บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

ผลการดำเนินการการจัดการและการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการแปรรูปมะพร้าวขาว ดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบการแปรรูปมะพร้าวขาวระดับชุมชน และระดับอุตสาหกรรม ในพื้นที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน มีผลการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1 การใช้เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการแปรรูปมะพร้าวขาว

4.1.1 กลุ่มเป้าหมายและพื้นที่ศึกษา

การตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว คณะวิจัยเลือกดำเนินการกับโรงงาน 2 ประเภท คือ 1) โรงงานผลิตมะพร้าวขาวระดับชุมชน (โรงงาน ก) กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน และ 2) โรงงานผลิตมะพร้าวขาวระดับอุตสาหกรรม (โรงงาน ข) กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน ทั้ง 2 โรงงาน ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

4.1.2 ผลการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว

4.1.2.1 การตรวจประเมินเบื้องต้น (Pre assessment)

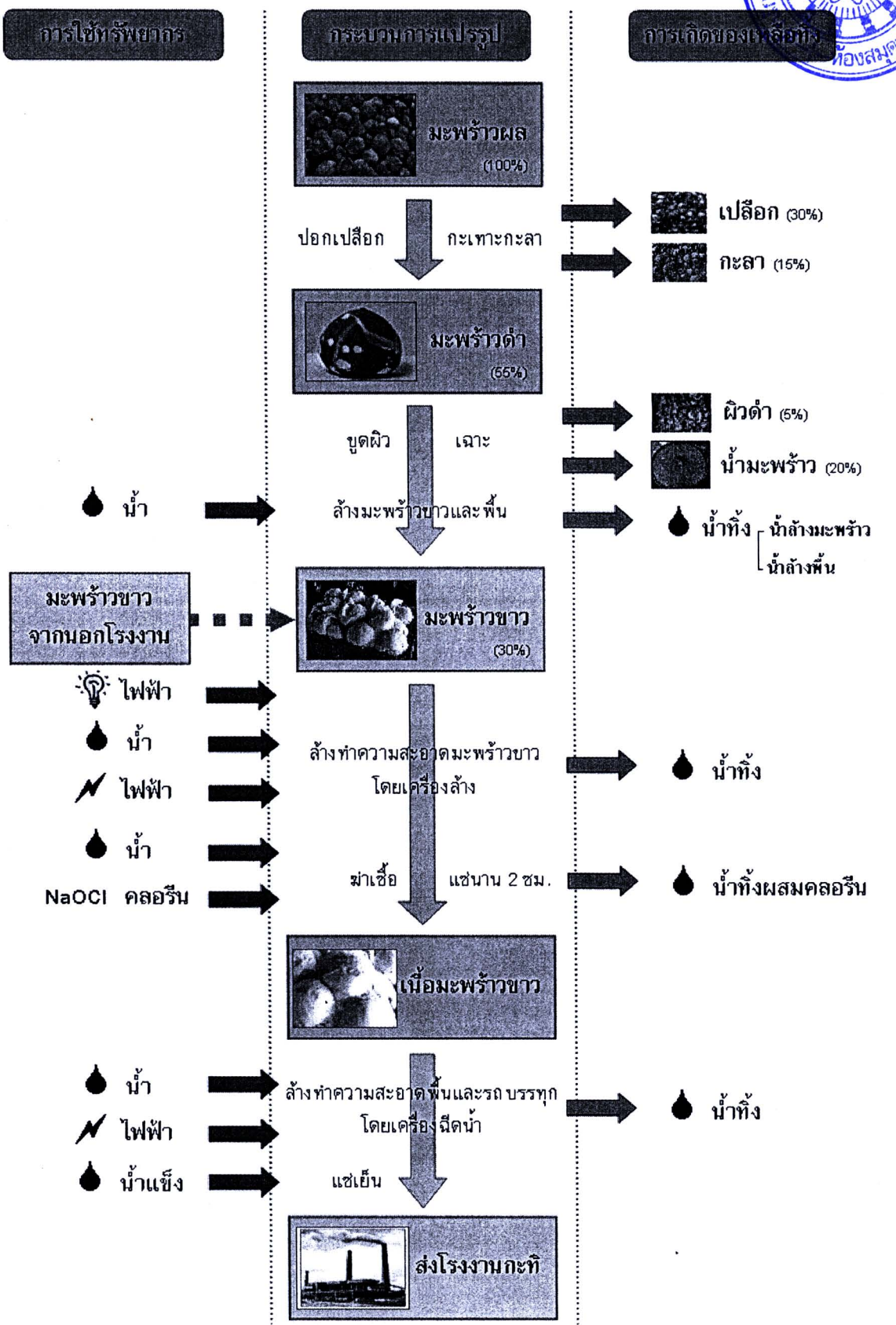
4.1.2.1.1 การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว

ในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว วัตถุดิบที่นำเข้ามาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ มะพร้าวผลทั้งลูก และมะพร้าวล่อน (ปอกเปลือกแล้ว) จากนั้นถูกนำมาผ่านขั้นตอนปอกเปลือก กะเทาะกะลา ขูดผิว เฉาะ ล้างทำความสะอาด และแช่เย็น เพื่อขนส่งไปยังโรงงานผลิตกะทิต่อไป สำหรับกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวในโรงงานผลิตมะพร้าวขาวระดับชุมชน (โรงงาน ก) และโรงงานผลิตมะพร้าวขาวระดับอุตสาหกรรม (โรงงาน ข) มีความแตกต่างกันในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้เริ่มต้น ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด และการแช่น้ำผสมคลอรีน (รูปที่ 4.1 (ก) และ (ข))

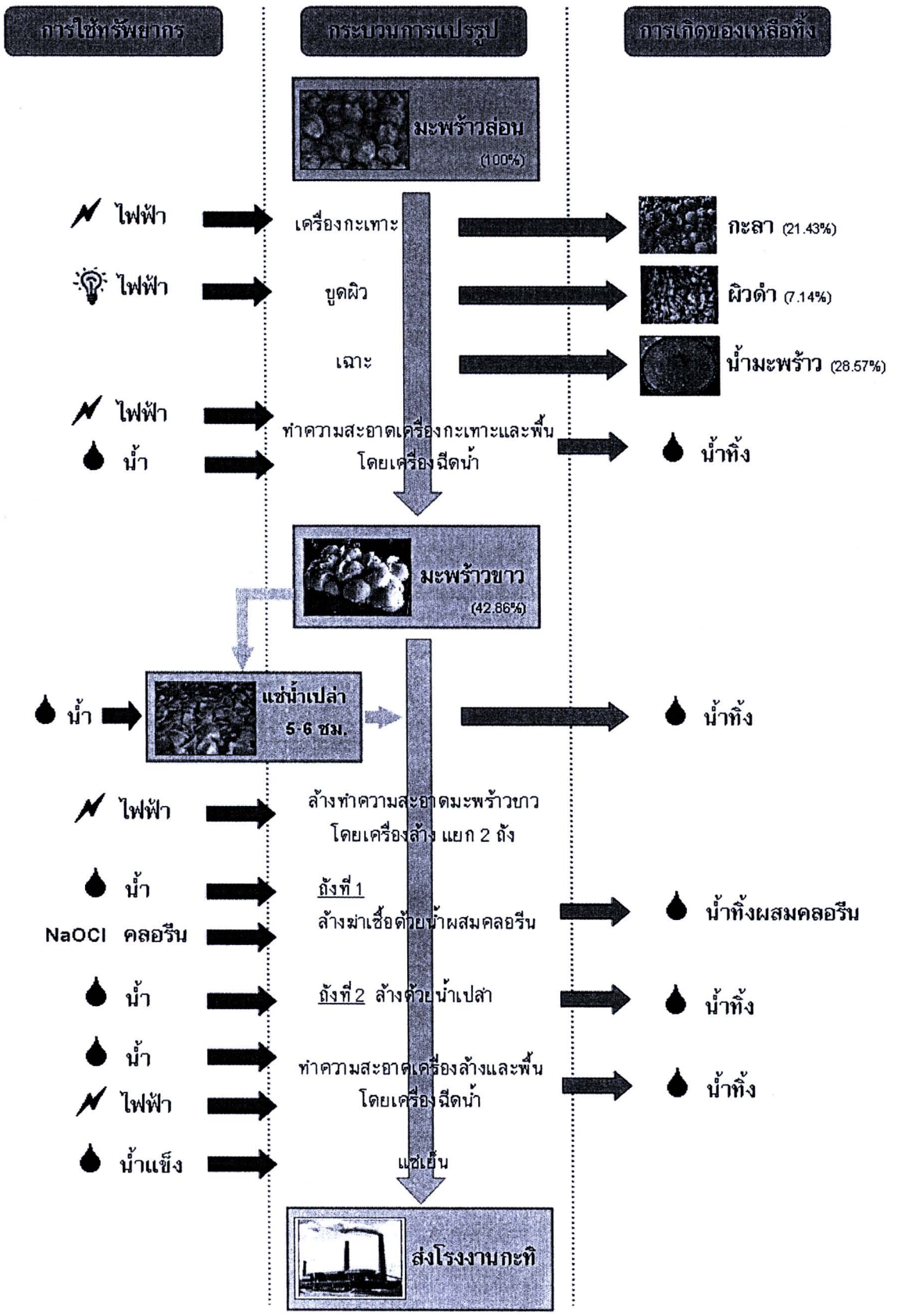
กระบวนการผลิตมะพร้าวขาวสำหรับโรงงาน ก ซึ่งเป็นโรงงานระดับชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นมะพร้าวผลทั้งลูก เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดโดยใช้เครื่องล้าง มะพร้าวขาวเข้ามาจาก 2 เส้นทาง คือ 1) ร้อยละ 60 ของมะพร้าวขาวที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้จากการผลิตภายในโรงงานเอง มะพร้าวขาวส่วนนี้ก่อนนำมาล้างน้ำทำความสะอาด เนื้อมะพร้าวขาวถูกแช่ในน้ำเปล่าทิ้งไว้นาน 4-6 ชม. และ 2) ร้อยละ 40 ของมะพร้าวขาวที่ใช้ในกระบวนการผลิตโรงงานรับซื้อจากผู้ผลิตรายย่อยในพื้นที่ เพื่อให้ได้ปริมาณเพียงพอกับลูกค้า

ส่วนกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวในระดับอุตสาหกรรมของโรงงาน ข (รูปที่ 4.1 (ข)) วัตถุดิบที่เข้ามาเป็นมะพร้าวล่อน (ปอกเปลือกแล้ว) และถูกนำมาแปรรูปเป็นมะพร้าวขาวโดยโรงงานเองทั้งหมด เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด เนื้อมะพร้าวขาว ถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) เนื้อมะพร้าวขาวที่ถูกแช่น้ำเปล่าทิ้งไว้นาน 5-6 ชม. ก่อนล้าง และ 2) เนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่ที่เข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเลยทันที

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 4.1 (ก) แผนผังกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก (ระดับชุมชน)



รูปที่ 4.1 (ข) แผนผังกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก (ระดับชุมชน) และ โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และ โรงงาน ข

ขั้นตอน	รายละเอียด	
	โรงงาน ก (ระดับชุมชน)*	โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)*
1. การรับซื้อและการจัดการวัตถุดิบ	รับซื้อมะพร้าวผลทั้งลูกจากชาวสวนมะพร้าวในพื้นที่ โดยซื้อแบบคละขนาด เก็บรวมกันเป็นกอง ทิ้งไว้บนลานดิน	รับซื้อมะพร้าวล่อนจากชาวสวนมะพร้าวในพื้นที่ โดยซื้อแบบคละขนาด มีการจัดการและจัดเก็บวัตถุดิบ (ช่องรับมะพร้าวล่อน)
2. การปอกเปลือก	การปอกเปลือกมะพร้าวผล ใช้แรงงานคนและมีดสำหรับปอกเปลือกมะพร้าวโดยเฉพาะ และเกลาเส้นใยที่ติดกะลาออกจนเกลี้ยง ได้มะพร้าวล่อน	-
3. การกะเทาะ	นำมะพร้าวล่อนมากะเทาะเอาส่วนกะลาออกโดยใช้แรงงานคนและขวาน ได้มะพร้าวดำ	นำมะพร้าวล่อนมากะเทาะเอาส่วนกะลาออกโดยใช้เครื่องกะเทาะ ได้มะพร้าวดำ
4. ขูดผิว	นำมะพร้าวดำมาขูดเอาส่วนผิวดำออก ใช้แรงงานคนและมีดขูดผิว จะได้มะพร้าวขาว	นำมะพร้าวดำมาขูดเอาส่วนผิวดำออก ใช้แรงงานคนและมีดขูดผิว จะได้มะพร้าวขาว
5. การเฉาะ	- นำลูกมะพร้าวขาวมาเฉาะเอาส่วนน้ำมะพร้าวออก ได้ส่วนเนื้อมะพร้าวขาว	- นำลูกมะพร้าวขาวมาเฉาะเอาส่วนน้ำมะพร้าวออก ได้ส่วนเนื้อมะพร้าวขาว
6. การล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาวด้วยน้ำผสมคลอรีนและแช่เย็นส่งโรงงานกะทิ	- การล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาวโดยใช้เครื่องล้าง มี 2 แบบ คือ 1) กรณีโรงงานผลิตมะพร้าวขาวเอง เนื้อมะพร้าวขาวถูกแช่ในน้ำเปล่าทิ้งไว้นาน 4-6 ชม. ก่อนนำมาล้างน้ำทำความสะอาด 2) กรณีโรงงานรับซื้อเนื้อมะพร้าวขาวจากผู้ผลิตรายย่อยในพื้นที่ - การเตรียมน้ำผสมคลอรีน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl 10%) 20 กิโลกรัม ต่อน้ำ 3.2 คิว (3,200 ลิตร) พร้อมกับปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) - เนื้อมะพร้าวขาวถูกนำมาล้างทำความสะอาดในน้ำ แล้วจึงถูกนำมาแช่ในน้ำผสม	- เนื้อมะพร้าวขาวส่วนที่เตรียมเสร็จก่อนในแต่ละวันจะถูกแช่น้ำเปล่านาน 5-6 ชม. ก่อนนำไปล้างด้วยน้ำผสมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl 10%) ในอัตราส่วน 6 กิโลกรัม ต่อน้ำ 1 คิว (1,000 ลิตร) หลังจากนั้น ถูกนำมาผ่านการล้างด้วยน้ำเปล่าในขั้นตอนสุดท้ายก่อนเข้าตู้แช่เย็นและส่งไปยังโรงงานกะทิ ส่วนเนื้อมะพร้าวขาวที่เตรียมเสร็จในช่วงหลัง (ช่วงบ่าย) จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำผสม NaOCl 10% ทันทีโดยไม่ผ่านการแช่น้ำเปล่านาน 5-6 ชม.

	คลอรีน (NaOCl 10%) นาน 20-30 นาที ก่อนขนขึ้นตู้แช่เย็นและส่งไปยังโรงงานกะทิ	

หมายเหตุ * โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

4.1.2.1.2 วัตถุดิบที่ป้อนเข้าและสารออกทั้งหมด

จากกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ มะพร้าวผลทั้งลูกและมะพร้าวล่อน (ปอกเปลือกแล้ว) และสารเคมี ได้แก่ คลอรีนในรูปสารละลาย NaOCl 10% นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำ ไฟฟ้า และน้ำแข็งในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของแข็งและของเหลวได้แก่ เปลือก กะลา ผิวมะพร้าว น้ำมะพร้าว น้ำทิ้งทั้งส่วนที่มีการปนเปื้อนคลอรีนและไม่ปนเปื้อนคลอรีน (รูปที่ 4.1 (ก) และ (ข)) รายละเอียดวัตถุดิบที่ป้อนเข้า ผลิตภัณฑ์ พลังงาน และของเหลือทิ้งที่ออกจากระบบทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ก) และ (ข)

ตารางที่ 4.2 (ก) แสดงประเภทวัตถุดิบที่ป้อนเข้า ผลิตภัณฑ์ พลังงาน และของเหลือทิ้งจากระบบของโรงงาน ก

ขั้นตอน	วัตถุดิบที่ป้อนเข้า	ผลิตภัณฑ์	พลังงานและทรัพยากรที่ใช้	ของเหลือทิ้งออกจากระบบ
1. การปอกเปลือก	มะพร้าวผล	มะพร้าวล่อน	-	เปลือก
2. การกะเทาะ	มะพร้าวล่อน	มะพร้าวดำ	-	กะลา
3. ขูดผิว	มะพร้าวดำ	มะพร้าวขาว	น้ำ	ผิวดำ, น้ำทิ้ง
4. การเฉาะ	มะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	น้ำ	น้ำมะพร้าว, น้ำทิ้ง
5. การล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ	น้ำทิ้ง
6. แช่น้ำผสมคลอรีน	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ, คลอรีน	น้ำทิ้งผสมคลอรีน
7. การแช่เย็น	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ, น้ำแข็ง	น้ำทิ้ง

ตารางที่ 4.2 (ข) แสดงประเภทวัตถุดิบที่ป้อนเข้า ผลิตภัณฑ์ พลังงาน และของเหลือทิ้งจากระบบของโรงงาน ข

ขั้นตอน	วัตถุดิบที่ป้อนเข้า	ผลิตภัณฑ์	พลังงานและทรัพยากรที่ใช้	ของเหลือทิ้งออกจากระบบ
1. การกะเทาะ	มะพร้าวล่อน	มะพร้าวดำ	ไฟฟ้า	กะลา
2. ขูดผิว	มะพร้าวดำ	มะพร้าวขาว	ไฟฟ้า	ผิวดำ, น้ำทิ้ง
3. การเฉาะ	มะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า	น้ำมะพร้าว, น้ำทิ้ง
4. ล้างน้ำผสมคลอรีน	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ, คลอรีน	น้ำทิ้งผสมคลอรีน
5. ล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ	น้ำทิ้ง
6. การแช่เย็น	เนื้อมะพร้าวขาว	เนื้อมะพร้าวขาว	ไฟฟ้า, น้ำ, น้ำแข็ง	น้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้วัตถุดิบ สารเคมี น้ำ และพลังงานสำหรับกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว ทั้ง 2 โรงงาน ดังตารางที่ 4.3

