

การผลิตสารสกัดสะเดาไทยเชิงธุรกิจ :
กรณีศึกษาโรงงานต้นแบบ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

Thai Neem-based Extract Processing for Mass Production : Case Study from RIT-Pilot Plant

อัญชลี สงวนพงษ์

U. Sanguanpong ¹

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมธานี 12110

Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Rajamangala Institute of Technology, Patumtani 12110

ABSTRACT

Mass production of Thai neem-based extract (*Azadirachta indica* var. *siamensis* Valetton) for insect control is one of RIT-multidisciplinary research projects “Neem-based Extract Processing for Mass Production”. The production was operated by RIT-Pilot Plant at Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Rajamangala Institute of Technology in Patumtani province. The objective was focused on the productivity of 2 main processes based on dispersed contacting. The agitated extraction vessel and vacuum evaporator were equipped for extraction and evaporation respectively. Methanol was used as solvents to extract azadirachtin ($C_{36}H_{44}O_{16}$), the main biological active ingredient from Thai neem seed. Comparative studies between productivity of different neem-based extracts obtained by RIT-pilot plant and standard method were carried out under the same procedures. It is found that the actual yield of neem-based extracts from RIT-prototypes was different from laboratory scale. The data obtained, in particular, solvent losses in each process were here discussed. Results of the studies led to develop the neem processing and associated the improvement of equipments for further manufacturing.

บทคัดย่อ

การผลิตสารสกัดจากเมล็ดสะเดาไทย (*Azadirachta indica* var. *siamensis* Valetton) เชิงธุรกิจเพื่อใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยสหวิทยาการ “การผลิตสารสกัดสะเดาไทยเชิงธุรกิจ” ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล การผลิตดำเนินการโดยโรงงานต้นแบบการผลิตสารสกัดจากพืช คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมธานี โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาผลผลิตภาพของกระบวนการหลัก 2 กระบวนการในการผลิตสารสกัดสะเดาโดยใช้ต้นแบบเครื่องมือผลิตระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมซึ่งประกอบด้วยเครื่องสกัดแบบถังกวนและเครื่องระเหยแบบสุญญากาศโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตแยกสารสกัดแบบ dispersed contacting และใช้เมทานอลเป็นสารละลายอินทรีย์ในการสกัดสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคติน ($C_{36}H_{44}O_{16}$) จากเมล็ดสะเดา ผลการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตภาพของกระบวนการผลิตสารสกัดสะเดาจากระดับต้นแบบเครื่องมือผลิตและระดับห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพในการผลิตพบว่ามีความแตกต่างของผลผลิตภาพการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ในขั้นตอนต่าง ๆ จากต้นแบบเครื่องมือผลิต ฯ ทั้งเครื่องสกัดแบบถังกวนและเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาระบบการผลิตและปรับปรุงเครื่องมือผลิตต่อไป

คำนำ

เมล็ดสะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss) ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์สำคัญหลายชนิดที่มีผลในการป้องกันและกำจัดแมลงเช่น azadirachtin, salannin, meliantriol, nimbin, nimbidin, desacetylsalannin ฯลฯ แต่สารออกฤทธิ์ที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดาและเป็นสารที่มีประสิทธิภาพต่อการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชมากที่สุดคือสารอะซาไดแรคติน (azadirachtin; $C_{36}H_{44}O_{16}$) ซึ่งเป็นสารประกอบพวก tetranortriterpenoids และละลายตัวได้ง่ายในธรรมชาติ จากรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาในช่วงหลายสิบปีแสดงให้เห็นว่าการใช้สารสกัดจากสะเดามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงพืชหลายอันดับเช่น Lepidoptera, Coleoptera, Orthoptera, Homoptera, Hemiptera และ Diptera ฯลฯ (National Research Council, 1992; Schmutterer, 1995 ; อัญชลี, 2543) นอกจากนี้ยังพบรายงานการใช้น้ำมันสะเดาและส่วนต่าง ๆ ของสะเดาในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บหลายชนิด เช่น และ *Tribolium castaneum* (Herbst) (National Research Council, 1992), *Callosobruchus maculatus* และ *C. chinensis* (Yadav, 1996), *Rhyzopertha dominica* (F) และ *S. oryzae* (Sanguanpong et al., 2001a; 2001b; 2002;) ทั้งนี้ลักษณะการออกฤทธิ์ของสารสกัดรูปแบบต่าง ๆ ตลอดจนน้ำมันสะเดาที่มีต่อแมลงและไรศัตรูพืชมีหลายลักษณะได้แก่ การเป็นสารออกฤทธิ์ไล่แมลง (repellant) การยับยั้งการพัฒนารูปร่างเจริญเติบโต (growth inhibitor) การยับยั้งการวางไข่ (ovicidal effect) (Pascual et al., 1990; Sanguanpong and Schmutterer, 1992; Mordue and Blackwell, 1993)

