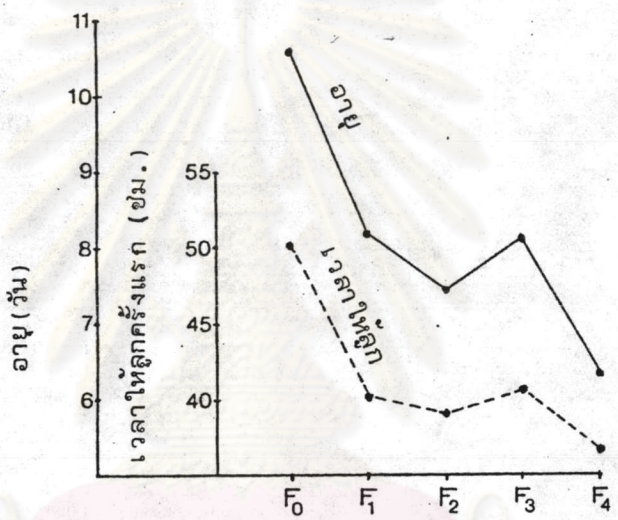
บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

ก. <u>ช่วงชีวิต เวลาที่ให้ลูก และจำนวนลูกที่ได้จากการสืบพันธุ์แบบ Parthenogenesis 5 รุ่น ต่อเนื่องกัน</u>

ไรแดงที่สุ่มมาทดลองทั้ง 5 รุ่น (F_o-F_4) พบว่าเป็นตัวเมีย (Parthenogenetic Female) เพราะทุกตัวสามารถเกิด Parthenogenesis ได้ การที่ลูกแต่ละรุ่นที่สุ่มมาเป็นตัวเมียหมด เนื่องจากตัวแม่ถูกเลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมคือไม่หนาแน่น อาหารเพียงพอ และอุณหภูมิพอเหมาะ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Bellosillo (1957) คือในสภาวะที่เหมาะสมลูกที่ได้จากครอกแรก ๆ จะเป็นตัวเมียเกือบ 100% โดยเฉพาะครอกแรกจะเป็นตัวเมีย 100% ผลจากการเลี้ยง 5 รุ่นต่อเนื่องกันพบว่ารุ่นหลัง ๆ มีแนวโน้มอายุสั้นลง จาก 10.61 วัน ใน F_o เหลือเพียง 6.31 วันใน F_4 (รูปที่ 17 และตารางที่ 8) ซึ่งไม่สอดคล้องกับของ ธรรมญ และ ฉวีวรรณ (2523) ที่เลี้ยง 6 รุ่นต่อเนื่องกันในน้ำตัมฟาง พบว่ารุ่นแรกมีอายุ 3-4 วัน และเพิ่มเป็น 7 วัน ในรุ่นหลัง ความแตกต่างของผลที่ได้น่าจะเนื่องจากปัจจัยด้านอาหาร การเจริญเติบโต และการให้ลูก โดยเฉพาะการเจริญเติบโตและการให้ลูกเป็นขบวนการที่ต้องใช้พลังงานมาก การตายช้าหรือเร็วขึ้นกับพลังงานที่สูญเสียในการให้ลูกและคุณภาพอาหาร (Bellosillo, 1957) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 14 และ 15 และตารางที่ 7 จะเห็นว่ารุ่นหลังใช้เวลาจนถึงตัวโตเต็มวัย (เวลาตั้งแต่เกิดถึงการให้ลูกครั้งที่ 1) เร็วกว่า F_o ประมาณ 10 ชั่วโมง และจำนวนลูกในครั้งที่ 1 ถึง 2 ก็มากกว่า F_oประมาณ 1 ถึง 4 ตัว แสดงว่ารุ่นหลัง ๆ เจริญเติบโตในน้ำเสียนี้ได้เร็วและสูญเสียพลังงานในการให้ลูกมาก ทำให้มันมีอายุสั้น จากผลการทดลองก็พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างอายุเฉลี่ยกับเวลาที่ใช้ในการให้ลูกครั้งแรกของแต่ละรุ่นดังรูปที่ 36 ซึ่งแสดงว่ายิ่งโตเต็มวัยเร็วก็จะตายเร็ว และไรแดงที่เลี้ยงในน้ำเสียนี้ยังใช้เวลาโตเต็มวัย

เร็วกว่าในน้ำธรรมชาติที่ฉันทนาและไมตรี (2524) ทดลองไว้ถึง 13 ชั่วโมง ซึ่งอาจมีผลให้ลูกครอกแรกอ่อนแอกว่าปกติ ทำให้ F_1 ถึง F_4 มีอายุสั้นลงและสั้นกว่า F_o อย่างเห็นได้ชัด (F_1 ถึง F_4 ได้จากลูกครอกแรกของ F_o ถึง F_3 แต่ F_o ได้จากตัวแม่ที่มีบูรณ์อายุ 3-5 วัน ที่ซื้อมา F_o จึงอาจไม่ใช่ลูกครอกแรก เพราะไรแดงอายุ 2-3 วัน จะเริ่มให้ลูกครั้งแรกได้) นอกจากนี้เทคนิคการทดลองก็มีผลด้วย คือการเปลี่ยนตัวกลาง



รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุเฉลี่ยและเวลาที่ใช้ในการให้ลูกครั้งแรกของไรแดงรุ่น F_o ถึง F_4

(น้ำเสีย) อย่างกระทันหันหลังจากที่ไรแดงให้ลูก หรือการถ่ายเทไปมาบ่อย ๆ อาจทำให้มันต้องคอยปรับตัวหรือบอบช้ำ ซึ่ง Bellosillo (1957) กล่าวว่าการย้ายมันไปสู่แหล่งอาหารใหม่จะมีผลต่อการเพาะเลี้ยง ช่วงชีวิต และความดกไข่ของมันมาก

อย่างไรก็ตามไรแดงที่เลี้ยงในน้ำเสียนี้พบว่าสามารถให้ลูกได้เร็ว จำนวนมาก และมีอายุเฉลี่ยยาวกว่าที่เคยทดลองในสูตรอาหารต่าง ๆ (ยกเว้นใน soil-manure ของ Bellosillo, 1957) ผลเฉลี่ยจากการเลี้ยงไรแดง 5 รุ่น ในน้ำเสียนี้พบว่ามีอายุ 8.13 วัน ให้ลูกได้ 7.6 ครั้ง (ตารางที่ 8) เวลาตั้งแต่เกิดถึงการให้ลูกครั้งแรก

สูงกว่าการให้ลูกครั้งต่อ ๆ ไปประมาณสองเท่า คือให้ลูกครั้งแรก 41.2 ชั่วโมง และให้ลูกครั้งต่อ ๆ ไปเฉลี่ยครั้งละ 20.8 ชั่วโมง (รูปที่ 14 และตารางที่ 7) ส่วนจำนวนลูกที่ได้ครั้งแรกค่อนข้างน้อย (ต่ำสุด 7.6 ตัว) และค่อย ๆ มากขึ้นในการให้ลูกครั้งถัดไป (สูงสุด 20.9 ตัว ในการให้ลูกครั้งที่ 6 ของ F_1) แล้วค่อย ๆ ลดลง หรือลดลงอย่างมากถ้าให้ลูกได้เกิน 11 หรือ 12 ครั้ง (ต่ำสุด 3 ตัว ในการให้ลูกครั้งที่ 12 ของ F_2) สรุปแล้วจำนวนลูกครั้งแรกเฉลี่ย 8.1 ตัว และต่อไปเฉลี่ยครั้งละ 14.9 ตัว โดยให้ลูกได้สูงสุดในช่วงการให้ลูกครั้งที่ 5 ถึง 10 (รูปที่ 15 และตารางที่ 7) ซึ่งถ้าพิจารณาจากผลที่ได้การตายของตัวที่ให้ลูกได้เกิน 11 หรือ 12 ครั้ง (โดยเฉพาะ F_o) น่าจะเนื่องจากอายุมากหรือแก่ตาย ส่วนรุ่นหลัง ๆ (โดยเฉพาะ F_4) การตายส่วนใหญ่น่าจะเนื่องจากความอ่อนแอ และการสูญเสียพลังงานอย่างมากในการเจริญเติบโตและให้ลูกที่เร็วกว่าปกติ ซึ่งจากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าไรแดงทั้ง 15 ตัวในรุ่น F_o ส่วนใหญ่แข็งแรงจำนวนที่อยู่รอดถึงการให้ลูกแต่ละครั้งมาก ส่วนรุ่นหลัง ๆ อ่อนแอลงไรแดงส่วนใหญ่ตายเร็วกว่า F_o มาก

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับของ ธรรมนูญ และ ฉวีวรรณ (2523) พบว่าได้ผลดีกว่ามาก โดยมีอายุเฉลี่ยยาวกว่าประมาณ 3 วัน จำนวนลูกเฉลี่ยต่อครั้งมากกว่าประมาณ 5 ตัว และจำนวนครั้งการให้ลูกสูงกว่าประมาณ 3 ครั้ง แต่ถ้าเปรียบเทียบกับ Bellosillo (1957) ซึ่งเลี้ยงเพียงรุ่นแรกรุ่นเดียว จึงควรนำเฉพาะ F_o มาเปรียบเทียบ พบว่าให้ผลต่ำกว่าของเขาเล็กน้อยคือ อายุสั้นกว่าประมาณ 2 วัน จำนวนลูกเฉลี่ยต่อครั้งต่ำกว่า 1 ตัว และจำนวนครั้งการให้ลูกต่ำกว่า 2 ครั้ง ส่วนเวลาที่ใช้ในการให้ลูกใกล้เคียงกันมาก ความแตกต่างของผลการทดลองน่าจะเนื่องจากปัจจัยด้านอาหารเป็นสำคัญ (Bellosillo, 1957) และเนื่องจากเทคนิคการทดลองบ้าง ส่วนอุณหภูมิคงไม่มีผลมากนักเพราะอยู่ในช่วงเดียวกัน ดังนั้นน่าจะสรุปได้ว่า น้ำเลียที่ใช้ทดลองนี้มีคุณภาพใกล้เคียงกับ soil-manure ของ Bellosillo แต่มีคุณภาพดีกว่าน้ำต้มฟางของ ธรรมนูญ และ ฉวีวรรณ

ข. <u>ปริมาณ BOD ของน้ำเลียชุมชนที่เริ่มมีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดง</u>

การนำน้ำส่วนใสและส่วนตะกอนของน้ำเลียชุมชนมาผสมกันตามสัดส่วน เป็นวิธีอย่างง่าย ๆ ที่จะได้น้ำเลียที่มี BOD ต่าง ๆ กัน และก็เป็นน้ำเลียชุมชนจริงที่ต้องการใช้

ไม่จำเป็นต้องทำน้ำเสียสังเคราะห์ แม้ว่าน้ำเสียสังเคราะห์จะได้คุณภาพที่แน่นอนกว่า แต่จุดมุ่งหมายของการทดลองต้องการใช้วิธีการง่าย ๆ ที่เป็นธรรมชาติมากที่สุดเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ น้ำเสียที่เตรียมได้พบว่ามี BOD_5 เพิ่มตามสัดส่วนของตะกอนที่เพิ่มขึ้นคือ น้ำเสียส่วนใส่ : ส่วนตะกอน เท่ากับ 1 : 0, 4 : 1 , 3 : 2, 2 : 3, และ 0 : 1 มีค่า BOD_5 เท่ากับ 165.0, 320.5, 440.6, 603.0, 822.8 และ 932.7 mg/l ตามลำดับ

1. การเพิ่มจำนวนของไรแดงในน้ำเสียที่มี BOD ต่าง ๆ กัน โดยไม่มีการเปลี่ยนน้ำเสียให้ตลอดการทดลอง

การเพิ่มจำนวนของไรแดงในน้ำเสีย BOD ต่าง ๆ กัน ได้ผลในทำนองเดียวกัน คือ มันจะเพิ่มจำนวนจนถึงจำนวนสูงสุด (Peak) ได้เพียงครั้งเดียวแล้วลดจำนวนลง (รูปที่ 18 และตารางที่ 9) ต่างกันที่ Peak และวันที่ถึง Peak โดยน้ำเสียที่มี BOD ต่ำจะมี Peak ต่ำและใช้เวลาถึง Peak เร็วกว่าที่ BOD สูง การทดลองนี้จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า BOD เท่าไรที่เริ่มมีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดง เพราะไรแดงสามารถเพิ่มจำนวนได้เหมือนกันหมด ส่วนความแตกต่างของ Peak และวันที่ถึง Peak น่าจะเนื่องจากความแตกต่างของ BOD ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในช่วง 6 วันแรก การเพิ่มจำนวนจะช้ามากและที่ BOD สูงจะเพิ่มได้น้อยกว่าที่ BOD ต่ำ หลังจากนั้นจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วโดยน้ำเสียที่มี BOD_5 เท่ากับ 165.0-440.6 mg/l ใช้เวลาถึง Peak 8 วัน และที่ BOD_5 เท่ากับ 603.0-932.7 mg/l ใช้เวลา 10 วัน การที่ไรแดงในน้ำเสียที่มี BOD สูงเพิ่มจำนวนในช่วงแรกได้ช้าและใช้เวลาถึง Peak มากกว่าที่ BOD ต่ำ คงเพราะน้ำเสียเริ่มต้นยังมี BOD สูงเกินไป (น้ำเน่าเกินไป) สำหรับไรแดง แต่เมื่อทิ้งไว้จะมีการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยแบคทีเรียและโปรโตซัว (Hawkes, 1963) โดยที่ BOD สูงจะใช้เวลาในการย่อยสลายมาก และเกิดอาหาร (แบคทีเรีย และโปรโตซัว) มากตามสัดส่วนของ BOD ทำให้การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของไรแดงช้ากว่าที่ BOD ต่ำ แต่สามารถเพิ่มจำนวนได้สูงกว่าในระยะหลัง เพราะคุณภาพน้ำเริ่มพอเหมาะและมีอาหารมากกว่า จากนั้นเมื่อความหนาแน่นสูงเกินไปและอาหารเริ่มหมดมันจึงลดจำนวนลง ซึ่งปัจจัยด้านอาหารและความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์และสำคัญต่อการเลี้ยงไรแดง (Bellosillo, 1957)

2. การเพิ่มจำนวนของไรแดงในน้ำเสียที่มี BOD ต่าง ๆ กัน โดยมีการเปลี่ยนน้ำเสียที่มี BOD เดิมให้ทุกวันเว้นวัน (หรือทุกวัน)

