

BAKTERIYALAR TOMONIDAN CD(II) KATIONLARI BILAN IFLOSLANGAN TUPROQLARNING BIOREMEDIATSIYASI

¹Usmonqulova A.A., ²Kadirova G.X., ³Sadullayeva M.S., ⁴To`raqulova D.E., ⁵Shonaxunov T.E

^{1,2,3,4,5}O`zRFA Mikrobiologiya institute

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8361809>

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot kadmiy (Cd) bilan ifloslangan tuproqlarni qayta tiklashda uchta bakteriya shtammlarining (*Enterobacter ludwiigi*, *Bacillus simplex*, *Bacillus licheniformis*) alohida va assosiasiyadagi sinergetik ta'sirini baholashga qaratilgan. Sinov o`simligi sifatida bug`doydan foydalanilgan. *Enterobacter ludwiigi* A11, *Bacillus licheniformis* A10 va *Bacillus simplex* A8 bakteriyalarining kombinatsiyalari bilan ishlov berilgan bug`doy urug`lari Cd ning 3 xil konsentratsiyasini (2.4, 4.1, 8.2 mg/kg) o'zida tutgan tuproqlarga ekildi va 30 kun davomida o`simlikning o'sishi va rivojlanishi kuzatildi. O'tkazilgan tadqiqotlar yakunida o`simlik balandligi, poya va ildiz biomassasi, xlorofill miqdori aniqlandi. Bakteriyalarning assosiasiyasi qo'llanilganda, yagona shtamm qo'llanilgandagi natijaga nisbatan o`simliklarning o'sish parametrlari sezilarli darajada rag'batlashtirilgani aniqlandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, tekshirilgan bakteriyalar Cd bilan ifloslangan tuproqlarning bioremediatsiyasini ta'minlashda va o`simlik o'sishini kuchaytirishda sinergetik potensialga egadir.

Kalit so'zlar: bioremediatsiya, og'ir metallar, kadmiy, bakteriyalar, ifloslanish, biomassa, sinergetik potensial, xlorofill

Abstract. This study aimed to evaluate the synergistic effects of three bacterial strains (*Enterobacter ludwiigi*, *Bacillus simplex*, *Bacillus licheniformis*) individually and in association in the remediation of cadmium (Cd) contaminated soils. Wheat was used as an experimental plant. Wheat seeds treated with combinations of *Enterobacter ludwiigi* A11, *Bacillus licheniformis* A10 and *Bacillus simplex* A8 bacteria were planted in soils containing 3 different concentrations of Cd (2.4, 4.1, 8.2 mg/kg) and for 30 days the plant growth and development were observed. At the end of the conducted research, plant height, stem and root biomass were determined. When the association of bacteria was used, it was found that the growth parameters of plants were significantly stimulated compared to the result when a single strain was used. The results showed that the tested bacteria have a synergistic potential in providing bioremediation of Cd-contaminated soils and enhancing plant growth.

Keywords: bioremediation, heavy metals, cadmium, bacteria, pollution, biomass, synergistic potential, chlorophyll

Аннотация. Это исследование направлено на оценку синергетического эффекта трех штаммов бактерий (*Enterobacter ludwiigi*, *Bacillus simplex*, *Bacillus licheniformis*) по отдельности и в ассоциации при очистке почв, загрязненных кадмием (Cd). В качестве опытного растения использовали пшеницу. Семена пшеницы, обработанные комбинацией бактерий *Enterobacter ludwiigi* A11, *Bacillus licheniformis* A10 и *Bacillus simplex* A8, высевали в почвы, содержащие три различные концентрации Cd (2,4, 4,1, 8,2 мг/кг), и наблюдали за ростом и развитием растений в течение 30 дней. В конце исследований определяли высоту растений, биомассу стебля и корней. При использовании ассоциации бактерий было обнаружено, что параметры роста растений значительно стимулировались по сравнению с результатом, когда использовался одиночный штамм. Результаты показали, что

исследованные бактерии обладают синергическим потенциалом в обеспечении биоремедиации загрязненных Cd почв и усилении роста растений.

