विश्व का समुद्री नाइट्रोजन चक्र एंव उसका जलवायुवीय महत्व

राजेश अग्निहोत्री
राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, दोना पावला, गोवा- 403004

नाइट्रोजन (N) धरती एंव समुद्र की संपूर्ण जैविकी के लिये एक अत्यन्त ही महत्वपूर्ण तत्व है। यद्यपि यह अपने द्विपरमार्णवक रूप में अर्थात् N_2 अवस्था में हमारे वायुमंडल में प्रचुरता से विद्यमान है (लगभग 80%) परन्तु जैव उपयोगी नायट्रोजन की मात्रा अत्यन्त सीमित है। ऐसा इसलिये है क्योंकि सामान्य जीवों के लिये वायु में उपस्थित लिवर्धीय नाइट्रोजन को तोड़ पाना संभव नही है। यह कार्य अत्यन्त ही विशेष प्रकार के सुक्ष्म जीवों यानि जीवाणुओं (Bacteria) द्वारा संपादित किया जाता है। ऐसे जीवाणु जो वायु में उपस्थित नाइट्रोजन को जैव उपयोगी नाइट्रोजन यानि अमोनिया (NH_3) एवं नाइट्रेट (NO_3^-) मे परिवर्तित करते है, नाइट्रोजन वंधक (N_2 fixers) कहलाते हैं। यद्यपि नाइट्रोजन बंधन का कार्य प्राकृतिक रूप से विद्युत तडन (Electric-lightning) द्वारा भी निष्पादित होता है, परन्तु संपूर्ण भौगोलिक जैविकी के परिप्रेक्ष्य में विद्युत तडन द्वारा परिवर्तित नाइट्रोजन की मात्रा अतिसुक्ष्म होती है। इसीलिये जैव उपयोगी नाइट्रोजन वधंक जीवाणुओं की मात्रा धरती तथा समुद्र दोनो ही में अत्यन्त मति सूक्ष्म है।

चूंकि धरती पर लगभग 75% क्षेत्र में जल (समुद्र) विद्यमान है अत: प्रस्तुत लेख में लेखक पाठकों का ध्यान समुद्री नाइट्रोजन चक्र (Marine Nitrogen Cycle) की ओर केंन्द्रित करता चाहता है।

अंतराष्ट्रीय व भारतीय वैज्ञानिको द्वारा समुद्री नाइट्रोजन चक्र का अध्ययन अत्यन्त गहनता से किया जा रहा है, इसका प्रमुख कारण न केवल इसमें समावेशीत जटिलतायें है, वल्कि मानव मात्र को प्रभावित करने वाले वातावरण पर इसके परोक्ष एंव अपरोक्ष प्रभावों के कारण यह विषय भूमंडलीय ताप (Global warming) के परिप्रक्ष्य मे भी अत्यन्त प्रासंगिक है।

समुद्री नाइट्रोजन चक्र को समझने के लिये हमें समुद्रों मे घुली हुयी ऑक्सीजन (dissolved O_2) की वितरण प्रणाली को समझना होगा। सामुद्रिक सतह तथा ऊपरी मिश्रित परतों में यद्यपि धुली हुयी आक्सीजन की मात्रा लगभग समान होती है (लगभग 200µM) जो कि निचली परतों में कमश: कम होती चली जाती है। विश्व के मात्र तीन सामुद्रिक क्षेत्रों (उत्तरी एवं दक्षिणी प्रशांत के उष्ण कटिबंधीय सामुद्रिक क्षेत्र तथा अरव सागर) में यह मात्रा अधस्तलीय परतो में इतनी कम हो जाती है कि ऊपरी परतों से गिरने वाले कार्वनिक अवशेषों को सडानें मे सकिय जीवाणु, उन्ही पदार्थो द्वारा निर्मुक्त जैव उपयोगी नाइट्रोजन यौगिक (नाइट्रेट, NO_3) को उर्जा प्राप्त करने हेतु विखंडित करने लगते हैं।