เนื่องจากการทดลองในข้อแรกซึ่งไม่มีการเปลี่ยนน้ำเสียให้ไม่สามารถสรุปผลแน่นอนได้ ดังนั้นถ้าสามารถเลี้ยงไรแดงให้อยู่ใน BOD เดิมตลอดเวลาก็น่าจะได้ผลชัดเจนขึ้น แต่ปริมาณน้ำเสียที่เตรียมได้มีจำกัดและความบอบช้ำที่เกิดต่อไรแดงในการเปลี่ยนน้ำเสีย จึงเลือกใช้วิธีเปลี่ยนน้ำเสียให้ทุกวันเว้นวัน สำหรับการทดลองที่ได้ผลไม่ชัดเจนหลังจากเลี้ยงได้ระยะหนึ่งจึงจะเปลี่ยนน้ำเสียให้ทุกวัน จากผลการทดลอง (รูปที่ 20 และตารางที่ 11) พบว่าที่ BOD_5 เท่ากับ 165.0 - 440.6 mg/l ไรแดงยังมีการเพิ่มจำนวนตามปกติโดยใช้เวลาถึง Peak 10 วัน ซึ่งมากกว่าวิธีไม่เปลี่ยนน้ำเสีย 2 วัน และได้ Peak สูงกว่ามาก แสดงว่าไรแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีใน BOD ช่วงนี้และการเปลี่ยนน้ำให้ยังเป็นการเพิ่มอาหารทำให้มันเพิ่มจำนวนได้สูงมาก แต่เมื่อหนาแน่นเกินไปจะทำให้เกิดลูกตัวผู้และมีการลืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมากขึ้น (Bellosillo, 1957) ดังนั้นแม้จะให้อาหารหรือเปลี่ยนน้ำเสียให้ต่อไปมันก็จะลดจำนวนลงหลังจากที่มีจำนวนสูงสูงสุดแล้ว ส่วนที่ BOD_5 เท่ากับ 603.0 mg/l มันเพิ่มจำนวนได้ช้ามากจนถึงวันที่ 11 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงวันที่ 14 ซึ่งอาจเนื่องจากมีบางตัวแข็งแรงและปรับตัวได้ ดังนั้นเพื่อให้การทดลองชัดเจนขึ้นจึงเริ่มเปลี่ยนน้ำเสียให้ทุกวัน ทำให้ไรแดงลดจำนวนลงและไม่เพิ่มขึ้นอีก จึงสรุปได้ว่าน้ำเสียชุมชนที่มี BOD_5 ประมาณ 603.0 mg/l จะเริ่มมีผลต่อการเลี้ยงไรแดง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของมันลดลง สำหรับน้ำเสียที่มี BOD_5 ประมาณ 822.3 และ 932.7 mg/l นั้นมีผลต่อไรแดงอย่างมากทำให้มันตายหมดเพียงไม่กี่วัน แม้ไรแดงในธรรมชาติก็จะพบมันอยู่ในแหล่งน้ำที่เริ่มเน่าเล็กน้อยและหายไปหมดเมื่อน้ำเน่าจัด (ผะอบ, 2511) หรือการเลี้ยงในสูตรอาหารก็พบว่าถ้าอาหารเข้มข้นเกินไปจะเกิดมวลของแบคทีเรียหรือรามากจนฆ่าไรแดงได้ (Bellosillo, 1957) ดังนั้นน้ำเสียชุมชนนี้ก็จะมีระดับหนึ่งที่เน่าเกินไปจนเป็นพิษต่อไรแดงซึ่งก็คือ BOD_5 ประมาณ 603.0 mg/l ขึ้นไป สำหรับที่ BOD_5 เท่ากับ 165.0-440.6 mg/l ซึ่งเป็นช่วงที่ไรแดงเจริญเติบโตได้ดีพบว่าที่ให้ผลดีที่สุดคือที่ BOD_5 เท่ากับ 320.5 และ 165.0 mg/l ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญรองลงมาคือ ที่ BOD_5 เท่ากับ

440.6 mg/l ซึ่งให้ผลแตกต่างกับที่ 320.5 และ 165.0 อย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากผลรวมจำนวนไรแดงจนถึงวันที่ 12 เป็นหลัก

เมื่อพิจารณาถึงการเก็บรักษาน้ำเสียโดยทั่วไปจะเก็บในที่มีอุณหภูมิต่ำ (4°ซ) เพราะพวกจุลินทรีย์ในน้ำจะเจริญเติบโตได้น้อยมากในสภาวะนี้ สำหรับคุณภาพทาง BOD ไม่ควรเก็บเกิน 1 วัน แต่ถ้าต้องเก็บนานก็ไม่ควรเกิน 7 วัน (กรรณิการ์, 2522 และ เสริมพล และ ไชยยุทธ, 2524) สำหรับการทดลองนี้จำเป็นต้องเก็บไว้ใช้ตลอดการทดลองซึ่งนานที่สุดถึง 20 วัน เพราะการจะเตรียมน้ำเสียใหม่จากน้ำเสียจริงให้มี BOD เท่าเดิมนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากคุณภาพของน้ำเสียจริงในระบบก็มีการเปลี่ยนแปลงอยู่แล้วในแต่ละวัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากการเก็บรักษาน่าจะน้อยกว่าการเตรียมใหม่ และจากการทดลองของผู้วิจัยเองพบว่าน้ำเสียที่แช่เย็นไว้ 10 วัน จะมี BOD ลดลงจากเดิมประมาณ 10-15% ซึ่งเปลี่ยนไปไม่มากนัก และจากผลการทดลองภายใน 10 วัน ก็สามารถจะชี้ได้แล้วว่า BOD เท่าไรที่มีผลต่อไรแดง ดังนั้นแม้จะเก็บรักษาน้ำเสียไว้นานกว่าปกติมากแต่ก็ไม่กระทบต่อการทดลองนัก ผลการทดลองยังเชื่อถือได้

ค. <u>การทดลองเพื่อศึกษาอัตราการขยายพันธุ์ของไรแดงในน้ำเสียชุมชน</u>

1. การทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่องโดยไม่มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังเลี้ยง

1.1 การหาจำนวนไรแดงเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อน้ำเสีย 1.8 ลิตร

จากรูปที่ 21 และตารางที่ 12 จะเห็นว่าการเริ่มต้นด้วยจำนวนตัวมากจะใช้เวลาถึง Peak เร็วกว่าการเริ่มต้นด้วยจำนวนตัวน้อย แต่จำนวนที่ Peak กลับพบว่าการเริ่มต้นด้วยจำนวนน้อย 10 และ 25 ตัว ต่อ 1.8 ลิตร หรือมาก 100 และ 150 ตัว ต่อ 1.8 ลิตร ให้ Peak ต่ำกว่าที่ 50 ตัวต่อ 1.8 ลิตร แสดงว่าในอาหารปริมาณหนึ่ง จะมีจำนวนเริ่มต้นพอเหมาะที่จะทำให้ไรแดงเพิ่ม

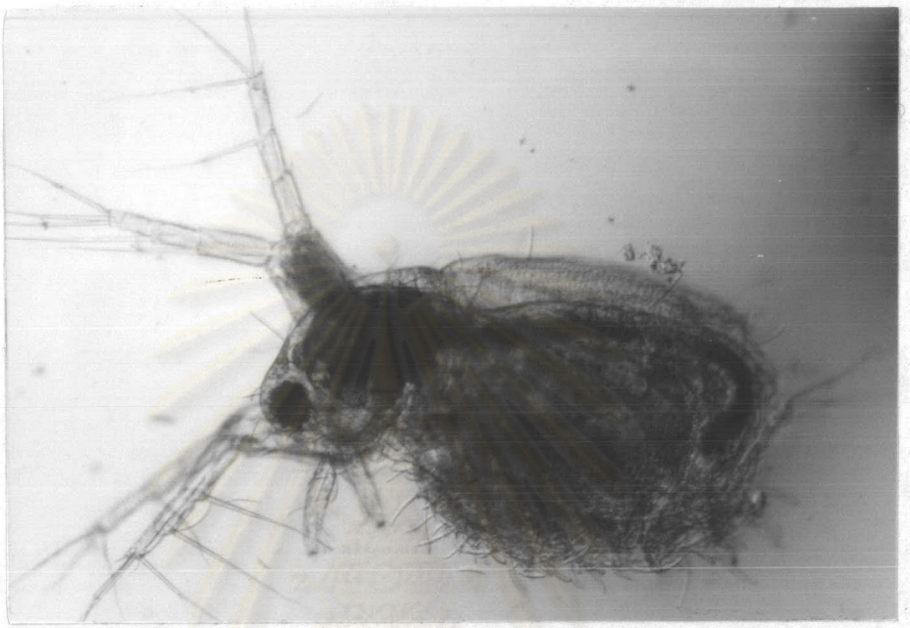
จำนวนได้สูงสุด วราภร (2514) พบว่าการเริ่มต้นด้วยจำนวนที่มากเกินไปต่ออาหารที่ใช้เลี้ยง จะทำให้การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนลดลง เพราะอาหารไม่เพียงพอ และ Bellosillo (1957) ยังพบว่าความหนาแน่นจะทำให้เกิดตัวผู้และการลืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเริ่มด้วยจำนวนมากเกินไป (100, 150 ตัว/1.8 ลิตร) การเพิ่มจำนวนจะสูงกว่าและเข้าสู่สภาวะหนาแน่นเกินไปอย่างรวดเร็วประกอบกับอาหารเริ่มหมด ปัจจัยทั้งสองนี้จึงควบคุมให้มันเพิ่มจำนวนได้น้อยลงและลดจำนวนในที่สุด แต่ถ้าเริ่มด้วยจำนวนน้อยเกินไป (10, 25 ตัว/1.8 ลิตร) การเพิ่มจำนวนจะต่ำตามจำนวนตัวเริ่มต้น ส่วน Peak ที่ได้ต่ำด้วยนั้นเนื่องจากน้ำเสียนี้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยเกิด Succession ของแบคทีเรียและโปรโตซัว (Hawkes, 1963) อาหารของไรแดงในน้ำเสียจึงสลายหมดไปได้เอง การเริ่มด้วยจำนวนน้อยเกินไปอาจทำให้การเพิ่มจำนวนไม่สมดุลย์หรือไม่ทันกับการย่อยสลายตามธรรมชาติ Peak ที่ได้จึงต่ำ ดังนั้นจึงน่าจะมีจำนวนเริ่มต้นที่พอเหมาะในปริมาณและชนิดของอาหารหนึ่ง ๆ ซึ่งจะทำให้การเพิ่มจำนวนสมดุลย์กับการย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ได้ Peak สูงสุดในเวลาพอสมควร จากผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า น้ำเสียชุมชน BOD_5 ประมาณ 220.6 mg/l (ตารางที่ 6) ในปริมาตร 1.8 ลิตร จะใช้จำนวนไรแดงเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 ตัว นอกจากนี้ยังพิจารณาจากผลรวมจำนวนไรแดงจนถึงวันที่ 12 ด้วย ซึ่งก็พบว่าที่ 50 ตัวให้ผลดีที่สุดและแตกต่างกับที่ 10, 25 และ 150 ตัว แต่ไม่แตกต่างกับที่ 100 ตัว อย่างมีนัยสำคัญ จึงเลือก 50 ตัว/1.8 ลิตร ไปใช้ในการทดลองต่อ ๆ ไป

1.2 การหาปริมาณไรแดงที่เหมาะสมที่จะถูกตักออก (เป็นผลผลิต) แต่ละครั้ง

ก่อนที่จะพิจารณาถึงผลการทดลอง จะกล่าวถึงหลักเกณฑ์การกำหนดความหนาแน่นที่จะเริ่มหรือหยุดตักไรแดงออก ซึ่งจะเลือกจุดที่มันมีความสมบูรณ์และความหนาแน่นพอเหมาะ โดยพิจารณาจากการเลี้ยง 50 ตัว/1.8 ลิตร ในข้อ 1.1 เป็นหลัก (รูปที่ 21) ประกอบกับการสังเกตในการทดลองพบว่าวันที่ 4 เป็นช่วงที่ไรแดงมีความ

สมบูรณ์ (พบตัวแม่สีแดงเป็นส่วนใหญ่, รูปที่ 2) และหนาแน่นพอสมควร ซึ่งกำลังจะเพิ่มผลผลิตได้มากที่สุด (จาก slope วันที่ 4-5 ของ 50ตัว/1.8 ลิตร) ดังนั้นถ้าตักไรแดงบางส่วนออกในช่วงนี้ก็จะได้ตัวที่สมบูรณ์และส่วนที่เหลือก็จะเพิ่มจำนวนได้มาก สามารถตักออกได้อีกในวันถัดไป และยังเป็นการควบคุมไม่ให้มันเข้าสู่สภาวะที่หนาแน่นเกินไปอย่างเช่นในวันที่ 5 หรือ 6 ซึ่งเริ่มพบไรแดงที่ไม่สมบูรณ์ (ไรแดงตัวเล็ก เรียวยาว และซีดลง, รูปที่ 37) โดยเฉพาะวันที่ 6 ไรแดงส่วนใหญ่จะไม่สมบูรณ์ ความหนาแน่นที่กำหนดจึงเลือก 1,800 ตัว/1.8 ลิตร (100 ตัว/100 มล.) เป็นหลักซึ่งปรับจากความหนาแน่นในวันที่ 4 ของการเลี้ยง 50 ตัว/1.8 ลิตร ในข้อ 1.1 เล็กน้อย เพราะสังเกตได้ว่ายังเป็นความหนาแน่นที่พอเหมาะ และการกำหนดความหนาแน่นก็ค่อนข้างจะเป็นเทคนิคที่เฉพาะในแต่ละการทดลอง ที่ผ่านมาก็ยังไม่มีผู้ใดกำหนดความหนาแน่นที่เหมาะสมการทดลองที่พอจะนำมาเปรียบเทียบได้คือการเลี้ยง Daphnia ของ De Pawn et al (1981) เขาได้กำหนด 1,500 ตัว/ลิตร (15 ตัว/100 มล.) เป็นความหนาแน่นที่เริ่มตักไรน้ำออก ซึ่งก็ยังต่ำกว่าของผู้วิจัยมาก

เมื่อพิจารณาผลการทดลอง (รูปที่ 22 และตารางที่ 13) พบว่าการตักไรแดงออกครั้งละ $\frac{1}{3}$ ของปริมาณทั้งหมดได้ผลผลิตรวมสูงกว่าวิธีตักออกครั้งละ $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ และ $\frac{1}{5}$ เนื่องจากการตักไรแดงออกด้วยปริมาณที่แตกต่างกันในปริมาณอาหารจำกัด ส่วนที่เหลือจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากันซึ่งมีผลต่อการเพิ่มจำนวนในวันต่อ ๆ ไป ดังนั้นการตักไรแดงออกในปริมาณที่น้อยเกินไป เช่น $\frac{1}{4}$ หรือ $\frac{1}{5}$ ส่วนที่เหลืออาจหนาแน่นเกินไป ทำให้การเพิ่มจำนวนในวันต่อไปไม่ได้มากเท่าที่ควร ผลผลิตรวมที่ได้จึงต่ำซึ่งพบว่าต่ำกว่าวิธี $\frac{1}{3}$ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการตักไรแดงออกในปริมาณที่มากเกินไป เช่น $\frac{1}{2}$ ส่วนที่เหลืออาจน้อยเกินไปและน้ำเสียนี้ก็มีการย่อยสลายตามธรรมชาติดังกล่าวแล้ว การเพิ่มจำนวนของส่วนที่เหลือจึงน้อยและไม่ทันกับการย่อยสลายทำให้ตักไรแดงออกได้เพียง 3 วัน (น้อยกว่าวิธีอื่น 1 วัน) และผลผลิตที่ได้ก็ใกล้เคียงกับวิธี $\frac{1}{3}$ มาก (ต่ำกว่าเล็กน้อย) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการตักไรแดงออกในปริมาณที่เหมาะสม เช่น $\frac{1}{3}$ ส่วนที่เหลือจะมีความหนาแน่นพอเหมาะและสมดุลย์กับการย่อยสลายของน้ำเสีย ทำให้เพิ่มจำนวนได้มากในวันต่อ ๆ ไป จึงได้ผลผลิตรวมสูงสุด



รูปที่ 37 ไรแดงที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์ เมื่อเลี้ยงไรแดงในหน่วยเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน (x 80 เท่า)

1.3 การหาปริมาตรน้ำเสียที่เหมาะสมที่จะถ่ายเทให้กับหน่วยเพาะเลี้ยงทุก 4 วัน

จากรูปที่ 23 และตารางที่ 14 พบว่าไรแดงมีการเพิ่มและลดจำนวนสลับกันไป แม้จะมีการถ่ายเทน้ำเสีย (ให้อาหาร) ทุก 4 วัน แสดงว่าความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่ควบคุมจำนวนของมัน (Bellosillo, 1957) ซึ่งจำนวนประชากรที่หนาแน่นจะทำให้เกิดตัวผู้มาก ไม่ว่าจะมีอาหารมากหรือน้อย (นันทพันธ์, 2507 อ้างตาม Banta, 1939) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณอาหารก็มีผลต่อการเพิ่มจำนวนด้วย เพราะจากผลการทดลองพบว่า เมื่อถ่ายเทน้ำเสียในปริมาตรมากขึ้น จะได้ PEAK และผลรวมไรแดงสูงขึ้น