Ключевые слова: биоремедиация, тяжелые металлы, кадмий, бактерии, загрязнение, биомасса, синергический потенциал, хлорофилл

KIRISH

Hozirgi kunda jamiyat uchun eng muhim muammolardan biri bu favqulodda urbanizatsiya va sanoatlashuv natijasida yuzaga kelgan atrof muhitning og'ir metallar bilan ifloslanishidir. Og'ir metallarni zararsiz moddalarga parchalab bo'lasligi sababli bunday metallarni to'liq olib tashlash ularga qarshi kurashning yagona samarali usuli hisoblanadi [1–3]. Metall ifloslanishining qishloq xo'jaligi dalalariga/tuproqlariga ta'siri oziq-ovqat manbalarining ifloslanishiga va inson oziq-ovqat zanjiriga etib borishiga olib keladi.

Kadmiy (Cd) o'ta zaharli metall bo'lib, tabiiy muhitda kichik nisbatda mavjud, ammo antropogen ta'sirlar tufayli doimiy ravishda ortib boradi. Qishloq xo'jaligi erlarining kadmiy (Cd) bilan ifloslanishi nafaqat tuproq sifatini va ekinlar hosildorligini pasaytiradi, balki atrof-muhit va sog'liq uchun jiddiy xavf tug'diradi, bu esa uni dunyodagi eng muhim ekologik muammolardan biriga aylantiradi [4,5]

Bug'doy butun dunyoda, jumladan O'zbekistonda ham keng tarqalgan va muhim oziq-ovqat mahsuloti hisoblanadi. O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kadmiy bilan ifloslangan qishloq xo'jaligi erlarida o'sadigan bug'doy Cd ni o'zlashtira oladi, natijada "Cd bilan boyitilgan bug'doy" ishlab chiqariladi, natijada og'ir metallar kabi zaharli ifloslantiruvchi moddalar o'simlikga va butun oziq-ovqat zanjiri orqali inson salomatligiga ham salbiy ta'sir qilishi mumkin [6] Masalan, bug'doyda to'plangan As yurak-qon tomir tizimi va nafas olish tizimlariga, Pb va Cd kabi ifloslantiruvchi moddalar esa asab tizimi va buyraklar faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin [7,8].

Ushbu ishning maqsadi Cd(II) kationlari ning turli konsentrasiyalari bilan ifloslangan tuproqlarda og'ir metallarga rezistent bakteriyalar bilan inokulyasiyalangan bug'doyning o'sishi va rivojlanishini taxlil etishdan iboratdir.

MATERIALLAR VA USULLAR

Cd ionlarining turli konsentrasiyalari qo'shilgan tuproq namunalarini tayyorlash:

Ekspirimental tuproq yuqori qatlamdan (0-20 sm) yig'ilgan va yuqori sig'imli avtoklav sterilizatorida (JIBIMED LS-75HV, CHINA) 121 °C da 20 daqiqa davomida sterilizatsiya qilingan. Cd ning eritmaları distillangan suvda. Ekishdan oldin sterillangan tuproqlarga CdCl₂ ning 3 xil miqdordagi konsentratsiyasiga tutgan eritmalaridan qo'shildi (2.4, 4.1, 8.2 mg/kg). tayyorlandi va idishlardagi tuproqqa qo'shib, yaxshilab aralashtirildi. Nazorat sifatidagi tuproq namunalariga boshqa namunalarga qo'shilgan eritma hajmiga teng holatdagi distillangan suv qo'shildi.

