भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 25 अंक (1&2) जून एवं दिसम्बर 2017 पृ. 30-37

उड़न राख के उपयोग द्वारा निम्नीकृत/बंजर भूमि का पुनरुद्धार

एन के श्रीवास्तव, आर सी त्रिपाठी, एस के झा, एस के भारती, आर ई मास्टो, वी ए सेल्वी एवं एस के ठाकुर
सीएसआईआर-केंद्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, डिगवाडीह परिसर, धनबाद 828 108 (झारखण्ड)

सारांश : हमारे देश में 132 ताप विद्युत संयंत्रों द्वारा लगभग 185 मिलियन टन प्रति वर्ष उड़न राख उत्पन्न हो रहा है तथा उसका लगभग 60% उपयोग विभिन्न क्षेत्रों में किया जा रहा है जबकि शेष 40% राख का उपयोग नहीं हो पा रहा है। अतः वृहत पैमाने पर अनुपयोगी राख के उपयोग हेतु पर्याहितैषी एवं सक्षम प्रौद्योगिकी के विकास की अति आवश्यकता है। उड़न राख में निहित भौतिक, रासायनिक एवं आवश्यक पोषक तत्वों के स्रोत तथा इसके प्रयोग द्वारा निम्नकोटि/बंजर भूमि के जैविक गुणों में हो रहे सतत् सुधार के कारण उड़न राख को एक उपयोगी सुधारक के रूप में मानते हुए टाटा स्टील, जामाडोबा के काली मेला क्षेत्र, धनबाद में लगभग 8.4 एकड़ (34000 वर्ग मी.) निम्नीकृत भूमि को 4 मीटर की गहराई तक उड़न राख (एफ़ बी सी ऐश) द्वारा भर कर एवं जैविक सुधारकों जैसे गोबर की खाद, कोकोपीट, वर्मी कम्पोस्ट, जैविक एवं रासायनिक उर्वरकों (उपयुक्त अनुपात में), आदि के संशोधन द्वारा वर्ष 2003-05 के दौरान भूमि सुधार का प्रदर्शन/प्रयोग किया गया। इस संशोधित क्षेत्र में चयनित एवं अनुकूलित पौधों की प्रजातियों (वानिकी, फलदार तथा तेल वाले पौधे) का रोपण किया गया तथा उनके भौतिक-रासायनिक एवं जैविक लक्षणों तथा रोपित प्रजातियों का विभिन्न चरणों में वृद्धि एवं बायोमैट्रिक मापदंडों का अध्ययन किया गया। प्राप्त परिणामों द्वारा राख से भरे निम्न भूमि के भौतिक गुणों, संरचना, स्थूल घनत्व, जल धारण क्षमता, सरंध्रता, पोषक तत्वों के स्तर में तथा लगाए गए पौधों की प्रजातियों के विकास, बायोमैट्रिक मानकों एवं शारीरिक व्यवहार में महत्वपूर्ण सुधार पाया गया। वृक्षारोपण के क्रमिक चरणों में विभिन्न जैविक मापदंडों जैसे एक्टोमाइकोराइज़ा, नाइट्रोजन फिक्सिंग बैक्टीरिया, फॉस्फोरस सालुबिलाइजिंग बैक्टीरिया एवं डिहाइड्रोजिनेज एक्टिविटी में सतत वृद्धि अंकित की गई। राख से भरे क्षेत्र में लगाए गए विभिन्न पौधों की अंकुरण क्षमता, विकास दर, प्रमुख/माध्यमिक एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों के स्तर सामान्य भूमि पर लगाए जाने वाले पौधों की तुलना में बेहतर पाये गए। इस प्रकार निम्नीकृत/बंजर भूमि को उड़न राख तथा जैविक सुधारकों के उपयोग से स्थायी रूप से वानिकी/कृषि योग्य बनाया जा सकता है। कृषि एवं वानिकी अनुप्रयोगों में उड़न राख के लाभदायक उपयोगों को स्थानीय किसानों/निवासियों के बीच समय-समय पर प्रदर्शित किया गया। जिसे देश के अन्य निम्नीकृत क्षेत्रों में भी अपनाया जा सकता है।

Reclamation of low land/barren land through fly ash amendment

N K Srivastava, R C Tripathi, S K Jha, S K Bharati, R E Masto, V A Selvi & S K Thakur
CSIR-Central Institute of Mining & Fuel Research, Digwadih Campus, Dhanbad, 828 108 (Jharkhand)

Abstract

Considering huge generation of fly ash (185 million tons/annum) from 132 thermal power plants (TPPs) in the country and its insufficient utilization (up to 60%), there is urgent need for the development of an eco-friendly technology capable of utilizing it on bulk scale on sustainable basis. Keeping view fly ash as a useful ameliorant that may improve the physical, chemical and biological properties of problematic soils and as a source of plant nutrients (macro and micro), field demonstration trials were carried out on 8.4 acre of unutilized and undulating low lying area at Kali Mela, Jamadoba, Dhanbad filled with Tata Steel's FBC ash (up to a depth of 4 m) to reclaim it using biological amendments such as top soil layer (4 cm), cow dung manure, coco peat, vermi-compost, bio-fertilizer and NPK fertilizers (suitable proportions), selection and plantation of adaptable plant species (forestry, fruit bearing and oil yielding) . The planted species were monitored in respect of growth and biometric parameters at different growth stages followed by physicochemical and biological characterization of ash filled low land. The obtained results evinced that among the physicochemical properties, textural composition, bulk density, water holding capacity, porosity, and major/secondary and micro-nutrient levels of ash filled low land significantly improved with the progressive growth of planted species apart from considerable improvement in growth/biometric parameters and physiological behavior of the planted species. The different biological parameters (ectomycorrhiza, N-fixing bacteria, P-solubilizing bacteria, and dehydrogenase activity) were found to have increased at successive stages of the plantation. The beneficial uses of fly ash in agro-forestry applications were popularized periodically among the local farmers/inhabitants. As such the low lying area could be sustainably reclaimed using fly ash in bulk scale through biological means, which can be further extended in the vicinity of other power plants in the country.