ปัจจุบันมีการผลิตสารสกัดสะเดาเชิงการค้าที่ดำเนินการโดยภาคเอกชนทั้งต่างประเทศและภายในประเทศไทย (Praneetvatakul et al., 1999 ; Foerster and Moser, 2000) ทั้งนี้กระบวนการผลิตสารสกัดจากเมล็ดสะเดาที่ดำเนินการอยู่ยังเน้นการสกัดแบบขั้นตอนเดียวและมีเทคนิคขั้นตอนตลอดจนวิธีการที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปการสกัดทำได้โดยใช้สารละลายอินทรีย์ชนิด polar solvents เช่น น้ำ เอทานอล (ethanol) หรือเมทานอล (methanol) ฯลฯ สกัดสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคติน ในบางบริษัทอาจนำเอาเมล็ดสะเดามาอัดบีบหรือสกัดน้ำมันออกก่อนที่จะนำไปสกัดต่อด้วยสารละลายอินทรีย์ทั้งนี้เพื่อลดอาการเป็นพิษต่อพืชปลูก (phytotoxicity) ที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันสะเดา (Srivastava and Parmar, 1985; Ermel and Kleeberg, 1995) เนื่องจากสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนสกัดในตอนต้นมีส่วนผสมของตัวทำละลายอินทรีย์อยู่มากดังนั้นขั้นตอนต่อไปจึงต้องระเหยเอาส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากสารสกัดโดยลดปริมาตรของตัวทำละลายออกจากสารสกัดให้อยู่ในระดับคงที่ระดับหนึ่งซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสูตรการผลิตของแต่ละบริษัทผู้ผลิต นอกจากนี้อาจมีการเพิ่มขั้นตอนการผสมปรุงแต่งสารสกัดเพื่อป้องกันไม่ให้ออกฤทธิ์เสื่อมสลายง่ายตลอดจนผสมสารที่มีฤทธิ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพหรือยืดอายุในการเก็บรักษาสารสกัดสะเดาก่อนนำสารสกัดสะเดาไปเก็บรักษาหรือบรรจุเพื่อจำหน่าย

การทดสอบคุณภาพของกระบวนการผลิตสารสกัดสะเดาในการทดลองนี้จะใช้ต้นแบบเครื่องมือผลิตสารสกัดสะเดาระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่สร้างขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลซึ่งได้พัฒนาจากต้นแบบเครื่องมือผลิตระดับชุมชน คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร (อัญชลีและคณะ, 2538 ; อาทิตย์และอภิมรย์, 2539; อัญชลี, 2545) และดำเนินการติดตั้งเครื่องมือในโรงงานต้นแบบการผลิตสารสกัดสะเดา ณ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร ต. คลองหก อ. รั้วบัวรี ปทุมธานี ต้นแบบเครื่องมือผลิตสารสกัดสะเดาประกอบด้วยเครื่องมือในการจัดเตรียมวัตถุดิบ 3 ชนิดคือเครื่องกะเทาะเปลือก (decorticator) เครื่องบดเมล็ด (pulverizer) และเครื่องอัดบีบน้ำมัน (oil expellor) ส่วนเครื่องมือหลักในกระบวนการผลิตประกอบด้วยเครื่องสกัดแบบถังกวน (agitated extraction vessel) และเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (vacuum evaporator) ทั้งนี้ในการดำเนินการผลิต

ออกแบบให้ใช้เทคโนโลยีการผลิตแยกสารสกัดแบบ dispersed contacting และใช้เมทานอลเป็นสารละลายอินทรีย์ ในการสกัดสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินออกจากเมล็ดสะเดา วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาผลผลิตภาพ ของกระบวนการผลิตสารสกัดสะเดาจากกระบวนการหลัก 2 กระบวนการโดยใช้ต้นแบบเครื่องมือผลิตสารสกัดสะเดา ระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมเปรียบเทียบกับระดับห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพในการ ผลิต ตลอดจนศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ในขั้นตอนต่าง ๆ จากต้นแบบเครื่องมือผลิตดังกล่าวทั้งนี้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงเครื่องมือและกระบวนการผลิตในขั้นต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Preconditioning)

นำเมล็ดสะเดา (ความชื้นประมาณ 8-12 % w.b.) มากะเทาะเปลือกออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ซึ่งนำ หนักส่วนของเปลือก (seed coat) และเนื้อในของเมล็ดสะเดา (neem seed kernel) ที่ถูกกะเทาะแยกออกมาส่วนของ เมล็ดที่ไม่สามารถแยกเนื้อในออกมาได้ให้คิดเป็นส่วนสูญหาย นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาประสิทธิภาพการกะเทาะเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำเนื้อในเมล็ดมาเข้าเครื่องบดเมล็ด (pulverizer) เพื่อลดขนาดของวัตถุดิบสกัดและเพิ่มพื้นที่ผิวให้ เหมาะสมต่อการนำมาสกัด ต่อจากนั้นจึงนำเนื้อในมาอัดบีบน้ำมันโดยใช้เครื่องอัดบีบน้ำมัน (oil expeller) ทั้งนี้ในทุก ขั้นตอนจดบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องในลำดับต่อไป

2. การศึกษาผลผลิตภาพการผลิตสารสกัดสะเดา

2.1 การผลิตสารสกัดสะเดาระดับห้องปฏิบัติการ (อัญชลี, 2545)

2.1.1 กระบวนการสกัด (extraction process)

