कार्बन पृथक्करण (Carbon sequestration) और आजीविका के लिए समुद्री शैवालों का समुद्री संवर्धन

पी. कलाधरन
भा कृ अनु प-केन्द्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान, कोच्ची, केरल
लेखक से संपर्क: kaladharanep@gmail.com

प्रस्तावना

समुद्री स्थूलशैवालों को सामान्यतः समुद्री शैवाल कहा जाता है, इन में वर्गीकरण की दृष्टि से विशिष्ट क्लोरोफाइटा (हरित शैवाल), फियोफाइटा (भुरा शैवाल) और रोडोफाइटा (लाल शैवाल) सम्मिलित हैं। सामान्यतः ये समुद्र के अंतर्ज्वारीय या उपज्वारीय क्षेत्रों में चट्टानों, गोलाकार पत्थरों या अन्य जलीय पौधों पर संलग्न होकर पाए जाते हैं। समुद्री शैवाल एगार, एल्गिन और कारागीनन जैसे फाइकोकोलाइडों का प्राकृतिक स्रोत हैं। भारत में केन्द्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान, कोचीन, केन्द्रीय नमक व समुद्री रसायन अनुसंधान संस्थान, भावनगर औरा राट्रीष्य महासागर संस्थान, गोवा में समुद्री शैवालों का समुद्री संवर्धन किए जाने के प्रयास हो रहे हैं। वर्ष 1964 में पोरबंदर (थिवी, 1964) के तालाबों में कयर (नारियल की रस्सी) में भुरा शैवाल सरगासम के छोटे टुकड़े बांधकर पहली बार समुद्री शैवाल के पालन पर परीक्षण शुरू किया गया। दूसरे विश्व महायुद्ध के दौरान, जब एगार की उपलब्धि में कमी हुई थी, वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान बोर्ड ने भारत में केरल विश्वविद्यालय के अनुसंधान विभाग में एगार का निर्माण शुरू किया। तब से लेकर इस दिशा में शैवालों का उपयोग करने लगा और केन्द्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान ने *ग्रेसिलेरिया* जाति और *जेलीडियम माइक्रोप्टीरम* से एगार का उत्पादन करने के लिए कुटीर उद्योग का तरीका विकसित किया। बाद में मदुरै-रामेश्वरम, रानीपेट-वेल्लूर, हाइदराबाद, अहम्मदाबाद और बड़ौदा में एगार और एल्गिन उत्पादन के कई इकाइयाँ कार्यरत होने लगीं। इसके फलस्वरूप समुद्री शैवालों के विदोहन में वर्धन हुआ और अब वर्षावर्ष समुद्री शैवाल उद्योगों में कच्चे माल की मांग की पूर्ति के लिए समुद्री शैवालों का समुद्री संवर्धन करना आवश्यक बन गया (कलाधरन और जयशंकर, 2003)।

समुद्री शैवालों का समुद्री संवर्धन

समुद्री शैवालों का समुद्री संवर्धन सभी प्रकार से संस्तुत है, क्योंकि क) समुद्री शैवालों के समुद्री संवर्धन से समुद्री शैवालों का उत्पादन बढ़ जाता है, ख) वांछित किस्मों का बडे पैमाने में पैदावार किया जा सकता है, ग) अतिविदोहन से प्राकृतिक संस्तरों को संरक्षित किया जा सकता है, घ) विदेशी जातियों का ध्यान से अनुकूलन करने के बाद पैदावार किया जा सकता है, ङ) समुद्रीय शैवाल उद्योगों को लगातार कच्चे माल की पूर्ति की जा सकती है, च) संग्रहण आसान है और इसलिए कच्चे माल की पूर्ति सुनिश्चित की जा सकती है और छ) समुद्री शैवाल के समुद्री संवर्धन के लिए उर्वरकों और कीटनाशकों की ज़रूरत न होने की वजह से यह पर्यावरण अनुकूल तरीका है।

समुद्री शैवालों और खाद्य मछली सहित विश्व का जलकृषि उत्पादन वर्ष 2008 में 68.3 मिलियन टन हो चुका था और इसका कुल आकलित मूल्य US $ 7.4 बिलियन था। इसी वर्ष में विश्व के कुल जलीय पौधों के उत्पादन का 93.8% जलकृषि से प्राप्त हुआ था। वर्ष 1970 से लेकर जलीय पौधों के पैदावार में औसत वार्षिक वृद्धि दर 7.7% के साथ लगातार वृद्धि होने लगी और वर्ष 2008 में समुद्री शैवालों के उत्पादन में 99.6% मात्रा से और 99.3% मूल्य से

