

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองนี้เป็นการศึกษา เพื่อหาแนวทางการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ก้นผักตบชวา โดยสร้างสภาวะให้ก้นผักตบชวาเกิดการย่อยสลายในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูง โดยคาดว่าสารอินทรีย์ดังกล่าวจะเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานที่สมบูรณ์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะช่วงเร่งให้ก้นผักตบชวามีการย่อยสลายเร็วขึ้น จากการศึกษาบ่งชี้ว่าที่ทดลองใช้น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 2,800 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่นซึ่งมีค่า BOD_5 เป็นศูนย์ พบว่าในระยะเวลา 10 วันก้นผักตบชวาที่ย่อยสลายในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์มีไนโตรเจนสูงขึ้นจากร้อยละ 1.092 เป็นร้อยละ 3.402 ในขณะที่ไนโตรเจนรวมของก้นผักตบชวาที่ย่อยสลายในน้ำกลั่นมีค่าเพียงร้อยละ 1.5 แสดงว่าน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาได้

เมื่อพิจารณารูปแบบการทดลองนี้จะพบว่า ก้นผักตบชวาถูกหมักและเกิดการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์ที่มีน้ำเสียไหลผ่านตลอดเวลา ทำให้สภาพการหมักมีความชื้นร้อยละ 100 จึงมีโอกาสเกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจากการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป (composting) ที่ต้องควบคุมความชื้นไม่เกินร้อยละ 60 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีการเติมอากาศให้กับน้ำเสียตลอดเวลา เพื่อสร้างสภาวะให้การย่อยสลายก้นผักตบชวา เป็นแบบใช้ออกซิเจนให้มากที่สุด ระบบที่ใช้ในการทดลองจึงมีลักษณะคล้ายการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน แต่เนื่องจากการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสม และปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อถูกย่อยสลายในน้ำเสีย ประกอบกับการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่ทดลองหมักผักตบชวาในสภาพที่มีความชื้นเต็มที่ร้อยละ 100 ซึ่งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายในสภาวะดังกล่าวน่าจะมีความแตกต่างจากการบำบัดน้ำเสีย และการทำปุ๋ยหมัก ทั้งนี้เพื่อให้ก้นผักตบชวามีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพที่อาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติมากที่สุด และอาจใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสภาพการย่อยสลายด้วยวิธีการดังกล่าวให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนรวมให้มากขึ้น ต่อไปและมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ปริมาณไนโตรเจนรวมในก้านผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายในน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ก้านผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 1.044 ภายหลังจากผ่านน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยา พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นทุกวัน (ตารางที่ 1 ก.) โดยก้านผักตบชวาในถังปฏิกริยาที่ 1 ที่ผ่านน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 มีค่าเพิ่มมากกว่าก้านผักตบชวาในถังปฏิกริยาที่ 2 ที่ผ่านน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.10$) จนถึงวันที่ 10 ของการทดลองก้านผักตบชวาจากถังปฏิกริยาที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนรวมเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 3.651 ส่วนก้านผักตบชวาจากถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.166 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.10$) แต่เมื่อถึงวันที่ 12 ของการทดลอง ก้านผักตบชวาจากถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเป็นร้อยละ 3.494 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.10$)

ผลการศึกษาแสดงว่า น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการเพิ่มไนโตรเจนในก้านผักตบชวาคับกระบวนการย่อยสลายในถังปฏิกริยาได้เพราะก้านผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นทุกวันภายหลังจากผ่านน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยาถึงแม้ว่าน้ำเสียจะมีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 50 เพราะค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจาก น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองอาจมีปริมาณสารอินทรีย์เข้มข้นน้อยเกินไป เมื่อเจือจางเป็นความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 จึงทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมดในถังปฏิกริยาทั้งสองมีความแตกต่างกันน้อย นอกจากนี้ในระยะที่ก้านผักตบชวามีการย่อยสลายมาก ได้แก่ วันที่ 4-9 ของการทดลอง พบว่า น้ำเสียจากถังปฏิกริยาทั้งสองมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นศูนย์ แสดงว่าการย่อยสลายก้านผักตบชวาอยู่ในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนเหมือนกัน เมื่อประกอบกับเหตุผลประการแรก การดำเนินปฏิกริยาจึงไม่แตกต่างกันมาก และน่าจะทำให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากสารอาหาร (Nutrition) ที่จะทำให้อุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีไม่ได้เกี่ยวข้องกับเฉพาะคาร์บอนและไนโตรเจนเท่านั้น เพราะในกระบวนการสังเคราะห์ enzyme co-factors และโครงสร้างโปรตีนของอุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ Growth factors ได้แก่ โปแตสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ฯลฯ ซึ่งสารเหล่านี้อาจมีอยู่ในน้ำทิ้ง (Painter, 1983) ดังนั้นการเจือจางน้ำทิ้งเป็นความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 สารเหล่านี้จะเจือจางลงด้วยทำให้อุลินทรีย์เจริญเติบโตไม่ดี จึงพบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมในก้านผักตบชวาที่ย่อยสลายในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 มีค่ามากกว่าก้านผักตบชวาที่ย่อยสลายในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 เพียงเล็กน้อย

4.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ค่าไนโตรเจนรวมเพิ่มสูงที่สุด

ปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเวลาใกล้เคียงกัน และใช้ระยะเวลาสั้นมาก จากการทดลองใช้เวลาเพียง 10-12 วัน โดยพบว่าก้นผักตบชวา จากถังปฏิบัติที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 ใช้เวลา 10 วัน ส่วนก้นผักตบชวาจากถังปฏิบัติที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 ใช้เวลา 12 วัน และปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาในวันที่ 11 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.430 และในวันที่ 12 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.494 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.10$) จึงอาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายก้นผักตบชวาจนได้ปริมาณไนโตรเจนรวมไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวันที่ก้นผักตบชวาในถังปฏิบัติมีค่าสูงที่สุดกับพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ พบว่า เกิดขึ้นหลังจากก้นผักตบชวามีการย่อยสลายเต็มที่เล็กน้อย สังเกตได้จากค่า BOD₅ เริ่มลดลงมากและค่า TKN ของน้ำเสียมียุคค่าสูงสุดกำลังจะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Pattern of Growth) ในช่วง stationary phase ซึ่งเป็นระยะที่ปริมาณสารอาหารในสิ่งแวดล้อมเริ่มลดลงจึงจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (วันเพ็ญ วิโรจน์บุญ, 2531) ทำให้จุลินทรีย์เกิดการแย่งชิงอาหารกันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อพ้นระยะนี้ไปแล้วจึงพบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวามีค่าลดลงได้

นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอาจใช้เป็นข้อบ่งชี้ถึงระยะเวลาที่เหมาะสมได้ เพราะในวันที่ก้นผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงสุด พบว่าน้ำเสียในถังปฏิบัติที่ 1 มีออกซิเจนละลายน้ำ 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียในถังปฏิบัติที่ 2 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าในช่วงที่ออกซิเจนละลายน้ำเริ่มมีค่ามากกว่าศูนย์ จุลินทรีย์ในน้ำเสียบางชนิดเริ่มเจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะ Aerobic Bacteria ทำให้มวลชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวา ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงที่สุดในช่วงที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 วิจัยผลลัพธ์

4.3.1 ลักษณะน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์

น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการฆ่าสัตว์ และคอกพักสัตว์ รวมทั้งน้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์ และล้างพื้น มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยวันละ 68.99 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียไหลรวมลงสู่ท่อระบาย และรวมลงสู่บ่อพักจำนวน 2 บ่อ เพื่อทิ้งให้เกิดการตก

ตะกอนก่อนที่จะไหลรวมลงสู่สระน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ แต่สภาพปัจจุบันภายในบ่อพัก มีความตื้นเขินจากเศษขยะจำนวนมาก จึงทำให้น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ส่วนหนึ่งไหลผ่านบ่อพักลงสู่สระน้ำเสียโดยตรง จากการวิเคราะห์น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่เก็บจากสระพักน้ำคันสภาพสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียจากสระน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์

พารามิเตอร์ของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
pH	8.13	0.05
BOD ₅ (มก./ล.)	654.47	28.26
TKN (มก./ล.)	127.05	3.41
ความขุ่น (เอ็น ที ยู)	425.36	69.89
TS (มก./ล.)	1.33	0.09
สี	1794.64	196.36

หมายเหตุ : ระยะเวลาการศึกษาช่วง 14-30 พฤษภาคม 2539

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียพบว่า ค่า BOD₅ และค่า TKN ลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เคยศึกษาได้จากการศึกษานำร่องซึ่งมีค่า BOD₅ เฉลี่ย 2,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TKN เฉลี่ย 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วน C : N มีค่าเท่ากับ 2,800:16 หรือประมาณ 18 : 1 จะทำให้ค่าไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3.402 ขณะที่น้ำเสียจากการศึกษาครั้งนี้มีอัตราส่วนของ C : N น้อยกว่าประมาณ 654 : 127 หรือ 5 : 1 ทำให้ค่าไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาเพิ่มขึ้นมากกว่าถึงร้อยละ 3.651 แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนรวมของน้ำเสียเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่จะมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นในก้นผักตบชวาซึ่งสอดคล้องกับวิธีการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป (composting) ที่นิยมเติมสารเร่งที่เป็นแหล่งของไนโตรเจนรวมเพื่อปรับอัตราส่วน C : N ให้มีค่าลดลง และจุลินทรีย์มีไนโตรเจนเพียงพอที่จะใช้สร้างเซลล์ใหม่ได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาประเภทของจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากสระพักน้ำคันสภาพ (pond) ซึ่ง Raymond (1984) รายงานว่า ส่วนใหญ่จะพบ Heterotrophic Bacteria เพราะมีสารอินทรีย์จำนวนมาก โดยจุลินทรีย์ชนิดนี้จะอาศัยคาร์บอนจากสารอินทรีย์ เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญ นอกจากนี้ยังพบ Autotrophic Bacteria และสาหร่ายจำนวนมาก ดังนั้นการควบคุมให้ระบบ

ทดลองมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวจะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ช่วยให้การย่อยสลายของก้นผักคบชวาเกิดเร็วขึ้น และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียอยู่ในช่วง 20-35 องศาเซลเซียส และระดับ พีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าว (Gray, 1989) จึงอาจกล่าวได้ว่า จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากสระผืนสภาพยังคงเจริญเติบโตได้ดี ในระบบที่ใช้ทดลอง และเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายก้นผักคบชวาในถังปฏิกริยา ซึ่งแตกต่างจากการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไปที่มีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลาย 3 พวกใหญ่ๆ คือ รา, แบคทีเรีย และ แอคติโนมัยซิส ซึ่งมีความอดทนต่ออุณหภูมิสูง และสภาพความเป็นกรดได้ดี (Paincelet, 1974)

