

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน  
ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ORGANOCHLORINE PESTICIDE RESIDUES IN SUGAR PROCESSES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหัตถ์สุตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AI-M-054-333

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน  
ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ORGANOCHLORINE PESTICIDE RESIDUES IN SUGAR PROCESSES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AI-M-054-333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ORGANOCHLORINE PESTICIDE RESIDUES IN SUGAR PROCESSES**



**WILAILAK JANJAMROON**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT  
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2019**

**KMITL-2019-AI-M-054-333**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2019**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกระบวนการผลิต  
น้ำตาลทราย  
ORGANOCHLORINE PESTICIDE RESIDUES IN SUGAR PROCESSES

ชื่อนักศึกษา นางสาววิไลลักษณ์ จันทจำรูญ  
รหัสประจำตัว 58608053  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
ดร.วิรามศรี ศรีพจนารถ	
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 12 กรกฎาคม 2562 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 25 เดือน 09 พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย
นักศึกษา	นางสาววิไลลักษณ์ จันจำรูญ
รหัสประจำตัว	58608053
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.พงษ์เสวีรัฐ ศรีพรหม

### บทคัดย่อ

การศึกษากการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล พบว่า วิธี AOAC Official Method 970.52 เป็นวิธีการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล จากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย จำนวน 4 ภาค ทำการสกัดตัวอย่างด้วยวิธี AOAC 970.52 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph – Mass Spectrometer (GC-MS) พบว่า น้ำอ้อยมีการตกค้างของ Aldrin, p,p'-DDT,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide 0.0004 – 0.0013, 0.0010 – 0.0036, 0.0003 – 0.0004, 0.0013 – 0.0063, 0.0022 – 0.0047 และ 0.0138-0.0107 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ กากอ้อยมีการตกค้างของ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide 0.0191 – 0.0452, 0.0926, 0.0797, 0.1658, 0.1393, 0.0852 – 0.2669, 0.0909 – 0.1658, 0.1662, 0.0078 – 0.0324, 0.0346 - 0.0484, 0.0830 – 0.4492, 0.4879 – 0.6705 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ น้ำตาลทรายดิบมีการตกค้างของ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide 0.0201 – 0.2587, 0.0406, 0.0389, 0.0502, 0.0455, 0.0797 – 0.2682, 0.0359 – 0.9254, 0.0609, 0.0013, 0.0038 – 0.0187, 0.0046 – 0.1014, 0.0172 – 0.1248 และ 0.0319 – 0.1329 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ น้ำตาลทรายขาวมีการตกค้างของ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide 0.0020 – 0.0098, 0.0004, 0.0004, 0.0004, 0.0007 – 0.1048, 0.0084 – 0.0143,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0036 – 0.0131, 0.0006 – 0.0579, 0.0062 – 0.0514 และ 0.0039 – 0.0449 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และกากน้ำตาลมีการตกค้างของ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide 0.0002 – 0.0104, 0.0196, 0.0188, 0.0264, 0.0205, 0.0205, 0.0012 – 0.0461, 0.0004 – 0.0182, 0.0001 -0.0289, 0.0038, 0.0003 – 0.0135, 0.0008 – 0.0106 และ 0.0085 – 0.0277 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ผลรวมของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อยและกากอ้อยได้เป็น สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อย พบว่า อ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการตกค้างของ สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเฉลี่ยสูงสุดที่ 0.1256 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ 0.1068, 0.1065 และ 0.1056 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2560) กำหนดไว้ ในอ้อย (ต้องไม่พบ) และพบว่า ผลรวมของ Aldrin และ Dieldrin และผลรวมของ Heptachlor และ Heptachlor epoxide มีค่า 0.0366 และ 0.1914 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเกินกว่าปริมาณ สารพิษตกค้างสูงสุดที่สหภาพยุโรปกำหนด (0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ส่วนปริมาณของ Aldrin, Chlordane, DDT, Endrin และ HCH อยู่ในปริมาณที่เกณฑ์กำหนด เมื่อพิจารณาตามกระบวนการผลิต พบว่า กากอ้อยมีสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างในปริมาณสูงสุด ระหว่าง 0.0078 - 0.6705 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำอ้อยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างในปริมาณ 0.0003 - 0.0107 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อผ่านกระบวนการได้เป็นน้ำตาลทรายดิบพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้าง เพิ่มขึ้น ในช่วง 0.0013 - 0.9254 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาว พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลง โดยมีปริมาณตกค้างในช่วง 0.0020– 0.1048 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และกากน้ำตาลมีการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนใน ระดับต่ำกว่าน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาว โดยปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 0.0001 - 0.0461 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

<b>Thesis</b>	Organochlorine Pesticide Residues in Sugar Processes
<b>Student</b>	Miss Wilailak Janjamroon
<b>Student ID.</b>	58608053
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Safety Management
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Pongsert Sriprom

### ABSTRACT

The determination of 13 organochlorine pesticides (OCPs) included Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide found that the AOAC Official Method 970.52 was selected for organochlorine extraction. Sugarcane, bagasse, raw sugar, white sugar and molasses that collected from sugar factories of 4 Cane and Sugar Promotion Center were extracted with AOAC 970.52 and analyzed by Gas Chromatograph – Mass Spectrometer (GC-MS). The result found that Aldrin, p,p'-DDT,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide were contaminated in sugarcane juice in the range of 0.0004 – 0.0013, 0.0010 – 0.0036, 0.0003 – 0.0004, 0.0013 – 0.0063, 0.0022 – 0.0047 and 0.0138-0.0107 mg/kg respectively. Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide were contaminated on bagasse in the range of 0.0191 – 0.0452, 0.0926, 0.0797, 0.1658, 0.1393, 0.0852 – 0.2669, 0.0909 – 0.1658, 0.1662, 0.0078 – 0.0324, 0.0346 - 0.0484, 0.0830 – 0.4492, 0.4879 – 0.6705 mg/kg respectively. Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide were contaminated on raw sugar in the range of 0.0201 – 0.2587, 0.0406, 0.0389, 0.0502, 0.0455, 0.0797 – 0.2682, 0.0359 – 0.9254, 0.0609, 0.0013, 0.0038 – 0.0187, 0.0046 – 0.1014, 0.0172 – 0.1248 and 0.0319 – 0.1329 mg/kg respectively. Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide were contaminated on white sugar in the range of 0.0020 – 0.0098, 0.0004, 0.0004, 0.0004, 0.0007 – 0.1048, 0.0084 – 0.0143, 0.0036 – 0.0131, 0.0006 – 0.0579, 0.0062 – 0.0514 and 0.0039 – 0.0449 mg/kg respectively. Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor and Heptachlor epoxide were contamination on molasses in the range of 0.0002 – 0.0104, 0.0196, 0.0188, 0.0264, 0.0205, 0.0205, 0.0012 – 0.0461, 0.0004 – 0.0182, 0.0001 – 0.0289, 0.0038, 0.0003 – 0.0135, 0.0008 – 0.0106 and 0.0085 – 0.0277 mg/kg respectively. The average of OCPs on sugarcane that collected from Eastern region were highest residue (0.1256 mg/kg), follow by Northeastern, Central and Northern 0.1068, 0.1065 and 0.1056 respectively. The OCPs residues higher than Maximum Residue Level (MRL) of Notification of the Ministry of Public Health. Aldrin and Dieldrin and Heptachlor and Heptachlor epoxide residue were 0.0366 and 0.1914 mg/kg respectively higher than MRL follow the EU regulation (EU-MRLs Regulation (EC) No 396/2005). Aldrin, Chlordane, DDT, Endrin and HCH were complied with the regulation. The OCPs contamination on each processing products found that bagasse were found 13 OCPs in the range of 0.0078 - 0.6705 mg/kg, sugarcane juice was lowest contaminated 6 OCPs (0.0003 - 0.0107 mg/kg), raw sugar that found 13 OCPs were higher OCPs residue than sugarcane juice (0.0013 - 0.9254 mg/kg), then the OCPs were decreased on white sugar that detected 10 OCPs in the range of 0.0020– 0.1048 mg/kg. The molasses were found 13 OCPs in the range of 0.0001 - 0.0461 mg/kg respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการดำเนินงาน และแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ KMITL Research Funding: Academic Melting Pot Fiscal Year 2019 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ. สพญ. ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำและแนวทางการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ ดร. ระจิตร์ สุวพานิช และ ดร.วิรามศรี ศรีพจนารถ กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้สอน และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณคุณถวิล สินขวิญชัย คุณกัญญาวิรั โกลากุล และคุณอรุณี เข็มมหาญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านตัวอย่าง

ขอขอบคุณคุณประภาดา ประจง ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการเคมี ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และพี่เจ้าหน้าที่ คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่เสียสละให้ความช่วยเหลือ ประสานงาน และอำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการดำเนินการด้านเอกสาร การขอใช้งานเครื่องมือ และขอใช้ห้องปฏิบัติการ

ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้า ขอบคุณน้องสาว ญาติ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่รู้จัก เพื่อนนักศึกษาปริญญาโท และว่าที่ร้อยตรีสกลธ์ โพธิ์ประชุม ที่ทุกท่านเป็นแรงผลักดันและเป็นกำลังใจที่ดีของข้าพเจ้าเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดา มารดา ครูอาจารย์ และทุกท่านที่ได้มีส่วนสนับสนุนและช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

วิไลลักษณ์ จันจำริญ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารเคมีกำจัดศัตรูพืช.....	4
2.2 อ้อยและกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	8
2.3 วิธีการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช.....	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์.....	27
3.2 เครื่องมือ.....	27
3.3 สารเคมี.....	28
3.4 วิธีการทดลอง.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1 คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่าง.....	35
4.2 การศึกษาวิธีสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เหมาะสมในตัวอย่าง.....	38
4.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์.....	44
4.4 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล.....	51
4.5 ผลของความร้อนจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก ก.....	76
ภาคผนวก ข.....	79
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	82
ภาคผนวก จ.....	83
ภาคผนวก ฉ.....	84
ภาคผนวก ช.....	85
ภาคผนวก ซ.....	87
ภาคผนวก ฌ.....	88
ภาคผนวก ญ.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	96

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารประกอบออร์กาโนคลอรีน.....	6
2.2 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีทางการเกษตรในประเทศไทย.....	8
2.3 ค่า CCS เฉลี่ยของอ้อยในแต่ละช่วงเวลาเก็บเกี่ยว.....	9
2.4 ชนิดวัตถุอันตรายทางการเกษตร และปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในอ้อย.....	10
2.5 คุณภาพของน้ำอ้อย.....	12
2.6 คุณภาพของกากอ้อย.....	13
2.7 องค์ประกอบทางเคมีของกากน้ำตาล.....	14
2.8 องค์ประกอบและคุณภาพของน้ำตาลทราย.....	15
2.9 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์.....	20
2.10 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	21
2.11 เทคนิควิธีการตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลิตภัณฑ์ ทางการเกษตร.....	22
2.12 ผลของกระบวนการที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์.....	23
2.13 การเกิดลดลงของอนุพันธ์ atrazine จากขั้นตอนการสลายตัวจากความร้อน.....	25
3.1 การเก็บตัวอย่าง.....	29
3.2 การกำหนดสถานะของเครื่อง GC-MS สำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนคลอรีน.....	33
4.1 คุณสมบัติทางเคมีของอ้อย.....	38
4.2 ค่าโพลาริเซชันของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	38
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสกัดตัวอย่างน้ำอ้อยด้วยวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS.....	42
4.4 ความเป็นเส้นตรง ( $R^2$ ) ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดปริมาณ (LOQ).....	48
4.5 ร้อยละการคืนกลับของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	49
4.6 ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และ HORRAT.....	50
4.7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในอ้อย และค่า MRLs (EU Recgulation).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล .....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของสารประกอบออร์กาโนคลอรีน.....	7
2.2 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	11
2.3 แผนภาพการผลิตน้ำตาลทรายแดง สมดุลมวลและอุณหภูมิของกระบวนการ.....	16
2.4 การเปลี่ยนแปลง (Degradation) ของ DDT ที่อุณหภูมิ 120°C – 260°C.....	24
2.5 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงจากการสลายตัวด้วยความร้อนของ Atrazine.....	26
3.1 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี QuEChERS.....	31
3.2 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี AOAC 970.52.....	32
4.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล.....	37
4.2 การเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิต.....	37
4.3 ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบ 2 วิธี ในตัวอย่าง (1) น้ำอ้อย (2) กากอ้อย (3) น้ำตาลทรายดิบ (4) น้ำตาลทรายขาว และ (5) กากน้ำตาล.....	40
4.4 โครมาโตแกรมแสดงพีคของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาลที่สกัดด้วย (1) วิธี AOAC 970.52 และ (2) วิธี QuEChERS.....	43
4.5 ปฏิกริยาการสลายตัวของ Aldrin.....	54
4.6 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในอ้อยที่ปนเปื้อนในอ้อย.....	55
4.7 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในน้ำอ้อย.....	56
4.8 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในกากอ้อย.....	57
4.9 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในน้ำตาลทรายดิบ.....	57
4.10 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในน้ำตาลทรายขาว.....	58
4.11 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ปนเปื้อนในกากน้ำตาล.....	58
4.12 ปฏิกริยาการสลายตัวของ DDT.....	60
4.13 ปฏิกริยาการสลายตัวของ Heptachlor.....	61
4.14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล.....	64

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

อุตสาหกรรมน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมอาหารที่สำคัญของไทย เนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตน้ำตาลได้มากเป็นอันดับต้นๆ ของโลกและส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับ 2 ของโลก (USDA, 2018) กระบวนการผลิตน้ำตาลในประเทศไทยเป็นการแปรรูปมาจากอ้อยทั้งหมด อ้อยจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การเพาะปลูกอ้อยตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันนั้น เกษตรกรมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับผลผลิตอ้อย ทำให้พบสารกำจัดศัตรูพืชรุ่นเก่าในดินและตกค้างในผลผลิต (Mace และคณะ, 2017) เมื่ออ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หลัก (Primary product) คือ น้ำตาลทรายขาว ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ (Intermediate product) คือ น้ำอ้อย น้ำตาลทรายดิบ และผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ (Secondary product) คือ กากอ้อยและกากน้ำตาล ทั้งนี้ น้ำตาลทรายขาวถูกนำไปบริโภคโดยตรง ส่วนกากอ้อยและกากน้ำตาลนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตอาหารประเภทอื่น โดยเฉพาะกากน้ำตาลสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ ซอส ซีอิ๊ว ขนมอบ และเบียร์ (Hickenbottom, 1996) ดังนั้นสารกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในผลผลิตอ้อยจึงมีโอกาสปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหารทำให้อาหารไม่ปลอดภัยได้

สารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้แพร่หลายในการเพาะปลูกพืชในอดีตส่วนใหญ่ เป็นสารเคมีกลุ่มสารประกอบออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine Compound) อาทิ อัลดริน (Aldrin) ไดคลอโรไดฟีนิลไตรคลอโรอีเทน (Dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT) ดีลดริน (Dieldrin) เอนดริน (Endrin) เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (Hexachlorocyclohexane, HCH) เฮปตะคลอริ (Heptachlor) เป็นต้น ซึ่งในการประชุมอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, POPs) ที่มีจุดเริ่มต้นมาจากการประชุมสหประชาชาติ เรื่องการพัฒนาและสิ่งแวดล้อม ได้ประกาศห้ามผลิตและห้ามใช้สาร POPs ในกลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช จำนวน 9 ชนิด คือ Aldrin, Chlordane, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachloro-benzene, Mirex และ Toxaphene เนื่องจากสารเหล่านี้มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวนานตกค้างสะสมในผลผลิตทางการเกษตร และมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป (UNEP, 2010) และต่อมาได้ประกาศเพิ่มเติมอีก 4 ชนิด คือ alpha-hexachlorocyclohexane ( $\alpha$ -HCH), beta-hexachlorocyclohexane ( $\beta$ -HCH), gamma-hexachlorocyclohexane ( $\gamma$ -HCH หรือ

Lindane) และ Chlordane (UNEP, 2010) โดยมีคณะกรรมการโครงการมาตรฐานอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Codex Alimentarius, Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO) ได้กำหนดปริมาณสารพิษตกค้างที่เกิดจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (Maximum Residue Limit, MRL) โดยให้ตรวจพบได้ไม่เกินค่า MRL ที่กำหนดไว้ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ สำหรับในประเทศไทยที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอดีต ได้ลงนามในอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ในปี พ.ศ. 2545 โดยมีกำหนดสารกำจัดศัตรูพืชที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ประกาศห้ามใช้ให้จัดเป็นวัตถุอันตราย ชนิดที่ 4 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2538) และกำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารพิษให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 378 (กระทรวงสาธารณสุข, 2560) ทั้งนี้มีการศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลในประเทศเซอร์เบีย พบว่า กากน้ำตาลและน้ำตาลทรายมีปริมาณ DDT ตกค้าง 0.082 และ 0.132 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ และปริมาณ HCH ตกค้าง 0.035 และ 0.188 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ (Skrbic และ Predojevic, 2008) สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้อย่างชัดเจน รวมถึงไม่มีรายงานผลการศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

จากผลการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอาหาร พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอาหารหลายประเภทลดลง อาทิ นมผง น้ำผลไม้พาสเจอร์ไรส์ (Stemp และ Liska, 1966) ทั้งนี้กระบวนการผลิตน้ำตาลเป็นการแปรรูปด้วยความร้อน (Thermal Process) ประกอบด้วยการสกัดน้ำอ้อย การต้ม น้ำอ้อย การเคี้ยว น้ำตาล และการปั่น น้ำตาล โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 50-105°C ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้เช่นกัน

สำหรับวิธีการสกัดเพื่อวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่ วิธี AOAC official method 970.52 organochlorine and organophosphorus pesticide residues (AOAC, 1996) และวิธี Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe (QuEChERS method) (AOAC, 2016) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ได้แก่ น้ำอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว กากน้ำตาล และกากอ้อย และศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลในประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลของแต่ละเขตพื้นที่การผลิตในประเทศไทย

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตด้านตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล จากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตรับผิดชอบของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายภาคที่ 1-4 จำนวน 2 ช่วงเวลาในฤดูกาลผลิตประจำปี 2560/2561

### 1.3.2 ขอบเขตด้านสถานที่

ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 1.3.3 ขอบเขตด้านเวลา

เวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ช่วงที่ 1 คือ เดือนธันวาคม 2560 - มกราคม 2561 และช่วงที่ 2 เดือนมีนาคม - เมษายน 2561

### 1.3.4 ขอบเขตด้านตัวแปร

1.3.4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ชนิดของตัวอย่าง พื้นที่เพาะปลูกผลิตอ้อย กระบวนการผลิต

1.3.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการความปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

1.4.2 ทราบผลของสภาวะการผลิตที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

## บทที่ 2

# ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสารกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน การเพาะปลูกอ้อย และกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในประเทศไทย และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณและการตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล รวมทั้งผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์อาหาร

### 2.1 สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (กระทรวงสาธารณสุข, 2560)

#### 2.1.1 ความหมายของสารกำจัดศัตรูพืช

สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticides) หมายถึง สารที่มีวัตถุประสงค์การใช้เพื่อป้องกัน ทำลาย ดึงดูด ขับไล่ หรือควบคุมศัตรูพืชและสัตว์ หรือพืชและสัตว์ที่ไม่พึงประสงค์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ระหว่างการเพาะปลูก การเก็บรักษา การขนส่ง การจำหน่าย หรือระหว่างกระบวนการผลิตสินค้าอาหาร หรืออาหารสัตว์ หรือเป็นสารที่อาจใช้กับสัตว์เพื่อควบคุมปรสิตภายนอก (Ectoparasites) และให้หมายความรวมถึง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารทำให้ใบร่วง สารทำให้ผลร่วง สารยับยั้งการแตกยอดอ่อน และสารที่ใช้กับพืชผลก่อนหรือหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง แต่ไม่รวมถึงปุ๋ย สารอาหารของพืชและสัตว์ วัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (Feed additive) และยาสำหรับสัตว์ โดยสารกำจัดศัตรูพืชเป็นอันตรายในอาหารประเภทอันตรายทางเคมี (Chemical hazard) ที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ (Food poisoning) ทั้งแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง

2.1.2 ประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช (สาคร ศรีमुख, 2556) แบ่งตามสูตร โครงสร้างทางเคมี 4 ชนิด ดังนี้

2.1.2.1 สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate compound) เป็นสารที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ละลายได้ดีในน้ำ สลายตัวได้ง่ายในธรรมชาติ จึงมีพิษตกค้างน้อย มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้สูง บางชนิดมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นน้อย บางชนิดมีความเป็นพิษต่อคน และสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง โดยมีความเป็นพิษต่อการทำงานของเอนไซม์ในระบบประสาท คือ โคลีนเอสเตอเรส (Cholinesterase) บางชนิดสามารถถูกดูดซึมอยู่ในพืชได้นาน เช่น มาราไธออน (Malathion) ไตรคลอร์ฟอน (Trichlorfon) เอทิลพาราไธออน (Ethyl Parathion)

2.1.2.2 สารกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate compound) เป็นเอสเทอร์ชนิดหนึ่ง มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) บางชนิด ละลายได้ดีในน้ำ ส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้ใช้ในการป้องกันกำจัดแมลง เชื้อโรคพืช และหอยต่างๆ มีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คือ ไม่สะสมในสิ่งมีชีวิต และมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส และสามารถดูดซึมอยู่ในพืชได้นาน เช่น คาบาริล (Carbaryl) คาร์โบฟูราน (Carbofuran) เมโทมิล (Methomyl) อัลดิคาร์บ (Aldicarb)

2.1.2.3 สารกลุ่มไพริทรอยด์ (Synthetic Pyrethroids) เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์เลียนแบบไพริทริน แต่พัฒนาให้สามารถทนต่อการสลายตัวด้วยแสงแดด มีกลไกการออกฤทธิ์เช่นเดียวกับสารออร์กาโนคลอรีน แต่ฤทธิ์น้อยกว่า มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กำจัดแมลง โดยออกฤทธิ์ให้เกิดอัมพาตในแมลงอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่มีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมค่อนข้างต่ำ สารกำจัดแมลงกลุ่มไพริทรอยด์ส เช่น ไพริทริน (Pyrethrins) เรสมเมทริน (Resmethrin) ไซเปอร์เมทริน (Cypermethrin)

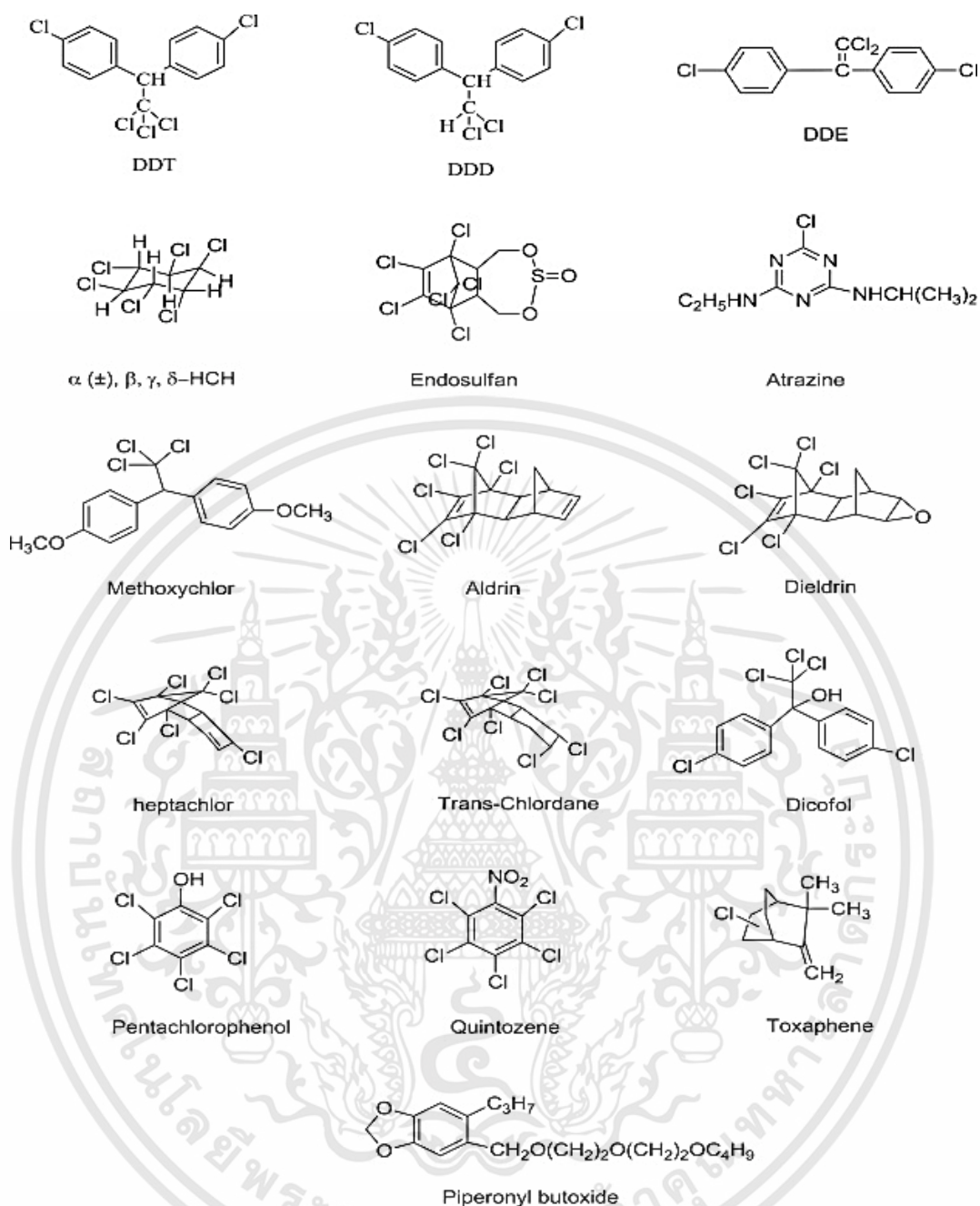
2.1.2.4 สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine compounds) มีธาตุไฮโดรเจน คาร์บอน และคลอรีนเป็นส่วนประกอบ โดยส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้มีวัตถุประสงค์การใช้เพื่อป้องกันกำจัดแมลง และศัตรูพืชอื่นๆ เช่น DDT, Dicofol, Methoxychlor, Aldrin,  $\gamma$ -HCH โดยมีผลต่อระบบประสาทในแมลง และสัตว์เลือดอุ่น ละลายได้ดีในไขมัน ละลายได้น้อยในน้ำ ทำให้สามารถคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ด้วยเหตุนี้สารกลุ่มนี้จึงตกค้างสะสมในพืช สัตว์ ห่วงโซ่อาหาร และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังสามารถเปลี่ยนเป็นสารชนิดใหม่ (Metabolites) ที่ยังมีความเป็นพิษอยู่ โดยมีทั้งมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน และพิษแบบเรื้อรัง เช่น พิษเฉียบพลันของ DDT ผู้ป่วยจะมีอาการชัก ตัวเขียวคล้ำจากการขาดออกซิเจน ระบบหายใจอาจล้มเหลว และเสียชีวิตได้ การสูดดมอาจก่อการระคายเคืองต่อปอด ส่วนพิษเรื้อรังจะมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่ออาหารคลิ่นไล่ อาเจียน น้ำหนักลด เหน็ดเหนื่อย เมื่อยล้าตามร่างกาย ส่วนกลุ่ม Cycloienes เป็นสารพิษต่อระบบประสาท พิษเฉียบพลันอาการคล้ายกับ DDT และมีอาการชักร่วมด้วย ส่วนพิษเรื้อรังอาจก่อให้เกิดมะเร็ง สารพิษกลุ่มนี้มักปนเปื้อนมากับเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะส่วนที่ติดมัน ผลผลิตทางการเกษตร เช่น นมวัว ผัก ผลไม้ ทำให้ผู้บริโภคได้รับสารพิษกลุ่มนี้โดยการรับประทานอาหาร นอกจากนี้การใช้ยาฉีดพ่นฆ่าแมลง หรือเจือปนมากับฝุ่นละอองในพื้นที่ที่มีการใช้สารเหล่านี้ ซึ่งในปัจจุบันสารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จัดเป็นวัตถุอันตราย ประเภทที่ 4 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2538) และถูกยกเลิกการใช้งาน เช่น DDT, Aldrin, Endrin,  $\gamma$ -HCH เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารประกอบออร์กาโนคลอรีน

ลำดับ	สาร	CAS No.	น้ำหนักโมเลกุล	การละลายน้ำ (mg/L)	ความดันไอ 20-25 °C (mmHg)	ค่าการสลายตัวครึ่งชีวิต (วัน)	วัตถุประสงค์
1	Aldrin	309-00-2	364.9	0.19	$1.2 \times 10^{-4}$	266	ยาฆ่าแมลง
2	$\alpha$ -HCH	319-84-6	290.8	100	$4.5 \times 10^{-5}$	9490	ยาฆ่าแมลง
	$\beta$ -HCH	319-85-7	290.8	50	$3.6 \times 10^{-6}$	6.3	ยาฆ่าแมลง
	$\gamma$ -HCH (Lindane)	58-89-9	290.8	N.S	$4.2 \times 10^{-5}$	1	ยาฆ่าแมลง
	$\delta$ -HCH	319-86-8	290.8	100	$3.5 \times 10^{-5}$	0.7-0.9	ยาฆ่าแมลง
3	Dieldrin	60-57-1	380.9	0.11	$5.9 \times 10^{-5}$	369	ยาฆ่าแมลง
4	Endosulfan	959-98-8	406.9	0.32	1.2 Pa	50	ยาฆ่าแมลง
5	Endrin	72-20-8	380.9	N.S	$2.0 \times 10^{-7}$	2190	ยาฆ่าแมลง
6	Heptachlor	76-44-8	373.3	0.18	$3.0 \times 10^{-4}$	250	ยาฆ่าแมลง
7	Methoxychlor	72-43-5	345.6	0.04	$4.2 \times 10^{-5}$	<180	ยาฆ่าแมลง
8	p,p'-DDD	72-54-8	320.1	0.09	$1.3 \times 10^{-6}$	3800	ยาฆ่าแมลง
9	p,p'-DDE	72-55-9	318.0	0.12	$6.0 \times 10^{-6}$	2064.8	ยาฆ่าแมลง
10	p,p'-DDT	50-29-3	354.5	0.025	$1.6 \times 10^{-6}$	1460-10,950	ยาฆ่าแมลง
11	Pentachloro-Phenol	87-86-5	266.3	2000	$1.7 \times 10^{-4}$	1-3	ยาฆ่าแมลง
12	Piperonyl-butoxide	51-03-6	338.4	<100	$1.3 \times 10^{-2}$	73	ยาฆ่าแมลง
13	Toxaphene	8001-35-2	414.0	3	0.4	0.5	ยาฆ่าแมลง
14	Quintozene	82-68-8	250.3	0.551	0.22 Pa	1.8	สารกำจัดเชื้อรา
15	Atrazine	1912-24-9	215.7	70	$4.0 \times 10^{-5}$ Pa	13-261	สารกำจัดวัชพืช
16	Chlordane	57-74-9	409.8	1	$1.0 \times 10^{-5}$	37-3500	ยาฆ่าแมลง
17	Dicofol	115-32-2	370.5	0.8	0.18 mP	16	สารกำจัดศัตรูพืช

ที่มา: Manvir และคณะ (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารประกอบออร์กาโนคลอรีน

ที่มา: Manviri และคณะ (2005)

