"समुद्री नील हरित शैवाल - नवीकरणीय (रिन्यूएबल) ऊर्जा के सम्भाव्य स्त्रोत"

संध्या सधानन्दन, स्वाति जोशी एवं तानाजी जगताप
राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, दोना पावला, गोवा- 403004

सारांश:

जीवाश्मीय ईंधन के अवक्षय की बढ़ती हुई दर तथा पर्यावरण में कार्बन डाई ऑक्साइड के बढ़ते हुए अम्बार में उनके योगदान के कारण भविष्य में परम्परागत ऊर्जा के स्त्रोतों पर निर्भर रहना असम्भव सा प्रतीत होता है। वर्तमान में जैवईंधन स्थलीय पादपों (जैसे-तौरिया, सोयाबीन, ताड़, मक्का, गन्ना आदि) से प्राप्त किए जाते है। दुर्भाग्यवश तेलीय फसलों द्वारा प्राप्त जैवडीजल वास्तविकता में परिवहन ईंधन की मांग के छोटे से अंश की पूर्ति नहीं कर पाते हैं। बढ़ते हुए खाद्यान्नों के मूल्यों के साथ, कृष्य की भूमि को जैवईंधन की उपज हेतु बदलने से भारत जैसे कृषि प्रधान अर्थव्यवस्था वाले देश में, गंभीर परिणाम हो सकते हैं। परन्तु शीघ्रता पूर्वक उभरती हुई अर्थव्यवस्था एवं जनसंख्या वृद्धिदर ऊर्जा के उपयोग को कई गुना बढ़ा देते हैं। अत: पर्यावरण एवं अधिक स्थिरता के लिए नवीकरणीय स्रोत अत्यावश्यक है। नवीकरणीय स्रोत के रूप में सूक्ष्मशैवालों द्वारा (मुख्यतः सायनोबैक्टिरिया) उत्पादित जैवईंधन मात्र अकेला कार्बन उदासीन स्रोत है जो कि ऊर्जा की इस बढ़ती हुई मांग की पूर्ति में सक्षम है। प्रस्तुत लेख नील हरित शैवाल (सायनोबैक्टिरिया) को जैव हाइड्रोजन, जैवडीजल, जैवविद्युत एवं एथेनॉल के रूप में ऊर्जा के भावी स्रोत के रूप में सम्भावनाओं का वर्णन करता है।

परिचय :

वर्तमान में प्रतिदिन विश्व में करीब **3.36** अरब गैलन (**80** लाख बैरल) तेल की खपत होती है। विश्व में तेल का यह बढ़ता हुआ उपयोग एवं सिकुड़ती हुई जीवश्मीय ईंधन की सम्पूर्ति ऊर्जा की इस समस्या को कई गुना बढ़ा रहे हैं। (केम्ब्वेल **2007**) । साथ ही साथ वृहद पैमाने पर कार्बन-डाई-ऑक्साइड का वायुमण्डल में उत्सर्जन, वैकल्पिक शोधित्र ईंधन का नवीकरणीय स्रोत द्वारा उत्पादन में वृद्धि को और भी आवश्यक बना देते हैं। जीवाश्मीय ईंधन पर हमारी बढ़ती हुई निर्भरता इन क्षीयमाण स्रोतों के लिए आर्थिक विदारण, राजनैतिक उपद्रव एवं युद्ध की बहुत बड़ी सम्भावना को खड़ा कर देती है। भू-मण्डलीय जलवायु के बदलने के खतरे का सबसे बड़ा कारण वायुमण्डल में बढती हुई कार्बन -डाई-ऑक्साइड की मात्रा है, जो कि इन जीवाश्मीय ईंधन के दहन से निकलती है। अतएव, योग्य वैकल्पिक ऊर्जा के गैर पारम्परिक स्रोतों से ऊर्जा प्राप्त करने के प्रयास प्रारम्भ किए जा चुके हैं। जैसे — जैवडीजल, एथेनॉल, हाइड्रोजन या जैवईंधन कोश जैसी युक्ति (रागौस्कस, **2006**

परम्परागत जैवईंधन का उत्पादन एवं पर्यावरण:

"रिन्युएबल एनर्जी ग्लोबल स्टेटस रिपोर्ट ऑफ **2007**" के अनुसार सन्**2007** में जैवईंधन (एथेनॉल एवं जैवडीजल) का उत्पादन **53** अरब लीटर था जो कि सन्**2005** से **43** प्रतिशत अधिक है। सन् **2007** में एथेनॉल का उत्पादन विश्व की कुल पेट्रोल खपत **1300** अरब लीटर का **4** प्रतिशत था। जैवडीजल का वार्षिक उत्पादन तो सन्**2006** की अपेक्षा **50** प्रतिशत से भी अधिक था। जैवईंधन, विशेष रूप से जैवडीजल एवं एथेनॉल के उत्पादन के लिए परम्परागत फसलों में तौरिया (Rapeseed), सोयाबीन, ताड़, मक्का, गन्ना कसावा इत्यादि सम्मिलित हैं। जैवडीजल को सामान्यत: स्वच्छ, पारिक एवं नवीकरणीय वैकल्पिक ईंधन कहा जाता है। परन्तु भुमि पर कुप्रभाव डालने वाली इसकी वर्तमान उत्पादन प्रकिया को देखें तो इसे पृथ्वी पारिस्थितिकी तंत्र के लिए सबसे खतरनाक स्रोत का नाम दे सकते हैं। बृहद् पैमाने पर जैवईंधन के उपयोग से होने वाला खतरा प्रमुख रूप से भूमि से

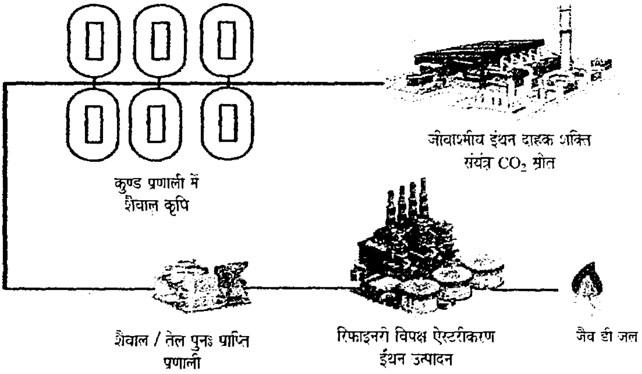
वनोन्मूलन की वजह से है, क्यों कि फसलों के उत्पादन के लिए भूमि की आवश्यकता होती है।