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียในถังปฏิกริยา

1) ค่า BOD_5 และค่า TKN

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 มีค่า BOD_5 เฉลี่ย 654.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า TKN เฉลี่ย 127.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 จะได้น้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 ซึ่งมีค่า BOD_5 ประมาณ 327 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า TKN ประมาณ 63.53 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยาพบว่า น้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 1 ที่ผ่านน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 และน้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 2 ที่ผ่านน้ำเสีย ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 มีการเปลี่ยนแปลงค่า BOD_5 และค่า TKN ในลักษณะเดียวกัน (ตารางที่ 2 ก. และ 3 ก.) คือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อก้นผักคบชวาเริ่มมีการย่อยสลาย และลดลงเมื่อก้นผักคบชวาถูกย่อยจนเหลือส่วนที่ย่อยสลายยาก โดยพบว่า ค่าของน้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่า น้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 2 แต่จะสังเกตได้ว่า เป็นค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ในถังปฏิกริยาจะเห็นว่า สารอินทรีย์ในถังปฏิกริยามาจากก้นผักคบชวา และน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา โดยเฉพาะเมื่อก้นผักคบชวาเริ่มมีการย่อยสลาย จะทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียจากถังปฏิกริยามีค่าเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า BOD_5 และค่า TKN ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 5 ของการทดลอง (ตารางที่ 2ก และ 3ก) จนกระทั่งถึงวันที่ 11 ของการทดลองจะพบว่าค่า BOD_5 และค่า TKN มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนไหลผ่านเข้าสู่ถังปฏิกริยา จึงอาจกล่าวได้ว่าในช่วงตั้งแต่วันที่ 12 ของการทดลองปริมาณของสารอินทรีย์ในถังปฏิกริยาส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ถังปฏิกริยา ดังนั้นในช่วงเวลาที่ก้นผักคบชวากำลังมีการย่อยสลายมาก จึงมีบทบาทต่อ ค่าในโครเจนรวมที่เพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงเวลาอื่น เพราะในช่วงเวลานี้สารอินทรีย์ในถังปฏิกริยาจะมีปริมาณมากที่สุดทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและเกิดมวลชีวภาพ (Biomass) จำนวนมาก

แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่า TKN ของน้ำเสียจากถังปฏิกริยาทั้งสองมีลักษณะการลดลงแตกต่างกันมากโดยเฉพาะตั้งแต่วันที่ 11 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.2) ซึ่งพบว่า น้ำเสียจากถังปฏิกริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 ก่อขามีค่าลดลงจนวันที่ 14 ของการทดลองจะลดลงอย่างชัดเจน ส่วนน้ำเสียจากถังปฏิกริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นที่ต่ำร้อยละ 50 มีค่าลดลงอย่างช้าๆ จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว อาจจะอธิบายได้ว่า ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในถังปฏิกริยาทั้งสองแตกต่างกัน ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณสารอินทรีย์น้อยเกินไป เมื่อถูกเจือจางเป็นความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 จึงทำให้น้ำเสียมี TKN น้อยลงด้วย ในขณะที่น้ำเสียจากถังปฏิกริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 มีค่า TKN มากกว่า ดังนั้นเมื่อค่า BOD_5 ของน้ำเสียลดลง จึงทำให้มีออกซิเจนเหลือมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกริยาในครีฟิเคชั่นได้มากกว่า ซึ่งผลของการปฏิกริยาจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในโครเจนและแอมโมเนียเป็น ไนไตรท์ และไนเตรท และไม่สามารถวัดค่าออกมาในรูป TKN ได้ จึงทำให้ค่า TKN ของน้ำเสียลดลงอย่างชัดเจน

2) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังปฏิกริยาถูกควบคุม ด้วยการเปิดเครื่องเติมอากาศตลอดเวลา และวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทุกวัน แต่ค่าที่วิเคราะห์ได้แสดงว่า การทดลองนี้ไม่สามารถควบคุมการย่อยสลายของก้านผักตบชวาให้อยู่ในสถานะที่มีออกซิเจนได้ตลอดการทดลอง (ตารางที่ 1 ก.) ดังนั้นสถานะการย่อยสลายก้านผักตบชวาจึงเกิดขึ้นทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยตั้งแต่วันที่ 5-8 ของการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ก้านผักตบชวาเกิดการย่อยสลายมาก จุลินทรีย์จึงมีความต้องการออกซิเจนมากขึ้น แต่ปริมาณออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศมีไม่มากพอ จึงพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเป็น ศูนย์ แสดงว่าการย่อยสลายในช่วงนี้เป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้คอนน้อยกว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไม่มีประสิทธิภาพในการสร้างโปรโตพลาสซึมของจุลินทรีย์ (วันเพ็ญ วิโรจน์ภูฏ, 2531) แต่การสร้างโปรโตพลาสซึมเป็นจุดมุ่งหมายของการทดลองครั้งนี้ เพราะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อปริมาณไนโตรเจนรวมที่มีเพิ่มขึ้นในก้านผักตบชวาที่ถูกย่อยสลาย จนเมื่อก้านผักตบชวา เริ่มมีการย่อยสลายลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงมีค่าเพิ่มขึ้น การย่อยสลายจึงเป็นแบบใช้ออกซิเจนแต่เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังปฏิกริยาที่ 1 ซึ่งผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 มีมากกว่าน้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 2 ที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 ทั้ง ๆ ที่น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์มากกว่าจะมีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการกระบวนการย่อยสลายมากกว่า (Roseiro และคณะ, 1991) แต่กลับพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า โดยเฉพาะตั้ง

แต่วันที่ 14 จนสิ้นสุดการทดลองจะพบว่า น้ำเสียจากถังปฏิกิริยาที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 15, 30 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าค่าปกติคือ 7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส ณ ระดับความดันบรรยากาศปกติบนพื้นโลก (Cambell, 1977) ขณะที่น้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ 5, 5 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แสดงว่าน้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ น่าจะ 1 มีสิ่งเจือปน (impurities) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุน, 2535) และสิ่งเจือปนดังกล่าวมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงกว่าปกติ สำหรับการทดลองนี้ น้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ 1 มีค่า TKN สูงกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้มากและสิ่งเจือปนดังกล่าวน่าจะเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดยไนไตรท์จะไปออกซิไดซ์กับ I^- เป็น I_2 ได้เป็น reduced form คือ N_2O_2 ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์ด้วยออกซิเจน เมื่อทำการไทเทรตจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์อีกทำให้ผลที่ได้จากการไทเทรตสูงกว่าค่าที่เป็นจริง นั่นคือ จะได้ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าปกติ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525) จึงอาจใช้เป็นเหตุผลสนับสนุนได้ว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำนวนมากในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 ส่วนน้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ 2 มีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นในระดับปกติแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันน้อยมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนรวมมากกว่าจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาเพิ่มขึ้นได้มากกว่าเช่นกัน แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยว่า ถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ ค่าไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาลดกว่าที่ควร เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่จะเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีปริมาณลดลงทำให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรียย่อยสลายมวลชีวภาพมากขึ้น

