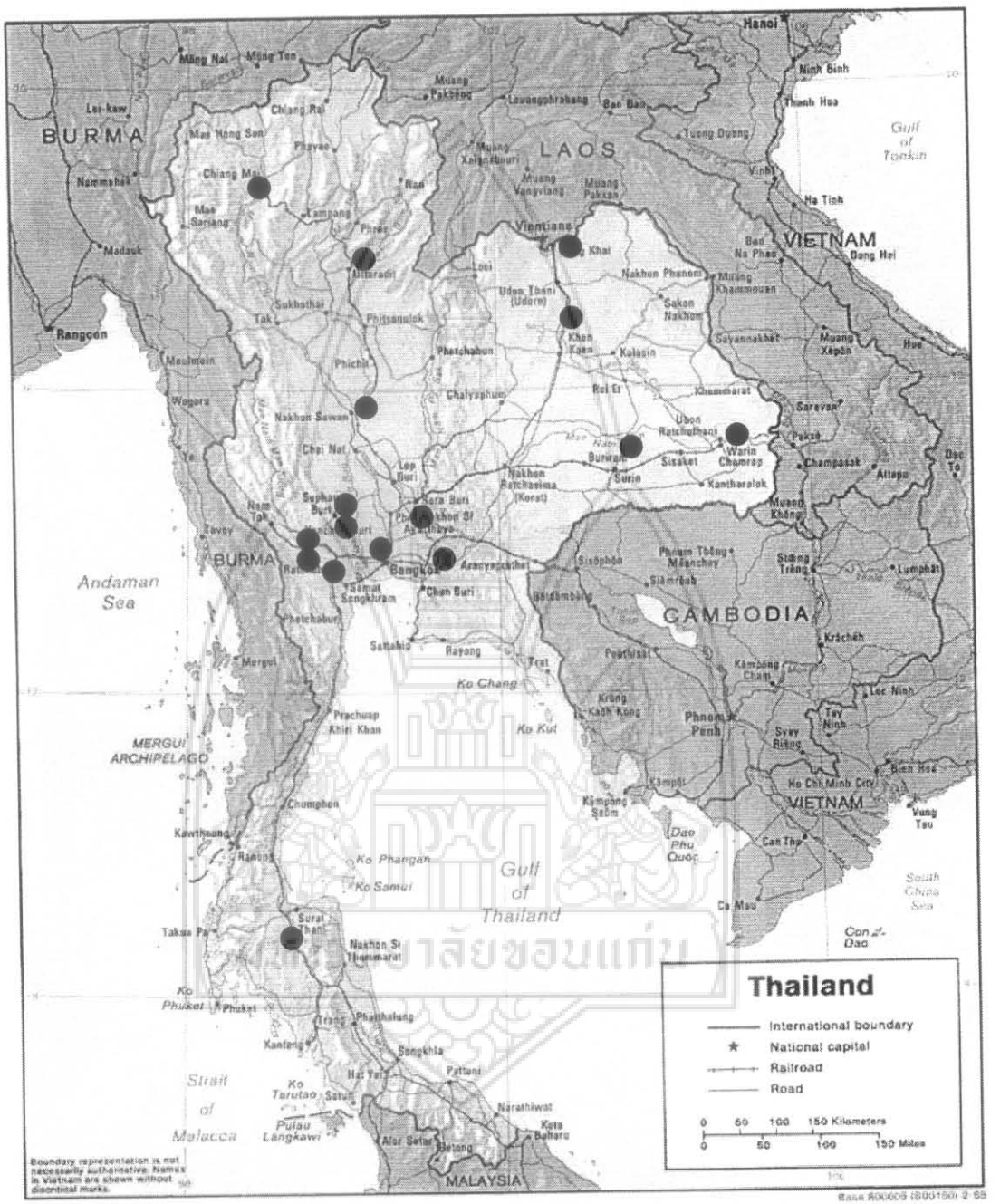
บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่ และกระบวนการผลิตสุรา

วงศ์พันธ์ และคณะ (2549) รายงานว่า ประเทศไทยมีโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่รวม 26 แห่ง กระจายอยู่ในทุกภาคทั่วประเทศ โดยภาคกลางมีโรงงานสุรามากที่สุด คือ 12 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 46.15 รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี 6 แห่ง คิดเป็นร้อยละ23.08 ส่วนภาคเหนือ, ตะวันออก, ตะวันตก และภาคใต้ มีโรงงานสุราจำนวน 2, 2, 3 และ 1 แห่ง ตามลำดับ เมื่อทำการสำรวจโรงงาน 16 แห่งที่เข้าร่วมโครงการศึกษาสำรวจโรงงานสุรากลั่นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ตารางที่ 1 ; รูปที่ 1) พบว่า โรงงานส่วนมาก (12 แห่ง) ตั้งอยู่ติดลำน้ำ เพราะต้องใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการผลิต ส่วนโรงงานอีก 4 แห่ง อยู่ห่างจากลำน้ำในระยะ 0.5 - 2 กิโลเมตร (ตารางที่ 1) บริษัทสุราบางยี่ขัน จำกัด เป็นโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่ที่สุดที่เข้าร่วมโครงการสำรวจฯ ตั้งอยู่ในภาคกลาง ติดแม่น้ำเจ้าพระยา มีกำลังผลิตสูงถึง 6,705,000 ลิตรต่อเดือน แต่มีระยะการผลิตสั้นเพียง 3 - 6 เดือนเท่านั้น ในขณะที่โรงงานสุราของบริษัท แสงโสม จำกัด ตั้งอยู่ในภาคกลางเช่นกัน แต่อยู่ติดแม่น้ำนครชัยศรี มีกำลังการผลิตต่ำกว่า คือ 2,110,000 ลิตรต่อ-เดือน มีระยะการผลิตตลอดทั้งปี (ตารางที่ 1) ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่ที่เข้าร่วมโครงการฯ จำนวน 4 แห่ง (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2549) โดยโรงงานสุราของ บริษัท แก่นขวัญ จำกัด ตั้งอยู่ติดลำน้ำพอง ที่อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น เป็นโรงงานที่มีระยะการผลิตตลอดทั้งปี และมีกำลังการผลิตสูงสุดของภาค คือ 1,920,000 ลิตรต่อเดือน (ตารางที่ 1)

ในกระบวนการผลิตสุรา วงศ์พันธ์ และคณะ (2549) รายงานว่า โรงงานสุราร้อยละ 93 ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก มีโรงงานสุราเพียง 1 แห่ง คือ บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอร์รี่ แอนด์ ดิสทิลเลอรี่ จำกัด ที่ใช้กากน้ำตาลและข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบ (ตารางที่ 1) ในขณะที่ สุจินต์ (2527) รายงานว่า ยังมีการใช้ปลายข้าวเหนียวร่วมกับกากน้ำตาลด้วย สาเหตุที่นิยมใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสุรา เพราะว่ากากน้ำตาลยังมีน้ำตาลปนอยู่สูงถึงร้อยละ 50 - 55 (พูนสุข, 2542) การผลิตสุราควรเจือจางกากน้ำตาลลง 3 เท่า เพื่อลดน้ำตาลให้เหลือร้อยละ 17 เพราะเป็นระดับน้ำตาลที่ให้แอลกอฮอล์สูงสุดก่อนทำการเติมยีสต์ (พูนสุข, 2542 : วงศ์พันธ์ และคณะ, 2549 ; รูปที่ 2) อาจมีการเติมแอมโมเนียซัลเฟตร่วมด้วย (พูนสุข, 2542) เพื่อเร่งปฏิกิริยาของยีสต์ ทำการหมักนาน 2 - 3 วัน ยีสต์จะเปลี่ยนกากน้ำตาลให้เป็นเอธิลแอลกอฮอล์ ทำการแยกเอธิลแอลกอฮอล์ออกจากสารละลายโดยวิธีการกลั่น จะได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95 ก่อนนำไปเจือจางให้มีแอลกอฮอล์ความ

เข้มข้นต่ำลง แล้วจึงเติมสี ยาสมุนไพร และสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมและรสชาติดี (วงศ์พันธ์และคณะ, 2549; รูปที่ 2)



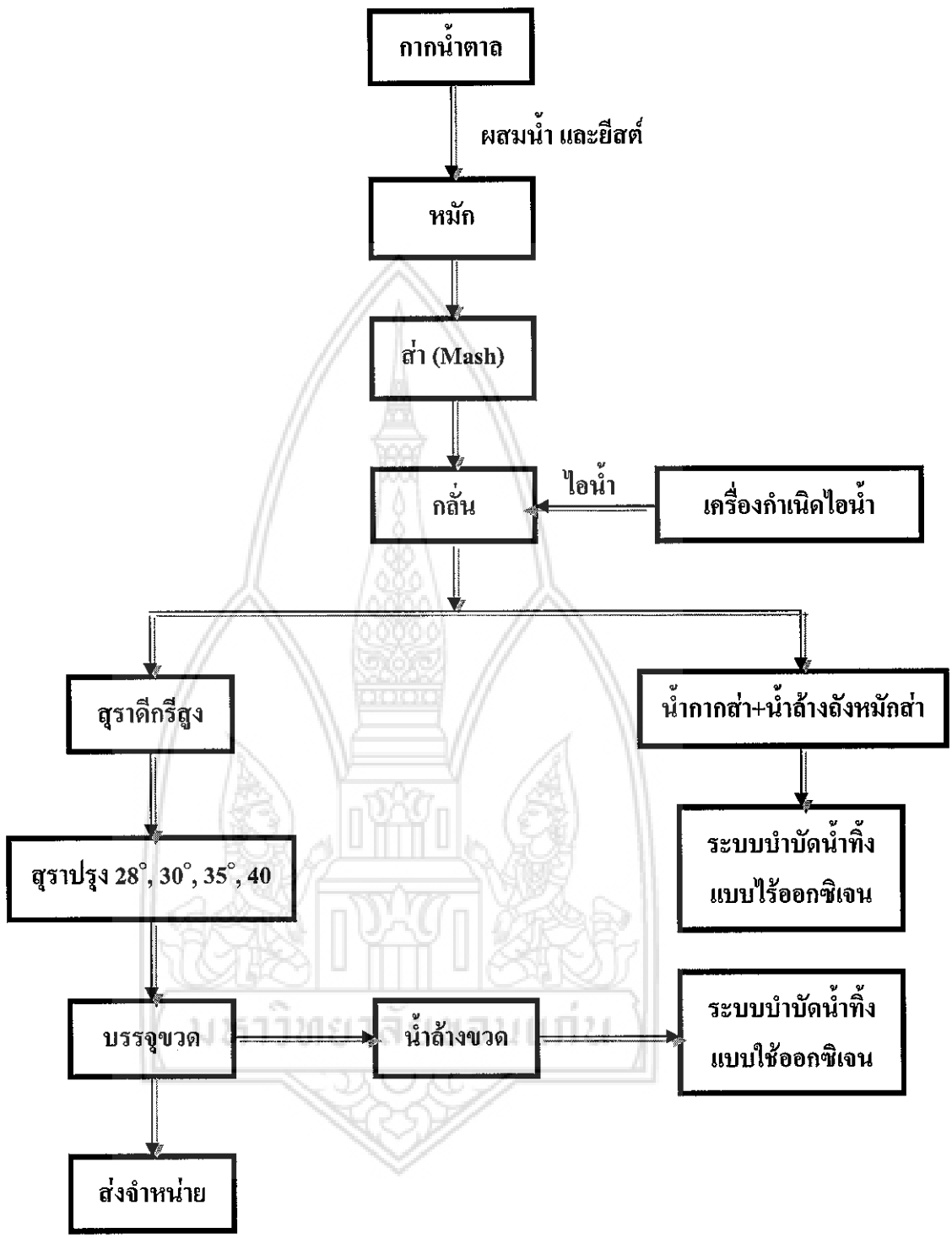
รูปที่ 1 แผนที่ตั้งของโรงงานสุรากลั่นนาดใหญ่ในประเทศไทยที่เข้าร่วมโครงการการศึกษาสำรวจโรงงานสุรากลั่นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ที่มา : วงศ์พันธ์ และคณะ (2549)

ตารางที่ 1 โรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่ในประเทศไทยที่เข้าร่วมโครงการการศึกษาสำรวจโรงงานสุรากลั่นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ภาค	ชื่อโรงงาน	ระยะห่างจากลำน้ำ	วัตถุดิบ	กำลังการผลิตที่ 100° (ลิตร/เดือน)	ระยะเวลาการผลิต/ ปี 2548
กลาง	บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด	ติดลำคลองแสนสุข	กากน้ำตาล	1,110,000	12 เดือน
	บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ดิสทิลเลอรี่ จำกัด	ติดแม่น้ำนครชัยศรี	กากน้ำตาล+ข้าวเจ้า	650,000	12 เดือน
	บริษัท แสงโสม จำกัด จ.นครปฐม	ติดแม่น้ำนครชัยศรี	กากน้ำตาล	2,110,000	12 เดือน
	บริษัท สุราบางยี่ขัน จำกัด	ติดแม่น้ำเจ้าพระยา	กากน้ำตาล	6,705,000	3-6 เดือน
	บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด	1 กิโลเมตรจากแม่น้ำปิง	กากน้ำตาล	146,000	12 เดือน
เหนือ	บริษัท มงคลสมัย จำกัด	ติดแม่น้ำน่าน	กากน้ำตาล	290,000	12 เดือน
	บริษัท ธนภักดี จำกัด	ติดแม่น้ำปิง	กากน้ำตาล	266,000	3 เดือน
ตะวันออก	บริษัท เฟื่องฟูอนันต์ จำกัด	ติดแม่น้ำปราจีนบุรี	กากน้ำตาล	1,110,000	10 เดือน
ตะวันออก	บริษัท เทพอรุโณทัย จำกัด	2 กิโลเมตรจากแม่น้ำโขง	กากน้ำตาล	924,000	8 เดือน
เฉียงเหนือ	บริษัท แก่นขวัญ	ติดแม่น้ำพอง	กากน้ำตาล	1,920,000	12 เดือน
	บริษัท เอส.เอส.การสุรา จำกัด	2 กิโลเมตรจากลำโดมใหญ่	กากน้ำตาล	1,070,000	10 เดือน
	บริษัท อธิมาตร จำกัด	ติดแม่น้ำมูล	กากน้ำตาล	1,170,000	6 เดือน
ตะวันตก	บริษัท หลักชัยค้าสุรา จำกัด	ติดแม่น้ำแม่กลอง	กากน้ำตาล	514,000	10 เดือน
	บริษัท แสงโสม จำกัด จ.กาญจนบุรี	ติดแม่น้ำแม่กลอง	กากน้ำตาล	1,680,000	10 เดือน
	บริษัท กาญจนสิงขร จำกัด	500 เมตรจากแม่น้ำแม่กลอง	กากน้ำตาล	517,000	5 เดือน
ใต้	บริษัท นทีชัย จำกัด	ติดคลองพุนพิน	กากน้ำตาล	1,115,000	12 เดือน

