-ซี-อกลัยโคไซด์ (Flavonoid-C-glycosides) ซึ่งหมู่น้ำตาลจะเข้าเกาะที่อะตอมของคาร์บอนนิวเคลียสของฟลาโวนอยด์โดยตรง

### 2.2.2.2 กรดฟีนอลิก (Phenolic acid)

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารในกลุ่มของฟีนอลิกและเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก จะขึ้นกับจำนวนหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล คุณสมบัติในการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอกซิลิกในกรดเบนโซอิก จะส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจน ของ hydroxybenzoate น้อยลง ดังนั้นจึงพบว่าสารกลุ่ม hydroxycinnamic acid จะมีฤทธิ์ที่ดีกว่า

### 2.2.3 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

ในปี ค.ศ. 1993-1994 Miller และคณะ [39] รายงานถึงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox (Trolox equivalent antioxidant activity, TEAC) โดยการวัดความเข้มข้นของสารละลาย Trolox ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายทดสอบความเข้มข้น 1 mM ดังสรุปรวมในตารางที่ 2.6 ซึ่งได้แสดงค่า TEAC ของสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ โดยค่า TEAC จะบ่งบอกถึงความสามารถของสารในการให้ไฮโดรเจน (hydrogen-donating) สำหรับขจัดหรือยับยั้งอนุมูลอิสระ (ซึ่งในการทดลองนี้ใช้อนุมูล ABST<sup>••</sup>) ถ้า TEAC มีค่าสูง แสดงว่าสารนั้นมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี



รูปที่ 2.10 โครงสร้างสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

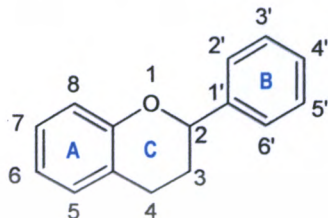
ตารางที่ 2.6 ค่า TEAC (Trolox equivalent antioxidant concentration) ของฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ

สาร	ตำแหน่งหมู่ -OH	TEAC (mM)	โครงสร้างหลัก
Myricetin	3,5,7,3',4',5'	3.10 ± 0.30	Flavonol
Morin	3,5,7,3',4',5'	2.55 ± 0.02	Flavonol
Rutin	5,7,3',4'	2.40 ± 0.06	Flavonol
Kaemferol	3,5,7,4'	1.34 ± 0.08	Flavonol
Quercetin	3,5,7,3',4'	4.72 ± 0.10	Flavonol
Luteolin	5,7,3',4'	2.10 ± 0.05	Flavone
Luteolin-4'-glucooside	5,7,3'	1.74 ± 0.09	Flavone
Apigenin	5,7,4'	1.45 ± 0.08	Flavone
Chrysin	5,7	1.43 ± 0.07	Flavone
Luteolin-3',7-diglucooside	5,4'	0.79 ± 0.04	Flavone
Taxifolin	3,5,7,3',4'	1.90 ± 0.03	Flavanone
Naringenin	5,7,4'	1.53 ± 0.05	Flavanone
Hesperidin	3,5,3'	1.08 ± 0.04	Flavanone
Narirutin	5,4'	0.76 ± 0.05	Flavanone
Hesperitin	3,5,7,3'	1.37 ± 0.08	Flavanone
Epicatechin gallate	3,5,7,3',4',3'',4'',5''	4.90 ± 0.02	Flavan-3-ol
Epigallocatechin gallate	3,5,7,3',4',5',3'',4'',5''	4.80 ± 0.06	Flavan-3-ol
Epigallocatechin	3,5,7,3',4',5'	3.80 ± 0.06	Flavan-3-ol
Epicatechin	3,5,7,3',4'	2.50 ± 0.02	Flavan-3-ol
Catechin	3,5,7,3',4'	2.40 ± 0.05	Flavan-3-ol
Ideain	5,7,3',4'	2.90 ± 0.03	Anthocyanin
Keracyanin	5,7,3',4'	3.25 ± 0.10	Anthocyanin
Oenin	5,7,4'	1.78 ± 0.02	Anthocyanin
Delphinidin	3,5,7,3',4',5'	4.44 ± 0.11	Anthocyanidin
Cyanidin	3,5,7,3',4'	4.40 ± 0.12	Anthocyanidin
Apigenidin	5,7,4'	2.35 ± 0.20	Anthocyanidin
Peonidin	3,5,7,4'	2.22 ± 0.20	Anthocyanidin
Gallic acid	3,5,7	3.01 ± 0.05	Anthocyanidin
Trolox		1.00	Phenolic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

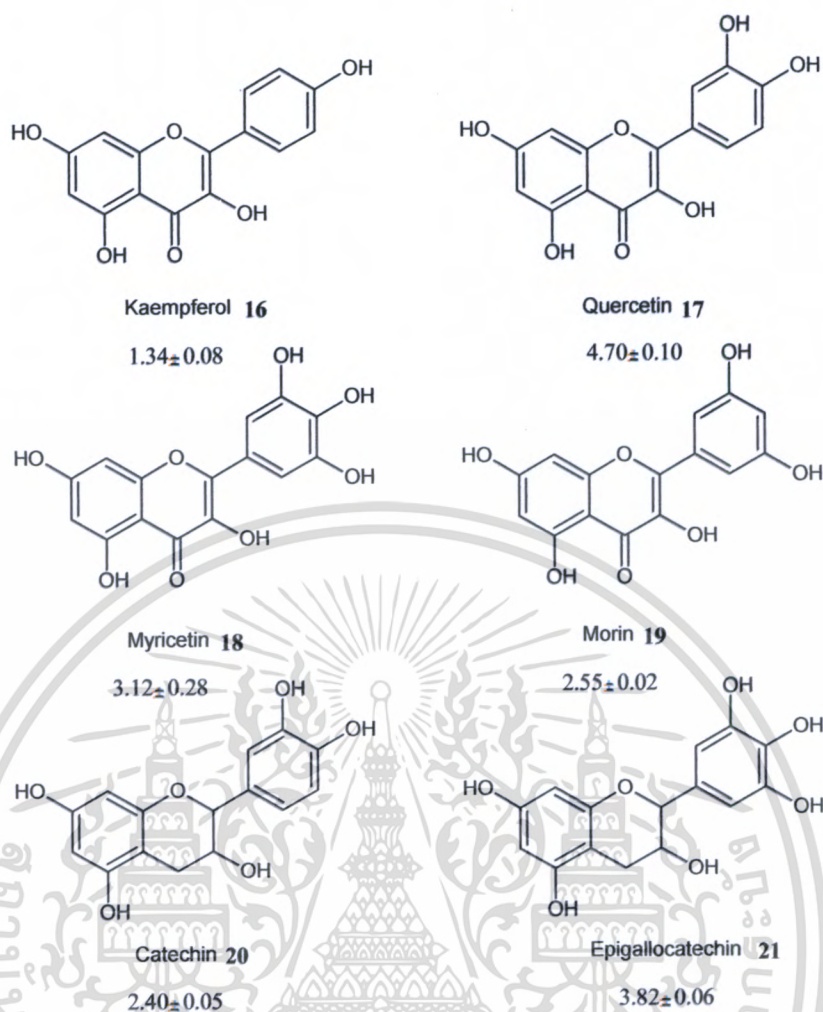
### 2.2.3.1 การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของฟลาโวนอยด์กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระทำให้ได้ผลการศึกษาน่าสนใจดังนี้



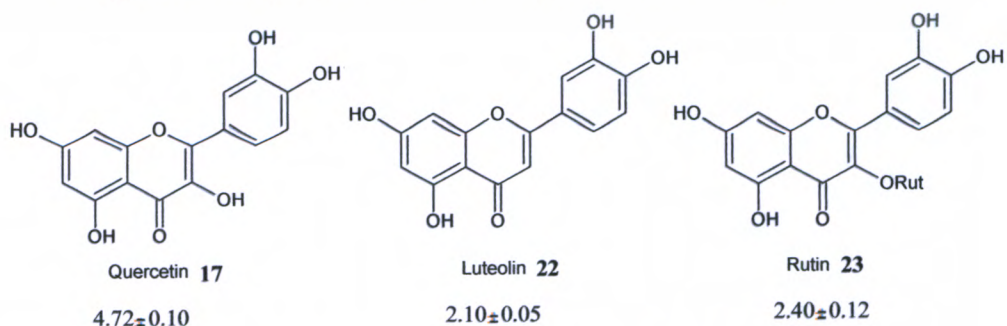
1. จำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล บนวง B มีความสำคัญต่อฤทธิ์ต้านการออกซิเดชัน โดยพบว่าโครงสร้างแบบ *ortho diphenolic* (หรือ *catechol*) จะทำให้สารมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันเด่นที่สุด เห็นได้จาก quercetin (TEAC = 4.72 mM) ซึ่งที่วง B มีโครงสร้างแบบ *ortho diphenolic* จึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่า morin ที่มีหมู่แทนที่ -OH บนวง B 2 หมู่เหมือนกันแต่มีการจัดเรียงตัวแบบ *meta diphenolic* การมีหมู่ไฮดรอกซิลที่วง B เพียงหมู่เดียว จะทำให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระลดลง เช่น Kaempferol ซึ่งพบว่ามี TEAC (1.34 mM) ต่ำกว่า quercetin เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามพบว่า การมีหมู่ไฮดรอกซิลหมู่ที่ 3 เพิ่มเข้าไปเป็นโครงสร้างแบบ *triphenolic* จะไม่มีผลเพิ่มฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เช่น mericetin (TEAC = 3.12 mM) ซึ่งมีโครงสร้างที่วงแบบ *triphenolic* แต่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันต่ำกว่า quercetin อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ไม่มีโครงสร้างหลักแบบฟลาโวนอล (ในโครงสร้างมีพันธะคู่ที่ C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>, 4-oxo และ 3-OH ที่วง C) หรือมีโครงสร้างแบบอิมิดัวในวง C พบว่า การมีหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ที่วง B อาจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ เช่น epigallocatechin (TEAC = 3.82 mM) มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมากกว่า catechin (รูปที่ 2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ผลของ โครงสร้างแบบ ortho dihydroxy บนวง B ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

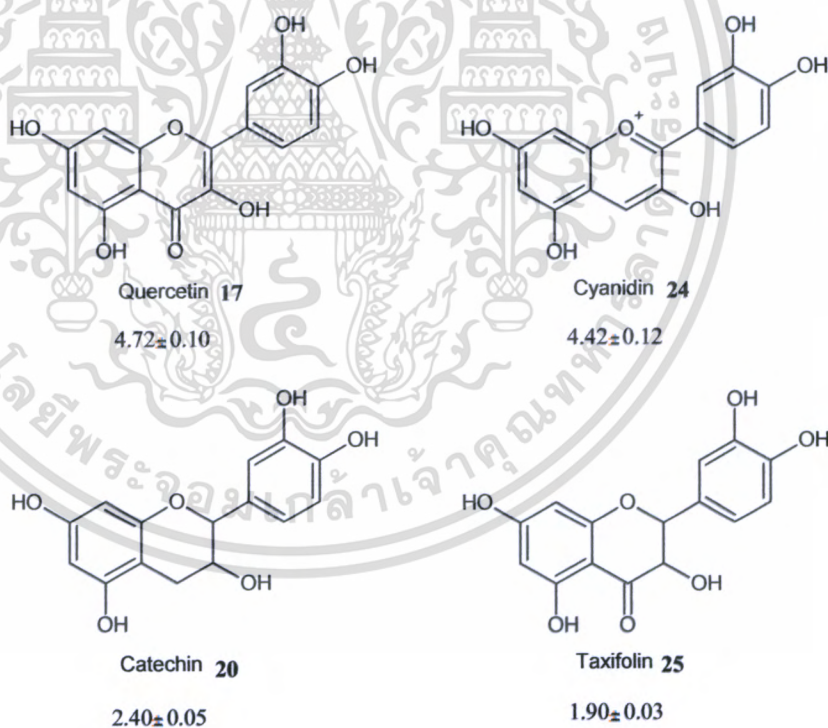
2. การออกฤทธิ์ของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในการต้านอนุมูลอิสระจะมีความสัมพันธ์กับหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C<sub>3</sub> ของวง C จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่า luteolin ซึ่งไม่มี 3-OH จะมีฤทธิ์ต่ำกว่า quercetin นอกจากนี้การบังคับหรือการแทนที่หมู่ 3-OH ด้วยหมู่กลัยโคซิล หรือหมู่เมทิล จะทำให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระลดลง ดังจะเห็นได้จาก rutin ซึ่งเป็น 3-O-glycoside ของ quercetin จะมีฤทธิ์ต่ำกว่า quercetin เกือบ 2 เท่า (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 ผลของหมู่แทนที่ 3-OH บนวง C ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

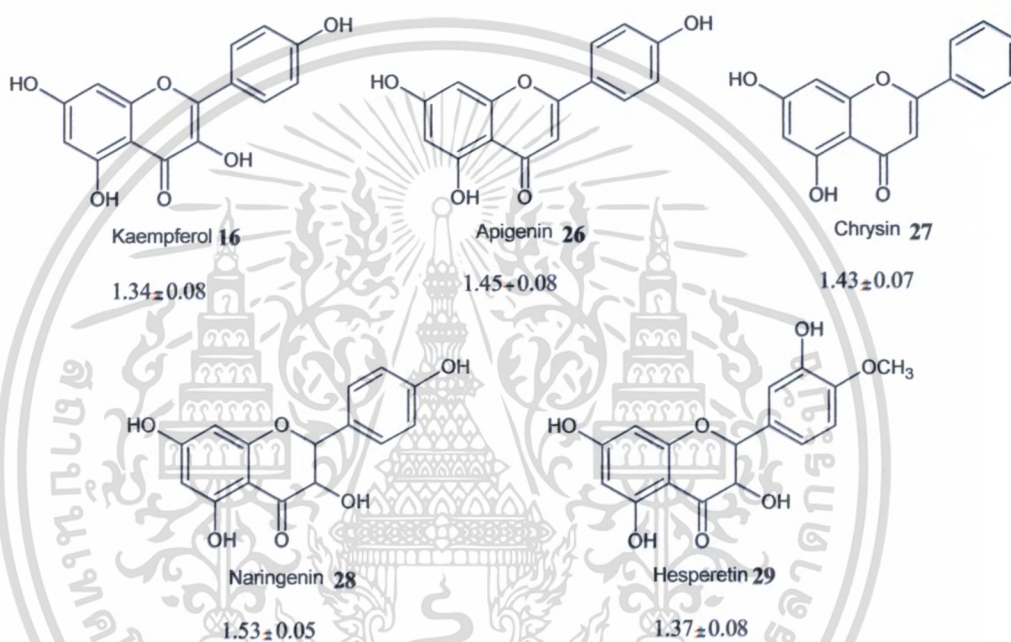
3. การที่วง C มีลักษณะไม่อิ่มตัวหรือมีพันธะคู่ เพื่อทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ (delocalization) ทัวโมเลกุล จะเพิ่มฤทธิ์ในการเป็น antioxidant ของสาร พิจารณาจากสารที่มีโครงสร้างเป็น 3,5,7,3',4'-pentahydroxy polyphenolic (รูปที่ 2.13) พบว่า quercetin ซึ่งมีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2,3 และมีอะตอมออกซิเจนที่ตำแหน่ง 4 ของวง C จะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (TEAC = 4.72 mM) ดีกว่า catechin (TEAC = 2.40 mM) และ taxafolin (TEAC = 1.90 mM) ซึ่งมีโครงสร้างที่วง C อิ่มตัว ทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนระหว่างวง A และ B ในขณะที่ cyanidin แม้ว่า จะไม่มีอะตอมออกซิเจนที่ตำแหน่ง 4 แต่มีโครงสร้างที่วง C ไม่อิ่มตัว เกิดการคอนจูเกตของอิเล็กตรอนทั้งโมเลกุล ทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับ quercetin (TEAC = 4.40 mM) จะเห็นว่า โครงสร้างที่มีการคอนจูเกต ซึ่งมีผลต่อการ delocalization ของอิเล็กตรอน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการขยับยั้งอนุมูลอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะสามารถเพิ่มความเสถียรของอนุมูล flavonoid phenoxyl หลังจากให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ



รูปที่ 2.13 ผลของความไม่อิ่มตัวของวง C ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

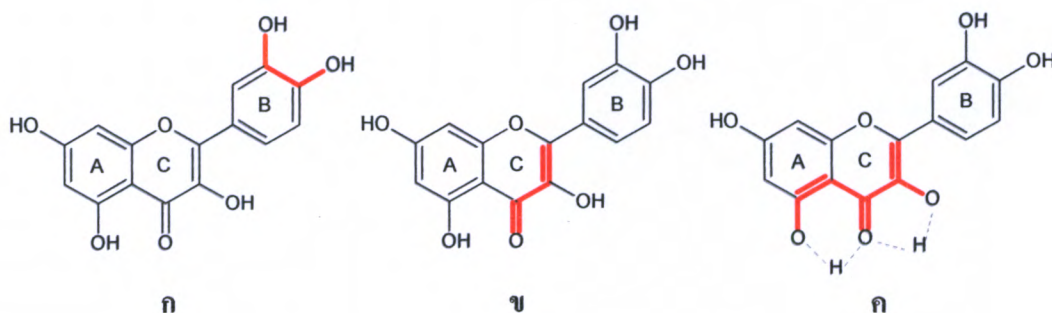
4. ถ้าหมู่ไฮดรอกซิลบนวง B ไม่มีหรือมีเพียง 1 หมู่ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จะเป็นผลมาจากหมู่ฟีนอลิกบนวง A จะเห็นว่าสารในกลุ่มฟลาโวนอล เช่น Keampferol มีหมู่ไฮดรอกซิลที่วง B เพียง 1 หมู่จะมีผลทำให้ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันลดลงเป็นอย่างมากเหลือค่า TEAC เพียง 1.34 mM ขณะที่ quercetin มีค่า TEAC เท่ากับ 4.72 mM ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า TEAC ของสารกลุ่มฟลาโวน (เช่น Apigenin และ Chrysin) และกลุ่ม flavanones (เช่น Naringenin และ Hesperetin) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฤทธิ์ที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนวง B



รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มฟลาโวนอล ฟลาโวน และฟลาโวนอน

จากรายงานการวิจัยต่างๆ แม้ว่าเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะแตกต่างกัน จากผลการศึกษาที่แสดงข้างต้น สามารถสรุปลักษณะโครงสร้างที่จำเป็นพื้นฐาน สำหรับการออกฤทธิ์ที่ดีในการต้านอนุมูลอิสระได้ 3 ตำแหน่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งและโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์

ก. โครงสร้าง *catechol* หรือ *ortho-diphenolic group* ในวง B ถือเป็นโครงสร้างที่สำคัญที่สุดสำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งนอกจากจะมีบทบาทสำคัญสำหรับการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่เป็น *hydrogen donating* แล้ว ยังสามารถจับหรือดีเลทโลหะหนัก โดยเฉพาะทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสร้างและเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนของอนุมูลอิสระในร่างกาย

ข. พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 คอนจูเกต (*conjugate*) กับหมู่ *4-oxo* ในวง C ซึ่งจะเพิ่มความเสถียรของอนุมูล *flavonoid phenoxyl*

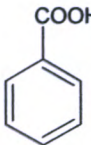
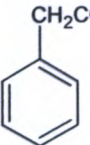
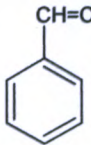
ค. หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3 และ 5 จากรายงานการศึกษาพบว่า สารกลุ่มฟลาโวน และ ฟลาโวนอนซึ่งไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C<sub>3</sub> จะมีโครงสร้างที่บิดเบี้ยว ในขณะที่สารกลุ่มฟลาโวนอล และฟลาโวนอล ซึ่งมีหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งดังกล่าว จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล โครงสร้างจะมีลักษณะแบนราบ ในระนาบเดียวกัน ส่งผลให้การ *delocalization* ของอิเล็กตรอนผ่านพันธะคู่ ( $\pi$ -bond) เกิดขึ้นได้

### 2.2.3.2 การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มไฮดรอกซีเบนโซอิก

1. การมีไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่ง *o-* หรือ *p-* จะทำให้สารไม่มีหรือมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยการให้ไฮโดรเจนน้อยมาก แต่หากวางอยู่ในตำแหน่ง *m-* จะให้ฤทธิ์ดีกว่า (TEAC = 0.84 mM) ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ที่มีคุณสมบัติดึงอิเล็กตรอน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *o-* หรือ *p-* จะได้รับผลนี้มากกว่า ดังจะเห็นได้จากในกลุ่มของ *phenylacetic acid* ที่มีหมู่เมทิลลีน (-CH<sub>2</sub>-) แทรกระหว่างวงฟีนิล และหมู่คาร์บอกซิลิก การมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง *o-* หรือ *m-* จะให้ TEAC เกือบเท่ากับ 1 mM ในขณะที่การแทนที่ที่ตำแหน่ง *p* จะเพิ่มฤทธิ์เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (TEAC, mM) ของสารกลุ่มกรดฟีนอลิก

ตำแหน่งของหมู่ OH	Hydroxybenzoic â	Hydroxyphenylacetic â	Hydroxycinnamic â
			
2 (salicylic)	0.04 ± 0.01	0.99 ± 0.09	0.99 ± 0.15
3	0.84 ± 0.05	0.90 ± 0.11	1.21 ± 0.02
4	0.08 ± 0.01	0.34 ± 0.10	2.22 ± 0.06
2,3	1.46 ± 0.01		
3,4	1.19 ± 0.03	2.19 ± 0.08	1.26 ± 0.01
2,5	1.04 ± 0.03	0.91 ± 0.05	
3,5 (resorcylic)	2.15 ± 0.05		
4-OH, 3-OCH <sub>3</sub>	1.43 ± 0.05	1.72 ± 0.06	1.90 ± 0.02
3,4,5 (gallic acid)	3.01 ± 0.05		
Pyrogallol	1.91 ± 0.02		
Gallic acid and methyl ester	2.40 ± 0.03		
3,5-diOMe, 4-OH (syringic)	1.36 ± 0.01		

2. การมีไฮดรอกซิล 2 หมู่อยู่ในตำแหน่ง *m*-, *m*- (3,5-OH) จะให้ฤทธิ์ดีกว่าที่ตำแหน่ง *m*-, *o*- และ *m*-, *p*- ตามลำดับ โดยการแทนที่ *o*-, *p*- หรือ *o*-, *o*- จะให้ฤทธิ์ต่ำดังจะเห็นได้จาก resorcylic (มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3,5) มีค่า TEAC เท่ากับ 2.15 mM ในขณะที่สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 2,3 จะมีค่า TEAC ใกล้เคียงกับสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 2,5 (ตำแหน่ง *o*-, *o*-) มีฤทธิ์ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอกซิลิกในกลุ่มของกรด phenylacetic ที่มีหมู่ -CH<sub>2</sub>- แทรกระหว่างวงฟีนิล และหมู่คาร์บอกซิลิกซึ่งทำให้วงฟีนิลได้รับอิทธิพลจากหมู่คาร์บอกซิลิกน้อยลง จึงส่งผลทำให้มีฤทธิ์เพิ่มขึ้น เช่น 3,4-dihydroxyphenylacetic acid ซึ่งมีค่า TEAC (2.19 mM) มากกว่า homoprotocatechuic acid (TEAC 1.19 mM) เกือบ 2 เท่า

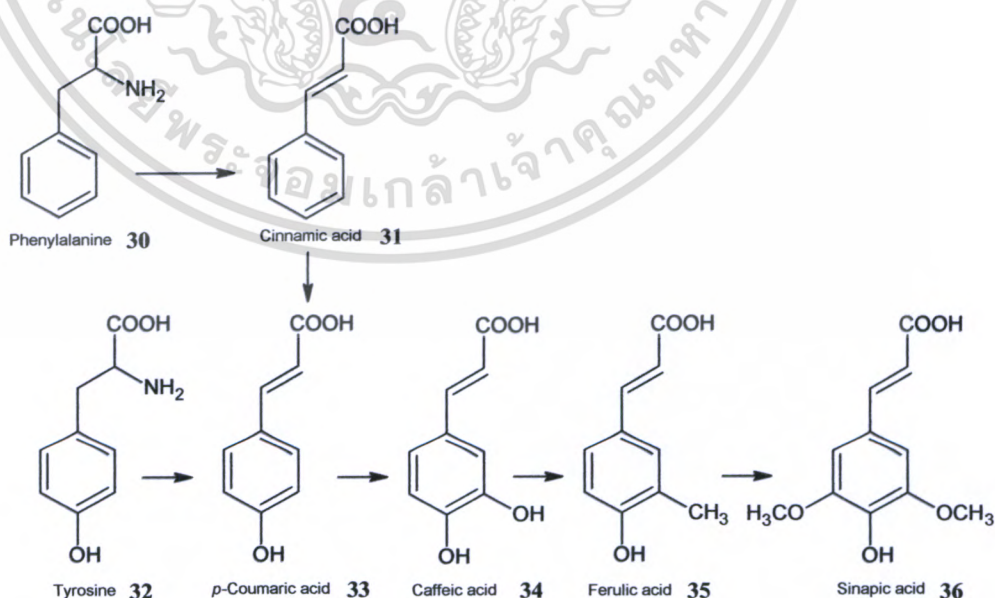
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การมีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ จะให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันดีที่สุด เช่น กรดแกลลิก จะให้ค่า TEAC สูง (3.00 mM) ในขณะที่การมีหมู่คาร์บอกซิลิก หรือไฮดรอกซิล ถูกบดบังจะทำให้ฤทธิ์ลดลง เช่น เมทิลเอสเทอร์ของกรดแกลลิกจะมีค่า TEAC ลดลงเป็น 2.40 mM และถ้าหมู่ไฮดรอกซิลถูกบดบังในอนุพันธ์ 3,5-dimethoxy-4-hydroxyl จะมีค่า TEAC เพียง 1.36 mM

จากความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน หรือความสามารถในการให้ไฮโดรเจนเพื่อต้านอนุมูลอิสระ จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระนี้ จะแตกต่างจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยพบว่าสารในกลุ่มนี้ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งขบวนการลิพิดเปอร์ออกซิเดชันที่เหนี่ยวนำให้เกิดโดยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) ซึ่งอาจเนื่องมาจากอนุมูลเปอร์ออกซิล มีความคงตัวต่ำ รวมทั้งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีของสารกลุ่มนี้ ที่ทำให้ผ่านการเข้าสู่เซลล์ต่ำ