Bug'doy o'simligini og'ir metallarga rezistent bakteriyalar bilan inokulyasiya qilish:

Enterobacter cloacae Uz_5, *Bacillus simplex* va *Bacillus licheniformis* shtammlari o'simlik o'sishi va rivojlanishini rag'batlantiruvchi xususiyatlariga ko'ra tanlandi va mos ravishda A11, A8 va A10 sifatida belgilandi. Ekspirimentda bakteriya shtammlari va ularning kombinatsiyasining to'rtta tasodifiy shakllari qo'llanilgan (A8, A10, A11, A8&A10&A11). Tuproq namunalariga bitta bakteriyaning 10⁶ KSHB (koloniya shakllantirish birligi) ml⁻¹ ni o'z ichiga olgan suspenziyasidan 15 ml o'simliklarning (bug'doy) rizosferasiga qo'shildi. Uchta

bakteriya kombinatsiyasi qo`shiladigan variantlarga esa har bir kultura suspenziyasidan 5,0 mldan qo`shilgan [9]. Nazorat variantlariga sterillangan pepton bulyonidan 15 ml qo`shdik [10].

Bir xil o'lchamdagi sog'lom urug'lar 1% li natriy gipoxlorit eritmasi bilan o'n daqiqa davomida sirt sterilizatsiya qilindi. Keyin sterillangan distillangan suv bilan yuvildi. Urug'lar oddiy suvda nish hosil qilgancha qoldiriladi. Nish chiqargan urug'lar 5 gramm etanol bilan dezinfektsiyalangan plastik idishlardagi (diametri 17 sm, chuqurligi 10 sm) tuproqqa ekildi va faol kulturalar suspenziyasi qo`shildi. Namunalar quyida keltirilgan:

- T1. Nazorat
- T2. 2,4 mg/kg Cd + urug`
- T3. 2,4 mg/kg Cd tuproq + urug` + A8
- T4. 2,4 mg/kg Cd tuproq + urug` + A10
- T5. 2,4 mg/kg Cd tuproq + urug` + A11
- T6. 4,1 mg/kg Cd tuproq + urug`
- T7. 4,1 mg/kg Cd tuproq + urug` + A8
- T8. 4,1 mg/kg Cd tuproq + urug` + A10
- T9. 4,1 mg/kg Cd tuproq + urug` + A11
- T10. 8,2 pdk Cd tuproq + urug`
- T11. 8,2 pdk Cd tuproq + urug` + A8
- T12. 8,1 mg/kg Cd tuproq + urug` + A10
- T13. 8,2 mg/kg Cd tuproq + urug` + A11
- T14. 2,4 mg/kg Cd tuproq + urug` + A8&A10&A11
- T15. 4,1mg/kg Cd tuproq + urug` + A8&A10&A11
- T16. 8,21mg/kg Cd tuproq + urug` + A8&A10&A11

Har bir namuna 3 ta takroriy nusxada tayyorlandi. O`simlikni o`stirish davrida tuproq nisbiy namligi 53-57%, saqlanish xarorati kunduzi/kechasi 27/21°C, yorug'lik intensivligi 100-200 mkmol m⁻² s⁻¹ va atrofdagi CO₂ darajasi 300-410 mkmol mol⁻¹ bo`lishi ta`minlandi. 30 kundan so`ng har bir idishdahi bug`doy o'simliklari yig'ib olindi. Keyin ularning poya va ildiz uzunligi, ho`l biomassasi Vernier kalibrleri va elektron analitik tarozi (EP214C 224S-CW, Switzerland) yordamida o'lchandi Ildiz va poyaning quruq vazni namunalari olti kun davomida quritish pechida 70 °C da quritilib, keyin massasi aniqlandi [11]. Xlorofill miqdori har bir o'simlik bargining uchta joyidan olingan namunani SPAD-502 Plus analizatorida o'lchash orqali aniqlangan.

NATIJALAR VA ULARNING MUXOKAMASI

O'rtacha va yuqori Cd kontsentratsiyasiga ega bo'lgan tuproqlarda o'stirilgan o'simliklarda barglarning sarg'ayishi, biomassa og'irligi va uzunligining nazoratga nisbatan kam ekanligi kuzatildi. Uchta (A3&A4&A7) bakteriya suspenziyalari qo`shilgan o'simlik xossalarida bitta bakteriya suspenziyasi qo`shilgan o`simlikka nisbatan sezilarli darajadagi ijobiy holatlar namoyon bo'ldi (1-jadval).

