บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การสกัดสารแอนทราควิโนน (anthraquinone) จากเปลือกว่านหางจระเข้

ผลจากการสกัดสารจากเปลือกว่านหางจระเข้อบแห้ง ปั่นละเอียด ปริมาณ 50 กรัม โดยนำไปสกัดด้วยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลายนาน 8 ชม.เปรียบเทียบกับการสกัดด้วยวิธีการหมัก (fermentation) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องนาน 48 ชม. นำตัวอย่างจากการสกัดทั้ง 2 วิธีไประเหยตัวทำละลายออกจนได้เป็นสารสกัดหยาบ (crude extract) จากเปลือกว่านหางจระเข้ลักษณะสีเขียวเข้มจนเหลือปริมาณ 50 มิลลิลิตรแล้วส่งไปตรวจวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปริมาณแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ที่ศูนย์บริการประกันคุณภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ได้ผลดังนี้

4.1.1 สกัดด้วยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลาย ด้วยวิธีทดสอบ T-CM-050 Based on Food and Chemical Toxicology (1999) รายงานการตรวจแอนทราควิโนน (Anthraquinone) จากสารสกัดหยาบ (crude extract) จากเปลือกว่านหางจระเข้พบว่ามีปริมาณ 27.38 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

4.1.2 สกัดด้วยวิธีการหมัก (fermentation) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลาย ด้วยวิธีทดสอบ T-CM-050 Based on Food and Chemical Toxicology (1999) รายงานการตรวจแอนทราควิโนน (Anthraquinone) จากสารสกัดหยาบ (crude extract) จากเปลือกว่านหางจระเข้พบว่ามีปริมาณ 4.56 เปอร์เซ็นต์ (w/w)

เปรียบเทียบปริมาณแอนทราควิโนน (Antraquinone) จากสารสกัดหยาบ (crude extract) จากเปลือกว่านหางจระเข้ เมื่อสกัดด้วยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เอทานอล (Absolute ethanol) เป็นตัวทำละลาย พบว่ามีปริมาณมากกว่าการสกัดด้วยวิธีการหมัก (fermentation) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลายประมาณ 7 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากแอนทราควิโนน (Antraquinone) สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายไนโตรเบนซีนซึ่งเป็นตัวละลายไม่มีขั้ว แต่แอนทราควิโนน (Antraquinone) ที่สกัดได้จากเปลือกว่านหางจระเข้นั้นจะอยู่ในรูปของแอนทราควิโนน ไกลโคไซด์ (Anthraquinone glycoside) จึงสามารถละลายในเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วได้ แต่เนื่องจากแอนทราควิโนน (Antraquinone) มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงทำให้ละลายได้น้อยที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งการสกัดโดยวิธีการหมัก (fermentation) นั้นจะใช้อุณหภูมิห้องจึงทำให้ได้ปริมาณแอนทราควิโนน (Antraquinone) น้อยกว่าการสกัดโดย

วิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) ซึ่งสกัดภายใต้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (H.du et. al,1998) ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ในการควบคุมหนอนใยผักจึงเลือกใช้สารสกัดจากวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เอทานอล (ethanol) เป็นตัวทำละลายเท่านั้น

4.2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ต่อหนอนใยผัก

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ในการไล่หนอนใยผัก

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยใช้เอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายมีผลต่อการไล่หนอนใยผักระยะที่ 2 นับเปอร์เซ็นต์การไล่นาน 5 ชั่วโมงพบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายมีผลต่อการไล่หนอนใยผัก โดยใช้ความเข้มข้น 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่ชั่วโมงที่ 1 มีค่า 3.33 $\pm$ 3.33, 20.00 $\pm$ 11.55, 26.67 $\pm$ 8.82, 16.67 $\pm$ 6.67 และ 26.67 $\pm$ 8.82 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผัก โดยใช้ One-way ANOVA พบว่าเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่ความเข้มข้น 1.0 % w/v มีความแตกต่างกับความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่ที่ความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่ชั่วโมงที่ 2 มีค่า 10.00 $\pm$ 5.77, 20.00 $\pm$ 11.55, 33.33 $\pm$ 6.67, 33.33 $\pm$ 3.33 และ 36.67 $\pm$ 8.82 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผัก โดยใช้ One-way ANOVA พบว่าเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่ความเข้มข้น 1.0 % w/v มีความแตกต่างกับความเข้มข้น 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 % w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และที่ความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่ชั่วโมงที่ 3 มีค่า20.00 $\pm$ 5.77,26.67$\pm$ 6.67, 40.00 $\pm$ 5.77, 33.33 $\pm$ 6.67 และ 46.67 $\pm$ 3.33 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผัก โดยใช้ One-way ANOVA พบว่าเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 4.0% w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และที่ความเข้มข้น 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่ชั่วโมงที่ 4 มีค่า 20.00 ± 5.77, 33.33 ± 6.67,40.00 ± 5.77,56.67 ± 3.33 และ 60.00 ± 5.77 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผัก โดยใช้ One-way ANOVA พบว่าเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่ความเข้มข้น 1.0 % w/v มีความแตกต่างกับความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % w/v อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ที่ความเข้มข้น 2.0 และ 3.0% w/v เหมือนที่ความเข้มข้น 4.0 และ 5.0 % w/v คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่ชั่วโมงที่ 5 มีค่า 43.33 ± 3.33, 53.33 ± 3.33, 50.00 ± 5.77, 63.33 ± 3.33 และ 73.33 ± 3.33 % ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผัก โดยใช้ One-way ANOVA พบว่าเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 % w/v เหมือนที่ความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 % w/v คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 % w/v มีความแตกต่างกับความเข้มข้น 4.0 และ 5.0 % w/v อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 5 ชั่วโมง ระดับการไล่แมลงอยู่ในระดับ 3 เมื่อทำการทดสอบกับสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 % w/v และระดับการไล่แมลงอยู่ในระดับ 4 เมื่อทำการทดสอบกับสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 4.0 และ 5.0 % w/v (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน[(1)]ของเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักด้วยสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (% w/v)	**เปอร์เซ็นต์การไล่ในแต่ละเวลา(%)[(2)]**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1.0	$3.33^{a} \pm 3.33$	$10.00^{a} \pm 5.77$	$20.00^{a} \pm 5.77$	$20.00^{a} \pm 5.77$	$43.33^{a} \pm 3.33$
2.0	$20.00^{b} \pm 11.55$	$20.00^{ab} \pm 11.55$	$26.67^{a} \pm 6.67$	$33.33^{b} \pm 6.67$	$53.33^{b} \pm 3.33$
3.0	$26.67^{b} \pm 8.82$	$33.33^{b} \pm 6.67$	$40.00^{b} \pm 5.77$	$40.00^{b} \pm 5.77$	$50.00^{ab} \pm 5.77$
4.0	$16.67^{b} \pm 6.67$	$33.33^{b} \pm 3.33$	$33.33^{ab} \pm 6.67$	$56.67^{c} \pm 3.33$	$63.33^{c} \pm 3.33$
5.0	$26.67^{b} \pm 8.82$	$36.67^{b} \pm 8.82$	$46.67^{b} \pm 3.33$	$60.00^{c} \pm 5.77$	$73.33^{d} \pm 3.33$