นำเมล็ดสะเดาที่สกัดน้ำมันออกแล้ว (defatted cake) 30 กรัมมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดเพื่อลด ขนาดวัตถุดิบและเพิ่มพื้นที่ผิวในการสกัด นำมาสกัดด้วยเมทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 (W/W) ทำการผลิตแยก สารสกัดแบบ dispersed contacting นาน 3 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic stirrer 8 positions) ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของวัตถุดิบตกตะกอนแล้วจึงแยกส่วนที่เป็นสารละลายของเหลวที่อยู่ด้านบนเก็บไว้ใช้เป็นวัตถุดิบ ในกระบวนการระเหยต่อไป บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการสกัดเพื่อนำไปศึกษาเปรียบ เทียบกับผลผลิตภาพการผลิตสารสกัดจากต้นแบบเครื่องสกัดแบบถังกวน

2.1.2 กระบวนการระเหยสารสกัด (evaporation process)

นำสารละลายของเหลวที่ได้จากข้อ 2.1.1 มาระเหยเอาส่วนของสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดทิ้งไปโดย ใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary vacuum evaporator) สารสกัดที่ระเหยได้จะมีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะขุ่นและมีกลิ่น คล้ายกระเทียมสดเรียกว่าสารสกัดสะเดา (neem-based extract) บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จาก กระบวนการระเหยเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับผลผลิตภาพการผลิตสารสกัดจากต้นแบบเครื่องระเหยสุญญากาศ

2.2 การผลิตสารสกัดสะเดาในโรงงานต้นแบบ ฯ

2.2.1 กระบวนการสกัด

นำเมล็ดสะเดาที่อัดบีบน้ำมันออกแล้ว (defatted cake) มาสกัดเหมือนรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วใน ข้อ 2.1.1 โดยใช้ต้นแบบเครื่องสกัดแบบถังกวน ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของวัตถุดิบตกตะกอนแล้วจึงแยกส่วนที่เป็นสาร ละลายของเหลวที่อยู่ด้านบนเก็บไว้ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการระเหยต่อไป บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการสกัดเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับผลผลิตภาพการสกัดในห้องปฏิบัติการ

2.2.2 กระบวนการระเหยสารสกัด

นำสารสกัดที่ได้จากการสกัดในข้อ 2.2.1 มาระเหยโดยใช้ต้นแบบเครื่องระเหยสุญญากาศ โดยมีข้อกำหนดในการทำงานเช่นเดียวกับการระเหยสารสกัดจากห้องปฏิบัติการ บันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการบวนการระเหยเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับผลคุณภาพการระเหยสารสกัดในห้องปฏิบัติการ

3. การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดา

3.1 การศึกษาคุณลักษณะทางเคมี

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดาที่ได้จากการทดลองมาทำการสกัดแยกน้ำมันที่ติดมากับกระบวนการผลิตโดยวิธี liquid-liquid partition โดยใช้เฮกเซน 3x300 มล. หลังจากนั้นจึงตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัดเพื่อหาปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินโดยใช้เทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ตามวิธีการของ Schneider and Ermel (1987).

3.2 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ

นำผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดาที่ได้จากการบวนการสกัดและการระเหยมาศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพบางประการเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพได้แก่ ค่าสี L-a-b (อัญชลี, 2545) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble solid, °Brix) และค่าความหนาแน่น (density)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ

จากการนำเมล็ดสะเดา(ความชื้นประมาณ 8-12 % w.b.) มากะเทาะเปลือกออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกที่มีระบบการคัดแยกแบบลมเป่าผ่านรางนำเปลือกเฉียง พบว่าเมล็ดสะเดามีส่วนของเปลือกมากถึงร้อยละ 50.17 ± 3.08 และเป็นส่วนของเนื้อในเมล็ดสะเดาร้อยละ 47.75 ± 3.05 ส่วนของเมล็ดที่ไม่สามารถแยกเนื้อในออกมาได้รวมถึงน้ำหนักวัตถุดิบที่สูญหายไปในระหว่างกระบวนการคิดเป็นร้อยละ 2.08 ± 0.44 (Table 1) ข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงกับ

Table 1 Preconditioning of neem material (8-12 % mc) by decortication, crushing and oil expelling

Process (Equipment)	Products	Yield (%)
Decorticating (Decorticator)	Hull*	50.17 ± 3.08
	Kernel	47.75 ± 3.05
	Processing loss	2.08 ± 0.44
Crushing (Pulverizer)	Kernel powder	93.33 ± 3.33
	Processing loss	6.67 ± 3.33
Oil expelling (Oil expeller)	Oil**	7.93 ± 1.79
	Defatted cake	88.10 ± 2.69
	Processing loss	3.97 ± 0.90

