บทที่ 4

การศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมในการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษด้วยชีวภาพในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดที่ใช้สำหรับงานทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์

4.1. แผนการทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมในการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษโดยจุลินทรีย์ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่ใช้สำหรับงานทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้ซากปะการังตรึงจุลินทรีย์ ทำการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยใช้น้ำตาลทรายขาวและแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน ตามลำดับ และเติมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเร่งกระบวนการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนระบบที่ไม่ใช้ซากปะการังตรึงจุลินทรีย์ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการทดลองต่างกัน 3 สภาวะ คือ สภาวะที่หนึ่งเป็นชุดควบคุมไม่มีทั้งการเติมเชื้อจุลินทรีย์และไม่มีการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตู้ทดลอง (แทนสภาวะนี้ด้วยอักษร C) สภาวะที่สองเติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์แต่ไม่มีการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตู้ทดลอง ทั้งนี้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ (แทนสภาวะนี้ด้วยอักษร M) และสภาวะที่สามเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตู้ทดลอง เป็น 19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45 (แทนสภาวะนี้ด้วยอักษร M:C/N) แต่ละสภาวะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในระบบที่ใช้ซากปะการังเพื่อตรึงจุลินทรีย์ก็ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายใต้ 3 สภาวะที่กล่าวข้างต้นเช่นเดียวกัน (แทนแต่ละสภาวะด้วยอักษร CI, MI และ MI:C/N) ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 6 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) โดยทำการศึกษาที่ระดับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนดังนี้

1) C/N ratio 19.86 (อัตราส่วนน้ำตาลทรายขาวต่อแอมโมเนียมซัลเฟต 10:1 w/w)
2) C/N ratio 39.73 (อัตราส่วนน้ำตาลทรายขาวต่อแอมโมเนียมซัลเฟต 20:1 w/w)
3) C/N ratio 59.59 (อัตราส่วนน้ำตาลทรายขาวต่อแอมโมเนียมซัลเฟต 30:1 w/w)
4) C/N ratio 79.45 (อัตราส่วนน้ำตาลทรายขาวต่อแอมโมเนียมซัลเฟต 40:1 w/w)

ตารางที่ 6 สภาวะการทดลองของชุดทดลองต่างๆ ในการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) ในการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษด้วยชีวภาพในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์

สภาวะการทดลอง			
ชุดทดลอง	การใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (ซากปะการัง)	การเติมเชื้อจุลินทรีย์	การปรับอัตราส่วน C/N
C	-	-	-
M	-	เติม	-
M:C/N	-	เติม	ปรับ
CI	ใช้	-	-
MI	ใช้	เติม	-
MI:C/N	ใช้	เติม	ปรับ

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมน้ำทะเลและซากปะการัง การเตรียมตู้ทดลอง และ การตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

การเตรียมน้ำทะเลและซากปะการัง การเตรียมตู้ทดลอง การตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ทดลองโดยตรวจวัดค่า pH วิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และ ไนเตรท ดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีการดังที่กล่าวในบทที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำดำเนินการทุกๆ 2 วัน หลังจากปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตามที่กำหนดและเติมเชื้อจุลินทรีย์ (วันที่ 0) ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 14 วัน

4.2.2 การปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตู้ทดลองที่กำหนด โดยละลายน้ำตาลทรายตามปริมาตรที่คำนวณได้ในแต่ละอัตราส่วน (ภาคผนวก) ในน้ำทะเล 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำที่121°C 30 นาที รอให้สารละลายน้ำตาลทรายขาวเย็นลงแล้วจึงนำไปเติมในตู้ทดลอง และเติมแอมโมเนียมซัลเฟตที่ผ่านการอบที่ 110°C 2 ชั่วโมง ตู้ละ 10 mg/l โดยทำการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

4.2.3 การเติมเชื้อจุลินทรีย์

ใช้เชื้อจุลินทรีย์จากน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยเอกชนซึ่งใช้เชื้อเริ่มต้นจากภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เติมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเร่งกระบวนการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนในตู้ทดลองที่กำหนด ตู้ละ 1 มิลลิลิตร เพียงครั้งเดียวในวันที่เริ่มการทดลอง (วันที่ 0)

4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ระดับแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และ pH ที่ตรวจสอบได้ นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี One – way Analysis of Variance; ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0

