

การเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ในเหง้าขมิ้นอ้อย ภายหลังการเก็บเกี่ยวที่อยู่ภายใต้หลอด LED สีต่าง ๆ

Raising in the Active Compound Contents of Post-Harvest Zedoary Rhizome in Response to Exposure to Various Color of Light-Emitting Diodes

กษิดิ์เดช อ่อนศรี, เบญญา มะโนชัย* และปริยานุช จุลกะ
ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

พิทักษ์ ปานทอง

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ณัฐพงศ์ จันจุฬา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

Kasideth Onsri, Benya Manochai* and Pariyanuj Chulaka

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkhen Campus,
Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

Pituk Panthong

Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkhen Campus,
Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

Nattapong Chanchula

Faculty of Agriculture, Valaya Alongkorn Rajabhat University under Royal Patronage,
Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 13180

บทคัดย่อ

การใช้หลอดไฟโอดเปล่งแสงสีขาว (WL) สีแดง (RL) สีน้ำเงิน (BL) และสีผสมระหว่างแดงกับน้ำเงิน สัดส่วนหลอด 1 : 5 (RB) เปิดเสริมเพื่อกระตุ้นการผลิตสารออกฤทธิ์ในเหง้าขมิ้นอ้อยภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยให้ 3 ชั่วโมงก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลังเวลา 18:00 น. เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพ ห้องที่ได้รับแสงปกติ (NL) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดที่ อายุการเก็บรักษา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ นำไปวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (AOA) ปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกรวม (PC) สารบิสเดสเมโทกซีเคอร์คูมิน (BMC) สารดีเมโทกซีเคอร์คูมิน (DMC) และสารเคอร์คูมิน (CUR) ทำการทดลอง ณ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ผลการทดลองพบว่าขมิ้นอ้อยภายหลังการเก็บรักษามีน้ำหนักแห้งลดลงแปรผันตามอายุการเก็บรักษา แต่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารออกฤทธิ์เพิ่มขึ้น การให้แสง LED สีต่าง ๆ เสริมให้แก่เหง้าขมิ้นอ้อย สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักเหง้า เพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ โดยการให้แสง WL และ RB นาน 6 สัปดาห์ ส่งเสริม AOA และปริมาณสารออกฤทธิ์ได้แก่ PC, BMC, DMC และ CUR เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : เคอร์คูมินอยด์; แกลลิก; ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ; แอลอีดี; ขมิ้นเจดีย์

Abstract

The supplemental lighting LEDS i.e. white light (WL), red light (RL), blue light (BL) and the combination of red and blue LEDs at ratio 1 : 5 (RB) for increasing active compounds in Zedoary rhizome after harvest were studied. The plant was stored at room temperature and subjected to natural daylight (NL), +3 h supplemental lights before 06 : 00 am and after 6 : 00 pm RCBD with 5 treatments and 4 replications was used as experimental design. The response of zedoary rhizome was monitored. Fresh weight and active compounds i.e. antioxidant activity (AOA), total phenolic compound (TP), bis-demethoxycurcumin (BMC), demethoxycurcumin (DMC) and curcumin content (CUR), were measured every week (6 weeks). The experiment was carried out at the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University during March to December 2016. The result revealed that supplemental LEDs especially WL and RB can delay rhizome weight loss, promote AOA and active compounds (PC, BMC, DMC, and CUR) in zedoary rhizome.

Keywords: curcuminoid; gallic; antioxidant activity; LED; Kamin Jaedee

1. คำนำ

ขมิ้นอ้อย [*Curcuma zedoaria* (Berg) Roscoe] ชื่อสามัญว่า Zedoary เป็นไม้ล้มลุก แตกหน่อมาก มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้า ผิวเหง้าด้านนอกสีน้ำตาลเทา เนื้อสีขาวแกมเหลืองไปจนถึงเหลืองสด เมื่อคาบไอบแห้งไปเหลืองแต่เหง้าโผล่พ้นดินขึ้นมาเหมือนเจดีย์ทรงกลมสูงหลาย ๆ ชั้น เรียกว่าขมิ้นหัวชั้นหรือขมิ้นเจดีย์ (Jana *et al.*, 2008) นิยมปลูกเพื่อใช้ประโยชน์เป็นสมุนไพรตามบ้านเรือนมานาน โดยเฉพาะในแถบชนบทเกือบทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย (द्रูณ และคณะ, 2533)

สามารถนำไปทำเป็นยารักษาโรค เช่น เหง้าสดตำผสมกับการบดเล็กน้อย รินเอาน้ำหยอดตา แก้อาการแดง หรือใช้สมานแผล (กิจจา, 2551) นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณรักษาอาการและโรคต่าง ๆ เช่น จ้ำรัส (2547) รายงานว่าขมิ้นอ้อยสามารถรักษาอาการท้องร่วง ท้องเดิน รักษาแผล รักษาฝี แก้ฝีในมดลูก รักษาอาการเสียนอนหลับ รักษาอาการปวดบวม ฟกช้ำ แก้อหิวต์ แก้อริตตีตวงทวาร แก้อหิตหลบใน ฆ่าแบคทีเรีย ฆ่ารา ขี้ลม และบำรุงผิว นอกจากจะนำขมิ้นอ้อยมาใช้เป็นยารักษาโรคแล้ว ยังสามารถใช้แต่งสีเหลืองในอาหาร เช่น ข้าวเหนียวเหลือง และ

ขนมเบื้องญวนได้ เนื่องจากไขมันน้อยนั้นให้รสชาติและกลิ่นของขนมมันน้อยนั้นไม่ฉุนแรงมากไปนัก (จำลองลักษณ์ และคณะ, 2550)

สารออกฤทธิ์ที่พบในเหง้าของขมิ้นน้อย ได้แก่ curcumin, curdione, curzerene, furanodienone, zedoarone และน้ำมันหอมระเหยประมาณ 1-1.5% เป็นต้น (วิทย์, 2542) เคอร์คูมินอยด์เป็นสารสีเหลืองสกัดจากเหง้าในสกุลขมิ้น (*Curcuma* spp.) ประกอบด้วยสารหลัก 3 ชนิด คือ เคอร์คูมิน (curcumin) ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (demethoxycurcumin) และ บิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (bisdemethoxycurcumin) (บรรจบ, 2557) สุทธิกรณ์ (2550) นำสารสกัดที่ได้จากขมิ้นน้อยมาฉีดเข้าสัตว์ทดลองพบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ต่อต้านเนื้องอกหรือมะเร็งปากมดลูก และมีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งหรือเนื้องอกไม่ให้มีการเติบโตหรือขยายตัวได้ด้วย นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากขมิ้นน้อยสามารถต้าน *Staphylococcus* spp. หรือเชื้อในลำไส้ใหญ่ *Columbacillus* spp. หรือเชื้ออหิวาต์ได้ (วิทยา, 2554)

