

**การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง
ด้วยระบบจุลินทรีย์ติดเกาะบนแผ่นตาข่าย**
**Removal of Nitrogen and Phosphorus in Wastewaters
by Bio-Net System**

อรุณวรรณ (บุญก่อสร้าง) หวังกอบเกียรติ¹ นุกูล อินทรสังขา¹
วิเชียร ยงมานิตชัย¹ หยกแก้ว ยามาลี² และ ยงยุทธ เขียมไชยศรี³
Arunwon (Boongorsrang) Wungkobkiat, Nugul Intrasungkha,
Wichien Yongmanitchai, Yokkaow Yamali and Yongyut Chiemchaisri

ABSTRACT

[Bio-Net is a fixed-film biomass system which supporting media were made of nylon net. In this experiment, the paralleled supporting media were placed vertically in a 5.1 litre aeration tank in which air was supplied by diffusers inserted between the media. Wastewater was fed to the reactor at the rate of 15 l/d continuously; with the influent consisted of 500 mg/l COD, 100 mg/l ammonia nitrogen and 50 mg/l phosphorus.]

The objective of this study was to prove the potential removal of nitrogen and phosphorus by the system. The study was divided into 3 sections. Section 1 was the single stage Bio-Net system where by 3 types of supporting media were compared. Section 2 was the two stage Bio-Net system where the first step was COD removal and the other was nitrification. Section 3, algae were screened for efficiency in removal of nitrogen and phosphorus from the first step effluent (ammonia wastewater) and from the second step effluent (nitrate wastewater) of the two-stage system. The selected alga was cultured simultaneously with nitrifying bacteria in the Bio-Net system. The results showed that the single layer nylon net was the best for the attachment of microorganisms. Although the single stage could removed COD efficiently, nitrification occurred nearly 100% in the second stage. Cultivation of an alga together with nitrifying bacteria improved nitrogen and phosphorus removal.

บทคัดย่อ

[ระบบกำจัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์ติดเกาะบนแผ่นตาข่าย หรือระบบ “ไบโอ-เน็ต” นี้เป็นระบบที่ประกอบด้วยถังเติมอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5.1 ลิตร มีแผ่นตาข่ายสี่เหลี่ยมวางท่างกันอย่างขนานเป็นระยะ ๆ ในแนวดิ่ง และมีท่อให้อากาศสอดอยู่ระหว่างแผ่นตาข่ายเหล่านั้น การกำจัดน้ำทิ้งเป็นแบบต่อเนื่อง อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบ 15 ลิตรต่อวัน น้ำทิ้งมีส่วนประกอบของซีโอดี แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็น 500, 100 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ] เนื่องจากระบบนี้เคยทดลองได้

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900
Department of Microbiology, Faculty of Science, Kasetsart University Bangkok 10900, Thailand;

²สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University;

³ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900
Department of Biochemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

ผลดีมาแล้วในการกำจัดน้ำทิ้งพวกอินทรีย์สาร มีจุลินทรีย์ติดเกาะอย่างดี สำหรับการทดลองครั้งนี้ต้องการทดสอบศักยภาพของระบบไบโอ-เนตนี้ในการกำจัดสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

การศึกษาแบ่งเป็น 3 ตอน ตอนแรก ได้ศึกษาถึงศักยภาพของระบบขั้นเดียว โดยใช้แผ่นตาข่าย และตัวกลางอื่น ๆ 3 แบบ ตอนที่สอง ใช้ระบบสองขั้น โดยขั้นแรกเพื่อกำจัดซีโอดี และขั้นสองเพื่อกำจัดแอมโมเนียและตอนที่สามทำการคัดเลือกสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพในการใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสมาทำงานร่วมกับแบคทีเรียไนโตรไฟอิง เพื่อช่วยกำจัดแอมโมเนีย, ฟอสฟอรัสและไนเตรด ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สองของระบบไบโอ-เนต

ผลปรากฏว่าการใช้ตัวกลางที่เป็นตาข่ายในลอนเพียงอย่างเดียวให้ผลในการติดเกาะของจุลินทรีย์ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้ระบบขั้นเดียวแม้ซีโอดีลดลงไปกว่า 90% ไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อใช้ระบบสองขั้นแบคทีเรียไนโตรไฟอิงสามารถกำจัดแอมโมเนียได้เกือบ 100% และเมื่อใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนโตรไฟอิงสามารถลดปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสได้เพิ่มขึ้น

กํานนำ

ระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบจุลินทรีย์ติดเกาะแผ่นตาข่ายหรือให้ชื่อว่า “ไบโอ-เนต” นี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งพวกคาร์โบไฮเดรต โดย Maeda และ Boongorsrang (1977) ระบบนี้เป็นระบบที่ควบคุมง่าย ไม่ต้องการควบคุมตะกอนไหลกลับ (sludge return) และยังแก้ปัญหาตะกอนลอยตัว (sludge bulking) ซึ่งมักเกิดในระบบแอคติเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) ได้ด้วย ระบบไบโอ-เนตนี้ จุลินทรีย์พวกที่ใช้คาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นสายอยู่ด้วย จะเกาะติดอยู่กับแผ่นตาข่ายในถังให้อากาศ การให้อากาศในระบบนี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นดังที่เกิดขึ้นในระบบทริกคลิงฟิลเตอร์ (trickling filter) ซึ่งมีการถ่ายเทอากาศไม่พอ ส่งกลิ่นเหม็น มีปัญหาการอุดตันภายในระบบเนื่องจากการหลุดลอกของเมือกจุลินทรีย์ ระบบไบโอ-เนตนี้สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ให้หมดไปได้

ในระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาโดยทั่วไป มักจะเน้นเฉพาะการลดปริมาณอินทรีย์สารในน้ำทิ้ง ซึ่งความจริงแล้วยังมีสารประกอบบางชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกเช่นกัน โดยเฉพาะ สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เนื่องจากสารดังกล่าวนี้เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชต่าง ๆ ถ้ามีปริมาณมากก็จะกระตุ้นให้พืชน้ำ เช่น ผักตบชวาและสาหร่าย มีการแพร่ขยายพันธุ์ขึ้นอย่างมากมาย เป็นเหตุให้แหล่งน้ำนั้นเสื่อมโทรมลงอย่างมาก ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า “eutrophication” (Finstain, 1972; Medine และ Porcella, 1982) สำหรับการศึกษา เกี่ยวกับการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน ได้มีผู้ทำการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทั้งในระบบแอคติเวเตดสลัดจ์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง แต่มีปัญหาตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบง่าย (sludge wash out) (Reeves, 1972) และระบบที่จุลินทรีย์ยึดเกาะ เช่นระบบทริกคลิงฟิลเตอร์ แต่มีปัญหาอากาศไม่พอ และระบบ rotating biodisc contactor ซึ่งใช้ได้ผลดีมีประสิทธิภาพสูง (Boongorsrang และคณะ, 1982 a,b) ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดฟอสฟอรัส ยังมีผู้ทำการศึกษาน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์แขวนลอย (Riding และคณะ, 1979; Burdisk และคณะ, 1982)

