

はるらぼ!

HAL lab.axolotl

海人 Umihito

アクアリウム

SciMoun

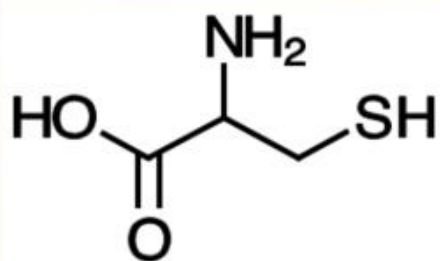
ウーパールーパーだより

～アホロートル研究・調査活動報告～ Vol 7.0



特集1 アホロートルにおける糖代謝と硫黄呼吸に迫る!

特集2 アホロートルの腸内に棲む硫黄酸化菌のもたらす恩恵



2025/1/5 初版



Presented by
ウーパールーパー研究室・はるらぼ



全ての画像・文章について無許可の商業利用を禁じます!
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス・非営利・改変禁止 (CC-BY-NC-ND)

編：杉山 遥



MBSJ2024 写真展 ハルラボ申し込み作品 (揭示分)

MBSJ2024 Image Contest Photography Category



P-14 | あくびクーバー@おとね

クーバークーバーを研究するハルラボ所属の投稿者が、普段からお世話している
クーバークーバーのおとねちゃんです！(・・) 謝)
クーバークーバーのおとねちゃんです！かわいイ(・へ・)イ
あくびの瞬間を奇跡的に取めたので投稿します！

FN 三木子

MBSJ2024 Image Contest Artwork Category



A-07 | 輝けるアカハライモリ

アカハライモリのアートです！キラキラして迫力がある赤い色使いですね！

杉山 遥

MBSJ2024 Image Contest Photography Category



P-13 | 劇力ワなクーバー団子

ハルラボの研究室内で飼育しているクーバークーバーです。人が部屋に入ると、
ごはんを求めてこんな風に団子になって可憐く出迎えてくれます！笑

杉山 遥



CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改竄一切禁止





【2P-694_24 年_第 47 回 日本分子生物学会年会_発表内容②】

メキシコサンショウウオにおけるセロトニンおよび側線器官を介した密度依存的な成長制御機構の解明

Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.

著者: ○杉山 遥¹, F.N. 三太子¹, 竜岡 龍騎³, 阿保朗 太郎², 横江 誼衡⁴

所属: 1. ハルラボ[※], 2. ハルラボ・ファーム, 3. トラフサンショウウオラボ, 4. サイマンテクノロジー^{※※}

※ 代表: 杉山 遥 sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com ハルラボ[※] X: [@lab_new2](https://twitter.com/lab_new2)

代表研究者詳細: 研究者ポータルサイト Research map: https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja

※※ 代表: 横江 誼衡 <https://x.com/SciMounTech>

要旨

メキシコ原産のサンショウウオであるメキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, 以下, アホロートル) は, 現在絶滅の危機に瀕している。

その一方で, 世界中で愛玩動物として広く流通しているアホロートルの品種 “ウーパールーパー” が有名であるものの, 原種の個体数の減少や生息環境の歴史的な変化に伴い, その生態については未解明な部分が多いのが現状である。生体が生育する上で, 適切な密度条件の設定は必要不可欠な項目であり, 密度が高すぎることで成長の抑制や水質悪化, 他個体への攻撃性の発現 (および それに伴うストレス) などの複数の問題が生じ得る。

ハルラボでは, アホロートルにおける密度感知と成長制御の機構について調査・研究を行ってきた。

調査の結果, アホロートルは側線器官で他個体が行動の際に放出する微小電流などを感知し, 神経伝達物質セロトニンによる攻撃性の発現 (時期によっては抑制) および キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* における Nervy のオルソログである MTGR1, 2, MTG8 等の因子の段階的な発現制御による攻撃行動の抑制を行うことで, 集団生活への適応のために, 摂食量の調節や行動様式を集団生活向けに変化させるなどことが明らかとなった。

具体的には, 単独飼育の個体と比較して, 集団飼育時にアホロートル MTGR の発現 (特に生後 60 日まで) は非常に高く, 時間経過と共に他の攻撃行動抑制因子として知られる因子と発現強度が入れ替わりになる。このように異なるタイミングで複数の攻撃行動を誘発する因子と抑制する因子を制御することで, 集団の中で大きな喧嘩などが発生しないようにコントロールしていることが示唆された。

また, 最終的な行動様式として, 攻撃型, 無行動型, 逃避型 の 3 つの行動型に分かれることが明らかとなった。

本発表では, こうした集団生活のなかで “うまく” やっていくということの本質について示し, 我々のプロジェクトにおいてアホロートルをスケールアップしたビオトープのような環境で, より原産地に近い状態での保全生態研究を目指した飼育方法を開発する上で重要な点について示したと思う。

【参考文献】

1). 総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係_vol.2

杉山 遥 ほか. 2023 年 11 月 29 日. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44067717

2). 【最新版】メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機構に関する調査報告

杉山 遥 ほか. 2023 年 8 月 29 日. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43232027

3). 【最新版】メキシコサンショウウオにおける密度効果と 異種混泳による成長制御機構に関する調査報告 Vol.2

杉山 遥 ほか. 2023 年 11 月 29 日. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/43784568

4). A neurogenetic mechanism of experience-dependent suppression of aggression

SCIENCE ADVANCES. Sep 2022. Vol 8, Issue 36. DOI: [10.1126/sciadv.abg3203](https://doi.org/10.1126/sciadv.abg3203)





メキシコサンショウウオにおける セロトニン および 側線器官を介した密度依存的な成長制御機構の解明

2P-694

Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.



○杉山 遥¹, F.N. 三太子¹, 竜岡 龍騎³, 阿保朗 太郎², 横江 誼衡⁴

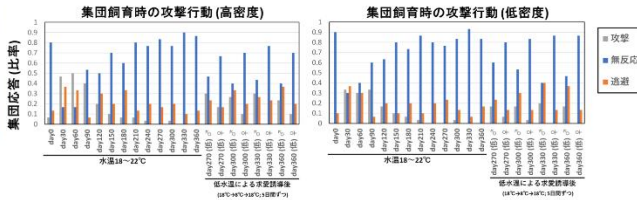
(1. ハルラボ※, 2. ハルラボ・ファーム, 3. トラフサンショウウオラボ, 4. サイマンテクノロジー※※)

E-mail address sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

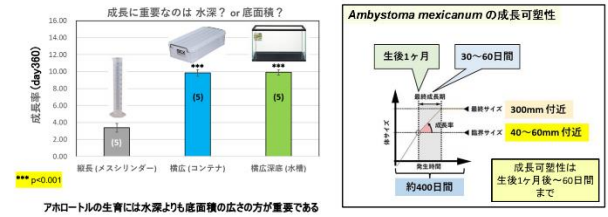
Twitter URL https://twitter.com/lab_new2



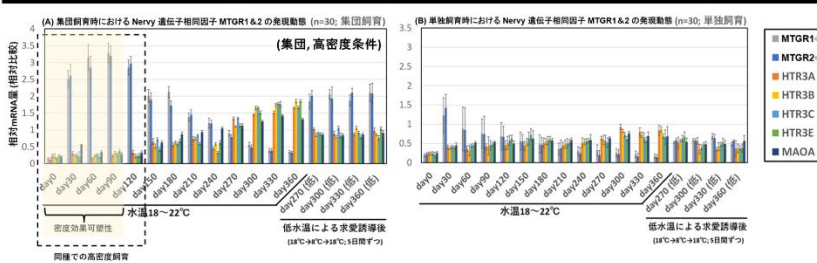
1). *Ambystoma mexicanum* は特に幼少期の集団行動において攻撃性が高い



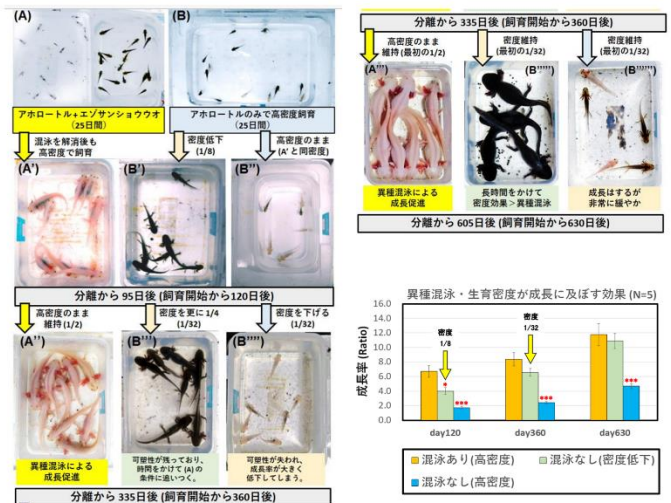
2). *Ambystoma mexicanum* の成長率・速度は 成育密度依存的である



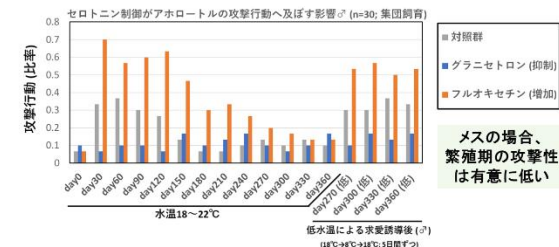
3). *Drosophila* の攻撃抑制に関わる Nerve に注目し *Ambystoma* における 相同因子 MTGR family, MTGR familyセロトニン受容体 HTR familyを同定した



5). *Ambystoma mexicanum* は密度依存的に生育率を 制御するが異種混泳させた場合はその限りではない



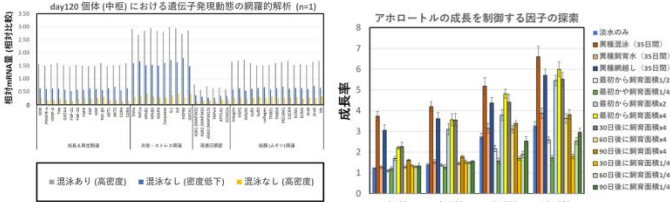
4). *Ambystoma mexicanum* の攻撃性は 血中のセロトニン分泌量依存的である



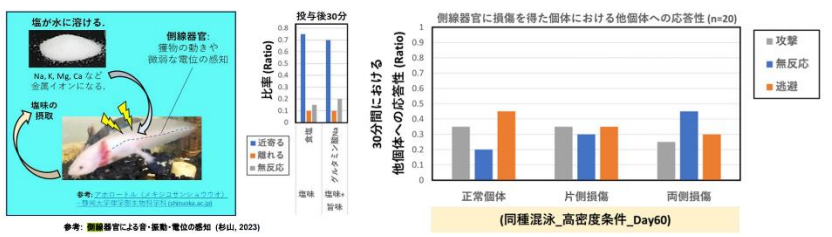
参照: エゾサンショウウオ の環境依存的な多型



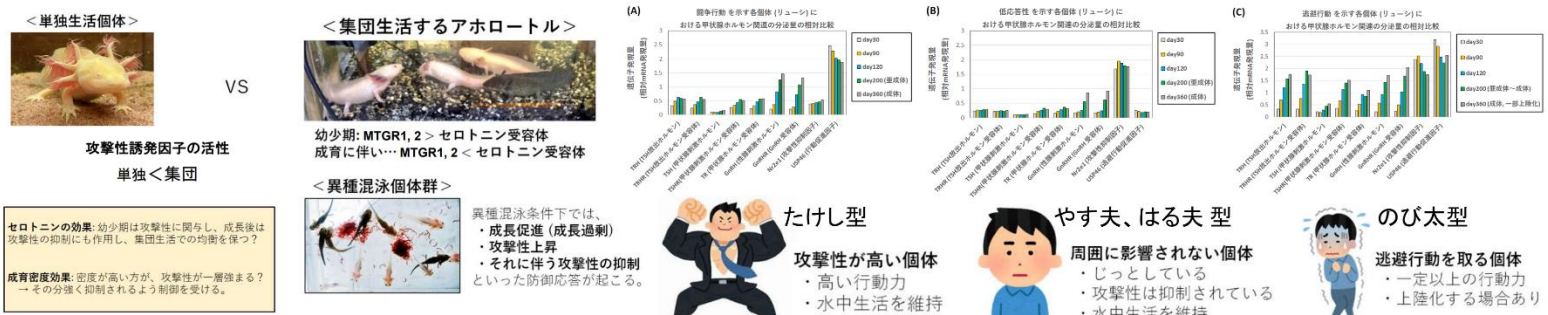
6). *Ambystoma mexicanum* の密度依存的な成長可塑性 → 2). 参照



Ambystoma mexicanum は生育密度 および 他個体を側線器官にて感知している



まとめ: 集団生活する *Ambystoma mexicanum* における他個体認識と攻撃行動に起因する3つの行動型





【2P-757_24 年_第 47 回 日本分子生物学会年会_発表内容①】

メキシコサンショウウオの疾患病原 および それらの最適な治療法に関する調査報告

A report on the pathogenesis of diseases of Axolotl, *Ambystoma mexicanum* and their optimal medical-care.

著者: OF.N 三太子^{1,2}、杉山 遥¹、萩原 和晃¹、枝豆 やみん¹、あすみ 悠¹

所属: 1. ハルラボ[※], 2. ウーパールーパーレスキュー^{※※}

※ 代表: 杉山 遥 sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com ハルラボ X: [@lab_new2](https://twitter.com/lab_new2)

代表研究者詳細: 研究者ポータルサイト Research map: https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja

※※ 担当: F.N 三太子 (うにやぎ) <https://x.com/CUNEflash>

要旨

メキシコ原産のサンショウウオであるメキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, 以下、アホロートル) は、現在絶滅の危機に瀕している。

アホロートルを取り巻く環境や水質悪化などが主な原因とされているが、アホロートルは飼育下の個体であっても免疫が脆弱であることが知られており、アホロートルにとって最適な成育環境を考える上で感染症や免疫機構は非常に重要となってくる。

我々は、メキシコにおけるアホロートルの保全を目指し、クラウドファンディングによる保全活動資金の確保や様々な飼育成体における飼育治療相談活動 (アホロートル・レスキュー) などの活動を実施しており、彼らにとって最適な環境を確保する上でも疾患の原因や最適な対処法について広く理解する必要がある。

我々のこれまでの調査結果においても、水質 (硬度や pH) の変化に対する抵抗性の高さに反して、水質悪化に伴って発生する耐塩性を示す腸炎ビブリオ (*Vibrio parahaemolyticus*) などの病原微生物自体への抵抗性が低いことが示唆されている。また、アホロートルは特に真菌類や耐塩性細菌等からの影響を受けやすく、対処が遅れることで早ければ数週間の間に亡くなってしまう可能性があることが明らかとなっている。(第 46 回日本分子生物学会年会_神戸ポートアイランド (2023) にて報告。)

本発表では、これまでの活動における症例とそれらの原因となる微生物について、可能な限りを調査しリスト化することで、より効果的にアホロートルの疾患への理解と適切な対処を可能となることを目指した。

本調査報告により、野生種の適切な保全や飼育個体の健康管理に関する更なる手がかりとなることを切に望む。

【参考文献】

1). アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告【23 年_日本分子生物学会①】

F.N. 三太子 ほか. 2023 年 11 月 11 日. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44016206

2). メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告【23 年_日本分子生物学会②】

杉山 遥 ほか. 2023 年 11 月 11 日. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44016970

3). 【改訂版】総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

杉山 遥 ほか. 2023 年 4 月 19 日. Doi. https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41527304

4). Axolotl Immunology: Lymphocytes, Cytokines, and Allpincompatibility Reactions

Cohen et al. (1994). Axolotl Newsletter Number 23.

5). Immunologic Responses in the Axolotl, *Siredon Mexicanum*

Ching et al. (1967). J Immunol July 1, 99 (1) 191-200; <https://www.jimmunol.org/content/99/1/191>





メキシコサンショウウオの疾患病原 および それらの最適な治療法に関する調査報告

2P-757

A report on the pathogenesis of diseases of Axolotl, *Ambystoma mexicanum* and their optimal medical-care.

O.F.N 三太子^{1,2}、杉山 遥¹、萩原 和晃¹、枝豆 やみん¹、あすみ 悠¹ (所属: 1. ハルラボ, 2. ウーパールーパーレスキュー)

E-mail address sugiyama.haruka.axoltl@gmail.com

Twitter URL https://twitter.com/lab_new2



アホロートル = ウーパールーパー とは？

メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*)
の国内流通個体です (一部、他種と混血の説あり)

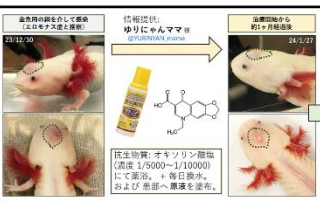
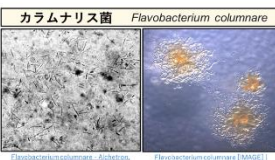
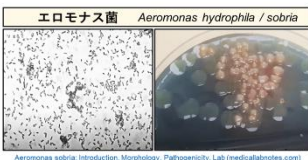
原産地: メキシコ (ソチミルコ湖)
最大体長: 20~25cm
幼形成熟 (ネオテニー) の形態を取る
寿命は20年以上 (変態・上陸すると10年程度に。。)
強み: 少々水質変化はへっちゃら
弱点: 細菌感染、カビ (免疫反応がアフリカツメガエルより半以下)
※ 現在は絶滅の危機 (原因: 都市開発や埋め立てによる生息地減少)

ハルラボとは？
アホロートルを救いたい！ → 2020年当ラボによる調査・研究活動を開始！
他、睡眠や共生の仕組みなど続々研究内容を報告中。

参考: 水槽内に存在する微生物一覧 (アホロートルの病気の原因たち)

性質・種類	学名	属・分類	備考
グラム陰性 細菌	<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i>	エロモナス属	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス属	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス属	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクテラ属	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ属	腸内細菌
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
グラム陽性 細菌	<i>Vibrio vulnificus</i>	腫瘍バクテリウム	吐き戻しの原因 (好塩細菌)
	<i>Campylobacter jejuni</i>	カンピロバクテラ属	肉類に付着 (耐塩細菌)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ球菌属	皮膚の化膿・嘔吐など (耐塩細菌)
	<i>Streptococcus iniae</i>	レンサ球菌	眼珠突出、腎臓や臓器の腫れ、心外膜炎など
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌	濾過バクテリア
藻類 (水苔)	<i>C. pediculus</i>	コッソコシス属	塊藻類
	<i>T. lacustris</i>	テトラスボラ属	緑藻類
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類
	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
真菌 (カビ)	<i>S. pombe</i>	分裂酵母	ビール酵母
	<i>Rhodotorula</i>	赤色酵母	赤色酵母
	<i>S. parasitica</i>	ミズカビ属	
	<i>A. prolifer</i>	ワタカビ属 (卵菌類)	水質浄化
	<i>A. racemosus</i>		増えすぎるとカビ病の原因
	<i>A. cochlioides</i>	アファノマイセス属 (糸状菌類)	

(杉山 ほか, 2022-2023)



※ 汽水の目安: 0.15~0.3%

マーブル
(野生型体色)



(野生種を生産し、
ある程度固定化した品種。
一部、文種も存在する。)

リューススティック
(一部色素欠乏)



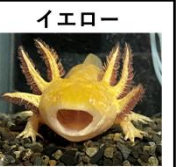
(endothelin3:
edn3 (Chr3p 短腕) 欠損変異ホモ;
上皮におけるユーメラニン欠乏)

ブラック
(メラニン過剰)



(Leukocyte Tyrosine Kinase:
Ltk (Chr14q 長腕) 欠損変異ホモ;
上皮におけるユーメラニンの
過剰分泌・蓄積)

アルビノ系統 (tyrosinase: tyr (Chr7q 長腕) 欠損変異ホモ; 全身のユーメラニン欠乏)



遺伝子欠損の程度・フェオメラニン合成への影響の違い、
他の体色変異等と併せることで体色に違いが見られる。

(杉山 ほか, 2022-2023)

(A) 健康な頃 (アカムシや固形餌で飼育)



(B) 衛生的に良くなかったと思われるマダロを餌食した場合 (数か月経過後)



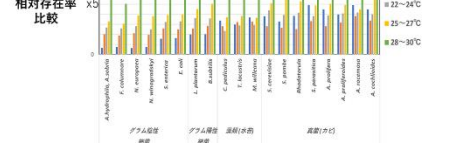
飼育水槽や腸内にもバクテリアが生息している = 腸内細菌



18S rDNA 等に注目し
存在する微生物の種類を特定

上清や底砂を
回収し、
凍結保存

底材 (砂、ソイル) 中に含まれる微生物量



18S rDNA 等に注目し
存在する微生物の種類を特定

糞を回収し、
凍結保存

腸内乳酸菌の効果・恩恵

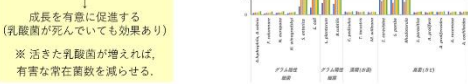
神経ペプチド NPY の分泌促進

良質な睡眠へ繋がる

成長を有意に促進する
(乳酸菌が死んでいても効果あり)

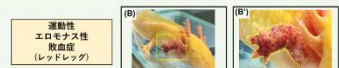
※ 活きた乳酸菌が増えれば、
有害な常在菌が減る。

糞の中に含まれる相対微生物量



(杉山 ほか, 2022-2023)

細菌感染症が主な原因の疾患



運動性
エロモナス
感染症
(レッドレグ)

※ 本疾患は主にエロモナス属の細菌による感染で、治療法は不明。

他、
エロモナス症
(シスト・囊胞形成)

※ 本疾患は主にエロモナス属の細菌による感染で、治療法は不明。

エラ菌病、エラ病
カラムナリス症

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

口腐病
(くちくされびょう)

カラムナリス症

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

尾ぐされ病
カラムナリス症

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。



浮遊病
転覆病

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

ボックス病
(白色腫瘍)

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

ボツボツ病

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

白濁眼

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

マイコバクテリウム症
(魚結核症/抗酸菌症)

などによる潰瘍

※ 本疾患は主にエラ菌属の細菌による感染で、治療法は不明。

浮遊が酷い場合は塩浴は避ける。

治療薬の原液を染み込ませた
綿を少量与えることで
腸内洗浄する手法も有効。

グリーンゴールドリキッド
1/5000~1/10000
+0.2~0.3% 塩水 (汽水)
で5~7日間1~2リットル
入れればイソジンCタイプを
1/200 追加で2~3日間投入
イソジンCに対しては、直接
薬剤の原液を散布すると有効。

※ 塩水は入れたら必ず換水。
(安全な希釈率のため)
毎日換水。

結核を過剰に出すなど、
明確な悪化が見られた
場合は即座に中断する。
結核症を併発してい
る場合は塩浴は避ける。

明確な治療法が
確立されていない。
速やかな他の生体との
隔離と水槽の消毒。
動物病院での診察を
推奨します。
(イソジンは有効か?)





はるらば活動紹介ページ！

NPO 研究グループ HAL_Lab_Axolotl

2020年より、正式に HAL Lab として
本格的に研究活動を開始。



g-mail: sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

note: https://note.com/lab_new2

Twitter: https://twitter.com/lab_new2

HP: https://drive.google.com/file/d/1g4avrtK0FIS78II_595yk_OKFL_u1xgt/view

代表: 杉山 遥 (すぎやま はるか; ペンネーム); Ph.D 理学 (生物学)

Q: はるらばって何？

2020年に正式発足されたNPO 研究チームです。

ウーパールーパーの生態や習性について研究しています。

Q: 何故ウーパールーパー？

メキシコのソチミルコ湖に生息するメキシコサラマンダーは、現在ペットとしてウーパールーパーという名で親しまれている一方で、野生種は絶滅危惧に瀕しています。これは由々しきことです。そこで、我々はこれに注目し、ラボスケールでの生態を研究することで、個体数を増やす糸口を掴みたいと考え、NPO (非営利) の研究チームとしての活動を開始することになりました。

Q: この広告は何？

ズバリ、一緒に調査をしてみませんか？というお誘いと当ラボのご紹介です！

ウーパールーパーって、可愛いですよね☆



現在の主な取り組み

- ・ ウーパールーパー (アホロートル) の飼育条件のアップデート
- ・ アホロートルの栄養と成長制御機構の解明
- ・ 生存競争・生育密度と成長の関係性
- ・ 魚類における未知の成長制御・発生調節機構の解明
- ・ 昆虫との相関 (主にショウジョウバエ、フタホシコオロギ)
- ・ 両生類の腸内フローラと成長制御に関する調査



はるらぼ活動紹介ページ！

NPO 研究グループ HAL_Lab_Axolotl

2020年より、正式に HAL Lab として
本格的に研究活動を開始。



X (Twitter) https://twitter.com/lab_new2

お問い合わせ sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

はるらぼの取り組み

野生種の保全に向けた活動

- ・オオサンショウウオ等の両生類の保全施設の視察
- ・水族館等の水棲生物保全・飼育施設の視察

基礎研究 (アホロートル)

- ・アホロートルのかつての生息環境予測モデルの構築 → 会報誌にて複数知見を報告済.
- ・系統間の比較 → 会報誌にて知見を報告済.
- ・生育にとって重要な栄養素・代謝機序の解明 → 順次 報告中.
- ・耐薬品性・汚染への耐性に関する調査
- ・汽水適応個体の系統化 (阿保郎ファーム) → 継続中.
- ・病原微生物の感染機序の調査 → 複数報学会発表済み. 2025年報告予定.
- ・腸内環境や腸内フローラ・食砂行動に関する調査 → 一部 会報誌などで知見を報告済み.
- ・ネオテニーの変態誘導の要因調査 (ヨウ素・汚染ストレス) → 会報誌にて一部報告済み.

基礎研究 (その他の生物)

- ・ショウジョウバエ、カブトムシ、コオロギ、メダカ、熱帯魚類
 - 栄養・睡眠・成長など
 - メダカ変異系統の作成と維持 (あすみファーム)・遺伝的解析

飼育技術の開発

- ・最適な密度や水質が安定化する飼育法の検証
- ・過密条件でも安定に飼育できる濾過環境の検討
- ・上陸しない条件の確立 / 上陸する条件の探索
- ・最適な底材の追加検討



全ての画像・文章について無許可の商業利用を禁じます！
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス・非営利・改変禁止 (CC-BY-NC-ND)



はるらぼ関係者・共同研究者一覧 (2025/1/3 更新)

ウーパールーパー部門

杉山 遥 (PN)・・・ポスドク(無給), 企業の技術研究員, 当研究室の主任研究者 (Principal Investigator)

専門: 分子生物学、遺伝学、分子遺伝学 (ショウジョウバエ)、発生生物学 (形態形成、幹細胞分化制御)、
時間生物学、行動生物学、動物生理学、高分子材料 (ポリエステル)、半導体、有機合成、有機化学

萩原 和晃・・・社会人, 企業研究開発職, 共同研究員; 飼育技術調査

専門: 自動車 ECU (Electronic Control Unit; 電子制御部品) 開発, 生物行動観察・撮影

F. N. 三太子 <https://twitter.com/CUNEflash>・・・ウーパールーパーのレスキュー広報担当・治療相談窓口

多忙な杉山の代理として、押しかけウパレスキュー活動 <https://twitter.com/CUNEflash/status/1579226396488265728> を依頼しております。ほんわかした文体・ツイートの雰囲気反して、杉山が信頼できる、仕事のできる方なのでご安心を。

竜岡 龍騎・・・アホロートル以外のトラフサンショウウオに関する生体提供 および データ提供

主に外部協力者としてご協力いただいております。トラフサンショウウオラボ (仮名, since 2018～) 所属。

阿保郎 太郎・・・ハルラボの系統の繁殖・維持 および 一部の調査補助

ハルラボファーム (since 2021～) という形で、一部系統の維持と管理、データ取得の補助をお願いしています。

魚類部門

あすみ 悠 (HN)・・・共同研究員

専門: IT 関連, メダカ関連の飼育・観察

枝豆 やみん (HN)・・・研究開発職に勤務. 共同研究員; 熱帯魚研究部 (22/8/21 より新規立ち上げ)

専門: アクアリウム, 熱帯魚を複数の種類飼育された実績を持つ。

昆虫・節足動物部門

杉山 遥 (PN)・・・昆虫を専門としていた杉山が兼任。

横江 諒衡 (サイマン・テクノロジー社長)・・・共同研究員; 商品開発担当; 一部の研究支援者

専門: 宇宙線研究、小動物の生育観察

案件創出・調査部門・運営監修など担当の皆様

高橋 慶・・・加入当時専門学生 (現在は社会人として活躍中), 共同研究員; 基盤技術探索・情報調査担当

専門: 鉄道関連、生物飼育・観察

九条 薫 (PN)・・・共同研究者

専門: 骨格標本作製

永田 一将・・・D3, 研究資金支援者; ラボコンサルティング担当

専門: 物性物理学

大泉 祐介・・・加入当時 D3 (現在社会人), 研究広報支援者; ここまでの活動に際し、幾つもの繋がりを作って下さいました。

専門: 分子生物学, エピジェネティクス, 分裂酵母, ゲノム進化、大型類人猿 など

久木崎 玲美・・・社会人, 共同研究者. 両生類の陸上化に関する調査をお願いしています。

はるらぼサポーターズ (はるサポ)・・・調査補助・分析・他、グッズ作製等 (多岐に渡る)。

他、知己の研究者の皆様、両生類・爬虫類飼育者の皆様、アクアリストの皆様、他 Twitter フォロワーの皆様 など、
(定期参加・不定期参加を問わず) 詳細を記載していない多くの方々のご支援も頂戴しつつ、日々研究活動を行っております。

アホロートルの積極的な布教も、このラボのもう一つの目標です。

2023 年 10 月末より、サイマンテクノロジー 様 (宇宙開発・ロボット開発を目指す会社とのこと) が公式サポーターに加わって下さいました。今後、当ラボも可能な範囲で相互に研究開発に協力して参ります。

※ PN: ペンネーム HN: ハンドルネーム (SNS 上などでも使用されているお名前)

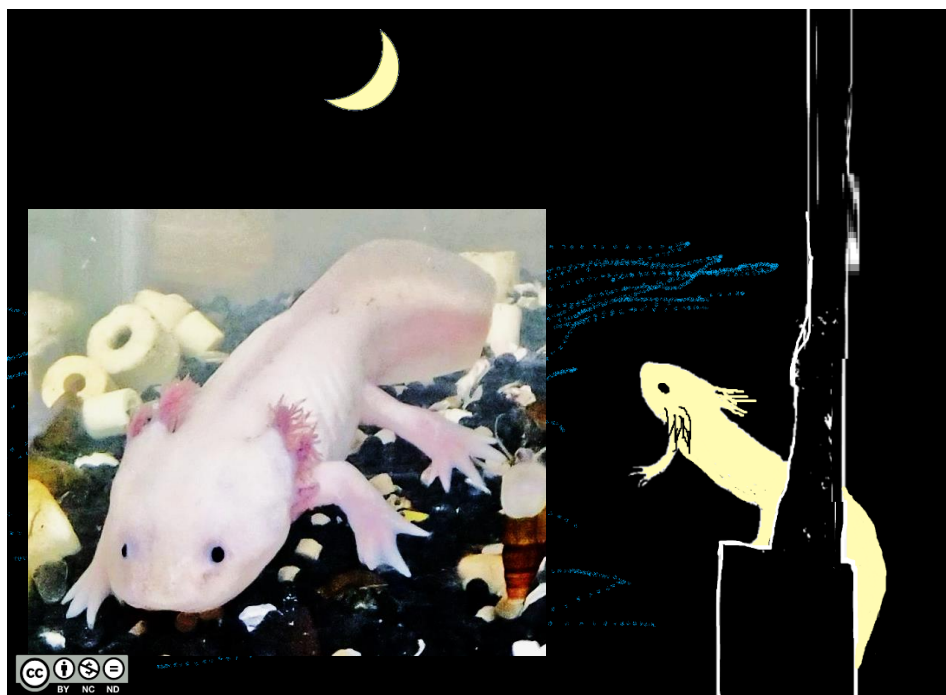


イラスト: ハルラボ 2024

・論文・総説

【研究報告】アホロートルにおける 糖代謝と硫黄呼吸に関する調査報告 ← NEW!

(はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 7.0)

杉山 遥, 竜岡 龍騎, 高橋 慶, 阿保郎 太郎

2025 年 1 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【アートギャラリー】MBSJ 2024 写真展 展示作品

杉山遥, F.N.三太子, ゆりにゃんママ

2024 年 12 月 7 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【2P-757】メキシコサンショウウオの疾患病原 および それらの最適な治療法に関する調査報告

(24 年_第 47 回 日本分子生物学会年会_発表内容①)

F.N 三太子, 杉山 遥, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, あすみ 悠

2024 年 11 月 9 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【2P-694】メキシコサンショウウオにおけるセロトニンおよび側線器官を介した密度依存的な成長制御機構の解明

(24 年_第 47 回 日本分子生物学会年会_発表内容②)

杉山 遥, F.N. 三太子, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎, 横江 諠衡

2024 年 11 月 9 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究発表】アホロートルにおける糖代謝と硫黄呼吸

(第 95 回_日本動物学会_長崎大会)

杉山 遥, 竜岡 龍騎, 高橋 慶, 阿保郎(郎) 太郎

2024 年 9 月 14 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【活動報告】超異分野学会・関西・大阪大会

あすみ 悠, 杉山 遥

2024 年 8 月 31 日 最終著者, 責任著者

【参考資料】魚類の“背曲がり(せまがり)”異常・変異について

あすみ 悠, 杉山 遥

2024 年 8 月 14 日 最終著者, 責任著者

【資料】ウーパールーパーレスキュー活動報告・情報共有

杉山 遥, FN 三太子, 枝豆 やみん, 萩原 和晃, あすみ 悠

2024 年 7 月 6 日 最終著者, 責任著者

育たないウーパールーパーの秘密を解明！

(はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 6.0)

杉山 遥, 竜岡 龍騎, あすみ 悠, 阿保郎 太郎

2024 年 6 月 27 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

超異分野学会 2024 大阪・関西大会 演題登録内容

杉山 遥, F.N. 三太子

2024 年 5 月 17 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

超異分野学会 2024 岡山・中四国大会 演題登録内容

杉山 遥, F.N. 三太子

2024 年 5 月 7 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【クラウドファンディング】ウーパールーパーを守る！メキシコ・ソチミルコ湖の環境改善プロジェクト

ハルラボ × CAMPFIRE

2024 年 4 月 23 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【勉強会】マルチビタミン投与効果 (アホロートル、メダカ、コオロギ、ショウジョウバエ)

杉山 遥

2024 年 3 月 30 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究報告】 ビタミンで育つ！メダカとウーパールーパー！

(はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 5.0)

杉山 遥, 横江 諠衡, 阿保郎 太郎

2024 年 3 月 30 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究報告】 色・品種の違いは、他の性質にも影響するのか？ (タイトル改題)

(改題前: アホロートル系統間 および 近縁種間 における形質の比較による本質の理解)

(はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 4.0)

杉山 遥, 萩原 和晃, FN 三太子, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎

2024 年 1 月 12 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

はるラボショート vol.1 "体色" (2024/1/8)

杉山 遥

2024 年 1 月 8 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者



はるらぼ新年集会 2024！＋ 実施事項振り返り

杉山 遥

2024 年 1 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【総説】メキシコサラマンダー および トラフサンショウウオ科の近縁種における生態・生息環境に関する調査報告 (はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 3.0)

杉山 遥, 枝豆 やみん, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎, 萩原 和晃, FN 三太子, あすみ 悠

2023 年 12 月 31 日 (2024 年 1 月 4 日 微修正) 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ② (2023 年 当ラボメンバーの初学会参加記念 SP)

杉山 遥 ほか

2023 年 11 月 29 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告

【23 年_日本分子生物学会②】

杉山 遥, F.N. 三太子, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, あすみ悠 2023 年 11 月 11 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告【23 年_日本分子生物学会①】

F.N. 三太子, 杉山 遥 2023 年 11 月 11 日 最終著者, 責任著者

【今後の展開】累代飼育メキシコサラマンダー系統の遺伝子型の精査 および 近縁アンビストーマ種における生理学的応答の調査

杉山 遥 2023 年 11 月 6 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究報告】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

杉山 遥, あすみ 悠, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, Fuzzy navel 三太子

2023 年 10 月 28 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサンショウウオにおける密度効果と 異種混泳による成長制御機構に関する調査報告

杉山 遥, あすみ 悠, 横江 諠衡 2023 年 10 月 16 日 (23/11/29 修正版 Vol.2) 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【口頭発表】メキシコサンショウウオの生活環 における汽水環境の重要性

(日本動物学会_第 94 回_山形大会 (2023) 2023 年 9 月 9 日)

杉山 遥 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

改良メダカの背曲がり個体から産出される子個体への遺伝

あすみ 悠, 杉山 遥 2023 年 9 月 2 日 筆頭著者, 責任著者

【最新版】メキシコサンショウウオにおける攻撃行動制御機に関する調査報告

(23/10/1 ver.3.1 一部補足事項を記載)_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023 年 8 月 29 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【発表練習_第 2 回】メキシコサンショウウオの生活環における 汽水環境の重要性

杉山 遥 2023 年 8 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【研究発表】メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性

杉山 遥 ほか 2023 年 8 月 12 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

増刊号 (訂正箇所 + 更新記事のまとめ) ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 vol.X

杉山 遥 ほか 2023 年 5 月 5 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】 総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

杉山 遥 ほか 2023 年 4 月 19 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】 メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告_(初稿) 2022/10/2

杉山 遥 2023 年 4 月 19 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】 ネオテニーの上陸化制御に関わる因子_ウーパールーパー研究報告 (初稿 22/11/1)

杉山 遥, 久木崎 玲美 2023 年 4 月 5 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【最新版】 メキシコサラマンダーの腸内環境と成長制御 (23/3/25 開催_FBS 博士勉強会)

杉山 遥 2023 年 3 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

【改訂版】 腸内細菌と成長制御について_ウーパールーパー研究報告 (初稿: 22/10/31)

杉山 遥 2023 年 3 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

(まとめ) ウパールパに良い水質や治療情報・病気の再発リスクなど

杉山 遥 2023 年 3 月 1 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウパールパ飼育水槽の濾過環境と水質管理・維持について

杉山 遥, 萩原 和晃, 枝豆 やみん, りん 2023 年 2 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー飼育案内_Part.2

杉山 遥 2023 年 2 月 18 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

成長に不可欠な因子の探索・次世代の表現型解析 (孵化後 50 日目)_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023 年 2 月 8 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

腸内乳酸菌と神経ペプチド NPY と睡眠・成長_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2023 年 2 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー飼育案内_Part.1

杉山 遥 2023 年 2 月 4 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ウーパールーパー研究室はるらぼ・新年集会・目標発表

杉山 遥 2023 年 1 月 20, 22 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートルの飼育・治療最新情報

杉山 遥 2022 年 12 月 25 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

ネオテニーの上陸化制御に関わる因子_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥, 久木崎 玲美 2022 年 11 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

両生類・魚類の”睡眠”と体色制御／メキシコサンショウウオにおけるあくびの習性

杉山遥, あすみ 悠, 枝豆やみん, うにやぎ 2022 年 11 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

腸内細菌と成長制御について_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 31 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者



メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 2 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

メキシコサンショウウオの味覚_ウーパールーパー研究報告

杉山 遥 2022 年 10 月 2 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートル飼育水槽における濾過環境の重要性

杉山 遥 2022 年 9 月 26 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

土壌成分と生育_ウーパールーパー研究報告

高橋 慶, 杉山 遥 2022 年 8 月 最終著者, 責任著者

ウーパールーパーの睡眠 (FBS 博士勉強会・研究発表資料)

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1 2022 年 6 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

総説: メキシコサンショウウオにおける多頭飼育_他個体認識

杉山 遥 2022 年 5 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

経過報告: アホロートルにおける睡眠・成長・概日リズムを制御する遺伝子群の網羅的解析

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0, 2.1 2022 年 5 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

アホロートルにおける睡眠と成長および概日リズムの関係性

萩原 和晃, 杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0, 2.1 2022 年 5 月 最終著者, 責任著者

昆虫の成長・生育はアミノ酸依存的に制御される.

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

2022 年 4 月 筆頭著者, 最終著者

メキシコサンショウウオの成長・生育を制御する因子の探索.

杉山 遥 はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

2022 年 4 月 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 2023 年 2 月 25 日

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥 2022 年 6 月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編纂, 監修: 杉山 遥 2022 年 5 月

コラム集・総説: ウーパールーパーの飼育係

著, 編纂, 監修: 杉山 遥 2022 年 5 月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

著, 編纂, 監修, 杉山 遥ウーパールーパー研究室_はるらぼ 2022 年 4 月

・書籍等出版物

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 7.0 ← NEW!

著, 編集, 監修: 杉山 遥 & 竜岡 龍騎 & 竜岡 龍騎

はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 7.0

2025 年 1 月 4 日

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 6.0

著, 編集, 監修: 杉山 遥 & 竜岡 龍騎 & 竜岡 龍騎

はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 6.0

2024 年 6 月 27 日

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 5.0

著, 編集, 監修: 杉山 遥 ほか

2024 年 3 月 30 日

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 4.0

著, 編集, 監修: 杉山 遥 ほか

2024 年 1 月 12 日

はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 3.0

著, 編集, 監修: 杉山 遥 ほか

2024 年 1 月 4 日

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ② (2023 年 当ラボメンバーの初学会参加記念 SP)

著, 編集, 監修: 杉山 遥 ほか

2023 年 11 月 18 日

増刊号 (訂正箇所 + 更新記事のまとめ) ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 vol.X

著, 編集, 監修: 杉山 遥 ほか

2023 年 5 月 5 日

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係 ～飼育の最新情報・学術データまとめ～

著, 編集, 監修: 杉山 遥

2023 年 2 月 25 日 (同年 4 月 19 日. 改訂)

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.1

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編集, 監修: 杉山 遥

2022 年 6 月

はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 2.0

著, 杉山 遥, 萩原 和晃 編集, 監修: 杉山 遥

2022 年 5 月

コラム集・総説: ウーパールーパーの飼育係

著, 編集, 監修: 杉山 遥

2022 年 5 月



はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol 1.0, 1.2, 1.3

著, 編集, 監修, 杉山 遥

ウーパールーパー研究室_はるらぼ 2022 年 4 月



・研究発表

・第 47 回日本分子生物学会年会 (MBSJ 2024)

2P-757__メキシコサンショウウオの疾患病原 および それらの最適な治療法に関する調査報告 (ポスター発表)

A report on the pathogenesis of diseases of Axolotl, *Ambystoma mexicanum* and their optimal medical-care.