प्रस्तावना

देश में ताप विद्युत संयंत्रों द्वारा प्रतिवर्ष लगभग 550 मिलियन टन कोयले की खपत से उत्पन्न हो रहे 185 मिलियन टन उड़न राख, जिसका केवल 60% उपयोग विभिन्न क्षेत्रों जैसे सड़कों एवं तटबंधों के निर्माण, सीमेंट उत्पादन, खदानों की भराई, कृषि एवं वानिकी, निम्न तलीय भूमि के पुनरुद्धार, ईंट और टाइल्स बनाने आदि में किया जा रहा है[1]। शेष अनुपयुक्त राख (लगभग 40%) द्वारा विभिन्न पर्यावरणीय समस्याएं उत्पन्न होती हैं जैसे भूमि क्षरण, वायु एवं जल प्रदूषण आदि। साथ ही साथ उड़न राख के भंडारण से कृषि योग्य भूमि की कमी तथा भारी वर्षा के दौरान उड़न राख मिश्रित जल के अतिप्रवाह से आसपास के तालाब एवं नदियाँ भी प्रदूषित हो रही हैं। पहले से राख तालों में जमा की गई राख तथा वर्तमान में निरंतर उत्पन्न होते हुए राख का प्रबंधन एक और जटिल समस्या है। अतः उड़न राख/ताल राख के उचित पर्यावरण हितैषी तरीके एवं लाभकारी उपयोग के लिए तत्काल सुधारात्मक उपाय की महती आवश्यकता है।

जैसा कि शोध द्वारा प्रमाणित है कि राख में ऐसे सभी तत्व पाये जाते हैं जो पौधों एवं कृषि फसलों के विकास के लिए आवश्यक होते हैं। इसके द्वारा पोषक तत्वों की क्षतिपूर्ति एवं अम्लीय मिट्टी के उदासीनीकरण के माध्यम से धातु आयनों की विषाक्तता से बचाता है[2,3,4]। उड़न राख में उपस्थित आवश्यक पोषक तत्वों (फॉस्फोरस, पोटैशियम, सल्फर, कैल्शियम, मैग्नीशियम, बोरॉन) एवं ट्रेस धातुओं के कारण विभिन्न फसलों के बायोमास और पोषक तत्वों की स्थिति में सुधार किया जा सकता है[5,6]। उड़न राख के प्रयोग से पौधों के बायोमास तथा उनके पोषक तत्वों में उल्लेखनीय वृद्धि पाई गई[7]। उड़न राख को सामान्य उर्वरक के साथ प्रयोग करने से मिट्टी के भौतिक गुणों एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों में सुधार के साथ फसलों की उपज भी बेहतर होती है [8&9]। उड़न राख एक उपयोगी संशोधक है जो जैविक खाद एवं माइक्रोबियल इनाकुलेंट्स के साथ समस्याग्रस्त मिट्टी के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों में सुधार करता है तथा पौधों के बायोमास उत्पादन में वृद्धि करता है[10]। उड़न राख ह्यूमस एवं नाइट्रोजन से रहित है जिसे कार्बनिक संशोधनों द्वारा पूरा किया जा सकता है[11,12]। उड़न राख के लाभप्रद गुणों के उपयोग से भारत में विभिन्न कृषि-जलवायु परिस्थितियों में अलग-अलग मिट्टी-फसल-उड़न राख खुराक संयोजन के साथ सफल प्रदर्शन किया गया है[13-17]। केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, धनबाद में उड़न राख को मिट्टी के विभिन्न प्रकार तथा कृषि-जलवायु परिस्थितियों में कृषि एवं वानिकी के क्षेत्र में प्रयोग किया गया तथा पाया गया कि उड़न राख का उपयोग कृषि क्षेत्र में चूना एजेंट, मृदा सुधारक, आवश्यक पोषक तत्वों के स्रोत के रूप में तथा अपशिष्ट/अवक्रमित भूमि को कृषि/वानिकी हेतु उपजाऊ बनाने में किया जा सकता है[18,15,16,17]। जैविक संशोधन जैसे वर्मी कम्पोस्ट, ह्यूमिक एसिड तथा बायोफर्टिलाइज़र, आदि को राखताल एवं अवक्रमित भूमि की जैविक गतिविधि तथा उर्वरता स्थिति में सुधार के लिए उपयोग किया जा सकता है। राखताल एवं कोल ओवर बर्डेन डंप को उड़नराख तथा अन्य संशोधनों के साथ औषधीय एवं बहुउद्देशीय पौधों की प्रजातियों के रोपण के माध्यम से उनका सफलतापूर्वक पुनरुद्धार किया गया है[19,20]। लाभप्रद जीवाणुओं तथा अनुकूलित पौधों की प्रजातियों द्वारा राखतालों, ऐशडाइक आदि को पर्यावरण हितैषी तरीके से उपयोग कर उड़न राख का ऑन-साइट प्रबंधन किया जा सकता है। इस प्रकार वृक्षारोपण के माध्यम से उड़न राख का सफलतापूर्वक निपटान तथा उसका कृषि क्षेत्र एवं अवक्रमित/निम्नीकृत/अपशिष्ट भूमि के सुधार हेतु लाभकारी उपयोग किया जा सकता है।