อินเดียเป็นประเทศที่มีการส่งออกขมิ้นน้อยมากที่สุดประเทศหนึ่ง ข้อมูลจากเว็บไซต์ Zaubia (2013) รายงานปริมาณและมูลค่าการส่งออกในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 พบว่าปริมาณและมูลค่ามีความผันผวนในรอบปี มูลค่าการซื้อขายรวมประมาณ 1.79 ล้านเหรียญสหรัฐ ปริมาณการซื้อขายประมาณ 859,433 กิโลกรัม มูลค่าเฉลี่ยต่อหน่วยประมาณ 2.08 เหรียญสหรัฐ ซึ่งประเทศปลายทาง ได้แก่ เวียดนาม ศรีลังกา อิตาลี เยอรมันนี และอาร์เจนตินา เป็นต้น โดยรูปแบบที่ส่งออกจะผ่านทางเรือ ในลักษณะชิ้นส่วนแห้ง (หั่นเป็นชิ้น หรือ ผงแห้ง) และน้ำมันหอมระเหย เพื่อนำไปเป็นส่วนประกอบอาหาร หรือ ยา ในประเทศปลายทาง โดยช่วงที่มีการส่งออกในแต่ละปีแตกต่างกัน แต่ในปี พ.ศ. 2557 มีการ

ส่งออกมากในช่วงเดือนธันวาคม แต่ในปี พ.ศ. 2558 มีการส่งออกมากในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน แต่ในปี พ.ศ. 2559 รายงานถึงเพียงแค่เดือนกันยายน จึงทำให้ผลผลิตไม่มากนัก แต่ช่วงที่ราคาผลผลิตต่อหน่วยสูงมากที่สุด คือ ช่วงเดือนมกราคม รองลงมา คือ เดือนธันวาคม ซึ่งการส่งออกมีความสอดคล้องกับการเจริญเติบโตและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวของขมิ้นน้อย โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมเป็นช่วงฤดูฝนพืช ยังคงมีการเจริญเติบโตอยู่ ผลผลิตจึงมีไม่มากในช่วงนั้น และราคาตกต่ำ คาดว่าเป็นผลจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในช่วงนั้นยังไม่ได้คุณภาพ แต่ราคาเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากอยู่ในช่วงต้นฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมื่อผ่านการแปรรูปเบื้องต้นจึงสามารถส่งออกในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม ทำให้ได้ราคาสูง และอีกช่วงหนึ่งคือเดือนมีนาคมและเมษายน เป็นอีกช่วงที่มีปริมาณและราคาสูงเนื่องจากเก็บในช่วงผลผลิตแก่จัดมีคุณภาพดี

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าผลผลิตเมื่อถึงฤดูการเก็บเกี่ยวจะมีผลผลิตออกสู่ตลาดปริมาณมากรอการจำหน่าย และใช้เวลานานในการขนส่งสินค้าผ่านทางเรือ อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ ดังรายงานของ Subhadhirasakul และคณะ (2007) พบว่าเมื่อนำหัวขมิ้นน้อยสดที่อายุ 12 เดือน เก็บเกี่ยวมาจากจังหวัดสงขลามาทาแห้ง เป็น 2 แบบ คือ แบบหั่นเป็นแว่น และแบบผง ทดสอบการเก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีนสีดำ (polyethylene bags) และถุงกระดาษ ถุงมีขนาด 8x16 นิ้ว ภายใต้สภาพอุณหภูมิห้อง ประมาณ 28-31 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 เดือน ผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ เช่น เคอร์คูมินอยด์และปริมาณน้ำมันหอมระเหย จะลดลงอย่างมากในช่วง 3 เดือนแรก หากเก็บไว้ในถุงกระดาษ ส่วนปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพ

ของสินค้า หากมีความชื้นสูงกว่ามาตรฐานกำหนด จะทำให้เกิดความเสื่อมของสารออกฤทธิ์ และเป็นสาเหตุของการเกิดราได้อีกด้วย ซึ่งจากงานทดลองได้แนะนำว่าการเก็บรักษามันน้อยแบบแห้งเป็นแวนมีการลดลงของสารเคอร์คูมินอยด์และน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าแบบผง และแนะนำให้เก็บรักษาในรูปแบบแห้งในถุงพลาสติกสีดำ

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเหง้ามันน้อยที่มีระยะเวลาที่นานขึ้นมีผลต่อสารออกฤทธิ์และความชื้นภายในเหง้า ดังนั้นหากต้องการเก็บรักษาหรือเก็บตัวอย่างมันน้อยเพื่อคงประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ระหว่างรอการจัดจำหน่ายหรือการนำไปใช้ประโยชน์ทางสารออกฤทธิ์ เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน คือ การใช้แสง มีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการควบคุมการพัฒนาโครงสร้างของพืช (สมบุญ, 2544) ตลอดจนสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ที่ $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Terashima *et al.*, 2009) มีการทดลองที่พบว่าการใช้แสงเสริมในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะมีผลต่อการสร้างสารออกฤทธิ์เพิ่มขึ้น เช่น งานทดลองของ Park และคณะ (2012a) พบว่าการให้แสงที่ความยาวคลื่น 450 และ 470 นาโนเมตร (อยู่ในช่วงคลื่นแสงสีม่วงและน้ำเงิน) จะทำให้รากโสมที่เก็บภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณ ginsenosides เพิ่มขึ้น 64.9 และ 74.1 % ตามลำดับ Kondo และคณะ (2014) ศึกษาการให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินจากหลอด LED ความยาวคลื่น 660 และ 450 นาโนเมตร ตามลำดับระยะเวลา 3 ชั่วโมงก่อน 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลัง 18:00 น. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปกติ กับต้นอ่อนอายุ 7 ปี ให้โดยวิธีการให้ LED จำนวน 8 ชุด ขนาด กว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 147 เซนติเมตร วางรอบ ๆ ต้นอ่อน กำหนดให้มีความเข้มแสง $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ระยะห่าง 10 เซนติเมตร

จากแหล่งกำเนิดแสงกับต้นอ่อน ให้แสงภายหลังอ่อนงอกดอกเป็นระยะเวลา 99 วัน เก็บเกี่ยวผลอ่อนมาทดสอบหาปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าการให้แสงเพิ่มเติมทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้รับแสงปกติ โดยแสงสีน้ำเงินจะทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด นอกจากนี้ Park และคณะ (2012b) ศึกษาในผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีการให้แสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นตัวเปรียบเทียบที่มีระดับความเข้มแสง $140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ เปรียบเทียบกับระบบการปลูกที่มีการให้แสงขาวจากหลอด LED ที่มีการให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินและแสงสีขาวเสริมในสัดส่วน 8 : 1 : 1 และมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 350, 700 และ $1,000 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ผลการทดลองพบว่าการให้แสงเสริมจะทำให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้นและแปรผันตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณแอนโทไซยานินในต้นที่อยู่ภายใต้แสงขาวจะมีมากกว่าต้นที่ได้รับแสงเสริม