○F. N. 三太子¹, 杉山 遥¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

2P-694__メキシコサンショウウオにおけるセロトニンおよび側線器官を介した密度依存的な成長制御機構の解明 (ポスター発表)

Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.

○杉山 遥¹, F.N 三太子¹, 竜岡 龍騎¹, 阿保朗 太郎¹, 横江 諠衡¹, あすみ悠¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

・日本動物学会_第 95 回_長崎大会 <https://www.zoology.or.jp/annual-meeting/1/>

3F0930 (両生類 | 生理)__アホロートルにおける糖代謝と硫黄呼吸 (口頭発表)

○杉山 遥¹, 竜岡 龍騎¹, あすみ 悠¹, 高橋 慶¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

・超異分野学会_大阪大会 (主催: 株式会社リパネス) <https://hic.lne.st/archive/osaka2024/>

P-0047__絶滅危惧種 在来メダカと改良メダカの現在とこれから ～改良メダカの背曲がりに関する検証と考察～ (ポスター発表)

○あすみ 悠¹; 杉山 遥¹; 横江 諠衡² (1. NPO 研究グループ_ハルラボ, 2. サイマン・テクノロジー)

・超異分野学会_中四国大会 (主催: 株式会社リパネス) <https://hic.lne.st/archive/okayama-chushikoku-2024/>

P-21__ウーパールーパーのふしぎを解き明かす (ショート口頭発表, ポスター発表)

○杉山 遥¹, F.N 三太子¹, 萩原 和晃¹, 枝豆 やみん¹, あすみ 悠¹, 竜岡 龍騎¹, 阿保郎 太郎², 横江 諠衡^{1,3}

(1. NPO 研究グループ_ハルラボ, 2. ハルラボファーム, 3. サイマン・テクノロジー)

P-23__ウーパールーパーレスキュー911 (ポスター発表)

○F. N. 三太子¹; 杉山 遥¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

・第 46 回日本分子生物学会年会 (MBSJ 2023) <https://www2.aeplan.co.jp/mbsj2022/>

1P-761__アホロートル感染症対策と治療相談に関する活動報告 (ポスター発表)

Report on Activities Related to to Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) Infection Control and Treatment Counseling

○F. N. 三太子¹, 杉山 遥¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

1P-762__メキシコサラマンダーにおける病原生物に対する応答性と治療可塑性に関する調査報告 (ポスター発表)

Report on Responsiveness and Therapeutic Plasticity to Pathogenic Organisms in Mexican Salamanders, *Ambystoma mexicanum*.

○杉山 遥¹, F.N 三太子¹, 萩原 和晃¹, 枝豆 やみん¹, あすみ悠¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

・日本動物学会_第 94 回_山形大会 <http://www.zoology.or.jp/annual-meeting/3/>

3F0930 (両生類 | 生理)__メキシコサンショウウオの生活環における汽水環境の重要性 (口頭発表)

○杉山 遥¹, あすみ 悠¹, 枝豆 やみん¹, 萩原 和晃¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

・第 45 回日本分子生物学会年会 <https://www2.aeplan.co.jp/mbsj2022/>

3P-693__メキシコサラマンダーの睡眠機構と制御に関する調査報告 (ポスター発表)

Progress Reports of Sleeping Mechanisms and Regulation of Axolotl, *Ambystoma mexicanum*

萩原 和晃¹; ○杉山 遥¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)

3P-694__メキシコサラマンダーの他個体認識能力・色覚認識能力に関する行動解析 (ポスター発表)

Behavioral analysis of ability to recognize other individuals and color vision recognition of Axolotl, *Ambystoma mexicanum*

○杉山 遥¹ (1. NPO 研究グループ_ハルラボ)



・大阪大学大学院生命機能研究科（フロンティアバイオサイエンス; FBS）ドクター発表会” および オープン勉強会 における発表

2022/2/12 (土) ・ 2022/2/19 (土) ・ 2022/5/15 (日) ・ 2022/6/4 (土) ・ 2022/11/12 (土)

2023/8/12 (土) ・ 8/26 (土) ・ 2023/10/28 (土) ・ 2023/11/18 (土) ・ 2023/11/19 (日)

2024/3/30 (土) ・ 2024/7/6 (土) ・ 2024/8/14 (土) ・ 2024/9/13 (金) ・ 2024/11/9 (土) ・ 2024/11/16 (土)

・予算状況（余剰予算は次年度にて使用）

- ・予算: 2019 年度: 約 1,000,000 円（給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費）・・・赤字（¥54,000 超過）
- ・予算: 2020 年度: 約 1,200,000 円（給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費）・・・赤字（¥37,100 超過）
- ・予算: 2021 年度: 約 1,200,000 円（給与, 一部支援金（永田様）, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費）・・・赤字（¥41,240 超過）
- ・予算: 2022 年度: 約 1,320,000 円（給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等）・・・収支±0
- ・予算: 2023 年度: 約 1,300,000 円（給与より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等）・・・赤字（¥23,473 超過）
- ・予算: 2024 年度: 約 1,812,000 円（給与・一部支援金より補填, 内訳: 生体購入, 設備設置費用, 設備維持費, 分析依頼費 等）・・・収支±0

・寄付・寄贈など

2022/5/29 研究員の萩原様より、実態顕微鏡・大型モニター等、分析機器をご寄贈いただきました。

2022/11/1 サポーターの方々のご協力により、はるらぼ第二事務所が開設されました。

2023/6/5 サポーターの方々のご協力により、120 cm アクリル水槽をご寄贈頂きました。

2022～2023 年 関連書籍をご購入下さった皆様より、書籍代としてご寄付を頂戴しました（上記支援金に含む）。

2024/4/23 クラウドファンディングの大型プロジェクト募集※にて、合計 ¥58,500 のご支援を頂戴しました。

※ ウーパールーパーを守る！メキシコ・ソチミルコ湖の環境改善プロジェクト

CAMPFIRE: https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/46269554

2024/4/23 クラウドファンディングのサブスク型募集※にて、合計 ¥10,000 のご支援を頂戴しました。

※ 【ウーパールーパー飼育の集い】

CAMPFIRE (Good Morning): <https://community.camp-fire.jp/dashboard/761494>

2022～2024 年 他、活動費支援として、ご寄付を頂戴しております（上記支援金に含む）。

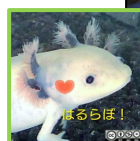
横江 誼衡（サイマン・テクノロジー）様, ゆりにゃんママ 様, 田淵有希也 様, うにゃぎ 様, もっち様, じゃがいもポテトうどん侍 様,

萩原 和晃 様, 枝豆やみん 様, あすみ 悠 様, とげびーphd 様, KNA 様, M.Y. 様, Osakanasaaan 様, タカナカ様（適当順, 適宜更新）

はるらぼ★クロニクル (代表例)

～2021年

- ・ Twitter アカウントの開設
- ・ “ウーパールーパー研究室 はるらぼ” を開設
- ・ 汽水飼育評価系の構築を開始
- ・ 異種混泳試験の開始
- ・ 他、栄養環境の試験開始



2022年

- ・ あすみ 悠 氏をメンバーに加え、魚類部門の立ち上げへ (6月).
- ・ うば丸ちゃんねる様に、汽水飼育法 について取り上げられる (計2回).
- ・ レン/科学のポッドキャスト 様の公開収録に参加.
- ・ 枝豆 やみん 様がメンバーに加入. 一部、組織体制の変更 (8月).
- ・ うにやぎ (F.N. 三太子) 様をメンバーに加え、ウパレスキューの活動を開始 (10月).
- ・ はるらぼ事務所 (兼 杉山の住居) 開設.
- ・ 第45回分子生物学会年会への参加 (ポスター発表 x 2演題)
- ・ その他、研究会・オンラインセミナー を 計5件発表.
- ・ 会報誌・総説集の刊行・更新 (会報誌x3. 計3冊 (一つは発刊停止))



2023年

- ・ オオサンショウウオ保全施設の視察 (計2件)
- ・ 水族館・アクアリウム関連施設の視察 (計5件)
- ・ 日本動物学会 第94回 山形大会 (口頭発表)
- ・ 第46回分子生物学会年会 神戸ポートアイランド (ポスター発表)
- ・ その他、研究会・オンラインセミナー を 計5件発表.
- ・ 会報誌・総説集の更新 (会報誌x1, 総説集x3, 写真集x1: 計4冊)
- ・ IT企業 サイマンテクノロジー (SciMoun) が公式スポンサーに就任.



はるらぼ★クロニクル (代表例)

2024年

- ・ 海外遠征資金確保のためのクラウドファンディングの実施
- ・ 超異分野学会 中四国大会 (岡山)
- ・ 超異分野学会 大阪大会 (大阪)
- ・ 日本動物学会 第95回 長崎大会 (口頭発表)
- ・ 第47回分子生物学会年会 マリンメッセ福岡 (ポスター発表 x 2演題)
- ・ その他、研究会・オンラインセミナー を 計6件発表.
- ・ 会報誌・総説集の更新 (会報誌x4, 計4冊)



2025年

- ・ はるらぼ会報誌・ウーパールーパーだより vol. 7.0 を公表



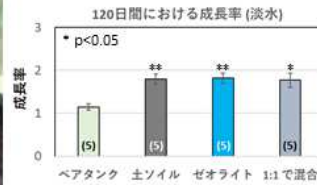
生育・成長に適した飼育(生育)環境の調査 (~2023)



(A) ペアタンク
(= 底砂なし)



(B) ソイル(土, 砂)を加えて
自然界に近づけた環境



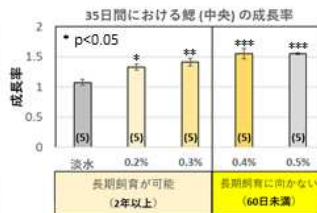
(C) ソイル有/無間の成長率比較
(水質は中性: pH 6.5-7.0)



(D) 汽水浴開始時の鰻



(D') 汽水浴(0.2~0.5%)で
約1ヶ月飼育後の鰻



(E) 汽水環境下での鰻の成長率
(水質は中性: pH 6.5-7.0)

成長制御に重要な因子のスクリーニング(継続中)

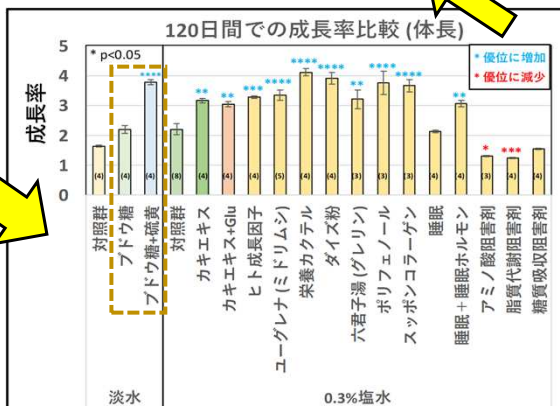
タンパク質(アミノ酸),
脂質(脂肪), 糖質 等に注目

ビタミンB, D 群,
グリシン, アルギニン,
鉄分, 亜鉛 など

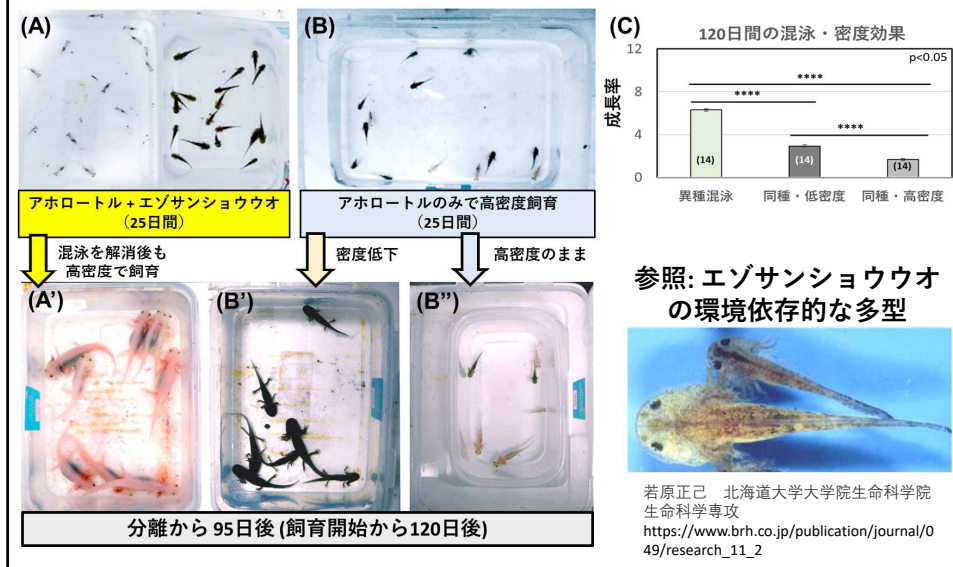


カキ粉末

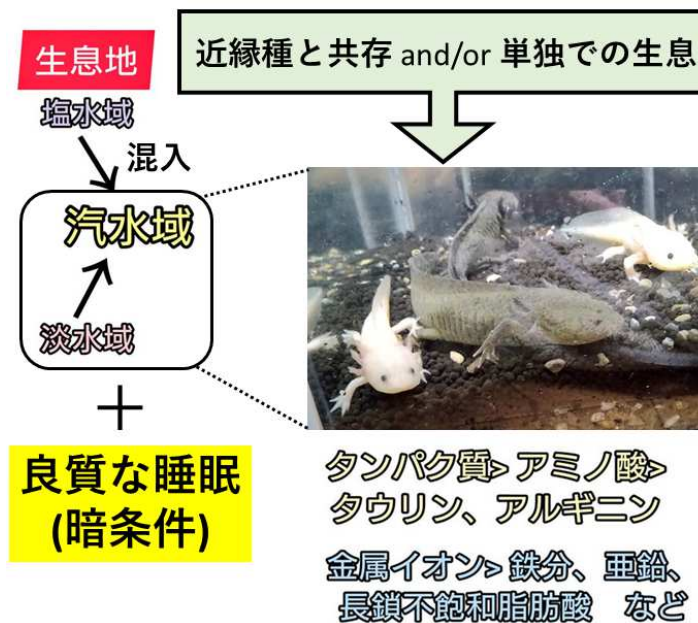
グルタミン酸Na
(要は"味の素")

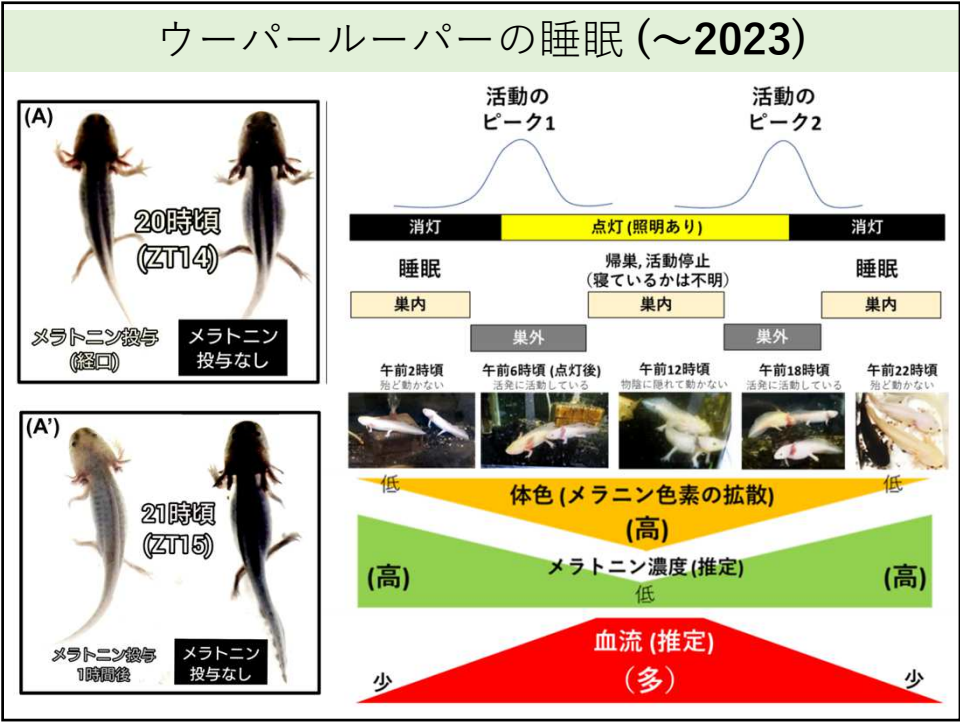


異種混泳および生育密度が成長に与える影響 (～2023)



これまでの知見のまとめ (～2023)





【孵化した幼生の飼育の方法】 (2022/12/12～)

尚、孵化した稚魚(幼生)は、十分なエアレーションをしながら、毎日水替えで対応していく。⁴⁾
大きなフィルターでの濾過を行うと、濾過器に詰まってしまう場合もあり、非常にリスクと思われる。⁴⁾
餌に関しては、可能であれば動く餌料(ブラインシュリンプやミジンコなど)を用意してあげることが推奨する。(一応、冷凍ブラインシュリンプでも育成は可能ですが食べ残しが多いのが難点かも。)⁴⁾
活ブラインシュリンプの調達には、孵化器と卵が必要であり、それぞれ事前に準備しておく必要がある。⁴⁾
ブラインシュリンプの孵化のさせ方の詳細は、[文献 5, 6]を参照のこと。⁴⁾



参考写真: 汽水飼育(ミネ水飼育法) 個体の第1世代の育成(2022/12/12～)⁴⁾
22/12/15 孵化が完了した個体たち。⁴⁾

アホロートルの生態と生息環境に関する知見 (2023-2024)



ウーパールーパーだより vol.3.0
メキシコサラマンダーの生態と生息環境に関する調査報告

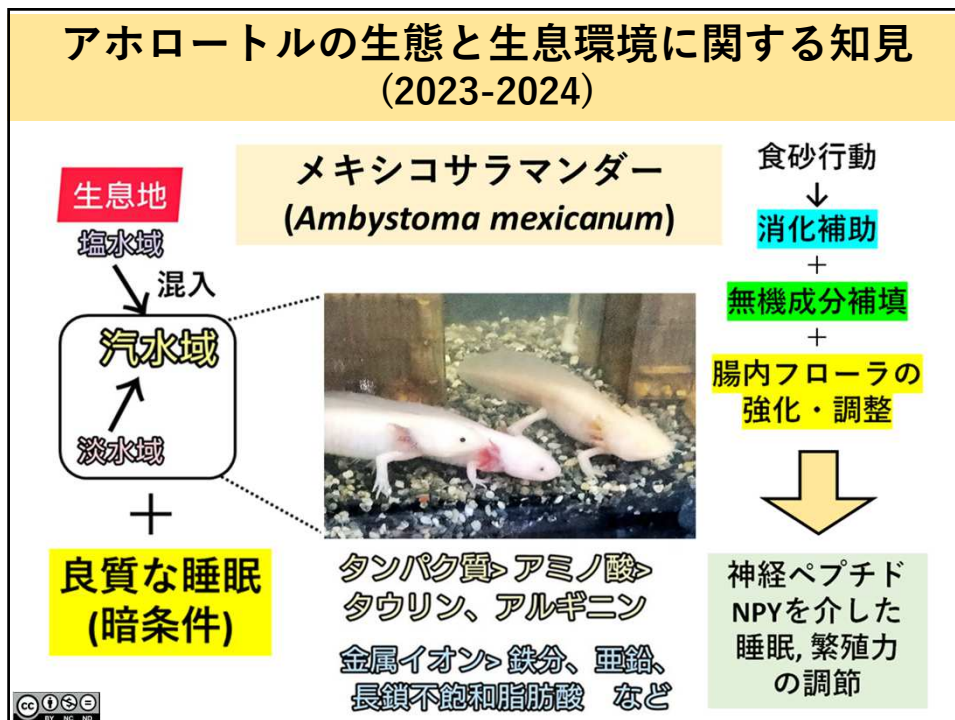
詳細は、論文内を参照のこと。
【総説】メキシコサラマンダー および トラフサンショウウオ科の近縁種における生態・生息環境に関する調査報告
 はるらば会報誌_ウーパールーパーだより vol.3.0
https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44375317

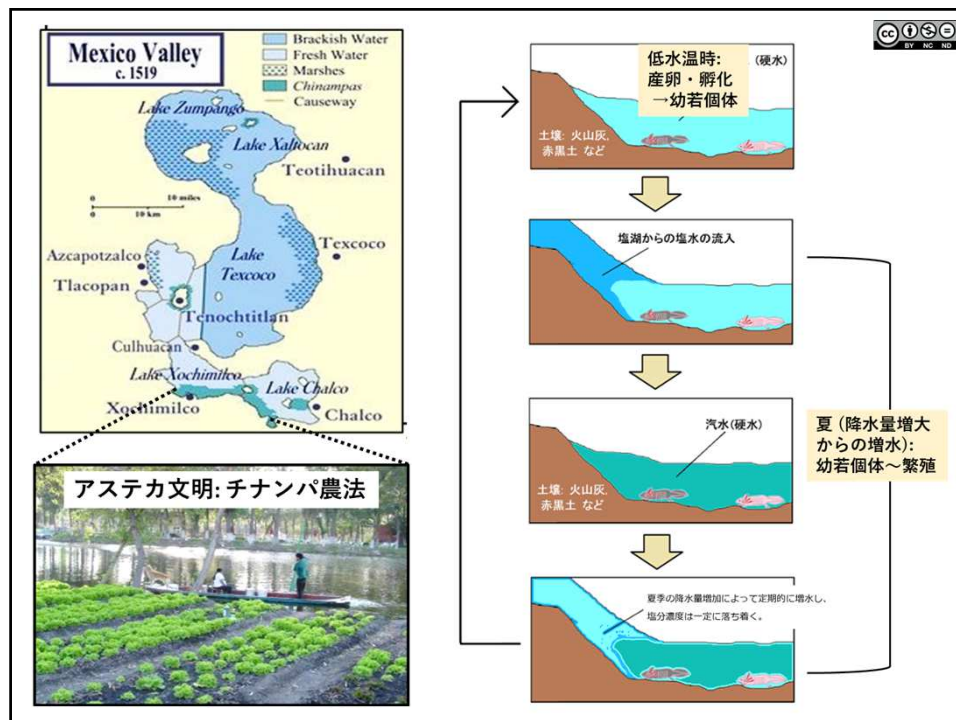
- ・アホロートル原産地のソチミルコ湖は、かつては淡水水→塩湖水が循環していた。
- ・アホロートルの生育には、硬度の高い 淡水 → 汽水 (0.3%) が適度に循環する環境が望ましく、産卵～生育時期毎に Na (すなわち塩分) の最適濃度が異なることが示唆された。
- ・ある程度生育した個体において、彼らの免疫力 (特にカビ類へ) の低さを、こうした硬度の高い水環境や Na の含有率の高い時期のある水環境が補ってきた可能性が高い。

	ベアタンク時 (硬度低め)	底砂有り時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.30%	淡水～0.40%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.10%	淡水～0.15%
day30～60 (幼体)	0.10～0.15%	0.10～0.25%
day120以降 (亜成体以降)	0.10～0.20%	0.10～0.30%

- ・塩の最適濃度が異なることや、水中の感染源が一定になる必要がある問題から、水の循環は必要不可欠であったと考えられる。

- ・現在、ソチミルコ湖のあるメキシコ市水環境は開発や水のせき止め、一部観光地化による排水の垂れ流しなどで、非常に悪くなってきており、言わばヘドロ溜まりのようになっている。
- ・現在でもかつてのように塩分濃度は高めではあるが、水の入れ替えが起りにくく、当時よりも塩分濃度が継続して高いままの可能性が高い。
- ・生息地における水の循環がかつてより損なわれ、野生個体数が減少する現在の水条件は総合的に彼らには適していない可能性が高い。(→ 現在の環境を模倣した飼育手法には注意が必要。)







アホロートルの生態と生息環境に関する知見 (2023-2024)

<単独生活個体>



各因子の
発現強度
単独<集団

セロトニンの効果: 幼少期は攻撃性に関与し、成長後は
攻撃性の抑制にも作用し、集団生活での均衡を保つ?

成育密度効果: 密度が高い方が、攻撃性が一層強まる?
→ その分強く抑制されるよう制御を受ける。

<集団生活するアホロートル>



幼少期: MTG1, 2 > セロトニン受容体
成育に伴い... MTG1, 2 < セロトニン受容体

VS

側線器官による
他個体の感知・応答



<異種混泳個体群>



異種混泳条件下では、
・攻撃性上昇
・それに伴う攻撃性の抑制
・摂食用増大・筋肥大の促進
(HSP90, 70, 糖質コルチコイド受容体の活性化)
→ 成長促進(成長過剰)
といった防衛応答が起こる。

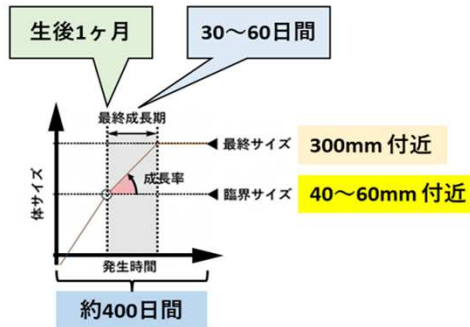


アホロートルの生態と生息環境に関する知見 (2023-2024)

側線器官による
他個体の感知・応答



成育密度の感知・成長速度の調整に
関する可塑性: 生後から90～120日



<"よそ者"が居る環境で起こること>

他の種類の
サンショウウオさん



<集団生活において発生する3つの行動型>



高密度条件 (狭)

成長はするが
非常に緩やか



異種混泳による
成長促進

集団飼育下で変態誘導された個体。
→ 外鰓が短くなり、肺呼吸へ移行していく。



アホロートルにおいて 糖と硫黄の同時摂取が成長を更に促す

→ 硫黄を代謝する機構が存在する？

+ グルコース



+ グルコース
+ 硫黄



考察: アホロートルにおける糖代謝の意義



アステカ文明: チナンパ農法



原産地:

古代のメキシコ・ソチミルコ周辺

サトイモ や マメ類などを水辺で栽培



水中や土壌にそれらの成分が溶け出し
砂・泥へと溶け込む



植物性のタンパク質, 糖質を
食砂行動時に摂取・代謝していた

(後述: 腸内乳酸菌との関連あり)

(腸内乳酸菌と睡眠・成長・
神経ペプチド NPY の関連あり; 2023年報告)

アホロートルにおいて 硫黄呼吸・硫黄代謝の機構は存在しているのか？

硫黄 (S)



製品詳細情報 | 硫黄(粉末) 32513-55 500G ナカライテスク株式会社 | e-Nacalai Search Version

水槽や鍋内の硫黄酸化菌 *Acidithiobacillus* 等によって硫酸イオンに変換され吸収される。



酸性硫酸塩土壌における微生物群集 | 研究内容 | 環境適応生物を活用する環境修復技術の開発 (nihon-u.ac.jp)

セリン (Ser)

NC(CO)C(=O)O



[Serine Amino Acid - Function, Deficiency, Foods High in Serine \(healthjade.net\)](#)
[L-セリン\(L-Serine\)のサプリメントならDoublewood.jpで簡単に個人輸入](#)

↓

CBS, CSE の作用で
Cys が生合成される。

システイン (Cys)

NC(CS)C(=O)O

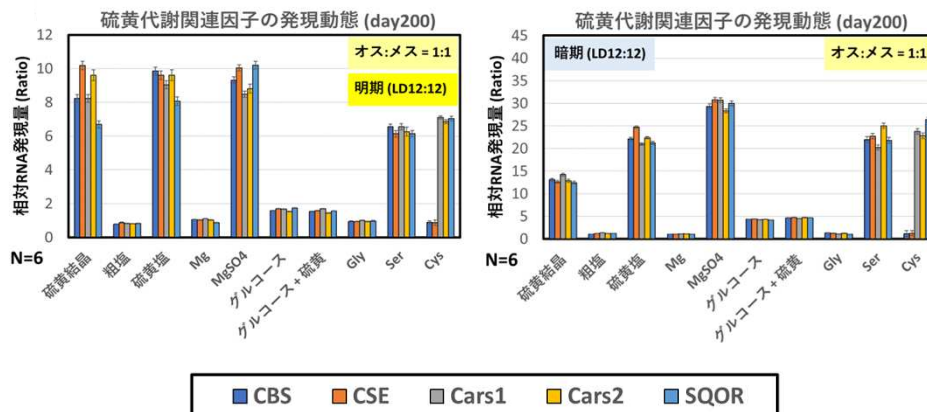


[システイン - Wikipedia](#)
[NOW Foods, L-Cysteine, 500 mg, 100 Tablets \(iherb.com\)](#)

疎水性, 中性, 極性側鎖を持つアミノ酸。

アホロートルにおける 硫黄呼吸・硫黄代謝関連因子の発現動態

→ 夜間には若干発現が上昇する (体内時計と連動?)



アホロートルにおける糖代謝 + 硫黄呼吸

糖質依存的な成長促進機構 (day200)

固形餌



+セリン



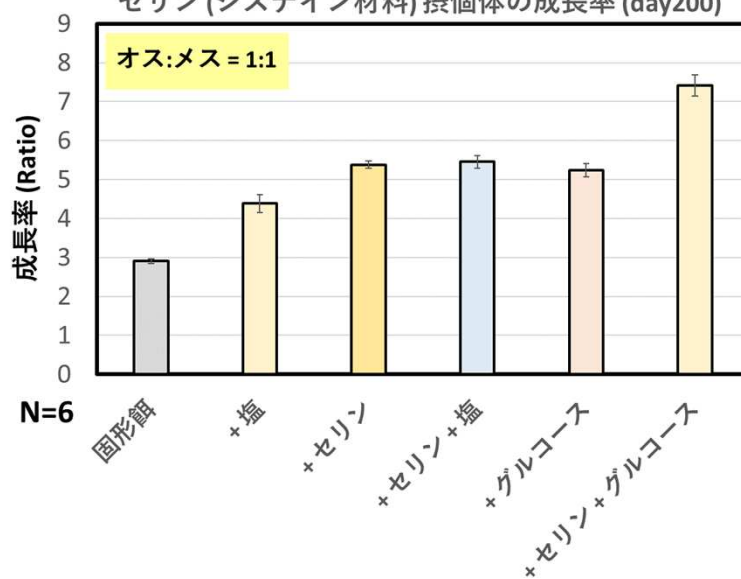
+セリン
+グルコース



アホロートルにおける糖代謝 + 硫黄呼吸

セリン (システイン材料) 摂個体の成長率 (day200)

オス:メス = 1:1



アホロートルにおける 糖代謝 + 硫黄呼吸

糖質依存的な成長促進機構 (day1200)

通常餌+糖質 (淡水)

+ グルコース

+ グルコース
+ 硫黄 (+ 硫黄酸化菌)

+ システイン

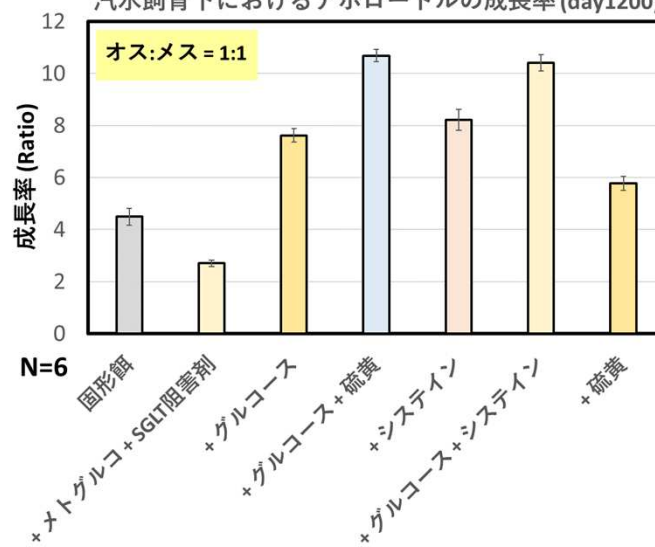
+ グルコース
+ システイン



アホロートルにおける糖代謝 + 硫黄呼吸

→ アホロートルはどのように硫黄の結晶を代謝しているのか？

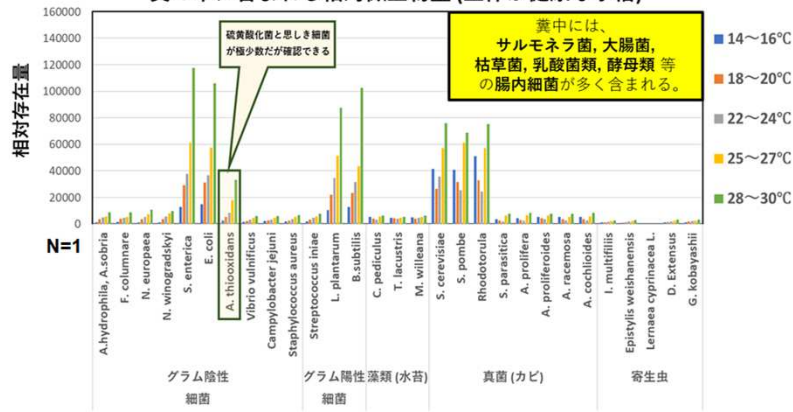
汽水飼育下におけるアホロートルの成長率 (day1200)



飼育水槽や腸内に硫酸化菌の仲間が生息する場合がある



糞に含まれる相対微生物量 (生体が健康な水槽)



アホロートルの生活環における糖代謝と硫黄代謝 (2023~2025)



- ・アホロートルは、古式農法の盛んな水環境で糖質を摂取する能力を得た。
- ・食砂行動により乳酸菌等を摂取することで、植物由来の糖代謝が可能。
- ・アホロートルは火山のような泥環境において硫黄源を摂取していた。
- ・食砂行動の中で硫酸化菌を摂取することで硫黄の代謝を可能とした。
- ・糖代謝と硫黄代謝を併せることで高い成長促進効果が生じる。

《はるらぼ からの提言》

当ラボでは、“ミネ水*飼育法”を提唱しています。

*ミネ水 は、当ラボで調査・開発した手法です。

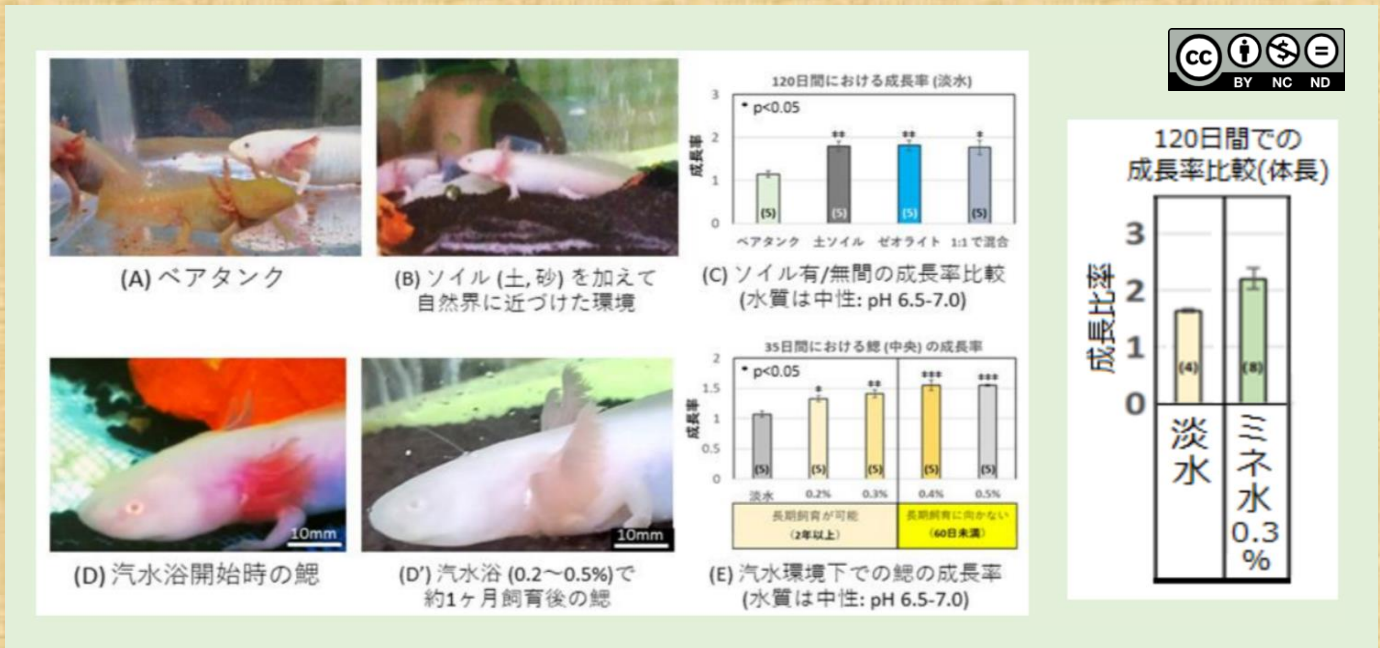
汽水条件である0.15～0.3%になるよう、塩水を作成し、そのままウーパールーパーを飼育する方法です。

高ミネラルや浸透圧上昇により、成長促進や細菌感染症予防の効果が期待できます。

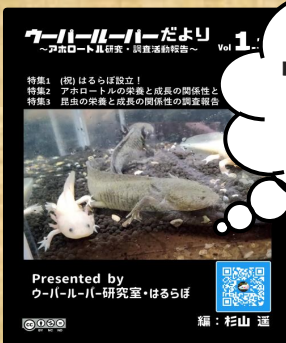
また、ソイルやゼオライトと併用することで、ミネ水の更なる効果や塩分による影響の緩和を見込めます。

また、2週間ごとに塩分濃度を1/2以下に調整する“休塩日”を設けるとより安心です。

当ラボ発の文献にて、これまでの検証結果を紹介しております。



< ミネ水関連書籍 >



ウーパールーパー
だより vol1



コラム・総説
ウーパールーパー
の飼育係

《面白データ from はるらぼ part.1》

＜”よそ者”が居る環境で起こること＞

他の種類の
サンショウウオさん



異種混泳開始時

- ・やや攻撃性が高まる
- ・共食いの訳ではない
- ・側線器官で異種を感知 (飼育水の成分ではなく異種の持つ電位等に反応?)

食欲増進・成長促進

- ・摂食量が増大
- ・成長率が早い
- ・HSP70, 90, 糖質コルチコイド等の筋肥大に関わる因子の活性化

(ほんのちょっとだけ...)

皆様に注目されました🌟

← プチBUZZ👍

当ラボは、**異種混泳※がウパールパの成長を早める**事とその詳細な仕組みを解明しました！

(※他の種類の両生類と一緒にいること)

↓ この画像をクリックすると掲載雑誌に飛べます！ ↓



「ウパールパ」研究室「はるらぼ (選研)」

@lab_new2

プロモーションする ...