4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

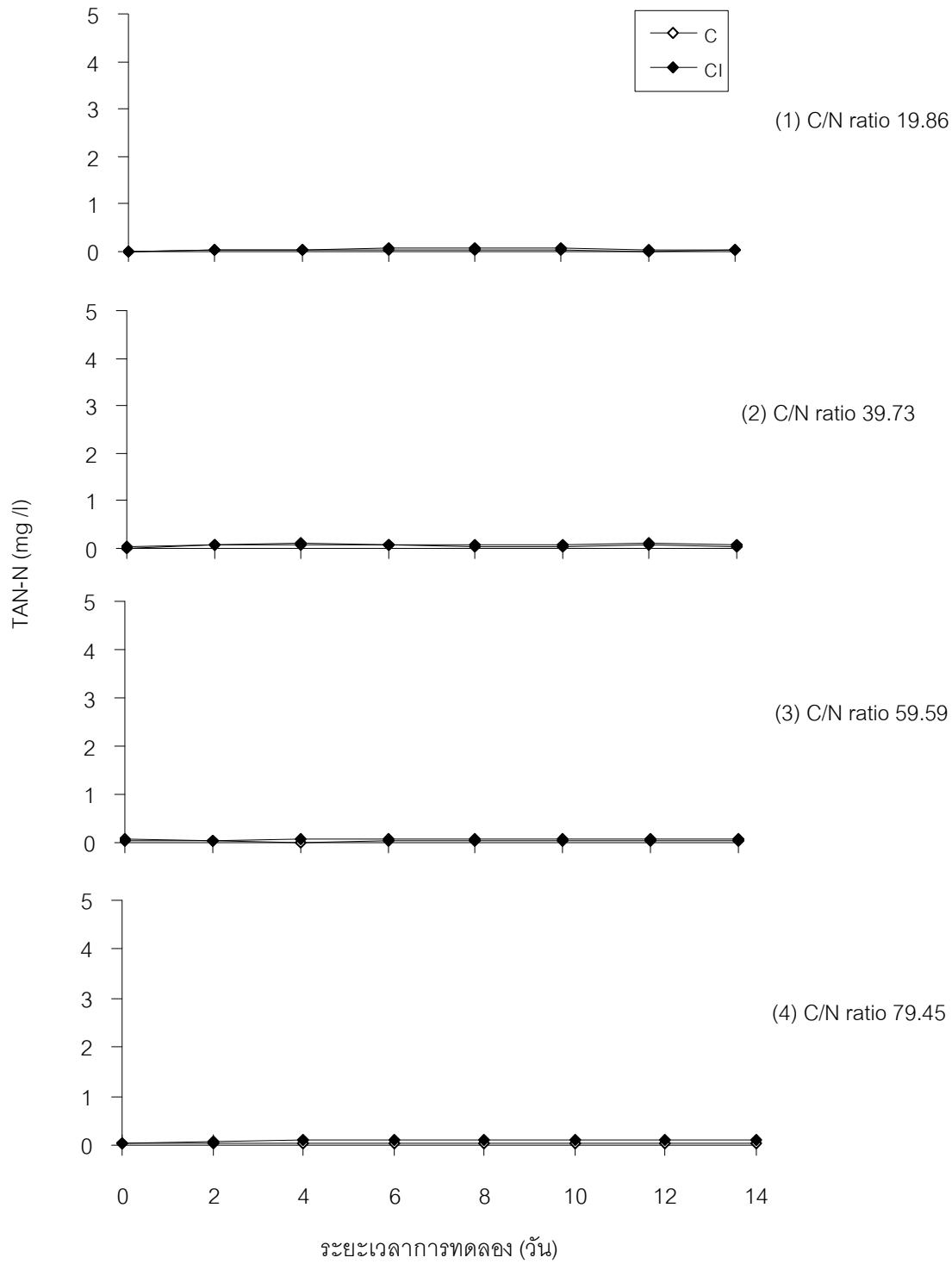
4.3.1 คุณภาพน้ำ

1. แอมโมเนีย

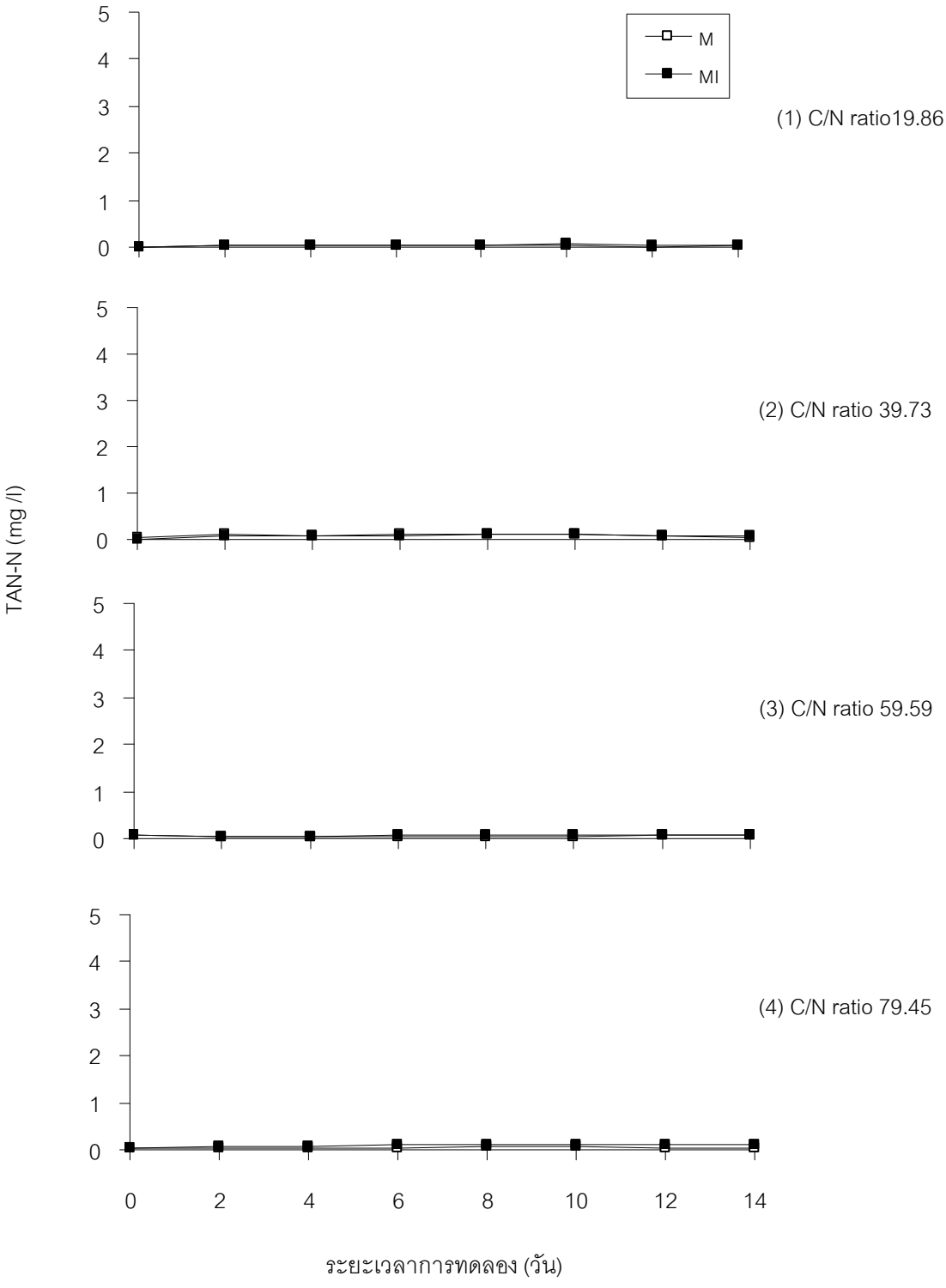
ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 10) จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยตรวจพบที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0.00-0.03, 0.04-0.08, 0.00-0.06 และ 0.03-0.05 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง C และ 0.01-0.07, 0.01-0.12, 0.04-0.08 และ 0.05-0.11 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง CI (ตารางที่ 13, 17, 21 และ 25)

ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ พบว่าของทั้งระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M) และระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 11) ระดับแอมโมเนียรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยตรวจพบในช่วง 0.01-0.04, 0.04-0.11, 0.02-0.07 และ 0.03-0.07 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M และ 0.01-0.06, 0.01-0.10, 0.03-0.08 และ 0.05-0.10 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI (ตารางที่ 13, 17, 21 และ 25)

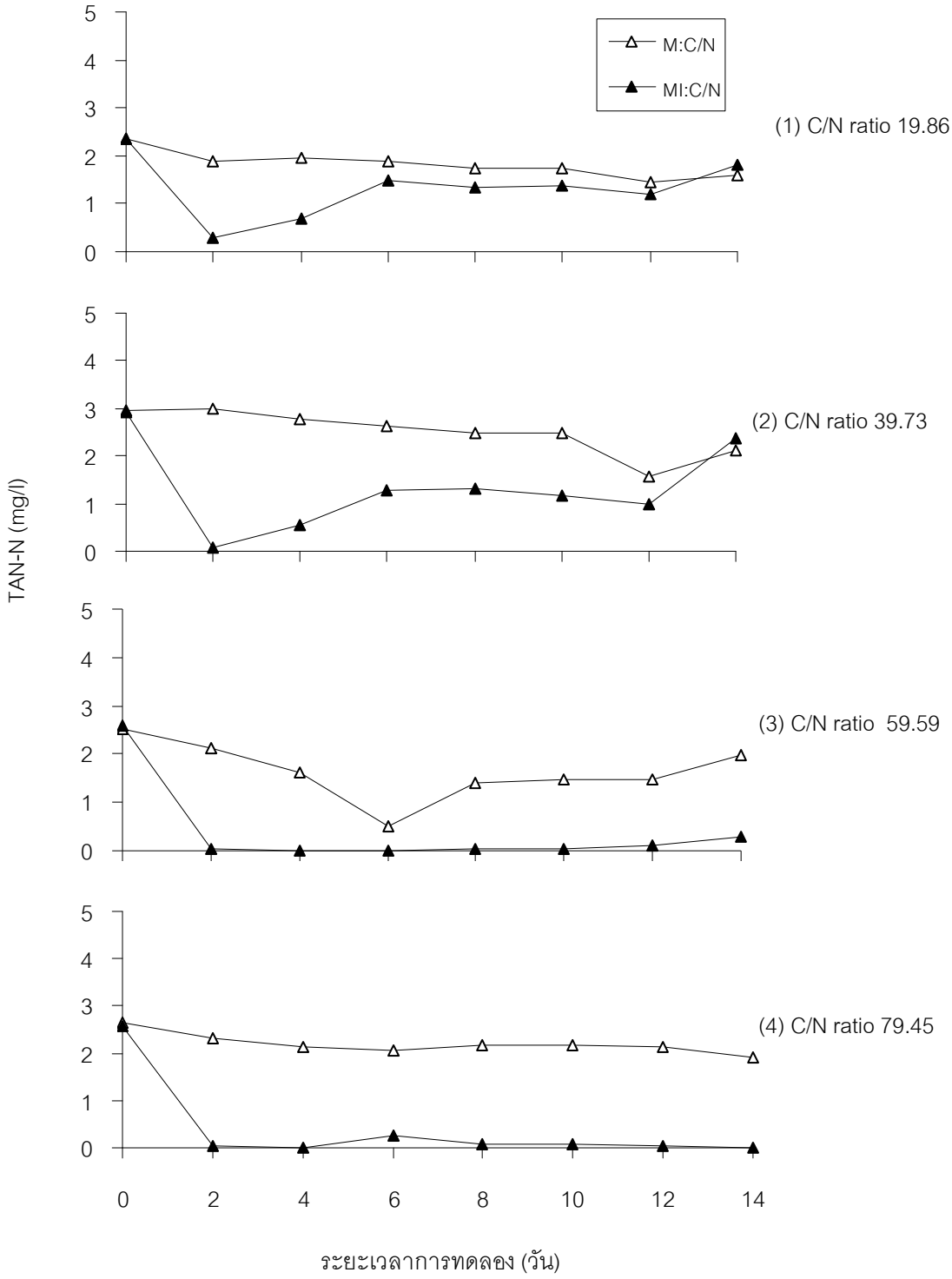
ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวมในตู้ทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ของชุดทดลองที่เติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับอัตราส่วน C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ ระยะเวลาการทดลอง 14 วัน (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง14 วัน

ตรวจพบการลดลงของระดับแอมโมเนียรวม โดยตรวจพบในช่วง 1.45-2.35, 1.56-29.27, 0.51-23.53 และ 1.90-2.66 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M:C/N ratio และ 0.29-2.36, 0.06-2.91, 0.00-2.60 และ 0.00-2.58 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI:C/N ratio (ตารางที่ 13, 17, 21 และ 25)

เมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นๆจะเห็นว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในชุดทดลองควบคุมและชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งระบบที่ไม่ใช้และและใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีแหล่งสารอินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดกระบวนการ ammonification (Bitton, 1994) ปริมาณที่ตรวจพบเพียงเล็กน้อยอาจมาจากส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล เมื่อทดสอบทางสถิติก็ไม่พบความแตกต่างระหว่างระบบของทั้งสองชุดทดลอง ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าซากปะการังที่ใช้เป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์ และการเติมเชื้อจุลินทรีย์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแอมโมเนียในน้ำ

ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวมในชุดทดลองที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ และปรับอัตราส่วน C/N ทั้งระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) พบว่าชุดทดลองที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ และปรับอัตราส่วน C/N เป็น 59.59 และ 79.45 ในระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์สามารถลดระดับแอมโมเนียรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากระดับ 2.60±0.43 mg/l ลดลงเหลือ 0.04±0.00 mg/l หลังระยะเวลาการทดลอง 2 วัน หลังจากนั้นระดับแอมโมเนียรวมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.00-0.28 mg/l สำหรับชุดทดลองที่ปรับอัตราส่วน C/N เป็น 59.59 ส่วนชุดทดลองที่ปรับอัตราส่วน C/N เป็น 79.45 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมลดลงจากระดับ 2.58±0.07 mg/l ลดลงเหลือ 0.04±0.02 mg/l หลังระยะเวลาการทดลอง 2 วัน หลังจากนั้นระดับแอมโมเนียรวมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.00-0.27 mg/l เป็นที่น่าสังเกตว่า ในชุดทดลองที่ปรับอัตราส่วน C/N เป็น 59.59 และ 79.45 ของระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ ระดับแอมโมเนียรวมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1.90-2.66 mg/l ตลอดระยะเวลาการทดลอง 14 วัน สำหรับชุดทดลองปรับอัตราส่วน C/N เป็น 79.45 ชุดทดลองที่ปรับอัตราส่วน C/N เป็น 59.59 ความเข้มข้นแอมโมเนียรวมลดลงจากระดับ 2.53±0.22 mg/l เหลือ 0.51±0.15 mg/l หลังระยะเวลาการทดลอง 6 วัน หลังจากนั้นระดับแอมโมเนียรวมกลับเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1.42-1.89 mg/l

การที่ชุดทดลองที่ใช้ซากปะการังเป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์ลดระดับแอมโมเนียรวมได้มากและรวดเร็วกว่าชุดทดลองที่ไม่ใช้ซากปะการัง เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นเมื่อใส่ซากปะการังเพื่อตรึงแบคทีเรียไว้ในรูพรุนซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wijffels และ Tramper (1995) และการปรับ C/N ratio เป็น 59.59 และ 79.45 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้สารประกอบไนโตรเจนถูกใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน กรดนิวคลีอิก และ สารประกอบอื่นๆ สำหรับ

เพิ่มจำนวนของเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ซากปะการังเป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์ร่วมกับการปรับ C/N ratio ในระบบให้เหมาะสมสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกล่าวได้ว่า C/N ratio เท่ากับ 59.59 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเพียงพอสำหรับการลดระดับของสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษด้วยชีวภาพในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดที่ใช้ซากปะการังเป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์

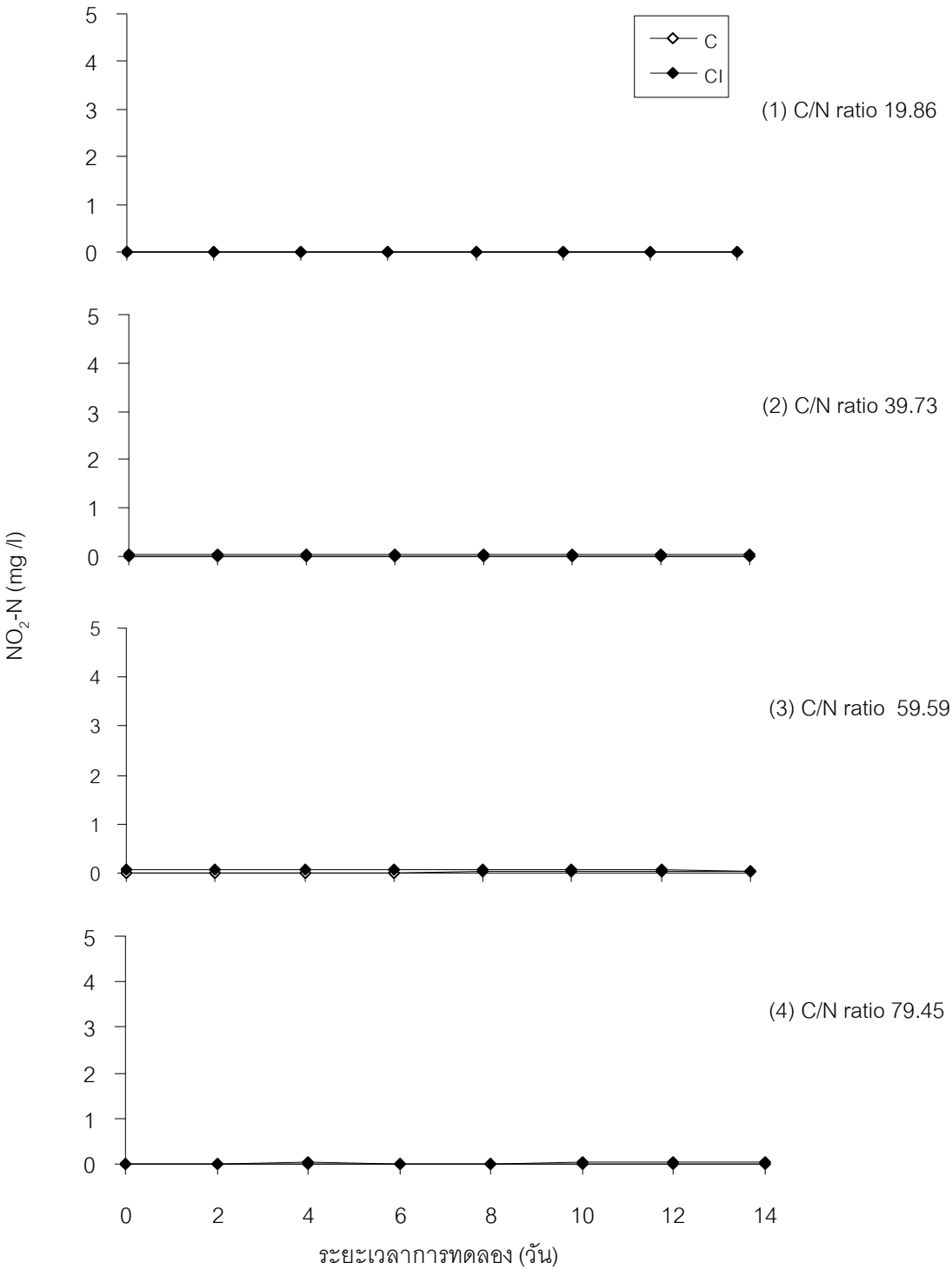
2. ไนไตรท์

ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นไนไตรท์ (NO_2-N) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 13) พบว่าระดับไนไตรท์แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.00-0.00, 0.00-0.01, 0.00-0.02 และ 0.00-0.01 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง C และ 0.00-0.01, 0.02-0.03, 0.04-0.07 และ 0.01-0.02 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง CI (ตารางที่ 94, 98, 102 และ 106)