ปัจจุบันมีการใช้หลอด LED แสงสีต่าง ๆ กับการผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นหลอดประหยัดพลังงาน กำลังส่องสว่างสูง การให้ค่าของหลอดคงที่ มีการปล่อยความร้อนต่ำ และมีอายุการใช้งานนาน ประมาณ 50,000 ชั่วโมง (ยุทธศักดิ์, 2550) หากมีการให้แสงเสริมจะทำให้พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นทำให้มีสาร primary metabolite มากขึ้น ประกอบกับอุณหภูมิที่สูงจะทำให้พืชมีอัตราการหายใจสูง จะทำให้มีสารตั้งต้นในกระบวนการชีวสังเคราะห์ไปเป็นสารอื่น ๆ ได้มากขึ้นด้วย (Armason *et al.*, 1995) หากสามารถประยุกต์ใช้ LED ที่ผลิตในช่วงคลื่นแสงที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะทำให้สามารถควบคุมการผลิตมันน้อยที่มี

คุณภาพได้ ซึ่งการผลิตพืชสมุนไพรที่ต้องคำนึงถึงปริมาณสารออกฤทธิ์เป็นหลักนั้นหากเราสามารถหาช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาอายุการเก็บเกี่ยวของขมิ้นอ้อยและสามารถคงสารออกฤทธิ์ได้ จะเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการเก็บรักษาพืชสมุนไพรให้ได้คุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นไปในอนาคต ดังนั้นในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอิทธิพลของการให้แสงสีต่าง ๆ จากหลอด LED ต่อการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ในเหง้าขมิ้นอ้อย และนำไปใช้ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

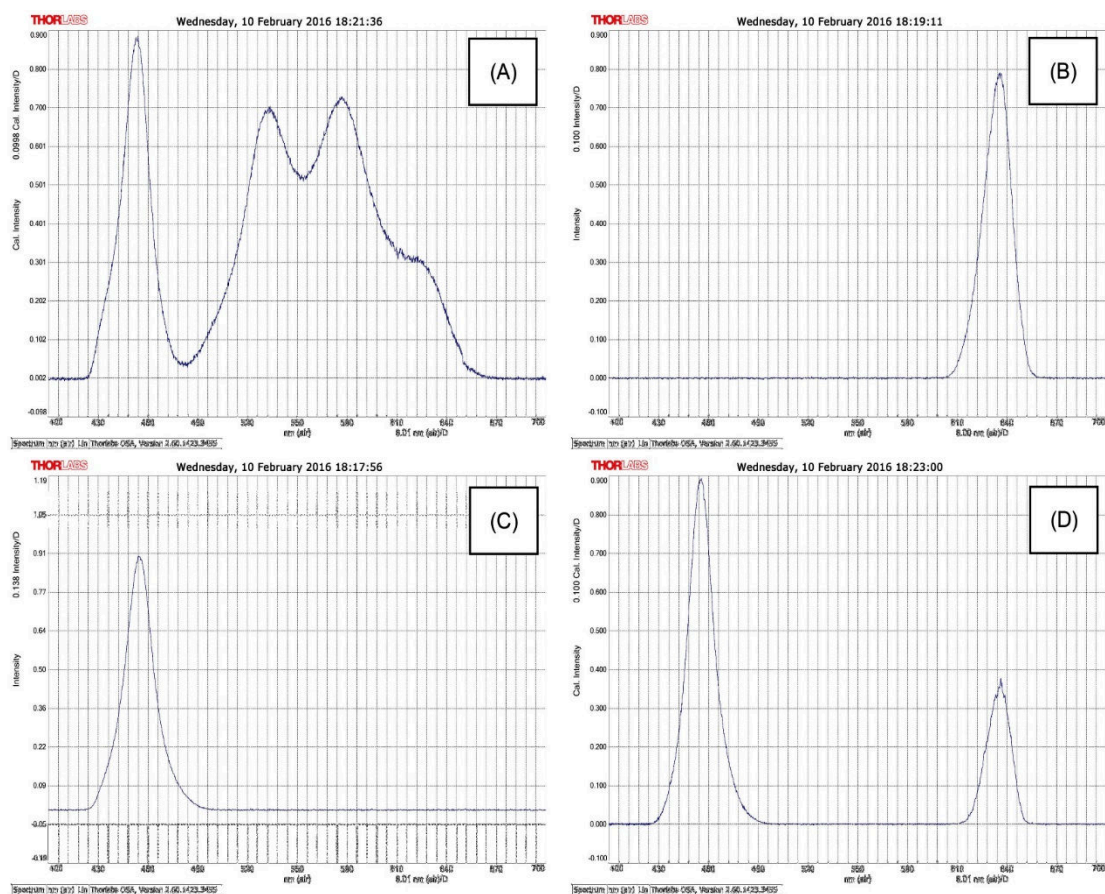
นำเหง้าขมิ้นอ้อยที่เก็บจากจังหวัดระยอง ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ทำความสะอาดและเก็บไว้ที่ห้องที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เมื่อเหง้ามีอายุประมาณ 1 เดือน (รูปที่ 1) หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัมต่อตะกร้า โดยวาง 2 กองต่อตะกร้า นำไปวางภายใต้ปัจจัยทางทดลองที่มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 5 ปัจจัยการทดลอง จำนวน 4 บล็อก ได้แก่ การให้แสงจากหลอด LED แสงสีต่าง ๆ จากบริษัท ไทยทรอน จำกัด (กรุงเทพมหานคร) ตรวจสอบสเปกตรัมแสงและความยาวคลื่นด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสง (THORLABS compact spectrometer) อ่านค่าผ่านโปรแกรม Thorlabs OSA version 2. 60. 1423. 3455 ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) พบว่าหลอด LED สีขาว (WL) มีความยาวคลื่น 454, 532, 577 และ 622 nm การให้แสงสีแดง (RL) ที่มีความยาวคลื่น 637 nm การให้แสงสีน้ำเงิน (BL) ที่มีความยาวคลื่น 454 nm และการให้แสงแบบผสมสีแดงและน้ำเงิน สัดส่วน 1:5 (RB) มีความยาวคลื่น 455 และ 635 nm (รูปที่ 2) ซึ่งมีความเข้มแสงโดยเฉลี่ย

59.63, 70.45, 105.78 และ 93.21 $\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เปรียบ เทียบกับแสงในสภาพการเก็บรักษาธรรมชาติ (NL)การให้แสงเป็นการให้แสงแบบเสริมเพื่อให้พืชได้สังเคราะห์ด้วยแสงได้นานขึ้น โดยเปิด 3 ชั่วโมง ก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมง หลัง 18:00 น. รวมเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ที่พืชได้รับแสงเพิ่มเติม การทดลองดำเนินการภายใต้สภาพอุณหภูมิห้อง ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.24-40.17 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาทดลอง กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างหลอดไฟและตะกร้าพลาสติกประมาณ 30 เซนติเมตร เก็บเหง้าขมิ้นอ้อยหลังจากที่มีการให้แสงเสริมแล้ว จำนวน 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ มาชั่งน้ำหนักสดและตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพโดยประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (AOA) สารประกอบ ฟีนอลิกรวม (PC) ปริมาณสารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (BMC) สารดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (DMC) และสารเคอร์คูมิน (CUR) จำนวนขมิ้นอ้อยที่ใช้ในการทดลองนี้ทั้งหมด 120 กอง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test



รูปที่ 1 ลักษณะเหง้าขมิ้นอ้อย [*Curcuma zedoaria* (Berg) Roscoe] ที่ใช้ในการทดลอง

