สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิต และ ความเข้มแสงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตยหอม

**Effect of Harvesting Time and Light Intensity on Antioxidant Content of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves.**

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558
จำนวน 50,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ดร. นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์
ผู้ร่วมโครงการ อ.ดร. ภาวิณี อารีศรีสม
อ.ดร. เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์
อ.ดร.กอบลาภ อารีศรีสม

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
...25.../...กุมภาพันธ์...../...2559...

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิต และความเข้มแสงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตยหอม (Effect of Harvesting Time and Light Intensity on Antioxidant Content of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves.) ได้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2558 ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ สารเคมีตลอดการทดลองจนทำให้งานทดลองสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ผู้วิจัย

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญตาราง | ข |
| สารบัญภาพ | ค |
| บทคัดย่อ | 1 |
| Abstract | 2 |
| คำนำ | 3 |
| วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 4 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 5 |
| การตรวจเอกสาร | 6 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 25 |
| ผลการวิจัย | 32 |
| สรุปผลการวิจัย | 45 |
| ข้อเสนอแนะ | 46 |
| เอกสารอ้างอิง | 47 |

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณสารอาหารในใบเตย 8
ตารางที่ 2 รงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ 16
ตารางที่ 3 ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิกส์ และวิตามินซีในผัก และสมุนไพรจำนวน 15 ชนิด 23
ตารางที่ 4 สารเคมีที่ใช้การทดลอง 25
ตารางที่ 5 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง 25
ตารางที่ 6 น้ำหนักสดของใบเตยต่อปัจจัยการทดลอง ที่เก็บเกี่ยว ณ ระยะเวลาปลูกต่างๆ 35
ตารางที่ 7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 37
ตารางที่ 8 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ในใบเตย ต่อระดับความเข้มแสง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 41
ตารางที่ 9 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ABTS radical)ในใบเตย ต่อระดับความเข้มแสงและระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 42

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะต้นเตยหอม 6
ภาพที่ 2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 9
ภาพที่ 3 การทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน 16
ภาพที่ 4 การทำงานของวิตามินอีในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน 22
ภาพที่ 5 รูปแบบการวางแผนการปลูกใบเตย 27
ภาพที่ 6 โรงเรือนที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นใบเตย 28
ภาพที่ 7 การปลูกใบเตย 33
ภาพที่ 8 ใบเตยที่ทำการเพาะปลูกที่ระยะ5 6 และ 7 เดือน 34
ภาพที่ 9 น้ำหนักสดของใบเตยที่ความเข้มแสง ๆ ต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว 35
ภาพที่ 10 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดแกลลิก ช่วงความเข้มข้น 50-500 พีพีเอ็ม 36
ภาพที่ 11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 39
ภาพที่ 12 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ในใบเตย ต่อระดับความเข้มแสง และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 43
ภาพที่ 13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical) ในใบเตย ต่อระดับความเข้มแสง และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 44

# ผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิต และความเข้มแสงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตยหอม

# Effect of Harvesting Time and Light Intensity on Antioxidant Content of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves.

นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์ ภาวิณี อารีศรีสมเทิดศักดิ์ โทณลักษณ์ และ กอบลาภ อารีศรีสม

**Narin Toakaenchan, Pawinee Areesrisom, Therdsak Thonnalak and Koblap Areesrisom**

วิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

.....

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 3 ระยะ (5 6 7 เดือน) และความเข้มของแสงที่ให้ภายในแปลง (ความเข้มแสง 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์) ต่อปริมาณสารฟีนอลลิกรวมและ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบเตย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟีนอลลิกรวม และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบเตยหอม จะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 7 เดือน และทำการปลูกที่มีความเข้มแสง100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics content) มีค่าอยู่ในช่วง 907-908 mgGAE/ g DW ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดีพีพีเอช (DPPH radical) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีค่าอยู่ในช่วง 92-93 เปอร์เซ็นต์ และ 17-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** .ใบเตยหอม ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ความเข้มแสง สารฟีนอลลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

**Abstract**

This research was studied the effect of harvesting time (5, 6 and 7 mouth) and light intensity (30, 40, 50 and 100 %) on total polyphenol and antioxidant activity content of *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves. The experiment was carried out based on Randomized Complete Block Design (RCBD). The results showed that total polyphenol and antioxidant activity were highest under the harvesting time at 7 mouth and 100 % of light intensity. The total polyphenol was found to be 907-908 mgGAE/ g DW, DPPH radical scavenging capacity and ABTS radical scavenging capacity were found to be 92-93 % and 17-20 %, respectively.

Keyword: *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Leaves, Harvesting time, Light intensity, Total polyphenol, Antioxidant activity content

## คำนำ

ในปัจจุบันการเจ็บป่วยด้วยโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ของคนไทยและคนทั่วโลก โดยเกิดจากหลายสาเหตุไม่ว่าจากอาหารที่รับประทาน สิ่งแวดล้อม มลพิษต่างๆ เหล่านี้ล้วนเป็นตัวกระตุ้นที่ทำให้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ รวมทั้งในปัจจุบัน กระแสการดูแลรักษาผิวพรรณ ความสวยงาม การชะลอความแก่ และรอยเหี่ยวย่น ในกลุ่มคนหนุ่มสาว กลุ่มคนทำงาน ล้วนได้รับความสนในเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นแพทย์ และเภสัชกร รวมถึงนักวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องล้วนสนใจที่จะค้นคว้า และทำการวิจัยผลิตยา และเครื่องสำอาง เพื่อใช้รักษา ป้องกัน หรือชะลอการเกิดโรค หรือ ด้านการรักษา ดูแลความสวยงานให้มีเพิ่มมากขึ้น และหนึ่งในนั้นที่ได้รับความสนใจคือสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระคือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับสารอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆได้ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์ก็เป็นอันตรายได้โดยจะทำลายดีเอนเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และอื่นๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อ ในระยะยาวมีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ ปัจจุบันผลการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า อนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อหลายชนิด โดยเฉพาะโรคมะเร็งโดยสารต้านอนุมูลอิสระสามารถไปยับยั้งไม่ให้ไปเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้และสารต้านอนุมูลอิสระนี้สามารถพบได้ในหลายแหล่ง ไม่ว่าจะเป็น จาก พืชผัก ผลไม้ และรวมถึงสมุนไพรไทยหลายชนิด

ในปัจจุบันได้มีการนำสมุนไพรและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่เป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านมาใช้ประโยชน์ด้านการรักษาโรค และด้านเครื่องสำอาง เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีความปลอดภัยราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น รวมทั้งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับพืชสมุนไพรในประเทศได้ จากการศึกษาพบว่าผัก ผลไม้ สมุนไพร และเครื่องเทศเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระไม่ว่าจะเป็นสารประกอบกลุ่มไตรเทอร์ปีน สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ และวิตามินซี เป็นต้น

เตยหอม เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่คนไทยรู้จักกันมาช้านาน เตยหอมเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวลักษณะแตกกอเป็นพุ่มขนาดเล็ก ชอบแสงแดดรำไร แต่ก็ทนต่อแสงแดดจัดได้ ส่วนใหญ่นิยมนำเตยหอมมาใช้ในการประกอบอาหารทำขนมหวาน ใช้ในการแต่งกลิ่น และยังมีประโยชน์ในแง่นำมาใช้ในการทำเครื่องหอมอีกด้วย นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ทำยารักษาโรคซึ่งตามตำรายาแผนโบราณกล่าวว่าใบเตยหอมมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงหัวใจ ช่วยลดการกระหายน้ำ ส่วนรากใช้

เป็นยาขับปัสสาวะ และรักษาโรคเบาหวาน นอกจากนั้นยังพบสารประกอบฟีนอลิก (นันท์นภัส, 2551) และ วิตามินซี ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เตยหอมจึงจัดเป็นวัตถุดิบสมุนไพรที่มีความน่าสนใจในแง่ของการเป็นพืชมีสามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากยังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการปลูกในด้านของ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และ ความเข้มแสงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเตยหอม ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาถึงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเตยหอม โดยปลูกเตยหอมภายใต้โรงเรือนที่คลุมด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำที่ยอมให้แสงผ่านในระดับที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับสภาพที่ได้รับแสงอย่างเต็มที่ และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกเตยหอม ผู้ผลิตสินค้า และผลิตภัณฑ์จากเตยหอม รวมถึงผู้บริโภคอย่างมาก โดยเกษตรกรผู้ปลูกเตยหอมสามารถปลูกเตยหอมมีสามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้สูง และสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่เตยหอมได้ ในส่วนของผู้ผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์จากเตยหอมเมื่อนำเตยหอมที่มีคุณภาพดีมาผลิตเป็นสินค้า จะส่งผลให้สินค้าเหล่านั้นมีคุณภาพที่ดีตามมา นอกเหนือจากนั้นยังสามารถต่อยอดนำไปผลิตเป็นสินค้าได้หลายรูปแบบ และมีคุณสมบัติเหมาะสมน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับ ในส่วนของผู้บริโภคเองเมื่อนำเตยหอมมาบริโภค หรือซื้อสินค้าที่ผลิตจากเตยหอมที่มีคุณภาพ จะทำให้ได้รับและบริโภคในสิ่งที่มีประโยชน์ต่อร่างกายตลอดจนสร้างความมั่นใจให้ผู้บริโภคตลอดจนเป็นการสร้างคุณค่า และมูลค่าให้กับเตยหอมไปพร้อมๆ กันตลอดจนเพื่อหาแนวทางการพัฒนา และส่งเสริมให้มีการนำเตยหอมมาปลูกให้เป็นพืชเศรษฐกิจเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

**วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

1. เพื่อศึกษาผลของความเข้มแสงที่เหมาะสมที่ใช้เพาะปลูกเตยหอมต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ถูกผลิตขึ้นมา
2. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสมของเตยหอมต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
3. เพื่อส่งเสริมให้เกษตรสามารถผลิตเตยหอมที่มีสารต้านอนุมูลอิสระได้สูง
4. เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่เตยหอม

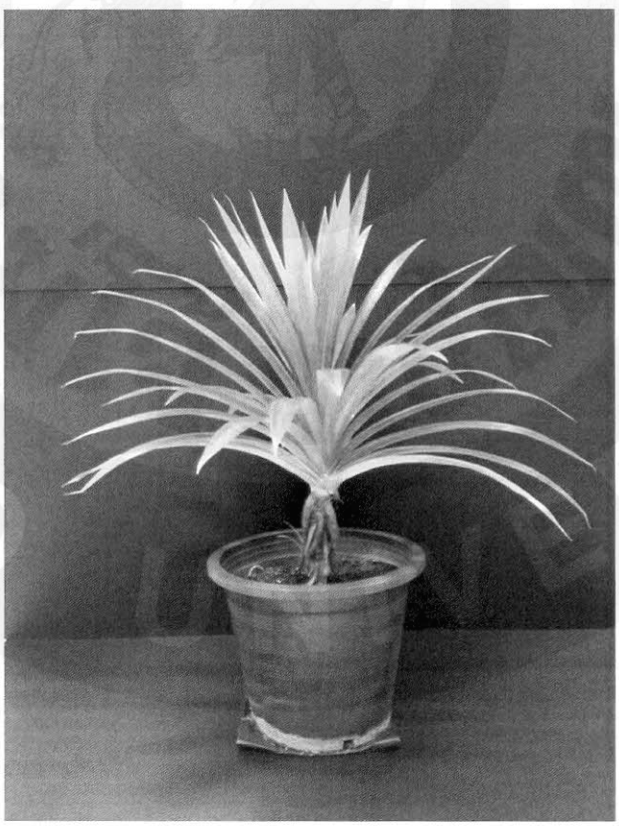
## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบปริมาณแสงที่เหมาะสมที่ใช้ในการเพาะปลูกเพื่อให้เตยหอมผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด
2. ทำให้ทราบระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสมของเตยหอมเพื่อให้เตยหอมคงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้สูงสุด
3. ได้แนวทางให้แก่เกษตรกรและประชาชนทั่วไปในการผลิตเตยหอม ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้บริโภคโดยใช้เป็นอาหาร เครื่องดื่ม หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ความงาม หรือยาสมุนไพร ให้มีคุณภาพและปลอดภัย
4. เพิ่มคุณค่า มูลค่า ให้แก่เกษตรกรจากผลผลิตเตยหอมที่ได้คุณภาพ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคและตลาด

# การตรวจเอกสาร

## 1. เตยหอม

เตยหอมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Pandanus amaryllifolius* Roxb. มีชื่อที่เรียกตามภาษาท้องถิ่นว่า ปาแม๊ะ ออริง หวานข้าวไหม้ หรือพั้งลั้ง เป็นต้น เตยหอมจัดอยู่ในวงศ์ Pandanaceae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ลักษณะแตกกอเป็นพุ่มขนาดเล็ก ใบเรียวยาวขอบใบเรียบ ผิวใบบนเป็นมันมีสีเข้มกว่าผิวใบล่าง ด้านท้องใบจะเห็นเป็นรูปคล้ายกระดูกงูเรือ ใบมีกลิ่นหอม เตยหอมเป็นพืชไม่มีดอก มีลำต้นสูงสูงประมาณ 2-3 เมตรดังแสดงในภาพที่ 1 เตยหอมเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวขึ้นเป็นกอและชอบขึ้นในที่ใกล้น้ำ ชื้นแฉะ เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียอาคเนย์ เตยหอมมีลักษณะลำต้นเป็นข้อๆ ข้อที่อยู่ใกล้โคนลำต้นจะมีรากงอกออกมาเพื่อค้ำลำต้น และขยายพันธุ์โดยใช้หน่อเล็กๆ (วันดี, 2538; สมพร, 2551) หลังจากปลูก 6 เดือนสามารถเก็บเกี่ยวใบไปใช้ประโยชน์ได้ (Nadaf and Zanan, 2012) ใบสดมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวใหม่โดยปกติมักนำใบเตยมาประกอบอาหารเป็นสารให้สีและกลิ่นที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (ช่อผกา, 2553) นอกจากนั้นเตยหอมประกอบไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และแคลเซียม เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1