หมายเหตุ [(1)]ระดับอัตราการไล่ (Repellency rate) หนอนใยผักที่คำนวณได้จากการทดสอบด้วยความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ 5 ระดับ ๆ ละ3 ซ้ำ

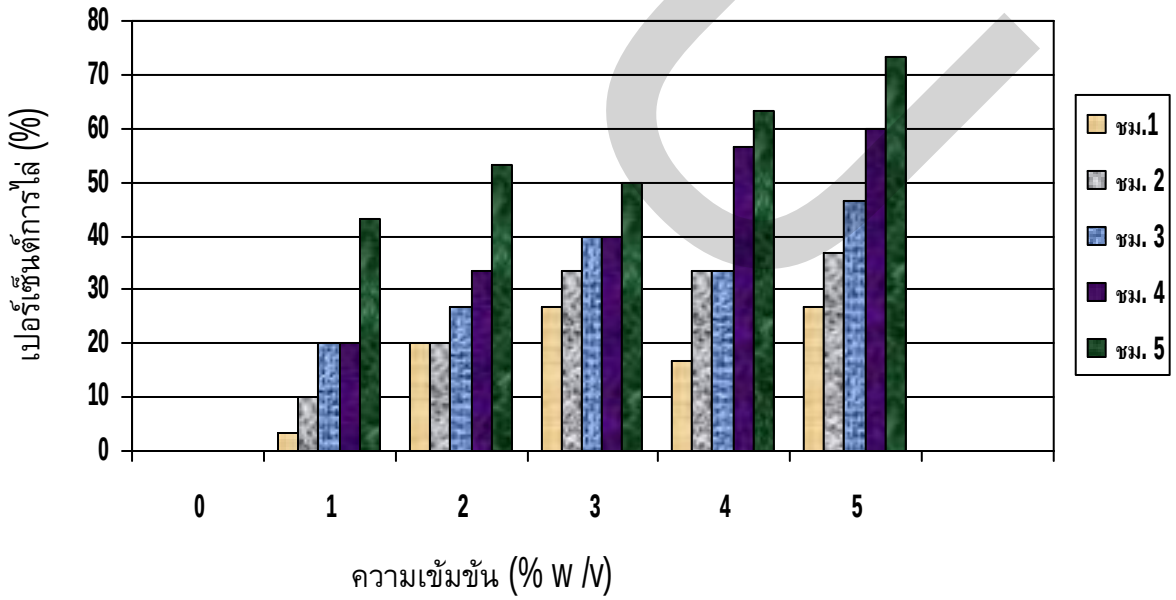
[(2)] ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน[1]ของระดับอัตราการไล่ (Repellency rate) หนอนใยผักด้วยสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆที่เวลา 5 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (% w/v)	เปอร์เซ็นต์การไล่ที่ 5 ชั่วโมง (%)[2]	ระดับการไล่แมลง
1.0	43.33 ^{a}± 3.33	3
2.0	53.33 ^{b}± 3.33	3
3.0	50.00 ^{ab}± 5.77	3
4.0	63.33 ^{c}± 3.33	4
5.0	73.33 ^{d}± 3.33	4

หมายเหตุ [1] ระดับอัตราการไล่ (Repellency rate) หนอนใยผักที่คำนวณได้จากการทดสอบด้วยความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ 5 ระดับ ๆ ละ3 ซ้ำ

[2] ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)



ภาพที่ 22 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักที่เวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชม.

จากการศึกษาสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยวิธีการสกัดซอกซ์เลตซึ่งมี เอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย โดยพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ 1.0, 2.0 และ 3.0 % w/v ที่เวลา 5 ชั่วโมง ให้ระดับการไล่แมลงอยู่ในระดับเดียวกันคือระดับ 3 และค่าระดับการไล่แมลงสูงสุดอยู่ในระดับ 4 เมื่อทดสอบด้วยสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นของ 4.0 และ 5.0 % w/v โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การไล่หนอนใยผักสูงสุด คือ 73.33 $\pm$ 3.33 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวิธีการสกัดสารจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยวิธีการสกัดซอกซ์เลตซึ่งมีเอทานอล (Absolute ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย เป็นวิธีการสกัดสารแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ที่มีฤทธิ์ในการไล่หนอนใยผักได้ การที่แอนทราควิโนน (Anthraquinone) สามารถไล่หนอนใยผักได้ เนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีจัดอยู่ในสารจำพวกไล่แมลง อยู่ในกลุ่มอัลคาลอยด์ (Alkaloid) มีฤทธิ์เป็นเบสและเป็นพิษทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวสัมผัส อีกทั้งยังคงอยู่ในสภาพธรรมชาติได้นานกว่ากลุ่มน้ำมันหอมระเหย (essential oils) จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่แมลงของน้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัส *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* ต่อหนอนกระทู้ผัก *Spodoptera litura Fabricius* พบว่าไม่เหมาะสมที่จะใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัสเป็นสารไล่หนอนกระทู้ผัก เนื่องจากไล่ได้ดีที่สุด คือ 60-80 % เมื่อใช้เวลา 15 นาที ประสิทธิภาพในการไล่หนอนกระทู้ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อใช้เวลา 5 ชั่วโมง หนอนถูกไล่เพียง 45-72 % (ศิริพรรณ และคณะ, 2550) ซึ่งจะเห็นได้จากประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ในการไล่หนอนใยผักยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการไล่หนอนใยผักได้ดีกว่ากลุ่มน้ำมันหอมระเหย (essential oils) และเหมาะสมในการใช้เพื่อการเกษตรเนื่องจากสารแอนทราควิโนน (Anthraquinone) เป็นอันตรายกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเมื่อใช้ในปริมาณมากเท่านั้น โดยมีค่าความเป็นพิษเฉียบพลันทางปาก (Acute oral toxicity) LD_{50} มากกว่า 5000 มก./กก. (Anthraquinone Fact Sheet,1998)