### 2.2.3.3 การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิก

ฟีนิล โพรพานอยด์ (phenylpropanoids) ในพืชที่พบได้มากที่สุด ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก กรดคูมาริก กรดคาเฟอิก และกรดเฟอร์ูลิก ซึ่งสารกลุ่มนี้จะได้จากกระบวนการชีวสังเคราะห์ shikimate โดยมี L-phenylalanine หรือ L-tyrosine เป็นสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วิถีทางของการสังเคราะห์สารกลุ่ม phenylpropanoids ในพืช

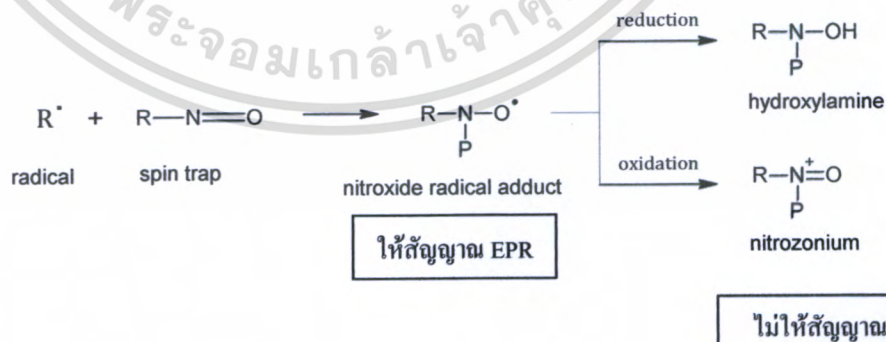
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแทรกหมู่เอทิลีน ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ ) ระหว่างวงฟีนิลและหมู่คาร์บอกซิลิก ทำให้คุณสมบัติในการให้อิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *para* จะได้รับอิทธิพลนี้มากกว่าที่ตำแหน่ง *ortho* และ *meta* ตามลำดับ จากตารางที่ 2.7 จะเห็นว่ากรดคูมาริก (*para*) จะมี TEAC ถึง 2.22 mM สูงกว่าสารในกลุ่ม *p*-hydroxybenzoic acid และ *p*-hydroxyphenylacetic acid ในขณะที่ การแทนที่ในตำแหน่ง *ortho* และ *meta* จะให้สารที่มีฤทธิ์ไม่แตกต่างจากสารในกลุ่ม hydroxyphenylacetic acid ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามกรดซินนามิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ จะมีฤทธิ์ลดลงเมื่อเทียบกับสารในกลุ่ม hydroxyphenyl acetic acid เช่น กรดคาเฟอิก (TEAC 1.26 mM) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลต่ำกว่า 3,4-di hydroxyl phenylacetic acid (TEAC 2.19 mM) เมื่อเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ 3 เป็นหมู่ เมทอกซิล ( $-\text{OCH}_3$ ) ได้เป็นกรดเพอรูลิกจะมีค่า TEAC (1.90 mM) เพิ่มขึ้นมากกว่ากรดคาเฟอิก อย่างไรก็ตาม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้นั้นก็ยังคงน้อยกว่าการมีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่ง *para* จึงชี้ให้เห็นว่าการมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในสารกลุ่มไฮดรอกซินนามิกจะมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติในการให้ไฮโดรเจนดีกว่ามีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ และมีรายงานการศึกษาที่พบว่าสารในกลุ่มนี้มีหมู่แทนที่ที่มีคุณสมบัติเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน เช่น หมู่แอลคิล หรือเมทอกซิล ที่ตำแหน่ง *ortho* จะสามารถเพิ่มความคงตัวของอนุมูล aryloxy $\cdot$  ได้ จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะในลิพิด

## 2.3 วิธีการตรวจวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

### 2.3.1 เทคนิคการตรวจวัดด้วยเครื่องอีพาร์สเปกโทรสโกปี [46, 47]

อนุมูลอิสระมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก (paramagnetism) เนื่องจากมีอิเล็กตรอนเดี่ยว โดยอิเล็กตรอนจะสปินหรือหมุนรอบตัวเองให้ค่า magnetic moment ดังนั้นจึงอาศัยสมบัติการเป็นแม่เหล็กในการตรวจวัด โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดอนุมูลอิสระนั้นเรียกว่า เครื่องอีพาร์ (EPR = electron paramagnetic resonance) หรืออีเอสอาร์ (ESR = electron spin resonance) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดอิเล็กตรอนเดี่ยว โดยนำสารตัวอย่างไปวางไว้ในสนามแม่เหล็ก และให้แสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟผ่านสารตัวอย่าง อิเล็กตรอนเดี่ยวจะดูดกลืนพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ณ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กค่าหนึ่งเฉพาะตัวตามคุณสมบัติของโครงสร้างทางเคมีของอนุมูลอิสระนั้นๆ เมื่อดูดกลืนพลังงานแล้วอิเล็กตรอนจะอยู่ในภาวะกระตุ้น หมุนกลับทิศทางเกิดการเรโซแนนซ์เป็นสัญญาณที่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเฉพาะตัวของอนุมูลอิสระแต่ละชนิด EPR เป็นเทคนิคเดียวที่ใช้ตรวจหาอนุมูลอิสระโดยตรง ซึ่งจะตรวจหาอิเล็กตรอนไร้คู่ แต่สามารถตรวจหาได้เฉพาะอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวเท่านั้น เนื่องจากอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงจะไวต่อปฏิกิริยาจึงเหลือในปริมาณต่ำ ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการตรวจวัดอนุมูลอิสระจึงใช้วิธีตรวจโดยอ้อมผ่านการใส่สารดักจับอนุมูลอิสระ หรือสารสปินแทร็ป (spin trapping agent) สารสปินแทร็ปจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ เกิดเป็นอนุมูลที่มีความคงตัวทำให้สามารถตรวจวัดสัญญาณ EPR ได้

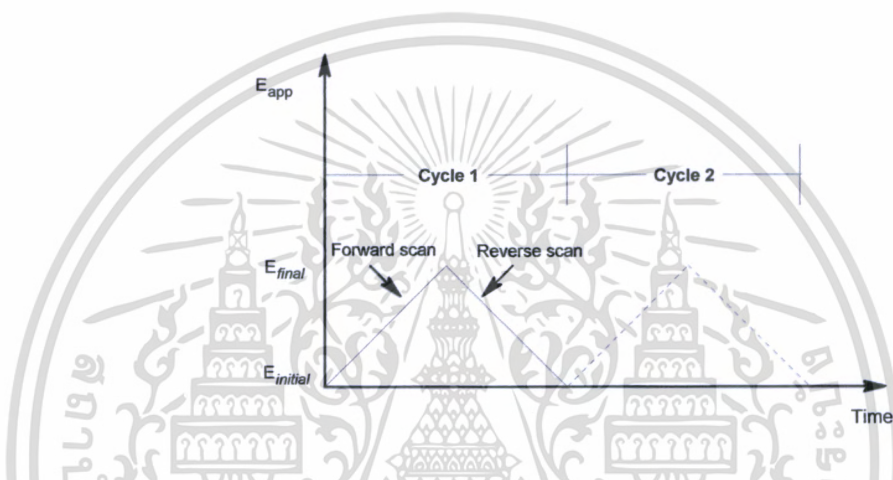


รูปที่ 2.17 ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระของสารสปินแทร็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 เทคนิคทางด้านไฟฟ้าเคมี [48, 49]

ไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) เป็นเทคนิคทางด้านเคมีไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง มีการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานเป็นแบบรูปสามเหลี่ยม และเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน (electron transfer reaction) บนผิวของขั้วไฟฟ้ากับสารตั้งต้นอนุมูลอิสระ และเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วทำงาน โดยกระแสที่เกิดขึ้นนี้จะถูกตรวจวัดด้วยวงจรถอดสัญญาณภายนอก ซึ่งขนาดของกระแสมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารตั้งต้นอนุมูลอิสระ



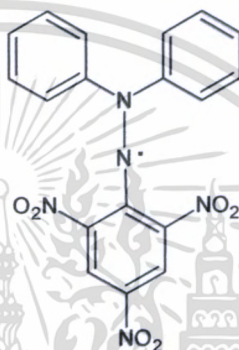
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลาของไซคลิกโวลแทมเมตรี

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารตั้งต้นอนุมูลอิสระนั้น จะแสดง Oxidation peak เป็นลักษณะเฉพาะ โดยสารตั้งต้นอนุมูลอิสระที่มีศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันต่ำ จะเป็นสารตั้งต้นการออกซิเดชันที่ดีหรือเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี (reducing agent) และการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารที่เป็น electroactive นั้น จะแปรตามผิวหน้าของขั้วที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันที่เกิดบนผิวขั้วไฟฟ้าจะเป็นตัวชี้วัดที่ดีถึงความแรงของการเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาออกซิเดชัน

### 2.3.3 เทคนิคที่ใช้ปฏิกิริยาเคมีในการตรวจวัด

#### 2.3.3.1 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay [50, 51, 52, 53]

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยใช้รีเอเจนต์ คือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH<sup>•</sup>) ซึ่งเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่มีความเสถียร คงตัวในตัวทำละลายเมทานอล และเป็นสารละลายสีม่วงดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และที่สำคัญ DPPH<sup>•</sup> อยู่ในรูปของอนุมูลอยู่แล้วโดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลเหมือนกับกรณีอนุมูล ABST<sup>••</sup>



รูปที่ 2.19 โครงสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH

หลักการวิเคราะห์จะเป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ การวัดทำได้โดยการใช้เครื่องสเปกโทรสโกปีวัดค่าการลดลงของสี เมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไป โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง DPPH<sup>•</sup> กับ สารต้านอนุมูลอิสระ (AH) หรือกับ radical species (R<sup>•</sup>) เป็นไปตามสมการด้านล่าง



โดยการรายงานผลการทดลองนั้นจะรายงานในรูปของค่า EC<sub>50</sub> หรือบางครั้งก็รายงานเป็นค่า IC<sub>50</sub> เมื่อคิดเป็น % Inhibition DPPH<sup>•</sup> แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้ DPPH<sup>•</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เรียกว่า Antiradical Efficiency (AE) โดยคำนวณจากสมการ

$$AE = \frac{1}{(EC_{50})(T_{EC50})}$$

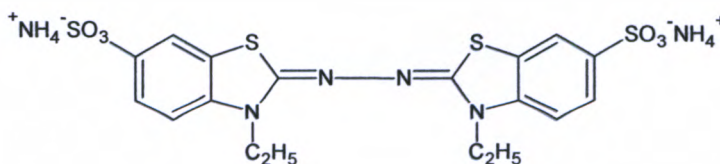
เมื่อ  $EC_{50}$  = ความเข้มข้นของสารทดสอบที่สามารถลดปริมาณ DPPH<sup>•</sup> เริ่มต้นลงได้ 50%

$T_{EC50}$  = เวลาที่ใช้ในการลดปริมาณอนุมูลอิสระให้ได้  $EC_{50}$

ข้อดีของวิธีนี้คือเป็นวิธีที่สะดวก ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้อง มี reproducibility สูง และใช้เครื่องมือที่มีทั่วไปในห้องปฏิบัติการ จึงนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารธรรมชาติ ยกเว้นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีการดูดกลืนแสงในย่านเดียวกัน ข้อด้อยของวิธีนี้คือ อนุมูล DPPH<sup>•</sup> มีความเสถียรและคงตัวอยู่ทำให้ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์ภายในร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถใช้จัดอันดับอนุมูลอิสระที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้อิเล็กตรอนเดี่ยวของ DPPH<sup>•</sup> จะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตรในโครงสร้าง ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาจับอนุมูลอิสระหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง ทั้งๆ ที่สารต้านอนุมูลอิสระนั้นมีฤทธิ์ที่ดีในการจับอนุมูลเปอร์ออกซิ นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สีของ DPPH<sup>•</sup> จางลงได้อีกด้วย

### 2.3.3.2 2,2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) assay [54]

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ (Anti-oxidation activity) ซึ่งรีเอเจนต์ที่ใช้คือ 2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt เป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร ใน aqueous solution สารละลายนี้จะมีสีเขียว ดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 nm



รูปที่ 2.20 โครงสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนของการทำให้รีเอเจนต์ ABST อยู่ในรูปของ cation radical สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. Enzyme reaction โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิด ABST cation radical เช่น peroxidase, myoglobin เป็นต้น

2. Chemical reaction โดยใช้สารเคมีในการทำให้เกิด ABST cation radical เช่น manganese dioxide, potassium persulfate, 2,2-azo-bis (2-amidinopropane) (ABAP) เป็นต้น



เมื่อ AH คือ ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ

หลังจาก ABST ถูกทำปฏิกิริยาเกิดเป็น ABST cation radical ( $\text{ABST}^{\cdot+}$ ) ซึ่งมีสีเขียวแล้วจึงทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระเกิดเป็น ABST ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสี ซึ่งถ้าตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ (AH) มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง ก็จะทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระ ( $\text{A}^\cdot$ ) ลดลง ส่งผลให้ความเข้มของสารละลายสีเขียวลดลงอย่างรวดเร็วด้วย โดยการรายงานผลการทดลองจะแสดงในรูปของ 50% effective concentration ( $\text{EC}_{50}$ ) ซึ่งหมายถึง ปริมาณของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{ABST}^{\cdot+}$  เหลืออยู่ 50% หรือรายงานผลเป็น 50% inhibition concentration ( $\text{IC}_{50}$ ) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{ABST}^{\cdot+}$  เหลืออยู่ 50%

การศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในสารตัวอย่างนิยมรายงานเป็นค่า  $\text{EC}_{50}$  ทำโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Remaining  $\text{ABST}^{\cdot+}$  ที่คำนวณตามสมการด้านล่าง กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน / ตัวอย่าง เพื่อหาค่า  $\text{EC}_{50}$

$$\% \text{ Remaining } \text{ABST}^{\cdot+} = \left[ \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right] \times 100$$

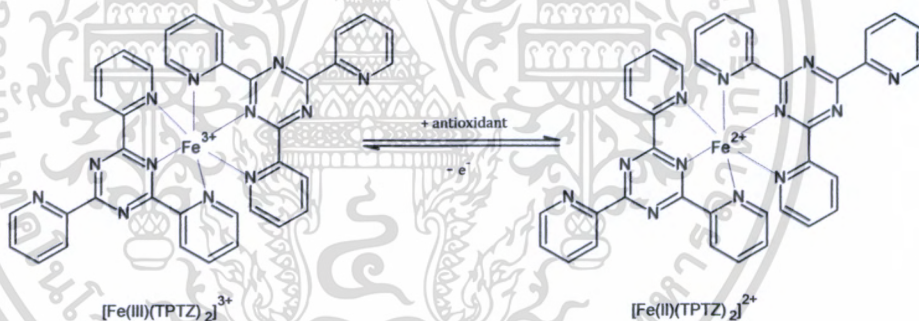
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการรายงานในรูปของค่า  $EC_{50}$  แล้วยังมีการรายงานผลการทดลองในรูปของ  $IC_{50}$  ด้วย ซึ่งทำโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Inhibition ABST<sup>++</sup> ที่คำนวณตามสมการด้านล่าง กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) เพื่อหาค่า  $IC_{50}$

$$\% \text{ Inhibition ABST}^{++} = \left[ \frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right] \times 100$$

### 2.3.3.3 Ferrous tripyridyltriazine (FRAP) assay [55, 56, 57]

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อนคือ เมื่อสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine ( $Fe^{3+}$ -TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ ferrous tripyridyltriazine ( $Fe^{2+}$ -TPTZ) ที่มีสีม่วงน้ำเงิน ดังสมการ



วิธี FRAP จะวัดค่าความต่างศักย์ของการรีดอกซ์ที่มีค่าต่ำกว่า 0.7 โวลต์ ซึ่งเป็น ค่าความต่างศักย์ของสมการรีดอกซ์ของ  $Fe^{3+}$ -TPTZ โดยสามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากวัดค่าแถบของการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 595 nm โดยสามารถหาฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารตัวอย่างได้จากการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ferrous sulfate แล้วรายงานผลเป็นค่าของ FRAP value ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือ สะดวก รวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองที่ไม่ซับซ้อน และราคาไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.3.3.5 Folin-Denis method [60, 61]

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหาปริมาณ Total phenolics ในพืชผัก ผลไม้ และ เครื่องดื่มต่างๆ เช่นเดียวกับวิธีของ Folin-Ciocalteu method แต่มีความแตกต่างกันของรีเอเจนต์บางชนิด โดยทั้งสองวิธีนี้มีหลักการที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เหมือนกันคือ อาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเนื่องจาก molybdotungstate ion เหมือนกัน โดยรีเอเจนต์ของ Folin-Denis method ประกอบด้วย sodium tungstate, phosphormolybdic acid, orthophosphoric acid และ sodium bicarbonate ส่วน Folin-Ciocalteu method ประกอบด้วย sodium tungstate, sodium molybdate, phosphoric acid และ sodium bicarbonate ติดตามการเปลี่ยนสีจากปฏิกิริยาของไอออน Mo(VI) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Mo(V) ซึ่งมีสีน้ำเงิน ดังสมการการเกิดปฏิกิริยาดังล่าง



วิธี Folin-Denis สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าแถบของการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 750 nm การวิเคราะห์ปริมาณ Total phenolics ในสารตัวอย่างจะทำการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (+)-Catechin ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ สะดวก ง่าย รวดเร็ว และมีความแม่นยำ

## 2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับดอกดาวเรือง [62]

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tagetes erecta* Linn.

วงศ์ : COMPOSITAE

ชื่อสามัญ : African marigold

ชื่ออื่นๆ : คำปู้หู้หลวง (ภาคเหนือ)



ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ :

ต้น เป็นพุ่ม ไม้ล้มลุก ลำต้นเป็นทรงพุ่มก่อนข้างต้นทอน ลำต้นสูงประมาณ 3-4 ฟุต ส่วนพุ่มไม้ปืกลีย่อนั้นจะสูงประมาณ 1-3 ฟุต

ใบ ลักษณะใบเป็นฝอยเหมือนดาวกระจาย มีสีเขียว ใบเป็นรูปหอก ปลายแหลม ออกเรียงกันเป็นคู่ๆ ตรงข้ามกัน

ดอก ดาวเรืองแบ่งออกเป็นพุ่มย่อยหลายพุ่ม ซึ่งในแต่ละพุ่มจะมีลักษณะของดอกที่แตกต่างกันมีทั้งกลีบซ้อนและไม่ซ้อน สีของดอกก็มีหลากหลายสีเช่น เหลือง ส้ม ขาวนวล เหลืองเข้มแดง แสด ดาวเรืองเป็นดอกเดี่ยว รูปทรงดอกเป็นทรงกลม การขยายพันธุ์ : เป็น ไม้กลางแจ้ง ชอบแสงแดด ปลูกง่ายทนกับดินทุกสภาพ ไม่ต้องการน้ำ มากจึง ไม่ต้องรดน้ำบ่อย ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด

ประโยชน์ : ใบเป็นยาเย็นใช้ทาแผลเน่าเปื่อย ฝีต่างๆ น้ำคั้นจากใบใช้หยอดหูแก้อาการเจ็บปวด ดอกใช้แก้โรคริดสีดวงทวาร เป็นยาพอกเลือด ขับลม ละลายเสมหะ ไช้ หลอดลมอักเสบ ปรุงกับคั้บไ้ก่เป็นยาบำรุงสาขตา ดอกแห้งบดเป็นผงผสมกับอาหารไ้ก่ช่วยให้ไ้แดงสีเข้มขึ้น ดอกสดเป็นอาหารและทำดอกไม้ประดิษฐ์

อื่นๆ : มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศเม็กซิโก

สรรพคุณ :

ต้น นำมาชงกินเป็นยาแก้โรคริดสีขาน แผลเรื้อรัง แก้เส้นเลือดพอง เป็นยาขมเจริญอาหาร ขับเหงื่อ ขับพยาธิ และแก้คลื่นเหียนอาเจียน

ใบ นำมาตากแห้งแล้วบดเป็นผงใช้เป็นยาคัดได้ หรือกินเป็นอาหาร แก้โรคตอม น้ำเหลืองในเด็ก และถ้าเกิดอาการท้องผูกให้นำใบมาคั้นเอาน้ำมาคั้บซึ่งจะมีรสเผ็ดร้อน

ดอก น้ำที่กลั้บจากดอกแก้อาการอักเสบของตา ชงแก้ไ้ขับเหงื่อ แก้พุพอง หรือนำมาคั้บเป็นยาแก้โรคหัด แก้ไ้ทรพิษ นำมาทาถูบริเวณที่มีอาการปวดฟกช้ำ แผลงกั้ดต่อย

## 2.4.1 ชนิดของดอกดาวเรือง

ดอกดาวเรืองที่พบเห็นและปลูกอยู่ในปัจจุบันมี 5 ชนิด คือ

1. *Tagetes erecta* หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า American marigolds หรือ African marigolds หรือ Friendship marigolds เป็นดาวเรืองที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปอเมริกา ลำต้นสูงตั้งแต่ 10-40 นิ้ว ดอกสีเหลือง ส้ม ทอง และขาว กลีบดอกซ้อนกันแน่น ดอกมีขนาดใหญ่ประมาณ 3-4 นิ้ว ดาวเรืองชนิดนี้มีหลายพันธุ์ ได้แก่

พันธุ์เตี้ย สูงประมาณ 10-14 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ปาปาया (papaya) ไพน์แอปเปิล (pineapple) ปัมพकिन (Pumpkin) เป็นต้น

พันธุ์สูงปานกลาง สูงประมาณ 14-16 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์อะพอลโล (Apollo) ไวคิง (Ziking) มูนช็อต (Moonshot) เป็นต้น

พันธุ์สูง สูงประมาณ 16-36 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ดับเบิล อีเกิล (Double Egle) ดับบลูน (Doubleloon) ซอฟเวอร์เรน (Sovereign) เป็นต้น

2. *Tagetes patula* เรียกกันโดยทั่วไปว่า French marigolds ดาวเรืองฝรั่งเศสเป็นดาวเรืองต้นเล็ก ต้นเป็นพุ่มเตี้ย ๆ สูงประมาณ 6-12 นิ้ว ดอกสีเหลือง ส้ม ทอง น้ำตาลอมแดง และสีแดง ดอกมีขนาดเล็กประมาณ 1.5 นิ้ว นิยมปลูกประดับในแปลงมากกว่าปลูกเพื่อตัดดอก เนื่องจากมีก้านดอกสั้น นอกจากนี้ยังเป็นดาวเรืองที่สามารถลดปริมาณไส้เดือนฝอยที่ทำให้เกิดอาการรากปมในรากพืชได้ ตัวอย่างดาวเรืองฝรั่งเศส ได้แก่

พันธุ์ดอกชั้นเดียว ดอกมีขนาด 1.5-2 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์เรด มาร์เร็ตต้า (Red Marietta) นอร์ดี มาร์เร็ตต้า (Naughty Marietta) สเปนน่า (Espana) ลีโอปาร์ด (Leopard)

พันธุ์ดอกซ้อน ดอกมีขนาดตั้งแต่ 1.5-3 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ควีน โซเฟีย (Queen Sophia) สการ์เลต โซเฟีย (Scarlet Sophia) โกลด์เกท (Golden Gate) เป็นต้น

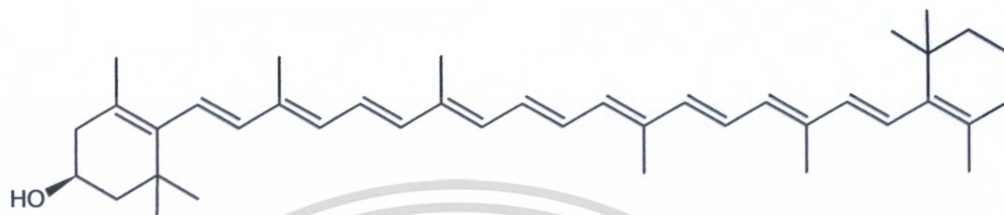
3. *Triploid marigolds* เป็นลูกผสมที่เกิดจาก *Tagetes erecta* กับ *Tagetes patula* ซึ่งดอกจะบานเร็วและทนทานกว่า

4. *Triploid tenuifolia pumila* หรือ *Tagetes signata pamila* หรือเรียกสั้นๆ ว่า Signet mariglods มีพุ่มต้นเตี้ย กลีบดอกชั้นเดียว ขนาดดอกเล็ก

5. *Tagetes filifolia* หรือ Foliage marigolds มีลักษณะใบที่สวยงาม พุ่มต้นแน่น

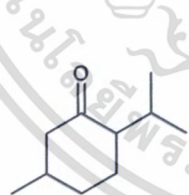
## 2.4.2 ลักษณะโครงสร้างของสารให้สีและน้ำมันหอมระเหยในดอกดาวเรือง [28]

ในกลีบดอกดาวเรืองมีสารให้สีหลักที่เรียกว่า Xanthophyll 37 ซึ่งเป็นเม็ดสีในกลุ่ม Carotenoid อยู่จำนวนมาก จึงนิยมนำไปเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอาหารของไก่ไข่ซึ่งจะช่วยทำให้ไข่แดงมีสีแดงสดใสน่ากินยิ่งขึ้น

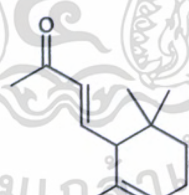


Xanthophyll 37

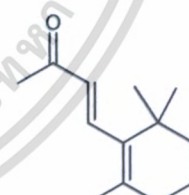
น้ำมันหอมระเหย เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มีกลิ่นหอม ระเหยง่าย โดยพืชจะมีเซลล์พิเศษ เป็นต่อมหรือท่อเพื่อสร้างและกักเก็บน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยพบได้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล เมล็ด กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในส่วนของดอกไม้ มีบทบาทสำคัญในการช่วยดึงดูดแมลงให้มาผสมเกสร แต่สำหรับน้ำมันหอมระเหยในส่วนอื่นๆ ของพืชเชื่อว่ามีผลในการป้องกันตนเองจากศัตรูภายนอกที่จะมาทำลายพืชนั้นๆ รวมทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคพืช สูตรโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยในดอกดาวเรืองแสดงดังรูปที่ 2.21