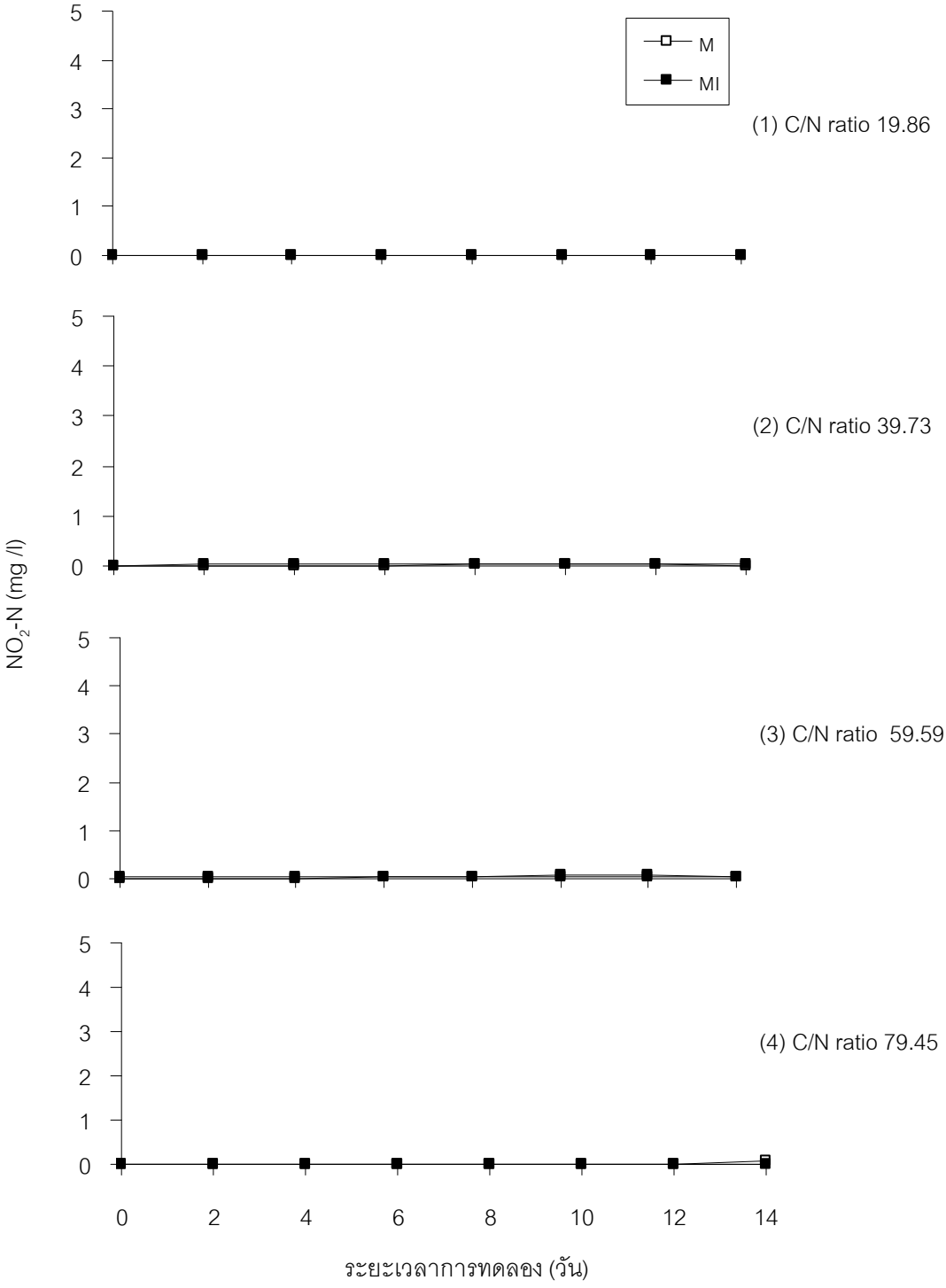
ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นไนไตรท์ ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ พบว่าของทั้งระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M) และระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 14) พบว่าระดับไนไตรท์ เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยตรวจพบในช่วง 0.00-0.01, 0.00-0.02, 0.00-0.02 และ 0.00-0.02 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M และ 0.00-0.01, 0.01-0.03, 0.04-0.05 และ 0.01-0.02 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI (ตารางที่ 94, 98, 102 และ 106)

ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นไนไตรท์ในตู้ทดลองชุดเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน (ภาพที่ 15) พบการลดลงของระดับไนไตรท์สามารถตรวจพบในช่วง 0.00-0.07, 0.00-0.02, 0.00-0.02 และ 0.00-0.02 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M:C/N และ 0.00-0.26, 0.00-0.02, 0.00-0.05 และ 0.00-0.01 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI:C/N (ตารางที่ 94, 98, 102 และ 106)

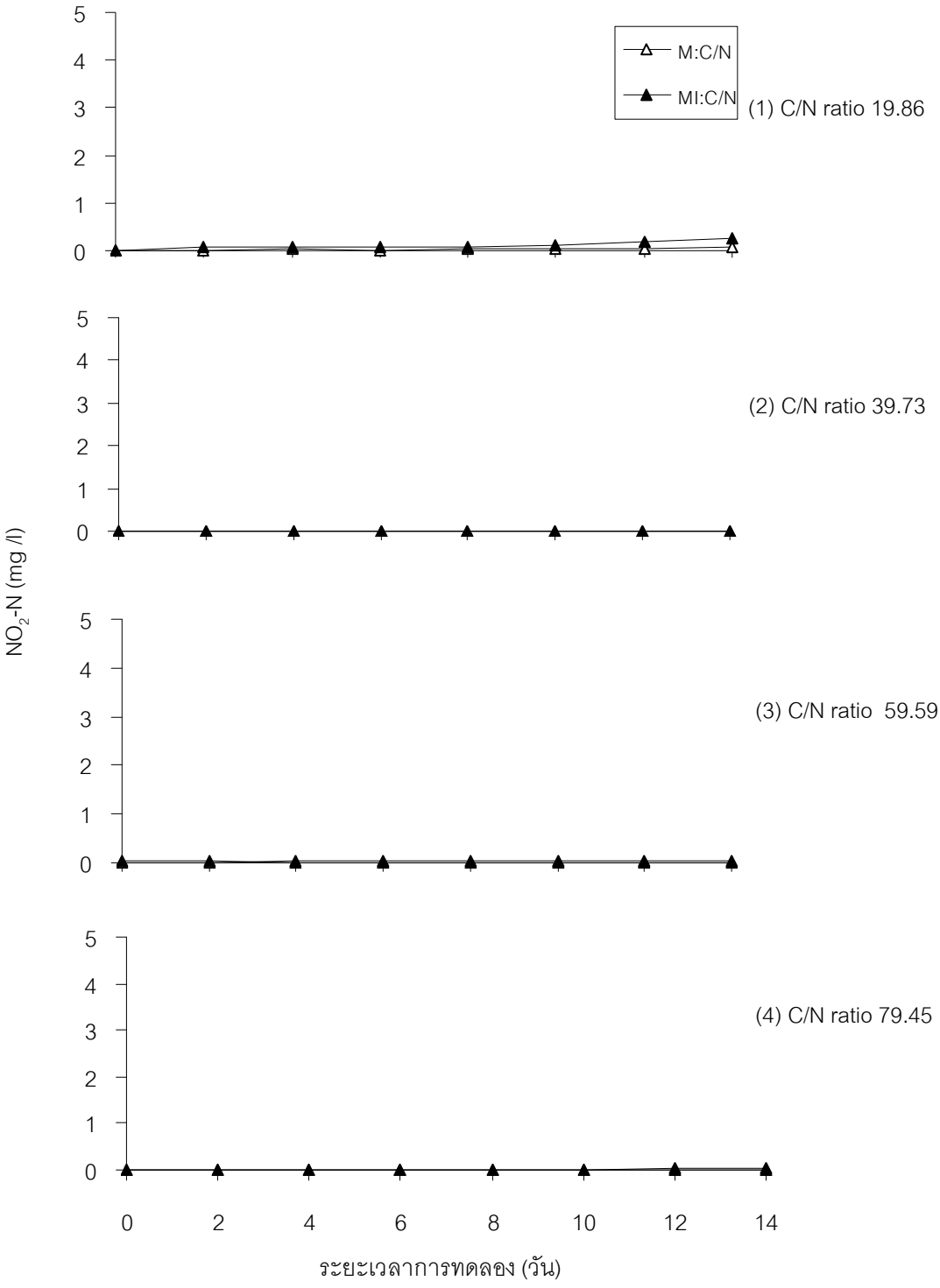
ในชุดทดลองควบคุมและชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ ระดับไนไตรท์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีแหล่งสารอินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดกระบวนการ ammonification และ nitrification ตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ชุดทดลองปรับ C/N ratio ทั้งระบบที่ใช้และไม่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ ระดับไนไตรท์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งที่ผลการทดลองมีการลดลงของระดับแอมโมเนียรวมอย่างชัดเจน อาจเป็นไปได้ว่า เมื่อระบบมี



