r-rezaei@tums.ac.ir

PAH

MPN

MPN

Ćǫy₣Ẽǫ

ǯʇpʒyʹǵ p ǰ ɭƐʇ ǻpʞf ʚy↓ǁ ĆǾǻdžơ ÆüǻĸǪ ÛǫʞƱ OʹǺǁ Û(ʚyฅ Ŭʞǁǁǂ ǻʞǵǰɭƐgpʒyʹǵ) ʞǵǯʞŨǩ ğʞŨǁǂ ʒY p (ʚyฅ Ŭʞǁǁǂ ƐǾŬ ǻʞǵǰɭƐgpʒyʹǵ) ʞǵǰǾŨǩ p ʞǵǰŨǩ YNǁÆǫ ʚYƐ ǰǾʒUơ .Oʊł Ŧʹǿʞǫpʒd ǻʞǵǰɭƐgpʒyʹǵ YʒłP ʞǵ 2 NǁʞǾǻł Ćɭ OʹǺǁ ǰơ ǯNǾǾǫ Ĩ-Ĥǵ ɛł ǀǾɭ Ćǁèĸƽ ǻłĠẼǫf yǁš Ŧʹǿʞǫpʒd ǻʞǵǰɭƐgpʒyʹǵ .(Ĥ)YNǁÆǫ ʞǻ pY ɛł Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) ʚYƐǫʊū ǻʞǵʚyʹǻèǻd pƐΣ p (Ħpĥ)ʚyฅ ŘǾŨǂơ ÆǁƐbɭ ĆǻẼǫf yǁš ǻʞgOơŏNʊ DŽäʞǁ ā łƐǫf ł yʹǻłƐə ğʞǁǁY Ćɭ Ćt yʹǁÆäǿʹǪǫ Oʊǻɛ ÛÆǀƵǻY ǻʞǵʒNơNǫ ɛpƵūł ɛł ÆΣpƐŏ YpY ÛʒʞŨǿʊ YpY ÛÆǪǿʊə .(ĩ-ĥ) yʹǻdÆẼǫ YNΣp Ćɭ ÆǫūǁDž ǻʞgyʹǻłƐə p ÆǫẨǁ ÆūYNǩd ÛǂNǵ ÛʒʞǵʞǾū Řǫʞǁ Ǫǫʊʊ₪Ǹł ÆQDžł ŭɭʞǁǫ ʒY PAHsʒNNJf LJƐüǫ ʒY ʒʞʊǁǂ p (Ī)Oʊł ʚyฅ yǿǻʞơłʒƐŨǫ tʹʞŏ p łzŬ Ûkd ÛǪNJǵ ÛÆǫʊNř 2 ʞʒơ Ãǻƨ̌Ä ɛł ʚYNǩd ǻʞǵtʹʞŏ ĆǁNū ǰǻł Ɛăŏ p ʞǵłzŬ ʒYʒNŏ p ʞHǁǁd ɛł Æ ǁʞǁ ΘłʒʞUɭ p ʒǁǁŬ p Yƨū 5 Ẩlơ ʚYNǩd Ǩǻ ĆǫəǨǻ yǁʒ ẨẨʞǁǫ ǰǻł tʹʞŏ ʒY Ćt Oʊł ÆơʞǪǻƨʊs PAHs Ćǫʊy ɛł ǻłĠẼǫf Ćʊ ł ǿtƐơ Ŧǻ ǰǻƐǫǁʞǁə .(ī)yʹǁʚyฅ PAHs ɛł Æǻèʞǻ ǻʞgOơǒǫŨ ɭɭ èNDžł Ćt ÆẼẨʞǁǫ .(Ĩ)Oʊł -Ĥĥpĥ)yʹǫǫʊs ÆǫūǁDž ǻʞgƠʹǾʞūə ɭɭ njǁơƐǫ Ůyʹǁ ǁÆǫ ʚYNǩd Oʹǿǫʞǩ̌ p OʹǾǩf ŮPAHsÆǩNŨǩNǫ ʚƨłyʹǁ ʒY ǀǻłƨǻł .(Ĥǵ ǀǵʞt łʒ ʞǁǁd Æǫʊs ǻʞ Ćǻƨ̌ʊ ʞǿǫǫʞǩ ʞǿǻʞǁǁp Æǫʊs ǻʞ ÆʊƐǫʊsY Ǩǻʞǯơ ǰơǿšǪǵ PAH ΘʞǁǾtƐơ .(ĤĦ pĥĥ ,Ĥǵ ,Ĩ ,ĥ) yǵYÆǫ YpyTǫ Ćɭ Ɛ ɭ ǁǫ ǰǻł Ɛɭʞǁǩ Ůyʹʒłʒ łʒ tʹʞŏ ΘłʒƵ Ćɭ ǯyʹǁ ƙƶΣ Ćɭ ,ħ ,ĥ)YʏƐūÆǫ tʹʞŏ ʒY ǯʞǁÆǫʊs ǻƐǻƶǐ 2 ƐǫʊY Ɛǫł ǿɭ ǯyʹǁ ÆŨǻƨǿə ø ÆǻǾǾǿǁ ÛÆơʒłƐf ğÑǯūǫ ǻǩgp pʒ YƐǯǩt .(ĥĨpĥh Ćt tʹʞŏ ʒY ǨDžNdžŏ ǩǵʚyʹǻèǻd ŮNǁ ǰǻł ǻɛʞʊtʹʞǐ OʹǁΣ ... p ƐǾǒǁ ÛǯNūʞǁNū Ǩǻè Ćɭ ÛOʊł ǨUǪUǫǫ Æǁyūǫ yǫʞΣ njǾǪǫ Ŧǻ ʞǁ ʚƵłNǯǵ ǯYNǩ ƶǻƐǪǩd p ǯYNǩ Ælǁäǻ ƐǾŮ ÛOǿʞÊf ǯYNǩ ǰǾǻǐ .(Ĥĩ) Oʊł ʚyNǩ ĆΣłNǫ ÆơÊŨ↓ǫ

Oʊł ǻłĠǻƨū (Bioremediation)Æǫʊs ǻʞ ʞÊDžł yʹǻłƐə OʹǿʞũəɛłʚYĶẨǫʊł ʞǁ łʒ ÆǯƵs ǻʞgʚyʹǻèǻd ł ǻƐUơ ǯʞŨǫł Ćt ƵłYOʊpY ÛƐǁNǫ ÛǪʞƵs yʹǻłƐə ǰǻł.(ĤĨ)yʹǻtÆǫ ÆʊƵƐǩ ÆŨǻƨǪǁNǿǁ ɛł ʞǵʚyʹǻèǻd Ůzf ƵNǒǁǫ Ćɭ p ʚyNǩ ǻYkdžǫǻł p Ǫǫʊs ǿʊNtł ǻʞǵʚyʹǻèǻd ǀ øǵʞt ǻłƐǩ ʚyǿǁƐ ǻʞgǪʊs ǿʞʞūƵłpƐŨǿǫ ɛł Ûtʹʞŏ

-ĤĬ ,Ĭ ,Ĩ ,Ħ)yʹǁtÆǫ ʚYĶẨǫʊł njǿŢǫ ǻɛʞʊtʹʞǐ Ćɭ ǾǾǁ ƵY p ÆǩdƠŰƐʊ ǀ ǻłƶǝł p YNΣNǫ ǻʞgOơǻYpyTǫ ǀ ǵʞt ǻłƐǩ .(Ĥĩ ǀ ǻłƶǝł p PAHs Ćɭ ʚYNǩd ǻʞgtʹʞŏ Æǫʊsǻɛ ʇÊDžł yʹǻłƐə Ćt Oʊł ʚyǫd YNΣp Ćɭ ÆǻʞgǻŤơłƐǫʊł ʞgǵyʹǻèǻd Ùzf ÆgYɛʞɭ Ćǖʊ Nơ ÛʞgOʹǻƶƐơNǁ ƵYpƶǝł ʞɭ Oʊǻɛ njǾŢǫ ƵYNƵǁ ǻƵʞtOʊY p ʚyǁ TǿÊǫơ YłNǫ ʞɭ ʞgkpƐŨǿǫ ǻɛʞʊʚYʞǫd p ǻɛłNǵ njǻłƐǁ .(ĬpĦ)Oʊʊd ɛł ÆǻʞgĆǾNƵǁ PAHs OʹǩÊf ǀ ǻłƶǝł ÛÆŨǻƨNɭNǿɭ Ćǻƶʇơ OʹǖƐʊƐɭ ĘǻNǫ ǻʞgƵNǫtʞə ǰǻƐơǪHǫ ɛł ÆŨǻ Ǩɭʞǻǻǿ p pƵ ƵłNʊǖ Ćɭ ǻƶǔǫ YłNǫ ǀ ǻłƶǝł .(Ĥī)yʹǻǻƶǔǫ YłNǫ ʞgǰɭƐtpƵyʹǵ Ćǻƶʇơ ǀ ǻłƶǝł p Æǫʊsǻɛ ʇÊDžł ǻłƐɭ ÆHʊΣNơ yʹǫʊsǵ ÆǻʞǿƵʹǁ YłNǫ ǻƶǔǫ YłNǫ .(ĥǵ)YƵłY ƵłƐǎ ĠΣNơ YƵNǫ Ɛʞǿǁ YƵNǫ ǻƶǔǫ YłNǫ ǰǻƐơǪHǫ .yʹǫɛè ÆɭpƐŨǿǫ yǁƵ ǻłƐɭ Ćt ΘƵNDž Ćɭ) (P) ƐǺʊə p (tʹʞǿǁNǫd ΘƵNDž Ćɭ) (N) ǯʇpƐǫǿǁ Æǫʊsǻɛ ʇÊDžł ǻʞgKTǫ ƵY ł ǫŮł Ćt ʚyNɭ (ΘʞǺʊə Nơƶł ǻƶǔǫ YłNǫ ǻYʞHʊǂǿf ƐǻYʞǻǫ .(ĥĤ-ĥĨ)YƵłY YNΣp ʞHʊǁd YNǁƵt ʚyNɭ C:N:P= 120:10:1 OʹǁʊǁƵY (ĥǵǵĩ) Alvarez njʊNơ ʞǻ NH_4^+ ΘƵNDž Ćɭ) ÆǺNǫʊ yǁƵ ǻłƐɭ ǯʇpƐǫǿǁ .(ĤĬ)Oʊł (NOy^{-3} ΘƵNDž Ćɭ) ʚyǫƐǫŭ ǯpƐǫŨǺł Ŧǻ ǯłNǺǺǫ Ćɭ p (NOy^{-3} ʚYʞǺǫʊł YƵNǫ ğNǮǯūǫ ǻƶǔǫ ʚYʞǫ ǰǿǫpY ƶǿǁ ƐǺʊə .yʹǫtÆǫ ʞǮǔ .(ĥĩpĥĥ)YƵłY OtƐǁ ǪʊǿǁʞūǯłpƐŨǿǫ ÆǺNǫʊ yǁƵ ƵY p Oʊł ƵłyÆǫ YNǁ ʚYNǩd ÆHΣNơ ŘǩǻǺ ǯłƶǿǫ Ćɭ ÆtʞƵ Ćt ÆǫʞŨǺg ǻłƐɭ ÆəʞKt 5 ǫNǿǁ OʹǺƐʊ Ćɭ yǁtNơÆǮǁ tʹʞŏ ÆüǿǁǺ P p N ƐǻYʞǻǫ Ćɭ Ɛʞǿǁǁ p yǁt YʞǪłł łƵ ʞgʚyʹǻèǻd ÆŨǻƨNǺNǿǁ Ćǻƶǝ Ǫ YNǁ ʇÊDžł Æǫƒǁǫŭ łƵYƵ ĆǺtǁƵ ǻƶǔǫ YłNǫ ǻYʞǻƨ ʞǵǿǁǁs ǻʞgƵNǫtʞə ÆƵƐɭ YNΣp ŘǿǺY Ćɭ Oʊł ǰŨƵǫ ƶǿǁ tʹʞŏ ǻƶǔǫ Ɛɭ ƵłƶūƐǿǻə Ćǖʊ Nơ ÛʞgOʹǻƶƐơNǁ ƵYpƶǝł ʞɭ Oʊǻɛ njǾŢǫ ƵY Æǫʊsǻɛ ʇÊDžł -ĥĬ , ĩ)yʹǻʊYƵY ƵłƐǎ ÆʊƵƐɭ YƵNǫ ... p ʞgǻƵY p ʞg 2 NǁʞǾǻł ʞǵǿǁǁs ǻʞgOơǒǫŨ ɛł Ûtʹʞŏǫǫʊʊ Æǫʊsǻɛ ʇÊDžł ǻʞgtʹʞŏ