เนื่องจากระบบไบโอ-เน็ต เป็นระบบที่ควบคุมง่ายดังกล่าวแล้วแต่ยังไม่ได้ทำการศึกษาในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมาก่อน ในงานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัณยภาพของระบบไบโอ-เน็ตนี้ ในการกำจัดสารประกอบทั้งสองซึ่งปะปนกับอินทรีย์สารพวกแป้ง การทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ตอนดังนี้

1. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในระบบขั้นเดียว (single stage Bio-Net system) และศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ด้วย
2. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยใช้ระบบสองขั้น (two stage Bio-Net system) ขั้นแรกกำจัดอินทรีย์สาร ส่วนขั้นสองกำจัดแอมโมเนีย
3. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสโดยใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียในτριไฟอิง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบขั้นเดียว ด้วยตัวกลางต่างชนิดกัน

1.1 ถังทดลอง (ภาพที่ 1) ทำจากแผ่น acrylic plastic ขนาดกว้าง 14 ซม. ยาว 40 ซม. และสูง 25 ซม. ประกอบด้วยส่วนเติมอากาศ (aeration tank) ที่มีความจุน้ำถึง 5.1 ลิตร และส่วนตกตะกอน (settling tank) ที่มีความจุน้ำถึง 1 ลิตร

1.2 ตัวกลางแบบต่าง ๆ 3 แบบ (ภาพที่ 2) มีรายละเอียดดังนี้

แบบที่ 1 เป็นตัวกลางที่ทำมาจากตาข่ายไนลอนจึงด้วยกรอบพลาสติก มีขนาดกว้าง 12 ซม. ยาว 20 ซม.

แบบที่ 2 เป็นตัวกลางที่ดัดแปลงมาจากแบบที่ 1 โดยนำตัวกลางแบบที่ 1 มาประกบกัน 2 แผ่น เกิดช่องว่างตรงกลาง 1.5 ซม. ใส่ท่อ PVC (polyvinyl chloride) ลงในช่องว่าง ท่อ PVC เหล่านี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก 0.9 ซม. และวงใน 0.7 ซม. ใส่ปริมาณ 70 ท่อต่อตัวกลาง 1 ชุด

แบบที่ 3 เป็นตัวกลางที่ดัดแปลงมาจากตัวกลางแบบที่ 1 เช่นเดียวกันกับตัวกลางแบบที่ 2 แต่ใส่ลูกแก้วแทนท่อ PVC ลูกแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ซม. ใส่ปริมาณ 50 ลูกต่อตัวกลาง 1 ชุด

1.3 น้ำทิ้ง ใช้น้ำทิ้งเทียม เป็นน้ำทิ้งอินทรีย์สารที่มีสารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสปะปนเป็นปริมาณ แสดงส่วนประกอบดังในตารางที่ 1

1.4 วิธีการทดลอง ใช้เชื้อผสมของจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งปรับตัวใช้สารในน้ำทิ้งชนิดนี้แล้วเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน ปลูกเชื้อในถังทดลองตามวิธีของ Maeda และ Boongorsrang (1977) ให้อากาศและทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง การทดลองครั้งนี้ใช้ถังทดลอง 3 ถัง ใช้ตัวกลางถึงละแบบ โดยให้มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบเท่ากับ 15 ลิตรต่อวัน อย่างต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนการกำจัดและน้ำที่ผ่านการกำจัด วัดและวิเคราะห์ค่า COD แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสฟอรัส และเปรียบเทียบความสามารถในการลดปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อใช้ตัวกลางทั้ง 3 แบบนี้

2. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบไบโอ-เน็ตแบบ 2 ขั้น

2.1 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในตรีไฟอิงในระบบไบโอ-เน็ต

นำเชื้อเริ่มต้นซึ่งเป็นเชื้อผสมของแบคทีเรียในตรีไฟอิงหลายสายพันธุ์ ใส่ลงในถังทดลอง

ของระบบไบโอ-เน็ท ขนาดดังทดลองเท่ากับข้อ 1.1 และมีตัวกลางแบบที่ 1 เดิมอากาศเป็นเวลา 48 ชม. เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะกับตาข่ายก่อนที่จะทำการเติมน้ำทิ้งแอมโมเนียเพื่อใช้เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 7 ลิตรต่อวัน (ต่อมาเพิ่มขึ้นเป็น 15 ลิตรต่อวัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบมากขึ้น) น้ำทิ้งแอมโมเนียมีสูตรดังในตารางที่ 1 แต่ไม่มีส่วนประกอบของแป้งมันสำปะหลัง และ Bovril ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และ pH ในน้ำทิ้งก่อนการกำจัดและน้ำที่ผ่านการกำจัด เป็นระยะ ๆ จนกระทั่งระบบสามารถเปลี่ยนแอมโมเนีย ให้เป็นไนเตรตได้เป็นส่วนใหญ่และสามารถเห็นจุลินทรีย์ติดเกาะกับตาข่าย

2.2 วิธีการทดลองด้วยระบบไบโอ-เน็ท แบบ 2 ชั้น

ทำการเชื่อมต่อบริเวณไบโอ-เน็ท 2 ระบบเข้าด้วยกัน (ดังแสดงในภาพที่ 1-c) โดยใช้ถังไบโอ-เน็ท ที่ทำการกำจัดน้ำทิ้งในข้อ 1.4 เป็นการกำจัดในชั้นแรก (ลดปริมาณอินทรีย์สาร) และใช้ถังทดลองในระบบไบโอ-เน็ท ที่เพาะเลี้ยงแบคทีเรียไนตริไฟอิงไว้ล่วงหน้า ในข้อ 2.1 เป็นการกำจัดชั้นที่สอง (ลดปริมาณแอมโมเนียด้วยวิธีไนตริฟิเคชัน) เติมน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบในชั้นแรก แล้วให้น้ำที่ผ่านการกำจัดไหลเข้าสู่ระบบชั้นที่สอง ด้วยอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 15 ลิตรต่อวัน เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนการกำจัด และน้ำที่ผ่านการกำจัดทั้ง 2 ชั้นนี้ ตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ COD แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสฟอรัสและ pH

3. ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้สาหร่าย

3.1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำที่ผ่านการกำจัดชั้นแรกและชั้นที่สองของไบโอ-เน็ท แบบ 2 ชั้น

3.1.1 สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ *Chlorella* sp. K3, *Uronema* sp. 80, *Ulothrix* sp. 81 และ *Spirulina* sp. SP-1

3.1.2 น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา เตรียมได้จากการเก็บรวบรวมน้ำที่ผ่านการกำจัด จากถังทดลองชั้นแรก และชั้นที่สองในข้อ 2.2 อย่างละ 30 ลิตร ใช้เวลาเก็บประมาณ 2 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในวันแรกในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้ทดลอง ผสมน้ำแต่ละวันให้เข้ากันก่อน