สกัดเหง้าขมิ้นอ้อยด้วย ethanol ในอัตราส่วน 1:4 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองและหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบ/วินาที แยกเอาส่วนใสไปวิเคราะห์ AOA, PC, BMC, DMC และ CUR



รูปที่ 2 ค่าสเปกตรัมแสงของแสงสีขาวย (A), แสงสีแดง (B), แสงสีน้ำเงิน (C) และแสงแบบผสม สีแดง น้ำเงิน สัดส่วน 1 : 5 (D)

2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการของ Ingkasupart และคณะ (2015) เริ่มจากนำสารละลายที่สกัดได้จากเหง้าของขมิ้นอ้อย ปริมาตร 22 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ที่มีความเข้มข้น 150 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ที่มีความยาวคลื่น 517 nm

2.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม ดัดแปลงตามวิธีการของ Gao และคณะ (2000) โดยใช้สารสกัด 0.1 มิลลิตร เติมน้ำกลั่นในหลอดที่มีน้ำกลั่น 2 มิลลิตร และเติม Folin & Ciocalteu's phenol reagent 0.2 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที จากนั้นเติม 20 % โซเดียมคาร์บอเนต 1 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที ในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก รายงานผลเป็นสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม)

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ด้วยเครื่อง HPLC

วิเคราะห์เคอร์คูมินอยด์ดัดแปลงตามวิธีการของ Pei-Yin และคณะ (2011) ใช้ C18 (ขนาด 250x4.6 มิลลิเมตร) และ mobile phase ใช้ acetonitrile กับ 5 % acetic acid aqueous solution (50: 50, v/v) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที สารจะถูกแยกที่ 420 nm

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 น้ำหนักสด

ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักสดของเหง้าขมิ้นอ้อยลดลงแปรผันตามอายุการเก็บรักษา (ตารางที่ 1 และรูปที่ 3A) สอดคล้องกับงานทดลองของ Paz (2003) ที่พบว่าการเก็บเหง้า *Globba winittii*, *Curcuma alismatifolia*, *Curcuma roscoeana* และ *Kaempferia galanga* ไว้ที่อุณหภูมิ 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส นาน 16 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักแปรผันตามอายุการเก็บรักษา ซึ่งอุณหภูมิสูงมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น การที่เหง้ามีน้ำหนักลดลง

เนื่องจากภายหลังจากการเก็บเกี่ยวเหง้ายังคงมีชีวิตอยู่เมื่อเก็บเกี่ยวจากพื้นดินจะสัมผัสกับอากาศทำให้มีการสูญเสียความชื้นบางส่วนไปกับการระเหยโดยตรง และบางส่วนจากกระบวนการหายใจของพืชที่มีการใช้ออกซิเจนและเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการหายใจ ดังผลการทดลองของ Paz (2003) พบว่าปริมาณของ sucrose, glucose และ fructose ในเหง้าของพืชทั้ง 4 ชนิด เพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บรักษาที่เป็นระยะเวลานาน และพบว่าการหายใจของเหง้า *G. winittii* และ *C. alismatifolia*, *C. roscoeana* และ *Kaempferia galanga* เป็น 17.7, 8.39, 12.17 และ 3.87 ml CO₂/kg/hr ตามลำดับ โดยอัตราการหายใจที่สูงจะสัมพันธ์กับปริมาณ sucrose และปริมาณน้ำตาลอื่น ๆ โดยต้นที่มีอัตราการหายใจสูงจะมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำและน้ำตาลสูง ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหายใจคือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จึงเป็นผลให้น้ำหนักของเหง้าลดลงไม่ว่าจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเท่าไรก็ตาม

ตารางที่ 1 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บรักษา น้ำหนักสด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารบิสเดสเมโทกซีเคอร์คูมิน สารเดสเมโทกซีเคอร์คูมิน และสารเคอร์คูมินของเหง้าขมิ้นอ้อยภายหลังจากที่มีการให้แสงเสริมจากหลอด LED

	SP	FW	AOA	PC	BDC	DMC	CUR
SP	1						
FW	-0.775**	1					
AOA	-0.674**	0.131	1				
PC	0.801**	-0.300**	-0.944**	1			
BDC	0.765**	-0.313**	-0.932**	0.897**	1		
DMC	0.693**	-0.223*	-0.904**	0.840**	0.968**	1	
CUR	0.782**	-0.299**	-0.937**	0.915**	0.941**	0.917**	1

** Correlation are significant at the 0.01 level; SP = storage periods; FW = fresh weight; AOA = antioxydant activity; PC = phenolic compound; BDC = bis-demethoxycurcumin; DMC = demethoxycurcumin; CUR = curcumin

แต่จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้แสงเสริมสีต่าง ๆ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักเหง้าได้ (รูปที่ 3A) โดยในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา มีเพียงน้ำหนักสดของเหง้าขาวนอยที่ได้รับแสงเสริมจากหลอด WL (สีขาว) และ RB (สีผสม) เท่านั้นที่มีน้ำหนักสดสูงกว่าเหง้าขาวนอยที่เก็บใน NL (สภาพธรรมชาติ) ในขณะที่เหง้าขาวนอยที่ได้รับแสงเสริมจากหลอด BL และ RL มีน้ำหนักสดเหง้าไม่แตกต่างจาก NL (ตารางที่ 2) แต่

เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 ไปจนถึงสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บ (สัปดาห์ที่ 6) พบว่าการให้แสงเสริมจากหลอด LED ทุกสีมีน้ำหนักสดเหง้าสูงกว่า ($p < 0.01$) เหง้าขาวนอยที่เก็บใน NL เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเหง้าขาวนอยในแต่ละสัปดาห์พบว่าเหง้าขาวนอยที่ได้รับแสง WL จะให้น้ำหนักสดสูงกว่าเหง้าขาวนอยที่ได้รับแสงแบบ RB BL และ RL ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดของเหง้าขาวนอยภายหลังจากการให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	Fresh weight (g)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	463±3.16 c ^{1/}	440±5.06 d ^{1/}	421±3.56 c ^{1/}	391±5.00 c ^{1/}	375±5.48 c ^{1/}	371±1.29 c ^{1/}
BL	473±4.51 bc	463±4.57 bc	450±2.58 b	437±4.40 b	425±5.51 b	419±2.08 ab
RL	471±6.24 bc	456±4.24 c	445±5.12 b	431±2.63 b	422±4.57 b	413±6.32 b
WL	488±4.03 a	478±4.35 a	464±5.12 a	452±4.57 a	442±6.58 a	429±6.81 a
RB	479±6.06 ab	470±4.55 ab	459±4.65 a	447±5.57 a	437±3.59 a	421±4.65 ab
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	1.04	0.99	0.97	1.05	1.25	1.16

**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

เมื่อพิจารณาที่สัปดาห์สุดท้ายของการเก็บ (สัปดาห์ที่ 6) พบว่าต้นที่เก็บไว้ในสภาพห้องที่ได้รับแสงจากธรรมชาติ (WL) มีน้ำหนักสดเหง้าคงเหลือ 371 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากเก็บเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะทำให้น้ำหนักหายไป 25.8 % แต่การให้แสงเสริมโดยใช้หลอด LED สีขาว (WL) ทำให้น้ำหนักเหง้าสูงที่สุด คือ 429 กรัม ไม่แตกต่างจาก