खाद्य फसलों से जैवईंधन की और रूख करने के सभी उपगमन असफल होते हुए प्रतीत होते हैं, क्योंकि खाद्य उत्पादन के लिए कृषि योग्य भूमि के लिए उनमें स्पर्धा रहेगी एवं जैव ईंधन का उत्पादन सीमित है, जिससे कि अन्ततः खाद्यानों के मुल्य में वृद्धि हो जाएगी (रिट्टमान, 2008)।

प्रकाश संश्लेषी सुक्ष्मजीवों द्वारा सूर्य के प्रकाश को जैवडीजल में परिवर्तित करने की प्रकिया भी एक वैकल्पिक उपगमन हो सकता है।

सूक्ष्मशैवाल की परम्परागत ईंधन फसलों पर श्रेष्ठता:

सूक्ष्मशैवालों को उनकी कम जटिल संरचना, तीव्रवृद्धि दर एवं कुछ जातियों में पाये जाने वाले उच्च तैलीय अंश, और भी महत्वपूर्ण वना देते हैं। समकालीन शोध की गणना अनुसार इनमें ताड़ रोपण की अपेक्षा करीव 25 गुना एवं तौरिया की अपेक्षा 100 गुना अधिक उपज होती है, जो कि युरोप में जैव डीजल के लिए सामान्य फसलें हैं (तालिका-1)। समान ऊर्जा प्राप्ति के लिए स्थलीय फसलों से भिन्न, सुक्ष्म शैवाल द्वारा जैवडीजल की उपज प्रति क्षैत्रफल अधिक होती है। यहां तक की शुष्क एवं गर्म क्षेत्रों में भी इनकी कृषि की जा सकती है। फलस्वरूप ना तो पर्यावरण पर इसका बहुत प्रभाव पडता है ना ही खाद्य उत्पादन के लिए कृषि योग्य भूमि के लिए प्रतिस्पर्धा रहती है। इसी प्रकार वातावरण में उपस्थित CO_2 का शैवाल संवर्धन संयंत्र में जैवयौगिकीकरण द्वारा जैवडीजल का उत्पादन किया जाता है जो कि वैकल्पिक शोधक है (कुरेवीजा एवं कुकुल्ज, 2004) चित्र 1।



चित्र 1 शैवाल द्वारा जैवडीजल उत्पादन के साथ जीवाश्मीय ईधन दाहक शक्ति संयंत्र द्वारा CO_2 के उत्सर्जन का सरलीकृत आरेख (संदर्भ ः टॉमिस्लाव एवं नेनाद, 2004)

जैवईंधन : भारतीय संदर्श

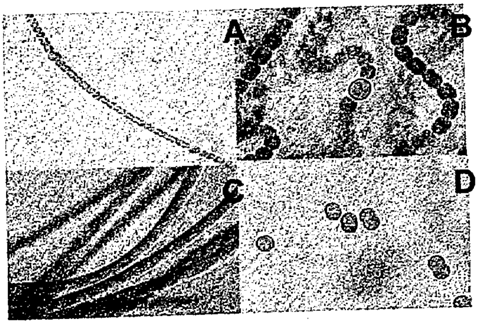
जैवईधन के उत्पादन में 0.30 अरव लीटर एथेनॉल एवं 0.03 अरव लीटर जैवडीजल का उत्पादन करते हुए भारत का विश्व में आठवां स्थान है। पेट्रोल के 10 प्रतिशत सम्मिश्रण के लिए करीव 500 (मिलियन) खरव लीटर एथेनॉल की भारत में आवश्यकता है। (चन्देल, 2007)। सन्2001 में ऊर्जा की मांग एवं गणना अनुसार कुल ऊर्जा का 3.5 प्रतिशत भाग का उपयोग करते हुए भारत का छठा स्थान था, तव से मांग में अनवरत रूप से वढोतरी हो रही है।

भारत, कुल उपयोग में आने वाले तेल में से लगभग 70% तेल आयात करता है जिसके फलस्वरूप देश को बढ़ती हुई तेल की कीमत, अनिश्चतता एवं जैवईंधन के उपयोग से होने वाले पर्यावरण संकट की मार झेलनी पड़ रही है। इसी सन्दर्भ में जैवऊर्जा के लिए वड़ी मात्रा में कच्चे माल की उपलब्धता ऊर्जा के रूप में जैवऊर्जा को भारत में स्थापित करता है। जैवऊर्जा के उपलब्ध विभिन्न विकल्पों में से जैवडीजल एवं एथेनॉल में ऊर्जा स्रोत के रूप में आर्थिक विकास की भारत में सम्भावनाएं हैं (पारीख, एवं वालिया, 2001)। एथेनॉल के लिए भारत में कच्चेमाल के रूप में शर्करा उद्योग से प्राप्त मोलेसेज प्रयुक्त होता है। जैवडीजल के उत्पादन के लिए जैट्रोफा करकस में अत्याधिक सम्भावनाओं को देखते हुए भारतीय योजना आयोग, विभिन्न सरकारी शाखाओं एवं देशव्यापी कार्य कमों द्वारा वंजर एवं अकृष्य भूमि पर इनकी कृषि को प्रोत्साहन दे रहा है। भारत में जैट्रोफा पर निवेश करने वाली कम्पनियों में, डी1 ऑइल, गोदरेज एग्रोवेट लिमिटेड, टाटा मोटर्स, इंडियन ऑइल कॉपरेशन, कोच्वि रिफायनरीज लिमिटेड, बायोहेल्थकेयर प्राइवेट, द सदर्न ऑनलाइन वायोटेक्नोलॉजी लिमिटेड, जैन इरिगेशन सिस्टम लिमिटेड, नेचुरल वायोएनर्जी लिमिटेड एवं रिलायंस एनर्जी लिमिटेड (लेले, 2006)। भारत में करीव 110 लाख हैक्टेयर भूमि पर जैट्रोफा की कृषि की योजना है। भूमि की कमी वाले देश में यह भूमि का दिकपरिवर्तन ग्रामीण आजीविका एवं ग्रामीण पारितंत्र पर गम्भीर प्रभाव डाल सकता है। अतएव सूक्ष्मशैवाल द्वारा उत्पादित जैव ऊर्जा ही भारत की इस वढती हुई ऊर्जा की मांग की पुर्ति का सर्वोचित हल है।