3.1.3 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำที่ผ่านการกำจัดชั้นแรก และชั้นที่สองของระบบไบโอ-เน็ท

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด ในน้ำที่ผ่านการกำจัดชั้นแรก (หรือน้ำทิ้งแอมโมเนีย) และน้ำที่ผ่านการกำจัดชั้นที่สอง (หรือน้ำทิ้งไนเตรต) โดยใช้ปริมาตรน้ำทิ้งเท่ากับ 900 มล. ใส่ในพลาสติกขนาด 1 ลิตร เพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดเป็นเวลา 7 วัน กำหนดให้สาหร่ายเริ่มต้นการทดลอง มีค่าความเข้มของแสงยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.05 ความเข้มของแสง 10,000 ลักซ์ ช่วงการให้แสงสว่างสลับมืด เท่ากับ 12 ต่อ 12 ชั่วโมง ให้อากาศธรรมชาติประมาณ 150 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อปริมาณพลาสติก 1 ลิตร เพื่อกวนไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน และมีพลาสติกคลุมที่ไม่ใสสาหร่ายเพื่อเปรียบเทียบการลดปริมาณสารต่าง ๆ โดยจุลินทรีย์อื่นนอกจากสาหร่ายด้วย เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งทุกวันประมาณวันละ 60 มล. นำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 10,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที นำน้ำใสส่วนบนออกไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารต่าง ๆ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และฟอสฟอรัส ส่วนที่ตกตะกอนนำไปหาน้ำหนักแห้งของสาหร่าย คัดเลือกสาหร่าย

ที่เจริญเติบโตได้ดีสามารถลดปริมาณไนโตรเจน (ทั้งแอมโมเนียและไนเตรต) และฟอสฟอรัสได้เป็นปริมาณมากเพื่อนำไปศึกษาในระบบไบโอ-เนตต่อไป

3.2 ใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนโตรไฟอิงในระบบไบโอ-เนต

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่คัดเลือกในข้อ 3.1 ให้เจริญร่วมกับแบคทีเรียไนโตรไฟอิง ในระบบชั้นที่สอง โดยคาดหวังว่าสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตและลดปริมาณสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี จะทำให้การกำจัดน้ำทิ้ง ในระบบแบบ 2 ชั้น มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเดิมเชื้อเริ่มต้นของสาหร่ายที่ได้รับการคัดเลือกจนถึงทดลองของระบบไบโอ-เนตชั้นที่สองให้มีความเข้มข้นของ OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1 และมีการให้แสงสว่างสลับมืดในแต่ละวันเท่ากับ 12 ต่อ 12 ชั่วโมง จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มของแสง 10,000 ลักซ์ จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกำจัดทั้งจากชั้นแรกและชั้นที่สอง นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสฟอรัส pH และ COD เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้กับการทดลองในข้อ 2.2

4. การวัดและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ใช้วิธี Kjeldahl method และ Nesslerization, ไนไตรต์ ใช้วิธี diazotization method, ไนเตรต, ใช้วิธี brucine method, Chemical oxygen demand (COD) ใช้วิธี dichromate method, และ total phosphorus ใช้วิธี vanadomolybdo-phosphoric acid colorimeter method ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีรายละเอียดอยู่ใน Standard Method (1975) ตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วเป็น supernatant ที่ได้จากการ centrifugation ที่ 10,000 rpm นาน 15 นาที ส่วนของตะกอนนำไปหาค่าหนักแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 24 ชั่วโมง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบชั้นเดียวด้วยตัวกลางต่างชนิดกัน
ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 3 พบว่า ในการทดลองกำจัดน้ำทิ้งดังกล่าวนี้ในระบบชั้นเดียวเป็นเวลา 140 วัน ระบบไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในตัวกลางทั้ง 3 แบบ โดยที่การลดแอมโมเนียด้วยปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากน้ำทิ้งมีปริมาณอินทรีย์สารสูงมาก แบคทีเรียไนโตรไฟอิงไม่สามารถเจริญแข่งขันกับจุลินทรีย์ที่ใช้อินทรีย์สารเป็นแหล่งพลังงานได้ ผลการลดแอมโมเนียในน้ำทิ้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวกลางแบบที่ 1, 2 และ 3 พบว่า สามารถลดได้เพียงร้อยละ 25.7, 29.6 และ 24.1 ตามลำดับ และการลดฟอสฟอรัสเมื่อใช้ตัวกลางแบบ 1, 2 และ 3 พบว่าสามารถลดได้เพียงร้อยละ 16.2, 18.2 และ 16.7 ตามลำดับ ส่วนผลการกำจัดอินทรีย์สาร (หรือการลดค่า COD) พบว่า ระบบไบโอเนตเพียงชั้นเดียว เมื่อใช้ตัวกลางแบบที่ 1, 2 และ 3 สามารถกำจัดได้สูงถึงร้อยละ 93.5, 93.9 และ 90.5 ตามลำดับ โดยที่พบว่าเมื่อใช้ตัวกลางแบบที่ 1 ประสิทธิภาพในการลดค่า COD นี้สม่ำเสมอมากที่สุด ในขณะที่เมื่อใช้ตัวกลางแบบที่ 3 และ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเริ่มลดลงเมื่อทำการกำจัดได้ 34 วัน และ 112 วัน ตามลำดับ เนื่องจากตัวกลางทั้ง 2 แบบนี้ มีลักษณะหนาทำให้อากาศถ่ายเทเข้าไปด้านในของตัวกลางได้ยาก โดยเฉพาะตัวกลางแบบที่ 3 ใส่ลูกแก้วซึ่งผิวลื่น เป็นผลให้เมือกจุลินทรีย์หลุดลอกออกได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวกลางแบบที่ 1 ในการทดลองต่อไป

2. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบแบบ 2 ชั้น

ผลการศึกษาที่ผ่านมาแล้วในข้อ 1 พบว่า การกำจัดน้ำทิ้งของระบบฟิกส์เบดแอเรชันเพียงชั้นเดียว สามารถลดปริมาณอินทรีย์สารในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เกินกว่าร้อยละ 90) แต่ยังคงเหลือปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำที่ผ่านการกำจัด ประมาณ 72 และ 44 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่มากของสารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดเพิ่มขึ้น เพื่อให้สารประกอบทั้งสองมีปริมาณลดน้อยลง ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น จึงได้ทำการเชื่อมต่อระบบไบโอ-เนตอีกชั้นตอนหนึ่ง เพื่อกำจัดน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียมากนี้ ด้วยวิธีไนตริฟิเคชัน โดยแสดงแผนผังการเชื่อมต่อดังในภาพที่ 1-C คือขั้นแรกเป็นการลดปริมาณอินทรีย์สารและขั้นที่สองเป็นไนตริฟิเคชัน ซึ่งก่อนที่จะมีการเชื่อมต่อขั้นแรกกับขั้นที่สองนั้น ได้มีการเตรียมการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียไนตริไฟอิง และตรึงอยู่กับแผ่นตาข่ายเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถลดแอมโมเนียได้ทันที ผลการทดลองได้แสดงในภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าผลการลดค่า COD จากน้ำทิ้งก่อนการกำจัดที่มีค่า $COD\ 497 \pm 8.5$ มก./ล. เมื่อผ่านการกำจัดขั้นแรก น้ำที่ผ่านการกำจัดมีค่า COD ลดลงเหลือ 42.2 ± 2.3 มก./ล. ซึ่งจากรายงานของ Antonie (1974), Weng และ Molof (1974) และ Boongorsrang และคณะ (1982, a) กล่าวว่าต้องลดปริมาณอินทรีย์สารในรูปของ COD ให้ต่ำกว่า 50 มก./ล. ก่อนจึงทำให้ระบบไรโอเด็งไบโอ-โอดีสค่อนแทรคเตอร์ ซึ่งเป็นระบบหนึ่งที่มีจุลินทรีย์ติดเกาะกับตัวกลาง สามารถกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีไนตริฟิเคชันได้ ดังนั้นปริมาณอินทรีย์สารที่อยู่ในน้ำที่ผ่านการกำจัดขั้นแรกเพียง 42 มก./ล. จึงไม่ควรมีผลกระทบต่อการกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีฟิเคชันในการกำจัดขั้นที่ 2 ของระบบไบโอ-เนตด้วย ผลการกำจัดน้ำทิ้งภายใน 70 วัน พบว่าปริมาณสารต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการกำจัดเริ่มคงที่เมื่อทำการทดลองได้ 1 เดือน สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรตได้เกือบหมด มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรต์-ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน เท่ากับ 0.4, 0.2 และ 66.6 มก./ล. ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสลดลงไปอีก ร้อยละ 5.2 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งก่อนการกำจัด (เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 53.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ด้วยระบบแบบ 2 ชั้นนี้ เท่ากับร้อยละ 21.4

3. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนตริไฟอิง

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบไบโอ-เนตที่ผ่านมาในข้อ 2 พบว่าน้ำที่ผ่านการกำจัดยังมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นปริมาณมาก การกำจัดไนโตรเจนโดยสมบูรณ์จำเป็นต้องกำจัดไนเตรตด้วย เนื่องจากยังเป็นธาตุอาหารของพืชน้ำต่าง ๆ อยู่ วิธีการกำจัดไนเตรตที่รู้จักกันดีคือ วิธีดีไนตริฟิเคชัน และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย แต่ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกสาหร่ายมาใช้ในการกำจัดไนเตรต เนื่องจากสาหร่ายสามารถกำจัดได้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งในกรณีของไนโตรเจน สาหร่ายอาจมีการใช้ในโตรเจนได้หลายรูป เช่น ไนเตรต แอมโมเนียและยูเรีย เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ถ้าหากมีการคัดเลือกสาหร่ายที่สามารถใช้แหล่งไนโตรเจนได้จากแอมโมเนียหรือไนเตรตก็อาจนำสาหร่ายชนิดนั้นมาใช้ในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำที่ผ่านการกำจัดของระบบไบโอ-เนตขั้นแรก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำทิ้งแอมโมเนียหรือขั้นที่สอง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งไนเตรตก็ได้

3.1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำที่ผ่านการกำจัดขั้นแรก และขั้นที่สองของระบบไบโอ-เน็ท

ได้ทำการคัดเลือกสาหร่ายที่สามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี จาก *Chlorella* sp. K3, *Uronema* sp. 80, *Ulothrix* sp. 81, และ *Spirulina* sp. K3 ในน้ำที่ผ่านการกำจัดขั้นแรกและขั้นที่สองของระบบไบโอ-เน็ท เพื่อนำสาหร่ายที่คัดเลือกได้ไปทดลองกำจัดน้ำทิ้งนี้ร่วมกับแบคทีเรียไนไตรไฟอิงในระบบไบโอ-เน็ทขั้นที่สอง ผลการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย 4 ชนิดในน้ำทิ้งดังกล่าวนี้ แสดงในภาพที่ 5 และ 6 พบว่ามีสาหร่ายเพียง 3 ชนิด ที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในน้ำทิ้งแอมโมเนียและน้ำทิ้งไนเตรด คือ *Chlorella* sp. K3 *Uronema* sp. 80 และ *Ulothrix* sp. 81 ส่วน *Spirulina* sp. SP-1 ไม่สามารถเจริญเติบโต เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้ชอบเจริญในน้ำที่มี pH เป็นด่างมาก ๆ (8.5-10.0) (Venkataraman, 1969) โดยที่ pH ของน้ำทิ้งทั้งสองมีค่าประมาณ 7.5-8.0 และนอกจากนี้อาจเกิดขึ้น เนื่องจากการขาดธาตุอาหารบางอย่างที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และจากการทดลองพบว่าในสาหร่าย 3 ชนิดที่เจริญได้นั้น *Chlorella* sp. K3 มีการเจริญและลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรดได้มากที่สุด จึงมีความเหมาะสมในการนำไปทดลองเพาะเลี้ยงให้เจริญร่วมกับแบคทีเรียไนไตรไฟอิง ในระบบไบโอ-เน็ทขั้นที่สอง ซึ่งคาดหวังว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถทำให้มีการกำจัดไนโตรเจน (ทั้งในรูปแอมโมเนียและไนเตรด) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยลดฟอสฟอรัสอีกด้วย (แม้ว่าจะไม่เป็นสายพันธุ์ที่ลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุดก็ตาม)

3.2 ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนไตรไฟอิงในระบบไบโอเน็ท

การทดลองครั้งนี้ได้นำ *Chlorella* sp. K3 มาเพาะเลี้ยงให้เจริญร่วมกับแบคทีเรียไนไตรไฟอิงในระบบไบโอเน็ทขั้นที่สอง เพื่อกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการกำจัดในขั้นแรก (การทดลองในข้อ 1) และกำจัดไนเตรดที่แบคทีเรียไนไตรไฟอิงผลิตขึ้นมาในระบบที่สอง โดยคาดหวังว่า *Chlorella* sp. K3 จะทำให้การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบไบโอ-เน็ทขั้นที่สองมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อทำงานร่วมกับแบคทีเรียไนไตรไฟอิง นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาเบื้องต้นในการนำสาหร่ายมากำจัดน้ำทิ้งด้วยระบบไบโอ-เน็ทอีกด้วยว่ามีศักยภาพในการคิดเกาะดีเพียงไร

ผลการทดลองเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. K3 ลงในตู้ระบบไบโอ-เน็ทขั้นที่สอง พบว่าในระยะ 1-2 สัปดาห์ *Chlorella* sp. K3 มีการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และสามารถยึดเกาะกับตัวกลางที่มีแบคทีเรียไนไตรไฟอิงยึดเกาะอยู่ก่อนหน้านี้ได้เป็นอย่างดีโดยสังเกตเห็นสีเขียวของสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น บริเวณที่ตรวจพบว่า มีสาหร่ายเจริญมากที่สุด คือบริเวณด้านข้างและด้านบนของถังทดลอง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวนี้ได้รับแสงสว่างมากกว่าบริเวณด้านในของถังทดลอง และเมื่อสาหร่ายบริเวณด้านข้างถังทดลองมีมากขึ้น (ประมาณสัปดาห์ที่ 3) ตรวจไม่พบสาหร่ายที่ยึดเกาะบริเวณด้านในของตัวกลาง เนื่องจากแสงสว่างถูกบังโดยสาหร่ายที่เกาะบริเวณด้านข้างของถังทดลอง

เมื่อทำการตรวจสอบสาหร่ายที่ติดเกาะกับตาข่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ในระหว่างการศึกษากครั้งนี้ พบว่าในช่วง 1-2 สัปดาห์ ตรวจพบเฉพาะ *Chlorella* sp. K3 แต่ต่อมาตรวจพบสาหร่ายชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น *Ankistrodesmus* sp. และ *Oscillatoris* sp. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นระบบเปิด จึงมีโอกาสที่สาหร่ายชนิดอื่นปะปนได้

ผลการทดลองเลี้ยง *Chlorella* sp. K3 ร่วมกับแบคทีเรียไนตริไฟอิง ในระบบไบโอเน็ท เวลา 30 วัน แสดงในภาพที่ 7,8 และตารางที่ 2 พบว่าการเจริญของสาหร่ายมีผลกระทบต่อ การเจริญของแบคทีเรียไนตริไฟอิง โดยทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดเปลี่ยนแปลงในทางลบ กล่าวคือ ตรวจพบแอมโมเนียและไนไตรต์เหลือมากขึ้น ส่วนไนเตรตเกิดขึ้นน้อย โดยมีปริมาณดังต่อไปนี้ 6.6 ± 3.3 , 23.5 ± 4.7 และ 26.6 ± 11.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ ทั้ง 2 ชนิดนี้ต่างต้องการออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืน นอกจากนี้พื้นที่บางส่วน ในถังปฏิกิริยาถูกรอบครอบโดยสาหร่ายทำให้แบคทีเรียไนตริไฟอิงที่ยึดเกาะอยู่เดิมได้รับออกซิเจน ยากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจึงเกิดได้น้อยลง โดยเฉพาะในขั้นตอนการเปลี่ยนไนไตรต์ให้ เป็นไนเตรตถูกยับยั้ง จึงพบว่าปริมาณไนไตรต์มีสะสมเพิ่มมากขึ้นโดยไม่เปลี่ยนไปเป็นไนเตรต ซึ่ง ปัญหานี้จะต้องหาทางแก้ไขต่อไปเพื่อไม่ให้เกิดการติดเกาะของสาหร่ายมีผลในทางเป็นปฏิปักษ์ต่อแบคทีเรีย ไนตริไฟอิง

อย่างไรก็ตามตรวจพบว่า ในระบบเลี้ยงสาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนตริไฟอิง น้ำที่ผ่าน การกำจัดมีปริมาณไนโตรเจนรวม (แอมโมเนีย, ไนไตรต์ และไนเตรต-ไนโตรเจน) และฟอสฟอรัส เหลือน้อยกว่าในระบบเมื่อเลี้ยงเฉพาะแบคทีเรียไนตริไฟอิง ดังนั้นถ้ามีการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น กระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งสองควรสามารถดำเนินการแบบ symbiosis ได้ดี และลดปริมาณสาร ได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

(ดูสรุปในตารางที่ 3)

1. ซีโอดี กำจัดได้ 90% ขึ้นไป ตั้งแต่ระยะแรกโดย oxidization
2. แอมโมเนียกำจัดได้เกือบ 100% โดยต้องแยกบำบัดกับซีโอดีโดย bacterial nitrification ถ้าน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียสูง แอีนทรียสารที่ปะปนอยู่มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 50 มก./ล. ไนตริฟิเคชัน สามารถดำเนินการได้ตั้งแต่ระยะแรก
3. ฟอสฟอรัสสามารถกำจัดได้โดยทางอ้อมด้วยกระบวนการ microbial assimilation โดยกำจัดได้ 17% ในระยะแรกเมื่อกำจัดซีโอดี และเพิ่มเป็น 21% ในระยะที่สองเมื่อกำจัดแอมโมเนีย แต่เพิ่มถึง 28% ในระยะที่สองเมื่อใช้ระบบสาหร่ายทำงานร่วมกับแบคทีเรียไนตริไฟอิง
4. การใช้สาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียไนตริไฟอิงนั้น สามารถกำจัดไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสได้ดีกว่าใช้แบคทีเรียไนตริไฟอิงอย่างเดียว แต่ต้องมีการปรับปรุงระบบต่อไปอีกเพื่อไม่ให้เกิดการยับยั้งการไนตริฟิเคชัน เนื่องจากสาหร่าย โดยพยายามปรับปรุงระบบให้จุลินทรีย์ทั้งสองอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพา (symbiosis)
5. เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน มีศักยภาพและประสิทธิภาพสูงมากในระบบไบโอ-เน็ท คณะทำงานได้ดำเนินการ optimization กระบวนการนี้กับระบบไบโอ-เน็ทต่อไป และขณะเดียวกันไนเตรตที่เกิดขึ้นนอกจากกำลังดำเนินการบำบัดด้วยวิธีใช้สาหร่ายแล้ว จะใช้กระบวนการอื่น ๆ เช่น denitrification โดยศึกษากระบวนการไบโอ-เน็ทนี้ เพื่อเปรียบเทียบกับ
6. ระบบไบโอ-เน็ท สามารถประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีอินทรียสารและ/หรือไนโตรเจน และฟอสฟอรัสปนเปื้อนอยู่ เช่น น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม เช่น โรงงานขนมปัง โรงงานผลิตอาหารต่าง ๆ โรงงานผลิตปุ๋ย ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Antonie, R.L. 1974. Nitrification of activated sludge effluent : BIO-SURE Process. Water and Sew. Works. 121 (11) : 44-47.
- Boongorsrang, A., M. Suga and Y.Maeda. 1982 a. Nitrification of wastewater containing organic carbon and inorganic nitrogen by rotating disc contactor. J.Ferment. Technol. 60(4) : 359-364.
- _____. 1982 b. Nitrogen removal throughout nitrification, followed by denitrification of a synthetic wastewater with a rotating disc contactor. J. Fement. Technol. 60(4) : 365-371.
- Burdisk, Chick R., David R. Reffina and H.David Stensel. 1982. Advanced biological treatment to achieve nutrient removal. J. WPCF. 54(7) : 1078-1086.
- Finstien, Melvin S. 1972. Pollution Microbiology : a Lab Manual. Marcel Dekker, Inc., New York. 168 p.
- Maeda, Y., A. Boongorsrang, Y. Mizobuchi, T.Waki, K.Suga and K. Ichikawa. 1977. Studied on treatment of carbohydrate wastewater by contact biooxidation using a fixed bed. J.Ferment. Techno. 55(3) : 265-272.
- Medine, A.J. and D.B. Porcella. 1982. Eutrophication. J. WPCF. 54(6) : 770-777.
- Reeves, T.G. 1872. Nitrogen removal : a literature review. J. WPCF. 44(10) : 1895-1909.
- Riding J.T., W.R. Elliott and J.H.Sherrard. 1979. Activated Sludge phosphorus removal machanism. J. WPCF. 51(5) : 1040-1053
- Venkataraman, G.S. 1969. The Cultivation of Algae. Indian Council of Agriculture Research, New Delhi. 215 p.
- Weng, C.N. and A.H. Molof. 1974. Nitrification in the biological fixed film rotating disk system. J.WPCF. 46(8) : 1674-1682.

