जैवउर्वरक उत्पादन के लिए स्लज की राख का वाहक के रूप में उपयोग करने की एक नवीन पद्धति

A Novel Approach to Utilize the Sludge Ash as a Carrier for Biofertilizer Production

सोनम पलिया[1], आशुतोष मंडपे[2], सुनील कुमार[3], एम. सुरेश कुमार[4]

[1,2,3,4] वैज्ञानिक और नवीकृत अनुसन्धान अकादमी, गाजियाबाद - 201002, भारत

[1,2,3,4] सीएसआईआर – राष्ट्रीय पर्यावरण अभियांत्रिकी अनुसन्धान संस्थान (सीएसआईआर – नीरी), नेहरू मार्ग, नागपुर 440 020, भारत

[1]s-paliya@neeri-res-in/sonampaliya140@gmail-com, [2]as_mandpe@neeri-res-in, [3]s_kumar@neeri-res-in, [4]ms_kumar@neeri-res-in

सारांश :

अपशिष्ट जल उपचार संयंत्रों से निकली शुष्क स्लज के दहन के परिणामस्वरुप द्वितीयक उत्पाद के रूप में प्राप्त हुई राख को दुनियाभर में एक खतरनाक ठोस अपशिष्ट माना जा चुका है। इस ठोस अपशिष्ट के इतनी भारी मात्रा में उत्पन्न होने के बावजूद इसकी बहुत सीमित मात्रा उपयोग में लाई जाती है एवं शेष को सीधे भूमि पर निपटान कर दिया जाता है। अतएव वर्तमान अध्ययन का उईश्य इस ठोस अपशिष्ट का उपयोग जैवउर्वरक उत्पादन में वाहक के रूप में करने की नवीन विधि खोजना है, जिससे सीधे भूमि पर इस अपशिष्ट के निपटान को कम किया जा सके। वर्तमान शोध में राइजोबियम जीवाणु संवर्ध को स्लज की राख के साथ मिलाकर उसका जैवउर्वरक तैयार किया गया एवं इस जैवउर्वरक की निधानी आयु का मूल्यांकन बढ़ते समय के साथ संवर्धन माध्यम पर राइजोबियम जीवाणुओं द्वारा बनाई गई कॉलोनी फॉर्मिंग इकाई की गिनती कर के किया गया। तैयार किए गए जैवउर्वरक के पौधों पर प्रभाव का विश्लेषण करने के लिए मसूर के बीजों को इससे उपचारित करके पौधों के वृद्धि एवं अन्य उपज मापदंडों का मूल्यांकन किया गया। इस प्रयोग में स्लज की राख के साथ बनाए गए जैवउर्वरक में राइजोबियम द्वारा बनाई गई कॉलोनी फॉर्मिंग इकाई की संख्या (6487.78) एवं निधानी आयु (150 दिन), लिग्नाइट (जो की सामान्यतौर पर वाहक के रूप में जैवउर्वरक निर्माण में उपयोग होता है) के साथ बनाए गए राइजोबियम जैवउर्वरक की तुलना में अधिक दर्ज की गई। साथ ही, स्लज की राख आधारित जैवउर्वरक से उपचारित किये गए बीजों में सामान्य लिग्नाइट आधारित राइजोबियम जैवउर्वरक उपचार की तुलना में 19: जड़ की लम्बाई, 42: मूलग्रंथि संख्या एवं 53.40: अधिक बीज उपज पायी गई। इस प्रकार वर्तमान शोध के परिणाम बताते हैं कि यदि स्लज राख की एक निश्चित मात्रा का उपयोग जैवउर्वरक निर्माण एवं बीजों को उपचारित करने में किया जाता है तो यह जीवाणुओं, मृदा तथा पौधों पर कोई प्रतिकूल प्रभाव नहीं डालता एवं यह जैवउर्वरक उत्पादन में सामान्यतौर पर वाहक के रूप में उपयोग होने वाले लिग्नाइट चूर्ण का विकल्प साबित हो सकता है।

Abstract

Sludge ash is considered as a hazardous waste which is a byproduct forming after the combustion of de-watered sludge produced from the sewage treatment plants. This waste material is generated in behemoth volumes has very limited use and is directly disposed in the landfills- The current work intends to explore a novel approach for using sludge ash to develop Rhizobium

biofertilizer and thereby reducing the burden on landfills. The Rhizobium inoculum was prepared and blended thoroughly with sludge ash to formulate Rhizobium biofertilizer, and shelf life of this formulation was assessed by counting colony-forming unit (CFU). The prepared formulation was applied on lentil seeds, and its effect was investigated by assessing the plant growth along with other yield characteristics. Enhanced CFU count (6487.78) was observed in sludge ash carrier combination with a better shelf life of five months as compared to lignite carrier formulation (9.1%) till 150th day, i.e., (69.8%). Lentil seeds treated with sludge ash–based biofertilizer exhibited luxuriant growth with 19% enhanced root length, 42% number of nodules, 10 % plant growth and 53.40 % seed yield in comparison to the conventional lignite formulations. Thus biofertilizer produced from sludge ash can be considered as harmless to the soil and plants when incorporated in defined quantity and can prove to be an effectual substitute for conventional lignite carrier in biofertilizer production.

विषय बोधक शब्द : जैवउर्वरक, राइजोबियम, स्लज की राख, लिग्नाइट, मसूर, सूक्ष्म पोषक तत्व

Keywords: Biofertilizer, Rhizobium, Sludge Ash, Lignite, Lentil, Micronutrients

1. प्रस्तावना

अपशिष्ट जल उपचार संयंत्रों से उत्पन्न उप–उत्पादों का प्रबंधन अब वैश्विक चिंता का विषय बन गया है। अपशिष्ट जल की जबरदस्त मात्रा के सृजन ने दुनिया भर में कई अपशिष्ट जल उपचार संयंत्रों का विकास किया है। ये उपचार संयंत्र उप–उत्पाद के रूप में कीचड़ की भारी मात्रा उत्पन्न करते हैं, जिसे खतरनाक ठोस अपशिष्ट माना जा चुका है, जिसके रणनीतिक प्रबंधन की वर्तमान में महती आवश्यकता है। सीवेज कीचड़ अपशिष्ट जल के प्राथमिक, द्वितीयक और तृतीयक उपचार प्रक्रिया से उत्पन्न होती है जिसमें भारी धातुएँ, परजीवी, विषाणु और रोगजनक सूक्ष्मजीवों वाले कार्बनिक और अकार्बनिक पदार्थों का मिश्रण होता है। (1) पिछले कुछ दशकों में, बढ़ते शहरीकरण और औद्योगीकरण के साथ विकासशील देशों में अपशिष्ट जल उपचार सुविधाओं की मांग में काफी वृद्धि हुई है। इन अपशिष्ट जल उपचार सुविधाओं की वजह से बड़ी मात्रा में सीवेज कीचड़ उत्पन्न हुई है जिसके इतनी भारी मात्रा में निपटान ने पूरी दुनिया में पर्यावरण इंजीनियरों और योजनाकारों के लिए चिंताएं बढ़ा दी हैं। (2), (3)