ที่มา : วงศ์พันธ์ และคณะ(2549)



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตสุราของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่

ที่มา :วงศ์พันธ์ และคณะ (2549)

2.2 น้ำกากส่าและคุณสมบัติของน้ำกากส่า

ในกระบวนการผลิตสุรา นอกจากจะได้สุราเป็นผลผลิตแล้ว ยังได้ของเสียหรือสิ่งเหลือใช้ที่เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ เรียกว่า น้ำกากส่าหรือกากส่าเหล้า (distillery slop waste) แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.2.1 น้ำกากส่าสด คือ น้ำกากส่าที่เพิ่งออกจากท่อกลั่นโดยตรง ยังไม่ได้ไม่สัมผัสกับเชื้อภายนอก มีปริมาณมากถึงร้อยละ 44.8 - 99.3 ของน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด น้ำกากส่าสดนี้มีความสกปรกสูง มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 46 - 100 องศาเซลเซียส ค่าpH ระหว่าง 3.75 - 5.28 (เฉลี่ย 4.57) มีฤทธิ์เป็นกรด ค่าบีโอดี ซีโอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 32,000 - 75,000, 124,630 -198,520 และ 11,000 - 63,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (เฉลี่ย 58,198, 151,355 และ 34,774 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ : ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังมีน้ำล้างถังหมักส่า มีปริมาณเพียงร้อยละ 0.5 - 3.5 ของน้ำเสียทั้งหมด ที่จะระบายรวมกับน้ำกากส่าสด (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2549)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำกากส่าสด น้ำกากส่าบำบัด และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตัวแปร	น้ำกากส่าสด		น้ำกากส่าบำบัด		ประสิทธิ-ภาพหลังการบำบัด (%)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จากโรงงานอุสาหกรรม*
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย		
pH	3.75-5.28	4.57	7.62-9.80	8.38	-	5.5-9.0
Temperature (^{O}C)	46-100	-	-	-	-	ไม่เกิน 40
BOD (มก./ล.)	32,000-75,000	58,198	78-6,250	1,453.87	97.50	ไม่เกิน 20
COD (มก./ล.)	124,630-198,520	151,355	320-119,990	44,914	70.33	ไม่เกิน120
SS (มก./ล.)	11,000-63,750	34,774	45-43,000	11,064	68.24	ไม่เกิน 50
TKN (มก./ล.)	-	-	6-2,080	793	-	-
TP (มก./ล.)	-	-	1-63	32	-	-

หมายเหตุ : - หมายความว่า ไม่มีข้อมูลผลการวิเคราะห์

ที่มา : วงศ์พันธ์ และคณะ (2549) และ *กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2539)

ตารางที่ 3 วิธีการบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่ที่เข้าร่วมโครงการการศึกษาสำรวจโรงงานสุรากลั่นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ชื่อโรงงาน	ระบบบำบัดน้ำกากส่า		การผลิตก๊าซชีวภาพ	การถ่ายทิ้งน้ำกากส่า	การใช้ประโยชน์น้ำกากส่า
บริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด	- Anaerobic Digestion + Anaerobic Pond	-Activated Sludge	มี	คลองแสนสุข	ล้างอุปกรณ์,รดต้นไม้
บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอรี่ แอนด์ดิสทิลเลอรี่จำกัด	- Anaerobic Pond	-Activated Sludge	ไม่มี	แม่น้ำนครชัยศรี	ไม่มี
บริษัท แสงโสม จำกัด จ.นครปฐม	- Anaerobic Pond	-Aerated Lagoon	ไม่มี	แม่น้ำนครชัยศรี	ไม่มี
บริษัท สุราบางยี่ขัน จำกัด	-Incineration	-Activated Sludge	ไม่มี	แม่น้ำเจ้าพระยา	ไม่มี
บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด	-Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	ไม่มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท มงคลสมัย จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท ธนภักดี จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท เฟื่องฟูอนันต์ จำกัด	-Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	ไม่มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท เทพอรุโณทัย จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท แก่นขวัญ	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท เอส.เอส.การสุรา จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท อธิมาตร จำกัด	-Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	ไม่มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท หลักชัยค้าสุรา จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท แสงโสม จำกัด จ.กาญจนบุรี	-Anaerobic Pond		ไม่มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท กาญจนสิงขร จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้
บริษัท นทีชัย จำกัด	-UASB+ Anaerobic Pond	- Aerated Lagoon	มี	ไม่ทิ้ง	รดน้ำต้นไม้

ที่มา : วงศ์พันธ์ และคณะ(2549)

2.2.2 น้ำกากส่าบำบัด คือน้ำกากส่าที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบชีวภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition) วงศ์พันธ์ และคณะ(2549) รายงานว่า โรงงานสุราที่เข้าร่วมโครงการฯ ส่วนใหญ่บำบัดน้ำกากส่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีวิธีการบำบัด 3 ระบบ ดังนี้

1) ระบบบ่อหมัก (anaerobic pond) เป็นระบบที่มีบ่อ 2 - 4 บ่อเรียงต่อกันในลักษณะบ่อเปิด โดยนำน้ำเสียหรือน้ำกากส่าสดเข้าบ่อที่ 1 แล้วปล่อยให้ไหลผ่านบ่อต่างๆ ไปถึงบ่อสุดท้ายที่เป็นบ่อปรับสภาพ ในบ่อนี้มีการใส่ปูนขาวลงไปทำให้ค่าpH สูงขึ้น น้ำในบ่อปรับสภาพนี้เรียกว่า น้ำกากส่าบำบัด มีโรงงานสุราของ บริษัท แสงโสม จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี ที่ใช้ระบบบำบัดน้ำกากส่าแบบนี้เพียงอย่างเดียว พบว่าน้ำกากส่าในบ่อปรับสภาพนี้ยังมีความสกปรกสูงอยู่ โรงงานสุราของบริษัท แสงโสม จำกัด จังหวัดนครปฐม, บริษัท สีมาธุรกิจ จำกัด, บริษัท เฟื่องฟูอนันต์ จำกัด และ บริษัท อธิกมาตร จำกัด จึงทำการขยายบ่อปรับสภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีการเติมอากาศลงไป เรียกว่า บ่อ aerobic lagoon

2) ระบบถังหมัก (anaerobic digestion) ร่วมกับระบบบ่อหมัก เป็นระบบที่นำน้ำกากส่าสดเข้าสู่ถังหมัก ขั้นตอนนี้ใช้เวลาหมัก 5 วัน จะได้ก๊าซชีวภาพมาใช้แทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตสุรา ระบบนี้สามารถลดค่าบีโอดีลงร้อยละ 80 แต่น้ำกากส่าบำบัดที่ได้ในระบบนี้ยังมีความสกปรกสูงอยู่ จึงต้องนำไปบำบัดต่อในระบบบ่อหมัก

ในระบบถังหมักนี้หากมีการใส่เชื้อรา *Trametes versicolor* นาน 4 วัน จักรินทร์ และคณะ (2547) รายงานว่า สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 98.69 ลดกรดไขมันระเหยง่าย และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดร้อยละ 93.85 และ 91.34 ตามลำดับ ลดค่าซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 78.46 และ 79.34 ตามลำดับ วิธีนี้สามารถลดค่าอัลคาไลนิตี้ได้อีกร้อยละ 40 (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับรายงานของเลอร์วิทย์ และคณะ (2547) ที่ใช้จุลินทรีย์ชนิดเดียวกันในถังหมักชีวภาพใช้ระยะเวลาการหมักที่นานขึ้นเป็น 5 วัน พบว่าลดค่าบีโอดี, ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 95.14, 70.00 และ 51.14 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถลดความเข้มสีและความขุ่น (ตารางที่ 5) ต่อมาจึงมีการใช้เฟอริกคลอไรด์ตกตะกอนสารละลายหลังการบำบัดทางชีวภาพ พบว่า เฟอริกคลอไรด์สามารถลดค่าบีโอดี, ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 98.02, 94.77 และ 98.80 ตามลำดับ มากกว่าการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดเพียงร้อยละ 95.14, 70.00 และ 51.14 ตามลำดับ ประกอบกับเฟอริกคลอไรด์สามารถลดความเข้มสีได้อีกร้อยละ 97.55 แต่ไม่สามารถลดความขุ่นของสารละลายลงได้ จึงมีการนำน้ำกากส่าหลังการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์และผ่านการตกตะกอนด้วยเฟอริกคลอไรด์แล้ว มากรองผ่านทราย พบว่า วิธีการกรองผ่านทรายนี้ทำให้น้ำกากส่าที่ผ่านขบวนการบำบัดทั้ง 3 ขั้นตอน (เลอร์วิทย์ และคณะ, 2547) แล้วมีเฉพาะค่าความเป็นกรดด่าง และของแข็งแขวนลอย (6.97 และ 12.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ;

ตารางที่ 5) ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ในขณะที่ค่าบีโอดี และซีโอดี ยังมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ตารางที่ 2) จึงไม่สามารถระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ตารางที่ 4 คุณภาพของน้ำกากส่าก่อนและหลังการบำบัดด้วยเชื้อ *Trametes versicolor*

พารามิเตอร์ / กระบวนการบำบัด	น้ำกากส่าสด	หลังบำบัดด้วยเชื้อ *T. versicolor*	ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)
บีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร)	19,953.33	263.33	98.69
ซีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร)	34,083.03	7,342.30	78.46
ของแข็งแขวนลอย(มิลลิกรัมต่อลิตร)	15,799.99	1,816.00	79.34
ของแข็งทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร)	94,656.67	1,900.00	91.34
อัลคาไลนิตี้(มิลลิกรัมต่อลิตร)	2,166.67	1,166.27	40.00
กรดไขมันระเหยง่าย(มิลลิกรัมต่อลิตร)	15,599.90	971.42	93.85

ที่มา : จักรินทร์ และคณะ (2547)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำกากส่าสด และประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ

พารามิเตอร์ / กระบวนการบำบัด	น้ำกากส่าสด	หลังบำบัดด้วยเชื้อ *T.versicolor*	หลังตกตะกอนด้วย ferricchloride	ผ่านการกรองด้วยทราย
ความเป็นกรดเป็นด่าง	4.45	8.79	3.16	6.97
บีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร)	35,000	1,700	690	325
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	0.00	95.14	98.02	99.07
ซีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร)	132,000	40,000	6,900	3,250
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	0.00	70.00	94.77	97.53
ของแข็งแขวนลอย(มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,550	1,725	42.50	12.50
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	0.00	51.40	98.80	99.64
ความเข้มสีที่ 475 นาโนเมตร	สูงมาก	1.225	0.030	0.023
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	0.00	0.00	97.55	98.12
ความขุ่น(NTU)	>1,000	>1,000	>1,000	5.89
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	0.00	0.00	0.00	99.41

ที่มา : เลอวิทย์ และคณะ (2547)

3) ระบบ UASB (upflow anaerobic sludge blanket) ร่วมกับระบบบ่อหมักเป็นระบบบำบัดน้ำกากส่า ที่น้ำกากส่าสดจะถูกนำไปเข้าสู่ระบบ UASB นาน 4 - 5 วัน เพื่อสกัดก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ได้ก๊าซชีวภาพ 43 - 536 ลิตรต่อวัน พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีลงร้อยละ 50 - 60 แต่น้ำกากส่าในระบบนี้ยังมีความสกปรกสูงมาก จึงนำไปผ่านการบำบัดในระบบบ่อหมักต่อไป

วงศ์พันธ์ และคณะ (2549) รายงานผลการสำรวจโรงงานสุราที่เข้าร่วมโครงการฯ ว่า น้ำกากส่าบำบัดนี้ สามารถลดค่าบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ลงอยู่ในช่วง 78 - 6,250, 320 - 119,999 และ 45 - 43,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (เฉลี่ย 1,453.87, 44,914 และ 11,064 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) คิดเป็นความสามารถในการบำบัดค่าดังกล่าวร้อยละ 97.50, 70.33 และ 68.24 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) แต่ยังมีความสกปรกสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดค่าบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ไม่เกิน 20, 120 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำให้โรงงานสุราไม่สามารถระบายน้ำกากส่าบำบัดลงสู่แหล่งน้ำ ประกอบกับในน้ำกากส่าบำบัดยังมีค่าทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen : TKN) และมีค่าทีพี (total phosphorus : TP) ที่เป็นสารอาหารของพืชอยู่ในปริมาณ 793 และ32 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) สามารถใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืช มีโรงงานสุรา 13 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 81.25 ใช้น้ำกากส่าบำบัดไปรดต้นไม้ โดยโรงงานสุราของบริษัท สุรากระทิงแดง (1988) จำกัด นอกจากที่จะนำน้ำกากส่าไปใช้ในการรดต้นไม้แล้วยังมีการนำไปใช้ล้างอุปกรณ์อีกด้วย (ตารางที่ 3)

2.2.3 กากส่าแห้ง คือ น้ำกากส่าที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งที่มีหลายวิธี เช่น การนำไปตากแดดเพื่อให้น้ำระเหยออก การนำไปเคี่ยวด้วยความร้อน หรือการนำเข้าเตาเผา เป็นต้น วงศ์พันธ์ และคณะ (2549) รายงานว่า โรงงานสุราบางยี่ขัน ทำการบำบัดน้ำกากส่า ด้วยระบบเตาเผา (incineration) เพื่อระเหยเอาน้ำออก ทำให้ได้ไอน้ำออกมาซึ่งทางโรงงานจะนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตสุราต่อไป ผลผลิตท้ายสุด คือ กากส่าแห้ง ที่สามารถนำไปขายเป็นปุ๋ยแก่เกษตรกรในราคาตันละ 800 - 2,500 บาท

ธวัชชัย และคณะ (2545) ได้ทำการวิเคราะห์กากส่าแห้ง พบว่ามีเยื่อใยโปรตีนสูงถึงร้อยละ 57.62 ให้พลังงานถึง 3,580 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีส่วนประกอบของสารอาหารจำพวกกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) ครบทั้ง 10 ชนิด โดยกรดอะมิโนจำเป็นที่พบในปริมาณมากคือ ลิวซีน (leucine, ร้อยละ 6.99) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine, ร้อยละ 4.67) และ วาลีน (valine, ร้อยละ 4.52) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non - essential amino acid) อยู่ 8 ชนิด โดยมีกรดกลูตามิกสูงสุดถึงร้อยละ 15.07 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของน้ำกากส่าแห้ง