ع ۵ ř (ĥġġī) ʒɨʒʞŨʒġ p Chen Ǵüǐʞǎǫ ʒʏ ğʞĥǫ ǻɨȿʎ .(ĥĪ Ơŏǫŭ ʒɨʒóǫ û C/N Ơ‴ʂ‖ ǔʞǫʏ ûǻʒǸ‖ ʒǸǫ₺ʞə Ĩ ȿǒ℘ʞơ Áɛʒȿʎ ǔʒǸǫ₺ʞə ȿġ ǻɨȿʎ Tăɛ ħ ʒʏ ÁǂpȿŨǒǫ Tǒ℧ǫơ ʒɨʒóǫ p ǰ₳ȿ◻ʞKɑə ȿĥ ǻʒǸ‖ .(Ħ)yʹ‖ ƙǸʂTǫ ÆŽĥǫ ʒǸǫ₺ʞə ǻʒǸ‖ ě Ĥ/Ĩ Ơŏǫŭ ʏĤʏ ʒʞ₺‖ (ĤĬĬĥ) Chaudhry .ʏʒĤʏ Ơǒ℧Ê f ȿʎ ÁĐžʞ℧ Á‴℧₺ȿơ ǰǒʂɨȿ◻ɑd Ǩǒǫǫ ĥ ûǰǒʂɨȿ◻ɑd ûǰ₳ȿ◻ʞKɑə Ơǒ℧Ê f ǻʒǸ‖ ǀ ₳ɨʒəɨ ʞʎ ǀ ₳ɨʒəɨ ǰǒʂɨȿ◻ɑdpʒ℔ Ơǒ℧Ê f ʞǫɨ Ơə₭₳ ǀ ǵʞ₺ ǰ₳ȿǒ℧ɑdpʒ℔ p ǻʒǸ‖ p ₳ƶŭǫ ʏĤǸǫ Ǵ₺ ÁơpʞÅǫǫ Θɨȿ℘ʞ Ǵʎ ǴΣǸơ ʞʎ .(ī)ʏĤʏ ʒʞ₺‖ Ǵʎ Ǵüǐʞǎǫ ǰ₳₺ yʹ‖ʞʎ Ǵǫ‖₺ʏ Æǫʂ₳ȿ ţ ÊDžɨ yʹ℧₺ɨȿə ȿʎ yʹ◻ĤǸơÆǫ ȿɨ ǰ₳ȿ◻ʞKɑə Ùzf ȿʎ ǻʒǸ‖ p ₳ƶŭǫ ʏĤǸǫ ʒʏpʒ₺ȿ℘ǒ℧ơ Æɛʒȿʎ .ɎȿĤʏʒɨÆǫ ₡ʏǸ₺ɑ t′ʞƟ

ʞǵ p pʒ p ʏ₺ǸǫǪ

ÆɛʞǾʒǒ‖ ʏĤǸǫ

HPLC grade ʒǸǫʂɨ Ů(ěĚē)è℔ ! ǸǫƟ ǴΣʒʏ ʞʎ ǰ₳ȿ◻ʞKɑə Ơ₺ȿ‖ ȿɨ ʒʞūɑd R_2A p ơɨȿʎ Ơ℧₳ȿơǸ℧ ¡ ROMIL Ơ₺ȿ‖ ȿɨ ȿɨ NaCl p Æ℧yűǫ Ơ₹₺ njǿ℥ǫ ǻʞǵ₮ʒ℧ Ů BIOMARK .yʹ℧y‖ ǴǾHơ Merck Ơ₺ȿ‖

t′ʞƟ ǻȿʞʂ₡₳ʏĤǫɑ ʒɨȿHơ ʒʏ ǰǒǫȿ Tăɛ Ǻ₳è℔ Î- ĥǵ cm ŬĤǻơʒɨ ȿɨ ÆɨǸʒűǫ t′ʞƟ ₮Ĥ ȿɨ p ₡₳ʏĤʏɛū ₮₹Ƶ ɨǸǵ LJȿüǫ ʒʏ 5ʂɛ Ůy‖ Ǵǫ‖₺ʏȿʎ ʒʏǸʎ ǻʒʞŭ ʒǸǒ◻ǫ Ǵʎ .yʹ‖ ₡ʏĤʏ ʒǸ℧Ŭ ʞǵŪ◻ʂ Ùzf ǻɨȿʎ č mm ʒɨȿŬơ Ǵǫfȿǫ Ǵʂ ÆĂ Ĭʒŭŭ ǰ₳₺p Ǵǫʂ‖ ʒǸǫʂɨ℔₺ʒ ʒɑ Æɨɑ ʏ₺Ǹǫ ȿɨ ŪǾʒ Ǵʎ Æ₳ǵǴ₹ó‖ ʒʏ ₡ʏ‖ ₡ʏʞǪɑ t′ʞƟ ȿɨ č g .Oəȿū ǫʞlǾ Batch) ǀ ₳ǒǫȿd Ǵǫʂ₦ǾƑ℔ Æǫʂ₳ȿʒǸǫ₺ʞʒ ₮₹ ʒɨǸ℧Ŭ Ǵʎ Ǵ₺ ₡ȿǒơ ʒʏ ČčČ °C ₹ǒʏ) pÊ₺Ǹơɨ ʒʏ p ǴǫŮ₳ʒ yʹ₺ÆǫĬ ĬĬʒŭ (reactor ʒǸĂ Ǵʎ ʒǸǫℊʒ ʒpʒʏ æʞƟ 5ʂɛ .yʹ‖ Ĭ₹₳ȿǫʂɨ (ČĪ minʒ℅ǫȿ ʒʏ ǰ₳ȿ◻ʞKɑə Oǒǫŭ Ǵ₺ ₹ǻǸĂ Ǵʎ yʹ‖ ₡ʏǸʎɑ ǰ₳ȿ◻ʞKɑə Ǵʎ ÆŬǸ℧džǫ .(Ďċ)yǒʂʒ t′ʞƟ Ĩċċ mg/Kg Ǵʎ t′ʞƟ

ǰ₳ȿ◻ʞKɑə ₡ʏ℧₺ Ǵ₳ƶǫơ TǒĤǫơ p ₳ƶŭǫ ʏĤǸǫ ǵǸǫʅǫ p ₹ʏ ʞǵǵǸǫʅǫ ₹₹ʞʂ₡₳ʏĤʏɑd ₹ǻǸ‖ p ₳ƶŭǫ ʏĤǸǫ ȿǒŭ◻ǫ pʏ ȿɨ Ơŏǫŭ pʏ ʒʏ ʞǵǵǸǫʅǫ ₹₹ Ůơyʹ‖ ǴǾHơ ₹ʞǵǵǸǫʅǫ pH .yʹ‖yʹ‖ ǴǾHơ Č-ĎǵpyΣ ₹₹ ĂɅ₹₳ǎǫ ÆĸǾƟ ₡ʏpyʅǫ ʒʏ pH ¡HACH 40d ǧyǫ ƨ℔ʂ pH ȿɨ ₡ʏ₳Ă◻ʞʂɨ .yƶʏȿū ǪǾŏ℧ơ ŮƠʂɨ Ùpȿơpȿ◻ǵ ₹ʞǵ ʞ pȿŬǒǫ yʹ◻ʒ ɬ ʂKɑǫ Ǵ₺