सामग्री एवं विधि

कार्य-स्थल का विवरण : गहन सर्वेक्षण के बाद टाटा स्टील, जामाडोबा के काली मेला क्षेत्र, धनबाद में एक निम्नीकृत भूमि जिसका क्षेत्रफल 8.4 एकड़ (33,600 वर्ग मीटर) एवं गहराई 3-4 मीटर तथा जो पूरी तरह से अनुपयोगी एवं असमतल था, चुनाव किया गया। चयनित क्षेत्र में टाटा स्टील, जामाडोबा द्वारा निर्गत एफ़ बी सी (फ्लूड़ाइज्ड बेड कम्बस्चन) राख से भरा गया तथा बुलडोजर एवं हाथ से उचित लेवलिंग तथा पशुओं के प्रवेश को रोकने के लिए कांटेदार तार के साथ चारों तरफ से बाड़ लगा दिया गया। चयनित राख से भरे क्षेत्र के विभिन्न बिंदुओं से एफ़ बी सी राख के नमूने एकत्र किए गए एवं उनके विभिन्न भौतिक-रासायनिक गुणों का अध्ययन किया गया। प्रयोगात्मक क्षेत्र में कुल 5400 गड्ढे (60×60×60 घन सेमी.) 2 मीटर की दूरी पर खोदे गए तथा उसमें मिट्टी जनित रोगाणुओं को नष्ट करने हेतु कीटनाशक (फोरटेक्स @ 25 ग्राम/गड्ढे), अच्छी मिट्टी+गोबर की खाद (2:1 के अनुपात में), कोकोपीट (250 ग्राम/गड्ढे), वर्मी कम्पोस्ट (250 ग्राम/गड्ढे) जैव उर्वरक तथा एन पी के उर्वरकों (उचित अनुपात) में मिलाया गया जिससे खोदे गए गड्ढों की उर्वरता समान बनी रहे। वाणिज्यिक उपलब्धता के आधार पर देशी पौधों की प्रजातियों जिसमें फलदार, सामाजिक वानिकी एवं तेल उत्पन्न करने वाले पौधे शामिल थे, का चयन कर उनका रोपण किया गया। लगाए गए प्रजातियों का मोर्फोमेट्रिक, संश्लेषक एवं शारीरिकी का समय-समय पर अध्ययन किया गया।

विश्लेषण की विधि

एफ़बीसी राख के भौतिक गुणों जैसे यांत्रिक संरचना, स्थूल घनत्व, सरंध्रता, जल निर्धारण क्षमता तथा रासायनिक गुणों जैसे पीएच, विद्युत चालकता (EC), कुल एवं उपलब्ध प्रमुख एवं माध्यमिक पोषक तत्वों

(नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटैशियम, सल्फर, कैल्शियम, मैग्नीशियम) का निर्धारण मानक तरीकों से किया गया[21-24]। एफ़बीसी राख के नमूनों को विश्लेषणात्मक माइक्रोवेव में डाइजेस्ट कर कुल सूक्ष्म पोषक तत्वों (कॉपर, ज़िंक, मैंगनीज एवं आयरन) तथा ट्रेस एवं भारी धातुओं (लेड, निकेल, कोबाल्ट, कैडमियम आदि) का विश्लेषण किया गया। उपलब्ध ट्रेस और भारी धातुओं का निर्धारण डीटीपीए (डाइएथिलीन ट्राइअमीन पेंटाएसीटेट) एक्सट्रैक्ट के साथ निर्धारित विधि से किया गया[24]। वृक्षारोपण के पहले तथा बाद में विभिन्न जैविक मापदंडों जैसे एक्टोमाइकोराइज़ा, नाइट्रोजन फिक्सिंग बैक्टीरिया, फॉस्फोरस सालुबिलाइजिंग बैक्टीरिया एवं डिहाइड्रोजिनेज एक्टिविटी का निर्धारित विधि से अध्ययन किया गया[25,26]।

लगाए गए प्रजातियों का मोर्फोमेट्रिक (शाखाओं की ऊंचाई, परिधि एवं संख्या) एवं शारीरिक मापदंड (पत्रक क्षेत्रफल, प्रकाश संश्लेषण एवं वाष्पोत्सर्जन की दर आदि) का विभिन्न उपकरणों (पोर्टेबल पत्रक क्षेत्रफल मीटर, पोर्टेबल प्रकाश संश्लेषण तंत्र) द्वारा समय-समय पर अध्ययन किया गया।

परिणाम एवं विवेचना

राख से भरे क्षेत्र के भौतिक-रासायनिक एवं जैविक गुण : राख से भरे क्षेत्र की यांत्रिक रचनाओं में सैंड, सिल्ट तथा क्ले का प्रतिशत वृक्षारोपण के पहले क्रमशः 74.9, 20.4 और 4.7% था जो वृक्षारोपण के 3 वर्ष बाद क्रमशः 68.5, 25.2 एवं 6.3% हो गया। इस प्रकार सैंड में 8.5% की कमी तथा सिल्ट एवं क्ले में क्रमशः 11.02 तथा 16.7% की वृद्धि पायी गई (सारणी 1)। इसका एक कारण विभिन्न संशोधनों एवं उपस्थित जलवायु कारकों के साथ रोपी गयी प्रजातियां हैं जो क्रमिक अपघटन के द्वारा एफ़बीसी राख को और महीन बना रहा है। इसी प्रकार स्थूल घनत्व तथा कण घनत्व वृक्षारोपण से पहले क्रमशः 0.987 ग्राम/घन सेमी. एवं 2.0 ग्राम/घन सेमी. जो वृक्षारोपण के 3 वर्ष बाद क्रमशः 1.05 ग्राम/घन सेमी. एवं 2.33 ग्राम/घन सेमी. हो गया। इसके विपरीत राख से भरे निम्नीकृत भूमि में सरंध्रता (50.6 से 46.6%) एवं जल धारण क्षमता (78.8 से 62.9%) में कमी देखी गयी। इन तथ्यों से यह प्रतीत होता है कि चयनित सुधारकों के साथ युग्मित पौधों की प्रजातियां एफ़बीसी राख की उर्वरता में वृद्धि तथा पौधों के समग्र विकास हेतु अनुकूल परिस्थितियाँ उत्पन्न कर रहा है[27]।

विद्युत चालकता का मान जो वृक्षारोपण से पहले 0.003 डेसी सीमेंस/मी. था वह वृक्षारोपण के 3 वर्ष बाद 0.040 डेसी सीमेंस/मी. हो गया जो संभवतः एफ़बीसी राख के अकार्बनिक घटक के उच्च घुलनशीलता के कारण हो सकता है क्योंकि यह गैर-हानिकारक ही नहीं बल्कि पौधों की वृद्धि के लिए अनुकूल है[28]। इसके अतिरिक्त एफ़बीसी राख के अपक्षय के दौरान घुलनशील लवणों की लीचिंग से विद्युत चालकता का कम होना संभव है। पीएच स्थलीय पर्यावरण की पारिस्थितिकी का एक महत्वपूर्ण सूचकांक है। पीएच का मान जो वृक्षारोपण से पहले 8.09 था वह वृक्षारोपण के बाद 7.86 दर्ज किया गया जो उस राख युक्त मिट्टी की प्रतिक्रिया में पीएच के बदलाव के संकेत हैं। यह शायद मिलाये गए संशोधनों, अपघटित घास-फूस तथा H^+ आयन के जड़ विनिमय के कारण हो सकता है जो एफ़बीसी राख में उपलब्ध पोषक तत्वों का पौधों द्वारा अधिक मात्रा में अवशोषित करता है तथा उसकी प्रतिरोधक क्षमता में वृद्धि भी करता है[29]। पौधों की जड़ें मिट्टी के अंदर कार्बन डाइऑक्साइड की सांद्रता को बढ़ाते हैं जो पानी में विघटित होकर कमजोर कार्बोनिक एसिड पैदा करता है। इसके अलावा सतह पर गिरे हुए कूड़े-करकट के अपघटन से भी विभिन्न कार्बनिक अम्ल पैदा होते हैं जो मिट्टी की पीएच को कम करने में मदद करते हैं[30]। वृक्षारोपण के पश्चात् कार्बनिक कार्बन की प्रतिशतता में भी वृद्धि पायी गयी जिसका संभावित कारण सतह पर अपघटित कूड़े-करकट के संचय के साथ माइक्रोबियल बायोमास में होने वाली वृद्धि हो सकती है[31]। कार्बनिक पदार्थ मृदा संरचना में परिवर्तन के माध्यम से भौतिक लक्षणों एवं पोषक तत्वों की स्थिति में सुधार के अलावा सतह स्थिरता, वातन, जल प्रवेश आदि को बेहतर बनाता है।

उपलब्ध प्रमुख/माध्यमिक, सूक्ष्म पोषक तत्व एवं ट्रेस/भारी धातु : वृक्षारोपण के बाद उपलब्ध प्रमुख तत्वों की सांद्रता में क्रमशः वृद्धि की प्रवृत्ति देखी गई। जिसमें नाइट्रोजन बीडीएल से 0.045%, फॉस्फोरस 16.1 से 18.5 पीपीएम, पोटैशियम 62.0 से 64.1 पीपीएम पाया गया जबकि माध्यमिक पोषक तत्वों में कमी पायी गयी जैसे सल्फर 44.3-42.1 पीपीएम, कैल्शियम 26.2-24.1 पीपीएम, मैग्नीशियम 14.6-11.3 पीपीएम (सारणी 1)। हालांकि प्रारंभ में उड़न राख में आवश्यक सूक्ष्म जीवन या नाइट्रोजन नहीं था परंतु वृक्षारोपण के बाद यह प्राकृतिक अपघटन, जैविक आक्रमण एवं निराई-गुणाई के फलस्वरूप इसके गुणवत्ता में क्रमशः सुधार पाया गया। प्रमुख एवं माध्यमिक पोषक तत्वों में हो रहे क्रमिक सुधार से पता चलता है कि फलीदार पौधों सहित विभिन्न प्रजातियों के पौधों के रोपण से जड़ पिंड के माध्यम से वायुमंडलीय नाइट्रोजन की फिक्सिंग द्वारा राख भरे निम्न क्षेत्र की उर्वरता स्थिति में पर्याप्त सुधार हुआ है। अन्य वैज्ञानिकों द्वारा भी कोयले की राख को अन्य संशोधनों के साथ मिट्टी में प्रयोग करने पर सार्थक प्रभाव देखा गया है[32] कि कोयले की राख को सीवेज़ जल तथा अन्य संशोधनों (चूने और जिप्सम) के साथ उपयोग करने से पीएच, जैविक कार्बन, विद्युत चालकता एवं नाइट्रोजन, फॉस्फोरस तथा पोटैशियम में सुधार हुआ। इसी प्रकार वृक्षारोपण से सूक्ष्म पोषक तत्वों (कॉपर, ज़िंक, मैंगनीज, एवं आयरन) की सांद्रता में भी वृद्धि की प्रवृत्ति

पायी गयी जिससे स्पष्ट होता है कि सूक्ष्म पोषक तत्व पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध हैं तथा उनकी आवश्यकतानुसार आपूर्ति पेरेंट मैटीरियल तथा कूड़े-करकट के क्रमिक अपघटन एवं माइक्रोबियल गतिविधि के फलस्वरूप प्राप्त होता है[33]।

राख में उपलब्ध ट्रेस एवं भारी धातुओं जैसे लेड, निकेल, कोबाल्ट, कैडमियम, क्रोमियम, आर्सेनिक एवं मरकरी आदि या तो नहीं के बराबर थे अथवा स्वीकार्य सीमा के भीतर पाए गए।