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (energy) ; Kcal./Kg;	3580.00
เยื่อใยโปรตีน(crude protein)	57.62 %
เส้นใย (crude fiber)	16.16 %
คาร์โบไฮเดรท (carbohydrate)	10.62 %
เยื่อใยไขมัน (crude fat)	9.42 %
ความชื้น (moisture)	3.76 %
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	355.80 mg/100 g
แคลเซียม (calcium)	91.32 mg/100 g
กรดอะมิโน จำเป็น	
ลิวซีน (leucine)	6.99 %
ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine)	4.67 %
วาลีน (valine)	4.52 %
ไทโรซีน (tyrosine)	4.46 %
ไอโซลิวซีน (isoleucine)	3.51 %
ไลซีน (lysine)	3.25 %
ธรีโอนีน (threonine)	3.05 %
ซิสทีน (cystine)	2.10 %
เมทไทโอนีน (methionine)	2.01 %
ทริปโตเฟน (tryptophan)	1.75 %
กรดอะมิโน ไม่จำเป็น	
กรดกลูตามิก (glutamic acid)	15.07 %
กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid)	7.34 %
อาจีนีน (arginine)	6.77 %
อะลานีน (alanine)	4.81 %
เซอรีน (serine)	4.25 %
ไกลซีน (glycine)	3.64 %
โปรลีน (proline)	2.61 %
ฮิสติดีน (histidine)	1.95 %

ที่มา : ธวัชชัย และคณะ (2545)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.3 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

2.3.1 การใช้น้ำกากส่าเป็นปุ๋ยโดยตรงกับพืช

น้ำกากส่าสด น้ำกากส่าบำบัด และกากส่าแห้ง สามารถใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงให้แก่พืชได้หลายชนิด สุจินต์ (2527) รายงานว่าสามารถใช้น้ำกากส่าสดที่ปริมาณ 50 ลูกบาศก์เมตร เป็นปุ๋ยแก่นาข้าวพันธุ์เตี้ยพื้นที่ 1 ไร่ ในขณะที่สุเมธ และคณะ (2530) รายงานการใช้น้ำกากส่าสดในปริมาณที่สูงขึ้น คือ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เป็นปุ๋ยแก่ต้นข้าวและข้าวโพดว่า น้ำกากส่าสดที่ปริมาณดังกล่าวทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 31 และข้าวโพดมีผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 13 แต่สมหวัง (2549) กล่าวว่า การใช้น้ำกากส่าสดเป็นปุ๋ยโดยตรงให้ต้นข้าวในปริมาณเพียง 1 - 2 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 2 - 3 เท่า นอกจากนี้ สุเมธ และคณะ (2530) ทำการทดลองเจือจางน้ำกากส่าสดด้วยน้ำชลประทานที่อัตรา 1 : 4 หรือใช้ในปริมาณ 11 ลูกบาศก์เมตรต่อนาข้าว 1 ไร่ พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวเป็น 2 เท่าของข้าวที่ปลูกด้วยน้ำชลประทานอย่างเดียว (ตารางที่ 7) สุจินต์ (2527) รายงานว่า น้ำกากส่าบำบัดที่ปริมาณ 100 - 200 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สามารถใช้เป็นปุ๋ยแก่ข้าวพันธุ์เตี้ยโดยตรง ส่วนสุเมธ และคณะ (2530) อธิบายการใช้น้ำกากส่าบำบัดในปริมาณที่น้อยลง คือ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เป็นปุ๋ยแก่ต้นข้าวและข้าวโพดว่า ปริมาณการใช้น้ำกากส่าบำบัดดังกล่าวทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 25 และข้าวโพดมีผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 5 (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ สุจินต์ (2527) แนะนำการใช้กากส่าแห้งในพืชไร่ เช่น นาข้าว ข้าวโพดอ้อย เป็นต้น ควรใช้ในอัตรา 500 - 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผลผลิตดีขึ้น ส่วนการใช้ในพืชผักสวนครัว เช่น พริก แตงกวา ผักกาดขาว เป็นต้น ควรใช้ในอัตรา 32 - 64 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถทำให้พืชผักสวนครัวเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับการใช้ในพืชจำพวกไม้ประดับ เช่น เข็ม ราตรี ว่าน เป็นต้น ควรใช้ในอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่พืชจำพวกไม้ผล เช่น ทุเรียน ลางสาด ขนุน เป็นต้น ควรใช้ในอัตรา 0.5 - 3.0 กิโลกรัมต่อต้น (ตารางที่ 7)

2.3.2 การใช้น้ำกากส่าทำปุ๋ยหมัก

การใช้น้ำกากส่าทำปุ๋ยหมัก สามารถทำได้โดยการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย, ขี้เถ้าแกลบ, ขุยมะพร้าว (สุจินต์, 2527) และฟางข้าว (สมหวัง, 2549) นำมากองแล้วฉีดพ่นด้วยน้ำกากส่าให้ทั่วในอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัสดุการเกษตร 1 ตัน (สุจินต์, 2527 ; เกษตรอุตสาหกรรม, 2530) วัสดุการเกษตรเหล่านี้จะดูดซับน้ำกากส่าเอาไว้ เติมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเร่งการทำปุ๋ยหมักลงไป ใช้รถแทรกเตอร์ไถกลบกองปุ๋ย เมื่อกองปุ๋ยหมักแห้ง ให้ทำการกลับกองปุ๋ย พร้อมกับฉีดพ่นด้วยน้ำกากส่าทุกสัปดาห์ จนครบ 1 เดือน (สุจินต์, 2527; เกษตรอุตสาหกรรม, 2530; สมหวัง, 2549) จะได้ปุ๋ยหมักตามต้องการ ปุ๋ยหมักนี้มีสารอาหาร

ประกอบด้วยไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม ประมาณ 1:1:1 (สมหวัง, 2549) สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชต่อไป

ตารางที่ 7 การใช้น้ำกากส่าสดเป็นปุ๋ยให้กับพืชชนิดต่างๆ

ชนิดพืช	ปริมาณการใช้ (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)	ผลผลิตที่ได้รับ	เอกสารอ้างอิง
	น้ำกากส่าสด		
ข้าวพันธุ์เตี้ย	50	-	สุจินต์ (2527)
ข้าวและข้าวโพด	100	ผลผลิตข้าวสูงถึงร้อยละ 31 ผลผลิตข้าวโพดสูงถึงร้อยละ 13	สุเมธ และคณะ (2530)
ข้าว	1-2	-	สมหวัง (2549)
ข้าว	ผสมน้ำกากส่ากับน้ำชลประทานในอัตรา1:4 หรือ 11ลบ.ม./ไร่	ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าเพิ่มผลผลิตข้าวเป็น 2 เท่าเทียบกับการใช้น้ำชลประทานอย่างเดียว	สุเมธ และคณะ (2530)
	น้ำกากส่าบำบัด		
ข้าวพันธุ์เตี้ย	100-200	-	สุจินต์ (2527)
ข้าวและข้าวโพด	50	ผลผลิตข้าวสูงถึงร้อยละ 25ผลผลิตข้าวโพดสูงถึงร้อยละ 5	สุเมธและคณะ (2530)
	กากส่าแห้ง		
พืชไร่ ; นาข้าว, ถั่วลิสง, ข้าวโพด และอ้อย	500-1,000	ผลผลิตดีขึ้น	สุจินต์ (2527)
พืชผักสวนครัว ; พริก, แตงกวา, ผักกาดขาวและผักกวางตุ้ง	32-64	เจริญเติบโตดี	สุจินต์ (2527)
พืชไม้ประดับ ; เข็ม,ราตรี, ว่าน และจำปี	400	เจริญเติบโตดี	สุจินต์ (2527)
พืชไม้ผล ; ทุเรียน, ลางสาด และขนุน	0.5-3.0 กิโลกรัม/ต้น	ผลผลิตดีขึ้น	สุจินต์ (2527)

หมายเหตุ : - หมายความว่า ไม่มีข้อมูล

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.3.3 การใช้กากส่าแห้งในสัตว์บก

1) สัตว์ปีก

ธวัชชัย และคณะ (2545) ทำการทดลองใช้กากส่าแห้งผสมในอาหารเลี้ยงนกกระ-ทาเนื้อในอัตราร้อยละ 0, 5, 10 และ 20 ชุดทดลองละ 80 ตัว เป็นเวลา 20 วัน พบว่าการผสมกากส่า-แห้งในอาหารร้อยละ 5 ทำให้นกกระทากินอาหารได้วันละ 14.94 กรัมต่อตัว สูงกว่าชุดควบคุมที่กินอาหารวันละ 14.31 กรัมต่อตัว ในขณะที่ปริมาณการผสมกากส่าแห้งที่สูงขึ้น มีผลต่อการกินอาหาร คือ ทำให้นกกระทากินอาหารน้อยกว่าชุดควบคุม ที่ไม่ได้ผสมกากส่าแห้ง ส่งผลทำให้นกกระทาที่กินอาหารผสมกากส่าแห้งร้อยละ 5 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด คือ วันละ 2.31 กรัมต่อตัว ในขณะที่ชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตเพียงวันละ 2.17 กรัมต่อตัว เท่านั้น นอกจากนี้การผสมกากส่าแห้งในอาหารมีผลทำให้นกกระทาตายร้อยละ 2.50 - 3.40 สูงกว่าชุดควบคุมที่มีอัตราการตายเพียงร้อยละ 2.38 เท่านั้น เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพซากหลังนกกระทาตาย พบว่า อาหารผสมกากส่าแห้งร้อยละ 20 ทำให้เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น (เป็นเนื้อหลังการชำแหละ) มีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 83.64 ในขณะที่ชุดควบคุมมีซากอุ่นเพียงร้อยละ 81.15 นั่นก็หมายความว่าการผสมกากส่าลงไปสามารถทำให้ปริมาณเนื้อของนกกระทาที่ถูกชำแหละมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก-เครื่องใน (ใช้วัดปริมาณไขมันในช่องท้อง) การผสมกากส่าแห้งลงไปในอาหารมีผลทำให้น้ำหนัก-เครื่องในลดลงร้อยละ 11.34 - 13.18 น้อยกว่าชุดควบคุมที่มีน้ำหนักเครื่องในร้อยละ 13.89 ซึ่งกาก-ส่าแห้งสามารถช่วยดูดซับไขมันทำให้ปริมาณไขมันในช่องท้องของนกกระทาลดลงได้ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและรายได้ของนกกระทา โดยการผสมกากส่าแห้งร้อยละ 5 ในอาหารทำให้นก-กระทามีผลผลิตและรายได้สูงสุด คือ ชุดการทดลองละ 3.70 กิโลกรัม และ 185 บาท ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีผลผลิต 3.47 กิโลกรัมต่อชุดการทดลอง และรายได้ 173.50 บาทต่อชุดการทดลอง อย่างไรก็ดีเมื่อคำนวณกำไรของแต่ละชุดการทดลองพบว่า ชุดควบคุมขาดทุนกิโลกรัมละ 5.49 บาท ในขณะที่การผสมกากส่าแห้งในอาหารทำให้การขาดทุนลดต่ำลงตามปริมาณกากส่าแห้งที่ใส่เพิ่มขึ้น การใส่กากส่าแห้งร้อยละ 15 และ 20 มีผลทำให้ได้กำไรจากการเลี้ยงนกกระทากิโลกรัมละ 1.04 และ 3.17 บาท ตามลำดับ ส่วนการผสมกากส่าแห้งร้อยละ 5 และ 10 ในอาหาร ทำให้ขาดทุนกิโลกรัมละ 1.89 และ 0.57 บาท ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การใช้กากส่าแห้งผสมในอาหารเลี้ยงนกกระทาเนื้อ

พารามิเตอร์	ระดับกากส่าแห้งที่ผสมในอาหารนกกระทาเนื้อ (%)				
	0	**5**	**10**	**15**	**20**
ปริมาณอาหารที่กิน(กรัม/ตัว/วัน)	14.31	14.94	14.02	13.82	13.79
อัตราการเจริญเติบโต(กรัม/ตัว/วัน)	2.17	2.31	2.12	2.07	2.06
อัตราการแลกเปลี่ยนอาหาร(FCR)	6.59	6.47	6.61	6.68	6.69
อัตราการตาย(%)	2.38	2.50	3.25	3.40	3.02
ซากอุ่น(%)	81.15	80.49	81.49	81.27	83.64
น้ำหนักเครื่องใน(%)	13.89	13.18	12.74	12.16	11.34
ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม(บาท)	55.49	51.89	50.57	48.96	46.83
ผลผลิต (กก./ชุดการทดลอง)	3.47	3.70	3.39	3.31	3.30
ต้นทุนการเลี้ยง(บาท/ชุดการทดลอง)	192.55	191.99	171.43	162.06	154.54
รายได้ (บาท/ชุดการทดลอง)	173.50	185.00	169.50	165.50	165.00
กำไร/ขาดทุน (บาท/กก.)	-5.49	-1.89	-0.57	1.04	3.17

ที่มา : ธวัชชัย และคณะ (2545)

2) สุกร

สมหวัง (2549) รายงานการใช้กากส่าแห้งในสุกร โดยนำกากส่าแห้งมาผสมกับรำข้าวในอัตราส่วน 1:5 ใช้เป็นอาหารสุกร สรุปเพียงว่าการใช้กากส่าแห้งเป็นยาระบายอย่างอ่อน ทำให้สุกรมีการถ่ายท้องอย่างสม่ำเสมอเป็นปกติ

2.3.4 การใช้น้ำกากส่าในสัตว์น้ำ

1) แพลงก์ตอนพืช

(1) คลอเรลลา

จรูญ (2531ก) ได้ทำการทดลองเลี้ยง *Chlorella* sp (K_3) ในน้ำกากส่าสด และน้ำกากส่าปรับสภาพจากโรงงาน (น้ำกากส่าบำบัด) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.5, 8.0 และ 10.0 (0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 65, 80 และ 100 มิลลิลิตรต่อลิตร) ใส่คลอเรลลาเริ่มต้นที่ 2.04 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองในห้องเรือนกระจก โดยได้รับแสงธรรมชาติเฉพาะตอนกลางวัน (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) ตอนกลางคืนไม่ให้แสง นาน 20 วัน พบว่า น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 5 ทำให้จำนวนคลอเรลลาเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 6,999 x 10^4 และ 8,500 x 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ภายใน 8 วัน สูงกว่าจากชุดควบคุมที่มีคลอเรลลาเพียง 83 x 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 จำนวนคลอเรลลาที่เลี้ยงในน้ำกากส่าสด

วันที่	จำนวนคลอเรลลา x 10^4 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าที่ความเข้มข้นต่างๆ										
	0	**0.5**	**1.0**	**1.5**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**	**6.5**	**8.0**	**10.0%**
0	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
2	220	708	675	958	958	991	983	900	1066	1,166	1,466
4	162	820	1,033	1,633	1,683	1,916	1,683	1,291	1,258	1,200	2,491
6	73	850	1,283	1,766	2,708	2,408	2,600	1,558	1,733	2,141	3,308
8	83	1,133	2,166	2,916	4,041	4,800	6,966	8,500	3,183	4,450	4,683
10	62	2,225	2,783	4,741	5,800	5,050	6,483	7,200	4,475	5,700	5,000
12	62	816	2,358	3,283	5,250	5,250	6,650	6,700	3,875	7,025	6,283
14	54	1,325	2,566	3,233	5,000	6,566	6,650	7,500	6,300	8,925	9,166
16	83	983	1,600	2,591	2,716	7,283	4,866	5,300	4,100	6,750	9,366
18	62	833	2,466	2,716	4,900	6,833	7,366	7,800	4,500	8,750	10,166
20	66	647	1,950	2,225	4,125	6,316	8,900	8,550	2,950	8,375	9,583