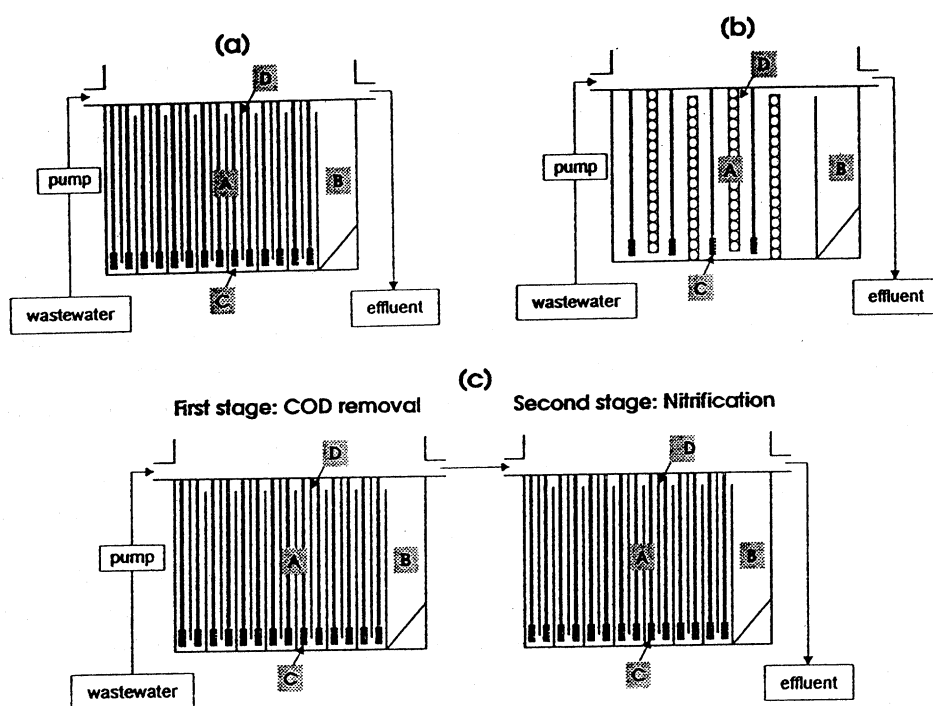


Figure 1 The functional diagram of the Bio-Net reactors: single stage reactor with supporting medium Type 1 (a), with supporting medium Type 2 and Type 3 (b) and Two-stage system (c).

A : aeration tank
 B : settling tank
 C : aerator (diffusor)
 D : supporting medium

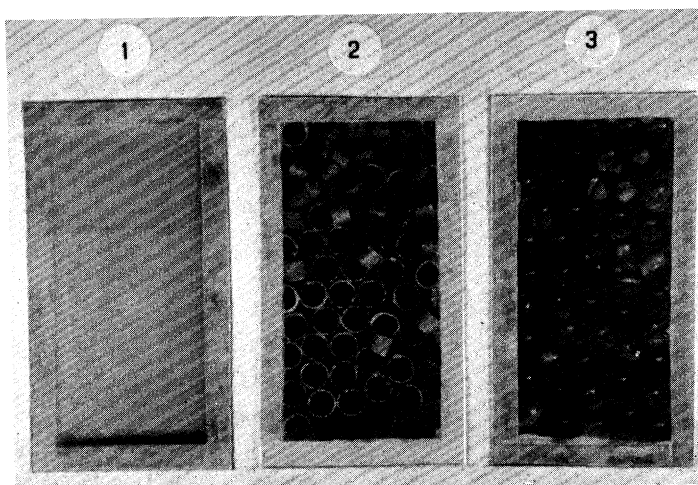


Figure 2 Three types of supporting medium.

Type 1 : single layer nylon net
 Type 2 : double layer nylon net sandwiched with short PVC tybes
 Type 3 : double layer nylon net sandwiched with glass beads

