OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Selection of duckweed species for efficient phytoremediation of selenium-contaminated aquatic environments
Author(s)	Ascencio Damian, Jorge Enrique
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105458
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name （ASCENCIO DAMIAN JORGE ENRIQUE）	
Title	Selection of duckweed species for efficient phytoremediation of selenium-contaminated aquatic environments （セレン汚染水環境の効率的なファイトレメディエーションに適用するウキクサ種の選定）

Abstract of Thesis

Selenium (Se) is an essential micronutrient for living organisms and a critical material for various industrial applications. However, at elevated concentrations, Se acts as an oxidant exerting phyto- and zoo-toxicity, posing potential risks to aquatic ecosystems and human health. While duckweed-based phytoremediation is considered a cost-efficient and eco-friendly alternative for cleanup of Se pollution, the capacity of duckweed for rapid Se biosorption remains largely unexplored. Furthermore, the application of duckweed for long-term Se remediation necessitates optimization to ensure its effectiveness and sustainability. Therefore, the objectives of this study were: (1) to select an effective duckweed species for rapid Se biosorption and (2) to identify Se-tolerant species capable of sustaining Se removal while maintaining healthy growth during the remediation period.

Chapter 1 presented the background of this study, including the essentiality and potential toxicity of Se and its conventional treatment technologies in water/wastewater together with their limitations. Among these, phytoremediation by duckweed exhibits promising capabilities for cleanup of Se pollution while recovering Se as a resource; this potential served as the basis for establishing the objectives in this study.

Chapter 2 systematically reviewed recent reports (2015 – 2024) on Se pollution in aquatic environments to determine environmentally relevant concentrations. This analysis revealed that prevalent Se concentrations range from 100 to 1000 µg/L originating from both natural and anthropogenic sources, whereas higher concentrations of up to 4475 µg/L predominantly originated from anthropogenic sources. These findings provided the experimental concentrations for the Se removal studies in Chapters 3 and 4.

Chapter 3 evaluated the capacity of six live duckweed species to remove soluble Se as an effective biosorbent in batch experiments. The results demonstrated that *Lemna gibba* (Lg) was capable of significantly removing Se(VI) and Se(IV) at relevant concentrations within a short period of 90 min, though negligible removal was observed for Se(VI) at concentrations < 0.2 mg-Se/L. The adsorption process was best described by the Sips isotherm, suggesting adsorption onto heterogeneous surfaces, with maximum equilibrium adsorption capacities of 0.96 and 1.17 mg-Se/g dry weight for Se(VI) and Se(IV), respectively. Furthermore, these adsorption capacities were higher than those of other reported Se sorbents, indicating the feasibility of Lg as a biosorbent capable of recovering Se as a resource for potential use.

Chapter 4 addressed phytoremediation sustainability by selecting Se-tolerant duckweeds suitable for long-term cleanup of Se pollution. Six duckweed species were evaluated for their growth capacity and healthy status when exposed to Se(VI) and Se(IV) in the presence of low and high sulfate concentrations (5.2 mg/L and 203 mg/L, respectively). *Landoltia punctata* (LAp) and *Lemna aequinoctialis* (La) were selected as potential candidates and were further tested for their Se removal capacity in batch experiments for seven days. LAp and La demonstrated high removal efficiencies (> 40%) for both Se(VI) and Se(IV) at relevant concentrations while maintaining healthy growth; however, Se(VI) removal was negligible under high sulfate conditions. Notably, La exhibited superior Se removal and accumulation capabilities compared to LAp, suggesting its potential as a preferred phytoremedial agent suitable for valorization.