**ภาพที่ 1** ลักษณะต้นเตยหอม

เตยหอมมีสมบัติในการลดน้ำตาลในเลือดของหนูทดลองทั้งในส่วนของรากลำต้นใต้ดินและใบ (เพ็ญโฉมและคณะ, 2530;เพ็ญโฉมและคณะ, 2553) ขณะที่สารสกัดจากใบเตยหอม มีผลในการเพิ่มความแรงและอัตราการเต้นของหัวใจซึ่งส่งผลต่อความดันเลือดด้วย (รัชวรรณ และวีระนุช, 2542; รัชวรรณ และวีระนุช, 2543) นอกจากนั้นใบเตยหอมยังมีคุณสมบัติในการทำให้ร่างกายสดชื่นลดอาการไข้ และยังช่วยบรรเทาอาการอาหารไม่ย่อยท้องอืดท้องเฟ้อ (Cheeptham and Towers, 2002) ในใบเตยหอมประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย สารต้านอนุมูลอิสระ (นันท์นภัส, 2551) และมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารหอมที่ให้กลิ่นในใบเตยมีหลายชนิดสำหรับสารหอมที่พบเป็นปริมาณหลักในใบเตยหอมสด คือสาร 3-methyl-2(5H)-furanone ซึ่งจะเป็นสารที่ให้กลิ่นในลักษณะกลิ่นฉุนหวานและกลิ่นคล้ายยา และยังพบสารที่ให้กลิ่นเหม็นเขียวเช่น 3-hexanol, 4-methylpentanol, 3-hexanone และ 2-hexanone ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ส่วนสาร 2-acetyl-1-pyrroline จะพบมากขึ้นในใบเตยหอมที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนพร้อมกับมีกลิ่นใบพืชต้ม หรือกลิ่นใบยาสูบ สำหรับสารที่มีกลิ่นคล้ายใบยาสูบ คือ β-damascenone, 4-hydroxy-3-pentanoic acid lactone และ trimethylcyclohexanedione (แววตา, 2547)

Zainuddin *et al.* (2004) พบว่าในใบเตยหอมมีสารประกอบพวก fatty acids และ ester ในขณะที่ Ooi *et al.* (2006) ตรวจพบสาร non-specific lipid transfer proteins ในใบเตยหอม นอกจากนั้นยังมีการตรวจพบสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมหลักในใบเตยหอม และยังเป็นสารชนิดเดียวกับที่ให้กลิ่นหอมในข้าวขาวดอกมะลิ 105 (น้องนุช, 2545) จึงทำให้มีหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาหาสารประกอบที่ให้กลิ่นในใบเตยหอม นอกจากนั้น Jiang *et al.* (1999) ได้ศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นในใบเตยหอม พบว่าในใบเตยหอมมีสารประกอบให้กลิ่นหลายชนิดโดยเฉพาะสาร 3-methyl-2(5H)-furanone ซึ่งให้กลิ่นในลักษณะฉุน หวาน และคล้ายยาซึ่งเป็นสารหอมที่พบเป็นปริมาณหลักโดยคิดเป็น 73% ของสารระเหยที่วิเคราะห์ได้ และยังพบสารให้กลิ่นเหม็นเขียวซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอมได้แก่ 3-hexanol, 4-methylpentanol, 3-hexanone และ 2-hexanone นอกจากนั้นยังพบสารพวก alcohol, carboxylic acid, ester, hydrocarbon และ furanone ในส่วนงานวิจัยของแววตา (2547) ได้ทำการศึกษาพบว่าใบเตยหอมมีสารระเหยหลายชนิดเช่น 2-pentyn-1-ol, methional, 2AP, 3-methyl-2(5H)-furanone, N-methyllpyrrole, 1,5-pentanediol, 4-ethylbenzaldehyde, 3-ethyl-4-methyl-(1H)-pyrrole-2,5-dione,

beta-damascenone, 2-ethyl-5-methylfuran, 4,5,6,7,8,9-hexahydrocyclooctafuran-1-(3H)–one และ 2-pentyl-2-cyclohexen-1-one

**ตารางที่ 1** ปริมาณสารอาหารในใบเตย (เกษตรพอเพียงคลับ, 2556)

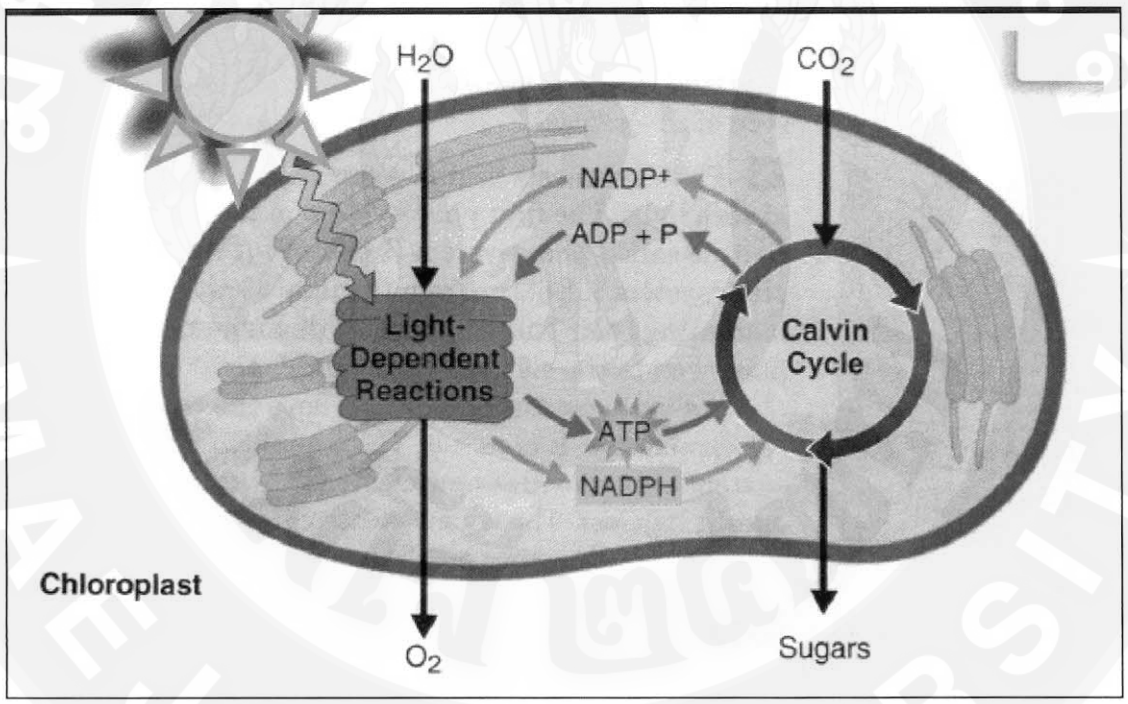
| สารอาหาร | ปริมาณต่อ 100 กรัม | |
|---|---|---|
| พลังงาน | 35 | กิโลแคลอรี่ |
| คาร์โบไฮเดรต | 4.6 | กรัม |
| โปรตีน | 1.9 | กรัม |
| ไขมัน | 0.8 | กรัม |
| วิตามินซี | 8 | มิลลิกรัม |
| เบต้าแคโรทีน | 3 | ไมโครกรัม |
| วิตามินบี 3 | 1.3 | มิลลิกรัม |
| วิตามินบี 2 | 0.2 | มิลลิกรัม |
| แคลเซียม | 124 | มิลลิกรัม |
| ฟอสฟอรัส | 27 | มิลลิกรัม |
| เหล็ก | 0.1 | มิลลิกรัม |

**2. ความเข้มแสง**

การสังเคราะห์แสง คือ กระบวนการซึ่งพืชสังเคราะห์สารอินทรีย์จากสารประกอบอนินทรีย์ โดยมีการใช้แสงร่วมด้วย ซึ่งสาหร่าย พืชชั้นสูง และแบคทีเรียบางชนิดสามารถรับพลังงานโดยตรงจากแสงอาทิตย์ และใช้พลังงานนี้ในการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ สำหรับประโยชน์ของการสังเคราะห์แสง นั้นเพื่อ

1. เป็นกระบวนการสร้างอาหารเพื่อการดำรงชีวิตของพืช
2. เป็นกระบวนการซึ่งสร้างสารประกอบชนิดอื่น ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช
3. เป็นกระบวนการซึ่งให้ก๊าซออกซิเจนแก่บรรยากาศ
4. ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในสภาวะสมดุล

การที่พืชรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ได้โดยตรงนี้ พืชต้องมีกลไกพิเศษ คือ มีรงควัตถุ (Pigment) สีเขียว ซึ่งเรียกว่า คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน Pyrrole 4 วง เรียงติดกัน มี Mg อยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นส่วนที่ดูดแสงเรียกว่า Head ส่วน Tail คือ Phytol ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในการจับพลังงานจากแสง นอกจากคลอโรฟิลล์แล้วรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงยังมีคาโรทีนอยด์ (Carotenoids) และไฟโคบิลินส์ (Phycobilins) สิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงได้จะมีรงควัตถุหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิด รงควัตถุเหล่านี้แสดงอยู่ในตารางที่ 2 โดยคลอโรฟิลล์ เอ นั้นจัดว่าเป็น primary pigment ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่น ๆ ต้องรับแสงแล้วจึงส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ เอ เรียกว่าเป็น Accessory pigment ในพืชชั้นสูงทั่ว ๆ ไปจะมีคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าคลอโรฟิลล์ บี ประมาณ 2-3 เท่า




**ภาพที่ 2** กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ที่มา: Donald E.(2015)

**ตารางที่ 2** รงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2547)

| ชนิดของรงควัตถุ | ช่วงแสงที่ดูดกลืนแสง (nm) | ชนิดของพืช |
|---|---|---|
| คลอโรฟิลล์ | | |
| คลอโรฟิลล์ เอ | 420, 660 | พืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่าย |
| คลอโรฟิลล์ บี | 435, 643 | พืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่ายสีเขียว |
| คลอโรฟิลล์ ซี | 445, 625 | ไดอะตอมและสาหร่ายสีน้ำตาล |
| คลอโรฟิลล์ ดี | 450, 690 | สาหร่ายสีแดง |
| คาร์โรทีนอยด์ | | |
| เบตา คาร์โรทีน | 425, 450, 480 | พืชชั้นสูงและสาหร่ายส่วนใหญ่ |
| แอลฟา คาร์โรทีน | 420, 440, 470 | พืชส่วนใหญ่และสาหร่ายบางชนิด |
| ลูตีออล (Luteol) | 425, 445, 475 | สาหร่ายสีเขียว สีแดงและพืชชั้นสูง |
| ไวโอลาแซนธอล (Violaxanthol) | 425, 450, 475 | พืชชั้นสูง |
| แกมมา คาร์โรทีน | - | แบคทีเรีย |
| ฟูโคแซนธอล (Fucoxanthol) | 425, 450, 475 | ไดอะตอมและสาหร่ายสีน้ำตาล |
| ไฟโคบิลินส์ | | |
| ไฟโคอีรีธรินส์ (Phycoerythrins) | 490, 546, 576 | สาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีน้ำเงิน |
| ไฟโคไซยานินส์ (Phycocyanins) | 618 | สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และสาหร่ายสีแดงบางชนิด |

การเจริญเติบโตของพืชถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายประการ ทั้งนี้เป็นปัจจัยภายใน เช่น พันธุกรรม และปัจจัยภายนอก ซึ่งได้แก่ สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่นแสง โดยแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง เพราะแสงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ลักษณะของแสงที่สำคัญต่อพืชสามารถจำแนกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ความเข้มแสง (light intensity) ความยาวช่วงแสง (light duration) และคุณภาพของแสง (light quality)

**2.1 ความเข้มของแสง (Light Intensity)**

ความเข้มของแสง (Light Intensity) คือปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ความเข้มของแสงที่เหมาะสม โดยที่มีปัจจัยอื่น ๆ เหมาะสมและการหายใจเป็นปกติ ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้

- พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี พืชพวกนี้มักนิยมปลูกไว้ในร่ม ตามชายคาบ้าน บริเวณข้างหน้าต่าง และไม้ประดับอาคารสถานที่

- พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพราง หรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว พืชพวกนี้นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร

- พืชกลางแจ้ง พวกนี้ต้องการความเข้มของแสงสูง มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง พวกนี้จะเป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้ความเข้มของแสงไม่เพียงพอ ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตของพืชที่ต่ำ และให้ผลผลิตน้อย หรือมีผลผลิตมีคุณภาพต่ำ ประกอบกับแสงมีความเข้มต่ำ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงก็จะต่ำลงไปด้วย ส่งผลให้มีพืชมีอาหารน้อยการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตจะเกิดได้น้อยตามไป พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำเช่นกัน ในกรณีความเข้มของแสงที่สูงเกินไปจะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้น และยังเป็นผลให้ระบบน้ำย่อยลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงและหากความเข้มแสงสูงเกินจุดอิ่มตัวแสง อาจทำให้ใบพืชไหม้เกรียมและตายได้ ถ้าพืชได้รับความเข้มแสงที่มากเกินไปจะทำให้จะทำให้ปากใบปิดและช่วยเร่งอัตราการหายใจหรือทำลายคลอโรฟิลล์ของพืช (Collard *et al.*, 1977) ในสภาพความเข้มแสงต่ำ พืชจะมีการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งคลอโรฟิลล์เอ และบี เป็นการเพิ่มปริมาณการดูดซับแสง ในทางตรงกันข้ามในสภาพที่ความเข้มแสงสูงปริมาณคลอโรฟิลล์จะต่ำ และคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะถูกทำลาย (วงจันทร์, 2535)