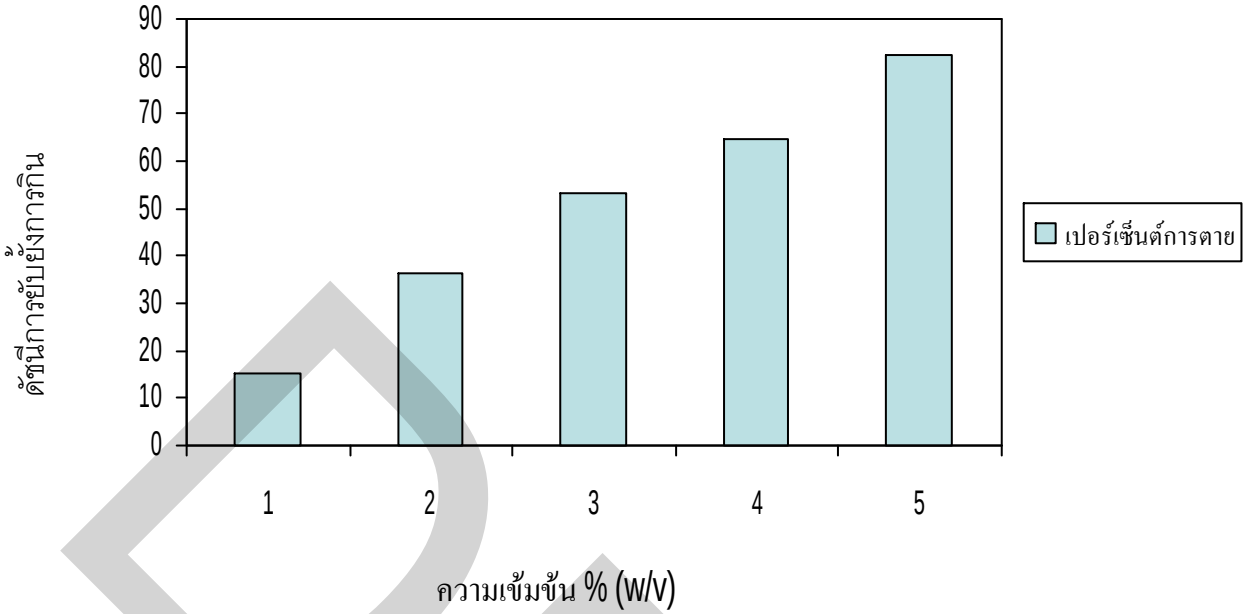
4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผัก

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่สกัดโดยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) ซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผัก โดยใช้วิธีทดสอบแบบจุ่มใบ (Leaf dipping method) กับหนอนใยผักระยะที่ 2 ตรวจวัดพื้นที่การกินของหนอนใยผักภายใน 24 ชั่งโมง โดยใช้ความเข้มข้น 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, และ 5.00% (w/v) พบดัชนีการยับยั้งการกิน (Antifeedant index ; AFI) มีค่า 15.01, 36.36, 53.36, 64.82 และ 82.60 %ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และมีค่า AFI_{50} 2.97 % เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้ Probit Analysis (ภาพที่ 24)

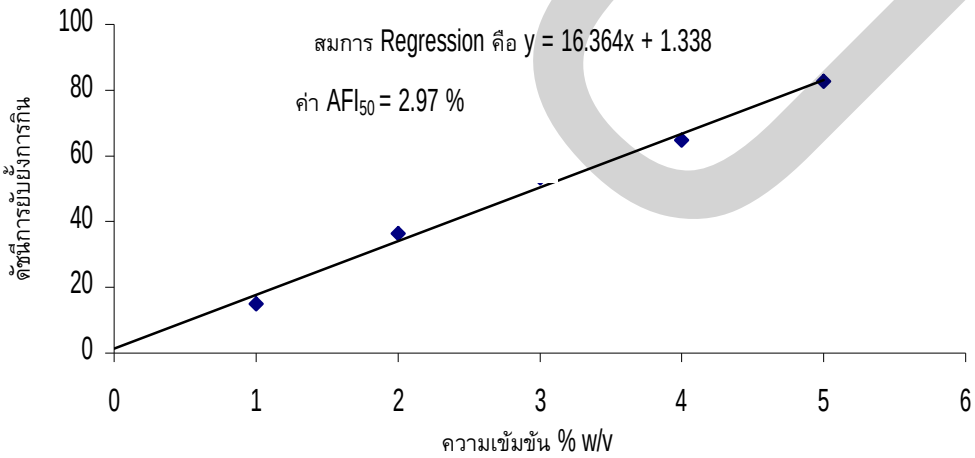
ตารางที่ 3 แสดงผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อดัชนีการยับยั้งการกิน (Antifeedant index ; AFI) ของหนอนใยผักที่เวลา 24 ชม.

ความเข้มข้น % (w/v)	**ดัชนีการยับยั้งการกิน** [(1)]
1.00	15.01
2.00	36.36
3.00	53.36
4.00	64.82
5.00	82.60

หมายเหตุ [(1)] คำนวณโดยใช้ Antifeedant index formula (Abivardi and Benz, 1984)



ภาพที่ 23 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อดัชนีการยับยั้งการกิน (Antifeedant index ; AFI) ของหนอนใยผักที่เวลา 24 ชม.



ภาพที่ 24 แสดงผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อดัชนีการยับยั้งการกิน (Antifeedant index ; AFI) ของหนอนใยผักที่เวลา 24 ชม.

จากการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยวิธีการสกัดซอกซ์เลต ซึ่งมี เอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ทำให้เกิดการยับยั้งการกินของหนอนใยผักสูงสุดที่ 24 ชม.คือ 5 % (w/v) มีค่าดัชนียับยั้งการกินเท่ากับ 82.60 % และความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ทำให้เกิดการยับยั้งการกินของหนอนใยผักต่ำสุดที่ 24 ชม.คือ 1 % (w/v) มีค่าดัชนียับยั้งการกินเท่ากับ 15.01 % และสมการ regression คือ y = 16.364X + 1.3382.97 ค่า AFI_{50}เท่ากับ 2.97 % (w/v) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้ Probit Analysis แสดงว่าแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ที่ได้จากการสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผักที่ 24 ชม. เปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผักหรือแมลงชนิดอื่นเมื่อได้รับสารสกัดทุติยภูมิจากพืชในกลุ่มอัลคาลอยด์ (alkaloid) ชนิดอื่นๆได้ผลเป็นไปในทางเดียวกันคือ ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการกินของสารสกัดจากเมล็ดสะเดา 3 ชนิดคือสะเดาอินเดีย (*Azadirachta indica* A. Juss) สะเดาช้าง (*Azadirachta excelsa (Jack) Jacobs*) และสะเดาไทย (*Azadirachta indica* var *siamensis* Valeton) ต่อหนอนใยผัก พบว่าผลการยับยั้งการกินใบคะน้าของหนอนใยผักเท่ากับ 55.69 , 79.69 และ 44.45 % ตามลำดับ (รติยา และคณะ, 2547) หรือสารพวก terpinoid ซึ่งมีรสขมสามารถยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผักได้ดังผลการศึกษา (Reed et al.,1982) ตลอดจนนักวิจัยอีกหลายท่านที่ได้ให้ความสนใจนำน้ำมันสกัดจากเมล็ดสะเดา Azadirachtin ซึ่งเป็น tetranor-teiterpinoid มีผลควบคุมแมลงได้หลายด้าน ตัวอย่างเช่น สามารถหยุดยั้งการกินอาการของแมลงวันบ้าน ตัวอ่อนหนอนใยผัก ด้วงเต่าแดง นอกจากนี้สาร azadirachtin ยังมีผลควบคุมแมลงในด้านอื่นอีกหลายด้าน แสดงว่าแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ที่ได้จากการสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปอนุพันธ์ของไกลโคไซด์ (glycoside derivative) (อดุลย์, 2537) มีผลต่อต่อการยับยั้งการกินของหนอนใยผัก เนื่องจากเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มอัลคาลอยด์เช่นกัน และยังมีอนุพันธ์อื่นๆเป็นองค์ประกอบด้วย คือสารซาโปนิน (saponin) และ กลุ่ม triterpenoids (G.R.Waller et.al, 1978) จึงสามารถทำให้เกิดการยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผักได้ภายใน 24 ชม. เป็นไปในทางเดียวกับผลการศึกษาของ Wada and Munakata (1971) ทำการศึกษาผลวิจัยของ terpenoids จากพืช 6 ชนิดซึ่งอยู่ในกลุ่ม sesauitepernoids , diterpenoids และ triterpenoids ที่ความเข้มข้น 0.030 ถึง 0.5% ใน acetone กับตัวอ่อนของหนอนเจาะมันฝรั่ง *Spodoptera littoralis* พบว่า สารในกลุ่มของ sisquiterpenoids เช่น pinquison และ absinthin ให้ผลดีที่สุดที่ความเข้มข้น 0.125% และ 0.03% ตามลำดับ และไม่พบสารในกลุ่มของ diterpenoids หรือ triterpenoids แสดงผลยับยั้งการกินของแมลงดังกล่าว แสดงว่าสารออกฤทธิ์ยับยั้งการกินอาหารของหนอนใยผักจากสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้เป็นกลุ่มแอนทราควิโนน ไกลโคไซด์ (Anthraquinone glycoside)

4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ต่อการตายของหนอนใยผัก

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายที่มีผลต่อการตายของหนอนใยผัก โดยใช้วิธีทดสอบแบบจุ่มใบ (Leaf dipping method) กับหนอนใยผักระยะที่ 2 ซึ่งผ่านการอดอาหาร 2 ชม. นับเปอร์เซนต์การตายที่ 72 ชม. เพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมในการศึกษาระดับเอนไซม์ของหนอนใยผักต่อไป

สารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายที่มีผลต่อการตายของหนอนใยผัก โดยใช้ความเข้มข้น 0.01, 0.025, 0.05, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00% (w/v) พบเปอร์เซ็นต์การตายจริง 3.45, 6.90, 6.90, 10.34, 13.79, 20.69, 24.14, 27.58, 34.48, 44.83, 51.73, 62.07, 82.76 และ 100% ตามลำดับ (ตารางที่ 4) และมีค่า LC_{50} 1.83% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้ Probit Analysis (ภาพที่ 26)

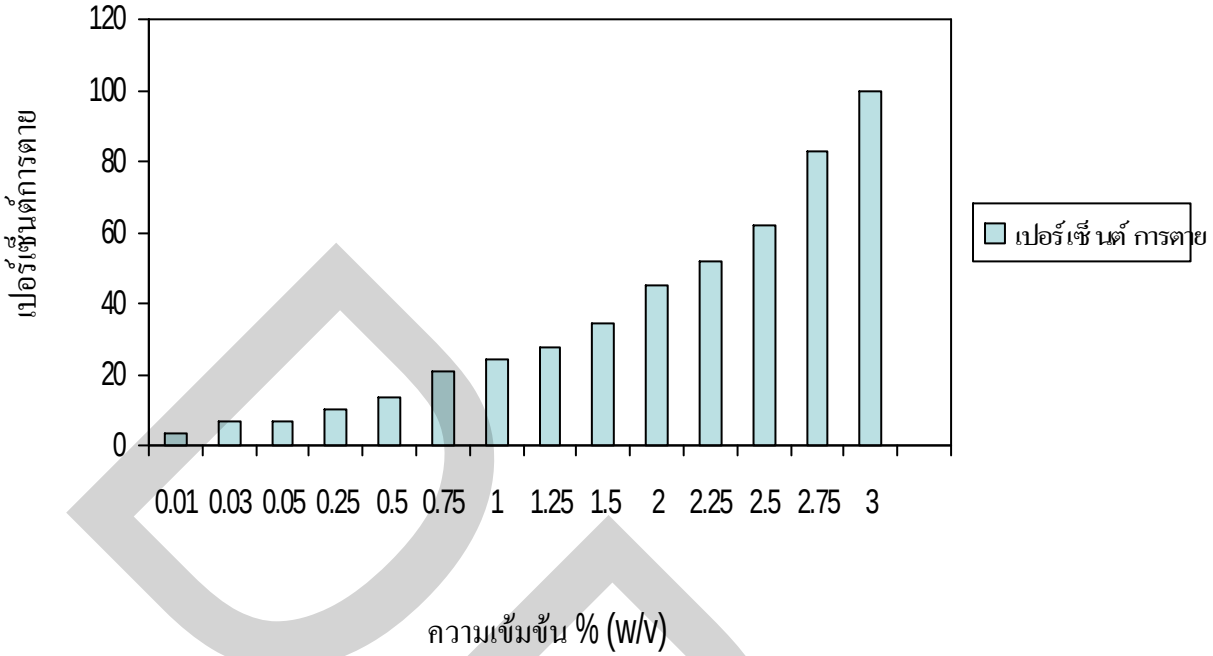
DPU

ตารางที่ 4 แสดงผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การตายจริงของหนอนใยผักที่เวลา 72 ชม.