वृद्धि आकलित की गयी (एफ ए ओ, 2011)। पूर्व और दक्षिण पूर्व एशिया के देश समुद्री शैवाल उत्पादन में आगे हैं (वर्ष 2008 में 99.6% मात्रा से और 99.3% मूल्य से)। पीपिल्स रिपब्लिक ऑफ चीन में ही विश्व में समुद्री शैवाल के जलकृषि उत्पादन का 62.8% मात्रात्मक उत्पादन आकलित किया गया। समुद्री शैवाल का उत्पादन करने वाले अन्य प्रमुख देश हैं इन्डोनेशिया (13.7%), फिलिप्पीन्स (10.6%), रिपब्लिक ऑफ कोरिया (5.9%), जापान (2.9%) और डेमोक्राटिक पीपिल्स रिपब्लिक ऑफ कोरिया (2.8%)। पूर्व एशिया में समुद्री शैवाल जातियों का पैदावार मानव खपत के लिए किया जाता है और एल्गिन और आयोडिन का सार निचोडने के लिए कच्चे माल के रूप में जापानी समुद्री घास की राख भी उपयुक्त की जाती है। दक्षिण पूर्व एशिया में कारागीनन निचोड के लिए *युकीमा* जाति का उपयोग किया जाता है (एफ ए ओ, 2011)।

भारत में समुद्री शैवालों के समुद्री संवर्धन में उच्च पुनर्जनन क्षमता की वजह से *ग्रेसिलेरिया इडुलिस* का पैदावार चालू है। हाल ही में भारतीय समुद्रों में *काप्पाफाइकस*, जो एक विदेशी जाति है, का पैदावार भी शुरू की गयी और इस जाति का पैदावार अत्यंत प्रोत्साहजनक देखा गया और कारागीनन निचोड के कच्चा माल की कमी की पूर्ति में सहायक भी बन जाएगा। केन्द्रीय नमक व समुद्री रसायन अनुसंधान संस्थान (सी एस एम सी आर आइ) ने वर्ष 1995 में दीव समुद्र तट (गुजरात) पर जल्दी बढ़ने वाली इस जाति का पैदावार शुरू किया गया। इसके बाद सी एस एम सी आर आइ ने इसका पैदावार पर्यावरण अनुकूल और सुरक्षित सुनिश्चित करने के बाद सामग्री और प्रौद्योगिकी पेप्सी कंपनी को स्थानांतरित किया। यह जाति कारागीनन, जो औषध और खाद्य उद्योग में जेल बनाने वाला घटक है, का स्रोत है। पेप्सी फुड लिमिटड (पी एफ एल) द्वारा मछुआरों, जिनके साथ कंपनी का वापस खरीदने का समझौता (buy back agreement) है, की सहकारिता से खुले सागर में इस शैवाल जाति का वाणिज्यिक तौर का पैदावार किया जाता है। *कापाफाइकस* से द्रव उर्वरक का उत्पादन किया जाता है और यह भी पेप्सी कंपनी खरीदना चाहती है।

उड़ीसा के गंजाम तट की मछुआरों के ग्रुप ने काप्पा कारागीनन का परीक्षणात्मक उत्पादन करने के उद्देश्य से तमिल नाडु के अपने सहयोगियों से मिलकर अपने गाँवों के निकट के पश्च जल क्षेत्रों में वाणिज्यिक तौर पर कापाफाइकस का पैदावार शुरू किया है। उन्होंने सामूहिक विपणन संबंध द्वारा अपने उत्पादों का विपणन करने का निर्णय लिया है। राष्ट्रीय जैवविविधता निधि को 37 लाख रुपए की रॉयल्टी देने वाली एकमात्र जलकृषि गतिविधि मन्नार खाडी में किए जाने वाले *कापाफाइकस अल्वरेज़ी* का समुद्री संवर्धन है (डाउन टू एर्थ, 2012)।