जैविक गतिविधि : राख से भरे क्षेत्र की जैविक गतिविधि शुरू में लगभग नगण्य थी, लेकिन इसमे अन्य संशोधनों के साथ-साथ वृक्षारोपण के क्रमिक विकास द्वारा काफी सुधार पाया गया (सारणी 1)। वृक्षारोपण के 3 वर्ष के पश्चात् प्रति ग्राम राख मिश्रित भूमि में एक्टोमाइकोराइज़ा 15.0 स्पोर्स, नाइट्रोजन फिक्सिंग बैक्टीरिया 12.0 कॉलोनी फ़ोर्मिंग यूनिट (सीएफयू $\times 10^4$); फॉस्फोरस सालुबिलाइजिंग बैक्टीरिया 5.0 कॉलोनी फ़ोर्मिंग यूनिट (सीएफयू $\times 10^4$) तक की वृद्धि हुई। वैम कवक की प्रमुख भूमिका जड़ प्रणाली के सतही अवशोषण में वृद्धि द्वारा उड़न राख से पौधों में मुख्य एवं सूक्ष्म पोषक तत्वों की ग्राह्य क्षमता में वृद्धि करता है, परिणामस्वरूप वैम कवक द्वारा पौधों को बेहतर पोषण प्राप्त होता है[33,34]। नाइट्रोजन फिक्सिंग प्रजातियाँ पोषक तत्वों से भरपूर कूड़े-करकट के अपघटन एवं महीन जड़ों तथा नोडुल्स के द्वारा मिट्टी की उर्वरता पर एक उल्लेखनीय प्रभाव डालती हैं[35]। फॉस्फोरस सालुबिलाइजिंग बैक्टीरिया में सतत वृद्धि इस बात का द्योतक है कि फॉस्फेट का उत्पादन करने वाले माइक्रोब्स की संख्या तथा उनकी गतिविधि को वैम संक्रमण से बढ़ाया जा सकता है[36]। ये जीवाणु पौधों की वृद्धि के लिए उपयुक्त हार्मोन का उत्पादन करते हैं[37] तथा जड़ों की संरक्षण दक्षता एवं अवशोषण क्षमता में वृद्धि करते हैं[38]। इसी तरह डिहाइड्रोजनेज गतिविधि जो आरंभ में 0.0 मिग्रा./किग्रा./घंटा थी वह वृक्षारोपण के बाद क्रमिक वृद्धि के फलस्वरूप 0.014 मिग्रा./किग्रा./घंटा तक पहुंच गयी (सारणी 1)। यह राख से भरे क्षेत्र की जैविक गतिविधि एवं उपलब्ध नमी में सुधार की ओर इंगित करता है जो मिलाये गए विभिन्न संशोधनों तथा अनुकूल परिस्थितियों के संयुक्त प्रभाव के कारण हुआ है[39]। इस प्रकार उपर्युक्त सुधारकों के प्रयोग से विद्यमान पर्यावरण में अनुकूलित पौधों की प्रजातियों की स्थापना की जा सकती है[40]। विशेष रूप से यह देखा गया है कि संशोधित उड़न राख कुछ वर्षों बाद हरियाली के क्षेत्र में कभी-कभी स्थानीय मिट्टी से भी बेहतर हो जाती है।

मार्फोमैट्रिक परीक्षण : लगाई गई प्रजातियों जैसे पपीता, अमरूद, आँवला, जामुन, महोगनी, शिरिस, नीम, शीशम, गंहार, कैजुरिना, टीक, करंज, केला, आम, जैट्रोफा, मीठी नीम, बोतल ब्रश, बोगेनविलिया, आदि स्वस्थ एवं अच्छी स्थिति में पाये गए तथा उनका प्रतिशत जीवितांश 65-97% पाया गया। हालांकि अन्य प्रजातियाँ (शरीफा, चमेली, लीची, क्रोटन, चंपा, चाइना पाम, काजू आदि) के जीवित रहने की दर 30-50% के भीतर पायी गई जबकि केले और आम (टिशू कल्चर किस्म) का जीवितांश रेंज 50-73% था। प्रजातियों का कम जीवितांश दर वातावरण की अनुपयुक्त परिस्थितियों के साथ-साथ आवश्यक पोषक तत्वों की अनुपलब्धता के कारण हो सकता है।

वृक्षारोपण के 3 वर्ष बाद प्रमुख पौधों की प्रजातियों की ऊंचाई क्रमशः शीशम (0.45-3.45 मीटर), कैजुरिना (0.50-3.25 मीटर), शिरिस (0.45-3.12 मीटर), करंज (0.30-3.10 मीटर), टीक (0.35-2.85 मीटर), महोगनी (0.50-2.78 मीटर), आम (0.65-2.76 मीटर), अमरूद (0.52-2.65 मीटर) आदि पायी गई। इसी प्रकार की वृद्धि अन्य प्रजातियों में भी दर्ज की गई (सारणी सम्मिलित नहीं) । पौधों की मोटाई (color diameter) में भी क्रमिक वृद्धि देखी गई जैसे बबूल में 3.1-18.0 सेमी., कैजुरिना (3.0-17.5 सेमी.), शीशम (3.8-15.7 सेमी.), शिरिस (2.8-15.2 सेमी.), करंज (3.5-14.5 सेमी.), अमरूद (3.2-13.6 सेमी.), महोगनी (3.2-13.1 सेमी.), बोगनविलिया (3.6-8.4 सेमी.) के लिए लगाए गई प्रजातियों के विभिन्न मॉर्फोमैट्रिक मानकों में वृद्धि मुख्य रूप से वनस्पतियों का क्रमिक विकास, कार्बनिक तथा अकार्बनिक संशोधनों से कूड़े-करकट (litter) के अपघटन के परिणामस्वरूप राख से भरे क्षेत्र में पोषक तत्वों की घुलनशीलता में वृद्धि एवं सक्रिय माइक्रोबियल गतिविधि से उर्वरता स्थिति में क्रमिक सुधार के कारण संभव हुआ है।

प्रकाश संश्लेषण : प्रभुत्व प्रजातियों के पौधों के प्रकाश संश्लेषण की दर सारणी 2 में दर्शायी गयी है। राख से भरे क्षेत्र में लगाए गए विभिन्न प्रजातियों के पौधों की प्रकाश संश्लेषण दर उनके द्वारा ग्राह्य कार्बन डाइऑक्साइड की मात्रा पर निर्भर करती है। यह मुख्य रूप से पौधों में निहित क्षमता के द्वारा संचालित होती है जो वहाँ की परिस्थिति एवं जलवायु में विकसित करने के लिए उपयुक्त बनाती है। लगायी गयी प्रजातियों में प्रकाश संश्लेषण की दर वृक्षारोपण के क्रमिक विकास के दौरान उत्तरोत्तर वृद्धि पायी गई। उदाहरणार्थ शीशम में प्रकाश संश्लेषण की दर सबसे अधिक (4-70&12-56 \μmol/m^2/sec) पायी गई जबकि जामुन, आम, शिरिस, नीम एवं करंज में क्रमशः 3.86-11.23, 6.93-10.56, 4.03-10.43, 3.66-10.33 तथा 2.70-9.50 μmol/m^2/sec रहा। इस प्रकार लगाए गए वृक्षारोपण के 3 साल बाद प्रजातियों में 2-3 गुना वृद्धि देखी हुई। प्रकाश संश्लेषण की दर फली प्रजातियों में गैर फली प्रजातियों की तुलना में अधिक पायी गई।

पर्ण क्षेत्रफल : पर्ण क्षेत्रफल पौधों की वृद्धि एवं वाष्पोत्सर्जन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। (लीथ एट अल, 1986; बूटे एट अल,

