

令和 5 年 7 月 5 日

～生育を阻害する毒性元素に汚染された土壌でも  
安全な農産物を栽培することが可能になる～  
汚染土壌でも生育可能なイネ科植物「シラゲガヤ」についての  
レビュー論文を発表

福島大学環境放射能研究所 イスマイル・ラハマン准教授を代表とする研究グループは、野生のイネ科植物「シラゲガヤ」の生態学的な側面についての調査結果をレビュー論文として発表しました。この論文は、シラゲガヤが、ヒ素、鉛、カドミウム、亜鉛などの潜在的毒性元素（PTE）に対して示す生理学的反応と耐性メカニズムに焦点を当てています。また、この植物が PTE に対して発揮する耐性と排除のメカニズムを解明することで、汚染された土地の効率的な再生に利用できる可能性を示しています。

潜在的毒性元素（PTE）による土壌汚染は、世界共通の課題です。工業化、都市化、および現代的な農業生産によって人為的に環境に放出された PTE は、食物連鎖を通じて人間および動物の健康を損なう可能性があります。この論文では、PTE で汚染されてしまった土壌の再生において、シラゲガヤが発揮するかもしれない潜在的な能力を紹介しています。

◇ 野生のイネ科植物シラゲガヤの生態

この論文では、シラゲガヤ（別名：ヨークシャー・フォグまたはベルベット・グラス、学名：*Holcus lanatus* L.）の特徴や世界的な分布について紹介しています。この適応力の高い植物は、日本を含むほぼ全世界のさまざまな陸上の生息地や土壌条件で繁茂しています。この植物は種子を大量に結実させ裸地に効率的に侵入する能力を持つ一方で、土壌中に夥しい量の埋土種子を保存することができます。また、飼料として利用される場合もあります。さらに、蝶類にとって貴重な食物源となっています。

◇ シラゲガヤの PTEs に対する生理学的反応

この論文では、土壌にヒ素（As）、鉛（Pb）、カドミウム（Cd）、亜鉛（Zn）などの潜在的毒性元素（PTE）が単独、あるいは複数存在する場合に、シラゲガヤが示す生理学的応答についての既存の研究結果を紹介しています。図 1 は、シラゲガヤのヒ素耐性（●）と非耐性（○）株にリン肥料を与えた実験の結果です。耐性株では新芽も根も 100mg Kg<sup>-1</sup> 土壌で成長が促進されています。非耐性株ではリン肥料は根の成長には効果が小さいものの新芽では、100mg Kg<sup>-1</sup> 土壌の濃

度まで成長が促進されました。これはヒ素毒性の感受性に、根から芽の間のリン輸送系が関係することを示唆しています。図 2 は、シラゲガヤのカドミウムに対する耐性を示しています。金属汚染地域から採取したシラゲガヤでは根の中のカドミウム濃度が高くなっても、新芽に移動するカドミウムの量が高くないことが観察されています。

#### ◇ シラゲガヤの PTEs に対する耐性のメカニズム

この論文では、シラゲガヤが PTE に対する耐性を獲得するメカニズムを説明しています。最初の戦略は、PTE の吸収速度の低下です。シラゲガヤはリン/ヒ素 (P/AsV) の輸送系を抑制し、ヒ素の吸収速度を低下させることでヒ素に対する耐性を実現しています。土壌中に高濃度のカドミウムが存在する場合には複数のメカニズムが働くことが知られています。シラゲガヤは、カドミウムを細胞壁に結合させる、あるいは活発に排出する、液胞内に隔離する、という方法で毒性の影響を受けやすい組織にカドミウムが分布することを抑制しています。こうしてシラゲガヤは、カドミウムが、根から吸収されないようにし、根から吸収された場合でも茎への移動を抑制しているのです。

遺伝子組み換えによって、PTE 結合ペプチド（フィトキレチンやグルタチオンなど）の合成を増加させ、PTE に対する耐性を持たせた植物では、シラゲガヤが摂取するカドミウム (Cd)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) などの PTE の組み合わせによっては、耐性に対して拮抗的、または相乗的な効果が観察される場合がありますが、概ね根から茎への PTE の移動は減少します。