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO_2-N) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึง จุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO_2-N) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO_2-N) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง14 วัน

อินทรีย์คาร์บอนเพียงพอ heterotrophic bacteria จะใช้แอมโมเนียในการสร้างองค์ประกอบเซลล์ (immobilization of inorganic nitrogen) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Avnimelech และคณะ (1989)

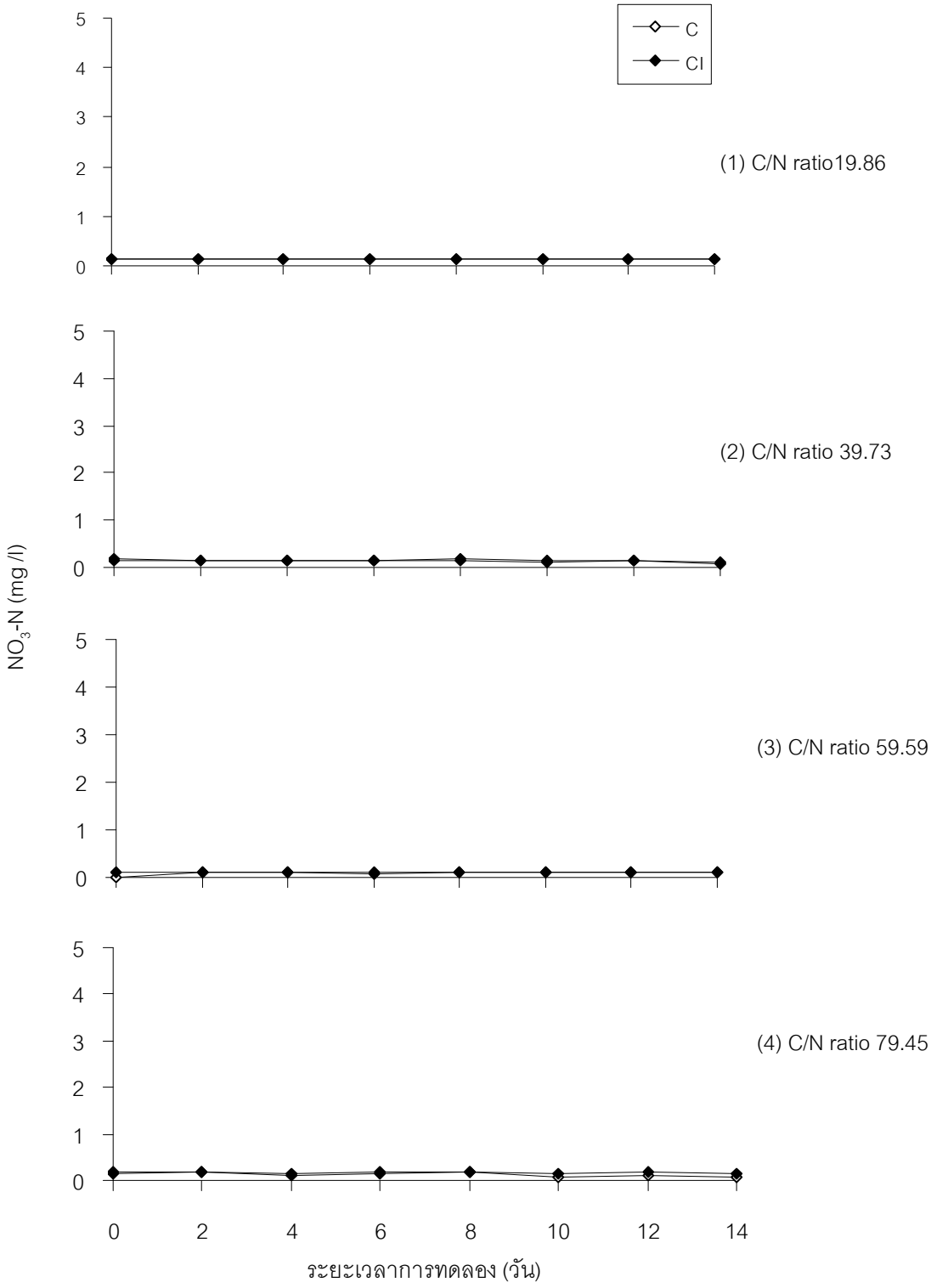
3. ไนเตรท

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นไนเตรท (NO_3-N) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ตลอดระยะเวลา 14 (ภาพที่ 16) พบว่าระดับไนเตรทแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.12-0.15, 0.12-0.17, 0.09-0.12 และ 0.09-0.18 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง C และ 0.14-0.15, 0.08-0.15, 0.08-0.12 และ 0.13-0.18 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง CI (ตารางที่ 95, 99, 103 และ 107)