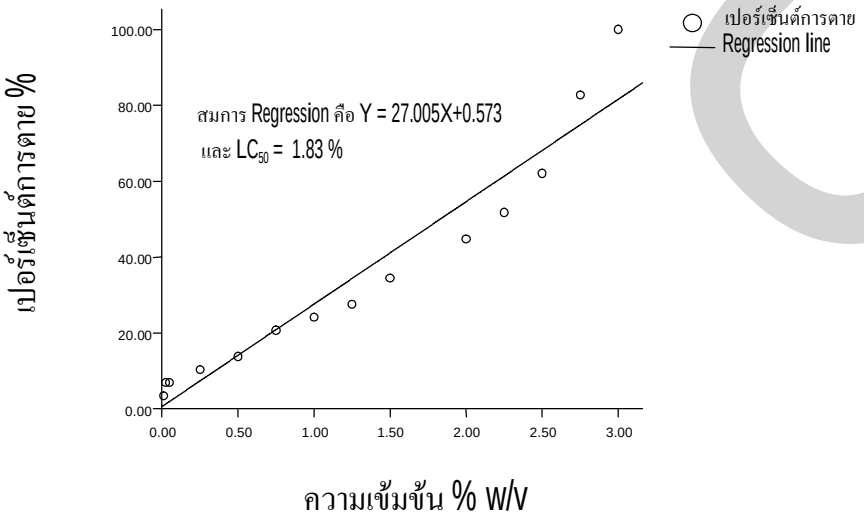
ความเข้มข้น % (w/v)	เปอร์เซ็นต์การตายจริง[1]
0.00	0.00
0.01	3.45
0.025	6.90
0.05	6.90
0.25	10.34
0.50	13.79
0.75	20.69
1.00	24.14
1.25	27.58
1.50	34.48
2.00	44.83
2.25	51.73
2.50	62.07
2.75	82.76
3.00	100.00

หมายเหตุ [1] คำนวณโดยใช้ Abbott's formula (Finney, 1971)

DPU



ภาพที่ 25 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การตายจริงของหนอนใยผักที่เวลา 72 ชม.



ภาพที่ 26 แสดงผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การตายจริงของหนอนใยผักที่เวลา 72 ชม.

จากการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยวิธีการสกัดซอกซ์เลต ซึ่งมี เอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย โดยพบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลายที่ทำให้หนอนใยผักตาย 100% คือ 3% (w/v) และพบค่า LC_{50} คือ 1.83% (w/v) (สมการ Regression คือ Y = 27.005X +0.573) แสดงว่าวิธีการสกัดสารจากเปลือกว่านหางจระเข้โดยวิธีการสกัดซอกซ์เลตซึ่งมีเอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย เป็นวิธีการสกัดสารแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ที่มีฤทธิ์ในการทำให้หนอนใยผักตายได้ การที่แอนทราควิโนน (Anthraquinone) สามารถทำให้หนอนใยผักตายได้ภายใน 72 ชม. เนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีของแอนทราควิโนน (Anthraquinone) คือ เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นแอนทรานอล (Anthranol) ซึ่งระคายเคืองต่อลำไส้ (อดุลย์, 2537) หรืออีกสาเหตุหนึ่ง คือแอนทราควิโนน (Anthraquinone) ไปมีผลทำให้กลไกการทำลายสารพิษในหนอนใยผักเกิดการเหนี่ยวนำให้สร้างเอนไซม์ทำลายพิษของสารแปลกปลอมในปริมาณน้อยเกินไป ซึ่งเอสเทอเรส (esterase) และกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ถือว่าเป็นกลไกหลักของแมลงที่จะถูกเหนี่ยวนำให้มีปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป เพื่อทำลายความเป็นพิษของสารแปลกปลอม (Yu, 1984) ดังนั้นจึงทำให้หนอนใยผักไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ในทางตรงกันข้าม หนอนใยผักที่รอดตายจะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างเอนไซม์ทำลายพิษปริมาณมากพอที่จะทำลายพาของสารแปลกปลอมออกไปจนไม่สามารถทำอันตรายให้ถึงกับตายได้

4.3 ผลการศึกษาระดับเอนไซม์ทำลายพิษของหนอนใยผัก

การศึกษาระดับเอนไซม์ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 โดยเลี้ยงหนอนใยผักระยะที่ 2 ด้วยผักคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่สกัดโดยวิธีการสกัดซอกซ์เลต ซึ่งมี เอทานอล (ethanol) 95% เป็นตัวทำละลาย ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) เลี้ยงจนหนอนใยผักเข้าสู่ระยะที่ 4 จึงนำไปสกัดเอนไซม์ และตรวจวัดระดับเอสเทอเรส (esterase) และกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) มีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v)

ระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 5.47 $\pm$ 0.09 นาโนโมล และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 7.29 $\pm$ 0.53, 9.47 $\pm$ 0.72 และ 11.03 $\pm$ 0.38 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 5) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณเอสเทอเรส (esterase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 2 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 5.47 $\pm$ 0.14 n mole และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 7.32 $\pm$ 0.24, 9.43 $\pm$ 0.67 และ 11.02 $\pm$ 0.31 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 5) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณเอสเทอเรส (esterase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50% (w/v) ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มทดลอง สำหรับปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 2.00 และ 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 3 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 5.45 $\pm$ 0.16 นาโนโมล และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณเอสเทอเรส (esterase) 7.21 $\pm$ 0.51, 9.40 $\pm$ 0.48 และ 10.97 $\pm$ 0.92 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 5) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณเอสเทอเรส (esterase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจาก

เปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50% (w/v) ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มทดลอง สำหรับปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 2.00 และ 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