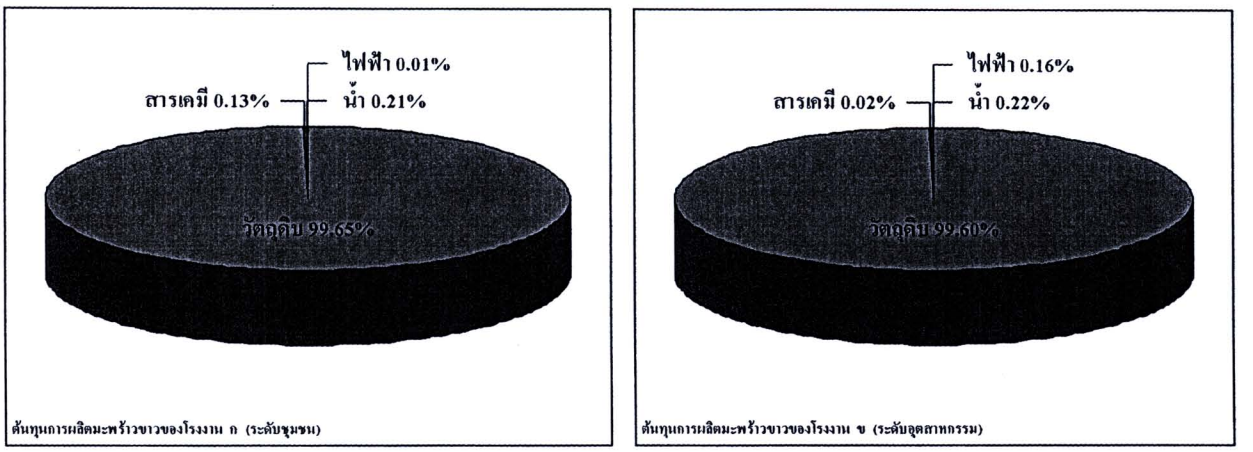
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบ สารเคมี น้ำ และพลังงานจากการผลิตมะพร้าวขาว

รายการ	โรงงาน ก *		โรงงาน ข *	
	ปริมาณการใช้ (หน่วย)	ราคา (บาท)	ปริมาณการใช้ (หน่วย)	ราคา (บาท)
1. วัตถุดิบ		**310,000**		**264,000**
- มะพร้าวผลทั้งลูก (ราคา 10 บาท/กก.)	21 ตัน	210,000	-	-
- มะพร้าวล่อน (ราคา 11 บาท/กก.)	-	-	24 ตัน	264,000
- มะพร้าวขาว (ราคา 25 บาท/กก.)	4	100,000	-	-
2. สารเคมี				
- คลอรีน (10% NaOCl) (ราคา 5 บาท/กก.)	80 กิโลกรัม	400	12 กิโลกรัม	60
3. น้ำ		**650**		**585**
- น้ำใช้ (น้ำดี)	58,000 ลิตร	150	35,000 ลิตร	85
- น้ำแข็ง	1 ตัน	500	1 ตัน	500
4. พลังงาน				
- ไฟฟ้า	12.91 กิโลวัตต์ชั่วโมง	31.50	180 กิโลวัตต์ชั่วโมง	430
รวม **		**311,081.50**		**265,075**

หมายเหตุ * โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

** ค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตมะพร้าวขาว 10 ตัน ที่ไม่รวมค่าแรงคนงาน

สัดส่วนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายหลักในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข คือ ค่าวัตถุดิบ คิดเป็น 99.65% และ 99.60% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ตามลำดับ ดังนั้นในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงานต้องให้ความสำคัญกับการจัดการวัตถุดิบและลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สูงสุด



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 สัดส่วนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว (ก) โรงงาน ก และ (ข) โรงงาน ข

จากกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งออกจากระบบ แยกออกเป็น 2 ประเภท คือ ของแข็ง (เปลือกมะพร้าว กะลามะพร้าว ผิวดำ มะพร้าวเสียและจาวมะพร้าว) และของเหลว (น้ำมะพร้าว น้ำทิ้ง และน้ำทิ้งผสมคลอรีน) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงชนิดและปริมาณของเหลือทิ้งจากการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

ประเภท/ชนิดของเหลือทิ้ง	ปริมาณ (หน่วย)		การใช้ประโยชน์
	โรงงาน ก *	โรงงาน ข *	
1. ของแข็ง			
1.1 เปลือกมะพร้าว (ตัน/10 ตันมะพร้าวขาว)	6.3	-	ขาย
1.2 กะลามะพร้าว (ตัน/10 ตันมะพร้าวขาว)	3.15	5.14	ขาย
1.3 ผิวดำ (ตัน/10 ตันมะพร้าวขาว)	1.05	1.71	ขาย
1.4 มะพร้าวเสียและจาวมะพร้าว (ตัน/10 ตันมะพร้าวขาว)	0.27	0.24	ขาย
1.5 มะพร้าวขาวสีเหลือง/เขียว (ตัน/10 ตันมะพร้าวขาว)	0.03	0.05	ขาย
2. ของเหลว			
2.1 น้ำมะพร้าว (ลิตร/10 ตันมะพร้าวขาว)	4,200	6,860	ขาย
2.2 น้ำทิ้ง (ลิตร/10 ตันมะพร้าวขาว)	45,120	32,990	ทิ้ง
2.3 น้ำทิ้งผสมคลอรีน (ลิตร/10 ตันมะพร้าวขาว)	12,880	2,010	ทิ้ง

หมายเหตุ * โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

4.1.2.1.3 การเลือกหัวข้อเน้นสำหรับการตรวจประเมินละเอียด

การกำหนดรายละเอียดของเป้าหมาย CT ในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว ผลจากการตรวจประเมินเบื้องต้นจะถูกนำมาใช้ในการเลือกหัวข้อเน้นสำหรับการตรวจประเมินละเอียดต่อไป โดยการเลือกหัวข้อเน้นจะพิจารณาจากประเด็นปัญหาของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพการผลิตเบื้องต้นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาณของเหลือทิ้งที่ออกจากระบบ ปริมาณการใช้พลังงานและทรัพยากรและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เป็นต้น และทำการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	ปริมาณ (หน่วย)		การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อม**									
			โรงงาน ก					โรงงาน ข				
	โรงงาน ก*	โรงงาน ข*	Q	E	D	รวม	ความสำคัญ	Q	E	D	รวม	ความสำคัญ
1. ของเหลือทิ้งของแข็ง												
1.1 เปลือกมะพร้าว (ตัน)	6.3	-	1	1	1	**1**	❹	-	-	-	-	-
1.2 กะลามะพร้าว (ตัน)	3.15	5.14	1	1	1	**1**	❹	1	1	1	**1**	❹
1.3 ผิวดำ (ตัน)	1.05	1.71	1	1	1	**1**	❹	1	1	1	**1**	❹
1.4 มะพร้าวเสียและจาวมะพร้าว (วัตถุดิบ), (ตัน)	0.27	0.24	1	2	1	**2**	❸	1	2	1	**2**	❸
1.5 มะพร้าวขาวสีเหลือง/เขียว (ผลิตภัณฑ์), (ตัน)	0.03	0.05	1	2	1	**2**	❸	1	2	1	**2**	❸
2. ของเหลือทิ้งของเหลว												
2.1 น้ำมะพร้าว (ลิตร)	4,200	6,860	1	1	1	**1**	❹	1	1	1	**1**	❹
2.2 น้ำทิ้ง (ลิตร)	45,120	32,990	3	2	2	**12**	❷	3	2	2	**12**	❷
2.3 น้ำทิ้งผสมคลอรีน (ลิตร)	12,880	2,010	2	3	3	**18**	❶	2	3	3	**18**	❶
3. น้ำใช้ (น้ำดี) (ลิตร)	58,000	35,000	3	2	2	**12**	❷	2	3	2	**12**	❷
4. พลังงาน												
4.1 ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	12.91	180	1	1	1	**1**	❹	2	1	1	**2**	❸

หมายเหตุ * โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

** การจัดลำดับความสำคัญโดยใช้ QED (Quantity, Effect, Distribution)

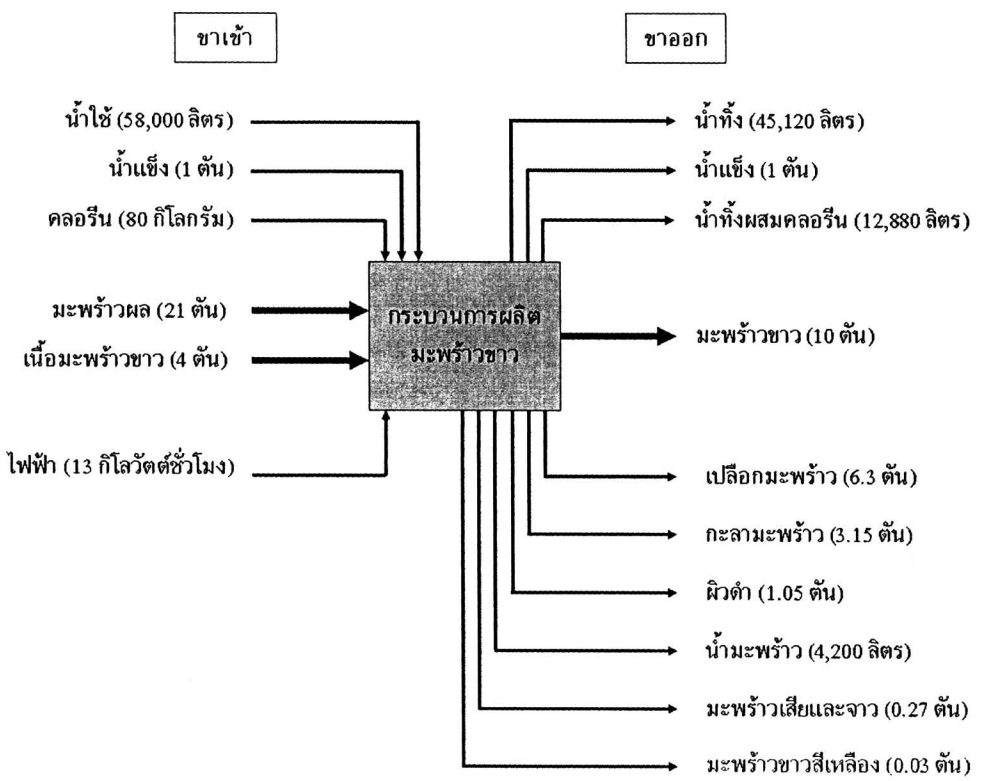
จากการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน พบว่า ลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้ง 2 โรงงาน เหมือนกัน คือ ปัญหาคุณภาพน้ำทิ้ง (จากขั้นตอนการล้างและน้ำทิ้งผสมคลอรีน) ปริมาณน้ำใช้ (น้ำดี) ปริมาณมะพร้าวเสีย คุณภาพของมะพร้าวขาว และวัสดุเหลือทิ้ง (เปลือกมะพร้าว กะลามะพร้าว ผิวดำ และน้ำมะพร้าว) ตามลำดับ ดังนั้นประเด็นหัวข้อเน้นสำหรับการตรวจประเมินละเอียด ได้แก่ วัตถุดิบ คุณภาพมะพร้าวขาว และน้ำทิ้ง (ขั้นตอนการล้างและน้ำทิ้งผสมคลอรีน) ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ

4.1.2.2 ผลการตรวจประเมินละเอียด (Detail assessment)

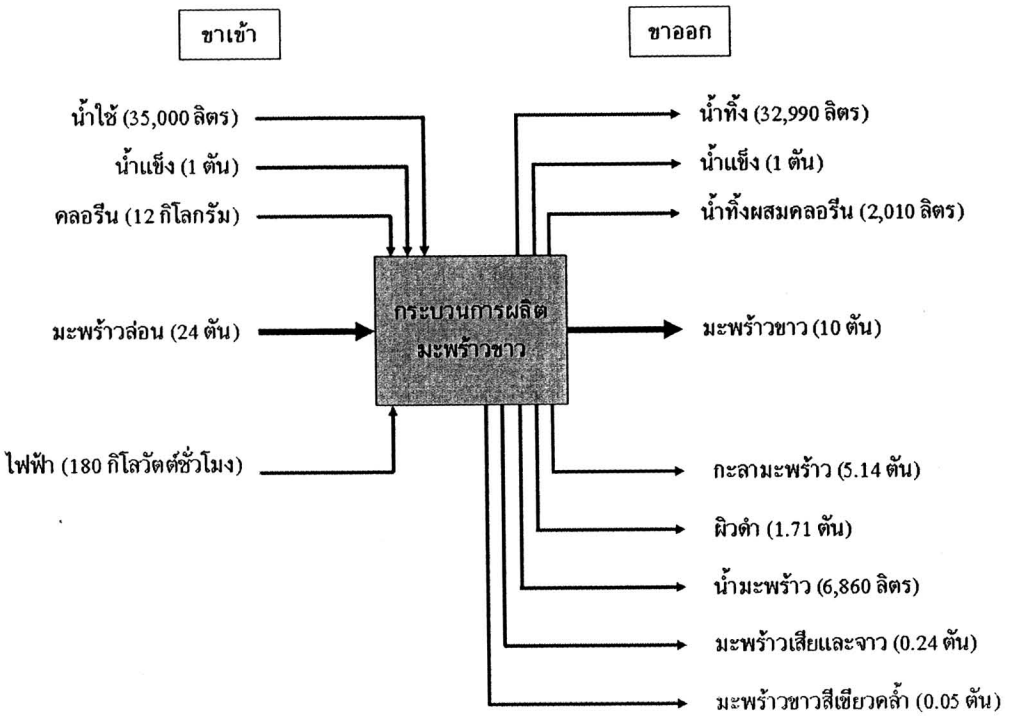
การนำผลจากการตรวจประเมินเบื้องต้นมาทำการตรวจประเมินละเอียด เพื่อสร้างชุดข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด (CT-options) โดยมีผลการดำเนินการ ดังนี้

4.1.2.2.1 การจัดทำดุลมวลสาร

การนำข้อมูลและแผนภาพของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน จากการตรวจประเมินเบื้องต้น มาจัดทำสมดุลมวลสาร เพื่อให้ทราบปริมาณสารเข้าและออก ได้แก่ วัตถุดิบ น้ำ ไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ และของเหลือทิ้ง เป็นต้น (รูปที่ 4.3 (ก) และ (ข))



(ก) โรงงาน ก (ระดับชุมชน)



(ข) โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)

รูปที่ 4.3 แสดงสมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก (ก) และโรงงาน ข (ข)

4.1.2.2.2 การตรวจประเมินหาสาเหตุ

จากการตรวจประเมินหาสาเหตุของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน โดยพิจารณาจากวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ ของเหลือทิ้ง วิธีการปฏิบัติงาน และเทคโนโลยี โดยอาศัยข้อมูลจากการทำดุลมวลสาร นำมาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุ มีรายละเอียดดังนี้

1) การรับซื้อและการจัดการวัตถุดิบ

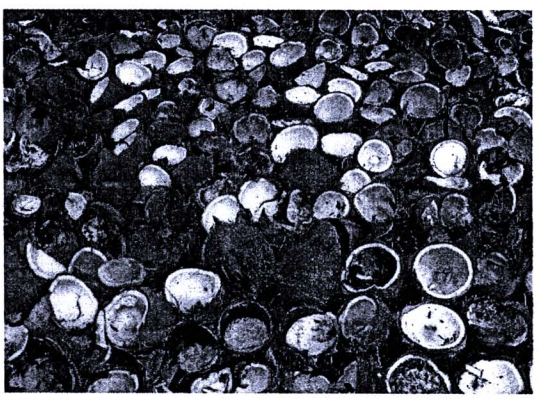
การรับซื้อวัตถุดิบของโรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม) จะรับซื้อในรูปของมะพร้าวล่อนจากเกษตรกรสวนมะพร้าวในพื้นที่ โดยซื้อแบบคละขนาด มีการจัดการและจัดเก็บมะพร้าวขาเข้า (ช่องรับมะพร้าวล่อน) ดังรูปที่ 4.4 (ข) มีมะพร้าวเสียหาย เช่น การงอก เกิดจาวมะพร้าว และการเน่าเสีย (รูปที่ 4.5) อยู่ประมาณ 1-3% ของปริมาณการผลิตมะพร้าวขาวต่อวัน สำหรับโรงงาน ก (ระดับชุมชน) รับซื้อมะพร้าวผลทั้งลูก เก็บรวมกัน และกองบนลานดินกลางแจ้ง ดังรูปที่ 4.4 (ก) เกิดมะพร้าวเสียหายสูงกว่า คือ ประมาณ 5% ของปริมาณการผลิตมะพร้าวขาวต่อวัน

(ก) โรงงาน ก (ระดับชุมชน)

(ข) โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)

รูปที่ 4.4 การรับซื้อและการจัดการวัตถุดิบของโรงงานผลิตมะพร้าวขาว โรงงาน ก (ก) และโรงงาน ข (ข)

จาวมะพร้าว



มะพร้าวเน่าเสีย

รูปที่ 4.5 ลักษณะการเสียหายของมะพร้าว

2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์มะพร้าวขาว

2.1) เนื้อมะพร้าวขาวมีสีเหลือง

ปัญหาหลักในด้านคุณภาพของมะพร้าวขาวที่ผลิตได้ คือ เนื้อมะพร้าวขาวมีสีเหลือง จากการสำรวจ พบว่า ทั้งโรงงาน ก และ ข มีการเตรียมเนื้อมะพร้าวขาวก่อนสู่ขั้นตอนล้างทำความสะอาดและแช่น้ำผสมคลอรีน โดยนำมะพร้าวขาวไปแช่ในน้ำ ทิ้งไว้นาน 4-6 ชม. เกิดปัญหาเนื้อมะพร้าวขาวมีสีเหลือง (รูปที่ 4.6 (ก)) จากการวิเคราะห์เนื้อมะพร้าวขาวโดยดูจากค่าสี พบว่า เนื้อมะพร้าวขาวที่ถูกแช่น้ำ ทิ้งไว้นาน 4-6 ชม. มีค่าความสว่างหรือสีขาว (L) น้อยกว่าเนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีค่าสีเหลือง (b) มากกว่าเนื้อมะพร้าวสดใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 4.6) นอกจากนี้ พบว่า เนื้อมะพร้าวขาวที่ถูกแช่น้ำ ทิ้งไว้นาน 5-6 ชม. นั้น ส่วนที่อยู่เหนือน้ำจะมีสีเขียวคล้ำ (รูปที่ 4.6 (ข)) จากการวิเคราะห์วัดค่าสี พบว่า เนื้อมะพร้าวขาวส่วนที่อยู่เหนือน้ำ มีค่าความสว่างหรือสีขาว (L) ต่ำกว่าเนื้อมะพร้าวขาวที่อยู่ใต้น้ำ และเนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าสีเขียว (a) มากกว่าเนื้อมะพร้าวขาวที่อยู่ใต้น้ำ และเนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะสีของเนื้อมะพร้าวขาว (ก) มะพร้าวขาวของโรงงาน ก ที่แช่น้ำ นาน 4-6 ชม. และ (ข) มะพร้าวขาวของโรงงาน ข ที่แช่น้ำ นาน 5-6 ชม.