草本植物の根に共生する菌類である菌根菌は、植物が土壌成分を原因とするストレスに耐え、適応するよう扶助します。ヒ素 (As)、カドミウム (Cd)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) などの PTE で汚染された土壌で生育するシラゲガヤでも、共生するアーバスキュラー菌根菌が PTE の吸収を阻害する障壁を形成することで、植物の毒性影響が緩和される可能性があります。

#### ◇ 金属汚染地域での栽培に PTE 耐性植物由来の PTE 耐性遺伝子を利用する

土壌中に存在する PTE は、作物の生産性と品質にとって深刻な脅威です。また、土壌から植物に取り込まれた PTE が食物連鎖に入り込み、人の健康に被害をもたらす可能性があります。しかし、植物の中には PTE に対する耐性や排出メカニズムを有する種が存在します。シラゲガヤもその一つです。この特性によりシラゲガヤは金属汚染土壌において有力な栽培作物の候補です。たとえば、PTE 汚染地域から PTE を含まない飼料の供給を期待できます。さらに、金属汚染土壌に生育する野草は PTE に対する耐性をもたらす遺伝子の供給源となり得ます。この遺伝子を農作物に導入し、PTE 耐性や排出メカニズムを発現させること

ができれば、PTE に汚染された土壌で安全な農産物を栽培することが可能になります。

【掲載誌・論文】

・掲載誌: *Environmental Science and Pollution Research*

(<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26472-w>)

・公開日: 2023 年 3 月 30 日付(オープンアクセス)

・雑誌掲載日: 2023 年 4 月 30 日付

・タイトル: “Physiological responses of the wild grass *Holcus lanatus* L. to potentially toxic elements in soils: A review”

・著者: Ismail M.M. Rahman,<sup>a</sup> Bayezid M. Khan<sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Kanayagawa 1, Fukushima, 960-1296 Japan

<sup>b</sup> Institute of Forestry and Environmental Science, University of Chittagong, Chattogram 4331, Bangladesh

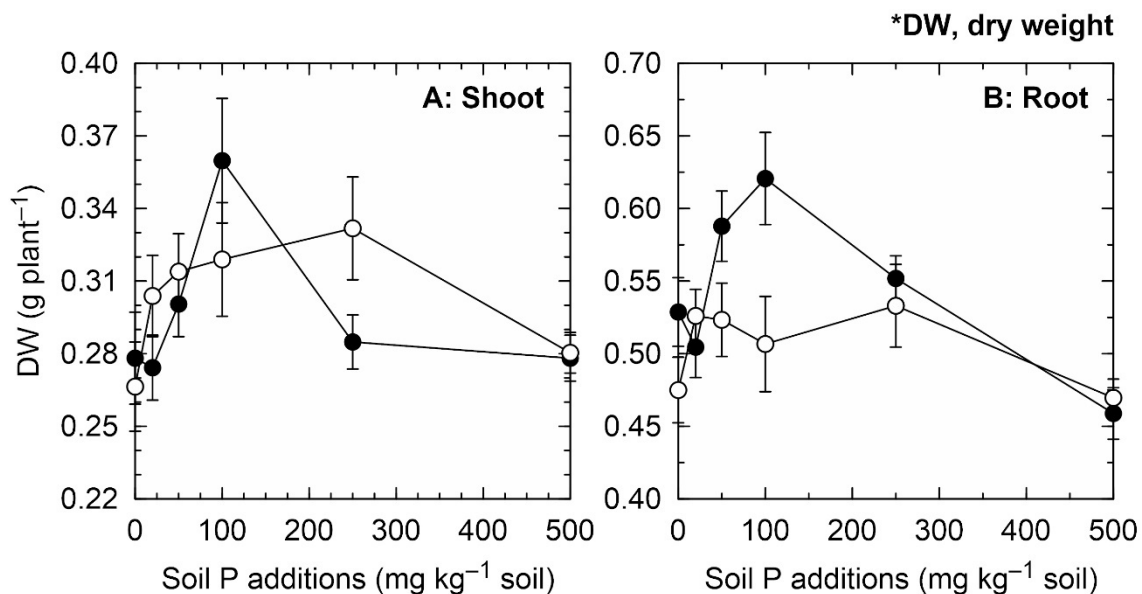


図 1: シラゲガヤのヒ素耐性(●)と非耐性(○)表現型にリン酸肥料を施肥することにより新芽と根の重量に現れる変化を示す。許可を得て Khan, et al. (Environ. Exp. Bot. 2013, 96, 43-51) から転載。