प्रकाश संश्लेषण को हम मूल रूप से सौर ऊर्जा को रसायन ऊर्जा (ईंधन) में रूपान्तरित करने वाला ब्लूप्रिन्ट मान सकते है (कूज, 2005)। सूक्ष्म शैवाल विभिन्न प्रकार के नवीकरणीय जैवईंधन प्रदान करते है, जिनमें सुक्ष्मशैवालीय तेल से उत्पन्न जैवडीजल, प्रकाश जैविकीय प्रकिया द्वारा उत्पादित हाइड्रोजन, जैवविद्युत एवं एथेनॉल सम्मिलित है।

जैवहाइड्रोजन उत्पादन:

वर्तमान में प्रकाश जैविकीय हाइड्रोजन उत्पादन, प्रचलित "नवीकरणीय ऊर्जा" में से एक है। जैविकीय हाइड्रोजन उत्पादन का सवसे रोचक पहलू हाइड्रोजन का स्रोत है, जो कि और कुछ नही बल्कि जल है। नाइट्रोजन यौगिकीकरण सायनोवैक्टिरिया सौर ऊर्जा से स्वपोषी परिस्थितियों में हाइड्रोजन उत्पन्न करने की क्षमता के कारण प्रकाश जैविकीय हाइड्रोजन उत्पादन तंत्र के विकास के प्रमुख दावेदार है (सिंगकोव, 1999)। सायनोवेक्टिरिया एक ऑक्सीजनित प्रकाश स्वपोषी पूर्व केन्द्रकीय जीवों का विस्तृत एवं भिन्न समुह वनाते है जिसमें कि अधिकतर (एनाविना सिलिंड्रिकल, ऑसिलेटोरिया लिमोसा, केलोथिक्स स्कोपुलोरम, केलोथ्रिक्स मेम्व्रसिया, सायनोथ्रेसी प्राजाति, एनाविना वेरिआविलीस, नॉस्टॉक मस्कोरम, स्टॉक लिंकिआ, नॉस्टॉक लम्यून, सिनेकोकस जाति) हाइड्रोजन उत्पन्न करने में सक्षम है (चित्र 2)।



चित्र 2 : जैव हाइड्रोजन उत्पादन में उपयोगी कुछ सायनोजीवाणु जातियां

संवर्धन परिस्थितियों की विशाल पंक्ति में सायनोबैकटीरिया के करीब 14 वंशो में हाइड्रोजन उत्पादन होता है (दत्ता इत्यादि, 2005)। हाइड्रोजन उत्पादन सर्वप्रथम तंतुमय सायनोवैक्टिरिया एनाविन में जैकसन एवं एल्क्स (1896) द्वारा सूचित किया गया था (प्रिंस एवं खेशगी, 2005)।

हाइड्रोजन उत्पादन के लिए प्रकिण्व तंत्र:

सायनोवैक्टिरिया, प्रकाश स्वपोषी सुक्ष्म जीवाणु होते हैं जो कि हाइड्रोजन गैस उत्पन्न करने के लिए दो प्रकार के प्रकिण्व उपयोग में लाते हैं। प्रथम नाइट्रोजिनेज है जो कि तन्तुमय सायनोवैक्टिरिया की विषमपुट्टी में पाया जाता है, जब कि उन्हे नाइट्रोजन सीमाकारीय परिस्थिति में उगाया जाता है तो हाइड्रोजन नाइट्रोजन के अमोनिया में यौगिकीकरण उपउत्पाद के रूप में उत्पन्न होती है। सायनोवैक्टिरिया में पाये जाने वाला द्वितीय हाइड्रोजन उपापच प्रकिण्व हाइड्रोजिनेज है, जो कि दो भिन्न प्रकार के एवं भिन्न जाति मे पाये जाते हैं। इनमें पहले ग्राहय हाइड्रोजिनेज, हाइड्रोजन को ऑक्सीकृत करता है, तथा दुसरा हाइड्रोजिनेज, "उत्कमणीय हाइड्रोजिनेज" जो कि या तो हाइड्रोजन ग्रहण करता है या फिर उत्पन्न। नाइट्रोजिनेज ऑक्सीजन के प्रति अत्यधिक संवेदनशील होने के कारण केवल अनॉक्सीय परिस्थितियों में ही हाइड्रोजन उत्पादन की प्रकिया को उत्प्रेरित कर सकते है (दत्ता, 2005)।

सायनोवैक्टिरिया में हाइड्रोजन उपापचयन में सम्मिलित प्रकिण्व प्रभेद के अनुसार बदलते रहते हैं। कुछ प्रभेदों में ग्राहय एवं उत्कमणीय दोनों प्रकार के हाइड्रोजिनेज उपस्थित होते हैं जबकि कुछ में इनमें से केवल एक उपस्थित हो सकता है। इसलिए उपयोग में लेने वाले प्रभेद को पहले आण्विक स्तर पर अनुसंधान कर लेना चाहिए (शुटज इत्यादि 2004)। हाइड्रोजिनेज जातिवृतत; असमान सुक्ष्म जीवों में उपस्थित होता है परिणामतः विभिन्न सूक्ष्म जीवों में हाइड्रोजन उत्पादन की सम्भावना खोजना एक सकिय अनुसंधान का विषय है। (टर्नर इत्यादि 2008)।