3) ค่าพีเอช

เมื่อเริ่มต้นทดลองน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 มีค่าพีเอชเฉลี่ย 8.13 และเมื่อเจือจางเป็นความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 จะมีค่าพีเอชประมาณ 7.8 ซึ่งภายหลังจากผ่านน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจะพบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน (ตารางที่ 5 ก. และภาพที่ 4.3) โดยพบว่า ใน 3 วันแรกของการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อยทั้งๆ ที่ก้นผักตบชวามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการสังเกตพบว่า น้ำเสียมีเสถียรภาพและสิ่งสกปรกเจือปนจำนวนมากจึงน่าจะเป็นไปได้ว่า ค่า พีเอช ที่สูงขึ้น เกิดจากสิ่งสกปรกที่ติดมากับก้นผักตบชวาปนกับแอมโมเนียของน้ำเสีย หลังจากนั้นค่าพีเอชจะลดลง ตั้งแต่วันที่ 4 และอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งในช่วงนี้ก้นผักตบชวากำลังอยู่ในระยะที่มีการย่อยสลายมาก และค่าพีเอชที่วัดได้คือ 8.1-8.2 และ 7.7-7.8 ของน้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นและจากค่าออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าเป็นศูนย์ในช่วงนี้ แสดงว่า การย่อยสลายก้นผักตบชวาเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น กรดอินทรีย์จะทำให้พีเอชลดลง แต่ค่าพีเอชที่ต่ำลงจะถูกรักษาให้อยู่

ในสภาวะสมดุลด้วยแอมโมเนียของน้ำเสีย ประกอบกับระบบที่ทดลองเป็นระบบเปิดซึ่งมีการปล่อยน้ำเข้า - ออกจากถังปฏิกริยาอย่างต่อเนื่อง ทำให้น้ำเสียในถังปฏิกริยาถูกเจือจางด้วยน้ำเสียที่ป้อนเข้าไปอย่างต่อเนื่อง ค่าพีเอชของน้ำเสียจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น นอกจากนี้อาจเป็นเพราะว่าผักตบชวามีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นด่าง ซึ่งจากรายงานการศึกษาของ มลิวลย์ เพทพูลผล และคณะ (2521) ก็พบเช่นเดียวกันว่า การใช้ผักตบชวาทำปุ๋ยหมักไม่ว่าจะผสมมูลกระบือหรือไม่จะได้ปุ๋ยมีพีเอช 8.3 - 8.6 แต่การใช้หญ้าอย่างเดียวจะทำให้พีเอชต่ำกว่าคือ 6.3

เมื่อน้ำเสียมีออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นในวันที่ 10 ของการทดลอง การย่อยสลายที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบใช้ออกซิเจน และผลของปฏิกริยาจะได้ คาร์บอนไดออกไซด์ กับน้ำ เมื่อทำปฏิกริยากันจะได้ไบคาร์บอเนตละลายอยู่ในน้ำ น้ำเสียจึงมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และพบการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากในน้ำเสียจากถังปฏิกริยาที่ 2 ส่วนน้ำเสียในถังปฏิกริยาที่ 1 ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากกว่าจะเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันมากขึ้นและผลของปฏิกริยาจะได้ไฮโดรเจนอ็อกไซด์กับไนไตรท์ เมื่อทำปฏิกริยากันจะได้กรดไนตริกทำให้พีเอชของน้ำเสียลดลงได้อย่างมาก เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนรวมในก้นผักตบชวาพบว่า สัมพันธ์กับการย่อยสลายของก้นผักตบชวาและปริมาณของสารอินทรีย์ที่ยังมีอยู่มาก ซึ่งค่าพีเอชในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงอาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมโดยตรงนอกจากจะใช้เป็นข้อบ่งชี้ว่า จุลินทรีย์ในน้ำเสียสามารถทำงานได้ดี เพราะอยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม คือ 6.5-8.5 (Gray, 1989)

4.3.3 ลักษณะทางกายภาพของก้นผักตบชวา

โดยลักษณะทางกายภาพของก้นผักตบชวาที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน น้ำเสียจะถูกก้นผักตบชวาซึมซับไว้ได้ง่าย ทำให้ก้นผักตบชวาที่แห้ง เปลี่ยนเป็นอมน้ำ พองตัวเบียดกันแน่นถึงปฏิกริยา และมีสีเหลืองเข้มขึ้น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ จะมีความอ่อนนุ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียย่อยสลายได้ง่ายขึ้นประกอบกับน้ำเสียมีจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานอยู่มาก ดังนั้นจึงพบว่าก้นผักตบชวาในน้ำเสียมีการย่อยสลายได้เร็วกว่าการทำปุ๋ยหมัก (composting) จากผักตบชวามีการเติมเชื้อเร่งของจำรูญ ดันดิพิสาลกุลและคณะ (2533) ที่มีการเติมเชื้อเร่งชนิดต่างๆลงไปโดยควบคุมผลการทดลองโดยหมักผักตบชวาที่ไม่มีการเติมเชื้อเร่ง ซึ่งพบว่า การหมักกับเชื้อเร่งจะช่วยให้การย่อยสลายเร็วกว่าโดยเฉพาะเชื้อเร่งที่มีจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีจะมีร้อยละของการย่อยสลายสูงสุดและให้ร้อยละไนโตรเจนสูงสุดในเวลาประมาณ 26 วัน สำหรับการทดลองนี้พบว่าเริ่มมีการย่อยสลายมากตั้งแต่วันที่ 4 ของการทดลอง โดยพบว่า ลักษณะของก้นผักตบชวาจะเริ่มเปื่อย มีสีคล้ำขึ้น ความหนาแน่นในถังปฏิกริยาลดลง ฟองอากาศจากเครื่องเติมอากาศแทรก