**2.2 คุณภาพของแสง (Light quality)**

คุณภาพของแสง (Light quality) หมายถึง ความยาวของคลื่นแสง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือคลื่นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง Infra Red ซึ่งจะทำให้ปล้องของพืชยืดยาวออก คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible light) มีหลายความยาวคลื่น โดยแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช คือ

- แสงสีม่วง และสีน้ำเงิน เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism
- แสงสีเขียว ระงับการเจริญเติบโตของพืช
- แสงสีเหลือง และสีส้ม เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด
- แสงสีแดง ส่งเสริมการงอกของแมล็ด
- แสงสีไกลแดง (Far Red) ยับยั้งการงอกของเมล็ด

โดยมากพืชมักต้องการแสงสีน้ำเงิน และแดงเป็นหลัก แต่สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อแดงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดพืชนั้นๆ เช่นการปลูกพืชโดยใช้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีฟ้าก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่างกัน เพราะแสงที่ผ่านตาข่ายพรางแสงสีดำจะให้คลื่นแสงสีน้ำเงินและแดงมากกว่าแสงที่ถูกกรองผ่านตาข่ายสีฟ้า

**2.3 ความยาวช่วงแสง (light duration)**

ความยาวช่วงแสง (light duration ) หมายถึง ระยะเวลานานของแสงในแต่ละวัน ซึ่งช่วงแสงในแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและท้องถิ่น โดยทั่วไปช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตด้านลำต้น และการเจริญเติบโตด้านสืบพันธุ์ การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- พืชวันสั้น เป็นพืชผักที่มีความต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆ สั้นกว่าช่วงวันวิกฤติจึงจะออกดอก โดยช่วงวันวิกฤตนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิดซึ่งพืชส่วนใหญ่จะมีช่วงวันวิกฤติ 12-14 ชั่วโมง พืชวันสั้น ได้แก่ กะหล่ำปม กะหล่ำดอก กะหล่ำดาว ผักกาดหอม เป็นต้น ดังนั้นผักสลัดซึ่งจัดอยู่ในตระกูลกะหล่ำจึงจัดเป็นพืชวันสั้นเช่นกัน
- พืชวันยาว เป็นพืชผักที่ต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆ ยาวกว่าช่วงวันวิกฤติ ได้แก่ ผักโขม เป็นต้น
- พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง เป็นพืชผักที่สามารถเจริญได้ดีไม่ว่าจะมีช่วงแสงสั้นหรือยาว ได้แก่ มะเขือเทศ ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น

พงษ์ศักดิ์ และ ยุทธนา (2550) ศึกษาผลของความเข้มแสงที่มีต่อผลผลิตของว่านสาวหลง โดยปลูกว่านสาวหลงในสภาพที่มีความเข้มแสง 10 30 และ 50% เปรียบเทียบกับสภาพกลางแจ้งที่ได้รับแสงเต็มที่ (ความเข้มแสง 100%) พบว่าที่ความเข้มแสง 50% ว่านสาวหลงให้ผลผลิตสูงที่สุด รองลงมาคือความเข้มแสง 30% ส่วนความเข้มแสง 100% ว่านสาวหลงให้ผลผลิตน้อยที่สุด

จารุฉัตร (2547) ศึกษาผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตของออนิโธกาลัม โดยการปลูกภายใต้สภาพการพรางแสง 4 ระดับ คือ ไม่พรางแสง พรางแสงด้วยตาข่าย 50% 1 ชั้น พรางแสงด้วยตาข่าย 75% 1 ชั้น และพรางแสงด้วยตาข่าย 50% 2 ชั้น พบว่า ความเข้มแสงมีผลต่อความสูงของต้น และจำนวนใบรวมต่อต้น โดยต้นที่ปลูกภายใต้สภาพการพรางแสงด้วยตาข่าย 50% 2 ชั้น มีความสูงของต้นมากที่สุด ส่วนการปลูกในสภาพที่ไม่มีการพรางแสง เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตไปได้ระยะหนึ่ง ใบเริ่มมีสีเหลือง แห้งเหี่ยว และหลุดร่วงไป

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักกาดเขียวปลี และคะน้ายอดใบแหลมที่ปลูกภายในโรงเรือนตาข่ายซึ่งได้รับความเข้มแสงสามระดับเปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง พบว่าผักทั้งสามชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าที่ปลูกกลางแจ้งอย่างมีนัยสำคัญ (เฉลิม, 2451; พณาไพร, 2541; รัศมี, 2541) และสอดคล้องกับรายงานการปลูกผักกาดหัวภายในโรงเรือนตาข่ายสามลักษณะเปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง โดยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบผักกาดหัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับความเข้มแสงลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักที่ปลูกภายในโรงเรือนตาข่ายซึ่งคลุมหลังคาด้วยตาข่ายสีดำชนิดพรางแสง 70% มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด และแตกต่างจากปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบผักที่ปลูกกลางแจ้งอย่างชัดเจน (วิรัตน์, 2542)

Brand (1997) ศึกษาผลของการพรางแสง 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบคาลเมีย (Kalmia: *Kalmia lalifolia* L.) จำนวน 5 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับสภาพที่ได้รับความเข้มแสงเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าคาลเมียที่ปลูกภายใต้สภาพการพรางแสงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นมากกว่าคาลเมียที่ได้รับความเข้มแสง 100 เปอร์เซ็นต์

การเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเช่นนี้เป็นกลไกที่สำคัญประการหนึ่งซึ่งทำให้พืชสามารถดูดซับและนำพลังงานแสงมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงได้เพิ่มมากขึ้น (Hale and Orcutt, 1987) การสะสมสารต่างๆ ภายในเซลล์พืชนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงเป็นปัจจัยที่ควบคุมการสังเคราะห์น้ำมันหอมระเหยในพืชหลายชนิด เช่น ใน *Salvia officinalis* ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสง 45 % จะมีการสะสมน้ำมันในใบได้มาก แต่ *Thymus vulgaris* ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสง 100 % จะมีการสะสมน้ำมันหอมระเหยได้มากที่สุด (Li *et al.*, 1996)

## 3. อนุมูลอิสระ และสารต้านอนุมูลอิสระ

### 3.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ โมเลกุล หรืออนุภาคที่มีอิเล็กตรอน (electron) ที่ไม่มีคู่อยู่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากการรับหรือขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัว โดยปกติธาตุต่างๆ ที่อยู่ในโมเลกุลที่เสถียรจะต้องมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ ในกรณีที่มีการสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนมาอีกหนึ่งตัวจะทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร และมีความว่องไวมาก สำหรับร่างกายของคนเรานั้นความไม่เสถียรของอนุมูลอิสระถือว่าเป็นปัญหาหรืออันตรายอย่างมาก ก่อให้เกิดความผิดปกติต่างๆ ในร่างกาย เพราะอนุมูลอิสระสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลปกติโดยการดึงอิเล็กตรอนมาหนึ่งตัว ทำให้โมเลกุลปกตินั้นขาดอิเล็กตรอน และกลายเป็นอนุมูลอิสระที่เป็นปัญหาแทน ทำให้ต้องไปแย่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นไปเรื่อยๆ (Pastor *et al.*, 2000) อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรคต่างๆ หลายชนิด การมีอนุมูลอิสระมากเกินสมดุลก่อให้เกิดภาวะที่เซลล์และร่างกายถูกออกซิไดซ์หรือภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (oxidative stress) ซึ่งสามารถนำไปสู่การทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ (โอภา และคณะ, 2550) โดยทั่วไปการสร้างอนุมูลอิสระเกิดขึ้นตลอดเวลา แต่ร่างกายมีระบบในการป้องกันตัวเองและสามารถช่วยลดความรุนแรงจากพิษของอนุมูลอิสระได้โดยอาศัยสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้โดยตรงเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไปหรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ

#### 3.1.1 แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ ( Sources of free radical)

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ จะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจน เกิดขึ้นอยู่ ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ มีสาเหตุมาจาก ปัจจัย ทั้งภายใน และภายนอกร่างกาย ดังนี้

##### 3.1.1.1 ปัจจัยภายในร่างกาย

ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะมีปฏิกิริยามากมาย ที่เกี่ยวข้องกับทั้งการสร้างและการสลายโมเลกุลของ สารที่เรียกว่ากระบวนการเมทาบอลิซึมซึ่งถือเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ตัวอย่างปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้แก่

**ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (auto-oxidation)** (Nawar, 1996)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (auto-oxidation) เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะเหนี่ยวนำเริ่มต้น (initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระโดยมีแสง หรืออุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ

$$RH + \text{initiator} \xrightarrow[\text{Temp}]{\text{light}} R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

2. ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี่ (peroxy radical) แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydro peroxide) และอนุมูลอิสระ ซึ่งถ้ามีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่งก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แล้วอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่ได้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH^{\bullet} + R^{\bullet}$$

3. ระยะสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกันกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร ดังสมการ

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$$

**ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Halliwell *et al.*, 1995)**

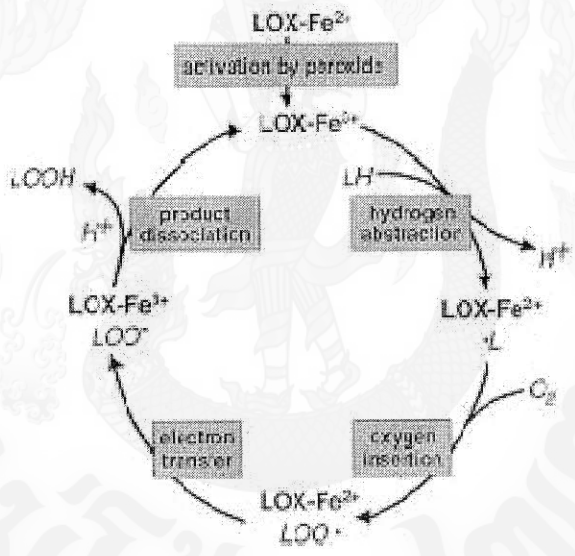
ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง คือการทำงานของเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิด ที่มีผลกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระภายในร่างกายได้แก่

1. เอนไซม์แซนธีนออกซิเดส (xanthine oxidase : XO) ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสลายเบสพิวรีน (purine) โดยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโพแซนธีน ( hypoxanthine) เป็นแซนธีน (xanthine) และแซนธีนเป็นกรดยูริก (uric acid) พร้อมๆ กับเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนให้ออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) ดังสมการ

$$\text{hypoxanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{xo} \text{xanthine} + H_2O_2 + O_2^{\bullet -}$$

$$\text{xanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{xo} \text{uric acid} + H_2O_2 + O_2^{\bullet -}$$

2. เอนไซม์ไลโพออกซีจีเนส (lipoxygenase: LOX) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (polyunsaturated fatty acid) ภายในโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก ($Fe^{2+}$) เป็นส่วนประกอบอยู่ ทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเพอรอกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** การทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน

**ที่มา:** Burton and Traber (1990)

**กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือด**

กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดในขั้นตอนการทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเฉพาะเชื้อโรคที่ถูกกลืนกินเข้ามาภายในร่างกาย เซลล์เม็ดเลือดขาวจะมีการดึงโมเลกุลออกซิเจน ($O_2$) มาใช้เป็นจำนวนมากเพื่อผลิตเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) โดยการทำงานของเอนไซม์ NADPH ออกซิเดส (NADPH oxidase) ที่อยู่บนเยื่อบุชั้นนอก (outer membrane) ของเม็ดขาว ดังสมการ

$$2O_2 + NADPH \longrightarrow 2O_2^{\bullet-} + NADP + H^+$$

นอกจากนี้ในเม็ดสี (granule) ของเม็ดเลือดขาวยังมีเอนไซม์ไมอีโลเทอรอกซีเดส (myeloperoxidase) ทำให้เกิดอนุมูลไฮโปคลอรัส (hypochlorus, $HOCl^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารที่ทำลายจุลชีพได้ ดังสมการ

$$H_2O_2 + Cl^- \longrightarrow HOCl^{\bullet} + oH^-$$

**โลหะทรานซิชัน ( transition metal) (Halliwell, 2009)**

โลหะทรานซิชัน 2 ชนิดคือ เหล็ก ($Fe^{2+}$) และทองแดง ($Cu^{2+}$) ที่มีอยู่ทั่วไปในร่างกาย สามารถเร่งการสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล จากซูปเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, $H_2O_2$) ในปฏิกิริยา Fenton (Fenton's reaction) ดังสมการ

$$H_2O_2 + O_2^{\bullet-} + Fe^{2+} + /Cu^{2+} \longrightarrow OH^{\bullet} + OH^- + O_2$$

**3.1.1.2 ปัจจัยภายนอกร่างกาย**

ปัยจัยภายนอกร่างกายที่ก่อให้ให้เกิดอนุมูลอิสระเกิดได้จาก เช่น ยารักษาโรค ยาบางชนิดที่รับประทานเข้าไปในร่างกายสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งยาในกลุ่มต้านจุลชีพ และต้านมะเร็ง เช่น บลีโอไมซิน(bleomycin), แอนทราไซคลินส์ (antracyclines) (Voest *et al.*, 1994) และเมโธทรีเสต(methotrexate) (Gressier *et al.*, 1994) เนื่องจากมีฤทธิ์เสริมปฏิกิริยาออกซิเดชัน ( pro-oxidation)