ウパールパーは、幼少期に他のサンショウウオと一緒にいると、こんなに成長率が変わります🌟

種を守る力に驚かされますね💧

右写真の続き、開始から630日(21ヶ月)目になります！

月日は本当に早い...老けたなあ...💧

#ウパールパー



参考: 異種混泳および生育密度が成長に与える影響

《はるらぼ発表書籍1》

・ Pdf 版 (いつでも無料DL可！)

→ https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl

・ 冊子版 (有料) 購入希望の方はこちらから

→ https://note.com/lab_new2/n/nd1c464929a6c

↓ 画像をクリックすると雑誌に飛べます！ ↓



役立つ知識本！
+
最新のウパ科学！

リニューアル！
飼育案内から最新の研究まで
幅広い分野を取り扱う雑誌へ！
(2023/2/25～ 公開中)

総説: ウーパールーパー / 虫・魚の飼育係
～飼育の最新情報・学術データまとめ～

※ note への単独記事も掲載あり！

https://note.com/lab_new2

《はるらぼ発表書籍2》

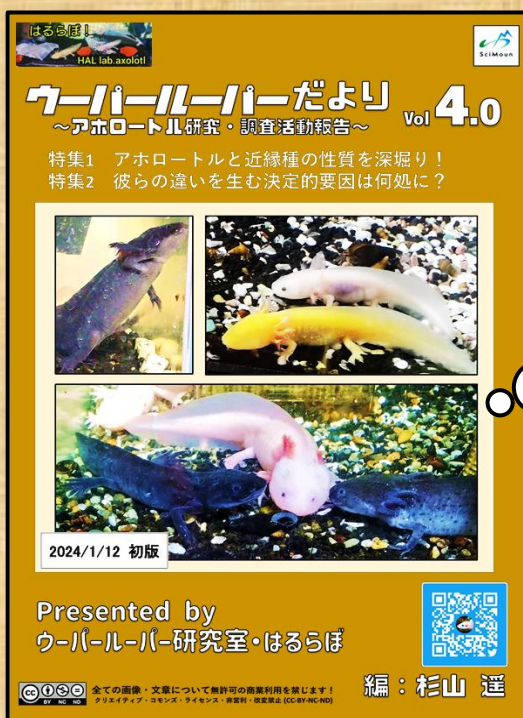
ウーパールーパーだより ～アホロートル研究・調査活動報告～

↓ 代表（杉山）の力作！ ↓



Vol 3 近縁種との違いは？ 故郷の様子も推測

近縁種のタイガーサラマンダー、
アンダーソンサラマンダーと
ウパールパのどこが違うのか
じっくりと調べました！



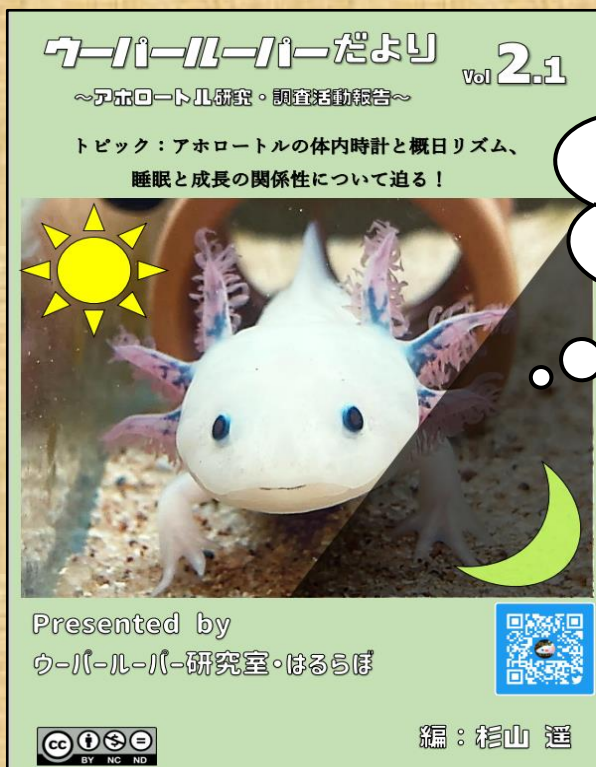
Vol 4 ウパールパの色違い で性質は変わる？

成長率や睡眠サイクルに関しては、
色の違いは一切影響が見られない
ことが明らかになりました。

《はるらぼ発表書籍3》

ウーパールーパーだより ～アホロートル研究・調査活動報告～

↓ 代表（杉山）イチオシ！ ↓



Vol 2 アホロートルの 睡眠

なんと！
ウーパールーパーって
夜明け☀と夕暮れ🌇
に起きているんです♪

Vol 1 アホロートルの 栄養と成長

はるらぼの原点！
三大栄養素（アミノ酸・脂肪・糖質）
は、いずれもウパールーパーの成長には
必要だと分かりました♪



<学会・発表・講演1>

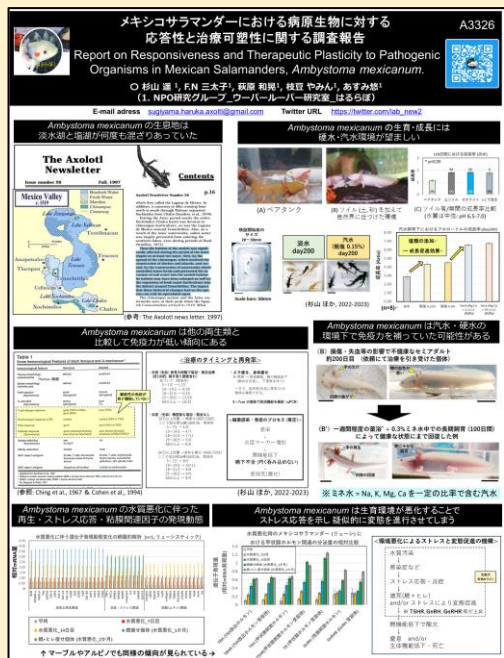
↓ 画像をクリックするとアーカイブが視聴可能！ ↓

日本動物学会 第94回 山形大会 (23/9/9 開催) にて、
ウパールパと汽水環境の関係性について研究内容を口頭発表しました！



23/12/6 第46回日本分子生物学会年会 にて
ポスター発表しました！

↓ 画像をクリックで拡大できます ↓



解説動画リンク①

解説動画リンク②

<取材・メディア出演>

↓ 画像をクリックするとアーカイブが視聴可能！ ↓

レン/科学のポッドキャスト様との対談 2022/9/19

(公開収録 in Twitterスペース: 22/7/21 → 配信日: サイエンマニア 22/9/5 (#85), 22/9/12 (#86))

#ポッドキャスト #サイエンマニア #ウーパールーパー #はるらぼ

画像をクリックすると配信先に飛べます。所見の皆様も、是非ともご視聴をお願い致します。(by 杉山)
杉山自身の研究への想いとはるらぼに関する語り、レンさんの素敵なお声を是非ともご堪能下さい！

レン / 科学のポッドキャスト @... · 9月5日
#サイエンマニア 更新！

自宅で行うウーパールーパーの研究とは？睡眠と体色は関係する？【ウーパールーパー前編】 #85

- ・ウーパールーパーとの出会い
- ・再生ブームは繰り返す
- ・ウーパールーパーの睡眠
- ・ペットカメラは宝の山

ポッドキャストで配信
↓
scientalkclub.wixsite.com/scienmania

レン / 科学のポッドキャスト @... · 13時間
#サイエンマニア 更新！

研究の形はひとつじゃない！論文の本質と発信の方向性を考える。【ウーパールーパー 後編】 #86

- ・アカデミックの問題点とポストドク
- ・世の中の事象を宝の山として見る
- ・ウーパールーパー飼育の課題
- ・論文を書く本質
- ・発信活動はじわじわ効く

scientalkclub.wixsite.com/scienmania

大人気YouTuber！うぱ丸ちゃんねる様 からも取材を受けました！
(はるらぼ式の飼育方法等)

関連動画; ↓ 視聴には以下の画像リンクをクリック ↓

ウーパールーパー
汽水飼育

やり方&注意点

ウーパールーパーの汽水飼育方法 & 注意点【ミネ水】 / 飼育・かわ...
#アクアリウム#ウーパールーパー
#axolotl ...

塩水で飼育します

飼育方法を変えます！ / ウーパールーパー・飼育・かわいい・おも...
#アクアリウム#ウーパールーパー
#Axolotl...



【研究報告】アホロートルにおける 糖代謝と硫黄呼吸に関する調査報告



報告日: 2025 年 1 月 5 日

著: 杉山 遥* (Ph. D)¹, 竜岡 龍騎², 高橋 慶¹, 阿保郎 太郎¹ (ファーム管理)

※ 責任著者, 監修・最終著者

所属: ¹ハルラボ (ウーパールーパー研究室, since 2020~),
sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

²トラフサンショウウオラボ (仮, since 2018~)

X (旧 Twitter): https://x.com/lab_new2 (@lab_new2)

Facebook <https://www.facebook.com/profile.php?id=61555247101938>

【国外】研究者 SNS “ResearchGate”

<https://www.researchgate.net/profile/Sugiyama-Haruka>

【国内】研究者ポータルサイト “Research map”

https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl?lang=ja

協賛 1: [サイマンテクノロジー](#) @SciMounTech (X/Twitter)

協賛 2: [Umihito 海人](#) [アクアリウム](#)

協賛 3: [アホロートルレスキュー](#) @CUNEflash

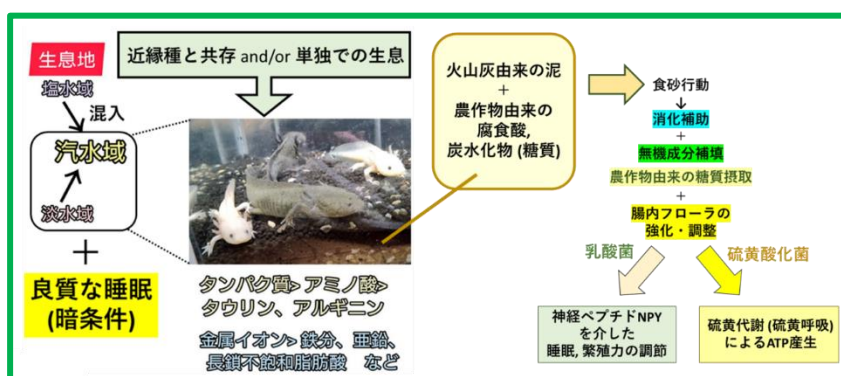


※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。



概要 Abstract

- ・生体が活動するために必要なエネルギー (ATP) は、様々な代謝反応によって生合成される。
- ・多くの多細胞生物において、酸素を用いた糖質の代謝による ATP 合成 (糖代謝) が行われる。
- ・マウス・ヒトにおいて、硫黄源 (システイン) 由来の分子である“システインパースルフィド”を利用し、酸素を用いずに硫黄源を用いた代謝経路で、ミトコンドリアにおける電子 (水素) 伝達反応を起こす“硫黄呼吸 (硫黄代謝)”という代謝経路が報告された。(文献[1]. 参照; Takaaki et al., *Nat. Commun.*, 2017)
- ・アホロートルの栄養源においては、彼らが肉食性であることから通常、タンパク質・脂肪の貢献度が高いとされている。一方で、ハルラボにおけるアホロートルの成長に関わる栄養素スクリーニングにおいて、糖質の摂取が顕著に成長を促進させることや、糖代謝の阻害剤投与によって成長が阻害されることから、糖代謝が彼らの成長において重要であることが明らかになっていた。(文献[6]. 参照; 杉山 2023~2024)
- ・ハルラボによるアホロートルの成長に関わる栄養素スクリーニングの中で、硫黄結晶を摂取した個体において成長が促進され、アホロートルにおいて硫黄呼吸を行う性質があることが示唆された。加えて、糖質の摂取と硫黄呼吸を併せることで、それらの効果が強まることが示唆された。(文献[6]. 参照; 杉山 2023~2024)
- ・硫黄源として、システインやその前駆体であるシスタチオン合成に関わるセリンを摂取させることで、前述の硫黄結晶の摂取と同等の効果を得られたことから、硫黄呼吸がアホロートルでも行われていることがより強固に示された。
- ・固形の硫黄結晶は、アホロートルの代謝系では通常そのままでは吸収することができないため、ハルラボにおける2023年の調査結果以降も、その詳細な機構については未解明であった。
- ・腸内細菌叢 (フロラ) と成長制御について調査する過程で、硫黄呼吸を行えるアホロートルの腸内には、硫黄を代謝可能な腸内細菌である硫黄酸化菌の一種“*Acidithiobacillus thiooxidans*” (以下、硫菌) が生息しており、この細菌が硫黄の一部を硫酸イオン (SO_4^{2-}) へと変換することで、アホロートルが腸管から硫黄源を吸収できる可能性が示唆された。
- ・成長不全個体の中には腸内細菌の欠乏が要因と思われる個体があり、感染症治療薬を塗布した飼料を与えることで腸内を滅菌した個体は顕著に成長が阻害されることが明らかとなっていたが (文献[6]. 参照; 杉山 2023)、硫菌の欠乏では成長への影響があまり大きくない一方で、腸内乳酸菌を著しく欠乏した個体では成長が顕著に阻害されることが示唆された。
- ・硫菌呼吸の効果が十分に発揮されない条件は複数存在し、
 - 1). 硫黄源からシステインの生合成に関わる酵素 (セリン⇒シスタチオン合成; CSE, システインパースルフィド⇒システイン; CBS) を欠損した変異体の系統
 - 2). 遺伝子には変異は見られないが、硫菌を腸内に保持していない個体 (および 硫菌が棲息していない水槽)の2つの状況が確認された。
- ・硫菌を欠乏し硫黄呼吸が行えない個体に対し、硫菌 (を持つ個体の糞や底砂・ソイル) を経口投与によって補填することで、その表現型を回復できることが明らかとなった。



Graphical abstract: アホロートルにおける矮小個体とその原因因子の解析

導入 Introduction

- ・ハルラボではこれまで、絶滅危惧種であるメキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, Axolotl; 以下、アホロートル) を救うべく、複数のアプローチから彼らの生態について調査を行ってきた。(補足図 1 & 文献[6]. 参照; 杉山 2023~2024)
- ・これまでの我々の研究報告にて、アホロートルの生育において、タンパク質 (アミノ酸)・脂質 (不飽和長鎖脂肪酸)・糖質 (+硫黄代謝, 硫黄呼吸)・底砂に付着した腸内微生物叢 (乳酸菌, 酵母)・良質な睡眠 (神経ペプチド NPY+腸内乳酸菌からの補助効果)・金属陽イオン (カチオン類; Na, K, Ca, Mg)・ビタミン類 などが重要であることを明らかにしてきた。
(過去検討結果 & 文献[6]; ハルラボ@研究者ポータルサイト>業績リスト https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl. 参照)
- ・前述のとおり、アホロートルにおける栄養素のスクリーニングにより、糖代謝による好気呼吸とは別に、硫黄を用いて電子伝達反応を行う硫黄呼吸 (文献[1] & 過去検討結果 1. 参照) を行う能力があることが示唆された。具体的には、硫黄結晶を摂取した個体は、有意に成長率が向上するという結果が得られた。
- ・アホロートルの野生種の生息地であるソチミルコ湖周辺の土壌は、湖周辺での火山活動の記録や湖の氾濫などを踏まえると、火山灰・黒玉土などを含んだ土壌 (硫黄などを含むユートリックカンビソル) であることが推察された。また、このソチミルコ湖周辺では古式農法 (チナンパ; 最も発展したのは アステカ文明 1300~1500 年時代, 現在も一部復活) が行われており、栽培されたサトイモやマメ類等の成分が水中へ溶け出すことで水底の砂・泥へと溶け込むことで、食砂行動などを経て植物由来の成分 (タンパク質, 糖質) を体内へと摂取し、それらを好む細菌類を腸内細菌 (主に乳酸菌の仲間) として併せて用いていた可能性が考えられた。(文献[1], 補足図 1-3, 1-4 & 12, 15~17 参照)
- ・加えて、ソチミルコ周辺の土壌には硫黄源 (S , H_2S , SO_4^{2-}) が含まれていることが分かっており、硫黄細菌が棲息している可能性や、食砂行動時にアホロートルが硫黄源の摂取と併せて硫黄細菌の仲間を摂取して体内へと取り込み、硫黄を生命活動に用いていた／用いる能力があった 可能性が考えられた。(補足図 1-5, 15~17. 参照)
- ・硫黄呼吸とは、細胞内小器官であるミトコンドリアにおいて、システイン (Cys) から生合成される **超硫黄分子 (システインパーサルフイド: CysSSH)** を分解することで、エネルギーの源である ATP を産生する電子伝達反応を起こす一連の機構である。アホロートルにおいても、硫黄を持つアミノ酸である システイン (Cys) や その原料である セリン (Ser) を経口投与することで、硫黄結晶を摂取した個体と 同等 または それ以上 の成長率を示すことが明らかとなっており、硫黄摂取による成長促進効果が硫黄呼吸の恩恵であることが大きく肯定された。(文献[1] & 補足図 3, 4, 7. 参照)
- ・実際、アホロートルにおいて硫黄呼吸に関連した因子群 (Cars, CBS, CSE, SQOR) の発現が確認されており、硫黄呼吸を行う個体において、硫黄源の摂取に伴って発現が顕著に上昇することが明らかとなった。(文献[1]~[5] & 結果 5, 補足図 4~7. 参照)
- ・これに加えて、固形硫黄を摂取したアホロートル個体において、硫黄代謝 (硫黄呼吸) が起こっている根拠として、腸内細菌叢の中に硫黄酸化菌の一種である、**硫黄酸化菌の一種 “*Acidithiobacillus thiooxidans*” (以下、硫菌)** が棲息していることが明らかとなった。また、硫菌を腸内や生息環境に持たない個体では、固形硫黄呼吸の恩恵と思しき成長促進効果が十分には見られないことから、腸内の硫黄酸化菌が固形硫黄から硫酸イオン (SO_4^{2-}) の生合成を行うことで、最終的に硫黄呼吸へと繋がると考えられた。(結果 6~8 & 補足図 8~9. 参照)
- ・魚病治療薬による薬浴の実施や治療薬を塗布した餌を与えることで腸内を滅菌することで、腸内細菌の恩恵を完全に消失できるが、腸内細菌を持つ土壌や他個体の腸内細菌を経口投与することで、腸内細菌叢 および 腸内乳酸菌の効果や硫黄呼吸の能力を腸内滅菌前の状態まである程度回復させることができた。(結果 11 & 補足図 12. 参照)
- ・このように、かつてアホロートル達は、生息環境における糖質や硫黄源を積極的に用いるために、底泥や周囲の土壌に生息する腸内乳酸菌や硫菌を体内に棲まわせることで共生し、効率的にミトコンドリア内における電子伝達反応を行うことで生命活動に必要なエネルギー (ATP)を得ていた可能性が考えられた。

以下、本研究にて得られた知見について順次報告したく思う。



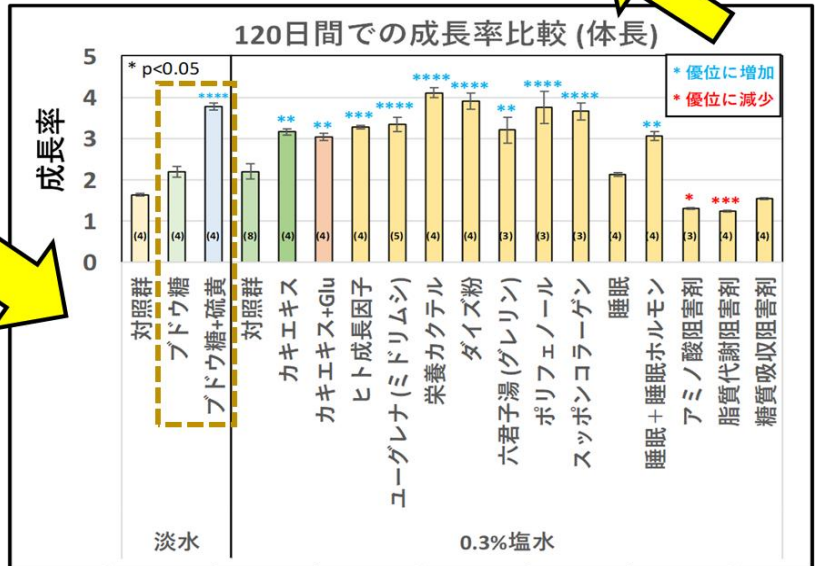
タンパク質(アミノ酸), 脂質(脂肪), 糖質 等に注目

ビタミンB, D 群,
グリシン, アルギニン,
鉄分, 亜鉛 など



カキ粉末

グルタミン酸Na
(要は"味の素")



過去検討結果 1: 成長・生育に関わる因子の探索・統計結果 1_day120 (杉山, 2022-2024)

<360日間における栄養依存的な成長率の比較>



<360日間における栄養依存的な成長率の比較>



過去検討結果 2: 成長・生育に関わる因子の探索・統計結果 2_day360 (杉山, 2023)

材料と手法 Materials & Methods

本研究には、メキシコサンショウウオ(ウーパールーパー)の各系統を用いた。

尚、本項に記載されていない内容は、基本的に本文中に記載されている条件を参照のこと。

本文献に掲載したデータに用いるために実施した実験・調査の手法は、過去の報告内容に準じて条件設定を行った。ただし、系統比較や近縁種との比較の中で条件設定などを調整・変更した場合は、適宜本文・図表の解説文中で適宜補足する。

また、当ラボにて用いる系統は、野生型のメキシコサラマンダー (*Ambystoma meicanum*) または 野生型×トウブタイガーサラマンダー (*Ambystoma tigrinum*) の交雑系統であるが、標的の遺伝子発現動態や生体の行動等に大きな差異が見られない条件下においては、いずれも同じメキシコサラマンダーの系統として取り扱う。尚、当ラボの先行研究において、基本的には大きな差異は見られないことを明らかにしている。(文献[1], 杉山 ほか, 2024. 参照)

【アホートルの系統】

上記内容を踏まえ、腸内細菌を正常に持つにも関わらず硫黄呼吸を巧く行うことができない系統を、**硫黄呼吸の変異系統**として用いた。

子孫に高い頻度 (8~9 割程度) で硫黄呼吸が巧く行えず成長促進効果が見られない、かつ、多くが硫黄結晶やセリンの摂取によって成長率が回復しない系統を "**Mt 系統 (Mt1~10)**" とした。(結果 9. 参照)

※ 本論文では、硫黄呼吸不全を示す子孫 (F1) 個体を主に用いているが、一部 Mt○○系統と記載あり。

・**Mt1 系統・・・セリン** ⇒ シスタチオン生合成に関わる酵素 (CSE) に有意な発現低下あり。

・**Mt2 系統・・・システインパースルフィド** ⇒ システイン生合成に関わる酵素 (CBS) に有意な発現低下あり。

これらの系統は、ゲノム上において、硫黄呼吸に関わる因子の配列の欠損やフレームシフトを生じている可能性が高いと考え、ゲノム PCR にて特定の領域においてデータベース上で公開されている配列情報を元に複数のプライマーを設計し、得られた配列の長さや PCR の成功率に基づき、塩基の欠損や置換が生じているかを判断した。

[一部、点突然変異の有無に関しては、シーケンスによって配列を確認・比較を行っている。(データ未掲載)]

今回用いた "**Mt1, 2 系統**" は、発現量が正常型の半分以上となり、顕性 (優性) 形質が発揮されない程度まで発現量が低下するホモ接合のまま、ある程度保持されている可能性が高い。(結果 9. 参照)

【明暗条件】

適切な成長制御・体内の概日リズムを保持するため、日長条件を特殊な状態にする場合を除き、実験室における飼育管理やファームにおける系統管理において、LD12:12 [明期: ZT0 (午前 6 時)~ / 暗期: ZT12 (18 時)~] の 日周リズムで飼育を実施した。特に、他個体認識時、求愛に際した攻撃行動・噛み合い行動等のセロトニンによって制御される行動様式が適切に発揮されることや、睡眠時におけるセロトニン→メラトニンへの合成・分泌が十分に行われることを目的とし、上記の明暗周期での管理を徹底した。

【飼育水の条件】

飼育時の水温は、通常は 18~22℃, 繁殖モード誘導時は 18℃ → 8℃ (5 日間) → 18℃ (5 日間) という処理を施した。

今回は、成長促進効果による試験結果への影響を加味し、全ての飼育・調査において淡水飼育条件で統一した。

水質: 淡水環境; pH6.7 (平均値), KH4.8~5.4

【腸内細菌叢の制御】

腸内細菌を制御 (滅菌) する際、魚病治療薬を用いた薬浴 および 治療薬を塗布した粒餌の経口投与を行った。

また腸内細菌叢を復活させる場合、他の腸内細菌が生存している飼育水槽中での飼育 や 飼育個体由来の底砂・泥 および糞 の経口投与を実施した。(結果 6~8, 13 & 補足図 8~9, 12. 参照)



【飼育密度の設定】

本研究においては、高密度状態に起因した成長抑制が生じる可能性を考慮し、一部例外を除き、生体の生育時には全て低密度条件 (以下、黄色ハイライト) 下での維持とした。

飼育水槽: GEX_マリーナ 60cm 水槽 (60×30×36cm MR600BKST-N 269467)

- 単独飼育…水槽中に 1 個体を投入し、常に単独で生育する環境とした。
- **集団 (低密度) 飼育…水槽中に 6 個体を投入し、常に他個体と接する環境とした。**
- 集団 (高密度) 飼育…ポリ容器 (25cm×18cm×9.5cm; <https://jp.daisonet.com/products/4549131590630>) に 10~14 個体相当の飼育密度を設定し、成長に応じて生育に支障のない程度に高い密度を維持した。
- 過密飼育…定義は明確ではないが、上記のポリ容器に 14 個体程度を上限に、多くの個体で過密にした状態。

【成長過程の記録・撮影】

成長実験には 30-50mm の幼体を用い写真を撮影後、その後定量比較に用いるタイミング (撮影開始から 30, 60, 90, 120, 150, 180, 200, 250, 300, 360, 400...1200 日後) における成長後個体の撮影像と共に、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。飼育時の水槽は、本実験にて用いる個体では全てタイミングを統一し、成長過程に合わせて飼育水槽を大きくしていく方式を取った。

【飼育環境 および 観察・撮影条件】

成長実験には 30-50mm の幼体を用い写真を撮影後、その後定量比較に用いるタイミングにおける成長後個体の撮影像と共に、画像解析ソフト Image J (Color FootPrint) にて測定を行った。

給餌は (一部の例外を除き) 週 2-3 回、ZT および CT15-17 (午後 9-11 時) に必ず行った他、栄養試験の際には、餌中に混合した粉末成分を経口投与にて摂取させた。実験群への給餌の頻度は一定に合わせた。

【統計解析】

統計解析には、Graphpad Prism ver.6 を用いて One Way ANOVA; turkey test, * $p < 0.05$ にて有意差解析を行った。

【遺伝子発現解析に用いた手法・条件】

1. アホロートルの遺伝子発現解析

遺伝子発現解析の手法としては、RT-qPCR を用いた。

調査対象: 発現確認・比較に必要な全ての生育・発生ステージの個体

系統毎に 3 個体分の mRNA を回収し、逆転写した cDNA を 3 回繰り返し分析した結果を解析し、平均値を算出した。

比較方法: Relative standard

遺伝子発現強度の比較に際し、相対 mRNA 量で比較対象とした。

2. 腸内細菌叢 および 底砂に生息する微生物叢の同定・相対存在比の定量

水槽内や腸内に生息する微生物の解析には、PCR を用いた

調査対象: アホロートル飼育水槽 および 腸内 (糞内) に生息する細菌類、藻類、真菌類、他 寄生虫など

底砂 および 糞の懸濁液の濾液を遠心分離 [12,000 rpm 以上 (at R.T.)] し、沈殿した微生物を回収・分析した。

比較方法: 18SrDNA 分析

複数の微生物が固有に持つ 18SrDNA の配列に着目し、水槽内・腸内に生息する微生物の種同定を実施した。

【飼育水中に含まれるイオン・無機成分の検出】

飼育水・砂中に存在するカチオンや硫化物の存在を確認するために、イオンクロマト (IC, IOC) を用いた分析を外部機関へ依頼した。(底砂を 0.2 μ m のフィルターで濾過し、大きなゴミを除去後に分析を実施。)

【生体の血中に含まれる 超硫黄分子 (システインパースルフィド) および 硫黄代謝産物 の検出】

生体内で硫黄呼吸が実際に行われていることを確認するために、液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた分析を外部機関へ依頼した。(底砂を 0.2 μ m のフィルターで濾過し、大きなゴミを除去後に分析を実施。)



結果・考察 Results & Discussions

【アホロートルにおける糖代謝によって成長が顕著に促進される】

過去の報告でも示したが、糖質の投与によって生体の成長率が顕著に増大することが示唆された。

一方で、糖尿病薬としても用いられるメトグルコや SGLUT1 拮抗阻害剤 等の薬剤を投与することで糖代謝を阻害すると、糖の投与による成長促進効果が顕著に抑制されることから、アホロートルが解糖系を動かして糖代謝を行うことができる可能性があることが示唆された。(文献[6] & 結果 1~3. 参照)

また、腸内細菌を滅菌することで成長が顕著に阻害されることや、腸内乳酸菌の効果による神経ペプチド NPY の合成促進の効果、良質な睡眠による成長促進効果などが見られることから考えると、腸へと送られた糖質を腸内乳酸菌や酵母が利用することで解糖系の効果が適切に発揮されることが示唆された。(補足図 12. 参照)

尚、ダイズの粉末の投与でも同様の成長促進効果が見られるが、ダイズ粉末中には、植物性のタンパク質やデンプン、脂質、複数のビタミン類を含むことから、純粋な糖代謝の効果ではなく複数の成長制御に関わる有効成分の相乗的な効果である可能性が高い。(文献[6] & 結果 13. 参照)

一方でこの知見は、アホロートル自体が糖を代謝する能力を持っているか否かの判断の根拠となるにはまだ不十分であり、実際に HPLC による血液の分析結果から、糖質摂取後の彼らの血中にはグルコースが取り込まれていることが示されているため、今後より詳細な調査が必要であるといえる。(補足図 17. 参照)

【アホロートルにも哺乳類と類似の硫黄呼吸の機構が備わっている可能性が高い】

過去の報告含め、固形の硫黄結晶を与えるという若干安易な検証を実施した結果、想定外に成長が顕著促進されるという結果が得られた。この結果から、ハルラボでは、アホロートルにも硫黄呼吸の機構が存在する可能性を提言してきた。

これを肯定する結果として、硫黄呼吸のために硫黄源の確保として用いられるアミノ酸であるシステインや、その原料となるセリンの経口投与による成長促進効果が見られている。

また、セリンから生合成されるシステインの中間産物であるシスタチオニンの合成に関わる酵素 CBS や、シスタチオニンからのシステインの合成に関わる酵素である CSE、硫黄呼吸において不可欠な分子である超硫黄分子 (システインパースルフィド: Cys-SSH) の代謝に関わる Cars1 および Cars2、電子伝達反応に関わる SQR (SQOR; Sulfide Quinone Oxidoreductase)、等の複数の関連因子の発現が上皮・筋肉中で見られることから、少なくとも硫黄源であるシステインを成長制御に活用している可能性があることは明らかとなった。(文献[1], [6], 結果 1~6, 17. 参照)

硫黄呼吸の効果が見られない系統 (Mt1~10) のうち、CBS の発現が顕著に低下した個体を Mt1、CSE の発現が顕著に低下した個体を Mt2 と命名した。Mt1, Mt2 が目的の変異である根拠として、システインの投与で硫黄呼吸と同等の成長率を示した点が挙げられる。(材料と手法 & 結果 9~11, 17 参照)

【アホロートルにおける糖代謝と硫黄呼吸の相乗効果】

過去の報告でも示したが、糖質と硫黄を併せて経口投与した個体では、一方を与えた個体と比較して顕著な成長率の上昇を示すことが明らかとなっている。この結果から、腸内乳酸菌の補助下での糖代謝と硫黄呼吸の効果は、哺乳類と同様に並列の機構であり、下流の電子伝達系で合流することで、その相乗効果によって体内の総 ATP 量が増大し成長が促進されることが考えられた。(文献[1], [6] & 結果 1~4. 参照)

【硫黄呼吸による成長促進効果は筋成長・筋肉肥大に起因する】

糖代謝、硫黄呼吸の作用の効果がみられる個体において、成長関連因子の発現動態を確認した結果、多くの成長因子の発現上昇が確認された。

筋肥大・成長に関わる因子の活性化のみならず、糖質を投与した条件では糖輸送体 **GLUT (Slc2a) family**、硫黄源であるアミノ酸を投与した条件では **LAT (L-type amino acid transporter, SLC7A) family** および 若干の小胞体ストレス関連因子の発現上昇が見られた。従って、硫黄呼吸のための硫黄源 (ジスルフィド結合を持つアミノ酸) の合成・摂取は、小胞輸送の際に細胞に対して負荷をかける可能性があることが示唆された。(結果 5, 6, 14-19~14-24, 16. 参照)

【硫黄呼吸による成長促進効果は肝臓の肥大成長にも関わる】

硫黄呼吸を行う個体における肝臓の相対重量を、硫黄呼吸を行っていない状態の個体や、他の成長促進作用を示す個体と比較すると、成長率と肝臓の相対重量はある程度相関があることが示唆された。過去に検討を行った、ビタミン欠乏や軟骨伸長不全等のレスキューを行った個体でも、肝臓重量の相対的な回復が見られた。(補足図 14. 参照)

【硫黄呼吸ができるアホロートルの腸内には硫黄結晶をイオン化できる細菌が棲息している】

これまでの知見から、アホロートルに対して硫黄源として硫黄結晶を飼料と併せて与えることで、硫黄呼吸の効果を発揮することが明らかとなっている。しかしながら、結晶の硫黄は水に溶解し辛く胃酸 (塩酸 pH1.5~3.5) とも反応し辛いことから、その詳細な反応までの機序については未解明であった。(文献[1], [6] & <https://ja.wikipedia.org/wiki/胃酸> 参照.)

自然界においては、固形の硫黄結晶を **硫酸イオン (SO_4^{2-})** へと代謝可能な細菌である“**硫酸酸化菌**”の一種“**Acidithiobacillus thiooxidans**” (以下、**硫菌**) が水底の泥の中等に生息していることが知られている。(補足図 8. 参照)

そこで、硫黄呼吸を行えるアホロートルの飼育水槽中の底泥や糞の中に含まれる微生物叢を 18SrDNA 分析にて調査した結果、先行研究において示した乳酸菌や酵母の仲間に加え、前述の硫菌と思われる細菌の存在が確認された。また、水槽中に黒玉土の火山灰由来のソイルを用いている条件では、イオンクロマト (IOC) を用いた分析の結果、水槽中にある程度の硫化物 [**硫酸イオン (SO_4^{2-})**] が含まれていることが明らかとなった。また、硫酸酸化菌の成育における最適 pH は 2.0~3.5 であることから、生物の胃酸の範疇に収まっており、経口摂取で体内へと取り込め、かつ長期的に腸内で生存できると推察された。これらの結果から、硫黄呼吸が可能なアホロートル個体は、腸内に硫酸酸化菌が定常的に棲息している可能性が考えられた。

【硫酸酸化菌を持たない個体では硫黄呼吸を行えないが外部から補填することで回復できる】

硫黄呼吸に関連する因子の発現が正常であるにも関わらず、硫黄呼吸が巧く行かない個体において腸内細菌叢を調査したところ、硫菌が殆ど棲息していないことが明らかとなった。(結果 7~11 & 補足図 9 参照)

加えて、前述のような硫酸酸化菌を腸内に持たない個体において、他の硫菌が棲息する水槽および硫菌を腸内に保持しているアホロートルの糞を継続的に経口投与した結果、腸内に外来の硫菌が定着し、多くの個体で硫黄呼吸が可能な程度にまで回復した。(結果 13. 参照)

【腸内細菌を著しく失うことで摂食量に関係なく成長が抑制される】

過去の検討結果から、腸内乳酸菌を持たない条件では、摂食量に関わらず成長が顕著に抑制されることが分かっている。

一方で、腸内細菌叢の大部分が正常であり乳酸菌や酵母を持つが硫菌を持たない個体では、その摂食量自体は大きく変わらないことが示唆された。(結果 12, 14. 参照)

【腸内の硫酸酸化菌の有無は攻撃性には影響しない】

硫黄呼吸を行う個体における他個体認識について確認するため、個体間の攻撃行動について確認した結果、硫酸酸化菌の保持や硫黄呼吸の有無は、攻撃性の発現に対して、一切の影響を与えなかった。(結果 14-7~14-8. 参照)



【腸内の硫黄酸化菌の有無と水槽中の硫黄源への応答性の違い】

過去の検討結果を含め、腸内に硫黄酸化菌を持つ一部の個体では、硫黄の結晶等の硫黄源 および 底砂・底泥を投入後 30 分の行動で、それらの匂いを積極的に嗅いで探し回るような挙動を取り積極的に摂取しようとする傾向が見られた。

一方で、腸内に硫黄酸化菌を持たないアホロートルは、硫黄酸化菌を含んだ底泥や硫黄結晶、システイン（および原料となるセリン）などの硫黄源への応答性が顕著に低下し、硫黄呼吸に関連する物への関心度が大きく低下（場合によっては忌避する）することが明らかとなった。すなわち、硫黄酸化菌を介した硫黄呼吸は必要不可欠な応答ではない、と行動として潜在的・本能的に受け継がれている可能性が考えられた。（結果 14-9～14-18, 14-21. 参照）

対照的に、腸内滅菌により腸内細菌を著しく欠く個体は、糖質などの乳酸菌や酵母の好む成分への関心度は低下する一方で、糞を含む腸内細菌を持つ無機物への嗜好性を増大させたため、腸内細菌、主に乳酸菌や酵母を失った場合は、摂食的にそれらを補填しようとする傾向が見られた。（結果 14-9～14-18, 14-21. 参照）

滅菌した糞に対して嗜好性が高まる理由の可能性として、マウス・ショウジョウバエ等の生物種で報告が見られる、腸内の乳酸菌が死んでいても、NPY を介した制御は行われるという知見を踏まえると、アホロートル達が乳酸菌の生死にかかわらず摂取を試みていることが考えられた。（文献[6], 補足図 12. 参照）

また、硫黄酸化菌を含む腸内細菌を保持している状態では、酸味や苦味など、彼らが忌避する成分への応答性は、両側の側線を欠損し嗅覚が主体となることで抑制され、むしろ硫黄に対する忌避性が低下するという結果が得られた。

尚、側線欠損個体では、硫菌を含む腸内細菌を保持する場合、硫黄や他の無機成分・糞への応答性が向上する傾向が見られた。また、側線が健在かつ腸内細菌を保持しない場合、硫黄に対する忌避的な応答が見られる一方で、腸内細菌を持たない個体が側線を欠損した場合、硫黄や硫黄源となる無機成分に対する忌避性が抑制された。

加えて、側線が健在で硫黄酸化菌のみを欠く場合、硫黄への忌避性が抑制され、側線欠損個体かつ硫菌のみを欠く場合は、硫菌をもたず側線が正常な個体と比較して、硫黄に対する応答性は大きく変わらないものの他の硫黄源となる無機成分への嗜好性は増大した。従って、硫黄結晶を含む硫黄源への応答性は嗅覚と側線で異なっており、側線では忌避・抑制的な応答をし、嗅覚では好むという相反する性質があることが示唆された。（結果 14-9～14-18, 14-21. 参照）

Mt1 および Mt2 変異体では、腸内に乳酸菌と硫菌を持つ場合は、より積極的に無機成分も摂取しようとする傾向が見られたが、硫菌のみを欠く個体ではむしろ硫黄の要求性は高まり、無機成分は忌避するという行動を示した。この傾向はやはり、側線器官の損傷によって抑制されるため、前述のとおり硫黄源に対する応答性は嗅覚と側線で異なっていることが分かる。

また Mt1, Mt2 変異体では共に、硫菌を持たない条件では、野生型と同様にセリンやシステインへの嗜好性が若干低下し反応性が低下する傾向が見られており、腸内細菌を一切持たない場合は、(特にシステインを与えた場合に) その傾向が若干強まることが示唆された。しかしながら、Mt1, Mt2 を欠損する個体は、硫黄酸化菌を一切持たない個体とは挙動が異なっており、腸内にいる硫黄酸化菌が行動へ影響することが示唆された。（結果 14-14～14-18. 参照）

これらの結果から、アホロートルにとっては乳酸菌＞硫菌という優先度があり、本来であれば硫黄源に対しては摂取しすぎないような制御機構が働いていることが考えられた。

いずれにせよ、腸内で主要な乳酸菌や酵母を欠く状況は彼らにとっては望ましくなく、腸内乳酸菌を保持するために糖質やデンプンなどを摂食的に摂取しようとする機構は、過去からの系統維持で何十世代を重ねても保持されているようである。

すなわち、硫黄を戦略的に生存に用いるようになったのは、腸内乳酸菌を用いるよりも時代がずっと後 または 腸内細菌叢のバランスが偏った時の応急的な対応であった可能性もあると考えられる。

【腸内の硫黄酸化菌の有無と体内時計および日周活動リズムの制御】

明暗周期が 12:12 の場合、腸内に硫黄酸化菌をもち硫黄代謝を積極的に行う場合、活動リズムは固形餌で示すものと大きく差は見られないものの、相対的な活動量が増大しやや睡眠は不足しているかのような結果を示した。これに関しては、硫黄源摂取時の小胞体ストレスとの相関も考えられた。(結果 14-21 & 15. 参照)

乳酸菌を持ち糖質を得て活発になっている個体の場合、睡眠時の活動レベルが固形餌のみの摂取時よりも顕著に低下しており、NPY 研究時の睡眠の質の向上やそれにまつわる結果との相関が示された。(文献[6], 結果 16. 参照)

更に、糖代謝と硫黄呼吸を併せた条件では、睡眠の質の向上と起床時の活動量増大という、二つの特性を併せた状態になることから、良質な睡眠と活発な行動を併せ持つことで、高い成長率が発揮される可能性示唆された。(結果 15. 参照)

【腸内の硫黄酸化菌の有無は繁殖力 (妊性) にも影響を与える】

腸内に硫黄酸化菌を含む場合、糖質や硫黄源の摂取による成長促進個体では、妊性も顕著に増大することが明らかとなった。ただし、過剰な塩類による抑制効果を解消できる程の効果は見られなかった。(結果 15. 参照)

【硫黄酸化菌が棲息する水槽でも pH には大きな違いは見られない】

硫菌が棲息する底泥における pH を確認した所、棲息していない場合と比較して、大きな差は見られないものの若干低い傾向が見られた。一方で、硫菌の最適 pH ではないことで、劇的に増大していないと考えられた。(結果 8-1 & 補足図 12. 参照)

硫菌が過剰に増えた状態でどのような影響が生じるのかについても調査が必要であるが、硫黄酸化菌の増殖速度は非常に遅いことから、安定的に増殖させることが現状は難しい点が課題である。(補足図 8. 参照)

【腸内の硫黄酸化菌の有無は排泄に影響を与えない】

硫黄呼吸の有無は、換水刺激や汽水刺激による排便効果・生理活性に対しては、殆ど影響を与えなかった。(補足図 14-1～14-3. 参照)

総括 Conclusion

以下、本研究において得られた知見を示す。(詳細は、補足図 15～17 を参照.)