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสีของตัวอย่างเนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่และที่แช่น้ำก่อนนำไปแช่น้ำผสมคลอรีน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L	a	b
โรงงาน ก			
1. เนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่	86.15 [a]	-	6.63 [a]
2. เนื้อมะพร้าวขาวแช่น้ำ นาน 4-6 ชม.	80.57 [b]	-	7.12 [b]
โรงงาน ข			
1. เนื้อมะพร้าวขาวสดใหม่	84.12 [a]	-0.75 [b]	6.50 [a]
2. เนื้อมะพร้าวขาวแช่น้ำ นาน 5-6 ชม.			
2.1 ส่วนใต้น้ำ	86.15 [a]	-0.37 [b]	6.02 [a]
2.2 ส่วนเหนือน้ำ	58.06 [b]	0.54 [a]	3.66 [b]

หมายเหตุ L คือ ค่าความสว่างของตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100, 0 (สว่างน้อย-คล้ำ) → 100 (สว่างมาก-ขาว)

a คือ ค่าสีเขียวของตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100, 0 (เขียวอ่อน) → 100 (เขียวเข้ม)

b คือ ค่าสีเหลืองของตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100, 0 (เหลืองอ่อน) → 100 (เหลืองเข้ม)

ปัญหาเนื้อมะพร้าวขาวมีสีเหลืองหรือสีคล้ำ อาจเกิดจากการที่เนื้อมะพร้าวขาวส่วนที่ไม่แช่น้ำมีการสัมผัสอากาศในสภาพที่มีแสงประกอบด้วย ทำให้ช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation นอกจากนี้อาจเกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ในเซลล์ย่อยสารประกอบพวกฟีนอลิก (phenolic compound) เกิดเป็นสารประกอบพวกเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นสารประกอบสีน้ำตาล [Marshall, M. *et al.*, 2000 และ พิศมัย ศรีชาเยช และคณะ, 2551]

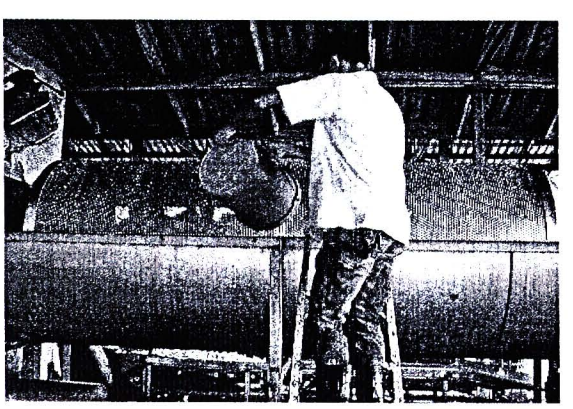
2.2) ความเป็นกรด-ด่างของเนื้อมะพร้าวขาว

ในขั้นตอนการนำมะพร้าวขาวมาแช่หรือล้างด้วยน้ำผสมคลอรีน สำหรับโรงงาน ก มีการเตรียมน้ำผสมคลอรีน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl 10%) 20 กิโลกรัม ต่อน้ำ 3,200 ลิตร พร้อมกับปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากนั้นนำเนื้อมะพร้าวขาวมาแช่ในน้ำผสมคลอรีน นาน 20-30 นาที ก่อนขนขึ้นตู้แช่เย็น ปรากฏว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อมะพร้าวขาวในบางครั้งเมื่อถึงโรงงานไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ (pH ไม่ต่ำกว่า 5.5) (ตารางที่ 4.7) สาเหตุอาจเกิดจากวิธีการเตรียมน้ำผสมคลอรีนไม่ถูกต้องทั้งด้านปริมาณความเข้มข้นและวิธีการผสม เนื่องจากคนงานขาดระเบียบวินัย การใช้สัดส่วนของคลอรีนและน้ำไม่แน่นอน อาศัยประมาณการ การผสมน้ำกับคลอรีนไม่ทั่วถึงก่อนแช่เนื้อมะพร้าวขาว (รูปที่ 4.7 (ก))

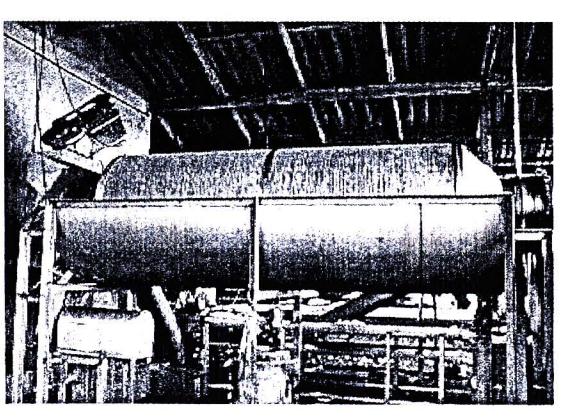
สำหรับโรงงาน ข เตรียมน้ำผสมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl 10%) ในอัตราส่วน 6 กิโลกรัม ต่อน้ำ 1 คิว (1,000 ลิตร) แต่ไม่มีปัญหาเรื่องคุณภาพมะพร้าวขาวด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง (ตารางที่ 4.7) เนื่องจากวิธีการเตรียมน้ำผสมคลอรีนที่มีการชั่งตวงปริมาณสัดส่วนที่แน่นอน และผสมน้ำกับคลอรีนได้ทั่วถึงโดยใช้เครื่องผสม และการล้างมะพร้าวขาวผ่านเครื่องล้าง ทำให้เนื้อมะพร้าวขาวสัมผัสน้ำผสมคลอรีนทุกชิ้น (รูปที่ 4.7 (ข))

(ก1)

(ก2)



(ข1)



(ข2)

รูปที่ 4.7 ลักษณะการเตรียมน้ำผสมคลอรีนและการล้างมะพร้าวขาวของโรงงาน ก (ก) และโรงงาน ข (ข)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณคลอรีนในเนื้อมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

พารามิเตอร์	คุณภาพมะพร้าวขาว		มาตรฐานเนื้อมะพร้าวขาว
	โรงงาน ก	โรงงาน ข	
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.7 ± 0.01	6.3 ± 0.02	ไม่ต่ำกว่า 5.5 *
2. ปริมาณคลอรีน (mg/L)	13	20-25	ไม่เกิน 250 mg/L **

หมายเหตุ * กำหนดมาตรฐานค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อมะพร้าวขาวโดย บริษัท เทพผดุงพรมะพร้าว จำกัด

** กำหนดมาตรฐานปริมาณคลอรีนในอาหารโดย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก., 2521)

3) ปริมาณน้ำใช้

ในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวทั้งโรงงาน ก และโรงงาน ข มีการใช้น้ำในขั้นตอนต่างๆ 4 ขั้นตอน (รูปที่ 4.1 (ก) และ (ข)) คือ 1) การล้างทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นในบริเวณการกะเทาะและขูดผิวมะพร้าว 2) การล้างทำความสะอาดเนื้อมะพร้าวขาว 3) การแช่หรือล้างน้ำผสมคลอรีน และ 4) การล้างทำความสะอาดเครื่องล้าง พื้นหรือแทงค์ และรถบรรทุกขนผลผลิตมะพร้าวขาว ปริมาณการใช้น้ำรวมต่อการผลิตมะพร้าวขาว 10 ตัน ของโรงงาน ก และโรงงาน ข ประมาณ 58,000 ลิตร และ 35,000 ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนของการผลิตมะพร้าวขาว พบว่า โรงงาน ก มีปริมาณการใช้น้ำสูงในขั้นตอนการล้างมะพร้าวขาว และการแช่น้ำผสมคลอรีน ประมาณร้อยละ 72.27 และ 22.21 ของปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด ตามลำดับ สำหรับโรงงาน ข มีปริมาณการใช้น้ำสูงในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นในบริเวณกะเทาะและขูดผิวมะพร้าว และการทำความสะอาดเครื่องล้างมะพร้าวขาว ประมาณร้อยละ 59.03 และ 29.51 ของปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

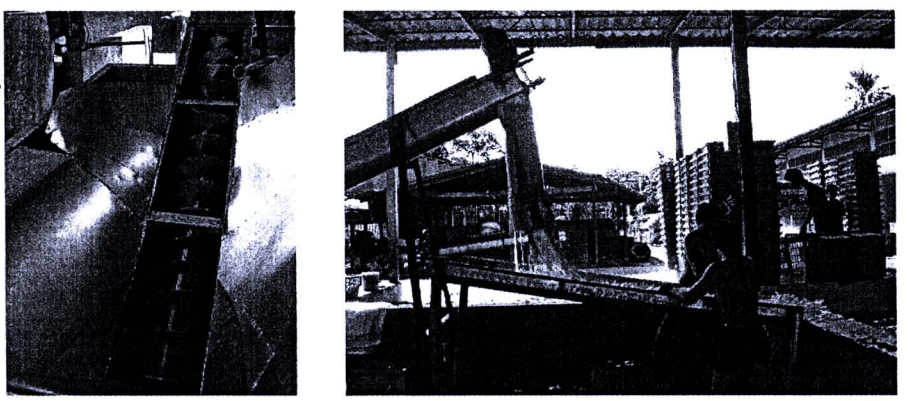
ขั้นตอน	ปริมาณน้ำที่ใช้ (หน่วย ; ลิตร)	
	โรงงาน ก *	โรงงาน ข *
1. การล้างทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นในขั้นตอนการกะเทาะ/ขูดผิว	2,700 ± 200 (4.66%)	20,660 ± 500 (59.03%)
2. การล้างทำความสะอาดเนื้อมะพร้าวขาว	41,920 ± 1,000 (72.27%)	2,000 ± 200 (5.72%)
3. การแช่หรือล้างน้ำผสมคลอรีน	12,880 ± 500 (22.21%)	2,010 ± 200 (5.74%)
4. การล้างทำความสะอาดเครื่องล้าง พื้น/แทงค์ และรถบรรทุก	500 ± 100 (0.86%)	10,330 ± 500 (29.51%)
รวม	**58,000**	**35,000**

หมายเหตุ * โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

(%) คิดเป็นร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้รวมทั้งหมด

4) คุณภาพน้ำทิ้ง

จากการพิจารณาทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว พบว่า น้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างมะพร้าวขาวและน้ำผสมคลอรีนเป็นประเด็นปัญหาสำคัญของการผลิตมะพร้าวขาว โดยโรงงาน ก การนำมะพร้าวขาวเข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดโดยใช้เครื่องล้างก่อนแช่น้ำผสมคลอรีน การทำงานของเครื่องล้างทำงานในลักษณะปั่นเหวี่ยงด้วยความรุนแรง (รูปที่ 4.8) และเกิดแรงกระแทกต่อเนื้อมะพร้าวขาวทำให้น้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างมีไขมันปนเปื้อนสูง ประมาณ 5,600 mg/L (ตารางที่ 4.9)



รูปที่ 4.8 ลักษณะการทำงานของเครื่องล้างมะพร้าวขาว

ตารางที่ 4.9 แสดงคุณภาพน้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างและการแช่น้ำผสมคลอรีนในการผลิตมะพร้าวขาว

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำทิ้ง			มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง **
	น้ำจากการล้างเนื้อมะพร้าวขาว *	น้ำผสมคลอรีนที่ผ่านการแช่เนื้อมะพร้าวขาว		
		โรงงาน ก	โรงงาน ข	
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.0	7.0 – 8.0	6.8 – 7.6	5.0 – 9.0
2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	5,100	1,500 – 2,200	4,000	ไม่เกิน 250 mg/L
3. ปริมาณคลอรีน (mg/L)	190	250 - 288	220 – 275	ไม่เกิน 1 mg/L
4. ปริมาณไขมัน (mg/L)	5,600	1,000 - 2,700	11,230	ไม่เกิน 50 mg/L
5. ค่า COD (mg/L)	127.26	127 - 128	140-150	ไม่เกิน 400 mg/L

หมายเหตุ * โรงงาน ก

** มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

สำหรับคุณภาพน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวในขั้นตอนการล้างเนื้อมะพร้าวขาวด้วยน้ำผสมคลอรีน พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งที่ผสมคลอรีน ทั้ง 2 โรงงาน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า COD ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง แต่สำหรับปริมาณของแข็ง คลอรีน และ ไขมัน สูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งกำหนด จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 4.9

4.1.2.2.3 การสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด (CT-options)

จากการทำสมดุลมวลสาร และการวิเคราะห์แหล่งกำเนิด/สาเหตุของการเกิดของเหลือทิ้ง สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในขั้นตอนการสร้างข้อเสนอ CT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดการสูญเสียของผลผลิต และลดการปลดปล่อยของเหลือทิ้ง ได้ข้อเสนอ CT สำหรับการผลิตมะพร้าวขาวทั้ง 2 โรงงาน ประกอบด้วย ประเด็นปัญหาด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และด้านสิ่งแวดล้อม สาเหตุและแนวทางแก้ไขสำหรับการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงประเด็นปัญหาด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต รวมทั้งสาเหตุและแนวทางแก้ไขสำหรับการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

ประเด็นปัญหา	โรงงาน ก (ระดับชุมชน)			โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)		
	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข
1. วัตถุดิบ	เกิดมะพร้าวเสีย 5%	ขาดการจัดการและการจัดลำดับการรับซื้อมะพร้าวผล	เพิ่มการจัดการและการจัดลำดับการรับซื้อ โดย "First in – First out"	มะพร้าวเสีย 1-3%	-	-
2. คุณภาพมะพร้าวขาว 2.1 ด้านสี	เนื้อมะพร้าวขาวมีสีเหลือง	- เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำนานเกินไป เกิด Oxidation ของเนื้อมะพร้าวขาวในส่วนที่แช่พ้นน้ำ	- แช่น้ำให้ท่วมเนื้อมะพร้าวขาว โดยปรับสัดส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวขาวให้เหมาะสม	เนื้อมะพร้าวขาวมีสีเขียวคล้ำ	- เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำนานเกินไป เกิด Oxidation ของเนื้อมะพร้าวขาวในส่วนที่แช่พ้นน้ำ	- แช่น้ำให้ท่วมเนื้อมะพร้าวขาว โดยปรับสัดส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวขาวให้เหมาะสม
3. น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต 3.1 ปริมาณน้ำทิ้ง	ปริมาณน้ำทิ้งสูง	- การล้างมะพร้าวขาวโดยเครื่องล้าง ซึ่งน้ำจะถูกปล่อยทิ้งตลอดเวลา - การแช่/ล้างน้ำผสมคลอรีน ซึ่งไม่มีการควบคุมปริมาณสัดส่วนระหว่างน้ำผสมคลอรีนกับมะพร้าวขาวที่แน่นอน	- ทำระบบน้ำวน เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ล้างมะพร้าวขาวใหม่ - ติดตั้งวาล์วควบคุมปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำทิ้งสูง	- การล้างทำความสะอาดเครื่องจักรและพื้นห้อง กะเทาะและขูดผิว เครื่องล้างเนื้อมะพร้าวขาว และรถบรรทุกขนมะพร้าวขาว โดยใช้สายยางฉีดน้ำ	- ปรับเปลี่ยนหัวฉีดทำความสะอาดเป็นหัวฉีดแรงดัน เพื่อประหยัดน้ำ

ตารางที่ 4.10 แสดงประเด็นปัญหาด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต รวมทั้งสาเหตุและแนวทางแก้ไขสำหรับการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข (ต่อ)