आम जनता के बीच बढ़ती पर्यावरण जागरूकता ने अपशिष्ट जल उपचार संयंत्रों से उत्पन्न कीचड़ के प्रभावी प्रबंधन के लिए नई रणनीतियों के विकास पर जोर दिया है। वर्तमान परिदृश्य में, अपशिष्ट जल उपचार संयंत्रों से उत्पन्न कीचड़ की विशाल मात्रा को कम करने के लिए कीचड़ के ताप उपचार को सबसे प्रभावी तरीका माना जाता है। (4) सीवेज कीचड़ का ग्रेट भट्टी में दहन, गलन एवं अन्य नगरपालिका ठोस अपशिष्ट (MSW), ईंधन, कोयला और अन्य वैकल्पिक प्रक्रियाओं के साथ सह–दहन, जैसे कि पायरोलिसिस इत्यादि कीचड़ के ताप उपचार की सबसे आम विधियां हैं। (5) दहन की प्रक्रिया में कीचड़ के द्रव्यमान में लगभग 85% और मात्रा में 90% की कमी होती है। इसके अलावा, दहन खतरनाक जहरीले यौगिकों को नष्ट कर देता है, अप्रिय गंध को हटा देता है और कीचड़ से ऊर्जा पुनः प्राप्त हो जाती है। (6) हालांकि, दहन भी एक अपशिष्ट मुक्त तकनीक नहीं है क्योंकि दहन के बाद सीवेज कीचड़, राख में परिणत हो जाता है, जिसका द्रव्यमान कीचड़ के द्रव्यमान का लगभग 30: होता है एवं इसके उचित निपटान के लिए पुनः प्रबंधन की आवश्यकता होती है। (7) कीचड़ की राख का अनुचित प्रबंधन एवं निपटान के लिए संधारण ीय उपयोग रणनीतियों की कमी पर्यावरण के लिए संभावित खतरे को जन्म देती है।

हाल के अध्ययनों के अनुसार, जल उपचार संयंत्रों द्वारा कीचड़ का वैश्विक उत्पादन 1.7 मिलियन टन से अधिक है, जो निकट भविष्य में और बढ़ने की उम्मीद है। (8) दुनिया भर में उत्पन्न कीचड़ राख की अधिकतम मात्रा को सीधे लैंडफिल में निपटाया जाता है, जो इसे एक कम उपयोग वाला संसाधन बनाता है। सीधे लैंडफिल में कीचड़ की राख का निपटान इस अपशिष्ट के प्रबंधन के लिए एक गैर–अनुकूल समाधान है क्योंकि इसमें अत्यधिक मात्रा में भारी धातुएं होती हैं जिससे पर्यावरण को नुकसान पहुँचता है। हालाँकि, भारत में खतरनाक अपशिष्ट के प्रबंधन हेतु कुछ नियम और कानून हैं, जैसे कि खतरनाक अपशिष्ट (प्रबंधन और हैंडलिंग) नियम, 2008, अनुच्छेद 47, खतरनाक और अन्य अपशिष्ट (प्रबंधन और ट्रांसबाउन्ड्री आंदोलन) नियम, 2016। उपरोक्त नियम भारत में खतरनाक कचरे के प्रबंधन को नियंत्रित करने वाले प्राथमिक नियम हैं। फिर भी, इन नियमों का अनुपालन सीमित और अनियमित है। (9) इस कीचड़ की राख के अल्प उपयोग के पीछे कई कारण हैं, जैसे जागरूकता और नियमों की कमी, लेकिन सबसे महत्वपूर्ण कारक इसके निपटान के लिए आसानी से उपलब्ध भूमि है।

कीचड़ की राख में सूक्ष्म एवं वृहत पोषक तत्व समृद्ध मात्रा में पाए जाते हैं जिनमे प्राथमिक तत्व Si, Fe, Al, P एवं Ca तथा धातुएं जैसे, Cd, Cr, Zn, Pb, Ni, Cu, Mo एवं As इत्यादि शामिल हैं। (10) कीचड़ की राख में नाइट्रोजन एवं आर्गेनिक कार्बन की नगण्य मात्रा को छोड़कर मिट्टी के समान सभी तत्व मौजूद होते हैं। (11) इस प्रकार, नाइट्रोजन को छोड़कर, सूक्ष्मजीवों और पौधों के चयापचय और विकास के लिए आवश्यक अन्य सभी आवश्यक तत्व कीचड़ में मौजूद होते हैं।

भारत में लगभग 150 मिलियन हेक्टेयर भूमि मृदा अपरदन, जल भराव, मिट्टी की अतिरिक्त लवणता और परती बंजर भूमि सहित विभिन्न समस्याओं से प्रभावित है। अतः भोजन की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए इस गैर–उपजाऊ और बंजर भूमि का संधारणीय विधियों द्वारा पुनः सुधार आवश्यक है। तेजादा एट अल (2016) (12) ने मिट्टी के भौतिक–रासायनिक गुणों और जल धारण क्षमता को बढ़ाने के लिए कीचड़ की राख के मिट्टी के साथ उपयोग पर जोर दिया है। कुछ शोधकर्ताओं ने स्लज को विभिन्न तकनीकों के उपयोग द्वारा लाभकारी ऊर्जा स्रोत के रूप में प्रस्तुत किया है। (13) इसके अलावा, कई जांचकर्ताओं ने कीचड़ और इसकी राख को कार्बनिक खाद और जैविक खाद के लिए एक अच्छा पूरक (14), (15) खनन गतिविधियों से उत्पन्न कीचड़ में मौजूद भारी धातुओं के स्थिरीकरण के लिए प्रभावी सामग्री और कंक्रीट में भराव सामग्री के रूप में वर्णित किया है। (16) कुछ अध्ययनों में, अमोनियम यौगिकों के द्वारा उदासीनीकरण के बाद सीवेज कीचड़ की राख का संधारणीय उपयोग उर्वरक उत्पादन के लिए बताया किया गया है। (17), (18) जबकि, कुछ अन्य शोधकर्ताओं ने सीमेंट और कंक्रीट सामग्री के उत्पादन के लिए सीवेज कीचड़ राख के उपयोग पर जोर दिया है। (19)

उपरोक्त संधारणीय दृष्टिकोणों के साथ स्लज की राख का संयोजन कर इस ठोस अपशिष्ट का उचित निपटान और प्रबंधन, मिट्टी की गुणवत्ता में वृद्धि और पौधों की उपज में वृद्धि के रूप में अतिरिक्त लाभ प्राप्त किया जा सकता है। सिंह एट अल (2013) (20) ने राइजोबियम बैक्टीरिया को विकसित करने के लिए एक माध्यम के रूप में कीचड़ के उपयोग का पता लगाने के लिए प्रयोग किये और इसे उर्वरक के रूप में सीधे मिट्टी पर उपयोग ईद एट अल (2018) (21) ने किया, परन्तु, अपशिष्ट जल कीचड़ राख को राइजोबियम बैक्टीरिया के संवर्ध के साथ मिला कर इससे जैवउर्वरक उत्पादन करने के लिए अब तक कोई अध्ययन नहीं किया गया है।

इन सभी पहलुओं को ध्यान में रखते हुए, वर्तमान अध्ययन ठोस अपशिष्ट पदार्थ स्लज की राख का उपयोग राइजोबियम जैवउर्वरक के निर्माण में वाहक