* Thai neem seed constitutes of 50.07± 1.07% hull and 49.93±1.12 % kernel

** The oil content is 18.64 ± 2.28 % in whole seed.

สูญชัย (2546) ที่ได้รายงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกะเทาะเบื้องต้นของเครื่องว่าสามารถกะเทาะได้ประมาณร้อยละ 98 และมีการสูญเสียน้ำหนักเมล็ดร้อยละ 2 ส่วนการลดขนาดของวัตถุดิบด้วยเครื่องบด พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักเมล็ดในระหว่างกระบวนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 6.67 ± 3.33 ในขณะที่การอัดบีบน้ำมันโดยใช้เครื่องอัดบีบน้ำมันพบว่าถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการคิดเป็นร้อยละ 3.97 ± 0.90 แต่เครื่องสามารถอัดบีบน้ำมันออกมาได้เพียงร้อยละ 7.93 ± 1.79 ในขณะที่เมล็ดสีน้ำมันเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 18.64 ± 2.28 % แสดงให้เห็นว่าเครื่องมีประสิทธิภาพในการอัดบีบน้ำมันเพียง 42.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันในวัตถุดิบซึ่งควรจะได้รับการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องในลำดับต่อไป ทั้งนี้เพื่อกำจัดน้ำมันออกจากเมล็ดได้มากขึ้นและมีผลทำให้การผสมปรุงแต่งในขั้นตอนสุดท้ายสะดวกขึ้น ตลอดจนไม่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษต่อพืชปลูกอีกด้วย

2. ผลผลิตภาพของกระบวนการสกัดและระเหยสารสกัดสะเดา

2.1 ผลผลิตภาพของกระบวนการสกัด

การศึกษาผลผลิตภาพของกระบวนการสกัดสารจากเมล็ดสะเดาด้วยเมทานอลในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เป็นวิธีการควบคุมเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงงานต้นแบบโดยใช้ต้นแบบเครื่องสกัดแบบถ่วง พบว่าการผลิตในห้องปฏิบัติการให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดเท่ากับ 68.49 ± 1.33 ซึ่งมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจากต้นแบบเครื่องมือสกัด ที่มีค่าเท่ากับ 63.67 ± 3.79 รายละเอียดดังแสดงใน Table 2 นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์กากที่ผลิตได้จากห้องปฏิบัติการมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์กากจากต้นแบบเครื่องมือสกัด ๆ โดยมีค่า 30.42 ± 1.26 และ 27.00 ± 4.00 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบว่าการสกัดโดยใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดเพียง 1.09 ± 0.16 ในขณะที่การสกัดโดยใช้ต้นแบบเครื่องมือสกัด ๆ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์สูงถึง 9.33 ± 1.53 ทั้งนี้การสูญเสียสารละลายอินทรีย์จากต้นแบบเครื่องมือสกัด ๆ อาจเกิดจากขั้นตอนการถ่ายสารจากถังสกัดผ่านการกรองไปยังถังระเหยเนื่องจากตะแกรงกรองมีความละเอียดและท่อทางออกของสารสกัดมีขนาดเล็กเกินไปซึ่งทำให้ใช้เวลานานและทำให้สารระเหยออกไป อัญชลี (2545) ได้รายงานประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องมือผลิตสารสกัดจากชุมชน (ขนาดกำลังผลิต 150 ลิตร/งวด) พบว่าเปอร์เซ็นต์สารสกัดมีค่าใกล้เคียงกับต้นแบบเครื่องมือสกัดระดับอุตสาหกรรมที่กำลังดำเนินการทดลองอยู่นี้ โดยกากที่สกัดออกมามีน้ำหนักมาก

Table 2 Productivity of neem-based extract under processing in RIT-pilot plant compare to laboratory

Process	Production scale	Solution out ¹ (%)	Marc out ² (%)	Recovery solvent (%) ³	Loss of solvent (%) ⁴
Extraction	Laboratory	68.49 ± 1.33	30.42 ± 1.26	-	1.09 ± 0.16
	Prototype	63.67 ± 3.79	27.00 ± 4.00	-	9.33 ± 1.53
Evaporation	Laboratory	50.01 ± 0.01	-	46.40 ± 1.25	3.60 ± 1.25
	Prototype	50.17 ± 1.09	-	36.11 ± 1.17	13.72 ± 0.34

$$^1 \text{ solution out (\%)} = \frac{(\text{weight of extract}) * 100}{\text{total mass}}$$

$$^3 \text{ recovery solvent (\%)} = \frac{(\text{weight of recovery solvent}) * 100}{\text{total mass}}$$

$$^2 \text{ marc out (\%)} = \frac{(\text{weight of marc}) * 100}{\text{total mass}}$$

$$^4 \text{ loss of solvent (\%)} = \frac{(\text{total mass} - \text{solution out} - \text{marc out}) * 100}{\text{total mass}}$$

เพราะดูดซับสารละลายอินทรีย์ไว้มาก อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์เพียง 4.45 ± 0.27 ดังนั้นจึงควรจะได้มีการปรับปรุงและพัฒนาต้นแบบเครื่องสกัด ฯ ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นและลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิต ตลอดจนยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและอาจทำให้ได้ปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