ที่มา : จรูญ (2531ก)

ในขณะที่เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าบำบัด พบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 2, 3, 4 และ 5 ทำให้มีผลผลิตคลอเรลลาเป็น 1,292 x 10^4, 1,308 x 10^4, 1,375 x 10^4, 1,358 x 10^4 และ 1,450 x 10^4 เซลล์-ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 6 สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่มีจำนวนคลอเลลาเพียง 74 x 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 จำนวนคลอเรลลาที่เลี้ยงในน้ำกากส่าบำบัด

วันที่	จำนวนคลอเรลลา x 10^4 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าที่ความเข้มข้นต่างๆ										
	0	**0.5**	**1.0**	**1.5**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**	**6.5**	**8.0**	**10.0%**
0	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
2	220	791	816	1,225	1,629	1,482	1,417	958	882	733	620
4	162	758	958	1,025	1,167	1,375	1,317	1,167	925	866	750
6	74	641	908	1,292	1,308	1,375	1,358	1,450	883	783	740
8	83	641	691	1,033	1,317	1,242	1,467	,1375	975	900	816
10	62	458	983	1,042	1,142	1,258	1,383	1,567	1,050	1,000	800
12	62	504	525	941	1,083	1,092	1,200	1,242	916	850	650
14	54	483	520	1,067	1,292	1467	1,758	1,125	891	866	716
16	83	254	295	1,025	1,050	1,225	1,475	1,333	1,050	900	616
18	62	239	241	822	1,075	1,200	1,711	1,691	1,117	1,017	786
20	66	225	187	620	1,100	1,175	1,948	2,050	1,017	950	733

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่มา : จรูญ (2531ก)

(2) สไปรูไลนา

ในการทดลองเลี้ยงสไปรูไลนา (*Spirulina platensis)* ด้วยน้ำกากส่าสดในห้อง ปฏิบัติการและกลางแจ้ง วิลาสินี(2532) พบว่า น้ำกากส่าสดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ทำให้สไป-รูไลนานี้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนจากสไปรูไลนาทั้งที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการและกลางแจ้งพบว่า มีโปรตีนร้อยละ 43.77 และ 44.86 ตามลำดับ สามารถลดความเข้มสีของน้ำกากส่าได้ร้อยละ 51.13 และ 58.69 ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของจรูญ (2531ข) ที่ใช้น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เลี้ยงสไปรูไลนาเปรียบเทียบกับการเลี้ยง

ในอาหารสังเคราะห์ (CFTRI) พบว่ามีโปรตีนร้อยละ 51.63 และ 45.39 ตามลำดับ สไปรูไลนายังสามารถลดสีของน้ำกากส่าลงได้ร้อยละ 65.91 - 79.27 นอกจากนี้ สุพัตรา (2533) ทำการทดลองหาคุณค่าทางโภชนาการบางประการของสไปรูไลนาที่เลี้ยงในน้ำกากส่าสดความเข้มข้นร้อยละ 0.5 พบว่ามีโปรตีนและเส้นใยสูงถึงร้อยละ 68.63 $\pm$ 0.75 และ 7.38 $\pm$ 0.02 ตามลำดับ ให้พลังงานสูงถึง 5.31 $\pm$ 0.02 กิโลแคลอรี่ ต่อกรัม นอกจากนี้ยังให้แร่ธาตุหลายชนิด เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพตัสเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม (ตารางที่ 9) ในขณะที่สไปรูไลนาที่เลี้ยงด้วย CFTRI มีโปรตีนเพียงร้อยละ 55 - 65 ส่วนสไปรูไลนาที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากท่อระบาย และน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมัน-สำปะหลังบ้านโป่งมีโปรตีนใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 50 - 55 และ 52.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 คุณค่าทางอาหารของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารต่างๆ

คุณค่าอาหาร	**สูตรอาหารเลี้ยง *S. platensis***			
	น้ำกากส่าสด ร้อยละ0.5	**อาหารสังเคราะห์ CFTRI**	**น้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำ**	**น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังบ้านโป่ง**
โปรตีน	68.63 ±0.75	55-65	50-55	52.5
คาร์โบไฮเดรท	12.99±0.00	10-15	18-20	-
ไขมัน	6.57 ± 0.28	2-6	6.5-9.0	-
เถ้า	6.05 ± 0.30	6-15	8.5-9.9	8.93
ความชื้น	5.76 ± 0.58	5-10	6-7	8.15
เส้นใยอาหาร	7.38 ± 0.02	1-4	0.1-0.9	-
แคลเซียม	1.23 ± 0.24	0.75	-	-
ฟอสฟอรัส	0.70 ± 0.12	1.42	-	-
โพตัสเซียม	0.5 ±0.08	1.42	-	-
แมกนีเซียม	0.39 ± 0.08	0.90	-	-
โซเดียม	0.39 ± 0.04	0.45	-	-
พลังงาน(Kcal/g)	5.31 ± 0.02	-	-	-

หมายเหตุ : - หมายความว่า ไม่มีข้อมูลผลการวิเคราะห์

ที่มา : สุพัตรา (2533)

2) แพลงก์ตอนสัตว์

จรูญ (2531ก) ทำการทดลองโดยใช้น้ำกากส่าสดเลี้ยงไรแดงโดยตรง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.5, 8.0 และ 10.0 (0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 65, 80 และ 100 มิลลิลิตรต่อลิตร) นาน 15 วัน ใส่ไรแดงเริ่มต้น 80 ตัวต่อลิตรทุกชุดการทดลอง ทำการทดลองในห้องเรือนกระจก โดยได้รับแสงธรรมชาติเฉพาะตอนกลางวัน (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส) ตอนกลางคืนไม่ให้แสง หลังจากใส่ไรแดงแล้วให้แสงตลอดเวลา โดยไม่ใส่ปั๊มลม พบว่าน้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 - 2.0 ไรแดงสามารถอยู่ได้ ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเลี้ยงไรแดงร้อยละ 0.5 - 1.5 น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 สามารถทำให้ไรแดงเพิ่มจำนวนมากถึง 19,130 และ 15,930 ตัวต่อลิตร ภายใน 7 วัน สูงกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$)ในวันที่ 8 ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.5 ไรแดงลดลงเป็น 13,870 ตัวต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ทำให้ไรแดงเพิ่มจำนวนถึง 21,330 ตัวต่อลิตร สูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นรวมทั้งชุดควบคุม (ตารางที่ 12)

การทดลองใช้น้ำกากส่าสดเพาะเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดง จรูญ (2531ก) รายงาน-ว่า ใช้น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.5 (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 และ 65 มิลลิตรต่อลิตร) เลี้ยงคลอเรลลาที่มีจำนวนเซลล์เริ่มต้นที่ 2.04×10^4 เซลล์ต่อ-มิลลิลิตร ทุกชุดการทดลอง ทำการทดลองในห้องเรือนกระจก โดยได้รับแสงธรรมชาติเฉพาะตอน-กลางวัน (อุณหภูมิเฉลี่ย 35 อศาเซลเซียส) ตอนกลางคืนไม่ให้แสง พบว่า คลอเรลลามีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 10 ของการเลี้ยงโดยมีจำนวน $1,950 \times 10^4$, $2,317 \times 10^4$, $2,966 \times 10^4$, $2,233 \times 10^4$, $2,267 \times 10^4$, $2,267 \times 10^4$ และ $1,083 \times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเลี้ยงด้วยน้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ ทำการใส่ไรแดง 80 ตัวต่อลิตร ในวันที่ 10 เท่ากันทุกชุดการทดลอง พบว่า จำนวนไรแดงสูงขึ้นเรื่อยๆ ในทุกชุดการทดลอง โดยไรแดงเลี้ยงด้วยคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าสดความเข้มข้นร้อยละ 3.0 และ 4.0 มีจำนวนไรแดงสูงเป็น 9,667 และ 9,533 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 14 ของการทดลอง สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ดีจำนวนไรแดงใน 2 ชุดการทดลองนี้ มีจำนวนสูงสุดเป็น 17,400 และ 10,666 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 15 ของการทดลอง (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 จำนวนไรแดงที่เลี้ยงในน้ำกากส่าสดโดยตรง

วันที่	จำนวนไรแดง (ตัวต่อลิตร) เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าที่ความเข้มข้นต่างๆ										
	0	**0.5**	**1.0**	**1.5**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**	**6.5**	**8.0**	**10.0 %**
0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
1	-	120	66	53	13	-	-	-	-	-	-
2	-	266	160	120	26	-	-	-	-	-	-
3	-	653	186	53	26	-	-	-	-	-	-
4	-	1,613	746	226	26	-	-	-	-	-	-
5	-	3,787	1,480	266	40	-	-	-	-	-	-
6	-	10,830	4,320	986	150	93	-	-	-	-	-
7	-	19,130	15,930	3,280	1,000	-	-	-	-	-	-
8	-	13,870	21,330	4,027	2,573	13	-	-	-	-	-
9	-	12,870	22,730	15,330	6,333	26	-	-	-	-	-
10	-	5,333	22,400	13,210	3,000	-	-	-	-	-	-
11	-	2,600	11,880	14,480	5,280	133	-	-	-	-	-
12	-	946	9,413	6,933	4,480	106	-	-	-	-	-
13	-	716	7,160	5,245	4,220	56	-	-	-	-	-
14	-	486	4,907	3,558	3,960	53	-	-	-	-	-
15	-	-	400	400	3,440	-	-	-	-	-	-

ที่มา : จรูญ (2531ก)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 13 จำนวนคลอเรลลาและไรแดงที่เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าสด

วันที่	จำนวนคลอเรลลา x 10^4 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าที่ความเข้มข้นต่างๆ							
	0.5	**1.0**	**1.5**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**	**6.5 %**
0	204	204	204	204	204	204	204	204
2	1,016	900	1,108	1,008	791	716	312	204
4	1,000	1,117	975	1,116	1,400	1,150	616	158
6	1,383	1,208	1,466	1,333	1,150	1,083	366	166
8	1,100	1,333	1,666	1,950	1,800	1,550	816	83
10	1.950	2.317	2,966	2.233	2,267	2,267	1,083	75
	จำนวนไรแดง (ตัวต่อลิตร) เลี้ยงด้วยน้ำกากส่าที่ความเข้มข้นต่างๆ							
10	80	80	80	80	80	80	80	80
12	550	466	266	150	216	200	50	-
13	2,450	2,083	1,916	1,650	2,550	1,516	516	66
14	2,950	3,833	3,300	3,950	9,667	9,533	1,566	50
15	4,800	4,200	5,900	6,700	17,400	10,666	1,800	106
16	3,000	3,366	6,200	5,400	9,666	7,933	4,000	100
17	3,066	3,400	5,533	3,800	6,933	3,333	4,400	33
18	1,500	2,400	3,233	2,800	1,813	2,600	3,500	233

ที่มา : จรูญ (2531ก)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3) ปลา

สุจินต์ (2528) อธิบายว่า น้ำกากส่าเป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา ดังนั้นควรใช้น้ำกากส่าเป็นอาหารเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนในบ่อเพื่อใช้เป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง พร้อมกับแนะนำการใช้กากส่าสดในอัตรา 1 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ จะทำให้ปลาสลิดเจริญเติบโตได้สูงสุด สอดคล้องกับฐิติมา และวรัชฎา (2537) ทำการทดลองโดยใช้น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ อนุบาลเลี้ยงลูกปลาแรดในบ่อดินขนาด 19 ตารางเมตร จำนวน 12 บ่อ บ่อละ 247 ตัว (ลูกปลาแรดมีน้ำหนักและความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยตัวละ 0.64 กรัม และ 3.23 เซนติเมตร) นาน 12 สัปดาห์ โดยเริ่มใส่น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้นดังกล่าว

ก่อนการทดลอง 5 วัน และทำการใส่น้ำกากส่าสดอย่างต่อเนื่องทุก 2 สัปดาห์ พบว่า การใส่น้ำกากส่าสดที่ความเข้มข้น 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สามารถอนุบาลลูกปลาแรดให้มีอัตราการรอดชีวิตสูงถึงร้อยละ 97.88 สูงกว่าชุดควบคุมที่มีอัตราการรอดชีวิตเพียงร้อยละ 94.03 ลูกปลาแรดอนุบาลด้วยน้ำกาก-ส่าสดที่ความเข้มข้นดังกล่าว มีขนาดปลา (น้ำหนักเฉลี่ย 35.78 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ย 11.70 เซนติเมตรต่อตัว) ที่ใหญ่กว่าชุดควบคุม (น้ำหนักเฉลี่ย 35.06 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ย 11.55 เซนติเมตรต่อตัว) ส่งผลให้ลูกปลาแรดที่อนุบาลด้วยน้ำกากส่าสด 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ มีน้ำหนักและความยาวที่เพิ่มสูงสุด คือ 11.71 กรัมต่อตัว และ 2.82 เซนติเมตรต่อตัว ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีน้ำหนัก และความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 11.47 กรัมต่อตัว และ 2.77 เซนติเมตรตัว ตามลำดับ ส่วนการใช้น้ำกากส่าสดที่ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ พบว่า เป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไป ดังนั้นทำให้ลูกปลาแรดมีขนาด, น้ำหนัก และความยาวเพิ่มเพียงตัวละ 9.69 กรัม และ 2.60 เซนติเมตร ตาม-ลำดับ และยังมีอัตรารอดตาย (ร้อยละ 92.11) ที่ต่ำกว่าชุดควบคุม (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 การใช้น้ำกากส่าอนุบาลปลาแรดในบ่อดิน

พารามิเตอร์	ปริมาณการใช้น้ำกากส่า (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)		
	0	**0.5**	**1.0**
อัตราการรอด (%)	94.03	97.88	92.11
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	0.64	0.64	0.64
ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (ซม./ตัว)	3.23	3.23	3.23
น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	35.06	35.78	29.51
ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (ซม./ตัว)	11.55	11.70	11.02
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	11.47	11.71	9.69
ความยาวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (ซม./ตัว)	2.77	2.82	2.60

ที่มา : ดัดแปลงจาก ฐิติมา และวรัชฎา (2537)