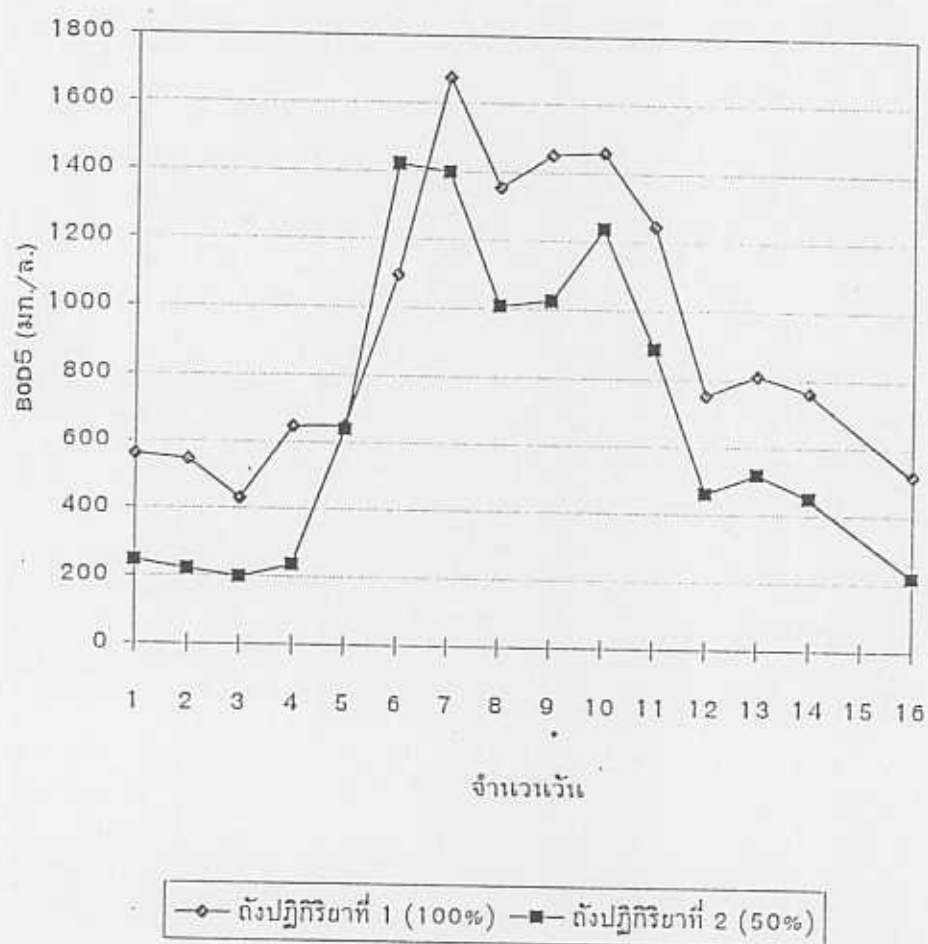
ซึมผ่านก้านผักตบชวาได้ง่าย ทำให้ก้านผักตบชวาสัมผัสกับอากาศ และสารอาหารในน้ำเสียอย่างทั่วถึงจึงกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายได้ดี ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ก้านผักตบชวาสั้นใหญ่แตกเป็นชิ้นเล็ก เหลือแต่โครงสร้างที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ ผิวนอก ใสน้ำ ที่มีลักษณะเป็นเส้น จนกระทั่งในวันที่ 10 ของการทดลอง เศษก้านผักตบชวา เริ่มจมลงสู่ก้นถังปฏิริยามากขึ้น และในน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีตะกอนเบากาะอยู่กับลำใสน้ำของก้านผักตบชวาเป็นกลุ่ม อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าลักษณะทางกายภาพของก้านผักตบชวาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นพร้อม ๆ กัน และลักษณะเหมือนกัน จะแตกต่างกันแต่เพียงความนุ่ม โดยพบว่าถ้าก้านผักตบชวาจากถังปฏิริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 จะนุ่มมากกว่า เนื่องจากมีตะกอนเมือกเกาะอยู่หนาแน่น

จากลักษณะของก้านผักตบชวาที่เปลี่ยนแปลงอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นเกิดจากตะกอน (Sludge) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และมวลชีวภาพ (Biomass) ที่ไปเกาะตามเศษผักตบชวาที่ไม่ถูกย่อยสลายได้ง่ายเช่นผิวนอก และใสน้ำ นอกจากนี้ อาจจะมีส่วนของผักตบชวาที่ล้าลงย่อยสลาย ดังนั้นในช่วงเวลาที่ก้านผักตบชวาล้าลงย่อยสลายจึงเป็นช่วงเวลาที่มีความสำคัญต่อ ปริมาณไนโตรเจนรวมที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