ประเด็นปัญหา	โรงงาน ก (ระดับชุมชน)			โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)		
	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข
3.2 คุณภาพน้ำทิ้ง	น้ำทิ้งมีปริมาณไขมันปนเปื้อนสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	แรงกระแทกจากเครื่องล้างต่อมะพร้าวขาวในขั้นตอนการล้างมะพร้าวขาวโดยเครื่องล้าง	- ปรับลดความเร็วรอบของการหมุนของเครื่องล้าง และลดระดับความสูงของการตกจากเครื่องล้างของมะพร้าวขาว - มีบ่อดักไขมันก่อนทิ้งลงบ่อรวม	น้ำทิ้งมีปริมาณไขมันปนเปื้อนสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	การล้างเนื้อมะพร้าวขาวโดยเครื่องล้าง : การใช้ปริมาณน้ำน้อยต่อการล้างมะพร้าวขาวปริมาณมากๆ	- ควรแยกน้ำทิ้งส่วนนี้ออกจากท่อน้ำทิ้งรวม เนื่องจากมีปริมาณไม่มาก ง่ายต่อการจัดการ - ควรมีบ่อดักไขมันก่อนทิ้งลงบ่อรวม
	น้ำทิ้งมีปริมาณคลอรีนสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	การใช้คลอรีนที่ความเข้มข้นสูงในขั้นตอนการล้างมะพร้าวขาว	ลดปริมาณของคลอรีนลงร้อยละ 20 ของปริมาณที่ใช้เดิม	น้ำทิ้งมีปริมาณคลอรีนสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	การใช้คลอรีนที่ความเข้มข้นสูงในขั้นตอนการล้างมะพร้าวขาว	ลดปริมาณของคลอรีนลงร้อยละ 20 ของปริมาณที่ใช้เดิม
	น้ำทิ้งมีปริมาณของแข็งสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	แรงกระแทรกของเครื่องล้างมะพร้าวขาว ทำให้มีกากตะกอนของเนื้อมะพร้าวขาวปนเปื้อน	- ควรแยกน้ำทิ้งส่วนนี้ออกจากท่อน้ำทิ้งรวม และมีบ่อดักตะกอนแยกก่อนทิ้งลงบ่อรวม	น้ำทิ้งมีปริมาณของแข็งสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง	การล้างเนื้อมะพร้าวขาวโดยเครื่องล้าง : การใช้ปริมาณน้ำน้อยต่อการล้างมะพร้าวขาวปริมาณมากๆ	- ควรแยกน้ำทิ้งส่วนนี้ออกจากท่อน้ำทิ้งรวม เนื่องจากมีปริมาณไม่มาก ง่ายต่อการจัดการ - ควรมีบ่อดักตะกอนแยกก่อนทิ้งลงบ่อรวม

4.1.2.2.4 การคัดเลือกข้อเสนอ CT

การคัดเลือกข้อเสนอสำหรับนำไปใช้ และการนำข้อเสนอ CT ถ่ายทอดให้กับผู้ประกอบการเพื่อนำไปปฏิบัติ โดยมีหลักการพิจารณา 3 ประการ ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางเทคนิคหรือความเหมาะสมในการนำไปปฏิบัติ ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ และความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อม

การคัดเลือกข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดสำหรับใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ต่อไป ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข

ข้อเสนอ การจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	โรงงาน ก (ระดับชุมชน)	โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)
1. การจัดการวัตถุดิบ	• การจัดการและการจัดลำดับการรับซื้อวัตถุดิบ โดยระบบ “First in – First out”	-
2. การปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี	• การปรับลดความเร็วรอบของการหมุนของเครื่องล้างมะพร้าวขาว	• การใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยาง
	• การติดตั้งวาล์วควบคุมปริมาณน้ำในบ่อสำหรับแช่มะพร้าวขาว	-
3. วิธีการผลิต/การจัดการ	• การลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ในขั้นตอนการแช่หรือล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีน	• การลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ในขั้นตอนการแช่หรือล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีน
	• การแช่เนื้อมะพร้าวขาว โดยแช่ในน้ำไม่เกิน 1 ชม. และแช่ให้น้ำท่วมเนื้อมะพร้าวขาว	• การแช่เนื้อมะพร้าวขาว โดยแช่ในน้ำไม่เกิน 1 ชม. และแช่ให้น้ำท่วมเนื้อมะพร้าวขาว
	• การแยกท่อน้ำทิ้งระหว่างขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ/พื้น กับขั้นตอนการล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาว และขั้นตอนการแช่หรือล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีน	• การแยกท่อน้ำทิ้งระหว่างขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ/พื้น กับขั้นตอนการล้างทำความสะอาดมะพร้าวขาว และขั้นตอนการแช่หรือล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีน

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงาน ก และโรงงาน ข (ต่อ)

ข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	โรงงาน ก (ระดับชุมชน)	โรงงาน ข (ระดับอุตสาหกรรม)
3. วิธีการผลิต/การจัดการ	• การติดตั้งบ่อดักตะกอนและไขมันของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการแช่และล้างเนื้อมะพร้าวขาวก่อนปล่อยทิ้งลงบ่อรวม	• การติดตั้งบ่อดักตะกอนและไขมันของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการแช่และล้างเนื้อมะพร้าวขาวก่อนปล่อยทิ้งลงบ่อรวม
4. การใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ	• มะพร้าวเสีย และเนื้อมะพร้าวขาวที่มีสีเหลืองหรือสีเขียวคล้ำ นำไปผลิตเป็นมะพร้าวแห้ง	• มะพร้าวเสีย และเนื้อมะพร้าวขาวที่มีสีเหลืองหรือสีเขียวคล้ำ นำไปผลิตเป็นมะพร้าวแห้ง

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น มีดังนี้

1) ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในการจัดการวัตถุดิบ ได้เลือกข้อเสนอการปรับเปลี่ยนเทคนิคการจัดลำดับการรับซื้อวัตถุดิบ โดยอาศัยระบบ “First in – First out” ในการปรับปรุง

2) ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในการแช่เนื้อมะพร้าวขาว ได้เลือกข้อเสนอการปรับเปลี่ยนเทคนิคการปรับปริมาณน้ำที่ใช้แช่ให้น้ำท่วมเนื้อมะพร้าวขาวในการปรับปรุง

3) ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในการล้างเนื้อมะพร้าวขาว ได้เลือกข้อเสนอการปรับเปลี่ยนเทคนิคการลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl 10%) ลงร้อยละ 20 ของปริมาณที่ใช้เดิมในการปรับปรุง

4) ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในการล้างทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์ พื้นโรงงาน และรถบรรทุกมะพร้าวขาว ได้เลือกข้อเสนอการปรับเปลี่ยนเทคนิคการใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยางในการปรับปรุง

การประเมินละเอียดถึงการศึกษาความเป็นไปได้ โดยมีหลักการพิจารณา 3 ประการ ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางเทคนิคหรือความเหมาะสมในการนำไปปฏิบัติ ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ และความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อม ตามรายละเอียดดังนี้

1) การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
1. การจัดการวัตถุดิบ ระบบ “First in – First out”	ลดปริมาณมะพร้าวเสียลง 2-4%
2. การแช่เนื้อมะพร้าวขาวในน้ำที่ท่วมถึง	ลดปริมาณมะพร้าวขาวมีสีเหลืองหรือเขียว 0.3-0.5%
3. การล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีนที่ลดปริมาณการใช้คลอรีนลง 20%	ลดปริมาณการใช้คลอรีนลง 20% โดยคุณภาพมะพร้าวขาวไม่เปลี่ยนแปลง
4. การใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยางฉีดน้ำ	ลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างทำความสะอาด 95%

หมายเหตุ โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

2) การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (วิธีการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ก)

ข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	เงินลงทุน (บาท)	ประหยัด (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน
1. การจัดการวัตถุดิบ ระบบ “First in – First out”	0	1,500,000	0
2. การแช่เนื้อมะพร้าวขาวในน้ำที่ท่วมถึง	0	225,000	0
3. การล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีนที่ลดปริมาณการใช้คลอรีนลง 20%	0	24,000	0
4. การใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยางฉีดน้ำ	4,500	93,783	1 เดือน

หมายเหตุ โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

3) การประเมินความเป็นไปได้ทางด้านสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	ผลหลังการปรับปรุง			
	การใช้สารเคมี (กิโลกรัม)	การใช้น้ำ (ลิตร)	น้ำเสีย (ลิตร)	มะพร้าวเสีย (กิโลกรัม)
1. การจัดการวัตถุดิบ ระบบ “First in – First out”	0	0	0	- 200-400
2. การแช่เนื้อมะพร้าวขาวในน้ำที่ท่วมถึง	0	0	0	- 30-50
3. การล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีนที่ลดปริมาณการใช้คลอรีนลง 20%	- 16	0	0	0
4. การใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยางฉีดน้ำ	0	- 29,915	- 29,915	0

หมายเหตุ โรงงานผลิตมะพร้าวขาว กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

สรุปผลการตรวจประเมินข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว และผลตอบแทนทางการเงิน ตลอดจนผลการลดของเสียที่คาดว่าจะได้รับจากการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนผลการลดการใช้ทรัพยากรและของเสีย

ข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาด	เศรษฐศาสตร์	ผลการลดลงของการใช้ทรัพยากรและของเสีย
1. การจัดการวัตถุดิบ ระบบ "First in – First out"	S=1,500,000 บาท/ปี I=0	ลดมะพร้าวเสีย 200-400 กก./10 ตันของมะพร้าวขาว หรือ 2-4%
2. การแช่เนื้อมะพร้าวขาวในน้ำที่ท่วมถึง	S=225,000 บาท/ปี I=0	ลดมะพร้าวขาวมีสีเหลืองหรือเขียวคล้ำลง 30-50 กก./10 ตันของมะพร้าวขาว หรือ 0.3-0.5%
3. การล้างเนื้อมะพร้าวขาวในน้ำผสมคลอรีนที่ลดปริมาณการใช้คลอรีนลง 20%	S=24,000 บาท/ปี I=0	ลดปริมาณคลอรีน 16 กก./10 ตันของมะพร้าวขาว หรือ 20%
4. การใช้หัวฉีดน้ำแรงดันสูงแทนสายยางฉีดน้ำ	S= 93,783 บาท/ปี I= 4,500 บาท P= 1 เดือน	ลดปริมาณน้ำใช้ 29,915 ลิตร/10 ตันของมะพร้าวขาว หรือ 95%

หมายเหตุ S = saving (เงินที่ประหยัดได้)

I = investment (เงินลงทุน)

P = pay back period (ระยะเวลาคืนทุน)

4.1.2.3 การนำข้อเสนอ CT สู่ผู้ประกอบการ

การนำข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวไปถ่ายทอดให้กับผู้ประกอบการ ทั้งระดับเจ้าของโรงงาน ผู้จัดการโรงงาน และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว

วิธีดำเนินการ ประกอบด้วย

- การจัดเตรียมเอกสารเผยแพร่ ที่ระบุประเด็นปัญหา สาเหตุของปัญหา และแนวทางการปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว
- การประชุมหารือกับผู้ประกอบการ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว เพื่อสะท้อนข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว (ภาคผนวก ข) โดยการอธิบายแต่ละขั้นตอนของประเด็นปัญหา สาเหตุของปัญหา และแนวทางการแก้ไข พร้อมแจกเอกสารประกอบ
- การนำข้อเสนอการจัดทำเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวไปปรับใช้กับโรงงาน และการติดตามผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาวของโรงงานต่อไป

4.2 การพัฒนาการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าว

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ (1) สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมะพร้าวแก่ (2) ผลของชนิดหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อระยะเวลาในการหมักและคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ และ (3) ผลของวิธีการเตรียมหัวเชื้อต่อคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่

4.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมะพร้าวแก่

น้ำมะพร้าวแก่มีลักษณะสีขาวขุ่นเล็กน้อย มีกลิ่นแบบน้ำมะพร้าว และรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย จากตารางที่ 4.13 แสดงสมบัตทางกายภาพและเคมีของน้ำมะพร้าวแก่พบว่าน้ำมะพร้าวที่ใช้ในการศึกษามีค่าความเป็นกรด-ด่างและความเป็นกรดทั้งหมดที่วัดในรูปกรดแลคติกประมาณ 5.77 และ 0.05% ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ๆ เหมาะแก่การเจริญของแบคทีเรียแลกติกเป็นอย่างยิ่ง [Wood and Holzapfel, 1995] นอกจากนี้น้ำมะพร้าวแก่ยังมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและค่าความหวานประมาณ 2% และ 3.6 °Brix ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับน้ำมะพร้าวอ่อน [Krishnankutty, 1987]โดยทั่วไปเมื่อนำไปแปรรูปเป็นวุ้นมะพร้าวหรือน้ำผลไม้บรรจุกระป๋องจึงนิยมเติมน้ำตาลเพื่อปรุงแต่งรสชาติให้ดียิ่งขึ้น นอกจากน้ำตาลที่แหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์แล้ว ในน้ำมะพร้าวยังมีปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนประมาณ 1.59% และ 9.94% ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และมีคุณค่าทางอาหารต่อร่างกายอีกด้วย จากสมบัติของน้ำมะพร้าวดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าน้ำมะพร้าวมีศักยภาพเหมาะแก่การนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 4.13 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมะพร้าว

Characteristics	Mature coconut juice
Total solid (%)	3.18±0.02
Total carbon (%)	46.34±0.52
Ash (%)	16.58±0.52
pH	5.77±0.02
Acidity (%as lactic acid)	0.05±0.01
Total nitrogen (%)	1.59±0.25
Crude Protein (%)	9.94±0.25
Brix (°)	3.6±0.1
Total sugar (μg/ml)	21.87±3.05

4.2.2 ผลของชนิดหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อระยะเวลาในการหมักและคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่

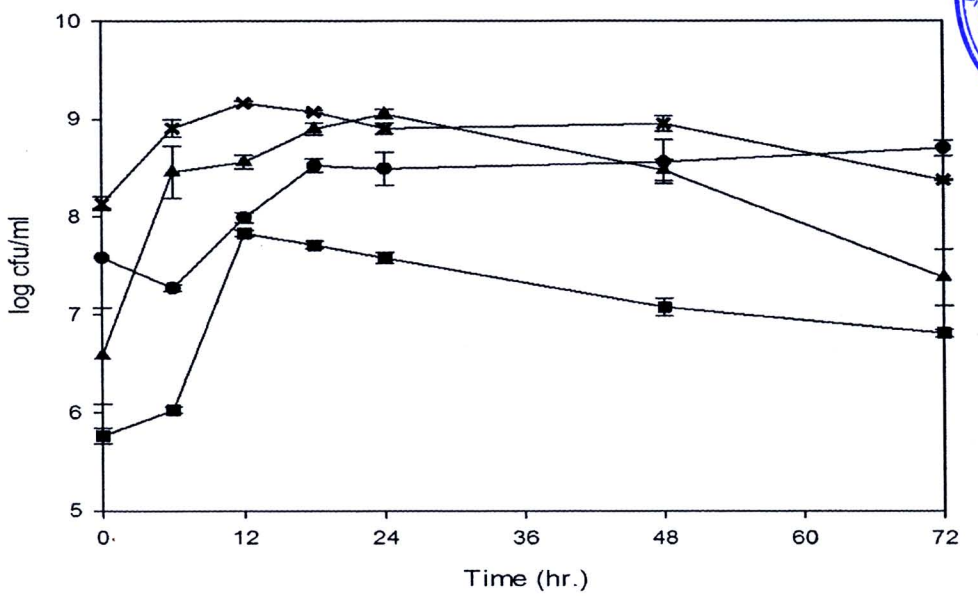
การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง ชุดทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม และหัวเชื้อบริสุทธิ์ *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus delbrueckii* ตามลำดับ ผลการศึกษาชนิดหัวเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่มีต่อคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าว ดังแสดงต่อไปนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมด

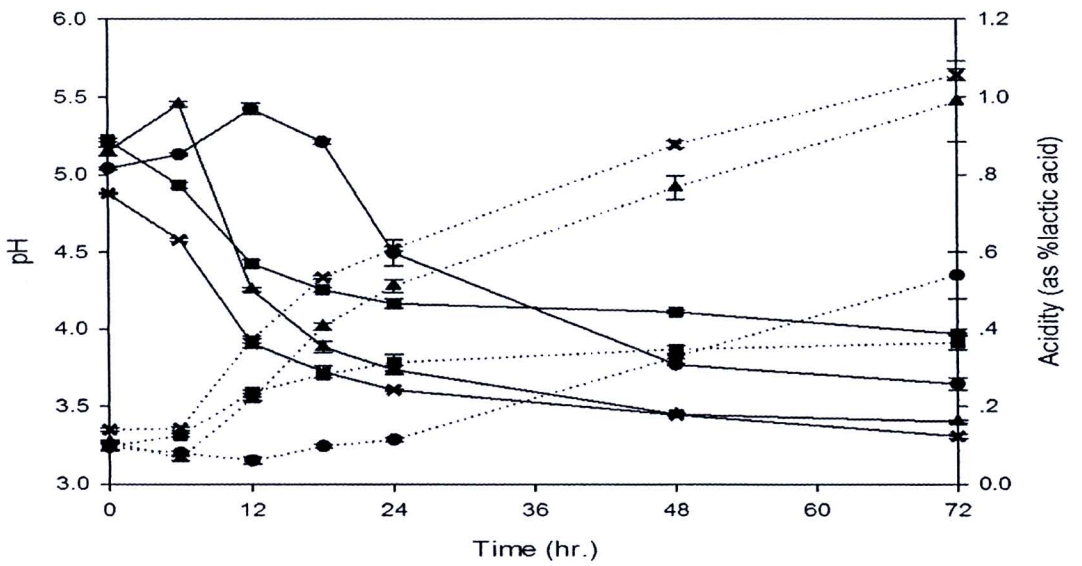
จากมาตรฐานน้ำหมักพืชของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) กำหนดให้ค่า pH ต้องไม่เกิน 4.3 และมาตรฐานนมเปรี้ยวของกระทรวงสาธารณสุข (2548) กำหนดให้ค่าความเป็นกรดที่วัดในรูปของกรดแลคติกต้องสูงเกินร้อยละ 0.3 จากรูปที่ 4.9 พบว่า ชุดทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้ *L. acidophilus* และ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีค่า pH และความเป็นกรดเข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานภายใน 12 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่ 1 ซึ่งใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม และชุดทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ *L. delbrueckii* เป็นหัวเชื้อใช้ระยะเวลาในการทำให้ pH และความเป็นกรดของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานนานกว่าคือ 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ การใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มและ *L. delbrueckii* มีช่วง lag phase ที่ยาว (รูปที่ 4.10) ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่วัดในรูปการลดลงของ pH และปริมาณการผลิตกรดแลคติกน้อย ส่งผลให้ระยะเวลาเข้าสู่มาตรฐานนานกว่าชุดทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มและ *L. delbrueckii* ผลิตกรดแลคติกได้น้อยกว่า *L. acidophilus* และ *L. casei* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในชุดทดลองที่ใช้ *L. delbrueckii* เป็นหัวเชื้อมีปริมาณกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์ที่ 72 ชั่วโมงของการหมักเพียงร้อยละ 0.36 ในขณะที่ชุดทดลองที่เติม *L. casei* มีค่า pH ต่ำที่สุดคือ 3.31 และปริมาณกรดแลคติกสูงที่สุดคือร้อยละ 1.06 แตกต่างจากทั้ง 3 ชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการอยู่รอดของจุลินทรีย์

จากรูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแลคติกแบคทีเรียในระหว่างการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่พบว่า หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวและหัวเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ได้แก่ *L. acidophilus, L. casei, L. delbrueckii* สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำมะพร้าวแก่ที่เติมน้ำตาลซูโครส 5% โดยมีจำนวนจุลินทรีย์เกินกว่า 7 log cfu/ml ซึ่งเป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย [กระทรวงสาธารณสุข, 2548] หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง *L. acidophilus* และ *L. casei* เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 6 ชั่วโมงแรกของการหมัก ในขณะที่หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวและ *L. delbrueckii* เริ่มเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ดีหลัง 6 ชั่วโมงแรกของการหมัก จากการเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ในทั้ง 4 ชุดทดลองที่ 12 ชั่วโมงของการหมัก ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ชุดทดลองที่ 3 ซึ่งใช้ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้าน pH และ ความเป็นกรดเป็นไปตามมาตรฐาน [สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547; กระทรวงสาธารณสุข, 2548] กำหนดแล้ว พบว่าชุดทดลองที่ใช้ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีจำนวนแลคติกแบคทีเรียสูงที่สุดประมาณ 9.16±0.03 log cfu/mL รองลงมาคือ *L. acidophilus*, หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวและ *L. delbrueckii* ซึ่งมีแลกติกแบคทีเรียประมาณ 8.56±0.07, 7.98±0.05 และ 7.83±0.03 log cfu/mL ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกในระหว่างกระบวนการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (สัญลักษณ์ : —— pH ····· Acidity ● หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม, □ *L. acidophilus*, ✕ *L. casei*, ▪ *L. delbrueckii*)



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (สัญลักษณ์ : ● หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม, □ *L. acidophilus*, ✕ *L. casei*, ▪ *L. delbrueckii*)

อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการหมักนานเกิน 24 ชั่วโมงจำนวนแลคติกแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดทดลอง อาจเนื่องจากสภาวะความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นจากการลดลงของ pH และการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแลคติก (รูปที่ 4.9) ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแลคติกแบคทีเรีย [Sheehan *et al.*, 2007] ยกเว้นในชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มที่ยังคงมีจำนวนแลคติกแบคทีเรียคงที่ เมื่อเปรียบเทียบการทนต่อสภาวะความเป็นกรดและการเหลือรอดของจุลินทรีย์ที่ 72 ชั่วโมงของการหมัก

พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในชุดทดลองที่ใช้ *L. acidophilus* และ *L. delbrueckii* เป็นหัวเชื้อมีอัตราการลดลงของแลคติกแบคทีเรียเมื่อเทียบกับที่ 24 ชั่วโมงของการหมักประมาณ 0.84 และ 0.38 log cfu/mL/day ตามลำดับ ชุดทดลองที่ใช้ *L. casei* เป็นหัวเชื้อที่มีอัตราการลดลงของแลคติกแบคทีเรียประมาณ 0.27 cfu/mL/day แสดงให้เห็นว่าหัวเชื้อ *L. casei* สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดและเหลือรอดได้มากกว่า *L. acidophilus* และ *L. delbrueckii* (รูปที่ 4.10)

<u>คุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าว</u>

จากการเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ ค่า pH และปริมาณกรดแลคติกของทุกชุดทดลองเทียบกับมาตรฐานน้ำหมักพืชและนมเปรี้ยว [สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547; กระทรวงสาธารณสุข, 2548] (ตารางที่ 4.14) พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เร็วที่สุด กล่าวคือมีจำนวนจุลินทรีย์สูงที่สุด (9.16 log cfu/ml) ในชั่วโมงที่ 12 ของการบ่ม ($p < 0.05$) ในขณะที่ชุดทดลองที่ใช้ *L. delbrueckii* เป็นหัวเชื้อมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำที่สุดและเจริญได้ช้าที่สุดคือ 7.57 log cfu/ml ในชั่วโมงที่ 24 ของการบ่ม (ตารางที่ 4.14) สอดคล้องกับการศึกษาการใช้น้ำมะพร้าวเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียผลิตแลคติก ที่พบว่าเชื้อ *L. casei* สามารถเจริญได้ดีในสูตรอาหารน้ำมะพร้าวที่เติมเปปโทน ผงสกัดจากยีสต์ โซเดียมอะซิเตต แอมโมเนียมซิเตรต และทวีน 80 ในปริมาณร้อยละ 1, 0.5, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ เทียบเท่ากับในอาหาร MRS ในขณะที่ *L. delbrueckii* มีจำนวนจุลินทรีย์สูงสุดน้อยกว่าในอาหาร MRS [สายชล ชิวปรีชา, 2520]

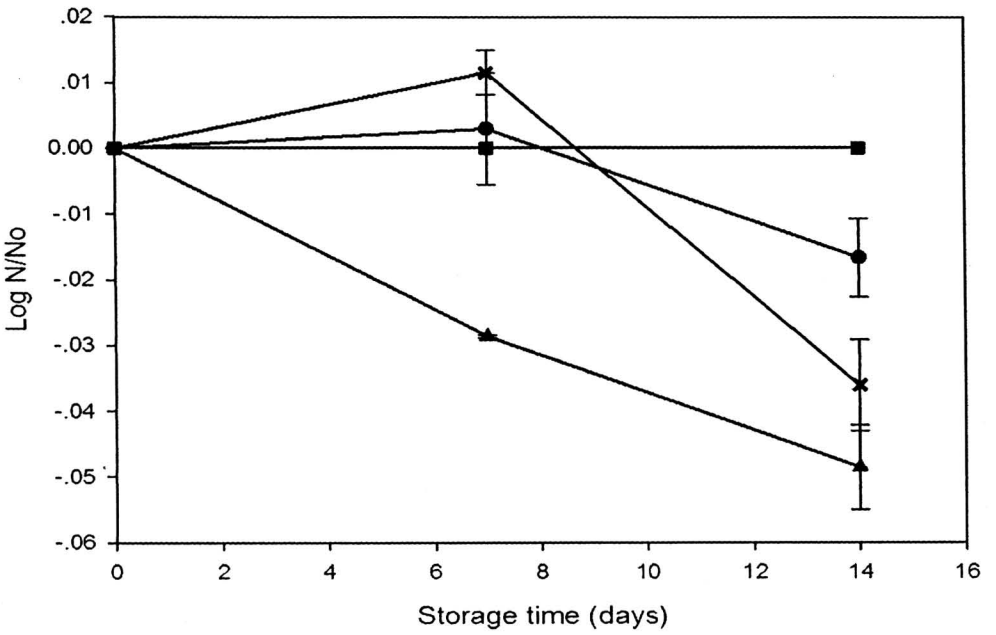
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ต่างชนิดกันกับมาตรฐาน

Inocula	**Time (hr.)**	**Viable cell count (Log cfu/mL)**	**pH**	**Acidity (% as lactic acid)**
Dringking Yoghurt	48	8.56 ± 0.23^{c}	3.77 ± 0.01^{c}	0.33 ± 0.00^{c}
L. acidophilus	18	8.90 ± 0.06^{b}	3.88 ± 0.04^{b}	0.41 ± 0.01^{a}
L. casei	12	9.16 ± 0.03^{a}	3.90 ± 0.03^{b}	0.37 ± 0.01^{b}
L. delbrueckii	24	7.57 ± 0.06^{d}	4.16 ± 0.03^{a}	0.31 ± 0.02^{d}
Standard		7**	4.3*	0.3**

หมายเหตุ *มาตรฐานน้ำหมักพืชของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547)

**มาตรฐานนมเปรี้ยวของกระทรวงสาธารณสุข (2548)

การอยู่รอดของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4.11 การอยู่รอดของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการเก็บรักษาเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ที่อุณหภูมิ 4°C (สัญลักษณ์ : ● หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม, □ *L. acidophilus*, ✕ *L. casei*, ▪ *L. delbrueckii*)

สำหรับการศึกษาการเหลือรอดของจุลินทรีย์ในน้ำมะพร้าวแก่ที่หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ *L. delbrueckii* เป็นหัวเชื้อมีอัตราการลดลงของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วโดยมีอัตราการเหลือรอด 0% ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.15) ในขณะที่ชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยว, *L. casei* และ *L. acidophilus* มีอัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์ประมาณ 95.4%, 94.4% และ 89.4% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใช้หัวเชื้อ *L. delbrueckii* ทั้งนี้อาจเนื่องจาก *L. delbrueckii* มีความสามารถในการทนต่อสภาวะมีค่า pH ต่ำและสภาพความเป็นกรดสูง ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาการเติมเชื้อ *L. delbrueckii* ลงในน้ำส้ม [ศริสา ทวีแสง และคณะ, 2548] และน้ำกะหล่ำปลี [Yoon *et al.*, 2006] ที่พบว่าปริมาณการอยู่รอดของ *L. delbrueckii* ต่ำกว่ามาตรฐานเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 21 วัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.15 อัตราการเหลือรอดของแบคทีเรียกรดแลคติกในน้ำมะพร้าวแก่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 สัปดาห์

Inocula	k (day^{-1})	survival rate (%)
drinking yoghurt	-0.0009	95.4[a]
L. acidophilus	-0.0036	89.4[b]
L. casei	-0.0017	94.4[a]
L. delbrueckii	*	0

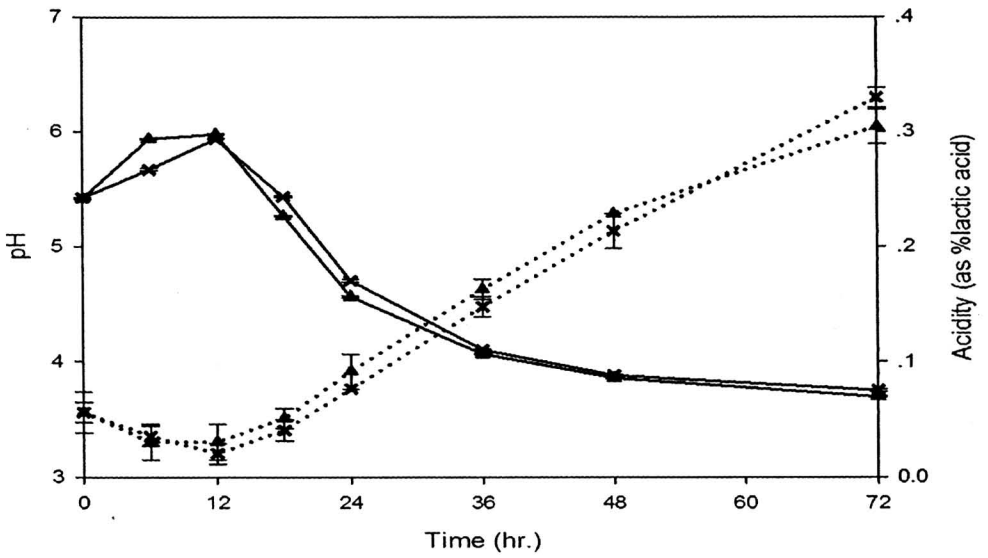
หมายเหตุ: * ไม่สามารถคำนวณได้

4.2.3 การศึกษาผลของวิธีการเตรียมหัวเชื้อต่อคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่

จากการศึกษาในข้อ 4.2.2 เพื่อคัดเลือกแลคติกแบคทีเรียบริสุทธิ์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus delbrueckii* โดยใช้หัวเชื้อจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มเป็นตัวควบคุม พบว่า *L. acidophilus* และ *L. casei* มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าว อย่างไรก็ตามในการเตรียมหัวเชื้อนั้นมีอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS บางส่วนปนเปื้อนเข้ามาในน้ำมะพร้าวแก่ที่ใช้ในการศึกษาในทางปฏิบัติในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่เพื่อบริโภคนั้นไม่ควรมีการปนเปื้อน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการยืนยันผล โดยการคัดแยกอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปนเปื้อนเข้ามาออกก่อนที่จะใส่หัวเชื้อลงในน้ำมะพร้าวแก่ โดยหัวเชื้อที่ใช้ในการทดสอบคือ *L. acidophilus* และ *L. casei* ซึ่งมีการเจริญเติบโตและการอยู่รอดได้ดีกว่า *L. delbrueckii* (ผลการศึกษาในข้อ 4.2.2) รายละเอียดของผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

<u>ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมด</u>

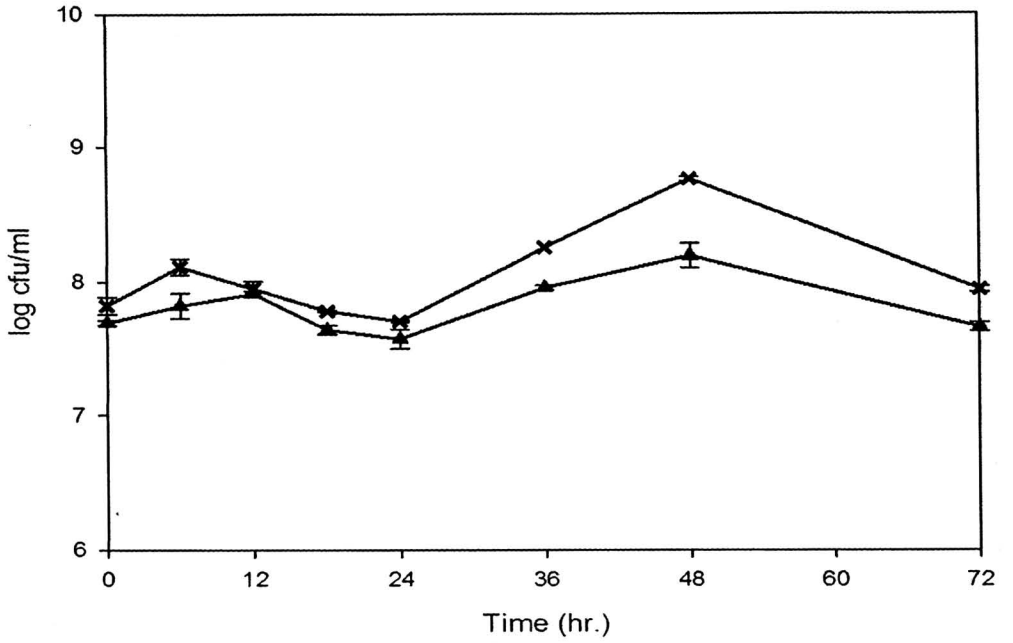
การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดในทั้งชุดทดลองที่ใช้ *L. acidophilus* และ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงระยะเวลาการหมักคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.12) และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละช่วงเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) จากรูปที่ 4.12 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดเกิดขึ้นน้อย ในช่วง 12 ชั่วโมงแรกของการหมัก แสดงให้เห็นว่าหัวเชื้อทั้ง 2 ชนิดอาจมีการปรับตัวในช่วง 12 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นโดยค่า pH และค่าความเป็นกรดเข้าสู่มาตรฐานในชั่วโมงที่ 36 และ 72 ของการหมัก ตามลำดับ



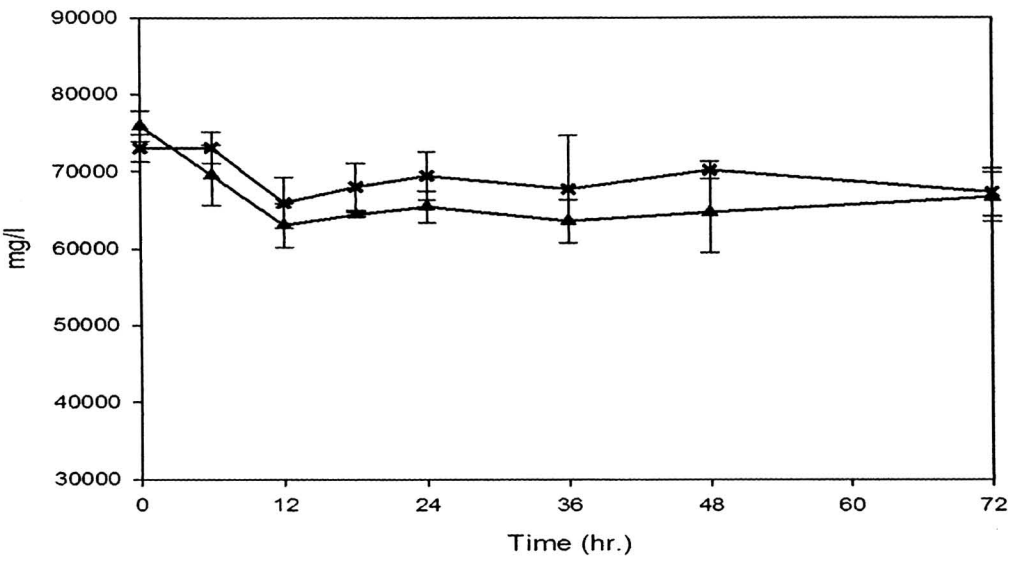
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกในระหว่างกระบวนการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (สัญลักษณ์ : ——— pH, ····· Acidity, □ *L. acidophilus*, × *L. casei*)

<u>การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์</u>

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ *L. acidophilus* และ *L. casei* ในระหว่างการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (รูปที่ 4.13) มีลักษณะคล้ายกันในทั้ง 2 ชุดทดลอง ปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 24 - 48 ชั่วโมงของการหมัก ที่ 48 ชั่วโมงของการหมัก ชุดทดลองที่ใช้ *L. acidophilus* และ *L. casei* เป็นหัวเชื้อมีจำนวนแลคติกแบคทีเรียสูงสุดประมาณ 8.19±0.02 และ 8.76±0.02 log cfu/mL ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 1 log cfu/mL เท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถใช้น้ำตาลเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้ในปริมาณที่ต่ำ (15% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น) ทำให้มีน้ำตาลเหลืออยู่ในระบบมาก (รูปที่ 4.14) จึงทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้าส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความเป็นกรดที่วัดในรูปกรดแลคติกเข้าสู่มาตรฐานช้าคือใช้เวลาประมาณ 3 วัน (ตารางที่ 4.16)