ซึ่งทั้งอาหารและความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่สำคัญมากดังกล่าวแล้ว สำหรับการทดลองนี้มุ่งที่จะได้ผลผลิตสูงสุดด้วยวิธีการเลี้ยงแบบง่าย ๆ เป็นหลัก จึงเลือกการถ่ายเทน้ำเลียครั้งละ ½ ของ 1.8 ลิตร เป็นวิธีที่จะใช้ต่อไปเพราะให้ผลรวมจำนวนไรแดงสูงสุดและแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ (วิธีถ่ายเทน้ำเลียครั้งละ ⅓ , ¼ และ ⅕) อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับวิธีการถ่ายเทน้ำเลียนั้นโดยทั่วไปการถ่ายเทอย่างต่อเนื่องในปริมาณที่พอเหมาะ จะเป็นส่วนสำคัญในการเลี้ยงไรแดงให้คงอยู่ได้ตลอดไป แต่ความจำกัดในการทดลองและความมุ่งหมายที่จะใช้วิธีธรรมดาที่สุด จึงใช้วิธีการถ่ายเทน้ำเลียอย่างกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) โดยคงที่จำนวนวันและเปลี่ยนปริมาตรน้ำที่ใช้ถ่ายเท ซึ่งค่อนข้างจะเป็นเทคนิคเฉพาะของแต่ละการทดลอง เช่น การทดลองของ ผะอบ (2511) เขาสรุปว่าการเติมอาหารควรเติม 3 วันครั้ง ดังนั้นเทคนิคที่ใช้จึงแตกต่างกันตามความเหมาะสม

ที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือเมื่อเลี้ยงไรแดงไปนาน ๆ Peak จะต่ำลง และไรแดงอ่อนแอลง (พบไรแดงตัวเล็ก ๆ เรียวยาว และซีดลง เป็นส่วนใหญ่, รูปที่ 37) ซึ่งอาจเนื่องจากการสะสมของของเสียที่ปล่อยออกมา ทำให้เป็นพิษต่อตัวไรแดงเองได้ (ฉันทนา และ ไมตรี, 2524) นอกจากนั้นอาจขาดธาตุเหล็กและออกซิเจนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง haemoglobin ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงหรือสีแดงของตัวมัน และการเลี้ยงไรแดงไปนาน ๆ ยังอาจเกิดพวก rotifers และ cyclops ซึ่งเป็นศัตรูของไรแดง (Bellosillo, 1957) ส่วนเทคนิคการถ่ายเทน้ำเลียแบบกึ่งต่อเนื่องจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางอย่างกระทันหัน ไรแดงจึงต้องปรับตัวทุกครั้งที่มีการถ่ายเทน้ำเลีย ซึ่งถ้าตรงกับช่วงที่มันกำลังแข็งแรงและไม่หนาแน่นมากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มอาหารให้ ทำให้มันเพิ่มจำนวนขึ้น แต่ถ้าตรงกับช่วงที่กำลังอ่อนแอหรือหนาแน่นมาก การปรับตัวต่อน้ำใหม่อาจทำให้การเจริญเติบโตของมันหยุดชะงักหรือลดจำนวนลง ซึ่ง De Pawn et al (1981) ได้สรุปว่า การเติมอาหารให้ทีละน้อย ๆ แต่บ่อย ๆ จะให้ผลดี และไม่ควรเร็วกว่า 2-3 วันต่อครั้ง

1.4 การเลี้ยงไรแดงโดยมีการตักผลผลิตไรแดงออกเป็นระยะ และถ่ายเทน้ำเลียให้ทุก 4 วัน

เพื่อทดลองเลี้ยงไรแดงให้ได้ต่อเนื่องและได้ผลผลิตตลอดเวลา จึงนำวิธีที่ให้ผลดีจากข้อ 1.1 ถึง 1.3 มารวมเป็นวิธีเดียวกันคือ ถ่ายเทน้ำเสียให้ครั้งละ ½ ของ 1.8 ลิตร ทุก 4 วัน และตักไรแดงออกเป็นระยะเพื่อควบคุมให้มีความหนาแน่นพอเหมาะอยู่ตลอดเวลา พร้อม ๆ กับได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องด้วย แต่จากข้อ 1.3 (รูปที่ 23) จะเห็นว่า Peak ของไรแดงมี 2 ระดับ โดย 2 Peaks แรกสูงกว่า Peaks หลัง ๆ ประมาณ 2 เท่า จึงควรตักไรแดงออกมากหรือครั้งละ ½ ในช่วงแรก โดยกำหนดความหนาแน่นที่จะเริ่มตักออกเพิ่มจาก 1,800 ตัว/1.8 ลิตร (100 ตัว/100 มล.) เป็น 3,600 ตัว/1.8 ลิตร (200 ตัว/200 มล.) เพื่อให้จำนวนที่เหลือมากพอที่จะเพิ่มจำนวนในวันต่อไป และในช่วงหลังเมื่ออัตราการเพิ่มจำนวนลดลง จึงควรตักไรแดงออกน้อยลงหรือครั้งละ ⅓ เมื่อมีความหนาแน่น 1,800 ตัว/1.8 ลิตร ขึ้นไป ซึ่งเป็นการควบคุมให้มีความหนาแน่นที่เหมาะสมและสามารถตักผลผลิตไรแดงได้อย่างต่อเนื่องและบ่อยที่สุด และจากการเลี้ยงด้วยวิธีนี้ก็สามารถเลี้ยงได้อย่างต่อเนื่องและได้ผลผลิตเกือบทุกวัน (รูปที่ 24 และตารางที่ 15) แสดงว่าการถ่ายเทน้ำเสียหรือให้อาหาร และการควบคุมความหนาแน่นโดยตักไรแดงออกเป็นหลักสำคัญที่จะทำให้เลี้ยงไรแดงได้อย่างต่อเนื่องและได้ผลผลิตสูง ซึ่งสอดคล้องกับการเลี้ยง Daphnia ของ De Pawn et al (1981) เขาได้สรุปว่า การให้อาหารมากเกินไปอาจทำให้การตายสูง เพราะเกิดแบคทีเรียมากเกินไปทำให้สภาวะไม่เหมาะสม การเติมอาหารให้น้อย ๆ แต่บ่อย ๆ จะได้ผลดี ซึ่งพบว่าไม่ควรเร็วกว่า 2-3 วันต่อครั้ง การเอาผลผลิตออกจะช่วยลดความหนาแน่นซึ่งช่วยกระตุ้นการขยายพันธุ์ ความหนาแน่นมากจะทำให้ใช้เวลาในการขยายพันธุ์นานขึ้น และจำนวนลูกที่ได้ต่ำลง และหลังจากที่ความหนาแน่นเริ่มต่ำลงและมีการถ่ายน้ำจะมีการขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความหนาแน่นที่เหมาะสมที่จะทำให้การเพาะเลี้ยงคงอยู่ได้นาน

2. การทดลองเลี้ยงไรแดงโดยมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการเพาะเลี้ยง

การทดลองในข้อนี้เป็นการซ้ำการทดลองเดิมในข้อ 1.1-1.4 โดยเลือกเฉพาะวิธีที่ให้ผลดีที่สุด และมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังเลี้ยงเปรียบเทียบกับก่อนเลี้ยงด้วย ดังนั้นผลเกี่ยวกับการเลี้ยงไรแดงและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจึงเป็นไปในทำนองเดียวกัน ในที่นี้จะกล่าวเกี่ยวกับผลผลิตในการเลี้ยงแต่ละวิธีเท่านั้น สำหรับคุณภาพน้ำจะแยกวิเคราะห์ภายหลัง

2.1 การเลี้ยงไรแดงเมื่อเริ่มต้นด้วยจำนวน 50 ตัว ต่อน้ำเสีย 1.8 ลิตร

ไรแดงจะมีการเพิ่มจำนวนสูงสุด (Peak) ได้เพียงครั้งเดียวแล้วลดจำนวนลง (รูปที่ 25) ในทำนองเดียวกับข้อ 1.1 ทุกประการ ผลผลิตที่ได้ในการทดลองนี้สรุปได้ว่า การเลี้ยงไรแดง 50 ตัว ในน้ำเสีย 1.8 ลิตร ที่มี BOD_5 เริ่มต้น 210.0 mg/l จะให้ Peak เท่ากับ 8,136.0 ตัว/1.8 ลิตร (452 ตัว/100 มล.) ในเวลา 6 วัน (ตารางที่ 16 และ 17) หรือเพิ่มขึ้น 162.7 เท่าจากเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ ธรรมนูญ และ ฉวีวรรณ (2523) ซึ่งเลี้ยงไรแดง 1,500 ตัว ต่อน้ำต้มฟาง 4 ลิตร ได้ Peak เท่ากับ 7,740.0 ตัว/4 ลิตร (193.5 ตัว/100 มล.) ใน 4 วัน หรือเพิ่มขึ้น 5.2 เท่า หรือของ หยกแก้ว และคณะ (2527) ซึ่งเลี้ยงไรแดง 180 ตัว/1.8 ลิตร ด้วย Chlorella ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนมถั่วเหลือง พบว่าได้ Peak เท่ากับ 24,408.0 ตัว/1.8 ลิตร (1,356 ตัว/100 มล.) ในเวลา 6 วัน หรือเพิ่มขึ้น 135.6 เท่า จะเห็นได้ว่าไม่สามารถเปรียบเทียบผลผลิตให้แน่นอนลงไปได้ เนื่องจากจำนวนตัวเริ่มต้นและหรือปริมาตรการเลี้ยงมีความแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยเกี่ยวกับจำนวนตัวเริ่มต้น อาหาร การเจริญเติบโต การคัดเลือกตัวแม่เริ่มต้นที่สมบูรณ์ และสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการล้วนแต่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของไรแดงทั้งสิ้น แต่อาหารและการเจริญเติบโตจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด (Bellosillo, 1957 และ ธรรมนูญ และ ฉวีวรรณ, 2523) แต่พอจะสรุปได้ว่าน้ำเสียชุมชนนี้ใช้เลี้ยงไรแดงได้ดีกว่าน้ำต้มฟาง แต่ใกล้เคียง Chlorella ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนมถั่วเหลือง

2.2 การเลี้ยงไรแดงเมื่อมีการตักผลผลิตออกครั้งละ $\frac{1}{3}$ ของปริมาณทั้งหมด

การเลี้ยงไรแดง 50 ตัว/1.8 ลิตร โดยมีการตักผลผลิตออกครั้งละ $\frac{1}{3}$ (วิธีที่ 1) และจัดให้มีการเลี้ยง 50 ตัว/1.8 ลิตร แต่ไม่มีการตักผลผลิตออกเลย (วิธีที่ 2) เป็นการทดลองเปรียบด้วย พบว่าทั้งสองวิธีทำให้ไรแดงเกิด Peak ได้เพียงครั้งเดียว แต่วิธีที่ 1 ให้ Peak ต่ำกว่าวิธีที่ 2 ประมาณ 2 เท่า (รูปที่ 27 และตารางที่ 18) เนื่องจากไรแดงบางส่วนถูกตักออกจากหน่วยเพาะเลี้ยง Peak จึงต่ำกว่า ซึ่งผลผลิตที่ได้คือหลักสำคัญของการเพาะเลี้ยง ดังนั้นถึงแม้วิธีที่ 1 จะได้ Peak ต่ำกว่า แต่ก็ได้ผลผลิตบางส่วนออกไปใช้ประโยชน์ได้ โดยยังคงมีบางส่วนอยู่ในหน่วยเพาะเลี้ยงซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนต่อไปถ้ามีการเติมอาหารให้ใหม่ แต่วิธีที่ 2 เป็นผลของไรแดงที่อยู่ในหน่วยเพาะเลี้ยงเท่านั้น ซึ่งถ้าจะรอจนถึง Peak แล้วค่อยตักไรแดงออก ถึงจะได้จำนวนมาก แต่ก็ใช้เวลานานและได้ผลผลิตเพียงครั้งเดียว และไรแดงส่วนใหญ่ก็ไม่ค่อยสมบูรณ์ การได้ผลผลิตที่สมบูรณ์ต่อเนื่องและสม่ำเสมอย่อมเป็นหลักที่สำคัญของการเพาะเลี้ยง จากการเลี้ยงทั้งสองวิธีสามารถสรุปได้ว่า น้ำเลี้ยงชุมชนที่มี BOD_5 เริ่มต้น 392.0 mg/l (ตารางที่ 19) เมื่อเลี้ยงโดยวิธีที่ 1 จะตักไรแดงออกได้ 4 วัน ได้ผลผลิตรวม 4,010.4 ตัว หรือ 1,002.6 ตัว/วัน โดยคงเหลือไรแดงอยู่ในหน่วยเพาะเลี้ยง 3,007.8 ตัว/1.8 ลิตร/วัน (คิดเฉพาะช่วงวันที่ 5-8 ซึ่งตักไรแดงออกได้ ตารางที่ 18) ส่วนวิธีที่ 2 ได้ Peak 7,243.2 ตัว/1.8 ลิตร ในเวลา 7 วัน หรือมีไรแดงอยู่ในหน่วยเพาะเลี้ยง 4,966.2 ตัว/1.8 ลิตร/วัน โดยไม่มีผลผลิตออกจากหน่วยเพาะเลี้ยง (คิดจากช่วงวันที่ 5-8 เหมือนวิธีที่ 1 ตารางที่ 18)

2.3 การเลี้ยงไรแดงเมื่อมีการถ่ายเทน้ำเลี้ยงครั้งละ $\frac{1}{2}$ ของ 1.8 ลิตร ทุก 4 วัน

การทดลองได้ผลในลักษณะเดียวกับข้อ 1.3 ทุกประการ (รูปที่ 29) มีความแตกต่างกันบ้างที่คุณภาพน้ำเลี้ยงที่ใช้เลี้ยง แต่ทุกการทดลองก็ยังมี BOD_5 อยู่ในช่วง

165.0-440.0 mg/l (จากการทดลองข้อ ข.2) ที่ใช้เลี้ยงไรแดงได้ โดยน้ำเสียก่อนเลี้ยงของการทดลองนี้มี BOD_5 เฉลี่ย 295.8 mg/l (ต่ำสุด 240 สูงสุด 350) (ตารางที่ 21) และการทดลองนี้ได้ขยายการเลี้ยงในนานขึ้นเป็น 2 เดือน ด้วยการเลี้ยงวิธีนี้ซึ่งถ่ายเทน้ำอย่างเดียวไม่มีการตักไรแดงออกเลย จะมีไรแดงอยู่ในหน่วยเพาะเลี้ยงเฉลี่ย 2,114.0 ตัว/1.8 ลิตร/วัน (ตารางที่ 20)

2.4 การเลี้ยงไรแดงเมื่อมีการตักผลผลิตออกเป็นระยะ และถ่ายเทน้ำเสียครั้งละ ½ ของ 1.8 ลิตร ทุก 4 วัน

การทดลองได้ผลในทำนองเดียวกับข้อ 1.4 แต่เพิ่มการเลี้ยงเป็น 2 เดือน และกำหนดการตักไรแดงออกครั้งละ ½ ให้อยู่ในช่วง 10 วันแรกเท่านั้น หลังจากนั้นจะตักออกครั้งละ ⅓ เนื่องจากผลการเลี้ยงแบบถ่ายเทน้ำเสียให้อย่างเดียวที่ผ่านมาทั้งสองครั้ง (ข้อ 1.3 และ 2.3) พบว่าการถ่ายเทน้ำเสียครั้งละ ½ ไรแดงจะมี Peak แรกสูงสุดซึ่งอยู่ในช่วง 10 วันแรก ส่วน Peak ต่อไปอาจสูงเกือบเท่าเดิม (รูปที่ 23) หรือต่ำลงอย่างมาก (รูปที่ 29) ดังนั้นการขยายพันธุ์จะสูงมากในช่วง 10 วันแรกอย่างแน่นอน แต่หลังจากนั้นจะไม่แน่นอนซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อาหาร และความหนาแน่น ดังกล่าวแล้วจึงกำหนดการตักไรแดงออกครั้งละ ½ เฉพาะในช่วง 10 วันแรก เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการทดลองต่อ ๆ ไป สำหรับความหนาแน่นที่จะตักไรแดงออกก็ใช้ค่าเดิมคือ เริ่มตักออกครั้งละ ½ หรือ ⅓ เมื่อมีความหนาแน่น 3,600 ตัว/1.8 ลิตร หรือ 1,800 ตัว/1.8 ลิตร ขึ้นไปตามลำดับซึ่งพบว่าการเลี้ยงด้วยวิธีนี้ได้ผลดีสามารถตักไรแดงออกได้เกือบทุกวัน (รูปที่ 31 และตารางที่ 22) และได้ผลผลิตรวม 25,943.8 ตัว หรือ 529.5 ตัว/วัน (คิดจากวันที่ 6 ถึง 54 ซึ่งเป็นช่วงที่ตักไรแดงออกได้) เมื่อเลี้ยงในน้ำเสีย 1.8 ลิตร ที่มี BOD_5 เฉลี่ย 295.8 mg/l (ตารางที่ 23)