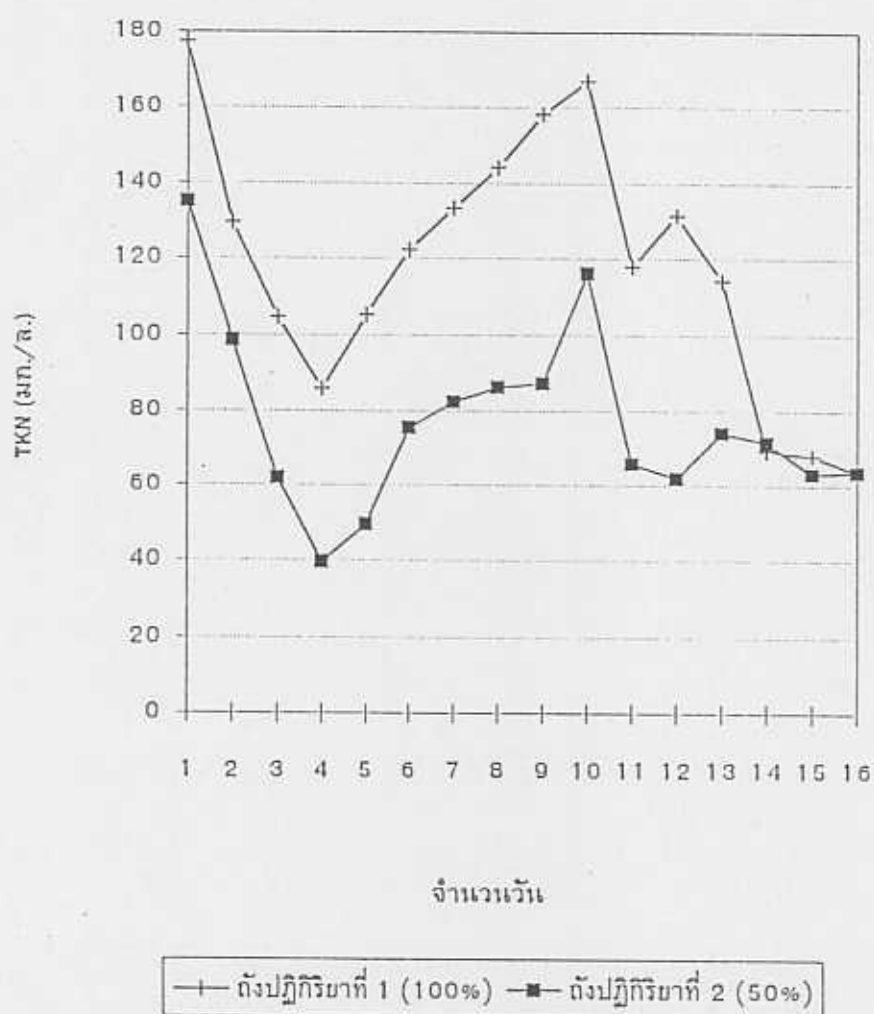
4.3.4 อุณหภูมิในถังปฏิริยา

อุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิของน้ำเสียในถังปฏิริยาถูกวัดที่เวลา 8.00 น. และ 14.00 น. ทุกวันจนสิ้นสุดการทดลอง ดังตารางที่ 6 ก. จะเห็นว่า ณ เวลาเดียวกันอุณหภูมิของน้ำเสียในถังปฏิริยาทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ และมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อพิจารณากระบวนการทดลองซึ่งเป็นระบบเปิดที่มีน้ำเสียไหลผ่านถังปฏิริยาอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการเติมอากาศให้น้ำเสียตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสีย และอากาศมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยน้ำเสียในถังปฏิริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 จะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำเสียในถังปฏิริยาที่ผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำร้อยละ 50 (ภาพที่ 4.4)

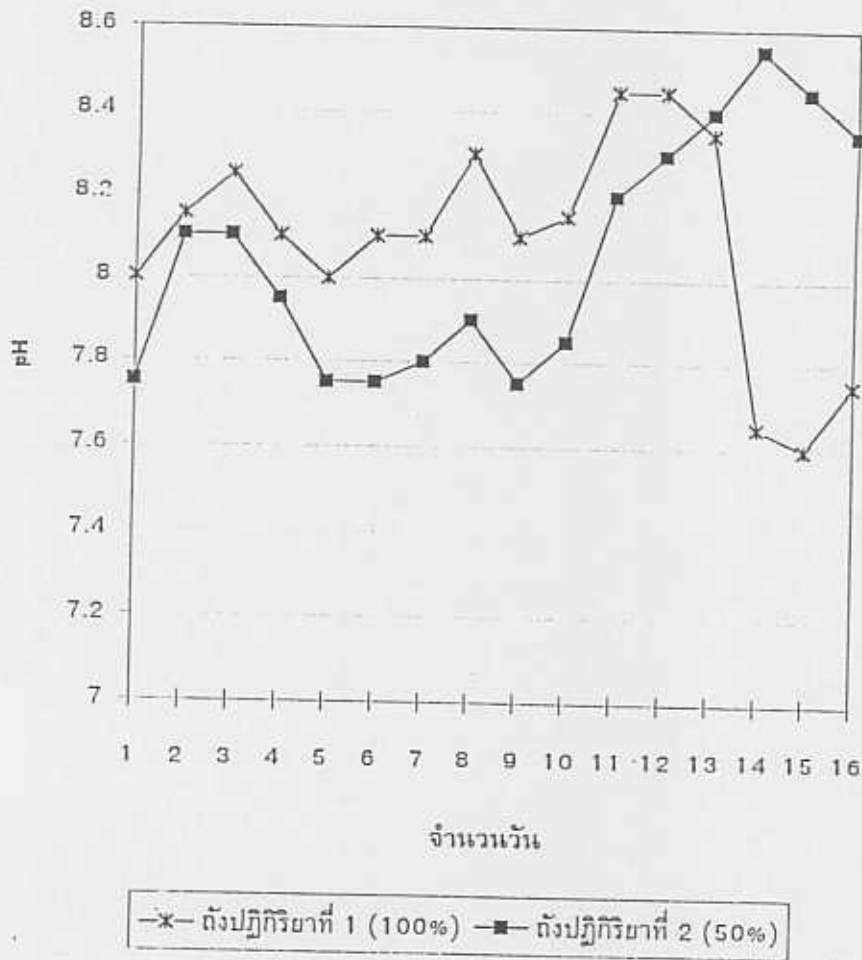
อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเสีย ไม่น่าจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ เพราะอุณหภูมิในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คือ 5-35 องศาเซลเซียส (Gabriel, 1994) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำเสียในถังปฏิริยาทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 27-32 องศาเซลเซียส