### 2.1.3 การใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในประเทศไทย

ประเทศไทยนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชเป็นระยะเวลามากกว่า 50 ปี โดยสารกำจัดศัตรูพืชที่นำเข้าในปริมาณสูงในอดีต 3 อันดับ ได้แก่ ยาฆ่าแมลง สารกำจัดวัชพืช และสารกำจัดเชื้อรา (ตารางที่ 2.2) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ได้แก่ DDT Aldrin  $\gamma$ -HCH เป็นต้น โดยร้อยละ 24 ของสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในประเทศไทยถูกใช้ในผลไม้และผัก โดยแบ่งเป็นกลุ่มหลัก ร้อยละ 76 ได้แก่ ัญพืชร้อยละ 18 ข้าวร้อยละ 12 คอตตอนร้อยละ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพดร้อยละ 9 ถั่วเหลืองร้อยละ 7 อ้อยร้อยละ 4 และพืชไร่อื่น ๆ ร้อยละ 16 (Thapinta และ Hudak, 1998)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีทางการเกษตรในประเทศไทย

ประเภทของสารกำจัด ศัตรูพืช	ปริมาณการนำเข้า (ตัน)									
	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541
สารกำจัดแมลง	6,670	8,034	9,068	9,356	7,233	7,903	7,330	7,708	10,560	14,402
สารกำจัดวัชพืช	5,864	8,273	10,600	14,518	12,372	15,227	15,386	16,108	19,954	23,536
สารกำจัดรา	6,524	6,382	5,865	4,243	5,112	5,192	5,651	7,065	6,937	6,447
สารกำจัดไร	936	423	517	443	466	544	469	404	520	370
สารกำจัดหนู	86	363	232	294	123	121	129	98	86	92
สารรมควัน	457	777	507	323	401	626	217	345	50	82
สารควบคุมการเจริญของพืช	0	0	108	286	353	444	476	500	611	464
สารกำจัดหอย	0	0	0	0	0	0	37	46	36	215
อื่นๆ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93
รวม	20,537	24,251	26,897	29,463	26,060	30,057	29,695	32,274	38,754	45,701

ที่มา: Thapinta และ Hudak (2003)

## 2.2 อ้อยและกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

### 2.2.1 อ้อย (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2546)

อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในตระกูลหญ้ายืนต้น (Perennial grass) อยู่ในสกุล *Saccharum* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. อ้อยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้นจึงต้องปลูกบริเวณแถบศูนย์สูตร ซึ่งเป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูง มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันกับกลางคืนค่อนข้างกว้าง อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่เป็นตัวกำหนดการกระจายตัวของอ้อย สำหรับในประเทศไทยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลทราย และเป็นอุตสาหกรรมที่กระจายอยู่ทุกภาคของประเทศไทย ยกเว้นภาคใต้ ทั้งนี้เพราะสภาพอากาศไม่เหมาะต่อการปลูกอ้อย เนื่องจากฝนตกชุกเกินไป และอากาศร้อนชื้นตลอดทั้งปี ไม่มีช่วงเวลาที่ให้อ้อยแก่และสุก จึงไม่มีโรงงานน้ำตาลในภาคใต้ ผลผลิตอ้อยที่ได้จะแตกต่างกันไปตามภูมิภาค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต สิ่งแวดล้อมและการปฏิบัติบำรุงรักษาของชาวไร่อ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของอ้อยพิจารณาจากปริมาณของน้ำตาลที่มีอยู่ในอ้อย (Commercial Cane Sugar, CCS) หมายถึง ปริมาณร้อยละของน้ำตาลที่ผลิตได้จากอ้อย เช่น อ้อยมีค่า CCS เท่ากับ 10 หมายถึง อ้อยหนัก 1 ตัน จะสามารถนำไปผลิตน้ำตาลได้ร้อยละ 10 หรือ 100 กิโลกรัม เมื่อโรงงานมีประสิทธิภาพร้อยละ 100

การหาค่า CCS ของอ้อยนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่จะใช้สูตรคำนวณจากผลการวิเคราะห์ ดังสมการที่ 2.1

$$CCS = \frac{3}{2} P \left( 1 - \frac{F+5}{100} \right) - \frac{B}{2} \left( 1 - \frac{F+3}{100} \right) \dots\dots\dots (สมการ 2.1)$$

เมื่อ P คือ ค่าโพลาไรเซชันของน้ำอ้อยที่หีบด้วยลูกหีบชุดแรกที่วัดด้วยเครื่อง Polarimeter

B คือ ค่าบรีกซ์ของน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดแรกซึ่งวัดจากเครื่อง Refractometer

F คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของกากอ้อยที่สกัดเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ออกหมดแล้ว (Fiber)

ตารางที่ 2.3 ค่า CCS เฉลี่ยของอ้อยในแต่ละช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

พื้นที่อ้อย	Commercial Cane Sugar (CCS)		
	8 เดือน	10 เดือน	12 เดือน
TPJ851	5.8	11.9	13.3
TPJ351	5.3	9.9	13.6
KK3	7.7	13.2	17.0

ที่มา: คารารัตน์ มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ (2558)

2.2.2 พื้นที่เพาะปลูกอ้อยในประเทศไทย (สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560)

ประเทศไทยมีนโยบายบริหารพื้นที่เกษตรกรรมของพืช (Zoning) โดยเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่อยู่ในพื้นที่ไม่เหมาะสมไปสู่การปลูกอ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมให้ชาวนาหันมาปรับเปลี่ยนไร่นาเป็นไร่อ้อย เนื่องจากอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่อุตสาหกรรมต่อเนื่องได้ นอกจากนี้โรงงานน้ำตาลทรายพร้อมที่จะพัฒนาและขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับกับปริมาณผลผลิตอ้อยที่เพิ่มขึ้นจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก จากโครงการ Zoning เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่เกษตรกรผู้เพาะปลูกอ้อยได้มั่นใจว่า จะมีตลาดรองรับผลผลิตอ้อยที่แน่นอน และสร้างความมั่นคงจากการซื้ออาชีพชาวไร่อ้อยได้ โดยในปี การผลิต 2559/60 มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั่วประเทศในเขตพื้นที่สำรวจรวม 47 จังหวัด จำนวน 10,988,489 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกอ้อยส่งโรงงาน 9,864,668 ไร่ และพื้นที่ปลูกอ้อยทำพันธุ์ 1,123,821 ไร่ ซึ่งแบ่งพื้นที่ปลูกอ้อยเป็นรายภาค ดังนี้

1) ภาคเหนือ ประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูกอ้อย จำนวน 9 จังหวัด ได้แก่ แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก พิชณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร นครสวรรค์ และเพชรบูรณ์ มีพื้นที่ปลูกอ้อย 2,571,431 ไร่

2) ภาคกลาง ประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูกอ้อย จำนวน 12 จังหวัด ได้แก่ อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี กาญจนบุรี นครปฐม ราชบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 3,061,101 ไร่

3) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูกอ้อย จำนวน 20 จังหวัด ได้แก่ เลย หนองบัวลำภู อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม ชัยภูมิ ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ มุกดาหาร อำนาจเจริญ ยโสธร นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 4,750,671 ไร่

4) ภาคตะวันออก ประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูกอ้อย จำนวน 6 จังหวัด ได้แก่ ปราจีนบุรี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง และจันทบุรี มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 605,286 ไร่

### 2.2.3 สารกำจัดศัตรูพืชที่อนุญาตให้ใช้และปริมาณตกค้างสูงสุดในอ้อย

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เลขที่ 387 พ.ศ. 2560 เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง ตามบัญชีหมายเลข 1 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit, MRL) แนบท้าย ประกาศกระทรวงฯ กำหนดชนิดวัตถุอันตรายทางการเกษตร และปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในอ้อย ดังนี้

#### ตารางที่ 2.4 ชนิดวัตถุอันตรายทางการเกษตร และปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในอ้อย

วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) (มิลลิกรัมของสารต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร)
คาร์บาริล (carbaryl)	0.05
คาร์เบนดาซิม / เบนโนมิล (carbendazim / benomyl)	0.10
คาร์โบซัลเฟน / คาร์โบฟูราน (carbosulfan / carbofuran)	0.10
ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	0.20
เดลตามิทริน (deltamethrin)	0.05
มาลาไทออน (malathion)	0.02
อะทราซีน (atrazine)	0.10
อะมีทริน (ametryn)	0.05

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2560).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย (สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555)

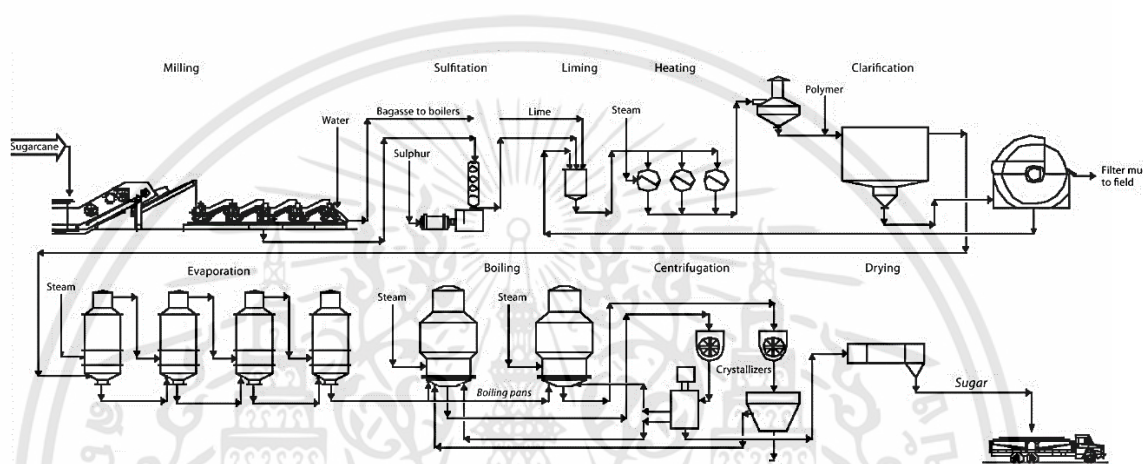
กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายส่วนใหญ่ จำแนกออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

### 2.2.4.1 การสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction)

### 2.2.4.2 การทำใส่น้ำอ้อย (Juice Purification)

### 2.2.4.3 การต้มระเหยน้ำอ้อย (Juice Evaporation)

### 2.2.4.4 การเคี้ยวและปั่นน้ำตาล (Crystallization)



ภาพที่ 2.2 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ที่มา: Finguerat (2005).

### 2.2.4.1 การสกัดน้ำอ้อย

#### 2.2.4.1.1 การรับอ้อยและเตรียมอ้อย

อ้อยที่เก็บเกี่ยวจากไร่จะถูกขนส่งมายังโรงงาน ผ่านการชั่งน้ำหนัก ตรวจสอบคุณภาพ จากนั้นอ้อยจะถูกเทลงบริเวณแท่นเท และลงสู่สายพานลำเลียง อ้อยจากสายพานลำเลียงจะไหลเข้าสู่เครื่องตัดอ้อย เครื่องสับอ้อย เครื่องย่อยอ้อย เพื่อทุบและนีกย่อยท่อนอ้อยให้เป็นฝอยละเอียด ซึ่งจะช่วยให้สามารถสกัดน้ำอ้อยออกจากอ้อยได้มากที่สุด

#### 2.2.4.1.2 การหีบอ้อย

อ้อยที่ผ่านการเตรียมจนเป็นเส้นฝอยละเอียด จะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดลูกหีบที่ทำหน้าที่สกัดน้ำอ้อย โดยมีการฉีดพรมน้ำร้อนลงบนท่อนอ้อยที่ออกจากลูกหีบชุดรองสุดท้าย เพื่อเจือจางน้ำอ้อยเข้มข้นที่ติดค้างอยู่ภายในอ้อย และส่งน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดสุดท้ายย้อนข้ามชุดที่ ขวางหน้าไปพรมกากอ้อยที่ออกจากลูกหีบลูกหน้า น้ำอ้อยที่สกัดออกมาได้ยังมีสิ่งปนเปื้อนจำพวก ดิน ทราย และเศษกากอ้อยละเอียดปะปนอยู่ค่อนข้างมาก จึงถูกสูบเข้าตะแกรงหมุน เพื่อกรอง กากอ้อยละเอียดที่ปนมาออกจากน้ำอ้อย น้ำอ้อยที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกส่งต่อไปยังถังพัก เพื่อรอ

ส่งไปกระบวนการทำไฮ และต้มเคี้ยวผลิตน้ำตาลทรายดิบต่อไป ส่วนกากอ้อยละเอียดที่แยกได้จะถูกส่งกลับไปทำการสกัดน้ำอ้อยที่หน้าลูกหีบ หรืออาจใช้เป็นสารช่วยกรองในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยไฮ สำหรับกากอ้อยที่ออกจากลูกหีบชุดสุดท้าย ซึ่งมีน้ำตาลเหลืออยู่น้อยมากและมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 จะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในหม้อน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตและผลิตไฟฟ้าต่อไป

#### 2.2.4.2 การทำไฮน้ำอ้อย

##### 2.2.4.2.1 การทำไฮน้ำอ้อย

น้ำอ้อยที่ผ่านการกรองแยกกากละเอียดและทรายออกแล้ว จะถูกส่งมายังหม้ออุ่นชุดที่ 1 ก่อนเพื่อให้ น้ำอ้อยมีอุณหภูมิประมาณ 75°C จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องซึ่งน้ำอ้อยแล้วมาผสมรวมกับน้ำปูนขาวที่มีความเข้มข้นประมาณ 12 บริกซ์ (ส่วนผสมระหว่างน้ำเชื่อมกับน้ำปูนขาว) เพื่อให้ น้ำอ้อยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.60 จากนั้นน้ำอ้อยจะถูกส่งเข้าสู่หม้ออุ่นชุดที่ 2 เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำปูนขาวกับน้ำอ้อย โดยควบคุมอุณหภูมิให้สูงเกินจุดเดือดเล็กน้อย อยู่ที่ 103°C แล้วจึงส่งไปเข้าถังระบายไอ หลังจากนั้นจึงเติมสารเคมีที่เรียกว่า “น้ำยาฟักไฮ” เพื่อช่วยในการตกตะกอนแล้วจึงส่งน้ำอ้อยไปตกตะกอนและทำไฮ สิ่งปนเปื้อนต่างๆ ภายในถังฟักไฮจะจมอยู่ที่ก้นถังกลายเป็นโคลน ส่วนน้ำอ้อยไฮที่ลอยอยู่ชั้นบนของแต่ละถังจะปล่อยลงสู่ตะแกรงละเอียด เพื่อแยกกากอ้อยละเอียดออกจากน้ำอ้อย น้ำอ้อยที่ผ่านการกรองแล้ว เรียกว่า “น้ำอ้อยไฮ” จะถูกส่งต่อไปยังหม้อต้มต่อไป สำหรับโคลนที่จมอยู่ก้นถังฟักไฮ จะถูกดึงมาผสมกับกากอ้อยละเอียดในถังผสม แล้วนำไปกรองที่หม้อกรองระบบสุญญากาศ เพื่อคูดน้ำตาลที่ติดมากับโคลนออกก่อนที่จะทิ้งกากตะกอนหม้อกรองออกไป ส่วนน้ำอ้อยที่แยกออกมาได้จะถูกส่งกลับไปรวมกับน้ำอ้อยที่ส่งมาจากลูกหีบเพื่อวนกลับเข้าในระบบอีกครั้ง

ตารางที่ 2.5 คุณภาพของน้ำอ้อย

พันธุ์อ้อย	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	การหีบสกัด (ร้อยละ)	CCS	น้ำตาล (ร้อยละ)	เอทานอล (ร้อยละ)
TPJ851	16.3	32.8	10.3	145.1	8.1
TPJ351	19.0	36.3	9.6	150.6	8.1
KK3	15.6	46.6	12.6	181.7	9.3

ที่มา: ดารารัตน์ มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ (2558)

ตารางที่ 2.6 คุณภาพของกากอ้อย

พันธุ์อ้อย	น้ำหนักแห้ง (ตัน/ไร่)	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)
TPJ851	6.0	32.7	21.2	1.1
TPJ351	4.9	36.8	22.2	1.1
KK3	5.1	34.5	22.6	1.4

ที่มา: คารารัตน์ มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ (2558)

#### 2.2.4.3 การต้มระเหยน้ำอ้อย

น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้ว จะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้มแบบ Multi Effect Evaporator อุณหภูมิ 105 - 55°C เพื่อระเหยเอาน้ำออก (ประมาณร้อยละ 70) น้ำอ้อยเมื่อผ่านการต้มจนถึงหม้อต้มชุดที่ 5 จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 10.1 - 18.5 บริกซ์ เป็น 55 - 60 บริกซ์ ซึ่งเรียกว่า น้ำเชื่อมดิบ (Raw Syrup) จะเก็บไว้ในถังพักน้ำเชื่อม เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการเคี้ยวและปั่นน้ำตาลทรายดิบต่อไป สำหรับไอน้ำที่ใช้ระเหยน้ำอ้อยที่หม้อต้มชุดที่ 1 ซึ่งเป็นไอเสียที่ได้จากการผลิตไอน้ำ จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่เรียกว่า คอนเดนเสท (Condensate) และถูกส่งไปยังถังพักเพื่อเตรียมส่งเข้าสู่หม้อไอน้ำของโรงงานอีกครั้ง ส่วนไอรระเหยของหม้อต้มชุดที่ 2 ถึงหม้อต้มชุดที่ 5 และหม้ออุ่นน้ำอ้อยเมื่อกั่นตัวเป็นคอนเดนเสทแล้ว ทั้งหมดจะถูกส่งเข้าสู่ถังพักน้ำร้อน เพื่อนำกลับไปใช้พรมกากอ้อยที่ลูกหีบ การต้มและการเคี้ยวน้ำตาล

#### 2.2.4.4 การเคี้ยวและปั่นน้ำตาล

##### 2.2.4.4.1 การเคี้ยวและปั่นน้ำตาลดิบ

การเคี้ยวน้ำตาล เป็นการตกผลึกน้ำตาล เพื่อแยกออกจากสิ่งปนเปื้อนที่ปนมากับน้ำเชื่อมที่ส่งมาจากถังพักน้ำเชื่อม น้ำเชื่อมจะถูกนำมาเคี้ยวจนมีความเข้มข้นมากขึ้นจนกระทั่งเกิดผลึก เรียกว่า “แมสควิท (Massequite)” ซึ่งมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 3 - 5 หลักการเคี้ยวน้ำตาลอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำที่ระเหยออกจากหม้อต้มกับน้ำเชื่อม โดยผ่านท่อสแตนเลสในหม้อเคี้ยวที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำตาลอยู่ที่ประมาณ 65°C น้ำคอนเดนเสทที่ได้จะถูกส่งกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต ทั้งนี้ในระหว่างการเคี้ยว จะมีการนำผลึกน้ำตาลคุณภาพต่ำมารวมกับน้ำร้อนหรือน้ำเชื่อมดิบ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (Magma) เดิมลงไป ในหม้อเคี้ยว เพื่อกระตุ้นให้น้ำตาลในน้ำเชื่อมมาเกาะตกเป็นผลึกพร้อมกับการเคี้ยวไปด้วยเพื่อรักษาความเข้มข้นให้สมดุลซึ่งจะช่วยไม่ให้โมเลกุลของน้ำตาลมีการรวมตัวเป็นผลึกน้ำตาลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้เป็นผลึกน้ำตาล และน้ำเลี้ยงผลึก (Mother Liquor) เมื่อผลึกน้ำตาลมีขนาดใหญ่ตามที่ต้องการ แมสควิทจะถูกส่งไปพักเลี้ยงผลึกที่รางกวนอีกระยะหนึ่ง ซึ่งการพักตัวลดอุณหภูมิในรางกวน

จะช่วยทำให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการเกาะตัวที่ผลึกมากขึ้น จนมีขนาดน้ำตาลตามที่ต้องการ จากนั้นจึงส่งไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากน้ำเลี้ยงผลึกที่หม้อปั่น โรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่จะใช้ระบบการเคี้ยวและปั่นแบบ ซี-บี-เอ (C-A-B) โดยเริ่มจากการเคี้ยวน้ำเชื่อมดิบที่ผ่านการต้มแล้ว โดยใช้หัวเชื้อบี และกากน้ำตาลของน้ำตาลขาว ได้เป็น แมสควิทเอ จากนั้นจะเข้าหม้อปั่นแยกกากน้ำตาลและน้ำตาลออกจากกัน โดยระหว่างปั่นจะมีการฉีดน้ำร้อนเพื่อล้างผลึกน้ำตาลให้สะอาดเพื่อให้ได้น้ำตาลชนิดความหวานสูงหรือที่เรียกว่า น้ำตาลทรายดิบเอ เพื่อนำไปผลิตน้ำตาลทรายขาวหรือทรายขาวบริสุทธิ์ต่อไป ส่วนกากน้ำตาลเอ จะถูกส่งไปยังหม้อเคี้ยวน้ำตาลบี โดยใช้หัวเชื้อซี และอาจใช้น้ำเชื่อมดิบมาเกี่ยวข้องด้วยได้เป็น แมสควิทบี จากนั้นจะเข้าหม้อปั่นแยกกากน้ำตาลและน้ำตาลออกจากกัน โดยระหว่างปั่นจะมีการฉีดน้ำร้อนเพื่อล้างผลึกน้ำตาลให้สะอาดเพื่อให้ได้น้ำตาลที่มีคุณภาพดี และจะถูกนำไปคลุกกับน้ำร้อนหรือน้ำเชื่อมดิบเพื่อทำเป็นหัวเชื้อ และนำไปเป็นเชื้อเพื่อเคี้ยวน้ำตาลทรายดิบเอ ส่วนกากน้ำตาลบี จะถูกส่งไปยังหม้อเคี้ยวน้ำตาลซี โดยใช้หัวเชื้อซี ที่ผลิตขึ้นเองจากกากน้ำตาลเอได้เป็น แมสควิทซี จากนั้นจะเข้าหม้อปั่นแยกกากน้ำตาลและน้ำตาลออกจากกัน โดยระหว่างปั่นจะมีการฉีดน้ำร้อนเพื่อล้างผลึกน้ำตาลให้สะอาดเพื่อให้ได้น้ำตาลที่มีคุณภาพดี และจะถูกนำไปคลุกกับน้ำร้อนหรือน้ำเชื่อมดิบเพื่อทำเป็นหัวเชื้อ และนำไปเป็นเชื้อเพื่อเคี้ยวน้ำตาลบี ส่วนกากน้ำตาลซี จะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บกากน้ำตาลสุดท้ายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อ ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะส่งไปเป็นวัตถุดิบของโรงงานผลิตเอทานอล โดยองค์ประกอบทางเคมีของกากน้ำตาลแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของกากน้ำตาล

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
1 น้ำหนักแห้ง (Dry Matter)	71.48 ± 0.38
2 ความชื้น (Moisture)	28.52 ± 0.38
3 โปรตีนหยาบ (Crude Protein)	2.54 ± 0.29
4 เถ้า (Ash)	10.53 ± 0.70
5 อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)	89.47 ± 0.70
6 NH <sub>3</sub> -N (% Total N)	0.38 ± 0.04

ที่มา: ณัฐธิดา เชียงจิ่ง (2553)

#### 2.2.4.4.2 การละลายน้ำตาลทรายดิบและกำจัดสี

น้ำตาลทรายดิบเอ จากหม้อปั่นจะถูกลำเลียงไปละลายน้ำหรือน้ำหวานที่ถังละลาย จากนั้นน้ำตาลทรายดิบละลายหรือน้ำเชื่อม จะถูกนำมาผ่านตะแกรงกรองเพื่อแยกกากอ้อยหรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออก แล้วจะถูกส่งต่อไปผสมกับปูนขาวเพื่อปรับค่า pH ให้ได้ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.5 น้ำเชื่อมที่ผสมกับปูนขาวจะถูกนำไปยังถัง Carbonator เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะควบแน่นอยู่ในน้ำเชื่อมออก ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากระบบการผลิตไอน้ำ โดยผ่านระบบบำบัดอากาศเสียก่อนนำมาใช้น้ำเชื่อมที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจะเกิดตะกอนแคลเซียมซึ่งควบแน่นไว้ปะปนอยู่ จะถูกนำไปกรองเอาตะกอนนี้ออกโดยใช้หม้อกรอง ซึ่งจะทำได้น้ำเชื่อมที่มีค่าสีลดลงเหลือประมาณ 400 ICUMSA และกากตะกอนหม้อกรอง

#### 2.2.4.4.3 การเคี้ยว บั่น และอบแห้งน้ำตาลทรายขาวและทรายขาวบริสุทธิ์

น้ำเชื่อมที่ผ่านการลดค่าสีและกรองแยกสิ่งปนเปื้อนออกแล้ว จะถูกนำมาเคี้ยวกับเชื้อชนิดเดียวกับเชื้อที่ใช้เคี้ยวน้ำตาลทรายดิบ โดยกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์จะมีการเติมกากน้ำตาลขาวผสมลงไป ปริมาณน้อยกว่า กรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลทรายขาว เนื่องจากต้องควบคุมค่าสีของน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์หลังการบั่นแล้วไม่ให้เกิน 45 ICUMSA ขณะที่น้ำตาลทรายขาวจะควบคุมค่าสีไม่ให้เกิน 200 ICUMSA (ตารางที่ 2.8) เมสควิทขาวที่ได้จะถูกนำเข้าหม้อบั่นเพื่อแยกกากน้ำตาลและน้ำตาลออกจากกัน โดยระหว่างการบั่นจะฉีดน้ำร้อนเพื่อแยกผลึกน้ำตาลให้สะอาดที่สุดเพื่อให้น้ำตาลที่ได้มีคุณภาพสูงก่อนส่งไปอบแห้งที่หม้ออบ จากนั้นจะลำเลียงน้ำตาลไปลงถังบ่มและบรรจุเก็บไว้ในโกดัง ส่วนกากน้ำตาลขาวจะถูกส่งกลับไปหม้อเคี้ยว เพื่อวนเคี้ยวน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์หม้อต่อไป จนกระทั่งกากน้ำตาลขาวมีค่าสีเพิ่มสูงขึ้นเกินค่าที่กำหนดจึงส่งไปเคี้ยวน้ำตาลต่อไป

#### 2.2.4.4.4 การบรรจุ

น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จะถูกนำมาบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ และนำไปจัดเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไป

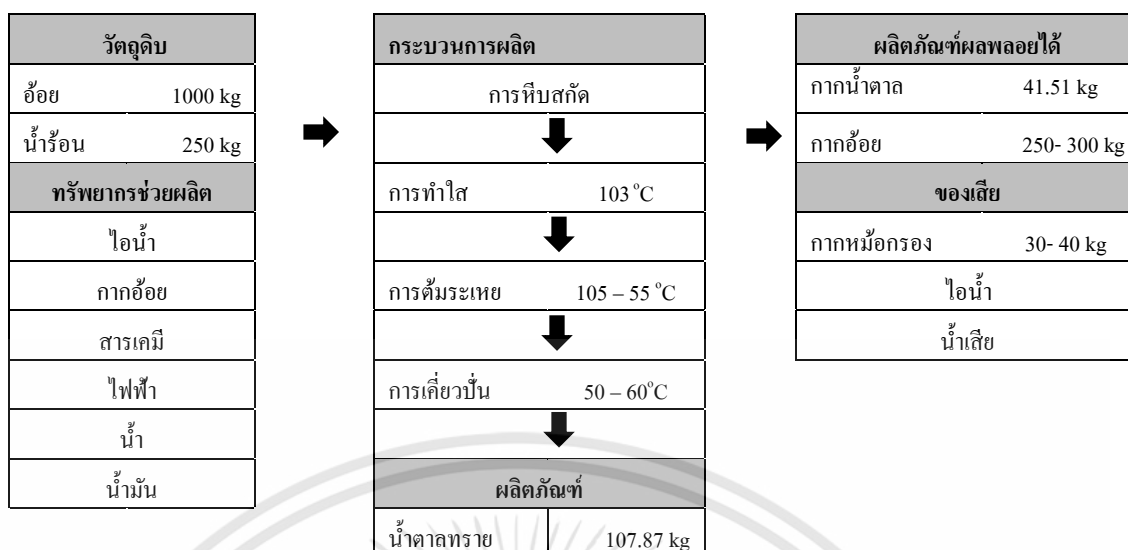
ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบและคุณภาพของน้ำตาลทราย

องค์ประกอบ/คุณภาพ	น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ
1 โพลาริเซชัน (°Z) ไม่น้อยกว่า	99.5	99.8	88.0
2 น้ำตาลรีดิวิง (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	4.0
3 เถ้าคอนดักทิวิตี (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	N/A
4 ความชื้น (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	4.5
5 สี (ICUMSA) ไม่เกิน	200	45	N/A
6 สิ่งที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.02	0.02	3.5
7 สารหนู (Arsenic) (มก./กก.) ไม่เกิน	1	1	N/A
8 ตะกั่ว (Lead) (มก./กก.) ไม่เกิน	1	1	N/A

หมายเหตุ N/A หมายถึง ไม่เกี่ยวข้อง (Not applicable)

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แผนภาพการผลิตน้ำตาลทรายแสดงสมดุลมวลและอุณหภูมิของกระบวนการ  
ที่มา: ดัดแปลงจาก สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2546)

## 2.3 วิธีการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์การเกษตรส่วนใหญ่ใช้วิธีวิเคราะห์แบบรวม (Multiresidue Method) ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างได้หลายชนิดในการตรวจวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว โดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ Gas Chromatography (GC), Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC - MS), Gas Chromatography-Electron Capture Detector (GC - ECD), Liquid Chromatography-Mass Spectrometer (LC- MS) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างและการสกัดมีการใช้วิธีเฉพาะ เช่น การเตรียมตัวอย่างโดยใช้หลักการ Solid Phase Extraction และ Liquid Phase Extraction ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ข้างต้น โดยวิธีที่นิยมใช้สกัดสารออร์กาโนคลอรีนจากตัวอย่าง มีดังนี้

2.3.1 วิธีการสกัดแบบ Quick Easy Cheap Effective Rugged and Safe (QuEChERS) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชจากตัวอย่าง ซึ่งพัฒนาโดย Anastassiades และคณะ (2003) และ Lehotay และ Eller (2005) โดยได้รับการยอมรับจาก AOAC กำหนดเป็นวิธีมาตรฐาน AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate โดยอาศัยหลักการการละลายของสารละลายอินทรีย์กับบัฟเฟอร์ปริมาณน้อยสำหรับการสกัดในเฟสอินทรีย์ และใช้ dispersive solid-phase extraction (d-SPE) สำหรับกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (clean up) วิธีการนี้มีข้อดี คือ สามารถเตรียมตัวอย่างได้ง่าย รวดเร็ว ใช้แรงงานน้อย ค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ใช้สารเคมีน้อย และมีประสิทธิภาพโดยมีร้อยละการคืนกลับ (% Recovery) ที่ดี โดยผลจากการศึกษาการสกัดในตัวอย่างผักและผลไม้ พบว่า มีค่าร้อยละการคืนกลับเฉลี่ย ร้อยละ  $87 \pm 11$  (AOAC, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วิธีการสกัดแบบ AOAC Official Method 970.52 Organochlorine and Organophosphorus Pesticide Residues เป็นวิธีมาตรฐานในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและออร์กาโนฟอสฟอรัส โดยใช้อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ) หรือสารละลายน้ำในอะซิโตไนไตรล์ ซึ่งสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลสูงจะใช้สารละลายน้ำในอะซิโตไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย และสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) จากนั้นในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ (clean up) ผ่านคอลัมน์ฟลอริซิล (Florisil) และทำให้เข้มข้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยควรมีร้อยละการคืนกลับมากกว่าร้อยละ 85 (AOAC, 1996)