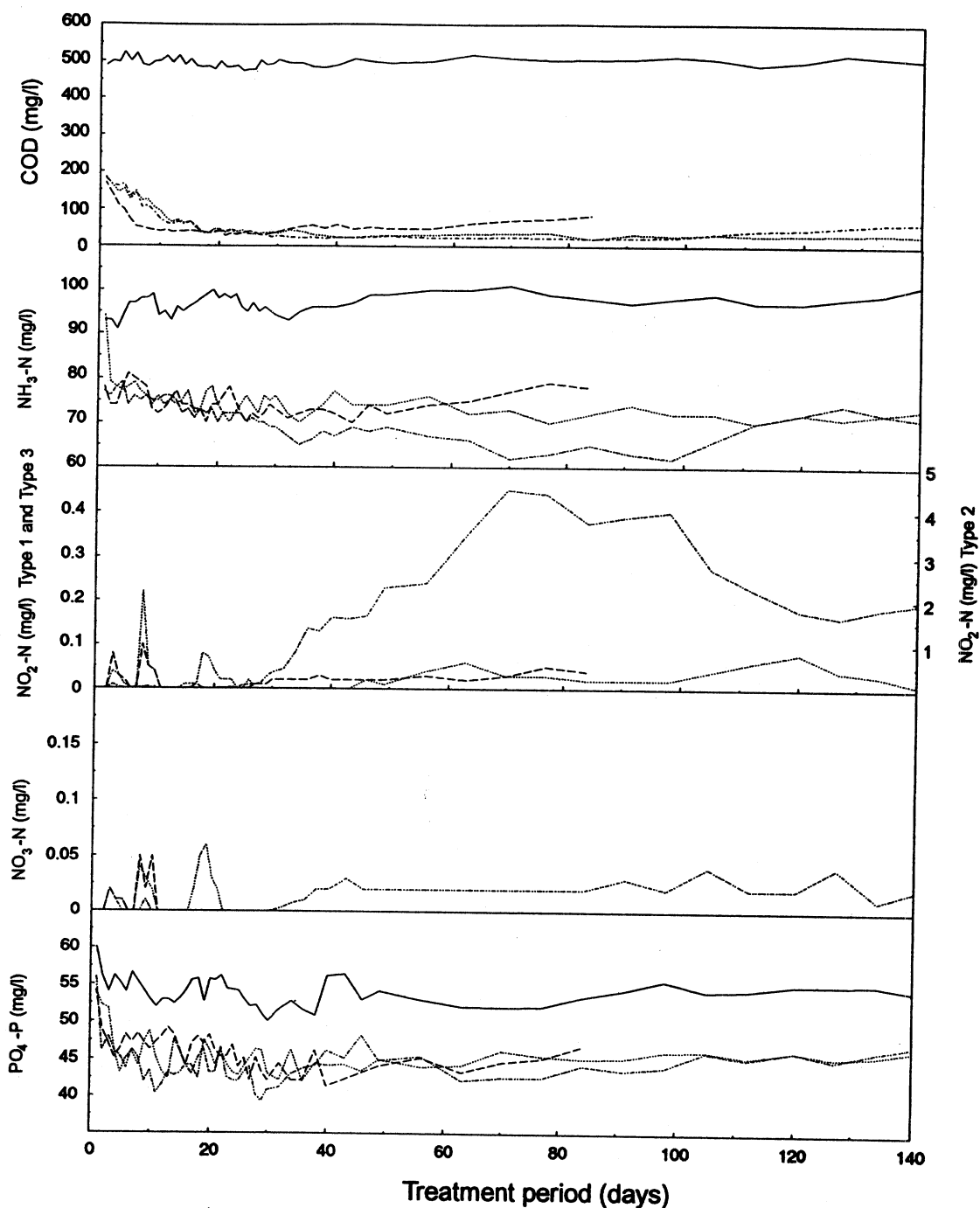


Figure 3 Effect of supporting media on the effluent COD, nitrogen and phosphorus.

- Influent
- Effluent using supporting medium Type 1
- .-.-.- Effluent using supporting medium Type 2
- Effluent using supporting medium Type 3

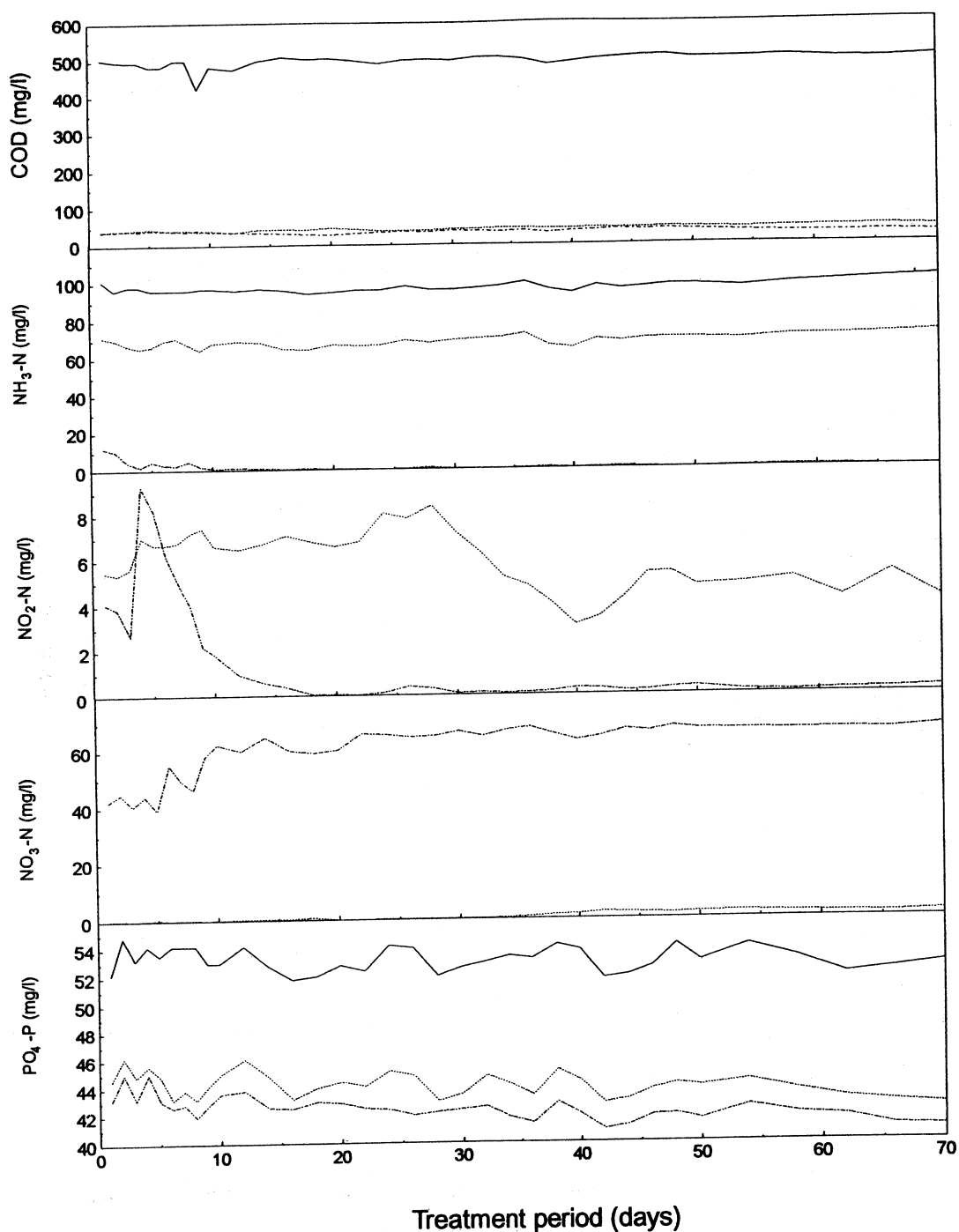
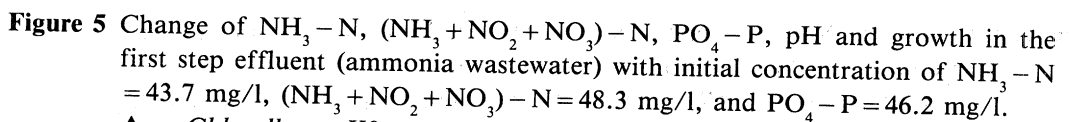


Figure 4 COD, nitrogen and phosphorus treatments in the two stage Bio-Net System.