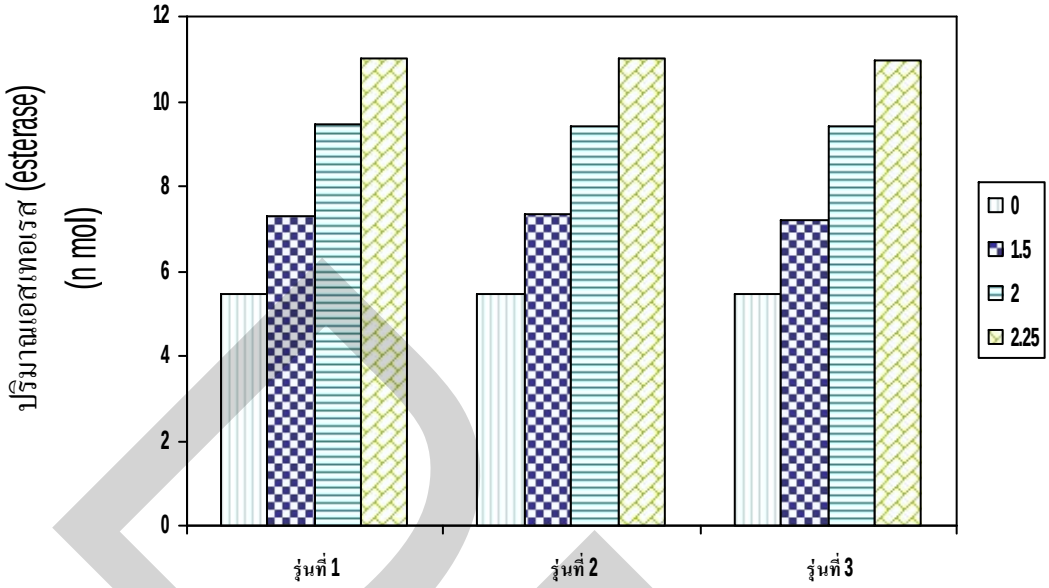
เมื่อนำเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มาวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเอสเทอเรส (esterase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณ เอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้นเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [(1)] ของเอสเทอเรส (esterase) หนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น % (w/v)	**ปริมาณ esterase เฉลี่ย (n mole)[(2)]**		
	รุ่นที่ 1	**รุ่นที่ 2**	**รุ่นที่ 3**
0.00	$5.47^{a} \pm 0.09$	$5.47^{a} \pm 0.14$	$5.45^{a} \pm 0.16$
1.50	$7.29^{b} \pm 0.53$	$7.32^{ab} \pm 0.24$	$7.21^{ab} \pm 0.51$
2.00	$9.47^{c} \pm 0.72$	$9.43^{b} \pm 0.67$	$9.40^{b} \pm 0.48$
2.25	$11.03^{c} \pm 0.38$	$11.02^{b} \pm 0.31$	$10.97^{b} \pm 0.92$

หมายเหตุ (1) ปริมาณเอสเทอเรส (esterase) ที่วัดได้จากการทดสอบด้วยความเข้มข้นของสาร สกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ 3 ระดับ ๆ 3 ซ้ำในหนอนใยผักที่มีชีวิต

(2) ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

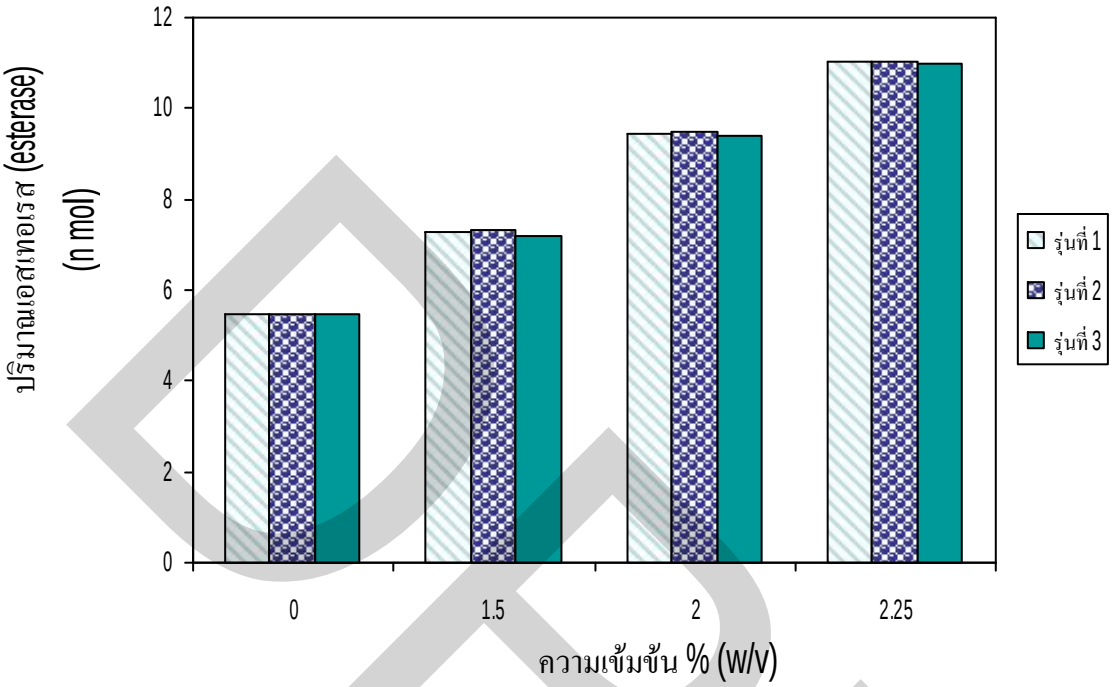


ภาพที่ 27 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจาก เปลือกว่านที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผัก รุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

หนอนใยผัก (รุ่น)	ปริมาณ esterase เฉลี่ย (n mole)[1]			
	0.00% (w/v)	1.50% (w/v)	2.00% (w/v)	2.25% (w/v)
1	$5.47^{a} \pm 0.09$	$7.29^{a} \pm 0.53$	$9.43^{a} \pm 0.67$	$11.03^{a} \pm 0.38$
2	$5.47^{a} \pm 0.14$	$7.32^{a} \pm 0.24$	$9.47^{a} \pm 0.72$	$11.02^{a} \pm 0.31$
3	$5.45^{a} \pm 0.16$	$7.21^{a} \pm 0.51$	$9.40^{a} \pm 0.48$	$10.97^{a} \pm 0.92$

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)



ภาพที่ 28 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบระดับเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และ รุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

การศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษของหนอนใยผัก พบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่มีผลทำให้ระดับเอนไซม์ทำลายพิษ คือ เอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาพบว่าระดับเอสเทอเรส (esterase) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ คือ เพิ่มจากความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) ตามลำดับ (ภาพที่ 27) การที่เอสเทอเรส (esterase) เพิ่มขึ้นเพราะเมื่อแมลงได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้เข้าไปในร่างกาย แมลงจะมีการสร้างเอสเทอเรส (esterase) เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนโครงสร้างของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้เพื่อง่ายแก่การกำจัดออกจากร่างกาย เอสเทอเรส (esterase) เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระยะที่ 1 (phase 1) ซึ่งอยู่ในกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ใช้เอนไซม์โดยตรง เอสเทอเรส (esterase) มีความสามารถในการ