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (สัญลักษณ์ : □ *L. acidophilus* และ ✕ *L. casei*)



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ในระหว่างการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ (สัญลักษณ์ : □ *L. acidophilus* และ ✕ *L. casei*)

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ที่ใช้หัวเชื้อ *L. acidophilus* และ *L. casei* เป็นหัวเชื้อกับมาตรฐาน

Inocula	Time (hr.)	Viable cell count (Log cfu/mL)	pH	Acidity (% as lactic acid)
L. acidophilus	72	7.66±0.03[b]	3.69±0.01[a]	0.30±0.01[a]
L. casei	72	7.95±0.02[a]	3.75±0.01[a]	0.33±0.01[a]
Standard	-	7**	4.3*	0.3**

หมายเหตุ *มาตรฐานน้ำหมักพืชของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547)

**มาตรฐานนมเปรี้ยวของกระทรวงสาธารณสุข (2548)

ผลการศึกษานี้แตกต่างจากผลการศึกษาในข้อ 4.2.2 พบว่า *L. acidophilus* และ *L. casei* มีการเจริญเติบโตช้ากว่าและต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS มีแหล่งอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จากรายงานที่ผ่านมาพบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS มี yeast extract, meat peptone และ beef extract เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการใช้น้ำมะพร้าวแก่เพียงอย่างเดียวอาจมีสารอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแหล่งไนโตรเจนจากตารางที่ 4.13 พบว่าน้ำมะพร้าวแก่มีปริมาณไนโตรเจนเพียง 1.59±0.25% โดยปกติแลคติกแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตง่ายแต่ต้องการไนโตรเจนในการเจริญเติบโต [Nancib *et al.*, 2001] ส่งผลให้คุณภาพของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่ใช้เวลาเข้าสู่มาตรฐานนานถึง 3 วัน ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปผลิตเพื่อจำหน่าย จากเหตุผลดังกล่าวในรายงานครั้งนี้ผู้วิจัยจึงยังไม่ได้มีการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปประเมินทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ตามที่ได้ระบุไว้ในข้อเสนอโครงการ แม้ว่าการทำเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำมะพร้าวแก่มีความเป็นไปได้แต่สภาวะในการผลิตไม่เหมาะสมจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมต่อไป

4.2.4 การเผยแพร่ผลงานวิจัย

นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง Preliminary screening of appropriate probiotic bacteria for producing Health drink from mature coconut juice ในงานประชุมวิชาการ International Conference on Agriculture and Agro-Industry 2010 (ICAAI 2010) วันที่ 19-20 พฤศจิกายน 2010 ณ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย (ภาคผนวก ค)

4.3 การทำปุ๋ยน้ำสกัด (Compost tea) จากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

การประเมินศักยภาพเบื้องต้นและความเป็นไปได้ของปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวในการใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัด และอิทธิพลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว ผลการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้

4.3.1 สมบัติของปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัด ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สมบัติของปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

Parameters	Coir pith compost*	Molasses	Standard of fertilizer**
Physio-chemical Properties			
pH	6.75±0.01	4.69±0.03	7.00-8.00
EC (ds/m)	0.13±0.00	0.21±0.00	≤10
Organic matter (%)	67.84±4.70	88.39±0.56	15-19
C/N ratio	20.76±1.40	106.94±2.91	0-20/1
Elements			
Nitrogen (%N)	1.82±0.10	0.46±0.01	>1.0
Phosphorus (%P_2O_5)	0.13±0.01	0.23±0.04	>1.0
Potassium (%K_2O)	3.12±0.60	1.22±0.15	>0.5
Microbial			
Total bacteria; Log (cfu/ml)	6.28±0.03	nd	-
Lactic acid bacteria; Log (cfu/ml)	4.87±0.04	nd	-
Fungi (cfu/ml); Log	5.72±0.05	nd	-
Actinomycetes; Log (cfu/ml)	5.69±0.06	nd	-

หมายเหตุ : * ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวอายุ 9 เดือน ** มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี พ.ศ. 2548 [กรมวิชาการเกษตร, 2548]

ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม รวมทั้งปริมาณอินทรียวัตถุในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (2548) กำหนดไว้ อีกทั้งยังมีปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่าง ได้แก่ แบคทีเรียทั้งหมด แลคติกแบคทีเรีย รา และ แอคติโนมัยซีส เป็นองค์ประกอบ จากการตรวจสอบดังกล่าวจึงคาดเดาว่าปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัดได้ เนื่องจากมีปริมาณสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและสร้างกิจกรรมในกระบวนการย่อยสลาย อีกทั้งอาจทำให้ได้สารประกอบที่มีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตและยับยั้งโรคพืชได้ จากรายงานวิจัยต่างๆ พบว่า ปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัดนั้น สามารถช่วยเพิ่มปริมาณความหลากหลายในประชากร

จุลินทรีย์ อาทิเช่น ปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ช่วยเพิ่มปริมาณความหลากหลายในประชากรจุลินทรีย์ [Scheuerell, 2003] และปริมาณฟอสฟอรัส (P) และแคลเซียม (Ca) [Pittway, 2003] ซึ่งสามารถยับยั้งโรคพืชได้หลายโรค ได้แก่ เชื้อ *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea* และ *Phytophthora infestans* อันเป็นสาเหตุโรคราแป้ง (Powdery mildew) และ โรคราสีเทา (Gray mold) ในมะเขือเทศ [Souleymane et al., 2009]

4.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยน้ำสกัด (Compost tea) จากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

จากการนำปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 5 (โดยน้ำหนัก) แล้วทำการบ่มภายใต้สภาพการให้อากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของปุ๋ยน้ำสกัด (ตารางที่ 4.18)

จากลักษณะทางกายภาพในด้านสี พบว่า สีของปุ๋ยน้ำสกัดที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เข้มขึ้นจากวันเริ่มต้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากแทนนินในขุยมะพร้าวถูกสกัดออกมา ประกอบกับปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวมีฮิวมัสเป็นองค์ประกอบ โดยปกติฮิวมัสซึ่งประกอบด้วย ฮิวมิน กรดฮิวมิก และ กรดฟลูวิก นั้นเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสีน้ำตาลเหลืองถึงดำ และเป็นสารที่สามารถสกัดได้ [มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545] ดังนั้นเมื่อนำปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวมาทำเป็นปุ๋ยน้ำสกัด ฮิวมัสจะถูกสกัดออกมาละลายอยู่ในน้ำ ทำให้ได้น้ำสกัดที่มีสีน้ำตาล ถูกละลายออกมาสู่สารละลายภายนอก นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยน้ำสกัดมีปริมาณธาตุอาหาร N, P และ K เพิ่มขึ้นร้อยละ 4, 100 และ 15 ของปริมาณเริ่มต้น ตามลำดับ และยังตรวจพบการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียทั้งหมด แลคติกแบคทีเรีย รา และแอคติโนไมซีส เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8, 22, 29 และ 5 ของปริมาณเริ่มต้น ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การนำปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัดช่วยให้ธาตุอาหาร จุลินทรีย์ และ กรดอินทรีย์ในน้ำหมักเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.18 พบว่า อินทรียวัตถุและคาร์บอนทั้งหมดในปุ๋ยน้ำสกัดมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 23 และ 13 ที่วันเริ่มต้น เป็นร้อยละ 16 และ 9 ที่ 24 ชั่วโมงของการหมัก การเพิ่มของปริมาณธาตุอาหารและจุลินทรีย์ คาดว่าเป็นผลจากอินทรียสารหรือสารอาหารในปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวถูกสกัดออกมาอยู่ในส่วนของสารละลาย ส่งผลให้จุลินทรีย์ในน้ำสกัดมีการใช้สารอาหาร ได้แก่ อินทรียวัตถุและคาร์บอนในการเจริญเติบโตตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว (ไม่เติมกากน้ำตาล)

Parameter	Fermentation time	
	0 hour	24 hour
Physical Properties		
- Texture	✗	✗
- Color	Yellow	Brown
- Odor	✗	✗
Chemical Properties		
pH	6.27±0.03[a]	6.46±0.01[b]
Organic matter (%)	22.86±0.81[a]	15.75±0.61[b]
Total carbon (%)	12.70±0.45[a]	8.75±0.34[b]
Elements		
Nitrogen (%N)	0.43±0.04[a]	0.45±0.13[a] (4.6%)
Phosphorus (%P_2O_5)	0.007±0.000[a]	0.014±0.000[b] (100%)
Potassium (%K_2O)	0.32±0.03[a]	0.37±0.01[a] (15.6%)
Microbial		
Total bacteria; Log (cfu/ml)	5.75±0.08[a]	6.20±0.04[b] (7.8%)
Lactic acid bacteria; Log (cfu/ml)	4.88±0.05[a]	5.97±0.05[b] (22.3%)
Fungi; Log (cfu/ml)	4.75±0.06[a]	6.12±0.03[b] (28.8%)
Actinomycetes; Log (cfu/ml)	5.84±0.02[a]	6.15±0.03[b] (4.8%)
Organic acids		
Ethanol (mM)	ND	ND
Acetic acid (mM)	ND	ND
Iso-butyric acid (mM)	ND	ND
Butyric acid (mM)	ND	ND
Propionic acid (mM)	ND	ND

หมายเหตุ : ✗ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ✓ เกิดการเปลี่ยนแปลง ND : ไม่พบในการวิเคราะห์

( ) % การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ของปุ๋ยน้ำสกัดเมื่อเทียบกับเวลาเริ่มต้น (0 ชั่วโมง)

4.3.3 อิทธิพลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

จากการประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวในเบื้องต้น (ข้อ 4.3.2) แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยน้ำสกัด แบบให้อากาศ อย่างไรก็ตาม คุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดที่ได้ยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณธาตุอาหารต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ เนื่องจากในการทำงานของจุลินทรีย์จำเป็นต้องมีอาหารให้จุลินทรีย์ใช้ในกระบวนการย่อยสลาย โดยอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการนั้น ต้องเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาด

เล็กที่สุดที่สามารถนำมาใช้ได้ในทันที น้ำตาลที่อยู่ในรูปของกลูโคสและฟลุคโตสจัดได้ว่าเป็นแหล่งคาร์บอนหรือแหล่งอาหารที่สำคัญที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างพลังงาน เพื่อนำไปใช้ดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างกระบวนการหมัก [อานัฐ ตันโช, 2549] ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ การศึกษาส่วนนี้จึงศึกษาอิทธิพลของกากน้ำตาลต่อคุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักรวมทั้งศึกษาคุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดที่ได้ ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

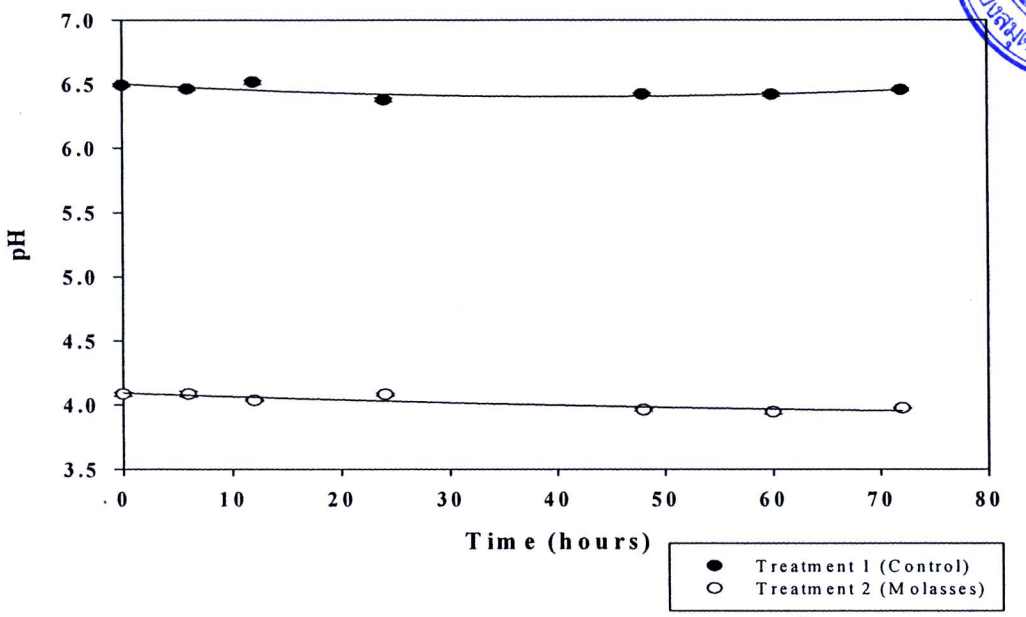
<u>ความเป็นกรดด่าง (pH) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC)</u>

ในการทำปุ๋ยน้ำสกัดทั่วไปไม่ได้มีการกำหนดค่าความเป็นกรดด่างที่ชัดเจน แต่ในการทำน้ำสกัดชีวภาพ ซึ่งได้จากการหมักเศษวัสดุเหลือใช้จากส่วนต่างๆ ของพืชหรือสัตว์ โดยมีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากพืชและซากสัตว์เหล่านั้นให้กลายเป็นสารละลาย [อานัฐ ตันโช, 2549] น้ำสกัดชีวภาพที่ได้ควรมีค่าความเป็นกรดด่างไม่เกิน 5 [มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544] ดังนั้นในการศึกษาจึงได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในปุ๋ยน้ำสกัด

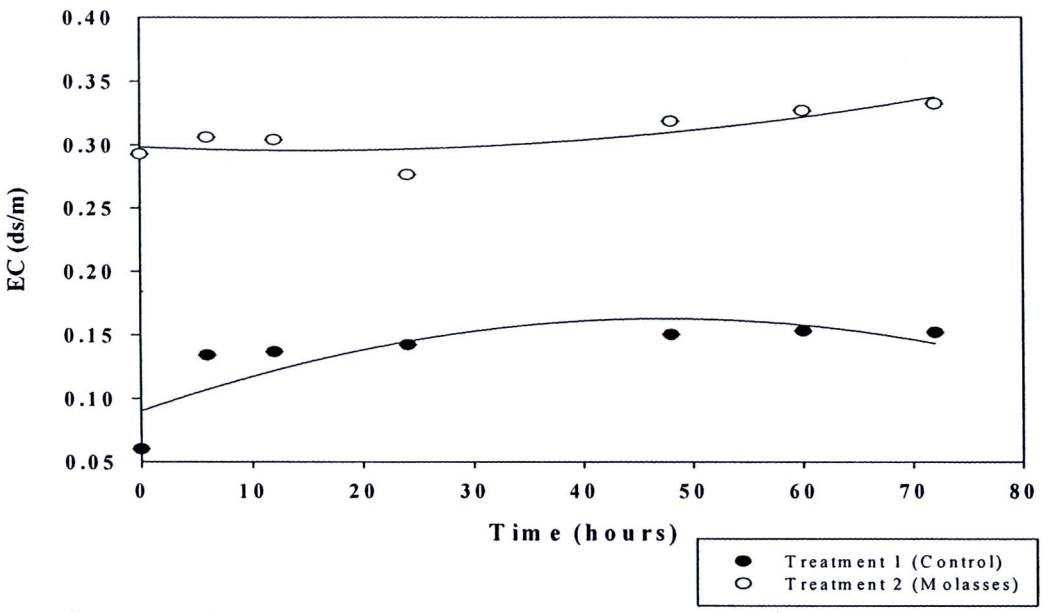
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว พบว่า ในแต่ละชุดทดลองการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างตลอดช่วง 72 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ชุดทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมกากน้ำตาลมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (3.9-4.0) ตลอดระยะเวลาการหมักต่ำกว่าชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดทดลองควบคุมที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาล (6.3-6.4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกากน้ำตาลที่มีความเป็นกรดด่างค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 4.17) รวมถึงปฏิกิริยาการหมักที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในน้ำหมัก ส่งผลให้ปุ๋ยน้ำสกัดมีความเป็นกรดด่างสูง [Tripetchkul et al., 2010]

รูปที่ 4.16 แสดงค่าปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total dissolved solid) ในปุ๋ยน้ำสกัด ซึ่งวัดในรูปค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) พบว่า ชุดทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมกากน้ำตาลมีค่า EC ตลอดระยะเวลาการหมัก (EC ประมาณ 0.29-0.33 ds/m) สูงกว่าชุดควบคุม (EC ประมาณ 0.06-0.15 ds/m) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อย่างไรก็ตาม EC ในทั้ง 2 ชุดทดลองเริ่มมีค่าคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมักเป็นต้นไป การที่ EC ในชุดทดลองที่ 2 สูงส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากกากน้ำตาล ซึ่งโดยทั่วไปกากน้ำตาลมีเกลือชนิดต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม สังกะสี ซัลเฟอร์ เหล็ก และแมกนีเซียม [Chen and Chou, 1993] ปนเปื้อนอยู่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