เหง้าขาวนอยที่ได้รับแสงเสริมจากหลอด LED สีผสม (RB) ซึ่งมีน้ำหนักเหง้า 421 กรัม และการได้รับแสงเสริมจากหลอด LED สี น้ำเงิน (BL) ซึ่งมีน้ำหนักเหง้า 419 กรัม แต่แตกต่าง ($p < 0.01$) จากเหง้าขาวนอยที่ได้รับแสงเสริมจากหลอด LED สีแดง (RL) ซึ่งมีน้ำหนักเหง้า 413 กรัม (ตารางที่ 2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเก็บเหง้าขาวนอยเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และการให้แสงเสริมทำให้น้ำหนักเหง้าขาวนอย

อ้อยคงเหลือมากกว่าเหง้าขมิ้นอ้อยที่เก็บในท้องที่ ได้รับแสงในสภาพธรรมชาติ โดยการได้รับแสงขาว ทำให้มีน้ำหนักคงเหลือมากที่สุด โดยมีน้ำหนักคงเหลือมากกว่าเหง้าขมิ้นที่เก็บรักษาในสภาพห้อง ปกติประมาณ 15.6 % และยังชะลอการสูญเสีย น้ำหนักได้ถึง 14.2 %

การให้แสงเสริมสามารถชะลอการ สูญเสียน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยได้ อาจเนื่องมาจากการที่เหง้าขมิ้นอ้อยได้รับแสงยาวนานขึ้น ซึ่ง อนุภาคโฟตอนของแสงในช่วงที่ตามองเห็นให้ พลังงาน 40-60 kcal mol⁻¹ เพียงพอต่อการ ขับเคลื่อนกระบวนการเคมีต่าง ๆ ในพืช โดยมี ตัวรับแสงทำหน้าที่รับเพื่อส่งสัญญาณให้พืช ตอบสนองต่อแสงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการที่เหง้า ขมิ้นได้รับแสงยาวนานขึ้นเป็นลักษณะการ ตอบสนองต่อแสงของพืชต่อความยาววันเกี่ยวข้อง กับการทำงานไฟโตโครม ซึ่งเป็นระบบของรงควัตถุ พบทั่วไปในพืชชั้นสูง ตำแหน่งของไฟโตโครมอยู่ ระหว่างไซโทพลาสต์กับผนังเซลล์และอาจอยู่รวม กับเยื่อหุ้มเซลล์ รับแสงในช่วงแสงแดง (Pr) และ แสงแดงไกล (Pfr) ซึ่งไฟโตโครมที่สังเคราะห์ในพืช จะอยู่ในรูป Pr และปรากฏในพืชเสมอ ส่วน Pfr จะ ปรากฏเมื่อพืชได้รับแสงสีแดงและถูกเปลี่ยนกลับ อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับแสงแดงไกล แต่เมื่ออยู่ ในช่วงกลางคืน Pfr จะถูกเปลี่ยนกลับไปอย่างช้า ๆ (Möglich *et al.*, 2010) โดยเหง้าขมิ้นอ้อยจากการ ทดลองได้รับแสงยาวนานขึ้นทำให้อยู่ในช่วงมืดสั้น กว่าเหง้าขมิ้นที่ได้รับแสงปกติ Pfr จึงถูกเปลี่ยน กลับไปไม่หมด ซึ่ง Pfr เป็นไฟโตโครมที่มีฤทธิ์ทาง ชีววิทยา อาจส่งผลทำให้เหง้าขมิ้นอ้อยเปลี่ยน น้ำตาลไปอยู่ในรูปสารสำคัญชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ถูก สลายไปกับกระบวนการหายใจจึงทำให้น้ำหนักของ เหง้าขมิ้นอ้อยที่ได้รับแสงเสริมสูงกว่าเหง้าขมิ้นที่ เก็บไว้ในสภาพห้องปกติ แสดงให้เห็นถึงการปรับตัว ของพืช

3.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์

การให้แสงเสริมในแต่ละสัปดาห์ให้ผล การทดลองสอดคล้องกัน คือ การให้แสงเสริมทำให้ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (AOA) สารประกอบฟีนอลิก รวม (PC) ปริมาณสารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (BMC) สารเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (DMC) และสาร เคอร์คูมิน (CUR) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเหง้า ขมิ้นอ้อยที่เก็บรักษาในสภาพห้องปกติ (รูปที่ 3) เมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้าย ของการเก็บรักษาและน้ำหนักเหง้าเริ่มคงที่ พบว่า ฤทธิ์การกวาดล้างอนุมูลอิสระของ WL และ RB มี ค่า EC₅₀ สูงที่สุด 20.31 และ 20.49 gFWL⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่าง (p<0.01) จากขมิ้นอ้อยที่ ได้รับแสงจาก RL และ BL มีค่า EC₅₀ 24.45 และ 29.04 gFWL⁻¹ ส่วนขมิ้นอ้อยที่ได้รับแสง NL แสดง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด คือ 41.87 gFWL⁻¹ (ตารางที่ 4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของ WL และ RB มีปริมาณสูงที่สุด 8.50 และ 8.43 mgGAEg⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่าง (p<0.01) จาก ขมิ้นอ้อยที่ได้รับแสงจาก RL และ BL ที่มีค่า 8.12 และ 7.82 mgGAEg⁻¹ ตามลำดับ ส่วนขมิ้นอ้อยที่ ได้รับแสง NL แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมน้อยที่สุด คือ 6.89 mgGAEg⁻¹ (ตารางที่ 3)

สารออกฤทธิ์ที่สำคัญในเหง้าขมิ้นอ้อย ได้แก่ BMC, DMC และ CUR ให้ผลการทดลองที่ สอดคล้องกัน เมื่อฉีดด้วย HPLC จะพบปริมาณสาร ทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับสารมาตรฐาน คือ สาร BMC จะออกมาก่อนที่ RT 8.42 นาที และมีปริมาณ น้อยที่สุด ส่วนสาร DMC ออกมาเป็นพีคที่ 2 ที่ RT 9.37 นาที ส่วน CUR จะออกมาเป็นพีคสุดท้าย ที่ RT 10.53 นาที ซึ่งมีปริมาณสูงกว่า BMC (รูปที่ 4) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Pothitirat และ Gritsanapan (2005) ที่พบว่าสารสกัดจาก *Curcuma longa* มี ปริมาณสารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน เดสเมทอกซี-

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของเหง้าขมิ้นอ้อยภายใต้การให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	Total Phenolic Compound (mgGAEg ⁻¹)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	5.93±0.03 c ^{1/}	6.37±0.08 c ^{1/}	6.62±0.06 d ^{1/}	6.68±0.05 e ^{1/}	6.82±0.05 d ^{1/}	6.89±0.05 d ^{1/}
BL	6.01±0.04 c	6.51±0.07 c	7.16±0.05 c	7.74±0.07 d	7.68±0.02 c	7.82±0.02 c
RL	6.11±0.05 b	6.71±0.10 b	7.40±0.10 b	7.67±0.05 c	7.95±0.05 b	8.12±0.08 b
WL	6.26±0.05 a	6.99±0.11 a	7.63±0.08 a	8.29±1.43 a	8.36±0.02 a	8.50±0.02 a
RB	6.17±0.04 b	6.85±0.06 ab	7.49±0.06 ab	8.15±0.06 b	8.25±0.15 a	8.43±0.06 a
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	0.69	1.26	0.95	0.84	0.96	0.66