सारणी 1 — एफ़बीसी राख से भरे निम्नीकृत भूमि के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुण

मानक	वृक्षारोपण से पहले	वृक्षारोपण के बाद		
		प्रथम वर्ष	द्वितीय वष	तृतीय वर्ष
गुण (%)	74.9	71.9	70.8	68.5
सिल्ट (%)	20.4	22.7	23.8	25.2
क्ले (%)	4.7	5.4	5.4	6.3
स्थूल घनत्व (g/cc)	0.987	1.02	1.04	1.05
कण घनत्व (g/cc)	2.00	2.16	2.31	2.33
सरंध्रता (%)	50.65	48.92	47.04	46.60
जल धारण क्षमता (%)	70.86	67.59	64.21	62.90
विद्युत चालकता (dS/m)	0.003	0.007	0.01	0.04
पीएच	8.09	8.02	7.89	7.86
कार्बनिक कार्बन (%)	0.335	0.345	0.351	0.367
उपलब्ध प्रमुख एवं माध्यमिक पोषक तत्व				
नाइट्रोजन (%)	ND	0.0038	0.0041	0.045
फॉस्फोरस (ppm)	16.12	16.92	17.25	18.51
पोटैशियम (ppm)	62.0	63.5	64.3	64.9
सल्फर (ppm)	44.30	43.6	42.4	42.1
कैल्शियम (ppm)	26.20	25.67	24.31	24.14
मैग्नीशियम (ppm)	14.64	13.58	12.08	11.29
उपलब्ध सूक्ष्म पोषक तत्व एवं ट्रेस/भारी धातु				
कॉपर	0.26	0.27	0.28	0.28
जिंक	0.38	0.36	0.35	0.34
मैगनीज	0.70	0.73	0.74	0.76
आयरन	9.12	9.51	9.82	9.95
क्रोमियम	0.51	0.46	0.32	0.30
कोबाल्ट	0.12	0.08	BDL	BDL
लेड	BDL	BDL	BDL	BDL
कैडमियम	0.04	BDL	BDL	BDL
निकेल	0.16	0.14	0.12	0.13
पारा	BDL	BDL	BDL	BDL
आर्सेनिक	5.6	4.8	4.5	4.3
सेलिनियम	2.7	3.6	3.7	3.9
मोलिब्डेनम	3.3	3.6	3.8	4.1
जैविक गुण				
एक्टोमाइकोराइजा (स्पोर/ग्राम)	-	4	9	15
नाइट्रोजन फिक्सिंग बैक्टीरिया (यूनिट × 10^4ग्राम)	-	2	6	12
फॉस्फोरस सोलुबिलाइज़िंग बैक्टीरिया (यूनिट × 10^4ग्राम)	-	1	3	5
टोटल बैक्टीरियल काउंट (यूनिट × 10^4ग्राम)	-	4	10	19
डिहाइड्रोजिनेज़ एक्टिविटी (मिग्रा/किग्रा/घंटा)	-	0.003	0.009	0.014

सारणी 2 — वृक्षारोपण के विभिन्न समयांतराल पर लगाए गए पौधों की प्रकाश संश्लेषण दर (mol/m2/sec)

प्रजातियाँ	वृक्षारोपण के बाद प्रकाश संश्लेषण दर (mol/m2/sec)		
	प्रथम वर्ष	द्वितीय वर्ष	तृतीय वर्ष
केला (*Musa paradisiaca*)	1.76 ± 0.15	3.24±1.02	7.46±0.36
पपीता (*Carrica papaya*)	1.9±0.24	3.4±0.32	8.23±0.44
अमरूद (*Psidium gujava*)	2.96±0.37	5.03±0.47	6.83±0.92
जामुन (*Eugenia jambolana*)	3.86±0.43	6.76±0.48	11.23±0.78
आम (*Mangifera indica*)	6.93±0.53	9.80±0.96	10.56±0.89
महोगनी (*Swietenia macrophylla*)	2.70±0.34	7.33±0.44	9.24±0.82
सिरिस (*Albizia lebbek*)	4.03±0.73	6.76±0.48	10.43±0.65
नीम (*Azadirechta indica*)	3.66±0.12	8.9±0.44	10.33±0.89
शीशम (*Dalbergia sissoo*)	4.70±0.44	7.16±0.60	12.56±0.93
गम्हार (*Gmelina arborea*)	3.68±0.25	4.25±0.37	5.35±0.40
टीक (*Tectona grandis*)	4.26±0.33	7.76±0.48	9.23±0.78
करंज (*Pongamia pinnata*)	2.70±0.34	6.12±0.54	9.50±0.84
बबूल (*Acacia auriculaeformis*)	3.98±0.35	5.21±0.35	7.89±0.55
जैट्रोफा (*Jatropha curcas*)	2.26±0.33	4.26±0.40	7.34±0.53
बोगेनविलिया	1.70±0.20	3.28±0.30	5.67±0.45

सारणी 3 — वृक्षारोपण के विभिन्न समयांतराल पर लगाए गए पौधों का पर्ण क्षेत्रफल (सेमी^{2})

प्रजातियाँ	वृक्षारोपण के बाद पर्ण क्षेत्रफल (सेमी^{2})		
	प्रथम वर्ष	द्वितीय वर्ष	तृतीय वर्ष
केला (*Musa paradisiaca*)	2145±181.6	2900±215.3	3825±253.0
पपीता (*Carrica papaya*)	334±21.0	415±32.6	486±38.0
अमरूद (*Psidium gujava*)	29.4±1.62	52.5±2.46	65.3±5.83
जामुन (*Eugenia jambolana*)	37.62±3.32	43.5±4.02	45.1±4.07
आम (*Mangifera indica*)	57.4±4.73	71.9±4.87	73.7±4.27
महोगनी (*Swietenia macrophylla*)	57.76±4.04	59.0±4.48	63.8±4.56
सिरिस (*Albizia lebbek*)	5.0±0.24	9.08±0.67	11.6±0.91
नीम (*Azadirechta indica*)	4.34±0.26	6.2±0.47	6.9±0.36
शीशम (*Dalbergia sissoo*)	6.5±0.29	10.8±0.93	13.5±0.98
गम्हार (*Gmelina arborea*)	43.7±4.23	52.7±4.98	57.50±5.23
टीक (*Tectona grandis*)	1223±93.5	1416±112.4	1513±130.7
करंज (*Pongamia pinnata*)	5.7±0.36	9.8±0.79	10.4±0.94
बबूल (*Acacia auriculaeformis*)	39.13 2.91	41.4±2.14	43.06±3.53
जैट्रोफा (*Jatropha curcas*)	142±11.0	167±14.6	187±17.2
बोगेनविलिया	15.9±1.47	18.8±1.60	20.7±1.76