Metabolized สารพิษ โดยจะทำหน้าที่ในการ Hydrolyzed สารในกลุ่ม Ester ให้เป็นสารพิษตัวใหม่ที่เป็น Carboxy และ Alcohol เป็นต้น (ชัยวัฒน์, 2539) ดังนั้นเมื่อหนอนใยผักได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ ซึ่งก็คือสารแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย จึงมีการสร้างเอสเทอเรส (esterase) เพิ่มขึ้นเพื่อทำลายพิษ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Yu and Nguyen (1992) พบว่าเมื่อหนอนใยผักได้รับสารเคมีในกลุ่ม Pyrethroid และสารเคมีในกลุ่ม Organophosphate จะมีการสร้างเอสเทอเรส (esterase) เพิ่มขึ้น และยังสอดคล้องกับ Mackness *et al*. (1984) มีรายงานว่า ใน *Thibolium castaneum* ที่ต้านทานต่อสาร Malathion พบระดับเอสเทอเรส (esterase) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ เมื่อแมลงได้รับสาร Malathion พบว่าเอสเทอเรส (esterase) คือ Carboxyesterase จะเร่งปฏิกิริยา Hydrolysis สาร Malathion ให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็น α – monoacid γ – monoacid และ Ethanol เพื่อง่ายแก่การกำจัดออกจากร่างกาย (Dauterman, 1983; Kao *et al*., 1984) เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Konnc *et al*. (1989) ตรวจพบเอสเทอเรส (esterase) ของ *Heliothis virescens* มีระดับสูงขึ้นเมื่อ Methyl parathion เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งเป็นสารสกัดจากพืช มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษ คือ เอสเทอเรส (esterase) โดยพบว่าเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น Yu (1983, 1984) ได้กล่าวว่าเมื่อแมลงได้รับสารสกัดจากพืชจะทำให้แมลงมีการสร้างเอนไซม์ทำลายพิษ คือ เอสเทอเรส (esterase) เป็นต้น ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำลายพิษจากสารสกัดจากพืชซึ่งเป็นสารแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายให้มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีพิษเลย และการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษในแมลงแต่ละชนิดต่อสารพิษในระดับที่แตกต่างกัน หรือในแมลงชนิดเดียวกันถ้าได้รับสารพิษคนละชนิด การเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษก็จะแตกต่างกันด้วย (Rose, 1985; Rose and Terier, 1980)

ในการศึกษาเอนไซม์ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 เมื่อได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ เพื่อดูแนวโน้มการต้านทานของหนอนใยผักต่อสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ จากผลการทดลองพบว่าเอสเทอเรส (esterase) ของหนอนใยผักทั้ง 3 รุ่นไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 28) การสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการป้องกันกำจัดจะใช้เวลาแตกต่างกัน และพบว่าสารเคมีในกลุ่ม Pyrethroid เป็นสารเคมีที่แมลงสร้างความต้านทานได้เร็วที่สุด คือ 2 ปี การสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดต้องใช้เวลาหลายรุ่น (Generation) เพราะการสร้างเอนไซม์ถูกควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 2 (Metcalf, 1989) และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อๆไป ซึ่งจะมีผลทำให้แมลงมีความต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัด (Visetson, 1992) ดังนั้นผลการศึกษาจึงยังสรุปไม่ได้ว่าหนอนใยผักไม่สามารถสร้างความต้านทานต่อสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาอันสั้น

4.3.2 ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v)

ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.59 ± 0.03 n mole และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.63 ± 0.04, 0.71 ± 0.09 และ 0.78 ±0.08 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50% (w/v) ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม สำหรับปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 2.00, 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 2 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.59 ± 0.06 n mole และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.62 ± 0.01, 0.70 ± 0.02 และ 0.78 ±0.09 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50% (w/v) ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม สำหรับปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 2.00, 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 3 พบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.55 ± 0.06 n mole และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มีปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) 0.62 ± 0.02, 0.69 ± 0.04 และ 0.76 ± 0.02 n mole ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส

(glutathione S-transferase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 1.50% (w/v) ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม สำหรับปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 2.00, 2.25% (w/v) มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

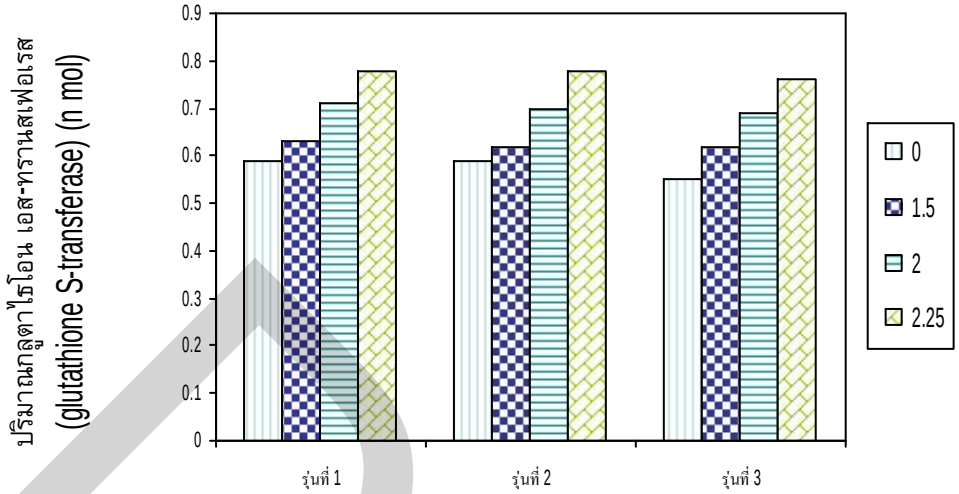
เมื่อนำกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) มาวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) โดยใช้ One - way ANOVA พบว่าปริมาณกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ความเข้มข้นเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [1] ของกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) หนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น % (w/v)	**ปริมาณ glutathione S-transferase เฉลี่ย (n mole)[2]**		
	รุ่นที่ 1	**รุ่นที่ 2**	**รุ่นที่ 3**
0.00	$0.59^{a} \pm 0.03$	$0.59^{a} \pm 0.06$	$0.55^{a} \pm 0.06$
1.50	$0.63^{ab} \pm 0.04$	$0.62^{ab} \pm 0.01$	$0.62^{ab} \pm 0.02$
2.00	$0.71^{bc} \pm 0.09$	$0.70^{bc} \pm 0.02$	$0.69^{bc} \pm 0.04$
2.25	$0.78^{c} \pm 0.08$	$0.78^{c} \pm 0.09$	$0.76^{c} \pm 0.02$

หมายเหตุ [1] ปริมาณจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ที่วัดได้จากการทดสอบด้วยความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ 3 ระดับๆ 3 ซ้ำ ในหนอนใยผักที่มีชีวิต

