

การใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์เพื่อดูดซับของเสียไนโตรเจนในการขนส่งปลาสวยงาม

The alginate hydrogel granules formulated with zeolite for absorption nitrogen waste in ornamental fish transportation

จริยาวดี สุริยพันธ์^{1*}, ฐัชชัย สุขนาน¹, จิตรรา เตระเมธี², ปิยพร ณ นองคาย³ และ วาสนา ไพรสิ่งทรวง⁴

Jariyavadee Suriyaphun^{1*}, Tatchai Suknan¹, Jitra Teeramaethee², Piyaporn Na Nongkhai³ and Wassana Prisingkorn⁴

¹ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹ Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

² สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา

² Institute of Marine Science, Burapha University

³ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

³ Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

⁴ ห้องปฏิบัติการโรคสัตว์น้ำและอนุชีววิทยา สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ Aquatic animal disease and molecular biology laboratory, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

บทคัดย่อ: การทดลองศึกษาการดูดซับของเสียไนโตรเจนของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 0%, 5%, 10%, 25% และ 50% โดยแต่ละการทดลองใช้เม็ดอัลจิเนต 2 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียไนไตรท์ และไนเตรทในน้ำในห้องปฏิบัติการ ที่ระยะเวลา 1, 1.30 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ 50% และ 25% มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ แต่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ 5% สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีที่สุด เมื่อทดสอบเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) ในการขนส่งปลาสวยงาม พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดไนเตรทมากที่สุด ($63.07 \pm 7.63\%$) รองลงมาคือปริมาณแอมโมเนียในน้ำ (33.39 ± 2.75) และไนไตรท์ ($17.79 \pm 6.63\%$) ตามลำดับ และอัตราการรอดของปลาสวยงามหลังการทดลองขนส่งด้วยเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลสูงถึง 98.74 ± 1.37 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์สามารถใช้ในการดูดซับของเสียไนโตรเจนในระหว่างการขนส่งปลาสวยงามได้

คำสำคัญ: ซีโอไลท์; อัลจิเนตไฮโดรเจล; การขนส่งปลาสวยงาม

ABSTRACT: The nitrogen waste absorption experiment used alginate hydrogel granules incorporated with zeolite of 0%, 5%, 10%, 25%, and 50%. Technically, an Individual experiment combined 2 g of alginate granules with 1 l of water to monitor the absorption efficiency of ammonia, nitrite, and nitrate in water at 1, 1.30, and 2 hours in the laboratory. As a result, 50% and 25% of zeolite produced the highest efficiency for total ammonia and nitrite absorption, while 5% of zeolite was the best for nitrate absorption. When testing the alginate hydrogel granules, incorporated with zeolite 25% (ZE 25%) employed in ornamental fish transportation, the highest efficiency in absorption of nitrates at $63.07 \pm 7.63\%$, followed by ammonia at $33.39 \pm 2.75\%$, and nitrite at $17.79 \pm 6.63\%$. Moreover, the survival rate of the fish was $98.74 \pm 1.37\%$. In essence, findings indicate that alginate hydrogel granules incorporated with zeolite can be used for adsorption of nitrogen waste during ornamental fish transportation.

Keywords: zeolite; alginate hydrogel; ornamental fish transportation

* Corresponding author: jariyavadee@buu.ac.th

Received: date; June 14, 2023 Accepted: date; June 23, 2023 Published: date;

บทนำ

ในปัจจุบันการขนส่งปลาสวยงามที่มีคุณภาพไปยังกลุ่มเป้าหมายนับเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประสบความสำเร็จในการประกอบธุรกิจปลาสวยงาม (กัลยาพร, 2553) การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนีย ออกซิเจนละลายน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าความเป็นกรดต่าง เป็นคุณภาพน้ำที่ส่งผลต่ออัตราการรอดของปลาสวยงามในระหว่างขนส่ง ซึ่งมีรายงานทั้งในประเทศสิงคโปร์ (Lian et al., 2003) อเมริกา หรือทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Tina et al., 2005) การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นในระหว่างการขนส่ง เมื่อของเสียในน้ำมีปริมาณมากจะส่งผลให้ปลาอยู่ในสภาวะเครียด และในระบบการขนส่งด้วยภาชนะปิด ปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อปลาและเมื่อแอมโมเนียมีความเข้มข้นเกินกว่า 2 มก./มล. จะทำให้ปลาทาย (อมรรัตน์ และคณะ, 2544) แอมโมเนียทั้งหมดที่อยู่ในน้ำจะอยู่ทั้งในรูปแอมโมเนียไม่แตกตัวหรือแอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia หรือ free ammonia, NH₃) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อปลา

การใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) เริ่มได้รับความสนใจนำมาใช้ในงานหลาย ๆ ด้าน เช่น ทาง การแพทย์ เกษษกรรม และอุตสาหกรรมอาหาร (Gonçalves et al., 2005; Das and Pal, 2015; Van et al., 2011; Liu et al., 2012) รวมถึงการนำมาใช้เป็นวัสดุในการดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม การนำวัสดุไฮโดรเจลมาใช้งานยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการมีสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ที่ต่ำ ดังนั้น จึงได้มีการวิจัยที่พัฒนาสมบัติด้านเชิงกลของไฮโดรเจลโดยการเติมสาร เสริมแรง (reinforcing agent) เข้าไปในไฮโดรเจล หรือที่เรียกว่า composite hydrogel สารเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม เส้นใย (fiber) และอนุภาค (particles) เช่น การเติมเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibril) ลงในอัลจินตไฮโดรเจล (Baniasadi and Minary, 2015) การเติมเส้นใยระดับนาโนของ imogolite ลงในเจลตินไฮโดรเจล (Teramoto et al., 2012) ข้อดีของการเตรียมเป็น composite hydrogel คือ นอกจากจะช่วยทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นแล้วหากสารเสริมแรงมีคุณสมบัติอื่น ๆ ร่วมด้วยก็จะ เป็นการช่วยเพิ่มสมบัติที่ดีด้านอื่น ๆ ให้ไฮโดรเจลด้วยเช่นกัน เช่น การเติม graphene oxide ลงในไฮโดรเจลทำให้มีสมบัติด้านการนำ ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (Huang et al., 2016) หรือการเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในไฮโดรเจลทำให้มีสมบัติด้านการต้านทานเชื้อแบคทีเรียหรือเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ (Zheng and Wang, 2012; Jiao et al., 2015) เป็นต้น ซีโอไลท์ (zeolite) เป็นสารที่มี คุณสมบัติเป็นวัสดุดูดซับ (adsorbent) เป็นสารประกอบไฮดรตอะลูมิโนซิลิเกต (hydrated aluminosilicates) มีคุณสมบัติในการ ปลดปล่อยน้ำเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และสามารถดูดซับน้ำกลับคืนได้ง่าย ซีโอไลท์จะมีสมบัติที่โดดเด่นในการดูดซับหรือในการเร่งปฏิกิริยา ก็ต่อเมื่อภายในโครงสร้างมีอะตอมของอะลูมิเนียมอยู่ โดยอะลูมิเนียมจะเข้าไปอยู่ในตำแหน่งของอะตอมซิลิกอนซึ่งจะทำให้โครงสร้าง ของซีโอไลท์มีประจุลบและสามารถดูดซับแคตไอออนหรือโปรตอนไว้ภายในแล้วเกิดคุณสมบัติใหม่ที่แตกต่างออกไป (ศิริพร และชาญ, 2550) นอกจากนี้ซีโอไลท์มีขนาดของรูพรุนที่สม่ำเสมอและแน่นอนจึงมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับโมเลกุลของสารที่มีขนาดเล็กกว่ารู พรุนได้ดี ทำให้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสีย (อัญรินทร์, 2559; ขานนท์ และคณะ, 2560) ด้วยคุณสมบัติของอัลจินตไฮโดร เจลซีโอไลท์ข้างต้น จึงสามารถพัฒนาไปสู่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์เพื่อใช้ในการดูดซับของเสียในรูปไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียรวม ไนไตรท์ และไนเตรทที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งปลาสวยงามได้

วิธีการศึกษา

การเตรียมเม็ดอัลจินตร่วมกับผงซีโอไลท์

ซึ่งอัลจินต โซเดียมโบคาร์บอเนต และซีโอไลท์ ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (Table 1) ละลายด้วยน้ำกลั่น 200 มล. ให้ความ ร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส พร้อมกวนจนสารเป็นเนื้อเดียวกัน เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก (น้ำกลั่น 1 ลิตร แคลเซียมคลอไรด์ 2.775 กรัม และกรดอะซิติก 50 มล.) เทลงในกล่องพลาสติก กล่องละ 200 มล. ใส่แม่เหล็กและวางบนเครื่องกวน สาร ดูดสารละลายอัลจินตด้วยกระบอกฉีดยาหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เทใส่กระชอน ล้าง เม็ดอัลจินตด้วยน้ำจนสะอาดไม่มีกลิ่น วางลงในจานเพาะเชื้อ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1 คืน

การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมรวม ไนโตรเจน และไนเตรท เพื่อทดสอบการดูดซับแอมโมเนียมรวม ไนโตรเจน และไนเตรทในห้องปฏิบัติการ

1) เตรียมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยนำแอมโมเนียมคลอไรด์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 1 - 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่ง 0.1910 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปีเปตออกมา 2 มล. ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. จะได้ 1.5 mg-N/L แอมโมเนียมคลอไรด์ จากนั้นปีเปตออกมา 15 มล. ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. จะได้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 4.5 ไมโครโมลาร์

2) เตรียมสารละลายไนโตรเจน โอไซด์ไนโตรเจน (NaNO_2) ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วชั่ง 0.345 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มล. สารละลายไฮดรอกไซด์ไนโตรเจนที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์

3) เตรียมสารละลายไนเตรท โดยออปโทแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส นาน 1-1.5 ชั่วโมง ชั่ง 1.02 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์

4) ทดสอบการดูดซับแอมโมเนียมรวม ไนโตรเจน และไนเตรทในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเลือกเม็ดแอสทรีนที่ขึ้นรูปกับซีโอไลท์ที่มีระดับความเข้มข้นที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ทดลองจริงในการขนส่งปลาสวยงาม โดยเตรียมเม็ดแอสทรีนที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% 25% และ 50% อย่างละ 2 กรัม ที่แต่ละระดับความเข้มข้นจำนวน 3 ซ้ำ บรรจุลงถุงตาข่ายที่ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน ลงในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ สารละลายไนโตรเจน สารละลายไนเตรท ที่มีปริมาตร 1 ลิตร โดยใส่ไฮดรอกไซด์ไนโตรเจนอัตราส่วน ไฮดรอกไซด์ไนโตรเจน 1 กรัม ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมรวม ไนโตรเจน ไนโตรเจน และไนเตรท ทุก ๆ 1, 1.30 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972)

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดแอสทรีนไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์ในการขนส่งปลาสวยงาม

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดแอสทรีนไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์ในการขนส่งปลาสวยงามจะทดลองในสถานการณ์การขนส่งจริง โดยใช้ปลาทองที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัมที่มีจำหน่ายในร้านค้าที่ตลาดนัดจตุจักร กรุงเทพมหานคร ปลาทองจะถูกเลี้ยงรวมในถังไฟเบอร์ขนาด 50 ลิตร ที่มีระบบอากาศและน้ำหมุนเวียน

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเม็ดแอสทรีนไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์ต่อการดูดซับของเสียกลุ่มไนโตรเจนจะใช้เม็ดแอสทรีนไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์จำนวน 2 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร โดยเลือกระดับความเข้มข้นที่ดูดซับของเสียกลุ่มไนโตรเจนที่ดีที่สุดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ การเตรียมตัวอย่างปลาทองเพื่อการขนส่ง จะใช้ถุงพลาสติกแบบหนา (pillow bags) ที่ใช้สำหรับขนส่งปลาสวยงาม ขนาด 6x15 นิ้ว บรรจุปลาทองที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม จำนวน 3 ตัวต่อน้ำ 1 ลิตร จำนวน 6 ถุง แบ่งเป็นชุดควบคุมที่ไม่ใส่เม็ดแอสทรีนที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์จำนวน 3 ถุง และชุดทดลอง ใส่เม็ดแอสทรีนที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลท์ที่มีระดับความเข้มข้นที่ดูดซับของเสียกลุ่มไนโตรเจนที่ดีที่สุดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ถุง ก่อนขนส่งจะเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละถุง และวัดพีเอชน้ำด้วยเครื่อง YSI DO 200-4M ก่อนจะอัดอากาศและปิดปากถุงให้สนิท ก่อนจะบรรจุลงในลังโฟมที่มีขนาดกว้าง 45 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 32 ซม. และปิดฝาให้สนิท เมื่อมาถึงคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เก็บตัวอย่างน้ำและวัดพีเอชน้ำด้วยเครื่อง YSI DO 200-4M อีกครั้ง ตัวอย่างน้ำก่อนและหลังจากการทดลองขนส่งจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมรวม ไนโตรเจน และไนเตรท ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) ปลาทองที่ถูกขนส่งมาจะพักในถังน้ำเพื่อปรับสภาพก่อนปล่อยลงเลี้ยงในถังขนาด 50 ลิตร ที่มีระบบอากาศและน้ำหมุนเวียน และติดตามอัตราการรอดตายหลังจากทดลองขนส่งไปแล้ว 7 วัน