ถ้าเปรียบเทียบการเลี้ยงในข้อนี้ซึ่งมีการถ่ายเทน้ำเสียและตักไรแดงออก (รูปที่ 31) ให้เป็นวิธีที่ 1 กับการเลี้ยงแบบถ่ายเทน้ำเสียอย่างเดียว (รูปที่ 29) ให้เป็นวิธีที่ 2 จะเห็นว่าทั้งสองวิธีทำให้ไรแดงมีการเพิ่มและลดจำนวนสลับกันไป (เกิด

Peaks) โดย Peak แรกสูงสุดและค่อย ๆ ต่ำลงใน Peaks หลัง ซึ่งอาจเนื่องจากความเป็นพิษของของเสียที่สะสมหรือเกิดศัตรูของไรแดงหรืออื่น ๆ ดังกล่าวในข้อ 1.3 แต่ความแตกต่างของทั้งสองวิธีนี้อยู่ที่ช่วงสูงสุดและต่ำสุดของ Peak โดยวิธีที่ 2 จะมีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Peak มากกว่า ให้ Peak ที่เด่นชัดกว่า แต่จำนวน Peak น้อยกว่าวิธีที่ 1 ซึ่งเกิด Peak ย่อย ๆ มากมาย ความแตกต่างนี้ก็น่าจะเนื่องจากความหนาแน่นเป็นปัจจัยสำคัญ เพราะวิธีที่ 1 มีการควบคุมความหนาแน่นโดยตักไรแดงออกเป็นระยะ ทำให้การเพิ่มและลดจำนวนของไรแดงไม่แปรปรวนมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปของ De Pawn et al (1981) ที่กล่าวแล้วในข้อ 1.4 ในข้อความที่ว่า การเอาผลผลิตออกจะช่วยลดความหนาแน่น ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการขยายพันธุ์ ความหนาแน่นจะทำให้ใช้เวลาในการขยายพันธุ์นานขึ้นและจำนวนลูกที่ได้ต่ำลง และหลังจากที่ความหนาแน่นเริ่มต่ำลงและมีการถ่ายเทน้ำจะมีการขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว

ง. <u>การทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงให้ได้จำนวนมากและต่อเนื่องในน้ำเสียชุมชน</u>

1. การหาจำนวนไรแดงเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อน้ำเสีย 30 ลิตร

จำนวนตัวเริ่ม 400 และ 800 ตัว/30 ลิตร ที่ใช้ทดลอง เลือกจากจำนวนเริ่ม 25 และ 50 ตัว/1.8 ลิตร เป็นหลัก จากผลการทดลอง (รูปที่ 33 และตารางที่ 24) พบว่าเมื่อเริ่มด้วยจำนวนน้อยการเพิ่มจำนวนจะต่ำกว่าในช่วงแรก แต่ก็สามารถตามทันในช่วงหลัง ทำให้ได้ผลการทดลองใกล้เคียงกันมาก จึงเลือกจำนวนตัวเริ่มน้อยคือ 400 ตัว/30 ลิตร ไปใช้ทดลองต่อไป จากผลการทดลองนี้ประกอบกับผลที่ผ่านมาพอสรุปได้ว่า ปริมาตรอาหารขนาดหนึ่งจะมีจำนวนเริ่มต้นที่เหมาะสมเสมอ ไม่จำเป็นว่าจำนวนตัวเริ่มต้นมากจะให้ผลดีที่สุดเสมอไป

2. การเลี้ยงไรแดงให้ได้จำนวนมากและต่อเนื่องในน้ำเสียชุมชน

การทดลองนี้ใช้หลักการเดียวกับข้อ ค.2.4 ซึ่งได้ทดลองแล้วว่าเป็นวิธีที่ใช้เลี้ยงได้ต่อเนื่อง และได้ผลผลิตดีพอสมควรตลอดระยะ 2 เดือน ที่มีการให้อาหาร

ล่ม่ำเล่มอ จึงนำหลักการเดียวกันมาใช้โดยขยายหน่วยเพาะเลี้ยงให้ใหญ่ขึ้นเป็น 30 ลิตร และจัดให้อยู่ในสภาพธรรมชาติมากขึ้น แต่มีที่กำบังฝนหรือแดดที่จัดเกินไปและมีผ้าตาถี่คลุมอ่างกันยุงด้วย เพื่อให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อไรแดง (Bellosillo, 1957) และ ผะอบ, 2511) สภาพแวดล้อมจึงต่างไปจากบ่อกลางแจ้งบ้างโดยการเลี้ยงนี้จะได้แสงน้อยกว่าและไม่มีการรบกวนจากแมลง แต่อย่างไรก็ตามการขยายหน่วยเพาะเลี้ยงและจัดอยู่ในสภาพธรรมชาติมากขึ้นก็เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงในโอกาสต่อไป จากหลักการเดิมที่ใช้สามารถสรุปการเลี้ยงได้คือ ในช่วง 10 วันแรก จะตักไรแดงออกครั้งละ ½ หลังจากนั้นจะตักออกครั้งละ ⅓ ของปริมาณทั้งหมด เมื่อมีความหนาแน่น 60 x 10^3 ตัว/ 30 ลิตร (200 ตัว/100 มล.) และ 30 x 10^3 ตัว/ 30 ลิตร (100 ตัว/100 มล.) ขึ้นไป ตามลำดับ โดยมีการถ่ายเทน้ำเสียครั้งละ ½ ของ 30 ลิตร ทุก 4 วัน ผลการเลี้ยงด้วยวิธีนี้พบว่า สามารถเลี้ยงได้ต่อเนื่องและได้ผลผลิตเกือบทุกวันตลอด 2 เดือน ที่มีการถ่ายเทน้ำเสียให้ และยังเกิดสภาพน้ำเขียวเนื่องจากหน่วยเพาะเลี้ยงได้รับแสงพอควรทำให้อัลจีเจริญเติบโต ซึ่งการเพิ่มจำนวนของไรแดงก็สูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงนี้ด้วย (การถ่ายน้ำครั้งที่ 8-11 หรือประมาณวันที่ 33-45 รูปที่ 34 และตารางที่ 4) แสดงว่าอัลจีที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณอาหารให้กับไรแดง นอกจากไรแดงจะกินอัลจีได้โดยตรงแล้ว การเกิดอัลจีในน้ำเสียยังเป็นระบบ Algal-bacterial Symbiosis ซึ่งเป็นการอยู่แบบเกื้อกูลกัน โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์และให้ CO_2 เพื่อการสังเคราะห์แสงของอัลจี และอัลจีจะให้ O_2 เพื่อการหายใจของแบคทีเรีย (Amin and Ganapati, 1972) ทำให้ระบบของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เหล่านี้มีความซับซ้อนขึ้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้และออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นตลอดจนแสงที่พอเหมาะเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของไรแดงจึงทำให้มันมีการเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น ซึ่งก็พบว่าให้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ในข้อ ค.2.4 (ซึ่งได้รับแสงน้อยกว่าจึงเกิดอัลจีน้อย) ประมาณ 1.2 เท่า (คำนวณจากผลผลิตต่อวันในตารางที่ 22 และ 25 โดยเทียบให้ปริมาตรการเลี้ยงเท่ากัน) นอกจากนี้ยังพบว่า Peak หลัง ๆ ไม่มีแนวโน้ม

ต่ำลง เหมือนการทดลองที่ผ่านมา แต่ยังคงให้ Peak แรกสูงสุดเหมือนกัน แสดงว่าการเลี้ยงในสภาพธรรมชาติด้วยวิธีนี้มีความเป็นไปได้ที่จะเลี้ยงอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากเป็นระยะเวลานาน ๆ สำหรับBOD_5 ของน้ำเสียก่อนเลี้ยงในการทดลองนี้ยังคงอยู่ในช่วงที่ใช้เลี้ยงไรแดงได้คือมีค่าเฉลี่ย 306.0 mg/l (ต่ำสุด 224.8, สูงสุด 387.8) (ตารางที่ 26) และการเลี้ยงในน้ำเสีย 30 ลิตรนี้ ได้ผลผลิตไรแดงรวม 533.1 x 10^3 ตัว หรือ 10.5 x 10^3 ตัว/วัน (คิดจากวันที่ 6-56 ซึ่งเป็นช่วงที่ตักไรแดงออกได้) (ตารางที่ 25)

จ. <u>คุณภาพน้ำเสียที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ในการทดลองที่วิเคราะห์เฉพาะคุณภาพน้ำเสียก่อนเลี้ยงเท่านั้น</u>

การทดลองที่ศึกษาเกี่ยวกับช่วงชีวิตและการให้ลูกของไรแดง (บทที่ 3 ข้อ ก.) และการทดลองเพื่อหาเทคนิควิธีการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงให้ได้ปริมาณมากและต่อเนื่อง (บทที่ 3 ข้อ ค.1.1-ค.1.4) การทดลองเหล่านี้จะวิเคราะห์เฉพาะคุณภาพน้ำเสียก่อนเลี้ยงเท่านั้น เนื่องจากเป็นการศึกษาเกี่ยวกับตัวไรแดงและหาเทคนิคการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม จึงยังไม่จำเป็นที่จะวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังเลี้ยง สำหรับคุณภาพน้ำเสียก่อนเลี้ยงของการทดลองเหล่านี้ได้แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าคุณภาพน้ำเสียของทุกการทดลองไม่มีความแปรปรวนมากนัก และค่าBOD_5 ยังอยู่ในช่วง 165.0-440.6 mg/l ซึ่งใช้เลี้ยงไรแดงได้ดี (จากผลการทดลองข้อ ข.2) อุณหภูมิในหน่วยเพาะเลี้ยงก็อยู่ในช่วง 25-31 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไรแดง (Bellosillo, 1957 และ นันทพันธ์, 2507)

การที่คุณภาพน้ำเสียก่อนเลี้ยงไม่แปรปรวนมากนักเพราะผู้วิจัยกำหนดเก็บเฉพาะช่วงเช้า 7.00-8.30 นาฬิกา ของวันธรรมดาและเก็บที่จุดเดิมทุกครั้ง เนื่องจากน้ำเสียที่ถูกส่งเข้าสู่ระบบนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของวัน คือในช่วงเช้าหรือเย็นที่ผู้คนจะต้องออกไปทำภาระกิจหรือกลับจากการทำงาน จะเป็นช่วงที่มีการใช้น้ำมากและมีสิ่งสกปรกมากจึง

เป็นช่วงที่BOD ค่อนข้างสูง สำหรับวันหยุดราชการก็จะมีความแตกต่างไปอีก เพราะคนตื่นสายขึ้นและไม่ต้องออกไปทำงาน คุณภาพน้ำในแต่ละช่วงเวลาจึงต่างไปจากวันธรรมดา ดังนั้นการกำหนดวัน เวลา และจุดเก็บที่คงที่ จึงช่วยให้คุณภาพน้ำไม่แปรปรวนมากนัก นอกจากนี้ยังมีการปรับสภาพน้ำเสียเล็กน้อยโดยแยกส่วนตะกอนเบาและคราบที่ผิวและตะกอนหนักที่ตกได้เร็วภายใน 7-10 นาทีออกไป ด้วยวิธีนี้พบว่าช่วยลดความแปรปรวนของคุณภาพน้ำเสียได้พอควรและยังช่วยควบคุมให้มี BOD อยู่ในช่วงที่ใช้เลี้ยงไรแดงได้

ฉ. <u>การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการเพาะเลี้ยง</u>

1. คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงในการเลี้ยงไรแดงโดยให้น้ำเสียเริ่มเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว

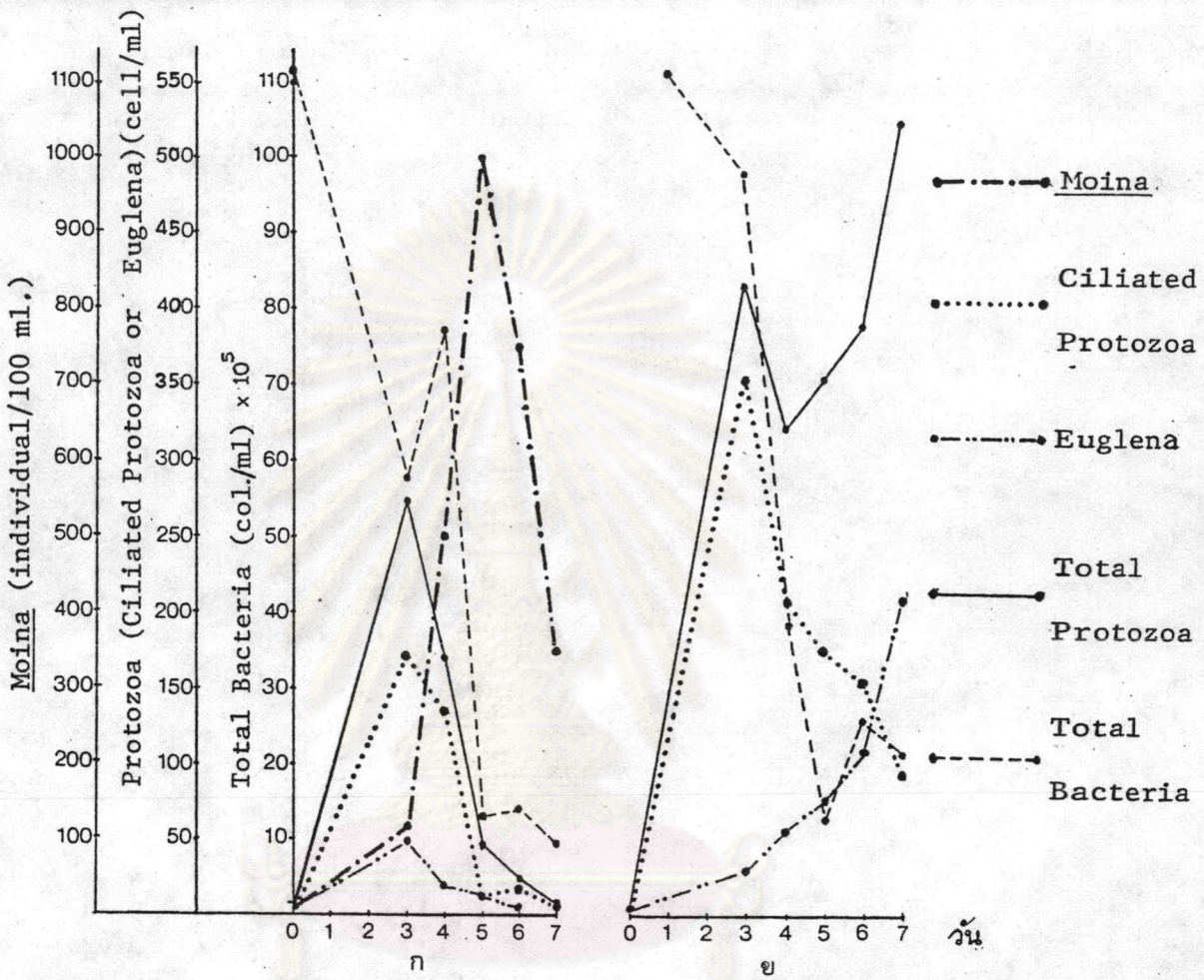
การเลี้ยงไรแดงโดยให้น้ำเสียเริ่มต้นเพียงครั้งเดียวและมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังเลี้ยงด้วย ได้แก่การทดลอง (จากบทที่ 3) ในข้อ ข.1 คือ การหา BOD ที่เริ่มมีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดงโดยไม่มีการเปลี่ยนน้ำเสีย ข้อ ค.2.1 คือ การเลี้ยงไรแดง 50 ตัว/1.8 ลิตร และ ค.2.2 คือ การเลี้ยงไรแดง 50 ตัว/1.8 ลิตร และมีการตักไรแดงออกครั้งละ $\frac{1}{3}$ (วิธีที่ 1) โดยเพิ่มการเลี้ยงเหมือนข้อ ค.2.1 (วิธีที่ 2) ให้เป็นหน่วยควบคุมที่มีการเลี้ยงไรแดงเพิ่มจากหน่วยควบคุมแบบธรรมดา (น้ำเสียที่ไม่มีการเลี้ยงไรแดง) และในวิธีที่ 2 เองก็จะมีหน่วยควบคุมแบบธรรมดาด้วย ซึ่งการทดลองในข้อ ข.1 และ ค นี้มีความแตกต่างในการถ่ายน้ำเสียออกวิเคราะห์ โดยข้อ ข.1 จะนำน้ำเสียหลังเลี้ยงทั้งหมดมาวิเคราะห์เพียงครั้งเดียวหลังจากที่ไรแดงลดจำนวนลงโดยไม่มีการผ่านกระชอนเพื่อแยกไรแดงแต่ใช้หลอดหยดค่อย ๆ คัดเฉพาะไรแดงออก ส่วนข้อ ค มีการถ่ายน้ำเสียผ่านกระชอนเพื่อแยกไรแดงออก โดยถ่ายน้ำเสียออกวิเคราะห์เป็นระยะครอบคลุมช่วงก่อน Peak, Peak และหลัง Peak ความแตกต่างของการถ่ายน้ำนี้เนื่องจาก ข้อ ข.1 เป็นส่วนหนึ่งของการหาBOD ที่เริ่มมีผลต่อไรแดง จึงต้องการหาคุณภาพน้ำเสียหลังเลี้ยงที่ใกล้ความเป็นจริงมากที่สุด ส่วนข้อ ค เป็นส่วนหนึ่งของ