การใช้รังสีรักษาโรค เช่น รังสีเอกซ์ ( X-ray), รังสีแกมมา ( $\gamma$-ray) อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิด อนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายจากการถ่ายทอดพลังงานให้กับน้ำ ซึ่งเป็น

ส่วนประกอบของเซลล์แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาขั้นต่อไป (secondary reaction) กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเซลล์นั้นได้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น (Halliwell *et al.*, 1995)

ควันบุหรี่ ในควันบุหรี่มีส่วนประกอบของไนตริกออกไซด์ (NO), ไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_2$) และเพอรอกซีไนไตรท์ ($ONOO^-$) รวมทั้งสารมลพิษได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) และคาร์บอนเตรตตะคลอไรด์ ($CCl_4$) ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการทำงานของเอนไซม์ ไซโทโครม P-450 ไฮดรอกซีเจส (cytochrome P-450 hydroxylase) ที่มีอยู่มากในเซลล์ตับ และพบได้บ้างในเซลล์ปอด และลำไส้เล็กทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ภายในเซลล์ดังกล่าว (Bast *et al.*, 1991)

โอโซนไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระแต่จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้จากการกระตุ้นของคลื่นแสง (Valacchi *et al.*, 2004)

### 3.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบไนโตรเจน และแคโรทีนอยด์ (Velioglu *et al.*, 1998) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ คือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหาร และยาได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายทะเล, แบคทีเรีย, เชื้อรา และพืชชั้นสูง (Chattopadhyay *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และส่วนที่สอง คือ กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือเบต้าแคโรทีน รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งเป็นพฤกษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผัก และผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase), กลูตาไธโอนเพอรอกซิเดส (glutathione peroxidase) และซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide

dismutase) หรือสารประกอบโปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน (albumin), บิลิรูบิน (bilirubin), เซอรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin), กลูตาไธโอน (glutathione), ทรานสเฟอริน (transferrin) , ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่างๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมดจะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า "oxidative stress" ขึ้น ภายใต้สภาวะดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะ และเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายซึ่งถ้าสะสมมากๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง

**3.2.1 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ**

สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระมีอยู่จำนวนมากทั้งที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นและที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ในพืช โดยทั่วไปจะพบสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ โคเอนไซม์คิวเทน และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น วิตามินซี (ascorbic acid), วิตามินอี ($\alpha$-tocopherol) และกลูตาไธโอน (gluthatione) เป็นต้น จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสมุนไพร และผักพื้นบ้านไทยหลายชนิดมีสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรสเป็นองค์ประกอบ ทำให้ผู้คนเล็งเห็นถึงความสำคัญของการบริโภคผัก และสมุนไพรพื้นบ้านที่ปลอดสารพิษมากขึ้นเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดีซึ่งสอดคล้องกับ (สมหมาย, 2551) ที่กล่าวว่า พืชที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมักจะมีสารประกอบหลักคือสารฟีนอลิก ได้แก่ ฟลาวานอยด์ กรดฟีนอลิก และแอนโธไซยานิน ซึ่งพบทั่วไปในใบ ลำต้น และเปลือกของพืช

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพร ได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด ได้แก่

**1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants)**

สารประกอบฟีนอลิคสังเคราะห์ 5 ชนิด ได้แก่ propyl gallate, 2- butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นสี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพ และความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Pokorny *et al.*, 2001)

**2. สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants)**

สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล $H^{\cdot}$ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH^{\cdot}$ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชันคือ $Fe^{2+}$ และ $Cu^{2+}$ เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Sanchez-Moreno *et al.*, 2000) สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาตินานาชนิดสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ ( *in vitro*) และในสิ่งมีชีวิต (*in vivo*)

**3.2.2 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ**

กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระจากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีหลายกลไก ดังนี้

**1. ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging)**

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Valacchi *et al.*, 2004)

$$R^{\bullet}+AH \longrightarrow RH+A^{\bullet}$$

$$RO^{\bullet}+AH \longrightarrow ROH+A^{\bullet}$$

$$R^{\bullet}+A^{\bullet} \longrightarrow RA$$

$$RO^{\bullet}+A^{\bullet} \longrightarrow ROA$$

**2. ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2$*)**

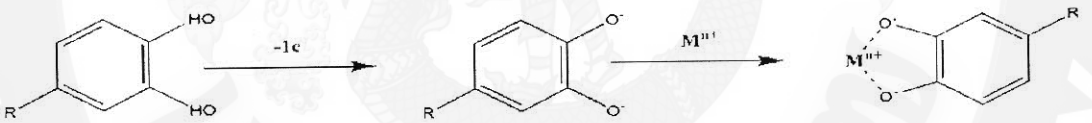
สารต้านอนุมูลอิสระสามารถสามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซเจน ซึ่งได้แก่สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) โดยการเปลี่ยน ($^1O_2$*) ให้อยู่ในรูปทริปเปร็ท ( triplet oxygen ($^3O_2$) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อนโดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล (Frankel, 1998)

$$^1O_2^* + {}^1Car \longrightarrow {}^3O_2 + {}^3Car^*$$

$$^3Car^* \longrightarrow {}^1Car + \text{thermal energy}$$

**3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation)**

โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ $Fe^{2+}$ และ $Cu^{2+}$ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถเข้าไปยับยั้งการทำงานของโลหะได้ เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น (Sanchez-Moreno *et al.*, 2000) สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์



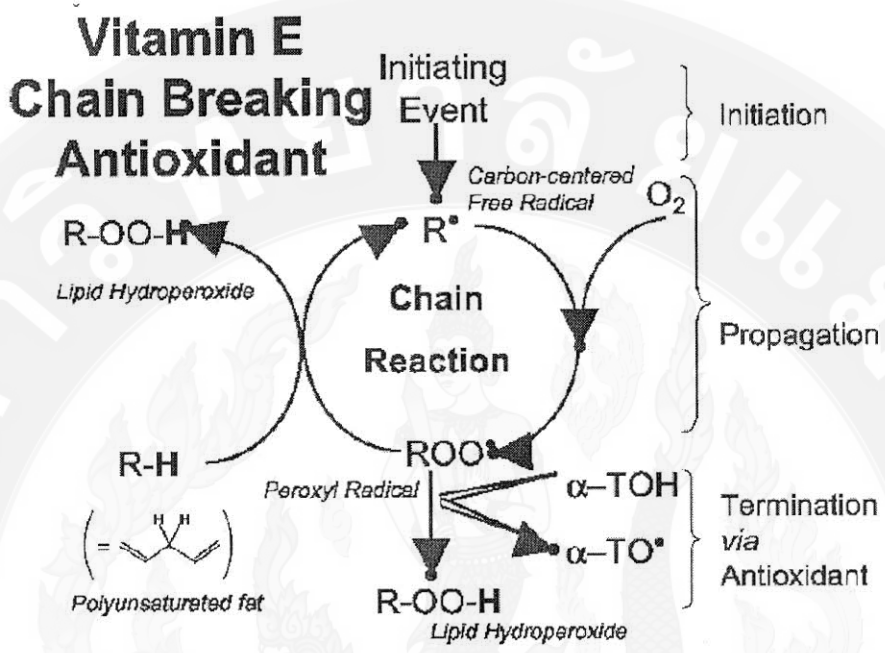

**4. หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking)**

วิตามินอี (α-tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid auto oxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxyl (ROO$^{\cdot}$) (Burton and Traber, 1990)

**5. เสริมฤทธิ์**

สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่างวิตามินอี (α-tocopherol) กับวิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานในสภาวะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลแอลฟ่า-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (α-tocopherol peroxyl) ที่เกิดจากการ

ทำปฏิกิริยาระหว่างแอลฟ่า-โทโคฟีรอลกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO˙) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นแอลฟ่า-โทโคฟีรอลที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1998)




**ภาพที่ 4** การทำงานของวิตามินอีในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน

**ที่มา:** Borton and Traber (1990)

**6. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition)**

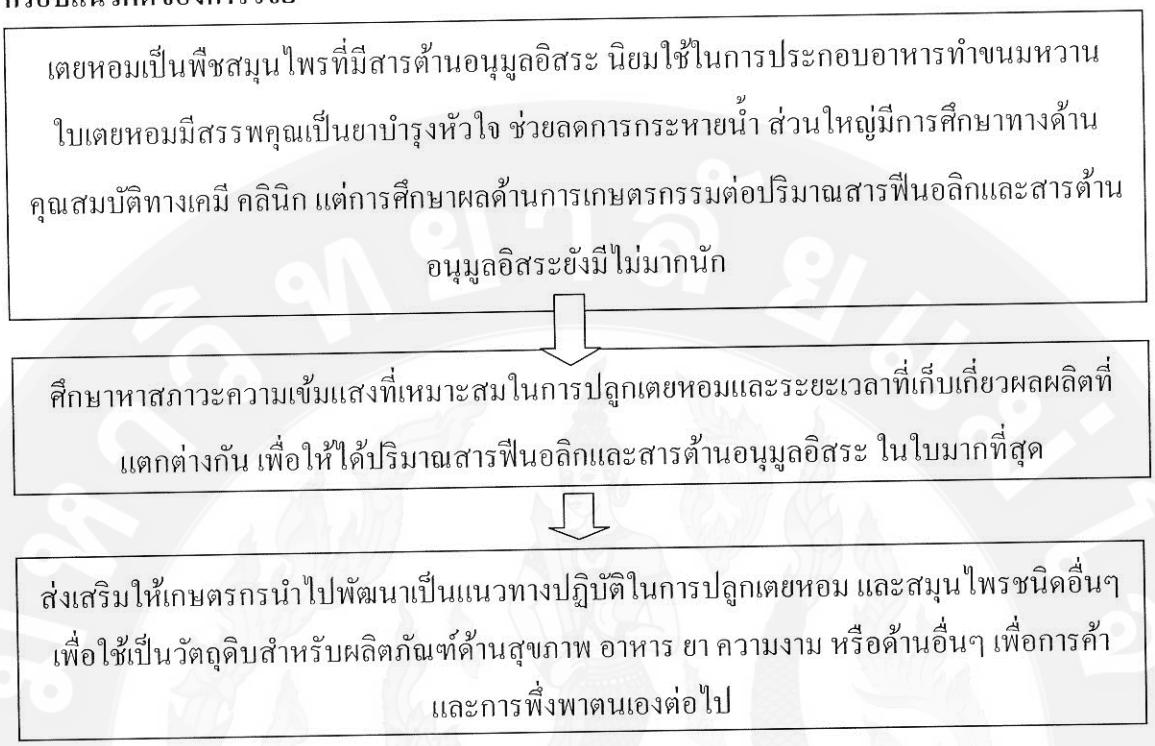
สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ (flaronoid) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิโพออกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (Puerta, 1999)

**ตารางที่ 3** ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิกส์และวิตามินซีในผักและสมุนไพรจำนวน 15 ชนิด

| ผักและสมุนไพร | สารต้านอนุมูลอิสระ (FeFmM/gFW) | สารประกอบฟีโนลิกส์ (GAEmM/gFW) | วิตามินซี (AEACmM/gFW) |
|---|---|---|---|
| 1. กะหล่ำม่วง | 30.4 | 53.6 | 4.4 |
| 2. หญ้าหนอนตายซาก | 26.5 | 80.4 | 3.9 |
| 3. พริกไทย | 25.1 | 54.7 | 0.67 |
| 4. กระเทียม | 15.3 | 46.5 | 0.7 |
| 5. หนุมานประสานกาย | 11.5 | 73.1 | 1.5 |
| 6. ผักชี | 9.1 | 31.6 | 1.6 |
| 7. ใบเตย | 6.5 | 46.5 | 1.64 |
| 8. ผักขมจีน | 5.2 | 50.3 | 1.59 |
| 9. กะหล่ำดอก | 4.6 | 16.5 | 2.0 |
| 10. ถั่วฝักยาว | 3.7 | 12.1 | 0.7 |
| 11. หัวไชเท้า | 3.2 | 10.3 | 0.85 |
| 12. กะหล่ำปลี | 2.9 | 7.3 | 1.02 |
| 13. เห็ดเข็มทอง | 2.0 | 13.6 | 0.4 |
| 14. ผักกาดขาว | 1.47 | 6.1 | 0.66 |
| 15. ยอดฟักแม้ว | 1.43 | 10.4 | 0.03 |

ที่มา : นันท์นภัส (2551)

**กรอบแนวคิดของการวิจัย**



# อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

**1.ขอบเขตการศึกษา**

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ที่ระยะเวลา 5 6 และ 7 เดือน ต่อ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตย โดยใช้แปลงทดลองปลูกสาขาวิชาพืชไร่ และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาการสมุนไพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

**2. วัสดุอุปกรณ์**

ในการวิจัยนี้ ได้ใช้สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ ดังแสดงในตาราง 2 และ 3

**ตารางที่ 4** สารเคมีที่ใช้การทดลอง

| สารเคมี | บริษัทผู้ผลิต | ประเทศ |
|---|---|---|
| 1. ABTS ($C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$) | Sigma | USA |
| 2. Asiaticoside ($C_{48}H_{78}O_{19}$) | Sigma | USA |
| 3. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl($C_{18}H_{12}N_5O_6$) | Fluka | Germany |
| 4. Folin-Ciocalteu´s phenol reagent | Merck | Germany |
| 3. Gallic acid ($C_7H_6O_5$) | Fluka | Germany |
| 5. Methanol($CH_3OH$) | Labscan | UK |
| 6. Sodium carbonate anhydrous | Fluka | Germany |