हाइड्रोजन उत्पादन को विभिन्न प्राचल अलग-अलग तरीकों से प्रभावित करते है और अनुकूलतम हाइड्रोजन उत्पादन के लिए सायनो जीवाणुओं के विभिन्न जातियों की आवश्यकताए भी अलग- अलग होती है। बहुत सी पर्यावरणीय परिस्थितियाँ जैसे प्रकाश तापमान लवणता पोषक तत्वों की उपलब्धता गैसीय वातावरण इत्यादि भी हाइड्रोजन उत्पादन में महत्वपुर्ण भूमिका निभाते हैं। आन्तरिक कारक जैसे आनुवांशिक घटक या सायनोवैक्टिरिया में उपस्थित संवेदनशील प्रोटीन भी हाइड्रोजन उत्पादन को प्रभावित करते हैं। विषमपुट्टीय सायनोवैक्टिरिया काथिक कोशिकाओं युक्त सायनोवैक्टिरिया से हाइड्रोजन उत्पादन में अधिक सक्षम होते हैं। (दत्ता इत्यादि 2005)।

अनुसंधानिक अवधारणाएँ एवं स्थिति ः

सायनोवैक्टिरिया एवं हरे शैवाल सुर्य प्रकाश के वर्णकम का लगभग 40-45% अवशोषित कर सकते हैं तथा इसमें से भी हाइड्रोजन उत्पादन की दक्षता करीब 10-13% होती है। ये दक्षता अधिक समय तक साध्य नहीं है अत: सभी सीमाकारी कारकों को समझने एवं उन्नत कियाविधि के अनुसंधान की आवश्यकता है (टर्नर, 2005)। सिंगाकोव इत्यादि (1999) ने प्रकाश जैविकीय रिएक्टर में एनाविना वेरिआविलिस एवं इसके उत्परिवर्ती pk84 द्वारा हाइड्रोजन उत्पादन का गण संवर्धन कर अध्ययन किया। उनके अनुसार सायनोवैक्टिरिया के उत्परिवर्ती की हाइड्रोजन उत्पादन की दक्षता को नाइट्रोजिनेज की किया को बढ़ा कर बढ़ाया जा सकता है। नाइट्रोजिनेज की किया विषमपुट्टी की बारम्बारता को बढ़ाया जा सकता हैं। दुसरी अवधारणा एक कोशिकीय सायनोवैक्टिरिया सिनेकोसिस्टिस जाति द्वारा जैव हाइड्रोजन का उत्पादन करना है। अंधेरे में नाइट्रोजन सीमाकारी परिस्थिति में हाइड्रोजन उत्पादन दर काफी अधिक होती है तथा कृत्रिम इलेक्ट्रॉन दाताओं को जोड़ने पर यही दर 10 गुना बढ़ जाती है (शुल्टज इत्यादि, 2004)।

हाइड्रोजन उत्पादन के लिए बडे पैमाने पर सायनोवैक्टिरिया का उत्पादन भी वडी मात्रा में अवशिष्ट जैवमात्रा उत्पन्न करता है। अत: प्रकाश जैविकीय एवं किण्डवनी प्रकिया सम्मिलित रूप से अधिक लाभदायक है (टर्नर, 2005)। आजकल हाइड्रोजन उत्पादन में प्रयुक्त होने वाले जैव रिएक्टर को 3 प्रकारों में बांटा जा सकता है।

1 उर्ध्वाधर स्तम्भ रिएक्टर
2 नलिकीय
3 चपटा पेनल (दत्ता, 2005)

इनके वाणिज्यिक अनुप्रयोग अभियांत्रिक अवधारणाओं युक्त (कार्थिकीय, आण्विक एवं पदार्थ) अनुकूलतम प्रकियाओं पर निर्भर करती है।

सायनोवैक्टिरिया द्वारा अधिकतम हाइड्रोजन उत्पादन क्षमता प्राप्ति में प्रमुख जैव रसायन अवरोध की टर्नर (2005) द्वारा पहचान की गई। ये (1) हाइड्रोजिनेज की ऑक्सीजन के लिए अत्यधिक संवेदनशीलता जो कि जल के ऑक्सीकरण का उप उत्पाद होता है (2) प्रकाश संश्लेषी इलेक्ट्रॉन परिवहन की धीमी दर (3) हरे शैवाल एवं सायनोवॅक्टिरीया में प्रकाश संश्लेषी अपचायक हेतु हाइड्रोजिनेज में प्रतियोगात्मक पथ (4) वृहद प्रकाश अवशोषीत वर्णक एंटीनी के कारण निम्न प्रकाश संतृप्तता। इनके आलावा प्रमुख अभियांत्रिक अवरोध प्रकाश जैविकीय प्रकिया के लिए आकलित अत्यधिक मुल्य (पूंजी) है। जो कि प्रमुख रूप से (1) अभिकारी पदार्थो (अभिकारक) की प्रकृति एवं मूल्य (2) रिएक्टर रूपरेखा (डिजाइन) में प्रकाश का अनुकुलतम प्रयोग(3) गैसीय पृथिक्करण ।

वृहद पैमाने पर हाइड्रोजन के प्रभावी उत्पादन के लिए वहुत सी आवश्यकताओं की पूर्ति होनी चाहिए जैसे हाइड्रोजन उत्पति की उच्च दर एवं स्थिरता। इनकी प्राप्ति उपरोक्त वर्णित अवरोधों को दूर कर सकती है जो कि आण्विक अभियांत्रिकी प्रयास द्वारा सम्भव हो सकती है। ये सभी तकनीक अभी भी विकासशील हैं।