เทคนิคการเพาะเลี้ยงซึ่งมีการทดลองมากมาย การใช้กระชอนแยกไรแดงออกเพื่อนำน้ำเสียหลังเลี้ยงไปวิเคราะห์จะเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และช่วยลดความผิดพลาดเกี่ยวกับปริมาณตะกอนที่ต้องสูญเสียไปกับการแยกไรแดง เนื่องจากกระชอนที่ใช้เป็นผ้าขนาดตาเดียวกันตลอด ปริมาณหรือขนาดตะกอนที่ติดหรือลอดกระชอนไปจึงไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำเสียในการทดลองมีดังนี้

1.1 แบคทีเรียรวม (Total Bacteria)

ค่าแบคทีเรียรวมของน้ำเสียที่ถ่ายออกทั้งหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงทุกการทดลอง โดยข้อ ข.1 (รูปที่ 19 และตารางที่ 10) น้ำเสียหลังเลี้ยงลดลงได้มากกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย สำหรับข้อ ค.2.1 (รูปที่ 26 และตารางที่ 17) แบคทีเรียรวมของน้ำเสียที่ถ่ายออกลดลงอย่างมากในช่วงวันที่ 3 และ 6 หลังจากนั้นลดลงน้อยมาก ส่วนข้อ ค.2.2 ทั้งสองวิธี (รูปที่ 28 และ ตารางที่ 19) พบว่าแบคทีเรียรวมของวิธีที่ 1 ค่อนข้างแปรปรวนแต่ก็มีแนวโน้มลดลง สำหรับวิธีที่ 2 นั้นมีค่าลดลงในช่วง 7 วันแรก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าแบคทีเรียรวมของหน่วยเพาะเลี้ยงและหน่วยควบคุมลดลงได้ใกล้เคียงกันมาก จึงเป็นที่น่าสงสัยว่าไรแดงอาจไม่ใช่ส่วนสำคัญในการลดแบคทีเรียในหน่วยเพาะเลี้ยง โดยทั่ว ๆ ไปนั้นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ แบคทีเรียจะเป็นจุดเริ่มในการกำจัดน้ำเสียตามด้วยการเกิดโปรโตซัวซึ่งจะกินแบคทีเรียเป็นอาหารทั้งสองจึงเป็นส่วนสำคัญของการเกิด Purification ในน้ำเสีย (Hawkes, 1963 and Coler and Gunner, 1969) ดังนั้นโปรโตซัวจึงเป็นตัวสำคัญในการควบคุมหรือลดแบคทีเรียในน้ำเสียหรือในหน่วยควบคุม แต่ทั้งโปรโตซัวและแบคทีเรียเป็นอาหารที่สำคัญของไรแดง ไรแดงจึงกลายเป็นตัวสำคัญที่ควบคุมสิ่งมีชีวิตทั้งสองในหน่วยเพาะเลี้ยง เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตทั้งสาม ผู้วิจัยจึงได้ทดลองเพิ่มโดยเลี้ยงไรแดง (เริ่มต้น 400 ตัว/น้ำเสีย 15 ลิตร) และจัดหน่วยควบคุม (ไม่มีไรแดง) ในบริเวณเดียวกับการเลี้ยงที่ห้วยขว้างทำให้ได้รับแสงมากพอสมควร และตรวจดูสิ่งมีชีวิตทั้งสามในแต่ละวันจนไรแดงเริ่มลดจำนวนลง (โปรโตซัวสุ่มน้ำมาดองด้วย

ฟอร์มาลิน และตรวจนับด้วยกล้องจุลทรรศน์) ผลที่ได้ดังรูปที่ 38 ก (หน่วยเพาะเลี้ยง) และ 38 ข (หน่วยควบคุม) ปริมาณแบคทีเรียในน้ำเสียเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าสูงเพราะได้จากน้ำเสียที่ถูกส่งเข้าระบบและจากตะกอนแบคทีเรียที่ถูกส่งกลับมาจากบ่อพักตะกอนสุดท้าย (return sludge) (พิมล และชัยวัฒน์, 2525) การลดของแบคทีเรียในหน่วยควบคุมมีสาเหตุสำคัญคือ 2 ประการคือ การตายตามธรรมชาติ และถูกโปรโตซัวกิน การตายตามธรรมชาติเนื่องจากขาดออกซิเจน เพราะตามปกตินำเสียเริ่มต้นนี้จะมีออกซิเจนละลายน้ำน้อยมากและต้องถูกส่งเข้าระบบเพื่อเติมอากาศให้แบคทีเรียทำงานย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่เมื่อนำมาใช้ทดลองโดยไม่มีการเติมอากาศเพิ่ม ซึ่งโดยทั่วไปออกซิเจนที่ได้รับจากบรรยากาศจะมีอัตราน้อยกว่าการใช้ออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ (Amin and Ganapati, 1972 อ้างตาม Oswald, 1960) แบคทีเรียบางส่วนจึงตายไปเพราะขาดออกซิเจน สำหรับการตายเนื่องจากถูกโปรโตซัวกินนั้นจะพิจารณาได้จากรูปที่ 38.ข ซึ่งพบว่าพวกโปรโตซัวที่มีซิเลีย (ciliated protozoa) เป็นตัวสำคัญในการลดจำนวนแบคทีเรีย กล่าวคือมันเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากในช่วงที่มีแบคทีเรียมาก (วันที่ 3) หลังจากนั้นเริ่มลดจำนวนลงเมื่อแบคทีเรียเริ่มหมดไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Varma et al (1975) ส่วนค่าโปรโตซัวรวม (Total Protozoa) ที่เพิ่มขึ้นในตอนท้ายเนื่องจากการเพิ่มจำนวนของยูกลีนา (Euglena) เพราะยูกลีนามีเม็ดสี (pigments) สามารถสังเคราะห์แสงเองได้เหมือนพืช (Hawkes, 1963) เมื่อพิจารณาในหน่วยเพาะเลี้ยง (รูปที่ 38 ก) พบว่าในวันที่ 3 นั้น การเพิ่มของโปรโตซัวมีซิเลีย น้อยกว่าในขณะที่แบคทีเรียรวมลดลงได้มากกว่าหน่วยควบคุม ความแตกต่างนี้ก็น่าจะเนื่องจากทั้งสองถูกไรแดงกินไป แต่เนื่องจากไรแดงยังมีปริมาณน้อยในวันที่ 3 ปริมาณที่ถูกกินจึงยังไม่มากนัก เมื่อหลังวันที่ 3 ซึ่งไรแดงเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมาก ทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวรวมทั้งยูกลีนาจึงถูกกินไปเกือบหมด ที่น่าสังเกตในรูปที่ 38 ก คือ แบคทีเรียกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในช่วงนั้นไรแดงกินโปรโตซัวเป็นส่วนใหญ่เพราะเกิดโปรโตซัวมาก และไรแดงกินอาหารโดยการกรองอุปนิสัยการกินจึงขึ้นกับอาหารที่พบในสิ่งแวดล้อมนั้น (สันทนา และไมตรี, 2524) ดังนั้นถ้าบางโอกาสซึ่งโปรโตซัวถูกกินมากกว่าแบคทีเรียก็เท่ากับไรแดงไปลดศัตรูของแบคทีเรีย



รูปที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไรแดง โปรโตซัว และแบคทีเรีย ในหน่วยเพาะเลี้ยง และระหว่างโปรโตซัวกับแบคทีเรียในหน่วยควบคุม

ก. คือหน่วยเพาะเลี้ยง

ข. คือหน่วยควบคุม

ทำให้แบคทีเรียกลับเพิ่มจำนวนขึ้นมาได้บ้างเล็กน้อย แต่เมื่อไรแดงมีจำนวนมากขึ้นไรแดงจึงกินหมดทุกอย่างเป็นผลให้ทั้งหมดลดลงในตอนท้าย ซึ่งเหตุการณ์นี้น่าจะเกิดกับการเลี้ยง

ไรแดงในข้อ ค.2.2 โดยเฉพาะวิธีที่ 1 ที่มีการตักไรแดงออกด้วย จึงทำให้เกิดความแปรปรวนของจำนวนแบคทีเรียซึ่งขึ้นกับปริมาณและโอกาสในการกินของไรแดง ดังนั้นแม้ว่าแบคทีเรียในหน่วยเพาะเลี้ยงจะลดลงเหมือนหน่วยควบคุม แต่ไรแดงก็เข้ามามีบทบาทสำคัญในการลดแบคทีเรียแทนโปรโตซัว โดยเฉพาะช่วงหลังวันที่ 3 ซึ่งไรแดงเพิ่มจำนวนขึ้นมาก ซึ่งสรุปแล้วไรแดงสามารถลดทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าจะคำนวณความสามารถในการลดแบคทีเรีย อาจแยกพิจารณาได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกจะรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการเพาะเลี้ยง (เช่น ระยะการกักน้ำ, แบคทีเรียที่ตายตามธรรมชาติและถูกโปรโตซัวกิน) ก็สามารถคำนวณได้โดยตรงจากความแตกต่างของแบคทีเรียในวันแรกและวันสุดท้ายของการเลี้ยง ส่วนวิธีที่สองคิดเฉพาะแบคทีเรียที่ถูกไรแดงกินเป็นหลัก การคำนวณที่ใกล้เคียงที่สุดน่าจะคำนวณจากความแตกต่างในวันที่ 3 (วันที่ไรแดงเริ่มเพิ่มจำนวนมาก) กับวันสุดท้าย และเพื่อให้เป็นหลักเกณฑ์ได้ทั่ว ๆ ไปวันสุดท้ายจะกำหนดวันที่ไรแดงเกิด Peak ดังนั้นประสิทธิภาพในการลดแบคทีเรียรวมเนื่องจากการเลี้ยงไรแดง (เฉลี่ยจากน้ำเลียหลังเลี้ยง ตารางที่ 17 และ 19) คำนวณตามวิธีแรก (วันที่ 0 ถึง Peak) จะลดได้ 87.7% และวิธีที่ 2 (วันที่ 3 ถึง Peak) จะลดได้ 61.9% จากผลที่คำนวณได้สรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยวิธีนี้สามารถลดแบคทีเรียรวมได้ถึง 87.7% โดยการกินของไรแดงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด (61.9%) รองลงมาคือการกินของโปรโตซัวและการตายตามธรรมชาติ

1.2 E. coli

แนวโน้มการลดลงของ E. coli จากน้ำเลียก่อนเลี้ยงเป็นไปในทำนองเดียวกับแบคทีเรียรวมต่างกันเล็กน้อยที่ ข้อ ข.1 น้ำเลียหน่วยควบคุมลดลงได้มากกว่าน้ำเลียหลังเลี้ยง (รูปที่ 19) สำหรับข้อ ค.2.1 และ ค.2.2 อัตราการลดของ E. coli ในช่วง 3 วันแรก มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการลดของแบคทีเรียรวมในช่วงเดียวกัน และยังคงลดลงมากในวันที่ 6 หลังจากนั้นลดลงน้อยมาก ด้วยเหตุผลเดียวกับแบคทีเรียที่กล่าวในข้อ 1.1 จึงสรุปได้ว่าในช่วงหลังวันที่ 3 ที่ไรแดงเริ่มเพิ่มจำนวนมาก

ไรแดงจะเป็นตัวสำคัญในการลด E. coli ซึ่งก็สอดคล้องกับกราฟของน้ำเสียหลังเลี้ยงที่เริ่มมีอัตราการลดสูงกว่าน้ำเสียหน่วยควบคุมในช่วงวันที่ 3 ถึง 6 (รูปที่ 26 และ 28) และก็สอดคล้องกับ Stuart et al (1931) ที่กล่าวว่าแบคทีเรียพวกที่พบในลำไส้เป็นอาหารที่เหมาะสมต่อไรแดง ส่วน E coli ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 9 (รูปที่ 26) คงเนื่องจากความไม่แน่นอนของโอกาสที่แบคทีเรียและโปรโตซัวจะถูกไรแดงกินดังกล่าวในข้อ 1.1 แต่อัตราการลดของ E. coli อย่างสูงมากในช่วง 3 วันแรก ซึ่งยังมีไรแดงน้อย (วันที่ 0 ถึง 3 ลดลง 53 เท่า และวันที่ 3 ถึง Peak ลดลง 18.7 เท่า) ทำให้เป็นที่น่าสังเกตว่าการตายโดยธรรมชาตินำจะเป็นสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่ง Amin and Ganapati (1972) กล่าวว่าพวกแบคทีเรียที่พบในลำไส้ (Coliform) ตายเพราะสิ่งแวดล้อมในระบบไม่เหมาะสมต่อมัน แต่การตายเนื่องจากถูกโปรโตซัวกินก็มีส่วนสำคัญด้วย การทดลองที่สนับสนุนได้แก่การทดลองของ Coler and Gunner (1969) ทดลองใช้แบคทีเรียหลายชนิดเลี้ยงโปรโตซัวที่มีซีเลีย พบว่า E. coli ทำให้โปรโตซัวเจริญเติบโตดีที่สุด และ Curds and Fey (1969) ศึกษาการลดของ E. coli ในระบบ Activated Sludge พบว่าเมื่อมีโปรโตซัวจะลด E. coli ได้ 95.5% แต่ถ้าไม่มีโปรโตซัวลดได้ 54% ซึ่งการลดลงในกรณีหลังเนื่องจากการตายเป็นสาเหตุสำคัญที่สุด ถ้าคำนวณประสิทธิภาพการลด E. coli เนื่องจากการเลี้ยงไรแดงโดยทั้งสองวิธีตามข้อ 1.1 พบว่าวิธีแรก (รวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด คิดจากวันที่ 0 ถึง Peak) จะลดได้ 99.8% ส่วนวิธีที่ 2 (เฉพาะที่ถูกไรแดงกิน คิดจากวันที่ 3 ถึง Peak) จะลดได้ 91.30% แต่เมื่อพิจารณาถึงโอกาสที่ E. coli จะตายตามธรรมชาติและถูกโปรโตซัวกินดังกล่าวตอนต้น คือวันที่ 0 ถึง 3 ลดลงถึง 53 เท่า ในขณะที่วันที่ 3 ถึง Peak ลดลงเพียง 18.7 เท่า ค่าที่คำนวณได้จากวิธีที่สองจึงน่าจะรวมปัจจัยเหล่านี้ด้วย จึงสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยวิธีนี้สามารถลด E. coli ได้เกือบ 100% ซึ่งการลดลงเนื่องจากการตายตามธรรมชาติ ถูกโปรโตซัวและไรแดงกิน เป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งสามปัจจัย