के रूप में किस तरह किया जा सकता है, इसके शोध के लिए किया गया, ताकि इस ठोस अपशिष्ट के भूमि पर निपटान के कारण होने वाले पर्यावरण प्रदूषण को कम किया जा सके एवं व्यावसायिक स्तर पर इस अपशिष्ट की इसकी उपयोगिता को बढ़ाया जा सके। वर्तमान अध्ययन अपनी तरह का पहला शोध है जिसमे ठोस अपशिष्ट स्लज की राख को पर्यावरण–अनुकूल एवं संधारणीय तरीके से जैव–उर्वरक निर्माण में वाहक के रूप में उपयोग किया गया है।

2. सामग्री एवं क्रियाविधि

2.1. स्लज की राख के भौतिक–रासायनिक गुणों का विश्लेषण

नागपुर (महाराष्ट्र) नगर निगम द्वारा स्थापित सीवेज जल उपचार संयंत्र से निकली जल रहित ठोस स्लज को एकत्रित करके प्रयोगशाला में लाकर, मफल फर्नेस में तापीय उपचार किया गया। स्लज के तापीय उपचार के पश्चात निकली राख को एकत्र किया गया और नमी प्रतिशत, पीएच, विद्युत चालकता (ई.सी.), स्थूल घनत्व (बल्क डेन्सिटी), कुल नाइट्रोजन (टीएन), कुल कार्बन (टीसी), कार्बन–नाइट्रोजन अनुपात, सल्फर तत्व, तथा भारी धातुओं की मात्रा जैसे भौतिक और रासायनिक गुणों को मानक विधियों का अनुसरण करके विश्लेषित किया गया।

2.2. मसूर के पौधे की मूलग्रंथियों से राइजोबियम जीवाणु का प्रथक्करण

मसूर के पौधों को सावधानीपूर्वक उखाड़ा गया और मिट्टी के कणों को हटाने के लिए नल के पानी से जड़ तंत्र को धोया गया। जीवाणु के पृथक्करण के लिए, स्वस्थ एवं बिना टूटी हुई मूलग्रंथियों को चुना गया और जड़ तंत्र से अलग किया गया। नागानंदा एट. अल. (2010) (22) द्वारा वर्णित सतह निर्जीवीकरण विधि का उपयोग करके मूलग्रंथियों की सतह को साफ किया गया। निर्जीवीकरण के बाद मूलग्रंथियों को आसुत जल में कांच की छड़ की सहायता से पीसा गया एवं प्राप्त घोल को 10–फोल्ड तनुकरण विधि द्वारा 10–9 तक तनु किया गया। अब तनुकरण द्वारा प्राप्त 10–7, 10–8 और 10–9 घोलों में से प्रत्येक से 0.1 मि.ली. नमूने को राइजोबियम जीवाणु के पृथक्करण के लिए चयनात्मक माध्यम (यीस्ट एक्सट्रैक्ट मेनिटोल आगार) वाली पेट्री डिशों पर फैलाया गया (23). इसके पश्चात पेट्री डिशों को जीवाणु संवर्धन के लिए 3–4 दिनों तक 37°C पर इनक्यूबेटर में रखा गया। जीवाणु की पेट्री डिशों पर कॉलोनी आने के बाद कॉलोनी आकारिकी का विश्लेषण करके राइजोबियम कॉलोनियों की पहचान की गई एवं राजोबियम के शुद्ध आइसोलेट्स प्राप्त करने के लिए चयनित कॉलोनियों को पुनः संवर्धित किया गया।

2.3. राइजोबियम संवर्धो का गुणन

राइजोबियम संवर्धों की शुद्धता और उचित विकास का विश्लेषण करने के बाद, विसंक्रमित यीस्ट एक्सट्रैक्ट मेनिटोल ब्रॉथ माध्यम वाले कोनिकल फ्लास्कों में राइजोबियम की स्वस्थ कॉलोनियों को संरोपित किया गया एवं रोटरी शेकर पर 150 आरपीएम तथा 28±2°C में 4–5 दिनों तक संवर्धित किया गया ताकि आरंभक संवर्ध प्राप्त हो सके एवं पुनः इस संवर्ध को बड़ी क्षमता वाले कोनिकल फ्लास्कों में स्थानांतरित करके राइजोबियम जीवाणु संवर्ध की मात्रा बढ़ाई गई।

2.4. वाहक के रूप में स्लज की राख एवं लिग्नाइट पाउडर का उपयोग करके राइजोबियम जैवउर्वरक का निर्माण

स्लज की बारीक राख एवं लिग्नाइट पाउडर को ऑटोक्लेव करने के लिए उपयुक्त पॉलीप्रोपीलीन थैलियों में भरकर 121°C तापमान एवं 15 पीएसआई दाब पर 3 घंटों के लिए ऑटोक्लेव किया गया। जैवउर्वरक निर्माण के लिए निर्जीवीकृत स्लज की राख एवं लिग्नाइट पाउडर दोनों के साथ 25: की दर से राइजोबियम के ब्रोथ में बने संवर्धन को मिलाया गया जिससे स्लज की राख तथा लिग्नाइट वाला

राइजोबियम जैवउर्वरक प्राप्त हुआ। बने हुए उर्वरकों को कम घनत्व वाली पॉलिथीन की थैलियों में बंद करके कमरे के साधारण तापमान पर भंडारित किया गया।

2.5. जैवउर्वरकों की निधानी आयु का मूल्यांकन

स्लज की राख तथा लिग्नाइट चूर्ण द्वारा निर्मित जैवउर्वरकों की निधानी आयु का मूल्यांकन प्रत्येक पांच दिनों के अंतराल पर क्रमिक तनुकरण विधि का उपयोग करके किया गया। दोनों जैवउर्वरकों के प्रतिदर्शों को क्रमिक रूप से 10–9 तक तनु किया गया तथा यीस्ट एक्सट्रैक्ट मेनिटोल अगार माध्यम वाली प्लेटों पर फैलाकर संवर्धन के लिए 2–3 दिनों तक 37°C पर रखा गया। जीवित जीवाणुओं की संख्या के मूल्यांकन के लिए कॉलोनी बनाने वाली इकाइयों की गणना की गई।

2.6. मसूर के बीजों पर जैवउर्वरक उपचार एवं पौधों की वृद्धि का मूल्यांकन

पौंधो के विकास एवं वृद्धि पर पर स्लज की राख एवं लिग्नाइट द्वारा निर्मित जैवउर्वरक के प्रभावों का मूल्यांकन करने हेतु मसूर के जे. एल.–3 जीनोटाइप को मिट्टी में लगाकर प्रयोग किया गया। मसूर के जीनोटाइप जे.एल.–3 के बीजों की सतह का निर्जीवीकरण करने के पश्चात 100 ग्रा. बीजों को 2 ग्रा. जैवउर्वरक (क्रमशः, स्लज की राख एवं लिग्नाइट द्वारा बनाया गया जैवउर्वरक) के साथ मिलाया जबकि 100 ग्राम बीजों को बिना किसी उपचार के रखा गया। उपचारित बीजों को छाँव में 30 मिनट सुखाया, तत्पश्चात निर्जीवीकृत की हुई मिट्टी से भरे 5 ली. के अलग–अलग प्लास्टिक के गमलों में बोया गया। प्रत्येक उपचार के लिए 10 गमले लगाए गए जिनको 12 घंटे का दीप्तिकाल एवं एक दिन के अंतराल पर पानी (200 मि.ली./गमला) दिया गया। बुवाई के 30, 45 एवं 60 दिन तथा परिपक्वन के समय प्रत्येक उपचार के पाँच पौधों को निकालकर नीचे वर्णित कारकों का विश्लेषण किया गयाः