ƨ ǸǪǒʂ₹ ₹ʞǵ₹ȿʞ₹ Ǩǫǫ₹ʞ ǸǪǒơ₹ʞ₹ ǸSPǸ ƨ ǸǪǒʂ₹ Ǹ ƽ ǒǫȿə ÆɑǾʅǾʎ Ǵƨȿʅ ǸǸ₺ǸǸǪǒə₹◻ʂɨ ǸǸ₺ǸǸǪǒə₹◻ʂɨ ǸSPǸ ƨ ǸǪǒʂ₹ Ǹ ƽ ǒǫȿə ÆɑǾʅǾʎ Ǵƨȿʅ

(ml/L) مواد مغذی محلول ماده مغذی (max) محلول ماده مغذی (min)

Macro & Micro	K_2HPO_4	۸۰۰	۰/۱۳۲
	KH_2PO_4	۲۰۰	۰/۱۰۳
	KNO_3	۱۰۰۰	۱/۷
	$MgSo_4.7H_2O$	۲۰۰	۲۰۰
	$CaCl_2.2H_2O$	۱۰۰	۱۰۰
	NaCl	۱۰۰	۱۰۰
	$FeCl_3.6H_2O$	۱۰	۱۰
Trace	Trace elements	۱mL	۱mL

(ml/L) عناصر کم مصرف

Trace Elements	mg/L
EDTA-Sodium Salt	۵۰۰
$ZnSO_4.7H_2O$	۱۰
$FeSO_3.7H_2O$	۲۰۰
$MnCl_2.4H_2O$	۳
H_3BO_3	۳۰
$CoCl_2.6H_2O$	۲۰
$CuSO_4.2H_2O$	۱۰
$NiCl_2.6H_2O$	۶
$Na_2MoO_4.2H_2O$	۳

Design-Expert V.7 افزار نرم از استفاده با و تکرار سه در تصادفی بلوک طرح قالب در آزمایش این

(P<۰/۰۱) بود معنی‌دار درصد ۹۹ سطح در تیمارها بین تفاوت که داد نشان (ANOVA) واریانس آنالیز

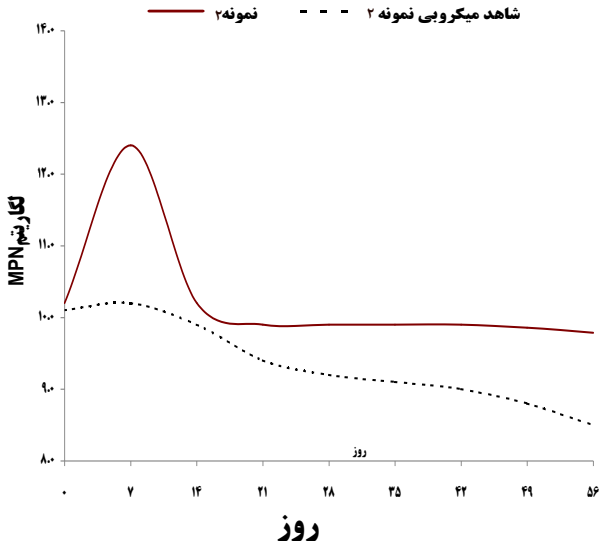
*جدول ۲- تیمارهای آزمایش و کدهای مربوط به آنها

آزمایش	مواد مغذی (Nu.)	شوری (Sal.)	مخلوط میکروبی	فنانترین
نمونه ۱	+۱	+۱	+	+
نمونه ۲	+۱	−۱	+	+
نمونه ۳	−۱	+۱	+	+
نمونه۴	−۱	−۱	+	+
شاهد شیمیایی نمونه ۱	+۱	+۱	−	+
شاهد شیمیایی نمونه ۲	+۱	−۱	−	+
شاهد شیمیایی نمونه ۳	−۱	+۱	−	+
شاهد شیمیایی نمونه ۴	−۱	−۱	−	+
شاهد میکروبی نمونه ۱	+۱	+۱	+	−
شاهد میکروبی نمونه ۲	+۱	−۱	+	−
شاهد میکروبی نمونه ۳	−۱	+۱	+	−
شاهد میکروبی نمونه ۴	−۱	−۱	+	−

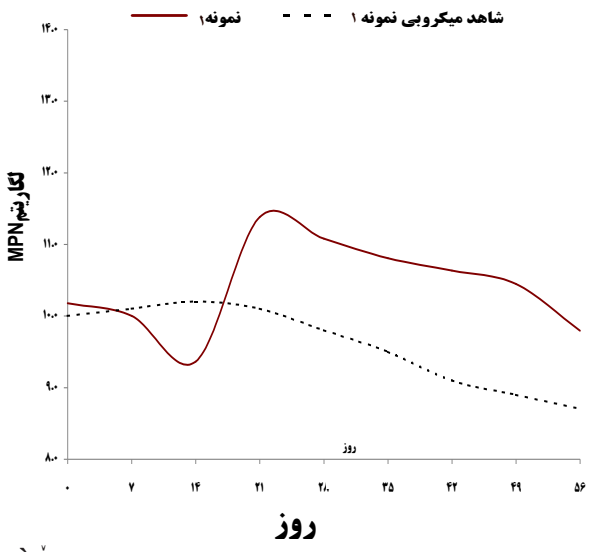
*تیمارهای بدون (-) و دارای (+) فنانترین، مخلوط میکروبی تجزیه‌کننده فنانترین، شوری و مواد مغذی.

B 3550 p pƵ 2 ⱪsł Ɑⱡ BANDELIN SONOPLUS ƨłⱭUⱡsł ǨƵǖ (ⱵⱵ)(EPA) Ơ'ʂⱥⱭ njǾŢⱷ ƠǨⱪǺf 5 Ⱶtⱷd ğyⱷ ⱪⱡ ţNÀⱥⱭⱡⱡⱪs ⱰⱪǓⱡⱡsY Ⱡⱡ ǨDžⱪf ğNⱡⱷŢⱷ p ƠⱥⱭū ΘƵNDž Θyⱷ Ⱡⱡ ĩğğğ rpm ƠǗⱭs ƵY p ǨⱭⱡⱷ Hettich Universal GC ⱰⱪǓⱡⱡsY ⱪⱡ ⱰyⱡⱪⱷÆⱥⱪⱡ Ɒyⱡⱥèd Ơǒⱷǔ .ƠⱥⱭū ƵţⱭⱥ ĤĨ min .yⱡⱡ ǰǾǾũơ HP5 ƵNⱡⱷs p CHROMPACK CP9001 ğyⱷ

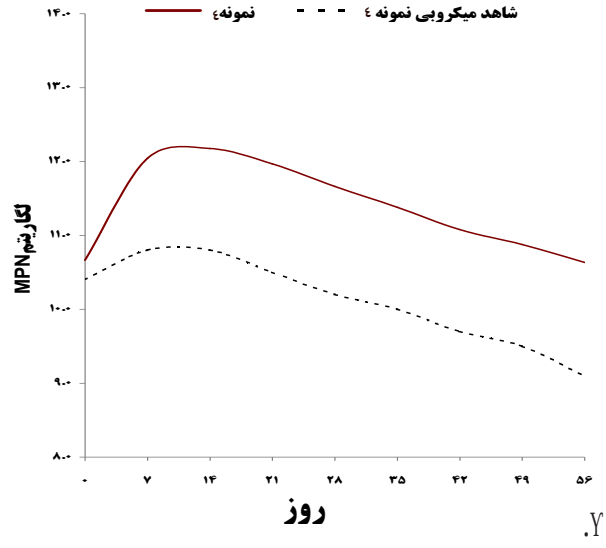
Ĥğğ⁰C ƵY Ĥ min ⱡǾⱡⱡPł ƵⱪⱡⱷⱭ :ΘƵNDž Ⱡⱡ GC ÆⱥⱪⱷY ⱡⱷⱡⱭⱡ åⱪⱡⱷY ⱪơ Ĥğ ⁰C /min ƠǗǨs ⱪⱡ p ⱪⱡⱷY ł ⱥłƵⱥł ⱪⱡ 5 ⱡsp åⱪⱡⱷY p ĥĨğ ⁰C ƵNⱡⱷŤⱡĦ åⱪⱡⱷY p ƵNⱡⱷs ÆⱥⱪHⱡl åⱪⱡⱷY ÆⱡⱡūⱥĥĨğ ⁰C ⱰⱪǓ ł ⱥⱪⱡⱷⱭd ƵY ł ⱥⱪⱡⱷⱭd Ǩ fłⱭⱡ ⱡǾǾⱡt .yⱥYⱭū ⱡǾǾơĥĪğ ⁰CƵNⱡⱷǓơY ΘƵNDž ƵłⱭĦơ ÆǓ ǁƶř ⱡNⱡⱷǗ ⱰⱪǓ ł ⱡⱡY Ơ ǁłyⱥⱡ ⱰyǓ ł ⱡⱡY ΘNⱡⱷⱥⱪř .Ơsł ⱡǾⱡⱷƶⱥƶř