जैवविद्युत उत्पादन:
जैव ईंधन सैल द्वारा प्रत्यक्ष रूप से विद्युत प्राप्त करने की ओर ध्यान मध्य 19 वीं शताब्दी में रोहरवैक इत्यादि (1962) द्वारा निर्मित प्रथम जैवईंधन सेल ने आकर्षित किया। इस सैल में क्लॉस्ट्रीडीयम ब्यूटाइरिकम को ग्लूकोज किण्डवन द्वारा हाइड्रोजन प्राप्ति के लिए जैविकीय पदार्थ के रूप में प्रयुक्त किया गया। कायनो इत्यादि (1981) ने 15-20 मि एम्पीयर की अनवरत सात दिन तक प्रकाशधारा की प्राप्ति के लिए हाइड्रोजन-ऑक्सीजन ईंधन सेल में एनाविना जाति को प्रयुक्त किया (डावर इत्यादि, 1998)। वर्तमान में अनुसंधान कर्ता अनुकूल धारा उत्पादन एवं कम मुल्य वाले जैव ईंधन सेल को विकसित करने का प्रयास कर रहे हैं। कम कीमत वाले धारा प्राप्ति के लिए उच्च दक्षता वाले हाइड्रो-आक्सी जैवईंधन सेल, विद्युत उत्पादन के लिए जैवरिएक्टर आधारित ईंधन सेल की तकनीकी सहायक हो सकती है (डावर इत्यादि 1998)। विषमपुट्टीय नील हरित शैवाल नॅास्टॉक में सम्भावना की जॉच का प्रयास कम कीमत वाले कार्वन-कार्वन ऑक्सी हाइड्रोजन ईंधन सेल से जैविकीय हाइड्रोजन उत्पादन एवं विद्युत ऊर्जा उत्पन्न करने के लिए किया। जब ईंधन सेल को अचल कोशिकाओं युक्त शैवाल रिएक्टर से जोडा गया तो विद्युत धारा का उत्पादन दो गुना वढ़ गया। सुक्ष्मजैविकीय ईंधन सैल का सवसे वडा लाभ यह है कि ये दहन रहित, प्रदूषण मुक्त, जैव विद्युत को जैवभार के कार्वनिक पदार्थो से सीधे ही उत्पन्न किया जाता है।

इस प्रकार MFC की अवधारणा सिद्ध होती है एवं जैव ईंधन व्दारा जैव विद्युत का निर्माण मुश्किल नहीं है। परन्तु चुनौती यह है कि इनका उत्पादन तीव्र गति से, वडे पैमाने पर हो ताकि निवेशित धन को ऊर्जा प्राप्ति द्वारा पुन: प्राप्त किया जा सके (रिट्टमान, 2008)।

जैवडीजल उत्पादन:

आजकल सूक्ष्मजैविक जैवडीजल ने निवेश हेतु ध्यान आकृष्ट करना प्रारम्भ कर दिया है। प्रकाश संश्लेषी सूक्ष्मजीवों के विभिन्न प्रकारों के उपयोग एवं उनके वृहद पैमाने पर उत्पादन के महत्वपूर्ण विषय ने वैज्ञानिकों एवं अभियंताओं को आमने-सामने ला खड़ा किया है। वर्तमान मे अधिकतर प्रयास प्रकाश संश्लेषी शैवाल एवं नील हरित शैवालों पर केन्द्रित है। ये दोनों प्रकाश संश्लेषी सुक्ष्मजीव उच्चस्तर की लिपिड का संग्रहण कर सकते हैं। यद्यपि इन दोनों में काफी विभिन्नताएँ है परन्तु जैवडीजल के उत्पादन में महत्वपूर्ण हो सकते हैं। शैवाल वडी मात्रा में लिपिड का संग्रहण संग्राहक पदार्थ के रूप में केवल तनाव एवं धीम वृद्धि को समय ही कर सकते है। जव कि नीलहरित शैवाल लिपिड का संचय थायलेकॉइड झिल्ली मे करते है जो कि उच्चस्तर के प्रकाश संश्लेषण एवं तीव्र वृद्धि दर को भी सम्मिलित करते है। इस प्रकार प्रकाश संश्लेषी जीव उच्च दर से लिपिड उत्पादन के लिए प्राकृतिक रूप से श्रेष्ट है। इसके अतिरिक्त नीलहरित शैवाल के पूर्व केन्द्रकीय होने की वजह से इन्हे आनुवांशिक अभियांत्रिकी द्वारा सुकेन्द्रीय शैवाल की अपेक्षा सरलता से उन्नत किया जा सकता है (वरमास, 1998)। उदाहरण के लिए वरमास ने सिनेकोसिस्टिस के एकलजीन उत्परिवर्ती का निर्माण किया जो कि अपने शुष्कभार का लगभग 50% लिपिड के रूप में संग्रह कर सकता है। कुछ शैवाल (सुकेन्द्रकीय) एवं नील हरित शैवाल (पुर्वकेन्द्रकीय) में लिपिड की मात्रा अधिक होती है। समुचित परिस्थितियों में, ये प्रकाश संश्लेषी सुक्ष्मजीव जैवडीजल के लिपिड का उत्पादन किसी भी पादपतंत्र से 100 गुना अधिक उपज प्रति क्षेत्रफल कर सकते है (तालिका-2)।

तालिका 1 सूक्ष्मशैवाल एवं सामान्य स्थलीय पादपों द्वारा जैवडीजल उपज हेतु जैव तेल की उपज की तुलना (टॉमिस्लाव एवं नेनाद 2004)

पादप	सूक्ष्मशैवाल	सोयावीन	तौरिया	जैट्राफ	ताड़
$m^3/km^2/y$	> 15000	35-45	100-130	160	580
bbl/acers/y	> 380	0,90-1,15	2,55-3,30	4,10	14,80
$GJ/km^2/y$	>500000	1165-1500	3330-4330	5330	19315

गुण धर्म	उच्च लिपिड पादप	प्रकाश संश्लेपण सूक्ष्मजीव
द्विगुणन समय	अपेक्षाकृत लम्वा/ सप्ताह	अपेक्षाकृत छोटा/~ 1दिन
कृष्य भूमि की आवश्यकता	हां	नहीं
कृषि उत्पादन	मौसमी या फसल प्रतिवर्ष	सतत
जैवभार गुणवत्ता होमोजिनेटी	हेटरोजीनस,पर्ण,तना,वीज,मूल इत्यादि	होमोजिनस
जैवभार गुणवत्ता लिगोसेल्युलोज	हां	नहीं
जल उपभोग	उच्च वाष्पोत्सर्जन के कारण	कम से मध्यम
खाद उपभोग	उपभोग दर उच्च	पोपक तत्व केप्चर एवं रिसायकल के अनुसार
लिपिड लब्धि	कम < 1000 लाख/हेक्टर प्रतिवर्प	उच्च ~ 100,000 लाख / हेक्टर प्रतिवर्प