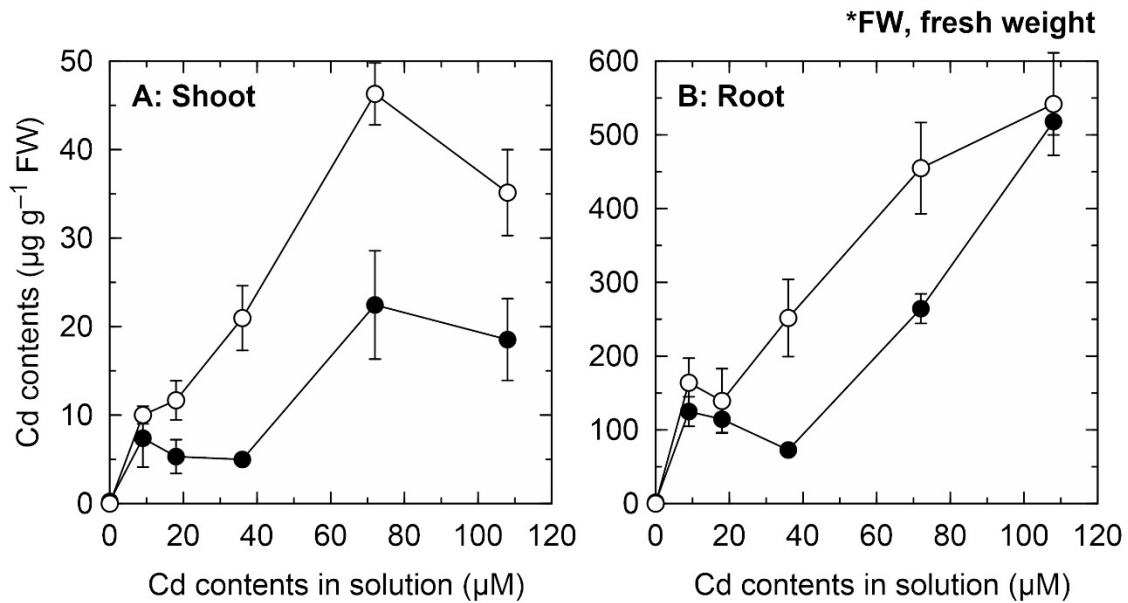


図 2: 金属汚染地域 (Hallen Wood, Avonmouth, UK) (●) と非汚染地域 (Totley, Sheffield, UK) (○) で採取したシラゲガヤのクローンをそれぞれカドミウムを含む養液で水耕栽培した場合に、新芽と根の組織部と外部に蓄積されたカドミウムの重量の関係を示す。許可を得て Hendry, et al. (Acta Bot. Neerl. 1992, 41, 271–281) から転載。

(お問い合わせ先)

環境放射能研究所

Tel: 024-504-2114

メール: ier@adb.fukushima-u.ac.jp

准教授 ラハマン・イスマイル

Tel: 024-503-2997

メール: r789@ipc.fukushima-u.ac.jp

福島大学総務課広報係

Tel: 024-548-5190

メール: kouho@adb.fukushima-u.ac.jp

掲載誌

Environmental Science and Pollution Research (2023) 30:54470–54482

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26472-w>

SPRINGER NATURE

REVIEW ARTICLE

論文タイトル

# Physiological responses of wild grass *Holcus lanatus* L. to potentially toxic elements in soils: a review

著者

Ismail M.M. Rahman<sup>1</sup> · Bayezid M. Khan<sup>1,2</sup>

✉ Ismail M.M. Rahman  
immrahman@ipc.fukushima-u.ac.jp

<sup>1</sup> Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, 1 Kanayagawa, Fukushima City, Fukushima 960-1296, Japan

<sup>2</sup> Institute of Forestry and Environmental Sciences, Faculty of Science, University of Chittagong, Chattogram 4331, Bangladesh

Received: 29 September 2022 / Accepted: 11 March 2023 / Published online: 30 March 2023