कार्बन पृथक्करण

वर्ष 1960 में CO_2 की औसत सांद्रता 315 पी पी एम थी, जो वर्ष 2007 में 380 पी पी एम तक बढ़ गयी (आइ पी सी सी, 2007)। वर्ष 1990 से लेकर विश्वव्यापक तौर पर CO_2 के उत्सर्जन में 35**%** का वर्धन हुआ है। कृषि क्षेत्रों से प्रदूषणकारी वस्तुओं, औद्योगिक बहिस्रावों और विषैले धातुओं को नदियों द्वारा अविवेकी रूप से बाहर छोड़ने से वर्षों से लेकर CO_2 का स्तर बढ़ गया है। समुद्र जीवों द्वारा ग्रहण किए जाने वाले कार्बन को ब्लू कार्बन के रूप में जाना जाता है और यह प्राथमिक उत्पादकों जैसे पादपप्लवक, समुद्री शैवालों, समुद्री घासों (समुद्र के फूल पौधे), मैंग्रोव और लवण क्यारियों में संचित होता है (काल्डीरा और विक्केट, 2003)। अधिक होने वाला CO_2 समुद्र जल में विलीन होकर समुद्र के कार्बोनेट अयेर्न की उपलब्धता घटाता है और इस से प्रवालों, कवचों, झींगों और केकड़ों के एक्सोस्केल्टन रूपायन में हानि पहुँचाता है (फीली आदि, 2004)। समुद्र जल में अधिक होने वाले CO_2 से पी एच का स्तर कम होता है और समुद्र जल हाइपोक्सिक बनकर महासागर में द्रुत गति में मृत क्षेत्र (dead zone) होने का कारण बन जाता है। वातावरण से मानवीय गतिविधियों से कार्बन डाइओक्साइड $\mathbf{CO_2}$ का उत्सर्जन किए जाने

से महासागर में पी एच घट जाता है और इसके फलस्वरूप महासागर असिडिफिकेशन होता है। मानव द्वारा छोडे जाने वाले 30-40% कार्बन डाइओक्साइड CO_2 महासागर, नदियों और झीलों में विलीन होता है (मिल्लेरो, 1995, फीली आदि, 2004)। यह आकलित किया जाता है कि उद्योगों के विकास के पूर्व समुद्र जल के पी एच में 8.179 से 8.069 तक की घटती हुई थी और वर्ष 2025 तक 7.949 तक घट जाएगा (काल्डीरा और विक्केट, 2003)।

वातावरण, जलाशयों और महासागर से CO_2 का प्रग्रहण, उपयोगिता और दीर्घकालीन भंडारण को कार्बन पृथक्करण कहा जाता है। भूतल के पौधों की अपेक्षा समुद्र के प्राथमिक उत्पादक कार्बन पृथक्करण के घटक हैं, क्योंकि ये CO_2 का बडी मात्रा में उपयोग कर सकते हैं और इस तरह महासागर अम्लीकरण घटाकर प्रवाल संस्तरों की पुनःस्थापना में सहायता देते हैं (जु, 2003)।

समुद्री शैवालों की कार्बन पृथक्करण शक्यता

प्रकाशस्वपोषी शैवालों (photoautotrophic algae) में CO_2 की रिहाई कम करके कार्बन स्थिरीकरण की शक्यता है और इन्हें प्रकाशसंश्लेषण के लिए उपयुक्त किया जा सकता है, जो निम्नलिखित इक्वेशन से वर्णित किया जाता है:

$6H_2O + 6\ CO_2$ ------> $C_6H_{12}O_6+6O_2$

प्रकाश संग्रहण की सुविधा युक्त पौधे प्रकाश में एक मोलिक्यूल शुगर और छः मोलिक्यूल पानी का उत्पादन करने के लिए CO_2 के छः मोलिक्यूल और पानी के छः मोलिक्यूल उपयुक्त करते हैं। कलाधरन आदि (2009) ने दो समुद्री प्लवकीय सूक्ष्मशैवालों *नानोक्लोरोप्सिस सलीना* और *आइसोक्राइसिस गालबाना* तथा समुद्री शैवाल की तीन जातियों *ग्रेसिलेरिया कोर्टिकेटा, सरगासम पोलीसिस्टम* और *अल्वा लैक्ट्यूका* में CO_2 पृथक्करण की क्षमता का मापन किया है। इन शैवालों में CO_2 का बढ़ जाने से सकल प्राथमिक उत्पादकता (जी पी पी) प्रभावित नहीं होती है।

सारणी: परिवेशी स्तरों में विभिन्न विलीन **CO_2** के विभिन्न स्तरों में समुद्री शैवालों की जी पी पी (कलाधरन, आदि, 2009)

