



V. 001-2568

Carbon Capture Potential of Microalgae

ศักยภาพในการดักจับคาร์บอนของสาหร่ายขนาดเล็ก



As the world intensifies efforts to combat climate change, carbon capture technologies have gained considerable attention. Among various biological options, microalgae stand out for their remarkable ability to capture carbon dioxide (CO_2) from the atmosphere and industrial emissions. These microscopic photosynthetic organisms possess unique biological and ecological traits that make them highly effective in carbon sequestration, biomass production, and environmental remediation.

ท่ามกลางความพยายามในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เทคโนโลยีดักจับคาร์บอนได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เป็นตัวเลือกทางชีวภาพที่โดดเด่นด้วยความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งจากบรรยากาศและจากกระบวนการปล่อยของเสียอุตสาหกรรม สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สังเคราะห์แสงได้นี้มีคุณสมบัติทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาที่เป็นเอกลักษณ์ ทำให้สามารถดูดซับคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างชีวมวลได้รวดเร็ว และช่วยฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน

Distinctive Efficiency Features

- **Superior Photosynthetic Efficiency** – Like plants, microalgae perform photosynthesis by converting CO_2 into organic compounds using sunlight. However, they are significantly more efficient than conventional terrestrial plants. Under optimal conditions, microalgae exhibit growth rates 10–50 times faster than perennial plants and can absorb CO_2 20–30 times more effectively. Additionally, microalgae require far less land than terrestrial crops, allowing cultivation in confined spaces and on non-arable land.
- **Versatility in Carbon Source Utilization** – Microalgae can utilize a wide range of carbon sources. In addition to atmospheric CO_2 , microalgae can effectively capture carbon from industrial flue gases, biogas produced from biomass decomposition, and even CO_2 dissolved in industrial wastewater. Certain species can also metabolize organic carbon from nutrient-rich wastewater, serving both as a carbon capture system and a wastewater treatment solution.
- **Opportunities for Genetic Enhancement** – Recent advancements in biotechnology have enabled researchers to improve the carbon capture capabilities of microalgae through genetic engineering. For instance, efforts are underway to engineer ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCo) — a key enzyme in the photosynthetic process — to increase its carbon fixation efficiency. Additionally, scientists are exploring microalgae with a truncated light-harvesting antenna, allowing for greater light penetration into dense cultivation systems, thereby maximizing overall photosynthetic efficiency.





V. 001-2568

จุดเด่นด้านประสิทธิภาพ

- ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเหนือกว่าพืชทั่วไป สาหร่ายขนาดเล็กสามารถสังเคราะห์แสงโดยใช้ก๊าซ CO_2 และพลังงานแสงอาทิตย์ เช่นเดียวกับพืช แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก ภายใต้สภาวะเหมาะสม สาหร่ายขนาดเล็กมีอัตราการเติบโตเร็วกว่าไม้ยืนต้นถึง 10–50 เท่า สามารถดูดซับ CO_2 ได้มากกว่าพืชทั่วไปถึง 20–30 เท่า นอกจากนี้ ยังต้องการพื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป จึงสามารถเพาะเลี้ยงได้ในพื้นที่จำกัดและพื้นที่เสื่อมโทรมที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตร
- ความสามารถในการใช้แหล่งคาร์บอนที่หลากหลาย นอกจากก๊าซ CO_2 ในอากาศแล้ว สาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถดูดซับคาร์บอนจากก๊าซปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม (flue gas) จากก๊าซชีวภาพ (biogas) ที่เกิดจากการย่อยสลายชีวมวล และจาก CO_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย อุตสาหกรรมได้ สาหร่ายบางสายพันธุ์ยังสามารถย่อยสลายคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียได้ด้วย ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นทั้งระบบดักจับคาร์บอนและระบบบำบัดน้ำเสียไปพร้อมกัน
- โอกาสในการปรับปรุงพันธุ์ด้วยเทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพในปัจจุบัน ช่วยให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการดักจับคาร์บอนของสาหร่ายขนาดเล็กได้ เช่น การปรับแต่งเอนไซม์ ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCo) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอน รวมถึงการลดขนาดของแอนเทนนาสังเคราะห์แสง (Truncated light-harvesting antenna) เพื่อให้แสงทะลุถึงชั้นลึกของบ่อเพาะเลี้ยง เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงโดยรวม

Cultivation Systems

Microalgae can be cultivated in various systems, each with distinct benefits and limitations. Open pond systems are cost-effective but offer lower productivity and limited control over environmental factors. In contrast, photobioreactors (PBRs) provide a closed, controlled environment, leading to higher yields and reduced contamination risks. The integration of Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) in cultivation systems enable real-time monitoring and dynamic adjustment of physical and chemical parameters to optimize growth conditions and carbon uptake.

To enhance sustainability, microalgae cultivation systems can be integrated with industrial facilities to utilize flue gas emissions as a carbon source and wastewater as a nutrient supply, reducing dependency on chemical fertilizers. The use of renewable energy, such as solar and biomass energy, in these systems further minimizes the overall carbon footprint, positioning microalgae as a versatile and scalable solution for low-carbon industrial processes.

ระบบการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถเพาะเลี้ยงได้ในหลายระบบ โดยแต่ละระบบมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ระบบบ่อเปิด (Open pond) มีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพต่ำ และควบคุมสภาพแวดล้อมได้จำกัด ขณะที่ โฟโตไบโอรีแอคเตอร์ (Photobioreactor, PBR) เป็นระบบปิดที่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ทำให้ได้ผลผลิตสูงและลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อน นอกจากนี้การนำ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) และ Internet of Things (IoT) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบเพาะเลี้ยง ก็ได้รับความสนใจมากขึ้น ช่วยให้สามารถตรวจสอบและปรับแต่งค่าทางกายภาพและเคมีแบบเรียลไทม์ เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการดูดซับคาร์บอนของสาหร่าย

เพื่อส่งเสริมความยั่งยืน ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ก๊าซ CO_2 จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับสาหร่ายขนาดเล็ก ใช้ น้ำเสียจากโรงงานเป็นแหล่งสารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวล จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนโดยรวม ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กกลายเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาอุตสาหกรรมคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืนในอนาคต