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2023

論文URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26472-w>

公開日: 2023年3月30日付

謝辞

本研究はJ日本学術振興会(JSPS)科研費 特別研究員奨励費 19F19109 および基盤研究(C) 21K12287の助成を受けたものです。

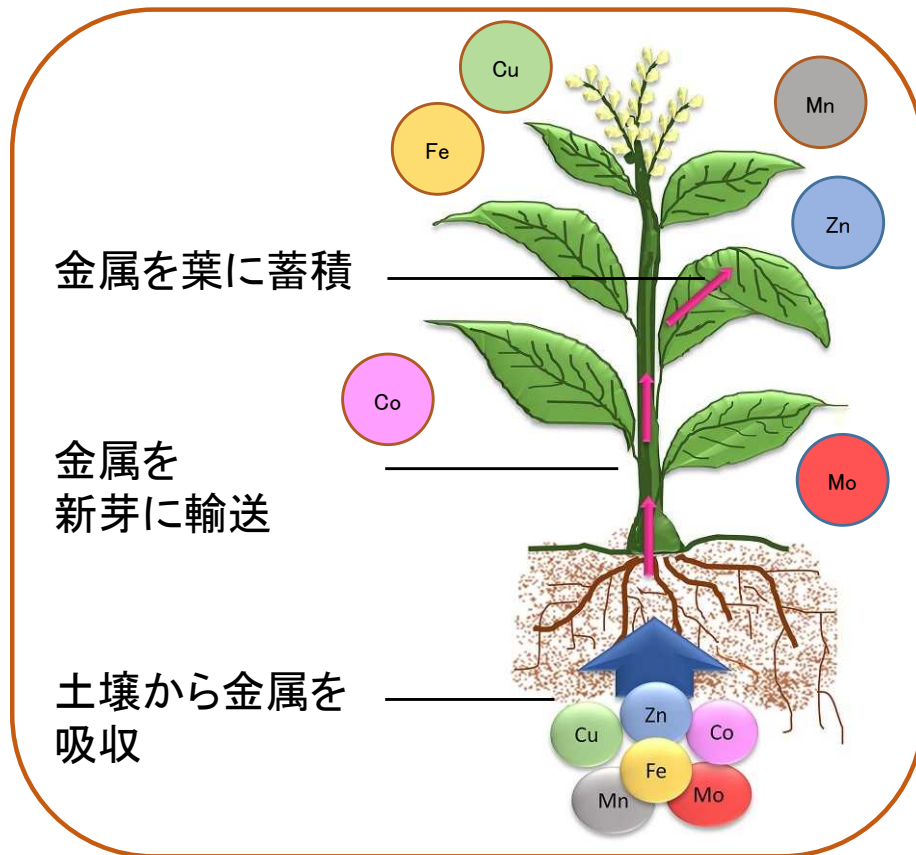
ハイライト

- ✓ 野生のイネ科植物「シラゲガヤ」は様々な環境ストレス下にある土壌で繁茂
- ✓ 潜在的毒性元素に対するシラゲガヤの反応について紹介
- ✓ 潜在的毒性元素に対するシラゲガヤの耐性メカニズムについて解説



地上部位に金属を蓄積する植物

地上部位に金属を蓄積しない植物



潜在的有害元素(PTE)で汚染された土壌を浄化するために植物がますます利用されています。

一部の植物種は、土壌中の潜在的有害元素(PTE)を根から吸収し、それを芽や葉などに輸送します。<sup>1</sup>

吸収したPTEの大部分を地下部位に蓄積して、地上部位への輸送をほとんど行わない植物種も存在します。<sup>2</sup>

**全ての金属が植物にとって有害か？**

植物にとっては微量な濃度の金属が必須です。しかし、必須金属であっても過剰な濃度で存在すると、植物の健康に悪影響を及ぼす可能性があります。

<sup>1</sup>Jogawat, et al., 2021, *Physiol Plant*, 173, 259–275; <sup>2</sup>Ghori, et al., 2016, In: Ahmad, P. (Ed.), *Plant Metal Interaction*. Elsevier, pp. 385–409;より引用し一部改変