2.6.1. बीज अंकुरण प्रतिशत

बीज अंकुरण प्रतिशत के मूल्यांकन के लिए मसूर के निर्जीवीकृत बीजों को स्लज की राख एवं लिग्नाइट द्वारा निर्मित जैवउर्वरकों द्वारा उपचारित किया जबकि कुछ बीजों को तुलनात्मक अध्ययन के लिए अनुपचारित रखा गया। प्रत्येक उपचार के 10 बीजों को 9 से.मी. की पेट्री डिश पर फिल्टर पेपर की एक परत के ऊपर रख कर फिल्टर पेपर की दूसरी परत से ढँक कर इनक्यूबेटर में 25°C पर 5 दिनों के लिए रख दिया गया तथा बीजों की प्रतिदिन आसुत जल से सिंचाई की गई। अंकुरण प्रतिशत निकालने के लिए कुल अंकुरित हुए बीजों की संख्या को कुल बोए गए बीजों की संख्या से विभाजित कर 100 से गुणा किया।

2.6.2. मसूर के पौधों की जड़, तना आकारिकी एवं मूलग्रंथि गुणधर्म

मसूर के पौधों को सावधानी से उखाड़ा तथा आसुतजल से धोने के पश्चात पौधों के जड़ एवं प्ररोह तंत्र को अलग किया गया। जड़ तंत्र को फैलाया एवं कुल जड़ लंबाई, जड़ का शुष्क वजन तथा प्ररोह के शुष्क वजन का मूल्यांकन किया गया। प्रत्येक पौधे की मूलग्रंथियों की कुल संख्या को स्टीरियो सूक्ष्मदर्शी की सहायता से गिना गया और प्रत्येक पौधे के लिए मूलग्रंथियों का सूखा वजन भी दर्ज किया गया।

2.6.3. पौधे की वृद्धि एवं उपज

पौधों की लम्बाई (से.मी.) मापने के लिए एक मापक पैमाने की सहायता से प्ररोह प्रारम्भ क्षेत्र से लेकर शीर्षस्थ कलिका तक पौधों को मापा गया। पौधों की कुल शाखाओं की संख्या दर्ज करने के लिए मुख्य शाखा सहित सभी पार्श्वीय शाखाओं की गिनती की गई तथा पौधों को 80°C पर ओवन में 20 मिनट सुखाने के पश्चात पौधे का वजन भी दर्ज किया गया। फलियों को पौधों से पृथक कर प्रत्येक पौधे में कुल फलियों की संख्या (फलियां/पौधा) गिनकर फलियों की संख्या निर्धारित की गई, तत्पश्चात फलियों की हाथ से थ्रेशिंग कर फटका गया तथा प्रति पौधा बीजों

की संख्या तथा बीजों का वजन लेकर प्रति पौधा उपज निर्धारित की गई।

2.7 सांख्यिकीय विश्लेषण

स्लज की राख के भौतिक–रासायनिक गुण, जड़ और प्ररोह विकास तथा उपज के आंकड़ों का प्रसरण विश्लेषण (ANOVA) एवं सहसम्बन्ध विश्लेषण मिनिटैब सॉफ्टवेयर (संस्करण 18) का उपयोग करके किया गया।

3. परिणाम और परिचर्चा

3.1. स्लज की राख के भौतिक–रासायनिक गुणों का विश्लेषण

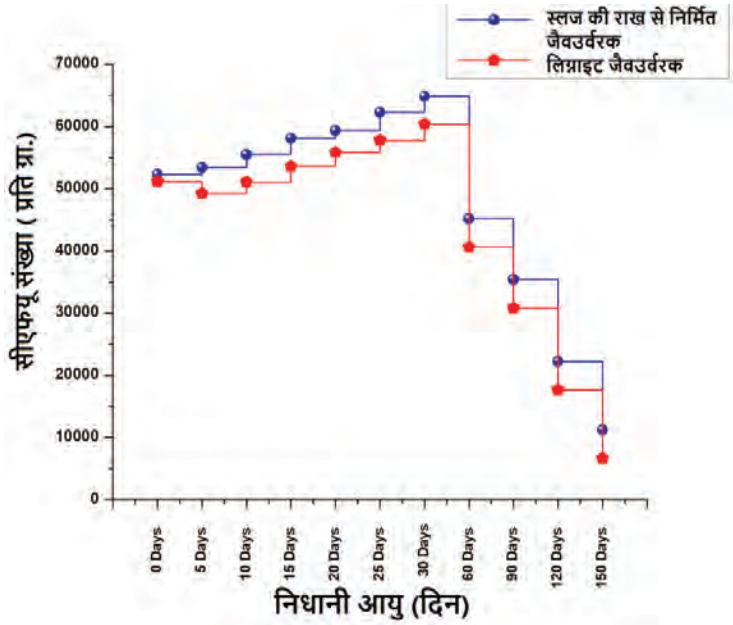
भौतिक–रासायनिक गुण स्लज की राख में सूक्ष्म तथा भारी धातुओं (Cu 18.67, Zn 36.01, Fe 5.77, Cr 12.27, Cd 0.32, Ni 9.5, Pb 6.15, Co 5.22, Mn 9.4 एवं Mo 6.77 मिली. ग्रा./किलो) की उपस्थिति प्रदर्शित करते है। हालाँकि, भारी धातुओं की मात्रा अनुमत सीमा के भीतर ही दर्ज की गई। (24) कुछ सूक्ष्म पोषक तत्वों की उपस्थिति जैसे Mo, Fe, एवं Cu, मृदा में नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणुओं की वृद्धि को बढ़ाती है जिससे लेग्यूमिनस पौधों में मूलग्रंथि निर्माण तथा पौधों के विकास में सहायता मिलती है। (25) स्लज राख का पीएच मान हल्का क्षारीय दर्ज किया गया जो मृदा की अम्लीय प्रकृति को उदासीन बना देता है फलस्वरूप फसलों के विकास में सहायता मिलती है। स्लज की राख के भौतिक–रासायनिक गुणों के विश्लेषण से पता चलता है कि स्लज राख में राइजोबियम जीवाणु एवं लेग्यूमिनस पौधों की वृद्धि तथा विकास के लिए आवश्यक तत्व (Mo, Fe, Mn, Cu, Zn, एवं Ni) मौजूद थे।

3.2. राइजोबियम जैवउर्वरक के लिए वाहक के रूप में स्लज राख की जैव–प्रभावकारिता तथा निर्मित जैवउर्वरक की निधानी आयु