4) กุ้ง

การใช้น้ำกากส่าสดในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ วุฒิ (2548) รายงานว่า ควรใช้น้ำกากส่า-สดในขั้นตอนการเตรียมบ่อ โดยเติมน้ำให้อยู่ในระดับความสูง 30 เซนติเมตรใส่น้ำกากส่าสดอัตรา 300 - 500 ลิตรต่อไร่ในครั้งแรก เมื่อน้ำมีสีน้ำตาลแกมเขียว ให้เพิ่มน้ำอีก 30 เซนติเมตร และเติมน้ำ-กากส่าสดในปริมาณที่เท่ากับครั้งแรกอีก ทำเช่นไปจนกระทั่งน้ำในบ่อได้ระดับสูง 1.5 เมตรตามต้องการ หลังจากนั้นใช้น้ำกากส่าในอัตรา 30 ลิตรต่อไร่ ทุกๆ 3 - 5 วัน ตลอดการเลี้ยง

2.3.5 การใช้น้ำกากส่าเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

Gonzalez (1979) ได้ทดลองนำเชื้อราสายพันธุ์ H - 13 - *Aspergillus phoenicis* เลี้ยงในน้ำ-กากส่าพบว่า การเลี้ยงในน้ำกากส่าให้ผลผลิตสูงถึง 17 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับเลี้ยงใน potato dextrose broth ซึ่งให้ผลผลิตเพียง 3.5 กรัมต่อลิตร การเลี้ยงยีสต์ในน้ำกากส่า Gonzalez (1980) รายงาน พบว่า ให้ผลผลิตยีสต์ 10 กรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 32 - 40 และยังสามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 60 นอกจากนี้ สกุณณี (2526) รายงานว่า ยีสต์สายพันธุ์ *Candida valida* K001 และ *C. utilis* ATCC สามารถเจริญเติบโตในน้ำกากส่าสดได้ดี มีโปรตีนสูงร้อยละ 53.87 และ 41.10 ตามลำดับ โดยยีสต์สายพันธุ์ K001สามารถลดค่าบีโอดี, ซีโอดี และความเข้มของสีได้ร้อยละ 44.82, 44.09 และ 49.46 ส่วนยีสต์สายพันธุ์ ATCC สามารถลดค่าดังกล่าวได้ร้อยละ 27.68, 29.13 และ 35.70 ตามลำดับ

2.4 ชีววิทยาของคลอเรลลา (*Chlorella*)

2.4.1 อนุกรมวิธานของคลอเรลลา *(Chlorella)*

Bold and Wynne (1978) ได้อธิบายว่า คลอเรลลาจัดอยู่ในอาณาจักรพืช (Division Chlorophycophyta) คลาส คลอโรไฟซีอี (Chlorophyceae) อันดับ คลอเรลเลลส์ (Chlorellales) วงศ์ คลอเรลลาซีอี (Chlorellaceae) Chapman and Chapman (1973) และ Irvine and John (1984) ราย งานว่า แพลงก์ตอนพืชในสกุลคลอเรลลา (*Chlorella*) มีทั้งหมด 19 ชนิด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ชนิดของคลอเรลลาในสกุลคลอเรลลา(*Chlorella*)

ชนิดของคลอเรลลาในสกุลคลอเรลลา (***Chlorella***)
1. *Chlorella vulgaris*
2. *Chlorella parasitica*
3. *Chlorella pyrenoidosa*
4. *Chlorella conductrix*
5. *Chlorella gonglomerata*
6. *Chlorella ellipsoidea*
7. *Chlorella sorokiniana*
8. *Chlorella saccharophila*
9. *Chlorella lobohora*
10. *Chlorella fussca var. vacuolata*
11. *Chlorella fussca var. fussca*
12. *Chlorella fussca var.rubescens*
13. *Chlorella zofungiesis*
14. *Chlorella minutissina*
15. *Chlorella mirabilis*
16. *Chlorella homosphaera*
17. *Chlorella kessleri*
18. *Chlorella luteoviridis*
19. *Chlorella protothecoides*

ที่มา : Chapman and Chapman (1973) และ Irvine and John (1984)

2.4.2 คุณค่าทางอาหารของคลอเรลลา

คลอเรลลาเป็นแพลงก์ตอนพืชที่มีปริมาณของโปรตีนสูงถึงร้อยละ 58.4 (วิสัย, 2536; ตารางที่ 16) โปรตีนนี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดชีวิต ของอาหารมีชีวิตจำพวกไรแดง โรติเฟอร์ เป็นต้น ที่สามารถนำไปใช้อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนจากอาหารชนิดต่างๆ (ตารางที่ 17) คลอเรลลามีปริมาณโปรตีนที่สูงสุด โดยสูงกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ จำพวกวัว, ไก่, ปลา และไข่ ที่มีโปรตีนเพียงร้อยละ 24 - 27, 24, 8 - 29 และ 13 ตามลำดับ ดังนั้น คลอเรลลาจึงน่าจะนำมาเป็นอาหารของไรแดงได้ดี (วิสัย, 2536) นอกจากนี้

คลอเรลลายังมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็น อีกหลายชนิดเช่น ลิวซีน (ร้อยละ 4.7), วาลีน (ร้อยละ 3.2), ไอโซลิวซีน (ร้อยละ 2.3) และ ฟีนิลอะลานีน (ร้อยละ 2.8) เป็นต้น ส่วนกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น วิสัย (2536)รายงานว่า พบกรดกลูตามิก (ร้อยละ 5.8), กรดแอสพาร์ติก (ร้อยละ 4.7) และอะลานีน (ร้อยละ 4.3) เป็นต้น (ตารางที่ 18 ; วิสัย, 2536)

ตารางที่ 16 ธาตุอาหารที่พบในคลอเรลลา

ธาตุอาหารหลัก	ร้อยละ
โปรตีน (protein)	58.4
ไขมัน (fat)	9.3
คาร์โบไฮเดรต (carbohygdrate)	23.2
เยื่อใย (fiber)	0.3
เถ้า (ash)	4.2
ความชื้น (moisture)	4.6
แคลอรี่ (calories)	411 แคลอรีต่อ100 กรัม

ที่มา : วิสัย (2536)

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในอาหารแต่ละชนิด

แหล่งอาหาร	กรัม/100 กรัม
คลอเรลลา (chlorella)	58
เนื้อวัว (beef)	24 - 27
ไก่ (chicken)	24
ปลา(fish)	8 - 29
ไข่ (egg)	13
ข้าวสาลี (wheat)	13
ข้าว (rice)	3
มันฝรั่ง (potato)	3

ที่มา : วิสัย (2536)

ตารางที่ 18 ปริมาณกรดอะมิโนในคลอเรลลา

กรดอะมิโน	ร้อยละ
อะลานีน (alanine)	4.3
อาจีนีน (arginine)	3.3
กรด แอสพาร์ติก (aspartte acid)	4.7
ไกลซีน (glycine)	3.1
กรด กลูตามิก (glutamic acid)	5.8
อิสติดีน (histidine)	1.1
เมทไธโอนีน (methionine)	1.3
ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine)	2.8
โปรลีน (proline)	2.5
เซอรีน (serine)	2.0
ธรีโอนีน (threonine)	2.2
ทริปโตเฟน (tryptophan)	0.5
วาลีน (valine)	3.2
ไอโซลิวซีน (isoleucine)	2.3
ลิวซีน (leucine)	4.7
อื่นๆ (othere)	11.4

ที่มา : วิสัย (2536)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ในเซลล์คลอเรลลายังมีวิตามินที่หลากหลาย เช่น วิตามินเอ บี1 บี2 บี6 บี12 ซี อี ไบโอติน กรดโฟลิก อินโนซิทอล ไนอะซิน และกรดแพนโทเธนิก นอกจากนี้ในเซลล์คลอเรลลายังมีเกลือแร่ที่พบ ได้แก่ แคลเซียม ไอโอดีน เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และสังกะสีเป็นต้น (ตารางที่ 19 ; วิสัย, 2536) แสดงว่า คลอเรลลาน่าจะเป็นแพงก์ตอนที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เหมาะที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น ไรแดงที่สามารถนำไปใช้อนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนได้อีกหลายชนิด

ตารางที่ 19 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่พบในคลอเรลลา

วิตามิน	มิลลิกรัมต่อ100กรัม
เอ (A)	51,300 IU
บี1 (B-1)	1.70
บี2 (B-2)	4.30
บี6 (B-6)	1.40
บี12 (B-12)	0.13
ไบโอติน (biotin)	0.20
ซี (C)	10.40
อี (E)	1.50
กรดโฟลิก (folic acid)	0.09
อินโนซิทอล (inositol)	132.00
ไนอะซิน (niacin)	23.80
กรด แพนโทเธนิก (pentothenic acid)	1.10
แคลเซียม (calcium)	221.00
ไอโอดีน (iodine)	0.40
เหล็ก (iron)	130.00
แมกนีเซียม (magnesium)	315.00
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	895.00
สังกะสี (zinc)	71.00

ที่มา : วิสัย (2536)

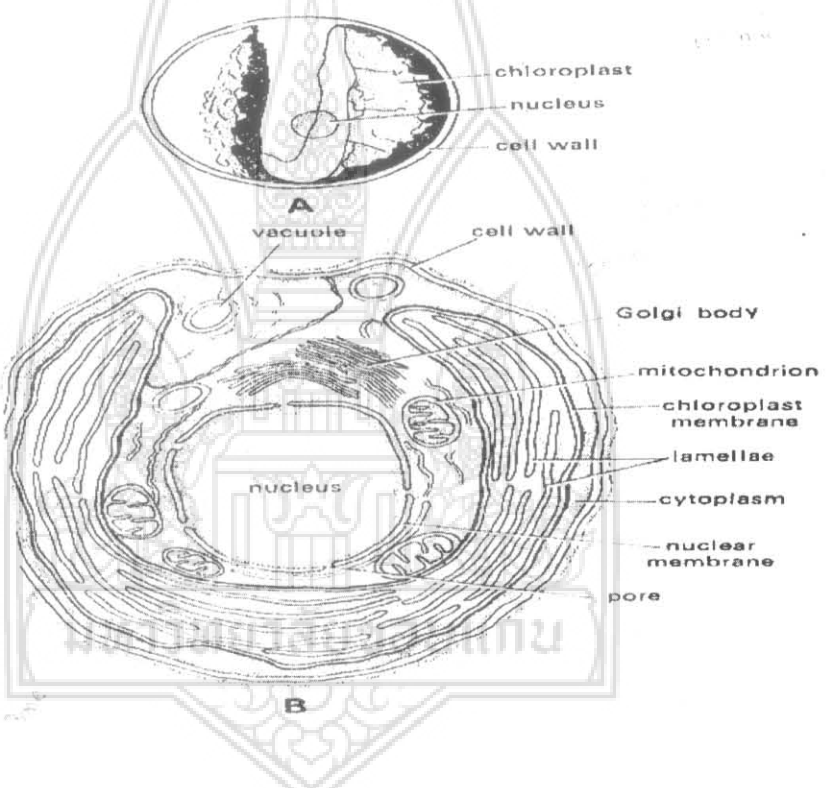
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.4.3 ลักษณะทางกายภาพของคลอเรลลา

สรวิช (2543) อธิบายว่า คลอเรลลาเป็นสาหร่ายสีเขียว เซลล์เป็นรูปกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ไมโครเมตร Atkinson et.al. (1972) รายงานการศึกษาขนาดและรูปร่างของคลอเรลลาว่า คลอเรลลาเป็นพืชเซลล์เดียว ไม่เคลื่อนที่ มีขนาดเล็ก ประมาณ 2 - 13 ไมโครเมตร เซลล์เป็นรูปครึ่งวงกลม กลม หรือรูปไข่ มีนิวเคลียส (nucleus) อยู่ตรงกลางเซลล์ ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) มีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และไฟรีนอยด์ (pyrenoid) มี

รูปร่างคล้ายถ้วย แต่บางชนิดอาจไม่มีไพรีนอยด์ ไม่มีหนวด (flagella) ไม่มีจุดตา (stigma) และไม่มีคอนแทรคไทด์แวคิวโอล (contractile vacuole)

จากการศึกษาโครงสร้างเซลล์ของคลอเรลลาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเซลล์ของคลอเรลลามีเยื่อหุ้มเซลล์อยู่ 2 บริเวณ ซึ่งบริเวณแรกเยื่อหุ้มเซลล์ล้อมรอบคลอโรพลาสต์ (chloroplast) มีลักษณะรูปร่างคล้ายตัวซี (C - shaped) สร้างขึ้นจากการสังเคราะห์ของลาเมลแล (lamellae) มีลักษณะเป็นแถว อีกบริเวณคือเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane)มี 2 ชั้น มีลักษณะเป็นรูพรุน นอกจากนี้ยังพบไมโตคอนเดรีย (mitocondria) กอลจิบอดี้ (golgi bodies) และแวคิวโอล (vacuole) ในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) (รูปที่ 3 ; Atkinson *et. al.* , 1972)

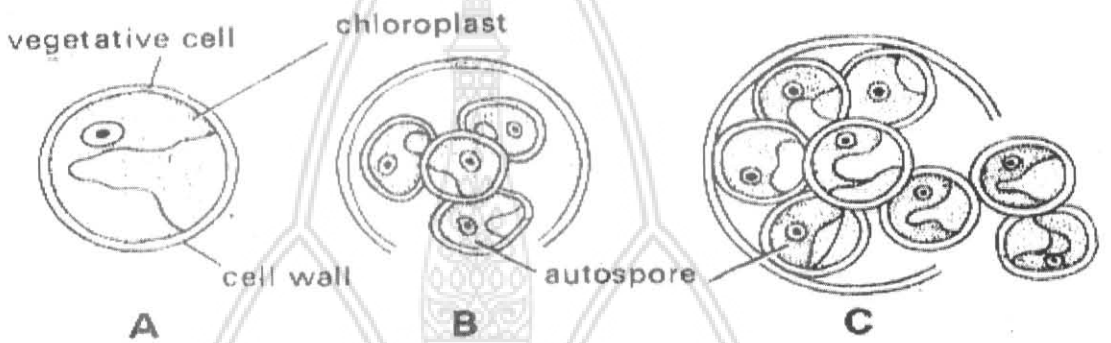


รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของคลอเรลลา

ที่มา : Atkinson *et. al.* (1972)

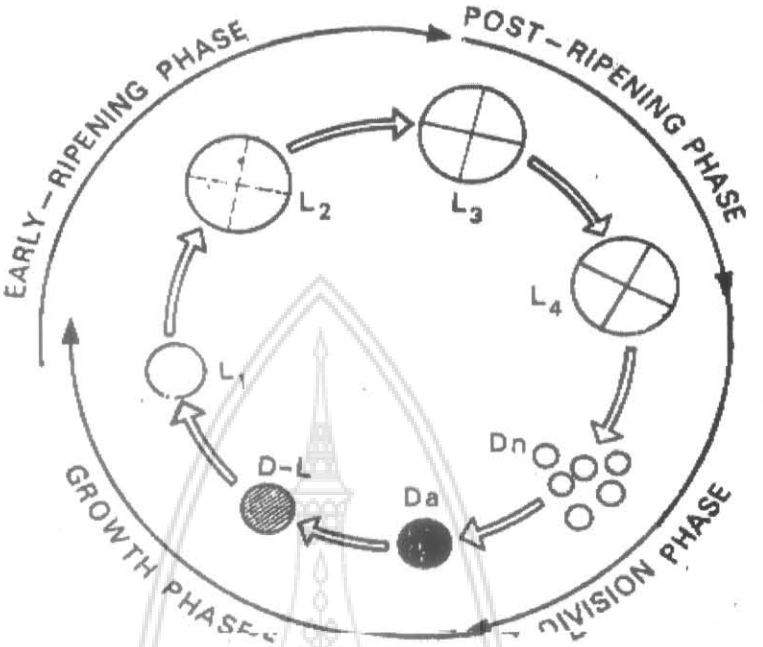
2.4.4 การสืบพันธุ์และวงจรชีวิตของคลอเรลลา

คลอเรลลาสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ด้วยการแบ่งเซลล์เป็นออโตสปอร์ (autospore) ออโต-สปอร์ของคลอเรลลานี้ไม่มีหนวด มีลักษณะคล้ายเซลล์แม่ แต่มีขนาดเล็กกว่าเท่านั้น เมื่อเซลล์แม่เจริญเติบโตเต็มที่ จะสร้างออโตสปอร์ขึ้นโดยการแบ่งเซลล์จาก 2, 4, 8, 16 เซลล์ ต่อมาจะถูกปล่อยออกมาโดยการแตกหรือสลายตัวของผนังเซลล์แม่ สปอร์ของคลอเรลลาที่ถูกปล่อยออกมานี้ จะเจริญเติบโตในน้ำจืดต่อไป (รูปที่ 4 ; Bisalputra and Weier, 1966, Wanka, 1968 และ Griffiths and Griffiths, 1969)



รูปที่ 4 การแบ่งเซลล์แบบออโตสปอร์
ที่มา : Bisalputra and Weier (1966), Wanka (1968) และ Griffiths and Griffiths (1969)

Tamiya (1963) ได้ทำการศึกษาวงจรชีวิตของ *Chlorella ellipsoidea* พบว่ามีวงจรชีวิต 4 ระยะ ดังนี้ ระยะที่ 1 ; Growth phase ระยะนี้ออโตสปอร์เพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว ระยะที่ 2 ; Early ripening phase ระยะนี้เซลล์เตรียมตัวแบ่งเซลล์ ระยะที่ 3 ; Post-ripening phase ระยะนี้เซลล์มีการแบ่งเซลล์มากขึ้น ระยะที่ 4 ; Division phase ระยะนี้ผนังของเซลล์แม่ที่ประกอบด้วยเจลลาติน (gelalin) มีการแตกหรือสลายออก ทำให้ออโตสปอร์ถูกปล่อยออกมาสู่ภายนอกเซลล์



รูปที่ 5 วงจรชีวิตของ *Chlorella ellipsoidea*
ที่มา : Tamiya (1963)

2.4.5 แหล่งอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน

1) **คาร์บอน** คาร์บอนที่พืชนำไปใช้แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อนินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอน สาหร่ายใช้อนินทรีย์คาร์บอนในรูปกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายได้ในน้ำ หรือในรูปเกลือคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต การที่คาร์บอนจะอยู่ในรูปใดนั้น ขึ้นอยู่กับระดับของ pH เช่น อยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนตเมื่อน้ำมี pH ระหว่าง 7 - 9 อยู่ในรูปของเกลือคาร์บอเนตเมื่อ pH มีค่าสูงกว่า 9.5 ขึ้นไป คาร์บอนจะอยู่ในรูปกาซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรด หรือ pH มีค่าประมาณ 5 แพลงก์ตอนจะใช้อินทรีย์คาร์บอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์ซึ่งช่วยการเจริญเติบโต เช่น น้ำตาลชนิดต่างๆ (ซูโครส กลูโคส กาแลคโตส ฯลฯ) ความต้องการชนิด รวมทั้งปริมาณของสารประกอบคาร์บอนจะแตกต่างกันตามชนิดของแพลงก์ตอน โดยทั่วไป แพลงก์ตอนต้องการอินทรีย์คาร์บอนในสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition) หรือในสถานที่ไม่มีแสง (ลัดดา, 2540)

2) **ไนโตรเจน** ไนโตรเจนมีความสำคัญรองจากคาร์บอนในด้านปริมาณ ปริมาณไนโตรเจนของพืชมีปริมาณร้อยละ 7 - 10 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ยกเว้นไดอะตอมซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าแพลงก์ตอนกลุ่มอื่น ในแพลงก์ตอนที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบ

คาร์บอน เช่น น้ำมัน หรือแป้งมาทดแทน แพลงก์ตอนสามารถใช้ไนโตรเจนทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ อีกทั้งยังใช้ไนโตรเจนในรูปของกาซได้อีกด้วย แต่มีแพลงก์ตอนบางชนิดเท่านั้น ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำ-เงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ คือ ไนเตรตไนไตรท์ และแอมโมเนีย (ลัดดา, 2540 และ Round, 1977) ถ้าไนโตรเจนอยู่ในรูปของแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระดับของ pH ของอาหารลดต่ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อแพลงก์ตอน ไนไตรท์เป็นสารละลายอนินทรีย์ซึ่งพืชหลายชนิดต้องการใช้ในปริมาณไม่เกิน 1 มิลลิโมลล์ ถ้ามากกว่านี้จะทำให้เกิดอันตราย ส่วนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ได้แก่ ยูเรีย เอไมด์ กลูตามีน และแอสพาราจีน ซึ่งจัดเป็นแหล่งไนโตรเจนชนิดดี ส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนชนิดอื่น ได้แก่ กรดอะ- มิโน เช่น กรดไลซีน เซรีนอะลามีน กรดกลูตามิค และกรดแอสพาร์ติคนั้น แพลงก์ตอนต้องการใช้เพื่อการเติบโตซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิด ถ้าแพลงก์ตอนขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุหรือสารสีของเซลล์ รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย(ลัดดา, 2540) ส่วนในน้ำที่มีมลพิษสูง (Round, 1977) รายงานว่า อินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญมาก และมีความสัมพันธ์กันระหว่างของเสียที่ได้จากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ (เช่น แอมโมเนีย ยูเรีย กรดยูริค และกรดอะมีโน) กับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพวกที่มี flagellates ในการเลี้ยงแพลงก์ตอน ไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในรูปของเกลือแอมโมเนีย หรือไนเตรต โดยแพลงก์ตอนส่วนมากสามารถใช้เกลือแอมโมเนีย หรือไนเตรตอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่จากผลการทดลองบ่งชี้ว่าแพลงก์ตอนสามารถใช้เกลือแอมโมเนียมได้ดีกว่าไนเตรต โดยเฉพาะในแพลงก์ตอนพวกที่มี flagellates และไม่มีสี เมื่อไม่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนละลายหรือแขวนลอยอยู่ในสารละลายที่ใช้เลี้ยง แพลงก์ตอนพวกที่มี flagellates และมีคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์ เช่น *Euglena gracilis, Trachelomonus abrupta, T. pertyi* และ *Phacus pyrum* เป็นต้น จะไม่สามารถใช้ไนเตรตได้ Provasoli (1958) กล่าวว่า ในสารละลายที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนที่มีแอมโมเนียมไนเตรตเป็นส่วนผสม แอมโมเนียมไนเตรต มักจะถูกดูดซึมและนำไปใช้ก่อน ซึ่งมีผลทำให้ pH ของสารละลายลดลง ส่วนการดูดซึมไนเตรตอิออน จะมีผลทำให้ pH เพิ่มขึ้น ความต้องการไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว พบว่ามีประมาณ 6.5-8.3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง แต่ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่านี้ จะทำให้แพลงก์ตอนเกิดอาการขาดไนโตรเจนและทำให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ Provasoli (1958) ยังอธิบายว่า มีแพลงก์ตอนบางชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยใช้ heterocysts เช่น genus *Aphanizome, Anabaena, Nostoc, Cylindrospermum, Gloeotrichia, Mastigocladus* เป็นต้น

3) ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิว-คลีอิค (ลัดดา, 2540 และ Round, 1977) ถ้าแพลงก์ตอนขาดฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการ

เจริญเติบโต คือ ปริมาณโปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้งหรือคาร์โบไฮ-เดรตกลับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ลัดดา, 2540) ส่วน Round (1977) ได้อธิบายว่า สาหร่ายสีเขียว ต้องการฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 2 - 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง Ketchum and Redfield (1949) ได้กล่าวว่า *Chlorella, Ankistrodesmos* และ *Hydrodictyon* สามารถดูดซึมสารประกอบ metaphosphates และ polyphosphates ได้มากขึ้นเมื่อได้รับแสง ส่วนในที่มืดสาหร่ายดังกล่าวสามารถดูดซึมสารประกอบทั้ง 2 ตัวได้ลดลง แต่จะสามารถดูดซึมสารประกอบ orthphosphate มากขึ้น

4) **ซัลเฟอร์** เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแพลงก์ตอนทุกชนิด ซัลเฟอร์ในเซลล์สาหร่ายมีหลายรูปแบบ เช่น ในรูปของกรดอะมิโน วิตามิน กรดแพนโทเธนิค กรดลิโพอิค ฯลฯ ซัลเฟอร์ที่แพลงก์ตอนส่วนใหญ่ใช้อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ เกลือของโลหะ คือ ซัลเฟต ซัลไฟท์ และซัลไฟด์ (ลัดดา, 2540)

5) **แคลเซียม** เป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อการเติบโตของแพลงก์ตอน เช่น สาหร่ายสีเขียวบางชนิด สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและไดอะตอม สันนิษฐานว่าแคลเซียมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้าง-เกล็ด(scale) และโครงสร้างของแพลงก์ตอนโดยเฉพาะแพลงก์ตอนน้ำเค็ม หรือมีบทบาทสำคัญในการสร้างผนังของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ปริมาณแคลเซียมที่พืชต้องการ ขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารอื่นด้วย เช่น แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี โคบอลท์ ทองแดง โมลิบดินัม นิเกิล อะลูมิเนียม โซเดียม ปรอท เงิน ตะกั่ว เป็นต้น (ลัดดา, 2540)

6) **โซเดียม และโพตัสเซียม** โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนบางชนิดต้องการ เช่นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการโซเดียม ในปริมาณมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่นที่อยู่ในน้ำจืด โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด พืชสามารถใช้โซเดียมทดแทนโพตัสเซียมในกรณีที่แหล่งน้ำขาดธาตุโลหะชนิดนี้ (ลัดดา, 2540)

7) **แมกนีเซียม** เป็นธาตุอาหารที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเมตาบอลีซึมของเซลล์ (ลัดดา, 2540)

8) **เหล็ก** เป็นธาตุอาหารที่ช่วยการดูดซึมไนโตรเจน และขบวนการสังเคราะห์แสง คือ ช่วยสร้างสารสีเขียวชนิด คลอโรฟิลล์ - เอ และสารสีน้ำเงินชนิด ซี - ไฟโคไซยานิน ถ้าสาหร่ายขาดธาตุเหล็กจะมีผลต่อการเติบโตและสรีระของเซลล์ (ลัดดา, 2540)

9) **โบรอน** เป็นธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนบางชนิดต้องการใช้ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอม โดยเฉพาะไดอะตอมน้ำเค็ม (ลัดดา, 2540)

10) **แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี** เป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอน รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์อีก

หลายชนิด ถ้าขาดจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง และการหายใจเพิ่มขึ้น ธาตุอาหารทั้งสามชนิดนี้ถ้ามีมากเกินไปแพลงก์ตอนจะตาย (ลัดดา, 2540)

11) โมลิบดินัม วานาเดียม โคบอลท์ และนิคเกิล โมลิบดินัมมีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจนในพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เวลาใช้เลี้ยงสาหร่ายจะอยู่ในรูปของเกลือ นอกจากนี้โมลิบดินัมยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ช่วยในการสังเคราะห์ วานาเดียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนบางชนิด เช่น *Spirulina* โดยวานาเดียมสามารถใช้ทดแทนโมลิบดินัมเพื่อการตรึงไนโตรเจน โคบอลท์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวิตามินบี 12 ซึ่งสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนหลายชนิด นิคเกิลเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ยูเรียของแพลงก์ตอนบางชนิด เช่น ไดอะตอม (*Phaeodactylum tricornutum*) และสาหร่ายสีเขียว (*Tetraselmis subcordiformis*) (ลัดดา, 2540)

2.4.6 สูตรอาหารของคลอเรลลา

ธิดา (2540) ใช้สูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงคลอเรลลาน้ำจืด โดยละลายปุ๋ยยูเรีย $(CO(NH_2)_2$ 300 กรัม ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต สูตร 16 - 20 - 0 150 กรัม รำ 500 กรัม และปูนขาว 90 กรัม ในน้ำสะอาด 1 ตัน (ตารางที่ 20) ส่วนสูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงคลอเรลลาน้ำเค็ม โดยนำแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ 100 กรัม ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต สูตร 16 - 20 - 0 15 กรัม ปุ๋ยยูเรีย $(CO(NH_2)_2$ 5 กรัม ละลายในน้ำเค็มที่มีความเค็ม 25 พีพีที ปริมาตร 1 ตัน (ตารางที่ 20) สำหรับในน้ำจืดส่วนใหญ่ต้องใส่สารอาหารในปริมาณสูงกว่าที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนน้ำเค็ม เพราะในน้ำจืดที่สะอาดไม่ค่อยมีสารอาหารที่แพลงก์ตอนต้องการ

ตารางที่ 20 สูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงคลอเรลลาในน้ำจืดและน้ำเค็ม

สูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงคลอเรลลา					
ในน้ำจืด			**ในน้ำเค็ม**		
ปุ๋ยยูเรีย $(CO(NH_2)_2)$	300	กรัม	แอมโมเนียซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$	100	กรัม
ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต สูตร 16-20-0	150	กรัม	ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต สูตร 16-20-0	15	กรัม
รำ	500	กรัม	ปุ๋ยยูเรีย $(CO(NH_2)_2$	5	กรัม
ปูนขาว	90	กรัม	น้ำเค็มที่มีความเค็ม 25 พีพีที	1	ตัน
น้ำสะอาด	1	ตัน			