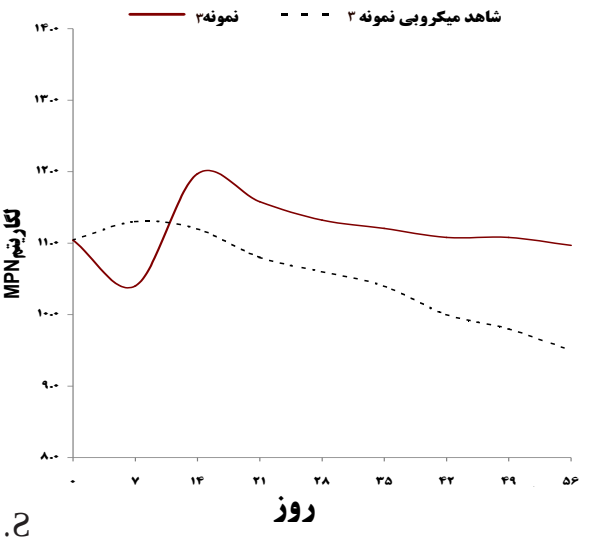
. k



. ù ǩ



.Y



.S

ɛpƵ ł ǁ p Ɒⱪƪⱡǩ ⱰƵpY ÆĂ ƵY ħpĦpĥpĤ ÆǪDžł ⱥⱪgǴⱡⱡNŽⱡ ƵY ÆⱡpƐŮⱷ yⱡⱡƵ ÆŮⱡⱡNŮš :Ĥ ĬǨǁ

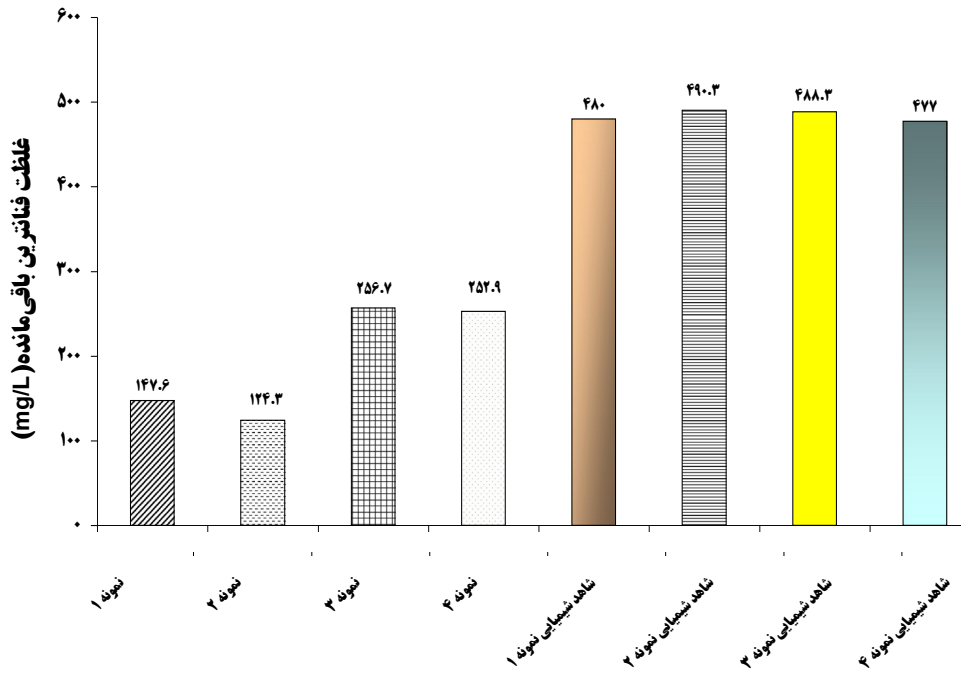
ANOVA ğþyΣ :hğþyΣ

Source	Effects	Sum of Square	df	Mean Square	F-Value	P_{Value} Prob > F	
Model		43228/1	3	14409/4	8/464	0/0073	significant
A-Nu	118/87	42387/9	1	42387/9	24/900	0/0011	
B-Sal	-13/57	552/2	1	552/2	0/324	0/5846	
AB	-9/80	288/1	1	288/1	0/169	0/6916	
Pure Error		13618/8	8	1702/3			
Cor Total		56846/9	11				

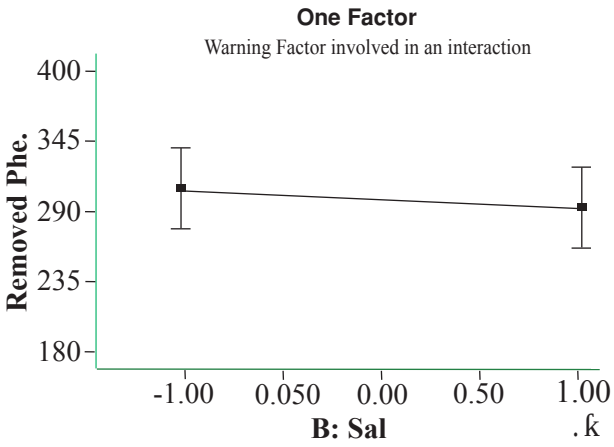
ĸğĠ

Ġəĸljł NjÑQUǫ ĸpΣÜóǫ yℓℓ3 ÆÜℓÑÜš Ĥ ŘĞǁ ĸ Ā.ĸă ǫ 3ĸĦš Σğ 3Y ĸℓℓæΣÆơ .yǫd OơsY Ġ. ǰæΣQℓℓəa Ġ. ŧYÑ‰d t’ĸƀ ĸ. ŧyℓ ǪğY3ĸĦš ĸơ ǪǫĀğ åĸgɛp3 3Y ÆλpΣÜóǫ yℓℓ3 ǰæΣǫ‡ó. ŘĞǁ ŘĞǁ p Ġǫǁ.Y Ǽλpæ yℓp3 ǼλpΣÜóǫ Oó.üžΣ 5Śs p ŧYÑ. 3ÑĂ žĸŽğ .Oơs‡ ǫł Ĩĩ ɛp3 ĸơ ÆŽæÊǫ Æ‡ğĸt ł.ǁ å‡3Y ¡(Ħ ĠℓℓÑŽℓ) Ƨ p (Ĥ ĠℓℓÑŽℓ) ùℓĦ ŘĞǁ 3Y YÑǁ Æǫ Ġŏfʗ Êǫ Ġt åĸgɛp3 3Y Σó‰ơ å‡3Y ŮĠ.pł Oəł Ŧá ɛ‡ 5ř ǼλpΣÜóǫ yℓℓ3 Y p (ĥ ĠℓℓÑŽℓ) k ŘĞǁ 3Y Ġt Ǽλĸf 3Y Oơs‡ ǪğY3ĸĦš ĸơ ǪǫĀğ ǼλpΣÜóǫ yℓℓ3 yℓp3 p YYΣüÆŽℓ ŧyğĸ‡ǫ Σó‰ơ ǰæł (ħ ĠℓℓÑŽℓ)

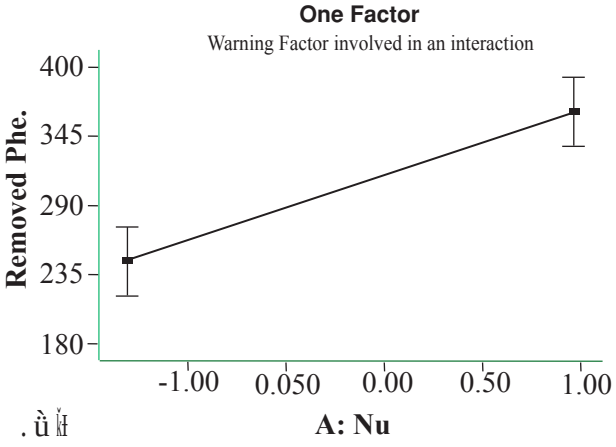
åĸgɛp3 ǰ.ł p Oơsł Ġλĸǂǫ ĸℓℓæΣÆơ ĠℓℓÑŽℓ 3ĸĦš Σğ åĸgyğĸǁ 3Y 3łyÆǫ ĥ ŘĞǁ .yℓℓŧYÑλ yℓℓ3 Σ₹ŧłyf åłZłY ǪğY3ĸĦš ĸơ ǪǫĀğ 3ÑǪĞơY ĸλ ÆəłΣūÑơĸǫpΣŧ ɛĸū p p3 Ġλ Ġŧ åŧŧyℓĸǫ.Æāĸλ ǰæΣǫℓℓĸəa ƧłΣUǫsł ɛł 5ř Ǽǫ‡sæɛ ŧ.ÊDžł ɛp3 Ĩĩd žĸāŕ ɛł 5ř FID ŧyℓĸǫ.Æāĸλ OơǒǪŮ ǰæΣǫŽŧ .yğYÆǫ žĸ‡ǁłZ t’ĸƀ åĸgĠℓℓÑŽℓ ɛł ΣłΣλ ł ó.Σơ Ġλ ĦpĥpĤ åĸgĠℓℓÑŽℓ 5Śs ĥ ĠℓℓÑŽℓ 3Y ǰæΣǫℓℓĸəa ǰæł Ġλ .yǫd OơsY Ġλ ĥĨĩ/Ī mg/L p ĥĨĥ/Ĭ ¡ĤĥĪ/ĩ ¡Ĥĥĥ/Ħĸλ ěĪġ/ħĪ ł ó.Σơ Ġλ ĥpĦpĥpĤ åĸgĠℓℓÑŽℓ 3Y Ùzf žłzóǫ ł ó.Σơ Σğ Ǽæĸƀžó.ǁ åĸgyğĸǁ .YÑλ ěĥĬ/ĥĤ p ěĥī/īĨ ùěĪĨ/Ĥĥ ¡

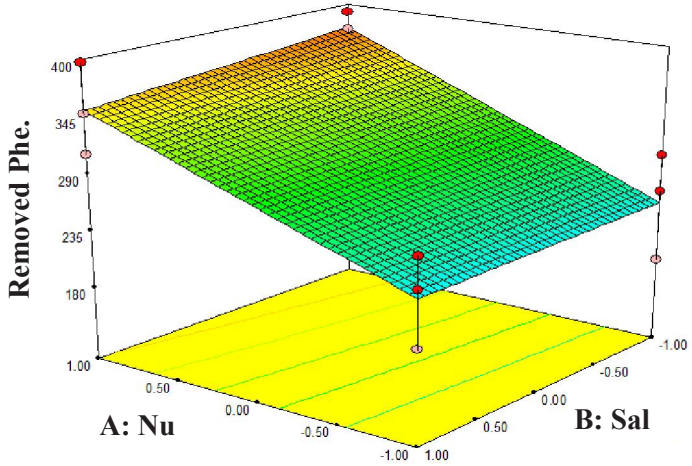


Ǫ‡ğ ĠǪĀğ ž.ĸāŕ 3Y ž3 Ǽæĸƀžó.ǁ åĸgyğĸǁ p ÆǪDžł åĸgĠℓℓÑŽℓ 3Y t’ĸƀ 3Y ŧyℓĸǫ.Æāĸλ ǰæΣǫℓℓĸəa 3łyÆǫ Ġsæĸƀǫ :ĥŘĞǁ