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์แสดงดังตารางที่ 2.9 Mace และคณะ (2017) ได้ศึกษาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ได้แก่ DDT, HCH, Endosulfan isomer และ Cyclodienes ในหน้าดินและวัตถุดิบอาหารจากพื้นที่ชนบท 4 เขตของประเทศทาจิกิสถาน พบว่า สารกำจัดศัตรูพืชมีการปนเปื้อนในหน้าดินสูงกว่าในเนื้อ ผลิตภัณฑ์จากนม และผลิตภัณฑ์จากพืช ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในตัวอย่างในปริมาณสูง ได้แก่ DDT และ HCH โดยในดินพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม DDT และกลุ่ม HCH ตกค้าง 0.3 – 25 และ น้อยกว่า 0.2 – 1 ppm ตามลำดับ และในวัตถุดิบอาหาร (เนื้อ ผลิตภัณฑ์จากนม และผลิตภัณฑ์จากพืช) พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม DDT และกลุ่ม HCH ตกค้างน้อยกว่า 0.2 ppm และมีบางตัวอย่างพบมากกว่า 1 ppm

Lankondjoa และคณะ (2016) ประเมินการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 20 ชนิด ในกลุ่ม DDT, Drins, Heptachlor, Chlordane และ HCH ในผักจากพื้นที่การเกษตรของประเทศสาธารณรัฐโตโก ได้แก่ มะเขือเทศ กะหล่ำปลี และผักกาดหอม พบว่า ตัวอย่างผักทุกอย่างมีการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชอย่างน้อย 1 ชนิด โดยร้อยละ 83.32 ของตัวอย่างผักทั้งหมดที่พบการตกค้างมีปริมาณต่ำกว่าค่าปริมาณตกค้างสูงสุดที่ยอมให้ตกค้างในวัตถุดิบที่กำหนดโดยสหภาพยุโรป และองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ ในขณะที่ร้อยละ 16.68 ของตัวอย่างผักทั้งหมดมีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างสูงกว่าค่าปริมาณตกค้างสูงสุดที่ยอมให้ตกค้างในวัตถุดิบที่กำหนดโดยสหภาพยุโรป ซึ่งกะหล่ำปลีเป็นผักที่มีจำนวนตัวอย่างมากที่สุดที่พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่า MRL รองลงมาเป็นมะเขือเทศ และผักกาดหอม ไม่พบตัวอย่างที่มีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่า MRL โดยค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม HCH มีปริมาณสูงสุด (5.847 นาโนกรัม/กรัม) รองลงมาเป็นกลุ่ม DDT, Chlordane, Drins และ Heptachlor พบปริมาณ 0.27, 0.26, 0.25 และ 0.012 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ

ทั้งนี้ได้มีการกำหนดค่าปริมาณการตกค้างสูงสุดที่ยอมให้พบได้ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแต่ละชนิด รวมทั้งมีการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับสารดังกล่าวในกลุ่มผู้บริโภค โดย Zhang และคณะ (2015) ทำการประเมินความเสี่ยงการได้รับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่ม DDT และ HCH ในมณฑลหนานจิง ประเทศจีน โดยทำการศึกษาจากอาหาร 23 ชนิด 11 ประเภท วิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยวิธี GC-MS พบว่า ปริมาณการตกค้างของ DDT และ HCH อยู่ในช่วง 0.95 - 3.53 และ 0.32 - 1.96 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยพบสารกำจัดศัตรูพืชรวมตกค้างสูงสุดในเนื้อสัตว์ (4.75 นาโนกรัม/กรัม) และต่ำสุดในแป้ง (1.31 นาโนกรัม/กรัม) สำหรับค่าการบริโภคของ DDT และ HCH ใน 1 วัน (Estimated Daily Intakes, EDI) พบว่า กลุ่มเด็กมีค่า EDI สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และได้รับ DDT และ HCH จากอาหารกลุ่มผักมากที่สุด (ร้อยละ 20.21 - 29.18) โดยจากการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับ  $\gamma$ -HCH และ DDT ในประชากรทุกกลุ่ม พบว่า มีค่าต่ำกว่าปริมาณที่ยอมรับได้ที่แนะนำโดย FAO/WHO

การศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย (ตารางที่ 2.10) Skrbic และ Predojevic (2008) ได้ศึกษาปริมาณของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในพืชไร่ และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องจากเมืองวอยโวดีนา ประเทศเซอร์เบีย สำหรับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พบว่า มีการตกค้างของ DDT ในน้ำตาลทรายขาว กากหัวบีท และกากน้ำตาล 0.132 0.220 และ 0.820 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ และพบ HCH ในน้ำตาลทรายขาว กากหัวบีท และกากน้ำตาล 0.188 0.073 และ 0.050 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ รวมทั้งมีการประเมินการได้รับ DDT และ HCH จากการบริโภคน้ำตาลทรายขาวพบว่า ไม่เกินค่าระดับที่ยอมรับได้ต่อวัน (Acceptable Daily Intake, ADI) และ Tolerable Daily Intake (TDI) แต่มีข้อสังเกตว่าหากมีการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนของกากหัวบีท และกากน้ำตาลร้อยละ 10 เช่น ขนมปังที่ทำจากวัตถุดิบดังกล่าว ก็จะทำให้ได้รับสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในพืชไร่และผลิตภัณฑ์อาหารที่เกี่ยวข้อง พบ p,p' DDT,  $\gamma$ -HCH,  $\beta$ -HCH และ Endosulfan II ในตัวอย่างที่วิเคราะห์ร้อยละ 76.9, 66.7, 48.7 และ 41.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การตกค้างของสารกลุ่มดังกล่าวแม้ว่าจะถูกยกเลิกการใช้ในทางเกษตรกรรมแล้ว ยังมีการตกค้างสะสมในดินรวมทั้งการใช้โดยเกษตรกรบางราย

สำหรับในประเทศไทย Wanwimolruk และคณะ (2558) ศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในคะน้า (*Brassica oleracea*) ในจังหวัดนครปฐม ด้วยวิธี GC-MS โดยวิเคราะห์การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืช จำนวน 12 ชนิด พบว่า ร้อยละ 29 ของตัวอย่าง พบสารกำจัดศัตรูพืชเกินกว่าค่า MRL โดยชนิดสารกำจัดศัตรูพืชที่พบปริมาณตกค้างสูงสุดในคะน้า ได้แก่ Cypermethrin (83,000 ppb) และ Profenofos (183,000 ppb) นอกจากนี้ Skretteberg และคณะ (2014) ศึกษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในอาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากพืชในกลุ่มประเทศนอร์ดิก ซึ่งร้อยละ 80 นำเข้าจากประเทศไทย ได้แก่ ผัก ผลไม้ ข้าว และถั่ว พบว่า ร้อยละ 60 ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศัตรูพืช ร้อยละ 28 ของผลิตภัณฑ์ ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างต่ำกว่าค่า MRL และร้อยละ 12 ของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างสูงกว่าค่า MRL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์

ตัวอย่าง	ประเทศ	ปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (นาโนกรัม/กรัม)										วิธี	อ้างอิง	
		CHLs	DDE	DDD	DDT	Σ DDT	HEP	α-HCH	β-HCH	δ-HCH	γ-HCH			Σ HCH
<b>พืชไร่</b>														
ข้าว	อินเดีย							1.430	0.013	0.012	1.120	2.574	GC-ECD	Toteja และคณะ (2003)
ข้าวโพด	กาน่า	0.003–0.007	0.010–0.091	0.052–0.121	0.002–0.003		0.001–0.011		0.016–0.062	0.002–0.002	0.001–0.001		GC-ECD	Akoto (2013)
ข้าวสาลี	เซอร์เบีย		0.005	0.005	0.338	0.348		0.971	0.432	0.005	0.015	1.423	GC-ECD	Skrbic และ Predojevic (2008)
<b>ผัก</b>														
ผลไม้/ผัก/ถั่ว	ทาจิกิสถาน					<0.200- 1.000						<0.200- 1.000	GC-ECD	Mace และคณะ (2017)
มะเขือเทศ	โตโก	<0.001- 0.365	<0.001- 0.253	<0.001	<0.001- 0.527	<0.001- 0.780	<0.001	<0.001- 0.156	<0.001- 10.832	<0.001- 0.026	<0.001- 0.313	<0.001- 11.307	GC-ECD	Lankondjoa และคณะ(2016)
กะหล่ำปลี	โตโก	<0.001- 1.586	<0.001- 0.595	<0.001- 0.236	<0.001- 0.643	<0.001- 1.518	<0.001- 0.081	<0.001- 0.176	<0.001- 90.673	<0.001	<0.001- 2.983	<0.001- 93.832	GC-ECD	Lankondjoa และคณะ(2016)
<b>เนื้อสัตว์</b>														
อาหารทะเล	เกาหลีใต้	<0.010- 1.900				<0.040- 37.000	<0.004- 1.000					<0.020- 0.400	GC-MS	Moon และคณะ (2009)
เนื้อ	จีน					2.900						1.750	GC-ECD	Zhang และคณะ (2017)
ปลา	จีน					3.500						1.200	GC-ECD	Zhang และคณะ (2017)

ตารางที่ 2.10 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ตัวอย่าง	ประเทศ	ปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (นาโนกรัม/กรัม)										วิธี	อ้างอิง	
		CHLs	DDE	DDD	DDT	$\Sigma$ DDT	HEP	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\delta$ -HCH	$\gamma$ -HCH			$\Sigma$ HCH
น้ำตาล	เซอร์เบีย		0.010	0.005	0.117	0.132	0.123	0.005	0.042	0.060	0.093	0.188	GC-ECD	Skrbic และ Predojevic (2008)
กากน้ำตาล	เซอร์เบีย		0.015	0.005	0.062	0.082	0.005	0.005	0.005	0.005	0.035	0.035		
กากบีท	เซอร์เบีย		0.005	0.006	0.005	0.155	0.220	0.005	0.005	0.005	0.058	0.073		



ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างมีวิธีการที่หลากหลาย อาทิ Khan (1975) ทำการศึกษาการตรวจวัดปริมาณสาร Paraquat ที่ตกค้างในพืชไร่โดยใช้วิธีการสกัดด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 5 นอร์มัล และทำให้บริสุทธิ์ด้วยผงอลูมินา และตรวจวัดปริมาณโดยใช้ GC พบว่าค่าร้อยละการคืนกลับของ Paraquat ในตัวอย่างผักกาดหอม แครอท และหอมใหญ่ที่ความเข้มข้น 0.5 0.1 และ 0.05 ppm อยู่ในช่วงร้อยละ 75 – 86 โดยปริมาณต่ำสุดสามารถตรวจวัดได้ที่ 0.05 ppm Prado และคณะ (2011) วิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในน้ำอ้อยในประเทศบราซิล จำนวน 80 ตัวอย่าง ซึ่งเตรียมตัวอย่างโดยใช้วิธี QuEChERS และตรวจวัดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 7 ชนิดด้วย CG-ECD พบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 62.9 - 107.5 และ RSDs ต่ำกว่าร้อยละ 18 และมีค่า LODs ของสารกำจัดศัตรูพืชที่ศึกษา อยู่ในช่วง 0.003 - 0.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Skrbic และ Predojevic (2008) ใช้วิธี AOAC 970.52 ในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างอาหาร และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยทำการศึกษาร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เติมในตัวอย่างแป้งสาลี โดย  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH และ  $\gamma$ -HCH มีค่าร้อยละการคืนกลับ 78, 83 และ 81 ตามลำดับ p,p'-DDD, p,p'-DDE และ p,p'-DDT มีค่าร้อยละการคืนกลับ 81, 80 และ 83 ตามลำดับ Heptachlor และ Heptachlor epoxide มีค่าร้อยละการคืนกลับ 81 และ 79 Aldrin และ Dieldrin มีค่าร้อยละการคืนกลับ 80 และ 81 Endrin และ Endrin aldehyde มีค่าร้อยละการคืนกลับ 79 และ 81

ตารางที่ 2.11 เทคนิควิธีการตรวจสกัดเพื่อวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

ตัวอย่าง	ประเทศ	วิธี	ร้อยละการคืนกลับ	อ้างอิง
ผักกาดหอม แครอท หอมใหญ่	สหรัฐอเมริกา	สกัดด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 5 นอร์มัล และผงอลูมินา	75 – 86	Khan (1975)
ผักและผลไม้	-	SFX	> 80 (39/46 pesticides)	Lehotay และ Eller (1995)
น้ำอ้อย	บราซิล	QuEChERS	62.9 - 107.5	Prado และคณะ (2010)
น้ำตาลทรายขาว กากน้ำตาล	เซอร์เบีย	AOAC 970.52	79 - 83	Skrbic และ Predojevic (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ อาทิ การบด การคั้นน้ำ การหมัก และการใช้อุณหภูมิสูง มีผลต่อปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ โดย Liska (1968) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์นม พบว่า นมที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยการพ่นฝอย (Spray dried) มีปริมาณ DDT,  $\gamma$ -HCH, Dieldrin, Heptachlor, Heptachlor epoxide Telodrin, Methoxychlor, Chlordane, Endosulfan และ Endosulfan sulfate ลดลงร้อยละ 62, 82, 60, 73, 65, 11, 2, 25, 37, และ 42 ตามลำดับ นอกจากนี้ Abou-Arab (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในกระบวนการคั้นน้ำมะเขือเทศ พบว่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม HCB,  $\gamma$ -HCH, p,p-DDT, Dimethoate, Profenofos และ Pirimiphos methyl ลดลงจากปริมาณเริ่มต้น ร้อยละ 72.7 – 77.6 รวมทั้ง Uygun และคณะ (2005) ศึกษาชนิดและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในข้าวสาลีพบว่า สารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างได้แก่ Malathion และมีปริมาณตกค้างเริ่มต้น 8.89 ppm เมื่อการผ่านกระบวนการบดแล้วสามารถลดการตกค้างได้ร้อยละ 95

ตารางที่ 2.12 ผลของกระบวนการที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง	กระบวนการผลิต	สารกำจัดศัตรูพืช	ปริมาณที่ลดลง (%)	อ้างอิง
นมผง	การทำแห้งโยการพ่นฝอย	DDT	62.0	Liska (1968)
		$\gamma$ -HCH	82.0	
		Dieldrin	60.0	
		Heptachlor	73.0	
		Heptachlor epoxide	65.0	
		Telodrin	11.0	
		Methoxychlor	2.0	
		Chlordane	25.0	
		Endosulfan	37.0	
		Endosulfan	42.0	
		มะเขือเทศ	การคั้นน้ำ	
$\gamma$ -HCH	72.7			
p,p-DDT	77.6			
Dimethoate	73.5			
Profenofos	73.9			
Pirimiphos-methyl	73.6			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 ผลของกระบวนการที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	กระบวนการผลิต	สารกำจัดศัตรูพืช	ปริมาณที่ลดลง (%)	อ้างอิง
ข้าวสาลี	การบด	Malathion	95	Uygun และคณะ
	การอบ		82	(2005)

ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงของสารกำจัดศัตรูพืช เช่น การเกิดปฏิกิริยา Dechlorination ของสารกำจัดศัตรูพืช โดย Gryglewicz และ Piechocki (2010) อธิบายถึงการเกิดสารอนุพันธ์ของ DDT ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิ 120-260°C และความดันไฮโดรเจน 3 MPa โดยมี 2Ni-Mo/C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้หมู่คลอรีนถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮโดรคาร์บอน เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เกิดเป็นสารอนุพันธ์ Dichlorodiphenyl dichloroethane (DDD), Di-1,1-chlorophenylethane (DCPE) และ Bis-4 (4-chloro-phenyl) methane (DDM) เป็นต้น และเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจนถึง 260°C จะเกิดเป็นสารอนุพันธ์หลัก ได้แก่ 1,1-diphenylethane (DPE) และ 1,2 diphenylethane (BB) ในขั้นสุดท้าย (ภาพที่ 2.4)

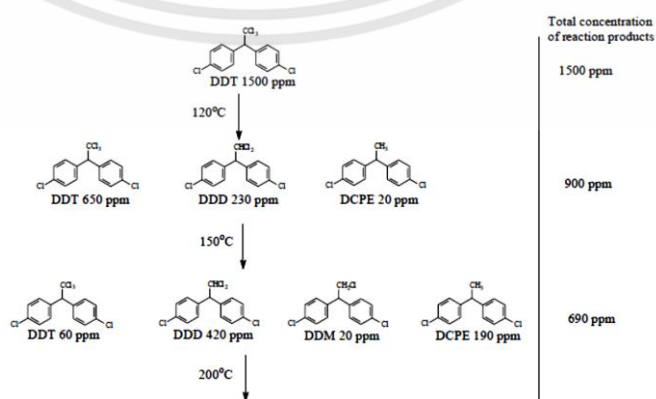
นอกจากนี้ Ksiazczak และคณะ (2001) อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ Atrazine จากการสลายด้วยความร้อน (Thermal decomposition) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ปฏิกิริยา Dealkylation การสลายตัวด้วยความร้อนทำให้หมู่ alkyl หลุดออกเกิดเป็น Desethylatrazine

ขั้นตอนที่ 2 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่ Isopropyl เป็น Isopropylene

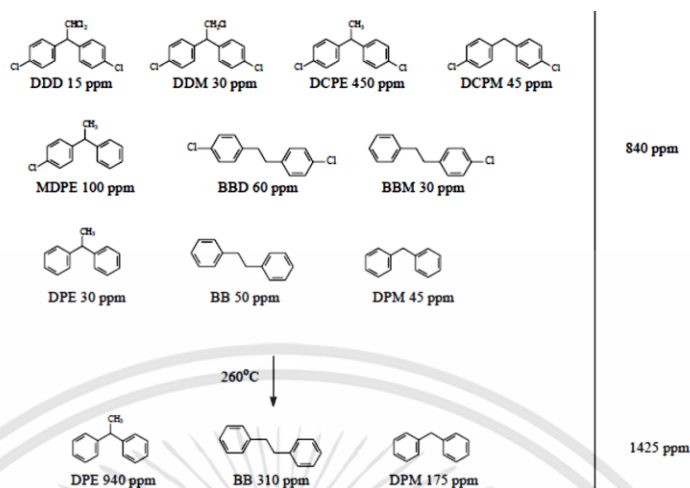
ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยา Dechlorination โดยหมู่ Chlorine จะถูกแทนที่ด้วยหมู่ Hydroxyl

รวมทั้งทำการตรวจวัดปริมาณสารอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้ดังตารางที่ 2.13



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลง (Degradation) ของ DDT ที่อุณหภูมิ 120°C – 260°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



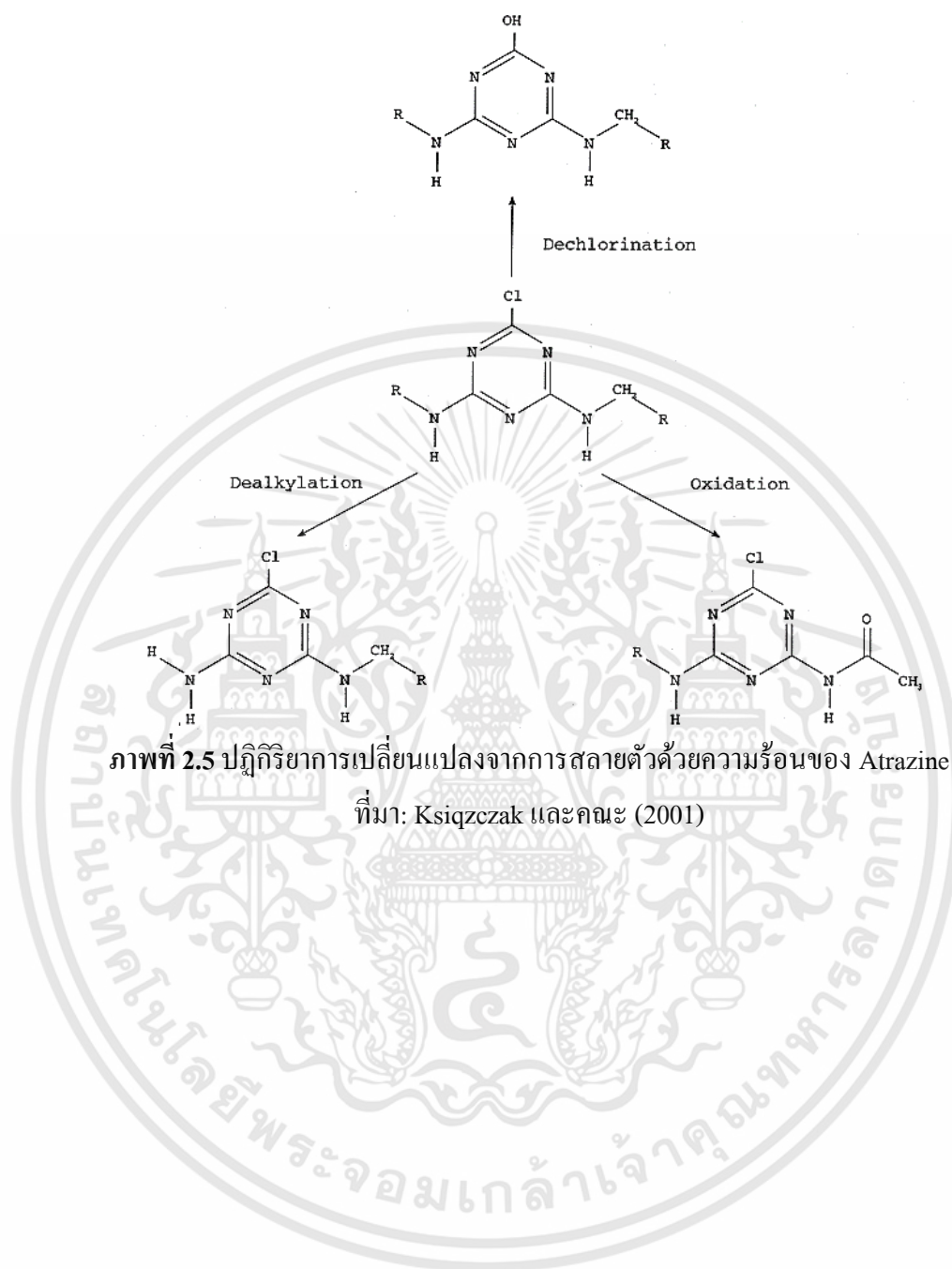
ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลง (Degradation) ของ DDT ที่อุณหภูมิ 120°C – 260°C (ต่อ)  
ที่มา: Gryglewicz และ Piechocki (2010)

ตารางที่ 2.13 การเกิดลดลงของอนุพันธ์ atrazine จากขั้นตอนการสลายตัวจากความร้อน

อนุพันธ์	อุณหภูมิ (K)	ร้อยละของปริมาณสารที่ลดลง	กลุ่มสารที่ถูกขจัดออก
Desethyldeisopropylatrazine	546.430	4.94628	-
	553.538	12.3906	
	625.962	17.8846	
Desethylatrazine	609.303	23.9760	Theoret. 22.99%-
	611.935	35.6595	isopropyl group
Desisopropylatrazine	599.154	25.8357	Theoret. 16.86%-ethyl
	604.028	32.9668	group
			20.34%-Cl
Hydroxyatrazine	606.344	74.2048	-

ที่มา: Ksiqczak และคณะ (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงจากการสลายตัวด้วยความร้อนของ Atrazine  
ที่มา: Ksiazczak และคณะ (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

- 3.1.1 หลอดปั่นเหวี่ยง (Centrifuge tube) ขนาด 25 มิลลิลิตร (Nunc, USA)
- 3.1.2 ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100 มิลลิลิตร (Schott Duran, Germany)
- 3.1.3 ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร (Schott Duran, Germany)
- 3.1.4 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร (Witeg, Germany)
- 3.1.5 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร (Witeg, Germany)
- 3.1.6 กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร (Witeg, Germany)
- 3.1.7 กรวยกรอง (Pyrex, USA)
- 3.1.8 ไมโครปิเปต (Micropipettes) 1-10 ไมโครกรัม (HBG, Germany)
- 3.1.9 ไมโครปิเปต (Micropipettes) 10-100 ไมโครกรัม (HBG, Germany)
- 3.1.10 ปิเปต (pipettes) ขนาด 1 มิลลิลิตร (HBG, Germany)
- 3.1.11 ปิเปต (pipettes) ขนาด 5 มิลลิลิตร (HBG, Germany)
- 3.1.12 ปิเปต (pipettes) ขนาด 10 มิลลิลิตร (HBG, Germany)
- 3.1.13 ฟลากส์ระเหย ขนาด 500 มิลลิลิตร (Schott Duran, Germany)
- 3.1.14 ฟลากส์กักมลรับสาร ขนาด 500 มิลลิลิตร (Schott Duran, Germany)
- 3.1.15 กรวยแยกสาร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร (Witeg, Germany)
- 3.1.16 ขวดฉีดสาร (Vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร (Shimadzu, Japan)
- 3.1.17 กระดาษกรอง เบอร์ 40 (Whatman)
- 3.1.18 ช้อนตักสาร (Dispensing Spoon)
- 3.1.19 กระดาษชั่งสาร (Weighting paper)

### 3.2 เครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องโพลาริเมเตอร์ (Polarimeter) (MCP 5100, Anton Paar, Austria)
- 3.2.2 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) (RFM 300+, Bellingham + Stanley, A Xylem Brand, England)
- 3.2.3 เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) (KK, Scientific Industries, USA)
- 3.2.4 เครื่องชั่ง (Balance) 4 ตำแหน่ง (BSA224S-CW, Sartorius, England)
- 3.2.5 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (5804, Eppendorf, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.6 เครื่องระเหย (Evaporator) (R210, Buchi, Switzerland)
- 3.2.7 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph – Mass Spectrometer; GC-MS) (Trace 1310, Thermo Scientific, USA)

### 3.3 สารเคมี

- 3.3.1 พงตะกั่ว (Lead, Pb) (เกรดวิเคราะห์, Merck, Germany)
- 3.3.2 เลดอะซิเตต (Lead Acetate,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot\text{Pb}(\text{OH})_2$ ) (เกรดวิเคราะห์, Fisher Scientific, USA)
- 3.3.3 อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile;  $\text{CH}_3\text{CN}$ ) (เกรด HPLC, Labscan, China)
- 3.3.4 แมกนีเซียม ซัลเฟต แอนไฮไดรรัส (Magnesium sulfate anhydrous,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4$ ) (เกรดวิเคราะห์, Merck, Germany)
- 3.3.5 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride;  $\text{NaCl}$ ) (เกรดวิเคราะห์, Merck, Germany)
- 3.3.6 เอมีน (Primary secondary amine; PSA) (เกรดวิเคราะห์, Merck, Germany)
- 3.3.7 โทลูอีน (Toluene;  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ ) (เกรดวิเคราะห์, Labscan, China)
- 3.3.8 ฟลอริซิล (Florisil) (เกรดวิเคราะห์, Merck, Germany)
- 3.3.9 นอร์มัล เฮปเทน (n-heptane) (เกรดวิเคราะห์, Labscan, China)
- 3.3.10 ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane;  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) (เกรดวิเคราะห์, Labscan, China)
- 3.3.11 อะซิโตน (acetone;  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) (เกรดวิเคราะห์, Labscan, China)
- 3.3.12 สารกำจัดศัตรูพืชมาตรฐานกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine Pesticide standards) ความเข้มข้น  $2,000 \mu\text{g/ml}$  (AccuStandard, USA)

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย กากน้ำตาล น้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาว จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายในประเทศไทย ในความรับผิดชอบของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรม อ้อยและน้ำตาลทราย (สอภ.) ภาคที่ 1 - 4 ในฤดูกาลผลิตประจำปี 2560/2561 จำนวนภาคละ 2 แห่ง โดยเก็บตัวอย่าง 2 ช่วงเวลาเพื่อพิจารณาความแตกต่างของอ้อยและการผลิตน้ำตาลทราย ได้แก่ ช่วงที่ 1 เดือนธันวาคม 2560 - มกราคม 2561 และช่วงที่ 2 เดือนมีนาคม - เมษายน 2561 โดยปริมาณการสุ่มตัวอย่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลขาวปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และมาตรฐานประกอบการตรวจรับรองสินค้าเกษตรด้านพืช (มกอช, 2555) และ มอก. 56-2552 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเก็บตัวอย่าง

ภาค	ชุดดิน/พื้นที่	ชนิดตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย ปริมาณ ผลผลิต (กส.)	ปริมาณ ตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)	จำนวน ตัวอย่าง
กลาง (สอก. ภาคที่ 1)	ชุดดินที่ 33/ สุพรรณบุรี	น้ำตาลทรายดิบ	12,616,425	100	2
		น้ำตาลทรายขาว	11,940,190	100	2
	ชุดดินที่ 38/ ราชบุรี	น้ำอ้อย		100	2
		กากอ้อย		100	2
		กากน้ำตาล		100	2
เหนือ (สอก. ภาคที่ 2)	ชุดดินที่ 33/ กำแพงเพชร	น้ำตาลทรายดิบ	19,824,535	100	2
		น้ำตาลทรายขาว	6,039,993	100	2
	ชุดดินที่ 47/ นครสวรรค์	น้ำอ้อย		100	2
		กากอ้อย		100	2
		กากน้ำตาล		100	2
ตะวันออก (สอก. ภาคที่ 3)	ชุดดินที่ 49/ สระแก้ว	น้ำตาลทรายดิบ	3,819,558	100	2
		น้ำตาลทรายขาว	1,425,075	100	2
	ชุดดินที่ 24/ ชลบุรี	น้ำอ้อย		100	2
		กากอ้อย		100	2
		กากน้ำตาล		100	2
ตะวันออกเชิงเหนือ (สอก. ภาคที่ 4)	ชุดดินที่ 35/ นครราชสีมา	น้ำตาลทรายดิบ	28,611,854	100	2
		น้ำตาลทรายขาว	14,335,429	100	2
	ชุดดินที่ 44/ ขอนแก่น	น้ำอ้อย		100	2
		กากอ้อย		100	2
		กากน้ำตาล		100	2
รวม					40

ที่มา: ดัดแปลงจาก สำนักสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน (2551) และ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2555)

### 3.4.2 วิธีการวิเคราะห์

#### 3.4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของตัวอย่าง

3.4.2.1.1 ค่า Commercial Cane Sugar (CCS) ในอ้อย ทำโดยวิเคราะห์ค่าโพลาไรเซชัน (Polarization, P) ค่าบริกซ์ (Brix, B) ของน้ำอ้อย และค่าไฟเบอร์ (Fiber, F) ของอ้อย โดยใช้สูตรคำนวณจากผลการวิเคราะห์ ดังนี้

$$CCS = \frac{3}{2} P \left( 1 - \frac{F+5}{100} \right) - \frac{B}{2} \left( 1 - \frac{F+3}{100} \right) \dots\dots\dots (สมการ 3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าโพลาริเซชัน และค่าบรีกซ์ของน้ำอ้อย ทำโดยนำตัวอย่างน้ำอ้อยที่ปรับลดอุณหภูมิ 20°C วัดค่าบรีกซ์ และวัดค่าโพลาริเซชัน ด้วยเครื่อง refractometer และเครื่อง polarimeter ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าไฟเบอร์ในอ้อยทำโดยนำตัวอย่างอ้อยที่ขยอยแล้ว 150 กรัม ใส่ถุงผ้าที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) บันทึกรน้ำหนัก ( $W_2$ ) นำถุงตัวอย่างไปต้มในน้ำเดือด 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปใส่โถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนัก ( $W_3$ ) โดยคำนวณค่าไฟเบอร์ ดังนี้

$$\text{Fiber} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 100 \dots \dots \dots (\text{สมการ 3.2})$$

3.4.2.1.2 ค่าโพลาริเซชันในน้ำอ้อยเทตัวอย่างน้ำอ้อยลงแก้วใส่ตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงสำหรับกรองกากตะกอนประมาณ 3/4 แก้ว เติมผงตะกั่ว ลงไปในน้ำอ้อย คนให้ละลาย เทตัวอย่างลงในแก้วสะอาดผ่านกรวยกระดาษกรอง และนำสารละลายที่ได้เทผ่านกรวยของเครื่องโพลาริเมเตอร์ อ่านค่า บันทึกผล