यह देखा गया है कि हरित समुद्री शैवाल *यु. लैक्ट्यूका* में कार्बन स्थिरीकरण के लिए 15 mgl/l के स्तर तक समुद्र जल से CO_2 की 100% उपयोगिता करने की क्षमता है और इस स्तर से परे उपयोगिता 60% तक कम हो जाएगी। सूक्ष्मशैवाल में भी **15 mgl/l** के स्तर तक समुद्र जल से विलीन CO_2 की 27.7% उपयोगिता करने की क्षमता है और स्तर कम या अधिक होने पर कार्बन स्थिरीकरण और बाहर निकालने में कोई प्रभाव नहीं दिखाया पड़ा है (कलाधरन, आदि, 2009)।

सारणी: समुद्री शैवालों में CO_2 ग्रहण या बाहर निकालने की क्षमता

यह देखा जाता है कि भारतीय समुद्र में समुद्री शैवालों याने कि 14% एगार और कारागीनन प्राप्त होने वाले समुद्री शैवालों, 16% एल्गिन प्राप्त होने वाले समुद्री शैवालों और 70% हरित शैवालों की खड़ी फसल 2,60,876 टन है (देवराज, आदि, 2009)। इन आकलनों पर विचार करते हुए प्रति दिन CO_2 परिपाक की दर हरित शैवाल *अल्वा लैक्ट्यूका*, भुरा शैवाल *सरगासम पोलीसिस्टम* और लाल शैवाल *ग्रेसिलेरिया कोर्टिकेटा* के प्रति दिन CO_2 परिपाक की दर का आकलन किया गया।

जाति	CO_2 स्तर (mgl/l)				
	0	5	10	15	25
ग्रेसिलेरिया कोर्टिकेटा	100	91	78.5	145.2	146
सरगासम पोलीसिस्टम	100	224	0	252	309
अल्वा लैक्ट्यूका	100	93	100	95	109

सारणी: भारतीय समुद्रों की समुद्री शैवाल संपदाओं द्वारा CO_2 ग्रहण या बहिर्गमन

हरित समुद्री शैवाल प्रमुख और कार्बन परिपाक की उच्च क्षमता होने की वज़ह से इनकी कार्बन पृथक्करण की क्षमता भी अधिक है।

निष्कर्ष

यह आकलित किया जाता है कि सिर्फ भारतीय समुद्र के समुद्री शैवाल जैवभार में 3017 t CO_2/d कार्बन ग्रहण और 122 t CO_2/d कार्बन

समुद्री शैवाल	CO_2 ग्रहण करने की क्षमता	CO_2 बाहर निकालने की क्षमता
ग्रेसिलेरिया कोर्टिकेटा (लाल)	1.60	1.0
सरगासम पोलीसिस्टम (भुरा)	2.35	0
अल्वा लैक्ट्यूका (हरित)	4.10	0
माध्य	2.68	0.33

उत्सर्जन की क्षमता है, जो सकल 2895 t /d कार्बन क्रेडिट का संकेत देता है। इसी प्रकार भारत की अनन्य आर्थिक मेखला में फैले हुए पादपप्लवक संपदाएं, समुद्री घास और लवण क्यारी वनस्पतियाँ प्रकाश संश्लेषण के लिए प्रतिदिन बडी मात्रा में कार्बन की

समुद्री शैवाल का प्रकार	खड़ी फसल (टन गीला भार)	CO_2 ग्रहण (टन / दिन)	CO_2 बहिर्गमन (टन / दिन)
हरित	182613	7487	0
भुरा	41740	981	0
लाल	36523	584	365
कुल	260876	9052	365

उपयोगिता करने में सक्षम हैं। भारत में समुद्री संवर्धन करने लायक समुद्री शैवाल संपदाएं हैं अंतर्ज्वारीय क्षेत्रों में बढ़ने वाले *जेलीडियेला एकरोसा*, गहरे समुद्र में बढ़ने वाले *कापाफाइकस अल्वरेज़ी* और खारा पानी में बढ़ने वाले *ग्रेसिलेरियोप्सिस लेमानीफोर्मिस*। इसी तरह एगार के उत्पादन के लिए ग्रेसिलेरिया, जेलीडियेल्ला, के-कारागीनन के उत्पादन के लिए *कापाफाइकस अल्वरेज़ी* और औषधीय एवं द्वितीय मेटाबोलाइटों के उत्पादन के लिए अल्वा और कॉर्पा का पैदावार किया जा सकता है और इस वजह से ग्रीन हाउस गैस का उत्स्रवण और महासागर अम्लीकरण कम किया जा सकता है और इन सबके अतिरिक्त समुद्री शैवालों का पैदावार किसानों की आजीविका का अच्छा उपाय भी है।

कापाफाइकस अल्वरेज़ी की फसल