**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

ตารางที่ 4ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเหง้าขมิ้นอ้อยภายใต้การให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	DPPH scavenging activity (EC ₅₀ gFWL ⁻¹)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	50.44±0.73 d ^{1/}	48.74±1.04 e ^{1/}	45.62±0.39 e ^{1/}	43.79±1.97 d ^{1/}	42.46±0.50 d ^{1/}	41.87±0.65 d ^{1/}
BL	48.29±0.51 c	42.83±0.91 d	36.78±0.47 d	30.23±2.08 c	29.07±0.50 c	29.04±0.22 c
RL	46.92±0.65 b	39.06±0.88 c	32.35±0.69 c	25.71±0.28 b	24.64±0.12 b	24.45±0.32 b
WL	43.53±0.52 a	32.33±0.96 a	25.08±0.33 a	20.99±1.43 a	20.35±0.15 a	20.31±0.17 a
RB	45.75±0.44 b	34.82±0.97 b	26.33±0.33 b	22.31±1.69 a	20.57±0.33 a	20.49±0.16 a
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	1.23	2.42	1.38	5.68	1.32	1.31

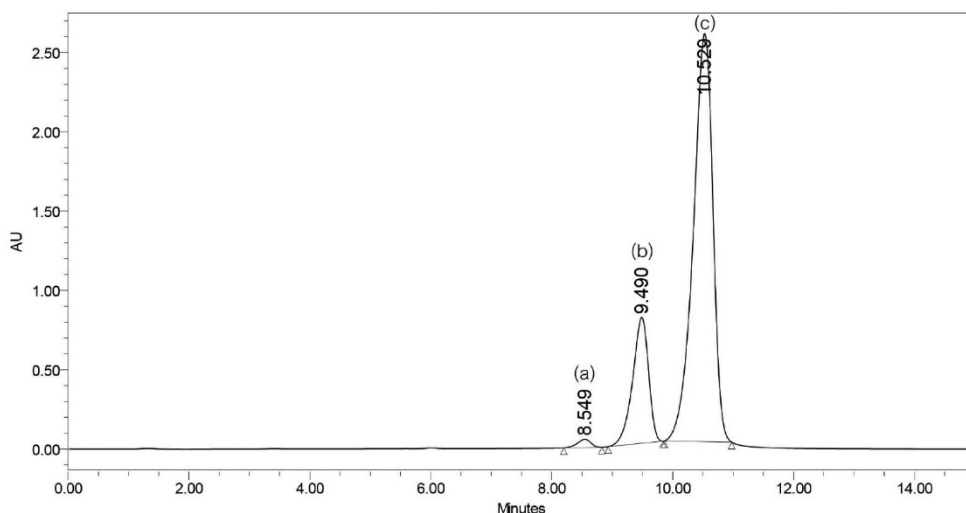
**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

เคอร์คิวมิน และเคอร์คิวมินอยู่ในช่วงระหว่าง 5.97±0.41 ถึง 13.88±0.86, 11.47±0.61 ถึง 23.81±0.28 และ 46.45±3.21 ถึง 67.31±0.97 % w/w ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสารทั้ง 3 ชนิด จะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 3 และตารางที่ 1) และเมื่อพิจารณาสัปดาห์ที่ 6

พบว่า WL ให้ปริมาณ BMC สูงที่สุด คือ 76.58 µg100gFW⁻¹ ไม่แตกต่างจาก RL มีค่า 73.45 µg100gFW⁻¹ ซึ่งแตกต่าง (p<0.01) จาก RB, BL และ NL มีค่า 70.67, 55.50 และ 48.58 µg100gFW⁻¹ มีค่าลดลงตามลำดับ ให้ค่าสอดคล้องกับ DMC พบว่า WL และ RL ให้ค่าสูงไม่แตกต่างกัน มีค่า

9.42 และ 9.05 mg100gFW⁻¹ ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งแตกต่าง (p<0.01) จาก RB, BL และ NL มีค่า 8.18, 6.85 และ 6.17 mg100gFW⁻¹ มีค่าลดลงตามลำดับ (ตารางที่ 6) ส่วนค่า CUR พบว่า WL, RB และ RL ให้ค่าสูงไม่แตกต่างกัน คือ 17.42,

17.02 และ 16.94 mg100gFW⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่าง (p<0.01) จาก BL และ NL ที่มีค่า 15.30 และ 12.62 mg100gFW⁻¹ ลดลงตามลำดับ (ตารางที่ 7)



รูปที่ 4 โครมาโตแกรมของสารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (a) สารเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (b) และสารเคอร์คูมิน (c) มาตรฐาน ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร อัตราการไหล (flow rate) 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ฉีดตัวอย่างที่ 20 ไมโครลิตร

ตารางที่ 5 ปริมาณสารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมินของเหง้าขมิ้นอ้อยภายหลังจากการให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	Bis-demethoxycurcumin content (µg100gFW ⁻¹)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	27.29±0.78 c ^{1/}	37.53±0.39 c ^{1/}	43.61±0.03 e ^{1/}	44.92±1.05 e ^{1/}	47.29±0.54 d ^{1/}	48.58±0.84 d ^{1/}
BL	29.21±0.52 bc	40.23±0.12 c	47.70±1.44 d	49.25±0.19 d	53.58±0.19 c	55.50±0.51 c
RL	34.62±0.79 a	51.52±0.84 b	55.45±0.03 b	64.47±0.09 b	69.17±0.30 b	73.45±3.45 ab
WL	36.31±0.81 a	56.38±3.14 a	61.21±0.40 a	70.25±0.20 a	74.32±1.87 a	76.58±0.21 a
RB	31.49±1.95 b	49.21±0.12 b	53.17±0.32 c	59.44±0.73 c	68.33±3.34 b	70.67±2.61 b
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.44	3.15	1.33	1.04	2.79	3.08

**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารเดสเมทอกซีเคอร์คูมินของเหง้าขมิ้นอ้อยภายใต้การให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	Total Phenolic Compound (mgGAEg ⁻¹)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	3.98±0.33 b ^{1/}	5.19±0.04 d ^{1/}	5.62±0.04 d ^{1/}	5.79±0.07 e ^{1/}	6.10±0.08 c ^{1/}	6.17±0.05 d ^{1/}
BL	4.55±0.30 ab	5.75±0.02 c	6.10±0.07 c	6.20±0.02 d	6.75±0.05 c	6.85±0.07 c
RL	5.30±0.54 a	6.79±0.02 b	7.05±0.08 b	7.76±0.03 b	8.74±0.34 ab	9.05±0.44 a
WL	5.60±0.42 a	7.28±0.37 a	7.96±0.37 a	8.29±0.02 a	9.38±0.64 a	9.42±0.22 a
RB	5.01±0.28 ab	6.56±0.07 b	6.85±0.05 b	7.12±0.01 c	8.08±0.75 b	8.18±0.20 b
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	7.90	2.69	2.54	0.57	6.03	3.02