ความสามารถในการลดปริมาณของเสียไนโตรเจนรวมในน้ำ (%)

$$A = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100$$

โดยที่ A คือ ปริมาณแอมโมเนีย/ไนไตรท์/ไนเตรท ในน้ำที่ลดลง

C₀ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น

C คือ ความเข้มข้นที่เหลือหลังการใช้เม็ดอัลจินตไฮโดรเจล

การวิเคราะห์อัตราการรอดตาย (Survival rate; %) หลังจากผ่านการขนส่ง 7 วัน

ติดตามการรอดตายของปลาทองหลังจากผ่านการทดลองขนส่งไปแล้ว 7 วัน โดยคำนวณจาก

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาหลังสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดยเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ และไนเตรทในน้ำที่ลดลง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (Analysis of Variance; One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Turkey – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 17

Table 1 Proportions of preparation of alginate pellets with zeolite at different concentrations

Percentage of Zeolite	Alginate powder (g)	Zeolite Powder (g)	Sodium bicarbonate (g)	The ratio of alginate powder and Zeolite
0% (ZE 0%)	4.00	-	2.00	1: 0.00
5% (ZE 5%)	4.00	0.200	2.00	1: 0.05
10% (ZE 10%)	4.00	0.400	2.00	1: 0.10
25% (ZE 25%)	4.00	1.000	2.00	1: 0.25
50% (ZE 50%)	4.00	2.000	2.00	1: 0.50

ผลการศึกษา

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในน้ำที่ลดลง (%) ต่อเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ในแต่ละระยะเวลาในห้องปฏิบัติการ

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำที่ลดลง (%) ต่อเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) สามารถดูดซับแอมโมเนียในน้ำได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง 46.73±8.42% รองลงมา ได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง 39.21±3.61% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ 50% (ZE 50%) แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 5% (ZE 5%) 10% (ZE 10%) และ 25% (ZE 25%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) (Table 2)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่ 1 ชั่วโมง 1.30 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ในทุกชุดการทดลองพบว่าอัตราการดูดซับปริมาณแอมโมเนียในน้ำในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับแอมโมเนียในน้ำที่ชั่วโมงที่ 1 ของแต่ละชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $42.77\pm3.28\%$ รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีค่าเฉลี่ย $42.45\pm4.24\%$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P>0.05$) ในชั่วโมงที่ 1.30 พบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $53.80\pm11.98\%$ รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีค่าเฉลี่ย $38.84\pm2.28\%$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 5% (ZE 5%) และ 10% (ZE 10%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) ในชั่วโมงที่ 2 จะคล้ายกับผลการศึกษาในชั่วโมงที่ 1.30 พบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $43.63\pm4.05\%$ รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีค่าเฉลี่ย $36.33\pm0.77\%$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 5% (ZE 5%) และ 10% (ZE 10%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) (Table 2)

Table 2 Ability to reduce total ammonia (%) with alginate hydrogel granules formulated with zeolite at different concentrations

Hrs.	The percentage of ammonia (%)				
	ZE 0%	ZE 5%	ZE 10%	ZE 25%	ZE 50%
1 hrs	18.77 ± 1.91^B	34.05 ± 2.58^A	34.52 ± 3.80^A	42.45 ± 4.24^A	42.77 ± 3.28^A
1.30 hrs	18.14 ± 1.65^C	34.72 ± 2.95^B	31.69 ± 1.20^{BC}	38.84 ± 2.28^{AB}	53.80 ± 11.98^A
2 hrs	21.72 ± 4.88^C	32.99 ± 0.77^B	35.54 ± 0.53^B	36.33 ± 0.77^{AB}	43.63 ± 4.05^A
Average	19.54 ± 3.20^C	33.91 ± 2.14^B	33.92 ± 2.65^B	39.21 ± 3.61^B	46.73 ± 8.42^A

Note: ^{A,B and C} in the same row showed significant differences ($P<0.05$).

^{a,b and C} in the same column showed significant differences ($P<0.05$).

ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำที่ลดลง (%) ต่อเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) สามารถดูดซับไนโตรเจนในน้ำได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง $75.45\pm11.46\%$ รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง $71.33\pm12.00\%$ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ 25% (ZE 25%) และ 50% (ZE 50%) แตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 5% (ZE 5%) และ 10% (ZE 10%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับปริมาณไนโตรเจนในน้ำที่ 1 ชั่วโมง 1.30 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ของชุดการทดลอง 0% (ZE 0%) 10% (ZE 10%) 25% (ZE 25%) และ 50% (ZE 50%) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P>0.05$) ยกเว้นชุดการทดลอง 5% (ZE 5%) ที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1.30 ($30.86\pm6.72\%$) และลดลงในชั่วโมงที่ 2 ($4.12\pm18.90\%$) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) (Table 3)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับไนเตรทในน้ำที่ชั่วโมงที่ 1 ของแต่ละชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) และ 50% (ZE 50%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $78.19 \pm 7.13\%$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$) ในชั่วโมงที่ 1.30 พบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $69.96 \pm 18.86\%$ รองลงมา ได้แก่ ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) มีค่าเฉลี่ย $65.84 \pm 14.26\%$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) และ 5% (ZE 5%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) อัตราดูดซับไนเตรทในน้ำในชั่วโมงที่ 2 พบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย $78.19 \pm 7.13\%$ ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) (Table 3)

Table 3 Ability to reduce nitrite (%) with alginate hydrogel granules formulated with zeolite at different concentrations

Hrs.	The percentage of nitrite (%)				
	ZE 0%	ZE 5%	ZE 10%	ZE 25%	ZE 50%
1 hrs	$45.27 \pm 18.86_a^C$	$20.58 \pm 7.13_{ab}^B$	$57.61 \pm 7.13_a^{AB}$	$78.19 \pm 7.13_a^A$	$78.19 \pm 7.13_a^A$
1.30 hrs	$41.15 \pm 14.26_a^A$	$30.86 \pm 6.72_b^B$	$61.73 \pm 12.35_a^A$	$69.96 \pm 18.86_a^A$	$65.84 \pm 14.26_a^A$
2 hrs	$28.81 \pm 18.86_a^{BC}$	$4.12 \pm 18.90_c^C$	$53.50 \pm 25.70_a^{AB}$	$78.19 \pm 7.13_a^A$	$69.96 \pm 14.26_a^{AB}$
Average	38.41 ± 16.84^B	15.76 ± 18.83^C	57.61 ± 15.12^{AB}	75.45 ± 11.46^A	71.33 ± 12.00^A

Note: ^{A, B and C} in the same row showed significant differences ($P < 0.05$).

^{ab and c} in the same column showed significant differences ($P < 0.05$).

ระดับความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่ลดลง (%) ต่อเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 5% (ZE 5%) สามารถดูดซับแอมโมเนียในน้ำได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง $52.55 \pm 18.61\%$ ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 10% (ZE 10%) 25% (ZE 25%) และ 50% (ZE 50%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับปริมาณไนเตรทในน้ำที่ 1 ชั่วโมง 1.30 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ในทุกชุดการทดลอง พบว่าอัตราการดูดซับปริมาณแอมโมเนียในน้ำในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับไนเตรทในน้ำที่ชั่วโมงที่ 1 1.30 และ 2 ของแต่ละชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 5% (ZE 5%) มีอัตราการดูดซับที่ดีที่สุด อัตราดูดซับไนเตรทในน้ำที่ชั่วโมงที่ 1 มีค่าเฉลี่ย $45.62 \pm 18.20\%$ อัตราดูดซับไนเตรทในน้ำที่ชั่วโมงที่ 1.30 มีค่าเฉลี่ย $42.95 \pm 20.41\%$ ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 0% (ZE 0%) 10% (ZE 10%) 25% (ZE 25%) และ 50% (ZE 50%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) (Table 4)

Table 4 Ability to reduce nitrate (%) with alginate hydrogel granules formulated with zeolite at different concentrations

Hrs.	The percentage of nitrate (%)				
	ZE 0%	ZE 5%	ZE 10%	ZE 25%	ZE 50%
1 hrs	2.64±2.40 ^B _a	45.62±18.20 ^A _a	9.03±4.12 ^B _a	6.57±4.44 ^B _a	8.00±1.64 ^B _a
1.30 hrs	7.73±5.92 ^B _a	42.95±20.41 ^A _a	1.50±10.97 ^B _a	13.34±11.42 ^{AB} _a	1.44±0.21 ^B _a
2 hrs	5.67±4.97 ^B _a	69.07±4.19 ^A _a	7.93±5.85 ^B _a	4.92±0.21 ^B _a	8.75±7.40 ^B _a
Average	5.35±4.62 ^B	52.55±18.61 ^A	6.16±7.44 ^B	8.28±7.24 ^B	6.06±5.15 ^B

Note: ^{A, B and C} in the same row showed significant differences (P<0.05).