1988; हनोक एवं हर्ड, 1979)। इसके द्वारा पर्ण छत्रक (canopy) में ऊर्जा स्थानांतरण तथा शुष्क पदार्थ संचय की प्रक्रिया सम्पन्न होती है। सारणी 3 से यह ज्ञात हुआ कि लगायी गयी प्रजातियों का पर्ण क्षेत्रफल का रेंज 3 साल के बाद केले में 2,145 से 3,825 सेमी^{2}, टीक में 1,223 से 1,513 सेमी^{2}, पपीता में 334 से 486 सेमी^{2}, जैट्रोफा में 142 से 187 सेमी^{2}, महोगनी में 57.7 से 63.8 सेमी^{2}, आम में 57.4 से 73.7 सेमी^{2}, गम्हार में 43.75 से 57.5 सेमी^{2}, बबूल में 39.1 से 43.06 सेमी^{2}, शीशम में 6.5-13.5 सेमी^{2}, जामुन में 37.6 से 45.1 सेमी^{2}, अमरूद में 29.43 से 65.32 सेमी^{2}, करंज में 5.7 से 10.4 सेमी^{2}, शिरिस में 5.0-11.5 सेमी^{2}, नीम में 4.3

से 6.9 सेमी^{2} था। अतः यह स्पष्ट रूप से पता चलता है कि जिस पौधे का पर्ण क्षेत्रफल अधिक है उनमें प्रकाश संश्लेषण अधिक मात्रा में होता है तथा अधिक कार्बन संग्रहण की क्षमता पायी जाती है। इस प्रकार राख से भरी हुई निम्न तलीय भूमि में पोषक तत्वों की मात्रा में भी सुधार होता है।

निष्कर्ष

विभिन्न प्रजातियों जैसे काष्ठीय, फलदार, तेल उत्पन्न करने वाले, सजावटी आदि पौधों का सुधारकों के साथ रोपण से राख से भरे निम्नीकृत भूमि का विभिन्न भौतिक-रासायनिक एवं जैविक मानकों में क्रमिक सुधार पाया गया। अधिकांश ट्रेस तथा भारी धातुएं जैसे शीशा, कैडमियम, क्रोमियम और पारा नगण्य रूप में तथा निकेल एवं कोबाल्ट स्वीकार्य सीमा के अंदर पाये गए। लगायी गयी प्रजातियों के मॉर्फोमैट्रिक मानकों जैसे पौधे की ऊंचाई और कॉलर व्यास में महत्वपूर्ण वृद्धि देखी गई। अधिकांश पौधों की प्रजातियों में वृक्षारोपण के बाद प्रकाश संश्लेषण, पर्ण क्षेत्रफल में लगातार वृद्धि अंकित की गई।

इस प्रकार एफ़बीसी राख के उपयोग एवं चयनित वृक्षारोपण के माध्यम से निम्नीकृत भूमि या खनन बंजर भूमि का पर्याहितैषी सुधार कर सामाजिक वानिकी हेतु उपयोगी बनाया जा सकता है। साथ ही साथ उड़न राख के निपटान की समस्या को भी एक निश्चित सीमा तक हल किया जा सकता है तथा फ्लाई ऐश मृदा संशोधन प्रौद्योगिकी के द्वारा पुनरुद्धारित क्षेत्र के सौंदर्यीकरण के अतिरिक्त स्थानीय निवासियों की सामाजिक एवं आर्थिक स्थिति में सुधार भी किया जा सकता है।