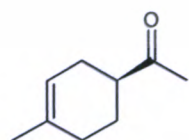
Isomenthone 38



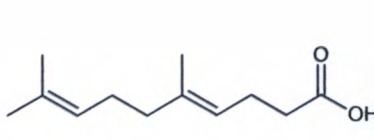
Alpha - ionone 39



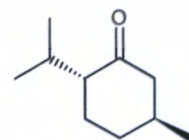
Beta - ionone 40



Carvone 41



Mentone 42



Teranylacetone 43

รูปที่ 2.21 โครงสร้างของน้ำมันหอมระเหยในดอกดาวเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

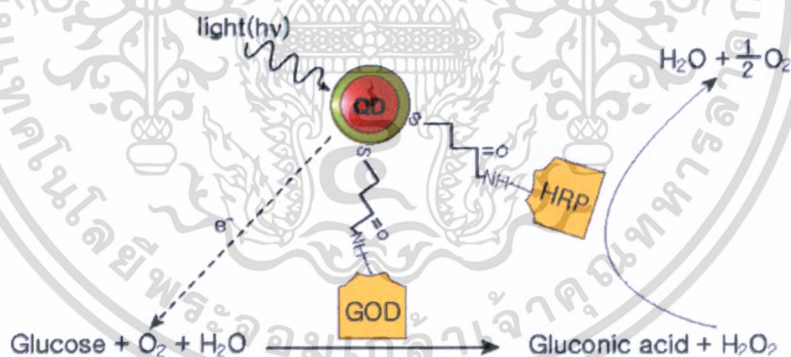
## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hui Chen และคณะ [63] ได้ศึกษาและทำการตรวจวัดปริมาณ L-Ascorbic acid ในซีรัมของมนุษย์โดยอาศัยการเรืองแสงของสารผสม  $H_2O_2$ - $NaHCO_3$ -CdSe/CdS quantum dots แบบระบบไหลฉีด (flow injection) ของสาร ซึ่งปริมาณของ L-Ascorbic acid ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงของสารผสม quantum dots ลดลง โดยมีสารมัธยันตร์ของการเรืองแสงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง  $H_2O_2$  กับ  $HCO_3^-$  เกิดเป็นอนุมูลของ  $O_2^{\cdot-}$  และ  $\cdot OH$  ซึ่งส่งผลให้เกิดช่องว่างจากการปล่อยอิเล็กตรอนของ CdSe/CdS QDs พร้อมกับเรืองแสงออกมา และเมื่อปริมาณ L-Ascorbic acid ถูกเพิ่มเข้าไปในระบบจะไปกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้การเรืองแสงของ CdSe/CdS QDs ลดลง และจากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัดปริมาณ L-Ascorbic acid อยู่ในช่วงความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-7}$ – $1.0 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup> และมีขีดจำกัดต่ำสุด  $6.7 \times 10^{-9}$  mol L<sup>-1</sup> ซึ่งงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จและสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณ L-Ascorbic acid ในซีรัมของมนุษย์ได้จริง

Xiaoyuan Ma และคณะ [64] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของกรดฟีนอลิก โดยอาศัยความแตกต่างของขนาดอนุภาคนาโนของทองคำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นการดูดกลืนแสง ( $\lambda_{max}$ ) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไปยับยั้งการเติบโตของอนุภาคนาโนของทองคำ ทำให้เกิดความยาวคลื่นในช่วงคลื่นสั้น และเมื่อเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเข้าไป อนุมูลอิสระจาก  $H_2O_2$  ก็จะถูกยับยั้งจึงทำให้ขนาดของอนุภาคนาโนของทองคำเพิ่มขึ้นและความยาวคลื่นจะเลื่อนไปทางช่วงที่ยาวขึ้น (red shift) และจากผลการทดลองพบว่า caffeic acid มีความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดเท่ากับ  $125 \times 10^{-3} \mu M^{-1}$  และมีค่ายับยั้งของการดูดกลืนแสง (wavelength inhibition) ต่ำสุด  $IC_{50}$  เท่ากับ  $8.00 \pm 0.06 \mu M$  ในขณะที่ *trans*-cinnamic acid มีความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระต่ำที่สุดเท่ากับ  $0.73 \times 10^{-3} \mu M^{-1}$  และค่ายับยั้งของการดูดกลืนแสง (wavelength inhibition) ต่ำสุด  $IC_{50}$  เท่ากับ  $1364 \pm 12.2 \mu M$  สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโครงสร้างของ caffeic acid มีตำแหน่งออร์โธของหมู่ -OH และมีหมู่ -CH=CH- แทรกอยู่ระหว่างหมู่คีโตน (-COOH) กับวงเบนซีน ในขณะที่ *trans*-cinnamic acid ไม่มีหมู่ -OH เกาะอยู่บนวงเอโรมาติกเลย

Fenfen Zhang และคณะ [65] ได้ศึกษาและทำการสังเคราะห์ ZnS quantum dots บนขั้วอิเล็กโทรดทองคำ (Au electrode) เพื่อใช้เป็นไบโอเซนเซอร์ (biosensor) สำหรับตรวจวัดปริมาณกรดยูริกในเลือด โดยติดลิแกนด์ L-cysteamine ลงบนผิวของ QDs ซึ่งจะมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกที่เป็นอิสระเกิดขึ้น จึงช่วยให้ขั้วทำงานที่มี ZnS QDs สามารถนำไฟฟ้าและละลายเข้ากับสารชีวโมเลกุลได้ดีมากขึ้น เกิดเป็นขั้วทำงานของ uricase/ZnS QDs/L-cysteamine sensor และจากผลการตรวจวัดหาปริมาณของกรดยูริกในซีรัมเลือดพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัดจะอยู่ในช่วงความเข้มข้น  $5.0 \times 10^{-6} - 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  และมีขีดจำกัดต่ำสุดเท่ากับ  $2.0 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  ที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$  และมีความไวที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับขั้วที่ไม่มีอนุภาคนาโนของทองคำติดอยู่

Hong Dinh Duong และ Jong Il Rhee [66] ทำการสังเคราะห์ CdSe quantum dots ที่มีกรเคลือบผิวด้านนอกด้วย ZnS และติดลิแกนด์ mercaptopropionic acid (MPA) กับเอนไซม์ glucose oxidase (GOD), horseradish peroxidase (HRP) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง enzyme-QDs ซึ่งมีคุณสมบัติในการเรืองแสง และนำไปใช้เป็น probes สำหรับตรวจวัดปริมาณของกลูโคส โดย QD-FRET-based probes จะทำหน้าที่เป็นผู้ให้อิเล็กตรอนแก่  $\text{H}_2\text{O}_2$  (หรือ  $\text{O}_2$ ) ในการออกซิไดซ์กลูโคสไปเป็นกรดกลูโคนิก และเอนไซม์จะทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันของปฏิกิริยาดังกล่าว แสดงในรูปที่ 2.22 โดยกลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไปรบกวนการเรืองแสงของ QDs และการรบกวนดังกล่าวจะขึ้นกับปริมาณของกลูโคส

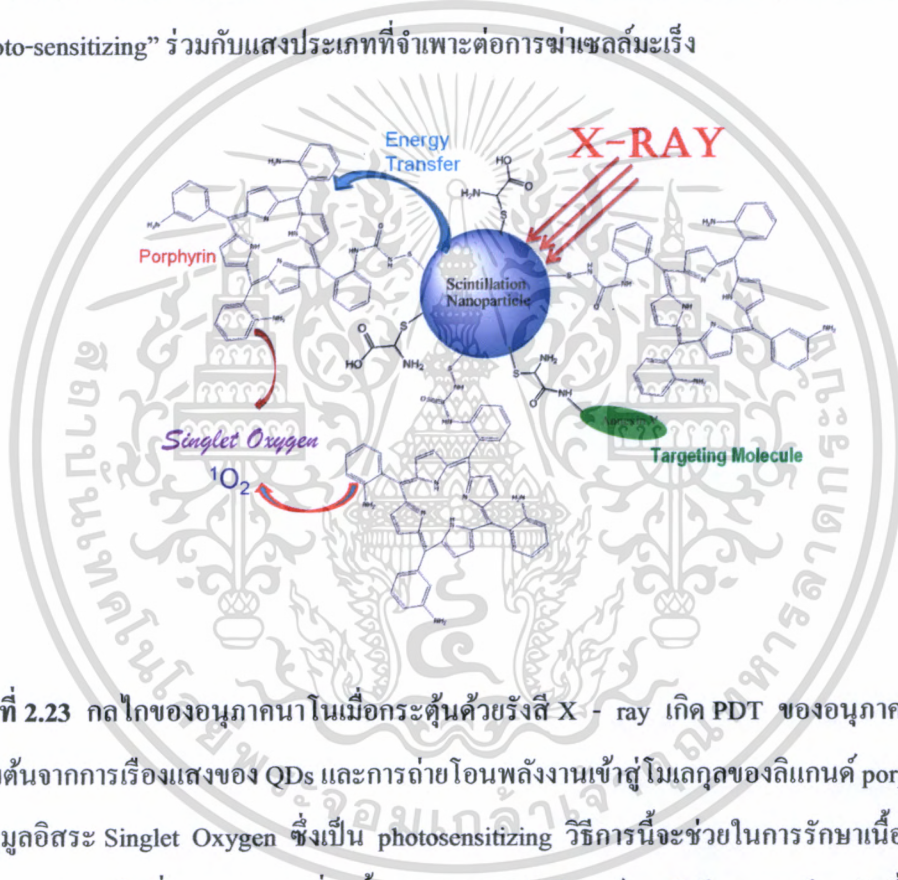


รูปที่ 2.22 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสไปเป็นกรดกลูโคนิกโดยใช้ QD- GOD/HRP

จากผลการทดลองเมื่อใช้อัตราส่วนของ MPA-QDs : GOD : HRP เท่ากับ 10 : 5 : 5 พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัดในช่วงความเข้มข้น 0–5.0 g/L ( $r = 0.992$ ) ในอัตราส่วน 10 : 5 : 3 พบในช่วงความเข้มข้น 0.2–5.0 g/L ( $r = 0.985$ ) และที่อัตราส่วน 10 : 5 : 0 พบในช่วงความเข้มข้น 1.0–5.0 g/L ( $r = 0.982$ ) โดยทำการศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิ  $29-37^\circ\text{C}$  pH = 6–10 และไม่พบการรบกวนของไอออน  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  ในการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

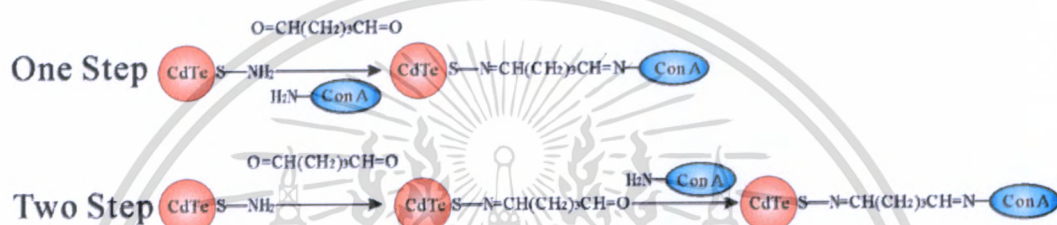
Petras Juzenas และคณะ [67] รายงานเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงแสงของควอนตัมดอท (QDs) และอนุภาคนาโน สำหรับบำบัดรักษาโรคมะเร็ง โดยอาศัยแสงที่ QDs นั้นเรืองออกมาเมื่อได้รับการกระตุ้นจากแหล่งพลังงานภายนอก และแสงที่ QDs เรืองออกมานั้นมีค่า  $\lambda_{max}$  อยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้รังสี X-ray แต่ก็มีคุณสมบัติเหมาะสมในการรักษาเนื้องอกเพียงผิวเผินเท่านั้น โดยไม่สามารถรักษาเนื้องอกหรือมะเร็งที่เกิดขึ้นในอวัยวะภายในได้ ซึ่งการรักษาโดยวิธี Photodynamic (PDT) หรือ radiation โดยอาศัยความสามารถในการทะลุทะลวงไปยังก้อนเนื้อร้ายของรังสี X-ray ร่วมกับคุณสมบัติทางแสงของ QDs นั้นเป็นวิธีการพิเศษสำหรับรักษามะเร็ง ซึ่งเป็นการใช้ยาที่เรียกว่า “photosensitizer หรือ photo-sensitizing” ร่วมกับแสงประเภทที่จำเพาะต่อการฆ่าเซลล์มะเร็ง



รูปที่ 2.23 กลไกของอนุภาคนาโนเมื่อกระตุ้นด้วยรังสี X - ray เกิด PDT ของอนุภาคนาโนโดยเริ่มต้นจากการเรืองแสงของ QDs และการถ่ายโอนพลังงานเข้าสู่โมเลกุลของลิแกนด์ porphyrin เกิดอนุมูลอิสระ Singlet Oxygen ซึ่งเป็น photosensitizing วิธีการนี้จะช่วยในการรักษาเนื้องอกที่เป็นก้อนกลมและลึกเนื่องจากความจุที่สูงขึ้นของการเจาะรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเทียบกับที่ของแสงที่มองเห็นใช้กันทั่วไปใน PDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jian-Hao Wang และคณะ [68] ได้สังเคราะห์ CdTe/CdS quantum dots (QDs) ใน aqueous solution โดยใช้ glutathione (GSH) เป็นสารเพิ่มความเสถียร และใช้ glutaraldehyde เป็นตัวช่วยในการติดลิแกนด์โมเลกุลของ Concanavalin A (ConA) ซึ่งเป็นโปรตีนหรือไกลโคโปรตีนที่สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำตาลได้ โดยศึกษาเส้นทางการสังเคราะห์แบบ One Step และ Two Step (รูปที่ 2.24) เพื่อนำไปใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณของกลูโคส และจากผลการทดลองพบว่าเส้นทางการสังเคราะห์แบบ Two Step มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากการกำจัด unreacted crosslinker และไม่เกิดการรวมตัวกันเองของโปรตีน (protein self-conjugation) โดยมีช่วงของความเข้มข้นในการตรวจวัดเท่ากับ 0.04–0.2 mM และมีขีดจำกัดต่ำสุดเท่ากับ 0.01mM แต่วิธีนี้ไม่มีความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัดกลูโคสเนื่องจากสามารถตรวจวัดปริมาณของ xylose, lactose และ mannose ได้



รูปที่ 2.24 เส้นทางการสังเคราะห์ QDs-con A แบบ One Step และ Two Step

Ying Yu และคณะ [69] ทำการพัฒนาสารเรืองแสงกึ่งตัวนำชนิดใหม่ CdTe/CdS QDs โดยใช้ CdTe เป็นแกนกลางและถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคนาโนของ CdS สำหรับการตรวจวัดปริมาณของ bovine serum albumin (BSA) โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรฟลูออโรเมทรี ซึ่งพบว่า QDs ที่สังเคราะห์ในสภาวะที่ pH เท่ากับ 6.83 นั้น มีค่าความเข้มของการเรืองแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น ( $\lambda_{em}$ ) 524 nm เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น  $\lambda_{ex} = 336$  nm และพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัดคือ  $F = 6.84 + 62.29C$  ( $10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$ ) โดยมีช่วงความเข้มข้นในการตรวจวัดเท่ากับ  $0-1.2 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$  และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดคือ  $5.4 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$

Yong Hu และคณะ [70] ทำการส่งผ่านควอนตัมดอท (QDs) เข้าสู่เซลล์รากข้าวโพด โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว silwet L - 77 (organosilicone surfactant) เพื่อศึกษากระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เนื่องจาก QDs เป็นสารเรืองแสง (fluorophore) ที่มีขนาดเล็ก และมีความเสถียรต่อแสง นอกจากนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือความผิดปกติของเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและมนุษย์ โดยงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ CdSe/ZnS QDs และเคลือบผิวด้านนอกด้วย mercaptoacetic acid (MAA) ทำให้ QDs ที่ได้มีความสามารถในการกระจายตัวและละลายในน้ำสูง และใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดทางแสง (fluorescent probe) ได้ และพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารลดแรงตึงผิว silwet L-77 ช่วยในการส่งผ่านควอนตัมดอทเข้าสู่รากข้าวโพด ภายใต้ช่วงความเข้มข้น 0.128 - 1.28  $\mu\text{M}$  และควอนตัมดอทนั้นมีความเป็นพิษต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพดและการเจริญของรากน้อยมาก และทำการทดสอบการรบกวนของ  $\text{HgCl}_2$  ในน้ำยาปลูกพืช (Hoagland's solution) จะส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณควอนตัมดอทในเยื่อรากพืช ซึ่งเกิดขึ้นตรงข้ามกันกับการเพิ่มขึ้นของ  $\beta$ -mercaptoethanol เนื่องจากกระบวนการที่ไวต่อ mercury จะมีบทบาทสำคัญต่อการไหลของควอนตัมดอทในรากข้าวโพด ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้ QDs ที่มีการเคลือบผิวด้วย MAA สำหรับศึกษากระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชได้

Zhang Yun และคณะ [71] ทำการสังเคราะห์ CdTe Quantum dots ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจจับการไหลของโปรตอน และนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาเชื้อ avian influenza A virus สายพันธุ์ H9 (เชื้อไวรัสไข้หวัดนก ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ไม่รุนแรงเท่า H5 แต่มีรายงานของการแพร่เชื้อสายพันธุ์นี้สู่คน) โดยการตรวจวัดนั้น จะอาศัยการไหลของโปรตอนซึ่งเกิดมาจากขั้นตอนการสังเคราะห์พลังงาน (ATP) ในรงควพาหะ (chromatophores) และใช้ N,N'-dicyclohexylcarbodiimide (DCCD) เป็นตัวยับยั้งการทำงานของ ATPase และนอกจากนี้ยังมีการติดลิแกนด์ของรงควพาหะเป็นไวรัสดีเทกเตอร์ (virus detector) สำหรับตรวจเชื้อไวรัสสายพันธุ์ H9 โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างแอนติบอดีกับแอนติเจน (antibody-antigen reaction) ซึ่งจากผลที่ได้นั้น สามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ชนิดใหม่สำหรับตรวจวัดไวรัสดังกล่าวได้

Jianbo Xiao และคณะ [72] ศึกษาการลดลงของการคายแสงสีเขียว สีเหลือง และสีแดง ของ CdTe QDs ใน 3 ขนาดที่ต่างกัน โดยอาศัย quenching ของสารต้านอนุมูลอิสระชนิด apigenin และ luteolin ในซีรัมอัลบูมินของมนุษย์ในหลอดทดลอง ซึ่งพบว่า apigenin และ luteolin นั้น ส่งผลรบกวนต่อขนาดของ QDs ที่เล็กลง ทำให้เกิดการเคลื่อนของความยาวคลื่นไปทางด้านความยาวคลื่นสั้น (blue-shifts) โดย apigenin ส่งผลรบกวนต่อขนาดของ QDs มากกว่า luteolin โดยเปลี่ยนค่าคงที่ของการ quench เพิ่มขึ้นจาก 37.23% เป็น 52.38% ส่วน luteolin เพิ่มขึ้นจาก 56.18% เป็น 60.38% และประสิทธิภาพของการเรืองแสงของ QDs ทั้ง 3 ขนาดเมื่อมี apigenin ในซีรัมอัลบูมินมีค่าการลดลงของ G-QDs, Y-QDs, และ R-QDs เท่ากับ 14.71%, 12.65% และ 6.91%. ตามลำดับ และสำหรับ Luteoli มีค่าการเรืองแสงของ G-QDs, Y-QDs, และ R-QDs ลดลงเท่ากับ 19.48%, 22.47% และ 28.18% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhaohui Li และคณะ [73] ได้ทำการศึกษาโดยติดฉลากสารเรืองแสงลงบนสารภูมิกัมมันตรังสีของเซลล์มะเร็ง ด้วยควอนตัมดอท (QDs) ที่สังเคราะห์ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ (aqueous solution) โดยใช้ thioglycolic acid เป็นสารที่ทำให้ CdTe QDs มีความเสถียรและสามารถละลายอยู่ในน้ำได้ พร้อมทั้งทำการติดฉลากของ biotin และ polyethylene glycol ลงบนชั้นผิวด้านนอกของ QDs โดยในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชนิดของ QDs ที่สามารถละลายน้ำได้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็น immunofluorescent โดยติดไว้บนเซลล์มะเร็ง จากผลการวิจัยพบว่า conjugates มี nonspecific binding ต่ำ และมีความเสถียรสูงกับการเกิด photobleaching ดังนั้นจึงมีการนำคุณสมบัติเชิงแสงของ QDs ไปประยุกต์ใช้งานทางชีวภาพมากมาย เช่น การติดฉลากเรืองแสงลงบนเซลล์ (cellular labeling) การติดตามการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ (intracellular tracking) และการประยุกต์ใช้ด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

Yao-hai Zhang และคณะ [74] ทำการสร้างอุปกรณ์เรืองแสง (fluorescence probe) สำหรับตรวจวัดปริมาณของ copper (II) โดยทำการสังเคราะห์ CdSe/CdS Quantum dots (QDs) ซึ่งเป็นผลึกคริสตัลเรืองแสงขนาดนาโน และติดฉลากของ L-cysteine เพื่อเพิ่มความเสถียรและช่วยให้สามารถละลายในน้ำได้ โดย QDs ที่สังเคราะห์ได้มีค่าการคายคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น ( $\lambda_{em}$ ) เท่ากับ 585 nm Quantum yield (QY) เท่ากับ 15% เมื่อเทียบกับสีย้อม (6G Rhodamine) ในเอทานอล (QY = 95%) และค่าความเข้มของการเรืองแสง (fluorescence intensity) ของ CdSe/CdS QDs เมื่อมีปริมาณ L-cysteine ที่มากเกินไปนั้นจะส่งผลให้ QDs มีความเสถียรเพิ่มขึ้น และผลการตรวจวัดปริมาณของ copper (II) พบว่าการเรืองแสงจะลดลงโดยการรบกวน (quench) ของ copper (II) เท่านั้น และไม่มีควมว่องไวสำหรับตรวจวัดไอออนบวกชนิดอื่น เช่น  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  และ  $Ni^{2+}$  เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้เทคนิคดังกล่าวในการวิเคราะห์หาปริมาณของ copper (II) ได้ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัดในช่วงความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-8}$  -  $2.0 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup> และขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ  $3.0 \times 10^{-9}$  mol L<sup>-1</sup> (S/N=3) และสามารถนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของ copper (II) ในตัวอย่างผักได้ โดยมีค่าการวิเคราะห์ที่คืนกลับ 99.6–105.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

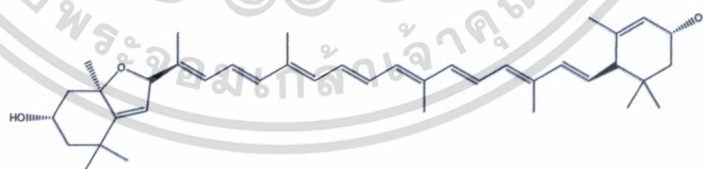
Jinlong Chen และคณะ [75] ทำการสร้างอุปกรณ์เรืองแสง (fluorescence probe) สำหรับตรวจวัดหาปริมาณโลหะหนัก และโลหะทรานซิชันในสารละลายที่ละลายได้ในน้ำ (aqueous solution) ได้มีการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่มีคุณสมบัติในการเกิดลูมิเนสเซนส์ที่ดี และทำการปรับปรุงด้วยการใช้ L-cysteine เป็นตัวช่วยในการสร้างเม็ด โดยสารที่สังเคราะห์ขึ้นนี้สามารถละลายน้ำได้และมีความเสถียร และมีการศึกษาการนำ CdS QDs มาใช้สำหรับการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักและโลหะทรานซิชัน (HTM) พบว่าไอออนของ HTM 5 ชนิด เช่น Copper (II), Mercury (II), Cobalt (II) และ Nickel (II) ส่งผลกระทบต่อการทำงานของ CdS QDs ที่มีการเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน L-cysteine จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเรืองแสงของ CdS QDs เพิ่มขึ้นโดย silver (I) ไม่ทำให้เกิดการ shift ไปของสเปกตรัม ขณะที่ HTM ตัวอื่นๆ เช่น  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ , และ  $Ni^{2+}$  จะทำให้เกิดการ quenching ของ CdS QDs นอกจากนี้ยังพบว่า เกิด red shift เมื่อ QDs เกิดการ quenching ด้วย  $Hg^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  ภายใต้อิทธิพลที่เหมาะสมพบว่า  $Ag^+$  มีการตอบสนองเป็นช่วงเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น  $1.25 \times 10^{-7} - 5.0 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  และขีดจำกัดการตรวจวัดเป็น  $2.0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$  ความเป็นเส้นตรงของช่วงความเข้มข้นของ HTM 4 ตัวที่เหลือสอดคล้องตามสมการ Stern-Volmer โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรง  $1.50 \times 10^{-8} - 7.50 \times 10^{-7}$ ,  $3.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-5}$ ,  $4.59 \times 10^{-8} - 2.295 \times 10^{-6}$  และ  $1.20 \times 10^{-7} - 6.0 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$  สำหรับ  $Hg^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  และ  $Co^{2+}$  ตามลำดับ ด้วยเหตุผลที่ CdS QDs มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อ HTM และสามารถตรวจวัดได้ในช่วงความเข้มข้นที่กว้าง ทำให้สามารถพัฒนา CdS QDs ในการตรวจวัด HTM ได้

Kanlaya Prapainop และ Paul Wentworth Jr. [76] ทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวควอนตัมดอทด้วยคลอเลสเตอรอล และ atheronal-B ที่มีต่อโปรตีน งานวิจัยนี้เป็นการติดตามการรวมตัวกันของโปรตีนและการเคลื่อนไหวของ sterols และ oxysterols ในระบบทางชีวภาพ ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาว่า การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของควอนตัมดอทด้วย sterols และ oxysterols ส่งผลต่อโปรตีนอย่างไร จึงได้มีการสังเคราะห์และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวควอนตัมดอทด้วยคลอเลสเตอรอล และ atheronal-B (QD-chole และ QD-ath-B ตามลำดับ) พบว่าสมบัติการเรืองแสงและการรวมตัวกันของ QD-chole และ QD-ath-B ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากควอนตัมดอทที่มีอะมิโนเป็นหมู่ฟังก์ชัน (QD-NH<sub>2</sub>) ในสารละลายบัฟเฟอร์ จากการวิเคราะห์พบว่า QD-chole และ QD-ath-B มีการจับกับอนุภาค LDL, vLDL และ HDL สูงกว่า QD-NH<sub>2</sub> จึงทำให้