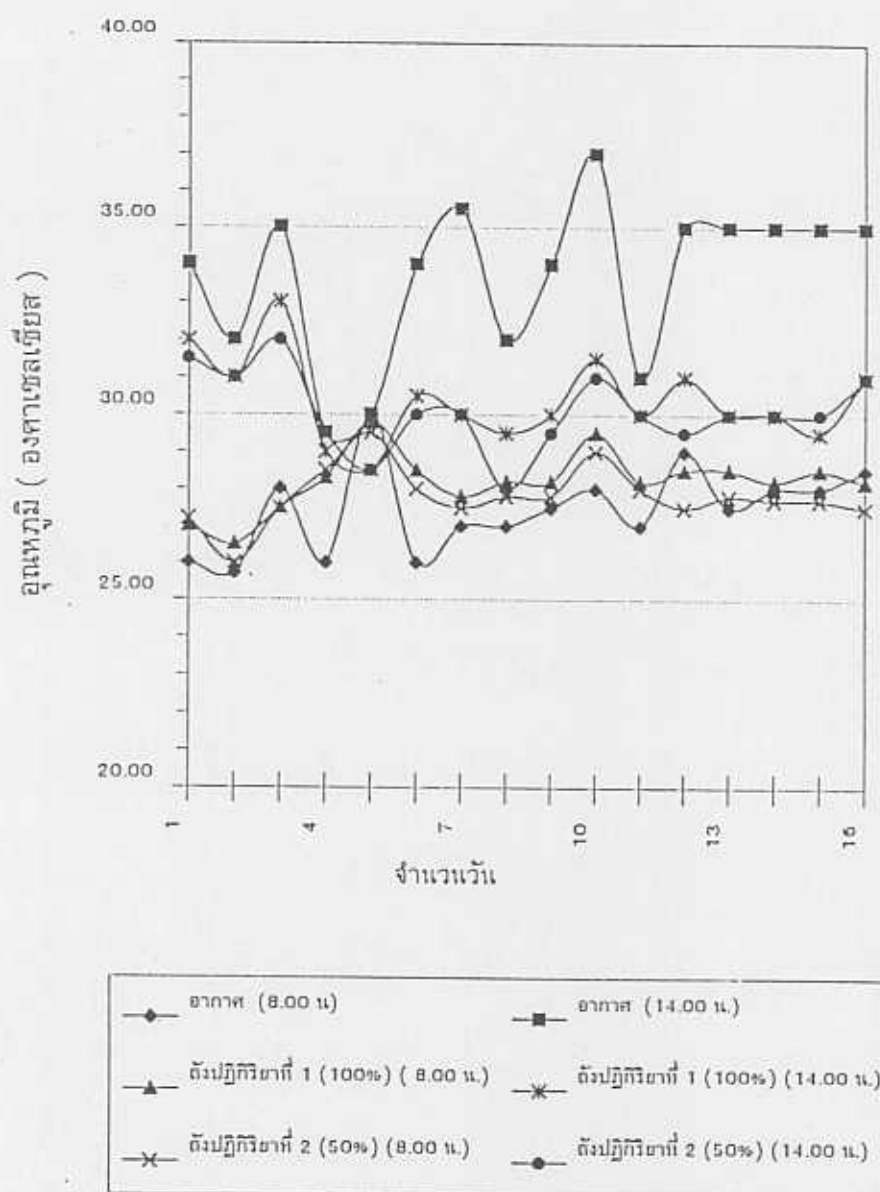
ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียในถึงปฏิบัติฯตั้งแต่ วันที่ 1 ถึงวันที่ 16 ของการทดลอง



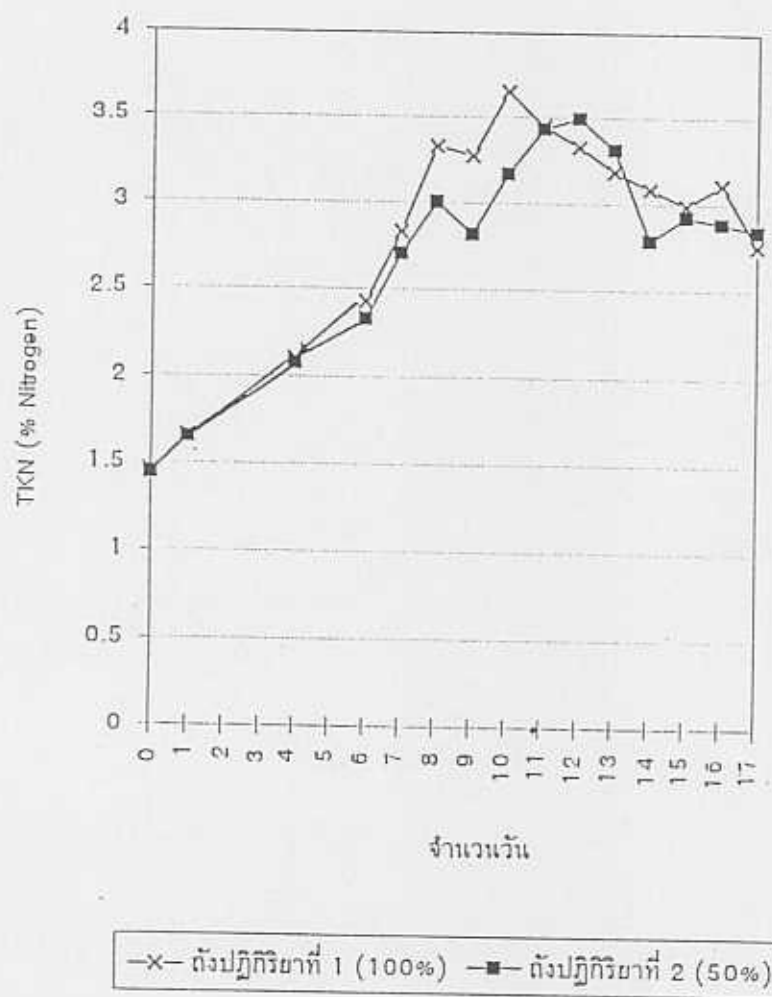
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของน้ำเสียในถังปฏิกิริยาตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 16 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ของน้ำเสียในถึงปฏิกิริยา ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 16 ของ การทดลอง