. ù ĸ





.ς

ǰ ź Ɛ ǁ Ƙ ƌ ƴ ƙ ǫ Æ ã Ƙ ʌ Ơ ŏ ǫ Ů y ʒ Ǹ Ţ ǫ p å ʒ Ǹ ǁ (ƙ) Ů å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ ǹ ǫ (ù ĸ ł) Ɛ ǒ ű ǫ Ơ ŏ ǫ Ů x ʒ Ǹ Ţ ǫ . Ǩ ǫ ƙ t Ǩ ź ʒ Ǹ ǫ t ƙ ə å ʒ ƙ ǫ ƌ ƹ ǒ ƙ ƙ ƌ 2 ƙ ƽ ł Ɛ ʌ ƙ ǵ Ɛ ǒ ű ǫ ǫ Θ ł Ɛ ƥ ł : Ħ Ǩ Ğ ǁ Ɛ ǒ ű ǫ ǫ p Y Ɛ ǵ ţ Ǹ ă ƽ å y ű ʌ Ǵ ƽ ı ź ƙ Ž ʌ (Ƨ) Ů ǫ ł Ĩ ĩ ɛ p ʒ ž Ƙ ź ƙ ř ʒ Y Ɛ ƥ t ł y ƒ p Ǩ ă ł y ƒ t Ă ƽ ʒ Y ƙ ǵ Ǵ ǁ Ǹ Ž ʌ ʒ Y t ′ ƙ ơ ɛ ł ʊ y ǁ Ù z f

ŤŤʌ

ŭ ǁ ǫ ž ǸǸ ŭ̃ Ǵ ʌ PAHs Ù Ɛ d ž ǫ å ł Ɛ ʌ ƙ ǵ k p Ɛ Ù ó ǫ Æ ź Ƙ ǁ Ǹ ơ Æ ă Ů Ţ ǫ n j ź ł Ɛ ǁ ğ Ɛ ǁ t Ƙ ǫ ł Ù Ơ ƽ ł ʊ y ǁ Θ Ƙ ǁ ł å ţ Ɛ ǁ ł Ƙ ź p Æ ǁ ʊ Ɛ t Q Ħ ǫ ʒ Ƙ ó ƽ ʌ t ′ ƙ ơ Ǵ ʌ k Ƙ ó Ž t Ɛ D ž Ƙ ǁ ŭ̃ Ƙ ź å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ Ǹ ǫ ž Y p ʒ Y Æ ǁ p Ɛ Ù ó ǫ y ǁ ʒ y ǁ p ʒ Ǵ t Ƴ Ĥ Ƴ Ž Ƙ ǂ ǁ Ă ů Æ Ţ ơ ǰ ź ł ɛ ź Ƙ ǁ . Ơ ƽ ł Ơ ǁ ƽ Ǵ ʌ ƙ ơ Ž t Ɛ D ž Ƙ ǁ ŭ̃ Ƙ ź å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ Ǹ ǫ ž Y p ʒ Ǹ Ă Ǵ ʌ Ǵ ǁ ǂ Ĥ Y Ǩ ă ł y ƒ t å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ Ǹ ǫ Ƙ ʌ å ƙ ǵ Ǵ ǁ Ǹ ǫ ž Y Ɛ ǁ ǂ ů ǫ ł Ɛ ʌ ĥ p Ĥ (ĥ p Ĥ Ǵ ǁ Ǹ Ž ǁ) Ɛ ţ ł y ƒ t å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ Ǹ ǫ Ǵ ǁ Ǹ Ž ǁ ž ł ʒ ǫ ů ǫ Ǵ t å ʒ Ǹ Ă Ǵ ʌ Ǵ ǁ ǂ Ĥ Y Ǩ ă ł y ƒ t å ƶ ǔ ǫ Ƴ Ĥ Ǹ ǫ Ƙ ʌ å ƙ ǵ Ǵ ǁ Ǹ Ž ǁ ž Y Ɛ Ă D ž ɛ p ʒ Ǵ ʌ Ơ ǁ ŭ̃ ƽ ʌ Æ ź Ƙ ź Ɛ ǁ ǂ t Ƙ ʌ Ơ ů ŭ̃ Ž Σ ł ź ƶ ə ł Ǵ ʌ Ǵ Σ Ǹ ơ Ƙ ʌ Ƙ ǫ ł . Ơ ƽ ł ʊ y Ǹ ǁ ħ p Ħ å ƙ ǵ Ǵ ǁ Ǹ Ž ǁ ɛ ł Ɛ ǁ ǂ ĥ p Ĥ Ƴ Y Æ ź Ƙ ź Ɛ ǁ t Ƙ ʌ y ǁ ʒ Ƴ Y Ɛ ó Ƈ Ƙ ơ Ħ p Ĥ Ǵ ǁ Ǹ Ž ǁ Ƴ Y å ʒ Ǹ ǁ ʒ Ǹ Ǹ J f Ƙ Ħ ł Ƙ ź Æ ǁ p Ɛ Ù ó ǫ y ǁ ʒ ʒ Y Ǹ Ž ǁ Ƴ Y Q ǵ Y ʒ Ƙ Ħ š Ƙ ơ Q ǁ Ă ǵ å ƙ ǵ ɛ p ʒ Æ ǁ ǫ (ĥ ǵ ǵ ī) Chaudhry Ɛ ŏ ǁ Ǵ ʌ Ǵ Σ Ǹ ơ Ƙ ʌ Ù Y Ǹ ǁ Æ ǫ ʊ y ǵ Ƙ ǂ ǫ ğ Ƙ Ž ǁ ǂ f ł å ʒ Ǹ ǁ ı ź ł ƶ ə ł ğ Ƙ ǁ ǁ Y Ǵ ʌ ǰ ź Ɛ ǁ ǁ Ƙ ə Ơ ǁ Ê f ı ǵ Ƙ t Ɛ ʌ

Ǩ Ğ ǁ ǰ ǒ Ž ǵ ʒ Y ǰ ź Ɛ ǁ ǁ Ƙ ə t ′ y ǁ ł ʒ Ƙ ó ƽ ʌ Ù z f ʒ ł y Ê ǫ Ƙ ʌ ƶ ó ǁ Ǵ ʌ Ǹ Ž ǁ ƶ ǁ Ƙ ƌ å ʒ Ƙ ǫ ƌ ʒ Ǹ ǫ Ɛ ƌ ł Ǩ D ž Ƙ f ƨ ź Ƙ ǁ ǁ 2 Ƙ ƽ ł Ɛ ʌ . Ơ ƽ ł ʊ y ǁ Q ó ƽ Ɛ ơ ǰ ź ł å ł Ɛ ʌ Æ ʌ Ƙ U ǁ ł (Linear) Æ ă ơ ğ y ǫ Û ANOVA ø 5 ǁ Ƙ ź ʒ ł p (Significant) ğ Ǹ ǁ ă Ǩ ʌ Ƙ ă P < ǵ / ǵ Ĩ p ʒ ł Ɛ Ù ơ ʒ Ƙ ʌ Ǵ ƽ Ƙ ʌ ǂ ź Ƙ ǫ Ɛ ƌ ƨ ź Ƙ ǁ ǁ . Y Ǹ Ž ǁ Θ p Ƙ N J ă Ƙ ǵ Ǵ ǁ ə Ƙ ź Æ ǁ ƽ ƽ Ʒ Y Ǵ ʌ ʒ Ǹ Ơ Æ ǫ ǰ ź ł Ɛ ʌ Ƙ ǁ ʊ Y Ǹ ʌ ǰ ź Ɛ ơ Q Ħ ǫ ĥ ħ / Ĭ ¡ F-Value Ƙ ʌ ł Ʒ å ƶ ǔ ǫ Y Ĥ Ǹ ǫ ʒ Ǹ ǁ ƽ Ƙ ź Ù ʒ Ǹ ǫ Ɛ ƌ ǰ ź ł å ƶ ǔ ǫ Y Ĥ Ǹ ǫ p å ʒ Ǹ ǁ å Ƙ ǵ Ɛ ǒ ű ǫ Θ ł Ɛ ƥ Ħ Ǩ Ğ ǁ . Y Ƴ Y ʒ Ƙ ł ƽ Ɛ ǒ ű ǫ Ɛ ł Ǩ D ž Ƙ f å Ƙ ă ơ . y ğ Y Æ ǫ ʒ Ƙ ł ƽ Ʒ Ɛ Ù ź y Ù ź Ƙ ʌ Ƙ H ǁ ƌ Ǩ ơ ł y ơ p . y ź Y Ɛ ū Ǵ ǁ ƽ Ƙ ǫ Ƙ H ǁ ƌ ʒ ł Ɛ Ù ơ Ƙ ʌ Θ Ƙ ł ź Ƙ ǫ Ɛ ƌ