- ・ アホロートルは、古式農法であるチナンパの盛んな水環境で糖質を摂取する能力を得た。
- ・ 食砂行動により乳酸菌等を摂取することで、植物由来の糖代謝が可能である。
- ・ アホロートルは火山のような泥環境において硫黄源を摂取していた。
- ・ 食砂行動の中で硫黄酸化菌を摂取することで硫黄の代謝を可能とした。
- ・ 糖代謝と硫黄代謝を併せることで高い成長促進効果が生じる。
- ・ 糖質・デンプンや硫黄源への嗜好性は、腸内細菌叢の状態で大きく変わる。
- ・ アホロートルにおける腸内細菌叢の状態は、成長制御や繁殖能力に影響を与える。
- ・ 糖質に対する応答性と硫黄に対する応答性では、その性質が大きく異なることから、
腸内乳酸菌・糖代謝＞硫黄酸化菌・硫黄代謝 という図式ができあがる。
- ・ これらの知見から、乳酸菌に依存した生存戦略の方が、硫黄呼吸に依存した生存戦略よりも
より長い世代の中で代々継承され、分子機構として保持されている可能性が高い。

これらの知見から、アホロートルがかつてのメキシコにおいて、火山灰と汽水環境の入れ替わりが活発な環境の中で、古式農法が発達する中でその種を繁栄させてきた様子やその生存略について垣間見ることができた。

本知見は、今後の保全活動に向けた大型の環境モデル構築の上で必要不可欠であり、今後の研究活動においても、生息地の水環境と腸内環境および栄養摂取の関係性について更なる調査を継続していきたいと考えている。

謝辞 Acknowledgments

今回も、皆様のご協力の甲斐あって、無事に論文・書籍の完成にまで至りました。

この場をお借りして、本研究の関係者の皆様へ心より感謝申し上げます。

アホロートルの成長と腸内細菌の研究については、以前の腸内乳酸菌と NPY の調査報告がまだ記憶に新しいですが、腸内細菌と生体の成長の関係性はまだまだ奥深いな、と感じてしまいます。

硫黄酸化菌を介した硫黄呼吸の作用は、当時野生下で彼らが生存していた時の硫黄源を効率的に利用する上で獲得した“処世術”であったのかもしれませんが。

乳酸菌さえ持っていれば、特段健康にも問題なく生きられるので、あくまでも補助的な意味合いが強いのではないのでしょうか。その分、普通に飼育していると見落としがちな生命現象であるように思います。

このような、通常中々気づきにくい事象に注目する、いわば“アンテナを張る”力が、我々のようなニッチな研究分野に従事する研究者にとっては、常に鍛えておくべき能力なのではないのでしょうか。

ウーパールーパー研究室_はるらぼ

代表研究者

メキシコサンショウウオ生態研究部

主任研究者, 理学博士 (Ph.D 理学・生物学)

杉山 遥



Ambystoma mexicanum の生息地は 淡水湖と塩湖が何度も混ざりあっていた

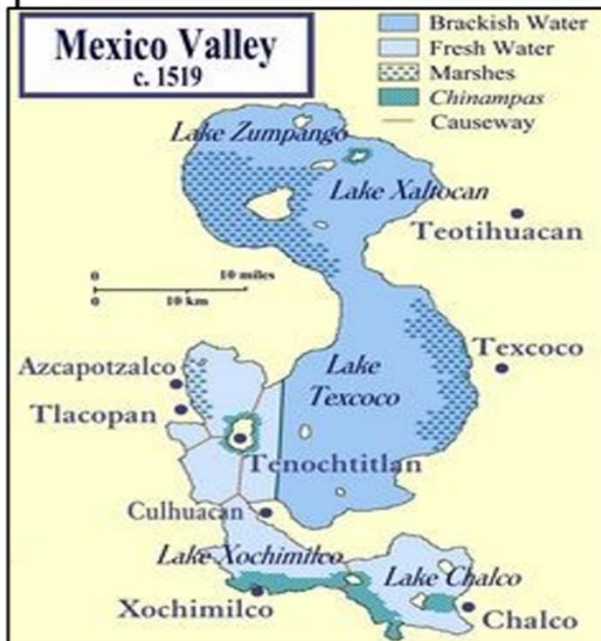
The Axolotl Newsletter

Issue number 26

Fall, 1997



Contents



Axolotl Newsletter Number 26

p.16

which they called the Laguna de Mexico. In addition, a causeway or dike crossing from north to south through Tlahuac separated Xochimilco from Chalco (Sanders, et al., 1979).

During the Aztec period nearly the entire Xochimilco-Chalco basin was devoted to chinampas horticulture, as was the Laguna de Mexico around Tenochtitlan. Also, as a result of the Aztec waterworks, saline water was largely prevented from entering the southern lakes, even during periods of flood (Armillas, 1971).

Thus the habitat of the axolotl was significantly affected during the period of the Aztec empire in at least two ways: first, by the spread of the chinampas, which involved the construction of ditches and islands, and second, by the construction of waterworks which controlled water levels and prevented the incursion of salt water into the axolotl habitat. Its habitat may have been enlarged as well by the expansion of fresh water horticulture into the district around Tenochtitlan. The impact that these historical changes had on the species can only be speculated upon.

The chinampas system and the Aztec waterworks were at their peak when the Spanish Conquistadors arrived in 1519. What

(参考: The Axolotl news letter. 1997)

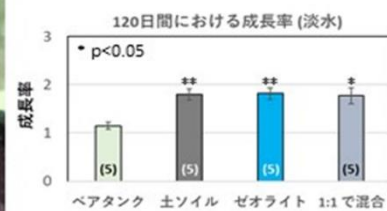
Ambystoma mexicanum の生育・成長には 硬水・汽水環境が望ましい



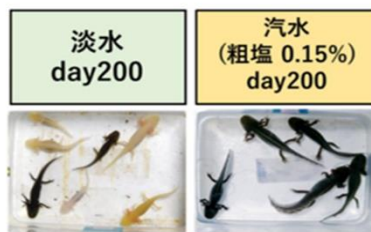
(A) ペアタンク



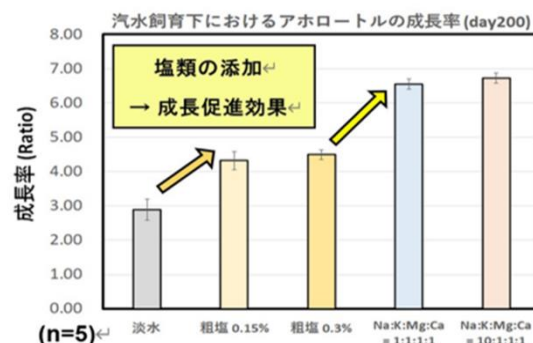
(B) ソイル (土, 砂) を加えて自然界に近づけた環境



(C) ソイル有/無間の成長率比較 (水質は中性: pH 6.5-7.0)



(杉山 ほか, 2022-2023)



補足図 1-1: アホロートルの生息地における水・栄養環境と土壌成分 1

底砂中に含まれる無機成分 (ミネラル) は生育に必要

The Axolotl Newsletter

Issue number 26

Fall, 1997

Contents

The Axolotl Newsletter is prepared at the Indiana University Axolotl Colony, Bloomington, Indiana 47405. The Newsletter is distributed free of charge and is supported, in part, by funds from the National Science Foundation. This Newsletter should not be regarded as a publication. Cite only with specific permission of the author of the article.

I.U. Axolotl Colony

Director: George M. Malacinski
Assistant Director: Susan T. Duhon
Curator: Sandra J. Borland
Editor, Axolotl Newsletter: Susan T. Duhon

The Axolotl and its Native Habitat — Yesterday and Today
Susan T. Duhon 14



Axolotl Newsletter Number 26

p.16

which they called the Laguna de Mexico. In addition, a causeway or dike crossing from north to south through Tlahuac separated Xochimilco from Chalco (Sanders, et al., 1979).

During the Aztec period nearly the entire Xochimilco-Chalco basin was devoted to chinampas horticulture, as was the Laguna de Mexico around Tenochtitlan. Also, as a result of the Aztec waterworks, saline water was largely prevented from entering the southern lakes, even during periods of flood (Armillas, 1971).

Thus the habitat of the axolotl was significantly affected during the period of the Aztec empire in at least two ways: first, by the spread of the chinampas, which involved the construction of ditches and islands, and second, by the construction of waterworks which controlled water levels and prevented the incursion of salt water into the axolotl habitat. Its habitat may have been enlarged as well by the expansion of fresh water horticulture into the district around Tenochtitlan. The impact that these historical changes had on the species can only be speculated upon.

The chinampas system and the Aztec waterworks were at their peak when the Spanish Conquistadors arrived in 1519. What

表 1 粘土鉱物の陽イオン交換容量

粘土鉱物	理想式	陽イオン交換容量 (eq/kg)
パーミキュライト	$K_{1.1}Al_{2.3}Si_{3.7}Al_{0.3}Fe_{0.7}Mg_{4.9}O_{20}(OH)_4$	1.0~1.5
モンモリロナイト	$K_{0.8}Al_{0.5}Si_{3.7}Al_{2.5}Fe_{0.8}Mg_{0.5}O_{20}(OH)_4$	0.7~1.2
緑泥石	$Fe_2Mg_4(OH)_{12}Si_6Al_4O_{20}(OH)_4$	0.1~0.4
アタパルジャイト	$Mg_5Si_4O_{20}(OH)_2(H_2O)_8$	0.2
ハロサイト	$Si_4Al_4O_{16}(OH)_8(H_2O)_4$	0.05~0.5
カオリナイト	$Si_4Al_4O_{16}(OH)_8$	0.03~0.15

VARIABLES	M
Temperature	37
pH	8.6
Tot. Alk.	500
Phosph. Alk.	20.0
Tot. Hardness	326
Ca ²⁺ Hardness	116
Mg ²⁺ Hardness	212
CO ₃ ²⁻ (1)	12.0
HCO ₃ ⁻ (1)	411
OH ⁻ (1)	0
Cl ⁻	198
SO ₄ ²⁻	95
Ca ²⁺ (2)	47
Mg ²⁺ (2)	52
Na ⁺ and K ⁺ (3)	169
SO ₄	89
Tot. Solids	946
Susp. Solids	161.0
Diss. Solids	785
K ₂	1392
Total Calcif.	>2000
Faecal Calcif.	>2000
Faecal Strept.	600

水の硬度 (水 1000ml に対する無機イオンの含有量) に関して簡単に解説すると、⁴⁾

WHO (世界保健機関) の基準では、⁴⁾

- ・ 硬度が 0~60mg/l 未満を「軟水」⁴⁾
- ・ 60~120mg/l 未満を「中程度の軟水」⁴⁾
- ・ 120~180mg/l 未満を「硬水」⁴⁾
- ・ 180mg/l 以上を「非常に硬水」⁴⁾

と設定されている。メキシコ市内の水は硬水であるとされており、現在で詳細は不明瞭ではあるものの、⁴⁾

メキシコサラマンダーも汽水環境で生存していたと考えられている。⁴⁾

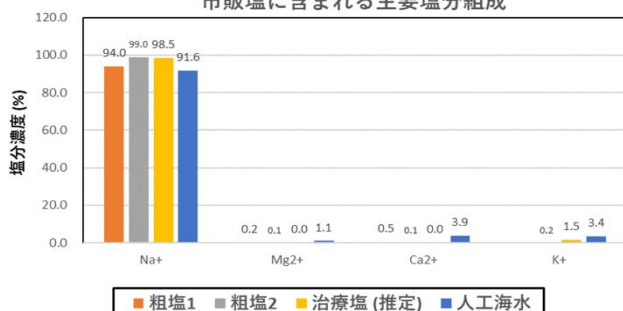
ちなみに左表は、メキシコ市内の水道水の組成の一例であるが、pH が 7.5、Mg、Ca の硬度は硬水の範囲に該当する濃度で含まれている。また、Na、K の含有率も高いことが分る。⁴⁾

水道に結晶ができる程度であるとされ、そのまま飲料用での使用には向かない。⁴⁾

(January, 1997, Microbiological study of drinking water in Mexico)⁴⁾

参考資料 2

市販塩に含まれる主要塩分組成



(B) <ミネラル含有水飼育に用いる粗塩例>

国産原料100% あら塩の恵み (関東塩業)



<組成>
・ 塩化ナトリウム 94.0%
・ 他陽イオン 5.0~6.0%
・ マグネシウム 0.15%

塩業 瀬戸内の塩 国産塩 (塩業)



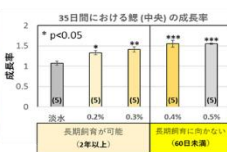
<組成>
・ 塩化ナトリウム 95.0%
・ 他、ナトリウム 4.0~5.0%
・ カルシウム 0.06%
・ マグネシウム 0.073%
・ カリウム 0.09~0.16%



(C) 汽水浴開始時の鰓

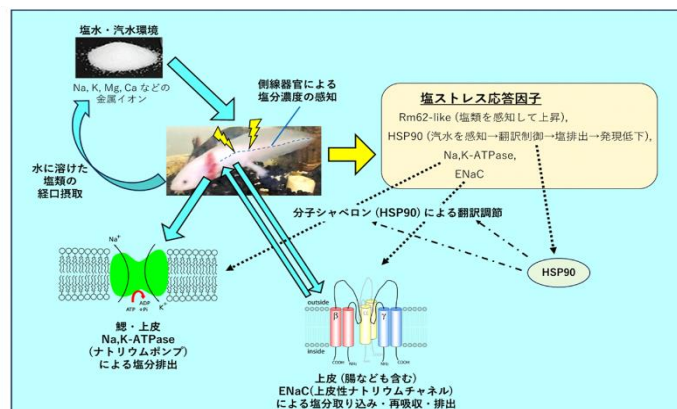
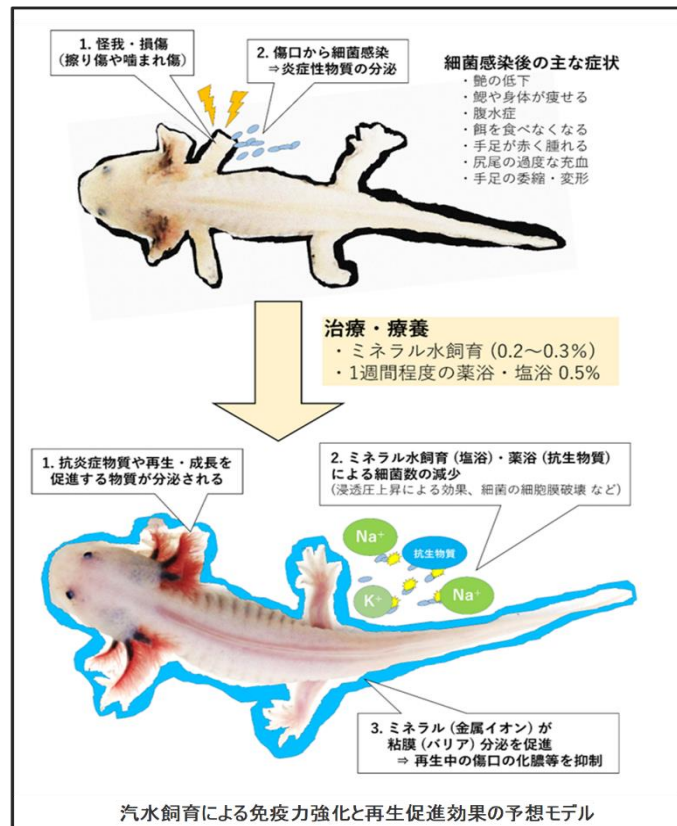


(C') 汽水浴 (0.2~0.5%) で約1ヶ月飼育後の鰓



(D) 汽水環境下での鰓の成長率 (水質は中性: pH 6.5-7.0)

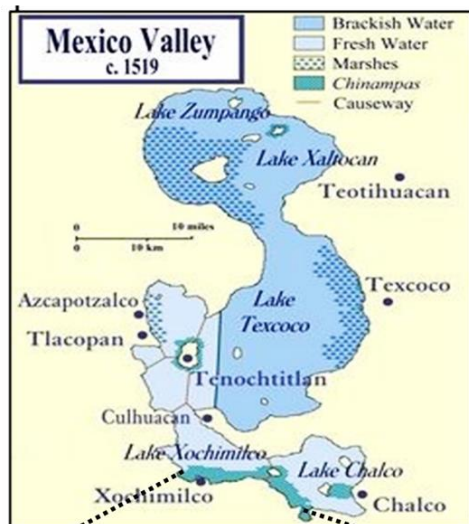
図1 (C)~(D) (杉山, 2022)



塩ストレス感知とストレス応答のフィードバックループ

補足図 1-2: アホロートルの生息地における水・栄養環境と土壌成分 2

アホロートルが最も繁栄した時期の生育環境について考える



アステカ文明: チナンパ農法

原産地:

古代のメキシコ・ソチミルコ周辺

サトイモ や マメ類などを水辺で栽培

↓
水中や土壌にそれらの成分が溶け出し
砂・泥へと溶け込む

↓
植物性のタンパク質, 糖質を
食砂行動時に摂取していた

(後述: 腸内乳酸菌との関連あり)

(腸内乳酸菌と睡眠・成長・
神経ペプチド NPY の関連あり; 2023年報告)

メキシコにおける農産物

豆類, トマト, チリペッパー, カボチャ(squash), サンザシ, ウチワサボテン,
アマランサス(ヒユ), トウモロコシ, リュウゼツラン, サルビアなどの花類

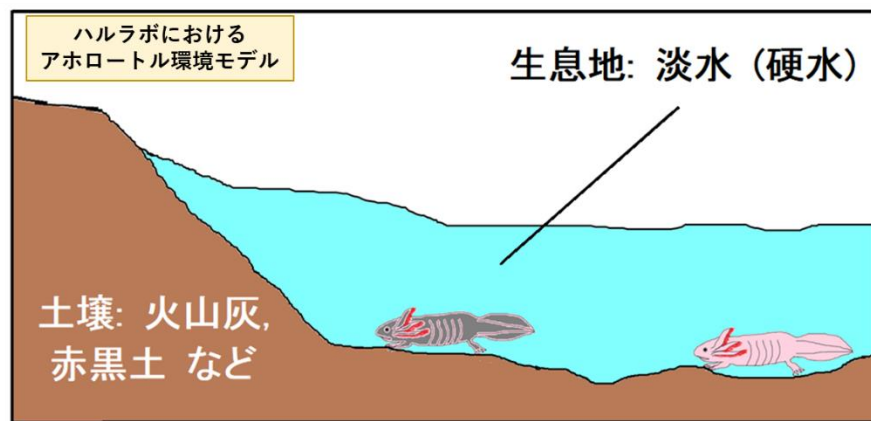
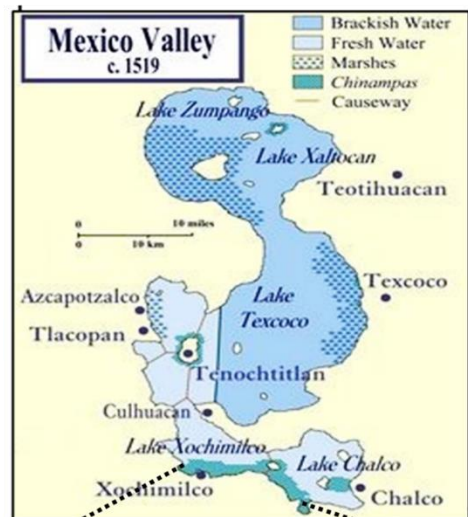
メキシコにおける畜産物

小規模な動物や肉の生産、鶏、七面鳥、闘鶏、豚、ウサギ、羊

【総説】メキシコサラマンダー および トラフサンショウウオ科の近縁種における生態・生息環境に関する調査報告 (24/1/4 微修正; 初稿 23/12/31)
杉山 遥, 枝豆 やみん, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎, 萩原 和晃, FN 三太子, あすみ 悠
はるらぼ会報誌_ウーパールーパーだより vol 3.0 2023年12月31日

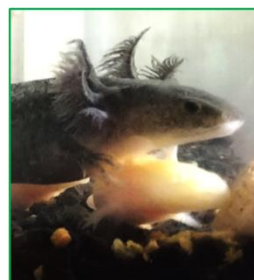
補足図 1-3: アホロートルの生息地における水・栄養環境と土壌成分 3

アホロートルが最も繁栄した時期の生育環境について考える



アホロートルにとっての適切な成育環境
→ 火山灰・黒玉土などのある土壌
(硫黄などを含む **ユートリックカンビソル**※)

硬度の高い水環境・汽水環境
→ 浸透圧調節や免疫の補助
(杉山, 2023-2024)



※ **ユートリックカンビソル (Eutric Cambisols)**

メキシコを含む 亜湿潤・湿润環境下で、石灰質堆積岩地帯の丘陵地や急峻地に浅い土壌として出現する。レキ層に含まれる土壌である。火山灰等もこうした土壌成分の中にも含まれる場合もあるがその限りではない。

注) カンビソル: 比較的未熟な土壌のこと。

【総説】メキシコサラマンダー および トラフサンショウウオ科の近縁種における生態・生息環境に関する調査報告 (24/1/4 微修正; 初稿 23/12/31)

杉山 遥, 枝豆 やみん, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎, 萩原 和晃, FN 三太子, あすみ 悠
はるらぼ会報誌_ウーパルーバーだより vol 3.0 2023年12月31日

補足図 1-4: アホロートルの生息地における水・栄養環境と土壌成分 4

DEPOSITION AND FOREST NUTRIENT STATUS

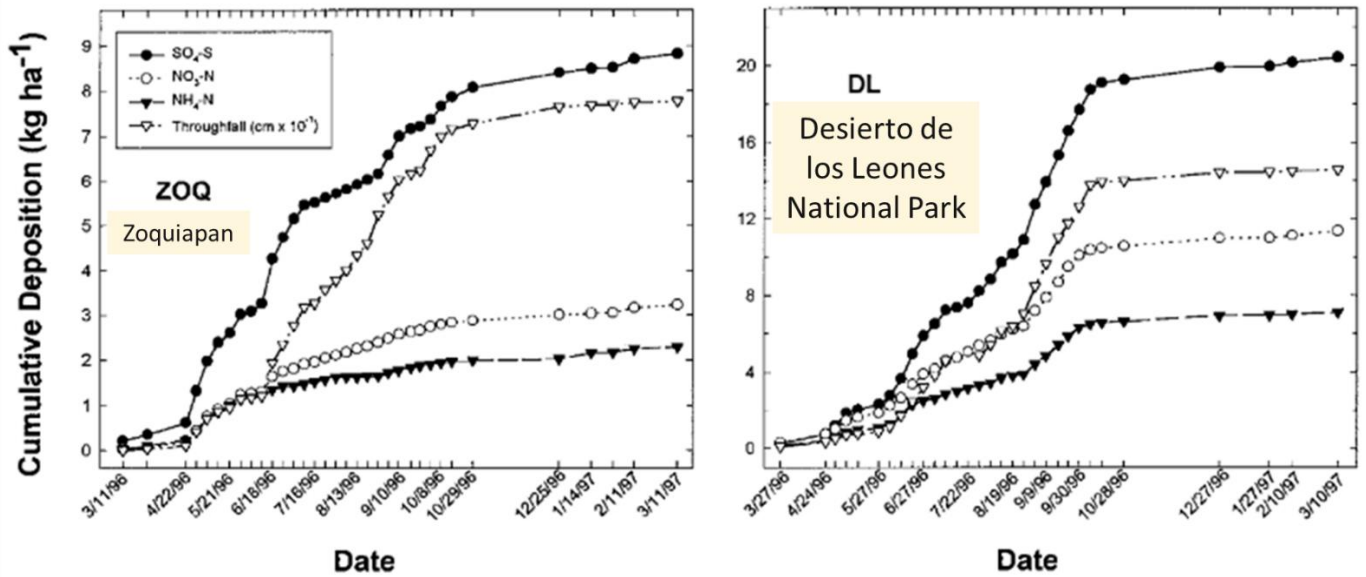
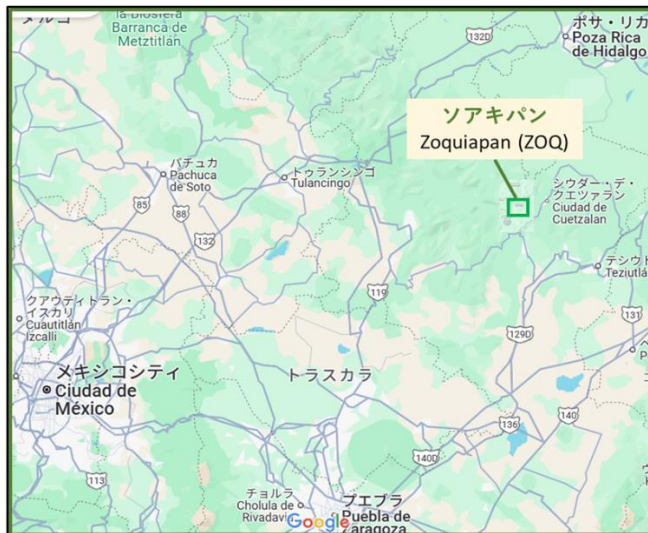
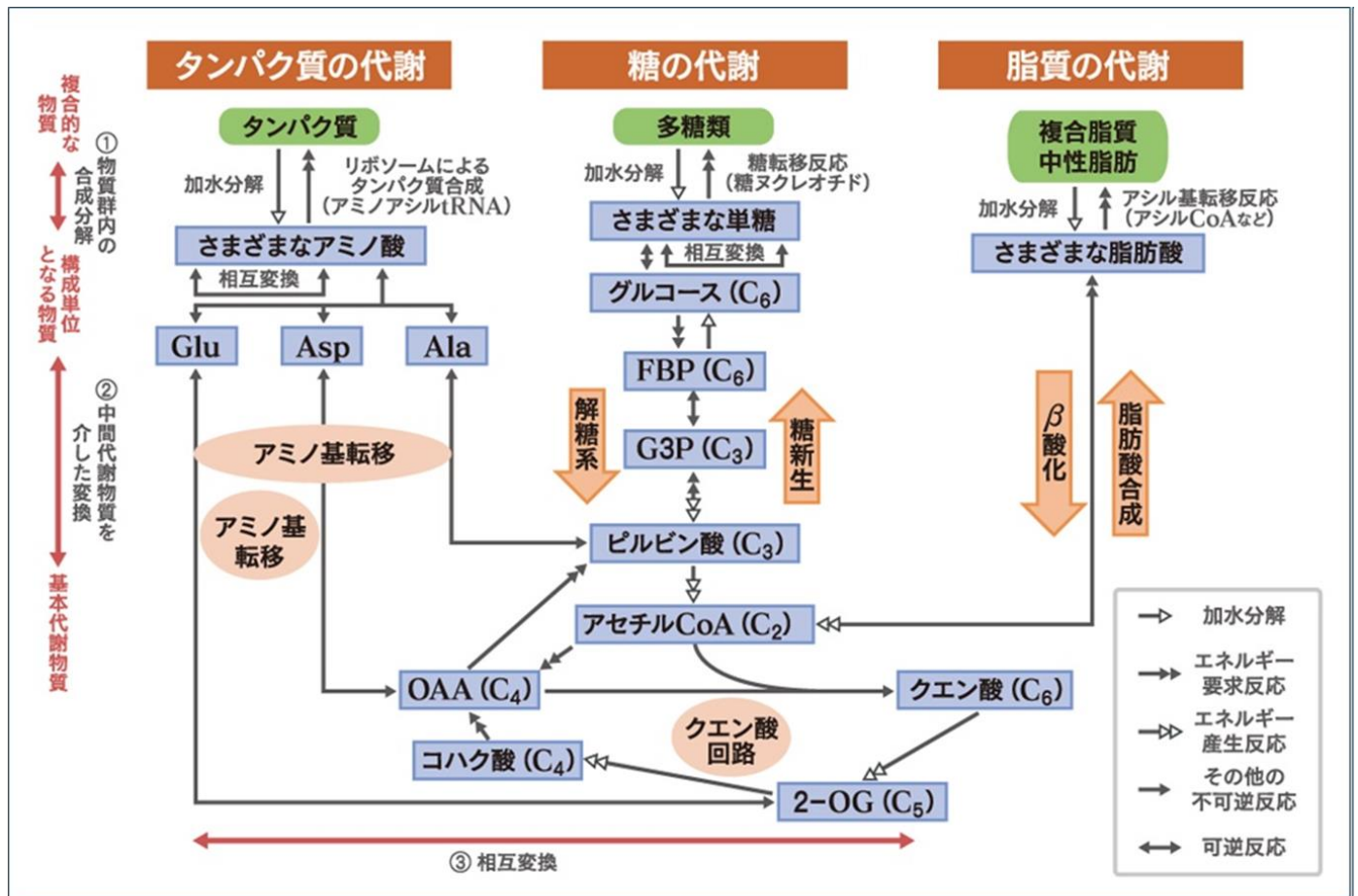


Figure 2. Cumulative bulk throughfall deposition of SO_4^{2-} , NO_3^- , and NH_4^+ and throughfall volumes at DL and ZOQ.



メキシコの火山灰から由来した土壌の地理的分布と特徴 | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター (jst.go.jp)
 Nitrogen and Sulfur Deposition and Forest Nutrient Status in the Valley of Mexico ([researchgate.net](https://www.researchgate.net))

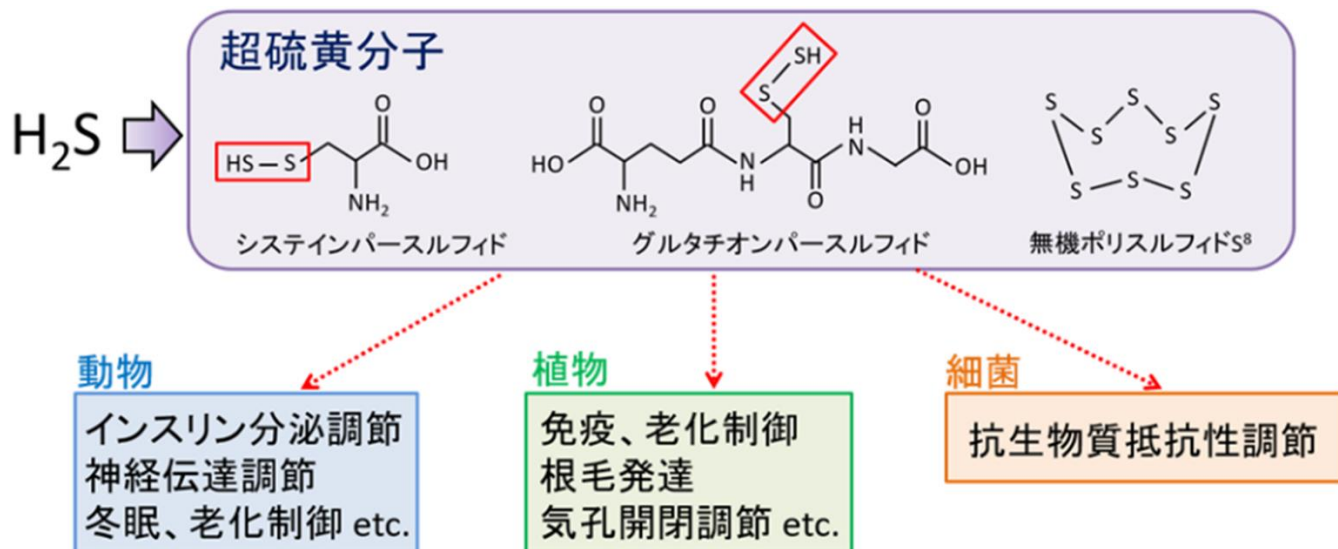
補足図 1-5: アホロートルの生息地における水・栄養環境と土壌成分 5



出典: 東京大学生命科学教育用画像集

糖質 (糖の代謝) | 技術情報館「SEKIGIN」 | 糖質 (炭水化物) の代謝, 異化 (分解) の概要, 生化学反応系である解糖系の概要, ペントースリン酸経路 (PPP, ヘキソースリン酸側路, HMS) の概要, グリコーゲンの同化 (合成) などを紹介

補足図 2: 哺乳類における“糖代謝”について



(図1) 超硫黄分子による生体機能の制御

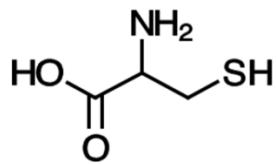
【用語解説】

(注1) 超硫黄分子

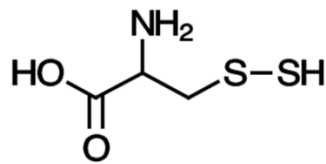
分子内に過剰な硫黄原子が付加したポリスルフィド構造を持つ硫黄代謝物の総称。システインのチオール基（-SH基）に硫黄原子が1つ付加してパースルフィド化（-SSH）したシステインパースルフィドなどがある。近年、生物普遍的に重要な生命素子として注目を集めている。

[生物は硫化水素を有効利用して生きている](#) — 硫化水... | プレスリリース・研究成果 | 東北大学 -TOHOKU UNIVERSITY-

補足図 3: 生物における“超硫黄分子”



システイン



システインパースルフィド

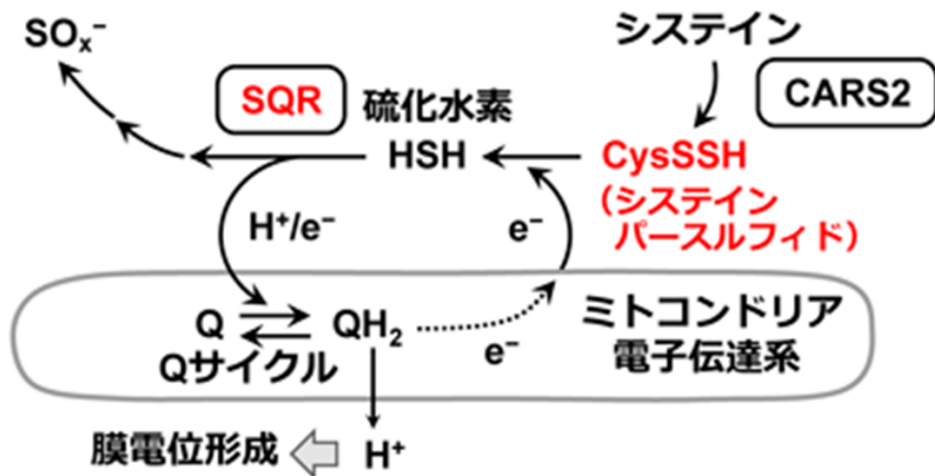
図 1 システインとシステインパースルフィドの構造

SQR を介する
プロトン・電子の供与

パースルフィド生成と
電子の受容 (イオウ呼吸)

<酸化排泄>

<取り込み>

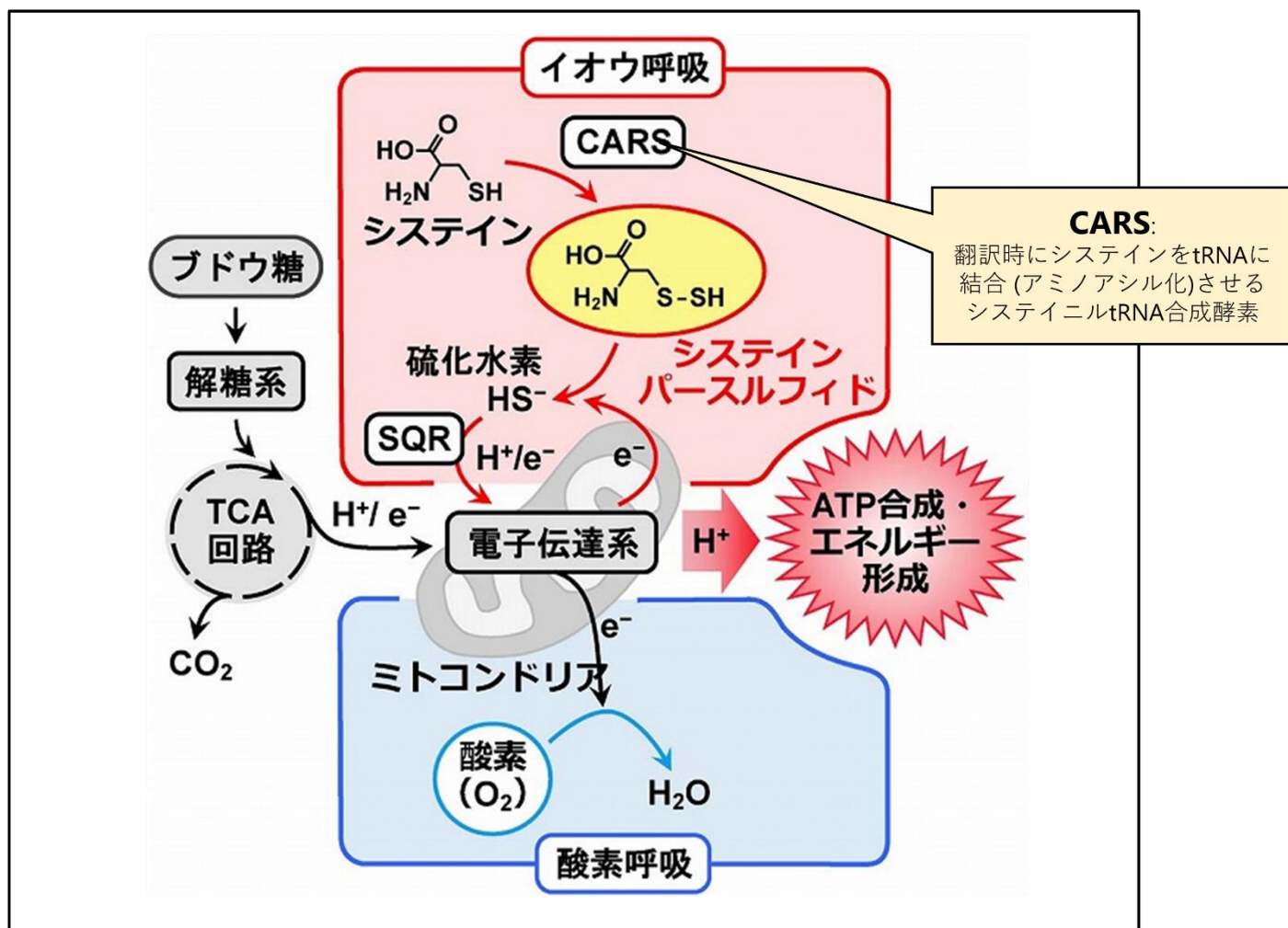


CARS:
翻訳時にシステインをtRNAに結合 (アミノアシル化) させるシステイニルtRNA合成酵素

Q, quinone; SQR, sulfide:quinone reductase; CARS2, cysteinyl-tRNA synthetase 2

活性イオウ分子：システインパースルフィドの新規生成経路の発見とその生理機能 (jsbba.or.jp)

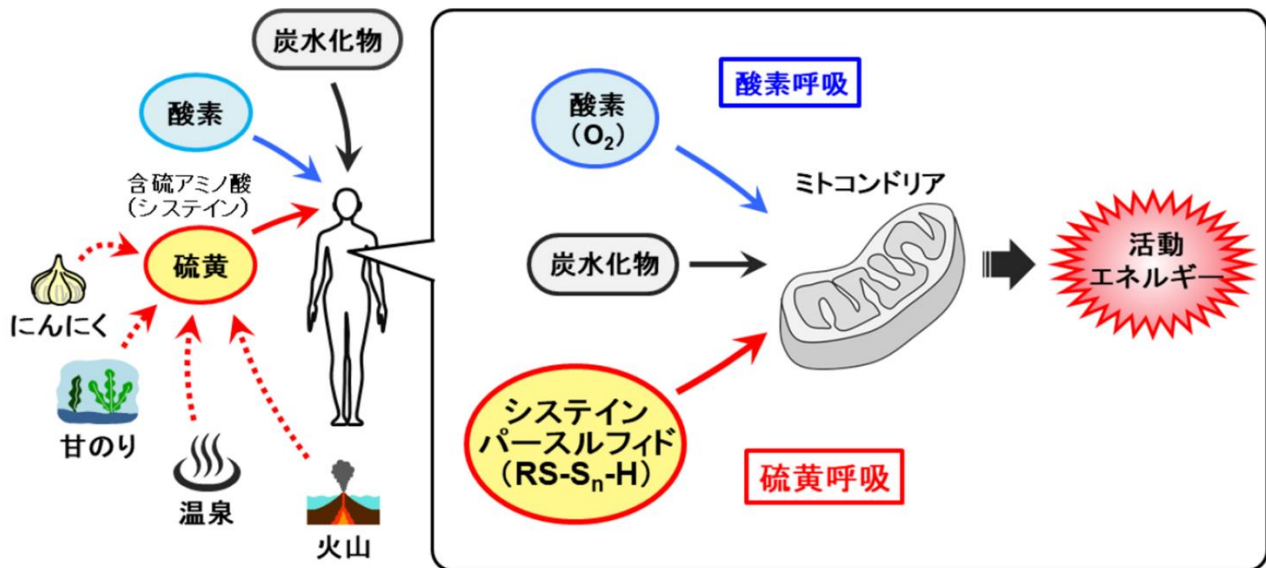
補足図 4-1: 哺乳類における“硫黄呼吸”について 1-1



化学と生物 - 日本農芸化学会 - | Vol.56 No.8 | 活性イオウ分子：
システインパースルフィドの新規生合成経路の発見とその生理機能 (jsbba.or.jp)

活性イオウ分子：システインパースルフィドの新規生合成経路の発見とその生理機能 (jsbba.or.jp)