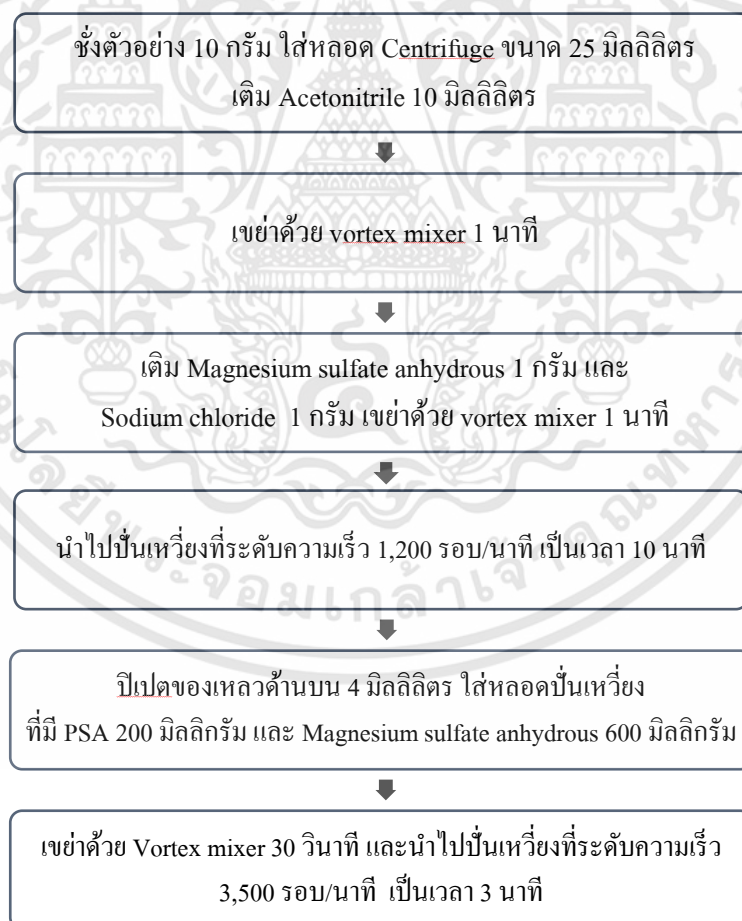
3.4.2.1.3 ค่าโพลาริเซชันในกากอ้อย ทำโดยชั่งกากอ้อย 500 กรัมใส่ในเครื่องปั่นกากอ้อย เติมน้ำ 5 กิโลกรัม นำไปปั่นเป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้จากกากอ้อยปั่นมากรองใส่ภาชนะประมาณ 200 มิลลิลิตร เติมผงตะกั่ว ลงไปในสารละลายแล้วกรองใส่ภาชนะ นำสารละลายไปวัดค่าโพลาริเซชัน ด้วยเครื่องโพลาริเมเตอร์ อ่านค่า บันทึกผล

3.4.2.1.4 ค่าโพลาริเซชันในน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาว ทำโดยชั่งตัวอย่างน้ำตาลทรายจำนวน  $26.0000 \pm 0.002$  กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเติมน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วเทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายให้เข้ากันโดยใช้ magnetic stirrer เติมน้ำตาลละลาย Lead Acetate 1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น กรองด้วยกระดาษกรองธรรมดา นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าโพลด้วยเครื่องโพลาริเมเตอร์

3.4.2.1.5 ค่าโพลาริเซชันในกากน้ำตาล ทำโดยชั่งตัวอย่าง 15 กรัม นำค่าที่ชั่งได้คูณ 6 เติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้น้ำหนักตามผลคูณของน้ำหนักคูณ 6 คนตัวอย่างให้ละลายเข้าด้วยไม้สำหรับคน เทสารละลายใส่แก้วสแตนเลส ชั่งสารละลายให้ได้ 26.00 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติม Lead Acetate ตามปริมาณที่กำหนด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันนำไปวัดค่าโพลาริเซชันด้วยเครื่องโพลาริเมเตอร์ อ่านค่า บันทึกผล

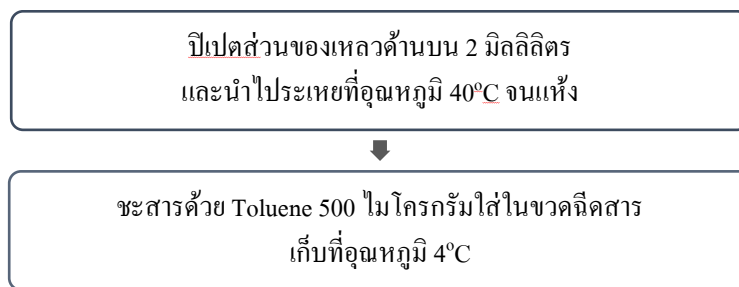
3.4.2.2 การเปรียบเทียบวิธีการสกัด โดยพิจารณาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตรวจพบในตัวอย่าง ความแปรปรวน และโครมาโตแกรมของวิธี AOAC 970.52 และ QuEChERS โดยขั้นตอนการสกัด มีดังนี้

3.4.2.2.1 วิธี QuEChERS ตาม AOAC Official Method 2007.01 (AOAC, 2007) นำตัวอย่าง 10 กรัม ใส่หลอด Centrifuge ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม Acetonitrile 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าโดยใช้เครื่อง Vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที เติม Magnesium sulfate anhydrous 1 กรัม และ Sodium chloride 1 กรัม นำไปเขย่าโดยใช้เครื่อง Vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ระดับความเร็ว 1,200 รอบ/วินาที เป็นเวลา 10 นาที เมื่อได้ส่วนของเหลวที่แยกชั้นจากการปั่นเหวี่ยง ให้ปิเปตของเหลวด้านบน 4 มิลลิลิตร ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 25 มิลลิลิตร ที่มี PSA 200 มิลลิกรัม และ Magnesium sulfate anhydrous 600 มิลลิกรัม นำไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 30 วินาที และนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ระดับความเร็ว 3,500 รอบ/วินาที เป็นเวลา 3 นาที ปิเปตส่วนของเหลวด้านบน 2 มิลลิลิตร นำไประเหยด้วยเครื่อง Evaporator ที่อุณหภูมิ 40°C จนแห้ง ชะสารด้วย Toluene 500 ไมโครกรัม เก็บสารละลายใส่ในขวดชนิดสาร เก็บที่อุณหภูมิ 4°C นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS



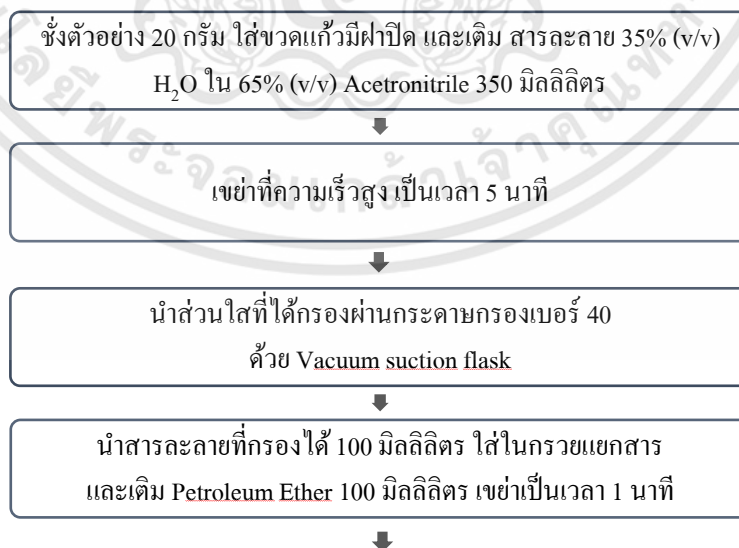
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี QuEChERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



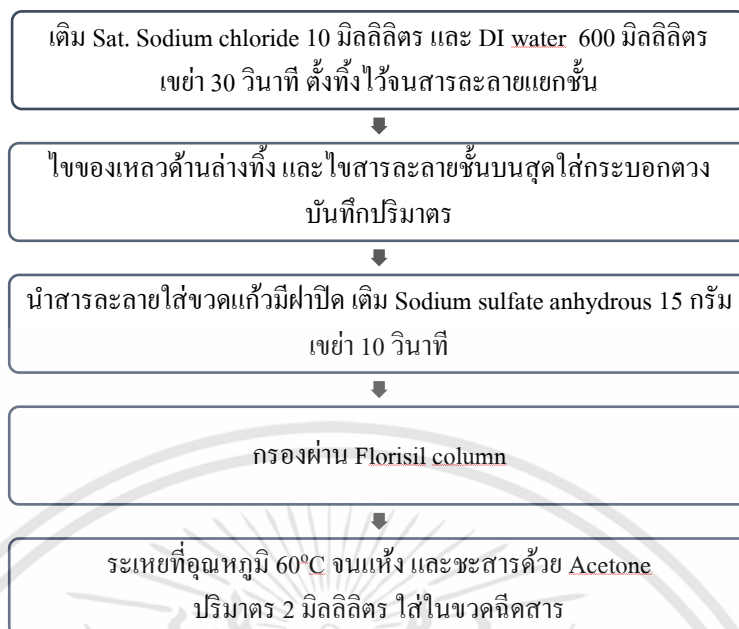
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี QuEChERS (ต่อ)

3.4.2.2.2 วิธี AOAC Official Method 970.52 (AOAC, 1996) ซึ่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ขวดแก้วมีฝาปิด เติมสารละลาย 35% (v/v) H<sub>2</sub>O ใน 65% (v/v) Acetonitrile ปริมาตร 350 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใสที่ได้นำไปกรองด้วย Vacuum suction flask ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 40 นำสารละลายที่กรองได้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยกสารปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติม Petroleum Ether 100 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Saturated sodium chloride ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ Deionized water (DI water) ปริมาตร 600 มิลลิลิตร เขย่า 30 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้น ไขของเหลวด้านล่างทิ้ง ไขสารละลายชั้นบนสุดใส่กระบอกวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร บันทึก ปริมาตร นำสารละลายใส่ขวดแก้วมีฝาปิด เติม Sodium sulfate anhydrous 15 กรัม เขย่า 10 วินาที นำสารละลายที่ได้กรองผ่าน Florisil column จากนั้นนำไปประเหยด้วย Evaporator ที่อุณหภูมิ 60°C จนแห้งและชะสารด้วย Acetone ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชนิดสาร เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง GC-MS



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี AOAC 970.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสกัดตามวิธี AOAC 970.52 (ต่อ)

3.4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย กากน้ำตาล และน้ำตาลทรายตาม ด้วยเครื่อง GC-MS โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Ozcan (2016) ดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 การกำหนดสถานะของเครื่อง GC-MS สำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม ออร์กาโนคลอรีน

ระบบ	สถานะ
Column	Capillary column stx®-CL Pesticides 30 m, 0.32 mmID, 0.5 $\mu$ m film thickness
Injection	Splitless 250°C
Carrier gas	He
Flow rate	1.2 ml/min
Oven Temperature	Initial temperature 190°C Final temperature 250°C
Detector	MS selected ion monitoring (SIM) mode
MS Transfer Line	250°C
Ion Source temperature	230°C
Electron Energy	70 eV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.4.2.4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่ได้จากการเปรียบเทียบในข้อ 3.4.2.2 ดังนี้

3.4.2.4.1 การทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงของการวิเคราะห์ (Linearity and Range) โดยตรวจวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานที่เตรียมที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เติมลงในตัวอย่างและความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ ซึ่งความสัมพันธ์จะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง ( $R^2$  เข้าใกล้ 1)

3.4.2.4.2 การทดสอบความแม่นยำของวิธีการ (Accuracy) โดยเติมสารละลายมาตรฐานออร์กาโนคลอรีนลงในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาลในขั้นตอนการสกัด ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.10 และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อศึกษาปริมาณที่สามารถตรวจวัดได้จากค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) โดยเกณฑ์กำหนดค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อยู่ระหว่างร้อยละ 60 - 115 (AOAC, 2016) ค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้น 0.10 และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อยู่ระหว่างร้อยละ 80 - 110 (AOAC, 2016)

3.4.2.4.3 ขีดจำกัดการตรวจพบ (Limits of detection, LOD) และขีดจำกัดการหาปริมาณ (Limits of quantification, LOQ) โดยเติมสารออร์กาโนคลอรีนมาตรฐาน 13 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์กาโนคลอรีน จำนวน 7 ชนิด เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) โดยค่า LOD และค่า LOQ เท่ากับ 3 และ 10 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4.2.4.4 การวิเคราะห์ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, %RSD) ทำโดยการนำค่า SD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณออร์กาโนคลอรีนที่ตรวจวัดได้ โดยเกณฑ์กำหนดค่า %RSD ที่ยอมรับในช่วงความเข้มข้นของสาร 0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกินร้อยละ 10 (AOAC, 2016) และค่า HORRAT ซึ่งเป็นค่าแนะนำสำหรับการยอมรับได้ของความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการศึกษากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณจากสูตรของ Horwitz โดยค่า HORRAT ที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน 2.0 (AOAC, 2016)

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

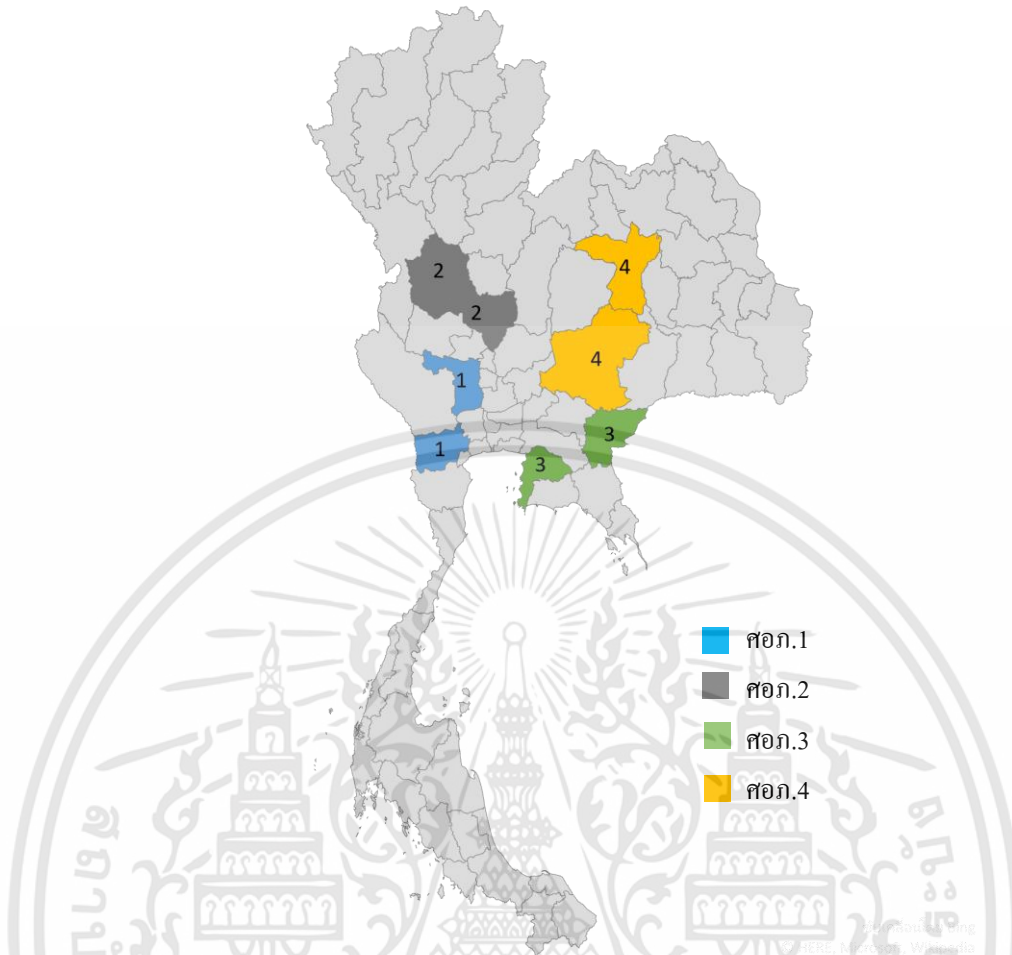
วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล 2 วิธี คือ วิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS และใช้วิธีที่เหมาะสมในการศึกษาปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนดังกล่าวที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยเก็บตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล จากพื้นที่การผลิตน้ำตาล 4 ภาคในประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบ และศึกษาผลของกระบวนการที่มีต่อปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดยผลการศึกษามีดังนี้

#### 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่าง

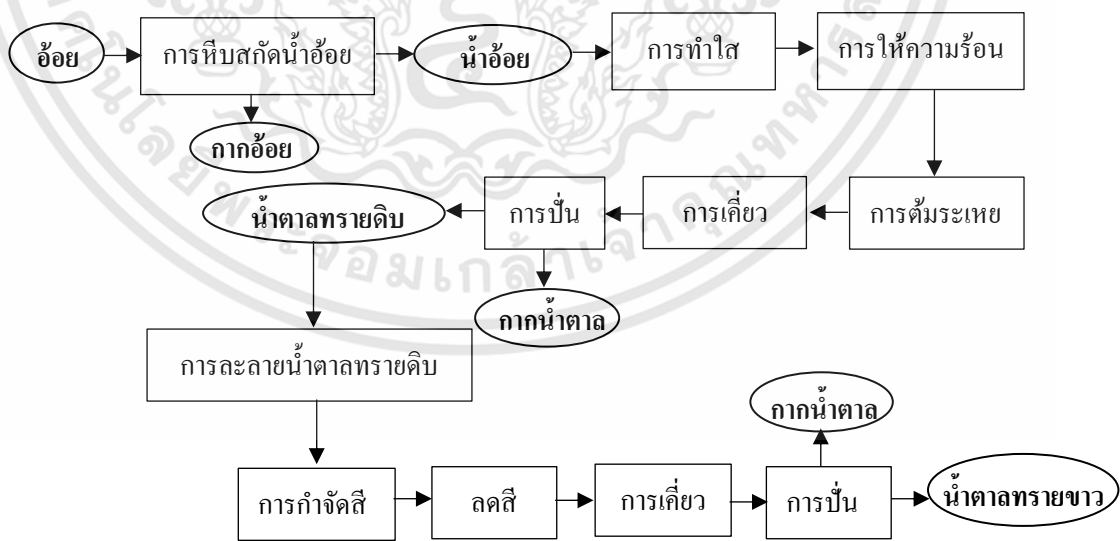
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถูกเก็บจากกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลในเขตความรับผิดชอบของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย (สอภ.) สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) ภาคละ 2 แห่ง (ภาพที่ 4.1) ภาคกลาง (สอภ.1) ได้แก่ สุพรรณบุรี และราชบุรี ภาคเหนือ (สอภ.2) ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร และนครสวรรค์ ภาคตะวันออก (สอภ.3) ได้แก่ สระแก้ว และชลบุรี และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สอภ.4) ได้แก่ นครราชสีมา และขอนแก่น ทั้งนี้กระบวนการผลิตน้ำตาลและตัวอย่างที่เก็บจากกระบวนการผลิตแสดงในภาพที่ 4.2 เริ่มจากการเตรียมอ้อยโดยอ้อยจะผ่านเข้าเครื่องดีและนีกอ้อยให้ได้เป็นอ้อยละเอียด เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการสกัดโดยชุดหีบอ้อยได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำอ้อย และผลพลอยได้เป็นกากอ้อย จากนั้นน้ำอ้อยจะผ่านขั้นตอนการทำใส่น้ำอ้อย โดยการเติมสารละลายแคลเซียมออกไซด์ และน้ำอ้อยใสจะถูกให้ความร้อนโดยผ่านเครื่องทำความร้อน (Heater) ที่อุณหภูมิ 100 – 105°C และเข้าสู่กระบวนการต้มด้วยหม้อต้ม (Evaporator) เพื่อระเหยน้ำ ที่อุณหภูมิ 103 94 78 และ 55°C ตามลำดับ ได้เป็นน้ำเชื่อมดิบ จากนั้นน้ำเชื่อมดิบเข้าสู่กระบวนการเคี้ยว เพื่อทำให้เข้มข้นจนเป็นผลึกน้ำตาลด้วยหม้อเคี้ยว (Pan) ที่อุณหภูมิ 50 – 60°C จนเกิดผลึกเรียกว่า แมสคิวท (Massecuite) ซึ่งจะถูกล่อยลงรางกวน เพื่อลดอุณหภูมิทำให้อัตราการเกิดผลึกสูงขึ้น และปั่นเป็นน้ำตาลทรายดิบด้วยหม้อปั่น (Centrifugal) โดยของเหลวส่วนที่แยกออกจากผลึกน้ำตาลทรายดิบ คือ กากน้ำตาล จากนั้นน้ำตาลทรายดิบจะเข้าสู่การทำน้ำตาลทรายขาว โดยผ่านกระบวนการละลาย กำจัดสี ลดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผ่านการเคี้ยวบั่นเป็นน้ำตาลทรายขาว โดยขั้นตอนนี้มีกากน้ำตาลเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2546) ดังนั้นตัวอย่างที่ทำการเก็บเพื่อนำไปวิเคราะห์การตกค้างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน คือ ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ ได้แก่ น้ำอ้อย และน้ำตาลทรายดิบ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้แก่ น้ำตาลทรายขาว และผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ ได้แก่ กากอ้อย และกากน้ำตาล สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของอ้อยแสดงในตารางที่ 4.1 ค่า Commercial Cane Sugar (CCS) หรือค่าความหวานของอ้อยในช่วงต้นฤดูการผลิต (เดือนธันวาคม-มกราคม) อยู่ระหว่าง 10.8 – 12.71 CCS และค่า CCS ของอ้อยในช่วงปลายฤดูการผลิต (เดือนเมษายน) อยู่ระหว่าง 11.42 – 13.18 CCS (ภาคผนวก ก) สอดคล้องกับการศึกษาของดาร์เรตัน มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ (2558) ซึ่งพบว่า ค่า CCS ของอ้อยในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว 8 10 และ 12 เดือน มีค่า CCS เฉลี่ย 6.3 11.7 และ 14.6 CCS ตามลำดับ เนื่องจากการสะสมของน้ำตาลซูโครสในอ้อยเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยวอ้อย และนอกจากนี้พบว่า อ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่า CCS สูงที่สุดเนื่องจากในช่วง 3 เดือนสุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ตั้งแต่เดือนกันยายนเป็นต้นไป) จะมีสภาวะความชื้น อุณหภูมิ และแสงแดดที่เหมาะสมต่อการสร้างน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด จึงทำให้อ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่า CCS สูงกว่าภาคอื่น ๆ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2546) ซึ่งสายพันธุ์อ้อยมีผลต่อค่า CCS เช่นกัน โดยดาร์เรตัน มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ (2558) ได้ศึกษาปัจจัยของพันธุ์อ้อยที่มีต่อค่า CCS พบว่า อ้อยสายพันธุ์ขอนแก่น 3 มีค่า CCS สูงกว่าอ้อยสายพันธุ์ TPJ351 และ TPJ851 สำหรับน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล ทำการวัดค่าโพลาไรเซชัน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกร้อยละของน้ำตาลซูโครสโดยน้ำหนักของตัวอย่าง โดยวัดด้วยเครื่องโพลาไรมิเตอร์ (ตารางที่ 4.2) พบว่าน้ำอ้อย มีค่า โพลาไรเซชัน อยู่ระหว่าง 15.635 – 16.055 °Z กากอ้อยมีค่าโพลาไรเซชัน อยู่ระหว่าง 1.938 – 2.624 °Z น้ำตาลทรายดิบ มีค่าโพลาไรเซชัน อยู่ระหว่าง 98.706 – 99.959 °Z น้ำตาลทรายขาวมีค่าโพลาไรเซชัน อยู่ระหว่าง 99.953 – 99.959 °Z และในกากน้ำตาล มีค่าโพลาไรเซชัน อยู่ระหว่าง 26.395 – 28.937 °Z ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการควบคุมกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงาน (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2541) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำตาลทราย (มอก., 2552) (ภาคผนวก ข)



ภาพที่ 4.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล



ภาพที่ 4.2 การเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของอ้อย

พื้นที่การผลิต	จังหวัด	Commercial Cane Sugar (CCS)	
		มกราคม	เมษายน
กลาง (สอก.1)	สุพรรณบุรี	10.80 ± 0.07	11.42 ± 0.02
	ราชบุรี	10.91 ± 0.11	11.90 ± 0.01
เหนือ (สอก.2)	กำแพงเพชร	10.80 ± 0.06	11.48 ± 0.00
	นครสวรรค์	11.34 ± 0.08	12.02 ± 0.00
ตะวันออก (สอก.3)	สระแก้ว	11.43 ± 0.12	12.51 ± 0.01
	ชลบุรี	11.09 ± 0.07	11.69 ± 0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ (สอก.4)	นครราชสีมา	11.69 ± 0.06	12.50 ± 0.00
	ขอนแก่น	12.71 ± 0.05	13.18 ± 0.01

ตารางที่ 4.2 ค่าโพลาไรเซชันของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

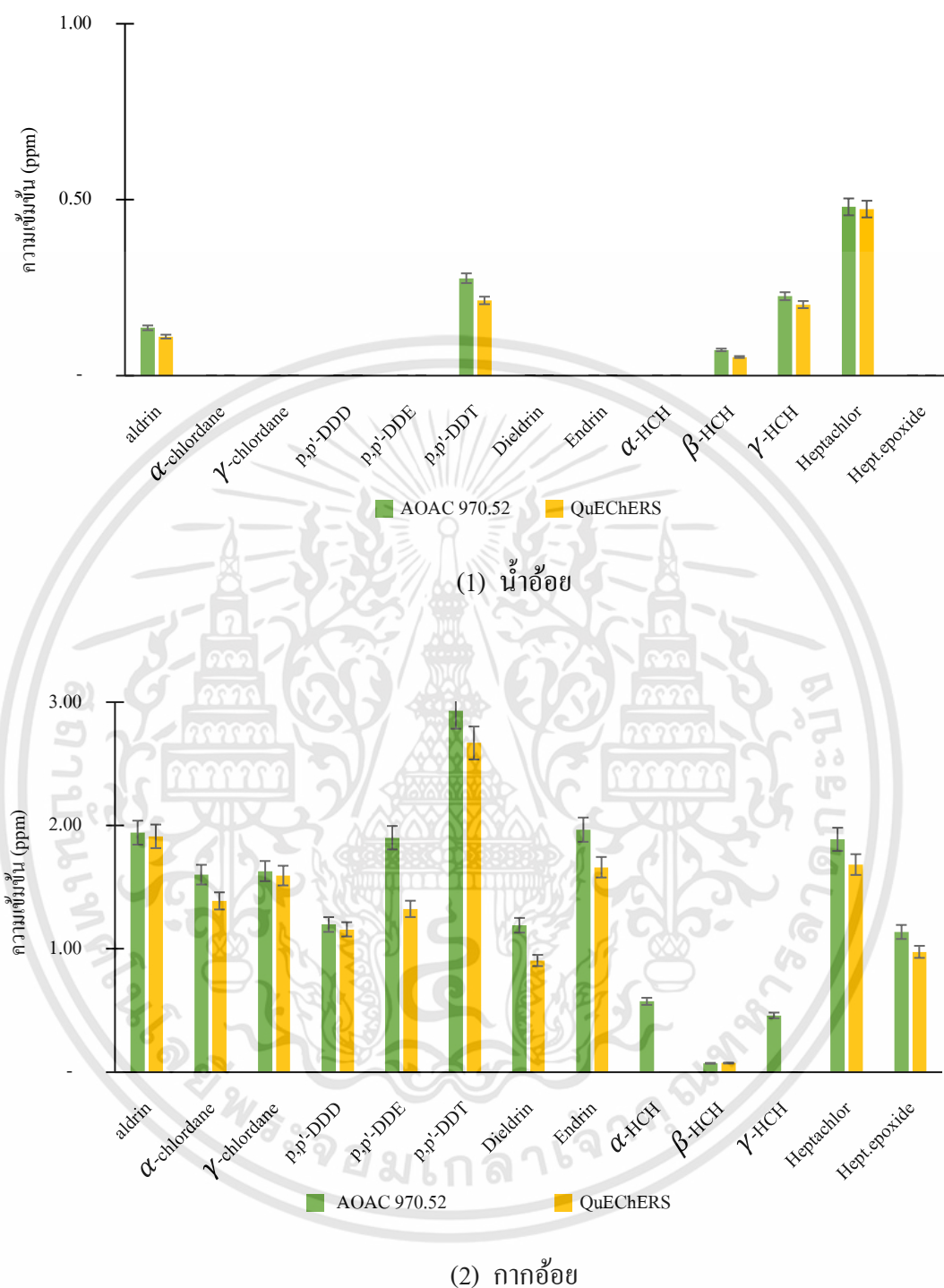
พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาไรเซชัน (°Z)				
	น้ำอ้อย	กากอ้อย	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาว	กากน้ำตาล
เหนือ	15.635 ± 1.888	1.938 ± 0.170	99.151 ± 0.031	99.953 ± 0.004	28.973 ± 0.134
ตะวันออกเฉียงเหนือ	15.880 ± 1.931	2.624 ± 0.161	98.706 ± 0.263	99.958 ± 0.003	27.932 ± 1.319
ตะวันออก	16.050 ± 1.697	2.218 ± 0.433	99.307 ± 0.012	99.959 ± 0.000	28.995 ± 2.793
กลาง	16.055 ± 1.450	2.424 ± 0.139	99.013 ± 0.315	99.958 ± 0.007	26.395 ± 1.344

#### 4.2 การศึกษาวิธีสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เหมาะสมในตัวอย่าง

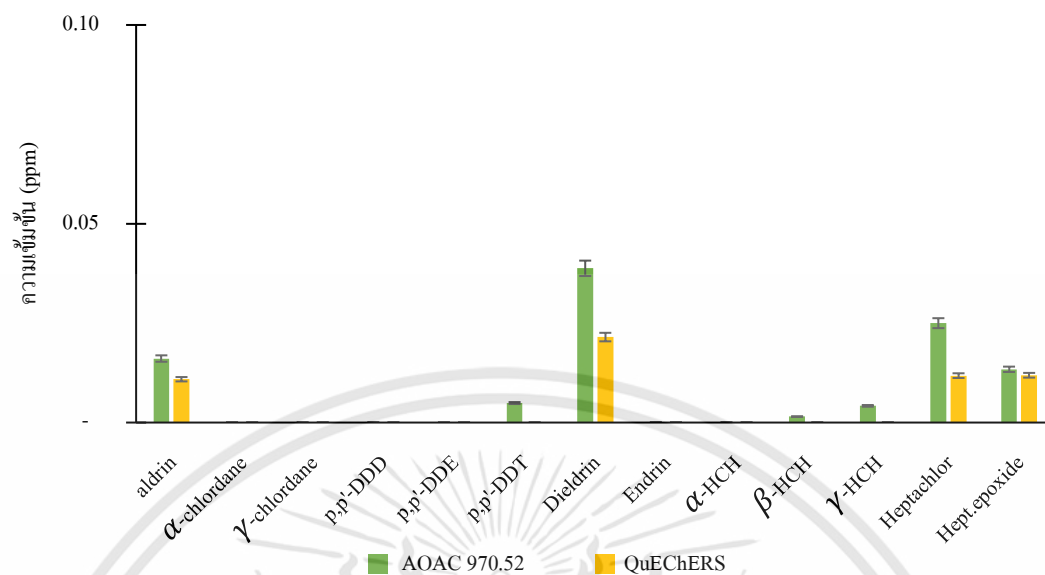
การศึกษาวิธีการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิด ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล ได้แก่ น้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล เปรียบเทียบระหว่างวิธีการสกัดแบบ AOAC 970.52 (AOAC, 1996) และ QuEChERS (AOAC, 2007) และวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิด ด้วยเครื่อง GC-MS โดยผลการศึกษาระบุแสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า วิธี AOAC 970.52 ให้ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเฉลี่ยมากกว่าวิธี QuEChERS และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) น้อยกว่า (ภาคผนวก ค) จึงทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของวิธีสกัดโดยใช้ตัวอย่างน้ำอ้อยที่เติมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมาตรฐาน 13 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นำไปสกัดด้วยวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS และตรวจวัดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนด้วยเครื่อง GC-MS จำนวนอย่างละ 6 ซ้ำ และทดสอบความแปรปรวนด้วย F-test เมื่อเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน พบว่า ค่า F คำนวณน้อยกว่าค่า Fวิกฤต ( $F_{cal} < F_{crit}$ )