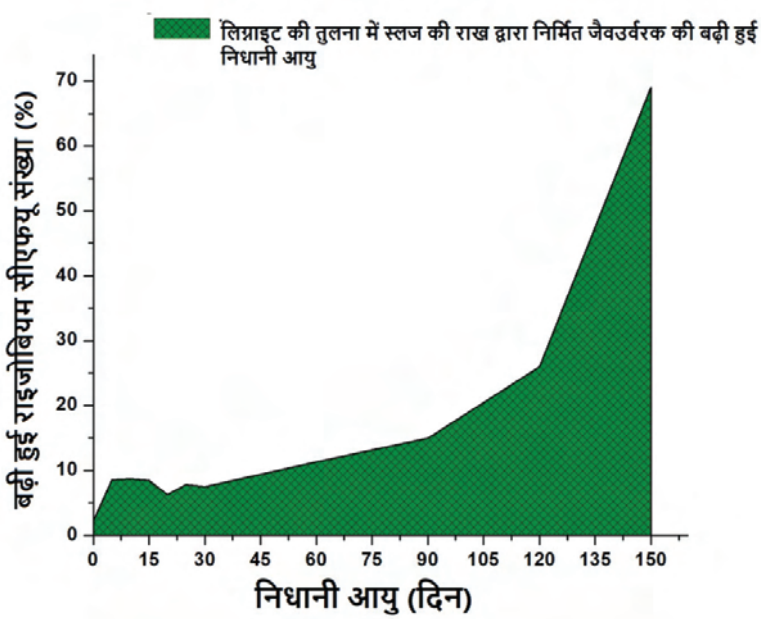
कोशिका घनत्व का मूल्यांकन निधानीआयु निर्धारण का मुख्य मापदंड है। वर्तमान अध्ययन में तैयार किये गए विभिन्न उपचारों के कोशिका घनत्व का विश्लेषण रेखा चित्र 1 में दर्शाया गया है। स्लज की राख तथा लिग्नाइट पाउडर के साथ बने जैवउर्वरकों में राइजोबियम की कॉलोनी बनाने वाली इकाइयों की संख्या (सीएफयू) सामान्यतः जैवउर्वरक निर्माण के पहले दिन से लेकर भण्डारण के 30 दिवसों तक क्रमशः बढ़ी हुई दर्ज की गई, जबकि भंडारण के एक माह से लेकर पाँचवे माह तक यह संख्या क्रमशः कम होती हुई अवलोकित की गई (64893.37 से 11266.67 सीएफयू/ग्रा. तथा 60373. 37 से 6636.67 सीएफयू/ग्रा., क्रमशः स्लज राख एवं लिग्नाइट जैवउर्वरक के लिए)। शोध में लिग्नाइट द्वारा निर्मित जैवउर्वरक की तुलना में स्लज की राख से निर्मित जैवउर्वक में राइजोबियम कॉलोनियों संख्या अधिक प्राप्त हुई। जेना एवं सिंह (1993) (26) द्वारा भी निधानी आयु सम्बंधित प्रयोग में वर्तमान अध्ययन के समान परिणाम प्राप्त हुए थे।

रेखा चित्र 2 में दर्शाए गए निधानी आयु प्रतिशत के आंकड़ों के विश्लेषण से यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि कमरे के सामान्य तापमान पर रखने के बाद भी स्लज की राख से निर्मित जैवउर्वरक की जैव–प्रभावकारिता लिग्नाइट से बने जैवउर्वरक से बेहतर थी क्योंकि भंडारण के 150 दिन बाद भी स्लज की राख से बने जैवउर्वरक में राइजोबियम जीवाणु की संख्या का प्रतिशत लिग्नाइट जैवउर्वरक की तुलना में 69.8ः अधिक प्राप्त हुआ।

वर्तमान अध्ययन में स्लज की राख को जैवउर्वरक बनाने के लिए वाहक के उपयोग करने पर लिग्नाइट जो की सामान्यतः वाहक के रूप में जैवउर्वरक तथा कीटनाशी निर्माण में उपयोग किया जाता है जिसे विभिन्न अध्ययनों में भी (27) दर्शाया गया है, कि तुलना में राइजोबियम जीवाणु की जीवटता अधिक प्राप्त हुई। साथ ही स्लज की राख लिग्नाइट की तुलना में सस्ती अथवा मुफ्त में प्राप्त हो जाती है। अतः स्लज की राख को जैवउर्वरक निर्माण के लिए पर्यावरण अनुकूल वाहक के रूप में उपयोग किया जा सकता है।



रेखा चित्र 1: जैवउर्वरक निर्माण में वाहक के रूप में प्रयोग किये जाने के लिए अपशिष्ट जल स्लज की राख तथा लिग्नाइट पाउडर की जैव निधानी क्षमता का तुलनात्मक विश्लेषण



रेखा चित्र 2: वाहक के रूप में स्लज की राख से निर्मित राजोबियम जैवउर्वरक की निधानी आयु का मूल्यांकन

3.3. मसूर में अंकुरण, जड़ आकारिकी तथा मूलग्रंथि निर्माण

स्लज की राख ने राइजोबियम जैवउर्वरक के वाहक के रूप में पौधों की वृद्धि सम्बन्धी विभिन्न कारकों जैसे जड़ की लम्बाई (से.मी.), सूखी जड़ का वजन (ग्रा.), सूखे प्ररोह का वजन (ग्रा.), मूलग्रंथि संख्या एवं सूखी मूलग्रंथियों का प्रति पौधा वजन (ग्रा.) इत्यादि पर अनुकूल प्रभाव प्रदर्शित किया। वर्तमान अध्ययन में मसूर के पौधों में अवलोकित की गई बढ़ी हुई मूलग्रंथि संख्या एवं सूखी मूलग्रंथियों के वजन का कारण स्लज की राख से पौधों द्वारा सूक्ष्म पोषक तत्वों का अवशोषण हो सकता है। लेगुमिनस पौधों में मूलग्रंथियों का संख्या में बढ़ना जड़ों में राइजोबियम जीवाणु के संक्रमण के लिए क्षेत्रफल को बढ़ा देता है जिससे जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण की दर बढ़ जाती है (28)। इस अध्ययन में, स्लज की राख तथा लिग्नाइट में बीज अंकुरण का प्रतिशत क्रमशः 76.67ः तथा 70ः दर्ज किया गया। स्लज की राख वाले जैवउर्वरक में बढ़े हुए बीज अंकुरण प्रतिशत का कारण इसमें सुक्ष्म पोषक तत्वों जैसे Mn, Fe, Cu, तथा Zn की प्रचुर मात्रा का उपस्थित होना हो सकता है। लिग्नाइट (15.63 से.मी.) की तुलना में स्लज की राख में पौधों की जड़ की लम्बाई (18.54 से.मी.) भी अधिक प्राप्त हुई। स्लज की राख के उपचार वाले पौधों में अधिक प्ररोह एवं जड़ का सूखा वजन (क्रमशः, 0.86 ग्रा. तथा 0.41 ग्रा.) दर्ज किया गया, जबकि लिग्नाइट उपचार के लिए यह सिर्फ 0.24 ग्रा. जड़ का सूखा वजन तथा 0.50 ग्रा. प्ररोह का सूखा वजन अवलोकित किया गया। इसके साथ ही, 45 वें एवं 60 वें दिन पर मूलग्रंथियों का प्रति पौधा सूखा वजन (क्रमशः, 0.11 ग्रा. तथा 0.24 ग्रा.) एवं मूलग्रंथियों की संख्या (12.11 ग्रा. तथा 17.68 ग्रा.) भी स्लज की राख वाले उपचार में लिग्नाइट उपचार की तुलना में (क्रमशः, 45 वें तथा 60 वें दिन पर मूलग्रंथियों का सूखा वजन 0.06 ग्रा. तथा 0.12 ग्रा. एवं मूलग्रंथि संख्या 9.31 तथा 12.25) सकारात्मक रूप से बढ़ी हुई दर्ज की गई, जैसा की रेखा चित्र 3 (अ) से प्रदर्शित होता है।