Xususan, A3&A4&A7 bakteriyalar suspenziyasi qo`shilgan variantlarda poya uzunligi 33 sm ni, faqat bitta A8 bakteriya suspenziyasi qo`shilgan namunada poya uzunligi 26 sm ni tashkil etdi. Bakteriyalar suspenziya qo`shilmagan nazorat variantida o'simliklarning balandligi eng past (22 sm) va biomassa miqdori ham kam ekanligi kuzatildi (1-jadval). Bundan tashqari, natijalar Cd stressining o'simlikning umumiy balandligiga kuchli ta'sir ko'rsatdi. O'simliklar poya uzunligida Cd ning turli konsentratsiyalarida sezilarli darajada farq kuzatilgan. Bunda nazorat tuproqda poya

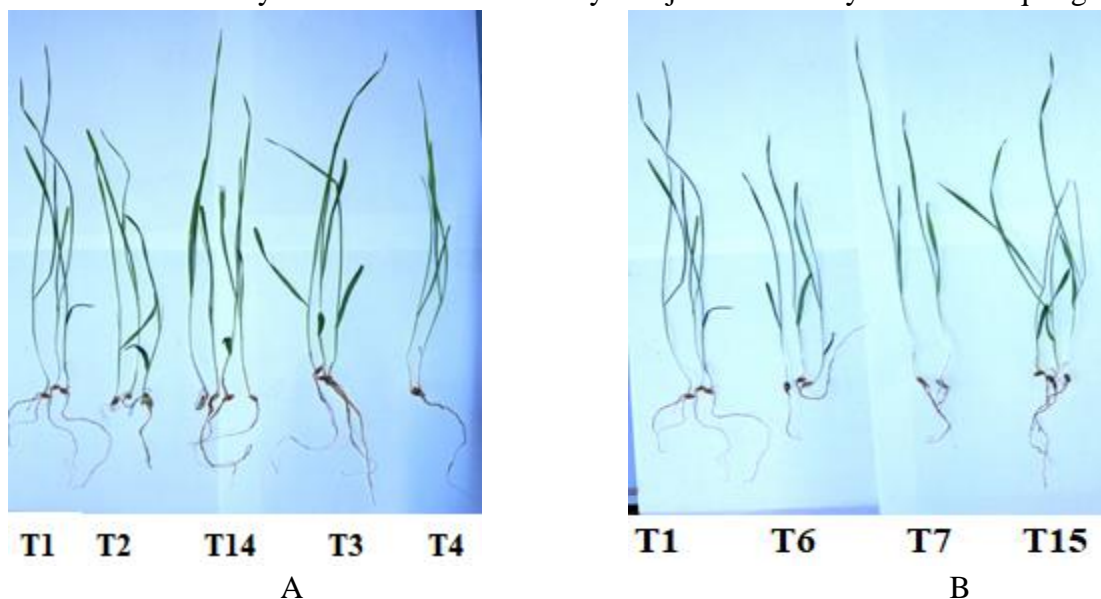
uzunligi eng yuqori - 22 sm va 8,4 mg/kg konsratsiyali tuproqda eng past - 13 sm bo'lishi aniqlandi. Cd ning zararli toksik ta'sirini kamaytirishda bakteriyalarning sezilarli ta'sirini o'simlik o'sish parametrlari va biomassa miqdoridagi o'zgarishlarida kuzatildi.