(โดย Degree of freedom (df) ที่  $df_1 = 5$ ,  $df_2 = 5$ ) ดังนั้นการสกัดตัวอย่างด้วยวิธี AOAC 970.52 และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

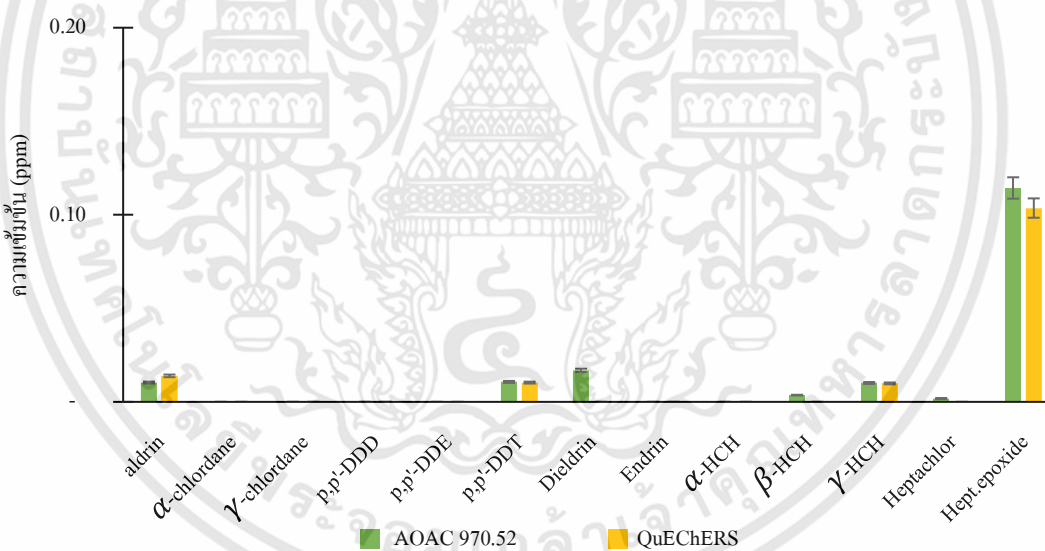
วิธี QuEChERS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.3) และเมื่อพิจารณาโครมาโตแกรมของออร์กาโนคลอรีนที่พบในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล ทั้ง 5 ชนิด โดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธี (ภาพที่ 4.4) พบว่า โครมาโตแกรมของตัวอย่างที่สกัดโดยวิธี AOAC 970.52 มีพีคของสัญญาณรบกวนน้อยกว่าตัวอย่างที่สกัดโดยวิธี QuEChERS ในทุกชนิดผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับวิธีทดสอบมาตรฐานของสำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่ระบุว่า วิธีการทดสอบ QuEChERS เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างผักและผลไม้ ยกเว้น ผักและผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงและมีปริมาณน้ำตาลสูง (มกอช., 2557) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Skrbic และ Predojevic (2008) ที่ใช้วิธี AOAC 970.52 ในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างอาหาร และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยทำการศึกษาร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เติมในตัวอย่างแป้งสาลี โดย  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH และ  $\gamma$ -HCH มีค่าร้อยละการคืนกลับ 78, 83 และ 81 ตามลำดับ p,p'-DDD, p,p'-DDE และ p,p'-DDT มีค่าร้อยละการคืนกลับ 81 80 และ 83 ตามลำดับ Heptachlor และ Heptachlor Epoxide มีค่าร้อยละการคืนกลับ 81 และ 79 Aldrin และ Dieldrin มีค่าร้อยละการคืนกลับ 80 และ 81 Endrin และ Endrin aldehyde มีค่าร้อยละการคืนกลับ 79 และ 81 และได้นำวิธี AOAC 970.52 มาใช้ในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายขาวและกากน้ำตาล โดยพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายขาวและกากน้ำตาลอยู่ในช่วงระหว่าง 0.005 – 0.188 และ 0.005 – 0.082 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนได้ในตัวอย่างที่มีระดับความเข้มข้นของสารน้อย ดังนั้นการสกัดด้วยวิธี AOAC 970.52 จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล นอกจากนี้การเปรียบเทียบในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ และต้นทุนการวิเคราะห์ พบว่า วิธีการ AOAC 970.52 ใช้ระยษะเวลาน้อยกว่า แต่ใช้สารเคมีในปริมาณมากกว่าทำให้มีต้นทุนสูงกว่าวิธี QuEChERS (ภาคผนวก ง)



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบ 2 วิธี ในตัวอย่าง (1) น้ำอ้อย (2) กากอ้อย (3) น้ำตาลทรายดิบ (4) น้ำตาลทรายขาว และ (5) กากน้ำตาล

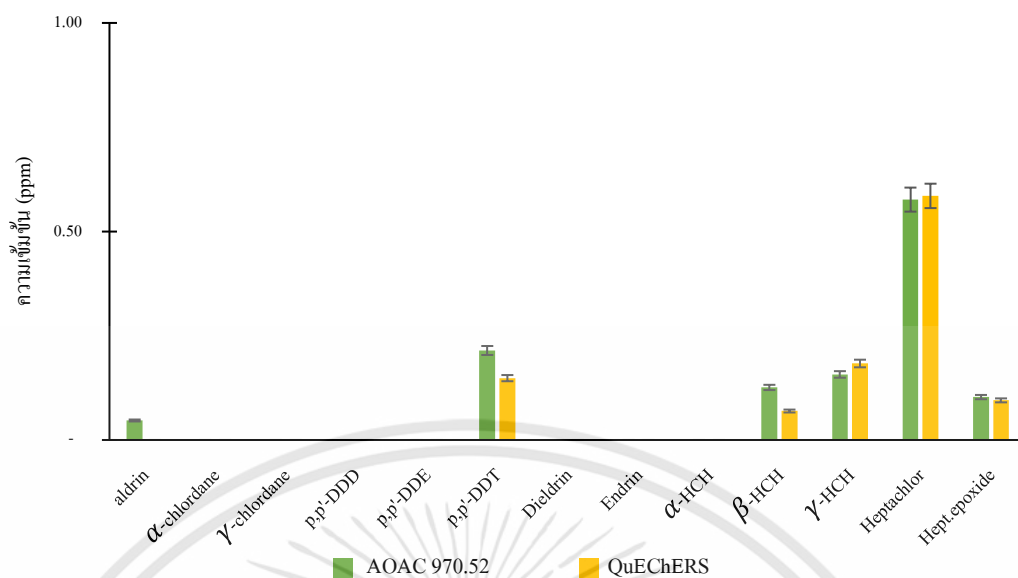


(3) น้ำตาลทรายดิบ



(4) น้ำตาลทรายขาว

ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบ 2 วิธี ในตัวอย่าง (1) น้ำอ้อย (2) กากอ้อย (3) น้ำตาลทรายดิบ (4) น้ำตาลทรายขาว และ (5) กากน้ำตาล (ต่อ)



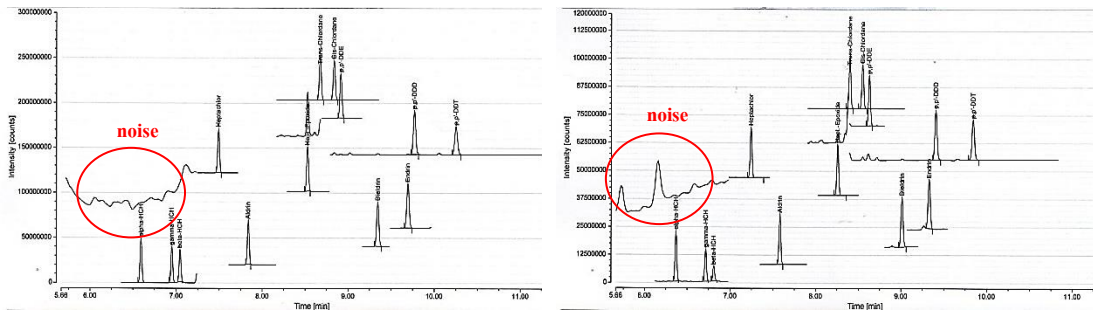
## (5) กากน้ำตาล

ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบ 2 วิธี ในตัวอย่าง (1) น้ำอ้อย (2) กากอ้อย (3) น้ำตาลทรายดิบ (4) น้ำตาลทรายขาว และ (5) กากน้ำตาล (ต่อ)

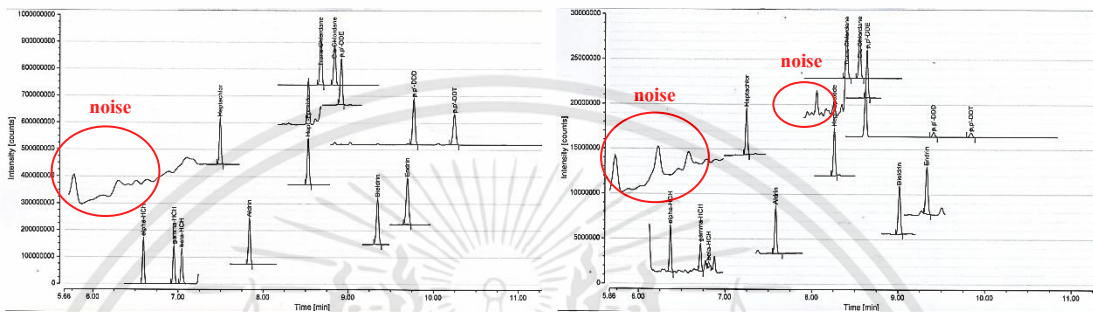
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสกัดตัวอย่างน้ำอ้อยด้วยวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

ชนิดของออร์กาโนคลอรีน	ความแปรปรวน ( $SD^2$ )		$F_{cal}$	$F_{cri}$
	AOAC 970.52	QuEChERS		
Aldrin	$6.68 \times 10^{-8}$	$11.92 \times 10^{-8}$	1.78	5.05
α-Chlordane	$3.20 \times 10^{-7}$	$7.10 \times 10^{-7}$	2.20	5.05
γ-Chlordane	$5.42 \times 10^{-8}$	$1.70 \times 10^{-7}$	3.26	5.05
p,p'-DDD	$1.40 \times 10^{-7}$	$5.52 \times 10^{-7}$	3.76	5.05
p,p'-DDE	$2.50 \times 10^{-7}$	$7.64 \times 10^{-7}$	2.95	5.05
p,p'-DDT	$1.57 \times 10^{-7}$	$4.70 \times 10^{-7}$	3.02	5.05
Dieldrin	$1.37 \times 10^{-8}$	$5.98 \times 10^{-8}$	4.35	5.05
Endrin	$8.04 \times 10^{-8}$	$1.13 \times 10^{-7}$	1.41	5.05
α-HCH	$3.54 \times 10^{-8}$	$5.72 \times 10^{-8}$	1.62	5.05
β-HCH	$4.91 \times 10^{-8}$	$8.04 \times 10^{-8}$	1.64	5.05
γ-HCH	$6.20 \times 10^{-8}$	$1.13 \times 10^{-7}$	1.83	5.05
Heptachlor	$2.32 \times 10^{-8}$	$7.74 \times 10^{-8}$	3.33	5.05
Heptachlor epoxide	$2.09 \times 10^{-8}$	$6.67 \times 10^{-8}$	3.19	5.05

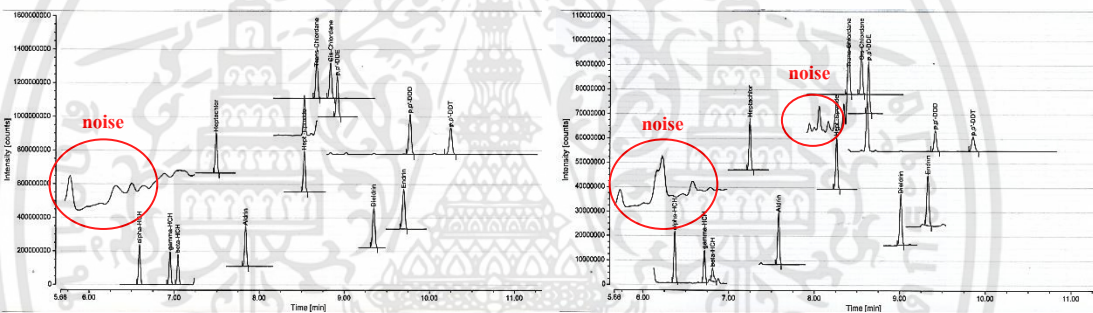
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



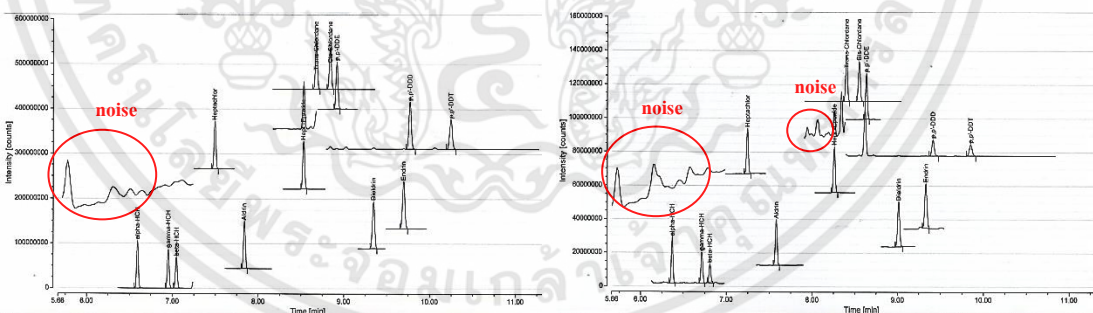
น้ำอ้อย



กากอ้อย



น้ำตาลทรายดิบ



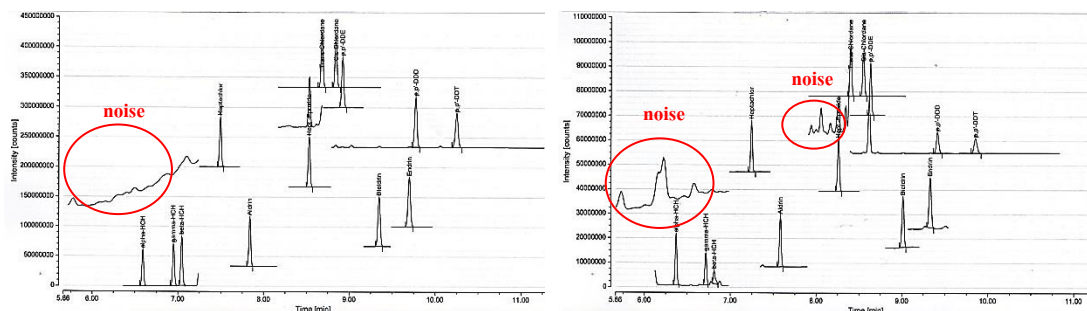
น้ำตาลทรายขาว

(1) AOAC 970.52

(2) QuEChERS

ภาพที่ 4.4 โครมาโตแกรมแสดงพีคของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาลที่สกัดด้วย (1) วิธี AOAC 970.52 และ (2) วิธี QuEChERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กากน้ำตาล

(1) AOAC 970.52

(2) QuEChERS

ภาพที่ 4.4 โครมาโตแกรมแสดงพีคของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาลที่สกัดด้วย (1) วิธี AOAC 970.52 และ (2) วิธี QuEChERS (ต่อ)

### 4.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์

#### 4.3.1 การทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงของการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่เดิมสารออร์กาโนคลอรีนมาตรฐาน 13 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เติมลงในตัวอย่างและความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ ซึ่งความสัมพันธ์จะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง ( $R^2$  เข้าใกล้ 1) โดยค่า  $R^2$  ที่เหมาะสมควรมีค่ามากกว่า 0.99 (AOAC, 2002) ผลการศึกษาพบว่า ค่า  $R^2$  ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิดในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล (ตารางที่ 4.4) มีค่ามากกว่า 0.99 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีการสกัดแบบ AOAC 970.52 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS สามารถตรวจวัดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิดในตัวอย่างได้ตามปริมาณที่เติมลงในตัวอย่าง ยกเว้น Endrin ในกากอ้อยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9833 และ  $\beta$ -HCH ในน้ำอ้อยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9812 ที่มีค่าน้อยกว่า 0.99 เล็กน้อย Mondal และคณะ (2017) ได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและออร์กาโนฟอสเฟต จำนวน 31 ชนิดในตัวอย่างข้าว พบว่า วิธีที่เหมาะสมมีค่า  $R^2$  ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเท่ากับ 0.98 ซึ่งน้อยกว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.99 และใช้วิธีดังกล่าวในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในข้าว ดังนั้นค่า  $R^2$  ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีค่าที่เหมาะสมในช่วงการวิเคราะห์ 0.01 – 0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การหาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ

การตรวจสอบขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ โดยเติมสารออร์กาโนคลอรีนมาตรฐาน 13 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์กาโนคลอรีน จำนวน 7 ซ้ำ เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยค่า LOD และค่า LOQ เท่ากับ 3 และ 10 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า ค่า LOD และ LOQ ของการตรวจวิเคราะห์ปริมาณออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล แสดงดังตารางที่ 4.4 ค่า LOD ของ Aldrin อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0093 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\alpha$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0009 - 0.0094 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\gamma$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0029 - 0.0087 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDD อยู่ในช่วง 0.0001 - 0.0217 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDE อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0172 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.0002 - 0.0195 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Dieldrin อยู่ในช่วง 0.0008 - 0.0069 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Endrin อยู่ในช่วง 0.0019 - 0.0135 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\alpha$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0132 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\beta$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0017 - 0.0078 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\gamma$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0006 - 0.0136 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0014 - 0.0125 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Heptachlor epoxide อยู่ในช่วง 0.0011 - 0.0093 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับค่า LOQ ของ Aldrin อยู่ในช่วง 0.0016 - 0.031 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\alpha$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0029 - 0.0312 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\gamma$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0099 - 0.029 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDD อยู่ในช่วง 0.0003 - 0.0724 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDE อยู่ในช่วง 0.0016 - 0.0172 มิลลิกรัม/กิโลกรัม p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.0006 - 0.065 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Dieldrin อยู่ในช่วง 0.0028 - 0.0229 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Endrin อยู่ในช่วง 0.0063 - 0.0451 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\alpha$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0015 - 0.044 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\beta$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0057 - 0.0261 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  $\gamma$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0019 - 0.0453 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0046 - 0.0417 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Heptachlor epoxide อยู่ในช่วง 0.0036 - 0.031 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Vazquez-Quintal และคณะ (2012) พบว่า ค่า LOD ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนอยู่ในช่วง 0.0004 - 0.0747 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และค่า LOQ อยู่ในช่วง 0.0013 - 0.2491 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รวมทั้งวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ให้ค่า LOD และ LOQ ที่อยู่ในช่วงการตรวจพบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่าง

#### 4.3.3 การทดสอบความแม่นยำของวิธี

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี AOAC 970.52 โดยเติมสารละลายมาตรฐานออร์กาโนคลอรีนลงไปในตัวอย่งน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาลในขั้นตอนการสกัด ที่ความเข้มข้น 0.01 0.10 และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่สามารถตรวจวัดได้จากค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) โดยเกณฑ์กำหนดค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (10 ppb) อยู่ระหว่างร้อยละ 60-115 (AOAC, 2016) ค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้น 0.10 (100 ppb) และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (1 ppm) อยู่ระหว่างร้อยละ 80-110 (AOAC, 2016) พบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับของสารออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล ที่เดิมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อยู่ระหว่างร้อยละ 77-113 ร้อยละ 78-103 ร้อยละ 71-119 ร้อยละ 81-109 และ 85-128 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์ร้อยละการคืนกลับตามที่ AOAC ยอมรับ สำหรับค่าร้อยละการคืนกลับของสารออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล ที่เดิมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.10 และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อยู่ระหว่างร้อยละ 86-111 ร้อยละ 82-116 ร้อยละ 90-119 ร้อยละ 86-126 และ 86-125 ตามลำดับ เป็นที่สังเกตว่า ค่าร้อยละการคืนกลับที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ ได้แก่  $\alpha$ -HCH ในน้ำตาลทรายดิบ p,p'-DDT  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH และ Heptachlor ในกากน้ำตาล มีค่าร้อยละ 119, 118, 128, 126 และ 127 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 115 ที่เกณฑ์กำหนด และร้อยละการคืนกลับของสารที่ความเข้มข้น 0.10 และ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่สูงกว่าร้อยละ 110 ได้แก่ p,p'-DDD และ Endrin ในกากอ้อย  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\gamma$ -HCH และ Heptachlor ในน้ำตาลทรายดิบ  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane และ p,p'-DDE ในน้ำตาลทรายขาว Aldrin, p,p'-DDD, p,p'-DDE และ p,p'-DDT ในกากน้ำตาล สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vazquez-Quintal และคณะ (2012) พบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัม/กรัม โดยใช้ตัวทำละลายเป็นสารผสมระหว่าง Acetonitrile และ Ethyl acetate (3:1) มีแนวโน้มค่าร้อยละการคืนกลับสูงกว่าร้อยละ 120 เนื่องจากความแตกต่างของตัวทำละลาย โดยวิธีการสกัดที่ใช้ Acetonitrile ชนิดเดียวให้ค่าร้อยละการคืนกลับต่ำกว่า อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ความแตกต่างพบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับดังกล่าวไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ภาคผนวก จ) ดังนั้นการสกัดโดยวิธี AOAC จึงมีความแม่นยำสามารถนำไปใช้ในการสกัดตัวอย่างได้

#### 4.3.4 การทดสอบความเที่ยงของวิธีการ

การวิเคราะห์ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ทำได้โดยการนำค่า SD ที่ได้จากข้อ 4.3.2 มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณออร์กาโนคลอรีนที่ตรวจวัดได้ โดยเกณฑ์กำหนดค่า %RSD ที่ยอมรับในช่วงความเข้มข้นของสาร 0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (100 ppb) ไม่เกินร้อยละ 10 (AOAC, 2016) จากการศึกษา พบว่า %RSD ของการวิเคราะห์การตกค้างของออร์กาโนคลอรีนทั้ง 13 ชนิดในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล มีค่าไม่เกินร้อยละ 8 อยู่ในช่วง 3.33 - 6.7, 3.5 - 8.82, 2.6 - 6.2,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.91 - 9.34 และ 2.59 – 6.79 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 10 ตามเกณฑ์การยอมรับของ AOAC รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.6 และเมื่อพิจารณาค่า HORRAT ซึ่งเป็นค่าแนะนำสำหรับการยอมรับได้ของความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการศึกษากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณจากสูตรของ Horwitz โดยค่า HORRAT ที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน 2.0 (AOAC, 2016) ผลการศึกษา พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ค่า HORRAT อยู่ในช่วง 0.17 – 0.63 ซึ่งเป็นไปตามค่าการยอมรับที่เกณฑ์กำหนด

จากการทดสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  ค่า LOD LOQ ค่าร้อยละการคืนกลับ %RSD และ ค่า HORRAT เป็นไปตามเกณฑ์ AOAC และสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้า ดังนั้นวิธีวิเคราะห์โดยการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจากตัวอย่างตามวิธี AOAC 970.52 และตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-MS จึงมีความเหมาะสมในการศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 13 ชนิด ในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล

ตารางที่ 4.4 ความเป็นเส้นตรง ( $R^2$ ) ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดปริมาณ (LOQ)

ชนิดของ ออร์กาโนคลอรีน	น้ำอ้อย			กากอ้อย			น้ำตาลทรายดิบ			น้ำตาลทรายขาว			กากน้ำตาล		
	$R^2$	LOD (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	LOQ (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	$R^2$	LOD (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	LOQ (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	$R^2$	LOD (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	LOQ (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	$R^2$	LOD (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	LOQ (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	$R^2$	LOD (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	LOQ (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)
Aldrin	0.9918	0.0005	0.0016	0.9998	0.0080	0.0266	0.9995	0.0032	0.0106	0.9989	0.0093	0.0310	0.9925	0.0022	0.0073
$\alpha$ -Chlordane	0.9935	0.0009	0.0029	0.9993	0.0074	0.0247	0.9992	0.0015	0.0051	0.9987	0.0094	0.0312	0.9951	0.0025	0.0082
$\gamma$ -Chlordane	0.9929	0.0030	0.0099	0.9991	0.0071	0.0235	0.9992	0.0034	0.0112	0.9991	0.0087	0.0290	0.9954	0.0025	0.0082
p,p'-DDD	0.9863	0.0001	0.0003	0.9999	0.0074	0.0246	0.9999	0.0074	0.0245	0.9999	0.0217	0.0724	0.9847	0.0003	0.0009
p,p'-DDE	0.9826	0.0005	0.0016	0.9939	0.0096	0.0319	0.9998	0.0172	0.0574	0.9995	0.0028	0.0092	0.9975	0.0012	0.0041
p,p'-DDT	0.9947	0.0011	0.0037	0.9915	0.0195	0.0650	0.9991	0.0002	0.0006	0.9979	0.0044	0.0146	0.9956	0.0003	0.0010
Dieldrin	0.9965	0.0008	0.0028	0.9995	0.0041	0.0137	0.9990	0.0037	0.0124	0.9999	0.0069	0.0229	0.9979	0.0012	0.0040
Endrin	0.9958	0.0019	0.0063	0.9833	0.0086	0.0288	0.9999	0.0135	0.0451	0.9999	0.0028	0.0093	0.9885	0.0024	0.0081
$\alpha$ -HCH	0.9925	0.0005	0.0015	0.9964	0.0061	0.0203	0.9991	0.0041	0.0135	0.9993	0.0132	0.0440	0.9927	0.0012	0.0041
$\beta$ -HCH	0.9812	0.0017	0.0057	0.9982	0.0068	0.0225	0.9961	0.0026	0.0085	0.9931	0.0078	0.0261	0.9837	0.0014	0.0046
$\gamma$ -HCH	0.9931	0.0006	0.0019	0.9999	0.0068	0.0228	0.9995	0.0136	0.0453	0.9999	0.0081	0.0270	0.9953	0.0023	0.0075
Heptachlor	0.9919	0.0014	0.0046	0.9996	0.0080	0.0268	0.9995	0.0125	0.0417	0.9998	0.0086	0.0288	0.9942	0.0028	0.0093
Hept.-epoxide	0.9942	0.0011	0.0036	0.9974	0.0056	0.0186	0.9995	0.0023	0.0078	0.9989	0.0093	0.0310	0.9946	0.0013	0.0042

ตารางที่ 4.5 ร้อยละการคืนกลับของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ชนิดของ ออร์กาโนคลอรีน	ตัวอย่าง ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ค่าร้อยละการคืนกลับในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย														
		น้ำอ้อย			กากอ้อย			น้ำตาลทรายดิบ			น้ำตาลทรายขาว			กากน้ำตาล		
		0.01	0.10	1.00	0.01	0.10	1.00	0.01	0.10	1.00	0.01	0.10	1.00	0.01	0.10	1.00
Aldrin		94	89	89	97	86	86	93	100	100	86	92	89	91	96	125
Cis-Chlordane		91	104	95	78	96	96	82	102	109	83	90	120	98	94	95
Trans-Chlordane		93	111	101	80	96	96	85	111	117	86	91	126	85	98	101
p,p'-DDD		93	95	95	80	102	116	85	101	95	81	107	95	102	115	95
p,p'-DDE		97	95	95	93	97	98	76	110	113	87	95	115	114	116	95
p,p'-DDT		77	96	96	98	96	96	107	114	96	109	100	96	118	112	96
Dieldrin		74	86	86	92	89	89	90	112	108	83	98	86	109	93	86
Endrin		97	108	108	99	102	115	109	117	108	104	105	108	95	96	108
alpha-HCH		101	105	105	83	82	82	119	115	105	102	107	105	105	96	105
beta-HCH		108	90	90	90	101	101	99	102	90	89	88	90	128	93	90
gamma-HCH		102	95	95	92	86	87	97	119	95	104	86	95	126	108	95
Heptachlor		113	94	94	95	93	93	98	117	106	100	104	94	127	98	101
Hept.-epoxide		81	94	94	103	96	92	71	118	106	84	94	108	95	91	105

ตารางที่ 4.6 ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และ HORRAT

ชนิดของ ออร์กาโนคลอรีน	น้ำอ้อย		กากอ้อย		น้ำตาลทรายดิบ		น้ำตาลทรายขาว		กากน้ำตาล	
	%RSD	Horrat	%RSD	Horrat	%RSD	Horrat	%RSD	Horrat	%RSD	Horrat
Aldrin	3.56	0.24	3.54	0.24	3.05	0.20	4.40	0.29	4.40	0.29
$\alpha$ -Chlordane	6.61	0.45	7.21	0.49	5.89	0.40	6.95	0.47	5.08	0.34
$\gamma$ -Chlordane	6.36	0.43	7.00	0.47	5.62	0.38	6.96	0.47	4.94	0.33
p,p'-DDD	3.49	0.23	8.82	0.59	2.60	0.17	6.94	0.46	5.93	0.40
p,p'-DDE	6.52	0.45	6.52	0.44	5.92	0.40	7.22	0.48	6.29	0.42
p,p'-DDT	4.04	0.23	4.05	0.27	2.86	0.19	7.16	0.48	6.26	0.42
Dieldrin	6.69	0.45	7.03	0.47	6.20	0.42	8.04	0.54	6.60	0.44
Endrin	6.70	0.45	7.21	0.49	6.13	0.42	9.34	0.63	6.79	0.45
$\alpha$ -HCH	3.99	0.27	4.33	0.29	2.78	0.19	3.83	0.26	2.59	0.17
$\beta$ -HCH	3.33	0.22	3.51	0.24	2.78	0.19	3.51	0.23	4.53	0.30
$\gamma$ -HCH	3.45	0.23	3.50	0.23	2.90	0.19	2.91	0.19	4.78	0.32
Heptachlor	3.34	0.22	3.51	0.23	2.79	0.19	3.26	0.22	4.32	0.29
Hept.-epoxide	6.33	0.43	7.02	0.47	5.53	0.37	7.72	0.52	5.57	0.37