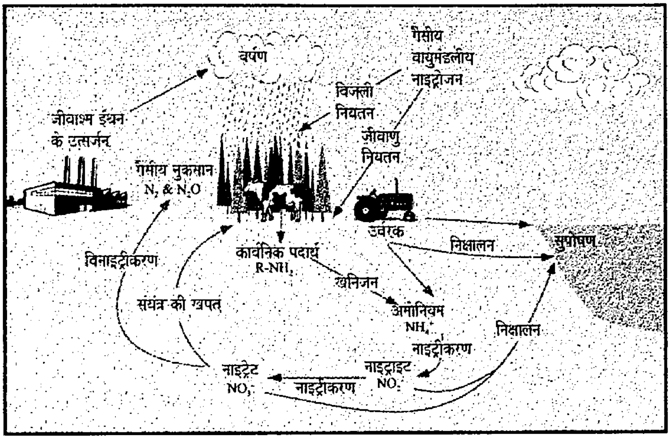
जीवाणुओं द्वारा निष्पादित यह प्रकिया विनाइट्रीकरण कहलाती है तथा समुद्री नाइट्रोजन चक्र की एक महत्वपूर्ण कड़ी है।

विनाइट्रीकरण प्रक्रिया कई चरणों में होती है तथा इसके प्रमुख उत्पाद नाइट्रस आक्साइड (N_2O) व स्थायी नाइट्रोजन (N_2) हैं जो कि गैस अवस्था में निर्मुक्त होकर वायुमंडल में पुन: मिल जाते हैं।

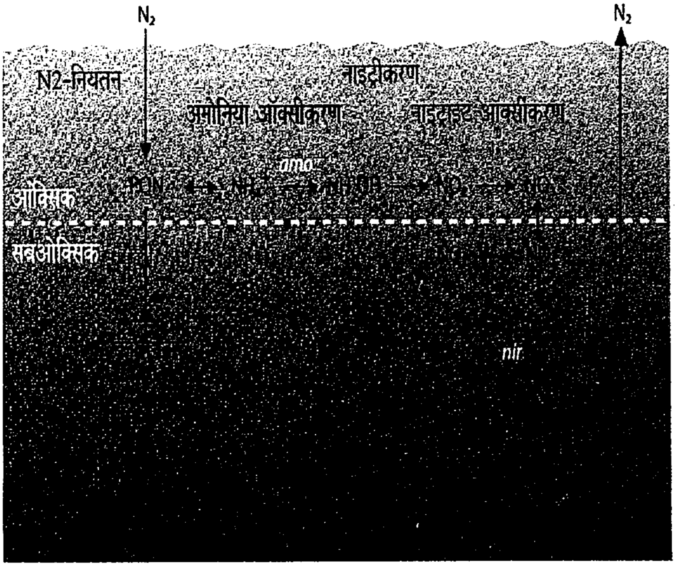
इनमें से एक उत्पाद नाइट्रस आक्साइड है जो कि एक ग्रीनहाउस गैस (Greenhouse gas) है यानि भूमंडलीप ताप की वृध्दि में समर्थ है। यद्यपि इसका प्रतिशत अनुपात अन्य ग्रीनहाउस सहायक गैसों (जैसे कार्वन डाई आक्साइड Co_2 तथा मिथेन (CH_4) की तुलना में कम है। परन्तु इसका पृथ्वी के निचले वातावरण में

स्थायीत्व तथा सघन क्रियाशीलता की दृष्टि सें यह कार्बन डाइ आक्साइड से लगभग 300 गुना अधिक हानिकारक है। चित्र 1 में समुद्री नाइट्रोजन की विभिन्न क्रियाओं को लाक्षणिक रूप से दर्शाया गया है। वायुमंडलीय नाइट्रोजन का जीवाणु उत्प्रेरित क्रियाओं द्वारा जैव उपायोगी परिवर्तन तथा इस प्रकार से उत्पन्न कार्वनिक पदार्थो के सड़ने की प्रक्रिया में नाइट्रोजन का विभिन्न रूपों मे निष्कासन व अन्ततोगत्वा वायुमंडल में अपने प्रारंभिक रूप में पुनरागमन, इस जटिल चक्र के उल्लेखनीय विन्दु हैं।

