

氏名	HELMI HAMDİ
授与した学位	博士
専攻分野の名称	学術
学位授与番号	博甲第3276号
学位授与の日付	平成18年 9月30日
学位授与の要件	自然科学研究科資源管理科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	Study on the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil: physico-chemical, microbiological and ecotoxicological characterization (土壤中 PAHs のバイオレメディエーションに関する研究:物理化学, 微生物学, 生態毒性学的特性)
論文審査委員	教授 青山 勲 教授 米谷俊彦 助教授 中島 進

学位論文内容の要旨

Chapter 1. Effects of anthracene, pyrene and benzo[a]pyrene spiking and sewage sludge compost amendment on soil ecotoxicity during a short-term bioremediation process

In the present greenhouse study, PAH dissipation and soil toxicity changes during a short-term bioremediation based on weekly water additions are described. Through regular soil sampling, we investigated: (i) the disappearance of anthracene (three rings), pyrene (four rings) and benzo[a]pyrene (five rings) in the presence or absence of sewage sludge compost; (ii) the ecotoxicity of soil and elutriate samples using bioassays; and (iii) the correlation between bioassays and physico-chemical analyses. Results of the ecotoxicological assessment are hereby described.

Chapter 2. Solid-phase bioassays and soil microbial activity to evaluate the residual toxicity of PAHs and sewage sludge compost after a long-term bioremediation process

In this chapter, the long-term impact of the bioremediation process started at chapter 1 is explored. The residual toxicity of PAH-spiked soils is assessed using physico-chemical analyses, soil microbial activities (microbial growth and enzymatic activities) and solid-phase bioassays.

Chapter 3. Ecotoxicological and analytical assessment of effects of phytoremediation on degraded soils containing aged PAHs

The sorption of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to soil and organic matter matrices has been hypothesized to reduce PAH availability to biodegradation and phytoextraction. One of the main objectives of this phytoremediation study was to enhance the dissipation of weathered PAHs, mainly the recalcitrant B[a]P seeing that long-term bioremediation simulating landfarming could not achieve complete removal of spiked hydrocarbons. Moreover, moderate water additions coupled with SSC amendment led, at long-term, to salt accumulation and soil pH reduction: warning signs for degraded soils. The principal changes in soil physico-chemical and biological properties subsequent to six-month phytoremediation process using lucerne (*Medicago sativa* L.) are hereby discussed and compared to the results presented in chapter 2.

Chapter 4. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions

PAH dissipation was also examined under microcosm conditions. In this independent study, the effects of biostimulation and bioaugmentation on PAH degradation are investigated. PAH-spiked soil microcosms were separately amended with aged PAH-contaminated soil; sewage sludge compost; and decaying rice straw and incubated for 120 d at 25 °C. Regular CO₂ measurements and monthly soil samplings permitted to monitor: (i) the efficacy of applied amendments in removing anthracene, pyrene and benzo[a]pyrene concomitantly spiked at 1000 mg per kg dry soil each; (ii) the changes in soil toxicity by employing physico-chemical analyses and solid-phase bioassays; (iii) the soil microbial activity based on soil respiration and enzymatic activities, with a special focus on extracellular ligninolytic enzymes.

論文審査結果の要旨

化石燃料の不完全燃焼、産業活動、森林火事などによって生成されるPAHsは難分解性の汚染物質で陸域や水圏生態系に存在する細胞毒性、遺伝毒性、発ガン性などの毒性を有しておりヒトの健康に対して大きなリスクを呈している。それ故環境汚染物質としてのPAHsの除去、解毒は重要な課題となっている。

本研究は、人工的にPAHsをスパイクした土壌のバイオレメディエーションの過程を物理化学、微生物学、生態毒性学的特性の点から検討したものである。まずポット試験で、スパイクしたアントラセン（3環）ピレン（4環）、ベンゾaピレン（5環）の消失の時間変化を温室で調べた。さらにマイクロコズムスケールの実験を行い、土壌リグニン分解酵素活性に焦点を当ててPHA分解に対して、バイオオーギュメンテーション、バイオレメディエーション技術について検討した。PHAs濃度の減少は初期の段階で著しかった。実験後の残存量はベンゼン環のリング数や下水汚泥量と正の相関があった。*Daphnia magna* に対する土壌溶離液の毒性が明らかであった。レタスの根長はコントロール土壌を含み、溶離液によって阻害された。今回初めて用いたオストラコッド *Heterocypris incongruens* を用いた固相バイオアッセイ法は、溶離液中にはPHAsは検出できなかったが、土壌に吸着されたPHAの毒性を検出することができた。B[a]Pはなお長期間残存していたが、下水汚泥を混ぜた土壌中でANTやPYNはほとんど完全に分解していた。コンポストを添加すると生物廃棄物を安定化させ、バイオレメディエーションに有効であるが、実験終了時には土壌の塩分を増加させ、pHの減少をもたらせた。下水汚泥を加えた場合土壌中には少数のバクテリアしかいないにもかかわらず、土壌の酵素活性（dehydrogenase, phosphomonoesterase, fluorescein diacetate hydrolysis, lignin peroxidase）は影響されず、バイオレメディエーション効率はPAH分解者の数よりもPAHsのバイオアビティによって制限されるようであった。

これらの研究成果は実際に適応するに際して科学的知見与えており、本研究は博士（学術）に値すると判断された。