1.3 BOD

BOD ของน้ำเสียที่ถ่ายออกลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงทุกการทดลอง โดยข้อ ข.1 (รูปที่ 19) น้ำเสียหลังเลี้ยงลดลงได้มากกว่าหน่วยควบคุมอย่างชัดเจน แต่ข้อ ค.2.1 และ ค.2.2 (รูปที่ 26 และ 28) มีแนวโน้มการลดลงของน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมใกล้เคียงกันมาก ไม่ต่างกันเด่นชัดเหมือนข้อ ข.1 ซึ่งน่าจะเนื่องจากความแตกต่างของวิธีถ่ายน้ำเสียออกวิเคราะห์ดังกล่าวในตอนต้น ซึ่งน้ำเสียหลังเลี้ยงของข้อ ข.1 ตะกอนบางส่วนจะสูญไปกับการใช้หลอดหยดแยกไรแดงออก ในขณะที่น้ำเสียที่ถ่ายออกจากหน่วยควบคุมของข้อ ข.1 ไม่มีการสูญเสียตะกอนเลย เพราะไม่มีการเลี้ยงไรแดงในหน่วยควบคุม นอกจากนั้นไรแดงยังสามารถกินสารอินทรีย์ที่แขวนลอยได้โดยตรง (Pennak, 1958 และวราภร, 2514) มันจึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้BOD ของน้ำเสียหลังเลี้ยงในข้อ ข.1 ลดลงได้มากกว่าหน่วยควบคุมอย่างชัดเจน แต่ข้อ ค นั้น น้ำเสียที่ถ่ายออกทั้งหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมจะผ่านกระชอน ปริมาณตะกอนที่ผ่านกระชอนจึงใกล้เคียงกันทำให้BOD ของน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมของข้อ ค. มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเฉพาะหน่วยควบคุม การลดลงของ BOD จะเนื่องจากแบคทีเรียซึ่งเป็นตัวสำคัญอันดับแรกในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ยังมีบทบาทของโปรโตซัว ซึ่ง Curds and Fey (1969) พบว่า ระบบที่มีโปรโตซัวจะช่วยลด BOD อินทรีย์ไนโตรเจน และสารแขวนลอยได้ดีกว่าระบบที่มีแต่แบคทีเรียอย่างเดียว โดยเฉพาะพวกโปรโตซัวที่มีซีเลียจะกินพวกแบคทีเรียที่มีชีวิต (พวกนี้ทำให้น้ำขุ่นและเพิ่มBOD) ทำให้น้ำทึ่งใสขึ้น ทั้งยังเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำและทำนายสภาวะของระบบด้วย (Hawkes, 1963 and Curds and Cockburn, 1970. I, II) และโปรโตซัวยังป้องกันไม่ให้แบคทีเรียมีจำนวนมากเกินกว่าอาหารที่มีอยู่ ทำให้แบคทีเรียที่เหลือสามารถทำลายสารอินทรีย์ได้เต็มที่ ดังนั้นการกำจัดจะได้ผลดีเมื่อทั้งสองอยู่ในภาวะสมดุลย์กัน (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524) แต่ Amin and Ganapati, 1972 ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัวกับ BOD, DO, pH และ NH_3-N แต่พบความสัมพันธ์ของมันกับอาหารบางชนิด

เขาสรุปว่าโปรโตซัวจะมีอยู่ก็ต่อเมื่อสภาวะเหมาะสม มันอาจไม่มีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายของเสีย สำหรับในหน่วยเพาะเลี้ยงนั้น พบว่า BOD ลดลงใกล้เคียงกับหน่วยควบคุม และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 28 จะเห็นว่าอัตราการลดในช่วงวันที่ 3 ถึง 6 ลดลงได้มากกว่าวันที่ 0 ถึง 3 เล็กน้อย แสดงว่าในช่วง 3 วันแรกแบคทีเรียและโปรโตซัวมีบทบาทสำคัญในการลด BOD เนื่องจากช่วงนี้ไรแดงยังมีน้อย แต่หลังจากวันที่ 3 ไรแดงจะมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากมันเพิ่มจำนวนมากและกินทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวไป มันจึงเข้ามามีบทบาทแทนและมีความสามารถลด BOD ได้มากกว่าแบคทีเรียและโปรโตซัวเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ Kawasaki et al (1982) อ้างถึงการดำรงชีวิตของพวกไรน้ำสามารถลด BOD ได้ ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพการลด BOD เนื่องจากการเลี้ยงไรแดงนั้น สามารถใช้หลักการเดียวกับแบคทีเรียรวมในข้อ 1.1 แต่เนื่องจากข้อ ค.2.1 ไม่ได้หา BOD ในวันที่ 3 ดังนั้นการคำนวณจึงคิดเฉลี่ยจากข้อ ค.2.2 เท่านั้น (ตารางที่ 19) ซึ่งได้ว่า วิธีแรก (คิดจากวันที่ 0 ถึง Peak) ลด BODได้ 83.8% และวิธีที่สอง (คิดจากวันที่ 3 ถึง Peak) ลดได้ 65.9% จากผลที่คำนวณสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงในน้ำเสียด้วยวิธีนี้สามารถลด BOD ได้ถึง 83.8% โดยการดำรงชีวิตของไรแดงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด (65.9%) รองลงมาคือ การดำรงชีวิตของแบคทีเรียและโปรโตซัว

1.4 ไนเตรตไนโตรเจน (NO_3-N)

การเปลี่ยนแปลงของไนเตรตนั้นมีความไม่แน่นอนในแต่ละการทดลอง (ข.1 รูปที่ 19, ค.2.1 รูปที่ 26 และ ค.2.2 รูปที่ 28) แต่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงโดยทั้งน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมมีแนวโน้มคล้ายกันในแต่ละการทดลอง ดังนั้นการเลี้ยงไรแดงน่าจะไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของไนเตรต และเนื่องจากไนเตรตของน้ำเสียก่อนเลี้ยงและน้ำเสียที่ถ่ายออกมีค่าน้อยมาก (0.000 - 0.075 mg/l จากตารางที่ 10, 17 และ 19) ความผิดพลาดเนื่องจากวิธีการทดลองจึงเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งด้วย

โดยทั่วไป 80% ของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนจะอยู่ในรูปยูเรีย ซึ่งจะกลายไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (Hanson and Lee, 1971) สำหรับน้ำเสียชุมชนห้วยขวางนี้มีค่าอินทรีย์ไนโตรเจน 2.38-3.31 mg/l และแอมโมเนียไนโตรเจน 16.47-24.92 mg/l (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524) Wong-Chong and Loehr (1975) และกรรณิการ์ (2522) ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียในสภาพที่มีอากาศดังนี้

$$\text{Organic-N} \xrightarrow[\text{aerobic, anaerobic}]{\text{Heterotrophs}} NH_4^+ \xrightarrow[\text{aerobic}]{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- \xrightarrow[\text{aerobic}]{\text{Nitrobacter}} NO_3^-$$

$$\longrightarrow \text{Ammonification} \longrightarrow \qquad \longrightarrow \text{Nitrification} \longrightarrow$$

ถ้าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีน้อย พวก facultative bacteria จะดึงออกซิเจนจาก NO_3^- หรือ NO_2^- มาใช้เกิดปฏิกริยาในทางตรงข้ามคือ Denitrification ได้ NH_4^+ (Bishop et al, 1976) ดังนั้นจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตขึ้นกับ Nitrification และ Denitrification ซึ่งถูกควบคุมโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น Nitrification แปรตามปริมาณ Dissolved Oxygen (DO) แต่แปรผกผันกับปริมาณสารอินทรีย์ ส่วน Denitrification จะเกิดได้ดีเมื่อไม่มี DO (พบว่า DO = 5 mg/l หยุดปฏิกริยานี้) และยังแปรตามปริมาณไนเตรตและสารแขวนลอยหรือคาร์บอนไดออกไซด์ (Balakrishnan and Eckenfelder, 1969. I, III. and Stenstrom and Poduska, 1980) ดังนั้นปัจจัยเช่น DO แบคทีเรียบางชนิด, ปริมาณสารอินทรีย์ (BOD) เหล่านี้ จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญทำให้การเลี้ยงไรแดงมีผลทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของไนเตรต โดยเฉพาะปริมาณ DO ที่ต้องการในกรณีเกิด Nitrification

ได้มีผู้ศึกษาหลายท่าน ซึ่งได้ค่าแตกต่างกันไปตั้งแต่ 0.3-4.0 mg/l และพบว่าแบคทีเรียพวก Nitrobacter ต้องการออกซิเจนมากกว่า Nitrosomonas (Bishop et al., 1976., Zoltex and Lefebvre, 1976 and Stenstrom and Poduska, 1980) เมื่อพิจารณาการทดลองในข้อ ข.1 พบว่าการทดลองที่เริ่มต้นด้วย BOD_5 ต่ำ (165.0 mg/l) น้ำเสียที่ถ่ายออกมีไนเตรตสูงขึ้น ส่วนที่เริ่มต้นด้วย BOD_5 สูง (320.5-932.7 mg/l) ไนเตรตมีค่าต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้ก็น่าจะเนื่องจาก Nitrification แปรผกผันกับปริมาณ BOD ดังกล่าวแล้ว ที่ BOD ต่ำจึงมีโอกาสเกิดไนเตรตได้มากกว่า และสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยในการทดลองนี้ทำให้เกิด Denitrification ด้วย โดยเฉพาะที่ BOD สูงการขาดออกซิเจนจะมีมากกว่า โอกาสที่ไนเตรตจะลดลงจึงมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามขบวนการทั้งสองยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ อีกทำให้การลดลงของไนเตรตไม่ได้แปรตามค่า BOD ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากทุกการทดลอง (ข้อ ข และ ค) จะพบว่า การเปลี่ยนของไนเตรตค่อนข้างน้อย ซึ่งก็น่าจะเนื่องจากการเกิด Nitrification และ Denitrification มีน้อยมาก เพราะการทดลองนี้เป็นระบบที่มี DO ต่ำ Nitrification จึงเกิดน้อย ในขณะที่น้ำเสียเริ่มต้นมีไนเตรตน้อยมากจึงจำกัดการเกิด Denitrification ด้วย (Ferrara and Avci, 1982) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในน้ำเสียนี้ จึงเป็นเพียงการย่อยสลายของอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนเท่านั้น ซึ่งก็สอดคล้องกับที่ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียก่อนเลี้ยง หลังเลี้ยง และหน่วยควบคุมในการทดลองเลี้ยงไรแดง (เริ่มต้น 50 ตัว/1.8 ลิตร)

(mg/l)	น้ำเสียก่อนเลี้ยง	น้ำเสียหลังเลี้ยง	น้ำเสียจากหน่วยควบคุม
Organic-N	2.52	0.96	0.61
NH_3-N	21.17	22.41	22.16
NO_3-N	0.07	0.04	0.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยสรุปแล้วการเลี้ยงไรแดงจะมีผลทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตเช่น การลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของมัน และความไม่แน่นอนในการกินแบคทีเรียและโปรโตซัวมีผลให้ปริมาณแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องแปรปรวนไป ซึ่ง Kawasaki et al (1982) กล่าวว่า การลดลงของไนเตรตหลังจากการเลี้ยงไรน้ำน่าจะเกิดเนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรียมากกว่า นอกจากนี้ของเสียที่ไรน้ำปล่อยออกมา เช่น ยูเรีย และมูล ยังเป็นการเพิ่มสารอาหารในน้ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตเนื่องจากการเลี้ยงไรแดงได้ และการเลี้ยงไรแดงก็ไม่ได้ทำให้ไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงต่างไปจากหน่วยควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงไรแดงอย่างเห็นได้ชัด

1.5 ฟอสเฟตรวม (Total PO_4-P)

การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตรวมมีความไม่แน่นอนในแต่ละการทดลองเช่นเดียวกับไนเตรต โดยข้อ ข.1 (รูปที่ 19) มีทั้งการลดลงและเพิ่มขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง แต่โดยเฉลี่ยแล้วลดลง ส่วนข้อ ค.2.1 และ ค.2.2 (รูปที่ 26 และ 28) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามทั้งน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตรวมใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นการเลี้ยงไรแดงน่าจะไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตรวม

เมื่อพิจารณาถึงฟอสฟอรัสในน้ำเสียและปัจจัยที่ควบคุมพบว่า ฟอสฟอรัสในน้ำเสียอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น ออโธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งจะกลายไปเป็นออโธฟอสเฟต และน้ำเสียชุมชนนี้ส่วนใหญ่จะได้จากผงซักฟอกซึ่งอยู่ในรูปฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟต (กรรณิการ์ 2522 และ Fritz et al., 1979) ทำให้มีปริมาณฟอสเฟตค่อนข้างสูง การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตในน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง Riding et al (1979) and Boyd and Musig (1981) กล่าวว่าฟอสฟอรัสลดลงได้ 3 ทางคือ สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ (P uptake) ถูกกำจัดไปกับตะกอนของสิ่งมีชีวิต (Sludge organisms) และการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งตามธรรมชาติวิธีที่สองจะกำจัดฟอสฟอรัสได้

มากที่สุด Humenik and Hanna (1971) กล่าวว่าวิธีแรกจะกำจัดฟอสฟอรัสได้น้อยมาก เพราะฟอสฟอรัสในน้ำเสียไม่ได้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง และองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิตมีน้อยมาก (C : N : P = 50 : 10 : 1) Levin and Shapiro (1965) พบว่า pH และDO มีผลต่อการใช้ฟอสฟอรัสของสิ่งมีชีวิต โดยที่ pH 7-8 จะดูดซึมฟอสเฟตไปใช้ดีที่สุด ตามด้วย pH 9 และการดูดซึมผ่านฟอสเฟตโดยสิ่งมีชีวิตยังแปรตาม DO เพราะการใช้ฟอสเฟตในสิ่งมีชีวิตเป็นขบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน และพบว่าถ้า DO ไม่พอจะเกิดการสลายของฟอสเฟต ออกสู่แหล่งน้ำได้ นอกจากนี้ Riding et al (1979) กล่าวว่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกสู่แหล่งน้ำ (P. release) นั้นเนื่องจากการสลายตัวของเซลล์และปริมาณการปล่อยจะขึ้นกับ DO โดยสภาพไร้อากาศจะปลดปล่อยได้มากกว่าสภาพที่มีอากาศ จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงไรแดงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตทางอ้อมโดยมีผลต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตของน้ำเสียที่ถ่ายออกจึงไม่แน่นอน ผลของไรแดงต่อฟอสเฟตทางอ้อมเช่น ไรแดงกินอัลจีและแบคทีเรียซึ่งเป็นตัวกำจัดฟอสเฟตแต่ฟอสเฟตบางส่วนก็ถูกปลดปล่อยกลับออกมาในรูปของเสียโดยอัตราการปลดปล่อยจะแปรปรวนขึ้นกับขนาดตัว อุณหภูมิ และปริมาณอาหาร ซึ่งพบว่า Daphnia จะปล่อยฟอสเฟตได้เร็วกว่าการใช้ถึง 4 เท่า (Kawasaki et al., 1982) นอกจากนี้ไรแดงยังลดปริมาณออกซิเจนซึ่งมีผลให้การดูดซึมฟอสเฟตโดยสิ่งมีชีวิตต่ำลง ไรแดงจึงมีผลทั้งทางเพิ่มและลดปริมาณฟอสเฟต ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตรวมที่แน่นอนเนื่องจากการเลี้ยงไรแดงได้ และการเลี้ยงไรแดงก็ไม่ได้ทำให้ฟอสเฟตรวมมีการเปลี่ยนแปลงต่างไปจากหน่วยควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงไรแดงอย่างเห็นได้ชัด