^{a,b and c} in the same column showed significant differences (P<0.05).

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในน้ำที่ลดลง (%) ต่อเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) ในการขนส่งปลาสวยงาม

ค่าพีเอชในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 8.89±0.50 หลังการขนส่งค่าพีเอชในน้ำชุดควบคุมมีค่า 7.55±0.19 และชุดทดลองมีค่า 7.16±0.19 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) (Table 5) ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก่อนการขนส่ง และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) หลังจากการขนส่ง พบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลงคิดเป็น 17.79% (Table 6) ในขณะที่ปริมาณไนไตรท์ไม่มีความแตกต่างระหว่างก่อนการขนส่ง ชุดควบคุม และชุดทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) สำหรับปริมาณไนเตรทก่อนการขนส่งมีค่าลดลงหลังจากการขนส่ง แต่พบว่าชุดทดลองมีปริมาณไนเตรทมากกว่าชุดควบคุม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) อัตราการรอดตายของปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ใส่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจล แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) (Table 7)

Table 5 The water quality in transportation of alginate hydrogel granules formulated with zeolite (ZE 25%)

parameter	Before transportation	After transportation	
		control	experiment
pH	8.89±0.50 ^a	7.55±0.19 ^a	7.16±0.19 ^a
Total Ammonia (mg/l)	2.50±0.06 ^a	1.51±0.033 ^a	1.36±0.03 ^b
Nitrite (mg/l)	0.008±0.001 ^a	0.009±0.0003 ^a	0.007±0.001 ^a
Nitrate (mg/l)	3.80±0.09 ^c	0.160±00 ^a	1.40±0.29 ^b

Note: the control set not showed alginate hydrogel granules formulated with zeolite

^{a,b and c} in the same row showed significant differences (P<0.05).

Table 6 Ability to reduce nitrogen waste (%) with alginate hydrogel granules formulated with zeolite (ZE 25%)

parameter	control	experiment
Total Amonia (%)	28.39±1.87	33.39±2.75
Nitrite (%)	24.4±18.16	17.79±6.63
Nitrate (%)	86.86±1.24	63.07±7.63

Note: the control set not showed alginate hydrogel granules formulated with zeolite

Table 7 Survival rate of goldfish experimented with alginate hydrogel formulated with zeolite (ZE 25%) after 7 days

parameter	control	experiment
Survival rate (%)	97.45±2.01 ^a	98.74±1.37 ^a

Note: the control set not showed alginate hydrogel granules formulated with zeolite

^{a,b and c} in the same row showed significant differences (P<0.05).

วิจารณ์

การศึกษานี้สามารถยืนยันได้ว่าอัลจิเนตไฮโดรเจลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการขนส่งปลาสวยงามได้ ซึ่งอัลจิเนตไฮโดรเจลมีคุณสมบัติต่อความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) อัลจิเนตไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ มีรูพรุน และมีคุณสมบัติในการบวมตัวในน้ำได้ดี ส่งผลให้สารสามารถแพร่เข้าไปในอัลจิเนตไฮโดรเจลแล้วเกิดการดูดซับไว้ และการมีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ที่มีขั้ว การเพิ่มซีโอไลต์ลงในอัลจิเนตไฮโดรเจลเป็นการพัฒนา composite hydrogel ให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น จากการเตรียมอัลจิเนตไฮโดรเจลด้วย NaHCO₃ ให้เป็นรูพรุนและใช้แคลเซียม (Ca²⁺) เป็นสารเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลที่ถูกใช้ในการดูดซับโลหะหนัก Pb²⁺ และ Cd²⁺ (Ni ã et al., 2007) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ (ZE) ต่อการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรท พบว่า เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำได้ดีที่สุด ในขณะที่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) สามารถลดปริมาณไนโตรเจนในน้ำได้ดีที่สุด และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 5% (ZE 5%) สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งการที่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้น้อยกว่าแอมโมเนีย และไนโตรเจน เนื่องจากซีโอไลต์เป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต (Crystalline Aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO₄ หรือ AlO₄) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ด้าน ทำให้เกิดประจุลบจำนวนมากภายในโครงสร้าง ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียได้ดีกว่าไนเตรทในน้ำ (Murkani et al., 2015) ดังนั้น ในการทดลองใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาสวยงามจึงเลือกใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) ด้วยมีคุณสมบัติที่สามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดี และลดการเกิดประจุลบจากอะลูมิเนียมซิลิเกตซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของซีโอไลต์ซึ่งอะลูมิเนียมซิลิเกตและไฮดรอกไซด์ (-OH) จะจับกลุ่มอนุพันธ์เอมีน (-NH₂) ได้แก่ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำ ส่วนของไนเตรทจะจับได้กับแอมโมเนียและไฮดรอกไซด์ (-OH) บนผิวของวัสดุดูดซับ ซึ่งพีเอชน้ำส่งผลต่อการปรับพื้นผิวของวัสดุดูดซับให้เกิดประจุลบได้ดีขึ้น โดยเฉพาะพีเอช 7 และอุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้นส่งผลต่อการดูดซับไนเตรทในน้ำ (Gao et al., 2020) (Figure 1) อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลองขนส่งปลาสวยงามในสภาวะจริง พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในน้ำระหว่างการขนส่งปลาสวยงามมีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้การใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลในการลดแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในขณะที่ปริมาณไนเตรทกลับมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการ

ขนส่ง และปริมาณไนเตรทในน้ำในกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) ยังไม่สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้ รวมถึงเวลาในการขนส่งอาจจะส่งผลต่อการดูดซับสารของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล Murkani et al. (2015) รายงานว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะขึ้นกับระยะเวลาที่ดูดซับ และความเข้มข้นของสารที่ดูดซับ ซึ่งอัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ตัวดูดซับได้สัมผัสสารละลาย โดยเฉพาะแอมโมเนียที่ละลายในน้ำที่จะสามารถดูดซับได้อย่างรวดเร็ว ในช่วง 30 นาทีแรก และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจะครบ 60 นาที ซึ่งเปอร์เซ็นต์การดูดซับแอมโมเนีย ไนเตรท และไนเตรทในน้ำในห้องปฏิบัติการพบว่าอัตราการดูดซับสูงในช่วง 1 ชั่วโมงแรก และลดลงในชั่วโมงที่ 1.30 และ 2 แสดงให้เห็นว่าซีโอไลท์สามารถคายซับ (Desorption) หรือปลดปล่อยสารออกมาได้เมื่อเกิดภาวะอิ่มตัว หรืออยู่ในอุณหภูมิสูง (Murkani et al., 2015)

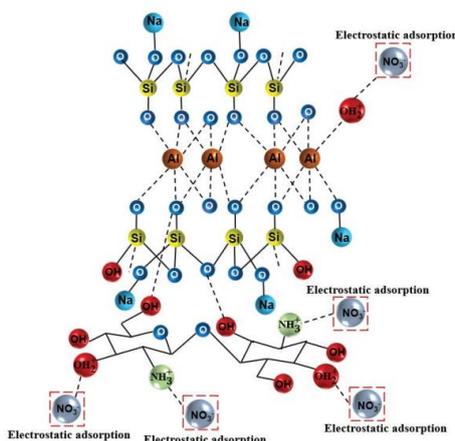


Figure 1 Adsorption mechanism of alginate hydrogel granules formulated with zeolite and nitrate (source: Gao et al., 2020)

สรุป

จากการศึกษาผลของอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ต่อการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนเตรท และไนเตรท ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 25 และ 50% เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 50% (ZE 50%) สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำได้ดีที่สุด ในขณะที่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุด และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 5% (ZE 5%) สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุด อัตราการดูดซับแอมโมเนีย ไนเตรท และไนเตรทในน้ำสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่ 1 ชั่วโมง เมื่อทดสอบความสามารถของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ในการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนเตรท และไนเตรทในน้ำในการขนส่งปลาทอง พบว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ที่ระดับความเข้มข้น 25% (ZE 25%) สามารถลดแอมโมเนีย ไนเตรทในระหว่างการขนส่งได้ อัตราการรอดตายของปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$)