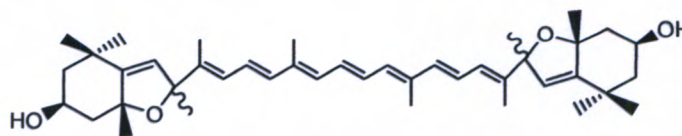
องค์ประกอบเกือบทั้งหมดของโปรตีนของ HDL และ LDL proteomes ในโปรตีนที่อยู่รอบๆ QD-chol และ QD-ath-B มีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การลดลงของพื้นผิวประจุบวกของ QD-chol และ QD-ath-B สัมพันธ์กับ QD-NH<sub>2</sub> ซึ่งหมายความถึง แอนติบอดีส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก และ b-2-glycoprotein (apo H) มีการจับกันดีกว่า QD-NH<sub>2</sub>

Jipei Yuan และคณะ [77] ศึกษาวิธีการตรวจวัดปริมาณกลูโคสสำหรับการวินิจฉัยโรคโดยใช้ควอนตัมดอท ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้กลูตาไทโอน (glutathione) เคลือบลงบนผิวของแคดเมียมเทลลูไรด์ เกิดเป็น CdTe- glutathione quantum dots สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของกลูโคสโดยมีเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นทำการตรวจวัดการเรืองแสงโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence, PL) โดยอาศัยการลดลงของความเข้มแสง (intensity) เนื่องจากกระบวนการ quenching ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที และใช้ควอนตัมดอทขนาด 2.17 นาโนเมตร พบว่า ชีตจำกัดในการตรวจวัดเป็น 0.1 ไมโครโมลาร์ (μM) และสามารถตรวจวัดได้ในช่วงความเข้มข้น 1.0 μM – 0.5 mM และ 1.0 – 20 mM ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถนำระบบตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างทางชีวภาพได้อย่างจำเพาะเจาะจง

Eszter และคณะ [78] ศึกษาองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ใน *Calendula officinalis* L. พบว่า ในกลีบดอกและเกสรของดอกดาวเรืองจะมีแคโรทีนอยด์หลักๆ คือ Flavoxanthin 44 และ Auroxanthin 45 ในขณะที่ลำต้นและใบ จะพบ Lutein และ β-carotene เป็นองค์ประกอบหลัก



Flavoxanthin 44

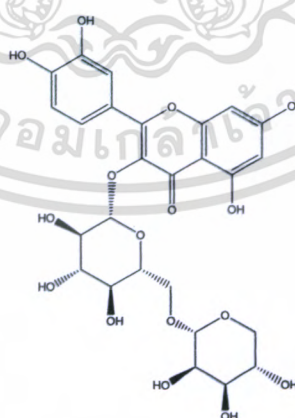


Auroxanthin 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉันทนา และคณะ [79] ได้ทำการสกัดสารให้สีจากกลีบดอกดาวเรืองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการย้อมผ้าฝ้าย โดยศึกษาสภาวะของกลีบดอกดาวเรืองและระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีจากกลีบดอกดาวเรืองแห้งด้วยสารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมสีผ้าฝ้าย เพื่อให้มีสีที่สวยงาม และมีความคงทนของสีที่ดีได้แก่ ความเข้มข้นของสารให้สี สารยึดติด และอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายสีย้อม พบว่าปัจจัยสำคัญที่สุดคือ การให้สารยึดติด ซึ่งทำให้ผ้าฝ้ายย้อมสีมีสีเหลืองออกแดงที่สดใส และมีความคงทนของสีที่ดีกว่าการไม่ใช้สารยึดติด การเพิ่มความเข้มข้นของสารให้สีมีผลทำให้ผ้าฝ้ายมีสีเหลืองออกแดงที่เข้ม และมีความสดใสเพิ่มมากขึ้นแต่อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายสีย้อมไม่มีผลต่อการย้อมสีผ้าฝ้าย

Yris และคณะ [80] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดจาก *C. officinalis* ถึงผลของการต่อต้านรังสี UV B ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิว ประเมินผลโดยการลดลงของระดับกลูตาไธโอนและการหลั่งของเอนไซม์เมทาลโลโปรตีนเนส ผลที่ได้คือ พบสารสกัดต่อไปนี้ในสารสกัดจากดอกดาวเรือง สารในกลุ่ม Polyphenol Flavonoid Lutine 44 และ Narcissin 46 และการประเมินผลของการต่อต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีที่ได้รับขึ้นอยู่กับผลของการต่อต้านของสารสกัดจากดอกดาวเรืองในรังสีต่างๆ การทดลองความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity) พบว่าสารสกัดจากดอกดาวเรืองไม่มีผลในการป้องกันการแบ่งตัวและทำลายเซลล์ ที่ความเข้มข้น 15 mg/mL อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 30 mg/mL แสดงผลต่อความเป็นพิษออกมา



Narcissin 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nikkon และคณะ [81] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกฤทธิ์เป็นยาฆ่าแมลงของดอกดาวเรืองที่ต่อต้านมอดแป้ง ซึ่งเป็นสัตว์ที่ไปทำลายผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ จากส่วนประกอบในสารสกัดของดอกดาวเรือง พบว่าส่วนของคลอโรฟอร์มแสดงความเป็นพิษสูงต่อต้านได้ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของมอดแป้ง ตามมาด้วยส่วนของปีโตรเลียมอีเทอร์ สารสกัดเอทานอล ผลที่วัดได้ของชั้นคลอโรฟอร์มในการยับยั้งมอดแป้งตัวอ่อนระยะที่ 1 2 3 4 5 และ 6 คือ 11.64 14.23 19.26 29.02 36.66 และ 59.51  $\mu\text{g} / \text{cm}^2$  (72 ชั่วโมง) ตามลำดับ และสำหรับตัวเต็มวัยวัดค่าได้ 65.93  $\mu\text{g} / \text{cm}^2$  (72 ชั่วโมง) ในการทดลองนี้ไม่ปรากฏอัตราการตายของมอดแป้ง

Pratheest และคณะ [82] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเสถียรภาพ และลักษณะคุณสมบัติของแซนโทฟิลจากดอกดาวเรือง สรุปว่าดอกดาวเรืองเป็นต้นกำเนิดของแอนติออกซิแดนซ์พวกลูทีนตามธรรมชาติ ในการศึกษาได้นำสีธรรมชาติและแซนโทฟิลมาเป็นทางเลือกในการสังเคราะห์สีผสมอาหาร เนื่องจากไม่มีพิษ และทำการแยกโดยวิธีโครมาโทกราฟีของโอเลโอเรซินบริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ สารประกอบหลักที่ได้คือ ทรานลูทีน ดอกไม้ที่ถูกเก็บรักษาอย่างดีจะมีปริมาณของแซนโทฟิล (Xanthophyll 37) ผสมอยู่มากกว่า 109.19 g /kg ตัวอย่างดอกไม้ที่ไม่ได้ถูกเก็บรักษาจะมีปริมาณแซนโทฟิลเท่ากับ 54.87 g /kg การให้ความสำคัญในการเก็บรักษาดอกไม้จะทำให้มีความเสถียร และส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนของสารแซนโทฟิลที่มากขึ้น รวมทั้งยังได้สารเอทิลีนไคลคลอไรด์ที่บริสุทธิ์อีกด้วย

Changfu และคณะ [83] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับกฎการควบคุมการเกิดสีของสารแคโรทีนอยด์ในดอกไม้ สารแคโรทีนอยด์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืช ทำให้เกิดสีแดงและสีเหลืองในดอกไม้ และผลไม้ ความหลากหลายของสีเหล่านี้ จะช่วยในการผสมเกสรและกระตุ้นสัตว์กินพืชให้ช่วยเผยแพร่เมล็ดพันธุ์ โดยมนุษย์ได้ประโยชน์ในด้านสุนทรียภาพของดอกไม้ และนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมต่างๆ อีกมากมาย เช่น การทำสีผสมอาหาร เป็นต้น

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แคลเซียมไนเตรด	analytical grade	บริษัทแล็บซิสเต็มส์
2. โซเดียมซัลไฟด์	analytical grade	บริษัทแล็บซิสเต็มส์
3. พอลิไวนิลไพโรลลิโดน	analytical grade	บริษัทแล็บซิสเต็มส์
4. กรดแอสคอร์บิก	reagent grade	บริษัท Fluka Chemical
5. 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol	reagent grade	บริษัท Fluka Chemical
6. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl	reagent grade	บริษัท Fluka Chemical
7. เมทานอล	analytical grade	บริษัท Fluka Chemical
8. ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	analytical grade	บริษัท Fluka Chemical
9. ไดเมทิลซัลโฟไซด์	analytical grade	บริษัท Fluka Chemical
10. เฮกเซน	commercial grade	บริษัท Zen Point
11. เมทานอล	commercial grade	บริษัท Zen Point
12. เอทิล แอซิเตต	commercial grade	บริษัท Zen Point
13. ไดคลอโรมีเทน	commercial grade	บริษัท Zen Point
14. เอทานอล	analytical grade	บริษัท Carlo erba reagent
15. แอนนิซัลดีไฮด์	reagent grade	บริษัท Panreac Sintesis
16. แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต	analytical grade	บริษัท Fisher Scientific
17. กรดซัลฟิวริก	analytical grade	บริษัท Fluka Chemical
18. โซเดียมคลอไรด์	analytical grade	บริษัท Fluka Chemical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) UV-1601 รุ่น SPECODE S 100 ของบริษัท Shimadzu

3.2.2 เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) รุ่น SPECODE S 100 ของบริษัท Shimadzu

3.2.3 เครื่องชั่งสารละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น TC-254 ของบริษัท Denver Instrument

3.2.4 เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary Evaporation) รุ่น Rotavapor R-114 ของบริษัท BÜCHI

3.2.5 เครื่องปั่นกวนสารเคมีชนิดแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) รุ่น StedFast™ stirrer Model SL 2400 ของบริษัท Fisher Scientific

3.2.6 กระจายยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (Merck)

3.2.7 เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) รุ่น VM300

3.2.8 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- ขวดก้นกลม (Round bottom flask)

- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

- บีกเกอร์ (Beaker)

- กระจกตวง (Measuring cylinder)

- ปิเปต (Pipette)

- ขวดโหลสำหรับแช่ฟิช

- กรวยแก้ว (Funnel)

- หลอดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเตรียมการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

#### 3.3.1. การเตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรด ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )

ชั่งแคดเมียมไนเตรดจำนวน 760.0 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสม จนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

#### 3.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )

ชั่งโซเดียมซัลไฟด์ จำนวน 60.0 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายละลายด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสม จนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### 3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

1. ตวงสารละลายแคดเมียมไนเตรดที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ความเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารเคมีแบบแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ด้วยความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
2. ตวงสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 ความเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่อยๆ เทผ่านแท่งแก้วลงในขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ขณะปั่นกวน และปั่นกวนต่อเป็นเวลา 1 นาที จะได้สารละลายลักษณะสีเหลืองใสของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท และนำสารละลายดังกล่าวไปใช้สำหรับประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นต่างๆ จากดอกดาวเรือง

### 3.5 การตรวจสอบสมบัติและคุณลักษณะของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

นำสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่เตรียมได้จากข้อ 3.4 ไปวัดหาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เพื่อหาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงมากที่สุด ( $\lambda_{max}$ ) และนำไปใช้เป็นค่าความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) เพื่อหาสเปกตรัมการเรืองแสงสูงสุด ( $\lambda_{em}$ ) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer)

### 3.6 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

เตรียมความเข้มข้นของสารตั้งต้น ได้แก่ แคดเมียมไนเตรด และ โซเดียมซัลไฟด์ ตามตารางที่ 3.1 ทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทตามหัวข้อ 3.4 และนำสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวัดหาค่าความยาวคลื่นที่การเรืองแสงสูงสุด ( $\lambda_{em}$ ) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) ที่ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมไนเตรดและโซเดียมซัลไฟด์เริ่มต้นที่ใช้สังเคราะห์ควอนตัมดอท

แคดเมียมไนเตรด ( $Cd(NO_3)_2$ ) $\times 10^{-3}$ โมลาร์	โซเดียมซัลไฟด์ ( $Na_2S$ ) $\times 10^{-3}$ โมลาร์	แคดเมียมซัลไฟด์ ( $CdS$ ) $\times 10^{-3}$ โมลาร์
1.6	1.6	0.8
2.4	2.4	1.2
3.2	3.2	1.6
4.8	4.8	2.4
6.4	6.4	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ และโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QD) ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (27), 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากนั้นนำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ไปวัดหาสเปกตรัมการเรืองแสง และหาค่าความเข้มแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

### 3.8 การศึกษาผลของความเร็วในการปั่นกววนต่อแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ และโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QD) ที่ความเร็วในการปั่นกววน ได้แก่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 รอบต่อนาที ตามลำดับ หลังจากนั้นนำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ได้แต่ละความเร็ว ไปวัดหาสเปกตรัมการเรืองแสง และหาค่าความเข้มแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

### 3.9 การศึกษาผลของเวลาในการปั่นกววนต่อความเข้มแสงของแคดเมียมซัลไฟด์

เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ และโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QD) โดยทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการปั่นกววนตั้งแต่ 1, 5, 10, 20 และ 30 นาที หลังจากนั้นนำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ได้ ณ เวลาต่างๆ ไปวัดหาสเปกตรัมการเรืองแสง และหาค่าความเข้มแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

### 3.10 การศึกษาความเสถียรของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ และโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QD) ตามข้อ 3.4 ปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ภายใต้แสง Fluorescence) และทำการวัดหาสเปกตรัมการเรืองแสง และหาค่าความเข้มแสงสูงสุดที่เวลา 1, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 และ 540 นาที ตามลำดับ ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

### 3.11 การศึกษาผลของตัวทำละลาย

เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรดความเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ตามหัวข้อ 3.3.1 และโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ตามหัวข้อ 3.3.2 โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายตามตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นทำการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ตามข้อ 3.4 นำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ได้ไปวัดหาสเปกตรัมการเรืองแสง และหาค่าความเข้มแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.2 แสดงชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้สังเคราะห์ควอนตัมดอท

ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วน (มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร)
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ต่อ เมทานอล	1 : 1
ไดเมทิลซัลโฟลไซด์ ต่อ เมทานอล	1 : 1
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	-
เมทานอล	-

### 3.12 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง

1. พืชตัวอย่าง : คาวเรือง (*T. erecta*) จากแปลงเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ระยะเวลาการปลูก 45 วัน โดยเลือกใช้เฉพาะบริเวณส่วนที่เป็นกลีบดอกของ คาวเรือง

2. พืชตัวอย่าง : คาวเรือง (*T. erecta*) จากปากคลองตลาด (สถานที่เพาะปลูก อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก)

### 3.13 การเตรียมสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลจากดอกคาวเรือง

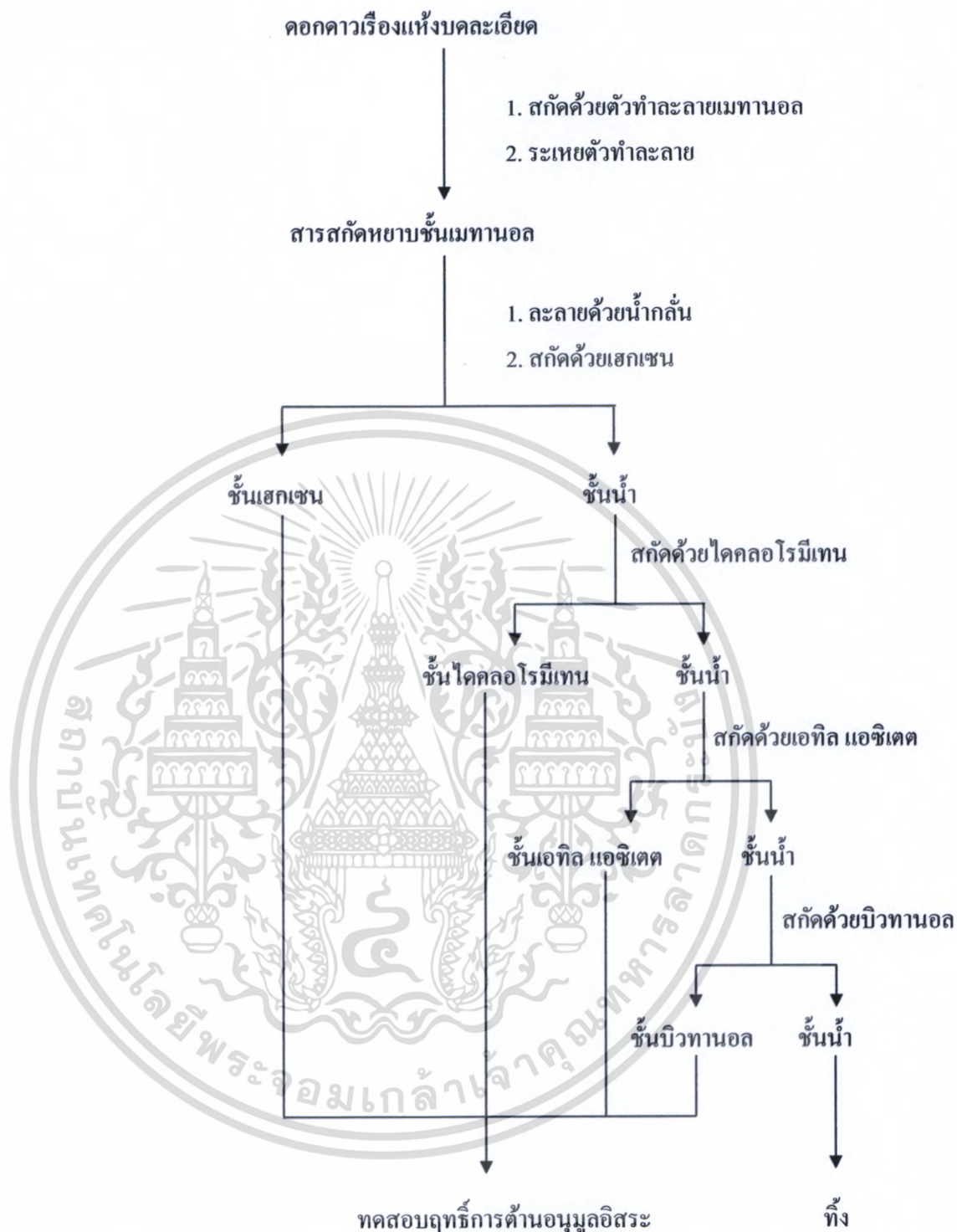
1. นำส่วนของกลีบดอกคาวเรือง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน และบดให้ละเอียด

2. ชั่งกลีบดอกคาวเรืองบดละเอียด 500.0 กรัม ใส่ขวดโหล เติมนิวทอนอลปริมาตร 5000 มิลลิลิตร ปิดปากภาชนะ แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และทำการกวนของผสมทุกวัน

3. กรองสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยเมทานอลผ่านสำลี และกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายเมทานอลด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดหยาบชั้นเมทานอล

4. นำสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลมาสกัดแยกกลุ่มสารด้วยวิธีการสกัดแบบแบ่งส่วน (Solvent Partitioning Extraction) ตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1

5. นำสารสกัดชั้นบิวทานอล เอทิล แอซิเตต ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซนที่แยกได้มาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการสกัดสารจากดอกดาวเรืองด้วยวิธีการสกัดแบบแบ่งส่วน  
(Solvent Partitioning Extraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.14 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

ชั่งกรดแอสคอร์บิก น้ำหนัก 1000.0 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้นให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 200, 400, 600, และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเปิดสารละลายตั้งต้น ( $V_1$ ) ปริมาตรดังระบุในตารางที่ 3.3 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

สูตรการคำนวณ

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ

$C_1$  คือความเข้มข้นของสารตั้งต้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

$C_2$  คือความเข้มข้นของสารที่ต้องการในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

$V_1$  คือปริมาตรของสารสกัดหยาบตั้งต้นในหน่วยมิลลิลิตร (mL)

$V_2$  คือปริมาตรของสารสกัดหยาบที่ต้องการในหน่วยมิลลิลิตร (mL)

ตารางที่ 3.3 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมจากสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้น	ปริมาตรเริ่มต้น	ความเข้มข้นสุดท้าย	ปริมาตรสุดท้าย
( $C_1$ ) ppm	( $V_1$ ) mL	( $C_2$ ) ppm	( $V_2$ ) mL
1000	8	800	10
1000	6	600	10
1000	4	400	10
1000	2	200	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.15 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล

ชั่งสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล 100.0 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้น ให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 20, 40, 60, และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดย ปิเปตสารละลายตั้งต้น ( $V_1$ ) ปริมาตร ดังตารางที่ 3.4 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

ตารางที่ 3.4 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรของสารสกัดคอกคาเวอ์ริงจากชั้นเมทานอล

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_1$ ) ppm	ปริมาตรเริ่มต้น ( $V_1$ ) mL	ความเข้มข้นสุดท้าย ( $C_2$ ) ppm	ปริมาตรสุดท้าย ( $V_2$ ) mL
100	8	80	10
100	6	60	10
100	4	40	10
100	2	20	10

### 3.16 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดชั้นบิวทานอล

ชั่งสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล 50.0 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้น ให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดย ปิเปตสารละลายตั้งต้น ( $V_1$ ) ปริมาตร ดังตารางที่ 3.5 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

ตารางที่ 3.5 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรของสารสกัดดอกดาวเรืองชั้นบิวทานอล

ความเข้มข้นเริ่มต้น (C <sub>1</sub> ) ppm	ปริมาตรเริ่มต้น (V <sub>1</sub> ) mL	ความเข้มข้นสุดท้าย (C <sub>2</sub> ) ppm	ปริมาตรสุดท้าย (V <sub>2</sub> ) mL
50	8	40	10
50	6	30	10
50	4	20	10
50	2	10	10

### 3.17 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตต

ซึ่งสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต 100.0 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้นให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 20, 40, 60, และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายตั้งต้น (V<sub>1</sub>) ปริมาตร ดังตารางที่ 3.6 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

ตารางที่ 3.6 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรสารสกัดดอกดาวเรืองชั้นเอทิล แอซิเตต

ความเข้มข้นเริ่มต้น (C <sub>1</sub> ) ppm	ปริมาตรเริ่มต้น (V <sub>1</sub> ) mL	ความเข้มข้นสุดท้าย (C <sub>2</sub> ) ppm	ปริมาตรสุดท้าย (V <sub>2</sub> ) mL
100	8	80	10
100	6	60	10
100	4	40	10
100	2	20	10

### 3.18 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดชั้นไดคลอโรมีเทน

ซึ่งสารสกัดหยาบชั้นไดคลอโรมีเทน 500.0 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้นให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 100, 200, 300, และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายตั้งต้น ( $V_1$ ) ปริมาตร ดังตารางที่ 3.7 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

ตารางที่ 3.7 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรสารสกัดดอกดาวเรืองชั้นไดคลอโรมีเทน

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_1$ ) ppm	ปริมาตรเริ่มต้น ( $V_1$ ) mL	ความเข้มข้นสุดท้าย ( $C_2$ ) ppm	ปริมาตรสุดท้าย ( $V_2$ ) mL
500	8	400	10
500	6	300	10
500	4	200	10
500	2	100	10

### 3.19 การเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดชั้นเฮกเซน

ซึ่งสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน 500.0 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลายผสมเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทผ่านกรวยแก้วใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมข้างต้นให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายดังกล่าวให้ได้ความเข้มข้น 100, 200, 300, และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายตั้งต้น ( $V_1$ ) ปริมาตร ดังตารางที่ 3.8 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายผสมให้ได้ตามขีดวัดปริมาตร

ตารางที่ 3.8 แสดงการคำนวณความเข้มข้นและปริมาตรของสารสกัดดอกควาเรียงจากชั้นเฮกเซน

ความเข้มข้นเริ่มต้น	ปริมาตรเริ่มต้น	ความเข้มข้นสุดท้าย	ปริมาตรสุดท้าย
(C <sub>1</sub> ) ppm	(V <sub>1</sub> ) mL	(C <sub>2</sub> ) ppm	(V <sub>2</sub> ) mL
500	8	400	10
500	6	300	10
500	4	200	10
500	2	100	10

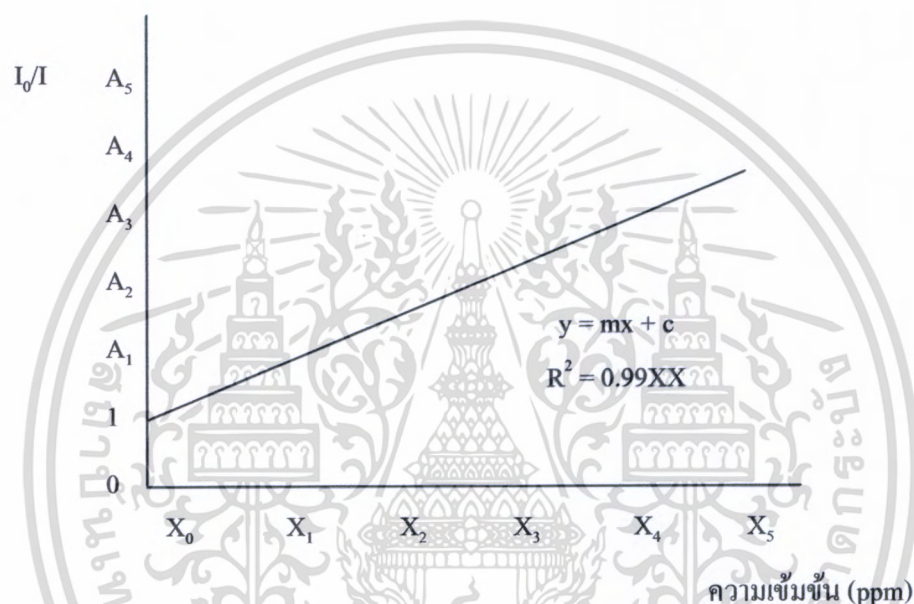
### 3.20 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

1. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3.14 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS QDs) ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองข้างต้น ปิดฝา เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) เป็นเวลา 1 นาที
3. นำสารละลายผสมข้างต้นเทใส่ Cuvette ควอทซ์ที่ใส 4 ด้าน นำไปวัดค่าความเข้มแสง (I) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร ทำการบันทึกข้อมูล
4. นำสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เดิมตัวทำลายผสมปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลาย Blank นำไปวัดค่าความเข้มแสงเริ่มต้น ( $I_0$ ) ทำการบันทึกข้อมูล
5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง นำค่าความเข้มแสงสุดท้าย (I) ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณค่าความเข้มแสงตามตารางที่ 3.9 และสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ Stern-Volmer ตามรูปที่ 3.2 เพื่อหาค่า EC<sub>50</sub> ของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก โดยการแทนค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  (y) เท่ากับ 2 แล้วแก้สมการหาค่าความเข้มข้น (x) ของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ทำให้ความเข้มแสงของ CdS QDs ลดลงครึ่งหนึ่งจากเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงการคำนวณค่าความเข้มแสง Stern-Volmer

ความเข้มข้น (ppm)	Blank ( $X_0$ )	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
ความเข้มแสงเริ่มต้น ( $I_0$ )	$Y_0$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
ความเข้มแสงสุดท้าย ( $I$ )	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$
$I_0/I$	$Y_0/Z_0=1$	$Y_1/Z_1=A_1$	$Y_2/Z_2=A_2$	$Y_3/Z_3=A_3$	$Y_4/Z_4=A_4$	$Y_5/Z_5=A_5$



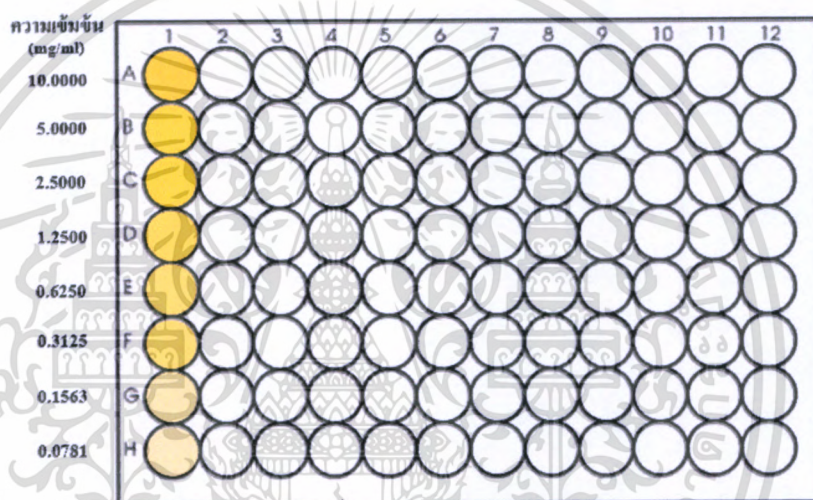
รูปที่ 3.2 แสดงการสร้างกราฟ Stern-Volmer

### 3.21 การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากดอกดาวเรืองด้วยวิธี DPPH

1. ชั่งสาร 2,2-ได ฟีนิล-1-พิกริลไฮดราซิล 4.5 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ละลายด้วยเมทานอล 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยชั่งบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน 1000.0 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอล 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยชั่งสารสกัดหยาดดอกดาวเรือง 1000.0 มิลลิกรัม ละลายด้วยไคเมทิล ซัลฟอกไซด์ 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เตรียม serial dilution ของสารละลายมาตรฐานบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน และสารสกัดหยาบดอกดาวเรือง โดยใช้ 96 well microplate โดยในแต่ละหลุมจะใส่ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ 20 ไมโครลิตร ลงไปก่อน แล้วเปิดสารละลายมาตรฐานบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน หรือสารตัวอย่างลงที่เตรียมไว้ใส่ลงไป 20 ไมโครลิตร ใช้ปิเปตดูดสารขึ้น-ลง เพื่อให้สารผสมเข้ากัน แล้วเปิดสารจากหลุมนั้น 20 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลุมถัดไป แล้วทำเช่นเดิมไปเรื่อยๆ ตามหลุมในแนวตั้ง จะได้สารละลายมาตรฐานบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน และสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นลดลงครึ่งหนึ่งไปเรื่อยๆ คือ 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.1563 และ 0.0781 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดจากดอกดาวเรืองบน 96 well microplate

### 3.22 การประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกดาวเรืองด้วยวิธีแคดเมียมซัลไฟด์

นำสารละลายของสารสกัดดอกดาวเรืองเข้มข้นเมทานอล บิวทานอล เอทิล แอซิเตต ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่เตรียมได้ มาทำการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีแคดเมียมซัลไฟด์ ตามขั้นตอนดังนี้

1. เปิดสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3.15 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิเปตสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS QDs) ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองข้างต้น ปิดฝา เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) เป็นเวลา 1 นาที

3. นำสารละลายผสมข้างต้นเทใส่ Cuvette ควอตซ์ (ห้ามใช้ Cuvette พลาสติกเนื่องจากตัวทำละลายใดเมทิลโฟมาไม่จะทำปฏิกิริยากับพลาสติก) นำไปวัดค่าความเข้มแสง (I) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) 370 นาโนเมตร ทำการบันทึกข้อมูล

4. นำสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายผสมปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลาย Blank นำไปวัดค่าความเข้มแสงเริ่มต้น ( $I_0$ ) ทำการบันทึกข้อมูล

5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง นำค่าความเข้มแสงสุดท้าย (I) ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ Stern-Volmer ตามรูปที่ 3.2 เพื่อหาค่า  $EC_{50}$  ของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล

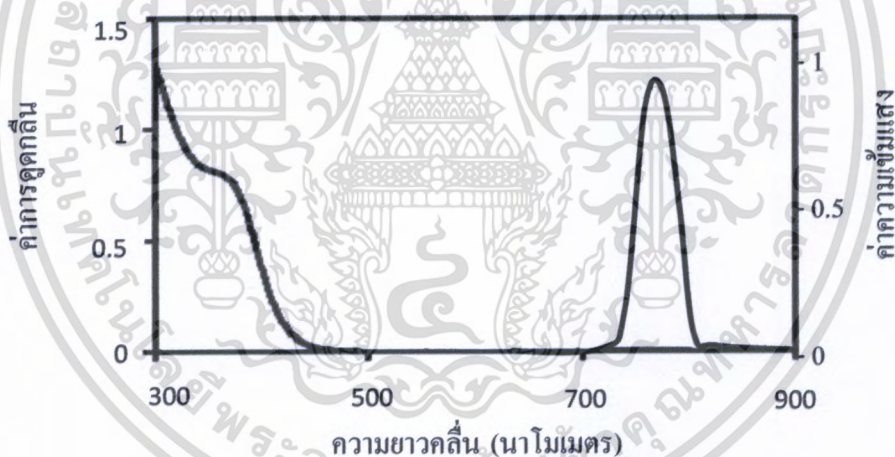
6. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนเป็นสารละลายตัวอย่างชั้นบิวทานอล เอทิล แอซิเตต ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน ที่เตรียมได้จากข้อ 3.16, 3.17, 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

ผลการทดลองการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) จากสารละลายแคดเมียมในเตรดเข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรในตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร) พบค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร และพบค่าการเรืองแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เมื่อทำการตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

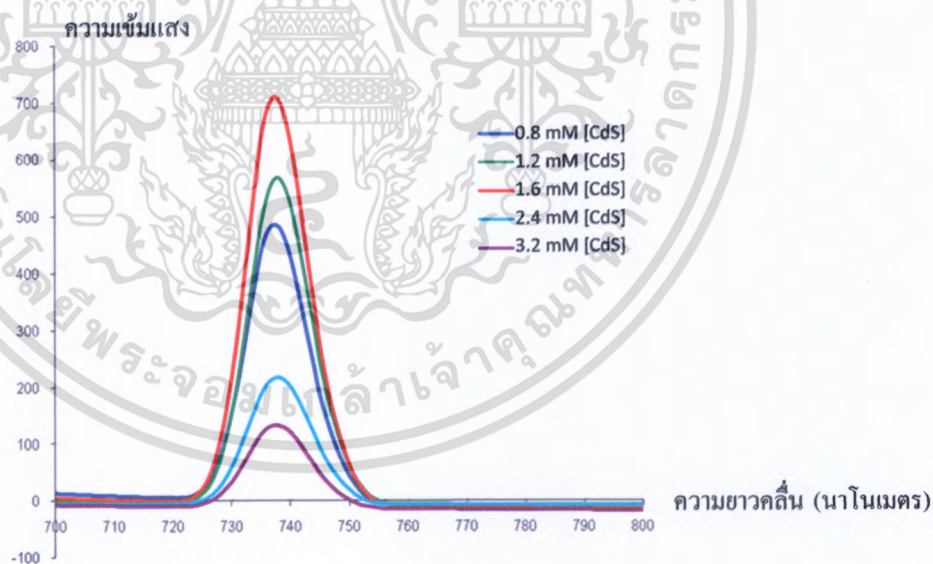


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นแคดเมียมไนเตรด และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ตามตารางที่ 3.1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้น แคดเมียมไนเตรด และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจาก  $1.6 \times 10^{-3}$   $2.4 \times 10^{-3}$  และ  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ (หรือเท่ากับ  $0.8 \times 10^{-3}$   $1.2 \times 10^{-3}$  และ  $1.6 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ของผลิตภัณฑ์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทตามลำดับ) มีค่าความเข้มแสง (Intensity) เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ให้ค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงสูงที่สุด และที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น  $4.8 \times 10^{-3}$  และ  $6.4 \times 10^{-3}$  โมลาร์ (หรือเท่ากับ  $2.4 \times 10^{-3}$  และ  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ของผลิตภัณฑ์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท ตามลำดับ) จะให้ค่าความเข้มแสง (Intensity) ของการเรืองแสงลดลงตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น  $6.4 \times 10^{-3}$  โมลาร์ มีค่าความเข้มแสงต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เนื่องจากจำนวนโมเลกุลที่หนาแน่นของสารทำให้เกิดการบดบังการเรืองแสง ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการทดลองที่เลือกใช้คือ  $3.2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ เพราะมีค่าความเข้มแสงที่สูงที่สุด



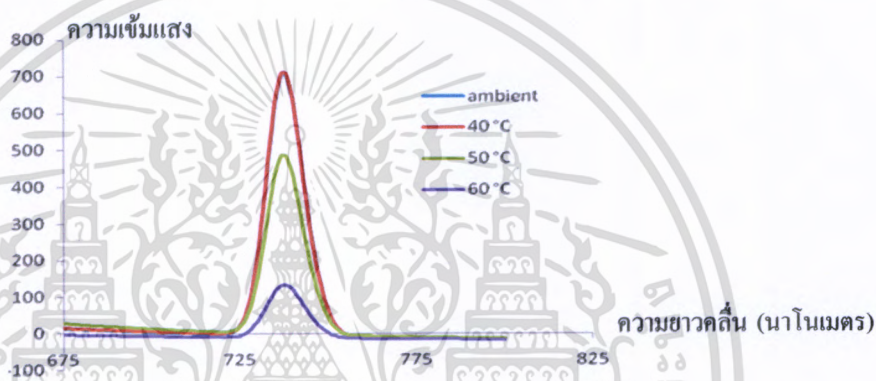
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

(CdS QDs) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่นแสง ( $\lambda_{ex}$ ) ที่ 370 นาโนเมตร

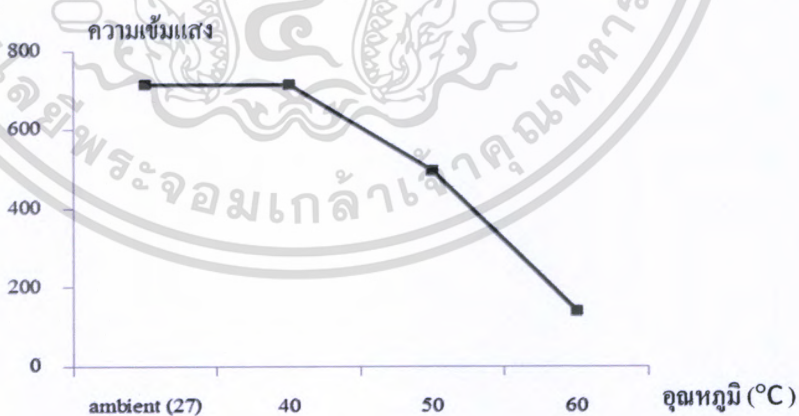
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทตามหัวข้อที่ 3.7 ซึ่งเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ CdS QDs สูงขึ้น จากอุณหภูมิห้อง (ambient temperature 27 องศาเซลเซียส) เป็น 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าค่าความเข้มแสง (Intensity) ลดลงเนื่องจากเกิดการชนกันของโมเลกุลของสารและมีการถ่ายเทพลังงานจนนำไปยังอีกโมเลกุลทำให้เกิดการบดบังกัน โดยที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature 27 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิ 40 จะให้ค่าความเข้มแสงสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 โดยการทดลองนี้เลือกทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง เพราะสะดวกและง่ายในการสังเคราะห์



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ ณ อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)

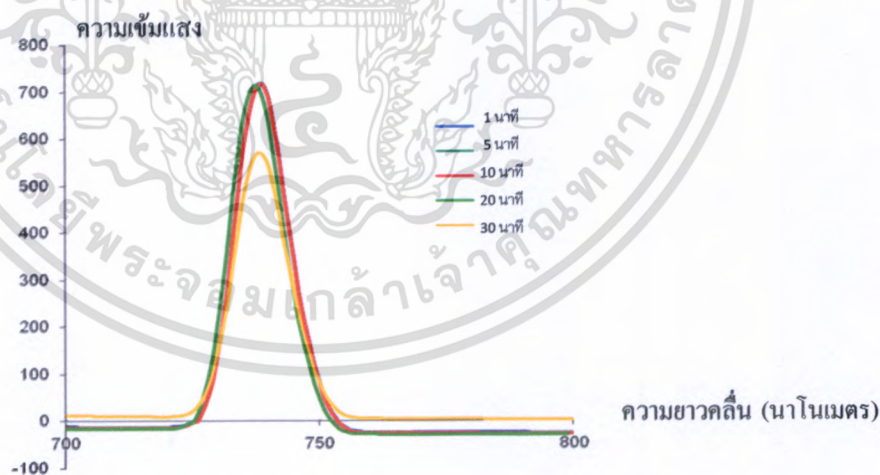
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลความความเร็วยรอบในการปั่นกววนของการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากการศึกษาความความเร็วยรอบที่ใช้ในการปั่นกววนของการสังเคราะห์สารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) โดยทำการศึกษาที่ความเร็วยรอบ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 รอบต่อนาที สำหรับปริมาตรตัวอย่างการสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าค่าความเร็วยรอบที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ คือ 8 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วยรอบที่ 1 ถึง 7 รอบต่อนาทีนั้น มีความไม่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์สารในปริมาตร 100 มิลลิลิตร เนื่องจากมีแรงในการปั่นกววนที่ช้าและส่งผลกระทบต่อผลเป็นเนื้อเดียวกันของสาร สำหรับที่ความเร็ว 9 และ 10 รอบต่อนาที มีความแรงมากเกินไป ทำให้สารละลายกระเด็น

#### 4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลระยะเวลาในการปั่นกววนสำหรับการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นกววนสำหรับการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของควอนตัมดอทเท่ากับ 1.6 มิลลิโมลาร์ ความเร็วยรอบ 8 รอบต่อนาที พบค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นแสง 730 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่ระยะเวลาในการปั่นกววนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

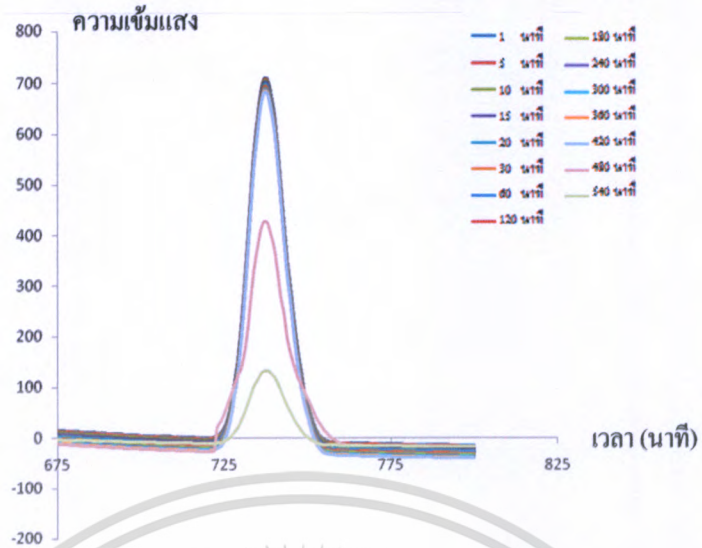
และพบว่าเวลาในการปั่นกวนที่ 30 นาที จะให้ค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ต่ำที่สุดเนื่องจากเกิดการตกตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ ดังรูปที่ 4.6 โดยที่เวลา 1, 5, 10, และ 20 นาที มีค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน โดยการทดลองนี้เลือกระยะเวลาปั่นกวน 1 นาที เนื่องจากใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่น้อย และรวดเร็วต่อการนำไปใช้สำหรับตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง



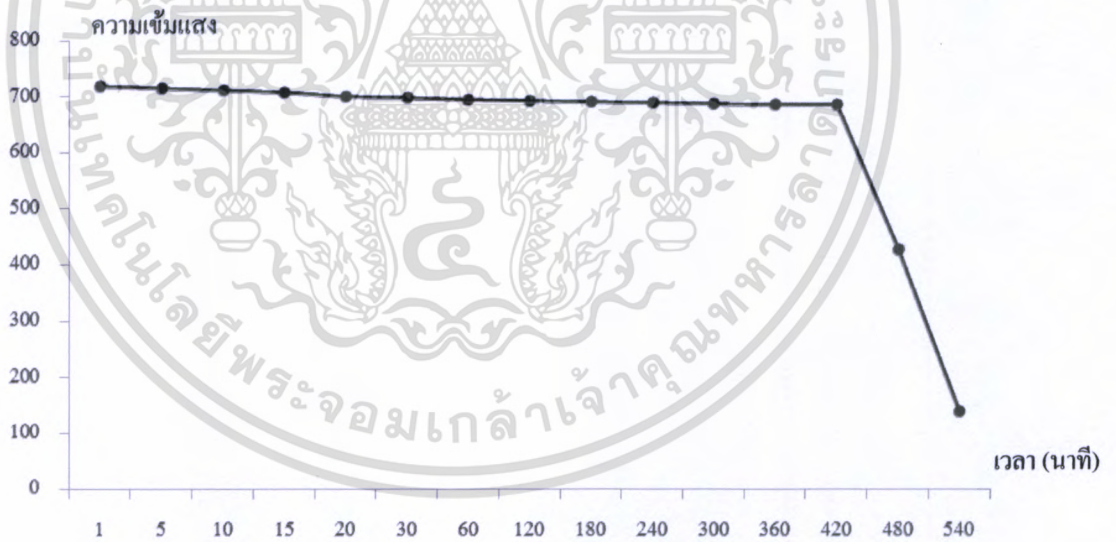
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร กับ เวลา (นาที)

#### 4.6 ผลการศึกษาความเสถียรของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากการศึกษาความเสถียรของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น  $1.6 \times 10^{-3}$  โมลาร์ โดยทำการตั้งทิ้งไว้ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1 ถึง 580 นาที หลังจากนั้นทำการตรวจวัดค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) พบว่าหลังจากสังเคราะห์ แล้วทำการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานตั้งแต่ 1 ถึง 360 นาที ค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 420 นาที สารละลายของแคดเมียมซัลไฟด์เริ่มมีการตกตะกอน ทำให้ค่าความเข้มแสงลดลง โดยที่เวลา 540 นาที จะมีค่าความเข้มแสงต่ำที่สุด เนื่องจากสารละลายมีการตกตะกอนอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่ความเข้มข้น  $1.6 \times 10^{-3}$  โมลาร์ หลังจากสังเคราะห์แล้วตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง เวลาต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

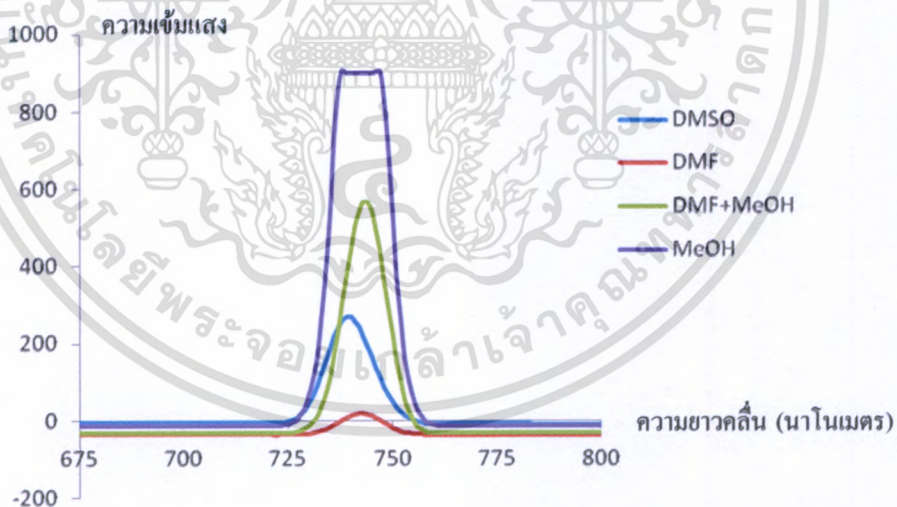


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร กับ เวลา (นาทื) ที่ตั้งทิ้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ผลการศึกษาอิทธิพลจากชนิดของตัวทำละลายในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

จากผลการศึกษาอิทธิพลจากชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ทั้งหมด 4 ชนิด คือ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) เมทานอล (MeOH) และตัวทำละลายผสมระหว่างไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) กับเมทานอล (MeOH) อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร พบว่าเมื่อทำการสังเคราะห์โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลจะให้ค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงสูงที่สุด แต่เกิดการตกตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทอย่างรวดเร็ว ส่วนตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) จะมีค่าความเข้มแสงต่ำที่สุด แต่จะให้สารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรสูงและ ตกตะกอนช้าที่สุด เมื่อนำตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ผสมกับเมทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร จะให้ค่าการเรืองแสงที่สูงและสารละลายที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียร สำหรับไดเมทิลซัลฟอกไซด์มีค่าความเข้มแสงที่ค่อนข้างต่ำและสารละลายที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยการทดลองนี้เลือกใช้ตัวทำละลายผสมไดเมทิลฟอร์มาไมด์กับเมทานอล โดยพิจารณาจากค่าความเข้มแสงที่สูง และความเสถียรของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์เป็นเกณฑ์

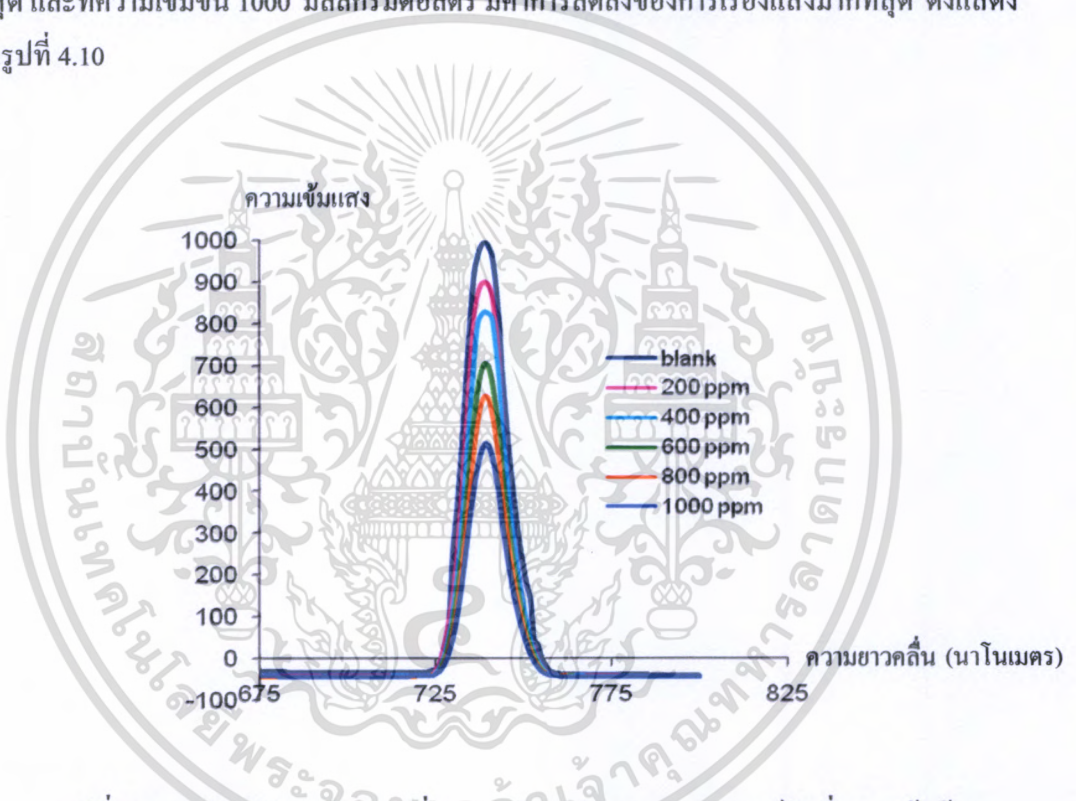


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ที่สังเคราะห์ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) ไปประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากการพัฒนาวิธีการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยแคดเมียมซัลไฟด์ พบว่าผลทดสอบเบื้องต้นกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก สามารถลดการเรืองแสงของแคดเมียมซัลไฟด์ได้ โดยเมื่อความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับโดยผลการต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก มีช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 200 ถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.10