1.6 pH

pH ของน้ำเสียที่ถ่ายออกมีค่าสูงขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงทุกการทดลอง โดยข้อ ข.1 (รูปที่ 19) น้ำเสียหลังเลี้ยงมีค่าสูงกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย ส่วนข้อ ค.2.1 และ ค.2.2 (รูปที่ 26 และ 28) pH ของน้ำเสียหลังเลี้ยงมีแนวโน้มต่ำกว่าหน่วยควบคุม

เล็กน้อย แต่ทั้งหน่วยเพาะเลี้ยงและหน่วยควบคุมของแต่ละการทดลองก็ให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ pH ที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นไรแดงไม่น่าจะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH สำหรับค่า pH ที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำที่อยู่ในสภาพแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งมีสภาวะเป็นด่าง และมีอยู่มากในน้ำเสียนี้โดยได้จากการ hydrolize ของยูเรีย (Fritz et al., 1979 and Hanson and Lee, 1971) ส่วนการลดลงเล็กน้อยของ pH ในบางวันอาจเนื่องจากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรทซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกรด (El-Baroudi and Moawad, 1967) หรือระหว่างการเกิด Nitrification จะได้ไฮโดรเจนไอออน (Zoltex and Lefebvre, 1976) ส่วนไรแดงนั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH บ้างคือ ของเสียในรูปยูเรียจะเพิ่ม pH หรือคาร์บอนไดออกไซด์ จากการหายใจจะลด pH ดังนั้นสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงทำให้ pH สูงขึ้น จาก 7.81 ไปเป็น 8.11 แต่ pH ที่สูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติในน้ำเสีย ไรแดงจะมีผลทางอ้อมต่อ pH เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่ได้ทำให้ pH เปลี่ยนแปลงต่างไปจากหน่วยควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงไรแดงอย่างเห็นได้ชัด

1.7 คุณภาพน้ำเสียทางกายภาพ

จากลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย (ตารางที่ 1) พบว่าน้ำเสียก่อนเลี้ยงมีสีเหลืองอ่อนขุ่นกลิ่นเหม็นและอุน กลิ่นเหม็นนั้นเนื่องจากขาดออกซิเจน ทำให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศดึงออกซิเจนจากสารประกอบพวกไนเตรตหรือซัลเฟตมาใช้ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น เช่น H_2S (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524) ส่วนกลิ่นอุนนั้นมาจากยูเรียซึ่งพบมากในน้ำเสียนี้ สำหรับน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมมีสีเหลืองเข้มและใสขึ้นเนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์และมีการตกตะกอนได้มากขึ้นตามเวลาที่ถูกกัก แต่การเคลื่อนที่ตลอดเวลาของไรแดงทำให้น้ำเสียในหน่วยเพาะเลี้ยงขุ่นกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย นอกจากนั้นน้ำเสียที่ถ่ายออกจะมีกลิ่นเหม็นน้อยลงและไม่อุน ซึ่งน่าจะเนื่องจากได้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากบรรยากาศ และยูเรียสลายไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน

2. คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงในการเลี้ยงไรแดงแบบต่อเนื่อง โดยมีการถ่ายเทน้ำเสียครั้งละ ½ ของปริมาตรเริ่มต้น ทุก 4 วัน

การทดลองในหัวข้อนี้ได้แก่ ข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 (บทที่ 3) ซึ่งเป็นการเลี้ยงในหน่วยเล็ก (1.8 ลิตร) ในห้องปฏิบัติการ โดยข้อ ค.2.3 มีการถ่ายเทน้ำเสียอย่างเดียว และข้อ ค.2.4 มีการถ่ายเทน้ำเสียพร้อมกับการตักไรแดงออกด้วย และยังมีการทดลองข้อ ง.2 ซึ่งเป็นการเลี้ยงในหน่วยใหญ่ขึ้น (30 ลิตร) นอกห้องปฏิบัติการ บริเวณโรงกำจัดน้ำเสียห้วยขวาง โดยใช้วิธีการแบบสมบูรณ์เช่นเดียวกับข้อ ค.2.4 นอกจากปริมาตรการเลี้ยงที่แตกต่างกันในข้อ ค และ ง แล้ว ยังมีความแตกต่างในเรื่องปริมาณแสงที่ได้รับดังกล่าวในข้อ ง.2 (บทวิจารณ์) ซึ่งการทดลอง ข้อ ง.2 ได้แสงมากกว่าจึงเกิดน้ำเขียวจากการเพิ่มจำนวนของอัลจีอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ ข้อ ค เกิดน้ำเขียวน้อยมาก ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำเสียในการทดลองมีดังนี้

2.1 แบคทีเรียรวม (Total Bacteria)

แบคทีเรียรวมของน้ำเสียที่ถ่ายออกทุก 4 วัน ลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงทุกการทดลอง (ค.2.3 รูปที่ 30, ค.2.4 รูปที่ 32 และ ง.2 รูปที่ 35) ซึ่งมีค่าแปรปรวนมากน้อยสลับกันไประหว่างน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุม แต่โดยเฉลี่ยแล้วได้ค่าใกล้เคียงกันมาก ด้วยเหตุผลเดียวกับที่กล่าวแล้วในเรื่องแบคทีเรียรวมในข้อ 1.1 ไรแดงจึงเป็นสาเหตุสำคัญในการลดแบคทีเรียในหน่วยเพาะเลี้ยง ส่วนโปรโตซัวเป็นสาเหตุสำคัญในหน่วยควบคุมความสำคัญของการทดลองนี้อยู่ที่มีการถ่ายเทน้ำเสียให้ทุก 4 วัน (ระยะกักน้ำ 4 วัน) ในช่วงการทดลองประมาณ 2 เดือน อาหารที่ได้รับอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลานานนี้ ทำให้ระบบมีสิ่งมีชีวิตซับซ้อนขึ้นไปตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและเวลา (Hawkes, 1963) รวมทั้งความสัมพันธ์ในแง่การกินกันระหว่างไรแดง โปรโตซัว และแบคทีเรีย จึงทำให้ค่าแบคทีเรียของน้ำเสียที่ถ่ายออกมีความแปรปรวนตลอดเวลา สำหรับการทดลองข้อ ง.2 นั้น มีปัจจัยเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณอัลจี (เกิดน้ำเขียว) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยช่วงแรกที่น้ำยังไม่เขียวจะเป็นช่วงของแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ ต่อมาเมื่อน้ำเขียวจะเป็นช่วงของอัลจี ทั้งสองช่วงนี้จะเกิดเหลื่อมล้ำกัน (Overlap) ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างอัลจีกับแบคทีเรีย (Algal-Bacterial Symbiosis) (Amin and Ganapati, 1972) ซึ่งช่วง overlap ในข้อ ง.2 นั้นจะอยู่ในระหว่างการถ่ายน้ำครั้งที่ 4-6 (ตารางที่ 24) ในระบบนี้แบคทีเรียและอัลจีจะอยู่แบบเกื้อกูลกันคือ อัลจีได้คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสังเคราะห์แล้วจากแบคทีเรีย และแบคทีเรียได้ออกซิเจนเพื่อหายใจจากอัลจี ซึ่งระบบนี้สามารถเกิดได้ดีโดยใช้น้ำเสียอ่อนที่ยังไม่กำจัดเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียว (Humenik and Hanna, 1971) ความสัมพันธ์นี้มีผลให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนสูงขึ้น ตรงกับน้ำเริ่มเขียวในช่วงการถ่ายทำครั้งที่ 4-7 หลังจากนั้นเริ่มลดลงเมื่อน้ำเริ่มเขียวมาก (เขียวข่น) ในการถ่ายน้ำครั้งที่ 8-9 ซึ่งคงเนื่องจากช่วงที่น้ำเขียวมาก การเปลี่ยนแปลงของ pH ในช่วงวันจะมีมาก (เปลี่ยนได้ตั้งแต่ 7-9) เมื่อ pHสูงขึ้นจะลดการเจริญของแบคทีเรียและต่อเนื่องถึงอัลจี (Fritz et al , 1979) แต่การทดลองนี้เก็บตัวอย่างน้ำที่ถ่ายออกในช่วงเช้า pH ที่วัดได้จึงไม่สูงนัก นอกจากนั้นยังพบว่าพวก chlorella สามารถปล่อยกรดไขมันบางชนิดที่หยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ (Amin and Ganapati, 1972) หลังจากการถ่ายน้ำครั้งที่ 9 อัลจีเริ่มตายทำให้น้ำใสขึ้นมากและแบคทีเรียก็ลดจำนวนลงอีก นอกจากนั้นไรแดงยังเพิ่มปริมาณขึ้นเล็กน้อยในช่วงการถ่ายน้ำครั้งที่ 8-11 (รูปที่ 34) ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเขียวและแบคทีเรียลดลง ดังนั้นการลดลงของแบคทีเรียในช่วงนี้ก็เนื่องจากถูกไรแดงกินด้วย และในทำนองเดียวกันกับข้อ 1.1 ก็สามารถคำนวณการลดของแบคทีเรียเนื่องจากการเลี้ยงไรแดงได้จากผลต่างของน้ำเสียก่อนเลี้ยงกับหลังเลี้ยงได้โดยตรง ซึ่งพบว่าให้ผลใกล้เคียงกันทุกการทดลอง (ตารางที่ 21, 23 และ 26) แต่จะเลือกคำนวณจากข้อ ง.2 เท่านั้น เนื่องจากเป็นระบบการเลี้ยงที่ใกล้เคียงกันในธรรมชาติที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีในข้อ ง.2 นี้ สามารถลดแบคทีเรียรวมได้ 91.2% (ตารางที่ 26) โดยการกินของไรแดงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด รองลงมาคือการกินของโปรโตซัว และการตายตามธรรมชาติ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 E. coli

E. coli ของน้ำเสียที่ถ่ายออกลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง และมีค่าแปรปรวนมากน้อยสลับกันไประหว่างน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุม แต่โดยเฉลี่ยแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับแบคทีเรียรวมในข้อ 2.1 (รูปที่ 30, 32, และ 35) และด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของ E. coli ที่กล่าวแล้วในข้อ 1.2 จึงสามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงสามารถลด E. coli ได้ โดยมีการตายตามธรรมชาติ การกินของโปรโตซัวและไรแดง เป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งสามปัจจัย และจากเหตุผลเดียวกับเรื่องแบคทีเรียรวมในข้อ 2.1 การคำนวณจะคิดจากผลต่างของน้ำเสียก่อนเลี้ยงกับหลังเลี้ยงของการทดลองข้อ ง.2 (ตารางที่ 25) เท่านั้น ซึ่งสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยวิธีในข้อ ง.2 นี้ สามารถลด E. coli ได้ 98.2% โดยมีปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งสามปัจจัย

2.3 BOD

การเปลี่ยนแปลงของ BOD เป็นไปในทำนองเดียวกับแบคทีเรียรวมและ E. coli กล่าวคือมีค่าลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง และมีค่าแปรปรวนสลับกันไประหว่างน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุม แต่เฉลี่ยแล้วมีค่าใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 30, 32 และ 35) และด้วยเหตุผลเกี่ยวกับเรื่อง BOD ในข้อ 1.3 กิจกรรมของไรแดง จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการลด BOD ในหน่วยเพาะเลี้ยง ส่วนแบคทีเรียและโปรโตซัวเป็นปัจจัยสำคัญในหน่วยควบคุมและระบบ Algal-Bacterial Symbiosis ดังกล่าวในข้อ 2.1 ก็เข้ามามีบทบาทสำคัญในการทดลองข้อ ง.2 ทำให้ BOD มีความแปรปรวนอย่างมากในช่วงน้ำเขียว (การถ่ายน้ำครั้งที่ 7 เป็นต้นไป, รูปที่ 35) ประกอบกับความแปรปรวนของ BOD ของน้ำเสียเริ่มต้นที่เติมเข้าระบบทุก 4 วัน ซึ่งทำให้ความเขียวของน้ำลดลงทุกครั้งที่ถ่ายน้ำ จากผลของ BOD พบว่า BOD สูงในช่วงน้ำเขียวขุ่น ซึ่งเนื่องจากไม่สามารถแยกอัลจีออกจากน้ำที่ถ่ายออกได้ อัลจีจึงเป็นตัวเพิ่มสารอินทรีย์ทำให้ค่า BOD สูงขึ้น (EL-Baroudi and Moawad, 1967. and Bowles, 1979) หลังจากที่น้ำเขียวขุ่นแล้วน้ำจะเริ่มใสขึ้นและ BOD ลดลง เพราะอัลจีตายตกตะกอนแยกออกจากน้ำทำให้ตะกอนเป็นสีเขียว (ตารางที่ 4)

Algal-Bacterial Symbiosis ที่เกิดในการทดลองข้อ ง.2 นั้น น่าจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่เกิดใน Oxidation pond หรือ Facultative stabilization pond ซึ่งระบบนี้แบคทีเรียจะย่อยสลายของเสีย (ลด BOD) ด้วยปฏิกริยาที่ใช้ออกซิเจนซึ่งเกือบทั้งหมดจะได้จากอัลจี อัตราการทำลาย BOD จึงขึ้นกับปริมาณออกซิเจนนี้ (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524) ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จากแบคทีเรียพืชจะนำไปใช้สังเคราะห์แสงเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ อัตรการทำลาย BOD จึงขึ้นกับแสงด้วย (Bowles, 1979) และคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นธาตุอาหารสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของอัลจี ซึ่งแหล่งสำคัญจะได้จากแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากเกินพอทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์เพียงพอด้วย ดังนั้นผลผลิตอัลจีจะขึ้นกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Kuentzel, 1969 and Fritz et al, 1979) oxidation pond จึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและลงทุนน้อยในการกำจัดน้ำเสียชุมชน สามารถลด BOD ได้ 50-80% ลด coliform ได้มากกว่า 99% และยังรวมทั้ง 3 ระบบ (primary, secondary and tertiary treatment) ในระบบเดียว. (El-Baroudi and Moawad, 1967) แต่เมื่อมีไรแดงเข้ามาร่วมอยู่ในระบบ Algal-Bacterial Symbiosis นี้ ไรแดงจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อระบบ เนื่องจากทั้งแบคทีเรียและอัลจีเป็นอาหารของมัน Kawasaki et al (1982) พบว่าการเลี้ยงไรน้ำอย่างหนาแน่นจะสามารถกินพวกอัลจีที่แขวนลอยอยู่ได้มาก ช่วยให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และช่วยลดปัญหาการแยกอัลจีออกจากน้ำเสียในระบบที่ใช้อัลจีเป็นตัวกำจัดธาตุอาหาร (Nutrient recycling system) ดังนั้นไรแดงจะเข้าไปมีบทบาทร่วมกันในการกำจัดน้ำเสีย โดยการกินอัลจี แบคทีเรีย โปรโตซัว และสารอินทรีย์ และไรแดงจะได้ออกซิเจนจากอัลจี ส่วนของเสียของไรแดงรวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ก็เป็นธาตุอาหารให้อัลจีนำไปใช้ และทรากของไรแดงก็จะถูกย่อยโดยแบคทีเรีย ทั้งหมดจึงมีความสัมพันธ์เป็นระบบเดียวกัน ทำให้ไรแดงมีส่วนสำคัญในการลด BOD ในระบบ Algal-Bacterial Symbiosis ด้วย และในทำนองเดียวกับเรื่องแบคทีเรียรวมในข้อ 2.1 ประสิทธิภาพการลด BOD เนื่องจากการเลี้ยงไรแดงจะคำนวณ