परिणामों से यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि स्लज की राख मृदा की प्रकृति को न्यूट्रल बनाती है, अहमद एट. अल. (2010) (29) को भी स्लज के सीधे मृदा पर उपयोग के पश्चात वर्तमान अध्ययन के समान ही परिणाम प्राप्त हुए थे। उपरोक्त प्रभाव मिट्टी में पोषक तत्वों की परिवहन क्षमता बढ़ने का परिणाम हो सकता है जो मिट्टी में जीवाणुओं की संख्या को और समृद्ध बना सकता है। स्कटर तथा फरमन (2001) (30) द्वारा किये गए एक अध्ययन में कोयले के दहन पश्चात प्राप्त हुई राख के मिट्टी पर सीधे किये गए प्रयोग ने भी विनाइट्रीकरण जीवाणुओं की संख्या को बढ़ाकर मृदा में नाइट्रीकरण की क्रिया को दोगुना कर दिया था। इस घटना का कारण कोयले की राख में उपस्थित सूक्ष्मतत्वों की प्रचुर मात्रा हो सकती है, क्योंकि सूक्ष्म पोषक तत्व जीवाणुओं में उपस्थित प्रकिण्वों के उत्प्रेरक, उनकी कार्बनिक संरचना संघट्यों एवं इलेक्ट्रान वाहक के रूप में कार्य करते हैं।

अतः वर्तमान अध्ययन एवं पूर्व में वैज्ञानिकों द्वारा किये गए प्रयोगों के परिणामों से स्पष्ट होता है कि स्लज के दहन से प्राप्त राख का उपयोग नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीवाणुओं एवं फलीदार पौधों की जड़ों के बीच सहजीवी सम्बन्ध को प्रेरित कर नाइट्रोजन स्थिरीकरण की दर को बढ़ाता है, फलतः पौधों में मूलग्रंथि निर्माण तथा उनकी वृद्धि व उपज पर सकारात्मक प्रभाव पड़ता है। (31)

3.4. पौधों की वृद्धि सम्बन्धी कारकों पर प्रभाव

पौधे की आकारिकी–कार्यिकी के लिए उसकी ऊंचाई सबसे महत्वपूर्ण कारक है जो प्ररोह की उपज एवं पौधे के कुल जैवभार से सीधे सम्बंधित होती है। वर्तमान शोध में स्लज की राख के राइजोबियम जीवाणु के संवर्ध के साथ जैवउर्वरक निर्माण के लिए वाहक के रूप में प्रयोग से पौधों की लम्बाई में सकारात्मक वृद्धि दर्ज की गई। परपक्वन के पश्चात स्लज की राख वाले जैवउर्वरक से उपचारित पौधों में सर्वाधिक लम्बाई (32.64 से.मी.) दर्ज की गई जबकि लिग्नाइट वाले जैवउर्वरक में पौधों की ऊंचाई का औसत 29.69

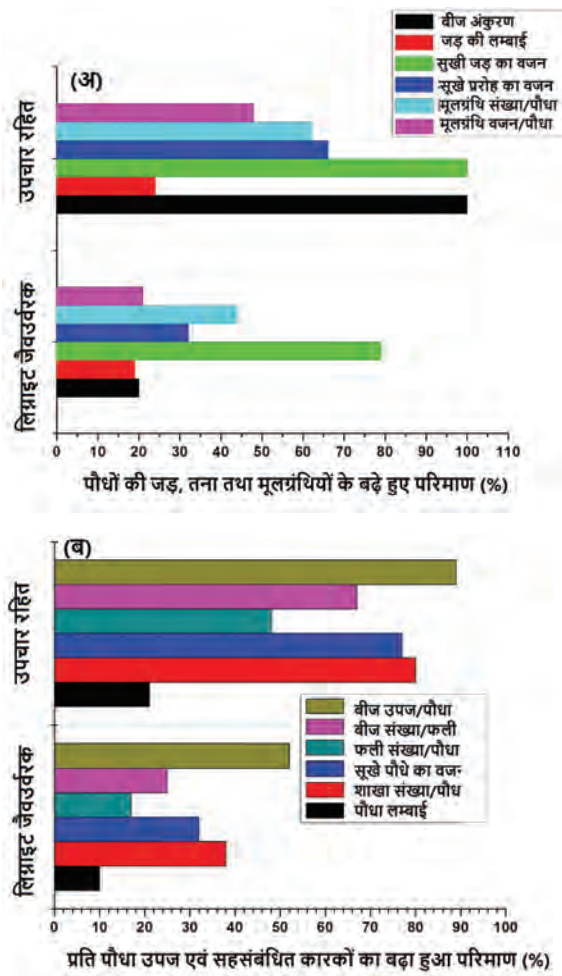
से.मी. प्राप्त हुआ। फलीदार पौधों पर किये गए एक अन्य प्रयोग में, पौधों की बढ़ी हुई लम्बाई के साथ आकारिकी विकास में सकारात्मक परिवर्तन बढ़ा हुआ प्रति पौधा जैवभार प्राप्त हुआ। (32) स्लज की राख में उपस्थित विभिन्न सूक्ष्म पोषक तत्वों की मात्रा, पौधों में ऑक्सिन हार्मोन संश्लेषण के लिए उत्तरदायी हो सकती है जिसकी वजह से वर्तमान अध्ययन में पौधों में बढ़ी हुई लम्बाई दर्ज की गई।

स्लज की राख से निर्मित जैवउर्वरक का पौधों की लम्बाई में बढ़ोतरी के समान ही प्रति पौधा भार तथा प्रति शाखाओं की संख्या पर भी सकारात्मक प्रभाव देखा गया (रेखा चित्र 3 (ब))। पौधों के परिपक्वन पर स्लज की राख वाले जैवउर्वरक उपचार में प्रति पौधा शाखाओं की संख्या का औसत 6.00 दर्ज किया गया जो की लिग्नाइट उपचार में यह संख्या 4.33 अवलोकित की गई। परिपक्वन पर स्लज की राख के उपचार में प्रति पौधा वजन 8.19 ग्रा. प्राप्त हुआ जबकि लिग्नाइट उपचार में ये आंकड़े 6.22 ग्रा. किये गए जैसा कि तालिका 4 से प्रदर्शित होता है। अतः लिग्नाइट युक्त जैवउर्वरक के उपचार से प्राप्त पौधों की वृद्धि सम्बन्धी कारकों के आंकड़े स्लज की राख के उपचार की तुलना में कम प्राप्त हुए, परन्तु बिना जैवउर्वरक उपचार की तुलना में यह सकारात्मक थे (रेखा चित्र 3 (ब))।