संदर्भ

1. CEA Annual Report , Central Electricity Authority, Ministry of Power, Government of India, (2015) 225.
2. Adriano D C, Page A L, Elseewi A A, Chang A C & Straughan I, Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. *J. Environ. Qual*. **9** (1980) 333-344.
3. Srivastava N K, Ram L C, Bulk use of fly ash in sustainable reclamation of low-lying area. *Ecol. Environ. Conserv*. **15** (3), 2009. 605-617.
4. Srivastava N K & Ram L C, Reclamation of coal mine spoil dump through fly ash and biological amendments. *Int. Journal of Ecology & Development,* **17** (F10) 17-33.
5. Sims J T, Vasilas B L, Ghodrati M & Bacher J, Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic coastal plain. II, Soil chemical properties and crop growth, *Water, Air and Soil Pollution*, **81** (1995) 363-372.
6. Matte D B & Kene D R, Studies on utilization of fly ash from TPSs in Agriculture, Punjabrao Krishi Vidyapeeth, Akola, (1995) 131.
7. Taylor E M, Jr Schuam G E, Fly ash and lime amendment of acidic coal spoil aid revegetation. *Journal of Environ. Qual*, **17** (1988) 20-24.
8. Grewal P K, Holzfeind P J, Bittner R E & Hewitt J E, Mu tant glycosyl-transferase and altered glycosylation of alpha-dystroglycan in the myodystrophy mouse. *Nature Genet*, **28** (2001) 151-154.
9. Mittra B N, Karmakar S, Swain D K & Ghosh B C, Flyash a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. *Fuel*, **84**(11) (2005) 1447-1451.
10. Jala S & Goyal D, Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review. *Bioresource Technology*, **97** (9) (2006) 1136-1147.
11. Adriano D C, Woodford T A & Ciravolo TG , Growth and elemental composition of corn and bean. *J. Environmental Quality,* **7** (1978) 416-421.
12. Logan T J & Traina S J, Trace metals in agricultural soils. Pages 309-347 inH.E. Allen and others (eds.). Metals in groundwater. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (1993).
13. Srivastava N K, Ram LC, Jha S K, Tripathi R C & Singh G, Role of CFRI's fly ash soil amendment technology (FASAT) in improving the socio-economic condition of farmers via improvement in soil fertility and crop productivity, *J. Ecophysiol. Occup. Hlth*, **3** (2003) 127-142.
14. Ram LC, Srivastava N K, Tripathi R C, Jha S K, Sinha A K, Singh G & Manoharan V, Management of mine spoil for crop productivity with lignite fly ash and biological amendments. *Journal of Environ. Manage*, **79** (2006a) 173-187.
15. Ram LC, Srivastava N K, Jha S K & Sinha A K, Eco-friendly reclamation of mine spoil for agro-forestry through fly ash and biological amendments. In Proceedings of 23rd Annual International Pittsburgh Coal Conference. Session **52** : (2006b) 1-25.
16. Ram L C, Srivastava N K, Tripathi R C, Thakur S K, Sinha A K, Jha SK, Masto R E, Mitra S, (2007a). Leaching behavior of lignite fly ash with shake and column tests. *Env. Geol*., **51**: (2007a) 1119-1132.
17. Ram LC, Srivastava N K, Jha S K, Sinha A K, Masto R E & Selvi V A, Management of lignite fly ash through its bulk use via biological amendments for improving the fertility and crop productivity of soil, Environmental Management, **40** (2007b) 438-452.
18. CFRI-Central Fuel Research Institute, Demonstration trials in farmers' fields for the popularization of bulk use of fly ash from Anpara, Obra, Harduaganj TPPs of UPRVUNL, Lucknow in agriculture and for reclamation of degraded/waste land. CFRI, Dhanbad (India). Report No. TR/CFRI/1.08/ (2002-03).
19. Ram LC & Srivastava N K, Prospects of sustainable bulk use of fly ash in agro-forestry. Gargh S L, (Ed.), Proceedings, 2nd International Congress of Chemistry & Environment. (ICCE-2005): Indore, India, (2005) 327-334.
20. Srivastava N K, Ram L C & Sinha A K, Sustainable improvement of mining environment through selective plantation. Bhattacherjee A, Das S K & Rao U M (Eds.), Proceedings, International Symposium on Advances in Mining Technology and Management (AIIM-2005), Indian Institute of Technology, Kharagpur (W.B.), (2005) 505-512.

21. Piper C S,Soil & plant Analysis, The University of Adelaide, Australia (1950).
22. Black C A, Methods of Soil Analysis Part1 and 2, American Society of Agronomy Inc. Publisher, Wisconsin, USA (1965).
23. Jackson M L, Soil Chemical Analysis, Prentice Hall of India Pvt. Ltd, Delhi, (1967).
24. Tandon H LS, Methods of Analysis of Soils, Plants, Water and Fertilizers. Fertilizer Development and Consultation Organisation, New Delhi 1995.
25. Linderman R G, Mycorrhizae in Sustainable Agriculture, American Society of Agronomy Special Publications, **54** (1992.)
26. Klein D A, Loh T C, Goulding R L, A Rapid Procedure to Evaluate Dehydrogenase Activity of Soils Low in Organic Matter. *Soil Biology Biochemistry*, **3** (1971) 385-387.
27. Strock G N & Stehouwer R C, Soil Additives and Soil Amendments, Chapter 10, In: Coal Ash Beneficial Use in Mine Reclamation and Mine Drainage Remediation in Pennsylvania. Harrisburg: Pennsylvania Department of Environmental Protection, (2004) 302-315.
28. Menon M P, Ghuman G S, James J, Chandra K & Adriano D C, Physico-chemical characterization of water extracts of different coal fly ashes and fly ash amended composts. *Air Water & Soil Pollut*, **50** (1990) 343.
29. Batty L C & Younger P L, The effect of pH on plant litter decomposition and metal cycling in wetland mesocosms supplied with mine drainage. *Chemosphere*, **66** (1) (2007) 156-164.
30. Pal R C & Sharma A, Afforestation for reclaiming degraded village common land: a case study. *Biomass and Bioenergy*, **21** (2001) 35-42.
31. Masto E R, Chhonkar P K, Singh D & Patra A K, Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical Inceptisol. *Soil Biology and Bio chemistry*, **38** (2006) 1577-1582.
32. Pietz R I, Carson C R, Peterson J R, Denz DR & Lue-Hing C, Application of sewage and other amendments to coal refuse: I. Effects on chemical composition, *Journal of Environ. Qual*, (1989) **18** 164-169.
33. Pacovsky R S, Fuller G, Stafford A E & Paul E A, Nutrient growth interactions in soybeans colonized with Glomus fasciculatum and Rhizobium japonicum. *Plant Soil*. **92** (1986) 37-45.
34. Smith S E, St John B J, Smith FA & Nicholas D J D, Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in Trifolium subterraneum L. and Allium cepa L.:Effects of Myc orrhizal infection and phosphate nutrition. *New Phytol*. **99** (1985) 211-227.
35. Bernhard-Reversat F, Soil nitrogen mineralization under a Euclyptus plantation and a natural Acacia forest in Senegal, For Ecol Manag, **23** (1988) 233-244.
36. Graham J H, Eissenstat D M & Drouillard D L, on the Relation ship between a Plant's Mycorrhizal Dependency and Rate of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Colonization. *Functional Ecology*, **5** (6) (1991) 773-779.
37. Tien T M, Gaskins MH & Hubbell D J, Plant growth substances produced by Azospirilum brasilense and their effect on the growth of pearl millet (Pennisetum americanum L.). *Appl. Microbiol*, **45** (1979) 1016-1024.
38. Kapulnik Y, Okon Y & Henis Y, Yield response of spring wheat cultivars (Triticum aestivum and T. turgidum) to inoculation with Azospirillum brasilense under field conditions. *Biol. Fert. Soils*, **4** (1987) 27-35.
39. Lai K M, Ye DY & Wong J W C, Enzyme activities in sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash. *Water, Air, & Soil Pollution*, **113** (1999) 261-272.
40. Juwarkar A A & Jambhulkar H P, Restoration of fly ash dumps through biological interventions, *Environ. Monit. Assess*., **139** (1-3) (2008) 355-365.