**ตารางที่ 5** เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง

| เครื่องมือ อุปกรณ์ | บริษัทผู้ผลิตและรุ่น | ประเทศ |
|---|---|---|
| 1. เครื่องชั่ง | ADAM | UK |
| 2. เครื่องระเหยแห้งชนิดสุญญากาศ | BuChi | Thailand |
| 3. เตาอบลมร้อน | | Thailand |
| **4.** UV-VIS Spectrophotometer | 910SUV-VIS | USA |

**3. วิธีการวิจัย**

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งวิธีการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

**วัตถุประสงค์ที่ 1** เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตย

**วัตถุประสงค์ที่ 2** เพื่อศึกษาผลของความเข้มของแสงต่อปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตย

โดยทำการปลูกใบเตยตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ที่มีความเข้มแสงต่างกัน 4 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 13 ต้น และระยะเวลาเก็บเกี่ยว 3 ระยะ (5 6 7 เดือน) ดังแสดงในภาพที่ 5 ปลูกในโรงเรือนที่คลุมด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำ ด้านบนสูงจากพื้น 2 เมตร ให้ภายในแปลงมีความเข้มแสง 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในภาพที่ 3 หลังจากนั้นเตรียมดินปลูกใช้หน้าดินผสมแกลบดิบ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3 : 1 : 1 ผสมเข้ากันให้ทั่วก่อนแบ่ง แล้วเทใส่กระถางหลังจากนั้นปลูกเตยหอมลงไป แล้วดูแลรักษาต้นเตยหอมโดยให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ จัดการศัตรูพืช ให้ปุ๋ยอินทรีย์ทุกๆ 15 วัน

ปัจจัยที่ทำการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย

ปัจจัยที่ 1 รูปแบบของความเข้มแสง จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่

1.1 ความเข้มแสงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์

1.2 ความเข้มแสงระดับ 40 เปอร์เซ็นต์

1.3 ความเข้มแสงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์

1.4 ความเข้มแสงระดับ 100 เปอร์เซ็นต์

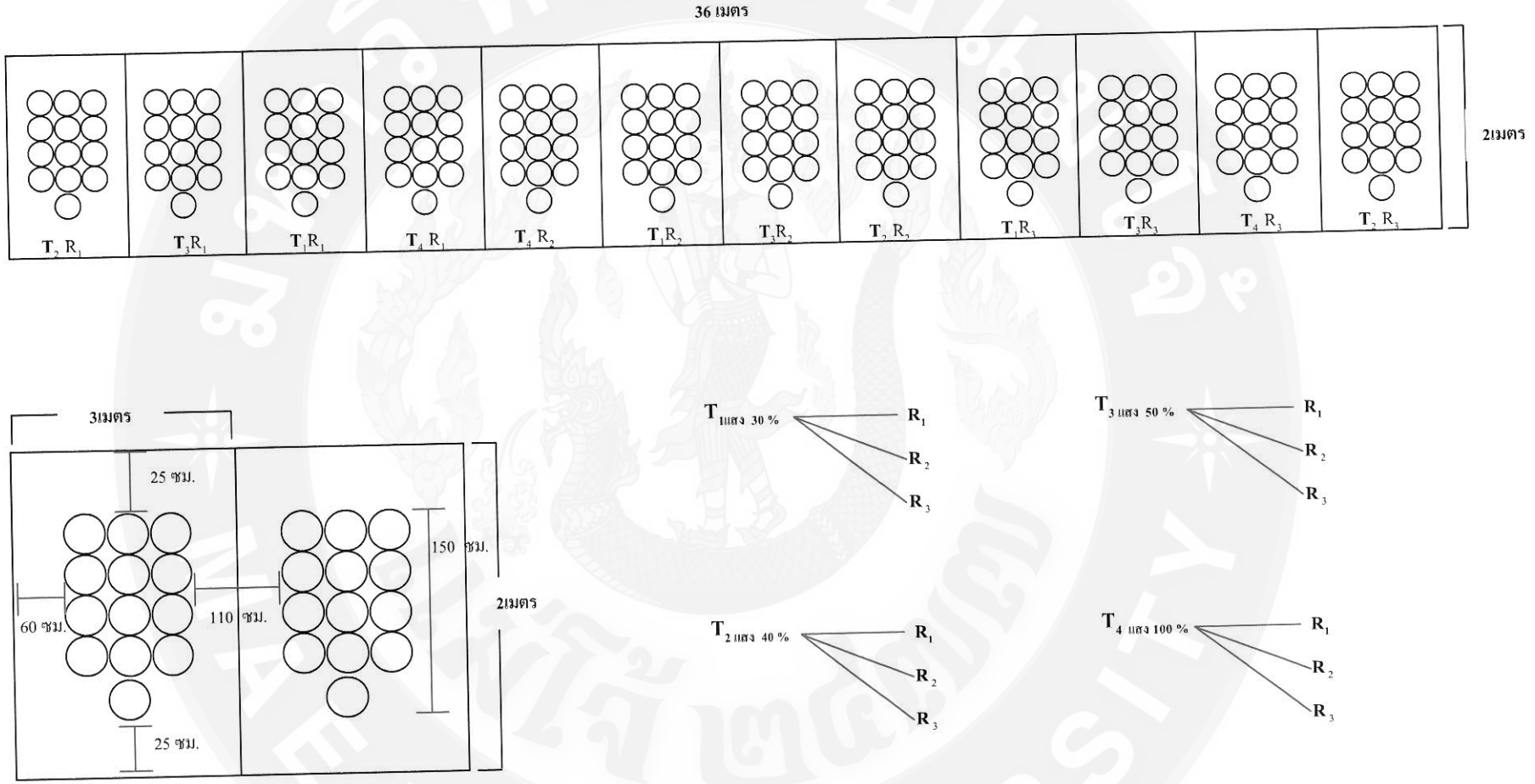
ปัจจัยที่ 2

2.1 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 5เดือน

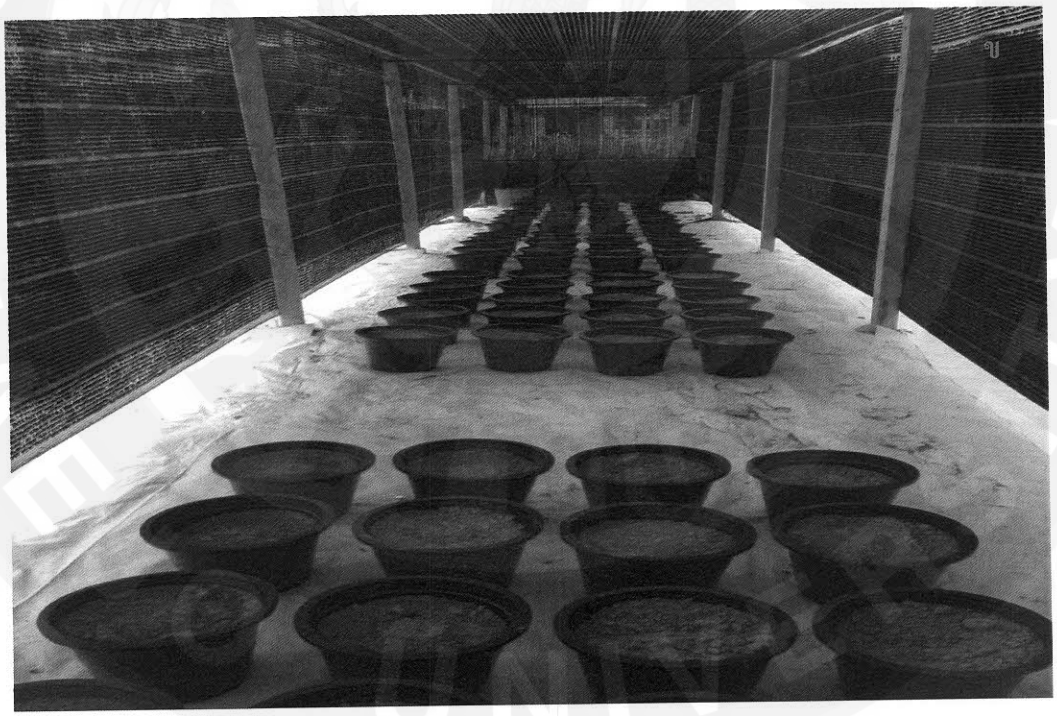
2.2 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 6 เดือน

2.3 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 7 เดือน

หลังจากปลูกตามระยะเวลาที่แผนกำหนดแล้วจะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป




**ภาพที่ 5** รูปแบบการวางแผนการปลูกใบเตย




**ภาพที่** 6โรงเรือนที่ใช้ในการเพาะปลูกต้นใบเตย (ก. สภาพโรงเรือนภายนอก และ ข. สภาพเรืองเรือนภายใน)

**3.1 ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตและความเข้มของแสงต่อปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตย**

ในการทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตยนั้น จะประกอบด้วย 3 วิธีด้วยกันคือ ทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics content)ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) และ ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 การเตรียมพืชตัวอย่าง

หลังจากปลูกตามระยะเวลาตามแผนการปลูกที่กำหนดแล้ว ทำการเก็บเกี่ยวใบเตยโดยนำตัวอย่างที่เก็บเกี่ยวได้ มาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง หลังจากนั้นบดตัวอย่างที่อบแห้งให้เป็นผงละเอียด

3.1.2 การเตรียมสารสกัดจากใบเตย

วิธีการเตรียมตัวอย่างได้ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Pumtes *et al.* (2012) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ชั่งตัวอย่างใบเตยจากข้อ 3.1.1 มา 3.0 กรัมแล้วเติมด้วยเอทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วแช่ตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มากรองและนำไประเหยให้แห้ง แล้วทำการละลายสารสกัดหยาบ ด้วยเมทานอลปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในตู้เย็น เพื่อรอการวิเคราะห์ ต่อไป

3.1.3 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยใช้ Folin-Ciocalteu's reagent (Total phenolics content by Folin-Ciocalteu's reagent)

- การสร้างกราฟมาตรฐานจากสารมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารมาตรฐานแกลลิกที่ความเข้มข้น 50 – 600 พีพีเอ็ม หลังจากนั้นทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาอย่างละ 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 2.0 % (w/v) ปริมาตร 2.0มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.1 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้30 นาที

นำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน

- การทดสอบสารตัวอย่าง

ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1.2 มา 0.1 มิลลิลิตรละลายและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นหลังจากนั้น ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง ทำ

การเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 2.0 % (w/v) ปริมาตร 2.0มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.1 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้30 นาที เหมือนกับวิธีการเตรียมสารมาตรฐาน นำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยเทียบจากกราฟมาตรฐานของแกลลิค รายงานผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเทียบเท่าปริมาณแกลลิกต่อน้ำหนักของใบเตย 1 กรัมแห้ง (milligram gallic acid equivalent per gram dried weight, mgGAE/ g DW)

3.1.4 ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Singh *et al.* (2002)โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1.2 มา 0.1 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นหลังจากนั้น ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่างมาคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงกับหลอดควบคุมโดยแสดงในค่าของร้อยละการยับยั้ง คำนวณได้ดังสมการ

$$\%\ \text{DPPH radical scavenging activity} = \left( \frac{A_{ctrl} - A_{sample}}{A_{ctrl}} \right) 100$$

เมื่อ $A_{ctrl}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม

$A_{sample}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

3.1.5 ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Thaipong *et al.* (2006) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1.2 มา 0.1 มิลลิลิตรละลายและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นหลังจากนั้น ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย ABTS เข้มข้น 7.0 mM ใส่ลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 6 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่างมาคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงกับหลอดควบคุมโดยแสดงในค่าของร้อยละการยับยั้ง คำนวณได้ดังสมการ

$$\%\text{ABTS radical scavenging activity} = \left( \frac{A_{ctrl} - A_{sample}}{A_{ctrl}} \right) 100$$

เมื่อ $A_{ctrl}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม

$A_{sample}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

3.1.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

งานวิจัยครั้งนี้ ใช้โปรแกรม SPSS for window version 17.0 มาวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลการทดสอบวิเคราะห์โดยวิธี Duncan ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## ผลการวิจัย

### 1. การปลูกใบเตย

ในการวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ที่มีความเข้มแสงต่างกัน 4 ระดับ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 3 ระยะ (5 6 7 เดือน) ปลูกในโรงเรือนที่คลุมด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำ ด้านบนสูงจากพื้น 2 เมตร ให้ภายในแปลงมีความเข้มแสง 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเตรียมดินปลูกใช้หน้าดินผสมแกลบดิบ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3 : 1 : 1 ผสมเข้ากันให้ทั่วก่อนแบ่ง แล้วเทใส่กระถางหลังจากนั้นปลูกเตยหอมลงไป แล้วดูแลรักษาต้นเตยหอมโดยให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ จัดการศัตรูพืช ให้ปุ๋ยอินทรีย์ทุกๆ 15 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4

ปัจจัยที่ทำการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย

ปัจจัยที่ 1 รูปแบบของความเข้มแสง จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่