この論文では、シラゲガヤ(別名:ヨークシャー・フォグまたはベルベット・グラス、学名:*Holcus lanatus* L.)の特徴について紹介しています。シラゲガヤは日本を含むほぼ全世界のさまざまな陸上の生息地や土壌条件で繁茂する適応力の高い植物です。また、根からPTEを吸収した場合でも茎への移動を抑制するという特異な能力を有しています。<sup>1</sup>

- ✓ この植物は種子を大量に結実させ裸地に効率的に侵入する能力を持つ一方で、土壌中に夥しい量の埋土種子を保存することができます。<sup>1</sup>
- ✓ また、飼料として利用される場合もあります。さらに、蝶類にとって貴重な食物源となっています。<sup>1</sup>



満開期を迎えた  
シラゲガヤの小花



科 : イネ科  
 亜科 : イネ科亜科  
 属 : シラゲガヤ属  
 種 : シラゲガヤ

外来生物法適用の有無<sup>2</sup>

シラゲガヤは外来種ですが外来生物法での規制対象ではありません。

<sup>1</sup>Rahman and Khan, 2023 <本研究>; <sup>2</sup><https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/80750e.html> より引用

図の出典 Rasbak, "Holcus Lanatus." Wikipedia, Wikimedia Foundation, 10 Jun. 2023, [https://en.wikipedia.org/wiki/Holcus\\_lanatus](https://en.wikipedia.org/wiki/Holcus_lanatus), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>. Accessed 4 Jul. 2023.

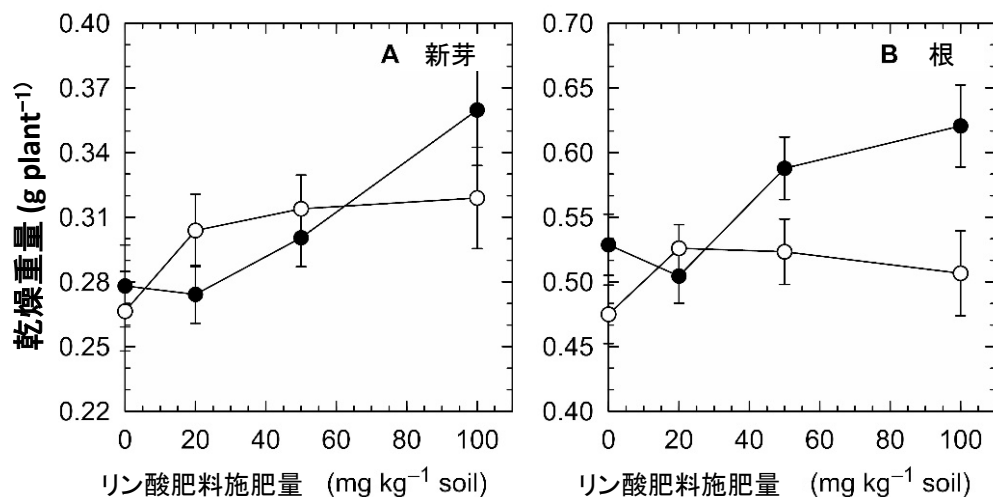


図 1: シラゲガヤのヒ素耐性(●)と非耐性(○)表現型にリン酸肥料を施肥することにより新芽と根の重量に現れる変化を示す。<sup>1</sup>

図 1は、シラゲガヤのヒ素耐性(●)と非耐性(○)株にリン肥料を与えた実験の結果です。耐性株では新芽も根も100mg kg<sup>-1</sup> 土壌で成長が促進されています。非耐性株ではリン肥料は根の成長には効果が小さいものの新芽では、100mg kg<sup>-1</sup> 土壌の濃度まで成長が促進されました。これはヒ素毒性の感受性に、根から芽の間のリン輸送系が関係することを示唆しています。