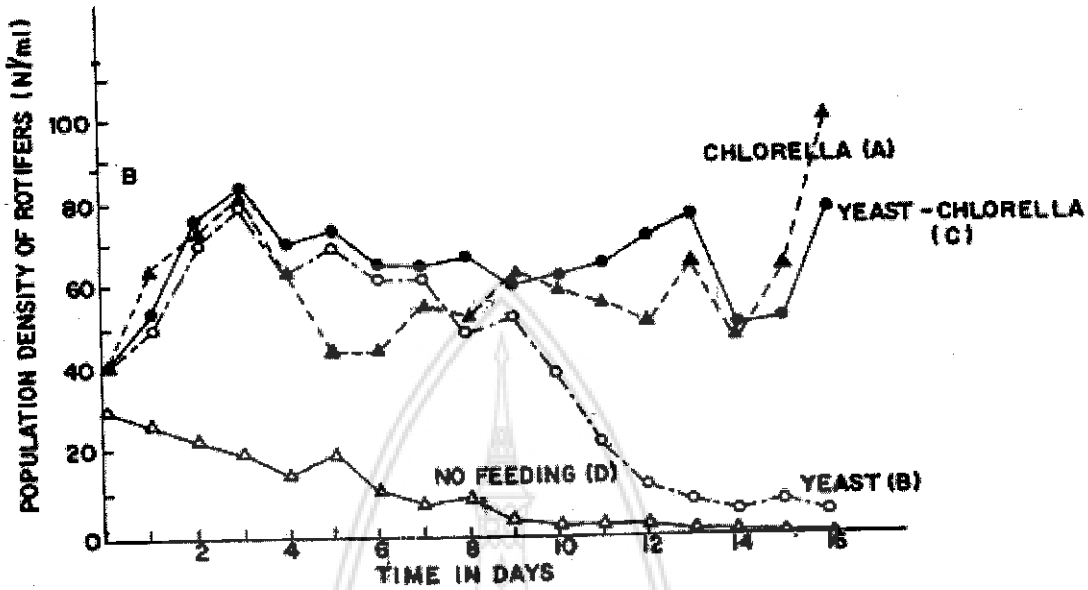
ที่มา : ธิดา (2540)

2.4.7 งานวิจัยเกี่ยวกับคลอเรลลา

สาธิต และอรนุช (2531) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับผลตอบสนองของจำนวนโรติเฟอร์ที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 ชนิด คือ *Chlorella* sp, *Chaetoceros* sp, มูลไก่ และยีสต์ขนมปัง ทำการศึกษาจำนวนไข่เฉลี่ยต่อแม่ของโรติเฟอร์ที่เลี้ยงด้วยอาหาร 4 ชนิด พบว่า โรติเฟอร์ให้ไข่สูงสุด เมื่อเลี้ยงด้วย *Chlorella* sp, *Chaetoceros* sp, มูลไก่ และยีสต์ขนมปัง มีจำนวนไข่เฉลี่ยต่อแม่เท่ากับ 11.96 , 9.6, 9.0 และ 7.08 ฟอง นอกจากนี้แม่โรติเฟอร์ที่เลี้ยงเหล่านี้ พบว่าอายุเฉลี่ย เท่ากับ 6.56 , 6.04 , 6.08 และ 5.32 วัน ตามลำดับ

Banchong *et al.*, (1989) ทำการทดลองเลี้ยงโรติเฟอร์ด้วย *Chlorella* sp. หรือ ยีสต์เพียงอย่างเดียว และ ยีสต์ร่วมกับ *Chlorella* sp. โดยการตรวจวัดความหนาแน่นของโรติเฟอร์ทุกวัน พบว่า 1 - 3 วันแรกความหนาแน่นของโรติเฟอร์สูงเท่ากันทั้ง 3 สูตร (รูปที่ 6) ส่วนการใช้ยีสต์เพียงอย่างเดียวเลี้ยงโรติเฟอร์หลังจากวันที่ 3 พบว่าความหนาแน่นของโรติเฟอร์ลดลง ทั้งที่ยีส์มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของโรติเฟอร์ เนื่องจากการเลี้ยงโรติเฟอร์มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตภายในวันที่ 4 - 7 หลังจากการเลี้ยง ดังนั้นการเลี้ยงโรติเฟอร์ด้วยยีสต์ควรจะเลี้ยงแบบไม่ต่อเนื่อง ควรมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพียงครั้งเดียวและใช้ระยะเวลาสั้น หลังจากวันที่ 10 ของการเลี้ยงโรติเฟอร์มีการลดจำนวนลงมากจนเกือบหมด (รูปที่ 6) นอกจากนี้การเลี้ยงโรติเฟอร์ด้วยยีสต์ร่วมกับ *Chlorella* sp. และ *Chlorella* sp. เพียงอย่างเดียว หลังจากวันที่ 3 ความหนาแน่นของโรติเฟอร์ลดลงเล็กน้อยและมีความหนาแน่น โรติเฟอร์สม่ำเสมอไปเรื่อยจนสิ้นสุดการเลี้ยงโรติเฟอร์ในวันที่ 16 (รูปที่ 6) ดังนั้นการเลี้ยงโรติเฟอร์ด้วยยีสต์ร่วมกับ *Chlorella* sp. และ *Chlorella* sp. เพียงอย่างเดียว ควรเลี้ยงแบบต่อเนื่อง คือมีการเลี้ยงโดยมีการเก็บเกี่ยวหลายวันในบ่อเดียวกัน เนื่องจากการเลี้ยงดังกล่าวโรติเฟอร์มีชีวิตที่ยาวนานและไม่เน่าเสียง่าย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 6 แสดงความหนาแน่นของโรติเฟอร์ที่เลี้ยงในอาหารชนิดต่างๆ

ที่มา : Banchong *et al.,* (1989)

2.5 ชีววิทยาของไรแดง*(Moina macrocopa)*

2.5.1 อนุกรมวิธานของไรแดง*(Moina macrocopa)*

ลัดดา (2540) อธิบายว่า ไรแดงถูกจัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์(Animal) ไฟลัมอาร์โทรโพดา (Arthropoda) ซับไฟลัมแมนดิบูลาตา (Mandibulata) คลาสเอนโทโมสตราคา (Entomostraca) อันดับ ฟิลโลโพดา (Phyllopoda) อันดับย่อยแคลโดเซอร์รา (Cladocera) วงศ์แดฟนิดี (Daphnidae) สกุลมอยน่า (*Moina* Baird) ชนิด *Moina macrocopa* (Straus)

ไรแดงเป็นสัตว์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สันทนา (2529) รายงานว่า ไรแดงน้ำหนักแห้งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 74.09 คาร์โบไฮเดรตร้อลละ 12.50 ไขมันร้อยละ 10.19 และเถ้าร้อยละ 3.47

2.5.2 ชีววิทยาของไรแดง*(Moina macrocopa)*

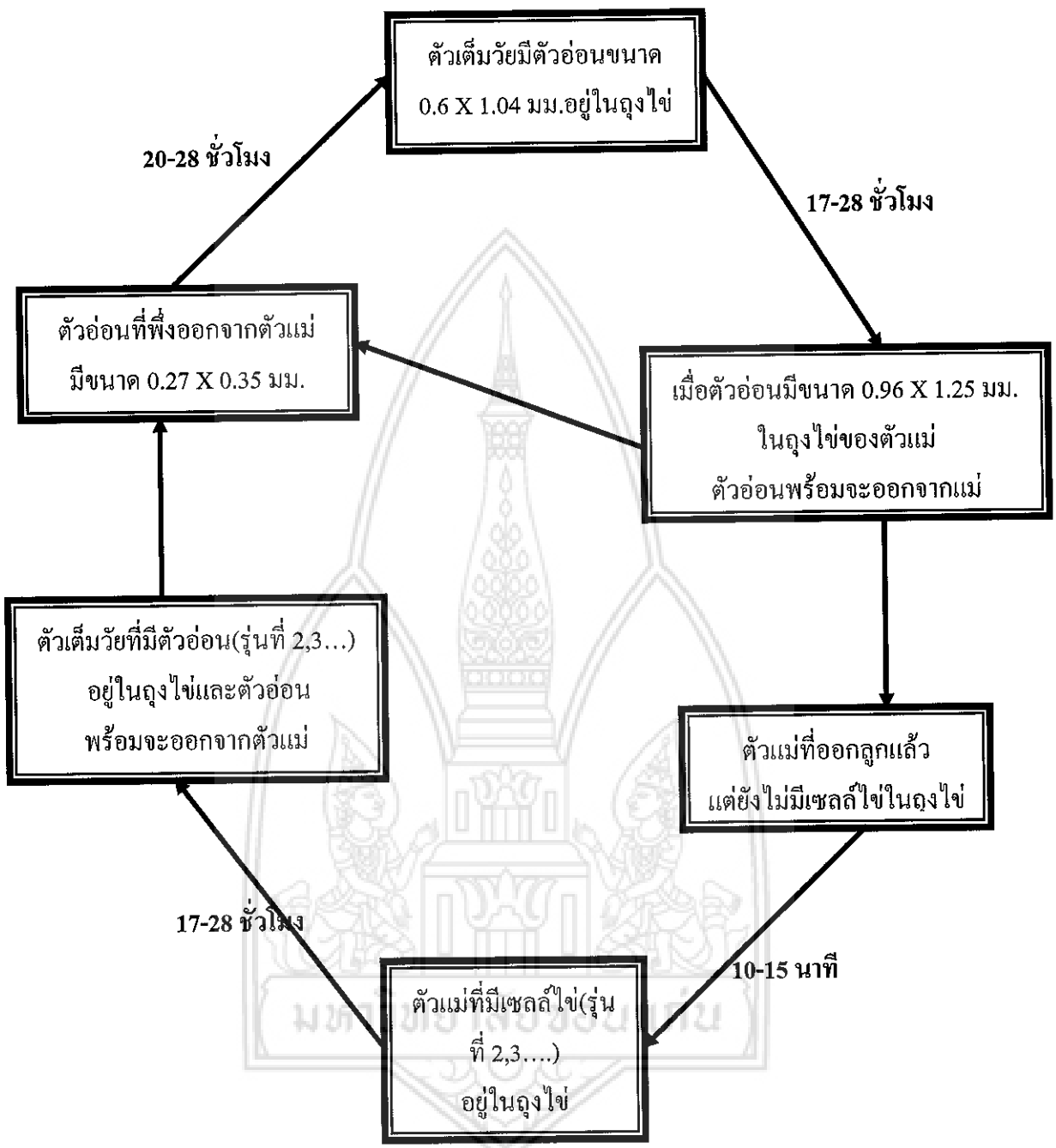
ลัดดา (2540) อธิบายว่า ไรแดงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Moina macrocopa* (Straus) เป็นแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืดขนาดเล็ก ลำตัวมักมีสีส้มหรือค่อนข้างแดง ตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ คือ ตัวเมียมีขนาดประมาณ 0.6 x 1.3 มิลลิเมตร ส่วนตัวผู้ขนาดประมาณ 0.4 x 0.6 มิลลิเมตร ไรแดง 1 ตัว มีน้ำหนักประมาณ 0.2 มิลลิกรัม ลำตัวไรแดงมีเปลือกคลุมเกือบหมด ยกเว้นส่วนหัว หัวกลม มีตา 1 คู่ มีขนาดใหญ่เรียกว่าตาประกอบ บนส่วนหัวมีหนวด 2 คู่ คู่ที่ 1 อยู่ใต้หัว มีขนาดเล็ก รูปร่าง

คล้ายบุหรี่หรือซิการ์ ส่วนหนวดคู่ที่ 2 อยู่ข้างส่วนหัว มีขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นปล้อง ตรงข้อต่อของทุกปล้องมีแขนงซึ่งเป็นขนคล้ายขนนก หนวดคู่นี้มีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่ ไรแดงมีขา 5 คู่ อยู่ที่อก ซึ่งมองเห็นไม่ชัด เพราะมีเปลือกหุ้มอยู่

ไรแดงเพศเมียมีถุงไข่อยู่บนหลังของลำตัว ถุงนี้เป็นที่เก็บไข่และให้ไข่เจริญเติบโตเป็นตัวอ่อน เมื่อมีสภาวะแวดล้อมเหมาะสมคือ อาหารสมบูรณ์ดี ไข่ในถุงไข่สามารถเติบโตเป็นตัวอ่อนได้โดยไม่ต้องได้รับการผสมจากเชื้อตัวผู้ เรียกการสืบพันธุ์แบบนี้ว่าการผสมพันธุ์แบบไม่มีเพศนี้ (pathenogenesis) โดยทั่วไปไรแดงเพศเมียจะให้ลูกอ่อนด้วยวิธีนี้เกือบตลอดเวลา ไรแดงเพศเมีย 1 ตัว ให้ลูกอ่อนได้เฉลี่ย 15 ตัว (1 - 35 ตัว) แต่ถ้าสภาวะแวดล้อมของน้ำไม่เหมาะสม เช่น คุณสมบัติน้ำไม่ดี อาหารไม่เพียงพอ ไรแดงจะสืบพันธุ์แบบมีเพศ โดยเพศเมียให้ไข่ที่มีลักษณะทึบแสง ไข่เมื่อได้รับการผสมกับเชื้อตัวผู้แล้วจะมีเปลือกหุ้มไข่รูปร่างคล้ายอานม้า เรียกว่า เอพิเพียม (ephipium) หรือไข่พัก ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เอพิเพียมเมื่อออกจากตัวแม่จะจมลงสู่พื้น รอจนกว่าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมอีกครั้ง จึงจะเจริญเป็นเพศเมียที่สามารถให้ลูกอ่อนได้โดยไม่ต้องอาศัยเพศ (pathenogenesis) (ลัดดา, ประวิทย์ และประจิตร, 2523 ; รูปที่ 8)

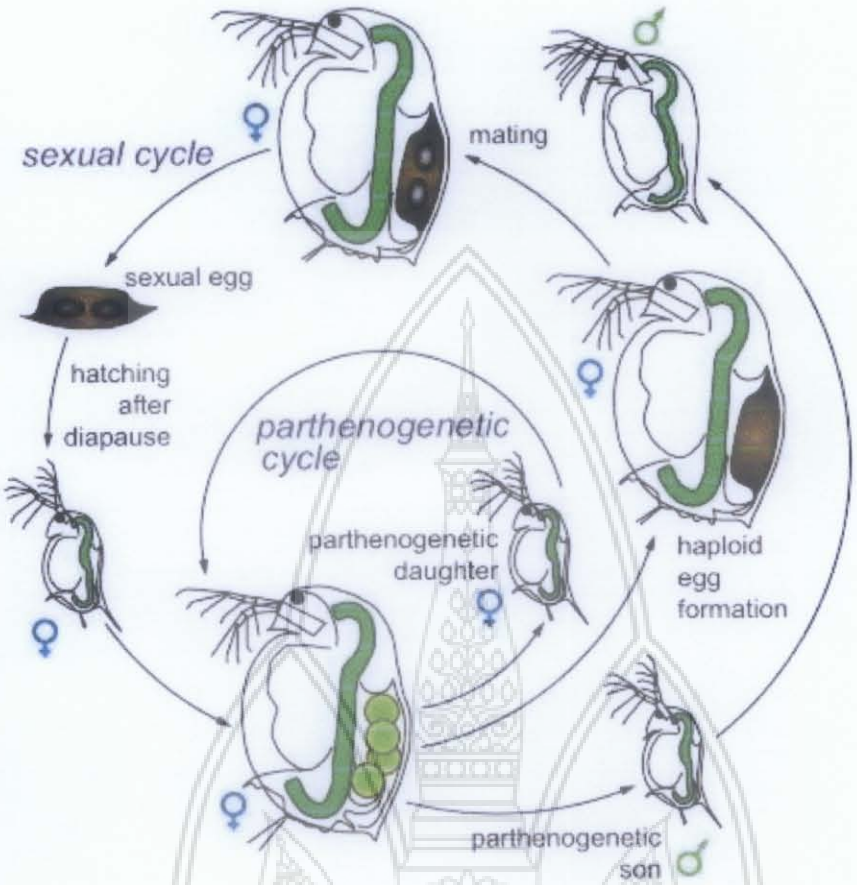
2.5.3 วงจรชีวิตของไรแดงที่สืบพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศ (พาร์เธโนเจเนสิส)