3.5. पौधों की उपज तथा सहयोगी कारक

फलीदार पौधों में प्रति पौधा फलियों की संख्या तथा प्रति फली बीजों की संख्या पौधे की उपज से सबसे ज्यादा सहसंबंधित कारक हैं। (33) आंकड़ों के विश्लेषण से प्रकट होता है कि स्लज की राख के उपचार ने मसूर के पौधों में फलियों की संख्या, प्रति फली बीज संख्या तथा पौधों की उपज पर सकारात्मक प्रभाव डाला (रेखा चित्र 3 (ब))। प्रयोग के दौरान, सर्वाधिक प्रति पौधा फली संख्या (66.67 फली/पौधा) स्लज की राख द्वारा निर्मित जैवउर्वरक उपचार में अवलोकित की गई जबकि लिग्नाइट जैवउर्वरक उपचार में यह संख्या 57.00 फली/पौधा प्राप्त हुई। परन्तु बिना किसी उपचार वाले पौधों में यह संख्या मात्र 45.00 फली/पौधा दर्ज की गई।

लिग्नाइट उपचार की तुलना में स्लज की राख से उपचारित पौधों में 25: अधिक प्रति पौधा बीज संख्या दर्ज की गई जबकि बिना किसी उपचार वाले पौधों की तुलना में यह 67: अधिक थी। लिन एट. अल. (2007) (34) ने भी अपने शोध में स्लज की राख के उपयोग से मृदा की गुणवत्ता तथा पौधों की वृद्धि व विकास में सकारात्मक परिवर्तन देखा।



रेखा चित्र 3: स्लज की राख जैवउर्वरक का मसूर के पौधों की वृद्धि पर प्रभाव का लिग्नाइट जैवउर्वरक उपचार एवं उपचार रहित पौधों की वृद्धि के साथ तुलनात्मक विश्लेषणः (अ) बीज अंकुरण

प्रतिशत, जड़ तथा तना आकारिकी एवं मूलग्रंथि निर्माण पर प्रभाव (ब) पौधों की उपज तथा सहसंबंधित कारकों पर प्रभाव

व्यापारिक दृष्टिकोण को ध्यान में रख कर फसलों पर किये जाने वाले प्रत्येक अध्ययन में उपज सबसे महत्वपूर्ण घटक होता है। वर्तमान अध्ययन के परिणामों से स्पष्ट है कि स्लज की राख का वाहक के रूप में राइजोबियम जीवाणु संवर्ध के साथ उपयोग कर तैयार किये गए जैवउर्वरक उपचार ने मसूर के पौधों की उपज को बढ़ाया। लिग्नाइट उपचार एवं बिना उपचार की तुलना में स्लज की राख वाले उपचार में उपज का प्रतिशत क्रमशः 52: एवं 89: अधिक दर्ज किया गया (रेखा चित्र 3 (ब))।

परिणाम यह इंगित करते हैं कि, स्लज की राख तथा लिग्नाइट में सुक्ष्म पोषक तत्वों की उपस्थिति ने सम्भवतः पौधों में प्रकाशसंश्लेषण की क्रिया एवं प्रकिण्वों की क्रिया को उत्प्रेरित कर दिया, जिससे प्रकाशसंश्लेषी उत्पाद संश्लेषण स्थल से बीजों तक पहुँच गए फलतः अधिक उपज प्राप्त हुई।

वर्तमान शोध से प्राप्त हुए परिणामों को देखते हुए यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि, अपशिष्ट जल से द्वितीयक उत्पाद के रूप में निकली स्लज की राख का प्रयोग राइजोबियम संवर्ध के साथ मिलाकर जैवउर्वरक निर्माण हेतु करने पर जैवउर्वरक की निधानी में वृद्धि होती है तथा इस जैवउर्वरक से बीजों को उपचारित करने पर पौधों की वृद्धि, विकास तथा उपज पर भी अनुकूल प्रभाव पड़ता है। साथ ही कृषि में प्रयोग में होने से स्लज की राख के अनुचित निपटान को कम करके पर्यावरण को होने वाले नुकसान को भी कम किया जा सकता है।

वर्तमान शोध में प्राप्त हुए परिणाम, सिंह एट. अल. (2013) (20) द्वारा किए गए अध्ययनों के परिणामों के अनुसार हैं जिनमें स्लज को राइजोबियम जीवाणु की वृद्धि के लिए उचित संवर्धन माध्यम बताया गया है। अतः वर्तमान अध्ययन प्रदर्शित करता है कि, स्लज की राख के 25–30: को राइजोबियम जीवाणु संवर्ध के साथ वाहक के रूप में मिलाकर जैवउर्वरक तैयार किया जा सकता है एवं इस उर्वरक के प्रयोग से पौधों की वृद्धि तथा उपज को बढ़ाया जा सकता है। इसके अलावा इस शोध के परिणाम यह भी इंगित करते हैं कि, स्लज की राख का एक उचित मात्रा में प्रयोग, इस ठोस अपशिष्ट के सीधे भूमि पर होने वाले निपटान को कम कर पर्यावरण पर होने वाले दुष्प्रभावों को कम कर सकता है। हालाँकि, इसके सतत उपयोग के लिए, मृदा तथा पौधों के ऊतकों में भारी धातुओं की मात्रा की नियमित रूप से जाँच आवश्यक है।

4. निष्कर्ष

अपशिष्ट जल संयंत्रों से निकली स्लज (कीचड़) की एक विशालकाय मात्रा एवं इस स्लज के दहन के पश्चात बनने वाली राख को एक चिंताजनक पर्यावरणीय खतरे के रूप में जाना जा चुका है। स्लज की राख के अनुचित निपटान के कारण पारिस्थितिक तंत्र व मानव स्वास्थ्य के लिए लगातार बढ़ रहे खतरे को देखते हुए, इसके संधारणीय उपयोग के लिए नई रणनीति तथा तकनीकी विकसित करना समय की महती आवश्यकता बन गई है। वर्तमान अध्ययन में जैवउर्वरक निर्माण के लिए जीवाणु राइजोबियम के संवर्ध के साथ वाहक के रूप में स्लज की राख के संभावित उपयोग के लिए इसका विश्लेषण किया गया। शोध से प्राप्त परिणामों ने यह इंगित किया कि, स्लज की राख को एक हानिकारक ठोस अपशिष्ट मानने के बजाए यदि एक निश्चित मात्रा में विभिन्न प्रकार के जीवाणु संवर्धों के साथ मिलाया जाए तो जैवउर्वरक निर्माण में इस ठोस अपशिष्ट का संधारणीय रूप से प्रयोग किया जा सकता है। हालाँकि, अपशिष्ट जल स्लज की राख में भारी धातुओं की उपस्थिति के विश्लेषण पर जोर दिया जाना आवश्यक है। इसके साथ ही, मृदा में स्लज की राख के सतत प्रयोग से उत्पन्न प्रभावों पर अध्ययन भी भविष्य में शोध का विषयक्षेत्र है।

Table of Hindi Terminology

English Term	Hindi Term
Ash	राख
Biofertilizer	जैवउर्वरक
Carrier	वाहक
Culture media	संवर्धन माध्यम
Colony forming unit	कॉलोनी फॉर्मिंग इकाई
Heavy metals	भारी धातुएँ
Landfilling	भूमि पर निपटान
Plant yield	पौधा उपज
Sewage sludge	सीवेज कीचड़
Shelf life	निधानी आयु
Solid waste	ठोस अपशिष्ट
Wastewater	अपशिष्ट जल
Wastewater treatment plant	अपशिष्ट जल उपचार संयंत्र