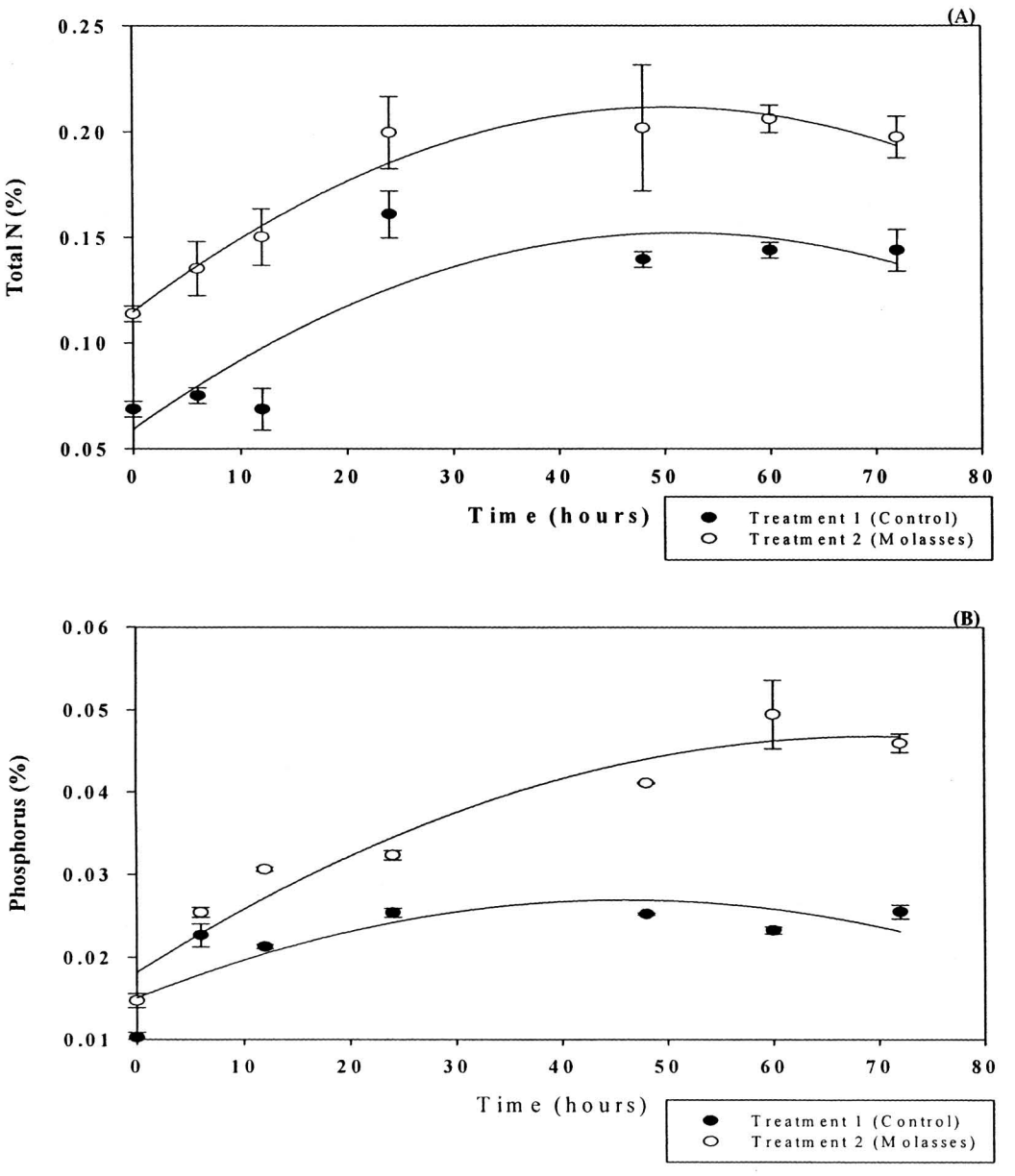


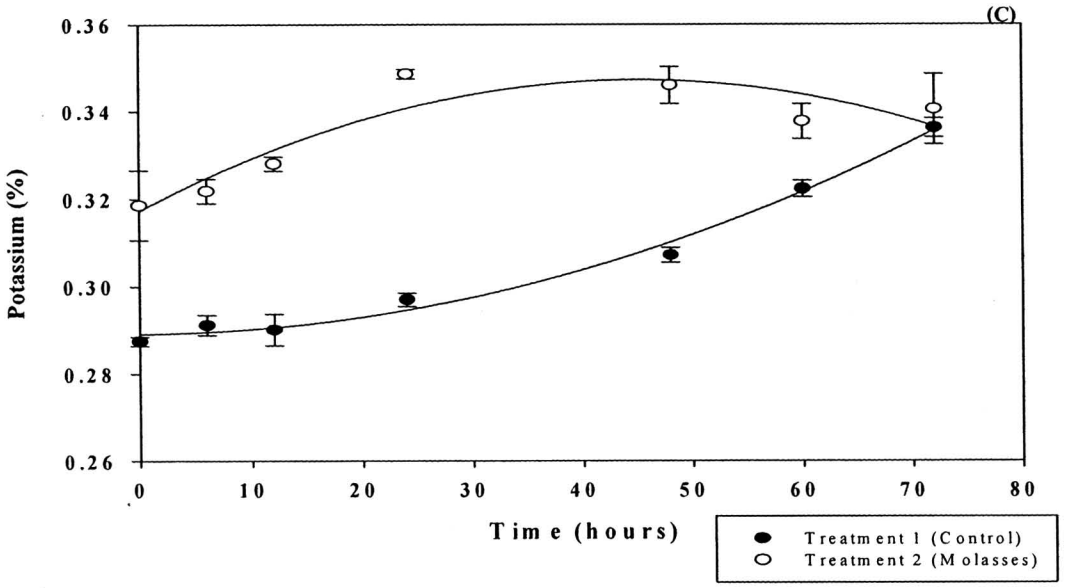
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

ปริมาณธาตุอาหาร (N P K)

รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัด เมื่อเวลาของการหมักนานขึ้นปริมาณ N, P และ K ในทั้ง 2 ชุดทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของ N และ P ยกเว้นปริมาณ K ในน้ำหมักในทั้ง 2 ชุดทดลอง มีแนวโน้มคงที่หลังจาก 24 ชั่วโมงของการหมัก จากการเปรียบเทียบปริมาณ N, P และ K ในปุ๋ยน้ำสกัด พบว่า ชุดทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมกากน้ำตาลมีปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด ตลอดช่วงการหมัก 72 ชั่วโมง สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ 72 ชั่วโมงของการหมัก ชุดทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติม

กากน้ำตาลมีธาตุอาหาร N, P และ K ประมาณร้อยละ 0.20, 0.04 และ 0.34 ตามลำดับ การทำปุ๋ยน้ำสกัดที่มีการเติมกากน้ำตาลช่วยให้ธาตุอาหารในปุ๋ยน้ำสกัดโดยเฉพาะธาตุอาหารโพแทสเซียมที่มีปริมาณสูงกว่าธาตุอาหารชนิดอื่นๆ อาจเนื่องมาจากกากน้ำตาลที่เติมลงไปมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงคือประมาณ ร้อยละ 0.46, 0.23 และ 1.2 ตามลำดับ ซึ่งช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้อาจเป็นผลมาจากค่า EC ที่สูง ซึ่ง Asiah et al. (2004) รายงานว่า โดยปกติค่า EC ที่วัดได้ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) จะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุในกระบวนการ osmotic imbalance เมื่อ EC สูงก็จะส่งผลให้ K^+ สูงด้วย ผลการศึกษาสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า EC ในปุ๋ยน้ำสกัด (รูปที่ 4.17) ชุดทดลองที่มีการเติมกากน้ำตาลจะมีค่า EC และปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาล



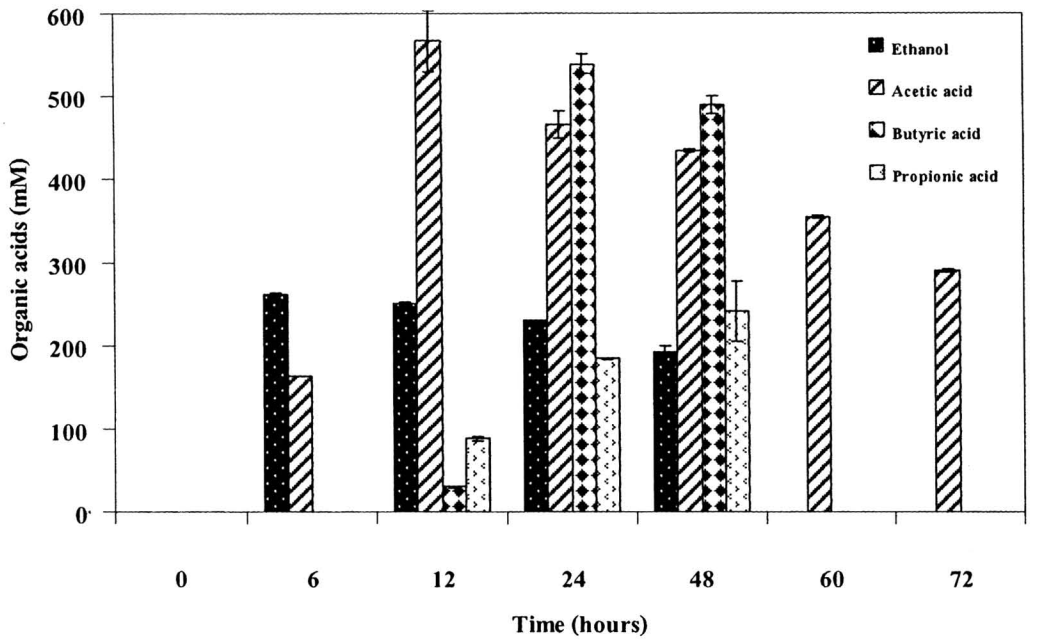


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (Nitrogen; A), ฟอสฟอรัส (Phosphorus; B) และโพแทสเซียม (Potassium; C) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

ปริมาณกรดอินทรีย์ และ ความเป็นพิษต่อพืช

รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยน้ำสกัด ในชุดทดลองที่มีการเติมกากน้ำตาลร้อยละ 10 สามารถตรวจพบแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทริริค และ กรดโพพิโอนิก ในขณะที่ชุดทดลองที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาลไม่พบกรดอินทรีย์ดังกล่าวเลย แสดงให้เห็นว่าการนำปุ๋ยหมักมาสกัด (brewing) ในสภาพที่มีการเติมกากน้ำตาล ทำให้ได้ปุ๋ยน้ำสกัดที่มีองค์ประกอบของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น กรดอินทรีย์ดังกล่าวมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของรากพืช เนื่องจากกรดบิวทริริคและกรดโพรพิโอนิกจะช่วยเร่งความยาวของรากพืชได้ [Gudjonsdottir, 1966 and Kinnersley et al., 1988]

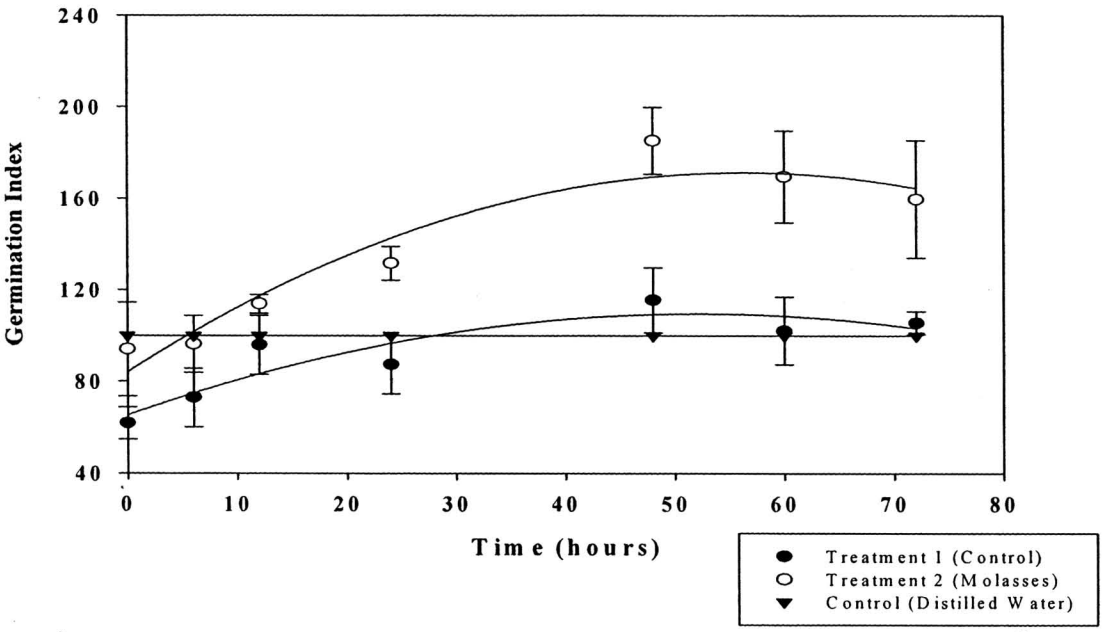
จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมัก พบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น (มากกว่า 48 ชั่วโมง) ปริมาณแอลกอฮอล์ กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทริริค ในปุ๋ยน้ำสกัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ 60 ชั่วโมงของการหมักเป็นต้นไป ไม่พบกรดโพรพิโอนิก กรดบิวทริริค และ แอลกอฮอล์ หลงเหลือในระบบ การลดลงของกรดอินทรีย์ดังกล่าว อาจเป็นผลมาจากปริมาณน้ำตาลที่ลดลง (รูปที่ 4.21) ทำให้จุลินทรีย์ในระบบใช้ intermediate เหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต ส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์เหล่านี้ลดลงออกมา [Winfrey and Zeikus, 1979]



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่มีการเติมกากน้ำตาลร้อยละ 10

หมายเหตุ : ในการศึกษานี้ตรวจไม่พบปริมาณกรดอินทรีย์ในชุดทดลองที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาล

เมื่อพิจารณาที่ความเป็นพิษต่อพืช ที่วัดจากค่าดัชนีชี้วัดการงอกของเมล็ด (Germination index, GI) ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดที่เทียบกับการเจริญเติบโตของพืชในรูปความยาวราก [Tam and Tiquia, 1994; Tiquia et al., 1996] ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่า ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ของการหมักเป็นต้นไป ในชุดทดลองที่ 2 มีค่า GI ตลอดช่วงการหมักสูงกว่าชุดทดลองที่ 1 (ควบคุม) และชุดควบคุม (น้ำเปล่า) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่า GI ในทั้ง 2 ชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 50 ของการหมัก การเพิ่มขึ้นของค่า GI โดยเฉพาะในชุดทดลองที่ 2 นั้น อาจเป็นผลจากการลดลงของปริมาณกรดอะซิติกและเอธานอล ซึ่งกรดอะซิติกและเอธานอล ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปอาจส่งผลต่อความเป็นพิษของพืชได้ [Lynch, 1977] นอกจากนี้อาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดบิวทริริคและกรดโพรพิโอนิกที่เกิดขึ้นในช่วงหลัง (รูปที่ 4.18) กรดทั้ง 2 ชนิดนี้มีประโยชน์ต่อพืชโดยช่วยเร่งความยาวของรากพืชได้ [Gudjonsdottir, 1966 and Kinnersley et al., 1988]

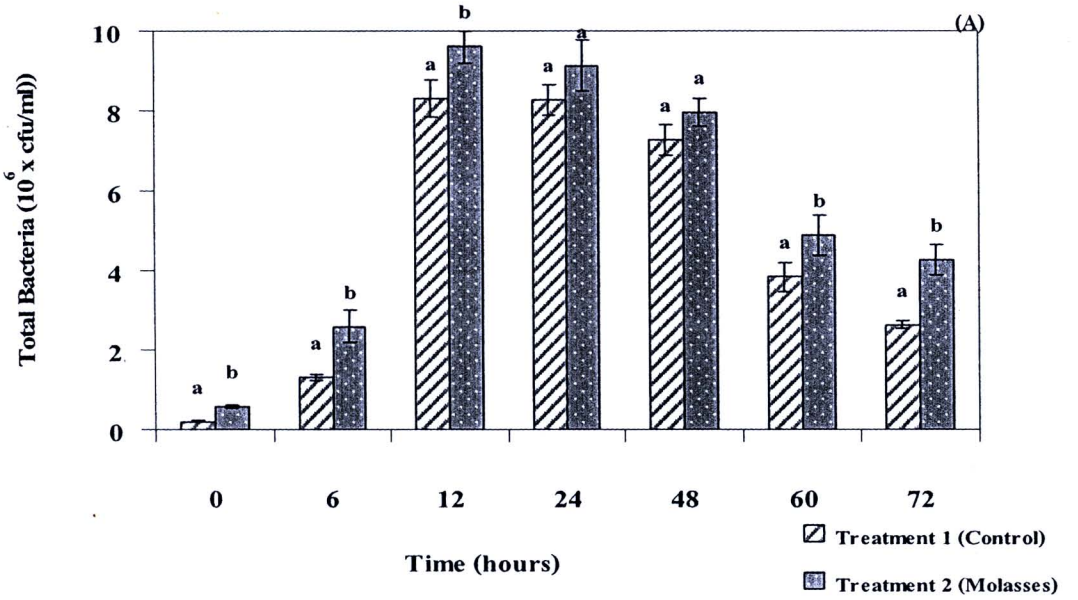


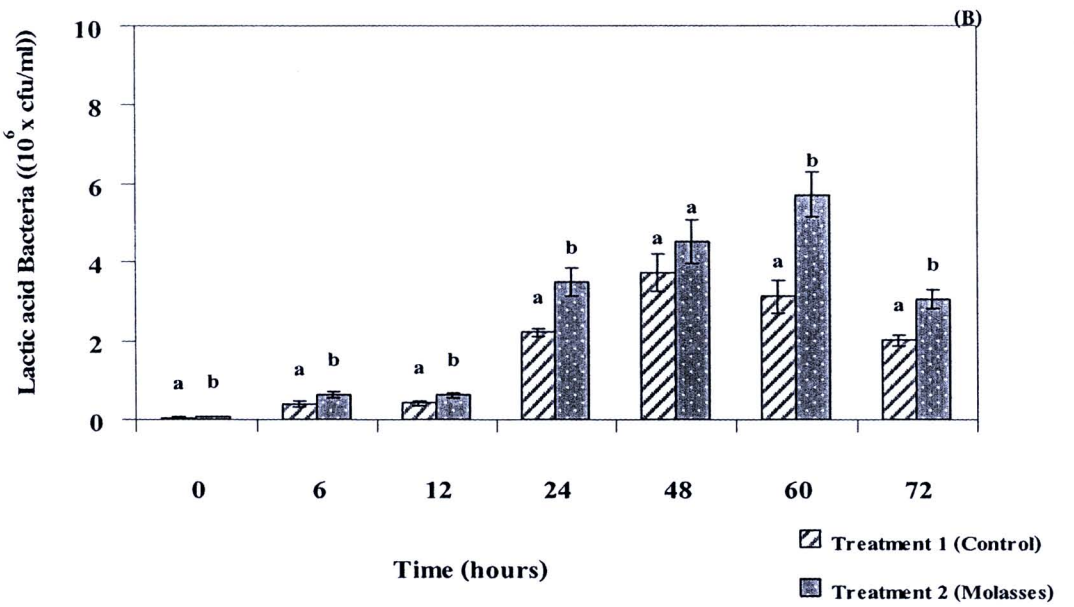
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงดัชนีความเป็นพิษต่อพืช (Germination index) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