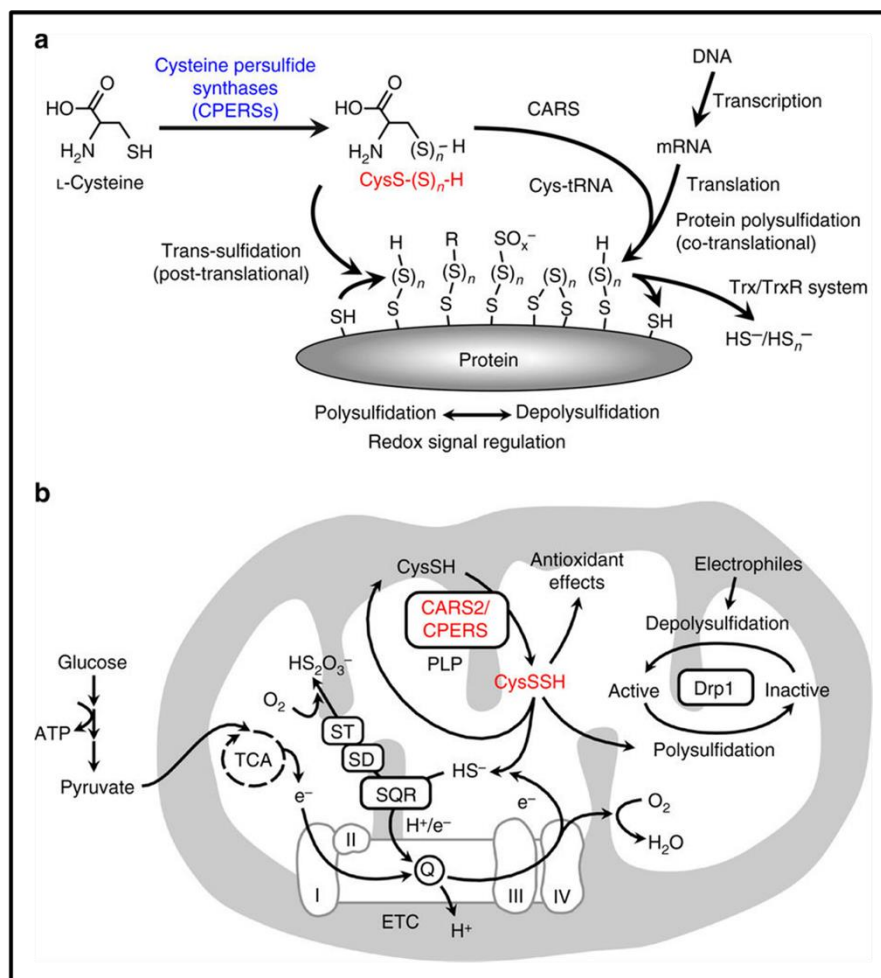
補足図 4-2: 哺乳類における“硫黄呼吸”について 1-2



世界初：哺乳類における「硫黄呼吸」を発見 - 酸素に依存しないエネルギー代謝のメカニズムを解明 - (東北大学 2017 年 10 月 25 日)

哺乳類が硫黄でエネルギー代謝「硫黄呼吸」を世界で初めて発見 | Science Portal - 科学技術の最新情報サイト「サイエンスポータル」(jst.go.jp)

Cysteinyl-tRNA synthetase governs cysteine polysulfidation and mitochondrial bioenergetics - PubMed (nih.gov)



2017年10月27日 *Nature Communications* 8 : 1177 doi: 10.1038/s41467-017-01311-y

システイン tRNA 合成酵素はシステインポリスルフィド生成とミトコンドリアのエネルギー産生をコントロールしている | おすすめのコンテンツ | *Nature Communications* | *Nature Portfolio* (natureasia.com)

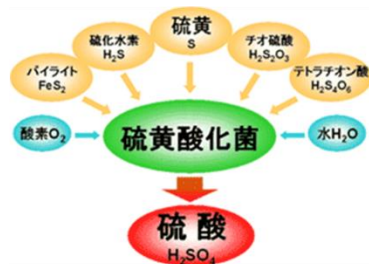
補足図 5: 哺乳類における“硫黄呼吸”について 2

硫黄 (S)



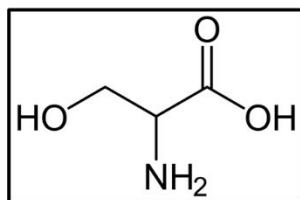
製品詳細情報 | 硫黄(粉末) 32513-55.500G ナカラ
イテスク株式会社 | e-Nacalai Search Version

水槽や腸内の硫酸化菌 *Acidithiobacillus*
等によって硫酸イオンに変換され吸収される。

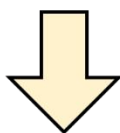


酸性硫酸塩土壌における微生物群集 | 研究内容 | 環境適
応生物を活用する環境修復技術の開発 (nihon-u.ac.jp)

セリン (Ser)

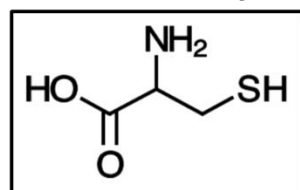


Serine Amino Acid - Function, Deficiency, Foods High In Serine (healthjade.net)
L-セリン(L-Serine)のサプリメントならDoublewood.jpで簡単に個人輸入



CBS, CSE の作用で
Cys が生成される。

システイン (Cys)



システイン - Wikipedia
NOW Foods, L-Cysteine, 500 mg, 100 Tablets (iherb.com)

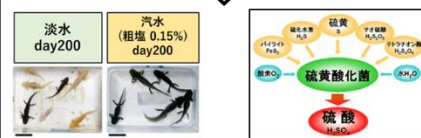
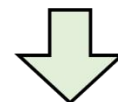
疎水性, 中性, 極性側鎖を持つアミノ酸。

硫黄岩塩 (ヒマラヤ黒岩塩)



Sal del Himalaya propiedades y beneficios - Dietas deportivas
Edible Rock Salt - Farhan Enterprises

地層に堆積した塩が化石化したもの。
硫黄を含むものは黒色になる。



Scale bars: 50mm

摂取させることで,
塩 (汽水) と硫黄の両方の効果を
発揮するのでは？

補足図 7: アホロートルに システイン および システインパースルフィド を産生させる基質

(A)

糖質依存的な成長促進機構 (day360)

通常餌

検証開始前の
サイズ
20~30mm

淡水飼育

0.15% 汽水

0.30% 汽水



Scale bars: 50mm

糖質・硫黄代謝

淡水グルコース 淡水グルコース硫黄

0.3%ミネ水
+メトグルコ

0.3%ミネ水
+sglt2 阻害剤
(糖排出)

0.3%ミネ水
+人工甘味料
(アセスルファムK)

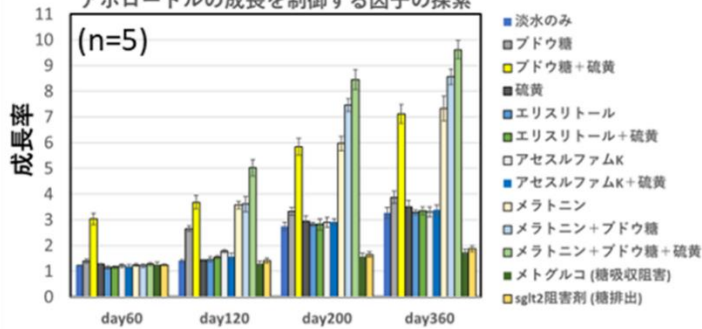
0.3%ミネ水
+人工甘味料+硫黄
(アセスルファムK)



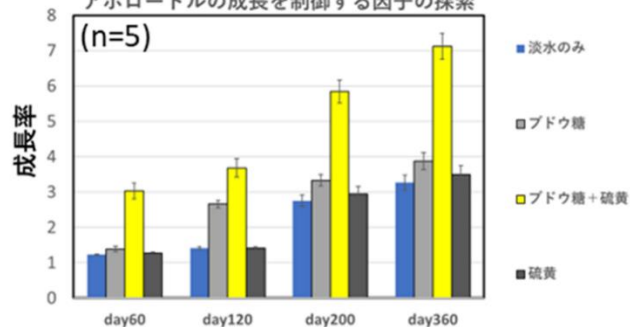
Scale bars: 50mm

(B)

アホロートルの成長を制御する因子の探索



アホロートルの成長を制御する因子の探索

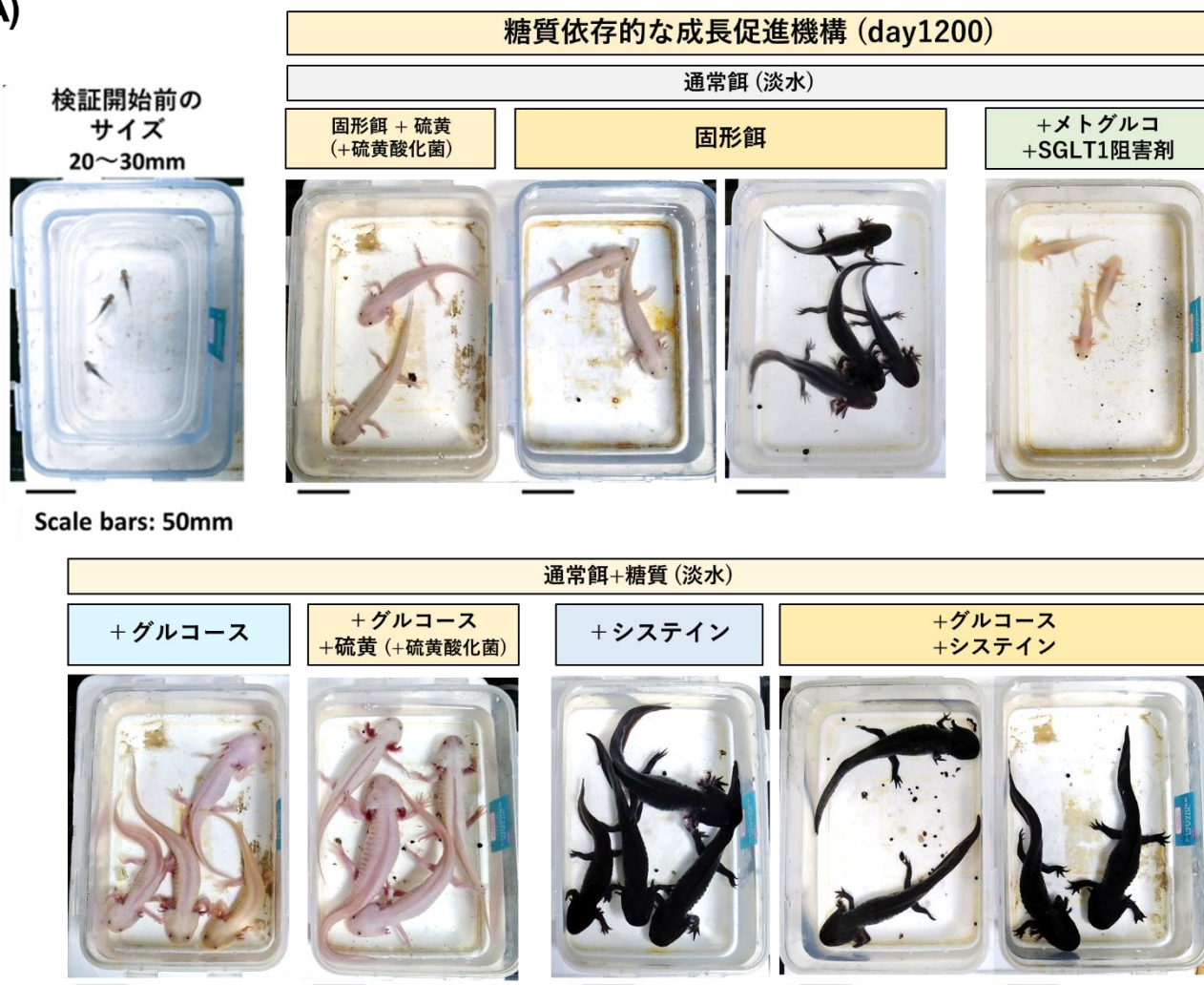


同一量ずつ、粒餌を与えた個体の成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。

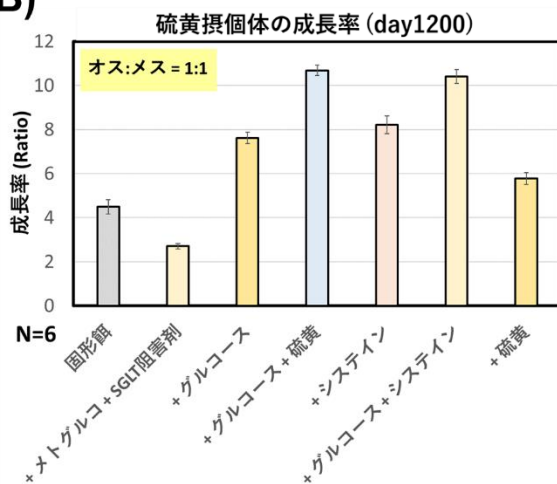
結果 1: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 1

(予備試験: スクリーニング_day360)

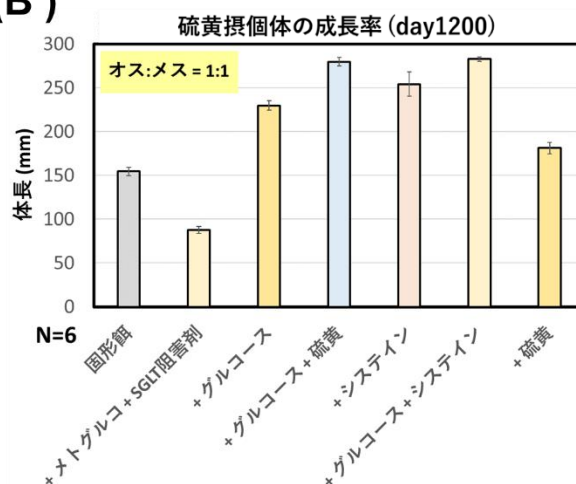
(A)



(B)



(B')



同一量ずつ、粒餌を与えた個体の成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。

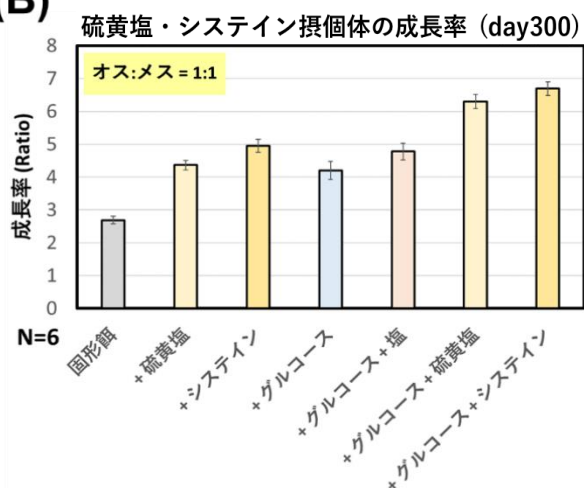
結果 2: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 2

(長期的効果の確認試験_day1200)

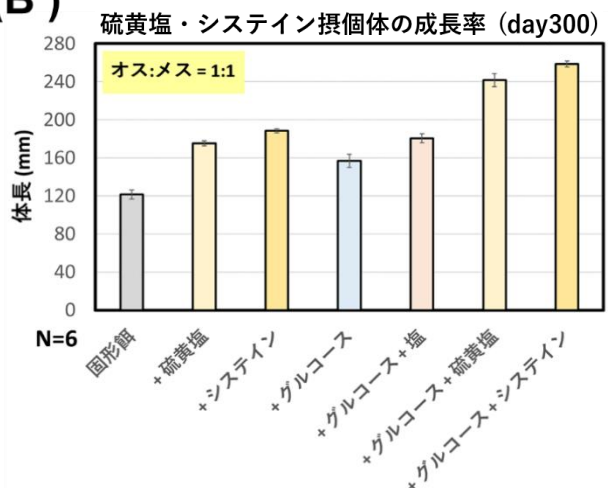
(A)



(B)

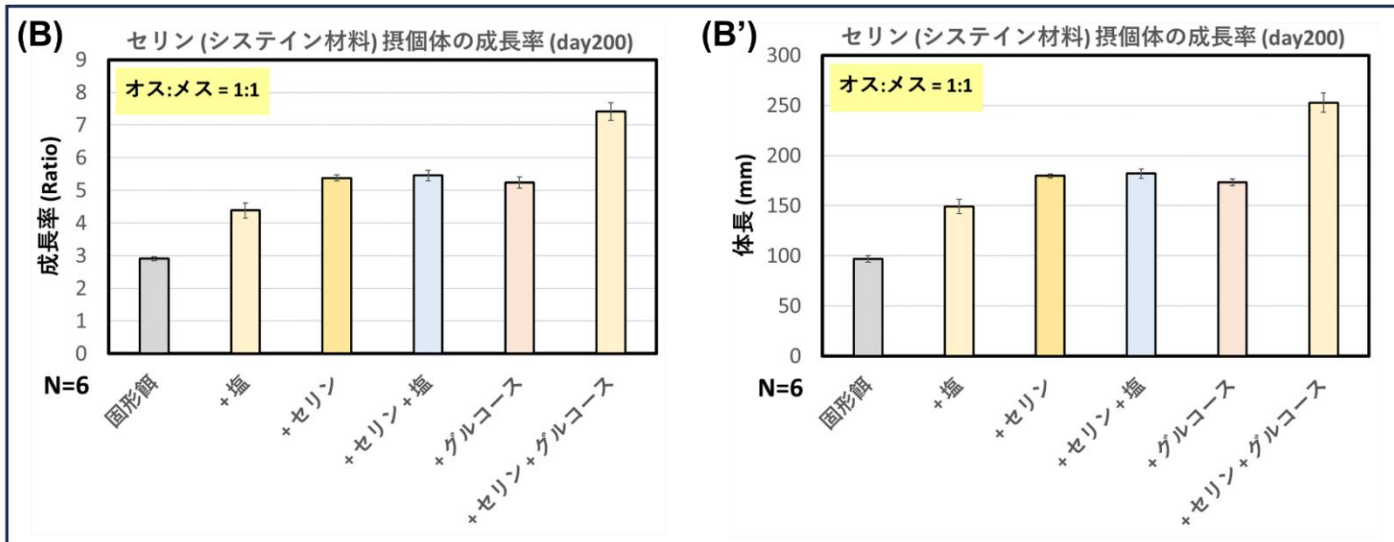


(B')



同一量ずつ、粒餌を与えた個体の成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。

結果 3: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 3
(硫黄塩: 硫黄入り岩塩 摂取効果の確認試験_day300)

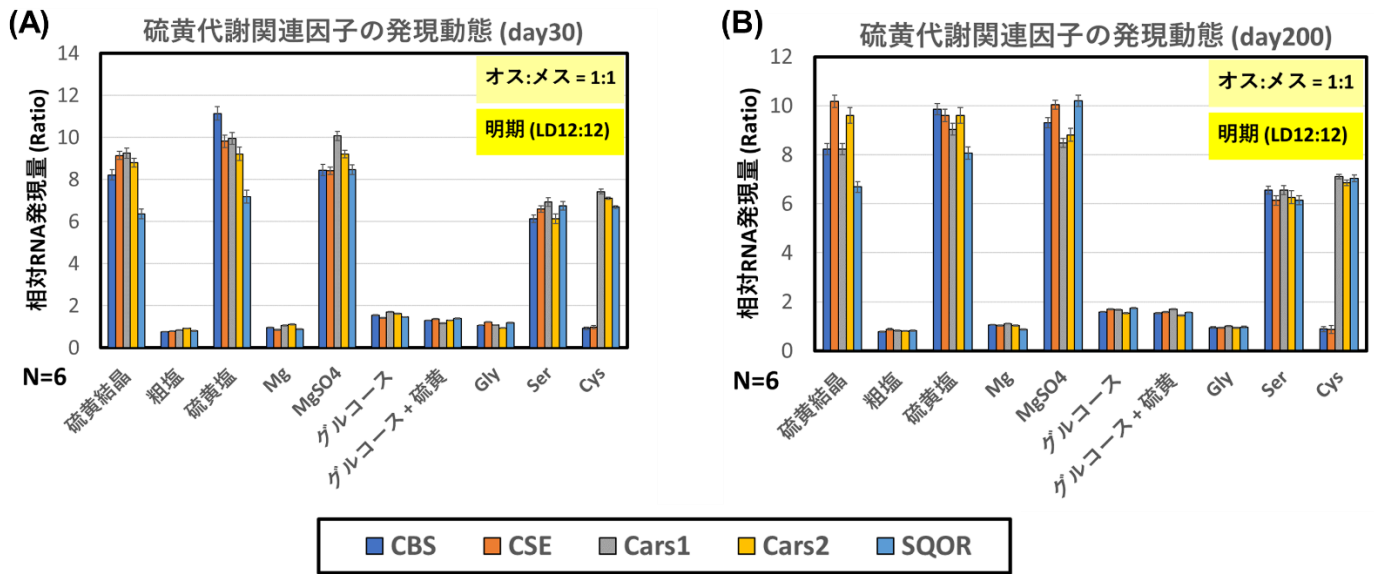


同一量ずつ、粒餌を与えた個体の成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。

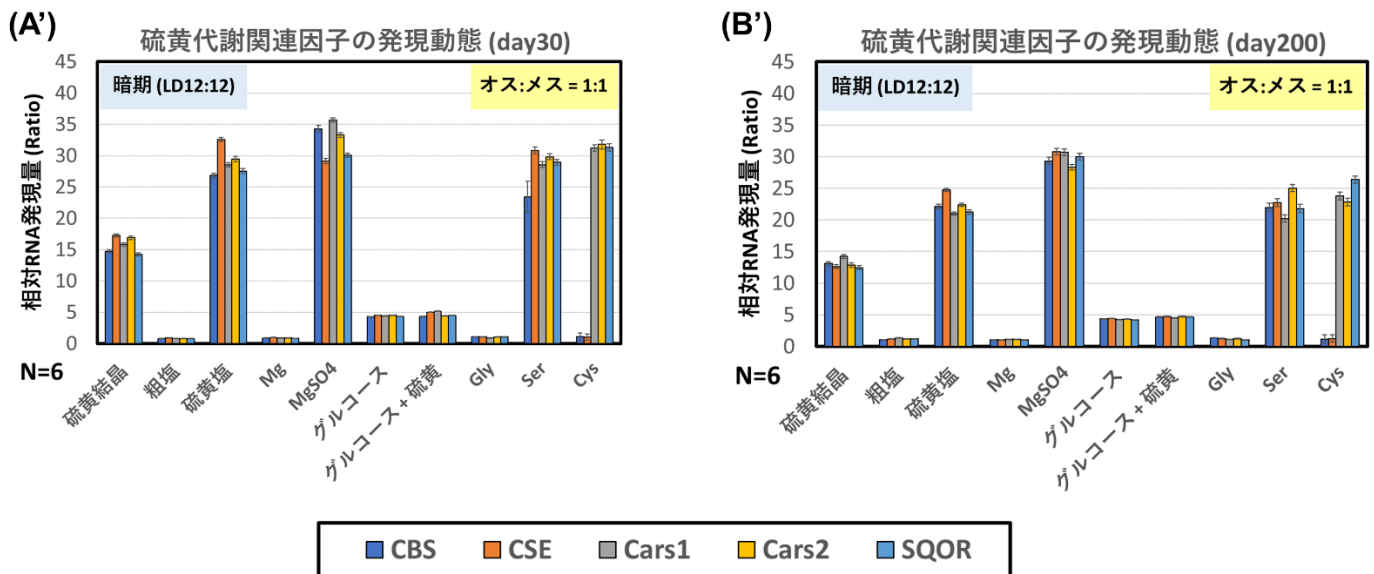
結果 4: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 4 (セリン: システイン生合成材料の確認試験_day200)

上皮+筋肉における硫黄代謝関連因子の発現動態

点灯直後投与_各因子投与後6hr_明期, LD12:12

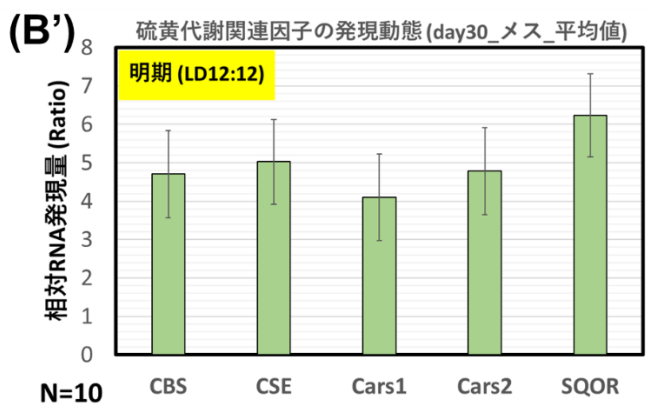
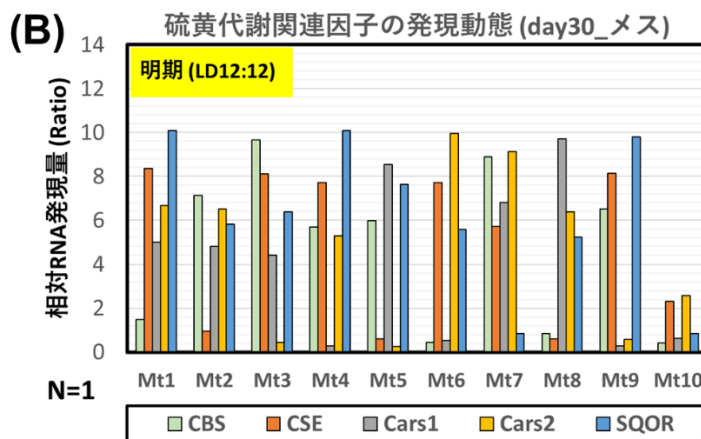
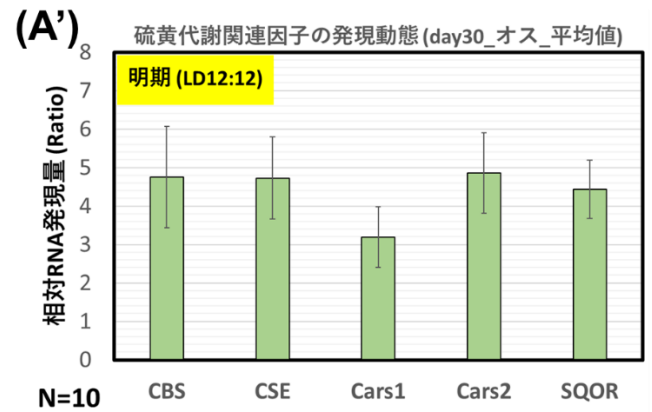
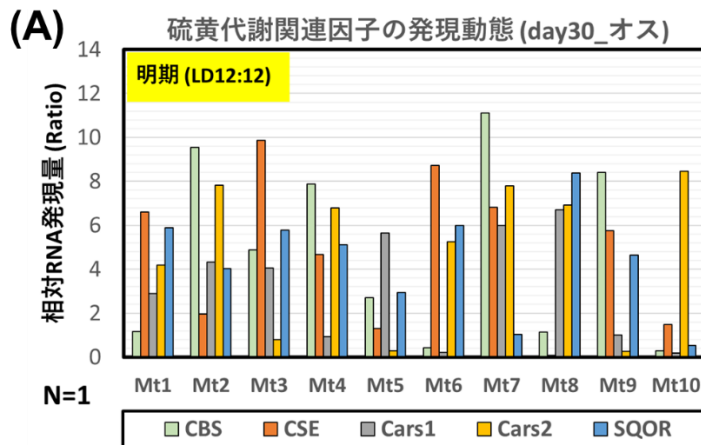


消灯直前投与_各因子投与後6hr_暗期, LD12:12



結果 5: アホロートルにおける硫黄代謝関連因子の発現動態 (上皮+筋肉)

day200で硫黄投与の効果が見られない個体



結果 6: 硫黄投与効果が見られない個体における関連因子の発現動態 (上皮+筋肉)

硫黄酸化菌

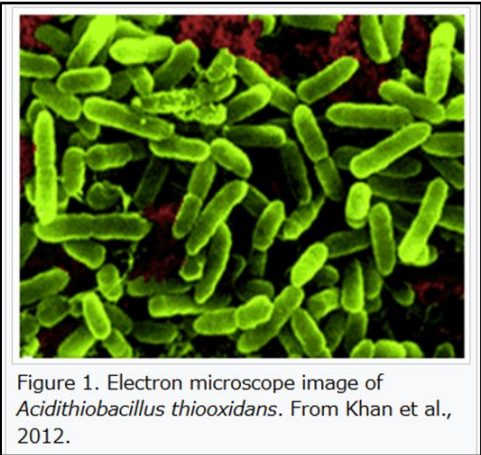
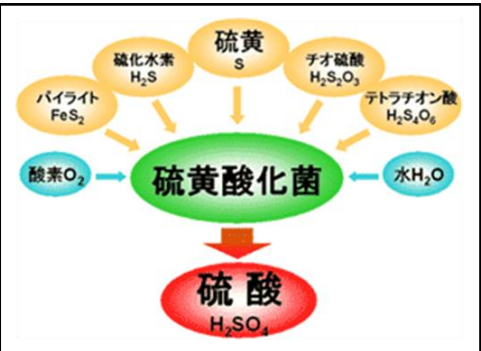


Figure 1. Electron microscope image of *Acidithiobacillus thiooxidans*. From Khan et al., 2012.



酸性硫酸塩土壌における微生物群集 | 研究内容 | 環境適応生物を活用する環境修復技術の開発 (nihon-u.ac.jp)

学名	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>
分類	Pseudomonadota 門 Acidithiobacillia 綱 Acidithiobacillales 目 Acidithiobacillaceae 科
形状	桿菌
分布	土壌、下水道管など
発見	1922年
発見者	ワクスマン、ジョフィ

[アシディチオパチルス チオオキシダンス | 菌の図鑑 | ヤクルト中央研究所 \(yakult.co.jp\)](#)

硫黄酸化菌: グラム陰性の桿菌. 硫黄細菌の一種.
最適pH: pH2.0〜3.5の酸性条件下. 30℃で生育可能.
硫黄をoxido ; 酸化してエネルギーを作り出し, 二酸化炭素を炭素源として増殖するバクテリア.
エネルギー産生の際、代謝産物として硫酸を産生する.
有機物を利用しての増殖ができないため, 他の細菌類と比較して増殖に時間を要する.

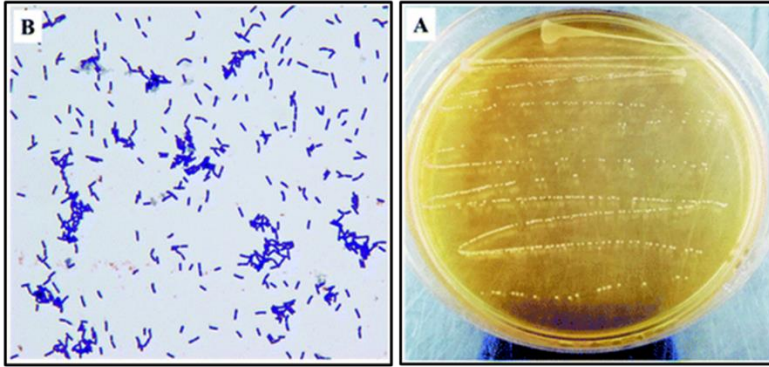
[Acidithiobacillus thiooxidans and its potential application - PubMed \(nih.gov\)](#)
[アシドチオバシラス属 - Wikipedia](#) [温泉微生物 \(toho-u.ac.jp\)](#)

補足図 8: 硫黄酸化菌について

乳酸菌

Lactobacillus

Lactobacillus plantarum 乳酸桿菌の一種 (KFY02 株)



[Lactobacillus plantarum KFY02 enhances the relieving effect of gardenoside on montmorillonite induced constipation in mice - RSC Advances \(RSC Publishing\) DOI:10.1039/C9RA10446A](#)

乳酸菌 (にゅうさんきん)

代謝により乳酸を産生するグラム陽性菌の総称。

乳酸発酵によって糖類から多量の乳酸を産生し、かつ、悪臭の原因になるような腐敗物質を作らないものがこれに該当する。

通性嫌気性または偏性嫌気性の有機栄養菌である。

芽胞なし、運動性なし、消費ブドウ糖に対して50%以上の乳酸を生成、生育の為に、ビタミンB、糖類、アミノ酸、ミネラル (Mn, Mg, Fe等の金属) が必要な細菌類。

体長: 1.0 μm 程度。

ヨーグルト、乳酸菌飲料、漬け物など食品の発酵に寄与する。

一部の乳酸菌は腸などの消化管 (腸内細菌) や腔に常在して、他の微生物と共生あるいは拮抗することによって腸内環境の恒常性維持に役立っていると考えられている。

ラクトバシラス属 (Lactobacillus)

グラム陽性の桿菌。

一般に「乳酸桿菌」と呼ぶ場合狭義にはこの属をさす場合が多い。

種によって乳酸のみを産生 (ホモ乳酸発酵) するものと、乳酸以外のものを同時に産生 (ヘテロ乳酸発酵) するものがある。

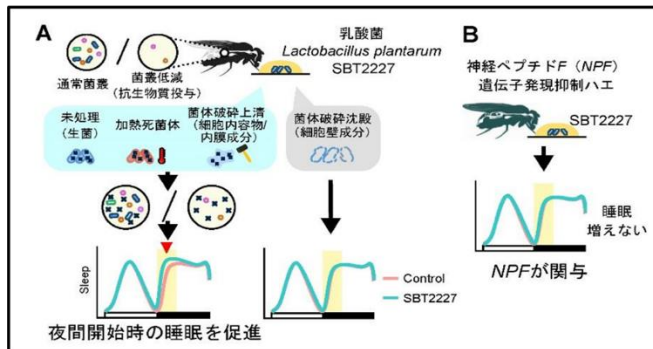
L. plantarum は、発酵食品に存在する種類であり、腸内細菌としての研究報告も見られる。

発育温度: 15°C~45°C。

耐塩性を持つため、漬物などのぬか床で生存できる。

SBT2227 株は、キイロショウジョウバエにおいて、神経ペプチドNPFを介した睡眠促進作用を示すという報告がみられた。

細胞が粉碎されていても上記の効果がみられることも分かっている。



Biogenic action of *Lactobacillus plantarum* SBT2227 promotes sleep in *Drosophila melanogaster*

著者: Taro Ko 雑誌名: iScience DOI: 10.1016/j.isci.2022.104626

[Biogenic action of Lactobacillus plantarum SBT2227 promotes sleep in Drosophila melanogaster - ScienceDirect](#)

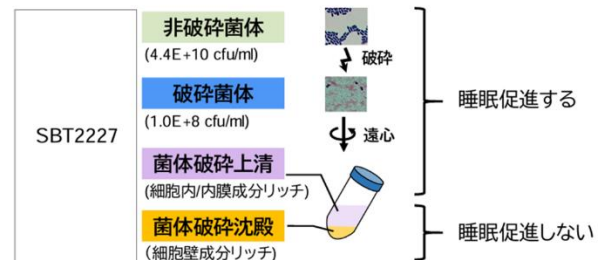
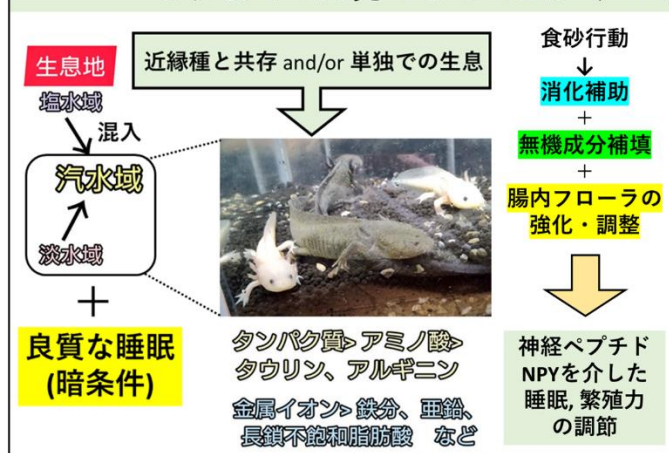


図 3 *L. plantarum* SBT2227 を破砕して回収した、細胞内/内膜成分が豊富な上清画分には睡眠促進作用があるが、細胞壁成分が豊富な沈殿画分には睡眠促進作用はない。

これまでの知見のまとめ2 (杉山, 2023)



アホロートルの飼育水槽における乳酸菌類:

基本的に、アホロートルにおいては、底砂や濾材において乳酸菌の仲間が多く生息する。底砂を食べる行動の中で、無機成分の補給だけでなく、腸内へ乳酸菌を取り込んでいる可能性が示唆されている。腸内を薬品に浸した餌を与えることで減菌すると成長が抑制されることから、腸内乳酸菌の摂取と活きた状態で保持される事による効果の長期持続が期待できる (杉山, 2023)。

乳酸菌類をうまく制御するためには:

0.1~0.2% の汽水環境でも十分に乳酸菌は生育可能である。ハルラボでは、汽水環境がアホロートルにとって重要であるという報告を行っている (杉山 ほか, 2023) ことから、乳酸菌と汽水・硬水環境は両立可能である点からも、アホロートルと乳酸菌は共生関係であった可能性が十分にありと考えられる。

ショウジョウバエにおいて、メス側の産卵促進にオスの交尾刺激 (精液成分の導入) からの NPY (NPF) 放出促進 → 生殖幹細胞の分裂促進 → 最終的に産卵数の増大へと繋がる?

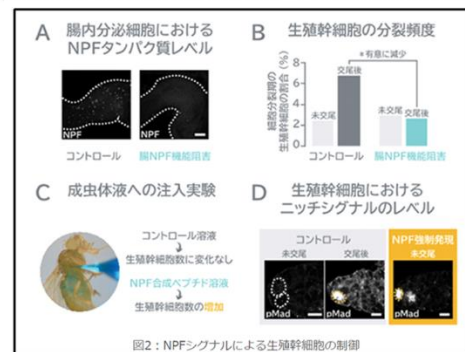


図2: NPYシグナルによる生殖幹細胞の制御

(Ameku et al., PLOS Biol, 2016)

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2005004>

参考文献

乳酸菌 - Wikipedia
ラクトバシラス プランタム | 菌の同義 | ヤクルト中央研究所 (yakult.co.jp)
20220728 sci.pdf (nagoya-u.ac.jp)
Biogenic action of *Lactobacillus plantarum* SBT2227 promotes sleep in *Drosophila melanogaster* - ScienceDirect

補足図 9-1: 乳酸菌について

(A) 不安定な水温・水質が感染症を誘発する

表2: 飼育水中のバクテリア増殖に起因する水の濁りに関する調査

餌ペレット添加後 12hr				餌ペレット添加後 24hr				餌ペレット添加後 48hr			
	透明	半透明	白濁		透明	半透明	白濁		透明	半透明	白濁
淡水			○	淡水			○	淡水			○
0.15% ミネ水		○		0.15% ミネ水			○	0.15% ミネ水			○
0.2% ミネ水		○		0.2% ミネ水			○	0.2% ミネ水			○
0.3% ミネ水	○			0.3% ミネ水		○		0.3% ミネ水			○
0.5% ミネ水	○			0.5% ミネ水		○		0.5% ミネ水			○
1.0% 塩水	○			1.0% 塩水		○		1.0% 塩水		○	
3.0% 塩水	○			3.0% 塩水	○			3.0% 塩水	○		
8.0% 塩水	○			8.0% 塩水	○			8.0% 塩水	○		

【検証条件】

・新品のタッパ容量 2.6L (室温は18-20℃)

※ 生体抜き, 飼育水を2L ずつ回収, 塩水は淡水水槽由来の水を塩分濃度0%として新たに塩を添加して作製した。

・ひかりウーパールーパー小粒の10粒を添加

【結果・考察】

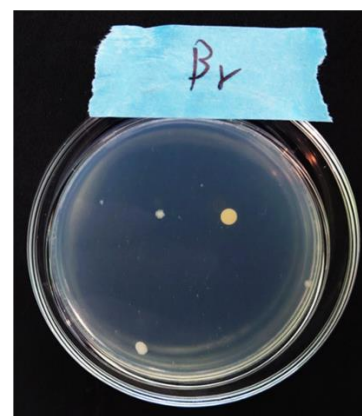
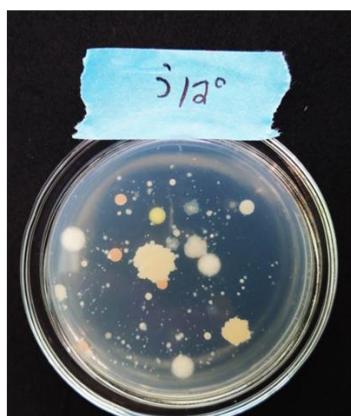
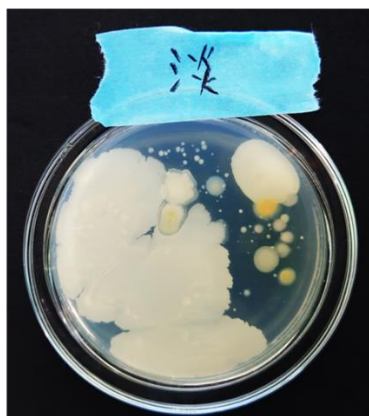
・餌の溶解だけでなく分解が見られると、一気に白濁する傾向が見られる。

－炭水化物などを分解する水中の好気性バクテリア (バシラス類; 乳酸菌類や古葉菌類) が増加したと推察される。

・本結果からも改めて、塩浴がバクテリアに対して強い殺菌効果があることが分かる。

・また本結果から、ミネラル水飼育はバクテリアの過剰な増殖を抑制し、水質の急激な悪化を抑制する効果があることが推察された。

(B)



寒天培地上に飼育水を垂らし、雑菌やカビの繁殖したコロニー形成を観察した結果。
⇒ 生体がいる水槽には雑菌が繁殖しており、室温24hr でも急激に増殖する。

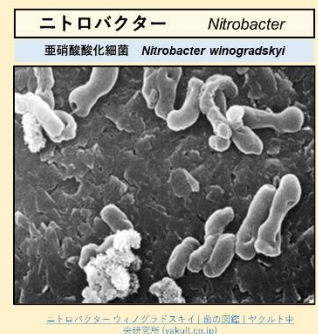
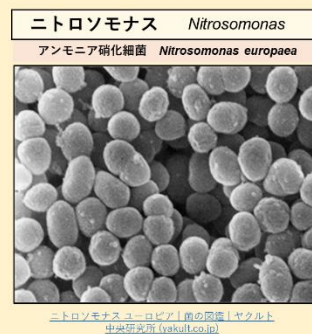
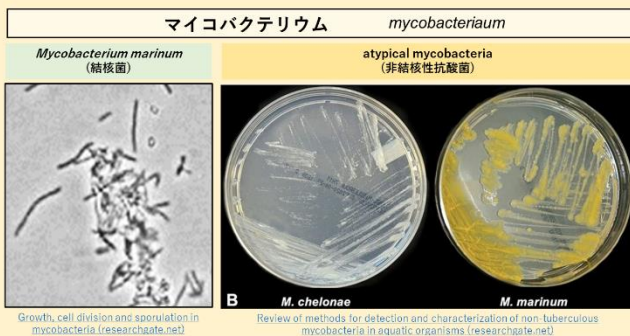
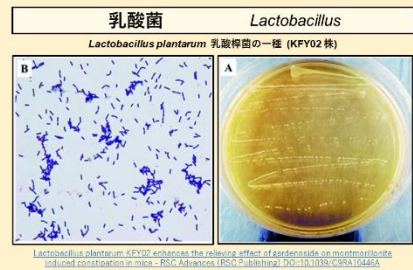
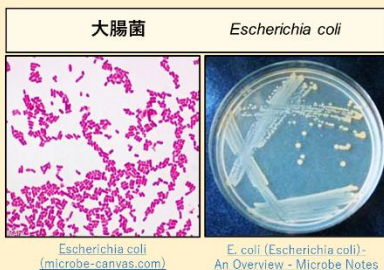
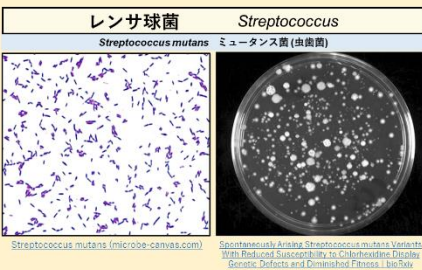
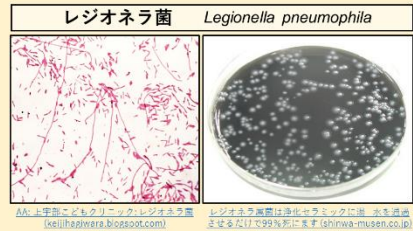
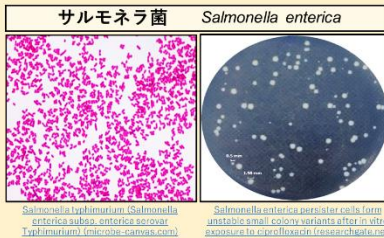
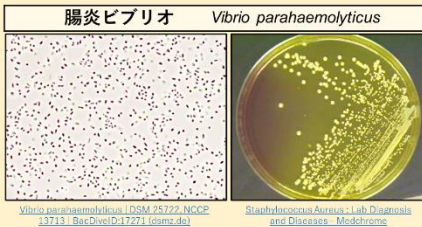
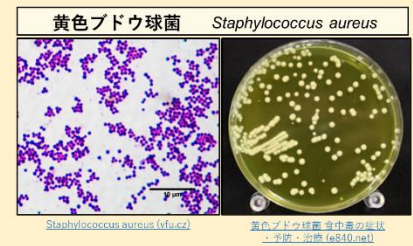
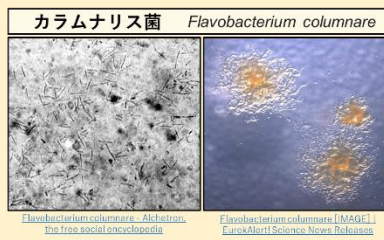
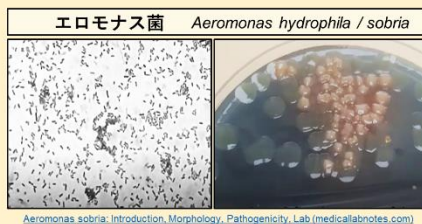
基本組成: 麦芽エキス+寒天 (pH5.0±0.1)

本製品の粉末45.0g を 水1000mL 中へ加熱しながら混ぜて良く溶かし、
無菌環境で十分に乾燥させる。

飼育水を垂らして25℃保温で24時間経過後、コロニーを観察した。

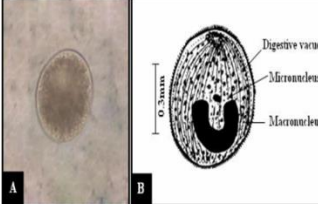
補足図 9-2: アホロートル飼育水槽内の雑菌・微生物について 1

細菌 (バクテリア) 類



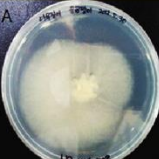
補足図 9-3: アホロートル飼育水槽内の雑菌・微生物について 2

寄生虫1（白点症状を示すもの）

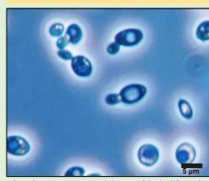
白点虫	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>
	
How to Treat Ich on Freshwater Fish (thesprucepets.com)	Fig. (4): <i>Ichthyophthirius multifiliis</i>. A- Photomicrograph (40X). B- Camera lucida drawing. Ectoparasites of the Asian (researchgate.net)

ツリガネムシ	<i>Epistylis weishanensis</i> sp.
	