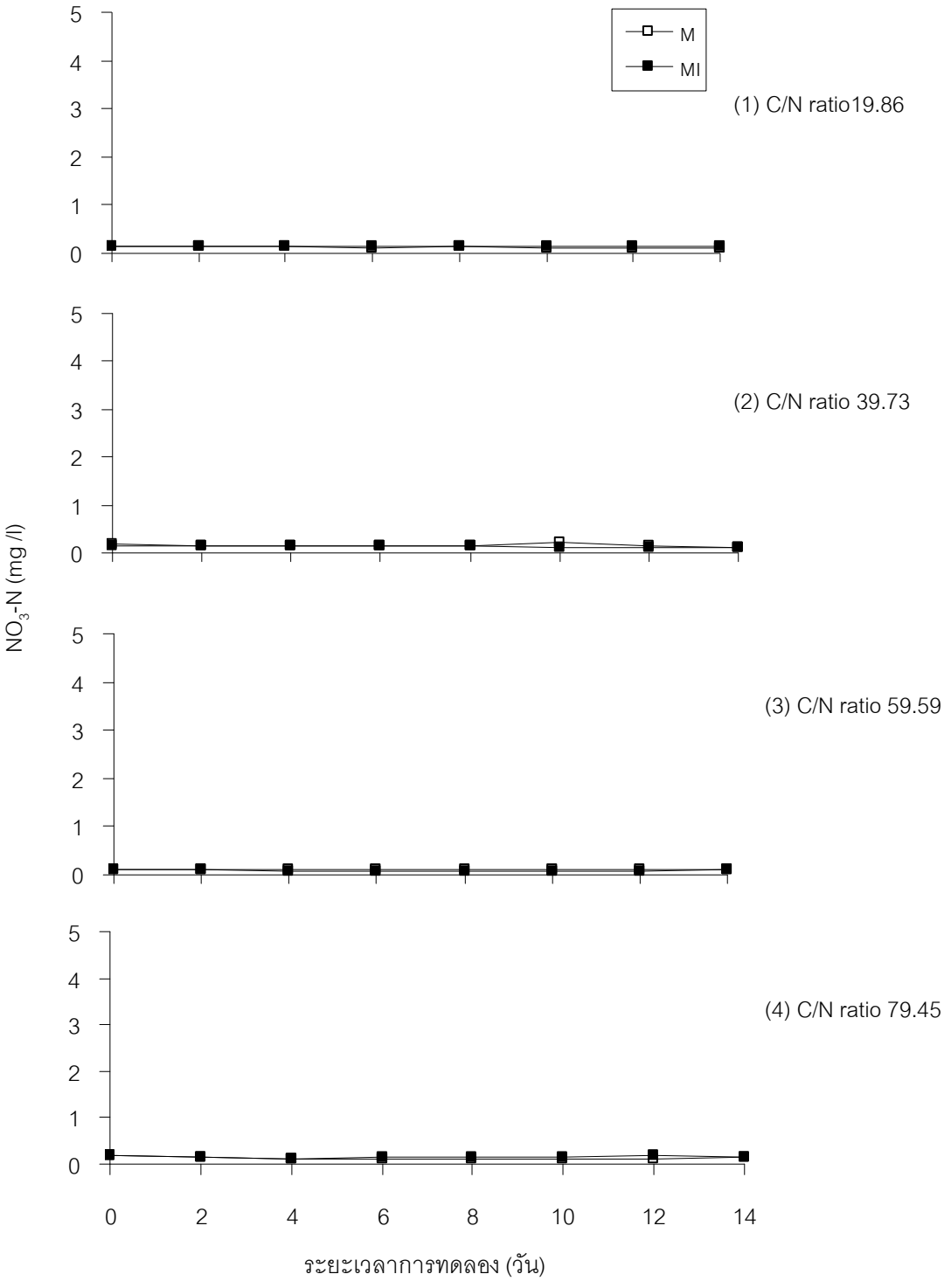
ผลการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นไนเตรท ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ พบว่าของทั้งระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M) และระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 17) ระดับไนไตรท์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สามารถตรวจพบในช่วง 0.12-0.15, 0.12-0.21, 0.10-0.12 และ 0.10-0.18 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M และ 0.13-0.16, 0.10-0.16, 0.08-0.11 และ 0.13-0.17 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI (ตารางที่ 95, 99, 103 และ 107)

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นไนเตรท ในตู้ทดลองชุดเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน (ภาพที่ 18) พบการลดลงของระดับไนเตรทสามารถตรวจพบในช่วง 0.06-0.13, 0.11-0.18, 0.11-0.13 และ 0.13-0.18 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M:C/N และ 0.00-0.15, 0.00-0.16, 0.00-0.11 และ 0.00-0.18 mg/l ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI:C/N (ตารางที่ 95, 99, 103 และ 107)

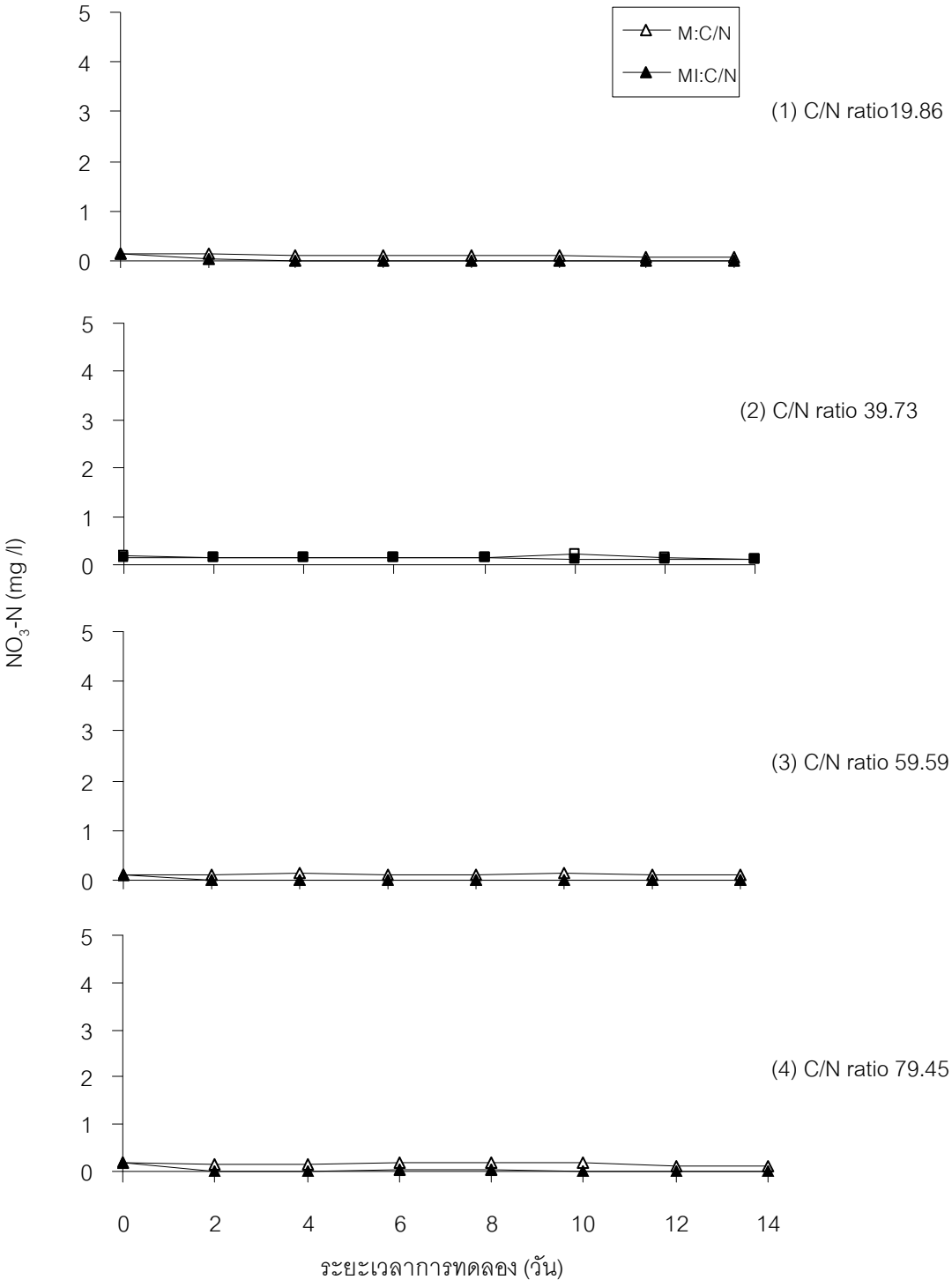
ในชุดทดลองควบคุมและชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งระบบที่ไม่ใช้และและใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีแหล่งสารอินทรีย์ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าชุดทดลองปรับ C/N ratio ทั้งระบบที่ใช้และไม่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ ระดับไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับระดับไนไตรท์ ทั้งที่ผลการทดลองมีการลดลงของระดับแอมโมเนียรวมอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากเมื่อระบบมีอินทรีย์คาร์บอนเพียงพอ heterotrophic bacteria จะใช้แอมโมเนียส่วนใหญ่ในการสร้างองค์ประกอบเซลล์ (immobilization of inorganic nitrogen) (Avnimelech *et al*, 1989; Gayle, 1989) และในระบบที่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N raio) ระดับ