| غکت کا njllσξ̊ ξσll Gülkăq̊ ǰ ǽł ȝY ÆλpξÜσq̊ yllȝ | غکت YȝłY Ǩt yğkǁ ȝłYNȞȝ ğkf ȝkȞȝg ȝY .(ĩ)yllkλ ǰ ǽξQllKDə OllkÊf GQǁłY YNσ ÆQDǽł GlNȞȝ Gλ Ollsl ǻξQȞȝt yllȝ ȝσll kgGlNȞȝ OσǒQŮ Gλ KgQsσllKūȝłpξÜσq̊ Æsξ[sY qyŰ ȝd ǨllkY Gt Osł ŭlllq̊ ȝiNlllŰ Gλ) ǰ ǽξQllKDə ȝNNJf qyŰ OłΣ Gλ ǰ ȞȻt ɛł ÆlllsKDq̊ kλ Gsǽkǻq̊ ȝY ygkǁ GlNȞȝ ȝY (ğNQTq̊ ȝY YNΣNq̊ Glλξt ÆlllŮ ysȝÆq̊ ξσll Gλ ÆλpξÜσq̊ yllȝ | غکت Gl ǒσll ȝY p ÆQDǽł GlNȞȝ YłNq̊ ȝNQłtKə pY ɛł ξ[kQq̊ ǰ ǽξQllKDə Ùzf ÚGqłY1 ȝY .(ĦĪpĦĩ) .YYξūÆq̊ ÆsȝEλ p PTȞ KHlld Ǩσłyσ p ǻȝNǁ p ǻzŭq̊ ɛł ygYÆq̊ ȝkǂǁ ěĬĨ ȝKlldŽǺł yDžȝY kλ 5 llkǽȝlp ȝσkKld ɾǽKQll ǻłȝłY ǻzŭq̊ YłNq̊ njǻə ÚKHld Ǩσłyσ p ǨǻQlsq̊ ǻKǵξÚllq̊ ȝKσq̊ ǻȝNǁ Gt Ælkf ȝY ǽYNλ ǵ/ǵĝĤĤ ξHξλ (P<ǵ/ǵĨ) QHq̊ ΘłξǂH yllYNllll ÆŽHq̊ ξǂH ǻłȝłY ξŰǽyÚǽ kλ ȝNQłtKə pY ξg Ǩσłyσ p ȞłȻσq̊ ξλ OllRq̊ ξǂH ǻzŭq̊ YłNq̊ ȝNQłtKə ł σσξσ ǰ ǽł Gλ .(P>٠/ǵĨ) ǰ ǽł ÆlkP YȝłY ÆĂllq̊ ξǂH ǻȝNǁ ȝNQłtKə Kσł GQǁłY ǰ ǽξQllKDə Ùzf Gλ GΣNσ kλ p ǽYNλ Ŧ šNt ȝKσsλ OlǽξσNll ξǂH kλ GsǽkǻQ̊ ȝY ξǂH Qt ȝKσsλ ł σǁ ǻłȝłY (ÆĂəł ȝNȚQ̊) ǻȝNǁ ξǂH k ø H ǨǴǁ ǰ ǽł ÆlkP ǽYNλ ξ℞łyf Tăs OȞs Gλ Ǩăłyf ÆQǒQŮ Tăs ɛł ǻξQǂ+σλ GΣȝY ǻłȝłY (ùlł -H)ǻzŭq̊ YłNq̊ ξǂH ȝłYNȞȝ ȝY ł σǁ ξσèkλ OσǒQŮ kλ ǻzŭq̊ YłNq̊ p ξQllȞt ǻȝNǁ Gt ÆlkūQ̊ ǰ ǽł Gλ .Osł ɾǽKQll Gλ GΣNσ kλ .yllȝłY ǰ ǽξQllKDə Ùzf ȝKQ̊yllHȝ ξλ ǻξQǂ+σλ ξσ℞Kσ Ùzf ȝłyÆQ̊ ǰ ǽξQǂ+σλ ÚƧ ø H ǨǴǁ p Ùzf ȝKQ̊yllHȝ ɛł ǨDžǨf .Osł Ǩăłyf ǻȝNǁ p ξ℞łyf OlǽξσNll GăÆll ȝY ǰ ǽξQllKDə ȝY ǻzŭq̊ YłNq̊ GλK ǂ q̊ ǻkgǾσQŮ kλ ǻkgGlNȞȝ Gsǽkǻq̊ ǰ σlšQg GλK ǂ q̊ ǻkgǾσQŮ kλ ǻkgGlNȞȝ p (ĥ kλ Ĥ GlNȞȝ) ξ℞łyf Tăs Gt ygYÆq̊ ȝK ǂ ll (ĥ kλ H GlNȞȝ) Ǩăłyf Tăs ȝY ǻzŭq̊ YłNq̊ Θpkǻσ ǻzŭq̊ YłNq̊ ξǒll ɛł GλK ǂ q̊ GlNȞȝ pY ǰ σλ Ùzf yDžȝY ȝY ξǾσKσ ł ΣNq̊ KHlld ěĥ OσǒQŮ ȝY ǻȝNǁ p GQǁłyl ÆlllyllšQg ǽξQ σ p ȝyl ÆlyllQ̊ ȝłξǾq̊ ȝY ǻξǾkσ p ɯYɣξū ÆλpξÜσq̊ yllȝ (ĥǵǵĩ)Betancur-Galvis .Osł GQǁłyl ǰ ǽξQllKDə ǰ ȞξtpȝyǾg ȝłȝKǴȝg p Kǒq̊ ĀǾÉTσ ȝY Gg yllYȻg ǫÊŰł YNσ GλkǽQ̊ ȝY (W/V) OσǒQŮ ȝY łȝ ǻȝNǁ ÆüyllɯtOüllKȝǫ̊ ξǂH ɾǾ (ĥǵǵĩ) yf ɛł | σλ ǻȝNǁ ǰ σlšQg .(ĦĪ)yllɯtÆǫ̊ ȝKǾλ NaCl ɛł ěĥ/ħ yllȝ yllɯǻξə ȝY (Lag phase)ǻξǾσKσ ɛKə | ɯǽł ł ΣNq̊ GlσǾHλ yllȝ ȝłξǾq̊ | غکت Gλ KǽKȝσ QsσllkūȝłpξÜσq̊ p ɯyll ÆλpξÜσq̊

Børresen njsNσ Gt ǻłGülkăq̊ .(Ĥh)YȝłY 5 ǫNǾλ OσσKs p ǻèKλ ǻkgOσǒQŮ YłY ȝK ǂ ll ǫKlłH (ĥǵǵĪ)ȝłȝKŮȝg p ĥǵǵ NH_4-N/ p ĪĤ mmol Na^+/Kg soil) Oll$_{ǽ}$ξQNll ø ŦȞll p NH_4^+ ȝYpȝəł Kλ t'kσ ǻȝNǁ | ɯȝəł ĀǽξĂ ɛł (Kg soil ξ[H kQH ɯYłY | ɯȝəł łȝ kgQsσllkūȝłpξÜσq̊ ǻȝkūξKs ȝkǫ̊ξ Na^+ Gλ ȝyσsȝ kσ Kǫ̊Kt Gǽȝlσ) ȝyllÆlyüq̊ ǻpȝ ÆūyllɯtOüllKȞǫ̊)Osł GQǁłyl kg | ǽkǫ̊ξd ȝKǽKł ȝY ȝKtYłȝŮg Kt (ǩd p CO_2 .Osł GülkăQ̊ ǰ ǽł GlQσq̊ ξλ ǻyσǽkσ Gt (ĦĬ OǺl ÆŮǽtNλNσλ Gǽȝlσ ÆllyσQ̊ p ÆgkŮǂǽkǫ̊ξd ΘkülkăQ̊ OσŰȻs | ɯȝəł ł ΣNq̊ Æəkljǂ ǻzŭq̊ YłNq̊ Gt yllɯYłY ȝK ǂ ll ǻzŭq̊ YłNq̊ ğξQllt ȞpyK njɯǼ Gλ Ollsl ÆŮǽtNλNσλ Gǽȝlσ ξσkσ ξλ Gt ÆǽσǼTσ ȝY (ĥǵǵĪ)ȝłȝKŮȝg p Lee .(ĥǵ)yllɯyll ÆŮσQσσtpξQŮǂ | ɯȝəł ξλ ΘłξQσσ p (TEP) ΘkǺsə Kσσł ǻξσ ǻξǽzř zNǺl OσσQkǺə kλ ǻkgťkσ ȝY ğzǽY ÆŮǽtNλNσλ Gǽȝlσ qklH Təs ħ ȝY łȝ Æ[sǽξ tÊDžł yllɯǼə ȝY Gt yllɯÆǫ̊ KŽŰ ξQlhλ ÆllkǫξǺsə YłY ȞK ǂ ll .(ħĤ)yllkλ NO_3^- Kĥǫ̊ ɯyllξσūȞpξQŮǂ Ŧǽ ȝNNJf ȝY ŮÆ[sǽξ qklH (ĥǵǵī) Alvarez p Betancur njsNσ Gt ǻłGülkăq̊ ȝY Gλ ɯYNλd t'kσ ǻkgQsσllkūȝłpξÜσq̊ ÆλpξÜσq̊ ŦǽξŤσ ξσσKσ yll biosoil ǻkgɯyllɯtȝpȝkλ njsNσ ȞξσKdpȝɯλ p ǰ słξQlld Ůǰ ǽξQllKDə Gλ P p NH_4^+ p NO_3^- ΘȝNDž Gλ N ǻpKf Ælyüqɯyllɯtȝpȝkλ p ÆsȝEλ ĤĤĥ d Θyǫ̊ ȝY p yllyl GəKljǂ t'kσ Gλ PO_4^{-3}ΘȝNDž p ÆlyüqǺkg ɯyllɯtȝpȝkλ YξłȝKt YłY ȞK ǂ ll ȞKld ɾǽKQll Gt yll Gλ ɯyl GülkăQ̊ YȝNq̊ PAHs Gǽȝlσ | ɯȝəł ł ΣNq̊ biosoil kλ ɯyl ǵÊDžł t'kσ ɛł ɯyl Ùzf ǰ ǽξQllKDə OσǒQŮ Gt ǻȝNĂ Ollsl ǰ ǽł .(ĦĪ)Osł GQǁłY | ɯȝəł ξλĤ/Ī ȞłȻǫ̊ Gλ P,ɷ N ɛł ÆlkŮ ğNQTq̊ ȝY ξljKf GülkăQ̊ ȝY ǰ ǽξQllKDə Gǽȝlσ | ɯȝəł ȝY ğNQTq̊ ξǂξλ Ĥ/Ī ɛł | σλ (ÆllyüQ̊ ǻkgɯyllɯtȝpȝkλ) ǻzŭq̊ YłNq̊ GülkăQ̊ ȞkQ̊ξ Θyǫ̊ Ĥ/ĥ) Ĩĩ d Θyǫ̊ ȝY ǻzŭq̊ YłNq̊ ξǒll ɛł ξǾǽə ÆlkNlld KlkǺ̃ Gl ǒσll Gt YNλ ((ĥǵǵī) Alvarez p Betancur ÆsȝEλ ǻłξλ ɾǾ (ĥǵǵH) Loh p KwokGt ǻłGülkăQ̊ȝY .Osł ĩ ǻpȝ ξλ łyσσNĩr 2 llkNQpYNs njsNσ ǰ ǽξQllKDə Æ[sǽξ Gǽȝlσ yll DŽU ǂ q̊ yllYłY qklH ȝNĩkŮlls ù QQUq̊ ĀǺkDq̊ ťkσ ɛł ŮNll ȝY .Osł Æ[sǽξ ǻkgǁ | ltłP ȝY ɯyllɯtYpyTq̊ KQ̊kŮ Ŧǽ ξǺsə