2.2 ผลติภาพของกระบวนการระเหย

ส่วนการศึกษาผลติภาพของกระบวนการระเหยสารสกัดสะเดา (Table 2) พบว่าต้นแบบเครื่องระเหย ฯ สามารถระเหยสารสกัดได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ได้แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์สารกลั่นกลับของเมทานอลจากต้นแบบเครื่องระเหย ฯ มีค่าเพียง 36.11 ± 1.17 ในขณะที่เครื่องมือระดับห้องปฏิบัติการสามารถกลั่นกลับเมทานอลได้ 46.40 ± 1.25 % นอกจากนี้ยังพบว่าการระเหยโดยใช้ต้นแบบ ฯ มีอัตราการสูญเสียสารละลายอินทรีย์ในอัตราค่าค่อนข้างสูงถึง 13.72 ± 0.34 คิดเป็น 3.8 เท่าของวิธีการควบคุมที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ฯ เพียง $3.60 \pm 1.25\%$ จากการสังเกตกระบวนการระเหยและกลั่นกลับในระหว่างกระบวนการผลิตพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในระบบทำความเย็นมีค่าสูงใกล้เคียงอุณหภูมิห้องซึ่งอาจมีผลทำให้การควบแน่นของไอรระเหยของสารเมทานอลมีประสิทธิภาพต่ำลงโดยไอของเมทานอลไม่สามารถกลั่นกลับได้ทันกับอัตราการระเหยส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารละลายอินทรีย์มากตามไปด้วย ผลการทดลองในทำนองเดียวกันนี้ปรากฏในรายงานของ อัญชลี (2545) ซึ่งทำการทดลองระเหยสารสกัดสะเดาโดยใช้ต้นแบบเครื่องระเหย ฯ ระดับชุมชน(ขนาดกำลังการผลิต 30 ลิตรต่อวงวด) พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ในระหว่างกระบวนการระเหยโดยต้นแบบ ฯ มีค่ามากกว่าระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ข้อกำหนดการทำงานเหมือนกัน แต่การทดสอบดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์สูงกว่าวิธีการควบคุมเพียง 2.03 เท่าทั้ง ๆ ที่เป็นการระเหยเพื่อให้ได้ปริมาณคงที่ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าการทดลองในครั้งนี้เกือบสองเท่า ดังนั้นในลดอัตราการสูญเสียสารละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการดำเนินการผลิตควรมีการพัฒนาและปรับปรุงระบบควบแน่นและกลั่นกลับของต้นแบบเครื่องระเหย ฯ ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น อีกทั้งยังทำให้ได้สารเมทานอลกลั่นกลับเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตครั้งต่อไปได้ตลอดจนยังเป็นการลดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

2.3 ผลติภาพรวมในการผลิตสารสกัดสะเดา

ภายใต้ข้อกำหนดการผลิตที่ตั้งไว้ต้นแบบเครื่องมือผลิต ฯ สามารถผลิตสารสกัดสะเดาได้เท่ากับ 31.57 ± 2.71 % (คิดจากสัดส่วนร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการผลิตในระดับ

Table 3 Yield and loss (%) of different products under processing in laboratory compare to RIT- pilot Plant

Production scale	Neem-based extract ¹ (%)	Marc out ² (%)	Recovery solvent ³ (%)	Loss of solvent ⁴ (%)	
				Extraction	Evaporation
Laboratory	34.25 ± 0.01	30.42 ± 1.26	31.77 ± 1.25	1.09 ± 0.16	2.47 ± 1.25
Pilot plant	31.57 ± 2.71	27.00 ± 4.00	22.67 ± 0.76	9.33 ± 1.53	8.63 ± 0.71

$$^1 \text{ solution out (\%)} = \frac{\text{weight of extract}}{\text{total mass}} * 100$$

$$^2 \text{ marc out (\%)} = \frac{\text{weight of marc}}{\text{total mass}} * 100$$

$$^3 \text{ recovery solvent (\%)} = \frac{\text{weight of recovery solvent}}{\text{total mass}} * 100$$

$$^4 \text{ loss of solvent (\%)} = \frac{\text{total mass} - \text{solution out} - \text{marc out}}{\text{total mass}} * 100$$

ห้องปฏิบัติการที่สามารถผลิตสารสกัดได้ 34.25 ± 0.01 % (Table 3) และปริมาณกากสุดท้ายที่ผลิตได้จากห้องปฏิบัติการจะมีน้ำหนักมากกว่าจากโรงงานต้นแบบเนื่องจากกากมีความละเอียดมากทำให้เกิดการดูดซับสารละลายอินทรีย์ไว้ในกากสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตสารสกัดโดยต้นแบบเครื่องมือผลิต ๔ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์สูงทั้งในกระบวนการสกัดและการระเหย ในภาพรวมพบเปอร์เซ็นต์สารสกัดกลับจากต้นแบบเครื่องมือผลิต ๔ เพียง 22.67 ± 0.76 % ในขณะที่ในระดับห้องปฏิบัติการพบการกลับกลับ 34.25 ± 0.01 %

3. การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดา

3.1 การศึกษาคุณลักษณะทางเคมี

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินและปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดา ใน Table 4 แสดงให้เห็นว่าต้นแบบเครื่องมือผลิต ๔ สามารถผลิตสารสกัดที่มีสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคติน 3.43 ± 0.64 มก/กรัม น้ำหนัก (มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเมล็ด) หรือปริมาณความเข้มข้น 0.23 ± 0.02 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสารสกัดที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ซึ่งโดยทั่วไปในการขอขึ้นทะเบียนวัตถุมีพิษทางการเกษตรสำหรับสารสกัดสะเดากำหนดให้สารสกัดสะเดามีปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินไม่น้อยกว่า 0.1 % (Wong-Ek *et al.*, 1997; Praneetwattakul *et al.*, 1999) จากรายงานที่ผ่านมามีพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินในเมล็ดสะเดาไทยแตกต่างกันออกไปเช่น Foerster and Moser (2000) รายงานว่าค่าเฉลี่ยของสารอะซาไดแรคตินที่พบในไทยมีค่าเท่ากับ 5.20 มก/กรัม น้ำหนัก ในขณะที่อินเดียมีค่าเฉลี่ยของสารประมาณ 5.14 มก/กรัม น้ำหนัก และพบว่าเมล็ดสะเดาที่พบในประเทศเคนยามีปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 6.8-8.8 มก/กรัม น้ำหนัก และรองลงมาคือ ประเทศกานามีค่าเฉลี่ย 6.2-6.9 มก/กรัม น้ำหนัก ส่วนรายงานของ Sombatsiri *et al.* (1995) กล่าวถึงการสำรวจปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินของตัวอย่างเมล็ดสะเดาไทยที่เก็บจากจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศทุกภูมิภาคของไทยพบว่าเมล็ดสะเดาไทยมีปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคตินตั้งแต่คุณภาพต่ำสุดที่ 1.40 มก/กรัม น้ำหนักจนถึงค่าสูงสุด 5.30 มก/กรัม น้ำหนัก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะใช้ปริมาณสารอะซาไดแรคตินเป็นตัวกำหนดหรือดัชนีในการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตว่าเหมาะสมหรือไม่ ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันว่าสารอะซาไดแรคตินสามารถสลายตัวได้ง่ายภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมเช่นอุณหภูมิและความชื้นสูงตลอดจนสภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม (Ernel *et al.*, 1987) ดังนั้นหากเมล็ดที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีคุณภาพต่ำจะทำให้สารสกัดมีคุณภาพต่ำตามไปด้วย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพสารสกัดดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยในโอกาสต่อไป

Table 4 Azadirachtin (amount in mg/ g and concentration in solution) and oil content (%) in neem-based extract produced from RIT Pilot Plant

Production scale	Azadirachtin content		neem oil (%)
	mg/ g \pm SE	% in solution	
Prototype	3.43 ± 0.64	0.23 ± 0.02	0.98 ± 0.06

นอกจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอะซาไดแรคตินในสารสกัดแล้วการตรวจวัดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดานับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่งในการควบคุมคุณภาพเนื่องจากมีรายงานการแสดงอาการเป็นพิษต่อพืชปลูกเมื่อใช้สารสกัดที่มีน้ำมันสะเดาความเข้มข้นมากกว่า 1 % (Srivastava and Parmar ,1985) หรืออาการเป็นพิษต่อพืชปลูกแอบแฝง (latent phytotoxicity) เมื่อใช้สารสกัดสะเดาความเข้มข้นสูง ๆ (Ermel and Kleeberg, 1995) จากตรวจวัดปริมาณน้ำมันในสารสกัดสะเดาที่ผลิตขึ้นในโรงงานต้นแบบพบว่าปริมาณน้ำมันเพียง 0.98 ± 0.06 % ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อการนำไปใช้ในการฉีดพ่นพืชปลูก

3.1 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สารสกัดสะเดาที่ผลิตจากต้นแบบเครื่องมือผลิต ฯ ในโรงงานต้นแบบพบว่าสารสกัดสะเดาที่ผลิตได้มีสีน้ำตาลเข้มในขณะที่สีของสารสกัดจากระดับห้องปฏิบัติการมีความสว่างมากกว่าคือมีสีเหลืองอมน้ำตาล ทั้งนี้ลักษณะปรากฏที่สังเกตเห็นได้สอดคล้องกับค่า L-a-b และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (องศาบริกซ์ , ° Brix) ที่วัดได้ซึ่งพบว่าสารสกัดจากต้นแบบเครื่องมือผลิต ฯ มีค่าองศาบริกซ์ 10.33 ± 2.89 มากกว่าค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ส่วนค่าความหนาแน่นของสารสกัด (กิโลกรัมต่อลิตร) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันจากทั้งสองแหล่ง (Table 5) จากการศึกษาดังกล่าวจึงน่าจะเป็นไปได้ในการนำมาใช้ควบคุมกระบวนการระเหยสารสกัดสะเดาเช่นเดียวกับเทคนิคการระเหยสารสกัดประเภทของเหลวอื่นๆ (Schweitzer, 1988 ; Wallas,1988)

Table 5 Physical Properties of neem-based extract produced from laboratory compared to RIT-pilot plant

Production Scale	L-a-b value			° Brix	Density (kg/L)
	L	a	b		
Laboratory	43.57 ± 0.71	-1.89 ± 0.80	29.25 ± 0.35	8.00 ± 0.00	0.82 ± 0.00
Prototype	28.86 ± 6.44	1.13 ± 1.42	19.97 ± 4.57	10.33 ± 2.89	0.83 ± 0.01