Chapter 5 presented the summary and conclusions of this study, illustrating the potential uses of the selected duckweeds. Specifically, Lg as an effective Se biosorbent can be coupled with wastewater treatment or eutrophication control as its supply source, whereas the sustainable growth of La under Se exposure supports its application in a Se phytomining scheme. Based on the knowledge obtained, future perspectives regarding the practical applicability of duckweed in real-world Se contaminated aquatic environments were proposed.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（ ASCENCIO DAMIAN JORGE ENRIQUE ）	
	（職）	氏　　名
論文審査担当者	主 査　　教 授 副 査　　教 授 副 査　　准教授	池　道彦 佐藤　文信 井上　大介

論文審査の結果の要旨

セレン（Se）は、生物に必須の微量栄養素であり、様々な工業分野でも利用されるレアメタルである。一方、高濃度の Se は生物に対して毒性を示すことから、水環境汚染物質としても知られている。ウキクサを用いたファイトレメディエーションは低コストで環境適合性に優れる Se 汚染浄化技術として期待されるが、ウキクサの Se 除去特性には不明な点が多く、効率的な浄化手法が確立されていない。そこで本論文では、Se の迅速吸着に効果的なウキクサ種、ならびに健全な成長を維持しながら持続的な Se 除去が可能な Se 耐性に優れるウキクサ種を特定し、それらを利用した Se のファイトレメディエーション技術を確立することを目的とした一連の研究成果について取りまとめており、緒論である第 1 章、Se による水環境汚染実態に関する既往調査を整理している第 2 章、本論となる第 3 章および第 4 章、結論である第 5 章から構成されている。

緒論である第 1 章では、本研究の背景として、Se の有用性と潜在的毒性の二面性、従来の Se 汚染排水・環境の浄化技術とその制約を包括的に整理したうえで、ウキクサを用いたファイトレメディエーションが、Se 汚染浄化と資源としての Se 回収の両面で有望であることを示し、本研究の目的と位置づけを明確化している。

第 2 章では、2015-2024 年に出版された Se による水環境汚染の報告を体系的に調査している。その結果、人為的な Se 汚染は最大で 4475 μg/L に達する場合もあるが、天然起源及び人為起源の Se 汚染の多くは 100～1000 μg/L であることを明らかにし、その知見を第 3 章および第 4 章の実験検討における Se 濃度設定の参考としている。

第 3 章では、6 種のウキクサを対象として、回分試験により溶存性 Se の吸着除去能を評価している。一連の検討の結果から、*Lemna gibba* が Se(VI)および Se(IV)の吸着に有望であり、その吸着現象は Sips モデルに最も適合することを明らかにしている。さらに、*L. gibba* の Se 吸着能（Se(VI)：0.96 mg-Se/g dry weight、Se(IV)：1.17 mg-Se/g dry weight）が既存の Se 吸着材に勝っており、吸着した Se の資源利用も可能なバイオ吸着材として有望であることを示唆している。

第 4 章では、低濃度及び高濃度の硫酸塩存在下で、6 種のウキクサを Se(VI)あるいは Se(IV)に曝露し、成長速度と健康状態を評価することにより、Se 耐性に優れ、持続的な Se 汚染浄化に有望なウキクサ種を選定している。スクリーニングの結果から、*Landoltia punctata* と *Lemna aequinoctialis* の 2 種を Se 耐性に長けたウキクサ種として選定し、さらに 7 日間の回分試験を実施し、それらの Se 除去能を調査している。その調査の結果から、両種ともに、高濃度硫酸塩存在下における Se(VI)除去を除き、汚染環境で想定される濃度の Se(VI)及び Se(IV)を、健康状態を損なうことなく、40%を上回る効率で除去できることを示している。特に、*Landoltia punctata* は *Lemna aequinoctialis* に比べて Se の除去・蓄積能に優れ、資源利用の観点でも有用な浄化植物であると示唆している。

第 5 章では、一連の研究の成果し総括したうえで、選定したウキクサ種が汚染環境からの Se の除去及び資源として

の回収に有用であることを結論づけ、適用方法を提案するとともに、これらを用いたファイトレメディエーション技術の実用化に向けた課題と展望について述べている。

以上のように、本論文は、世界各地に分布するウキクサを活用した、資源としての Se 回収も可能な Se 汚染環境浄化技術の確立に寄与する重要な知見を導出している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。