ツリガネムシ(つりがねむし)とは？意味や使い方 - コトバンク (kotobank.jp)	ボルティセラ 株式会社近畿環境技術センター (keec.jp)

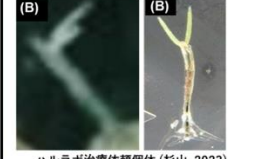
真菌(カビ)類

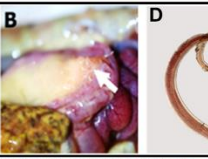
ミズカビ	<i>Saprolegniaceae</i>
	
Identification of water mold from wild brook lamprays, <i>Lethenteron reissneri</i> (researchgate.net)	

ワタカビ	<i>Achlya</i>
	
Protist Images: Achlya (hosel.ac.jp)	Responses of <i>Achlya</i> spp. to <i>A. sp.</i> parasitism and <i>Saprolegnia fusca</i> to <i>S. sp.</i> parasitism: Treatments of Amino Acids (researchgate.net)

酵母	<i>Saccharomyces</i>
	
Saccharomyces cerevisiae, probiotic, lifecycle, uses, antibody and infection (healthline.com)	Saccharomyces cerevisiae (ku.dk)

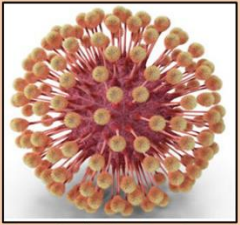
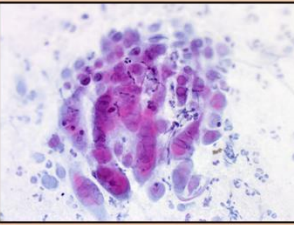
寄生虫2（線状のもの）

イカリムシ	<i>Lernaea cyprinacea</i> L.
	
ハルラボ治療依頼個体 (杉山, 2023) (researchgate.net)	ハルラボ治療依頼個体 (杉山, 2023) (researchgate.net)

線虫 (Nematoda) の一種	<i>Hedruris siredonis</i>
	
	
Fish-parasite taken from the head of a <i>siredonis</i> (nematode) Baer, 1952 (researchgate.net)	

ダクテロギルス (変形動物)	<i>Dactylogyrus</i>
	
日本国内・・・D. Extensus, D. minutus など (fishparasite.fs.u-tokyo.ac.jp)	
写真1. <i>Dactylogyrus</i> が多数寄生したコイの鰓。	写真2. <i>D. extensus</i> の虫体。
東京大学 魚病学研究室 HP (fishparasite.fs.u-tokyo.ac.jp)	

その他ウイルス類

単純ヘルペスウイルス1型	Herpes Simplex Virus (HSV) 1
	
Herpes Simplex Virus: Types, Causes, and Treatment (drugs.com)	Herpes simplex virus (HSV) MyPathologyReport.ca

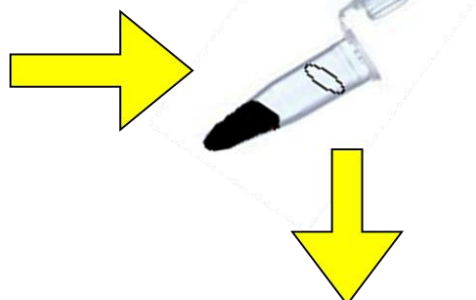
ギロダクテリス (変形動物)	<i>Gyrodactylus</i>
	
コイ: G. kherulensis (体表、鰭), G. sprostonae (鰓) (fishparasite.fs.u-tokyo.ac.jp)	キンギョ: G. kobayashii (体表、鰭) ニジマス: G. masu (体表、鰭、鰓) アユ: G. japonicus (体表、鰭) トラフグ: G. rubripedis (体表、鰭)
写真1. <i>Gyrodactylus</i> が多数寄生したコイの体表。	写真2. <i>G. kherulensis</i> の虫体。病の存在によって、三世代の虫体が確認できる。
東京大学 魚病学研究室 HP (fishparasite.fs.u-tokyo.ac.jp)	

補足図 9-4: アホロートル飼育水槽内の雑菌・微生物について 3

飼育水槽や腸内に硫黄酸化菌の仲間が生息する場合がある



上清や底砂を回収し、
濾し出す。

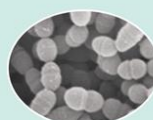


18SrDNA 等に注目し
存在する微生物の種類を同定

代表的な乳酸菌



乳酸桿菌



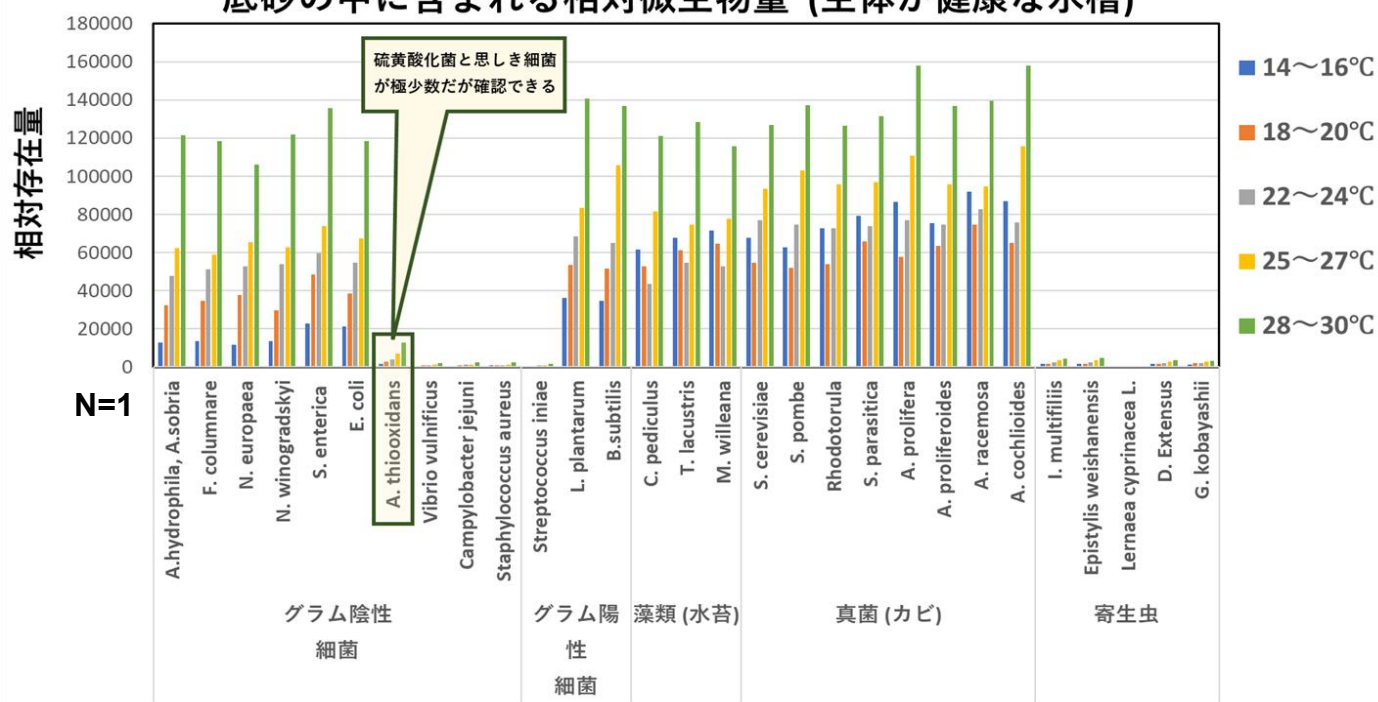
乳酸球菌



ビフィズス菌

組成	黒玉土: 大磯砂: ゼオライト: カキ殻 = 10 : 6 : 2: 1
水質	淡水
pH	アルカリ寄りの中性 (7.2~7.4)
硬度 (KH)	4.5~5.0

底砂の中に含まれる相対微生物量 (生体が健康な水槽)

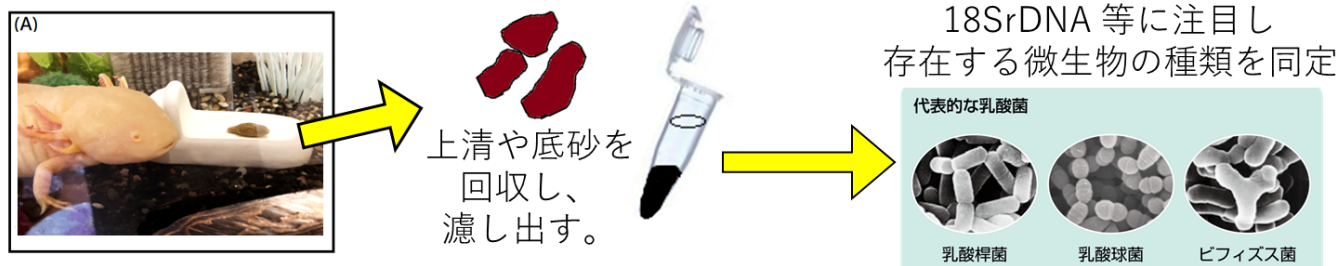


結果 7: 水槽内における硫黄酸化細菌の存在

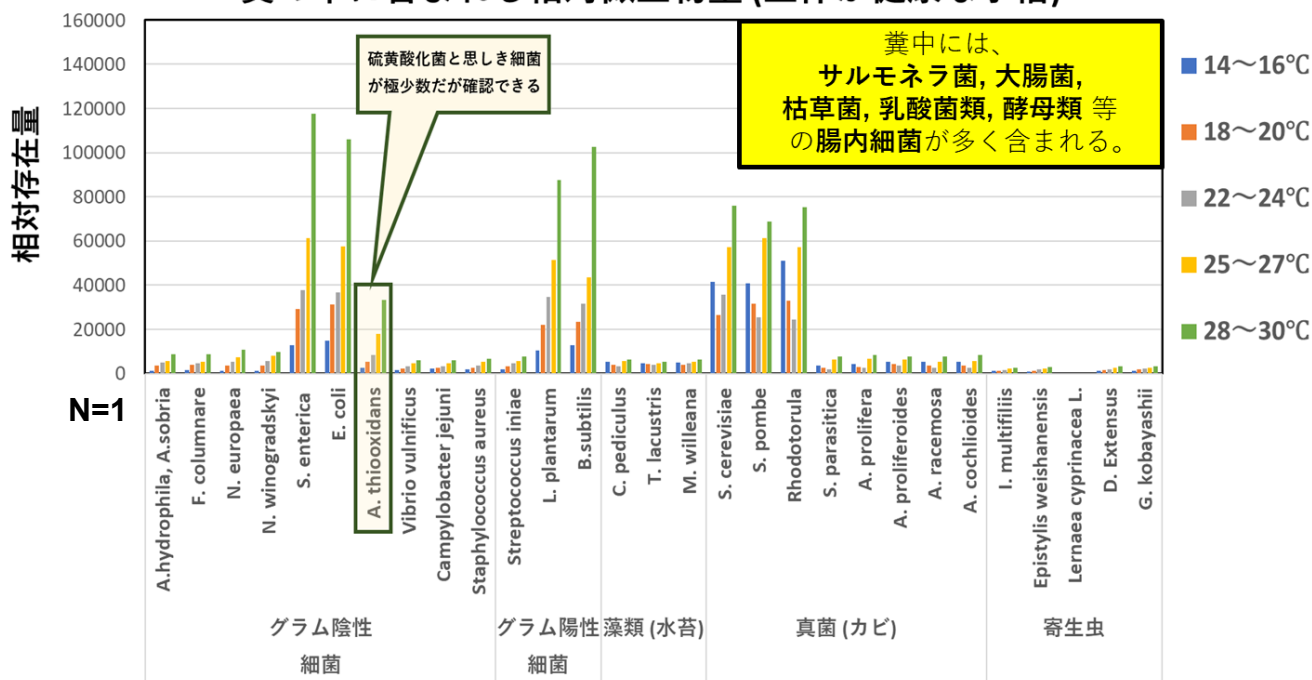
硫黄投与で効果が見られない個体のうち、システイン投与でレスキューがかけなかった個体でも確認

(A)

飼育水槽や腸内に硫黄酸化菌の仲間が生息する場合がある



糞の中に含まれる相対微生物量 (生体が健康な水槽)



(B)

底砂を濾した水のpH (N=10)
硫黄酸化菌あり

表層 (好気層)	6.90 ± 0.09
中間層 (好気～嫌気層)	6.90 ± 0.07
深層 (嫌気層)	6.11 ± 0.08
混合	6.53 ± 0.05

底砂を濾した水のpH (N=10)
硫黄酸化菌なし

表層 (好気層)	7.15 ± 0.13
中間層 (好気～嫌気層)	6.90 ± 0.07
深層 (嫌気層)	6.43 ± 0.05
混合	6.83 ± 0.06

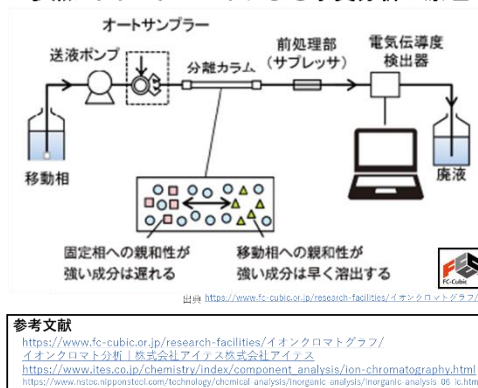
結果 8-1: 腸内における硫黄酸化細菌の存在

硫黄投与で効果が見られない個体のうち、システイン投与でレスキューがかからなかった個体でも確認

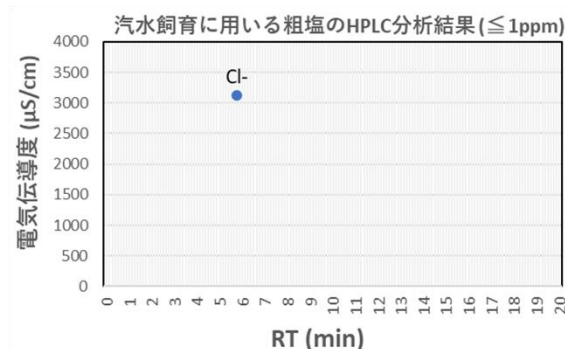
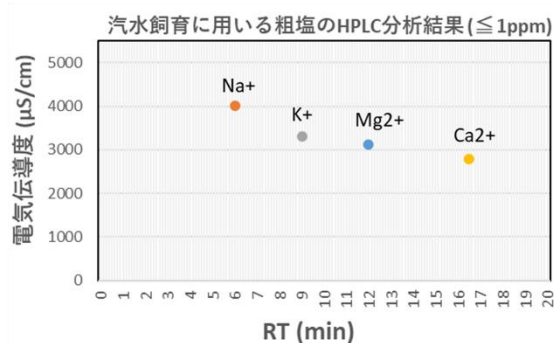
(A) 汽水飼育に用いる粗塩の組成

総量 (g)	98.0
Na ⁺	38.6
K ⁺	0.03
Ca ⁺	0.2
Mg ²⁺	0.2
Cl ⁻	59.0

参照: イオンクロマトによる水質分析の原理



(B) 粗塩を用いて 0.1% (1000ppm) の汽水を希釈し, 1ppm 以下に調整後に分析 (IOC: ピークトップ値をプロット)。



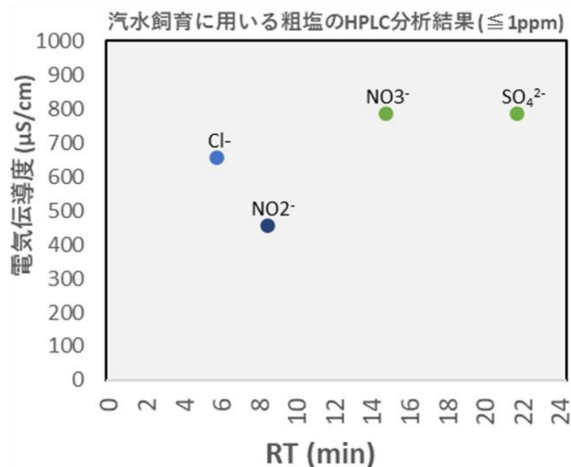
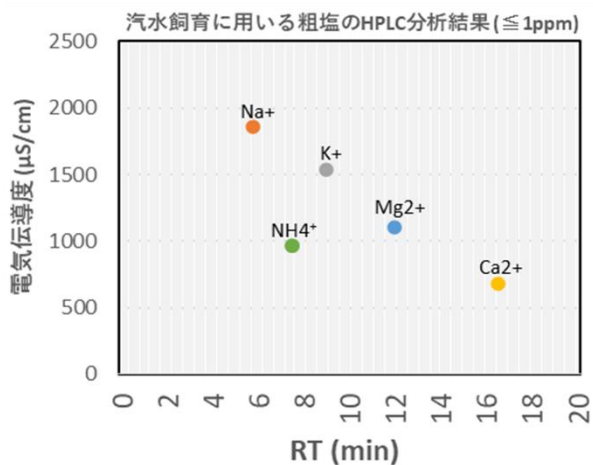
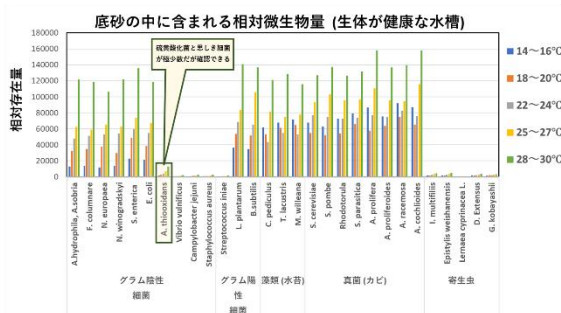
(C) 硫黄酸化菌が生息する底砂・ソイルを濾過した水の組成の分析結果 (IOC: ピークトップ値をプロット)。



組成	黒玉土: 大磯砂: ゼオライト: カキ殻 = 10: 6: 2: 1
水質	淡水
pH	アルカリ寄りの中性 (7.2~7.4)
硬度 (KH)	4.5~5.0



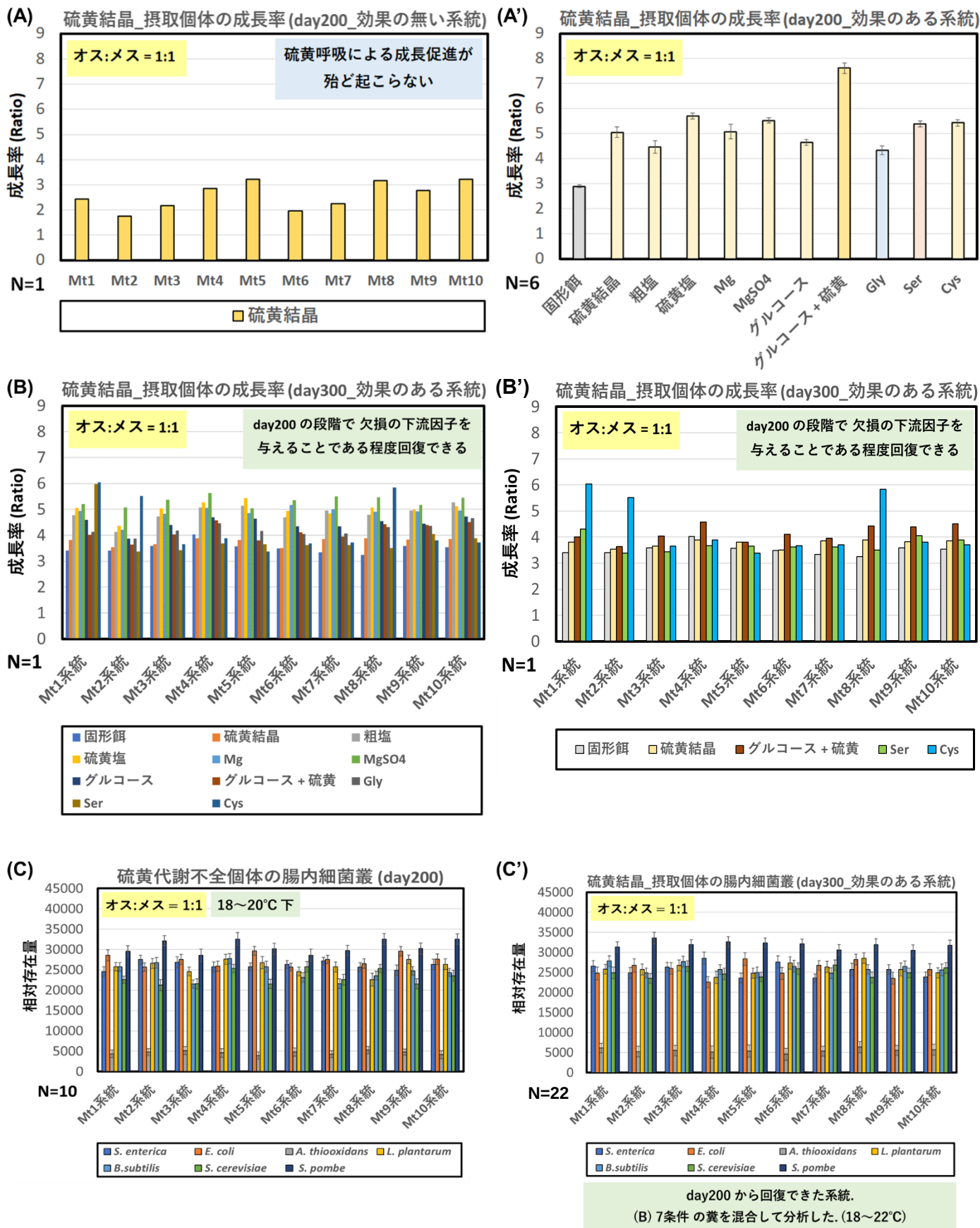
<https://ja.wikipedia.org/wiki/硫化物>



結果 8-2: 水槽内における硫化物の存在

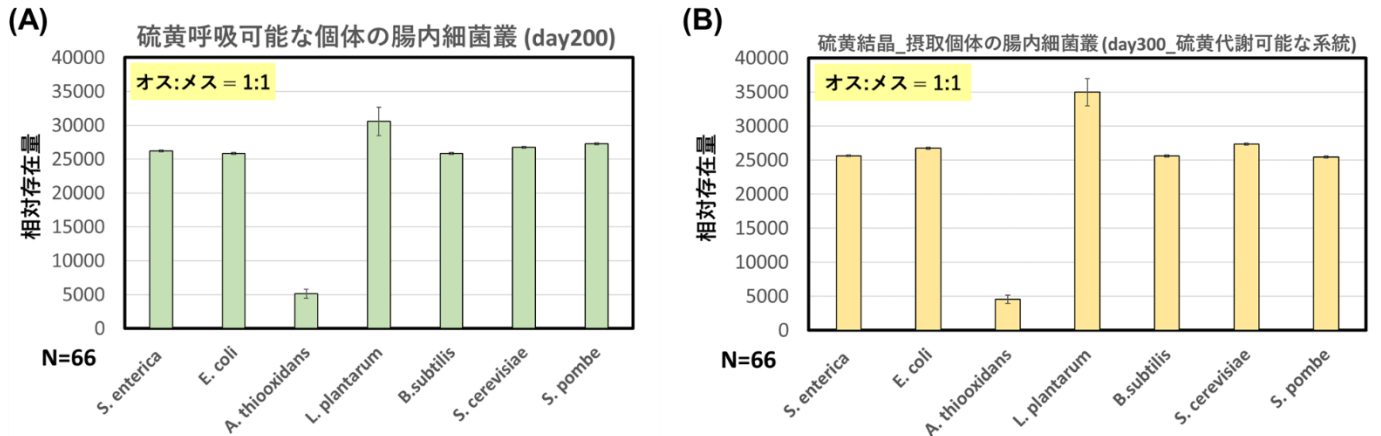
イオンクロマトを用いて飼育水・砂中に存在する硫化物の存在を確認した (底砂を 0.2 μm のフィルターで濾過後に分析)

day200で硫黄投与の効果が見られない個体



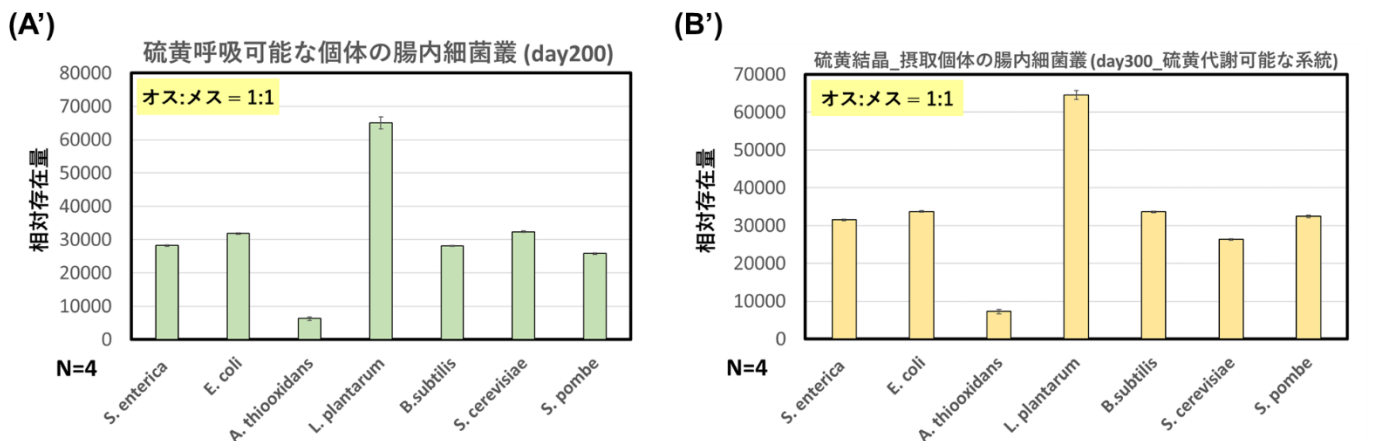
結果 9: 硫黄投与効果が見られない個体における関連因子の発現動態
および腸内細菌叢 (上皮+筋肉)

硫黄代謝可能な個体における腸内細菌叢



結果9. (B) の 7 餌の条件 (下記) で生育した, 硫黄呼吸可能な系統の糞を混合して分析した. (18~22℃)

固形餌 / 硫黄結晶 / 粗塩 / 硫黄塩 / Mg / MgSO4 / グルコース / グルコース + 硫黄 / Gly / Ser / Cys



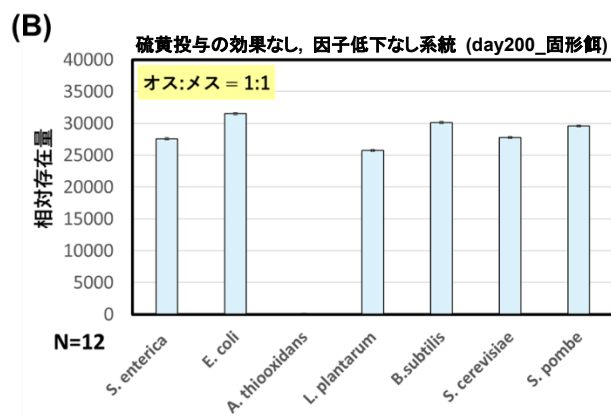
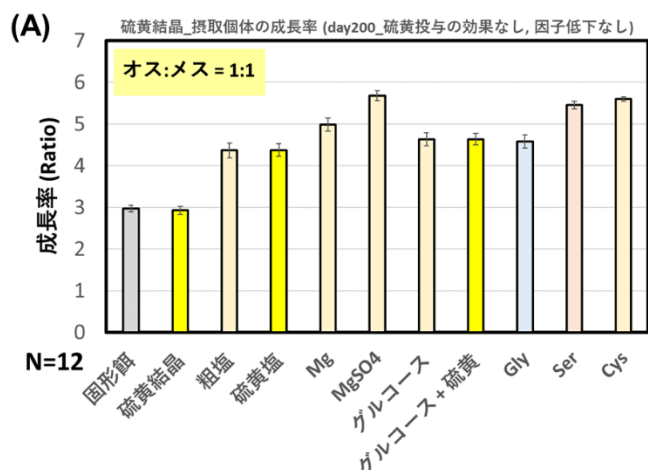
結果9. (B) の 2 餌の条件 (下記) で生育した, 硫黄呼吸可能な系統の糞を混合して分析した. (18~22℃)
糖代謝を活性化された個体では乳酸菌の数・活性が高くなる傾向が見られた。

グルコース / グルコース + 硫黄

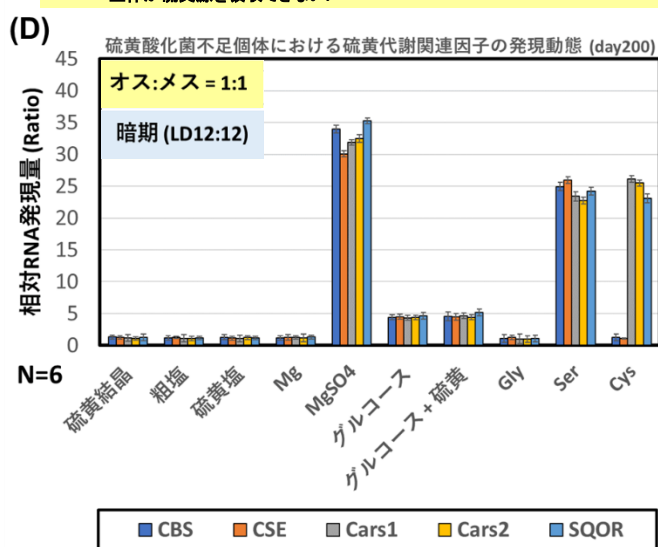
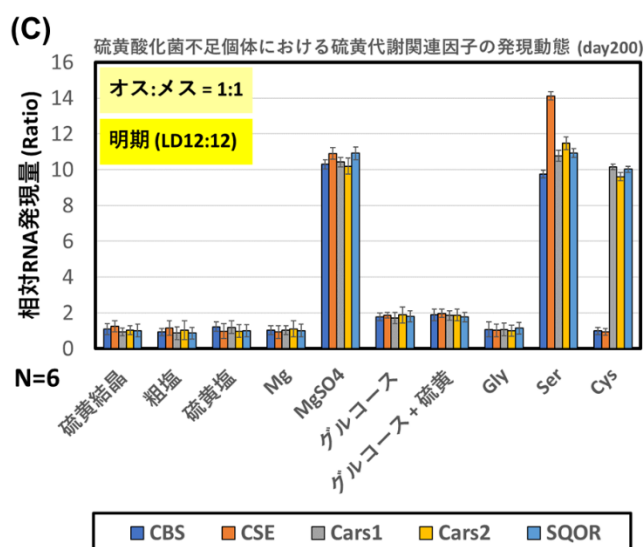
結果 10: 硫黄投与効果が見られる個体における腸内細菌叢 (上皮+筋肉)

硫黄酸化菌は増殖が速くなく, 例え腸内に硫黄源が追加されても,
決して直ちに数が劇的に増えることはできない。

day200で硫黄投与の効果が見られないが 関連因子の発現に異常がない個体



硫黄代謝関連因子が正常だが硫黄代謝がうまくできない個体
→ 硫黄酸化菌が腸内に不足しており, 硫黄結晶が硫化物イオンに変換されず, 生体が硫黄源を吸収できない。



結果 11: 硫黄酸化菌が腸内に不足すると硫黄結晶を硫黄呼吸に利用できない (上皮+筋肉)

腸内細菌を抗生剤等で殺菌すると生育率が低下する

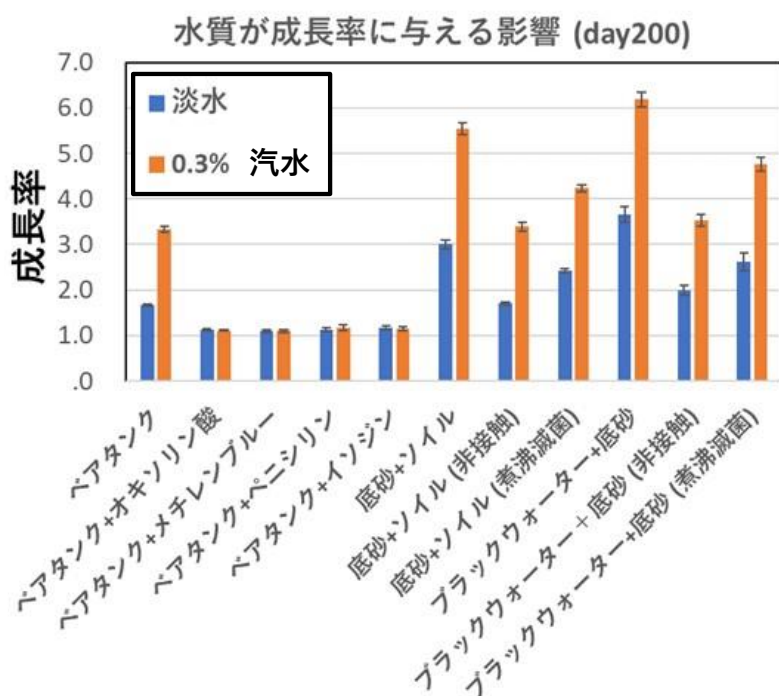


図2: 飼育水槽の水質が成長率に与える影響

飼育水槽にバクテリアが存在しないと成長が著しく阻害される。同様に、底砂と直接接していないと成長率が低下する。



グリーンFゴールド・リキッド

主成分: オキシリン酸

多くのグラム陰性菌と大半のグラム陽性菌に対して殺菌効果を示す。



【第3類医薬品】

イソジン うがい薬C

組成

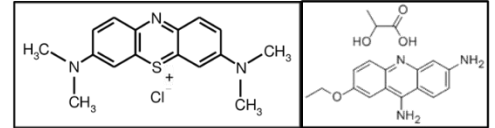
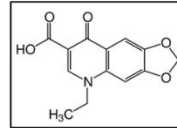
- ・ポビドンヨード 0.35 %
- ・エタノール
- ・グリセリン
- ・メントール 他

PVPI (ポビドンヨード)

ウイルスや細菌・真菌に対して殺ウイルス効果・殺菌効果がある。

補足図 12-1: 腸内細菌はアホロートルの成長制御にとって重要である 1 (杉山 2023)

治療薬の選定と最適条件の設定



塩による治療

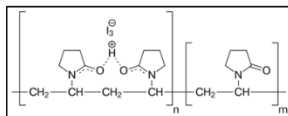
- 塩浴 ～0.5% 程度の塩水で短時間泳がせる
- 周期的な 0.15～0.2% 程度の汽水飼育で微生物・カビの増殖を抑制できる。

抗生物質による治療

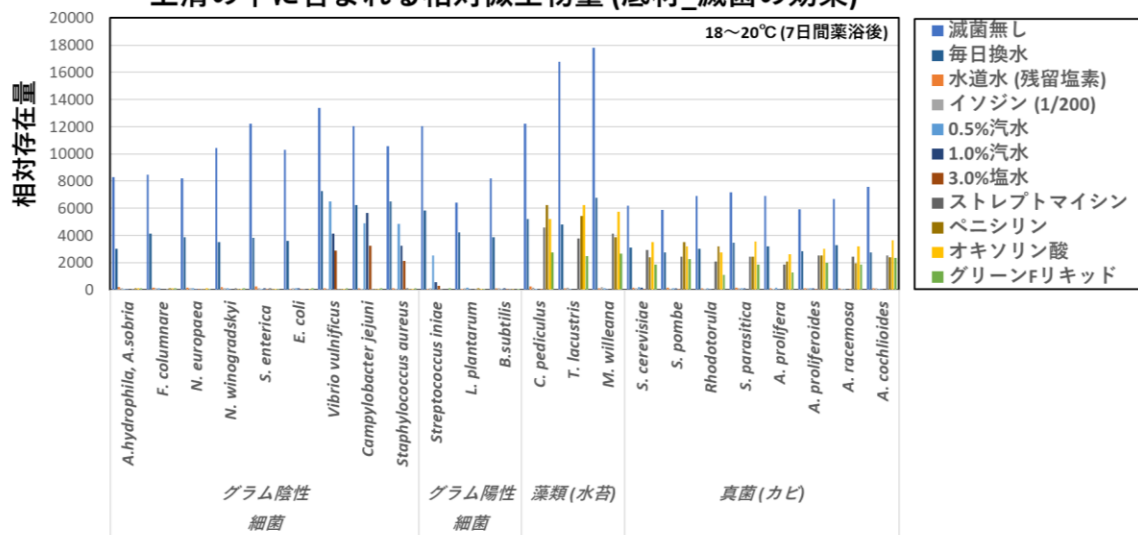
- オキシリン酸含有品を推奨。
濃度1/5000～1/10000 で7日程度継続して使用。
理由: エロモナス菌などの感染症の原因となるグラム陰性菌に有効であるため。