สรุป

การศึกษาลักษณะทางกายภาพกระบวนการผลิตสารสกัดสะเดาไทยเชิงธุรกิจเป็นการศึกษาโดยเปรียบเทียบผลผลิตภาพการผลิตแยกแต่ละกระบวนการคือกระบวนการสกัดและกระบวนการระเหย ตลอดจนศึกษาลักษณะการผลิตโดยรวมทั้งสองกระบวนการ ผลการศึกษาพบว่าต้นแบบเครื่องสกัดแบบถังกวนและเครื่องระเหยที่ใช้ทดสอบในโรงงานต้นแบบการผลิตสารสกัดจากสะเดามีประสิทธิภาพในการผลิตสารสกัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ สารสกัดสะเดาเข้มข้น 31.57 ± 2.71 % กากสุดท้าย 27.00 ± 4.00 % สารเมทานอลกลับ 22.67 ± 0.76 % นอกจากนี้ยังพบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารเมทานอลในระหว่างกระบวนการสกัดและระเหย 9.33 ± 1.53 และ 8.63 ± 0.71 ตามลำดับ ทั้งนี้สารสกัดสะเดาที่ผลิตได้มีปริมาณสารออกฤทธิ์อะซาไดแรคติน 0.43 ± 0.64 มก/กรัม น้ำหรือปริมาณความเข้มข้น 0.23 ± 0.02 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสารสกัดที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และมีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน 0.98 ± 0.06 % ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษต่อพืชปลูกได้ อย่างไรก็ตามพบว่าควรมีการปรับปรุงและ

พัฒนาประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องมือผลิต ๔ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารละลายอินทรีย์ ในระหว่างกระบวนการผลิตทั้งสองกระบวนการให้ลดน้อยลงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต ตลอดจน ยังสามารถนำสารหมุนเวียนหรือนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตครั้งต่อไปได้และยังช่วยลดการปนเปื้อนสารละลายอินทรีย์ในสภาพแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

นอกจากการตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของสารสกัดสะเดาแล้วรายงานวิจัยฉบับนี้ยังมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารสกัดสะเดาโดยวัดค่าสี ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์ , ° Brix) และค่าความหนาแน่นซึ่งนับได้ว่าเป็นเรื่องใหม่ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการหรือบ่งชี้คุณภาพของสารสกัดตลอดจนรายงานการวิจัยด้านนี้ไม่มากนักและยังไม่เป็นที่เปิดเผย คุณสมบัติของสารสกัดจากต้นแบบเครื่องมือผลิต ๔ มีค่าองศาบริกซ์ 10.33 ± 2.89 มากกว่าค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการที่มีค่าองศาบริกซ์ 8.00 ± 0.00 ส่วนค่าความหนาแน่นของสารสกัดจากทั้งสองแหล่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาวิจัยดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่าเป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษาผลิตภาพกระบวนการผลิตสารสกัดสะเดาเชิงธุรกิจในช่วงตอนต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษากับการผลิตสารสกัดจากพืชอื่น ๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามจะได้มีการดำเนินการวิจัยในด้านต่าง ๆ ในโอกาสต่อไปเพื่อสนับสนุนให้การดำเนินการผลิตสารสกัดจากพืชมีการพัฒนาอย่างเป็นรูปธรรมและนำมาใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชได้อย่างแท้จริง

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลที่เห็นคุณค่าในการวิจัยด้านอารักขาพืชโดยให้การสนับสนุนงบประมาณเพื่อการดำเนินการโครงการวิจัยสหวิทยาการ “การผลิตสารสกัดสะเดาเชิงธุรกิจ” ซึ่งเป็นโครงการแม่บทของกรวิจัยนี้ นอกจากนี้ใคร่ขอขอบคุณอาจารย์คณะผู้วิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้จัดสร้างเครื่องมือต้นแบบการผลิต ๔ ตลอดจนขอขอบคุณนางสาวพรทิพย์ ขาวงามและนางสาวจรรุดา ขุนสินทร์ ผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยในการดำเนินการ สุดท้ายขอขอบคุณอาจารย์สุทัศน์ บุรีภักดี คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้อำนวยความสะดวกโครงการวิจัยสหวิทยาการ ๔ ที่เป็นแรงผลักดันและประสานงานให้การดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- สัญญาชัย เข้มเจริญ, 2546. โครงการวิจัยการพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดสะเดา. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคล. ฉบับที่ 2 ปีที่ 1, น. 52-57.
- อัษฎาลี สงวนพงษ์, นุสรณ์ นันทขว้าง, สมศักดิ์ กิจกล้าและธนวรรธน์ แต่วัฒนา, 2538. การสร้างต้นแบบถังสกัดสารจากเมล็ดสะเดา. หน้า 120-125. ใน เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการครั้งที่ 13 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วันที่ 23-24 พฤษภาคม 2545 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสุรินทร์ จ. สุรินทร์
- อัษฎาลี สงวนพงษ์, 2543. เทคโนโลยีการผลิตสารสกัดสะเดา. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ISBN : 974-85960-7-9, 136 หน้า.
- อัษฎาลี สงวนพงษ์, 2545. ผลิตภาพการผลิตสารสกัดสะเดาจากต้นแบบเครื่องมือผลิตระดับชุมชน. หน้า 465-468. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 วันที่ 23-24 พฤษภาคม 2545 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จ. เชียงใหม่ .