#### 4.4 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

จากการวิเคราะห์การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล จากพื้นที่การผลิตทั้ง 4 ภาคของประเทศไทย โดยการสกัดด้วยวิธี AOAC 970.52 และตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-MS พบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในอ้อย ซึ่งได้จากผลรวมของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในน้ำอ้อยและกากอ้อย (ภาพที่ 4.6) พบว่า อ้อยที่เก็บตัวอย่างจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างในปริมาณสูงที่สุด โดยพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จำนวน 12 ชนิด ได้แก่ Aldrin  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor Epoxide ในปริมาณเฉลี่ย 0.0204, 0.0926, 0.0797, 0.1658, 0.1393, 0.2679, 0.0909, 0.1662, 0.0152, 0.0063, 0.0867 และ 0.5017 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและน้ำของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า มีการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น (Thapinta and Hudak, 2003, Poolpak และคณะ, 2008, ปิยะวรรณ ศรีวิลาส และกานดา ใจดี, 2549) ทั้งนี้เนื่องจากดินในพื้นที่เพาะปลูกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินตะกอนน้ำพา ซึ่งผันแปรตามชนิดและขนาดของตะกอนที่ถูกน้ำพัดมาทับถม จึงมีปริมาณสารพิษสะสมในปริมาณมากกว่าพื้นที่บริเวณอื่น (สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 13, 2555) พื้นที่ที่พบปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อยปริมาณรองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ ซึ่งพบการ สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จำนวน 7 ชนิดเช่นเดียวกันทั้ง 3 ภาค ได้แก่ Aldrin, p,p'-DDT, Dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor Epoxide โดยค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0285 – 0.0465, 0.0888 – 0.2463, 0.1330 – 0.1658, 0.0081 – 0.0328, 0.0359 – 0.0515, 0.2377 – 0.4524 และ 0.5634 – 0.6705 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ห้ามใช้ในการเกษตรมีการตกค้างในสิ่งแวดล้อมของทุกพื้นที่ และปนเปื้อนมาสู่ผลผลิตอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาล จึงมีความเสี่ยงที่สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่อนุญาตให้ใช้ ได้แก่ Atrazine และ Paraquat จะตกค้างและปนเปื้อนในอ้อยสูงกว่าปริมาณที่กำหนดได้ โดยจากการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่า มีการตกค้างของ Atrazine และ Paraquat ในปริมาณสูงกว่าที่กฎหมายกำหนด (ภาคผนวก จ) ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีการกำหนดมาตรการลดการใช้ และอยู่ระหว่างการหาแนวทางการยกเลิกการใช้สารกลุ่มดังกล่าว ดังนั้นจึงควรเฝ้าระวังการใช้สารกำจัดศัตรูพืชตั้งแต่เริ่มต้น ได้แก่ การควบคุมการนำเข้า การควบคุมการใช้ในการเกษตร และการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice, GAP) เพื่อไม่ให้สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในสูงเกินปริมาณที่กำหนด อีกทั้งผลการศึกษาในครั้งนี้มีแนวโน้มการตกค้างของ Heptachlor epoxide, Heptachlor, p,p'-DDT, Dieldrin และ  $\gamma$ -HCH ในตัวอย่างในปริมาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันกับในอดีต (ภาคผนวก ข) เนื่องจากสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีระยะเวลาการสลายตัวที่ยาวนาน ทำให้มีการสะสมตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Manviri และคณะ, 2017) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในอ้อยกับ ปริมาณการตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit, MRL) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง (2560) พบว่า มีปริมาณสูงเกินกว่าที่เกณฑ์กำหนด โดยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 4 ตามประกาศฯ ต้องตรวจไม่พบ และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสหภาพยุโรป (EU-MRLs Regulation (EC) No 396/2005) ที่ยอมให้พบ โดยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อยตามปริมาณที่กำหนด พบว่า ปริมาณผลรวมของ Aldrin และ Dieldrin และผลรวมของ Heptachlor และ Heptachlor epoxide มีค่า 0.0366 และ 0.1914 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่า MRL ที่สหภาพยุโรปกำหนด (ภาคผนวก ข) ส่วนปริมาณของ Aldrin, Chlordane, DDT, Endrin และ HCH อยู่ในปริมาณที่เกณฑ์กำหนด (ตารางที่ 4.7)

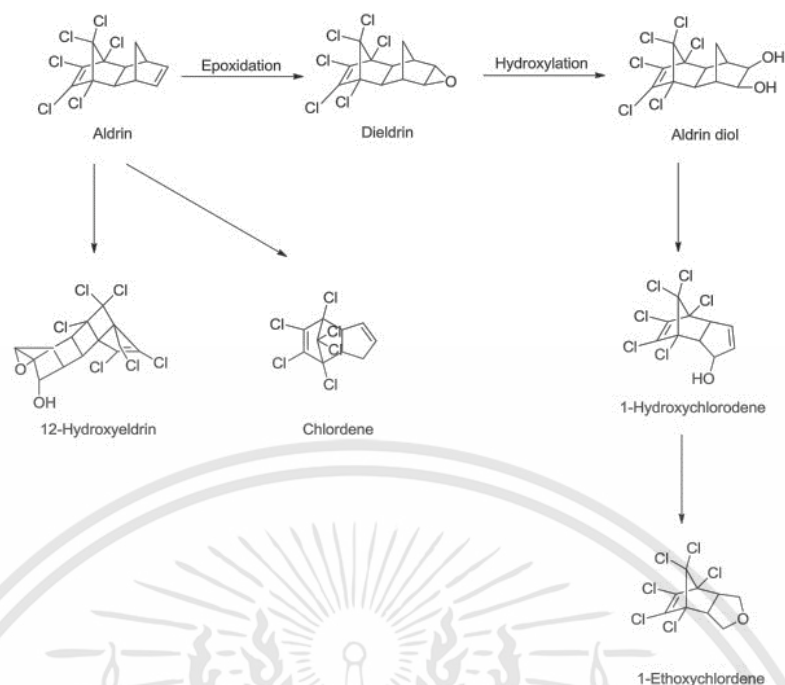
ผลการศึกษาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Aldrin, p,p'-DDT,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide (ภาพที่ 4.7) ปริมาณการตกค้างของสารออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อยแต่ละภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้น Aldrin ในน้ำอ้อยภาคตะวันออก โดยพบว่า ภาคตะวันออกมีปริมาณการตกค้างของ Aldrin สูงกว่าภาคอื่น และพบ Aldrin,  $\gamma$ -HCH และ Heptachlor ตกค้างในน้ำอ้อยทั้ง 4 พื้นที่ และสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบการตกค้างในปริมาณสูง ได้แก่ Heptachlor epoxide, Heptachlor,  $\gamma$ -HCH และ p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.008 - 0.011, 0.002 - 0.005, 0.002 - 0.006 และ 0.001 - 0.004 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้กฎหมายในประเทศไทยไม่มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย แต่หากพิจารณาความสอดคล้องตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2560) ที่กำหนดไว้ในอ้อย น้ำอ้อยควรตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเช่นเดียวกัน

กากอ้อยพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 12 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide (ภาพที่ 4.8) ปริมาณการตกค้างของสารออร์กาโนคลอรีนในกากอ้อยแต่ละภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบการตกค้างของ p,p'-DDT และ Dieldrin ทั้ง 4 พื้นที่ สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบการตกค้างปริมาณสูง ได้แก่ Heptachlor epoxide, Heptachlor, Dieldrin และ p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.002 - 0.67, 0.0004 - 0.049, 0.004 - 0.17 และ 0.013 - 0.245 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยกากอ้อยพบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปริมาณสูงกว่าน้ำอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากกากอ้อยมีองค์ประกอบของไขมันสูงกว่าน้ำอ้อย กล่าวคือ บริเวณเปลือกหรือผิวด้านนอกของอ้อยมีไขมันสะสมอยู่ร้อยละ 0.05 – 0.15 (Medeiros, 2017) โดยเฉพาะบริเวณที่เกี่ยวข้องกับการเจริญพันธุ์ ได้แก่ ขั้วและราก ซึ่งโครงสร้างหลักของไขมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับหมู่แอลกอฮอล์ (สวทช., 2560) โดยสารออร์กาโนคลอรีนส่วนใหญ่ละลายได้ดีในไขมันจึงสะสมในกากอ้อยมากกว่าในน้ำอ้อย สำหรับกากอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลโรงงานจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ กากอ้อยบางส่วนถูกจำหน่ายเพื่อนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีธาตุอาหารเพียงพอในการนำมาทำเป็นอาหารสัตว์เลี้ยงเอื้อง (ปณัท สุขสร้อย, 2559) จึงมีโอกาสดังกล่าวที่สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในกากอ้อยจะถูกดูดซึมและสะสมโดยสัตว์เลี้ยงเอื้องที่กินอาหารสัตว์ที่ผลิตจากกากอ้อยได้

น้ำตาลทรายดิบพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างทั้ง 13 ชนิด (ภาพที่ 4.9) โดยปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายดิบแต่ละภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบการตกค้างปริมาณสูง ได้แก่ Dieldrin, p,p'-DDT และ Aldrin ระหว่าง 0.036 - 0.925, 0.078 - 0.268 และ 0.02 - 0.259 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยน้ำตาลทรายดิบมีสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างในปริมาณสูงกว่าน้ำอ้อยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย เนื่องจากเมื่อน้ำอ้อยผ่านเข้าสู่กระบวนการเป็นน้ำตาลทรายดิบทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยมีองค์ประกอบน้ำตาลจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 98 - 99 ทำให้มีการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนปริมาณเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากชนิดของออร์กาโนคลอรีนที่ไม่พบในน้ำอ้อย ถูกพบในน้ำตาลทรายดิบในปริมาณน้อย นอกจากนี้พบการตกค้างของ Dieldrin ในปริมาณสูง เนื่องจากการสลายตัว (Degradation) ของ Aldrin (ภาพที่ 4.5) โดยเกิดปฏิกิริยา Epoxidation ได้ Dieldrin เป็นสาร metabolites ที่เกิดขึ้น (Scheunert และคณะ, 1977)



ภาพที่ 4.5 ปฏิกิริยาการสลายตัวของ Aldrin

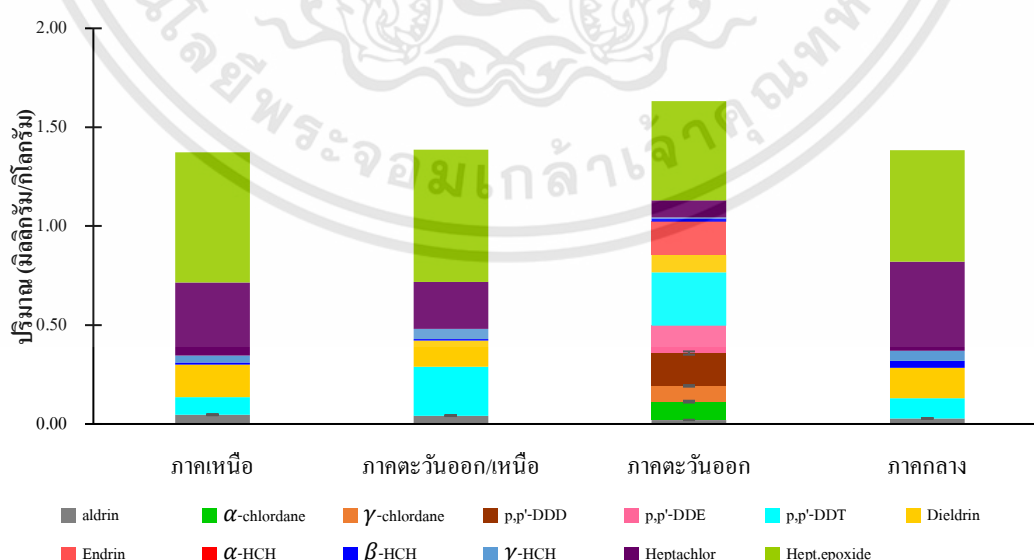
ที่มา: Scheunert และคณะ (1977)

น้ำตาลทรายขาวพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 10 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide (ภาพที่ 4.10) ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายขาวแต่ละภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้น p,p'-DDT โดยพบว่า p,p'-DDT มีการตกค้างในปริมาณสูงกว่าสารชนิดอื่น และตกค้างสูงสุดในภาคกลาง รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกตามลำดับ เนื่องจาก p,p'-DDT มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ความสามารถในการละลายน้ำต่ำ และความดันไอต่ำกว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่น (Manviri และคณะ, 2017) ทำให้มีความคงทนและตกค้างในปริมาณสูง และพบการตกค้างของ Aldrin, p,p'-DDT,  $\gamma$ -HCH และ Heptachlor epoxide ทั้ง 4 พื้นที่ สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบการตกค้างปริมาณสูง ได้แก่ p,p'-DDT,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor epoxide และ Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0007 - 0.105, 0.0005 - 0.058, 0.004 - 0.045 และ 0.006 - 0.051 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้กฎหมายในประเทศไทยไม่มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายไว้อย่างชัดเจน แต่หากพิจารณาความสอดคล้องตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2560) ที่กำหนดไว้ในอ้อยในผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวควรตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามปริมาณการตกค้างที่พบในน้ำตาลทรายขาวต่ำกว่าน้ำตาลทรายดิบอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของกระบวนการผลิต (อธิบายในข้อ 4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากน้ำตาลพบออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 13 ชนิด ที่ทำการทดสอบ (ภาพที่ 4.11) ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกากน้ำตาลแต่ละภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบ Aldrin, p,p'-DDT,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ทั้ง 4 พื้นที่ ออร์กาโนคลอรีนที่พบการตกค้างปริมาณสูง ได้แก่ p,p'-DDT, Heptachlor epoxide และ Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0012 - 0.461, 0.0085 - 0.0227 และ 0.0027 - 0.0128 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยกากน้ำตาลมีระดับการตกค้างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนต่ำกว่าน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาว เนื่องจากผ่านกระบวนการความร้อนและระยะเวลาการผลิตมากกว่า ทั้งนี้กากน้ำตาลของภาคกลางพบการตกค้างในปริมาณสูงกว่าภาคอื่น จึงควรพิจารณากระบวนการผลิตและการจัดเก็บกากน้ำตาลเพื่อลดปริมาณการตกค้าง เนื่องจากกากน้ำตาลสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหาร ได้แก่ ซอสซีอิ๊ว ขนมอบ และเบียร์ (Hickenbottom, 1996) รวมทั้งเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (ฉัฐริดา เชียงจิ่ง, 2553) จึงมีโอกาสนปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเกินปริมาณที่กำหนดไว้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหรือมีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ

การศึกษาในครั้งนี้มีแนวโน้มการพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในประเทศเซอร์เบีย ที่พบการตกค้างของ DDT ในน้ำตาลทรายขาวและกากน้ำตาล 0.132 และ 0.820 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ และพบ HCH ในน้ำตาลทรายขาวและกากน้ำตาล 0.188 และ 0.050 นาโนกรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งพบการตกค้างในกากน้ำตาลน้อยกว่าน้ำตาลทรายขาว (Skrbic และ Predojevic, 2008)

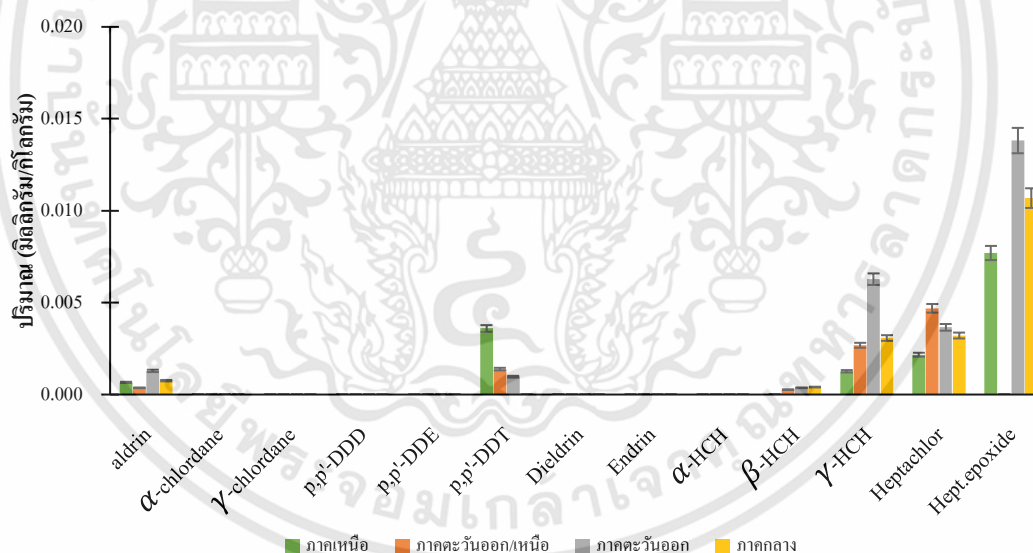


ภาพที่ 4.6 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

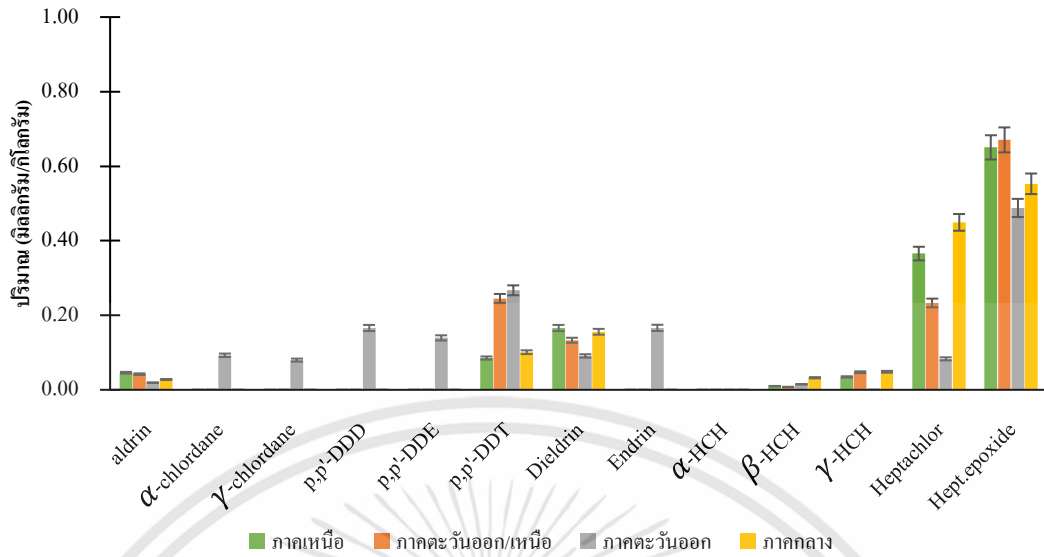
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในอ้อยและค่า MRLs (EU Regulation)

ชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน	ค่าเฉลี่ยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในอ้อย	MRLs (EU Regulation)
Aldrin และ Dieldrin	0.0366	0.01
Chlordane ( $\alpha$ -Chlordane และ $\gamma$ -Chlordane)	0.0003	0.01
DDT (p,p'-DDD, p,p'-DDE และ p,p'-DDT)	0.0299	0.05
Endrin	0.0005	0.01
$\alpha$ -HCH	0.0000	0.01
$\beta$ -HCH	0.0034	0.01
$\gamma$ -HCH	0.0106	0.01
Heptachlor และ Heptachlor Epoxide	0.1914	0.01

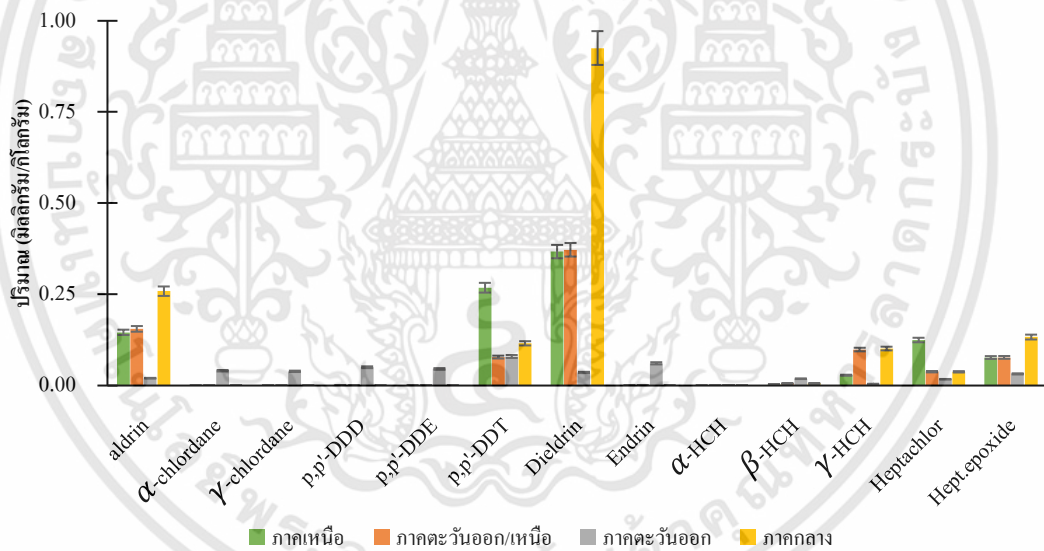


ภาพที่ 4.7 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในน้ำอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

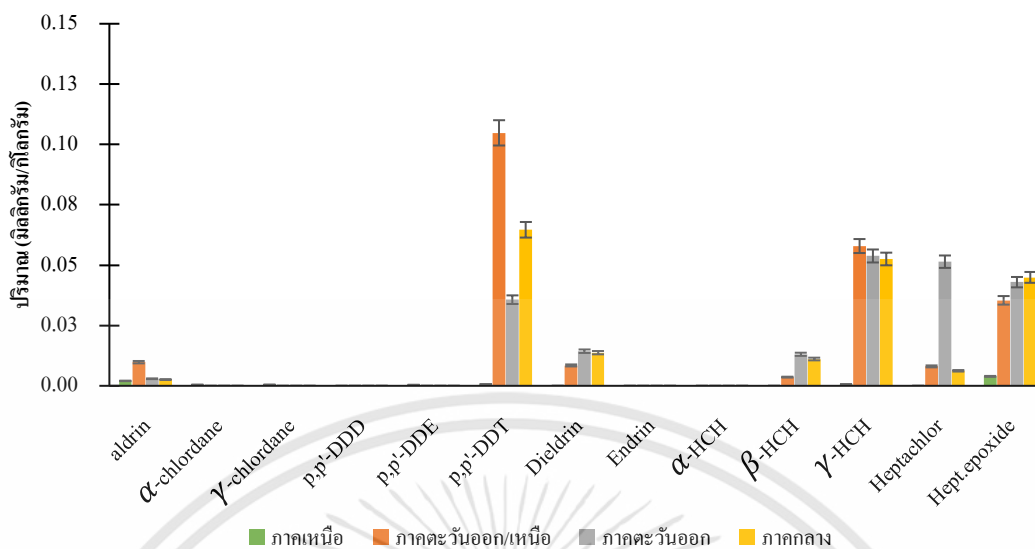


ภาพที่ 4.8 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในภาคอ้อย

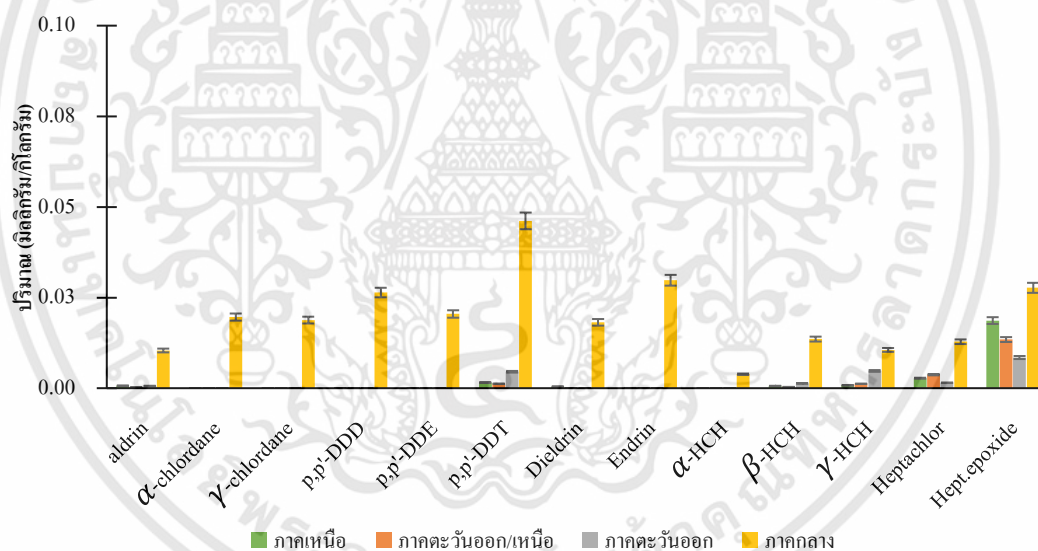


ภาพที่ 4.9 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในน้ำตาลทรายดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในน้ำตลทรายขาว



ภาพที่ 4.11 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในกาน้ำตล

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำตลทรายพบว่ กากอ้อยมีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเฉลี่ยสูงที่สุด (<0.010 – 0.469 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) น้ำอ้อยพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนปริมาณการตกค้างน้อยที่สุด (<0.005 – 0.008 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งจากการพบในกากอ้อยและน้ำอ้อยไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด (ต้องตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อย) จากการตกค้างในน้ำอ้อยทำให้ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตและมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

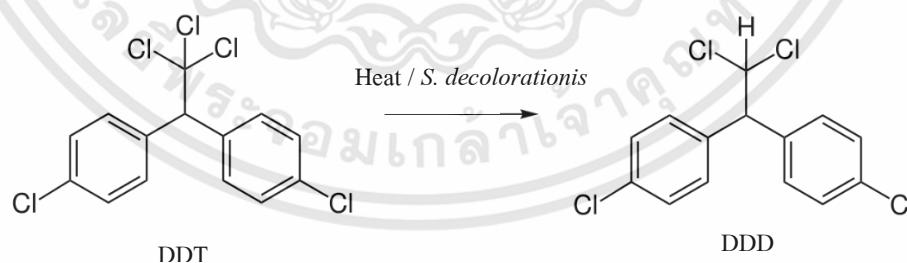
การตกค้างในปริมาณสูงในน้ำตาลทรายดิบ (<0.010 – 0.080 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) หลังจากผ่านกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวแล้ว พบว่า การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลง และตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเชิงปริมาณ ยกเว้น p,p-DDT,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide พบค่าเฉลี่ยการตกค้างในปริมาณสูง (0.010 – 0.050 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ การตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในการศึกษาค้างนี้ จึงเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการทบทวนมาตรการควบคุมการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือของภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้ผลิตขั้นต้น (ชาวไร่/อ้อย) ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง และผู้บริโภคในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันที่ชัดเจนต่อไป

#### 4.5 ผลของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์ตามกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยมีปริมาณเฉลี่ยทั้ง 4 พื้นที่การผลิต ดังตารางที่ 4.8 (ภาคผนวก ฉ) และแสดงสมมูลมวลสารและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ดังภาพที่ 4.14 โดยเมื่ออ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตผ่านขั้นตอนการหีบสกัดได้เป็นน้ำอ้อยและกากอ้อย พบว่า ในน้ำอ้อยตกค้าง Aldrin, p,p-DDT,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ตกค้างเฉลี่ย 0.0008, 0.0015, 0.0003, 0.0033, 0.0034 และ 0.0081 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนกากอ้อยพบ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p-DDD, p,p-DDE, p,p-DDT, dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide เฉลี่ย 0.0291, 0.0012, 0.0001, 0.0021, 0.0018, 0.1110, 0.1148, 0.0021, 0.0127, 0.0326, 0.2620 และ 0.4690 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นน้ำอ้อยที่ได้จะเข้าสู่การระเหยน้ำออกโดยผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 103 94 78 และ 55°C ลดลงตามลำดับ จนได้เป็นน้ำเชื่อมดิบเข้าสู่กระบวนการเคี้ยวที่อุณหภูมิ 50-60 °C ได้เป็นแมสควิท และเข้าสู่หม้อปั่นเพื่อแยกผลึกน้ำตาลได้เป็นน้ำตาลทรายดิบ โดยพบว่า น้ำตาลทรายดิบมีการตกค้าง Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p-DDD, p,p-DDE, p,p-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide เฉลี่ย 0.1450, 0.0102, 0.0098, 0.0126, 0.0114, 0.1354, 0.4252, 0.0152, 0.0004, 0.0084, 0.0582, 0.0544 และ 0.0797 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าน้ำอ้อย เนื่องจากเมื่อน้ำอ้อยผ่านเข้าสู่กระบวนการเป็นน้ำตาลทรายดิบมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จากนั้นในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว จะมีการละลายน้ำตาลทรายดิบเพื่อผ่านกระบวนการกำจัดสีหรือฟอกสีซึ่งโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่ใช้วิธีการฟอกสี

ที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้ activated carbon การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้กรดฟอสฟอริก รวมทั้งมีขั้นตอนการลดสีด้วยเรซิน และขั้นตอนสุดท้ายผ่านการเก็ยน้ำตาลที่อุณหภูมิ 50-60 °C ซึ่งจากการศึกษาพบว่า น้ำตาลทรายขาวมีการตกค้างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในปริมาณที่ลดลง โดยพบ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p-DDE, p,p-DDT, dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide เฉลี่ย 0.0043, 0.0001, 0.0001, 0.0001, 0.0515, 0.0092, 0.0069, 0.0412, 0.0164 และ 0.0318 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และไม่พบ p,p-DDD, Endrin และ  $\alpha$ -HCH เมื่อพิจารณาการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำตาลทรายขาวซึ่งมีปริมาณลดลงจากน้ำตาลทรายดิบ พบว่า Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p-DDD, p,p-DDE, p,p-DDT, dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 97, 99, 99, 100, 99, 62, 98, 100, 100, 18, 29, 70 และ 60 ตามลำดับ โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตามลำดับกระบวนการ ดังนี้

สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิที่เกี่ยวข้อง ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 50°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการระเหย และการเก็ยน้ำ โดย Chiu และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของ p,p' DDT และ Heptachlor ในตะกอนจากแม่น้ำในประเทศไต้หวัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 10 20 30 และ 40°C ที่ระยะเวลา 0 – 16 วัน ภายใต้สภาวะ anaerobic พบว่า p,p' DDT และ Heptachlor ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ โดยคลอรีนในตำแหน่งที่เป็น aliphatic ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนเรียกว่าปฏิกิริยา Dechlorination หรือ Reductive dichlorination ทั้งนี้ DDT เปลี่ยนแปลงเป็น DDD (ภาพที่ 4.12) ขณะที่ heptachlor ปลดปล่อยคลอรีนที่ตำแหน่ง C<sub>1</sub> เปลี่ยนแปลงเป็น chlordane (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.12 ปฏิกิริยาการสลายตัวของ DDT

ที่มา: ดัดแปลงจาก Li และคณะ (2010)



กระบวนการกำจัดดีด้วยฟอกด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดย King และคณะ (1993) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชในข้าวสาลีที่สภาวะ supercritical ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 60°C พบว่า ที่ความดัน 2000 และ 5000 psi ให้ค่าร้อยละการคืนกลับของ Dieldrin เท่ากับ 85 และ 104 ตามลำดับ แสดงว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะ supercritical สามารถสกัด Dieldrin ออกจากตัวอย่างได้ กล่าวคือ สามารถกำจัดหรือลดปริมาณของ Dieldrin ในตัวอย่าง

กระบวนการกำจัดดีโดยใช้ activated carbon มีผลต่อการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน โดย Ninkovic และคณะ (2010) ได้ศึกษาการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำโดยใช้ activated carbon พบว่า  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor epoxide, dieldrin, Endosulfan, p,p-DDD และ p,p-DDT ถูกดูดซับโดย activated carbon column จากปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น  $2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  สามารถถูกดูดซับได้ร้อยละ 99 และสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ถูกดูดซับได้ดีที่สุด ได้แก่ กลุ่ม DDT รองลงมา ได้แก่ Cyclodienes และ HCH ตามลำดับ

สำหรับกระบวนการลดดีโดยการกรองผ่านถังเรซิน Dave และ Patel (2016) ศึกษาการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ด้วยเรซิน ชนิด unsaturated polyester พบว่าสามารถลดปริมาณ จาก 72 มิลลิกรัม เหลือ 3-4 มิลลิกรัม หรือลดลงร้อยละ 96