**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารเคอร์คูมินของเหง้าขมิ้นอ้อยภายใต้การให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

Treatment	DPPH scavenging activity (EC ₅₀ g _{FW} L ⁻¹)					
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
NL	9.77±0.53	10.05±0.07 d ^{1/}	10.41±0.23 d ^{1/}	12.04±0.15 d ^{1/}	12.11±0.63 c ^{1/}	12.62±0.28 c ^{1/}
BL	10.21±0.71	10.79±0.02 c	11.12±0.11 c	13.61±0.19 c	14.88±0.19 b	15.30±0.08 b
RL	10.64±0.69	11.65±0.37 b	13.17±0.15 b	16.17±0.27 ab	16.45±0.40 a	16.94±0.19 a
WL	10.89±0.72	14.04±0.30 a	14.84±0.23 a	16.45±0.07 a	17.17±0.30 a	17.42±0.63 a
RB	10.43±0.67	11.42±0.14 b	12.90±0.17 b	15.91±0.20 b	16.42±0.36 a	17.02±0.16 a
F-test	ns	**	**	**	**	**
C.V. (%)	6.47	1.91	1.48	1.29	2.64	2.07

**Mean within each column followed by the same letter is not significantly different at 99 % level of confidence based on Duncan's new multiple range test; NL = natural light; BL = blue light; RL = red light; WL = white light; RB = mixed light red and blue (1 : 5)

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมาหาค่าสหสัมพันธ์ พบว่าอายุการเก็บรักษามีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักสด กล่าวคือ เมื่อเก็บรักษาเหง้าขมิ้นอ้อยเป็นระยะเวลานานจะทำให้น้ำหนักสดแห้งลดลง แต่อายุการเก็บรักษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ AOA ถึงแม้ว่าค่าในตารางจะเป็นค่าติดลบ แต่

เนื่องจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่นำเสนอเป็นค่า EC₅₀ ซึ่งค่าน้อยแสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าการเก็บรักษาเหง้าขมิ้นอ้อยนานขึ้นมีผลทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และอายุการเก็บรักษายังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสารออกฤทธิ์ชนิดอื่น ๆ

เช่น PC, BMC, DMC และ CUR แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษาในน้ำมันอ้อยเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้สารสำคัญเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของน้ำหนักสดแห้งน้ำมันอ้อยกับสารสำคัญ พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบยกเว้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่าแห้งน้ำมันอ้อยที่เก็บรักษาไว้นานน้ำหนักแห้งลดลงส่งผลให้มีปริมาณสารสำคัญเพิ่มขึ้น ซึ่งสารออกฤทธิ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แสดงว่าสารออกฤทธิ์ PC, BMC, DMC และ CUR แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในแห้งน้ำมันอ้อย และสารออกฤทธิ์ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม PC (ตารางที่ 1)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาแห้งน้ำมันอ้อยเป็นเวลานานขึ้นทำให้มีสารสำคัญเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากกระบวนการหายใจของพืชที่ย่อยสลายแป้งอยู่ในรูปของน้ำตาลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิต เมื่อพืชมีพลังงานร่วมกับน้ำตาลจึงมีกิจกรรมต่าง ๆ เกิดขึ้น รวมไปถึงการสังเคราะห์สารสำคัญเกิดขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Titova และคณะ (2011) ที่ศึกษาการหายใจของเซลล์ในพืชสกุลกลอยชนิดหนึ่ง พบว่าการหายใจที่ใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้พืชผลิตสารสำคัญที่เป็นสารในกลุ่มสารทุติยภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพืชได้รับแสงเสริมทำให้พืชสร้างสารออกฤทธิ์เพิ่มขึ้น เช่น สาร BMC, DMC, CUR และ PC ซึ่งสารดังกล่าวแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไฟโตโครมที่เป็นรงควัตถุที่พืชใช้ตรวจวัดความยาวนานของวัน และพืชใช้เป็นสัญญาณสำหรับการตอบสนองต่อแสง ซึ่งได้กล่าวไปแล้วว่าการที่พืชได้รับแสงยาวนานขึ้นทำให้ช่วงกลางวันหรือช่วงมืดสั้นลงการเปลี่ยนกลับของ Pfr กลับไปเป็น Pr ได้ช้า ทำให้มี Pfr เหลือมาก ซึ่ง Pfr แสดงฤทธิ์ทางชีววิทยา ดังเช่นงานทดลองของ

Buchholz และคณะ (1995) พบว่า Pfr ชักนำให้มีการสร้างสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เคออสติน และแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ ยังพบว่ามีสารสะสม mRNA สำหรับการสังเคราะห์ chalcone synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ ในต้นมัสตาร์ด และพบในพืชอื่นอีกหลายชนิด

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพแสงจากหลอด LED พบว่าการให้แสง WL และ RB จะทำให้มีน้ำมันสร้างสารสำคัญได้สูง รองลงมา ได้แก่ RL ส่วน BL จะทำให้ได้สารสำคัญน้อยแต่สูงกว่าการไม่ได้รับแสงเสริม ซึ่งอาจเนื่องมาจากไฟโตโครมเป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสง โดยเฉพาะแสงสีแดงและสีน้ำเงิน มีไม่น้อยกว่า 5 ชนิด ซึ่งการให้แสงสีขาวและแสงผสมระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินทำให้พืชได้รับสเปกตรัมแสงที่มากกว่าการให้แสงสีแดงหรือน้ำเงินเพียงอย่างเดียว ทำให้ไฟโตโครมสามารถทำงานได้ดีกว่า จึงทำให้พืชสังเคราะห์สารสำคัญได้ดีกว่า สอดคล้องกับงานทดลองของ Kondo และคณะ (2014) ที่ศึกษาการให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินจากหลอด LED ความยาวคลื่น 660 และ 450 นาโนเมตร ตามลำดับ ระยะเวลา 3 ชั่วโมงก่อน 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลัง 18:00 น. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปกติ ในต้นองุ่นอายุ 7 ปี พบว่าการให้แสงเพิ่มเติมทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับแสงปกติ แต่จากงานทดลองนี้พบว่าแสงสีน้ำเงินจะทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ชนิดหนึ่งสูงที่สุด แต่มีน้ำมันอ้อยมีสารสำคัญเป็นสารในกลุ่มสีเหลือง ดังนั้นการตอบสนองต่อแสงสีอาจแตกต่างกันออกไป โดยงานทดลองของ Seo และคณะ (2015) ได้ศึกษาใน buckwheat พบว่าแสงสีขาวและแสงผสมระหว่างสีแดงและน้ำเงิน และการให้ phenylalanine มีผลต่อการสะสมปริมาณสาร PC ในกลุ่ม rutin และ chlorogenic acid เพิ่มขึ้น แต่แสงสีน้ำเงินมีผลต่อ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ในขมิ้นอ้อยเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่มีสีเหลือง ไฟโตโครมจึงตอบสนองต่อช่วงแสงสีขาวและสีผสมได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงินที่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