1.1 ความเข้มแสงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์

1.2 ความเข้มแสงระดับ 40 เปอร์เซ็นต์

1.3 ความเข้มแสงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์

1.4 ความเข้มแสงระดับ 100 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2

2.1 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 5 เดือน

2.2 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 6 เดือน

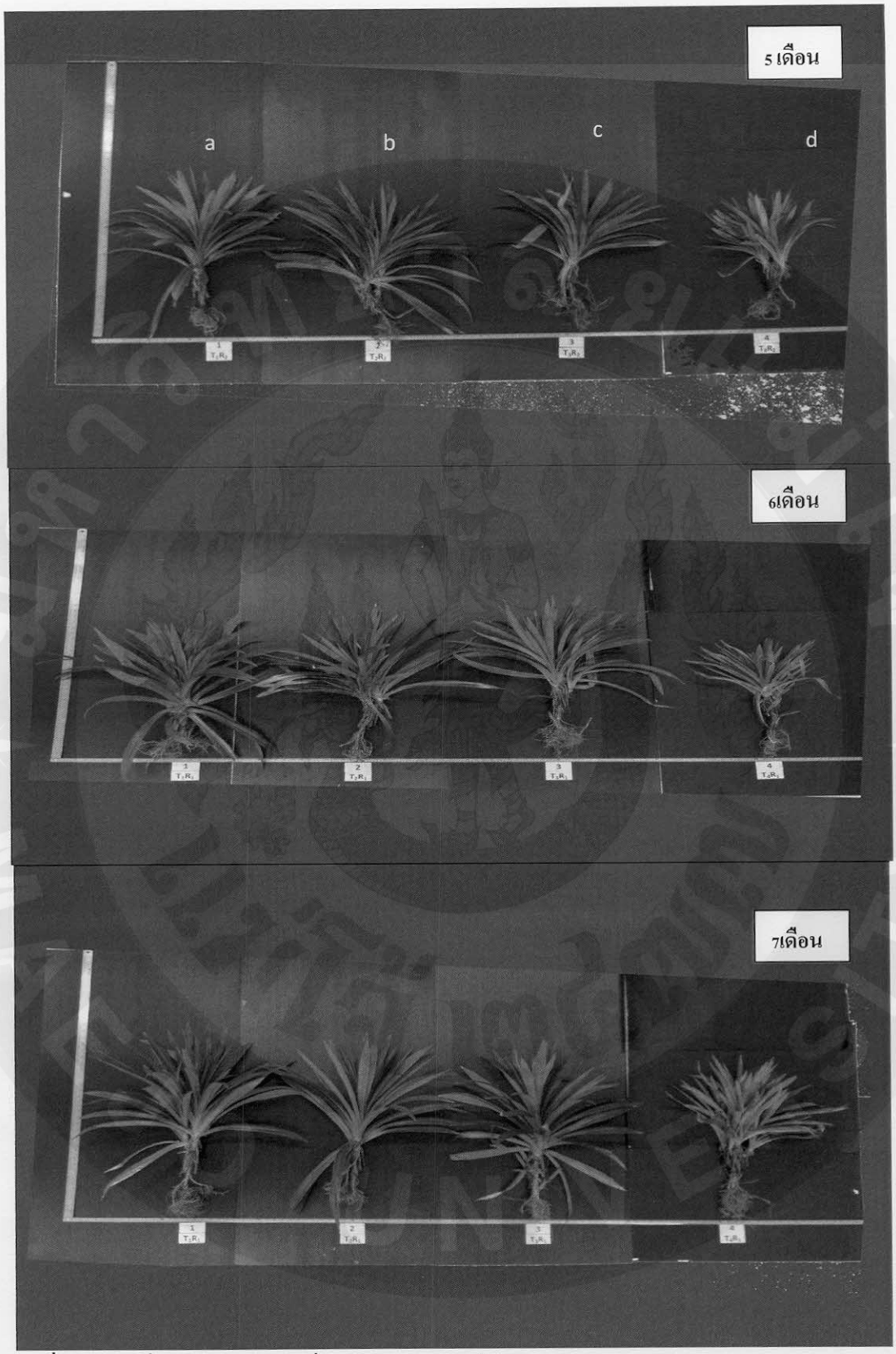
2.3 ระยะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังปลูก 7 เดือน

หลังจากนั้นทำการเก็บเกี่ยวใบเตยตามระยะเวลาปลูกคือ 5, 6,และ 7 เดือน แล้วนำใบเตยที่เก็บเกี่ยวได้มาล้างทำความสะอาด และผึ่งลมให้แห้ง ชั่งน้ำหนักใบเตยของแต่ละระยะการปลูก น้ำหนักของใบเตยที่เก็บเกี่ยวได้ แสดงดังในตารางที่ 6 นำใบเตยที่เก็บเกี่ยวได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ชั่งน้ำหนักแห้งที่ได้ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics content)ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) และ ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazoline–6-sulphonic acid) ต่อไป

ก ข

ค

**ภาพที่ 7** การปลูกใบเตย (ก. ต้นกล้าใบเตย ข. ใบเตยพร้อมปลูกลงในกระถาง และ ค. พื้นที่สำหรับปลูกใบเตย)



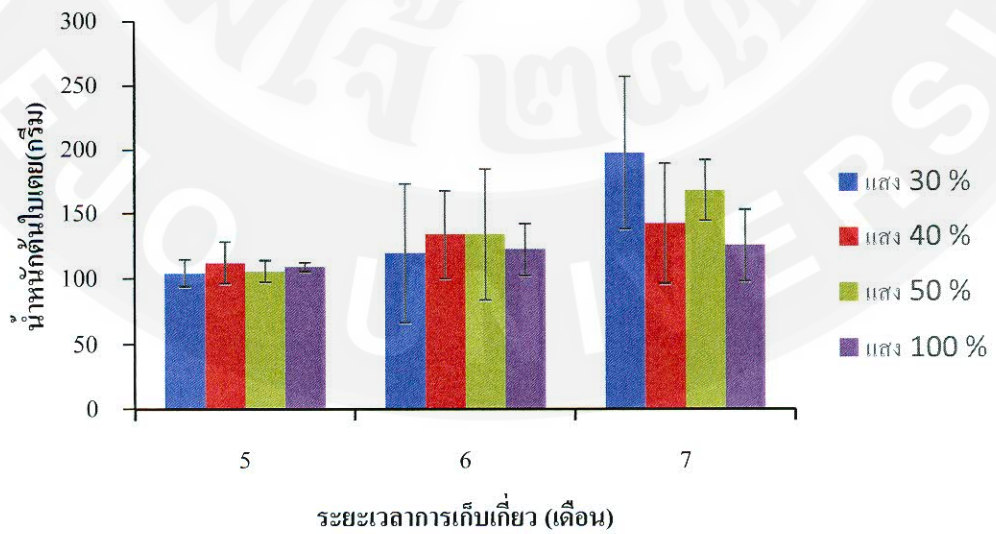

**ภาพที่ 8** ใบเตยที่ทำการเพาะปลูกที่ระยะ5 6 และ 7 เดือน (a แสง 30 % b แสง 40 % c แสง 50 % d แสง 100 %)

**ตารางที่ 6** น้ำหนักสดของใบเตยต่อปัจจัยการทดลอง ที่เก็บเกี่ยว ณ ระยะเวลาปลูกต่างๆ

| ระดับความเข้ม | น้ำหนักสดของใบเตยต่อ 3 ต้น ( กรัม ) | | |
|---|---|---|---|
| แสง (%) | 5เดือน | 6เดือน | 7เดือน |
| 30 | 104.58± 10.18 | 120.00± 53.44 | 197.50± 59.74 |
| 40 | 112.50± 15.82 | 134.17± 33.94 | 142.75± 46.42 |
| 50 | 105.83± 8.37 | 134.17± 50.52 | 168.33± 23.63 |
| 100 | 109.17 ± 3.39 | 122.50± 19.84 | 125.83± 27.54 |
| F-test 0.05 | ns | ns | ns |
| % C.V. | 3.30 | 5.90 | 19.71 |

**หมายเหตุ**: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความต่างกันทางสถิติที่ P=0.05 โดย DMRT (Dancan Mulitple Range Teat)

จากผลข้อมูลน้ำหนักสดของใบเตยที่เพาะปลูกได้ จะพบระดับความเข้มของแสงที่ให้ไม่มีผลแตกต่างกันต่อปริมาณของผลผลิตน้ำหนักสดของเตยเหยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้นแนวโน้มของปริมาณของผลผลิตน้ำหนักสดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ดังแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 9 ตามลำดับ



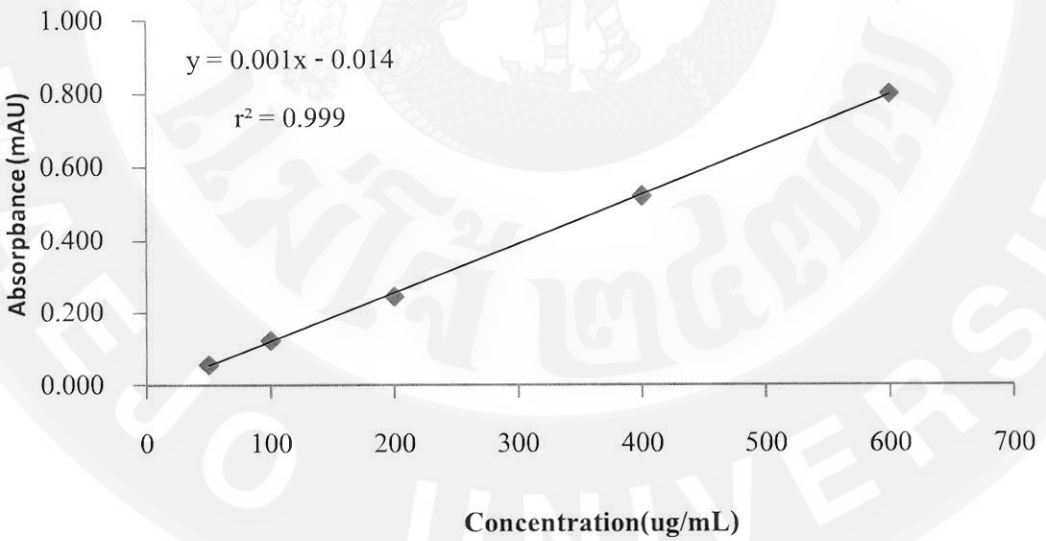

**ภาพที่ 9** น้ำหนักสดของใบเตยที่ความเข้มแสง ๆ ต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว

2. **ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตและความเข้มของแสงต่อปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตย**

ในการทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระของใบเตยนั้น จะประกอบด้วย 3 วิธีด้วยกันคือ ทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics content)ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) และ ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid)

**2.1 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยใช้ Folin-Ciocalteu's reagent (Total phenolics content by Folin-Ciocalteu's reagent)**

เตรียมสารมาตรฐานกรดแกลลิกในช่วงความเข้มข้น 50-600 พีพีเอ็ม นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายของ Folin-Ciocalteu's reagent แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 750 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารมาตรฐานกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 10




**ภาพที่ 10** กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดแกลลิก ช่วงความเข้มข้น 50-500 พีพีเอ็ม

เมื่อนำสารสกัดตัวอย่างใบเตยที่เตรียมได้ มาทำปฏิกิริยากับสารละลายของ Folin-Ciocalteu's reagent แล้ว นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 11

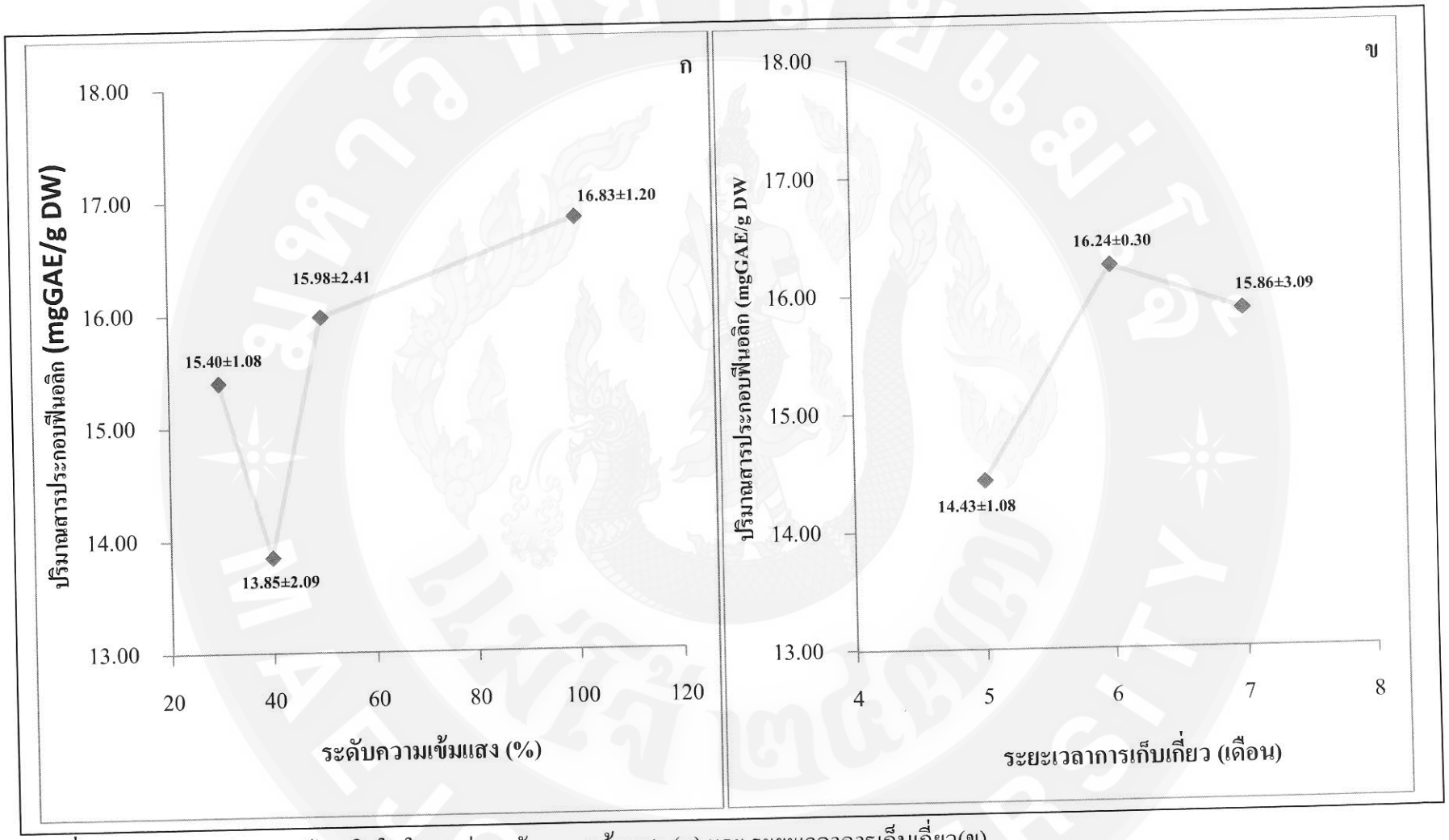
**ตารางที่ 7** ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

| ระดับความเข้มแสง(%) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mgGAE/g DW) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 5 เดือน | 6 เดือน | 7 เดือน | Mean |
| 30 | 14.52 | 16.60 | 15.07 | $15.40\pm1.08^{b}$ |
| 40 | 13.72 | 16.00 | 11.82 | $13.85\pm2.09^{c}$ |
| 50 | 13.56 | 15.99 | 18.38 | $15.98\pm2.41^{b}$ |
| 100 | 15.92 | 16.38 | 18.19 | $16.83\pm1.20^{a}$ |
| **Mean** | $14.43\pm1.08^{C}$ | $16.24\pm0.30^{A}$ | $15.86\pm3.09^{A}$ | |
| Signification level | | | | |
| ระดับความเข้มแสง | | | * | |
| ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |
| ระดับความเข้มแสงx ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |

หมายเหตุ : n = 3, * หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), $^{a,b,c}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระดับความเข้มแสง, $^{A,B,C,}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

จากผลการทดลอง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ ที่ระยะเวลาหลังปลูก 5, 6, และ 7 เดือน พบว่าให้ผลทดสอบทางสถิติที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่ เดือน 6 และ 7 เดือน จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด ในส่วนของชนิดของความเข้มแสงที่ให้ในการปลูกใบเตยนั้น พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน โดยพบว่าที่ระดับความเข้มของแสง 100 % จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 7

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในใบเตยจะอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่พืชสร้างขึ้นโดยมีปัยจัยหลายๆ ส่วนที่มีผลต่อการสร้างสารกลุ่มดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็น สายพันธ์ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว สภาวะแวดล้อม สภาวะการปลูก และสภาวะความเครียดที่เกิดจาก แมลง อุณหภูมิ พืชขาดธาตุอาหาร เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการสร้างสารกลุ่มเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolite)โดยที่ระยะเวลาปลูก 6 และ 7 เดือน และประกอบกับแสงที่ให้กับใบเตยที่ 100 % ส่งผลทำให้ ใบเตยอยู่ในสภาวะเครียด และ เมื่อพืชเกิดสภาวะเครียดส่งผลให้มีสารอนุมูลอิสระที่มากขึ้น จึงทำให้พืชสร้างสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolites ดังกล่าวเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่พืชสร้างขึ้นในสภาวะเครียด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Beacker (2014) โดยพบว่าผักกาดที่ปลูกโดยได้รับแสงโดยตรง จะมีแนวโน้มในการผลิตสารกลุ่ม flavonoid และ phenolic acid เมื่อเทียบกับการปลูกแบบพรางแสง และในงานวิจัยของ Karami *et al.* (2013)ได้ทำการวิจัยผลของแสงต่อปริมาณสาร flavonoid และ phenolic acid ในใบ ราก และลำต้น ของว่านนางตัด ( *Labisia pumila*) โดยพบว่าที่ความเข้มของแสงที่ 630 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ซึ่งเป็นความเข้มสูงสุดที่ทำการศึกษา จะทำให้ว่านนางตัดสร้างสาร flavonoid และ phenolic acid มากที่สุด




**ภาพที่ 11** ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง (ก) และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว(ข)

**2.2 ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical)**

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Singh *et al.* (2002)โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1.2 มา 0.1 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นหลังจากนั้น ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่างมาคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงกับหลอดควบคุม โดยแสดงค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ในหน่วยของร้อยละการยับยั้ง ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical)ในใบเตยพบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช อยู่ในช่วง 9-14 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 12

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเก็บเกี่ยวใบเตยที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 5, 6 และ 7 เดือน พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ให้ผลทดสอบทางสถิติที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เดือน 7 จะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) สูงที่สุด ในส่วนของชนิดของความเข้มแสงที่ให้ในการปลูกใบเตยนั้น พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นเดียวกัน โดยพบว่าที่ระดับความเข้มของแสง 100 % จะให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกข้างต้น

**2.3 ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2, 2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid)**

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2–azion–bis-3–ethylbenzothiazo line–6-sulphonic acid) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Thaipong *et al.* (2006)โดยทำการปิเปตสารละลาย ABTS เข้มข้น 7.0 mM ใส่ลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตรแล้วเติมโดยปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.1.2 มา 0.1 มิลลิลิตรละลายและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นหลังจากนั้น ปิเปตมา 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 6 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่างมาคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงกับหลอดควบคุม โดยแสดงในค่าของร้อยละการยับยั้ง

ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระABTS ในใบเตยพบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระABTSอยู่ในช่วง 23-50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 13 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเก็บเกี่ยวใบเตยที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 5, 6 และ 7เดือน พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระABTS ให้ผลทดสอบทางสถิติที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เดือน 7 จะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระABTS สูงที่สุด ในส่วนของชนิดของความเข้มแสงที่ให้ในการปลูกใบเตยนั้น พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นเดียวกันโดยพบว่าที่ระดับความเข้มของแสง 100 % จะให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระABTS ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบปริมาณสารฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ข้างต้น

**ตารางที่ 8** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical)ในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

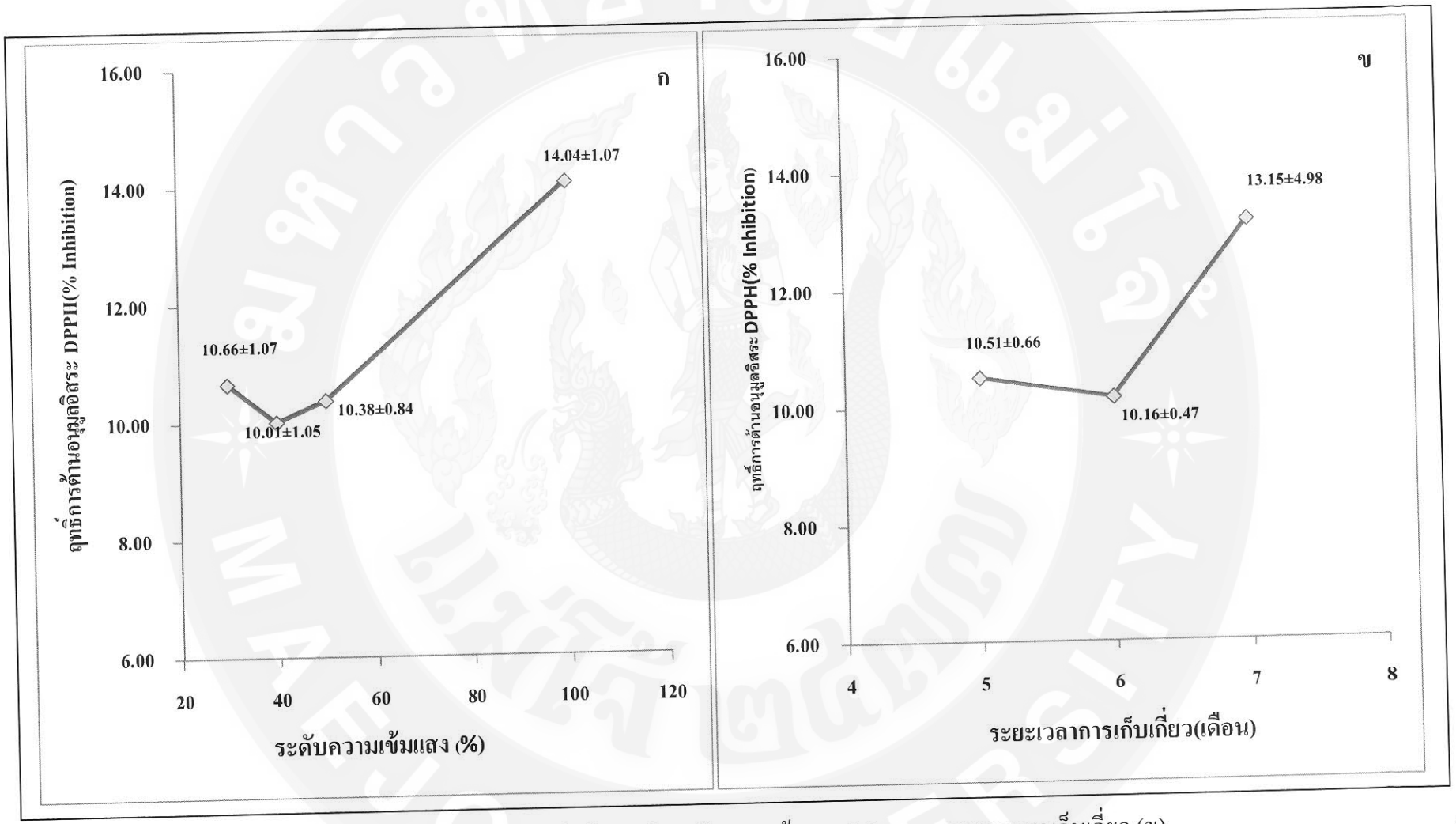
| ระดับความเข้มแสง | ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระDPPH(% Inhibition) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 5 เดือน | 6 เดือน | 7 เดือน | Mean |
| 30 | 10.35 | 9.78 | 11.86 | $10.66\pm1.07^{b}$ |
| 40 | 11.13 | 13.12 | 9.05 | $10.01\pm1.05^{c}$ |
| 50 | 9.65 | 10.17 | 11.30 | $10.38\pm0.84^{bc}$ |
| 100 | 10.91 | 10.82 | 20.39 | $14.04\pm1.07^{a}$ |
| **Mean** | $10.51\pm0.66^{B}$ | $10.16\pm0.47^{B}$ | $13.15\pm4.98^{A}$ | |
| Signification level | | | | |
| ระดับความเข้มแสง | | | * | |
| ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |
| ระดับความเข้มแสงx ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |

หมายเหตุ : n = 3, * หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), $^{a,b,c}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระดับความเข้มแสง, $^{A,B,C,}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

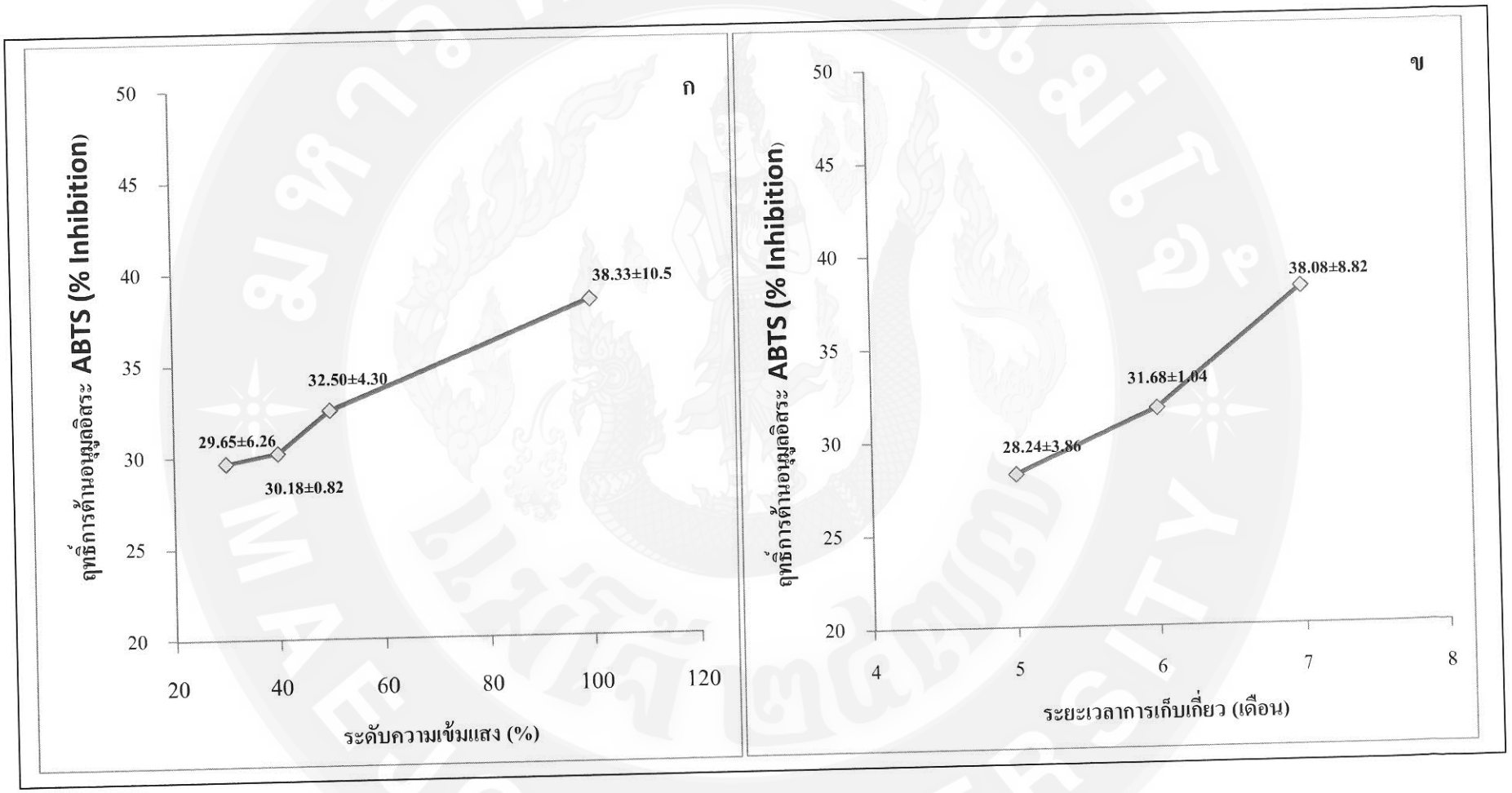
**ตารางที่ 9** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ABTS radical) ในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

| ระดับความเข้มแสง(%) | ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 5 เดือน | 6 เดือน | 7 เดือน | Mean |
| 30 | 23.01 | 30.50 | 35.45 | $29.65\pm6.26^{c}$ |
| 40 | 29.73 | 31.12 | 29.68 | $30.18\pm0.82^{c}$ |
| 50 | 28.10 | 32.71 | 36.70 | $32.50\pm4.30^{b}$ |
| 100 | 32.13 | 32.37 | 50.48 | $38.33\pm10.52^{a}$ |
| **Mean** | $28.24\pm3.86^{C}$ | $31.68\pm1.04^{B}$ | $38.08\pm8.82^{A}$ | |
| Signification level | | | | |
| ระดับความเข้มแสง | | | * | |
| ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |
| ระดับความเข้มแสงx ระยะเวลาเก็บเกี่ยว | | | * | |