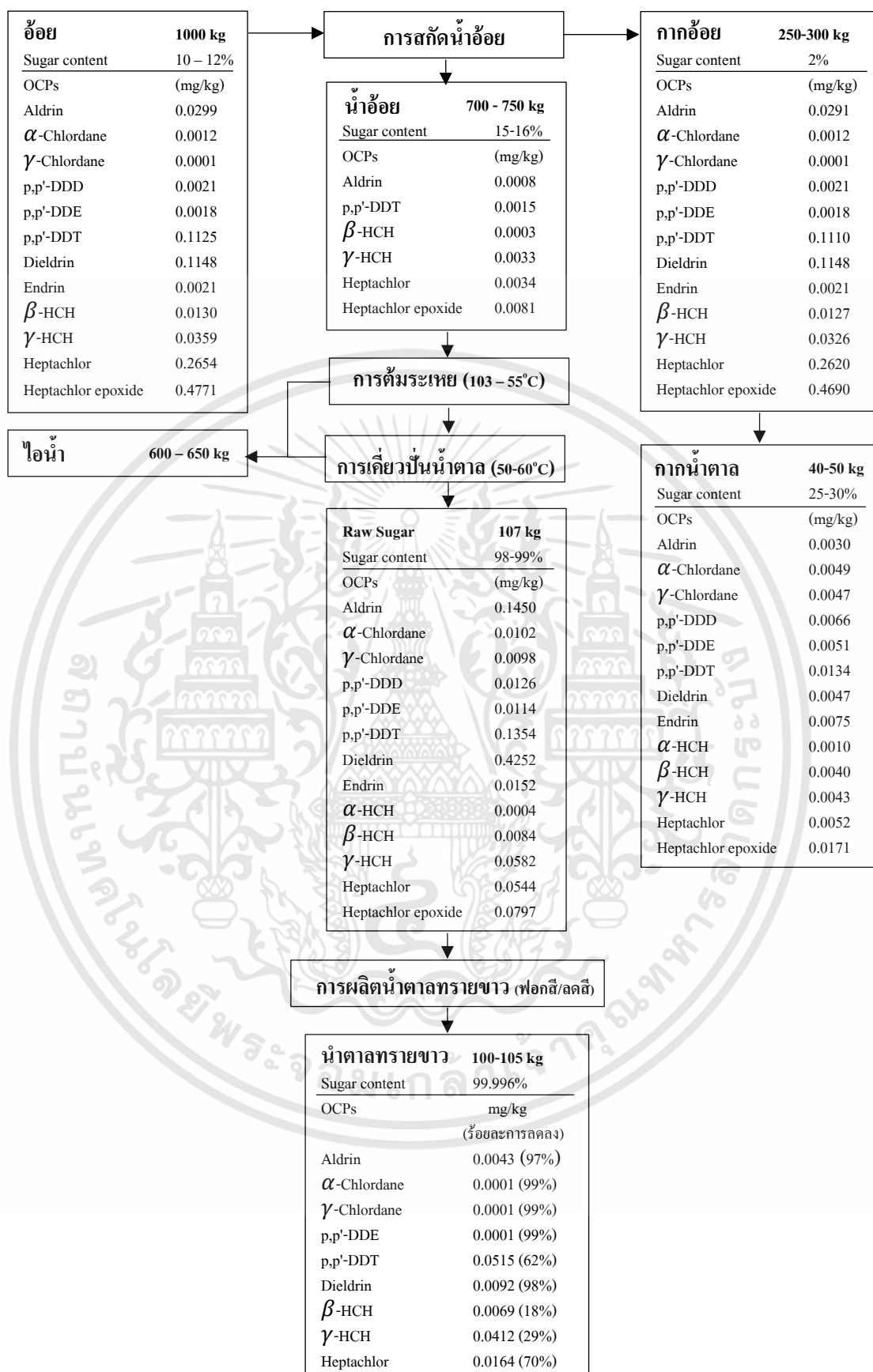
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในอันดับสุดท้าย ได้แก่ กากน้ำตาลซึ่งเป็นของเหลวที่แยกจากผลึกน้ำตาลทรายดิบและผลึกน้ำตาลทรายขาว พบ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p-DDD, p,p-DDE, p,p-DDT, dieldrin, Endrin,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ตกค้างเฉลี่ย 0.0030, 0.0049, 0.0047, 0.0066, 0.0051, 0.0134, 0.0047, 0.0075, 0.0010, 0.0040, 0.0043, 0.0052 และ 0.0171 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยกากน้ำตาลมีระดับการตกค้างสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนต่ำเนื่องจากกากน้ำตาลผ่านกระบวนการความร้อนในระยะเวลามากกว่า กล่าวคือ กากน้ำตาลที่ผลิตออกมามีการนำกลับไปใช้ในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาวทำให้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนและการฟอกสีซ้ำ จึงพบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณต่ำ

จากสภาวะในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ได้แก่ อุณหภูมิ การฟอกสี และการลดดี มีผลทำให้ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลง อย่างไรก็ตามควรวิเคราะห์เพื่อติดตามถึงสาร metabolites ที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากหากเกิดสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ควรมีมาตรการลดการปนเปื้อนตั้งแต่การเพาะปลูก และการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและสาร metabolites ในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

ออร์กาโนคลอรีน	ค่าเฉลี่ยปริมาณการตกค้างในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	น้ำอ้อย	กากอ้อย	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาว	กากน้ำตาล
Aldrin	0.0008 ± 0.0003	0.0291 ± 0.0195	0.1450 ± 0.1999	0.0043 ± 0.0044	0.0030 ± 0.0071
α-Chlordane	ND	0.0012 ± 0.0033	0.0102 ± 0.0287	0.0001 ± 0.0003	0.0049 ± 0.0139
γ-Chlordane	ND	0.0001 ± 0.0028	0.0098 ± 0.0275	0.0001 ± 0.0003	0.0047 ± 0.0133
p,p'-DDD	ND	0.0021 ± 0.0057	0.0126 ± 0.0355	ND	0.0066 ± 0.0187
p,p'-DDE	ND	0.0018 ± 0.0049	0.0114 ± 0.0321	0.0001 ± 0.0003	0.0051 ± 0.0145
p,p'-DDT	0.0015 ± 0.0022	0.1110 ± 0.1339	0.1354 ± 0.1568	0.0515 ± 0.0409	0.0134 ± 0.0305
Dieldrin	ND	0.1148 ± 0.0942	0.4252 ± 0.6616	0.0092 ± 0.0131	0.0047 ± 0.0128
Endrin	ND	0.0021 ± 0.0056	0.0152 ± 0.0431	ND	0.0075 ± 0.0211
α-HCH	ND	ND	0.0004 ± 0.0009	ND	0.0010 ± 0.0028
β-HCH	0.0003 ± 0.0003	0.0127 ± 0.0203	0.0084 ± 0.0126	0.0069 ± 0.0103	0.0040 ± 0.0094
γ-HCH	0.0033 ± 0.0031	0.0326 ± 0.0258	0.0582 ± 0.0781	0.0412 ± 0.0423	0.0043 ± 0.0046
Heptachlor	0.0034 ± 0.0024	0.2620 ± 0.2454	0.0544 ± 0.0850	0.0164 ± 0.0315	0.0052 ± 0.0074
Heptachlor Epoxide	0.0081 ± 0.0071	0.4690 ± 0.3064	0.0797 ± 0.0449	0.0318 ± 0.0390	0.0171 ± 0.0090

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not Detected)



ภาพที่ 4.14 สมมูลมวลและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออร์กาโนคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค่าการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ได้แก่ น้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล โดยการสกัดตัวอย่างด้วยวิธี AOAC 970.52 และวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่เหมาะสม โดยมีค่าร้อยละการคืนกลับของสารออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล อยู่ระหว่างร้อยละ 74-113, ร้อยละ 78-116, ร้อยละ 71-118, ร้อยละ 81-120 และ 85-118 ตามลำดับ ค่า LOD ของ Aldrin อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0093 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\alpha$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0009 - 0.0094 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\gamma$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0029 - 0.0087 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDD อยู่ในช่วง 0.0001 - 0.0217 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDE อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0172 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.0002 - 0.0195 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Dieldrin อยู่ในช่วง 0.0008 - 0.0069 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Endrin อยู่ในช่วง 0.0019 - 0.0135 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\alpha$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0132 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\beta$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0017 - 0.0078 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\gamma$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0006 - 0.0136 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0014 - 0.0125 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Heptachlor epoxide อยู่ในช่วง 0.0011 - 0.0093 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ค่า LOQ ของ Aldrin อยู่ในช่วง 0.0016 - 0.031 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\alpha$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0029 - 0.0312 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\gamma$ -Chlordane อยู่ในช่วง 0.0099 - 0.029 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDD อยู่ในช่วง 0.0003 - 0.0724 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDE อยู่ในช่วง 0.0016 - 0.0172 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, p,p'-DDT อยู่ในช่วง 0.0006 - 0.065 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Dieldrin อยู่ในช่วง 0.0028 - 0.0229 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Endrin อยู่ในช่วง 0.0063 - 0.0451 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\alpha$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0015 - 0.044 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\beta$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0057 - 0.0261 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,  $\gamma$ -HCH อยู่ในช่วง 0.0019 - 0.0453 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Heptachlor อยู่ในช่วง 0.0046 - 0.0417 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, Heptachlor epoxide อยู่ในช่วง 0.0036 - 0.031 มิลลิกรัม/กิโลกรัม %RSD ของการวิเคราะห์การตกค้างของออร์กาโนคลอรีน ทั้ง 13 ชนิดในตัวอย่างน้ำอ้อย กากอ้อย น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และกากน้ำตาล มีค่าอยู่ในช่วง 3.33 - 6.70, 3.50 - 8.82, 2.60 - 6.2, 2.91 - 9.34 และ 2.59 - 6.79 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ในน้ำอ้อย พบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 6 ชนิด ได้แก่ Aldrin, p,p'-DDT, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ในกากอ้อยพบออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 12 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ในน้ำตาลทรายขาวพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้าง 10 ชนิด ได้แก่ Aldrin,  $\alpha$ -Chlordane,  $\gamma$ -Chlordane, p,p'-DDE, p,p'-DDT, Dieldrin,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, Heptachlor และ Heptachlor epoxide ในน้ำตาลทรายดิบและกากน้ำตาลพบออร์กาโนคลอรีนตกค้างทั้ง 13 ชนิด

ผลรวมของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำอ้อยและกากอ้อยได้เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อย พบว่า อ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ 0.1068, 0.1065 และ 0.1056 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณการตกค้างสูงสุดของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในอ้อย เมื่อพิจารณาตามกระบวนการผลิตพบว่า น้ำอ้อยพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจำนวน 6 ชนิด ระหว่าง 0.0003 - 0.0107 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อผ่านกระบวนการได้เป็นน้ำตาลทรายดิบพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเพิ่มขึ้น โดยพบจำนวน ชนิด 13 ในช่วง 0.0013 - 0.9254 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาวพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลง โดยพบจำนวน 10 ชนิด ในช่วง 0.0020- 0.1048 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ ได้แก่ กากอ้อย และกากน้ำตาล มีการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน จำนวน 13 ชนิด โดยปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 0.0078 - 0.6705 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 0.0001 - 0.0461 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่เกษตรกรเคยใช้ในอดีตยังคงตกค้างในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนมาสู่ผลผลิตอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาล และเมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนลดลงหลังจากน้ำตาลทรายดิบผ่านกระบวนการเพื่อผลิตน้ำตาลทรายขาว อย่างไรก็ตามยังพบ การตกค้างซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2560) ต้องไม่พบวัตถุอันตรายประเภทที่ 4 ในอ้อย จึงไม่ควรพบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนซึ่งจัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 4 ในอ้อยและผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืชในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายหรือผู้สนใจสามารถต่อยอดขยายผลจากศึกษานี้ ได้แก่ การติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสาร Metabolites รวมถึงอันตรายและการตกค้างของสารดังกล่าว อีกทั้งควรมี

การศึกษาความเสี่ยงของผู้บริโภคต่อการได้รับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนจากบริโภค น้ำตาลทราย นอกจากนี้ควรศึกษาการตกค้างเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในกลุ่มที่มีการ อนุญาตให้ใช้ในการเกษตร เช่น Paraquat และ Atrazine เป็นต้น

5.2.2 ภาครัฐควรกำหนดมาตรการการควบคุมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนใน ผลิตภัณฑ์น้ำตาลทราย กากอ้อยและกากน้ำตาลที่จำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบหรือส่วนประกอบอาหาร และอาหารสัตว์ให้ชัดเจน เพื่อเป็นแนวทางและมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตขั้นต้นและผู้ประกอบการ

5.2.3 ชาวไร่อ้อยและเกษตรกรผู้เพาะปลูกอ้อยควรควบคุมการใช้สารเคมีให้เป็นไปตามที่ กฎหมายกำหนด และปฏิบัติตามแนวทางของการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืช (Good Agricultural Practice, GAP) เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพและความปลอดภัย

5.2.4 ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย ผู้ผลิตอาหารและอาหารสัตว์ ควรศึกษาการ ตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถลดหรือกำจัด สารกำจัดศัตรูพืชให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย



## บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2556. **หลักเกณฑ์และมาตรฐาน ประกอบการตรวจรับรองสินค้าเกษตรด้านพืช.**

โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, นนทบุรี.

กระทรวงสาธารณสุข. 2560. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง.**

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2560/E/228/8.PDF>.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2538. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย**

พ.ศ. 2538. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2538/E/013/15.PDF>.

ณัฐธิดา เชียงจิ่ง. 2553. **ผลของการใช้กากน้ำตาลและวินัสต่อสมบัติทางเคมีของกระถินหมักเพื่อเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ดรรารัตน์ มณีจันทร์ และประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์. 2558. **ศึกษาผลผลิต น้ำคั้น และขานอ้อยในอ้อย**

**พันธุ์ขอนแก่น 3 และอ้อยลูกผสมอ้อยป่า (*Saccharum spontaneum*).** เกณฑ์เกษตร 43 (1): 662-667.

ชั้นยธร บัวทอง. 2562. **พาราควอท: 1 ใน 3 สารเคมีอันตรายในอุตสาหกรรมการเกษตร.** [ออนไลน์].

เข้าถึงได้จาก : <https://www.bbc.com/thai/thailand-45312985>

ปณัฑ์ สุขสร้อย ปวีณอิศรชต์ เคนจันทน์ และฉัตรชัย เสนขวัญแก้ว. 2559. **ศักยภาพการใช้ขานอ้อย**

**เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.** วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 34 (2): 133-140.

ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และกานดา ใจดี. 2549. **สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินตะกอน**

**บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 11: 26-39.

พนิดา ไชยยันต์บุรณ์. 2558. **การพัฒนาการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างของวัตถุอันตรายทาง**

**การเกษตรให้ถูกต้อง แม่นยำตามมาตรฐานสากล.** กรมวิชาการเกษตร.

พรพิมล กองทิพย์ 2562. **การตกค้างของสารกำจัด ศัตรูพืชในแม่และทารก.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้

จ าก : [http://www.thaipan.org/sites/default/files/conference2559/pesticide\\_conference\\_2559\\_1.8.pdf](http://www.thaipan.org/sites/default/files/conference2559/pesticide_conference_2559_1.8.pdf)

สมบัติ ขอทวีพัฒนา. 2546. **เทคโนโลยีน้ำตาล.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สวทช. 2560. **ไขอ้อย.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://nstdachannel.tv/tag/%E0%B9%84%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2>.

สาคร ศรีมุข. 2556. **ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย (The Impact of**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- the Use of Agricultural Chemicals in Thailand). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://library.senate.go.th/document/Ext6409/6409657\\_0002.PDF](http://library.senate.go.th/document/Ext6409/6409657_0002.PDF)
- สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2555. กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.cms2green.com/lowsugar/Manufacture.php>
- สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/60. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2552. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย มอก.56-2552. กระทรวงอุตสาหกรรม., กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. หลักการชักตัวอย่างสินค้าส่งมอบเพื่อการตรวจสอบด้านสุขอนามัยพืช. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https://www.acfs.go.th/standard/download/PHYTOSANITARY\\_INSPECTION.pdf](https://www.acfs.go.th/standard/download/PHYTOSANITARY_INSPECTION.pdf)
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2557. เอกสารแนบท้ายใบรับรองการขึ้นทะเบียนห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถ ตามข้อกำหนดคุณภาพตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://cssa.acfs.go.th/LabRequestForm.mvc/DownloadDocumentsMemeberForLabInfo?LabID=299&ReqFormID=1591&docTypeID=16>.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 13 (ชลบุรี). 2555. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี พ.ศ. 2555. สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 13,ชลบุรี.
- สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2551. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/INDEX.HTM](http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/INDEX.HTM)
- Abou-Arab, K. 1999. **Behavior of pesticides in tomatoes during commercial and home preparation.** Food Chemistry 65: 509–514.
- Akoto, O., H. Andoh, G. Darko, K. Eshun, and P. Osei-Fosu. 2013. **Health risk assessment of pesticides residue in maize and cowpea from Ejura, Ghana.** Chemosphere 92: 67–73.
- Anastassiades, M., S.J. Lehotay, D. Stajnbaher, and F.J. Schenck. 2003. **Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce.** J. AOAC Int 86: 412-431.
- AOAC. 1996. **AOAC Official Method 970.52 Organochlorine and organophosphorus pesticide residues.** Official Methods of Analysis of AOAC International, Arlington, VA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC. 2002. **Guidelines for Single Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals**. [Online]. Available: [http://www.aoac.org/aoac\\_prod\\_imis/AOAC\\_Docs/StandardsDevelopment/SLV\\_Guidelines\\_Dietary\\_Supplements.pdf](http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC_Docs/StandardsDevelopment/SLV_Guidelines_Dietary_Supplements.pdf)
- AOAC. 2016. **AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate Gas Chromatography /Mass Spectrometry and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry**. [online]. Available: <http://www.thenfl.com/pdf/AOAC%202007.1.pdf>.
- Chiu, T.C., J.H. Yen, T.L. Liu, and Y.S. Wang, 2004. **Anaerobic Degradation of the Organochlorine Pesticides DDT and Heptachlor in River Sediment of Taiwan**. Environ. Contam. Toxicol. 72: 821–828.
- Dave, P., and S.V. Patel. 2016. **Adsorption studies for removal of organochlorine pesticides using modified unsaturated polyester resin**. Advances in Applied Science Research 7(4): 185-189.
- Davis, A.M., S.E. Lewis, Z.T. Bainbridge, L. Glendenning, R.D.R. Turner, and J.E. Brodie. 2012. **Dynamics of herbicide transport and partitioning under event flow conditions in the lower Burdekin region, Australia**. Marine Pollution Bulletin 65: 182–193.
- EU Regulation. 2019. **MRLs for product Sugar canes**. [online]. Available: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=product.resultat&language=EN&selectedID=309>.
- Finguerut, J. 2005. **Simultaneous production of sugar and alcohol from sugarcane**, p. 315-319. In Proceedings of the XXV International Society of Sugarcane Technologists – ISSCT. 30 Jan – 4 Feb 2005. Congress, Guatemala City, Guatemala.
- Gryglewicz, S., and W. Piechocki. 2010. **Conversion Pathways of DDT and Its Derivatives during Catalytic Hydrodechlorination**. Polish Journal of Environment Study 19: 715-721.
- Hickenbottom, J. 1996. **Use of molasses in bakery products**. American Institute of Baking Technical Bulletin 18: 1-6.
- Khan, S.U. 1975. **Determination of Paraquat Residues in Food Crops by Gas Chromatography**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 14: 745–749.

- King, W.J., M.L. Hopper, R.G. Luchtefeld, S.L. Taylor, and W.L. Orton. 1993. **Optimization of Experimental Conditions for the Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Pesticide Residues from Grains.** *Journal of AOAC international* 76 (4): 857-864.
- Ksiqzczak, A., K. Drozdewska, and H. Boniuk. 2001. **Thermal decomposition of triazine herbicides.** *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 65: 473-479.
- Langlois, B. E., B. J. Liska, and D. L. Hill. 1965. **Determination of Organic Compounds in Soils, Sediments and Sludges.** *Journal of Milk and Food Technology* 28: 1-9.
- Lankondjoa, K., M. Gbenonchi, and S. Komla. 2016. **Assessment of Organochlorine Pesticide Residues in Vegetable Samples from Some Agricultural Areas in Togo.** *American Journal of Analytical Chemistry* 7: 332-341.
- Lehotay, S. J., and K. I. Eller. 1995. **Development of a method of analysis for 46 pesticides in fruits and vegetables by supercritical fluid extraction and gas chromatography/ion trap mass spectrometry.** *Journal of AOAC International* 78: 3821-3830.
- Li, F.B., X.M. Li, S.G. Zhou, L. Zhuang, F. Cao, D.Y. Huang, W. Xu, T.X. Liu, and C.H. Feng. 2010. **Enhanced reductive dechlorination of DDT in an anaerobic system of dissimilatory iron-reducing bacteria and iron oxide.** *Environmental Pollution* 158: 1733-1740.
- Liska, J. B. 1968. **Effect of Processing on Pesticide Residues in Milk.** *J. Animal Science* 27(3): 827-830.
- Mace, G. B., A. J. Zebunisso, K. A. Mukhamadcho, A. K. Hakbagul, K. K. Karim, and J. N. Jamshedov et al. 2017. **Residues of organochlorine pesticides in surface soil and raw foods from rural areas of the Republic of Tajikistan.** *Environmental Pollution* 224: 494-502.
- Manvirri, R., S. Uma, and V. Jassal. 2017. **Recent strategies for removal and degradation of persistent & toxic organochlorine pesticides using nanoparticles.** *Journal of Environmental Management* 190: 208-222.
- Mccaskey, T.A., and B.J. Liska, 1991. **Methods of Removal of Pesticide Residues.** *Dairy Science* 50: 154-160.
- Medeiros, A.B.P., M.E. de Matos, A. de Pinho Monteiro, J.C. de Carvalho, and C.R. Soccol. 2017. **Cachaca and Rum.** p. 451 - 468. *In* Ashok Pandey (ed.). *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Food and Beverages Industry.* Elsevier.

- Mee, M.L.J., C.C. Brooks, and R.W. Stanley. 1978. **Amino Acid and Fatty Acid Composition of Cane Molasses**. *J. Sci. Food Agric* 30: 429-432.
- Mondal, R., R.K. Kole, and A. Bhattacha-Ryya. 2017. **Validation of Multiresidue Method for Analysis of 31 Pesticides in Rice Using Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry**. *Journal of AOAC International* 100 (4): 1094-1101.
- Moon, HB., HS. Kim, M. Choi, J. Yu, and HG. Choi. 2009. **Human health risk of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides resulting from seafood consumption in South Korea, 2005–2007**. *Food and Chemical Toxicology* 47: 1819–1825.
- Muntjeer, A., A.A. Kazmi, and N. Ahmed. 2014. **Study on effects of temperature, moisture and pH in degradation and degradation kinetics of aldrin, endosulfan, lindane pesticides during full-scale continuous rotary drum composting**. *Chemosphere* 102: 68–75.
- Ninkovic, B.M., R.D. Petrovic, and M.D. Lausevic. 2010. **Removal of organochlorine pesticides from water using virgin and regenerated granular activated carbon**. *J. Serb. Chem. Soc* 75 (4): 565–573.
- Onsager, J.A., H.W. Rusk, and L.I. Butler. 1970. **Residues of Aldrin, Dieldrin, Chlordane, and DDT in Soil and Sugarbeets**. *Journal of Economic Entomology* 63 (4): 1143–1146.
- Ozcan, C. 2016. **Determination of Organochlorine Pesticides in Some Vegetable Samples Using GC-MS**. *J. Environ. Stud.* 25 (3): 1141-1147.
- Poolpak, T., P. Pokethitiyook, M. Kruatrachue, U. Arjarasrikoon, and N. Thanwaniwat. 2008. **Residue analysis of organochlorine pesticide in the Mae Klong river of Central Thailand**. *Journal of Hazards Material.* 156(1-3): 230-239.
- Prado, R., Z. Furlani, K.M. Marcilio, F.M. Leme, and S.A. Verdiani. 2011. **Analysis of pesticide residues in sugarcane juice using QuEChERS sample preparation and gas chromatography with electron capture detection**. *Food Chemistry* 126: 1283–1287.
- PubChem. 2019. **Explore Chemistry**. [online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>.
- Scheunert, I., J. Kohli, R. Kaul, and W. Klein. 1977. **Fate of 14C-Aldrin in Crop Rotation under Outdoor Conditions**. *Ecotox. Environ. Safety* 1: 365-385.
- Skrbic, B., and Z. Predojevic. 2008. **Levels of Organochlorine Pesticides in Crops and Related Products From Vojvodina, Serbia: Estimated Dietary Intake**. *Architech Environ Contamination Toxicol* 54: 628-636.

- Skretteberg, L.G., B. Lyran, B. Holen, A. Jansson, P. Fohgelberg, K. Siivinen, et al. 2014. **Pesticide residues in food of plant origin from Southeast Asia: A Nordic project.** Food Control 51: 225-235.
- Stemp, A.R., and B.J. Liska. 1966. **Food processing a tool to pesticide residue dissipation – A review.** Dairy Science 49: 26-40.
- Thapinta, A., and P.F. Hudak. 2003. **Pesticide Use and Residual Occurrence In Thailand.** Environmental Monitoring and Assessment 60: 103–114, 2000.
- Toteja, G.S. , A. Mukherjee. S. Diwakar, P. Singh, and B.N. Saxena. 2003. **Residues of DDT and HCH pesticides in rice samples from different geographical regions of India: a multicentre study.** Food Additive and Contamination 20: 933-939.
- UNEP. 2010. **The 9 new POPs.** [online]. Available: <http://www.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Guidance/tabid/345/ctl/Download/mid/2526>
- UNEP. 2010. **Startup Guidance for the new POPs (general information, Implications of listing, information source and alternatives).** [online]. Available: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-NPOPS-GUID-StartupGuidance9POPs.En.pdf>
- Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). 2010. **Startup Guidance for the new POPs (general information, Implications of listing, information source and alternatives).** UNPE, Geneva.
- USDA. 2018. **Sugar: World Markets and Trade.** [online]. Available: <https://apps.fas.usda.gov/psonline/circulars/sugar.pdf>.
- Uygun, U., H. Koksel, and A. Atli. 2005. **Residue levels of malathion and its metabolites and fenitrothion in post-harvest treated wheat during storage, milling and baking.** Food Chemistry 92: 643–647.
- Vazquez-Quintal, E.P., D. Munoz-Rodriguez, S. Medina-Peralta, and Y.B. Moguel-Ordonez. 2012. **Extraction of Organochlorine Pesticides from Bee Pollen by Matrix Solid-Phase Dispersion: Recovery Evaluation by GC–MS and Method Validation.** Chromatographia 75: 923–930.
- Wanwimolruk, S., O. Kanchanamayoon, K. Phopin, and V. Prachayasittikul. 2015. **Food safety in Thailand 2: Pesticide residues found in Chinese kale (Brassica oleracea), a commonly consumed vegetable in Asian countries.** Science of the Total Environment 532: 447–455.

- Yang, X., X. Jiang, G. Yu, F. Yao, Y. Bian, and F. Wang. 2007. **Leaf-air transfer of organochlorine pesticides from three selected vegetables.** Environmental Pollution 148: 555-561.
- Zhang, Q., Z. Xia, M. Wu, L. Wang, and H. Yang. 2017. **Human health risk assessment of DDTs and HCHs through dietary exposure in Nanjing, China.** Chemosphere 177: 211-216.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่า CCS ของอ้อยที่เก็บตัวอย่างเดือน ธันวาคม 2560 – มกราคม 2561

พื้นที่การผลิต	จังหวัด	Commercial Cane Sugar (CCS)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	Mean±SD
กลาง (สอก.1)	สุพรรณบุรี	10.85	10.75	10.80 ± 0.07
	ราชบุรี	10.98	10.75	10.91 ± 0.11
เหนือ (สอก.2)	กำแพงเพชร	10.84	10.75	10.80 ± 0.06
	นครสวรรค์	11.40	11.28	11.34 ± 0.08
ตะวันออก (สอก.3)	สระแก้ว	11.51	11.34	11.43 ± 0.12
	ชลบุรี	11.14	11.04	11.09 ± 0.07
ตะวันออกเฉียงเหนือ (สอก.4)	นครราชสีมา	11.73	11.65	11.69 ± 0.06
	ขอนแก่น	12.74	12.67	12.71 ± 0.05

ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่า CCS ของอ้อยที่เก็บตัวอย่างเดือน มีนาคม – เมษายน 2561

พื้นที่การผลิต	จังหวัด	Commercial Cane Sugar (CCS)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	Mean±SD
กลาง (สอก.1)	สุพรรณบุรี	11.40	11.43	11.42 ± 0.02
	ราชบุรี	11.89	11.90	11.90 ± 0.01
เหนือ (สอก.2)	กำแพงเพชร	11.48	11.48	11.48 ± 0.00
	นครสวรรค์	12.02	12.02	12.02 ± 0.00
ตะวันออก (สอก.3)	สระแก้ว	12.51	12.50	12.51 ± 0.01
	ชลบุรี	11.69	11.69	11.69 ± 0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ (สอก.4)	นครราชสีมา	12.50	12.50	12.50 ± 0.00
	ขอนแก่น	13.18	13.17	13.18 ± 0.01

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าโพลาริเซชันของน้ำอ้อย

พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาริเซชัน (°Z)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Mean±SD
เหนือ	14.30	16.97	15.635 ± 1.888
ตะวันออกเฉียงเหนือ	14.51	17.25	15.880 ± 1.931
ตะวันออก	14.85	17.25	16.050 ± 1.697
กลาง	15.03	17.08	16.055 ± 1.450

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าโพลาริเซชันของกากอ้อย

พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาริเซชัน (°Z)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Mean±SD
เหนือ	1.818	2.058	1.938 ± 0.170
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2.510	2.737	2.624 ± 0.161
ตะวันออก	1.912	2.524	2.218 ± 0.433
กลาง	2.325	2.522	2.424 ± 0.139

ตารางภาคผนวกที่ 5 ค่าโพลาริเซชันของน้ำตาลทรายดิบ

พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาริเซชัน (°Z)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Mean±SD
เหนือ	99.129	99.173	99.151 ± 0.031
ตะวันออกเฉียงเหนือ	98.892	98.520	98.706 ± 0.263
ตะวันออก	99.298	99.315	99.307 ± 0.012
กลาง	98.790	99.236	99.013 ± 0.315

ตารางภาคผนวกที่ 6 ค่าโพลาริเซชันของน้ำตาลทรายขาว

พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาริเซชัน (°Z)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Mean±SD
เหนือ	99.95	99.955	99.953 ± 0.004
ตะวันออกเฉียงเหนือ	99.96	99.956	99.958 ± 0.003
ตะวันออก	99.959	99.959	99.959 ± 0.000
กลาง	99.963	99.953	99.958 ± 0.007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 ค่าโพลาไรเซชันของกากน้ำตาล

พื้นที่การผลิต	ค่าโพลาไรเซชัน (°Z)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Mean ± SD
เหนือ	28.878	29.068	28.973 ± 0.134
ตะวันออกเฉียงเหนือ	26.999	28.865	27.932 ± 1.319
ตะวันออก	27.02	30.97	28.995 ± 2.793
กลาง	25.445	27.345	26.395 ± 1.344



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานผลิตน้ำตาลตัวอย่างและคุณภาพตาม  
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาล (มอก. 56-2552)

ตารางภาคผนวกที่ 8 มาตรฐานค่าโพลาไรเซชันสำหรับควบคุมระบบการผลิตน้ำตาลทรายของ  
โรงงานน้ำตาลตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ค่าโพลาไรเซชัน (°Z)
น้ำอ้อย	15 - 18
กากอ้อย	น้อยกว่า 1.5
น้ำตาลทรายดิบ	มากกว่า 97.5
น้ำตาลทรายขาว	มากกว่า 99.5
กากน้ำตาล	น้อยกว่า 30

ที่มา: สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2546)

ตารางภาคผนวกที่ 9 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
น้ำตาลทราย

องค์ประกอบ/คุณภาพ	น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาว บริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ
โพลาไรเซชัน (°Z) ไม่น้อยกว่า	99.5	99.8	88.0
น้ำตาลรีดิวิซิง (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	4.0
เถ้าคอนคักทิวติ (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	N/A
ความชื้น (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.1	0.04	4.5
สี (ICUMSA) ไม่เกิน	200	45	N/A
สิ่งที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน	0.02	0.02	3.5
สารหนู (Arsenic) (มก./กก.) ไม่เกิน	1	1	N/A
ตะกั่ว (Lead) (มก./กก.) ไม่เกิน	1	1	N/A

หมายเหตุ N/A หมายถึง ไม่เกี่ยวข้อง (Not applicable)

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2552)

ภาคผนวก ค

ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่าง วิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่าง วิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