メチレンブルー入り魚病治療薬による治療

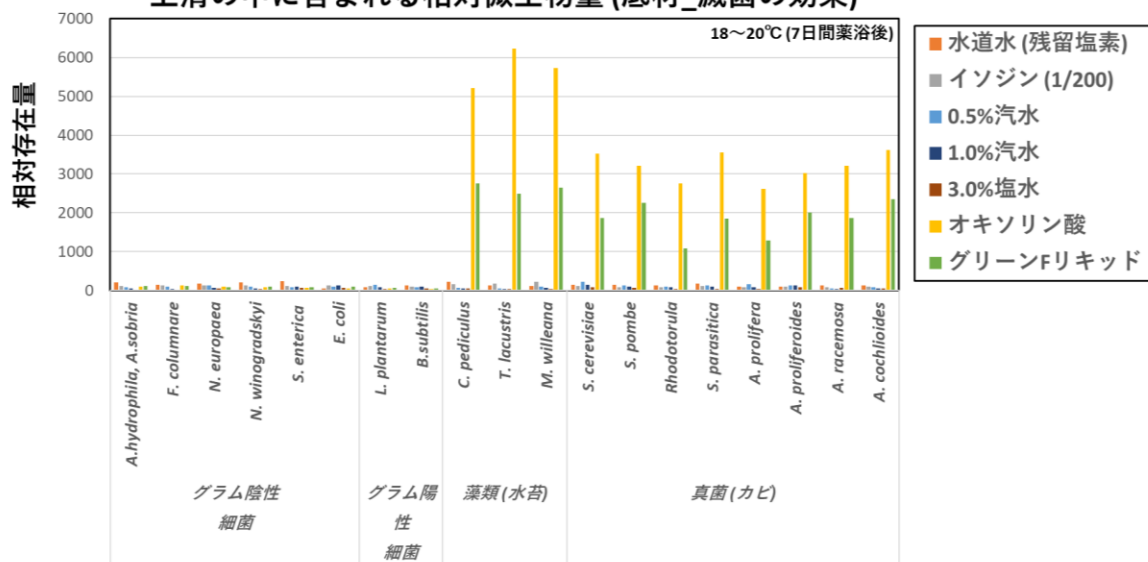
- メチレンブルー+アクリノール
濃度1/6000～1/14000 で6～7日程度継続して使用。
- カビやウイルスなどの抗生物質が効かない相手に対して有効。



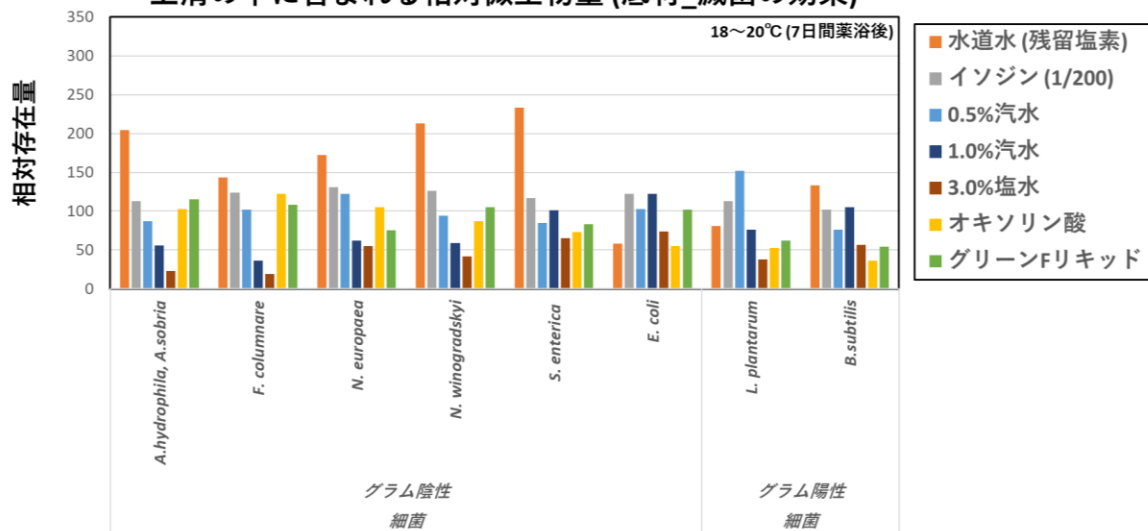
上清の中に含まれる相対微生物量 (底材_滅菌の効果)



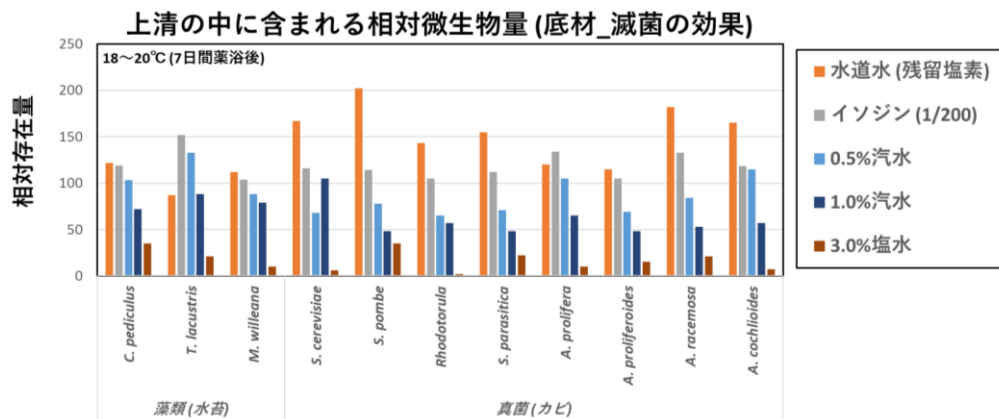
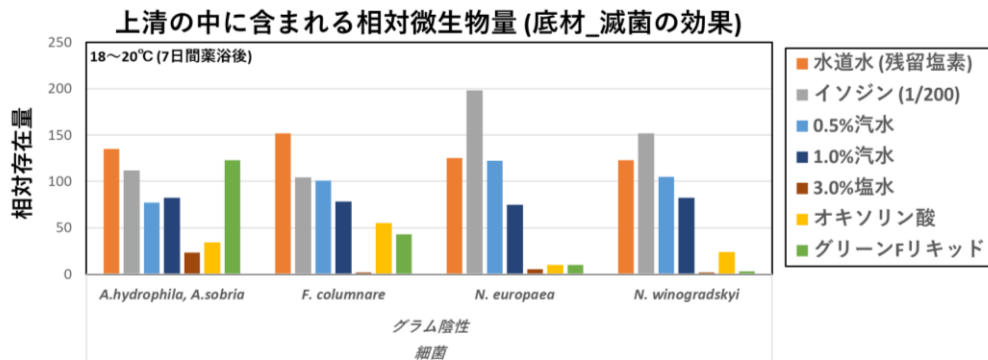
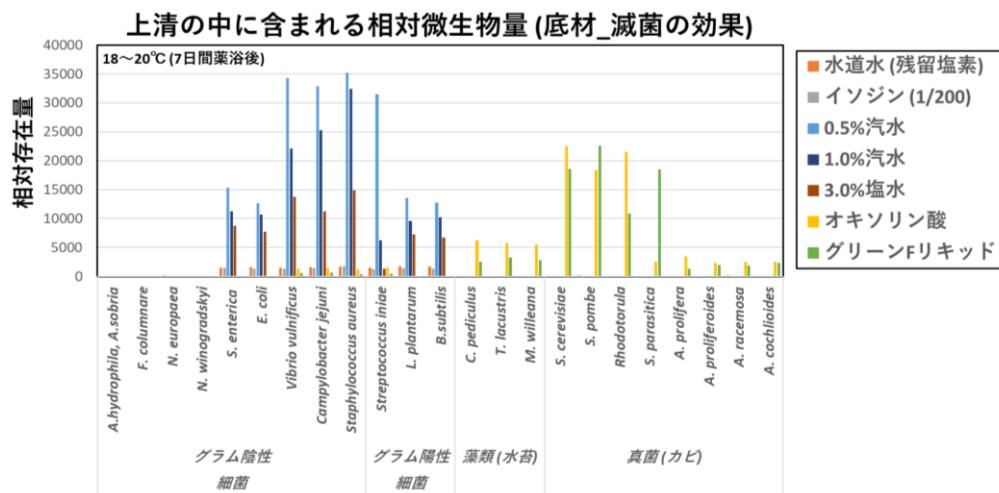
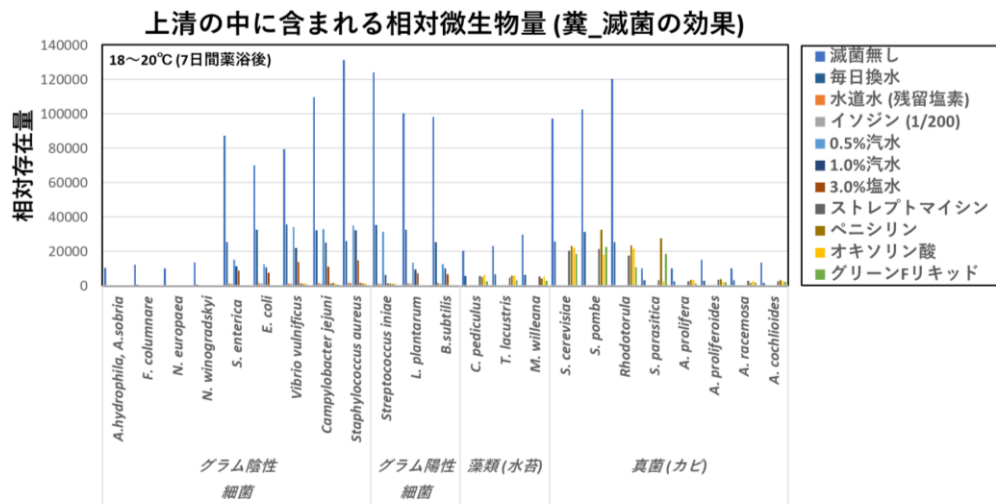
上清の中に含まれる相対微生物量 (底材_滅菌の効果)



上清の中に含まれる相対微生物量 (底材_滅菌の効果)

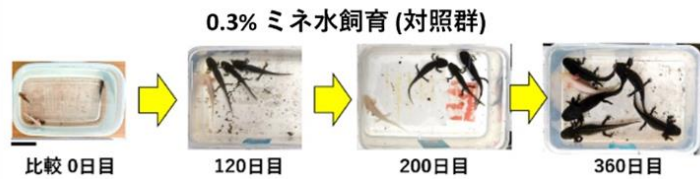


補足図 12-3: 腸内細菌および水槽内に棲む微生物に対する滅菌効果 1 (底材_薬浴 5 日間)

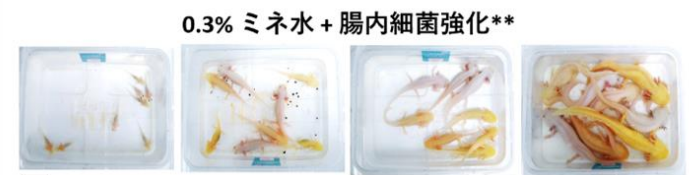


補足図 12-4: 腸内細菌および水槽内に棲む微生物に対する減菌効果 2 (糞_薬浴 5 日間)

腸内活動の活性化によって成長率が向上する



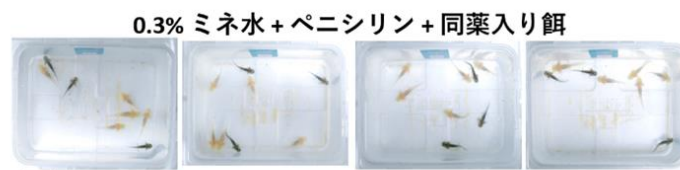
*餌に糞や底砂の泥を回収して混ぜた物を与えた個体



**餌に生きた乳酸菌+ビフィズス菌を混ぜた物を与えた個体



各スケールバー: 50mm



- ・オキシリン酸 → グラム陰性菌 および一部のグラム陽性菌 に有効
- ・メチレンブルー → グラム陽性菌 に有効
- ・ペニシリン → グラム陰性の球菌 および グラム陽性菌 に有効
- ・イソジン (ポビドンヨード)
 - グラム陽性菌, グラム陰性菌, 結核菌, 真菌, 一部のウイルス 等 広範囲の微生物に対して有効

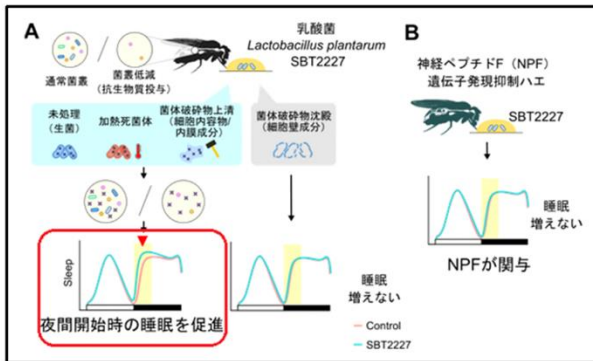
補足図 12-3: 腸内細菌はアホロートルの成長制御にとって重要である 2 (杉山 2023)

※ ミネ水: Na, K, Mg, Ca を含有する粗塩で調製した汽水

ショウジョウバエにおける神経ペプチド NPY と腸内乳酸菌の関係性

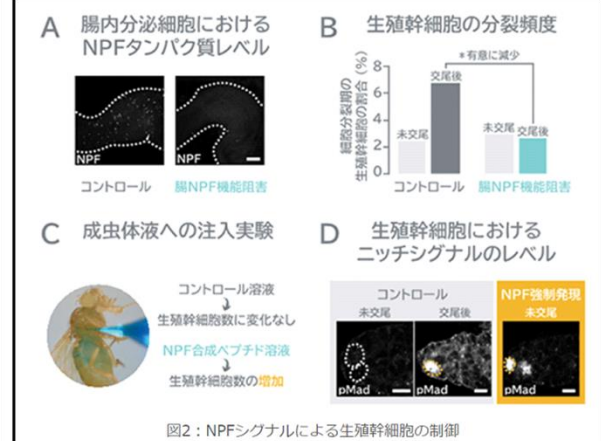
ショウジョウバエにおいて、メス側の産卵促進にオスの交尾刺激(精液成分の導入)からの NPY (NPY) 放出促進 → 生殖幹細胞の分裂促進 → 最終的に産卵数の増大へと繋がる？

神経ペプチド NPY (ショウジョウバエの NPY) に注目。
また、乳酸菌と NPY が睡眠導入に重要との文献あり。



(Taro Ko et al., iScience, 2022)

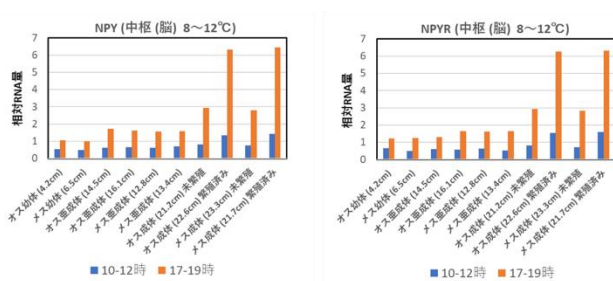
<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2589-0042%2822%2900898-7>



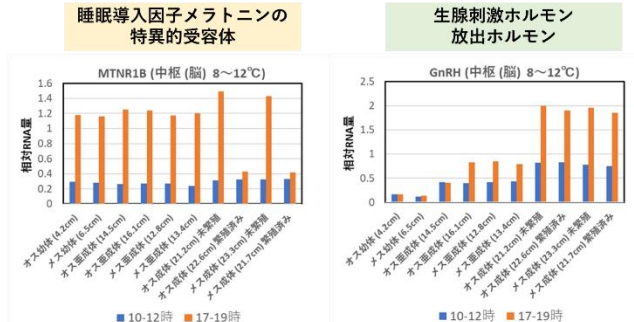
(Ameku et al., PLOS Biol, 2016)

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2005004>

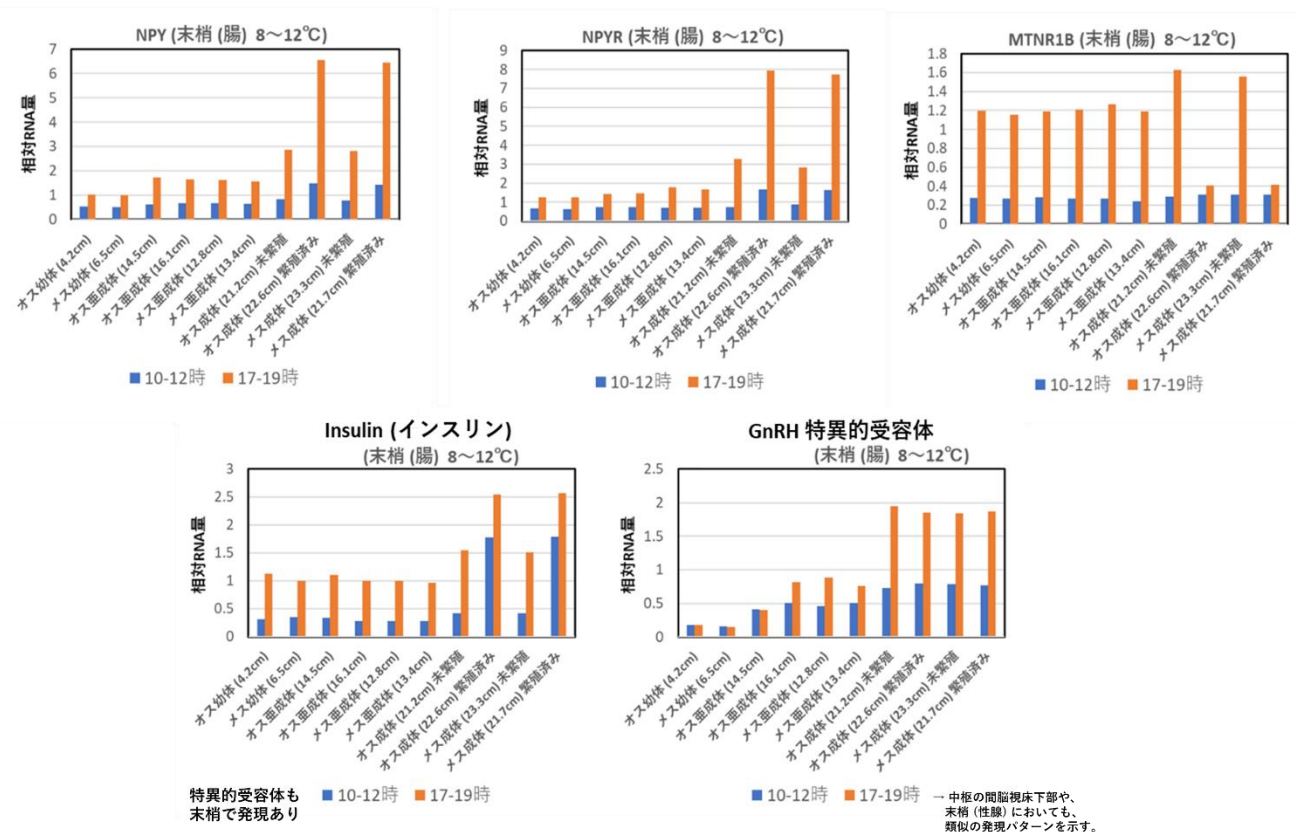
メキシコサラマンダーにおける神経ペプチド NPY と睡眠 および 腸内乳酸菌の関係性



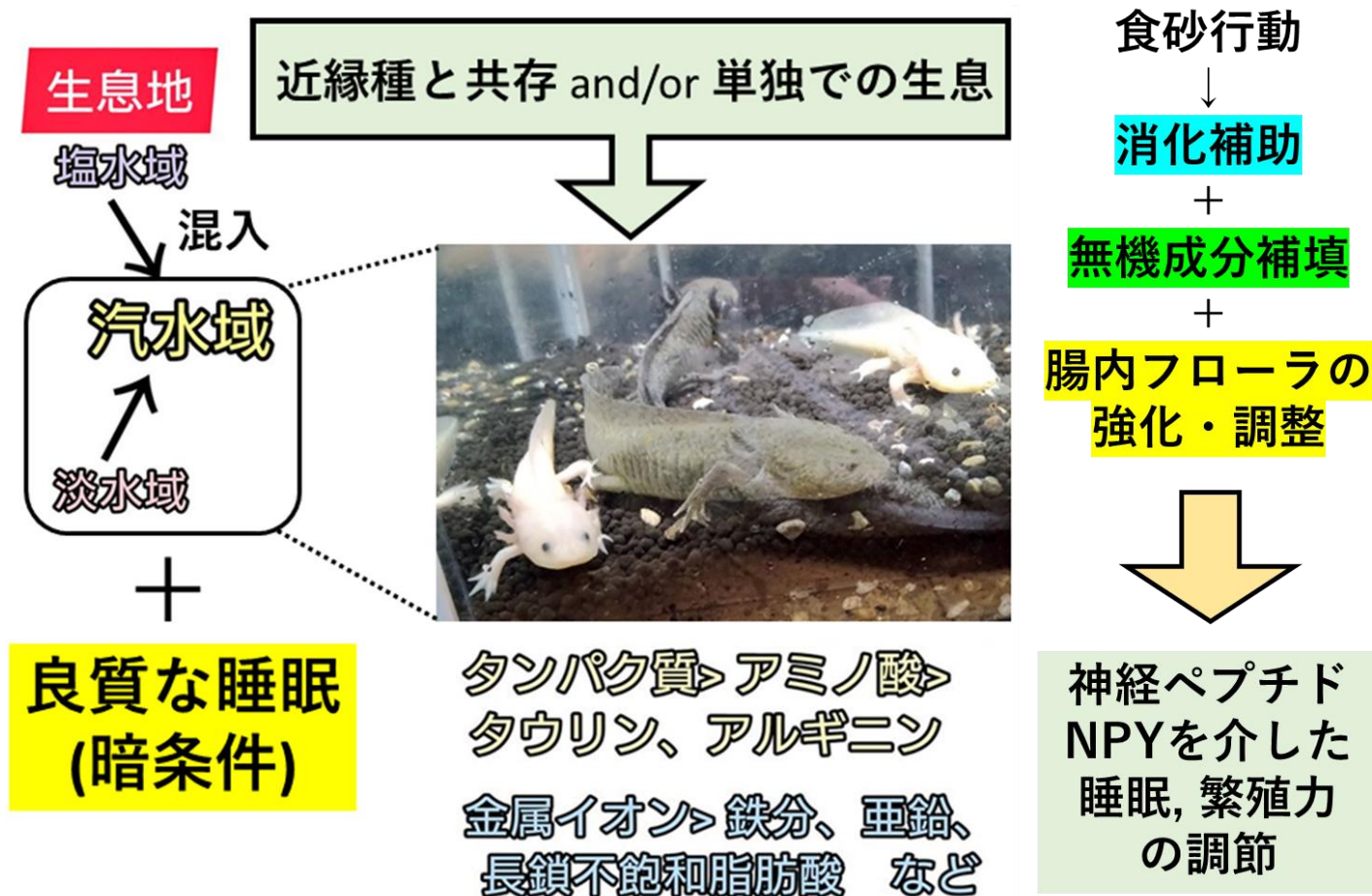
産卵誘導時(低温)の中枢におけるNPY および 関連因子mRNAの相対発現量の比較



産卵誘導時(低温)の中枢におけるNPY および 関連因子mRNAの相対発現量の比較



補足図 12-4: 腸内細菌はアホロートルの成長制御にとって重要である 2 (杉山 2023)



補足図 12-5: 腸内細菌はアホロートルの成長制御にとって重要である 3 (杉山 2023)

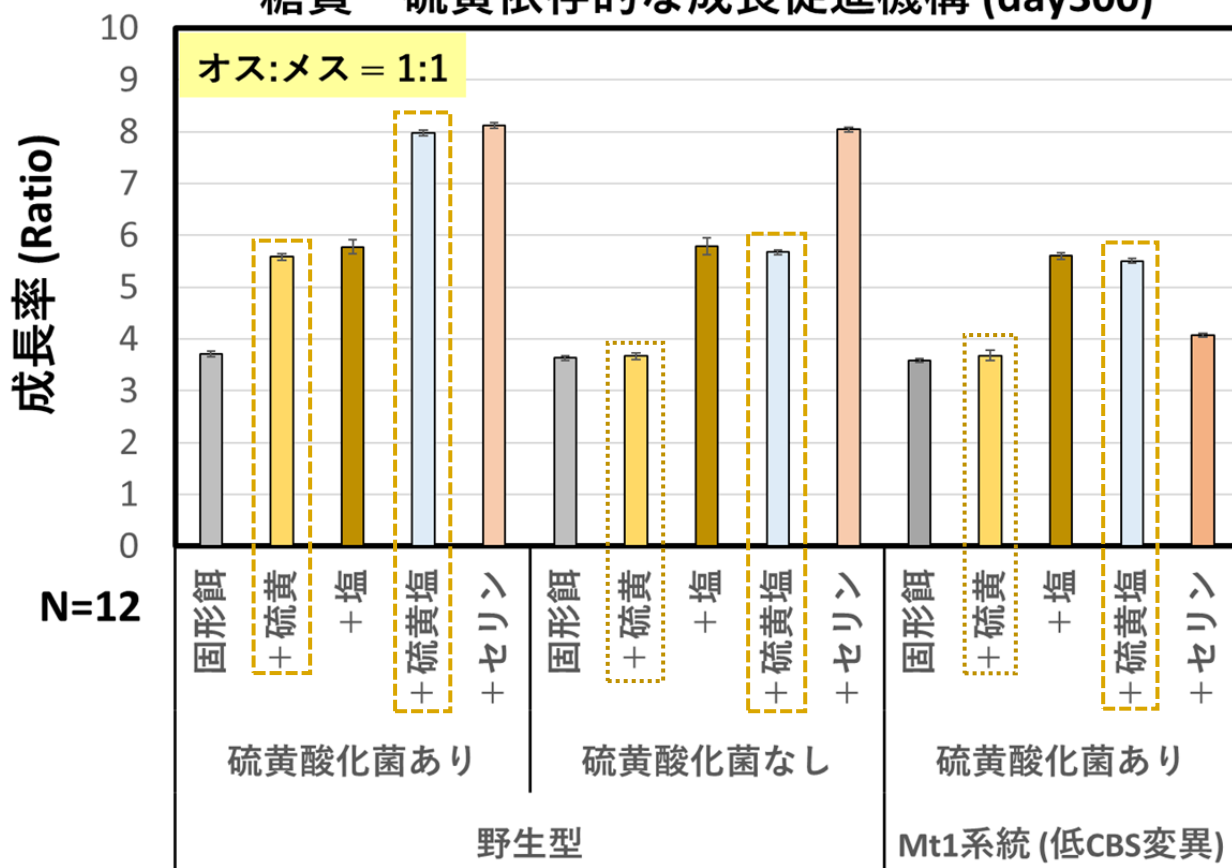


結果 12-1: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 5 (A)

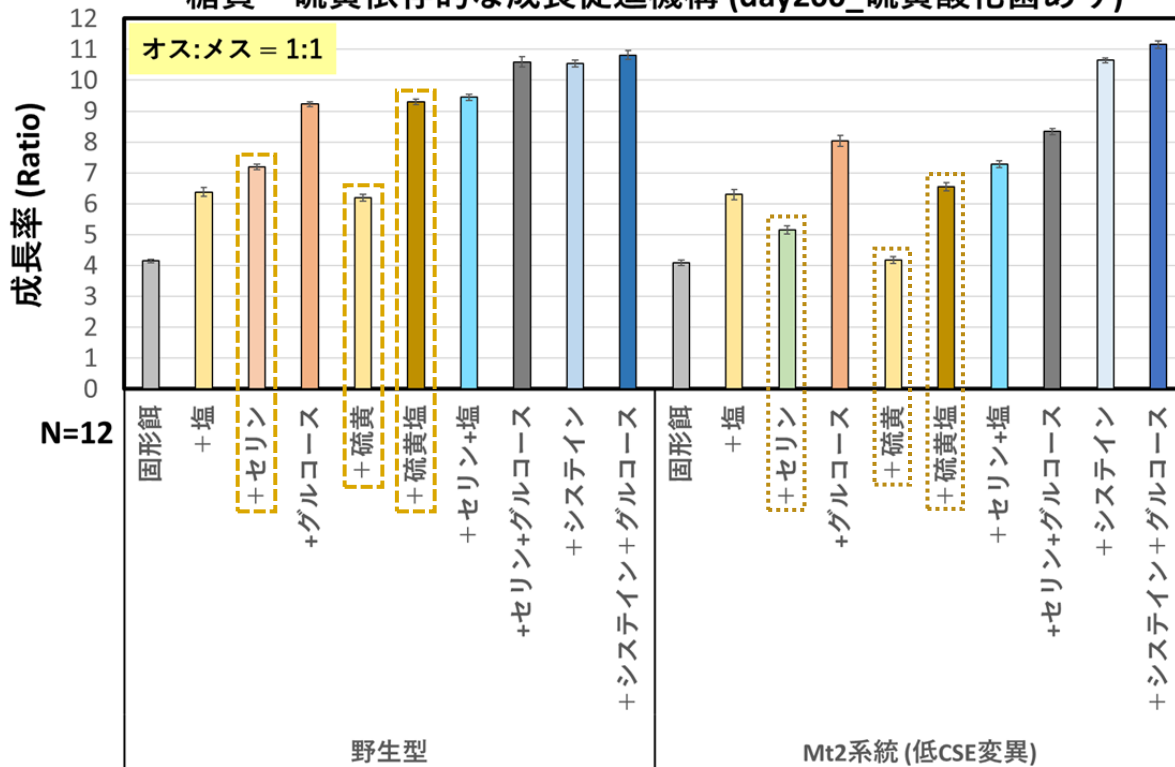
[硫黄酸化菌が腸内に足りていても 硫黄代謝の効果が見られない場合 (day200, day300)]

(B)

糖質・硫黄依存的な成長促進機構 (day300)



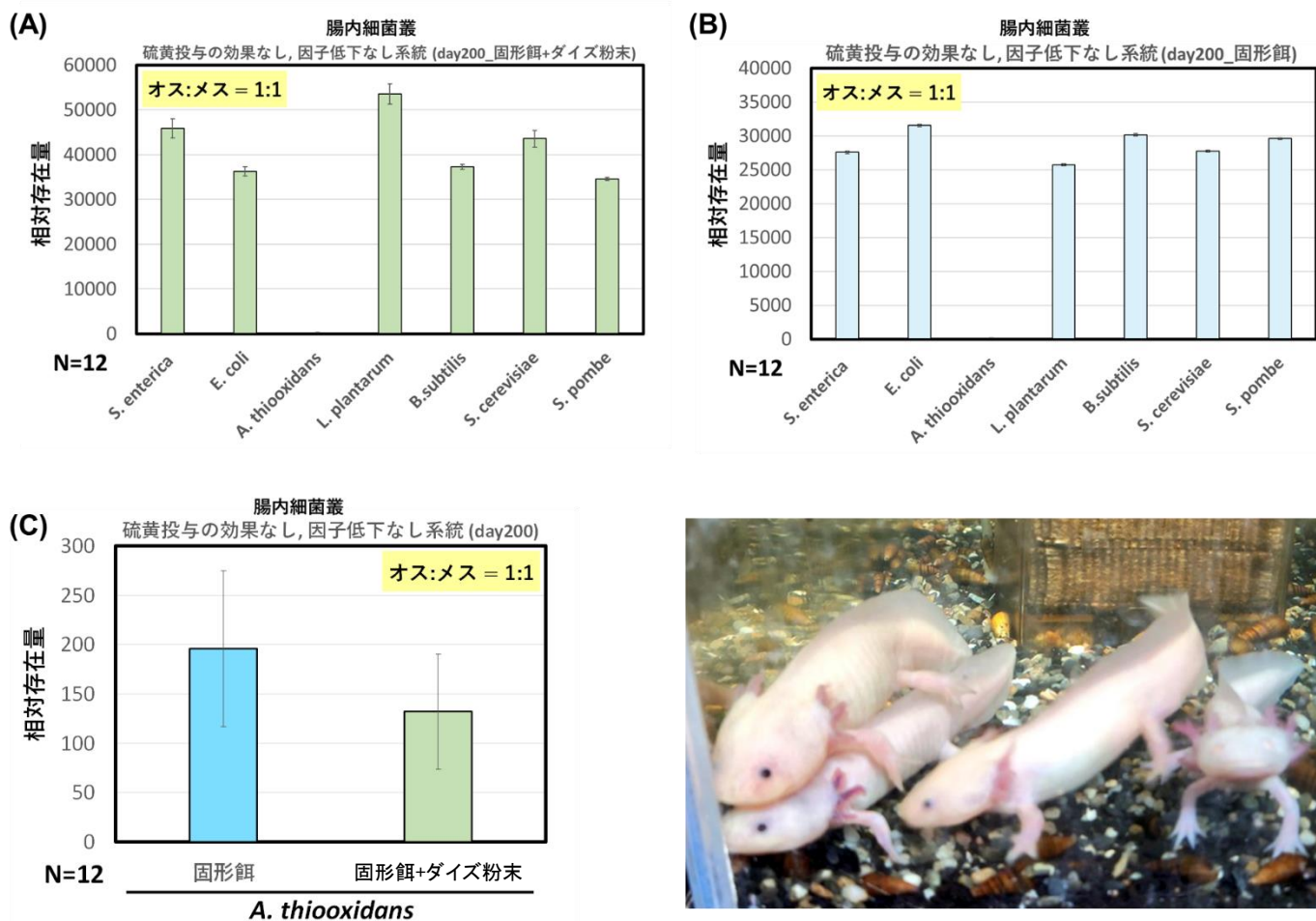
糖質・硫黄依存的な成長促進機構 (day200_硫黄酸化菌あり)



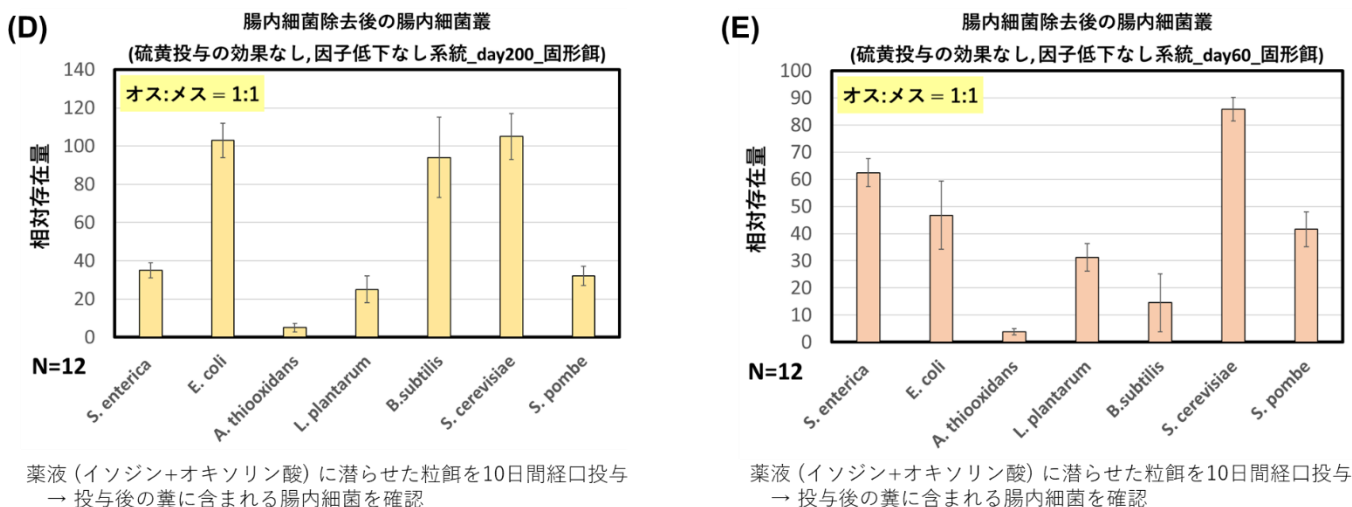
結果 12-2: 解糖系+硫黄呼吸の相乗効果による成長促進作用 5 (B)

【硫黄酸化菌が腸内に足りていても 硫黄代謝の効果が見られない場合 (day200, day300)】

day200で硫黄投与の効果が見られないが 関連因子の発現に異常がない個体2（腸内細菌叢の制御）



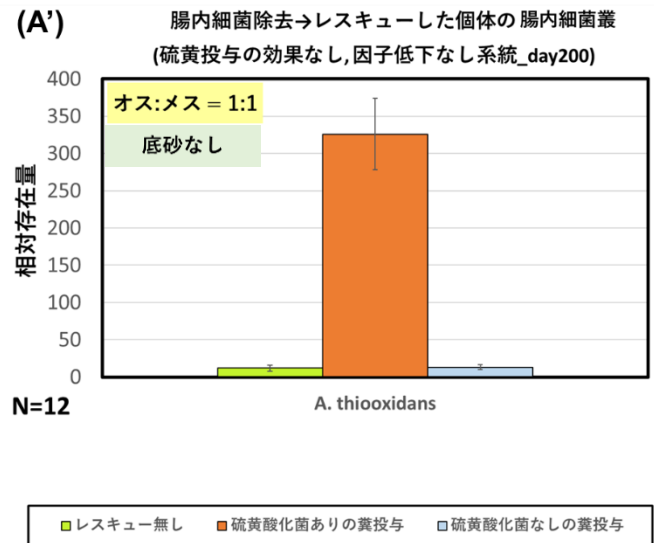
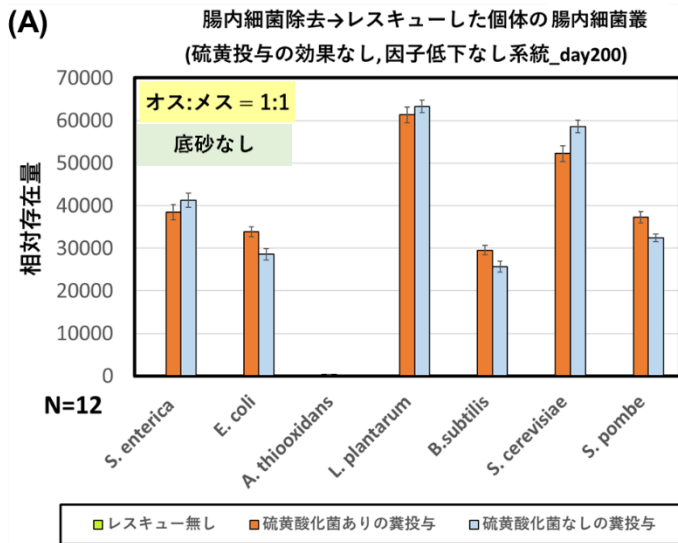
同一個体群のうち、day50にて硫黄酸化菌を持たない個体を2群に分割して比較した。
糖質や脂質・脂肪を多く含むダイズの粉末（きな粉）を固形餌と併せて経口投与する
ことで腸内乳酸菌の比率が増大した。
一方で、それだけでは、硫黄酸化菌の割合は増大しなかった。



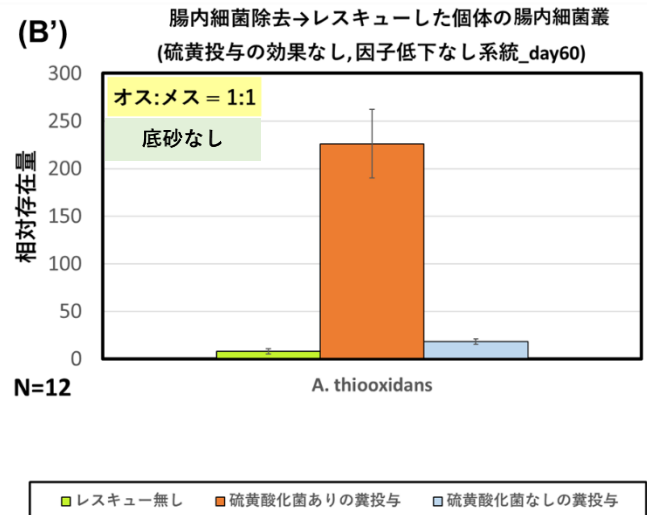
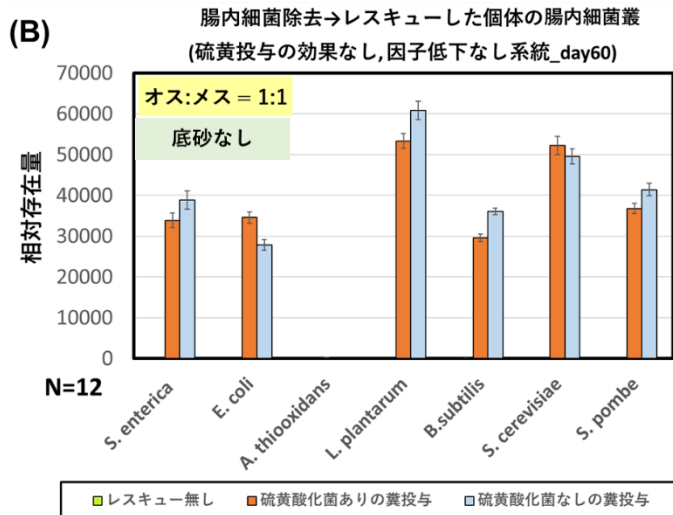
結果 13-1: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫黄酸化菌の効果 1