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)
ในถังปฏิบัติ ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 16 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมในกากคอกขบขบ (% ไนโตรเจน)
จากถึงปฏิบัติตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 17 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.6 ลักษณะของก้นผักตบชวาในถังปฏิริยาในวันที่ 2 ของการทดลอง



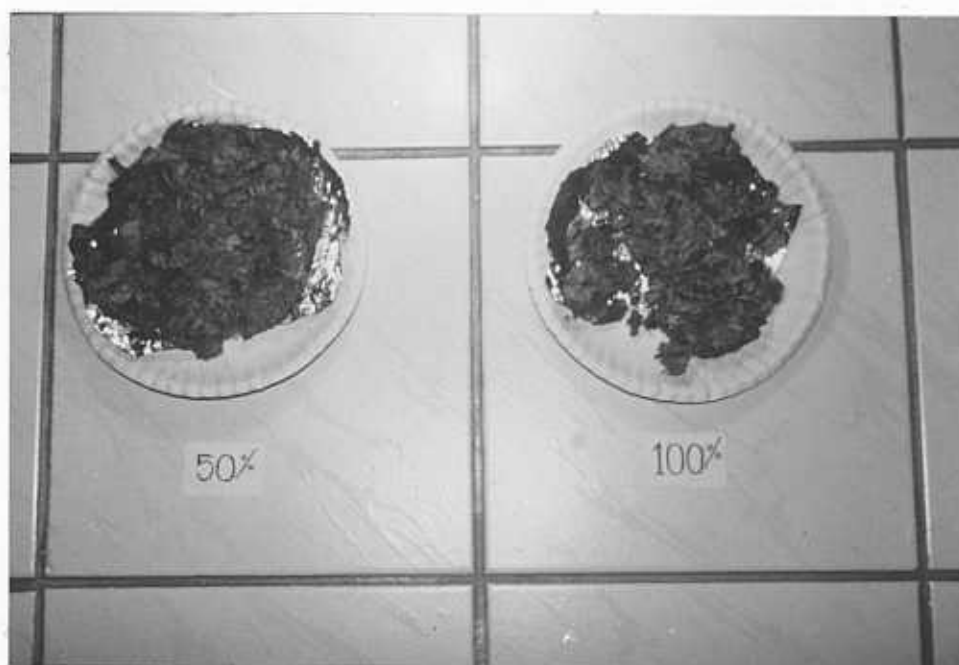
ภาพที่ 4.7 ลักษณะของก้นผักตบชวา และน้ำเสียในถังปฏิริยาในวันที่ 10 ของการทดลอง



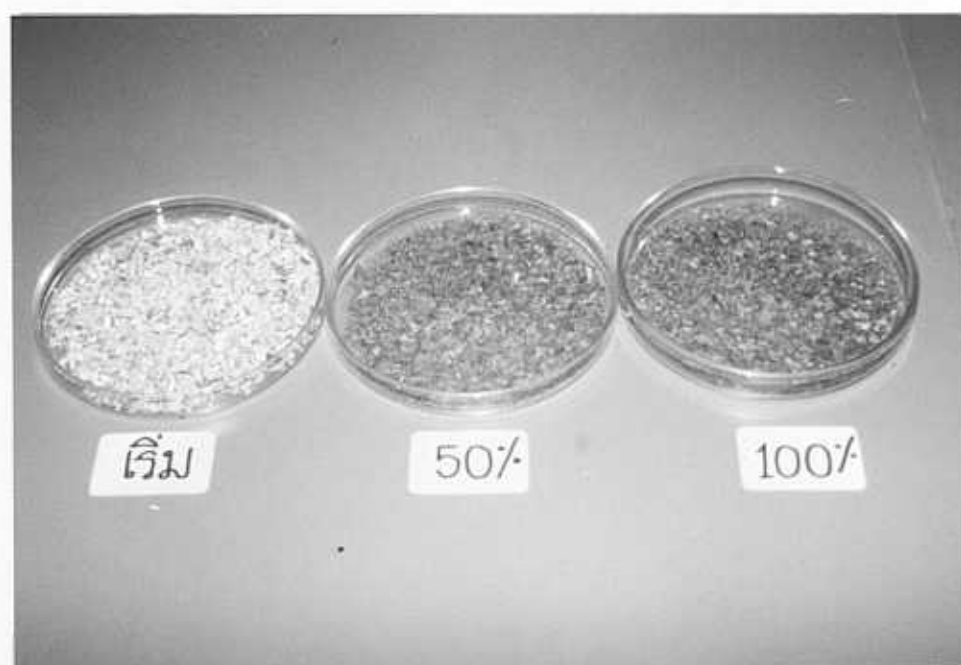
ภาพที่ 4.8 ลักษณะของก้านผักตบชวาจากถังปฏิริยาที่ใช้ น้ำเสียมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำร้อยละ 50 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.9 ลักษณะของก้านผักตบชวาจากถังปฏิริยาที่ใช้ น้ำเสียมีค่าความเข้มข้นสูงร้อยละ 100 ในวันที่ 10 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.10 ลักษณะของก้านผักตบชวาภายหลังจากอบแห้ง จนมีน้ำหนักคงที่



ภาพที่ 4.11 ลักษณะของก้านผักตบชวาก่อนการทดลอง และระหว่างทดลอง เมื่อนำมาหั่นให้ละเอียด