संदर्भः Reference

1. Vouk D, Nakic D, Stirmer N, Cheeseman CR. Use of sewage sludge ash in cementitious materials. Rev Adv Mater Sci. 2017;49:158–70.
2. Gholikandi GB, Zakizadeh N, Masihi H. Application of peroxymonosulfate-ozone advanced oxidation process for simultaneous waste-activated sludge stabilization and dewatering purpose: A comparative study. J Environ Manage. 2018;206:523–31.
3. Nie J, Wang Q, Gao S, Poon CS, Zhou Y, Li J. Novel recycling of incinerated sewage sludge ash (ISSA) and waste bentonite as ceramsite for Pb-containing wastewater treatment: Performance and mechanism. J Environ Manage [Internet]. 2021;288:112382. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112382
4. Thant Zin MM, Kim DJ. Simultaneous recovery of phosphorus and nitrogen from sewage sludge ash and food wastewater as struvite by Mg-biochar. J Hazard Mater [Internet]. 2021;403:123704. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123704
5. Fall C, Silva-Hernandez BC, Hooijmans CM, Lopez-Vazquez CM, Esparza-Soto M, Lucero-Chavez M, et al. Sludge reduction by ozone:Insight and modeling of dose response effects. J Environ Manage. 2018;206:103–12.
6. Fytili D, Zabaniotou AÃ. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods — A review. Renew Sustain Energy Rev. 2008;12:116–40.
7. Tantawy MA, Abdalla EM, Abdelzaher MA. Evaluation of the Pozzolanic Activity of Sewage Sludge Ash. ISRN Chem Eng. 2012;2012:1–8.
8. Donatello S, Cheeseman CR. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. Waste Manag [Internet]. 2013;33(11):2328–40. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024
9. Kumar S, Smith SR, Fowler G, Velis C, Kumar SJ, Arya S, et al. Challenges and opportunities associated with waste management in India. R Soc Open Sci. 2017;4(3):1–11.
10. Huang T, Zhou L, Liu L, Xia M. Ultrasound-enhanced electrokinetic remediation for removal of Zn, Pb, Cu and Cd in municipal solid waste incineration fly ashes. Waste Manag [Internet]. 2018;75:226–35. Available from: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.029
11. Elled AL, Åmand LE, Leckner B, Andersson BÅ. The fate of trace elements in fluidised bed combustion of sewage sludge and wood. Fuel. 2007;86(5–6):843–52.
12. Tejada M, Rodríguez-morgado B, Gómez I, Franco-andreu L, Benítez C, Parrado J. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. Eur J Agron [Internet]. 2016;78:13–9. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.014
13. Yilmaz E, Wzorek M, Akçay S. Co-pelletization of sewage sludge and agricultural wastes. J Environ Manage. 2018;216:169–75.
14. Alves D, Villar I, Mato S. Thermophilic composting of hydrocarbon residue with sewage sludge and fish sludge as cosubstrates : Microbial changes and TPH reduction. J Environ Manage [Internet]. 2019;239:30–7. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.028

15. Law KP, Pagilla KR. A solution to the limited global phosphorus supply: Regionalization of phosphorus recovery from sewage sludge ash. J Clean Prod [Internet]. 2021;290:125874. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125874
16. Jamshidi A, Mehrdadi N, Jamshidi M. Application of sewage dry sludge as fine aggregate in concrete. J Environ Stud. 2011;37(59):4–8.
17. Gorazda K, Kowalski Z, Wzorek Z. From sewage sludge ash to calcium phosphate fertilizers. Polish J Chem Technol. 2012;14(3):54–8.
18. Gorazda K, Tarko B, Wzorek Z, Kominko H, Nowak AK, Kulczycka J, et al. Fertilisers production from ashes after sewage sludge combustion – A strategy towards sustainable development. Environ Res [Internet]. 2017;154:171–80. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.002
19. Limami H, Manssouri I, Cherkaoui K, Khaldoun A. Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks. Clean Eng Technol [Internet]. 2021;2:100050. Available from: https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100050
20. Singh AK, Singh G, Gautam D, Bedi MK. Optimization of Dairy Sludge for Growth of Rhizobium Cells. Bio Med Res Int. 2013;2013:1–5.
21. Eid EM, Alrumman SA, El-bebany AF, Fawy KF, Taher MA, Hesham AE, et al. The evaluation of sewage sludge application as a fertilizer for broad bean (Faba sativa Bernh .) crops. Food Energy Secur. 2018;7:1–13.
22. Nagananda GS, Das A, Bhattacharya S, Kalpana T. Invitro studies on effects of biofertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on seed germination and devlopment of Trigonella foenum-graecum L. using a novel glass marble containing liquid medium. Int J Bot. 2010;6(4):394–403.
23. Graham PH. Selective Medium for Growth of Rhizobium. Appl Microbiol. 1969;17(5):769–70.
24. Bhatnagar JP, Awasthi SK. The Prevention of Food Adulteration Act & Rules. 2004.
25. Franco AA, Munns DN. Response of Phaseolus vulgaris L. to molybdenum under acid condition. Soil Sci Soc Am J AM J. 1981;45:1144–8.
26. Jena, S. SG. Impact of fly ash on soil quality around a thermal power station with reference to toxic elements. Int Nucl Inf Syst. 1993;13(4):290–3.
27. Kumar V, Gupta P. Studies on Shelf-life of Fly-ash Based Azotobacter Chroococcum Formulation and its Bio-efficacy in Wheat. Res J Agric Biol Sci. 2010;6(3):280–2.
28. Singh SC. Arbuscular mycorrhiza (AM) in association with Rhizobium sp . improves nodulation , N 2 fixation , and N utilization of pigeon pea (Cajanus cajan), as assessed with a 15N technique , in pots. Microbiol Res [Internet]. 1996;151(1):87–92. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/S0944-5013(96)80061-9
29. Ahmed H, Fawy H, Abdel-Hady E. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. Agric Biol J North Am. 2010;1(5):1044–9.
30. Schutter ME, Fuhrmann JJ. Soil microbial community responses to fly ash amendment as revealed by analyses of whole soils and bacterial isolates. Soil Biol Biochem. 2001;33(14):1947–58.
31. Heckman JR, Angle JS, Chaney RL. Soybean nodulation and nitrogen fixation on soil previously amended with sewage sludge. Biol Fertil Soils. 1986;2(4):181–5.
32. Paliya S, Saxena A, Tikle AN, Singh M, Tilwari A. Genetic divergence and character association of seed yield and component traits of lentil (Lens culinaris M .). Adv Biores. 2015;6(2):53–9.
33. Saxena A, Tikle AN, Paliya S, Singh RP, College RAK, Sehore A, et al. Adaptability of exotic genotypes of lentil (Lens culinaris [medik]) for rainfed farming condition of Madhya Pradesh. Electron J Plant Breed. 2015;6(2):493–9.
34. Lin DF, Lin KL, Luo HL. A comparison between sludge ash and fly ash on the improvement in soft soil. J Air Waste Manag Assoc. 2007;57(1):59–64.