หมายเหตุ : n = 3, * หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), $^{a,b,c}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระดับความเข้มแสง, $^{A,B,C,}$ หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ




**ภาพที่ 12** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) ในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง (ก) และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (ข)




**ภาพที่ 13** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical) ในใบเตยต่อระดับความเข้มแสง (ก) และ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (ข)

## สรุปผลผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 3 ระยะ (5 6 7 เดือน) และความเข้มของแสงที่ให้ภายในแปลงโดยมีความเข้มแสง 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณสารฟีนอลลิกรวมและ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบเตย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟีนอลลิกรวม และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบเตยจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 7 เดือน และทำการปลูกที่มีความเข้มแสง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolics content) มีค่าอยู่ในช่วง 907-908 mgGAE/ g DW ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical) อยู่ในช่วง 92-93 เปอร์เซ็นต์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS อยู่ในช่วง 17-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในขณะที่การเจริญเติบโตของใบเตย เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักผลผลิตที่ได้พบว่าในแต่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ปริมาณแสงที่ให้จะไม่มีส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดของใบเตยที่ได้ กล่าวคือ ไม่ว่าจะปลูกใบเตยที่มีความเข้มแสง 30 40 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้ของแต่ละ ระยะการเก็บเกี่ยวจะไม่แตกต่างกัน และเมื่อระยะเวลาการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้นผลผลิตน้ำหนักสดก็จะเพิ่มขึ้นตาม

ดังนั้นในการพิจารณาระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวและปริมาณแสงที่ใช้ปลูกใบเตยที่ส่งผลต่อปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระนั้น ควรทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะ เดือนที่ 7 และอาจจะทำการปลูกในกลางแจ้งได้

## ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากปัจจัยที่ศึกษามีเพียง 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว และชนิดของความเข้มแสง ซึ่งยังอาจไม่เพียงพอต่อการสรุปผล ของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งอาจจะมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารดังกล่าว เช่น ชนิดของปุ๋ย ชนิดแร่ธาตุอาหารในดิน ช่วงฤดูกาลในการเพาะปลูก เป็นต้น ซึ่งจาก 2 ปัจจัย ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ อาจเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งที่ใช้สำหรับประกอบการเพาะปลูกใบเตย เพื่อให้ได้สารสำคัญสูงสุดเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

# เอกสารอ้างอิง


เกษตรพอเพียงคลับ. 2556. **ใบเตยสรรพคุณมากกว่าความหอม.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.kasetporpeangclub.com (15 มีนาคม 2559)

จารุฉัตร เขนยทิพย์. 2547. **ผลของความเข้มแสงและขนาดของหัวพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของออนิโธกาลัม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เฉลิม ฤทธิยา. 2541. **อิทธิพลของความเข้มแสงระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกภายในโรงเรือนตาข่าย.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ช่อผกา เทพรังษี. 2553**. การผลิตข้าวขาวเคลือบด้วยสารสกัดธรรมชาติจากใบเตยแบบห่อหุ้มและทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 137 น.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2547. **การสังเคราะห์แสง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4_photosyn.htm (14 มีนาคม 2559).

น้องนุช เจริญกูล, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และดุษฎี อุตภาพ. 2545. การผลิตเจลปรับอากาศโดยใช้สารหอมที่สกัดได้จากใบเตยหอม. **วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.** 25(2): 185-201.

นันท์นภัส เติมวงศ์. 2551. ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีโนลิกส์ และวิตามินซีในผักและสมุนไพร. **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์.** 8(1): 41-48.

พงษ์ศักดิ์ พลเสนา และ ยุทธนา บรรจง. 2550. อิทธิพลของความเข้มแสงต่อผลผลิตว่านสาวหลง Amomum biflorum Jack. น. 609. **ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45**

พณาไพร เงินอยู่. 2541. **อิทธิพลของความเข้มแสงระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกภายในโรงเรือนตาข่าย.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เพ็ญโฉม พึ่งวิชา, ยุวดี วงษ์กระจ่าง และ อรวรรณ เรืองสมบูรณ์. 2530. ฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดของน้ำสกัดรากเตยหอม. **จุลสารมหาวิทยาลัยมหิดล.** 12(11): 13.

เพ็ญโฉม พึ่งวิชา, ยุวดีว งษ์กระจ่าง, อรวรรณ เรืองสมบูรณ์ และวิสุดาสุ วิทยาวัฒน์. 2533. ฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดของน้ำสกัดรากเตยหอม. **วารสารเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.** 17(2): 29.

รัชวรรณ ลิ้มวิวัฒน์กุลและวีระนุช นิลนนท์. 2542. ผลของสารสกัดใบเตยหอม (*Pandanusodorus* Ridl.) ต่อความดันเลือดแดงและอัตราการเต้นของหัวใจในหนูขาวปกติ. **วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 21(1): 89.

รัชวรรณ ลิ้มวิวัฒน์กุลและวีระนุช นิลนนท์. 2543. ฤทธิ์กระตุ้นหัวใจของสารสกัดใบเตยหอม (*Pandanus odorus* Ridl.). **วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 22(1):57.

รัศมี แตงรื่น. 2541. **อิทธิพลของความเข้มแสงระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าที่ปลูกภายในโรงเรือนตาข่าย.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วงจันทร์ วงแก้ว. 2535. **หลักสรีรวิทยาของพืช.** กรุงเทพฯ:ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันดี กฤษณพันธุ์. 2538. **สมุนไพรสารพัดประโยชน์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล. 164 น.

วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2542. ผลของโรงเรือนตาข่ายสามลักษณะต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ และความหนาของใบผักกาดหัวที่ปลูกในช่วงฤดูฝน. **ในการประชุมทางวิชาการ 30 ปี เกษตรเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.** กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

แววตาชี้ทางดี. 2547. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร 2-acetyl-1-pyrroline และสารให้กลิ่นอื่นๆในใบเตย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. **สรีรวิทยาของพืช.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพร ภูติยานันต์. 2551. **สมุนไพรใกล้ตัว เล่ม 13.** เชียงใหม่: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมหมาย ปัตตาลี. 2551. **การศึกษาคุณภาพของน้ำหมักชีรูปที่ผลิตจากผลมะหลอด.** มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. 97 น.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2550. **สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์. 190 น.

Aqul, F., Ahmad, I. and Mehmood, Z. 2006. Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants. **Turkish Journal of Biology.** 30: 177-183.

Bast, A., G. Haeren and C. Doelmen. 1991. Oxidants and antioxidants: state of art. **American Journal of Medicine** 91: 2-13.

Beacker, C. 2014. **Impact of radiation temperature and growth stage on the concentration of flavonoid glycosides and caffeic derivatives in red leaf lettuce.** Doctoral dissertation. Technical University of Berlin. 124 p.

Brand, M. H. S. 1997. Influences Plant Growth, Leaf Color, and Chlorophyll Content of Kalmia lalifolia L. cultivars. **HortScience.** 32 (2): 206-208.

Burton, G.W. and M.G. Traber. 1990. Vitamin E antioxidant activity biokineties and bioavailability. **Annual Review of Nutrition** 10: 357-382.

Chattopadhyay, K. and B. D. Chattopadhyay. 2008. Effect of nicotine on lipid profile, peroxidation& antioxidant enzymes in female rats with restricted dietary protein. **Journal of research and education in indian medicine** 127: 571-576.

Cheeptham, N. and Towers, G.H.N. 2002. Light-mediated activities of some Thai medicinal plant teas. **Fototerapia.** 73: 651-662.

Collard, R.C., Joiner, J.N., Conover, C.A. and Mcconne, D.B. 1977. Influence of shade and fertilizerand light compensation point of Ficus benjamina L. Journal of the American Society for Horticultural Science. 102(4): 447-449.

Donald, E. 2015. **Photoshynthesis.** [online]. Available: www.twinkletoesengineering.info/ photosynthesis.htm (14 March 2016).

Frankel, E.N., A.D. Phillips, I. Rosenshine, G. Dougan, J.B. Kaper and S. Knutton. 1998. Commercial grape juices inhibit the in vitro oxidation of human Low -density lipoproteins. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 46: 834-838.

Gressier, B., S.Lebegue and C. Brunet. 1994. Provident properties of methotrexate evaluation and prevention by an antioxidant drug. **Archiv der Pharmazie-Chemistry in Life Science** 49: 679-681.

Hale, M. G. and Orcutt, D. M. 1987. **The Physiology of Plant under Stress**. U.S.A. : John Wiley and Sons.

Halliwell, B. 2009. The wanderings of a free radical. **Free Radical Biology and Medicine.** 46: 531-542.

Halliwell, B.,R. Aeschbach, J. Löliger and O. I. Aruoma. 1995. The characterization of antioxidants. **Food Chemistry** 33: 601-617.

Jiang J. 1999. **Volatile composition of pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius*). Flavor Chemistry of Ethnic Foods.** New York: Kluwer Acedemic/Plenum Publishers.

Karimi, E., Jaafar, H.Z.E., Ghasemazaded, A. and Irahim, M.H. 2013. Liht intensity effect on production and antioxidant activity of flavonoids and phenolic compounds in leaves, steams and root of tree varieties of *Labisai pumila* Benth. **Australian Journal of Crop Science.** 7: 1016-1023.

Li, Y., Craker, L. E. and Potter, T. 1996. Effect of light level on essential oil production of sage (Salvia officinalis) and thyme (Thymus vulgaris). **Acta Horticulturae**. 426: 419-426.

Nadaf, A. and Zanan, R. 2012. Economical Importance of Indian *Pandanus* Species. **Indian Pandanaceae - an overview.** . 127.

Nawar, W.W. 1996. **Lipids in Food Chemistryistry, 3rd Ed., O. R. Fennema (Ed.),** New York: Marcel Dekker,Inc. 225-319 p.

Ooi, L.S.M., Wong, E.Y.L., Sun, S.S.M. and Ooi, V.E.C. 2006. Purifaction and characterization of non-specific lipid transfer protein from the leaves of Pandanus amaryllifolius (Pandanaceae). **Peptids.** 27: 626-632.

Pastor, N., H. Weinstein, E. Jamison and M. Brenowitz. 2000. A detailed interpretation of OH radical footprints in a TBP-DNA complex reveals the role of dynamics in the mechanism of sequence-specific binding. **Journal of Molecular Biology** 304: 55-68.

Pokorny, J., N.Y anishlieva and M. Gordon. 2001. **Antioxidants in food: practical applications**. New York: CRC Press. 380 p.

Puerta, T. 1999. Inhibition of leukocytes lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis** 57: 445-449.

Pumtes, P., Kongbangkerd, T., Rojsunthornkitti, k. and Jitrepotch, N. 2012. Effect of extraction conditions on antioxidant activities of some Thai herbs. Pp. 52-54. **In Proceeding The 4th Science Research Conference.** Naresuan University.

Rahman, A. and Choudhary, M.I. 2005. Biodiversity as a source of new pharmacophores: A new theory of memory. **Pure and Applied Chemistry.** 77 (1): 75–81.

Sanchez-Moreno, C., A. Jimenez-Escria and J. Saura-Calixto. 2000. Study of low-density lipoproteinoxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. **Nutrition Research** 20: 941-953.

Singh, R.P., Chidambara, K.N. and Jayaprakasha, G.K. 2002. Studies on the activity of pomegranate (*Punica granatum)* peel and seed extracts using in vitro models. **Jounal of Agricultural and Food chemistry.** 50(1): 81-86.

Smythies, J.R. 1998. **Every person's guide to antioxidants.** Rutgers University Press.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. and Byrne, D. H. 2006. Comparison of abts dpph frap and orac assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis.** 19: 669-675.

Valacchi, G., E. Pagnin, AM. Corbacho, E. Olano, PA. Davis, L. Packer and CE. Cross. 2004. In vivo ozone exposure induces antioxidant stress-related responses in murine lung and skin. **Free Radical Biology and Medicine** 36: 673-681.

Velioglu, Y.S., G. Mazza, L. Gao and B.D. Oomah. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry .** 46: 4113-4117.

Voest, E.E., G. Vreugdenhil and J. Marx. 1994. Iron- chelating agents in non-iron overload conditions. **Annals of Internal Medicine** 120: 490-499.

Zainuddin, H. 2004. **Flavonoids and volatile compounds in 29 types of tropical plants from different anatomical parts using gas chromatography-mass spectrometry**. Faculty of Food Science and Technology University Putra Malasia. 32-57.