अ) उच्च लिपिड पादप - सोयावीन एवं सूर्यमुखी

व) प्रकाश संश्लेपी - सूक्ष्मजीव - शैवाल एवं सायनोजीवाणु

क) लव्धि प्रति इकाई क्षेत्रफल हर्वर इत्यादि के अनुसार (2006)

तालिका 2 - जैवडीजल के निर्माण हेतु लिपिड पदार्थो के स्रेन के रूप में पादप एवं प्रकाशसंश्लेषी सूक्ष्म जीवों की तुलना।

साथ ही साथ अलिपिड जैवभार को भी मीथेन, हाइड्रोजन या विद्युत में परिवर्तित कर सकते हैं। सम्भवत: सायनोबॅक्टीरिया द्वारा उत्पादित जैव ऊर्जा हमारे समाज के उपयोग के महत्वपूर्ण अंग जीवश्मीय ईंधन को प्रतिस्थापित करने के लिए यथेष्ठ एवं सर्वोत्तम विकल्प है (रिट्टमान, 2008)। जैवडीजल के व्यावसायिक उत्पादन के लिए जैवडीजल के उत्पादों की लागत भी प्रतिस्पर्धात्मक होनी चाहिए।

एथेनॉल उत्पादन:

जीवाश्मीय ईंधन की आवश्यकता में कमी लाने के लिए एक उपाय विभिन्न फीडस्टाक के जैवरूपान्तरण द्वारा एथेनॉल का उत्पादन है। परम्परागत तरीके से एथेनॉल का उत्पादन अपेक्षाकृत महंगे फीडस्टॉक जैसे धान्यस्टार्च एवं इक्षु शर्करा के यीस्ट किण्डवन द्वारा होता है। कुछ शैवालों एवं सायनो बैक्टिरिया में अदीप्त एवं जैव तकनीकी में विकास को साथ जैवभार में उपस्थित वैकल्पिक कार्वोहाइड्रेट का उपयोग करने के लिए कृषि एवं औद्यौगिक प्रकियाओं के नए तंत्र विकसित किए गए हैं। उच्च प्रकाश संश्लेषण की दक्षता सीमित पोषक तत्वों की आवश्यकता, तीव्र वृद्धि दर एवं अकार्वनिक कार्वन को परिवहन की क्षमता सायनोवेक्टिरिया को एथेनॉल संश्लेषण का उपयोगी माध्यम वनाते है। परन्तु इस प्रकिया की सवसे वड़ी आलोचना यह है कि एथेनॉल उत्पादन में ही वहुत अधिक ऊर्जा खर्च हो जाती है अत: परिवहन ईधन के रूप में इनका वहुत कम लाभ मिल पाता है (प्रिंन्स एवं खेशगी 2005)।

स्वपोषी जीव जैसे शैवाल या सायनो जीवाणु द्वारा प्रकाश संश्लेषी कार्वन यौगिकीकरण द्वारा सीधे ही जैव संश्लेषण से एथेनाल की लब्धि में पर्याप्त वृद्धि हो सकाती है। इसी प्रकार एथेनॉल संश्लेषण पथ में कार्वन प्रवाह में परिवर्तन कर, सवस्ट्रेट स्तर को अधिकतम किया जा सकता है। इस प्रकार प्रणाली में पोषी कोशिका के उपापचयन में आनुवांशिक परिवर्तन एवं वृद्धि परिस्थितियों में फेर वदल कर अनुकूलतम परिस्थितियाँ उत्पन्न करने के साथ ही साथ एथेनॉल प्राप्ति या पृथक्करण की तकनीक में सुधार से सरल प्रकाश स्वपोषी जीवों द्वारा औद्योगिक स्तर पर इथेनॉल उत्पादन सम्भव हो सकता है (डेंग एवं कोलेमान 1999)।

भविष्य के लिए रणनीति:

निकट भविष्य में सायनो वैक्टिरिया एवं शैवाल आनुवांशिक रूप से परिवर्तित हो कोशिकीय कारखाने में वदल जाएगी जेा कि बिना जैवमात्रा की उपज एवं प्रकिया की आवश्यकता के मूल्यवान पदार्थ प्रदान करेंगे। सूक्ष्मशैवालीय जैव ईंधन के उत्पादन के लिए प्राथमिक रूप से आनुवांशिक एवं उपापचयी अभियांत्रिकी तथा उन्नत प्रकाश जैविकीय रिएक्टर अभियांत्रिकी की आवश्यकता है। आनुवांशिक एवं उपापचयी अभियांत्रिकी, सूक्ष्मशैवालीय जैव ईंधन के आर्थिक उत्पादन पर वहुत प्रभाव रखती है। आण्विक स्तर पर अभियांत्रिकी द्वारा प्रकाश संश्लेषण की क्षमता वृद्धि, जैवभार की वृद्धि दर में वढोतरी, जैव भार में उच्च तैलीय अंश, शीतलन के खर्च को कम करने हेतु उन्नत ताप सहनता, प्रकाश स्तर के वढने के साथ-साथ लगातार वृद्धि (प्रकाश संतृप्तता के गुण को कम कर) एवं प्रकाश अवरोधन को कम करने की प्रवल संभावनाए है (किस्टी 2007)।

औद्योगिक पैमाने पर जैवईधन के उत्पादन के लिए आनुवांशिक अभियांत्रिकी के साथ-साथ जैव रिएक्टर अभियांत्रिकी भी अति आवश्यक है। प्रकाश जैव रिएक्टर का औद्योगिक स्तर पर जैवभार के उत्पादन के लिए उपयोग अपेक्षाकृत प्रभावी परिणाम देता है (किस्टी, 2007)। नेडवल इत्यादि ने (2008) प्लेट क्यूवेट्ट प्रकाश जैवरिएक्टर की रूपरेखा एवं उपयोग का वर्णन किया जिसमें कि संवर्धन प्रदीप्ति उपयुक्त नियंत्रण, तापमान, pH एवं गैसीय संघटन का चार दिवारी युक्त फ्लुओरो मीटर एवं डेंसिटोमीटर द्वारा समायानुसार संचालन होता है। प्रकाश जैव रिएक्टर का प्रदर्शन एक कोशिकीय नाइट्रोजन यौगिकीकरण सायनो वेक्टिरिया सायनोथेसी जाति का उपयोग करके किया गया। यंह नवीन प्रकाश जैवरिएक्टर, प्रकाशस्वपोषी सूक्ष्मजीवों के प्रणाली जीव विज्ञान एवं जैवतकनीकी के अध्ययन एवं उपयोग में अपना महत्वपूर्ण योगदान दे सकता है। क्लेयर इत्यादि (2008) ने प्रकाश