1-jadval. Cd ning turli konsratsiyalarida o'stirilgan bug'doy poya va ildizining uzunligi

Cd mg/kg	Poya uzunligi, sm				Ildiz uzunligi, sm			
	0	2,4	4,2	8,4	0	2,4	4,1	8,2
Nazorat	22	19,6	16	13	22,5	19,6	16,5	12
A8	26	22	20	18	23	21	18	16
A10	29	24	18	16	24	22	18	16
A11	29	25	21	18	26	24	21	17
A8&A10& A11	33	27	24	21	30	27	25	19

Cd ning 8,4 mg/kg konsratsiyali namunasida hech qanday bakteriya suspenziyasi qo'shilmagan holatda bug'doy poya va ildiz uzunligi mos ravishda 13, 12 sm hamda bakteriyalarning A11 shtammi suspenziyasi qo'shilgan namunada esa 18, 17 sm ni hosil qildi (1-rasm). Poya va ildiz uzunligi Cd ning 8,4 mg/kg konsratsiyasidagi namunasida A3&A4&A7 bakteriyalar assosiasiyasi suspenziyasi qo'shilgan holatda mos ravishda 21, 19 smni tashkil etdi. Ma'lumki *Bacillus cereus*, *B. atrophaeus*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. tropicus*, *B. subtilis*, *B. halotolerans*, *B. vallismortis* va *Enterococcus mundtii* bakterialari og'ir metallar bilan ifloslangan tuproqlardagi o'simliklarning o'sishiga ijobiy ta'sir ko'rsatish xususiyatlariga ega [25]

Bu natijalardan shunday xulosa qilish mumkinki, Cd ning o'simlik o'sish parametrlariga zararli ta'sirini kamaytirishda bir necha bakteriyalar jamoasidan foydalanish maqsadga muvofiq.



1-rasm. Cd turli konsratsiyasida o'stirilgan bug'doy poyasi va ildizining umumiy ko'rinishi: A) Cd ning 2,4 mg/kg konsratsiyasi; B) Cd ning 4,1 mg/kg konsratsiyasi

3 ta shtammni o'z ichiga olgan bakteriyalar assosiasiyasi suspenziyasi qo'llanilgan namunalardagi o'simliklar biomassasi, bitta bakteriya suspenziyasi qo'llanilgan variantlarga nisbatan yuqori natijani qayd etdi. Cd ionlarini tutmagan tuproqlarda A8&A10&A11 shtammlar assosiasiyasi suspenziyasi qo'llanilganda poya va ildizning ho'l vazni sezilarli darajada yuqori bo'lgan (0,69; 0,27 gr). Cd ning turli xil konsratsiyalarini tutgan tuproqlarga shtammlar alohida qo'llanilganda, eng yuqori samaradorlikni A11 shtammi namoyon etdi, ya'ni Cd ning 2,4 mg/kg

konsentratsiyasida poya vazni - 0,55 gr va ildiz - 0,18 gr bo'lishi kuzatildi. Cd ning 8,2 mg/kg konsentratsiyasida poya va ildizning eng kam vazni A10 shtammi suspenziyasi qo'llanilgan namunada qayd etildi.

Bug'doy poyasi va ildizining quruq biomassasi ham Cd konsentratsiyasi ortib borishiga proporsional ravishda kamayib borgan. Cd 0 mg/kg bo'lganda A8 kulturasi shtammi suspenziyasi inokulyatsiya qilinganda poyaning quruq biomassasi 0,18 gr bo'lsa, Cd 8,2 mg/kg konsentratsiyada 0,04 gr ni tashkil etdi. Cd ning 8,2 mg/kg konsentratsiyasida nazorat variantidagi o'simlik ildizining quruq biomassasi 0,02 mg/kg ni, A11 kulturasi qo'shilganda ildizning quruq biomassasi 3 marta ortgani kuzatildi.

Natijalarga ko'ra xlorofill miqdori Cd konsentratsiyasi bilan teskari bog'liqlikka ega edi, ya'ni o'simliklarda eng yuqori bo'lgan (23,3) xlorofill miqdori 0 mg/kg Cd konsentratsiyasida va eng past (14,7) qiymat 8,4 mg / kg Cd konsentratsiyasida qayd etilgan. Xlorofill miqdori turli xil Cd konsentratsiyalarida bir-biridan sezilarli darajada farq qiladi. o'simliklardan A8A10A11 bakteriyalar suspenziyasi ta'sirida maksimal o'rtacha xlorofill miqdori (35,5) 0 mg/kg Cd konsentratsiyasida va (23,4) minimal xlorofill miqdori 8,4 mg / kg Cd konsentratsiyasida hech qanday bakterial suspenziya qo'llanilmagan variantda aniqlandi.