[2] ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

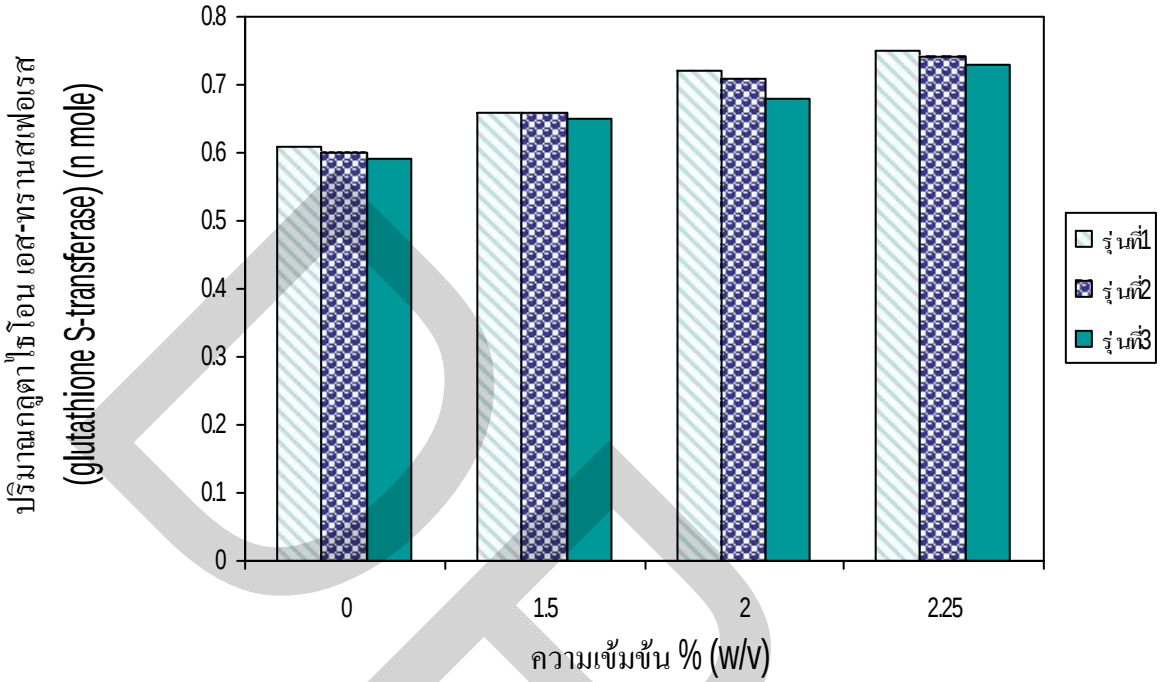


ภาพที่ 29 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผัก รุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

หนอนใยผัก (รุ่น)	ปริมาณ glutathione S-transferase เฉลี่ย (n mole)[1]			
	0.00% (w/v)	1.50% (w/v)	2.00% (w/v)	2.25% (w/v)
1	$0.59^{a} \pm 0.03$	$0.63^{a} \pm 0.04$	$0.71^{a} \pm 0.09$	$0.78^{a} \pm 0.08$
2	$0.59^{a} \pm 0.06$	$0.62^{a} \pm 0.01$	$0.70^{a} \pm 0.02$	$0.78^{a} \pm 0.09$
3	$0.55^{a} \pm 0.06$	$0.62^{a} \pm 0.02$	$0.69^{a} \pm 0.04$	$0.76^{a} \pm 0.02$

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ยตามตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)



ภาพที่ 30 ฮีสโตแกรมเปรียบเทียบระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2และรุ่นที่ 3 ที่เลี้ยงด้วยคะน้าชุบสารสกัดจากเปลือกว่านที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

การศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษของหนอนใยผัก พบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ที่มีผลทำให้ระดับเอนไซม์ทำลายพิษ คือ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) โดยระดับเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 0.00, 1.50, 2.00 และ 2.25% (w/v) ตามลำดับ (ภาพที่29) การที่กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ เพราะ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เป็นเอนไซม์เกี่ยวกับกระบวนการทำลายสารพิษ หรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระยะที่ 2 โดยจะไปเร่งปฏิกิริยาการรวมกันของกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) กับสารพิษที่เข้ามาในร่างกาย

เพื่อให้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีขึ้นเพื่อขับออกจากร่างกาย (Chasscaud, 1979) ดังนั้นเมื่อหนอนใยผักได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ ซึ่งก็คือสารแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย จึงมีการสร้างกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เพิ่มขึ้นเพื่อทำลายพิษ จากผลการศึกษาสอดคล้องกับผลงานของ Walls, Rock and Dauterman (1983) คือ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดการต้านทานของแมลงต่อสารในกลุ่ม Organophosphate โดยพบว่า กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) จะเร่งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารเคมีในกลุ่ม Organophosphate กับ Glutathione (GSH) ให้เกิดสารชนิดใหม่ที่สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเพื่อง่ายแก่การกำจัด

จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ซึ่งเป็นสารสกัดจากพืช มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษ คือ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) โดยพบว่าเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น Yu (1983, 1984) ได้กล่าวว่าแมลงได้รับสารสกัดจากพืชจะทำให้แมลงมีการสร้างเอนไซม์ทำลายพิษ คือ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เป็นต้น ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำลายพิษจากสารสกัดจากพืชซึ่งเป็นสารแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายให้มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีพิษเลย และการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษในแมลงแต่ละชนิดต่อสารพิษในระดับที่แตกต่างกัน หรือในแมลงชนิดเดียวกันถ้าได้รับสารพิษคนละชนิดการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษก็จะแตกต่างกันด้วย (Rose, 1985; Rose and Terier, 1980)

ในการศึกษาเอนไซม์ของหนอนใยผักรุ่นที่ 1 รุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 เมื่อได้รับสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ เพื่อดูแนวโน้มการต้านทานของหนอนใยผักต่อสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ จากผลการทดลองพบว่า กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ของหนอนใยผักทั้ง 3 รุ่น ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 30) การสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการป้องกันกำจัดจะใช้เวลาแตกต่างกัน และพบว่าสารเคมีในกลุ่ม Pyrethroid เป็นสารเคมีที่แมลงสร้างความต้านทานได้เร็วที่สุด คือ 2 ปี การสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดต้องใช้เวลาหลายรุ่น (Generation) เพราะการสร้างเอนไซม์ถูกควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 2 (Metcalf, 1989) และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อๆไป ซึ่งจะมีผลทำให้แมลงมีความต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัด (Visetson, 1992) ดังนั้นผลการศึกษาจึงยังสรุปไม่ได้ว่าหนอนใยผักไม่สามารถสร้างความต้านทานต่อสารสกัดจากเปลือกว่านหางจระเข้ แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาอันสั้น