संश्लेषी सायनो वैक्टिरिया के प्रभेदों में सिने कोकस एवं सायनोथेसी वंश का भीसोपोरस सिलिक नेटवर्क में सम्पुट्टन कर नवीन प्रकाश जैव रिएक्टर की सम्भावना प्रदर्शित की संकर जैलतंत्र अव कोशिकाओं की वढती हुई जैव सक्रियता एवं जीवन को द्वारा दक्षता के वढ़ने की आशा करता है।

सूक्ष्म शैवालीय जैवतकनीकी के भविष्य के लिए अभी भी वृहद पैमाने पर प्रकाश जैव रिएक्टर का विकास बाकी है, जिससे कि पूरी तरह निर्जमीकृत, कम से कम संदूषण की सम्भावना के साथ निश्चित एवं अनुकूलतम परिस्थिति में संचालित किया जा सके। परन्तु अभी भी प्रकाश जैवरिएक्टर के साथ प्रकाश पुन: वितरण प्रणाली, प्रकिया अभियंताओं के लिए एक चुनौती होगी (जेंसन आदि 2003) ।

निष्कर्ष:

विश्व की तीव्र एवं लगातार वढती हुई जनसंख्या के लिए पर्यावरण एवं पृथ्वी के प्राकृतिक स्त्रोतों का दोहन वैकल्पिक ऊर्जा को स्त्रोतों विकास विना अव संभव नहीं है। जैवईधन विकास समिती (2000) के व्यौरे अनुसार सन्2050 तक कुल भुमण्डलीय ऊर्जा का लगवग एक तिहाई ⅓ भाग का उपयोग भारत कर लेगा। तेल के ऊंचाईयों को छूते मुल्य एवं उभरती हुई भारतीय आर्थिक व्यवस्था को देखते हुए नवीकरणीय कार्वन उदासीन, परिवहन ईंधन जैसे जैव हाइड्रोजन जैवडीजल, जैवविद्युत एवं एथेनॉल का उत्पादन पर्यावरण एवं आर्थिक स्थिरता के लिए आवश्यकता है। भारत सरकार बड़े पैमाने पर जैवडीजल की फसलों जैसे जैट्रोफा व पोंगोनिया की कृषि के लिए सहायता प्रदान करती है। दुर्भाग्यवश, तैलीय फसलों द्वारा प्राप्त जैवडीजल वास्तविकता में परिवहन ईंधन की मांग के छोटे से अंश की भी पूर्ति नहीं कर पाते है। वल्कि कृषियोग्य भूमि पर खाद्य फसलों के साथ स्पर्धा करने के कारण खाद्य मुल्यों में वृद्धि हो रही है। फलत: सुक्ष्म शैवाल विशेष रूप से सायनोवैक्टिरिया ही वढ़ती हुई ऊर्जा की मांग को पूरा करने में सक्षम एकमात्र नवीकरणीय स्रोत है।

विषमपुष्टिय सायनोजीवाणु, भविष्य के लिए मूल्यवान नवीकरणीय ऊर्जा के स्रोत जैव हाइड्रोजन के उत्पादन के लिए प्रवल दावेदार सिद्ध हो चुके हैं। यद्यपि औद्योगिक पैमाने पर हाइड्रोजन उत्पादन की तकनीक अभी भी अनुपलव्ध है। जैवरसायन स्तर पर इतना सुधार कि हाइड्रोजन उत्पन्न करने की दर एवं क्षमता जैवविद्युतीय प्रणाली तक पंहुचे वर्तमान में पुर्वपेक्षित चुनौती है। एक कोशिकीय सायनोजीवाणुओं के प्रयोग से सूक्ष्म जैविक ईंधन सैल द्वारा जैवविद्युत के उत्पादन में अभी भी सम्भाव्य तकनीकी में अनुसंधान की आवश्यकता है। एथेनॉल का उत्पादन, प्रकाश संश्लेषी कोशिकाओं की दक्षता को वढ़ा कर प्रभावी रूप से वढ़ाया जा सकता है। जीवाश्मीय डीजल को पूरी तरह से विस्थापित करने का एक मात्र उपाय जैव डीजल का स्रोत सूक्ष्म शेवाल है। पेट्रोल-डीजल से प्रतिस्पर्धा के लिए सूक्ष्म शैवाली जैवडीजल की आर्थिक व्यवस्था में प्रभावी रूप से सुधार आवश्यक है। यह प्राथमिक रूप से आनुवांशिक एवं उपापचयी अभियांत्रिकी तथा प्रकाश जैव रिएक्टर आभियांत्रिकी के द्वारा शैवालीय जीवविज्ञान में सुधार द्वारा सम्भव है। जैव ईंधन के निर्माण में सूक्ष्म शैवालो के द्वारा वातावरण में कार्बन-डाई-ऑक्साइड को एकत्रण की समस्या में भी जैव यौगिकी करण द्वारा कार्वन को विविक्तिभवन से कमी आएगी। सूक्ष्म शैवालों से जैवईधन की उत्पादन की प्रमुख कमी पूंजी निवेश एवं तकनीकों का प्रारंभिक स्तर पर होना है। इसके वावजूद भी सायनो जीवाणुओं को भविष्य के ऊर्जा स्रोत माना जा सकता है।

आभार:

लेखक हिन्दी लेख के लिए प्रोत्साहित करने के लिए राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, दोना पावला के डॉ. निदेशक श्री सतीश शेतये का आभार व्यक्त करते है।

सन्दर्भ:

रिन्यूएबल, ग्लोवल स्टेटस रिपोर्ट, 2007. रिन्यूएवल ऊर्जा पोलिसी नेटवर्क फॉर द 21स्ट सेंचुरी।

केम्वेल केथरिन ई.(2007) वायलोजिकल फ्यूलस फॉम माइक्रोवस, सिग्मा (पब्लिकेशन ऑफ नॉविलिस)।

चन्देल अनुज आदि (2007)। इकॉनॉमिक इवॉल्यूशन एंड एनवायरनमेंटल वेनिफिटस ऑफ वायोफ्यूल एन इंडियन प्रोस्पेक्टिव। इंटरनेशनल जनरल ऑफ ग्लोवल एनर्जी इश्यूज। 28-4: 357-381।

किस्टी युसुफ (2007)। वायोडीजल फॉम माइक्रोएल्गी। वायोटेक्नोलोजी एडवान्सेज। 25, 294 -306।

डावर संगीता (1998)। "डवलपमेंट ऑफ अ लॉ-कॉस्ट ऑक्सी-हाइड्रोजन वयोक्यूल सेल फॅार जनरेशन ऑफ इलेक्ट्रिसिटी यूजिंग नॉस्टॉल एज ए सोर्स ऑफ हाइड्रोजन"। इंटरनेशनल जरनल ऑफ एनर्जी रिसर्च 22, 1019-1028।

डेंग-मिंग-डे एंड कोलेमन जॉन आर. (1999)। एथेनॉल सिन्थोसिस वाय जेनेटिक इंजिनियरिंग इन सायनोवैक्टिरिया एप्लाइड एंड एनवायरनमेंटल माइक्रोवायलोजी। 65, 523-528।

दत्ता देवज्योति आदि (2005)। हाइड्रोजन प्रॉडक्शन वाय सायनोवेक्टोरिया। रिव्यू माइक्रोविअल सेल फेक्टरीज, 4:36।

जेन्सन, मार्शेल आदि (2003)। एनक्लोज्ड आउटडोर फोटोवायो रिएक्टर्स: लाइट रेजिम, फोटोसिन्थेटिक एफिशिएंसी, स्केल-अप एंड फ्युचर प्रोस्पेक्टस। बायोटक्नोलोजी एवं वौयोइंजीनियरिंग। 8।

जॉना क्लेयर आदि (2008)। फोटोसिन्थेसिस विथ इन पोरस सिलिका जेल: वायेविलिटी एंड एक्टिविटी ऑफ एनकेप्सूलेटेड सायनोवैक्टिरिया। जनरल ऑफ मेटिरियल्स केमिस्ट्री। 18, 2833-2841।

कूज ऑल्फ आदि (2005)। फोटोसिन्थेसिस: ए व्लुप्रिंट फॉर सोलर एनर्जी केप्चर एंड वायोहाइड्रोजन प्रॉडक्शन टेक्नोलॉजीज। फोटोकेम फोटोवायोल साइन्स, 4, 957-969।

कुरेविजा टॉमिस्लाव एवं कुकुल्ज नेनन्द (2004)।एल्गीवायो फ्यूल्स एज ए पॉसिवल अल्टरनेटिव टू एनवायरनमेंटली डाउटफुल कन्वेशनल मेथडस ऑफ वायोडीजल प्रॉडक्शन।

लेले सतीश (2006)। वायोडीजल एवं जैट्रोफा कल्टीवेशन। एग्रोवायोस (भारत)।

नेडवल लाडिस्लाव आदि (2008)। ए फोटो वायोरिएक्टर सिस्टम फॅार प्रिसिजन कल्टीवेशन ऑफ फोटो ऑटो ट्रॉफिक माइको ऑर्गेनिस्मस एंड फॅार हाइ कन्टट एनालेसिस ऑफ सस्पेन्शन डायनामिक्स बायोटेक्नोलॉजी एंड वायोइंजीनियरिंग। 100, 5। .

पारिखज्योति एंड वालिया अमित (2001)। टेक्नोइकोनोमिक एसेसमेंट ऑफ बायोएनर्जी इन इंडिया टेक्नोलोजी इन्फोरमेशन फोरकास्टिंग एंड एसेसमेंट काउंसिल (TIFAC) अंडर मिनिस्ट्री ऑफ साइन्स एंड टेक्नोलोजी एवार्ड डेड (IRADe) प्राजेक्ट।

प्रिंस रोजर एवं खेशगी हाखन (2005)। द फोटोवायोलेाजिकल प्रोडक्शन ऑफ हाइड्रोजन: पोटेन्शियल एफिशिएन्सी एंड इफेक्विनेस एज ए रिन्युएवल फ्युल। किटिकल न्यूज इन माइकोवायलोजी। 31: 19-31।

रिट्टमान ई. वूस (2008)। अपोर्चुनिटिस फॉर रिन्युएवल वायोएनर्जी यूजिंग माइको ओर्गेनिजम। वायोटेक्नोलोजी एंड वायोइंजिनियरिंग। 100।

रागौस्कस आर्थर आदि (2006)। द पाथ फॉरवर्ड फॅार वायोफ्यूल्स एंड वायोमेटिरियल्स सांइस। 484: 311।

शुरज केथरीन आदि (2004)। सायनो वेक्टिरियल H_2 प्रॉडक्शन-ए कम्पेरेटिव एनालेसिस। प्लांटा। 218: 350-359।

सिगांकोव ए. ए. आदि (1999)। H_2 फोटोप्रोडक्शन वाय वेच कल्चर ऑफ एनाविना वेरिआविलिस ATCC 29413 एंड इटसम्यूटेंट pk84 इन ए फोटो वायोरिएक्टर। वायोटेक्नोलॉजी एंड वायोइंजिनियरिंग 64:6।

टर्नर जॉन आदि (2008)। रिन्यूएवल हाइड्रोजन प्रोडक्शन इंटरनेशनल जनरल ऑफ एनर्जी रिसर्च। 32: 379-407।

वरमास WFS (1998)। जीन मोडिफिकेशन एंड म्यूटेशन मेपिंग टू स्टडी द फंक्शन ऑफ फोटोसिस्टम II। मेथ. एनजामोल। 297: 293-310।