4. สรุป

ขมิ้นอ้อยภายหลังการเก็บเกี่ยวมีน้ำหนักสดแห้งลดลง แต่ปริมาณสารเพิ่มขึ้นแปรผันตามอายุการเก็บรักษา การให้แสงเสริมอย่างต่อเนื่องโดยการเปิด 3 ชั่วโมงก่อนเวลา 06:00 น. และหลังเวลา 18:00 น. สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักแห้ง ขมิ้นอ้อยและเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารออกฤทธิ์ โดยการให้แสงขาวหรือแสงผสมระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินสัดส่วน 1:5 จะช่วยรักษาน้ำหนักแห้งและเพิ่มปริมาณสารสำคัญได้ดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร ห้องสรีรวิทยาการผลิตพืช 1 แปลงทดลอง 2 (เรือนอ่งนูปวิณ ปุณศรี) คณะเกษตร และภาควิชาพืชสวน สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

6. รายการอ้างอิง

กิจจา ฤทธิขจร, 2551, 1,001 ตำรับยาใกล้ตัว รักษาโรคด้วยตนเอง, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์ ริดเดอร์ส ไตเจสท์, กรุงเทพฯ.

จรัส เชนนิล, 2547, รอดตายด้วยสมุนไพรจากประสบการณ์จริง, สำนักพิมพ์มรดกสยาม, นนทบุรี.

จำลองลักษณ์ หุ่นชื่น, จิรนาฏ วิรัชพิเชษฐกุล, รุ่งทิพย์ พรหมทรัพย์ และอภิสิทธิ์ ประสงค์สุข, 2550, อาหารจากสมุนไพร อร่อย สุขภาพดี, สำนักพิมพ์แม่บ้าน, กรุงเทพฯ.

ดร. เพ็ชรพลาย, จารีย์ บันลือ, ณัฏฐา จันทรสุวานิชย์, ประถม ทองศรีรักษ์ และชาติรี ชาญประเสริฐ, 2533, สมุนไพรพื้นบ้านฉบับรวม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กองวิจัยและพัฒนาสมุนไพร, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

บรรจบ กำจัด, 2557, ประโยชน์มหัศจรรย์ : ขมิ้น, สำนักพิมพ์อมรินทร์สุขภาพ, กรุงเทพฯ.

ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์, 2550, LED แสงสว่างแห่งอนาคต, ว.ส่งเสริมการลงทุน 18(11): 27-33.

วิทย์ เทียงบุญธรรม, 2542, พจนานุกรมสมุนไพรไทย, พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์รวมสาส์น, กรุงเทพฯ.

วิทยา บุญวรพัฒน์, 2554, สารานุกรมสมุนไพรไทย-จีนที่ใช้บ่อยในประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์สมาคมศาสตร์การแพทย์แผนจีนในประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544, สรีรวิทยาของพืช, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุทธิกรณ์ ฤทธิ์บรรรักษา, 2550, มหัศจรรย์สมุนไพรไทย, สำนักพิมพ์ไพลินบุ๊คเน็ต, กรุงเทพฯ.

Arnason, J.T., Mata, R. and Romeo, J.T., 1995, Phytochemistry of Medicinal Plants, Springer-Verlag New York Inc, New York.

Buchholz, G., Ehmann, B. and Wellmann, E., 1995, Ultraviolet light inhibition of phytochrome-induced flavonoid biosynthesis and DNA photolyase formation in mustard cotyledons (*Sinapis alba* L.), Plant Physiol. 108: 227-234.

Gao, X., Maria, O., Niklas, J., Lars, B. and Viktor, T., 2000, Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae*

- rhamnoides* L.) during maturation, J. Agric. Food Chem. 48: 1485-1490.
- Ingkasupart, P., Benya, M., Woo, T.S. and Jeong, H.H., 2015, Antioxidant activities and lutein content of 11 marigold cultivars (*Tagetes* spp.) grown in Thailand, Food Science and Technology (Campinas) 35(2): 380-385.
- Jana, L.S.C., Otakar, S., Mamyil, S. and Karol, M., 2008, Taxonomic and nomenclatural puzzles in Indian Curcuma: the identity and nomenclatural history of *C. zedoaria* (Christm.) Roscoe and *C. zerumbet* Roxb. (Zingiberaceae), Taxon 57: 949-962.
- Kondo, S., Tomiyama, H., Rodyoung, A., Okawa, K., Ohara, H., Sugaya, S., Terahara, N. and Hirai, N., 2014, Abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light emitting diode (LED) irradiation at night, J. Plant Physiol. 171: 823-829.
- Möglich, A., Yang, X., Ayers, R.A. and Moffat, K., 2010, Structure and function of plant photoreceptors, Annu. Rev. Plant Biol. 61: 21-47.
- Park, S., Ahn, D., Jeon, H., Kwon, T. and Lim, H., 2012a, Increase in contents of ginsenosides in raw ginseng root in response to exposure to 450 and 470 nm light from light-emitting diode, J. Ginseng Res. 36: 198-204.
- Park, Y., Park, J., Hwang, S. and Jeong, B., 2012b, Light source and CO₂ concentration affect growth and anthocyanin content of lettuce under controlled environment, Hort. Environ. Biotechnol. 53: 460-466.
- Paz, M.D.P., Kuehny, J.S., McClure, G. and Criley, R., 2003, Effects of rhizome storage time and temperature on growth and carbohydrate content of ornamental ginger, Acta Hort. 673: 737-744.
- Pei-Yin, Z., Xue-Hua, Z., He-Ming, Z. and Hai-Hang, L., 2011, High-efficient column chromatographic extraction of curcumin from *Curcuma longa*, Food Chem. 129: 700-703.
- Pothitirat, W. and W. Gritsanapan, 2005, Quantitative Analysis of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin in the crude curcuminoid extract from *Curcuma longa* in Thailand by TLC densitometry, Mahidol Univ. J. Pharm. Sci. 32(1/2): 23-30.
- Seo, J.M., Arasu, M.V., Kim, Y.B., Park, S.U. and Kim, S.J., 2015, Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts, Food Chem. 177: 204-213.
- Subhadhirasakul, S., Wongvarodom, S. and Ovatlamporn, C., 2007, The content of active constituents of stored sliced and powdered preparations of turmeric rhizomes and zedoary (bulb and finger) rhizomes, Songklanakarin J. Sci. Technol. 29: 1527-1536.
- Terashima, I., Fujita, T., Inoue, T., Chow, W.S. and Oguchi, R., 2009, Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green, Plant Cell Physiol. 50: 684-697.

- Titova, M.V., Berkovich, E.A., Reshetnyak, O.V.,
Kulichenko, I. E., Oreshnikova, A.V. and
Nosov, A.M., 2011, Respiration activity of
suspension cell culture of *Polyscias
filicifolia* Bailey, *Stephania glabra* (Roxb.)
Miers, and *Dioscorea deltoidea* Wall,
Biochem. Microbiol. 47: 87-92.
- Zaub, 2013, Analysis of Export of Curcuma
Zedoary, Available Source: [https://www.
zauba.com/exportanalysis-curcuma+zedo
ary-report.html](https://www.zauba.com/exportanalysis-curcuma+zedoary-report.html), March 24, 2017.