จากผลต่างของน้ำเสียก่อนเลี้ยงกับหลังเลี้ยงของการทดลองข้อ ง.2 (ตารางที่ 26) ซึ่งสรุปได้ว่า การเลี้ยงไรแดงด้วยวิธีนี้สามารถลด BOD ได้ 83.7% โดยมีการตำรงชีพของไรแดงและระบบ Algal-Bacterial Symbiosis เป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งสองปัจจัย

2.4 ไนเตรตไนโตรเจน (NO_3-N)

การเปลี่ยนแปลงของไนเตรตในข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 (รูปที่ 30 และ 32) มีแนวโน้มคล้ายกันคือ น้ำเสียที่ถ่ายออกในช่วงแรก (ถ่ายน้ำครั้งที่ 1-5) มีค่าลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง หลังจากนั้นเริ่มมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะน้ำเสียจากหน่วยควบคุมในข้อ ค.2.3 มีค่าสูงขึ้นมากในตอนท้าย ทำให้ค่าเฉลี่ยไนเตรตของหน่วยควบคุมในข้อ ค.2.3 สูงกว่าน้ำเสียก่อนเลี้ยงมาก ในขณะที่น้ำเสียหลังเลี้ยงในการทดลองนี้และน้ำเสียหลังเลี้ยงกับหน่วยควบคุมในข้อ ค.2.4 มีค่าเฉลี่ยลดลงจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงเล็กน้อย สำหรับการทดลองข้อ ง.2 (รูปที่ 35) ไนเตรตลดลงในช่วงแรก (ถ่ายน้ำครั้งที่ 1-3) หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมากสลับกันไป โดยมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงและหน่วยควบคุมสูงกว่าน้ำเสียหลังเลี้ยงเล็กน้อย ความแปรปรวนของไนเตรตเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของมันดังกล่าวในข้อ 1.4 ประกอบกับมีการถ่ายเทน้ำเสียทุก 4 วัน ทำให้ความแปรปรวนเพิ่มขึ้น สำหรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในช่วงหลังของการทดลองข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 น่าจะเนื่องจากปริมาณ Dissovled Oxygen (DO) เพิ่มขึ้นเพราะเริ่มมีอัลจีเกาะตามขอบเล็กน้อยในช่วงหลัง (การถ่ายน้ำครั้งที่ 9 ตารางที่ 17 และ 20) แต่ในหน่วยเพาะเลี้ยง DO จะต่ำกว่าหน่วยควบคุมเนื่องจากถูกไรแดงใช้ไป ดังนั้น Nitrification ในหน่วยควบคุมจะเกิดได้มากกว่า ทำให้ไนเตรตสูงกว่า ในขณะที่หน่วยเพาะเลี้ยงมีแนวโน้มการเกิด Denitrification มากกว่าหน่วยควบคุมเพราะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าซึ่งได้จากการหายใจของไรแดง ทำให้ไนเตรตในหน่วยเพาะเลี้ยงมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยแล้วก็ลดลงสลับกันไป (Nitrification แปรตาม DO ส่วน Denitrification แปรตาม CO_2 ดังกล่าวในข้อ 1.4) สำหรับการทดลองในข้อ ง.2 นั้น การเพิ่ม

จำนวนอย่างมากของอัลจีและปริมาณแล่งที่ได้รับเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตมาก จะเห็นว่าไนเตรตเริ่มเพิ่มขึ้นในการถ่ายน้ำครั้งที่ 4 หรือ 5 เพราะมี DO เพิ่มขึ้นจากอัลจีที่เริ่มพบเกาะข้างภาชนะ และเริ่มลดลงมากเมื่อเกิดน้ำเขียวจัด ซึ่งบางครั้งไนเตรตที่เกิดขึ้นจะหมดไปทันทีเพราะอัลจีนำไปใช้ (Amin and Ganapati, 1972) หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มและลดของไนเตรตสลับกันไป เนื่องจากการเกิด Nitrification การปลดปล่อยธาตุอาหารจากทรากอัลจีและของเสียต่าง ๆ โดยการย่อยสลายของแบคทีเรีย และการนำธาตุอาหารไปใช้ของอัลจี ดังนั้นการเลี้ยงไรแดงในระบบที่เกิดน้ำเขียวไรแดงจะเป็นตัวกำจัดไนเตรตที่เกิดขึ้นทางอ้อมโดยกินอัลจีซึ่งเป็นตัวดึงไนเตรตไปใช้ ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (Kawasaki et al, 1982) อย่างไรก็ตามในระบบที่ได้รับแล่งและเกิดน้ำเขียวนี้จะเกิด Nitrification สูง เพราะน้ำเสียก่อนเลี้ยงมีแอมโมเนียมาก และได้ DO จากการสังเคราะห์แล่งของอัลจี ดังนั้นการดึงไนเตรตไปใช้ของอัลจีอาจไม่ทันกับการเกิดไนเตรต ทำให้ค่าเฉลี่ยของไนเตรตสูงขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง และการเลี้ยงไรแดงในระบบที่เกิดน้ำเขียวนี้ก็ไม่ได้ทำให้ไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงต่างไปจากหน่วยควบคุมอย่างเห็นได้ชัด เพราะไรแดงมีผลทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตเพียงเล็กน้อย

2.5 ฟอสเฟตรวม (Total PO_4-P)

การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตรวมของน้ำเสียที่ถ่ายออกมีค่าสูงขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยง โดยเฉพาะการทดลองข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 (รูปที่ 30 และ 32) มีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและน้ำเสียหลังเลี้ยงสูงกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย สำหรับการทดลองข้อ ง.2 (รูปที่ 35) นั้น ฟอสเฟตรวมเพิ่มขึ้นมากในช่วงแรก (การถ่ายน้ำครั้งที่ 1-7) หลังจากนั้นเริ่มลดลงและมีค่าแปรปรวนอยู่ระหว่างน้ำเสียก่อนเลี้ยง อย่างไรก็ตามทั้งน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันในแต่ละการทดลอง และด้วยเหตุผลเดียวกับเรื่องฟอสเฟตรวมในข้อ 1.5 จึงสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงมีผลทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต สำหรับการเพิ่มของฟอสเฟตในการทดลองข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 นั้น ก็น่าจะเนื่องจากการขาด DO และการสะสมของของเสียซึ่งจะพบในหน่วย

เพาะเลี้ยงมากกว่าหน่วยควบคุม ดังกล่าวในข้อ 1.5 ในขณะที่การนำฟอสเฟตไปใช้ยังมีน้อย เพราะเกิดอัลจีน้อย ทำให้ฟอสเฟตมีค่าสูงขึ้นโดยหน่วยเพาะเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย แต่ในการทดลองข้อ ง.2 นั้นมีการเกิดอัลจีอย่างมากเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้ฟอสเฟตเริ่มลดลงในระยะหลังที่มีการเกิดน้ำเขียว ซึ่ง Boyd and Musig (1981) กล่าวว่าอัลจีและแบคทีเรียสามารถดูดซึมออโธฟอสเฟตได้อย่างรวดเร็ว แต่จะเห็นว่าฟอสเฟตลด ลงได้ไม่มากนักยังคงมีค่าอยู่ระหว่างน้ำเสียก่อนเลี้ยง Kuentzel (1969) ได้อธิบายว่า แม้ฟอสเฟตจะจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอัลจี แต่ปริมาณที่ต้องการค่อนข้างต่ำ เขาพบว่า แม้ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะต่ำมาก (0.01 mg/l) ก็สามารถเกิดน้ำเขียวได้ แต่ต้องมีสารอินทรีย์เพียงพอต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย นอกจากนั้น Humenik and Hanna (1971) ยังพบว่า Algal-Bacterial Symbiosis เป็นระบบที่สามารถกำจัด COD และอินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่ไม่พบว่ากำจัดฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสเฟตระหว่างการทดลองข้อ ค.2.3 ค.2.4 กับข้อ ง.2 จะเห็นว่าการเกิดน้ำเขียวช่วยลดฟอสเฟตไปได้ส่วนหนึ่ง โดยสรุปแล้วการเลี้ยงไรแดงในระบบที่เกิดน้ำเขียว ไรแดงจะเป็นตัวกำจัดฟอสเฟตทางอ้อม โดยมันกินอัลจีและแบคทีเรียซึ่งเป็นตัวดูดซึมฟอสเฟตไปใช้ แต่ของเสียจากไรแดงก็มีผลต่อการเพิ่มฟอสเฟตด้วย ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าการเลี้ยงไรแดงไม่ได้ทำให้ฟอสเฟตรวม มีการเปลี่ยนแปลงต่างไปจากหน่วยควบคุมอย่างเห็นได้ชัด

2.6 pH

การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำเสียที่ถ่ายออกพบว่ามีค่าสูงขึ้นจากน้ำเสียก่อนเลี้ยงโดยที่น้ำเสียจากหน่วยควบคุมมีค่าสูงกว่าน้ำเสียหลังเลี้ยงเล็กน้อยทุกการทดลอง และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันด้วยกล่าวคือ มีค่าสูงขึ้นในช่วงแรกและแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในตอนท้าย (รูปที่ 30, 32 และ 35) แต่ยังมีค่าสูงกว่าน้ำเสียก่อนเลี้ยงตลอดการทดลอง การเพิ่มของ pH ในการทดลองข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 นั้นเนื่องจากเกิดแอมโมเนียมไอออนในน้ำเสียดังกล่าวในเรื่อง pH ข้อ 1.6 ส่วนความแปรปรวนที่เกิดขึ้น

ก็เพราะมีการถ่ายเทน้ำทุก 4 วัน และแนวโน้มการลดของ pH ในตอนท้ายนั้นน่าจะเนื่องจากการเกิด Nitrification ทำให้แอมโมเนียมไอออนลดลงเพราะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต นอกจากนั้นยังได้ไฮโดรเจนไอออนระหว่างการเกิด Nitrification ด้วย ดังกล่าวในข้อ 1.4 และ 1.6 สำหรับการทดลองข้อ ง.2 นั้น บทบาทของอัลจีเป็นส่วนสำคัญทำให้ pH สูงขึ้น เนื่องจากอัลจีดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงทำให้สมดุลย์ของ CO_2 ในน้ำไปทาง CO_2^{2-} ซึ่งเพิ่มความเป็นด่างให้กับน้ำ (Amin and Ganapati, 1972 และเปี่ยมศักดิ์, 2524) ในขณะที่เกิดน้ำเขียวนั้นการเปลี่ยนแปลงของ pH ในช่วงวันนั้นมีมาก สามารถเปลี่ยนได้ตั้งแต่ 7-9 (Fritz et al., 1979) แต่การถ่ายน้ำออกวิเคราะห์ในข้อ ง.2 นี้ทำในช่วงเช้าจึงได้ค่า pH ที่ไม่สูงนัก สำหรับการลดของ pH ในบางช่วงนั้น นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วในตอนต้นยังเนื่องจากการตายของอัลจีด้วย แต่ในทุกการทดลองพบว่าหน่วยเพาะเลี้ยงมี pH ต่ำกว่าหน่วยควบคุม อาจเนื่องจากไรแดงกินอัลจีบางส่วนไปทำให้อัลจีในหน่วยเพาะเลี้ยงน้อยกว่าหน่วยควบคุม การใช้คาร์บอนไดออกไซด์จึงน้อยกว่าด้วย และยังได้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มจากการหายใจของไรแดง คาร์บอนไดออกไซด์ในหน่วยเพาะเลี้ยงจึงมากกว่าทำให้ pH ต่ำกว่าหน่วยควบคุม ดังนั้นสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงจะทำให้อัตราการเพิ่มของ pH ตามธรรมชาติลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมันช่วยเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับระบบทั้งทางตรงโดยได้จากการหายใจและทางอ้อมโดยลดปริมาณอัลจี ซึ่ง pH ในหน่วยเพาะเลี้ยงจะเพิ่มจาก 7.97 ไปเป็น 8.07 ในขณะที่หน่วยควบคุม pH จะเพิ่มจาก 7.97 ไปเป็น 8.23

2.7 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

การหาDO ของน้ำเสียที่ถ่ายออกทำเฉพาะในการทดลองข้อ ง.2 (รูปที่ 35) เท่านั้น ผลที่ได้พบว่า DO ค่อย ๆ สูงขึ้นจากน้ำเสียเริ่มต้นที่มีค่าเป็นศูนย์ แม้จะมีการถ่ายเทน้ำใหม่ที่มี DO เป็นศูนย์ทุก 4 วัน แต่ DO ยังคงสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงช่วงที่น้ำเริ่มเขียวขุ่น (การถ่ายน้ำครั้งที่ 7,8) แล้วเริ่มลดลงและกลับเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในตอนท้าย ซึ่งทั้งน้ำเสียหลังเลี้ยงและหน่วยควบคุมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายและ

ใกล้เคียงกัน แต่ DO ในหน่วยควบคุมสูงกว่าหน่วยเพาะเลี้ยงเล็กน้อย ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ DO เพิ่มขึ้นคือการสังเคราะห์แสงของอัลจี ส่วนการหายใจของไรแดงทำให้ DO ในหน่วยเพาะเลี้ยงน้อยกว่าหน่วยควบคุมเล็กน้อย ดังนั้นสรุปได้ว่าการเลี้ยงไรแดงทำให้ DO เพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าหน่วยควบคุม แต่การเพิ่มของ DO นั้นสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงของอัลจี ซึ่ง DO ในหน่วยเพาะเลี้ยงจะเพิ่มจาก 0 ไปเป็น 3.72 mg/l ในขณะที่หน่วยควบคุม DO จะเพิ่มจาก 0 ไปเป็น 4.23 mg/l (ตารางที่ 26)

2.8 คุณภาพน้ำทางกายภาพ

ลักษณะของน้ำเสียก่อนเลี้ยง มีสีเหลืองอ่อนขุ่นกลิ่นเหม็นและคุน กลิ่นเหม็นและคุนเนื่องจากขาดออกซิเจนและมียูเรียดังกล่าวในข้อ 1.7 ส่วนน้ำเสียที่ถ่ายออกของการทดลองข้อ ค.2.3 และ ค.2.4 (ตารางที่ 2 และ 3) มีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน โดยน้ำที่ถ่ายออกในช่วงแรก (การถ่ายน้ำครั้งที่ 1-8) มีสีเหลืองเข้มและใสขึ้น เนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์และการตกตะกอนดังกล่าวในข้อ 1.7 ส่วนในช่วงหลังเริ่มมีอัลจีตามขอบบีกเกอร์และที่ตะกอนบ้าง นอกจากนั้นยังมีการสะสมของตะกอนในข้อ ค.2.3 ตลอดเวลาเนื่องจากไม่มีการดักไรแดงออก ตะกอนที่ติดบนกระชอน (ในขณะที่มีการถ่ายเทน้ำเสีย) จะถูกคืนกลับมาชั่วขณะเดียวพร้อมกับไรแดง ทำให้สีของน้ำในช่วงหลังคล้ำขึ้น สำหรับการทดลอง ข้อ ง.2 (ตารางที่ 4) มีการเพิ่มจำนวนอย่างมากของอัลจีทำให้น้ำเริ่มเขียวขึ้นเรื่อย ๆ และขุ่นด้วยอัลจีที่แขวนลอยอยู่ (การถ่ายน้ำครั้งที่ 8-9) หลังจากนั้นน้ำค่อย ๆ ใสขึ้นเพราะอัลจีตายและตกตะกอน ส่วนกลิ่นของน้ำที่ถ่ายออกเหม็นน้อยลงและไม่คุน เนื่องจากมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นและยูเรียสลายไปเป็นแอมโมเนีย