- อาทิตย์ บุญญาภิสังขารและอภิมรย์ ชูเมฆา, 2539. การสร้างต้นแบบเครื่องระเหยสมุนไพร, โครงการวิศวกรรมระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กระทรวงศึกษาธิการ, ปทุมธานี, 81 หน้า
- Ernel, K. and H. Kleeberg, 1995. Commercial products, their standardization and problems of quality control. *In* Schmutterer, H., 1995. The Neem Tree *Azadirachta indica* A. Juss. and other meliaceae plants. VCH Publishers Inc., New York, USA : pp. 375-384 .
- Ernel, K., E. Pahlich and H. Schmutterer. 1987. Azadirachtin content of neem kernel from different geographical locations, and its dependence on temperature, relative humidity and light. 1987). *In* Proc. 3rd Int. Neem Conf. Nairobi, Kenya : pp. 171-184.
- Foerster, P. and G. Moser, 2000. Status report on global Neem usage. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH., 122 p.
- Mordue (Luntz) , A. J., A. Blackwell. 1993. Azadirachtin : an update. *J. Insect Physiol.* 39 : pp. 903-924.
- National Research Council, 1992. Neem : A Tree for Solving Global Problems. Board on Science and Technology for International Development, National Academy Press. Washington D.C. 141 p.
- Pascual, N., M.P.Marco and X. Belles. 1990. Azadirachtin induced imaginal moult deficiencies in *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera : Tenebrionidae). *J. stored Prod. Res.* 26 : pp. 53-57.
- Praneetvatakul, S. , A. Sattarasat and U. Sanguanpong, 1999. Small-scale Industrial Production of Neem-based Pesticides in Thailand. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 57 p.
- Sanguanpong, U. and H. Schmutterer, 1992. Laboratory trials on the effects of neem oil and neem-seed based extracts against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari : Tetranychidae). *J. of Plant Diseases and Protection*, 99 (6) : pp. 637-646.
- Sanguanpong, U., Kongkatip and K. Sombatsiri, 2001a. Insecticidal Toxicity of Formulated Neem Oil-based Pellets against Postharvest Damage by Rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. (FAMILY CURCULIONIDAE). *In* The 20th ASEAN /2nd APEC Seminar on Postharvest Technology, Lotus Suankeaw Hotel, Chiangmai, Thailand, 11-14 September 2001: pp. 329-335.
- Sanguanpong, U., Kongkatip and K. Sombatsiri, 2001b. Reproductive Inhibition of Rice Weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) Induced by Vapor of Formulated Neem Oil-based Pellets. *In* The 20th ASEAN /2nd APEC Seminar on Postharvest Technology, Lotus Suankeaw Hotel, Chiangmai, Thailand, 11-14 September 2001: pp. 336-344.
- Sanguanpong, U., N. Kongkatip and K. Sombatsiri, 2002. Phytochemical Toxicity of Formulated Neem Oil-based Pellets as Biofumigant for Controlling *Sitophilus oryzae* (L.) in Organic Rice. *In* 3rd World Congress on Allelopathy (III WCA): Challenges for the New Millenium, Tsukuba Center for Institutes, Tsukuba City, Japan, 26-30 August 2002. Abstract p. 96.

- Schmutterer, H., 1995. The Neem Tree *Azadirachta indica* A. Juss. and other meliaceous plants. VCH Publishers Inc., New York, USA. 696 p. Senguttavan, T., A. A. Kareem and R. Rajendran. 1995. Effects of Plant Products and Edible Oils against Rice Moth *Corcyra cephalonica* Stainton in Stored Groundnuts. J. stored Prod. Res. Vol. 31(3) : pp. 207-210.
- Schneider, B.H. and K. Ermel, 1987. Quantitative determination of azadirachtin from neem seeds using high performance liquid chromatography. *In* Proc. 3rd Int. Neem Conf. Nairobi, Kenya : pp. 161-170.
- Schweitzer, P. A. 1988. Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineer. 2nd ed., McGraw-Hill Book Company. 356 p.
- Somabtsiri , K., Ermel, K. and H. Schmutterer.1995. The Thai Neem Tree: *Azadirachta siamensis* (Valeton). *In* Schmutterer, H., 1995. The Neem Tree *Azadirachta indica* A. Juss. and other meliaceous plants. VCH Publishers Inc., New York, USA. : pp. 585-597.
- Srivastava, K.P. and , B.S., Parmar. 1985. Evaluation of neem oil emulsifiable concentrates against sorghum aphids. Neem Newsl. 2(1), 7.
- Wallas, S. M. 1988. Chemical Process Equipment Selection and Design. Butterworths Series in Chemical Engineering. 755 p.
- Wong-Ek, S., C. Chettanachira and C. Rattanawaraha, 1997. The Regulation of Biopesticides in Thailand. *In* Biopesticides: Toxicity, Safety, Development and Proper Use. *In* Proc. 1st Inter. Symposium on Biopesticides, Pitsanuloke, Thailand: pp. 279-282 .
- Yadav, T.D. 1996. Olfactory, Oviposition and Developmental Response of Four Species of Pulse Beetle to Four Neem Oil Treated Legumes. World Neem Conf., Bangalore, India : pp. 343-356.