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO_3-N) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึง จุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO_3-N) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO_3-N) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง14 วัน

ไนเตรทมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง อาจเนื่องมาจาก การใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มส่วนที่มีสภาวะขาดแคลนออกซิเจน และระบบมีอินทรีย์คาร์บอน ส่งเกิดให้เกิดกระบวนการ denitrification แม้ระบบที่มีการให้อากาศตลอดเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Tal และคณะ (2003)

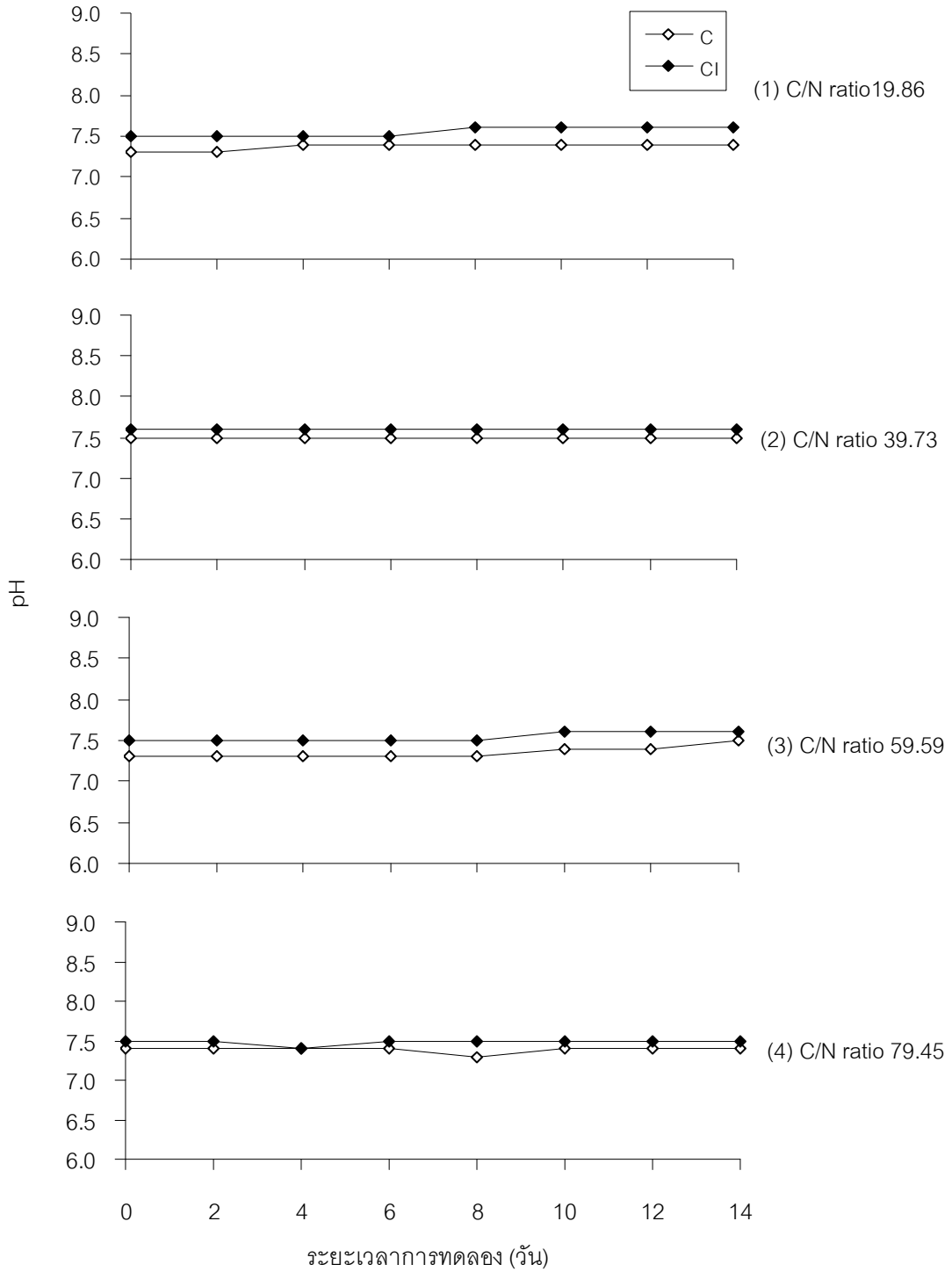
4. pH

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 19) พบว่าระดับ pH เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สามารถตรวจพบในช่วง 7.3-7.4, 7.5, 7.3-7.5 และ 7.3-7.4 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง C และ 7.5-7.6, 7.6, 7.5-7.6 และ 7.4-7.5 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง CI (ตารางที่ 16, 20, 24, 28)

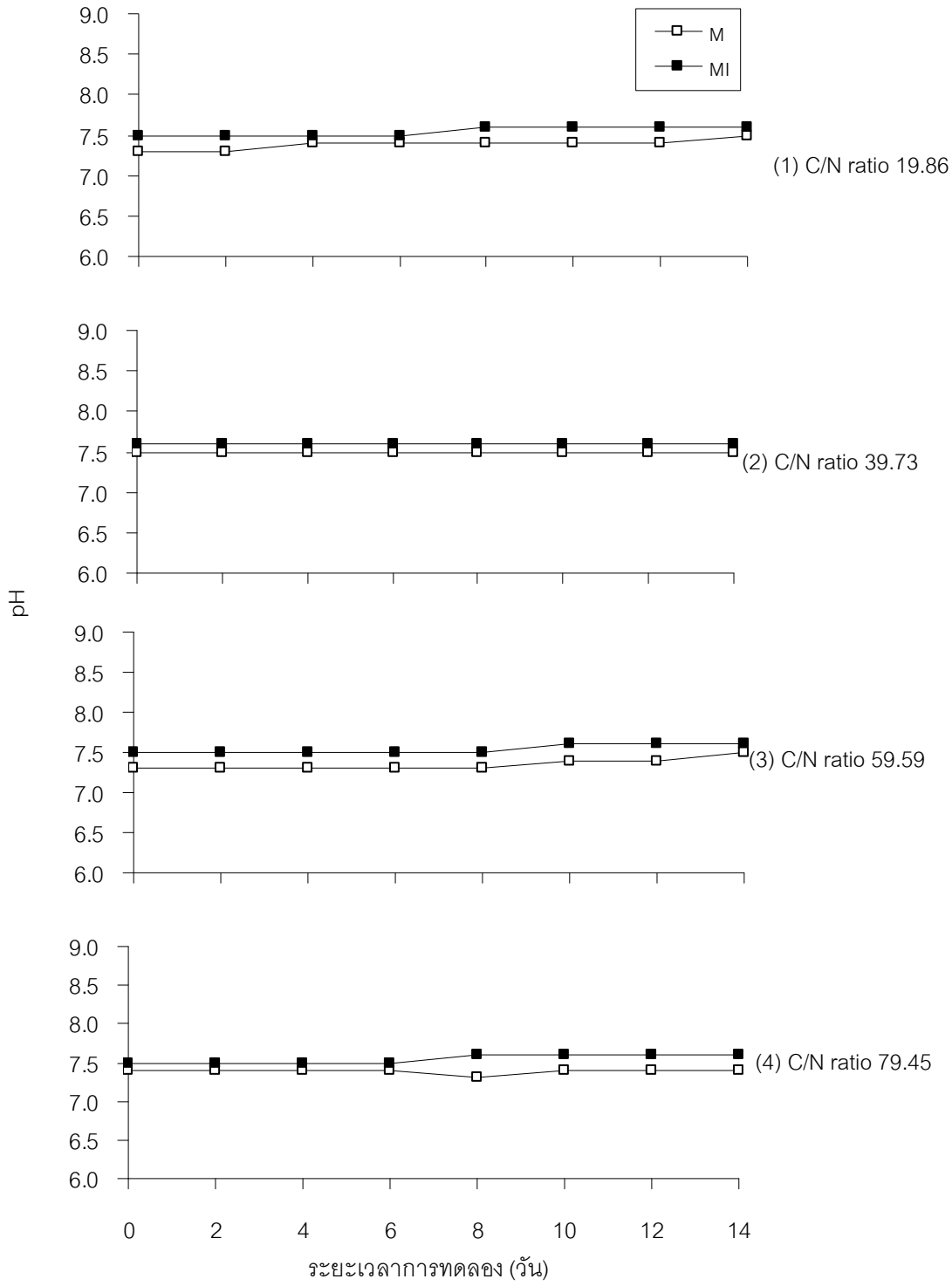
ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ พบว่าของทั้งระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M) และระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ตลอดระยะเวลา 14 วัน (ภาพที่ 20) ระดับ pH เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สามารถตรวจพบในช่วง 7.3-7.5, 7.5, 7.3-7.5 และ 7.3-7.4 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M และ 7.5-7.6, 7.5, 7.5-7.6และ 7.5 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI (ตารางที่ 16, 20, 24, 28)

ผลการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในตู้ทดลองชุดเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน (ภาพที่ 21) พบการลดลงของระดับ pH ตรวจพบในช่วง 7.1-7.5, 7.3-7.5, 7.3-7.5 และ 7.2-7.4 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง M:C/N ratio และ 7.2-7.9, 7.1-7.9, 7.3-7.9 และ 7.2-7.9 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลอง MI:C/N ratio (ตารางที่ 16, 20, 24, 28)

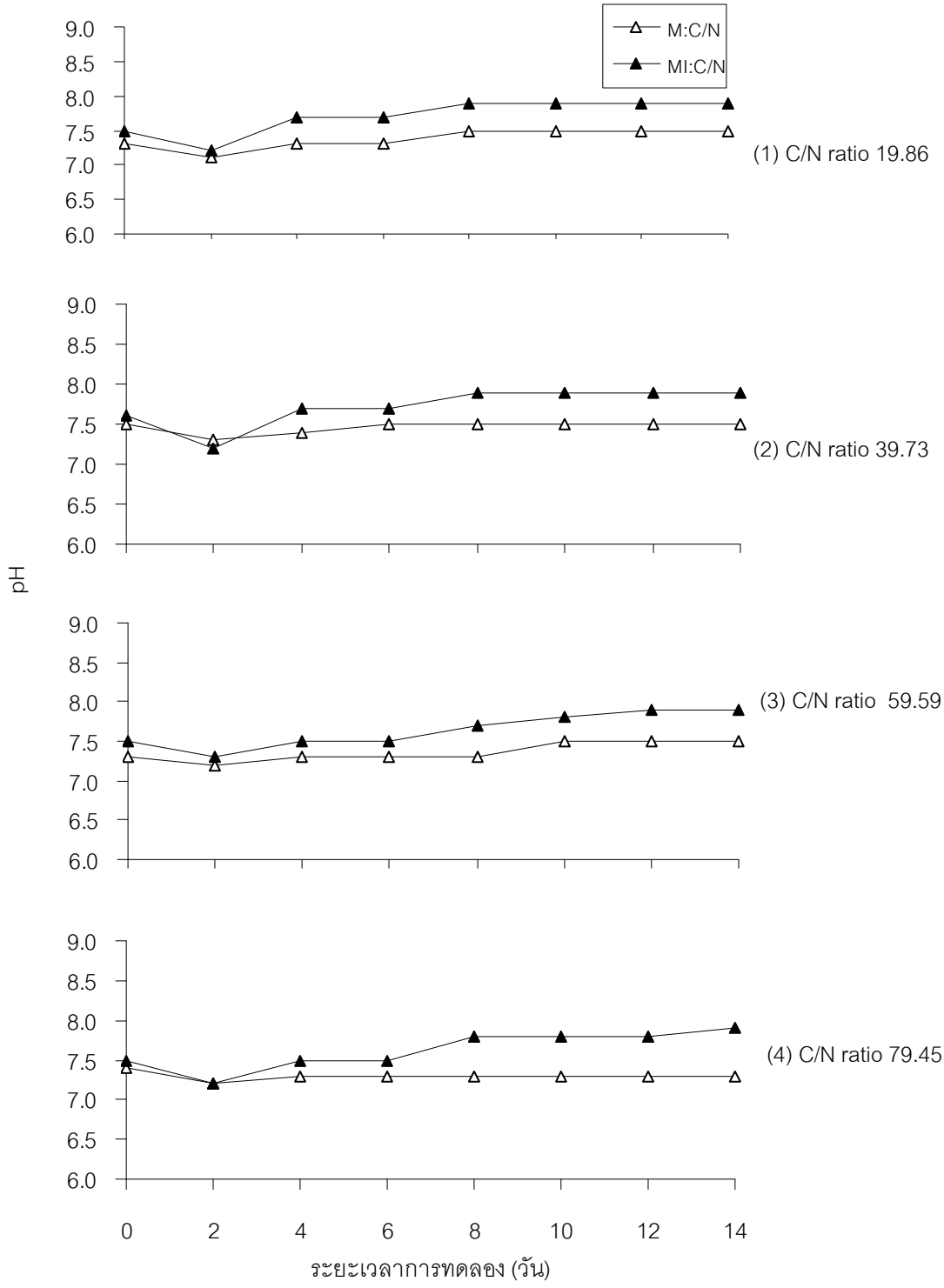
เมื่อเปรียบเทียบระดับ pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองควบคุมและชุดที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ ระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง 14 วัน พบว่าระดับ pH ของทั้ง 2 ชุดควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เพียงเล็กน้อย แต่ค่า pH ระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากวัสดุที่มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอเนตเช่น เปลือกหอย ซากปะการัง หินปูน หรือหินอ่อน จะช่วยเพิ่มความเป็นด่าง (carbonate และ bicarbonate) ในน้ำ (Birkeland, 1997; Barnes and Hughes, 1999) ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าการใช้ซากปะการังเป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์จึงมีผลทำให้ pH ในระบบตู้เลี้ยงกุ้งทดลองสูงขึ้น



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio ทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง14 วัน

ผลการเปลี่ยนแปลง pH ในตู้ทดลองของระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และ ใช้ซากปะการังตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) เมื่อปรับ C/N ratio ต่างๆกัน ดังแสดงในภาพที่ 21 พบว่าระหว่างวันที่ 2 ของการทดลองทั้งระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ระดับ pH ลดลง หลังจากนั้น ระดับ pH เพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาพบว่าในชุดทดลองที่มีการปรับ C/N ratio มีการลดลงของระดับแอมโมเนีย แสดงให้เห็นว่านอกจากจะมีการใช้แอมโมเนียในการสังเคราะห์เซลล์ยังมีกระบวนการ nitrification เกิดขึ้นด้วยทั้งในระบบที่ใช้และไม่ใช้การตรึงจุลินทรีย์ในช่วงแรกของระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากกระบวนการ nitrification จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และ H^+ ออกมาทำให้ pH ในน้ำลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Boyd (1990) นอกจากนั้นในชุดทดลองที่ใช้ซากปะการัง ระดับ pH ที่ระยะเวลาทดลองเท่ากัน ระดับ pH มักจะสูงกว่า ในชุดทดลองที่ไม่ใช้ซากปะการัง น่าจะมีผลมาจากซากปะการังซึ่งมีส่วนประกอบเป็นคาร์บอเนต ช่วยเพิ่มความเป็นด่างในน้ำ ทำให้ระบบทนต่อการเปลี่ยนแปลง pH (Birkeland, 1997) และเนื่องจากระบบตู้เลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์จะช่วยเพิ่มพื้นที่ที่มีสภาวะกึ่งไร้ออกซิเจน จึงช่วยเพิ่มอัตรา denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ความเป็นด่างกลับมาด้วย