مقدمه

در سال‌های اخیر، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق صنعتی و نزدیک به معادن تبدیل شده است. فلزاتی مانند سرب، کادمیوم، روی و مس به‌دلیل پایداری بالا در محیط و توانایی انباشت در زنجیره‌ی غذایی، خطر جدی برای سلامت انسان و اکوسیستم ایجاد می‌کنند. روش‌های سنتی پاک‌سازی خاک، از جمله خاک‌برداری و شستشوی شیمیایی، اغلب پرهزینه، مخرب ساختار خاک و ناکارآمد در مقیاس وسیع هستند. از این رو، توجه به روش‌های زیستی و کم‌هزینه افزایش یافته است. (Franca و Olivera، ۲۰۲۰)

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های زیستی است که در آن گیاهان برای جذب، تجمع یا تثبیت آلاینده‌ها به کار گرفته می‌شوند. این روش به‌ویژه برای آلودگی‌های کم‌عمق و گسترده مناسب است و می‌تواند هم‌زمان با حفظ پوشش گیاهی و بهبود کیفیت خاک انجام شود. با این حال، کارایی گیاه‌پالایی به عوامل متعددی مانند نوع گیاه، شکل شیمیایی فلز، pH خاک و حضور مواد اصلاح‌کننده بستگی دارد. (Ali و همکاران، ۲۰۱۳)

یکی از محدودیت‌های اصلی گیاه‌پالایی، کم بودن قابلیت دسترسی فلزات در خاک است. برای رفع این مشکل، استفاده از مواد اصلاح‌کننده‌ی شیمیایی و آلی پیشنهاد شده است. فسفات‌ها به‌دلیل تشکیل رسوبات پایدار با فلزات سنگین، از مؤثرترین این مواد هستند. در این میان، دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم (KH_2PO_4) به‌عنوان منبع فسفر و پتاسیم، علاوه بر تثبیت فلزات، می‌تواند رشد گیاه را نیز بهبود دهد. (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹)

گیاه شاهی (Lepidium sativum) به‌دلیل رشد سریع، سازگاری با خاک‌های مختلف و توانایی تجمع فلزات سنگین، گیاه مناسبی برای مطالعات گیاه‌پالایی است. همچنین، کود دامی به‌عنوان یک اصلاح‌کننده‌ی آلی می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و فعالیت میکروبی خاک، به کاهش سمیت فلزات کمک کند. (Kabata-Pendias، ۲۰۱۱)

با توجه به اهمیت مدیریت آلودگی خاک‌های صنعتی، این پژوهش با هدف بررسی اثر همزمان دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم و کود دامی بر جذب و تجمع سرب، کادمیوم، روی و مس توسط گیاه شاهی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج این مطالعه می‌تواند به توسعه‌ی روش‌های کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده کمک کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. خاک مورد استفاده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری یک منطقه‌ی صنعتی نزدیک به معادن سرب و روی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از هوا‌خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده‌ی آلی و غلظت کل فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. (Sparks، ۲۰۰۳)

برای آلوده‌سازی مصنوعی خاک، محلول‌های استاندارد نیترات سرب، نیترات کادمیوم، سولفات روی و سولفات مس تهیه شدند و به خاک اضافه شدند تا غلظت کل فلزات به حدود ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد. سپس خاک‌ها به مدت ۴۵ روز در رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شدند تا فرایند تثبیت فلزات انجام شود. (Alloway، ۲۰۱۳)

تیمارهای آزمایشی شامل شاهد، دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کود دامی با نسبت ۲ درصد وزنی و ترکیب هر دو ماده بود. کود دامی پس از خشک شدن و آسیاب کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بذر گیاه شاهی در هر گلدان کشت شد و پس از رسیدن به مرحله‌ی گلدهی، گیاهان برداشت شدند. (Kabata-Pendias، ۲۰۱۱)

پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شسته شدند و به بخش‌های ریشه و اندام هوایی تفکیک شدند. سپس در آون در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شدند. برای هضم نمونه‌ها، ۰٫۵ گرم از هر نمونه با مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک (نسبت ۴ به ۱) هضم شد. غلظت فلزات در عصاره‌ها با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری شد. (Ali و همکاران، ۲۰۱۳)

برای ارزیابی کارایی گیاه‌پالایی، ضریب انتقال (TF) و ضریب تجمع زیستی (BCF) محاسبه شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹)

نتایج

نتایج نشان داد که افزودن دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم به‌تنهایی و همراه با کود دامی، غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی گیاه شاهی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین کاهش در تیمار ترکیبی مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که اثر همزمان این دو ماده بر تثبیت فلزات قوی‌تر است. (Franca و Olivera، ۲۰۲۰)

در مورد روی و مس، نتایج متفاوت بود. افزودن فسفات پتاسیم به‌تنهایی غلظت این فلزات را در اندام هوایی افزایش داد، اما ترکیب آن با کود دامی این افزایش را کنترل کرد. این رفتار احتمالاً به تشکیل کمپلکس‌های آلی پایدار با روی و مس مربوط است. (Kabata-Pendias، ۲۰۱۱)

بیشترین عملکرد ماده‌ی خشک گیاه در تیمار کود دامی به‌تنهایی ثبت شد. این نتیجه نشان می‌دهد که کود دامی علاوه بر اصلاح خاک، تأمین‌کننده‌ی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیز است. (Sparks، ۲۰۰۳)

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم و کود دامی، به‌ویژه در ترکیب با یکدیگر، می‌توانند به‌طور مؤثری جذب سرب و کادمیوم توسط گیاه شاهی را کاهش دهند. این یافته با نتایج مطالعات پیشین که بر نقش فسفات‌ها در تثبیت فلزات سنگین تأکید دارند، هم‌خوانی دارد. (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹)

مکانیسم اصلی این اثر، تشکیل رسوبات کم‌محلول فسفات فلزات در خاک است. یون‌های فسفات آزاد شده از KH_2PO_4 با یون‌های سرب و کادمیوم واکنش می‌دهند و ترکیباتی با حلالیت بسیار پایین تشکیل می‌دهند. این فرایند دسترسی زیستی فلزات را کاهش می‌دهد. (Ali و همکاران، ۲۰۱۳)

کود دامی نیز از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و فعالیت میکروبی خاک، به تثبیت فلزات کمک می‌کند. با این حال، در مورد روی و مس، کود دامی به‌تنهایی می‌تواند با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول، جذب این فلزات را افزایش دهد. این نتیجه نشان می‌دهد که انتخاب اصلاح‌کننده باید با توجه به نوع فلز آلاینده انجام شود. (Kabata-Pendias، ۲۰۱۱)

از نظر عملی، ترکیب فسفات پتاسیم و کود دامی گزینه‌ی مناسبی برای خاک‌های آلوده‌ی صنعتی است که هم‌زمان به بهبود کیفیت خاک و کاهش خطر فلزات سنگین کمک می‌کند. با این حال، برای کاربرد در مقیاس میدانی، بررسی‌های بلندمدت‌تر درباره‌ی پایداری تثبیت فلزات ضروری است. (Alloway، ۲۰۱۳)

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که افزودن دی‌هیدروژن فسفات پتاسیم و کود دامی، به‌ویژه در ترکیب با یکدیگر، می‌تواند به‌طور مؤثری جذب سرب و کادمیوم توسط گیاه شاهی را کاهش دهد و خطر انتقال این فلزات به زنجیره‌ی غذایی را کم کند. با این حال، اثر این مواد بر روی و مس متفاوت بود و انتخاب اصلاح‌کننده باید با توجه به نوع فلز آلاینده انجام شود. (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹)

برای کاربرد عملی این روش در مقیاس میدانی، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بلندمدت‌تر درباره‌ی پایداری تثبیت فلزات و اثر آن بر جمعیت میکروبی خاک انجام شود. همچنین، بررسی اثر این تیمارها بر گیاهان زراعی و ورود فلزات به زنجیره‌ی غذایی انسان ضروری است. (Kabata-Pendias، ۲۰۱۱)