ตัวอย่าง	น้ำอ้อย				กากอ้อย				น้ำตาลทรายดิบ			
	AOAC 970.52		QuEChERS		AOAC 970.53		QuEChERS		AOAC 970.54		QuEChERS	
OCPs	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Aldrin	0.1362	0.0004	0.1200	0.0127	1.9454	0.0049	1.9150	0.0042	0.0153	0.0012	0.0102	0.0010
a-Chlordane	-	-	-	-	1.6010	0.0004	1.3870	0.0022	-	-	-	-
g-Chlordane	-	-	-	-	1.6331	0.0036	1.5936	0.0006	-	-	-	-
p,p'-DDD	-	-	-	-	1.1941	0.0045	1.1579	0.0004	-	-	-	-
p,p'-DDE	-	-	-	-	1.9025	0.0022	1.3224	0.0021	-	-	-	-
p,p'-DDT	0.2771	0.0002	0.2126	0.0017	2.9305	0.0007	2.6666	0.0032	0.0054	0.0006	-	-
Dieldrin	-	-	-	-	1.1912	0.0004	0.9072	0.0019	0.0389	0.0001	0.0211	0.0006
Endrin	-	-	-	-	1.9648	0.0019	1.6628	0.0018	-	-	-	-
a-HCH	-	-	-	-	0.5731	0.0023	-	0.0000	-	-	-	-
b-HCH	0.0743	0.0015	0.0528	0.0003	0.0712	0.0014	0.0739	0.0001	0.0018	0.0004	-	-
g-HCH	0.2233	0.0035	0.2031	0.0015	0.4596	0.0013	-	0.0000	0.0059	0.0024	-	-
Heptachlor	0.4752	0.0064	0.4722	0.0018	1.8854	0.0033	1.6821	0.0017	0.0320	0.0099	0.0125	0.0009
Hept.-epoxide	-	-	-	-	1.1357	0.0018	0.9750	0.0011	0.0140	0.0008	0.0111	0.0011

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเปรียบเทียบวิธีการสกัด

ระหว่าง วิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำอ้อย				กากอ้อย			
	AOAC 970.52		QuEChERS		AOAC 970.53		QuEChERS	
OCPs	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Aldrin	0.0101	0.0003	0.0135	0.0006	0.0480	0.0017	-	-
a-Chlordane	-	-	-	-	-	-	-	-
g-Chlordane	-	-	-	-	-	-	-	-
p,p'-DDD	-	-	-	-	-	-	-	-
p,p'-DDE	-	-	-	-	-	-	-	-
p,p'-DDT	0.0105	0.0002	0.0099	0.0006	0.2155	0.0013	0.1461	0.0032
Dieldrin	0.0172	0.0005	-	-	-	-	-	-
Endrin	-	-	-	-	-	-	-	-
a-HCH	-	-	-	-	-	-	-	-
b-HCH	0.0039	0.0004	-	-	0.1285	0.0035	0.0673	0.0030
g-HCH	0.0112	0.0016	0.0092	0.0009	0.1556	0.0023	0.1828	0.0008
Heptachlor	0.0017	0.0002	-	-	0.5747	0.0025	0.5812	0.0059
Hept.-epoxide	0.1169	0.0036	0.1038	0.0004	0.1046	0.0025	0.0795	0.0219

## ภาคผนวก ง

## การเปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่างวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

ตารางภาคผนวกที่ 11 เปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่างวิธี AOAC 970.52 และวิธี QuEChERS

รายการ	AOAC 970.52	QuEChERS	วิธีที่เหมาะสม
1. ปริมาณการตรวจพบในตัวอย่าง	มากกว่า	น้อยกว่า	AOAC 970.52
2. ความแปรปรวนของวิธีการ	น้อยกว่า	มากกว่า	AOAC 970.52
3. สัญญาณรบกวน	น้อยกว่า	มากกว่า	AOAC 970.52
4. เวลาที่ใช้ในการสกัด	26 นาที 40 วินาที	35 นาที	AOAC 970.52
5. ต้นทุนสารเคมี	1,309.05 บาท	98.21 บาท	QuEChERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ร้อยละการคืนกลับของสารออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

ตารางภาคผนวกที่ 12 ร้อยละการคืนกลับของสารออร์กาโนคลอรีนในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาล

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น	ร้อยละการคืนกลับ												
		aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
น้ำอ้อย	0.01	94a	91a	93a	93a	97a	77a	74a	97a	101a	108a	102a	81a	113a
	0.1	89a	104ab	111ab	95ab	95a	96a	86a	108ab	105a	90a	95a	94a	94a
	1	89a	95b	101b	95b	95a	96a	86a	109b	105a	90a	95a	94a	94a
	(Mean $\pm$ SD)	91 $\pm$ 2.9	97 $\pm$ 6.7	102 $\pm$ 9.0	94 $\pm$ 1.2	96 $\pm$ 1.2	90 $\pm$ 11.0	82 $\pm$ 6.9	104 $\pm$ 6.4	104 $\pm$ 2.3	96 $\pm$ 10.4	97 $\pm$ 4.1	90 $\pm$ 7.5	100 $\pm$ 11.0
กากอ้อย	0.01	97a	78a	80a	80a	93a	98a	92a	99a	83a	90a	92a	103a	95a
	0.1	86a	96ab	96ab	102ab	97a	96a	89a	102ab	82a	101a	86a	96a	93a
	1	86a	96b	96b	116b	98a	96a	89a	115b	82a	101a	87a	92a	93a
	(Mean $\pm$ SD)	90 $\pm$ 6.4	90 $\pm$ 10.4	91 $\pm$ 9.2	99 $\pm$ 18.2	96 $\pm$ 2.7	97 $\pm$ 1.2	90 $\pm$ 1.7	105 $\pm$ 8.5	82 $\pm$ 0.6	97 $\pm$ 6.4	88 $\pm$ 3.2	97 $\pm$ 5.6	94 $\pm$ 1.2
น้ำตาลทรายดิบ	0.01	93a	82a	85a	85a	76a	107a	90a	109a	119a	99a	97a	71a	98a
	0.1	100a	102ab	111ab	101ab	110a	114a	112a	117b	115a	102a	119a	118a	117a
	1	100a	109b	117b	95b	113a	96a	108a	108ab	105a	90a	95a	106a	106a
	(Mean $\pm$ SD)	98 $\pm$ 4.0	98 $\pm$ 14.0	104 $\pm$ 17.0	94 $\pm$ 8.03	100 $\pm$ 20.6	106 $\pm$ 9.1	103 $\pm$ 11.7	111 $\pm$ 4.9	113 $\pm$ 7.2	97 $\pm$ 6.2	104 $\pm$ 13.3	98 $\pm$ 24.4	107 $\pm$ 9.6
น้ำตาลทรายขาว	0.01	86a	83a	86a	81a	87a	109a	83a	104a	102a	89a	104a	84a	100a
	0.1	92a	90ab	91ab	107ab	95a	100a	98a	105ab	107a	88a	86a	94a	104a
	1	89a	120b	126b	95b	115a	96a	86a	108b	105a	90a	95a	108a	94a
	(Mean $\pm$ SD)	89 $\pm$ 3.0	98 $\pm$ 19.7	101 $\pm$ 21.8	94 $\pm$ 13.0	99 $\pm$ 14.4	102 $\pm$ 6.7	89 $\pm$ 7.9	106 $\pm$ 2.1	105 $\pm$ 2.5	89 $\pm$ 1.0	95 $\pm$ 9.0	95 $\pm$ 12.1	99 $\pm$ 5.0
กากน้ำตาล	0.01	91a	98a	85a	102a	114a	118a	109a	95a	105a	128a	126a	95a	127a
	0.1	96a	94ab	98ab	115ab	116a	112a	93a	96ab	96a	93a	108a	91a	98a
	1	125a	95b	101b	95b	95a	96a	86a	108b	105a	90a	95a	105a	101a
	(Mean $\pm$ SD)	104 $\pm$ 18.4	96 $\pm$ 2.1	95 $\pm$ 8.5	104 $\pm$ 10.2	108 $\pm$ 11.6	109 $\pm$ 11.4	96 $\pm$ 11.8	100 $\pm$ 7.2	102 $\pm$ 5.2	104 $\pm$ 21.1	110 $\pm$ 15.6	97 $\pm$ 7.2	109 $\pm$ 15.9

## ภาคผนวก จ

## การศึกษาการตกค้างของ Atrazine และ Paraquat ในประเทศไทย

## ตารางภาคผนวกที่ 13 การตกค้างของ Atrazine และ Paraquat ในประเทศไทย

พื้นที่ทำการศึกษา	ผลการศึกษา	อ้างอิง
จ.น่าน	- น้ำประปามี Atrazine ปนเปื้อนเฉลี่ย 12.29 ไมโครกรัม/กรัม - น้ำดื่มบรรจุขวดมี Atrazine ปนเปื้อนเฉลี่ย 18.78 ไมโครกรัม/ลิตร (ประเทศออสเตรเลียและประเทศแคนาดา กำหนดไม่เกิน 0.5 และ 5 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ) - ปลาซึ่งเลี้ยงในกระชังในแม่น้ำน่าน พบ Paraquat และ Glyphosate เกินมาตรฐานทุกตัวอย่าง (19/19) และพบสารเคมีกำจัดแมลง Chlorpyrifos (15/19) โดย Glyphosate มีการพบการปนเปื้อนสูง 1,047.48 – 9,613.34 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ซึ่งค่ามาตรฐาน Glyphosate ต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2560)
จ.หนองบัวลำภู	ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมทั้ง ดิน ตะกอนดิน ลำน้ำ และอ่างเก็บน้ำ มีการตกค้างของพาราควอตในทุกตัวอย่าง และอยู่ในระดับความเข้มข้นที่สูง (เก็บตัวอย่าง ธ.ค. 2560) คาดว่าทั้งจังหวัด จะมีการใช้สารมากกว่า 8 แสนลิตรต่อปี เกษตรกรนิยมใช้พาราควอตอย่างเข้มข้นมากกว่าที่ฉลากระบุถึง 4 เท่า โดยผสมสารพาราควอต 400 มิลลิลิตรกับน้ำ 20 ลิตร	พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล (2560)
จ.น่าน	ผลการตรวจการคัดกรองพบสารฆ่าวัชพืชตกค้างอยู่ในนาข้าว ดินตะกอนและน้ำของแหล่งน้ำใกล้พื้นที่เกษตร พบการปนเปื้อนของพาราควอตในกบหนอง ปูนา หอยกาบน้ำจืด และปลากระมัง ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับสูงสุดที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ จำกัดให้มีในอาหาร ซึ่งจำกัดให้มีพาราควอตในเนื้อสัตว์ไม่เกิน 5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม แต่พบในปูนา 24-56 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	นพดล กิตนะ (2560)
จ.อำนาจเจริญ นครสวรรค์ และ กาญจนบุรี	เก็บตัวอย่างจากหญิงตั้งครรภ์ 113 คน ระหว่างปี 2554-2555 พบพาราควอต และไกลโฟเซต สามารถผ่านจากมารดา เข้าสู่ตัวอ่อนในทารกในครรภ์พบการตกค้างของพาราควอตในซีรัมทารกแรกเกิดและมารดาร้อยละ 17-20 ไกลโฟเซต ร้อยละ 49-54 ตรวจพบพาราควอตในซีเอนเด็กทารกแรกเกิด สูงถึง 54.7% จากมารดาที่วิจัย 53 คน	พรพิมล กองทิพย์ (2555)

ที่มา: Thai-PAN (2016) และ BBC (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**  
**การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในประเทศไทย**

**ตารางภาคผนวกที่ 14 การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและน้ำ**

ตัวอย่าง	พื้นที่	ออร์กาโนคลอรีนและปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดที่พบ	ปีที่สำรวจ	อ้างอิง	
น้ำ	ลุ่มน้ำแม่กลอง	$\alpha$ -HCH	0.087 ppb	2532-2533	ประวัติ อดุล สุทธานนท์ (2537)
		$\beta$ -HCH	0.235 ppb		
		Dieldrin	0.062 ppb		
		DDT	0.385 ppb		
ดิน	ลุ่มน้ำแม่กลอง	DDT	37.851 ppb	2532-2533	ประวัติ อดุล สุทธานนท์ (2537)
		Dieldrin	0.963 ppb		
ดิน	ดินตะกอนลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำจันทบุรีระยอง และชลบุรี	Dieldrin	0.005 ppm	2534	อมรพรรณ อาศรัยผล (2534)
		DDT	0.001 ppm		
		$\alpha$ -HCH	0.006 ppm		
ดิน	สวนผักและผลไม้ อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี	$\alpha$ -HCH	0.55 ppb	2536	ซัชพล ทรงสุนทรวงศ์ (2539)
		$\beta$ -HCH	9.74 ppb		
		Heptachlor	3.26 ppb		
		Heptachlor Epoxide	1.23 ppb		
		Dieldrin	436.25 ppb		
		Aldrin	1.06 ppb		
		Endrin	16.57 ppb		
		p,p'-DDT	107.06 ppb		
		p,p'-DDE	160.75 ppb		
น้ำ	สวนผักและผลไม้ อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี	$\alpha$ -HCH	0.09 ppb	2536	ซัชพล ทรงสุนทรวงศ์ (2539)
		$\beta$ -HCH	0.58 ppb		
		Heptachlor	0.16 ppb		
		Heptachlor Epoxide	0.04 ppb		
		Dieldrin	2.21 ppb		
		Aldrin	0.13 ppb		
		Endrin	0.26 ppb		
		p,p'-DDT	0.25 ppb		
		p,p'-DDE	0.29 ppb		
ดิน	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Heptachlor	0.297 ng/g	2540	Thapinta and Hudak (2003)
		Heptachlor Epoxide	11.910 ng/g		
		DDT	3.349 ng/g		
น้ำ	ลุ่มแม่น้ำแม่กลอง	HCH	6,920 ng/g	2546	Poolpak และคณะ (2008)
		Heptachlor	1,920 ng/g		
		Heptachlor Epoxide	204,410 ng/g		
		DDT	1,830 ng/g		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 14 การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและน้ำ (ต่อ)

ตัวอย่าง	พื้นที่	ออร์กาโนคลอรีนและปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดที่พบ	ปีที่สำรวจ	อ้างอิง	
ชายฝั่งทะเล	ภาคตะวันออก	Chlordane	70 ng/g	2547	ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และกานดา ใจดี (2549)
		Endrin	33 ng/g		
		Dieldrin	140 ng/g		
		Aldrin	140 ng/g		
		HCH	1,538 ng/g		
		Heptachlor	547 ng/g		
		Heptachlor Epoxide	47 ng/g		
		DDT	26 ng/g		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข  
MRLs ของสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในอ้อยตามข้อกำหนด EU

สืบค้นได้ที่: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=product.resultat&language=EN&selectedID=309>

19/7/2562 EU Pesticides database - European Commission

Help and tips Disclaimer Cookies Legal notice Contact Search

**PLANTS**  
EU Pesticides database

European Commission Food Safety Plants Pesticides Pesticides Database

0900020 : Sugar canes

Export to Excel

Search:

Showing 1 to 50 of 487 entries  records per page

...

Pesticide Residue	Maximum residue level (mg/kg)
<b>1</b>	
1,1-dichloro-2,2-bis(4-ethylphenyl)ethane (F)	0.01
1,2-dibromoethane (ethylene dibromide) (F)	0.01*
1,2-dichloroethane (ethylene dichloride) (F)	0.01*
1,3-Dichloropropene	0.01*
1-methylcyclopropene	0.01*
1-Naphthylacetamide and 1-naphthylacetic acid (sum of 1-naphthylacetamide and 1-naphthylacetic acid and its salts, expressed as 1-naphthylacetic acid)	0.06*
<b>2</b>	
2,4,5-T (sum of 2,4,5-T, its salts and esters, expressed as 2,4,5-T) (F)	0.01*
2,4-DB (sum of 2,4-DB, its salts, its esters and its conjugates, expressed as 2,4-DB) (R)	0.01*
2,4-D (sum of 2,4-D, its salts, its esters and its conjugates, expressed as 2,4-D)	0.05*
2-amino-4-methoxy-6-(trifluoromethyl)-1,3,5-triazine (AMTT), resulting from the use of tritosulfuron (F)	0.01*
2-naphthyloxyacetic acid	0.01*
2-phenylphenol (sum of 2-phenylphenol and its conjugates, expressed as 2-phenylphenol) (R)	0.01*

ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=product.resultat&language=EN&selectedID=309 1/3

ที่มา: EU Regulation (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในผลิตภัณฑ์

ตารางภาคผนวกที่ 15 ค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในน้ำอ้อย

พื้นที่		Aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
ภาคเหนือ	Mean	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0022	0.0077
	Std. Deviation	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0030	0.0109
	Minimum	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000
	Maximum	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0043	0.0154
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Mean	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0027	0.0047	0.0000
	Std. Deviation	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0024	0.0001	0.0000
	Minimum	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0046	0.0000
	Maximum	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0044	0.0048	0.0000
ภาคตะวันออก	Mean	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0063	0.0037	0.0138
	Std. Deviation	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0057	0.0015	0.0038
	Minimum	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.0026	0.0111
	Maximum	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0103	0.0047	0.0165
ภาคกลาง	Mean	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0031	0.0032	0.0107
	Std. Deviation	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0011	0.0045	0.0035
	Minimum	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.0000	0.0082
	Maximum	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0038	0.0064	0.0131
รวม	Mean	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0033	0.0034	0.0080
	Std. Deviation	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0021	0.0011	0.0059

ตารางภาคผนวกที่ 16 ค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในกากอ้อย

พื้นที่		Aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
ภาคเหนือ	Mean	0.0459	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0853	0.1658	0.0000	0.0000	0.0099	0.0347	0.3655	0.6505
	Std. Deviation	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1129	0.0232	0.0000	0.0000	0.0016	0.0088	0.0937	0.0142
	Minimum	0.0439	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0054	0.1494	0.0000	0.0000	0.0088	0.0284	0.2992	0.6404
	Maximum	0.0478	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1651	0.1822	0.0000	0.0000	0.0110	0.0409	0.4317	0.6605
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Mean	0.0420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2450	0.1330	0.0000	0.0000	0.0078	0.0472	0.2330	0.6705
	Std. Deviation	0.0121	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1886	0.0436	0.0000	0.0000	0.0039	0.0001	0.2878	0.0621
	Minimum	0.0334	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1116	0.1022	0.0000	0.0000	0.0050	0.0471	0.0295	0.6266
	Maximum	0.0505	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3783	0.1638	0.0000	0.0000	0.0105	0.0473	0.4365	0.7144
ภาคตะวันออก	Mean	0.0010	0.0047	0.0040	0.0083	0.0070	0.0134	0.0046	0.0083	0.0000	0.0008	0.0000	0.0004	0.0025
	Std. Deviation	0.0013	0.0066	0.0057	0.0117	0.0098	0.0189	0.0064	0.0117	0.0000	0.0011	0.0000	0.0006	0.0035
	Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Maximum	0.0019	0.0093	0.0080	0.0166	0.0139	0.0267	0.0091	0.0166	0.0000	0.0015	0.0000	0.0008	0.0049
ภาคกลาง	Mean	0.0277	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1009	0.1557	0.0000	0.0000	0.0324	0.0484	0.4492	0.5528
	Std. Deviation	0.0052	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1427	0.1615	0.0000	0.0000	0.0418	0.0391	0.3161	0.2378
	Minimum	0.0240	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0415	0.0000	0.0000	0.0028	0.0207	0.2257	0.3846
	Maximum	0.0313	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2018	0.2699	0.0000	0.0000	0.0619	0.0760	0.6727	0.7209
ค่าเฉลี่ย	Mean	0.0291	0.0012	0.0010	0.0021	0.0017	0.1111	0.1148	0.0021	0.0000	0.0127	0.0326	0.2620	0.4690
	Std. Deviation	0.0203	0.0023	0.0020	0.0042	0.0035	0.0970	0.0747	0.0042	0.0000	0.0137	0.0226	0.1958	0.3153

ตารางภาคผนวกที่ 17 ค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในน้ำตลทรายดิบ

พื้นที่		Aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
ภาคเหนือ	Mean	0.1459	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2682	0.3673	0.0000	0.0000	0.0038	0.0283	0.1248	0.0768
	Std. Deviation	0.2063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3128	0.5194	0.0000	0.0000	0.0054	0.0092	0.1765	0.0229
	Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0470	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0218	0.0000	0.0606
	Maximum	0.2917	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4894	0.7346	0.0000	0.0000	0.0076	0.0348	0.2496	0.0930
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Mean	0.1554	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0781	0.3724	0.0000	0.0000	0.0057	0.0987	0.0380	0.0772
	Std. Deviation	0.2198	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0378	0.5266	0.0000	0.0000	0.0080	0.1269	0.0537	0.0361
	Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0513	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090	0.0000	0.0516
	Maximum	0.3108	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1048	0.7447	0.0000	0.0000	0.0113	0.1884	0.0760	0.1027
ภาคตะวันออก	Mean	0.0201	0.0406	0.0390	0.0502	0.0455	0.0797	0.0359	0.0609	0.0014	0.0187	0.0046	0.0172	0.0319
	Std. Deviation	0.0283	0.0573	0.0548	0.0709	0.0641	0.1126	0.0504	0.0861	0.0019	0.0264	0.0064	0.0242	0.0450
	Minimum	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
	Maximum	0.0401	0.0811	0.0777	0.1003	0.0908	0.1593	0.0715	0.1218	0.0027	0.0374	0.0091	0.0343	0.0637
ภาคกลาง	Mean	0.2588	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1158	0.9255	0.0000	0.0000	0.0056	0.1014	0.0376	0.1329
	Std. Deviation	0.3617	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1059	1.3033	0.0000	0.0000	0.0058	0.1092	0.0461	0.0020
	Minimum	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0409	0.0039	0.0000	0.0000	0.0015	0.0242	0.0050	0.1315
	Maximum	0.5145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1906	1.8470	0.0000	0.0000	0.0097	0.1786	0.0702	0.1343
ค่าเฉลี่ย	Mean	0.1450	0.0102	0.0097	0.0125	0.0114	0.1354	0.4252	0.0152	0.0003	0.0084	0.0582	0.0544	0.0797
	Std. Deviation	0.0977	0.0203	0.0195	0.0251	0.0228	0.0902	0.3688	0.0305	0.0007	0.0069	0.0493	0.0479	0.0414

ตารางภาคผนวกที่ 18 ค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในน้ำตลทรายขาว

พื้นที่		Aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
ภาคเหนือ	Mean	0.0021	0.0005	0.0005	0.0000	0.0004	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0039
	Std. Deviation	0.0029	0.0006	0.0006	0.0000	0.0006	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0055
	Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Maximum	0.0041	0.0009	0.0009	0.0000	0.0008	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0078
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Mean	0.0098	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1049	0.0085	0.0000	0.0000	0.0036	0.0579	0.0081	0.0354
	Std. Deviation	0.0058	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0576	0.0114	0.0417
	Minimum	0.0057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0172	0.0000	0.0059
	Maximum	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1067	0.0169	0.0000	0.0000	0.0036	0.0986	0.0161	0.0649
ภาคตะวันออก	Mean	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0357	0.0144	0.0000	0.0000	0.0131	0.0538	0.0514	0.0430
	Std. Deviation	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0203	0.0000	0.0000	0.0185	0.0600	0.0585	0.0586
	Minimum	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0345	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0114	0.0100	0.0015
	Maximum	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0369	0.0287	0.0000	0.0000	0.0261	0.0962	0.0928	0.0844
ภาคกลาง	Mean	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0647	0.0137	0.0000	0.0000	0.0111	0.0526	0.0062	0.0449
	Std. Deviation	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0194	0.0000	0.0000	0.0129	0.0343	0.0059	0.0570
	Minimum	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0642	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0283	0.0020	0.0046
	Maximum	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0651	0.0274	0.0000	0.0000	0.0202	0.0768	0.0104	0.0852
ค่าเฉลี่ย	Mean	0.0043	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0515	0.0091	0.0000	0.0000	0.0069	0.0412	0.0164	0.0318
	Std. Deviation	0.0037	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.0442	0.0066	0.0000	0.0000	0.0062	0.0272	0.0236	0.0190

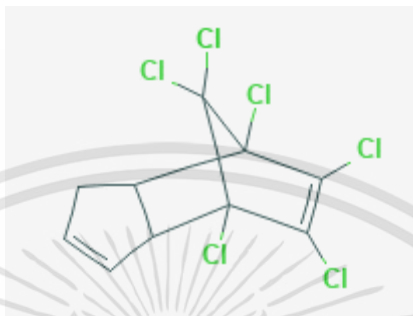
ตารางภาคผนวกที่ 19 ค่าเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนที่พบในกากน้ำตาล

พื้นที่		Aldrin	$\alpha$ -chlordane	$\gamma$ -chlordane	DDD	DDE	DDT	Dieldrin	Endrin	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	Heptachlor	Heptachlor Epoxide
ภาคเหนือ	Mean	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0005	0.0001	0.0000	0.0007	0.0008	0.0028	0.0187
	Std. Deviation	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0006	0.0001	0.0000	0.0009	0.0011	0.0002	0.0028
	Minimum	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0167
	Maximum	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0009	0.0001	0.0000	0.0013	0.0016	0.0029	0.0206
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	Mean	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0012	0.0038	0.0134
	Std. Deviation	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0008	0.0030	0.0034
	Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0016	0.0110
	Maximum	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0018	0.0059	0.0158
ภาคตะวันออก	Mean	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0048	0.0015	0.0085
	Std. Deviation	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0028	0.0003	0.0092
	Minimum	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0028	0.0013	0.0020
	Maximum	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0067	0.0017	0.0150
ภาคกลาง	Mean	0.0104	0.0196	0.0188	0.0264	0.0205	0.0462	0.0182	0.0298	0.0039	0.0136	0.0106	0.0128	0.0277
	Std. Deviation	0.0141	0.0277	0.0266	0.0373	0.0289	0.0602	0.0257	0.0421	0.0054	0.0192	0.0040	0.0144	0.0078
	Minimum	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	0.0026	0.0222
	Maximum	0.0204	0.0392	0.0376	0.0528	0.0409	0.0887	0.0363	0.0595	0.0077	0.0271	0.0134	0.0230	0.0332
ค่าเฉลี่ย	Mean	0.0030	0.0049	0.0047	0.0066	0.0051	0.0134	0.0047	0.0075	0.0010	0.0040	0.0043	0.0052	0.0171
	Std. Deviation	0.0049	0.0098	0.0094	0.0132	0.0102	0.0219	0.0090	0.0149	0.0019	0.0064	0.0045	0.0051	0.0082

## ภาคผนวก ญ

### สารอนุพันธ์จากการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

#### 1. Chlordene



ภาพภาคผนวกที่ 2 โครงสร้างของ Chlordene

Molecular Formula:  $C_{10}H_6Cl_6$

Chemical Names: CHLORDENE, Chlordene 50, 4,7-Methano-1H-indene, HSDB 2800

Molecular Weight: 338.9 g/mol

Solubility (in water):  $4.62 \times 10^{-4}$  mg/L at 25°C

Vapor Pressure:  $2.0 \times 10^{-5}$  mm Hg at 25°C

Decomposition: When heated to decomposition it emits toxic fumes of hydrogen chloride

#### Toxicity:

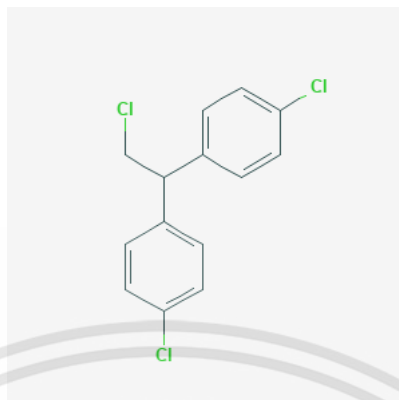
Organism	Test Type	Route	Dose	Reference
Human	LD <sub>Lo</sub>	oral	583 mg/kg	Yakkyoku (1979)
Human	LC <sub>Lo</sub>	inhalation	2 gm/m <sup>3</sup>	Yakkyoku (1979)
Human	LD <sub>Lo</sub>	skin	69 mg/kg	Yakkyoku (1979)
Rat	LC <sub>50</sub>	inhalation	2 gm/m <sup>3</sup>	Yakkyoku (1979)
Rat	LD <sub>50</sub>	skin	690 mg/kg	Yakkyoku (1979)
Mouse	LD <sub>50</sub>	oral	>1 gm/kg	Journal of Agricultural and Food Chemistry. (1975)

หมายเหตุ LD<sub>Lo</sub> ปริมาณต่ำสุดต่อหนึ่งครั้งที่ทำให้ถึงตาย

LD<sub>50</sub> หมายถึง หมายถึง ปริมาณต่อหนึ่งครั้งที่ทำให้ร้อยละ 50 ของกลุ่มทดสอบถึงตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Bis-4 (4-chloro-phenyl) methane (DDMs)



ภาพภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างของ DDMs

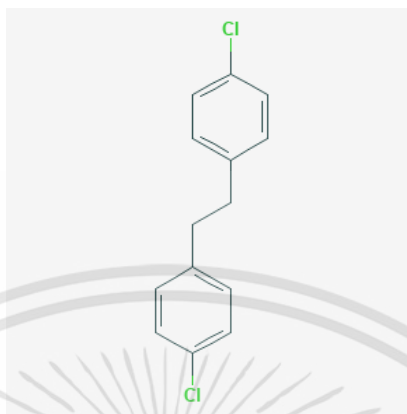
Molecular Formula:	$C_{14}H_{11}Cl_3$
Chemical Names:	Ddms, p,p'-DDMS, 1,1-Bis(p-chlorophenyl)-2-chloroethane, 1-Chloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethane
Molecular Weight:	285.6 g/mol
Solubility (in water):	$4.62 \times 10^{-4}$ mg/L at 25°C
Vapor Pressure:	$2.0 \times 10^{-5}$ mm Hg at 25°C
Decomposition:	When heated to decomposition it emits toxic fumes of hydrogen chloride
Toxicity:	

Organism	Test Type	Route	Dose	Effect	Reference
mouse	LD <sub>Lo</sub>	oral	900 mg/kg	Behavioral: Tremor; Behavioral: Convulsions Or Effect On Seizure Threshold; Behavioral: Excitement	Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics., 88(400), 1946

หมายเหตุ LD<sub>Lo</sub> ปริมาณต่ำสุดต่อหนึ่งครั้งที่ทำให้ถึงตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. Di-1,1-chlorophenylethane (DCPE)



ภาพภาคผนวกที่ 4 โครงสร้างของ DCPE

Molecular Formula:  $C_{14}H_{12}Cl_2$ Chemical Names: Bis(p-chlorophenyl)ethane, ETHANE, 1,2-Bis(P-Chlorophenyl)-  
1,2-bis(4-Chlorophenyl) Ethane, NSC 594

Molecular Weight: 251.1 g/mol

Toxicity:

Organism	Test Type	Route	Dose	Reference
guinea pig	LD <sub>50</sub>	oral	3 g/kg (3000 mg/kg)	Pesticide Index, Frear, E.H., ed., State College, PA, College Science Pub., 1969, 5(26), 1976

หมายเหตุ LD<sub>50</sub> หมายถึง หมายถึง ปริมาณต่อหนึ่งครั้งที่ทำให้ร้อยละ 50 ของกลุ่มทดสอบถึงตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววิไลลักษณ์ จันจามรณ
วัน เดือน ปีเกิด	26 กันยายน 2533
ที่อยู่	93 หมู่ 8 ตำบลบางเลน อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140 E-mail. wjanjamroon@gmail.com
ประวัติการศึกษา	2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์อาหารเพื่อสุขภาพ (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยมหิดล 2562 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	วิเคราะห์ด้านเคมี ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย
ประสบการณ์การทำงาน	2556-2558 นักวิทยาศาสตร์ ประจำแผนกควบคุมคุณภาพ ฝ่ายประกันคุณภาพ บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด 2558-ปัจจุบัน นักวิชาการพัฒนาคุณภาพ มหาวิทยาลัยมหิดล
การนำเสนอผลงาน	Janjamroon, W. 2018. Investigation of Organochlorine Pesticide Residues during the Production Process of Sugar. p. 158 – 161. In The 4 <sup>th</sup> AFSA International Conference on Food Safety and Food Security 10 – 12 August 2018 Siem Reap, Cambodia.