Bir qator tadqiqotlarda rizobakteriyalar tuproq toksinlari va ifloslantiruvchi moddalarni tuproqdan olib tashlashda hamda turli abiotik stresslar ostida o'simliklarning o'sishini rag'batlantirishda muhim rol o'ynaydi [12,13]. Bitta shtamm suspenziyasi o'simlikning biomassa hosil qilishini rag'batlantirgan bo'lsa-da, uchta shtamm jamoasi qo'llanilgandagi kabi yuqori samaradorlik kuzatilmadi. Bir nechta tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, *Klebsiella pnevmoniya* va *Klebsiella* sp yuqori miqdorda indolyl-3-sirka kislotasi (ISK) kabi o'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi fitogormonlar va o'simlik o'sishini etilenga bog'liq tartibga solish tizimining asosiy fermenti 1-aminosiklopropan-1-karboksilat-deaminaza (ASK-deaminaza) ishlab chiqarishi hosil bo'lgan yuqori biomassaga sabab bo'lishi mumkin [14]. Ba'zi mualliflar og'ir metallarning bioremediatsiyasida alohida olingan bitta shtammdan ko'ra bir nechta bakterial shtammlar qo'llanilishi samaraliroq bo'ladi deb ta'kidlashgan [15–17]. *Klebsiella* sp va *Enterobacter* sp ning yuqori Cd konsentratsiyasiga chidash qobiliyati og'ir metallar bilan ifloslangan tuproqlarda o'simliklarning o'sishiga yordam beradi [12,18]. Ularning og'ir metallarga chidamliligi, metallarning toksikligi va metall turlarini o'simlik uchun kamroq zaharli va eruvchan shakllarga o'zgartirishi, o'simliklarning o'sishini rag'batlantirishi stress sharoitida ham o'simlik biomassasining ko'payishiga olib keladi. Tuproq mikroorganizmlari azotni tartibga solishda, o'simliklar va hayvon qoldiqlarini parchalash orqali yer ekotizimlarida uglerod aylanishida ham muhim rol o'ynaydi [19].

XULOSA

Tuproqda Cd konsentratsiyasi ortib borishi bilan, o'simlik o'sish parametrlari, shu jumladan o'simlik poya va ildiz uzunligi, ularning ho'l va quruq vazni sezilarli darajada kamayadi. Biroq, o'simliklar bakteriyalar suspenziylari bilan inokulyatsiya qilinganda o'lchangan o'sish parametrlari ortishi kuzatildi. Bakteriyalarni alohida va birgalikda (assosiasiyada) qo'llash natijasida o'simlik o'sish parametrlari va xlorofill miqdorida sezilarli farqlar aniqlandi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, metall konsentratsiyasining oksidativ stress ta'siriga qarshi bir nechta mikroorganizmlar suspenziyasini qo'llash yakka mikroorganizm suspenziyasini qo'llashga nisbatan yuqori samaradorlikka ega ekan. Og'ir metallarga nisbatan yuqori qarshilik va rezistentlikka ega bo'lgan

mikroorganizmlar va ularning sinergetik qobiliyatlaridan bioremediatsiya jarayonini amalga oshirishda foydalanish mumkin.