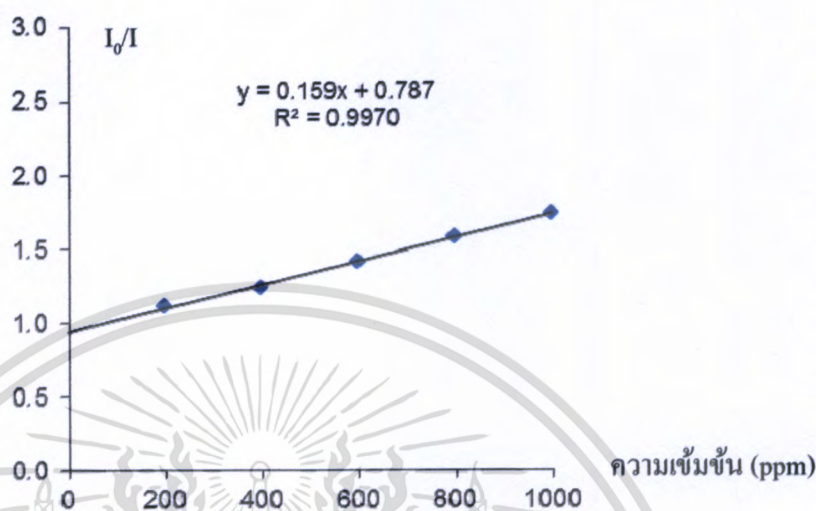


รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตรของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีความเข้มข้น 1.6 มิลลิโมลาร์

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีกรดแอสคอร์บิก มาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ( $I_0/I$ ) ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $I_0/I = 0.159[\text{Ascorbic}] + 0.787$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดคลื่นใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ดังแสดงในรูปที่ 4.11) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 7.62 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงอาจกล่าวได้ว่า สามารถนำควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้นนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งจะนำวิธีที่พัฒนานี้ไปใช้ประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับสารสกัดดอกดาวเรืองต่อไป



รูปที่ 4.11 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก โดยใช้วิธี CdS QDs

#### 4.9 ผลการเตรียมสารสกัดหยาบจากดอกดาวเรือง

จากการเตรียมสารสกัดของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร และปากคลองตลาด ด้วยวิธีการหมัก (Maceration) โดยใช้ดอกดาวเรืองแห้งบดละเอียดน้ำหนักเท่ากับ 500.0 กรัม แช่ในเมทานอลกรองแยกกากและของเหลวผลกรอง จากนั้นทำการระเหยเมทานอลออกได้สารสกัดหยาบของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร และปากคลองตลาด เท่ากับ 320.9 และ 308.4 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเหลวเหนียวเป็นของแข็งสีเหลืองเข้ม และผลได้ร้อยละคิดเป็น 64.18 และ 61.68 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของดอกดาวเรืองแห้ง จากนั้นทำการจัดกลุ่มสารสำคัญโดยนำสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลจากแปลงเกษตร และปากคลองตลาด น้ำหนักเท่ากับ 219.0 และ 225.2 กรัม ตามลำดับ มาสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบแบ่งส่วน (Solvent Partitioning Extraction) ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ 4 ชนิด คือ เฮกเซน ไคคลอโรโรมีเทน เอทิลเอซิเตต และบิวทานอล ตามลำดับ แสดงในแผนภาพที่ 3.1 และทำการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ได้สารสกัดชั้นเฮกเซน ไคคลอโรโรมีเทน เอทิลเอซิเตต และบิวทานอล จากแปลงเกษตร เท่ากับ 8.13, 1.44, 8.86 และ 12.13 กรัม คิดเป็นร้อยละ 3.71, 0.66, 4.04 และ 5.54 ตามลำดับ และจากปากคลองตลาดเท่ากับ 9.54, 2.76, 11.04 และ 15.23 กรัม คิดเป็นร้อยละ 4.24, 1.23, 4.90 และ 6.76 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักสารสกัดและผลได้เป็นร้อยละ (percentage yield)

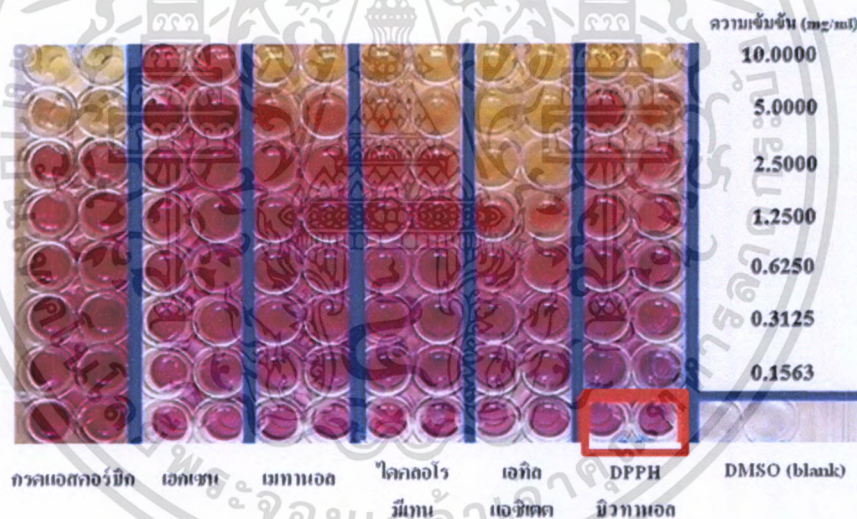
สารสกัดหยาบ	แปลงเกษตร		ปากคลองตลาด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ผลได้เป็นร้อยละ	น้ำหนัก (กรัม)	ผลได้เป็นร้อยละ
เฮกเซน	8.13	3.71	9.54	4.24
ไคคลอโรมีเทน	1.44	0.66	2.76	1.23
เอทิลแอลกอฮอล์	8.86	4.04	11.04	4.90
บิวทานอล	12.13	5.54	15.23	6.76

#### 4.10 ผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองด้วยวิธี DPPH

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารที่มีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าสารธรรมชาติในกลุ่มอื่นๆ โดยความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะขึ้นกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในสารสกัดนั้น จากงานวิจัยของรัฐะวัน [28] ที่ทำการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบของดอกดาวเรือง โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของสารสกัด รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบดอกดาวเรืองชั้นเมทานอล เฮกเซน ไคคลอโรมีเทน เอทิลแอลกอฮอล์ และบิวทานอล มีค่าเท่ากับ 38.389, 7.177, 41.122, 122.388, และ 50.558 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัดตามลำดับ โดยสารสกัดหยาบดอกดาวเรืองชั้นเอทิล แอลกอฮอล์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 122.388 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาร แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกันในการสกัดส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีขั้วเนื่องจากประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ในโครงสร้างจึงเกิดการละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกัน อย่างเช่น เอทิล แอลกอฮอล์ เป็นต้น [38-45] จากรายงานดังกล่าว จึงนำไปสู่งานวิจัยเพื่อทำการทดสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัดชั้นต่างๆ ของดอกดาวเรืองที่ปลูกจากแปลงเกษตร เทียบกับที่ซื้อจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ด้วยวิธีมาตรฐาน DPPH เพื่อเทียบกับวิธี CdS QDs ที่ถูกพัฒนาขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชัน โดยการรวมตัวกับ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรในตัวทำละลายเมทานอลทำได้โดยอาศัยการจับกับอิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระ DPPH แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ DPPH ที่มีความคงตัว ทำให้สารละลาย DPPH เปลี่ยนสีจากสีม่วงแดงเป็นสีเหลือง และทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาว

คลื่นที่ 517 นาโนเมตรลดลง สารสกัดหยาบโคไมฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระหรือสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีจะทำให้สารละลายสีม่วงแดงของ DPPH จางลงได้มากกว่าสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระได้น้อย ดังรูปที่ 4.12 เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นด้วย สีม่วงเข้มของสารละลาย DPPH จึงจางลงมากขึ้น โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก และ DMSO เป็นชุดควบคุม รายงานผลเป็นค่า 50% effective concentration ( $EC_{50}$ ) ซึ่งหมายถึงปริมาณหรือความเข้มข้นสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50% จากรูปที่ 4.12 สีของสารละลาย DPPH ผสมกับสารสกัดหยาบเมทานอล สารสกัดหยาบเฮกเซน และสารสกัดหยาบบิวทานอลมีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย DPPH น้อยที่สุด สีของสารละลาย DPPH ผสมกับสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทนมีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย DPPH ปานกลาง ในขณะที่สีของสารละลาย DPPH ผสมกับสารสกัดหยาบเอทิลแอกซีเตดมีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย DPPH มากที่สุด โดยปรากฏหุ้มนของสารละลายที่เปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลืองมากกว่าหุ้มนของสารสกัดหยาบอื่น



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างสีของสารละลาย DPPH หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดหยาบดอกดาวเรืองจากแหล่งต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่า  $EC_{50}$  ของสารสกัดหยาบดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เทียบกับปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ด้วยวิธีมาตรฐาน DPPH พบว่าสารสกัดชั้นเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และเมทานอล จาก

แปลงเกษตรมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ มากกว่า 50, 13.47 และ 21.76 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และจากปากคลองตลาด มีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 22.70, 24.30 และ 13.98 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่าสารสกัดชั้นบิวทานอล และเอทิล แอซิเตต จากแปลงเกษตรและปากคลองตลาด ซึ่งมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 7.75, 4.29 และ 6.78, 5.08 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ซึ่งมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 6.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมี DMSO เป็นชุดควบคุม จากผลการทดลองสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซนที่ออกฤทธิ์ด้านออกซิเดชันที่ต่ำ แสดงว่าสารด้านออกซิเดชันนั้นเป็นสารประกอบที่มีขั้ว เฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถสกัดสารด้านออกซิเดชันออกมาได้ ส่วนไคคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วปานกลางจึงสามารถสกัดสารด้านออกซิเดชันออกมาได้ปานกลาง และตัวทำละลายเอทิล แอซิเตต เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกับสารด้านอนุมูลอิสระจึงสามารถสกัดสารด้านออกซิเดชันออกมาได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ทดสอบได้ แสดงให้เห็นถึงผลจากการใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกันในการสกัด ทำให้ปริมาณและความหลากหลายของสารด้านออกซิเดชันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ (ความเป็นขั้ว) ของสารด้านออกซิเดชันนั้น

ตารางที่ 4.2 ค่า  $EC_{50}$  ของสารสกัดหยาบดอกดาวเรือง

สารสกัดหยาบ	$EC_{50}$ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	
	แปลงเกษตร	ปากคลองตลาด
เอทิล แอซิเตต	4.29	5.08
บิวทานอล	7.75	6.78
เมทานอล	21.76	13.98
ไคคลอโรมีเทน	13.47	24.30
เฮกเซน	> 50	22.70

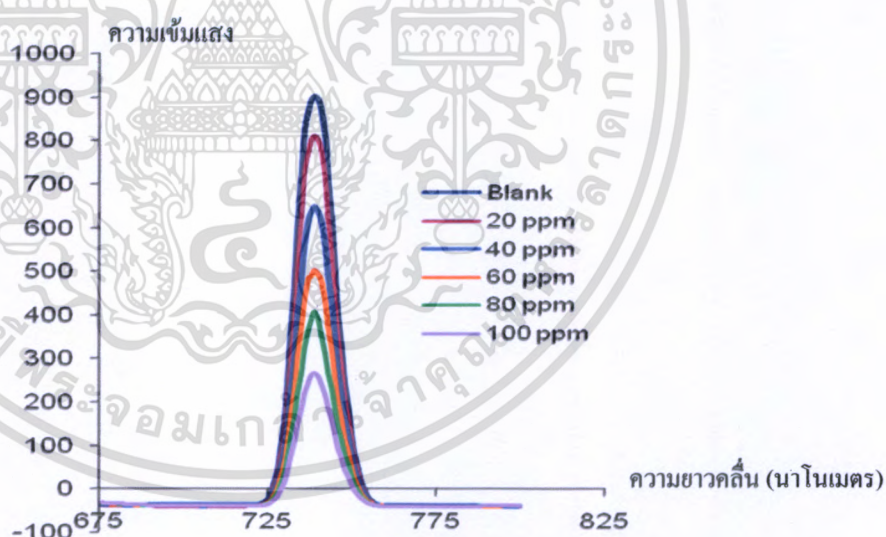
กรดแอสคอร์บิก มีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 6.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.11 ผลการตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยวิธีแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

##### 4.11.1 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล

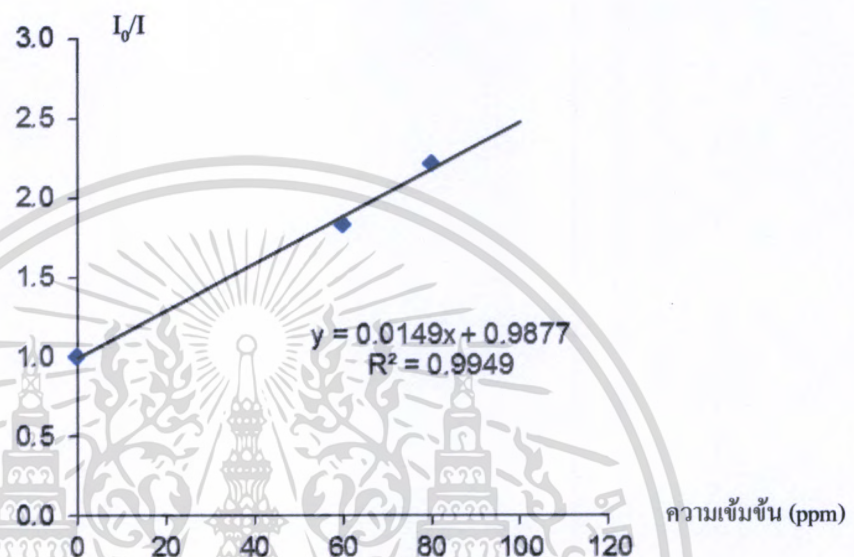
จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลของดอกดาวเรือง จากแหล่งเพาะปลูกของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ความเข้มข้นของแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเท่ากับ 1.6 มิลลิโมลาร์ พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของความเข้มแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของความเข้มแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (1.6 มิลลิโมลาร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

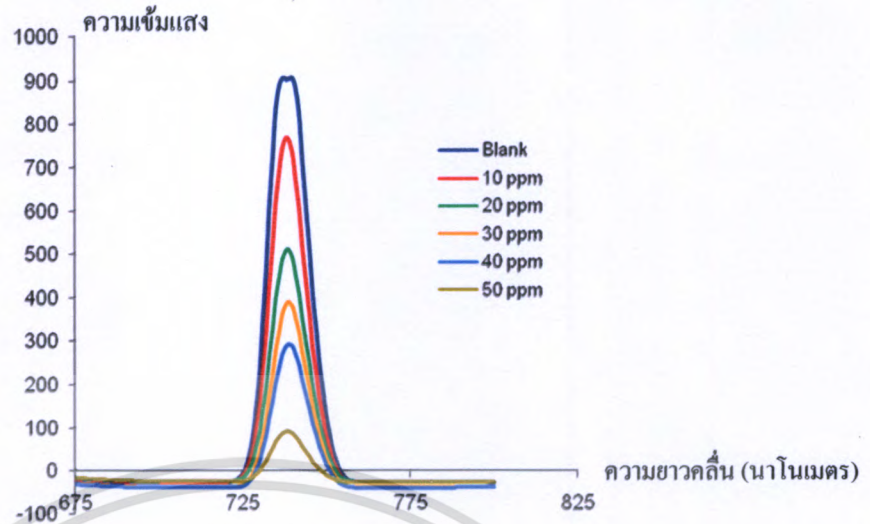
และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีสารสกัดของดอกดาวเรืองชั้นเมทานอล ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0149x + 0.9877$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9949 (ดังแสดงในรูปที่ 4.14) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 67.94 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.14 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs

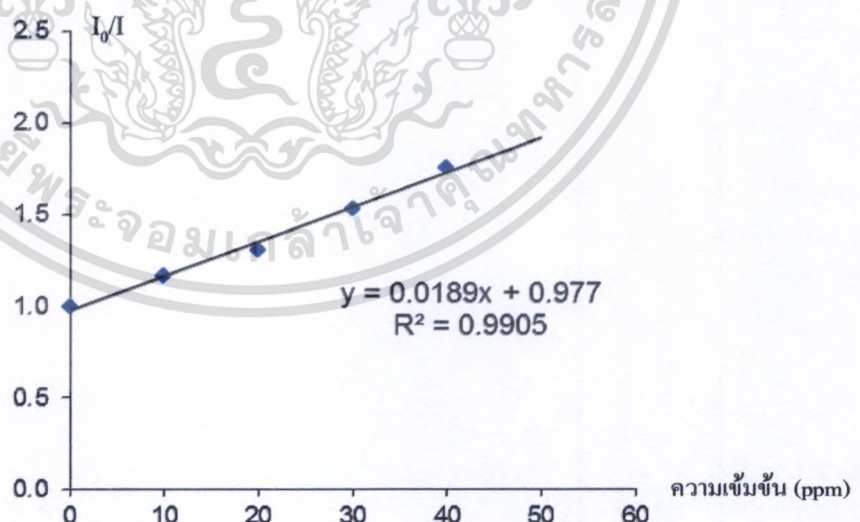
#### 4.11.2 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้นบิวทานอล

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอลของดอกดาวเรือง จากแหล่งเพาะปลูกของคณะเทคโนโลยีการเกษตร พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 10 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล  
เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มี  
สารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท  
เมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้  
สมการเส้นตรง  $y = 0.0189x + 0.9770$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9905  
(ดังแสดงในรูปที่ 4.16) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 54.12 มิลลิกรัมต่อลิตร

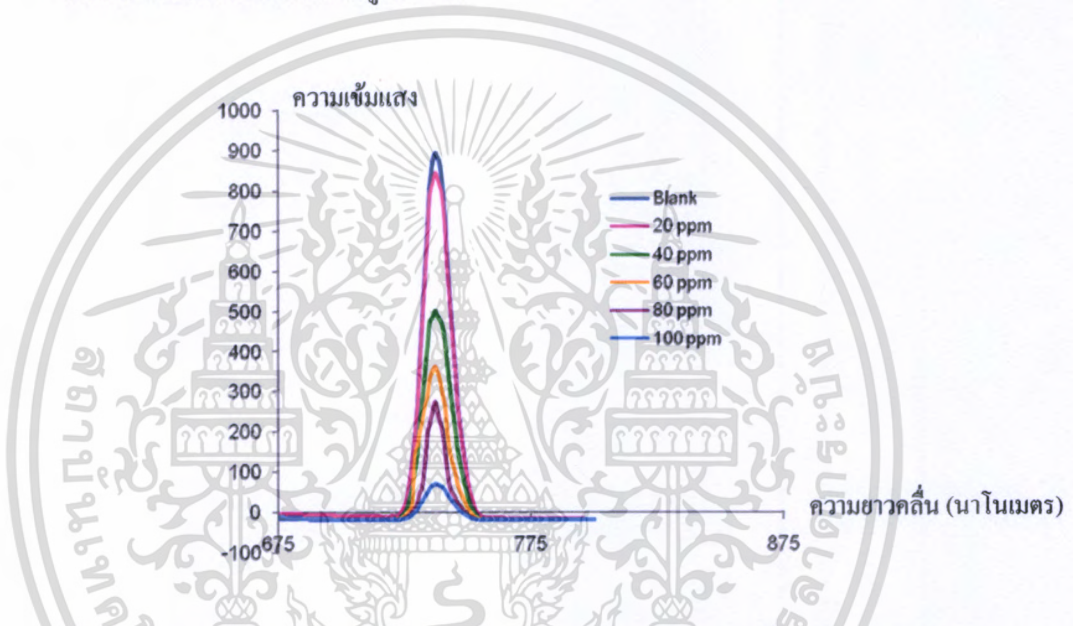


รูปที่ 4.16 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความ  
เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

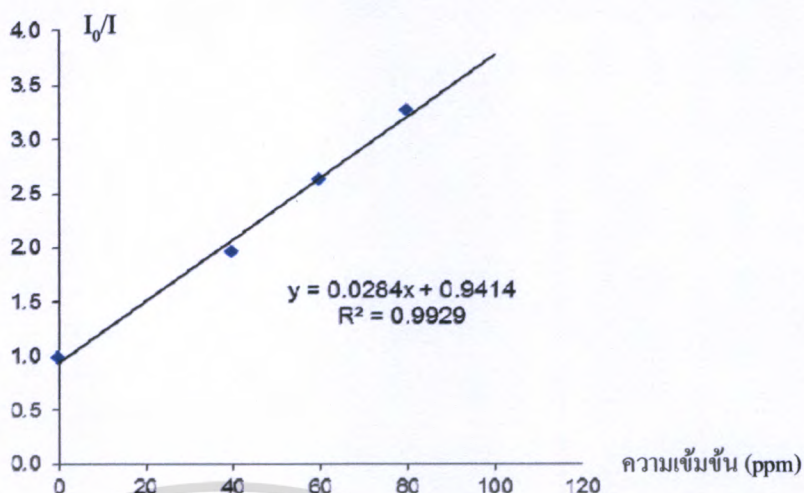
#### 4.11.3 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตต

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต ของดอกดาวเรือง จากแหล่งเพาะปลูกของคณะเทคโนโลยีการเกษตร พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

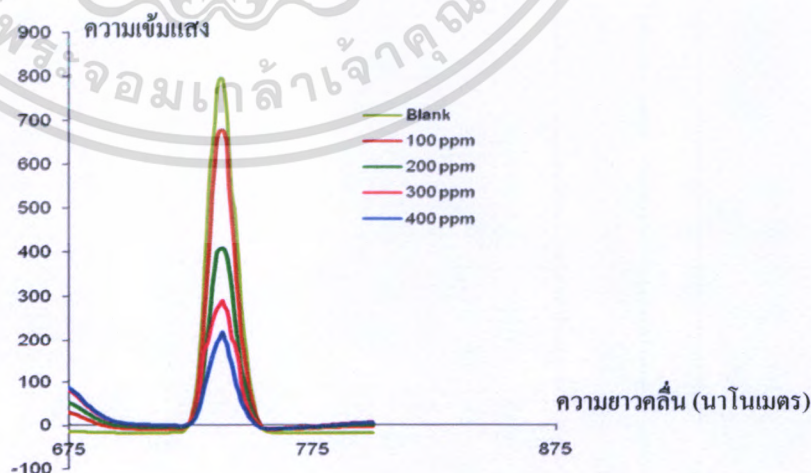
และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0284x + 0.9414$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9929 (ดังแสดงในรูปที่ 4.18) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 37.27 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.18 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต โดยใช้วิธี CdS QDs

#### 4.11.4 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้น ไคคลอโรมีเทน

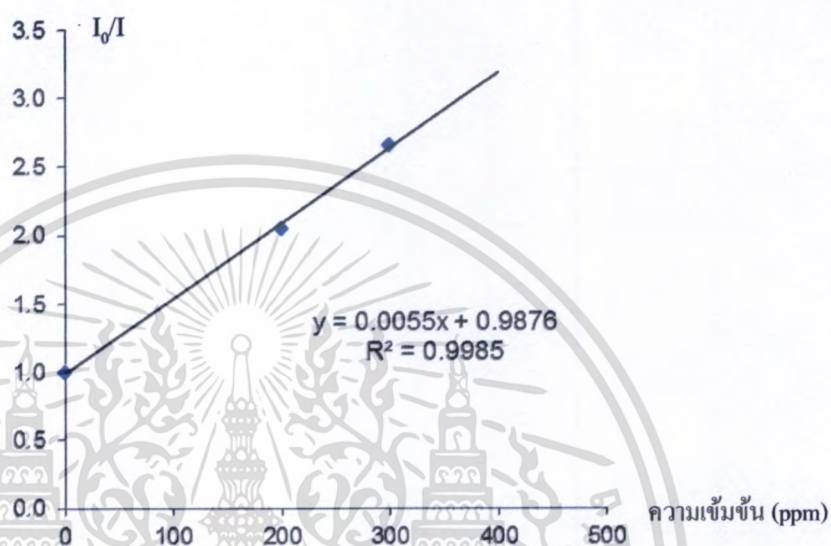
จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้น ไคคลอโรมีเทนของดอกดาวเรือง จากแหล่งเพาะปลูกของคณะเทคโนโลยีการเกษตร พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 100 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมการแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้น ไคคลอโรมีเทนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

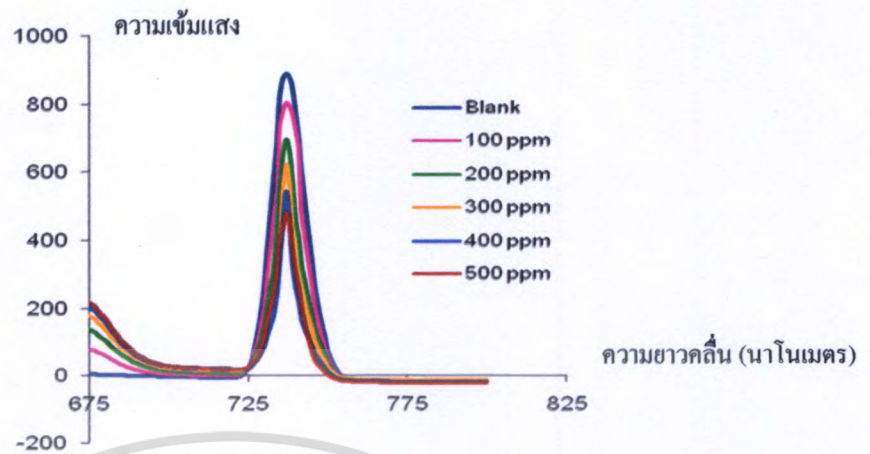
และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0055x + 0.9876$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9985 (ดังแสดงในรูปที่ 4.20) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 184.07 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.20 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นไคคลอโรมีเทน โดยใช้วิธี CdS QDs