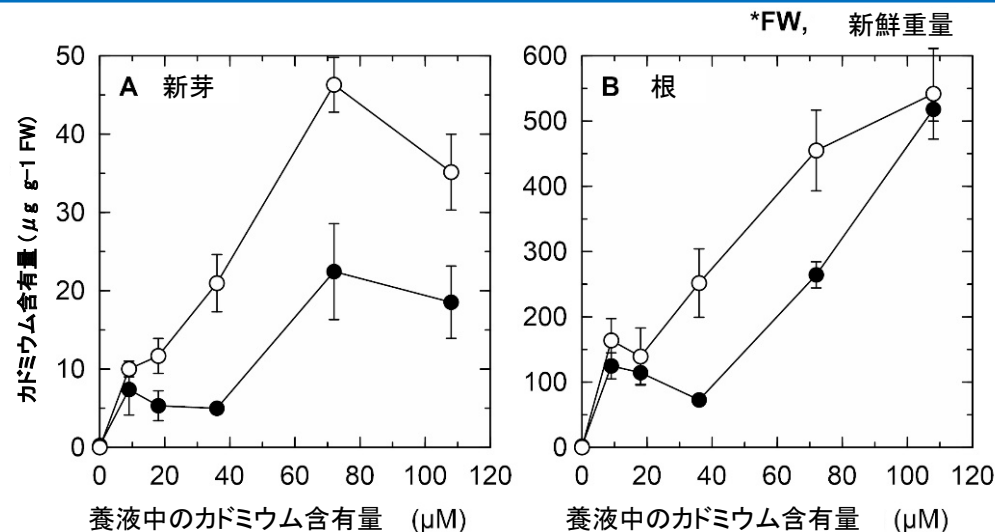


図 2: 金属汚染地域(Hallen Wood, Avonmouth, UK) (●)と非汚染地域(Totley, Sheffield, UK) (○)で採取したシラゲガヤのクローンをそれぞれ濃度の異なるカドミウムを含む養液で水耕栽培した場合に、新芽と根の組織部と外部に蓄積されたカドミウムの重量の関係を示す。<sup>2</sup>

図 2は、シラゲガヤのカドミウムに対する耐性を示しています。金属汚染地域から採取したシラゲガヤでは根の中のカドミウム濃度が高くなっても、新芽に移動するカドミウムの量が高ならないことが観察されています。また、金属汚染地域と非汚染地域のどちらで採取した場合でも、根には、新芽に蓄積されるカドミウム含有量の約10倍もの量のカドミウムが蓄積されることが観察されています。



- ✓ シラゲガヤは、PTEの吸収速度を低下させることでPTEに対する耐性を獲得しています。例えば、リン/ヒ素(P/As<sup>V</sup>)の輸送系を抑制し、ヒ素の吸収速度を低下させることでヒ素に対する耐性を実現しています。また、土壌中に高濃度のカドミウムが存在する場合、シラゲガヤは毒性の影響を受けやすい組織にカドミウムが分布しないようにしています。
- ✓ PTE結合ペプチド(フィットキレチンやグルタチオンなど)の合成を増加させ、PTEに対する耐性を強化するという別のメカニズムも知られています。
- ✓ PTEで汚染された土壌で生育するシラゲガヤでは、共生するアーバスキュラー菌根菌がPTEの吸収を阻害することで、PTEの植物への毒性影響が緩和される可能性があります。

シラゲガヤは、PTEに対する耐性を向上させるために、輸送系の抑制、PTE結合ペプチドの合成、菌根菌との共生など、さまざまな戦略を駆使しています。

- ✓ シラゲガヤはPTEに対して耐性を有しています。この特性によりシラゲガヤは金属汚染土壌において有力な栽培作物の候補です。たとえば、PTE汚染地域でのPTEを含まない飼料の生産を期待できます。
- ✓ さらに、金属汚染土壌に生育する野草はPTEに対する耐性をもたらす遺伝子の供給源となり得ます。この遺伝子を農作物に導入し、PTE耐性や排出メカニズムを発現させることができれば、PTEに汚染された土壌で安全な農産物を栽培することが可能になります。

Rahman and Khan, 2023 <本研究>

## 研究中の課題（未発表データ）

- ✓ シラゲガヤが放射性セシウムに対して有する耐性植物としての潜在能力の評価。
- ✓ シラゲガヤに対するカリウムの施用による放射性セシウムの吸収への影響と成長特性に与える影響を調査。
- ✓ 放射性セシウムが存在する場合、土壌中の栄養素と非栄養素元素の移動の状態を解明し、そしてそれらがシラゲガヤに対してどのような影響を与えるかを調査。
- ✓ 最終的な目標は、シラゲガヤが有する毒素排除の潜在能力を研究し、遺伝子の源として活用する道を開くことです。