- Influent
- Effluent from the first stage
- .-.-.- Effluent from the second stage



● *Uronema* sp. 80

✘ Control

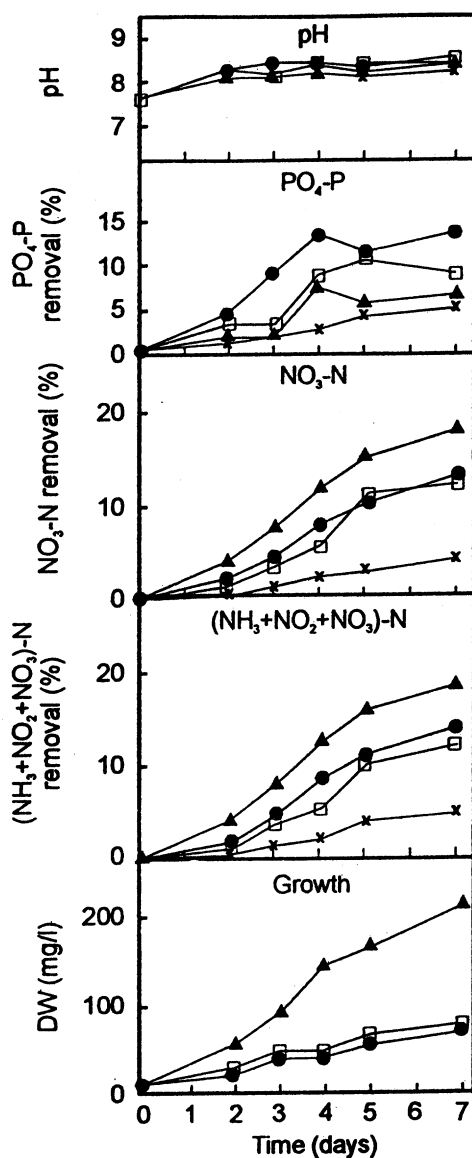


Figure 6 Change of $NO_3\text{-N}$, $(NH_3+NO_2+NO_3)\text{-N}$, $PO_4\text{-P}$, pH and growth in the second step effluent (nitrate wastewater) with initial concentration of $NO_3\text{-N}$ = 68.2 mg/l, $(NH_3+NO_2+NO_3)\text{-N}$ = 68.9 mg/l, and $PO_4\text{-P}$ = 42.8 mg/l.

▲ *Chlorella* sp. K3
□ *Ulothrix* sp. 81

● *Uronema* sp. 80
× Control

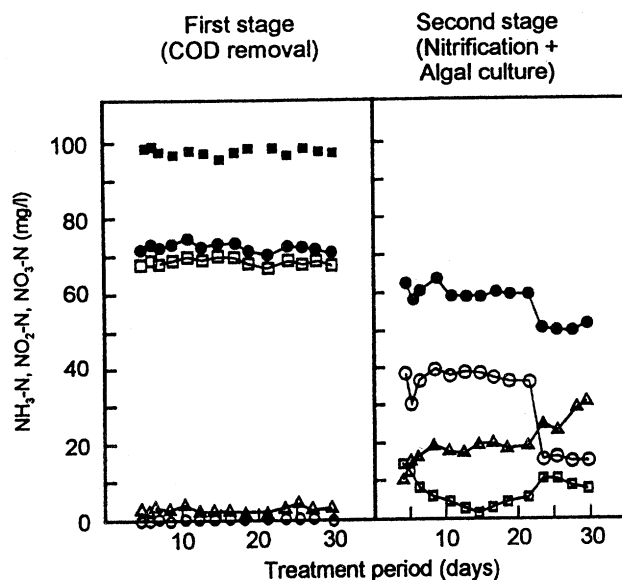


Figure 7 Ammonia removal on the cultivation of *Chlorella* sp. K3 with nitrifying bacteria in the two-stage Bio-Net System.

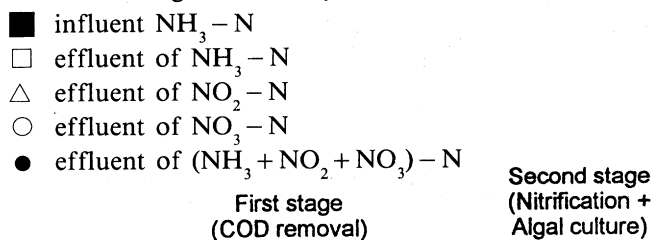


Figure 8 Phosphorus (a) and COD (b) removals on the cultivation of *Chlorella* sp. K3 with nitrifying bacteria in the two-stage Bio-Net System.

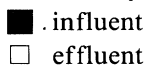


Table 1 Composition of artificial wastewater.

Tapioca starch	4.5	gm
Bovril	0.5	gm
NH ₄ Cl	3.78	gm
Na ₂ HPO ₄	2.29	gm
NaCl	0.3	gm
CaCl ₂	0.14	gm
KCl	0.14	gm
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.1	gm
NaHCO ₃	10	gm
Tap water	10	litre

Concentration of COD, NH₃ – N and PO₄ – P : about 500, 100 and 50 mg/l, respectively.

Table 2 Comparison of the efficiency of the treatment performance in the second stage Bio-Net reactor between cultivation of nitrifying bacteria system and the cultivation of the bacteria with *Chlorella* sp. K3.

Concentration (mg/l)	Nitrifying bacteria			Nitrifying bacteria + <i>Chlorella</i> sp. K3		
	Eff. ¹	Eff. ²	% Removal	Eff. ¹	Eff. ²	% Removal
NH ₃ – N	68.8	0.4	99.4	68.7	6.6	90.3
NO ₂ – N	5.9	0.2	–	3.9	23.5	–
NO ₃ – N	1.4	66.6	–	0.4	26.6	–
(NH ₃ + NO ₂ + NO ₃) – N	76.1	67.2	11.7	73.0	56.7	22.3
PO ₄ – P	44.1	41.8	5.1	43.1	38.0	11.0
COD	42.2	34.5	18.2	43.7	36.4	16.7
pH	8.19	7.33	–	8.10	7.30	–

Eff.¹: Effluent after the first stage

Eff.²: Effluent after the second stage

Table 3* Comparison of the efficiency of the treatment performance in the first and second stages of the Bio-Net System

Stage	condition	pH	average value (mg/l)					PO ₄ - P
			COD	NH ₃ - N	NO ₂ - N	NO ₃ - N	(NH ₃ + NO ₂ + NO ₃) - N	
1	Inf.	8.12	497.3	97.2	0	0	97.2	53.2
	Eff ¹	8.19	42.2	68.8	5.9	1.4	75.5	44.1
	Inf-Eff ¹	—	455.1	28.4	—	—	21.7	9.1
	E	—	91.5	29.2	—	—	22.3	17.1
	Eff ¹	8.19	42.2	68.8	5.9	1.4	75.5	44.1
2	Eff ²	7.33	34.5	0.4	0.2	66.6	67.2	41.8
	Eff ¹ -Eff ²	—	7.7	68.4	—	—	7.3	2.3
	E	—	18.2	99.4	—	—	11.0	5.2
	Inf.	8.12	497.3	97.2	0	0	97.2	53.2
	Eff ²	7.33	34.5	0.4	0.2	66.6	67.2	41.8
1 + 2	Inf-Eff ²	—	462.8	96.8	—	—	30.0	11.4
	E	—	93.1	99.5	—	—	30.8	21.4
	Inf.	8.08	502.7	98.1	0	0	98.1	52.9
	Eff ²	7.30	36.4	6.6	23.5	26.6	56.7	38.0
	Inf.-Eff ²	—	466.3	91.5	—	—	41.4	14.9
(with alga)	E	—	92.7	93.3	—	—	42.2	28.17

Inf. : Influent

Eff¹ : Effluent after the first stage treatment

Eff² : Effluent after the second stage treatment

E : % Removal

* : conclusion of Fig.4, 7 and 8