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของซีโอไลท์และผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจิเนตเพื่อการกำจัดไนโตรเจนในน้ำในการขนส่งปลาสวยงาม งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 และขอขอบคุณคุณโสภณวดี เมืองฮาม ในการให้ความอนุเคราะห์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กัลยาพร สงจันทร์. 2553. ผลของการใช้วัสดุดูดซับบางชนิดต่อการรอดตายและความเครียดในระหว่างการลำเลียงขนส่งปลาสวยงาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีประมง สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ชานนท์ แดงสีพล, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2560. การประยุกต์ใช้เซรามิกส์พอร์นที่ประกอบด้วยซีโอไลต์ Y และ สารประกอบคล้ายไฮโดรทัลไซต์เพื่อบำบัดมลสารในน้ำเสียชุมชน [บทความ] Application of porous zeolite Y and hydrotalcite-like compound ceramic for pollutants treatment in municipal wastewater [Article] - 2560 - วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 12, 1 (ม.ค.-มิ.ย. 2560).
- ศิริพร จิ่งสุทธิวงษ์ และชาญ อินทร์แต่ม. 2550. การศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางพลังงานของซีโอไลต์ธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2550. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล, วันเพ็ญ มีนากุล, นนทรี ปานพรหมมินทร์ และบุษกร บำรุงธรรม. 2544. การขนส่งปลาสวยงามไปตลาดต่างประเทศ. วารสารการประมง. 1: 41-46.
- อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์. 2559. การดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์: กรณีศึกษาคลองขวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ดุษฎีนิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Baniasadi, M., and M. J. Minary. 2015. Alginate-Collagen Fibril Composite Hydrogel. *Materials*. 8(2): 799-814.
- Das, D., and S. Pal. 2015. Modified biopolymer-dextrin based crosslinked hydrogels: application in controlled drug delivery. *RSC Advances*. (5): 25014-25050.
- Gao, Y., S.H. Baoa, L. Zhanga, and L. Zhangb. 2020. Nitrate removal by using chitosan/zeolite molecular sieves composite at low temperature: characterization, mechanism, and regeneration studies.
- Gonçalves, V. L., C. M. Mauro, V. T. Laranjeira, R. C. Fávere, and Pedrosa. 2005. Effect of Crosslinking Agents on Chitosan Microspheres in Controlled Release of Diclofenac Sodium. *Polímeros*. 15: 6-12.
- Huang, Y., M. Zeng, Z. Feng, D. Yin, Q. Xu, and L. Fan. 2016. Graphene oxide-based composite hydrogels with self-assembled macroporous structures. *RSC Advances*. 6: 3561-3570.
- Jiao, T., H. Zhao, J. Zhou, Q. Zhang, X. Luo, J. Hu, Q. Peng, and X. Yan. 2015. Self-Assembly Reduced Graphene Oxide Nanosheet Hydrogel Fabrication by Anchorage of Chitosan/Silver and Its Potential Efficient Application toward Dye Degradation for Wastewater Treatments. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 3: 3130-3139.
- Lian, C. L., P. Dhert, and P. Sorgeloos. 2003. Recent developments and improvements in ornamental fish packaging systems for air transport, *Aquaculture Research*. 34: 923-935.
- Liu, L. S., J. Kost, F. Yan, and R. C. Spiro. 2012. Hydrogels from Biopolymer Hybrid for Biomedical, Food, and Functional Food Applications. *Polymers*. 4: 997-1011.
- Murkani, M., M. Nasrollahi, M. Ravanbaskhsh, P. Bahrami, N. Jaafarzadeh, and H. Fard. 2015. Evaluation of natural zeolite clinoptilolite efficiency for the removal of ammonium and nitrate from aquatic solution. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 2(1): 17-22.
- Ni ã, I., M. Iorgulescu, M. F. Spiroiu, M. Ghiurea, C. Petcu, and O. Cinteza. 2007. The adsorption of heavy metal ions on porous calcium alginate microparticles. *Analele Universitat din Bucuresti-Chimie, Anul XVI (serienouã)*. 1: 59-67.

- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons. 1972. *A Practical Hand Book of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition.
- Teramoto, N., A. Hayashi, K. Yamanaka, A. Sakiyama, A. Nakano, and M. Shibata. 2012. Preparation and Mechanical Properties of Photo-Crosslinked Fish Gelatin/Imogolite Nanofiber Composite Hydrogel. *Materials*. 5(12): 2573-2585.
- Tina, C. C., J. E. Hill, C. V. Martinez, C. A. Watson, D. B. Pouder, and R.P.E. Yanong. 2005. On-Farm Transport of Ornamental fish. Available: <http://www.researchgate.net/publication/251325579>. Accessed Aug. 14, 2018.
- Van, S. V., P. Dubruel, and E. Schacht. 2011. Biopolymer-Based Hydrogels as Scaffolds for Tissue Engineering Applications: A Review. *Biomacromolecules*. 12: 1387–1408.
- Zheng, Y., and A. Wang. 2012. Ag nanoparticle-entrapped hydrogel as promising material for catalytic reduction of organic dyes. *Journal of Materials Chemistry*. 22: 16552-16559.