ตัวอ่อนของไรแดงที่หลุดจากถุงไข่จะมีขนาดกว้าง 0.27 มิลลิเมตร และยาว 0.35 มิลลิเมตร ตัวอ่อนใช้เวลา 20 - 28 ชั่วโมง จึงจะเจริญเป็นตัวเต็มวัย ซึ่งมีขนาดกว้าง 0.6 มิลลิเมตร และยาว 1.04 มิลลิเมตร ตัวเต็มวัยใช้เวลา 17 - 28 ชั่วโมง จึงเริ่มมีตัวอ่อนในถุงไข่และเจริญถึงระยะที่จะปล่อยตัวอ่อนออกจากตัวแม่ ตัวเต็มวัยนี้มีขนาดกว้าง 0.96 มิลลิเมตร ยาว 1.25 มิลลิเมตร ขณะที่ตัวอ่อนออกจากตัวแม่นั้น ตัวแม่จะว่ายน้ำตลอดเวลา เมื่อตัวอ่อนออกจากตัวแม่หมดแล้ว เซลล์ไข่รุ่นที่ 2 จะไหลออกจากรังไข่เข้าสู่ถุงไข่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งกินเวลาประมาณ 10 - 15 นาที หลังจากนั้นอีก 17 - 28 ชั่วโมง ตัวแม่จะออกลูกใหม่ได้อีกครั้ง (รูปที่ 7 ; ลัดดา, ประวิทย์ และประจิตร, 2523 : รูปที่ 8 ; Ebert, 2005)



รูปที่ 7 การสืบพันธุ์และวงจรชีวิตของไรแดงแบบไม่อาศัยเพศ

ที่มา : ลัดดา (2540)



รูปที่ 8 การสืบพันธุ์และวงจรชีวิตไรแดงแบบอาศัยเพศ และไม่อาศัยเพศในสกุล Daphnia
ที่มา : Ebert (2005)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.5.4 อาหารของไรแดง

ไรแดงกินอาหารได้หลากหลาย ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ แพลงก์ตอนพืช และฟังไจ อาหารเหล่านี้มีคุณค่าทางอาหารสูง นอกจากนี้สามารถใช้มูลสัตว์ เช่น มูลไก่ มูลม้า หรือน้ำเสียในการเลี้ยงไรแดง (Rootmann *et al.*, 2003)

1) สูตรอาหารในการเลี้ยงไรแดง (Rootmann *et al.* , 2003)

ตารางที่ 21 สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงไรแดง

สูตรอาหาร	ส่วนประกอบของอาหารแต่ละสูตร
1	ยีสต์ขนมปัง 8.5 - 14.2 กรัม
2	ยีสต์ขนมปัง 8.5 - 14.2กรัม + NH_4NO_3 14.2 กรัม
3	ยีสต์ขนมปัง 8.5 กรัม + รำข้าว 42.5 กรัม + Alfalfa 42.5 กรัม
4	ยีสต์ขนมปัง 8.5กรัม + รำข้าว / แป้ง 42.5 กรัม + มูลสัตว์แห้ง 142 กรัม
5	ยีสต์ขนมปัง 8.5กรัม + เมล็ดฝ้ายบด 8.5 กรัม + มูลสัตว์/ Sewage sludge 142 กรัม
6	มูลวัวกับมูลม้าแห้งรวมกัน / sewage sludge 567 กรัม
7	มูลไก่และมูลม้าแห้ง 170 กรัม
8	ยีสต์ขนมปัง 6 กรัม + สไปรูไลนาผง 3 กรัม
9	Chlorella

ที่มา : Rootmann *et al.*(2003)

Rootmann *et al.* (2003) ได้ทำการทดลองเลี้ยงไรแดงด้วยสูตรอาหารต่างๆ พบว่า สามารถใช้ยีสต์ขนมปังเพียงอย่างเดียวในปริมาณ 8.5 - 14.2 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน เลี้ยงไรแดง (สูตรอาหารที่ 1 ; ตารางที่ 21) นอกจากนี้มีการนำยีสต์ขนมปังผสมกับอาหารอื่นๆ อีกหลายชนิดเช่น การนำยีสต์ขนมปังปริมาณ 8.5 - 14.2 กรัม ผสมกับแอมโมเนียมไนเตรทปริมาณ 14.2 กรัม ในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 2 ; ตารางที่ 21) การนำยีสต์ขนมปังปริมาณ 8.5 กรัม, รำข้าว 42.5 กรัม, อัลฟัลฟ่า 42.5 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 3 ; ตารางที่ 21) ยีสต์ขนมปังปริมาณ 8.5 กรัม, รำข้าวหรือแป้งปริมาณ 42.5 กรัม, มูลสัตว์แห้งปริมาณ 142 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 4 ; ตารางที่ 21) และการนำยีสต์ขนมปังปริมาณ 8.5 กรัม, เมล็ดฝ้ายบดปริมาณ 8.5 กรัม, มูลสัตว์แห้งหรือ sewage sludge ปริมาณ 142 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 5 ; ตารางที่ 21) นอกจากนี้ยังมีการนำยีสต์ขนมปังปริมาณ 6 กรัม ผสมกับสไปรูริน่าปริมาณ 3 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 8 ; ตารางที่ 21) ส่วนการเลี้ยงไรแดงยังมีการใช้มูลสัตว์แห้ง เช่น การนำมูลวัวกับมูลม้าแห้งรวมกันหรือ sewage sludgeปริมาณ 565 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 6 ; ตารางที่ 21) การนำมูลไก่และมูลม้าแห้งรวมกันปริมาณ 170 กรัม ละลายในน้ำสะอาด 10 แกลลอน (สูตรอาหารที่ 7 ; ตารางที่ 21) มีการนำคลอเรลลาไปเลี้ยงไรแดงด้วย(สูตร

อาหารที่ 9 ; ตารางที่ 21) ผลผลิตไรแดงที่เลี้ยงด้วยยีสต์ขนมปังกับแอมโมเนียมไนเตรทเท่ากับ 110 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเลี้ยงด้วยมูลสัตว์ให้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 106 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการเลี้ยงด้วยคลอเรลลาให้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 375 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 22 ส่วนผสมของปุ๋ยที่ใช้เพาะเลี้ยงคลอเรลลาและไรแดง ในบ่อขนาด 10 ลูกบาศก์เมตร

ส่วนผสมของปุ๋ย	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
น้ำกากผงชูรส (ลิตร)	5.00	30.00	5.00	11.42	10.00	-
ปุ๋ย N-P-K (16-20-0) (กิโลกรัม)	2.00	0.50	1.00	-	3.00	-
รำ (กิโลกรัม)	5.00	-	5.00	5.00	-	5.00
ปูนขาว (กิโลกรัม)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
โพแทสเซียมไนเตรต (กิโลกรัม)	-	1.00	0.50	-	-	-
ซูเปอร์ฟอสเฟต (P2O5) (กรัม)	-	130.00	-	-	-	-
ยูเรีย (กิโลกรัม)	-	-	0.50	-	-	-

หมายเหตุ : - หมายความว่า ไม่ได้ใส่ในสูตรอาหาร

ที่มา : ภาณุ , วีระ และ ทัศนีย์ (2530)

ภาณุ, วีระ และทัศนีย์ (2530) แนะนำวิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยการเลี้ยงคลอเรลลาจากอาหาร 6 สูตร ที่มีน้ำกากผงชูรสเป็นส่วนประกอบ (ตารางที่ 22) สูตรที่ 1 ใช้น้ำกากผงชูรส 5 ลิตรผสมรำ 5 กิโลกรัม ปุ๋ย (16-20-0) 2 กิโลกรัม ในบ่อซีเมนต์ปริมาตรน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร ใส่ปูนขาว 3 กิโลกรัม เท่ากันทุกสูตร นาน 3 วัน จึงใส่ไรแดงประมาณ 2 กิโลกรัม นาน 4 วัน ได้ผลผลิตไรแดง 11.60 กิโลกรัม สูตรที่ 3 ใช้น้ำกากผงชูรส และรำ ในปริมาณที่เท่ากับสูตรที่ 1 แต่ใช้ปุ๋ย (16-20-0) ในปริมาณที่ลดลงเหลือ 1 กิโลกรัม และเพิ่มปุ๋ยโพตัสเซียมไนเตรต และยูเรีย (46 - 0 - 0) อีกอย่างละ 0.5 กิโลกรัม พบว่าได้ผลผลิตไรแดงเป็น 11.16 กิโลกรัม ใกล้เคียงกับสูตร 1 ส่วนสูตรที่ 2 มีการใช้น้ำกากผงชูรสในปริมาณที่สูงขึ้นถึง 6 เท่าของสูตรที่ 1 คือ 30 ลิตร ผสมปุ๋ย (16 - 20 - 0) และโพตัสเซียมไนเตรต ในปริมาณ 0.5 และ 1 กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้มีการใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 - 46 - 0) อีก 130 กรัม ส่งผลให้ได้ไรแดงในปริมาณ 11.87 กิโลกรัม สูตรที่ 5 ใช้น้ำกากผงชูรส 2 เท่าของสูตรที่ 1 คือ 10 ลิตร ผสมปุ๋ย (16 - 20 - 0) 3 กิโลกรัม พบว่า ให้ผลผลิตไรแดงที่ลดลงเหลือเพียง 9 กิโลกรัม เท่านั้น สูตรที่ 4 จึงมีการเพิ่มปริมาณน้ำกากผงชูรสขึ้นเป็น 11.42 ลิตร ผสมรำ 5 กิโลกรัม เท่าสูตรที่ 1 พบว่า ให้ผลผลิตไรแดงที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 คือ 11.63 กิโลกรัม ส่วนสูตรที่ 6 ใช้เพียงรำ 5 กิโลกรัม ผสมปลาเป็ด 8 กิโลกรัม เท่านั้น ในการเลี้ยงคลอเรลลา เมื่อใส่ไรแดงแล้วพบว่า ได้ผลผลิต

ไรแดงต่ำสุดเพียง 8.27 กิโลกรัม เท่านั้น เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตไร-แดง พบว่า สูตรที่ 4 ที่ใช้น้ำกากผงชูรส 11.42 ลิตร ผสมรำ 5 กิโลกรัม และปูนขาว 3 กิโลกรัม เท่านั้น มีต้นทุนต่ำสุด คือ 2 บาท ในการผลิตไรแดง 1 กิโลกรัม แต่ให้ผลผลิตไรแดงใกล้เคียง กับสูตรที่ 1, 2 และ 3 ที่มีการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (ตารางที่ 22)

ต่อมาภาณุ และคณะ (2532) แนะนำการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยการทำน้ำเขียว ซึ่งหมายถึงแพลงก์ตอนพืชที่มีคลอเรลลาเป็นส่วนมาก มีการทำน้ำเขียว 3 สูตร ประกอบด้วยสูตรที่ 1 ใช้อามิ-อามิที่เป็นกากผงชูรส 8 ลิตร ใส่ปุ๋ย (16 - 20 - 0) และ (46 -0 - 0) ในปริมาณที่เท่ากันคือ 1.2 กิโลกรัม และใส่ปุ๋ย (0 - 46 - 0) อีก 100 กรัม ใส่ปูนขาว และกากถั่วเหลืองอย่างละ 1 กิโลกรัม สูตรที่ 3 ใช้อามิ - อามิ ในปริมาณลดลงเหลือ 6 ลิตร ใช้ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณที่เท่ากับสูตรที่ 1 ส่วนกากถั่วเหลืองนั้นลดปริมาณลงเหลือ 0.5 กิโลกรัม โดยสามารถเลือกใช้รำ หรือปลาป่นหมักแทนได้ในปริมาณเท่ากัน ส่วนสูตรที่ 2 เป็นสูตรที่ไม่ใช้อามิ - อามิ แต่ใช้ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณที่เท่ากับสูตรที่ 1 และใช้รำ, ปลาป่น และกากถั่วเหลือง อย่างละ 1, 0.5 และ 0.5 กิโลกรัม ตามลำดับ ละลายส่วนประกอบทั้งหมดในน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร ในบ่อซีเมตร์ เติมหัวเชื้อน้ำเขียว 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้เวลา 3 วัน ในระยะนี้ควรคนน้ำในบ่อบ่อยๆ เพื่อป้องกันการตกตะกอน จะได้น้ำเขียวที่สีเข้มแสดงว่า มีคลอเรลลาขึ้นหนาแน่น ต่อมาควรใส่หัวเชื้อไรแดงประมาณ 2 กิโลกรัม ใช้เวลา 2 วัน ไรแดงจะขึ้นเต็มบ่อ ให้ผลผลิต 13 - 15 กิโลกรัมต่อบ่อ คิดเป็น 1.3 - 1.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ส่วนผสมของปุ๋ยที่ใช้เพาะเลี้ยงน้ำเขียวในบ่อซีเมนต์ขนาด 10 ลูกบาศก์เมตร

สูตรการทำน้ำเขียว		
สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
อามิ-อามิ 8 ลิตร	รำละเอียด 1 กิโลกรัม	อามิ-อามิ 6 ลิตร
ปุ๋ยนา(16-20-0) 1.2 กิโลกรัม	ปลาป่น 0.5 กิโลกรัม	กากถั่วเหลือง/รำละเอียด/ปลา
ปุ๋ยยูเรีย(46-0-0) 1.2 กิโลกรัม	กากถั่วเหลือง 0.5 กิโลกรัม	ป่นหมัก 0.5 กิโลกรัม
ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต(0 - 46 - 0)	ปุ๋ยนา(16-20-0) 1.2 กิโลกรัม	ปุ๋ยนา(16-20-0) 1.2 กิโลกรัม
100 กรัม	ปุ๋ยยูเรีย(46-0-0) 1.2 กิโลกรัม	ปุ๋ยยูเรีย(46-0-0) 1.2 กิโลกรัม
ปูนขาว 1 กิโลกรัม	ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0- 46 - 0)	ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 - 46 - 0)
กากถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม	100 กรัม	100 กรัม
	ปูนขาว 1 กิโลกรัม	ปูนขาว 1 กิโลกรัม

ที่มา : ภาณุ และคณะ (2532)