चित्र 1



चित्र 2



चित्र 2 में यह लाक्षणिक रूप से दर्शाया गया है कि मानव विकास की गतिविधिंया विश्व नाइट्रोजन चक्र को किस प्रकार से प्रभावित कर रही है। उदाहरण के लिये बढते नाइट्रोजन उर्वरकों के उपयोग तथा इसके कारण बढ़े हुये नाइट्रीकरण व विनाइट्रीकरण वायुमंडल में N_2O नाइट्रस आक्साइड को बढ़ाते हैं जो कि बढ़ते भूमंडलीय ताप मे एक प्रमुख कारण हैं। इसके अलावा मानव द्वारा जीवाश्म ईंधन (Fossil fuel) का निरंतर बढ़ता प्रयोग वायुमंडल में बादलों की मात्रा बढ़ाती है जिसके फलस्वरूप आकाश में विद्युत तडन की आवृत्ति (frequency) बढ़ती है जो कि पुन: नाइट्रीकरण की मात्रा को प्रभावित करती है। कुल मिलाकर धरती पर हो रहे मानव हस्तेक्षप विश्व नाइट्रोजन चक्र को प्रभावित है। चित्र 2 यह भी दर्शाता है कि बढता नाइट्रीकरण तटीय क्षेत्रों में कैसे नाइट्रोजन प्रदुषण (Eutrophication) करने में कारक सिद्ध हो सकता है जो कि तटीय जैव सम्पदा के लिये हानिकारक है।

अतएव प्रश्न यह उठता है कि कैसे इस जटिल नाइट्रोजन चक्र की विभिन्न प्रक्रियाओं की दरों को समझा जाये तथा सबसे महत्वपूर्ण यह है कि क्या हम मानव हस्तक्षेप को पहचान (identify) व माप (measure) कर सकते हैं। नाइट्रोजन समस्थानिकों की विशुद्ध गणना इस कार्य मे अत्यन्त ही महत्वपूर्ण सिद्ध हुयी है। नाइट्रोजन के दो समस्थानिक होते हैं।

${}^{14}_{7}N$ तथा ${}^{15}_{7}N$ जिनकें नाभिको में प्रोटानों की संख्या तो समान परन्तु न्यूट्रानों की संख्या भिन्न होती है। भूमंडलीय नाइट्रोजन में ${}^{14}_{7}N$ का अनुपात **99.63%** तथा ${}^{15}_{7}N$ का अनुपात लगभग **0.37%** है।

यह समास्थानिक यूँ तो सभी प्रकार की भौतिक एंव रसायनिक क्रियाओं मे समान दर से भाग लेते हैं, परन्तु कुछ विशेष जिवाणु उत्प्रेरिक्त जैव क्रियाओं में (जिसे समुद्र सतह पर होने वाले प्रकाश संश्लेषण (Photo systhsis) ${}^{14}_{7}N$ को ${}^{15}_{7}N$ की अपेक्षा प्राथमिकता मिलती है। इस तरह से इन कियाओं द्वारा बने उत्पादों में नाइट्रोजन समास्थानिकों के अनुपात में विभिन्नता (Isotopic fractionation) प्रेषित हो जाती है। इस प्रकार से उत्पन्न समास्थानिक विभिन्नता को अत्याधुनिक इलेक्ट्रानिक यंत्रो (Mass-spectrometers) द्वारा आवश्यक सुनिश्चितता (precision) से मापा जा सकता है। नाइट्रोजन समास्थानिकों की गणना निम्नलिखित रूप में की जाती है।

$$\delta^{15}N = \left(\frac{\left(\frac{^{15}N}{^{14}N}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{15}N}{^{14}N}\right)_{std.}} - 1 \right) \times 1000$$

इसे डेल्टा का पैमाना कहते है तथा इसे प्रतिशत में न कहकर प्रति हजार (%) में मापा जाता है। उल्लेखनीय है कि वायुमंडलीय नाइट्रोजन को डेल्टा पैमानेपर शुन्य माना गया है।

ऐसा कई विस्तृत शोधों द्वारा ज्ञात हुआ है कि नाइट्रोजन समस्थानिकों में सर्वाधिक विभिन्नता प्राकृतिक अधस्तलीय (subsurface) विनाइट्रीकरण प्रकिया द्वारा कारकों (Reactants) में प्रेषित होती है। जो कि विभिन्न जैविक प्रकियाओं द्वारा समुद्री सतह पर बनने वाले जैविक उत्पादों (Biological productivity) में समाहित हो जाती है।