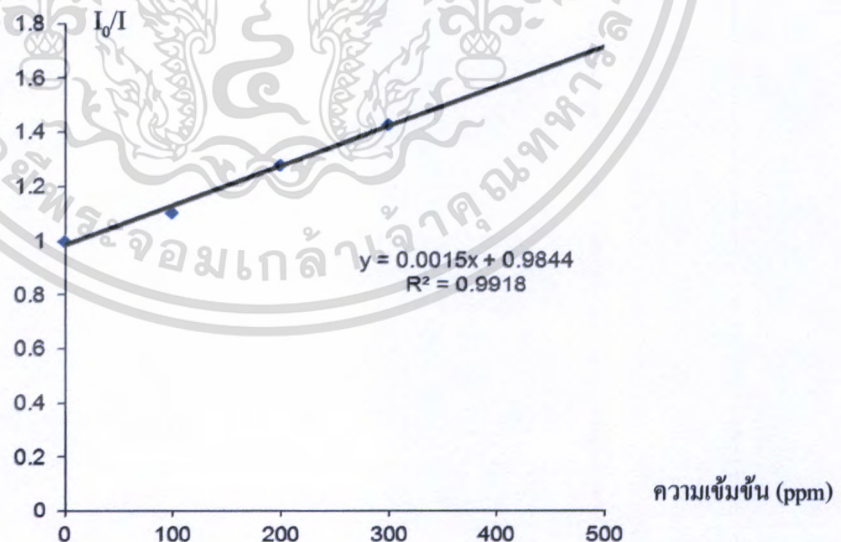
#### 4.11.5 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้นเฮกเซน

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซนของดอกดาวเรือง จากแหล่งเพาะปลูกของคณะเทคโนโลยีการเกษตร พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 100 ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาดขี้เสม เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0015x + 0.9844$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9918 (ดังแสดงในรูปที่ 4.22) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 677.06 มิลลิกรัมต่อลิตร



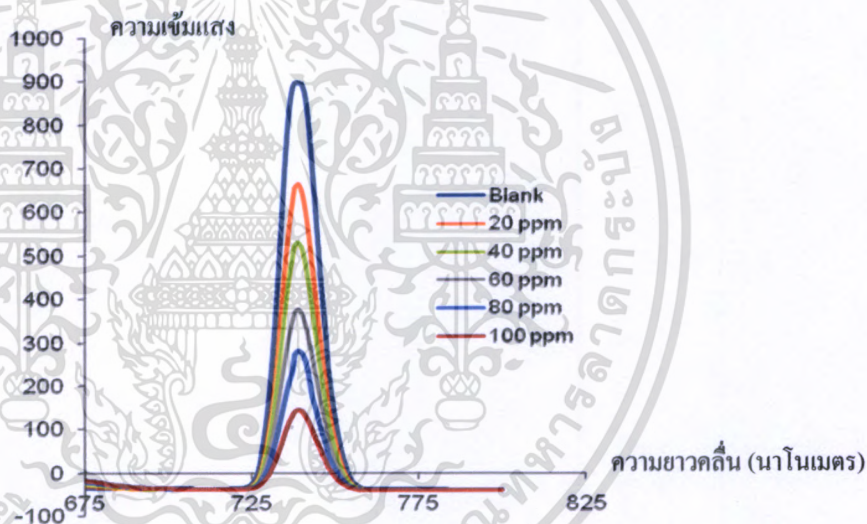
รูปที่ 4.22 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาดขี้เสม โดยใช้วิธี CdS QDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.12 ผลการตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาด (อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก) ด้วยวิธีแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท

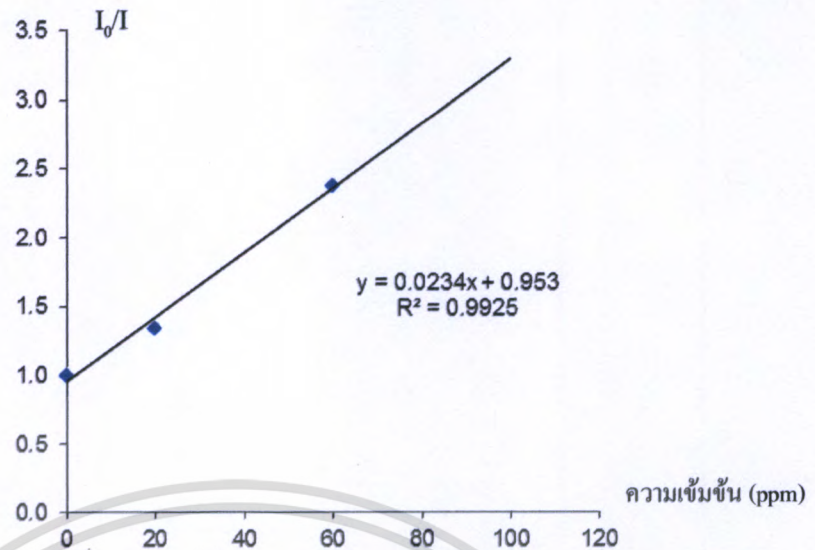
### 4.12.1 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล

ผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอลของดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเมทานอล เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

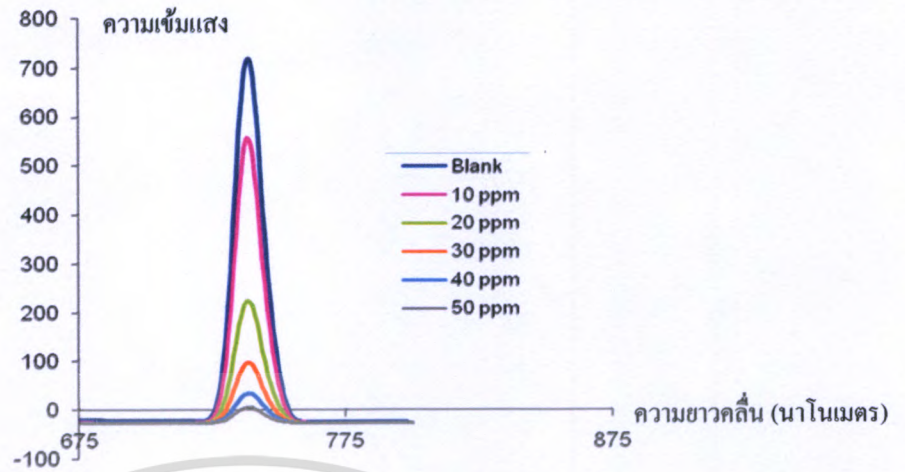
และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0234x + 0.953$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9925 (ดังแสดงในรูปที่ 4.24) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 44.74 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.24 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาดขี้เมทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs

#### 4.12.2 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดขี้เมทานอล

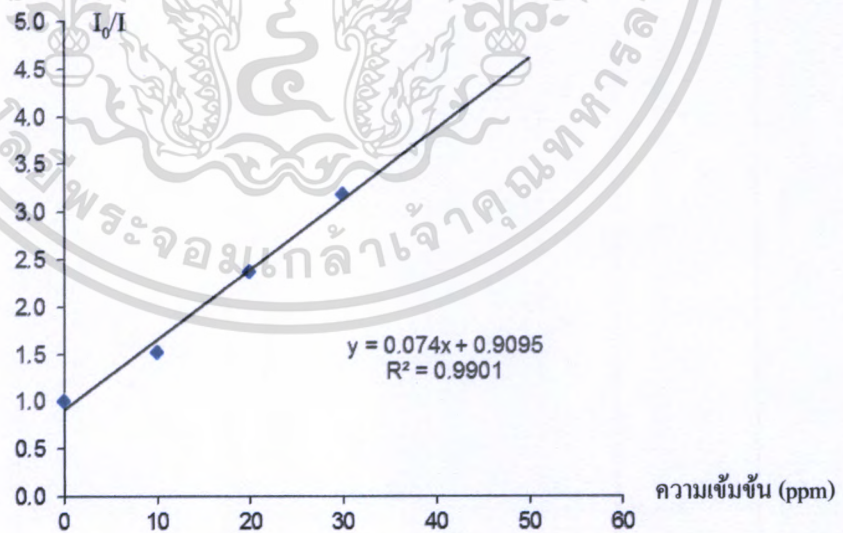
จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาดขี้เมทานอลของดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 10 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล

เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.074x + 0.9095$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9901 (ดังแสดงในรูปที่ 4.26) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 14.73 มิลลิกรัมต่อลิตร



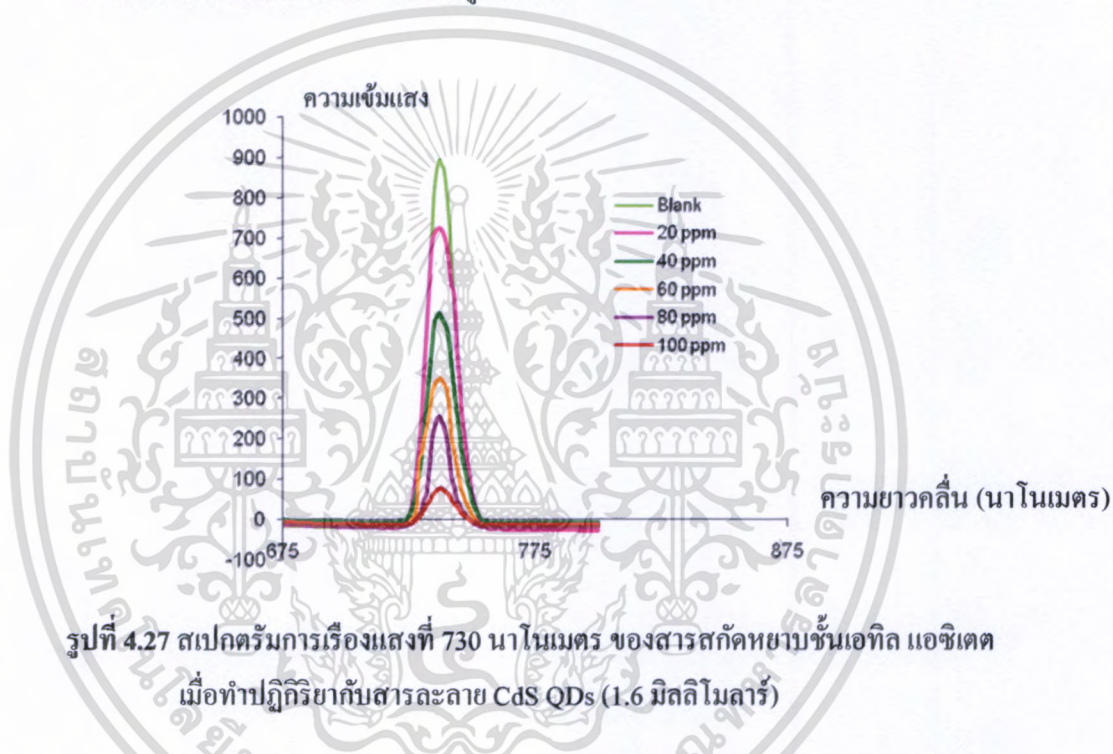
รูปที่ 4.26 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความ

เข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นบิวทานอล โดยใช้วิธี CdS QDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

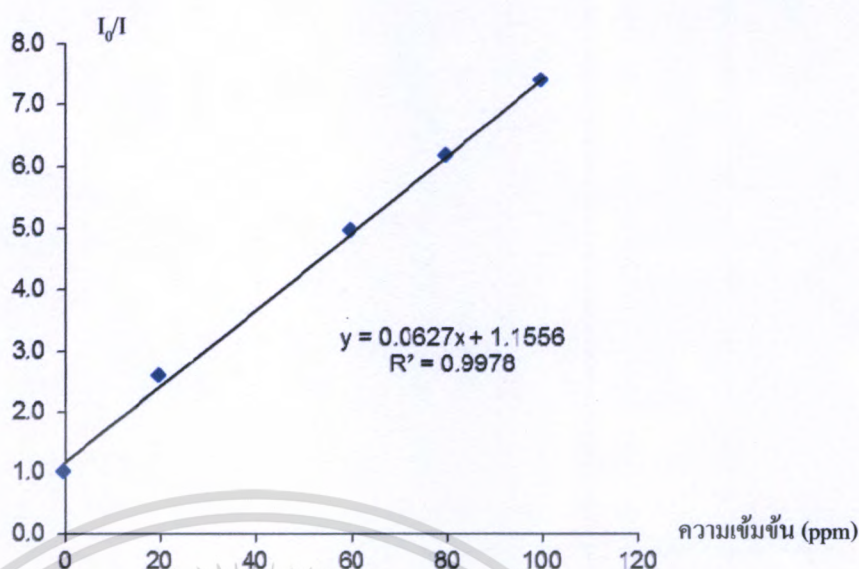
#### 4.12.3 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตด

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตด ของดอกดาวเรืองจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 20 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตด เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

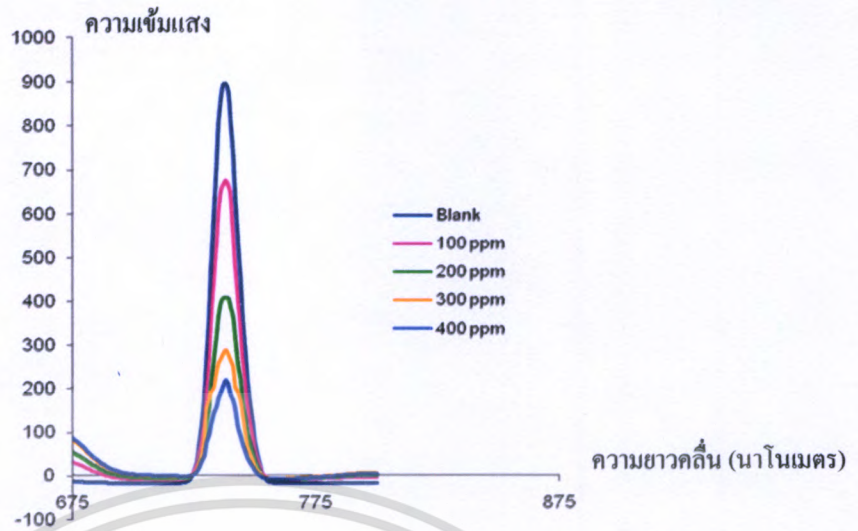
และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0627x + 1.1556$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดกันใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9978 (ดังแสดงในรูปที่ 4.28) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 13.46 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.28 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้นเอทิล แอซิเตต โดยใช้วิธี CdS QDs

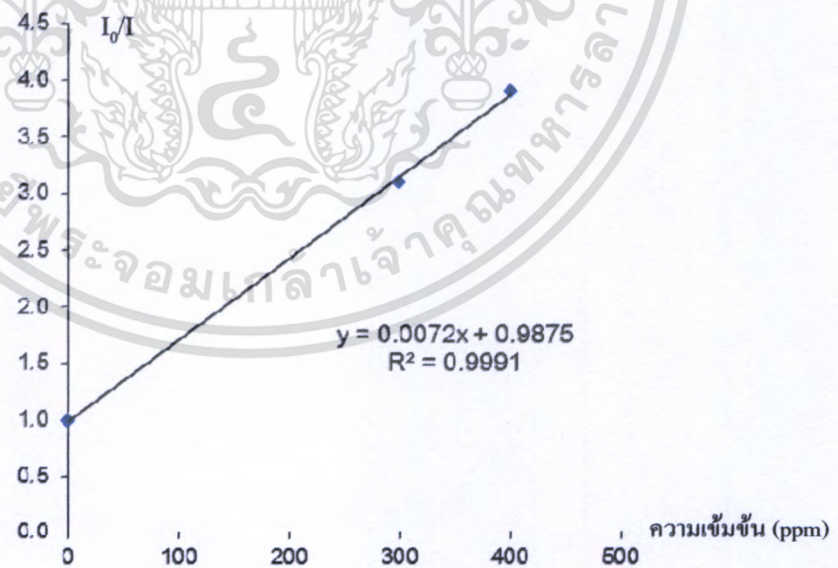
#### 4.12.4 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้น ไคคอส โรมิเทน

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้น ไคคอส โรมิเทน ของดอกดาวเรือง จากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 100 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นไดคอลลอโรมีเทน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0072x + 0.9875$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9991 (ดังแสดงในรูปที่ 4.30) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 140.62 มิลลิกรัมต่อลิตร

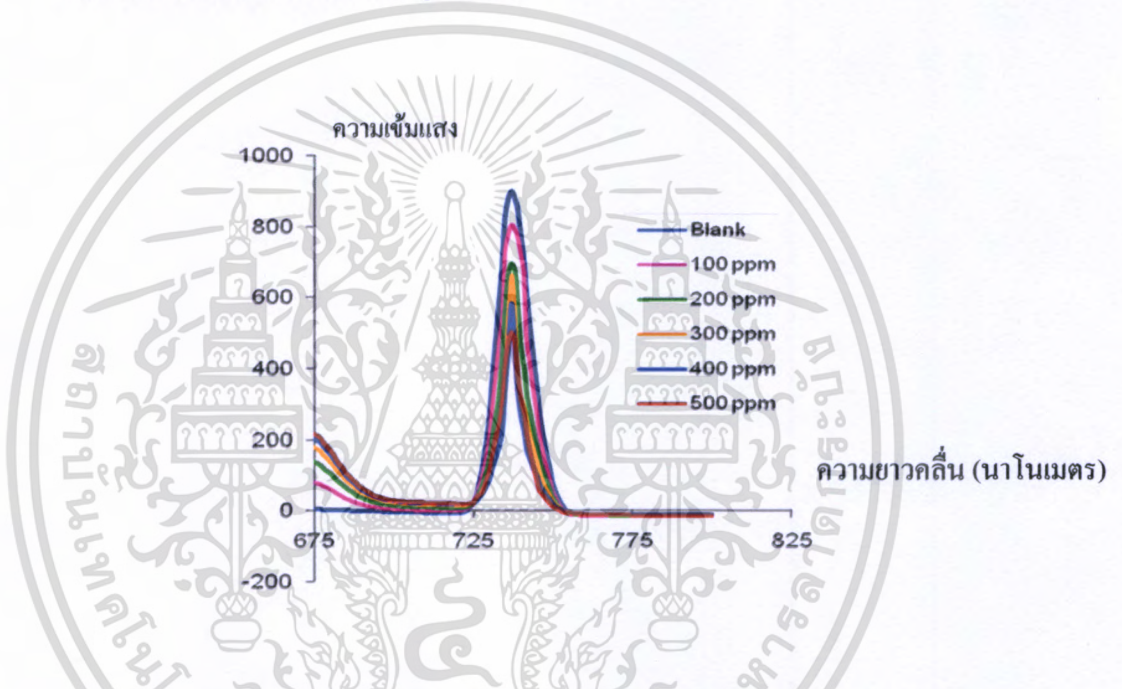


รูปที่ 4.30 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบชั้น ไดคอลลอโรมีเทน โดยใช้วิธี CdS QDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

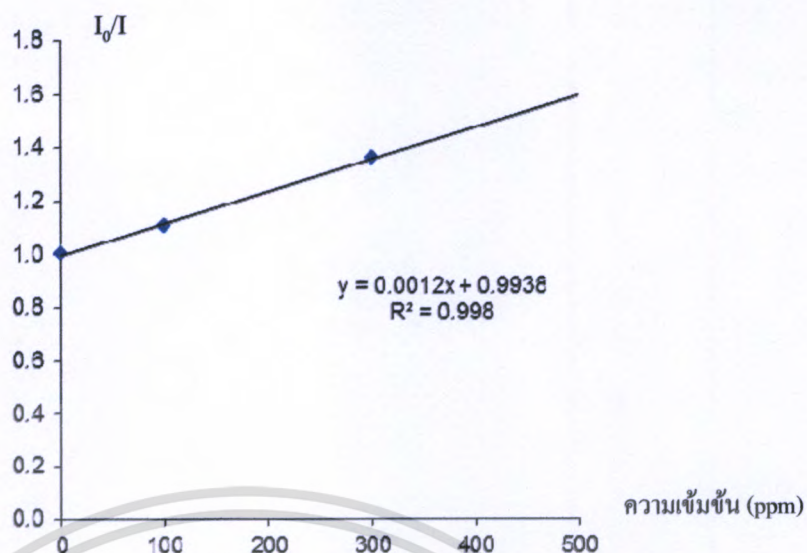
#### 4.12.5 ผลการประเมินฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดชั้นเฮกเซน

จากผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซนของดอกดาวเรือง จากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) พบช่วงความเข้มข้นของการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 100 ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกดาวเรืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มแสงของการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร มีอัตราการลดลงตามลำดับ โดยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการลดลงของการเรืองแสงน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการลดลงของการเรืองแสงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Blank) ที่ไม่มีสารสกัดจากดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมการเรืองแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdS QDs (1.6 มิลลิโมลาร์)

และเมื่อนำค่าความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ไม่มีสารสกัดมาเทียบอัตราส่วนต่อความเข้มแสงของสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อผสมกับสารสกัดของดอกดาวเรือง ( $I_0/I$ ) แล้วนำมาสร้างกราฟ Stern-Volmer จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0012x + 0.9938$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9980 (ดังแสดงในรูปที่ 4.32) และมีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 838.50 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.32 กราฟ Stern-Volmer แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง  $I_0/I$  กับความเข้มข้นของสารสกัดหยาดชั้นเฮกเซน โดยใช้วิธี CdS QDs

#### 4.13 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก และตัวอย่างของสารสกัดดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ด้วยวิธีมาตรฐาน DPPH เทียบกับวิธีที่ทำการพัฒนา คือ CdS QDs สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรือง

สารสกัดหยาด	EC <sub>50</sub> (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)			
	DPPH Method		CdS QDs Method	
	ปากคลองตลาด	แปลงเกษตร	ปากคลองตลาด	แปลงเกษตร
เอทิล แอซิเตต	5.08	4.29	13.46	37.27
บิวทานอล	6.78	7.75	14.74	54.12
เมทานอล	13.98	21.76	44.74	67.94
ไดคลอโรมีเทน	24.30	13.47	140.62	184.07
เฮกเซน	22.70	> 50	838.50	677.06
กรดแอสคอร์บิก	6.95		7.62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสรุปผลการประเมินฤทธิ์ดังตารางที่ 4.3 พบว่า วิธีการทั้งสองให้ผลไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือสารสกัดหยาบดอกดาวเรืองจากชั้นเอทิล แอซิเตต มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด และสารสกัดหยาบจากชั้นบิวทานอล เมทานอล และ ไคคลอ โรมีเทน มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระลดลงตามลำดับ โดยสารสกัดชั้นเฮกเซนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่า ในการประเมินฤทธิ์ด้วยวิธีการใช้อินนาคควอนตัมที่พัฒนาขึ้นนั้น จะให้ค่า  $EC_{50}$  ที่สูงกว่าเมื่อประเมินด้วยวิธี DPPH มาก เนื่องจากสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซนเป็นสารสกัดที่ใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว แต่ตัวทำละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมคอตนั้น เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงกว่า (คือ เมทานอลกับ ไดเมทิลฟอร์มาต์) ซึ่งเมื่อนำสารสกัดหยาบชั้นเฮกเซนมาละลายด้วยตัวทำละลายดังกล่าวจึงอาจเป็นไปได้ว่าสารสกัดหยาบละลายได้ไม่ดี อีกทั้งเมื่อทำปฏิกิริยากับควอนตัมคอต และสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ Stern-Volmer พบว่าได้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) น้อยกว่า 0.99 จึงนำผลการทดลองที่ความเข้มข้นที่ทำให้เกิดความไม่เป็นเส้นตรงออก ซึ่งส่งผลให้ค่า  $EC_{50}$  ที่ได้ สูงกว่าวิธีมาตรฐาน DPPH มากกว่าความเป็นจริง

ในแง่ของการเพาะปลูกดอกดาวเรือง พบว่าดอกดาวเรืองที่ซื้อจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูกที่ อ.แม่สอด จ.ตาก) ซึ่งปลูกเพื่อการค้า มีขนาดดอกที่ใหญ่ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยบำรุง และฉีดพ่นยากำจัดศัตรูพืช จึงส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ปลูกโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งมีขนาดดอกที่เล็กกว่า เนื่องจากไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุง และฉีดพ่นยาฆ่าแมลง กำจัดศัตรูพืช

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 สรุปผลการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs)

จากการศึกษาสภาวะของการสังเคราะห์แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอท (CdS QDs) โดยทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ ตัวทำละลาย ความเร็วรอบในการปั่น กวน ระยะเวลาในการปั่นกวน และความเสถียรของ CdS QDs โดยค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารตั้งต้น โซเดียมซัลไฟด์ และแคดเมียมไนเตรด ที่เลือกใช้คือ 3.2 มิลลิโมลาร์ ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส ในตัวทำละลายผสมระหว่างไดเมทิล ฟอมาไมด์กับเมทานอล อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 1 นาที พบว่าสารละลาย CdS QDs ที่สังเคราะห์ได้นั้น มีความเสถียร ไม่ตกตะกอน เป็นระยะเวลานาน 7 ชั่วโมง เมื่อตั้งทิ้งไว้ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) และพบค่าความยาวคลื่นที่ใช้ติดตามการเรืองแสง ( $\lambda_{em}$ ) เท่ากับ 730 นาโนเมตร เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น ( $\lambda_{ex}$ ) เท่ากับ 370 นาโนเมตร

##### 5.1.2 สรุปผลการสกัดสารจากดอกดาวเรือง

จากผลการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ด้วยตัวทำละลายเมทานอล ได้สารสกัดหยาบ ลักษณะเหลวหนืดเกือบเป็นของแข็งสีเหลืองเข้ม จากแปลงเกษตร และปากคลองตลาด เท่ากับ 320.9 และ 308.4 กรัม คิดเป็นร้อยละ 64.18 และ 61.68 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของดอกดาวเรืองแห้ง จำนวน 500.0 กรัม และเมื่อทำการสกัดแบบแบ่งส่วนด้วยตัวทำละลาย เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิล แอซิเตต และ บิวทานอล พบปริมาณสารสกัดของดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตรและปากคลองตลาดในชั้นบิวทานอลมากที่สุด เท่ากับ 12.13 และ 15.23 กรัม คิดเป็นร้อยละ 5.54 และ 6.67 ตามลำดับ โดยเทียบกับน้ำหนักของสารสกัดหยาบเมทานอล 219.0 และ 225.2 กรัม

### 5.1.3 สรุปผลการประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกดาวเรืองด้วยวิธี CdS QDs เทียบกับวิธีมาตรฐาน DPPH

จากผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเบื้องต้นของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ด้วยวิธี CdS QDs ที่ถูกพัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีมาตรฐาน DPPH พบค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ 7.62 และ 6.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ไปใช้สำหรับประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกดาวเรือง ที่ปลูกที่แปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เทียบกับปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ซึ่งพบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลที่สอดคล้องกัน คือสารสกัดดอกดาวเรืองจากชั้นเอทิล แอซิเตต มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด และสารสกัดจากชั้นบิวทานอล เมทานอล และไดคลอโรมีเทน มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระลดลงตามลำดับ โดยสารสกัดชั้นเฮกเซนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด และพบว่าดอกดาวเรืองที่ซื้อจากปากคลองตลาด (แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ซึ่งปลูกเพื่อการค้า มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน มีขนาดดอกที่ใหญ่ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยบำรุง และฉีดพ่นยากำจัดศัตรูพืช จึงส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าดอกดาวเรืองจากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ปลูกโดยวิธีธรรมชาติ มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว 45 วัน ซึ่งมีขนาดดอกที่เล็กกว่า เนื่องจากไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุง และฉีดพ่นยาฆ่าแมลง กำจัดศัตรูพืช

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ไปประยุกต์ใช้สำหรับตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ หรือแหล่งตัวอย่างพืชชนิดอื่นๆ ได้
2. สามารถสังเคราะห์ให้สารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรมากขึ้น โดยทำการติดลิแกนด์ เช่น N-Acetyl Cysteine (NAC) ลงบนอนุภาคชั้นนอกสุดของควอนตัมดอท
3. สามารถพัฒนาวิธีการสังเคราะห์ควอนตัมดอทโดยเลือกใช้โลหะที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าแคดเมียม เช่น ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) เป็นต้น
4. สามารถนำประโยชน์จากสมบัติการเรืองแสงของควอนตัมดอทไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านอื่นๆ เช่น ทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในการติดตามการเจริญเติบโตของตัวอ่อน (embryo) ของสัตว์หรือพืช เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. S. Hercberg, P. Galan, P. Preziosi, M. Alfaréz, and C. Vazquez. "The Potential Role of Antioxidant Vitamins in Preventing Cardiovascular Diseases and Cancers.", **Journal Nutrition.**, **14**, 1998, 513-520.
2. M. Serafini. "The role of antioxidants in disease prevention.", **Journal of Medicine.**, **34**, 2006, 533-535.
3. J. Norman. "Antioxidants and Disease : More questions than answers.", **Journal of Nutrition Research.**, **20**, 2000, 449-459.
4. M. Goodman, R. M. Bostick, O. Kucuk, and D. P. Jones. "Clinical trials of antioxidants as Cancer prevention agents : Past, present, and future.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **51**, 2011, 1068-1084.
5. T. René' du, Y. Volstedt, and Z. Apostolides. "Comparison of the antioxidant content of fruits, vegetables and teas measured as vitamin C equivalents.", **Journal of Toxicology.**, **166**, 2001, 63-69.
6. A. Podsz edek. "Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables", **LWT.**, **40**, 2007, 1-11.
7. I. E. Dreosti. "Antioxidant Polyphenols in Tea, Cocoa, and Wine.", **Journal of Nutrition.**, **16**, 2000, 692-694.
8. P. T. Gardner, T. A. C. White, D. B. Mc Phail, and G. G. Duthie. "The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit, juices.", **Journal of Food Chemistry.**, **68**, 2000, 471-474.
9. F. Bourgaud, A. Gravot, S. Milesi, and E. Gontier. "Production of plant secondary metabolites.", **Journal of Plant Science.**, **161**, 2001, 839-851.
10. A. Murcia, A. Jimé'nez, and M. Marte'nez-Tomé'. "Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage.", **Journal of Food Research International.**, **42**, 2009, 1046-1052.
11. M. Polovka, V. Brezova', and A. Stas'ko. "Antioxidant properties of tea investigated by EPR spectroscopy.", **Journal of Biophysical Chemistry.**, **106**, 2003, 39-56.
12. J. Pe' rez-Jime'nez, S. Arranz, M. Taberner, M. Elena Die'az- Rubio, J. Serrano, I. Gon' I and F. Saura-Calixto. "Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages.", **Journal of Food Research International.**, **41**, 2008, 274-285.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. P. C. Wootton-Beard, A. Moran, and L. Ryan. "Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods.", **Journal of Food Research International.**, **44**, 2011, 217–224.
14. R. L. Prior and G. Cao. "In vivo total antioxidant capacity : Comparison of different analytical methods.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **27**, 1999, 1173–1181.
15. R. J. Robbins. "Phenolic acids in foods : An overview of analytical methodology.", **Journal Agricultural and Food Chemistry.**, **51**, 2003, 2866–2887.
16. R. L. Prior, X.Wu, and K. Schaich. "Standardized method for the determination of antioxidant capacity and phenolics in food and dietary supplements.", **Journal of Agricultural and Food Chemistry.**, **53**, 2005, 4290–4302.
17. O. P. Sharma and T. K. Bhat. "DPPH antioxidant assay revisited.", **Journal of Food Chemistry.**, **113**, 2009, 1202–1205.
18. R. Rossetti, J. L. Ellison, J. M. Gibson, and L. E. Brus. "Size effects in the excited electronic states of small colloidal CdS crystallites.", **Journal of J. Chern. Phys.**, **80**, 1983, 4464–4469.
19. B. Sasiand K. G. Gopchandran. "Nanostructured mesoporous nickel oxide thin films." **Journal of Nanotechnology.**, **18**, 2007, 115613-115621.
20. A. A. Basan, W. Brinkman, G. J. Russel and K. J. Woods. "Electrical properties of  $Zn_xCd_{1-x}Se$ .", **Journal of Cryst. Growth.**, **86**, 1988, 667-672.
21. P. C. Pande, G. J. Russel and K. J. Woods. "The properties of electrophoretically deposited layers of CdS.", **Journal of Thin Solid Films.**, **121**, 1984, 85-94.
22. T. Zhang, X. Sun and B. Liu "Synthesis of positively charged CdTe quantum dots and detection for uric acid.", **Journal of Spectrochimica Acta Part A.**, **79**, 2011, 1566– 1572.
23. Ch. Huang, S. Wei Liu, T. Chen and Y. Li. "A new approach for quantitative determination of glucose by using CdSe/ZnS quantum dots.", **Journal of Sensors and Actuators B.**, **130**, 2008, 338–342.
24. H. S. Mansura, J. C. Gonzalez, P. Alexandra and A. Mansura "Biomolecule-quantum dot Systems for bioconjugation applications.", **Journal of Colloids and Surfaces B: Bio interfaces.**, **84**, 2011, 360–368.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. T. Jamiesona, R. Bakhshia, D. Petrovaa, R. Pockocka, M. Imanib, and A. M. Seifalian. "Biological applications of quantum dots.", **Journal of Biomaterials.**, **28**, 2007, 4717–4732.
26. S. K. Vashist, R. Tewari, R. P. Bajpai, L. M. Bharadwaj and R. Raiteri "Review of Quantum Dot Technologies for Cancer Detection and Treatment.", **Journal of Nanotechnology online.**, **2**, 2006, 1–14.
27. W. Chintakovid, P. Visoottiviseth, S. Khokiattiwong, and S. Lauengsuchenkul. "Potential of the hybrid marigolds for arsenic phytoremediation and income generation of remediators in Ron Phibon district, Thailand.", **Journal of Chemosphere.**, **70**, 2008, 1522 – 1537.
28. รัฐตะวัน พลบูรณ์ 2553 การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของดาวเรือง โครงการงานพิเศษวิทยาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 24-25.
29. F. Wang, J. Shan, M. A. Islam, I. P. Herman, M. Bonn, and T. F. Heinz. "Exciton polarizability in semiconductor nanocrystals.", **Journal of Nature Materials.**, **5**, 2006, 861-864.
30. S. J. Clarke, C. A. Hollmann, Z. Zhang, D. Suffern, S. E. Bradforth, N. M. Dimitrijevic, W. G. Minarik, and J. L. Nadeau. "Photophysics of dopamine-modified quantum dots and effects on biological systems.", **Journal of Nature Materials.**, **5**, 2006, 409-471.
31. T. Mokar, C. G. Sztrum, A. Salant, E. Rabani and U. Banin. "Formation of asymmetric one-sided metal-tipped semiconductor nanocrystal dots and rods.", **Journal of Nature Materials.**, **4**, 2005, 855-863.
32. ศุภกร กู้เกิด อุดม ทิพราช และทิพวรรณ สายพิน 2549 วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มกราคม – เมษายน 2549 ฉบับที่ 1 หน้า 27-40.
33. V. Singh, P. K. Sharma and P. Chauhan. "Synthesis of CdS nanoparticles with enhanced optical properties.", **Journal of Materials Characterization.**, **62**, 2011, 43–52.
34. D. Bera, L. Qian, T. K. Tseng and P. H. Holloway. "Quantum Dots and Their Multimodal Applications : A Review.", **Journal of Materials.**, **3**, 2010, 2260-2345.
35. H. S. Mansur. "Quantum dots and Nanocomposites.", John Wiley & Sons, Inc. 2, 2010 March-April 113-129.
36. D. J. Arndt-Jovin, D. S. Lidke, K. A. Lidke, B. Rieger, and T. M. Jovin. "Quantum dots shed light on processes in living cells.", **The International Society for Optical Engineering**, 2006, 1–3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37. ลาวัลย์ ศรีพงษ์ 2544 การวิเคราะห์เชิงฟลูออโรเมตรี ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร หน้า 2-14, 39-40.
38. โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจุง จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสันทอง 2550 (ครั้งที่ 2) สารต้านอนุมูลอิสระ (Radical scavenging agents) หน้า 36-71, 171-192.
39. C. Rice-Evans, N. Miller, and G. Paganga. "Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **20**, 1996, 933-955.
40. C. Rice-Evans, N. Miller and G. Paganga. "Antioxidant properties of phenolic compounds." **Journal of Trends in Plant Science.**, **2**, 1997, 152-159.
41. A. Gurib-Fakim "Medicinal plants : Traditions of yesterday and drugs of tomorrow.", **Journal of Molecular Aspects of Medicine.**, **27**, 2006, 1-93.
42. M. Leopoldini, N. Russo and M. Toscano. "The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants.", **Journal of Food Chemistry.**, **125**, 2010, 288-306.
43. B. H. Havsteen "The biochemistry and medical significance of the flavonoids.", **Journal of Pharmacology & Therapeutics.**, **96**, 2002, 67- 202.
44. D. Procházková, I. Boušová and N. Wilhelmová. "Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids.", **Journal of Fitoterapia.**, **82**, 2011, 513-523.
45. E. Tripoli, M. La Guardia, S. Giammanco, D. Di Majo and M. Giammanco. "Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review.", **Journal of Food Chemistry.**, **104**, 2007, 466-479.
46. M. Yamato, T. Egashira and H. Utsumi. "Application of in vivo ESR spectroscopy to measurement of cerebrovascular ROS generation in stroke.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **35**, 2003, 1619-1631.
47. P. Kuppusamy. "EPR Spectroscopy.", Center for Biomedical EPR Spectroscopy & Imaging, Davis Heart & Lung Research Institute Ohio State University, Nov 21, 2002.
48. S. Chevon, E. M. Berry, N. Kitrossky and R. Kohen "Evaluation of plasma low molecular weight antioxidant capacity by cyclic voltammetry.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **22**, 1997, 411-421.
49. S. Chevon, M. A. Roberts and M. Chevon. "The use of cyclic voltammetry for evaluation Antioxidant.", **Journal of Free Radical Biology & Medicine.**, **28**, 2000, 860-870.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50. P. KoteswaraRao, V. Bobbarala, D. BhaskarRao, Ch. RaviKiran, K. V. RaghavaRao, and T. Raghava Rao. "Total antioxidant power and free radical scavenging capacity of some medicinal plants.", **Bioscience, Biotechnology Research Asia.**, **5**, 2008, 837–840.
51. W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier and C. Berset. "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.", **Journal of Lebensmittel Wissenschaftund Technologie.**, **28**, 1995, 25–30.
52. V. Bondet, W. Brand-Williams and C. Berset. "Kinetics and Mechanisms of Antioxidant Activity using the DPPH Free radical Method.", **Journal of Lebensmittel Wissenschaftund Technologie.**, **30**, 1997, 609–615.
53. J. Deng, W. Cheng, G. Yang. "A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay.", **Journal of Food Chemistry.**, **125**, 2011, 1430–1435.
54. D. Villaño, M. S. Fernández-Pachón, A. M. Troncoso, M. C. Garc'ia-Parrilla. "The antioxidant activity of wines determined by the ABTS<sup>+</sup> method : influence of sample dilution and time.", **Journal of Talanta.**, **64**, 2004, 501–509.
55. I. F. F. Benzie and J. J. Strain. "The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power" : The FRAP Assay.", **Journal of Analytical Biochemistry.**, **239**, 1996, 70–76.
56. S. P. Griffina and R. Bhagoolib. "Measuring antioxidant potential in corals using the FRAP assay.", **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.**, **302**, 2004, 201–211.
57. C. Guo, J. Yang, J. Wei, Y. Li, J. Xu and Y. Jiang. "Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay.", **Journal of Nutrition Research.**, **23**, 2003, 1719–1726.
58. J. A. Price, C. G. Sanny and D. Shevlin. "Application of manual assessment of oxygen radical absorbent capacity (ORAC) for use in high throughput assay of "total" antioxidant activity of drugs and natural products.", **Journal of Journal of Pharmacological and Toxicological Methods.**, **54**, 2006, 56 – 61.
59. B. Ou, M. Hampsch-Woodill and R. L. Prior. "Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe.", **Journal of Agricultural and Food Chemistry.**, **49**, 2001, 4619-46264.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60. M. Shaghghi, J. L. Manzoori and A. Jouyban. "Determination of total phenols in tea infusions, tomato and apple juice by terbium sensitized fluorescence method as an alternative approach to the Folin-Ciocalteu spectrophotometric method", **Journal of Food Chemistry.**, **108**, 2008, 695–701.
61. V. Singleton, R. Orthofer and R. Lamuela-Raventos. "Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent.", **Journal of Methods in Enzymology.**, **299**, 1999, 152–178.
62. ดาวเรือง [Online], Available <http://www.doae.go.th/library/detail/dawrueng/dawrueng.html> [12 สิงหาคม 2011] กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
63. H. Chena, R. Li, L. Lin, G. Guo and J. M. Linb. "Determination of L-ascorbic acid in human serum by chemiluminescence based on hydrogen peroxide–sodium hydrogen carbonate–CdSe/CdS quantum dots system.", **Journal of Talanta.**, **81**, 2010, 1688–1696.
64. X. Maa, H. Li, J. Dong and W. Qian. "Determination of hydrogen peroxide scavenging activity of phenolic acids by employing gold nanoshells precursor composites as nanoprobess.", **Journal of Food Chemistry.**, **126**, 2011, 698–704.
65. F. Zhang, C. Li, X. Li, X. Wang, Q. Wan, Y. Xian, L. Jin and K. Yamamoto. "ZnS quantum dots derived a reagentless uric acid biosensor.", **Journal of Talanta.**, **68**, 2006, 1353–1358.
66. H. Dinh Duong and J. I. Rhee. "Use of CdSe/ZnS core-shell quantum dots as energy transfer donors in sensing glucose.", **Journal of Talanta.**, **73**, 2007, 899–905.
67. P. Juzenas, W. Chen, I. Christensen, M. Neto Coelho, R. Generalov, N. Generalova and Y. Sun "Quantumdots and nanoparticles for photodynamic and radiation therapies of cancer.", **Journal of Advanced Drug Delivery Reviews.**, **60**, 2008, 1600–1614.
68. J. H. Wang, Y. Q. Li, H. L. Zhang, H. Q. Wang, S. Lin, J. Chen, Y. D. Zhao and Q. M. Luo. "Bioconjugation of concanavalin and CdTe quantum dots and the detection of glucose" **Journal of Colloids and Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects.**, **364**, 2010, 82–86.
69. Y. Yu, Y. Lai, X. Zheng, J. Wu, Z. Long and C. Liang. "Synthesis of functionalized CdTe/CdS QDs for spectrofluorimetric detection of BSA.", **Journal of Spectrochimica Acta Part A.**, **68**, 2007, 1356–1361.
70. Y. Hu, J. Li, L. Ma, Q. Peng, W. Feng, L. Zhang, S. He, F. Yang, J. Huang and L. Li. "High efficiency transport of quantum dots into plant roots with the aid of silwet L-77.", **Journal of Plant Physiology and Biochemistry.**, **48**, 2010, 703-709.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

71. Z. Yun, D. Zhengtao, Y. Jiachang, T. Fangqiong and W. Qun. "Using cadmiumtelluride quantum dots as a proton flux sensor and applying to detect H9 avian influenza virus.", **Journal of Analytical Biochemistry**, **364**, 2007, 122–127.
72. J. Xiaoa, L. Chenb, F. Yanga, C. Liua and Y. Baia. "Green, yellow and red-emitting CdTe QDs decreased the affinities of apigenin and luteolin for human serum albumin in vitro.", **Journal of Hazardous Materials**, **182**, 2010, 696–703.
73. Z. Li, K. Wang, W. Tan, J. Li, Z. Fu, C. Ma, H. Li, X. He and J. Liu. "Immunofluorescent labeling of cancer cells with quantum dots synthesized in aqueous solution.", **Journal of Analytical Biochemistry**, **354**, 2006, 169–174.
74. Z. Yao-hai, Z. Hua-shan, G. Xiao-feng and H. Wang. "L-Cysteine-coated CdSe/CdS core-shell quantum dots as selective fluorescence probe for copper (II) determination.", **Journal of Microchemical Journal**, **89**, 2008, 142–147.
75. J. Chena, A. Zheng, Y. Gao, C. He, G. Wu, Y. Chen, X. Kai and C. Zhu. "Functionalized CdS quantum dots-based luminescence probe for detection of heavy and transition metal ions in aqueous solution.", **Journal of Spectrochimica Acta Part A**, **69**, 2008, 1044–1052.
76. K. Prapainop and Jr. Paul Wentworth. "A shotgun proteomic study of the protein corona associated with cholesterol and atheron-B surface-modified quantum dots.", **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, **77**, 2011, 353–359.
77. J. Yuan, W. Guo, J. Yin and E. Wang. "Glutathione-capped CdTe quantum dots for the sensitive detection of glucose.", **Journal of Talanta**, **77**, 2009, 1858–1863.
78. E. Bako, J. Deli and G. Toth. "HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products.", **Journal of biochemical and biophysical Methods**, **53**, 2002, 241–250.
79. จันทนา เทศเจริญ สุวงศ์ชัยกุล และอรกนก บุญธรรมศิริวุฒิ 2545. "การสกัดสารให้สีจากกลีบดอกดาวเรืองเพื่อประยุกต์ใช้ในการย้อมผ้า" โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
80. Y. M. Fonseca, C. D. Catini, F. T. M. C. Vicentini, A. Nomizo, R. F. Gerlach and M. J. V. Fonseca. "Protective effect of *Calendula officinalis* extract against UVB-induced oxidative stress in skin : Evaluation of reduced glutathione levels and matrix metalloproteinase secretion.", **Journal of Ethnopharmacology**, **127**, 2010, 596–601.

81. F. Nikkon, M. R. Habib, M. R. Karim, Z. Ferdousi, M. M. Rahman and M. E. Haque  
“Insecticidal Activity of Flower of *Tagetes erecta* L. against *Tribolium castaneum* (Herbst).”,  
**Research Journal of Agriculture and Biological Science.**, 5, 2009, 748-753.
82. V. B. Pratheesh, N. Benny and C. H. Sujatha. “Isolation, Stabilization and Characterization  
of Xanthophyll from Marigold Flower *Tagetes Erecta-L.*”, **Modern Applied Science.**, 3,  
2009, 9-28.
83. C. Zhu, C. Bai, G. Sanahuja, D. Yuan, G. Farr, S. Naqvi, L. Shi, T. Capell and P. Christou.  
“The regulation of carotenoid pigmentation in flowers.”, **Archives of Biochemistry and  
Biophysics.**, 504, 2010, 132-141.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)
0.8	484.92
1.2	559.567
1.6	706.961
2.4	215.097
3.2	131.824

## 2. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)
27	703.633
40	708.181
50	484.920
60	151.369

## 3. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ที่เวลาต่างๆ ในการปั่นกววน

เวลา (นาที)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)
1	716.259
5	715.470
10	714.258
20	712.036
30	570.805

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. ข้อมูลความเสถียรของการเรืองแสงของ CdS QD หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที่)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)
1	706.962
5	705.743
10	703.401
15	701.065
20	695.963
30	692.733
60	691.739
120	690.638
180	688.299
240	686.170
300	684.952
360	682.946
420	681.951
480	427.135
580	132.597

## 5. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ที่สังเคราะห์ในตัวทำละลายต่างๆ

ตัวทำละลาย	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)
เมทานอล	906.355
ไดเมทิลซัลฟอกไซด์	259.254
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	2.32433
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ + เมทานอล	765.619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	995.457	-
200	-	902.457
400	-	830.020
600	-	705.709
800	-	628.640
1000	-	514.577

7. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเมทานอล (จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	894.157	-
20	-	812.181
40	-	649.642
60	-	502.765
80	-	407.393
100	-	266.094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นบิวทานอล (จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	906.380	-
10	-	744.207
20	-	488.516
30	-	362.116
40	-	269.652
50	-	87.5198

9. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเอทิล แอซีเตต (จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	868.625	-
20	-	818.184
40	-	481.167
60	-	332.763
80	-	230.502
100	-	68.4659

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ข้อมูลการเรียงแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นไดคโลโรมีเทน (จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	795.002	-
100	-	676.685
200	-	407.975
300	-	288.844
400	-	219.099
500	-	188.118

11. ข้อมูลการเรียงแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเฮกเซน (จากแปลงเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	889.690	-
100	-	804.508
200	-	696.304
300	-	622.827
400	-	543.713
500	-	480.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเมทานอล (จากปากคลองตลาด แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	897.457	-
20	-	665.033
40	-	530.949
60	-	377.479
80	-	282.365
100	-	145.155

13. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นบิวทานอล (จากปากคลองตลาด แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	716.259	-
10	-	557.003
20	-	224.040
30	-	97.4930
40	-	34.2464
50	-	5.77437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเอทิล แอซิเตต (จากปากคลองตลาด แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	894.642	-
20	-	725.589
40	-	511.779
60	-	349.679
80	-	255.241
100	-	76.8037

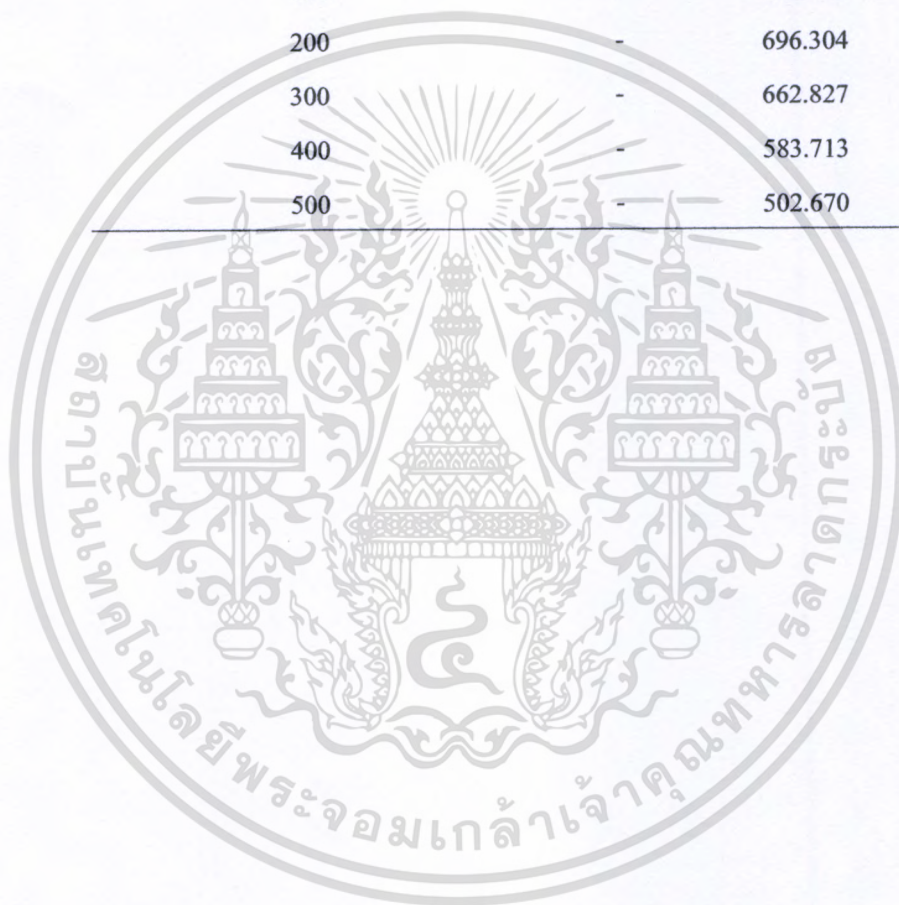
15. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นไดคลอโรมีเทน (จากปากคลองตลาด แหล่งเพาะปลูก อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	895.002	-
100	-	676.685
200	-	407.975
300	-	288.844
400	-	219.099
500	-	182.187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ข้อมูลการเรืองแสงของ CdS QD ในสารสกัดชั้นเฮกเซน (จากปากคลองตลาด แหล่งเพาะปลูก  
อ.แม่สอด จ.ตาก) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ความเข้มแสง (นาโนเมตร)	
	$I_0$	I
0 (Blank)	899.690	-
100	-	804.508
200	-	696.304
300	-	662.827
400	-	583.713
500	-	502.670



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสนธยา พันธุ์ดี
วัน เดือน ปีเกิด	20 มกราคม พ.ศ. 2526
ที่อยู่	118 ม.3 ต.วังยาง อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี 72140
ประวัติการศึกษา	2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี เกรดเฉลี่ย 2.74 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณนรี กรุงเทพฯ 2556 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอินทรีย์ เกรดเฉลี่ย 3.62 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ผลงานวิชาการ	เรื่อง การพัฒนาวิธีประเมินฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากดอกดาวเรือง (Method Development for Evaluation of Total Antioxidant Capacity of <i>Tagetes erecta</i> Linn. Flower Extract) การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference 2012 (PACCON 2012) ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 11-13 เดือนมกราคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้