REFERENCES

1. Bian Z, Sun L, Tian K, et al. (2021) Estimation of Heavy Metals in Tailings and Soils Using Hyperspectral Technology: A Case Study in a Tin-Polymetallic Mining Area. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.
2. He Z, Xu Y, Yang X, et al. (2022) Passivation of heavy metals in copper–nickel tailings by in-situ bio-mineralization: A pilot trial and mechanistic analysis. *Science of The Total Environment* 838: 156504.
3. Usmonkulova A, Shonakhunov T, Kadirova G (2022) Activity of nitrogen-fixing cyanobacteria under salinity and heavy metals stress. *Journal of Pharmaceutical Negative Results* 13: 355–363.
4. Dad K, Nawaz M, Ibrahim M, et al. (2021) A Review on the Adverse Impacts of Cadmium on Ecosystem and its Refinement Strategies. *Pakistan Journal of Agricultural Research*.
5. Sizmur T, Richardson J (2020) Earthworms accelerate the biogeochemical cycling of potentially toxic elements: Results of a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 148: 107865.
6. Zhou J, Zhang C, du B, et al. (2020) Effects of zinc application on cadmium (Cd) accumulation and plant growth through modulation of the antioxidant system and translocation of Cd in low- and high-Cd wheat cultivars. *Environmental Pollution* 265: 115045.
7. An FQ, Li HH, Zhao QQ, et al. (2020) Study on isolation, identification and lead biosorption capability of a lead-tolerant penicillium sp. Pb-g from contaminated soil. *Applied Ecology and Environmental Research*.
8. Yang YY, Zhang JX, Xiao X, et al. (2021) Speciation and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Soils from Overlapped Areas of Farmland and Coal Resources in Northern Xuzhou, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.
9. Duraisamy P, Sekar J, Arunkumar AD, et al. (2020) Kinetics of Phenol Biodegradation by Heavy Metal Tolerant Rhizobacteria *Glutamicibacter nicotianae* MSSRFPD35 From Distillery Effluent Contaminated Soils. *Frontiers in Microbiology*.
10. Yankey R, Karanja JK, Okal EJ, et al. (2021) A consortium of plant growth-promoting rhizobacteria synergistically assists jujuncao (*Pennisetum giganteum*) to remediate cadmium contaminated soils. *Applied Ecology and Environmental Research*.
11. Badawy IH, Hmed AA, Sofy MR, et al. (2022) Alleviation of Cadmium and Nickel Toxicity and Phyto-Stimulation of Tomato Plant L. by Endophytic *Micrococcus luteus* and *Enterobacter cloacae*. *Plants (Basel)* 11: 2018.
12. Pramanik K, Mitra S, Sarkar A, et al. (2018) Alleviation of phytotoxic effects of cadmium on rice seedlings by cadmium resistant PGPR strain *Enterobacter aerogenes* MCC 3092. *J Hazard Mater* 351: 317–329.
13. Rajendran SK, Sundaram L (2020) Degradation of heavy metal contaminated soil using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Assess their remediation potential and growth influence of *Vigna radiata*. L. *International Journal of Agricultural Technology*.

14. Gupta K, Chatterjee C, Gupta B (2012) Isolation and characterization of heavy metal tolerant Gram-positive bacteria with bioremedial properties from municipal waste rich soil of Kestopur canal (Kolkata), West Bengal, India. *Biologia* 67: 827–836.
15. Cao X, Luo J, Wang X, et al. (2020) Responses of soil bacterial community and Cd phytoextraction to a *Sedum alfredii*-oilseed rape (*Brassica napus* L. and *Brassica juncea* L.) intercropping system. *Science of the Total Environment*.
16. Mafiana MO, Kang X-H, Leng Y, et al. (2021) Petroleum contamination significantly changes soil microbial communities in three oilfield locations in Delta State, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*.
17. Varjani S, Upasani VN, Pandey A (2020) Bioremediation of oily sludge polluted soil employing a novel strain of *Pseudomonas aeruginosa* and phytotoxicity of petroleum hydrocarbons for seed germination. *Sci Total Environ* 737: 139766.
18. Chakraborty S, Das S, Banerjee S, et al. (2021) Heavy metals bio-removal potential of the isolated *Klebsiella* sp TIU20 strain which improves growth of economic crop plant (*Vigna radiata* L.) under heavy metals stress by exhibiting plant growth promoting and protecting traits. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
19. Ahmad M, Naseer I, Hussain A, et al. (2019) Appraising endophyte - Plant symbiosis for improved growth, nodulation, nitrogen fixation and abiotic stress tolerance: An experimental investigation with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy*.