विश्व समुद्र के न्यून आक्सीजन क्षेत्रों (Oxygen minimum zones) जहां अवसादिता की दर अपेक्षा कृत अधिक होती है, यही नाइट्रोजन समास्थानिकों की विभिन्नता अवसादों में कमबद्ध तरीके से प्रेषित हो जाती है।

अरव सागर के (Sediment) अवसादों के प्रणाली नाइट्रोजन समास्थनिकों के अनुपात की गणनाओं नें पृथ्वी पर होने वाली कई दीर्घकालिन (long term) ऋतु परिवर्तनों के कारकों के वारे मे उल्लेखनीय जानकारी दी है (Altabet et. al. 1995, 2002) इसके अलावा भारतीय वैज्ञानिकों द्वारा कड़े शोध से यह ज्ञात हुआ है कि अरव सागर के पूर्वी किनारे (Eastern Arabian Sea) पर भारतीय सीमा से सेट हुये अधस्तलीय जल में होने वाले विनाइट्रीकरण का अल्पकालिक (Short term) ऋतु परीवर्तन पर कितना सीधा प्रभाव पड सकता है (Naqvi et al. 2000).

भारतीय कृषि योग्य भूमि पर निरंतर बढ़ते नाइट्रोजन उर्वरकों के प्रयोग, वढ़ती जनसंख्या व इससे उत्पन्न अपशिष्टों के निकटस्थ तटीय समुद्री जल मे पलायन से प्राकृतिक अधस्तल विनाइट्रीकरण कैसे प्रभावित हो सकता है तथा इससे हमारे भूमंडलीय ताप पर क्या प्रभाव पड़ सकता है, हमारे रसायनिक वैज्ञानिक इन प्रश्नो को समझने की सतत चेष्टा कर रहे हैं।

उदाहरण के लिये हमारे वर्ग के वैज्ञानिकों ने हाल ही के एक शोध द्वारा यह दर्शाया है कि गोवा के तटीय क्षेत्र के अवसादों मे नाइट्रोजन समास्थानिक गणना द्वारा पिछली शताव्दी में हुये मानव हस्तक्षेप के प्रारम्भ को चिन्हित किया जा सकता है (Agnihotri et.al. 2008).

अत: विश्व नाइट्रोजन चक की विभिन्न जटिल प्रकियाओं की समझने तथा हाल के कुछ दशकों में हुये मानव हस्तक्षेप को चिन्हित व परिमाणित करने में नाइट्रोजन समास्थानिकों का एक अत्यन्त ही महत्वपूर्ण योगदान है। इस संक्षिप्त लेख में लेखक का उद्देश्य पाठकों को विश्व के समुद्री नाइट्रोजन चक मे निहित जटिलताओं से अवगत कराना नहीं वरनइस महत्वपूर्ण प्रकिया मे पाठकों कीअभिरूचि वढ़ाना है।

संदर्भ

अग्निहोत्री, आर. सी. वी. कुरीयन, माइकल फरनेन्डस, के.रेश्मा, डव्लु.डी सोज़ा, एस.डव्लु ए नकवी (2008)
उपसतह विनाइट्रीकरण की परिवर्त्तनशीलता एवं पिछले सात सदियों से तटीय पूर्वी अरव समुद्र में सतह उत्पादकता, द होलोसिन (इन प्रेस) 18 (5). 755-764.

एलटावेट, एम ए फेनकोइस आर मुरे डी डव्लु प्रेल डव्लु एल (1995) अरव सागर की तलछट 15N/14 N रेशन में जलवायु संवंधित परिवर्तन विनाइट्रीकरण। प्रकृति **373 ,506-509**

एलटावेट एम ए हिगीन्सन एम जे मुरे डी डव्लु (2002) अरब सागर में वायुमंडलीय कार्वनआक्साइड विनाइट्रीकरण सहस्त्राव्दी के पैमाने पर परिवर्त्तन का असर, प्रकृति **415** नेचर **415, 159-162**

नकवी एस डव्लु ए जयकुमार डी ए नार्वेकर पी वी नाइक एच शर्मा वी वी एस एस डी सोजा डव्लु जोसेफ एस जोर्ज एम डी (2002) भारतीय महाद्वीपीय शेल्फ पर तेज़ अनॉक्सिता समुद्री उत्पादन में नाइट्रोजन का वढ़ना, नेचर **408, 346-349**