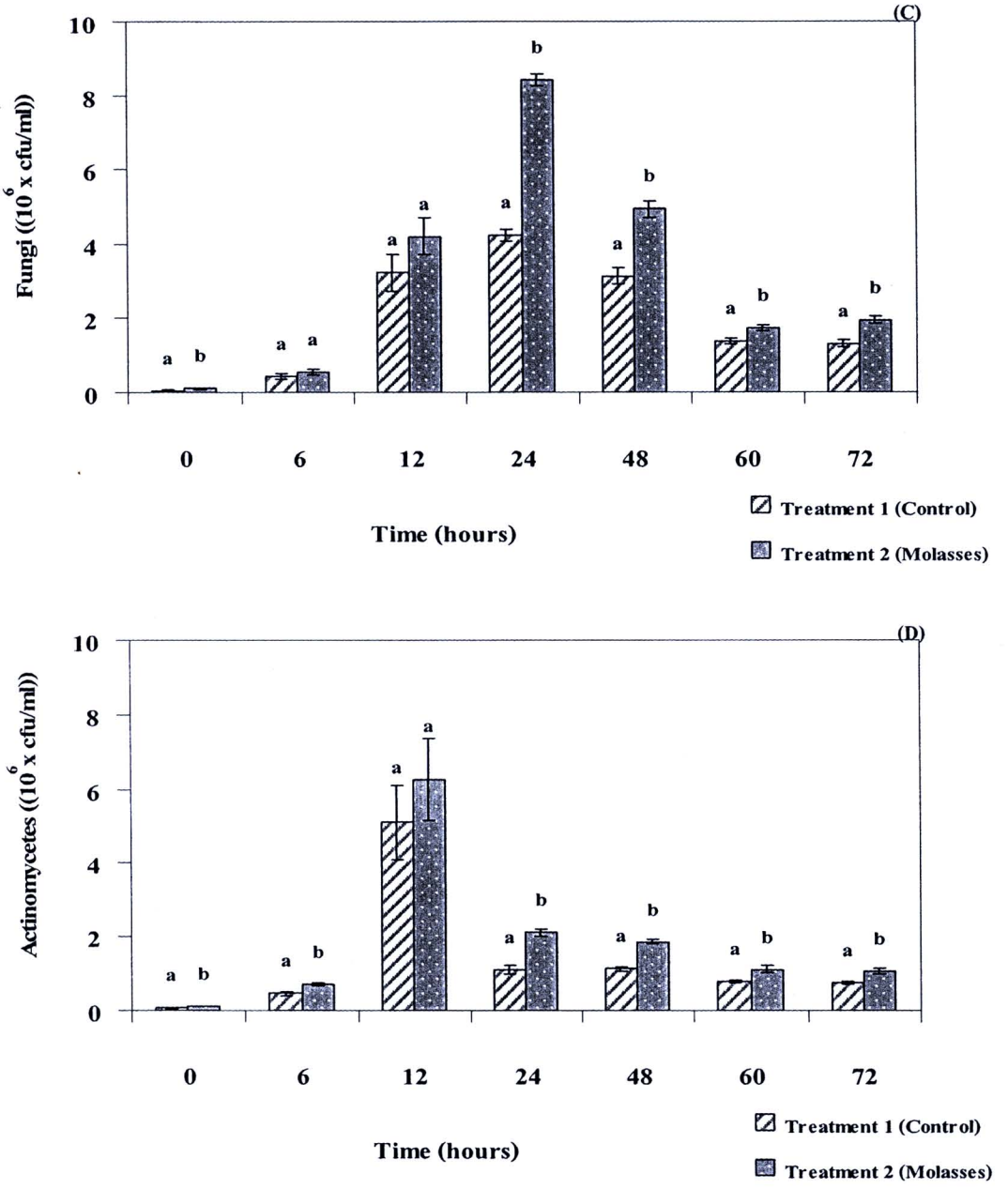
ปริมาณจุลินทรีย์

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในปุ๋ยน้ำสกัดในชุดทดลองที่ 1 และ 2 (รูปที่ 4.20 A, B, C และ D) สามารถตรวจพบทั้งแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria) แลคติกแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) เชื้อรา (Fungi) และ แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) แต่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์แต่ละชนิดในปุ๋ยน้ำสกัดแตกต่างกัน กล่าวคือปริมาณแลคติกแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 60 ชั่วโมงของการหมัก ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria) เชื้อรา (Fungi) และ แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) มีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48, 24 และ 12 ชั่วโมงของการหมัก ตามลำดับ การลดลงของจุลินทรีย์เหล่านี้ อาจเป็นผลมาจากสภาวะในการหมักที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะ pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง [Cosico, 1985; Chen et al., 2006]

จากการเปรียบเทียบจุลินทรีย์ในทั้ง 2 ชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมกากน้ำตาลร้อยละ 10 มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria) แลคติกแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria) เชื้อรา (Fungi) และ แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) ตลอดระยะเวลาของการหมักสูงกว่าชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (รูปที่ 4.20 A, B, C และ D) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในชุดทดลองที่ 2 มีแหล่งคาร์บอน (กากน้ำตาล) ในปริมาณที่สูงกว่า (รูปที่ 4.21) จากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกากน้ำตาล พบว่า กากน้ำตาลมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 70 โดยปกติจุลินทรีย์จะสามารถใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตและสร้างกิจกรรมในกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารได้ [อานัฐ ตันโช, 2546]

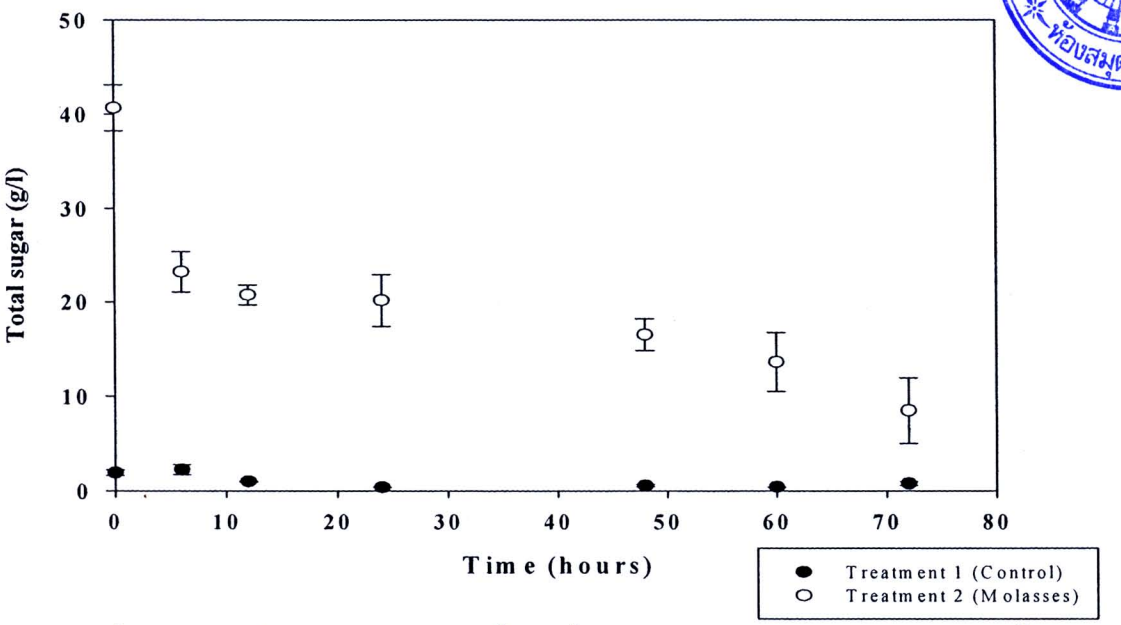

(A)
Total Bacteria (10 x cfu/ml))
10
8
6
4
2
0
0
6
12
24
48
60
72
Time (hours)
Treatment 1 (Control)
Treatment 2 (Molasses)


(B)
Lactic acid Bacteria ((10 x cfu/ml))
10
8
6
4
2
0
0
6
12
24
48
60
72
Time (hours)
Treatment 1 (Control)
Treatment 2 (Molasses)



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria; A), แลคติกแบคทีเรีย (Lactic acid bacteria; B), เชื้อรา (Fungi; C) และ แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes; D) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว โดยค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษร A-B โดยเปรียบเทียบค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ในชุดทดลองที่ต่างกัน ณ ช่วงเวลาเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

4.3.4 คุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว

จากการเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยน้ำสกัด (Compost tea) จากขุยมะพร้าวแบบให้อากาศในชุดทดลองที่ 1 และ 2 (ตารางที่ 4.19) พบว่า การนำปุ๋ยหมักมาหมักทั้งในแบบที่ไม่เติมกากน้ำตาล (ชุดทดลองที่ 1) และ เติมกากน้ำตาล (ชุดทดลองที่ 2) มีปริมาณธาตุอาหาร (N, P, K) และจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่การเติมกากน้ำตาลในปุ๋ยน้ำสกัด (ชุดทดลองที่ 2) ทำให้ได้ปุ๋ยน้ำสกัดที่มีปริมาณธาตุอาหาร N, P และ K อีกทั้งปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แลคติกแบคทีเรีย รา และแอคติโนไมซีสสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมกากน้ำตาลส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์ และ กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริค และ กรดโพรพิโอนิก ปริมาณ 230, 466, 539 และ 184 mM ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่ไม่มีการเติมกากน้ำตาลนั้นไม่พบแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ดังกล่าวเกิดขึ้นเลย ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีผลต่อค่า GI [Tripetchkul et al., 2010] จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าชุดทดลองที่ 2 มีค่า GI สูงกว่าชุดทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.19 สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว (เปรียบเทียบผลของการเติมกากน้ำตาล)

Parameter	Treatment			
	1		2	
	0 h.	24 h.	0 h.	24 h.
Physical Properties				
- Texture	✗	✗	✗	✗
- Color	Light brown	Brown	Light brown	Dark brown
- Odor	✗	✗	✗	กลิ่นเปรี้ยว/แอลกอฮอล์
pH	$6.49\pm0.01^{A,a}$	$6.37\pm0.01^{A,b}$	$4.08\pm0.01^{B,a}$	$4.41\pm0.01^{B,a}$
EC (ds/m)	$0.06\pm0.00^{A,a}$	$0.14\pm0.00^{A,b}$	$0.29\pm0.00^{B,a}$	$0.28\pm0.00^{B,b}$
Elements				
Nitrogen (%N)	$0.07\pm0.00^{A,a}$	$0.16\pm0.01^{A,b}$	$0.11\pm0.01^{B,a}$	$0.20\pm0.02^{B,b}$
Phosphorus (%P_2O_5)	$0.01\pm0.00^{A,a}$	$0.02\pm0.00^{A,b}$	$0.01\pm0.00^{B,a}$	$0.03\pm0.00^{B,b}$
Potassium (%K_2O)	$0.29\pm0.00^{A,a}$	$0.30\pm0.01^{A,b}$	$0.32\pm0.01^{B,a}$	$0.35\pm0.00^{B,b}$
Microorganisms (Log cfu/ml)				
Total bacteria	$5.32\pm0.03^{A,a}$	$6.92\pm0.02^{A,b}$	$5.75\pm0.03^{B,a}$	$6.96\pm0.03^{A,b}$
Lactic acid bacteria	$4.66\pm0.05^{A,a}$	$6.34\pm0.02^{A,b}$	$4.81\pm0.06^{B,a}$	$6.54\pm0.04^{B,b}$
Fungi	$4.68\pm0.04^{A,a}$	$6.63\pm0.01^{A,b}$	$5.01\pm0.03^{B,a}$	$6.92\pm0.08^{B,b}$
Actinomycetes	$4.75\pm0.09^{A,a}$	$6.04\pm0.04^{A,b}$	$5.03\pm0.03^{B,a}$	$6.32\pm0.02^{B,b}$
Organic acids				
Ethanol (mM)	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$230.00\pm0.00^{B,b}$
Acetic acid (mM)	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$466.00\pm16.97^{B,b}$
Butyric acid (mM)	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$539.00\pm11.31^{B,b}$
Propionic acid (mM)	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$0.00\pm0.00^{A,a}$	$184.50\pm0.71^{B,b}$
Germination index	$61.67\pm7.00^{A,a}$	$87.26\pm12.78^{A,b}$	$93.98\pm20.58^{B,a}$	$131.57\pm7.35^{B,b}$

หมายเหตุ : ✗ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ✓ เกิดการเปลี่ยนแปลง

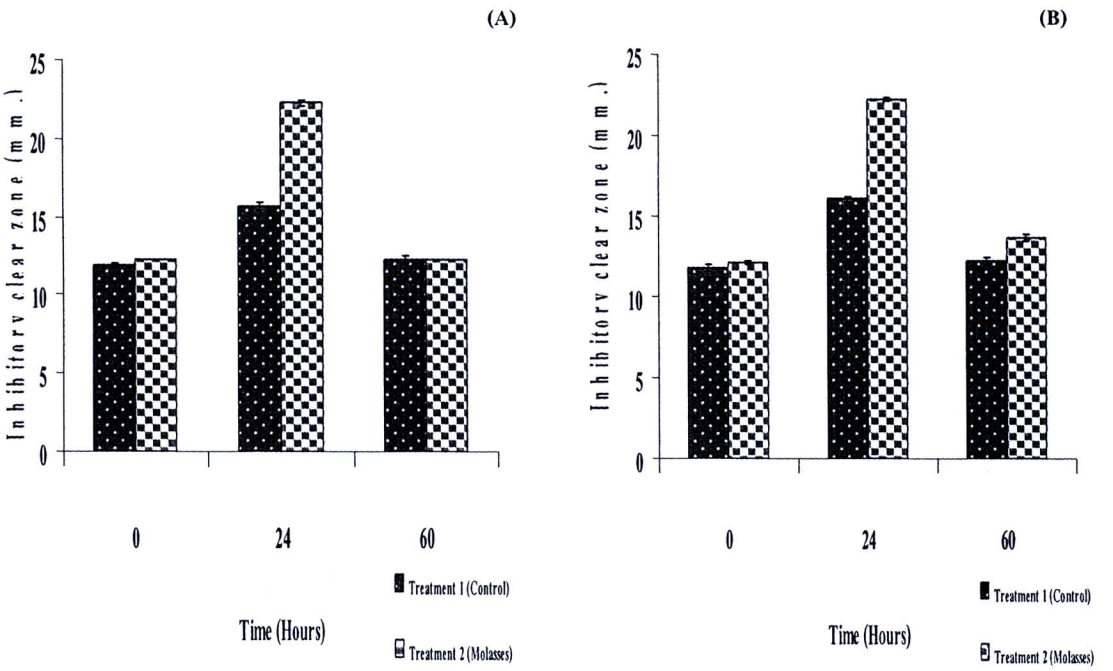
ค่าเฉลี่ยที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่เปรียบเทียบค่าทางสถิติของแต่ละพารามิเตอร์ในชุดทดลองที่ต่างกัน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน

ค่าเฉลี่ยที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเปรียบเทียบค่าทางสถิติของชุดทดลองในแต่ละตัวที่ช่วงเวลาต่างๆกัน

Treatment 1 (ชุดควบคุม) Treatment 2 (ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล)

4.3.5 การยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค

จากการนำปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่หมักแบบให้อากาศมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในพืช ได้แก่ เชื้อรากลุ่ม *Colletotrichum capsici* และ *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคแอนแทรคโนสในผลไม้ [สนธยา พุทธวงศ์ และ ศศิธร วงศ์เรือง, 2552] และ พืชผักสวนครัว [Than et al., 2008] เป็นต้น พบว่า ปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าวที่ระยะเวลาการหมัก 0, 24 และ 60 ชั่วโมง ทั้งในชุดทดลองที่ไม่เติมกากน้ำตาล (ชุดทดลองที่ 1) และ ชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล (ชุดทดลองที่ 2) สามารถยับยั้งการเจริญเส้นใยของเชื้อราก่อโรคในกลุ่ม *Colletotrichum capsici* และ *Colletotrichum gloeosporioides* (รูปที่ 4.22 A และ B) ที่ 24 ชั่วโมงของการหมัก ปุ๋ยน้ำสกัดของชุดทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการยับยั้ง *C. capsici* และ *C. gloeosporioides* สูงสุด คือ ร้อยละ 98 ซึ่งสูงกว่าชุดทดลองที่ 1 (ร้อยละ 39) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมกากน้ำตาลในระหว่างการทำปุ๋ยน้ำสกัดแบบให้อากาศ ช่วยเสริมสร้างการสร้าง Metabolite ของจุลินทรีย์ในน้ำหมัก จากการศึกษาตรวจพบกรดอินทรีย์ในปุ๋ยน้ำสกัดชุดทดลองที่เติมกากน้ำตาล โดยเฉพาะที่ช่วงระยะเวลาการสกัด 24 ชั่วโมง ที่ตรวจพบแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทริริค และ กรดโพพิโอนิก ในปริมาณค่อนข้างสูง (รูปที่ 4.18) Henis et al. (1984) และ Donon et al. (2007) รายงานว่า กรดอินทรีย์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในพืชได้



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคของปุ๋ยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว
(A) เชื้อ *Colletotrichum capsici* และ (B) เชื้อ *Collectotrichum gloeosporioidesr*