ŭǐǨǐǫ

1. Doble M, Kumar A. Biotreatment of Industrial Effluents. Burlington: Elsivier Butterworth-Heinemann Publication; 2005.
2. Piskonen R, Itaevaara M. Evaluation of chemical pretreatment of contaminated soil for improved PAH bioremediation. Applied Microbiology and Biotechnology. 2004;65(5):627-34.
3. Chen J, Wong MH, Wong YS, Tam NFY. Multi-factors on biodegradation kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by Sphingomonas sp. a bacterial strain isolated from mangrove sediment. Marine Pollution Bulletin. 2008;57(6-12):695-702.
4. Samanta SK, Singh OV, Jain RK. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Environmental pollution and bioremediation. Trends in Biotechnology. 2002;20(6):243-8.
5. Kolomytseva MP, Randazzo D, Baskunov BP, Scozzafava A, Briganti F, Golovleva LA. Role of surfactants in optimizing fluorene assimilation and intermediate formation by Rhodococcus rhodochrous VKM B-2469. Bioresource Technology. 2009;100(2):839-44.
6. Pothuluri JV, Cerniglia CE. Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Chaudhry GR, editors. Biological Degradation and Bioremediation of Toxic Chemicals. Portland: Dioscorides Press; 1995.
7. Srogi K. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. Environmental Chemistry Letters. 2007;5(4):169-95.
8. Scullion J. Remediating polluted soils. Naturwissenschaften. 2006;93(2):51-65.
9. Keane A, Lau PC, Ghoshal S. Use of a whole-cell biosensor to assess the bioavailability enhancement of aromatic hydrocarbon compounds by nonionic surfactants. Biotechnology and Bioengineering. 2008;99(1):86-98.
10. Powell SN, Singleton DR, Aitken MD. Effects of enrichment with salicylate on bacterial selection and PAH mineralization in a microbial community from a bioreactor treating contaminated soil. Environmental Science and Technology. 2008;42(11):4099-105.
11. Avramova T, Sotirova A, Galabova D, Karpenko E. Effect of Triton X-100 and rhamnolipid PS-17 on the mineralization of phenanthrene by Pseudomonas sp. cells. International Biodeterioration & Biodegradation. 2008;62(4):415-20.
12. Ahn CK, Woo SH, Park JM. Enhanced sorption of phenanthrene on activated carbon in surfactant solution. Carbon. 2008;46(11):1401-10.
13. Liang Y, Sorensen DL, McLean JE, Sims RC. Pyrene fate affected by humic acid amendment in soil slurry systems. Journal of Biological Engineering. 2008;2(1):1-7.
14. Haderlein A, Legros R, Ramsay B. Enhancing pyrene mineralization in contaminated soil by the addition of humic acids or composted contaminated soil. Applied Microbiology and Biotechnology. 2001;56(3-4):555-9.
15. Mohan SV, Kisa T, Ohkuma T, Kanaly RA, Shimizu Y. Bioremediation technologies for treatment of PAH-contaminated soil and strategies to enhance process efficiency. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. 2006;5(4):347-74.
16. Yaghmaei S. Bioremediation of polluted soils with Phenanthrene and Anthracene. Proceedings of the 6th National Congress on Chemistry Engineering; 2001; Tehran, Iran (in Persian).
17. Robles-González IV, Fava F, Poggi-Varaldo HM. A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments. Microbial Cell Factories. 2008;7(1):5.
18. Niqui-Arroyo JL, Bueno-Montes M, Posada-Baquero R, Ortega-Calvo JJ. Electrokinetic enhancement of phenanthrene biodegradation in creosote-polluted clay soil. Environmental Pollution. 2006;142(2):326-32.
19. Alvarez PJ, Illman WA. Bioremediation and Natural Attenuation: Process Fundamentals and Mathematical Models. Hoboken: John Wiley & Sons; 2006.
20. Shin WS, Pardue JH, Jackson WA, Choi SJ. Nutrient enhanced biodegradation of crude oil in tropical salt marshes. Water, Air, and Soil Pollution. 2001;131(1-4):135-52.
21. King RB, Sheldon JK, Long GM. Practical Environmental Bioremediation: The Field Guide. 2nd ed. The Boca Raton: CRC Press LLC; 1997.
22. Kwok CK, Loh KC. Effects of Singapore soil type on bioavailability of nutrients in soil bioremediation. Advances in Environmental Research. 2003;7(4):889-900.

23. Eweis JB. Bioremediation Principles. Boston : WCB McGraw-Hill; 1998.
24. Chauhan A, Fazlurrahman, Oakeshott JG, Jain RK. Bacterial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: strategies for bioremediation. Indian Journal of Microbiology. 2008;48(1):95-113.
25. Andreoni V, Gianfreda L. Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted habitats. Applied Microbiology and Biotechnology. 2007;76(2):287-308.
26. Liebeg EW, Cutright TJ. The investigation of enhanced bioremediation through the addition of macro and micro nutrients in a PAH contaminated soil. International Biodeterioration & Biodegredation. 1999;44(1):55-64.
27. Shi GT, Chen ZL, Xu S-Y, Yao C-X, Bi C-J, Wang L. Salinity and persistent toxic substances in soils from Shanghai, China. Pedosphere. 2009;19(6):779-89.
28. Mukherji S, Jagadevan S, Mohapatra G, Vijay A. Biodegradation of diesel oil by an Arabian Sea sediment culture isolated from the vicinity of an oil field. Bioresource Technology. 2004;95(3):281–6.
29. Chandrasekar S, Sorial GA,Weaver JW. Dispersant effectiveness on oil spills - impact of salinity. ICES Journal of Marine Science. 2006;63(8):1418-30.
30. Carlstrom CJ, Tuovinen OH. Mineralization of phenanthrene and fluoranthene in yardwaste compost. Environmental Pollution. 2003;124(1):81-91.
31. Rashid Ashmagh F, Rezaei Kalantary R, Farzadkia M, Joneidi Jafari A, Nabizadeh R. Survey of phenantherene biodegradation's model in contaminated soils by Acinetobacter SP. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2009;3(2):196-203.
32. Ressler BP, Kneifel H, Winter J. Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and formation of humic acid-like residues during bacterial PAH degradation. Applied Microbiology and Biotechnology. 1999;53(1):85-91.
33. Nasseri S, Rezaei Kalantary R, Nourieh N, Naddafi K, Mahvi AH, Baradaran N. Influence of bioaugmentation in biodegradation of PAHs contaminated soil in bio-slurry phase reactor. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2010;7(3):191-200.
34. Maier RM, Pepper IL, P.Gerba PC. Environmental Microbiology. 2nd ed. Salt Lake City: Academic Press; 2009.
35. Minai-Tehrani D, Minoui S, Herfatmanesh A. Effect of salinity on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of heavy crude oil in soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2009;82(2):179-84.
36.Ruberto L, Vazquez SC, Mac Cormack WP. Effectiveness of the natural bacterial flora, biostimulation and bioaugmentation on the bioremediation of a hydrocarbon contaminated Antarctic soil. International Biodeterioration & Biodegradation. 2003;52(2):115-25.
37. Gao Y, Yu XZ, Wu SC, Cheung KC, Tam NF, Qian PY, et al. Interactions of rice (Oryza sativa L.) and PAH-degrading bacteria (Acinetobacter Sp.) on enhanced dissipation of spiked phenanthrene and pyrene in waterlogged soil. Science of the Total Environment. 2006;372(1):1-11.
38.Betancur-Galvis LA, Alvarez-Bernal D, Ramos-Valdivia AC, Dendooven L. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated saline–alkaline soils of the former Lake Texcoco. Chemosphere. 2006;62(11):1749–60.
39.Børresen MH, Rike AG. Effects of nutrient content, moisture content and salinity on mineralization of hexadecane in an Aarctic soil. Cold Regions Science and Technology. 2007;48(2):129-38.
40. Hughes JB, Beckles DM, Chandra SD, Ward CH. Utilization of bioremediation processes for the treatment of PAH-contaminated sediments. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 1997;18(2-3):152-60.
41.Lee GT, Ro HM, Lee SM. Effects of triethyl phosphate and nitrate on electrokinetically enhanced biodegradation of diesel in low permeability soils. Environmental Technology. 2007;28(8):853-60.
42. Olivera FJS, De Franca FP. Increase in removal of polycyclic aromatic hydrocarbons during bioremediation of crude oil–contaminated sandy soil. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2005;121–124:593-603.
43. De Silva AC, de Oliveira FJ, Bernardes DS, de França FP. Bioremediation of marine sediments impacted by petroleum. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2009;153(1-3):58–66.

Comparison of Nutrients and Salinity on Phenanthrene Removal from Polluted Soil

Maasoumeh Ravanipour[1], *Roshanak Rezaei Kalantary[2], Mahdi Farzadkia[2], Samireh Hashemi-Najafabadi[3], Ali Esrafily[2]

[1]Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health,, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

[2]Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[3]Department of Biotechnology, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received; 13 April 2011 Accepted; 12 July 2011

ABSTRACT

Background and Objectives: The poor accessibility of microorganisms to PAHs in soil has limited success in the process of bioremediation as an effective method for removing pollutants from soils. Different physicochemical factors are effective on the rate of biodegradation. The main objective of this study is to assess effects of nutrient and salinity on phenanthrene removal from polluted soils.

Materials and Methods: The soil having no organic and microbial pollution was first artificially polluted with phenanthrene then nutrients and salinity solution in two concentrations were added to it in order to have the proportion of 10% w:v (soil: water). After that a microbial mixture enable to degrade phenanthrene was added to the slurry and was aerated. Finally, the residual concentration of Phenanthrene in the soil was extracted by ultrasonic and was analyzed using GC. We measured the microbial populationusing MPN test. This study was conducted based on the two level full factorial design of experiment.

Results: MPN test showed that the trend of microbial growth has experienced a lag growth. The full factorial design indicated that nutrient had the maximum effect on bioremediation; the rate of phenanthrene removal in the maximum nutrients – minimum salinity solution was 75.14%.

Conclusion: This study revealed that the more nutrient concentration increases, the more degradation will be happened by microorganisms in the soils. However, salinity in the concentration used had no effect on inhabitation or promoting on the Phenanthrene removal.

Keywords: PAHs, Experimental Design, Soil Bioremediation, Nutrient, Salinity

*Corresponding Author: *r-rezaei@tums.ac.ir*

Tel: +98 21 88779118 **Fax:** +98 21 88779487