(B)・・・結果 9-2 (A), (B) 参照

day200で硫黄投与の効果が見られないが 関連因子の発現に異常がない個体の系統1（腸内細菌叢の制御）



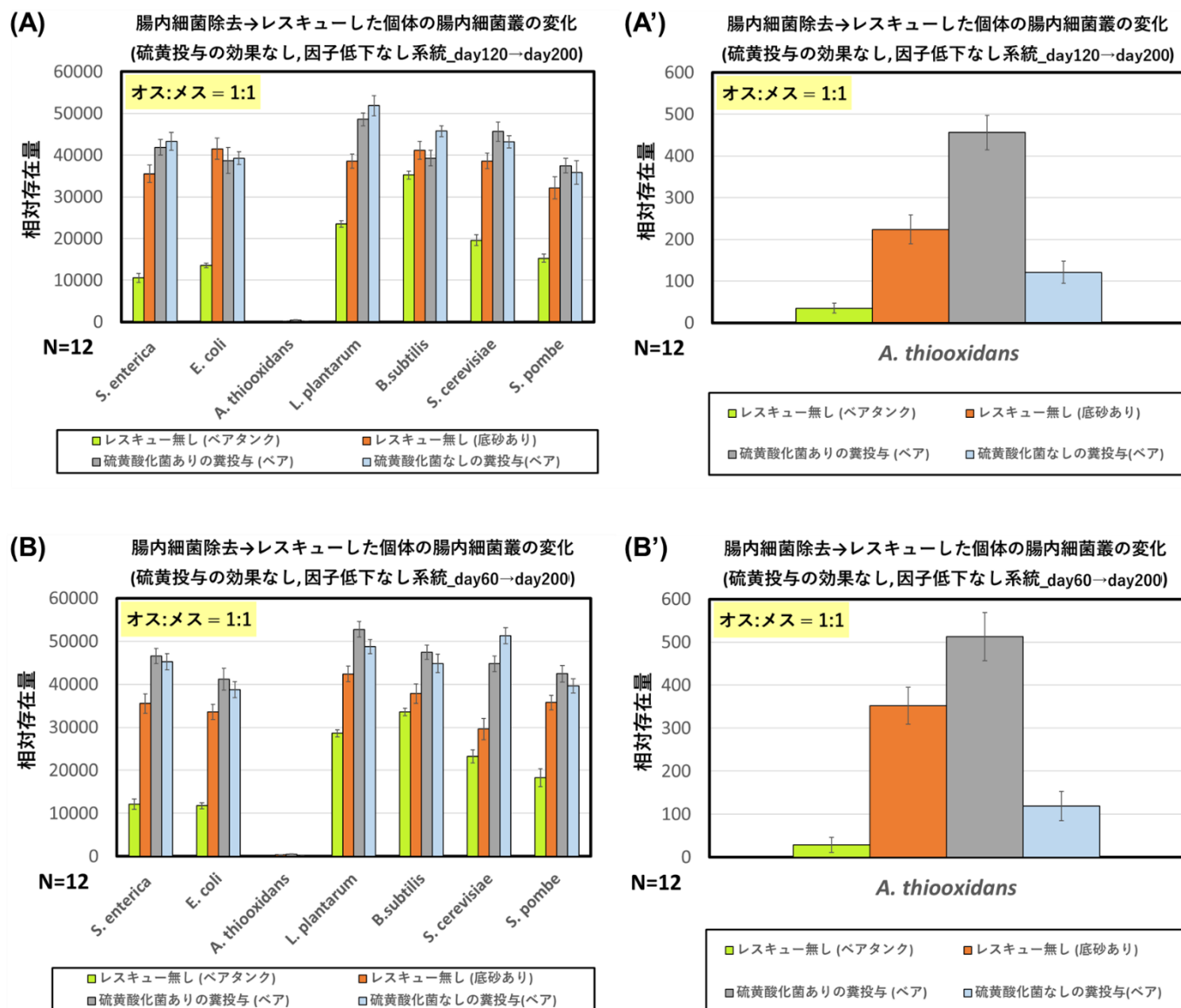
硫黄酸化菌を腸内に持つ系統 (day190) の糞/水槽の底砂を10日間経口投与
→ 投与後の糞に含まれる腸内細菌を確認



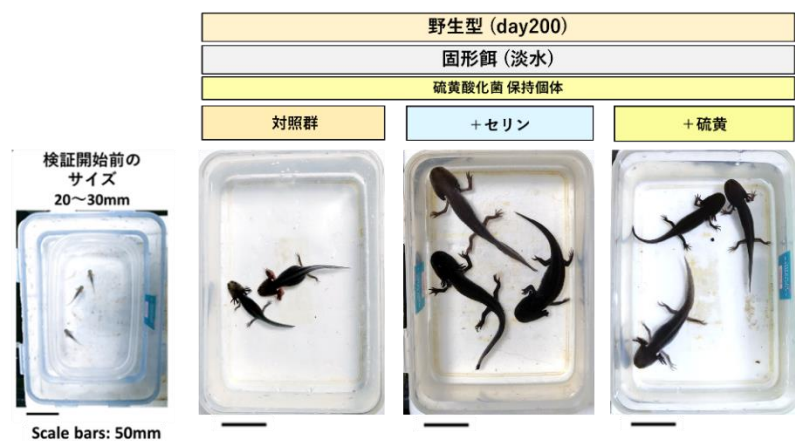
硫黄酸化菌を腸内に持つ系統 (day50) の糞/水槽の底砂を10日間経口投与
→ 投与後の糞に含まれる腸内細菌を確認

結果 13-2: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫黄酸化菌の効果 2

day60, day120で硫黄酸化菌が不足している個体の レスキューとその効果1 (腸内細菌叢の制御)



結果 13-3: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫黄酸化菌の効果 3



代謝関連因子の発現は正常だが
腸内細菌叢を滅菌した個体の系統 (day120→200) とそのレスキュー検討

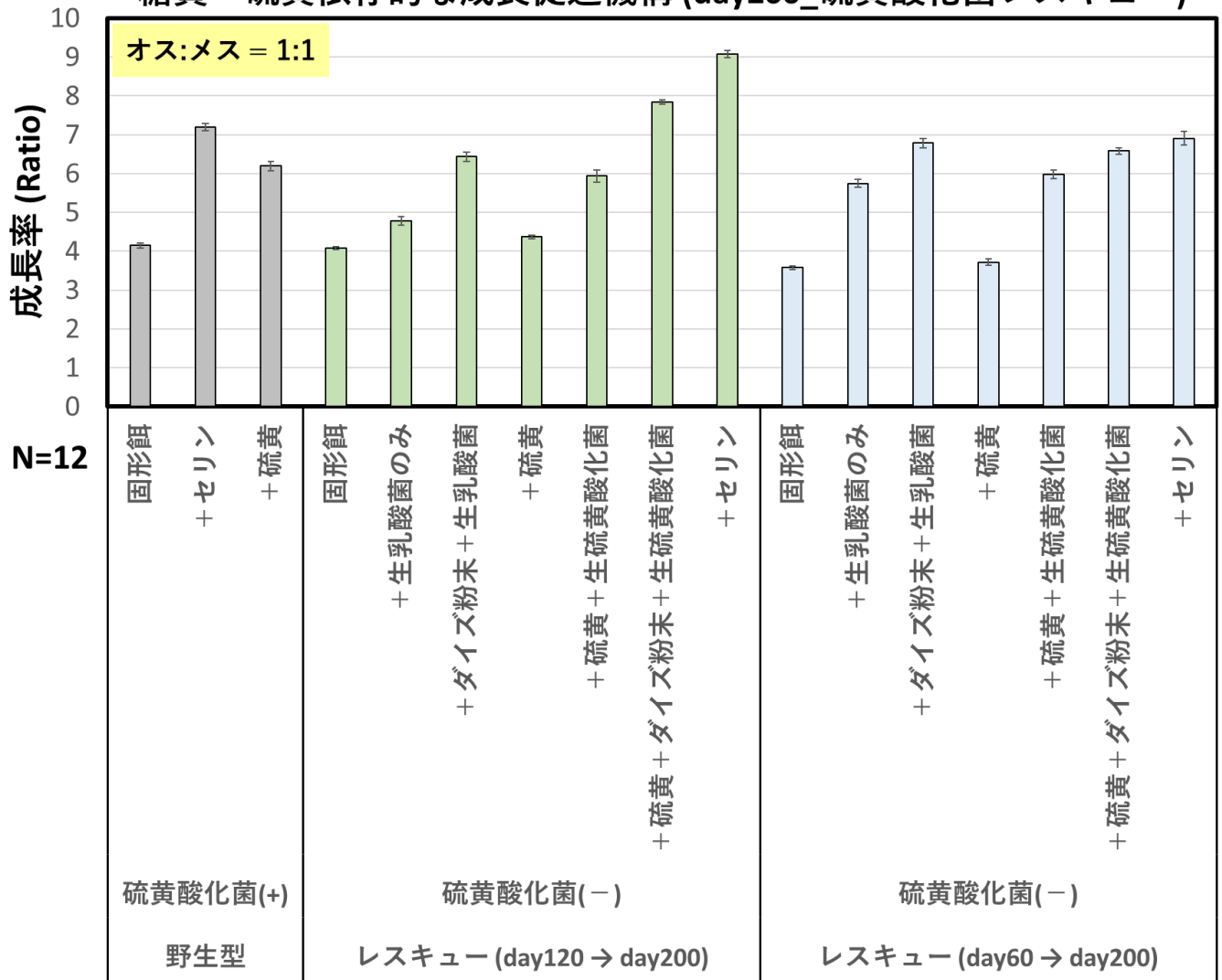


代謝関連因子の発現は正常だが
腸内細菌叢を滅菌した個体の系統 (day60→200) とそのレスキュー検討

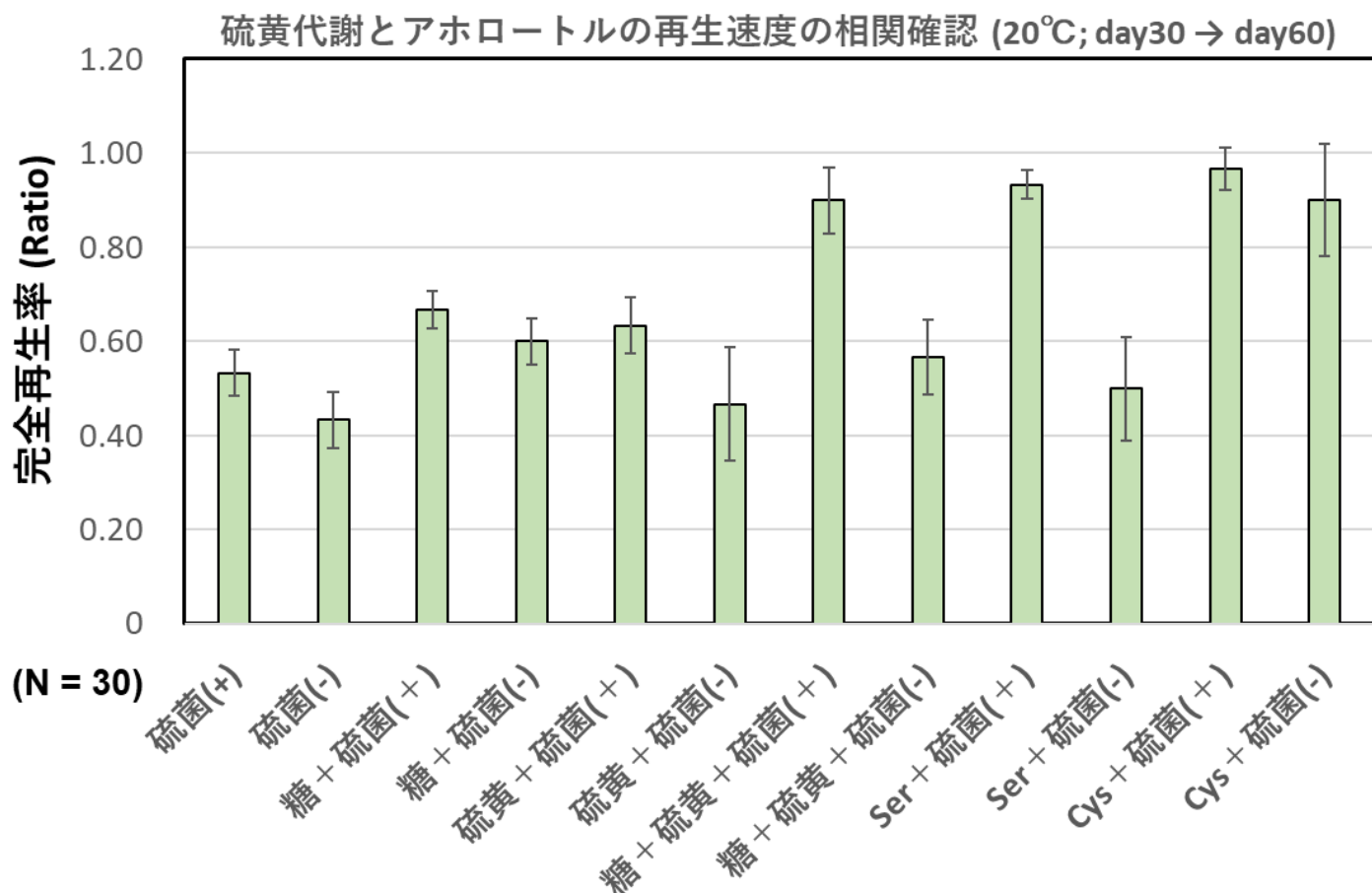


結果 13-4: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫酸酸化菌の効果 4

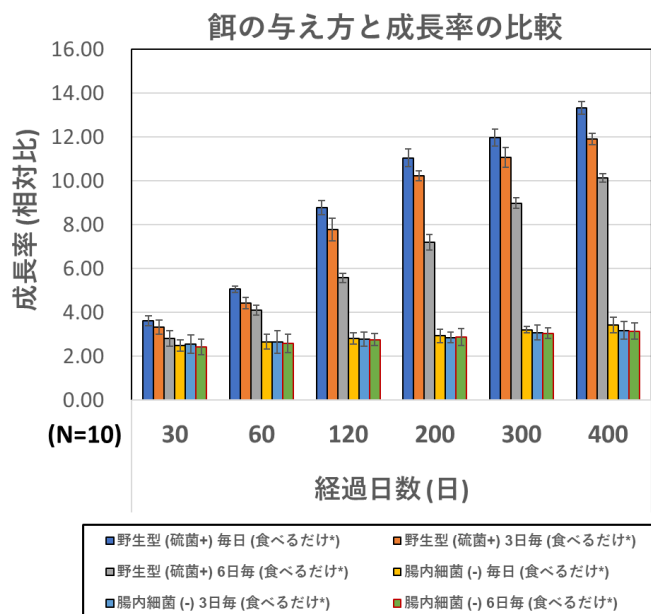
糖質・硫黄依存的な成長促進機構 (day200_硫黄酸化菌レスキュー)



結果 13-5: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫黄酸化菌の効果 5

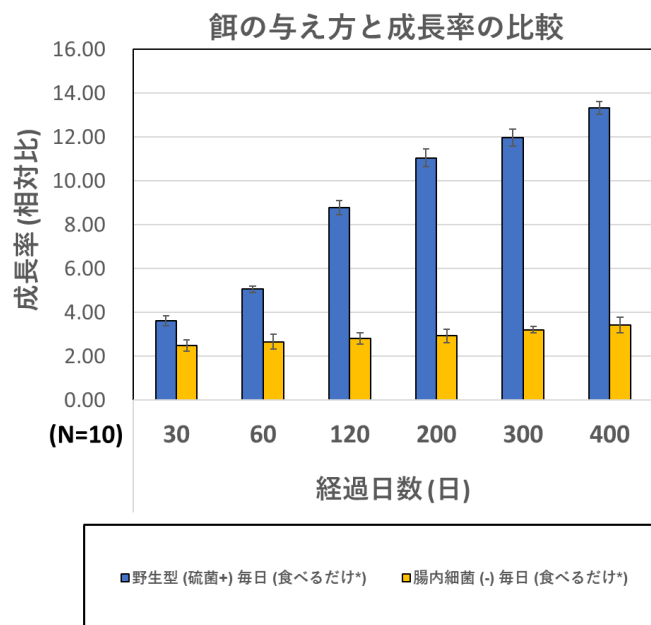


結果 13-6: 腸内細菌叢を変化させた際の腸内乳酸菌・硫黄酸化菌の効果 6 (再生率)



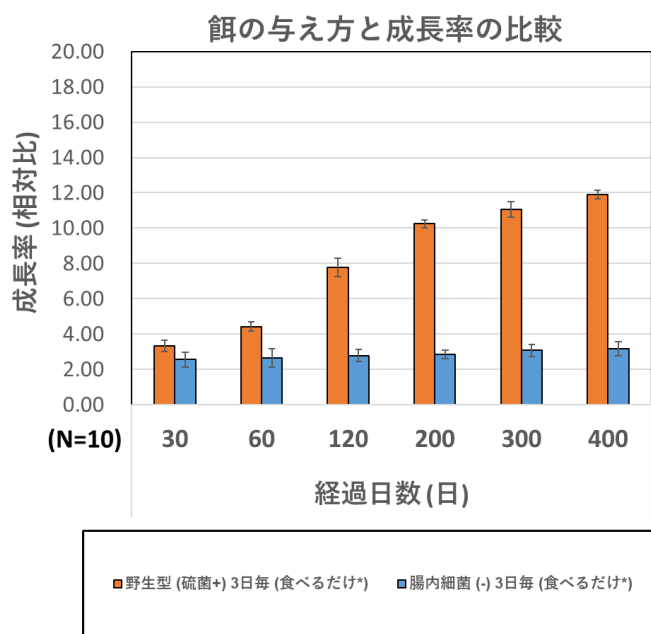
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



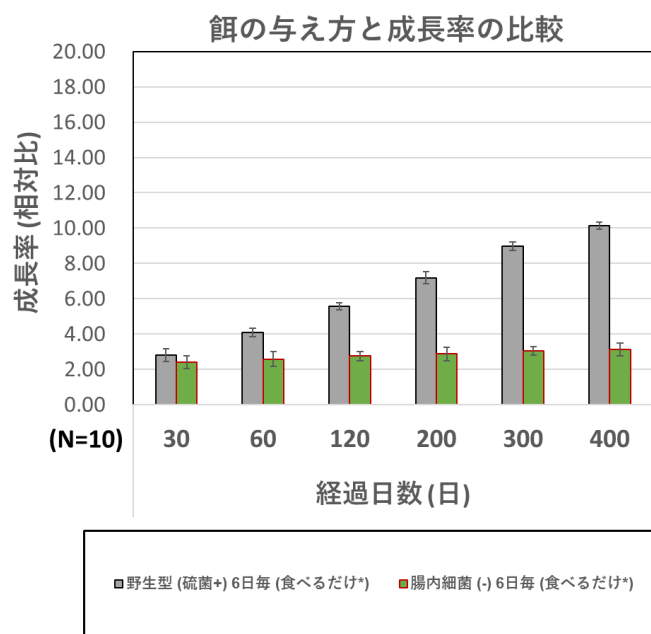
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

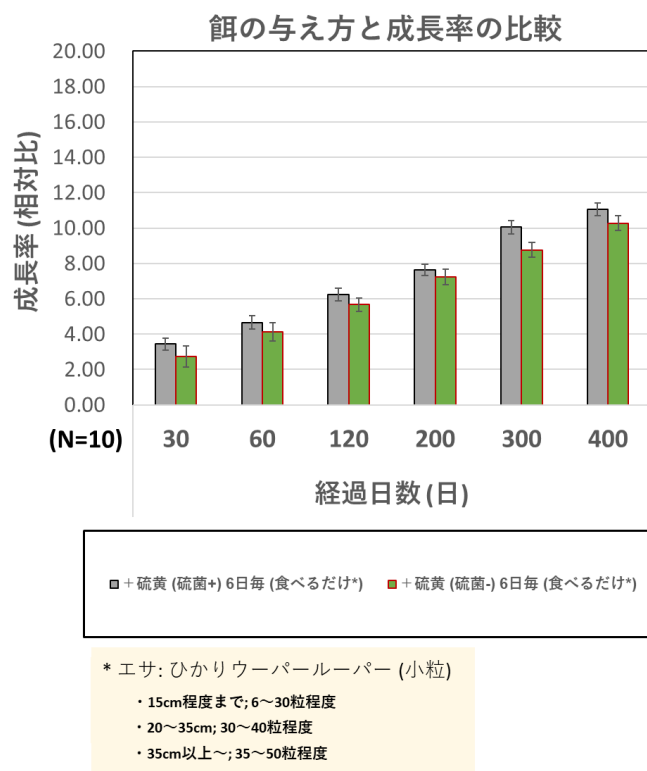
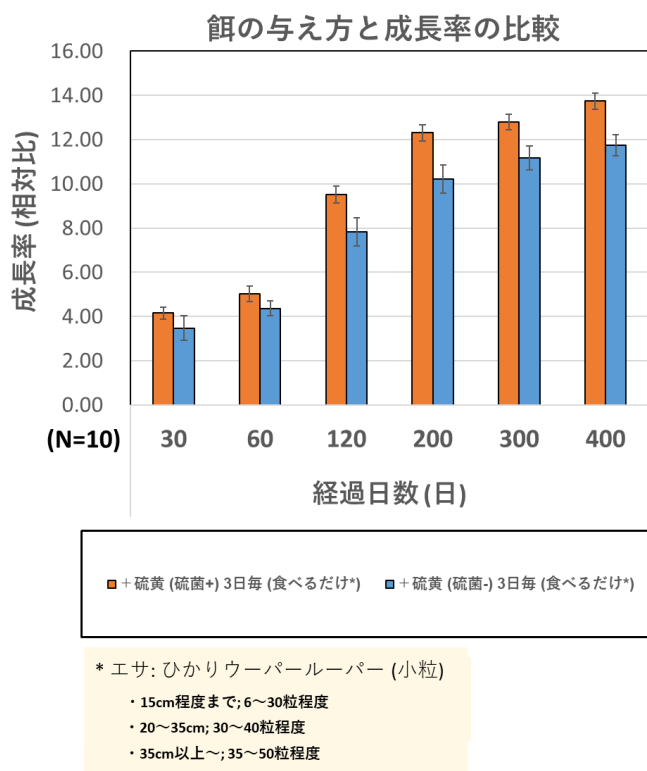
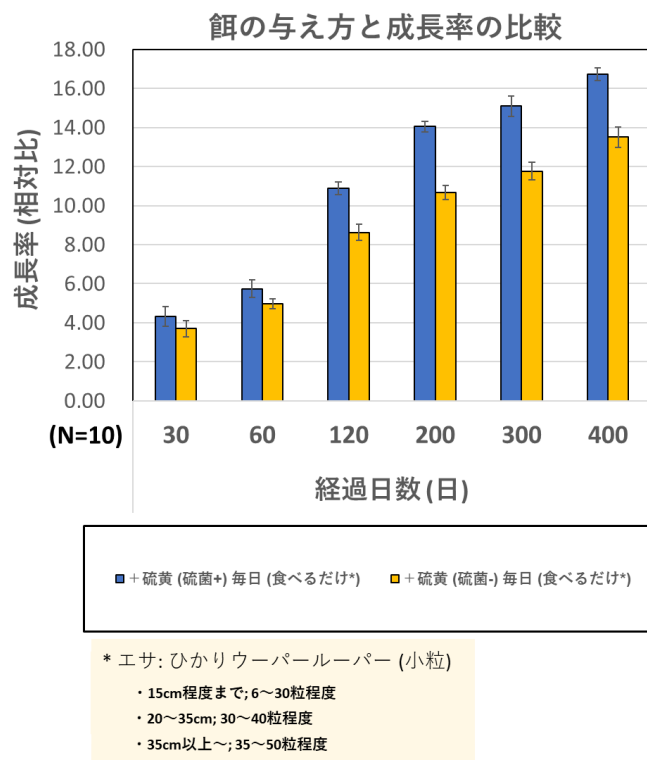
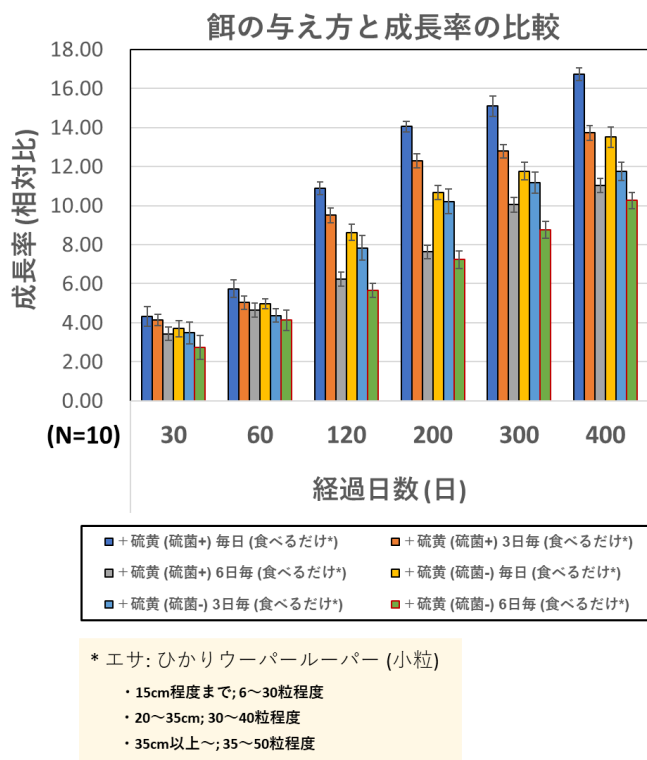


* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

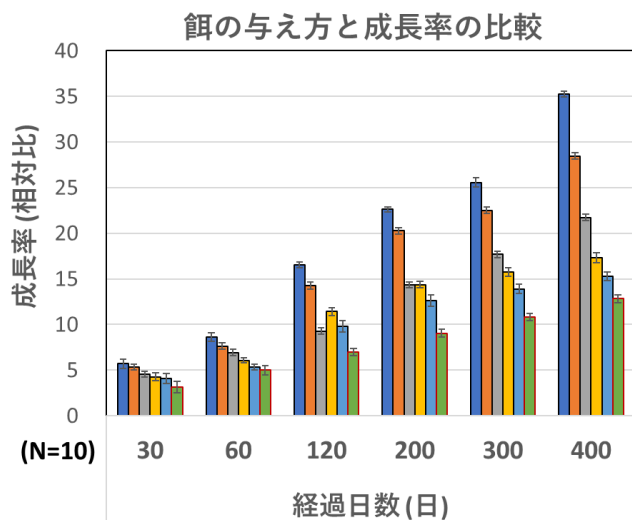
結果 14-1: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 1.2

腸内細菌が無いと摂食量が変わらなくても成長率が大きく低下する。



結果 14-2-1: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 2-1

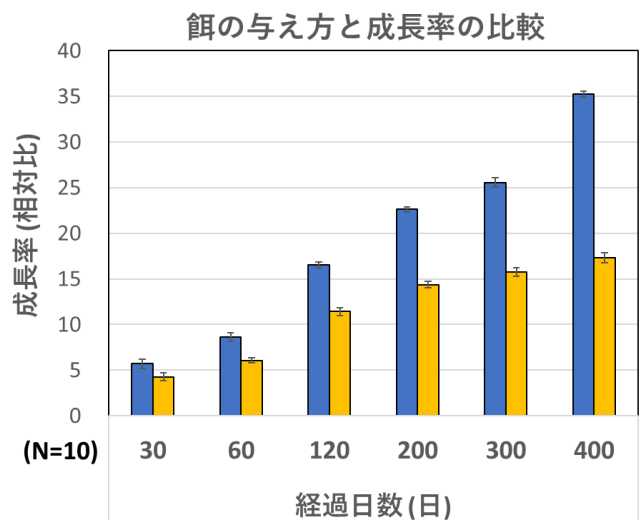
硫酸化菌の有無と硫黄源摂取の有無が変わることで、
 摂食量が変わらなくても成長率が大きく低下する。



■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 毎日 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 3日毎 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 6日毎 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 毎日 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 3日毎 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 6日毎 (食べるだけ*)

* エサ: ひかり ウーパールーパー (小粒)

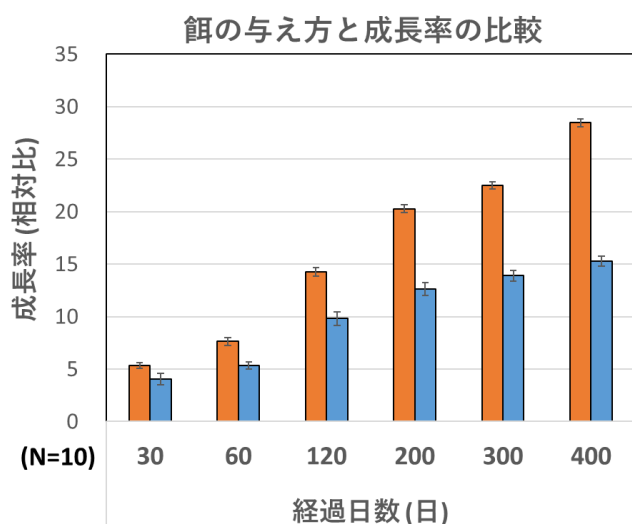
- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 毎日 (食べるだけ*) ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 毎日 (食べるだけ*)

* エサ: ひかり ウーパールーパー (小粒)

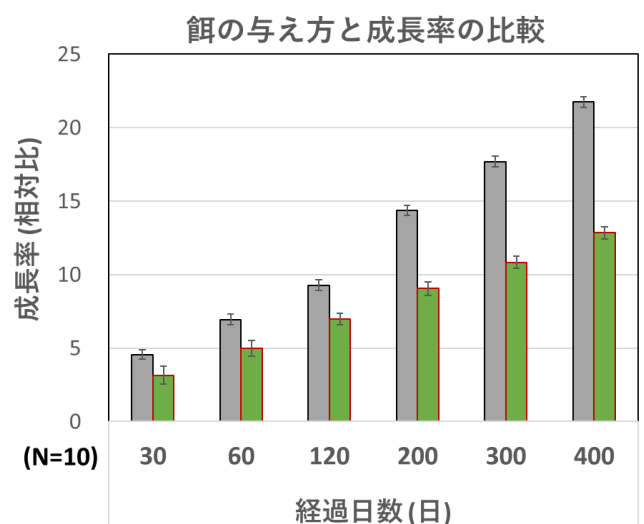
- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 3日毎 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 3日毎 (食べるだけ*)

* エサ: ひかり ウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



■ + 硫黄+糖質 (硫菌+) 6日毎 (食べるだけ*)
 ■ + 硫黄+糖質 (硫菌-) 6日毎 (食べるだけ*)

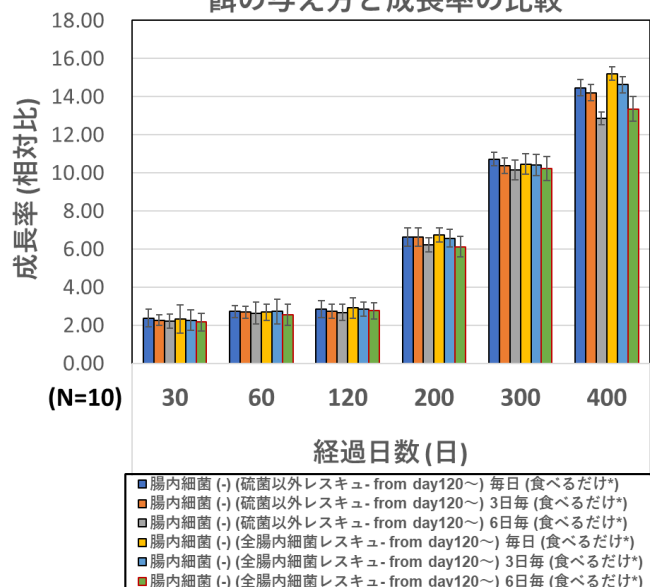
* エサ: ひかり ウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

結果 14-2-2: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 2-2

硫黄酸化菌の有無と硫黄源摂取の有無が変わることで、
 摂食量が変わらなくても成長率が大きく低下する。

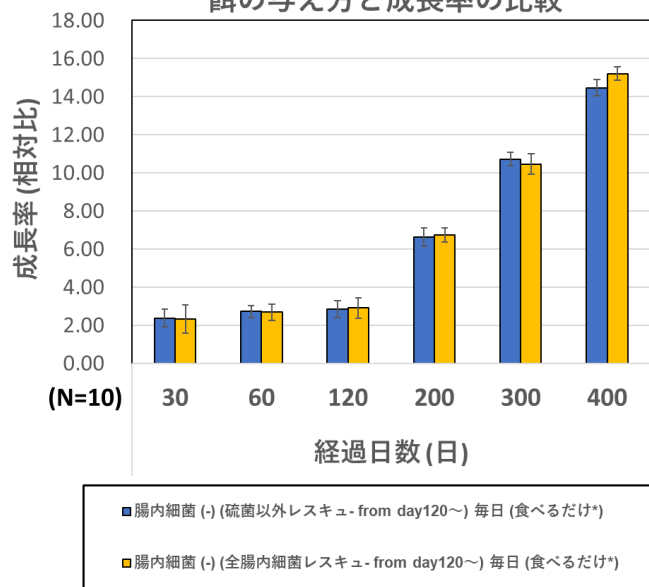
餌の与え方と成長率の比較



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6～30粒程度
- ・ 20～35cm; 30～40粒程度
- ・ 35cm以上～; 35～50粒程度

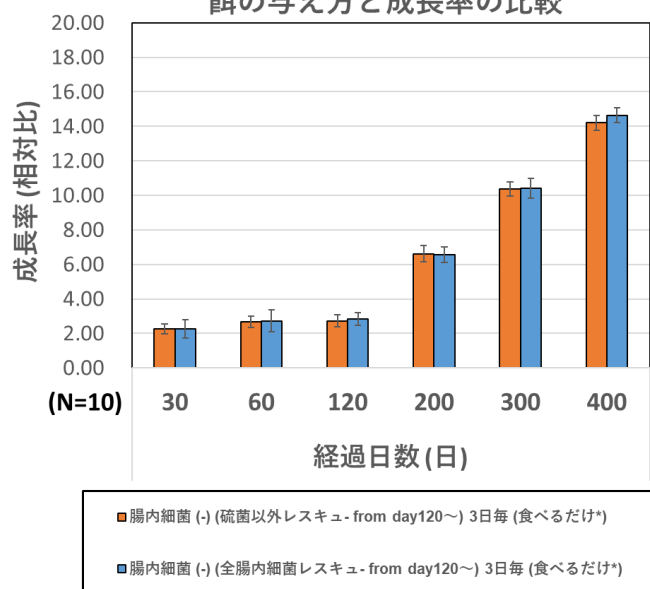
餌の与え方と成長率の比較



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6～30粒程度
- ・ 20～35cm; 30～40粒程度
- ・ 35cm以上～; 35～50粒程度

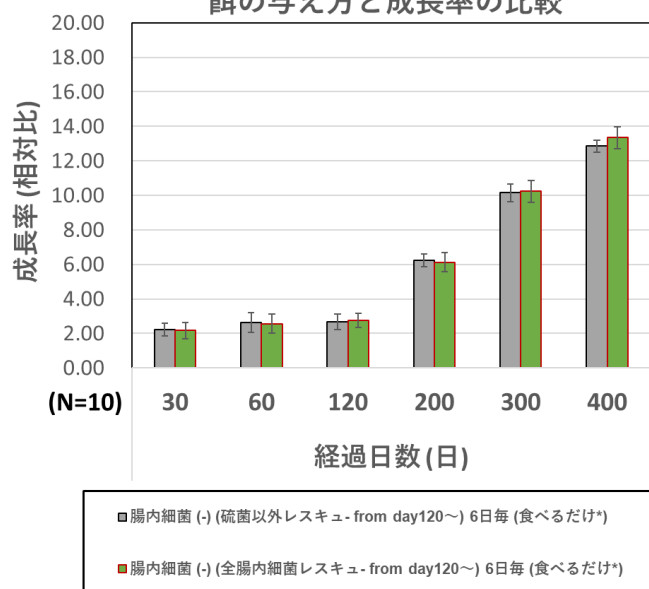
餌の与え方と成長率の比較



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6～30粒程度
- ・ 20～35cm; 30～40粒程度
- ・ 35cm以上～; 35～50粒程度

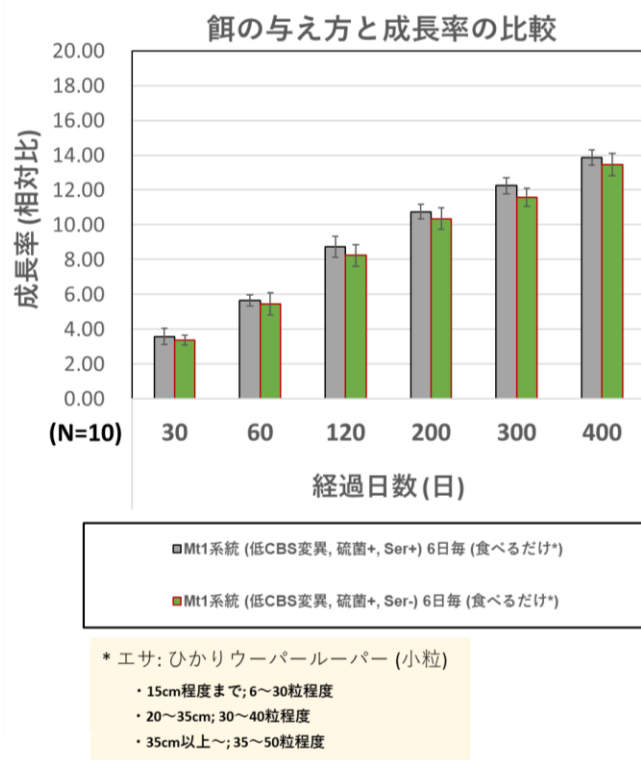
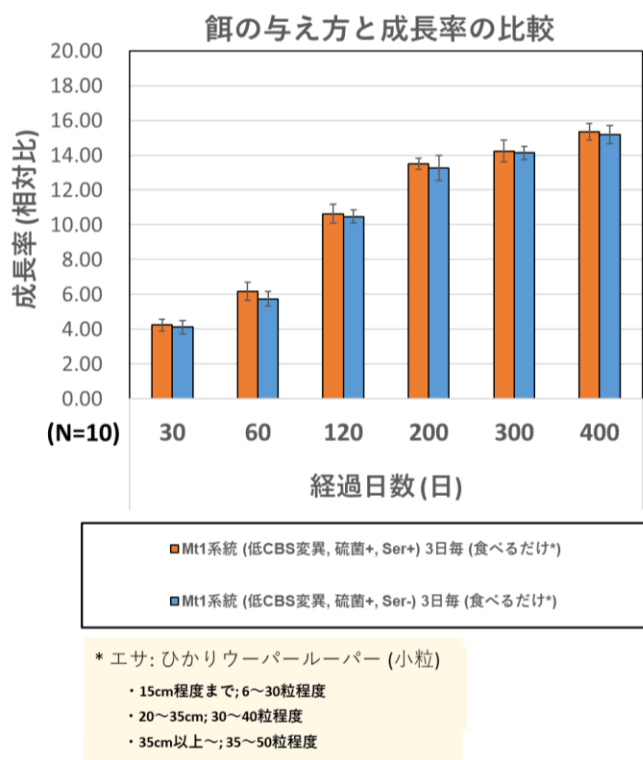
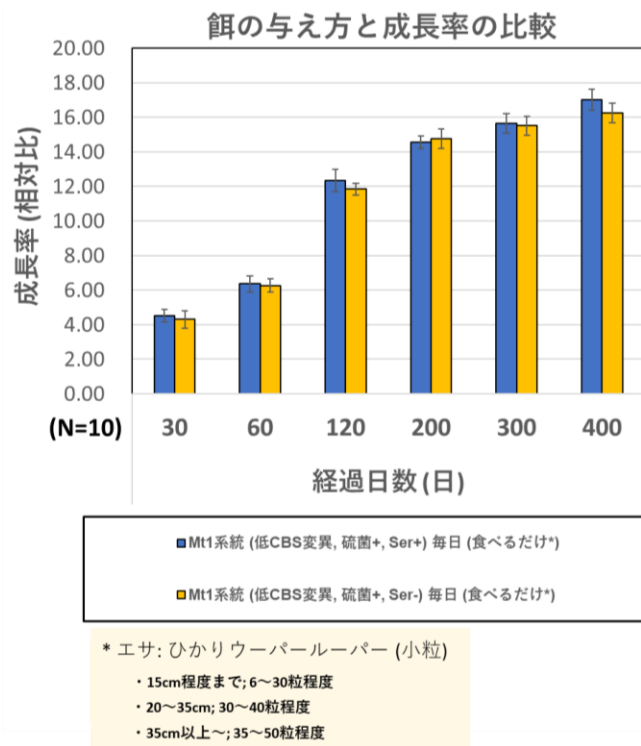
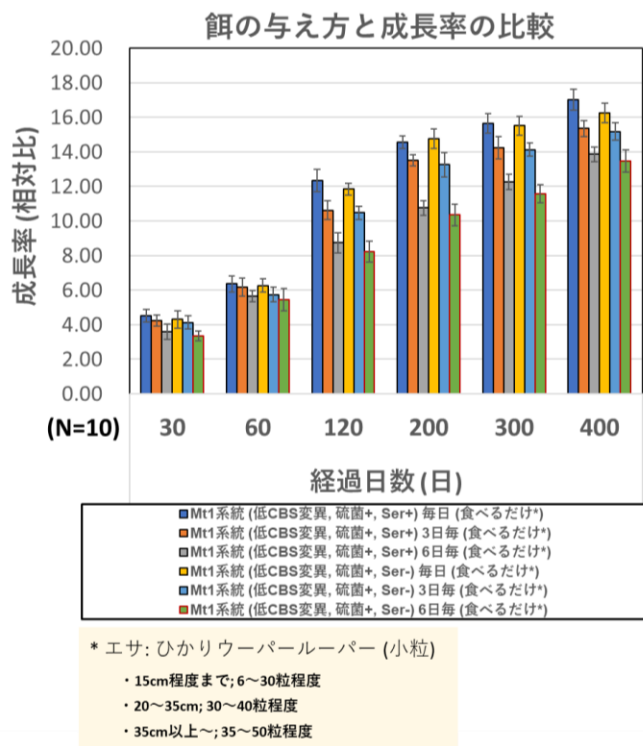
餌の与え方と成長率の比較



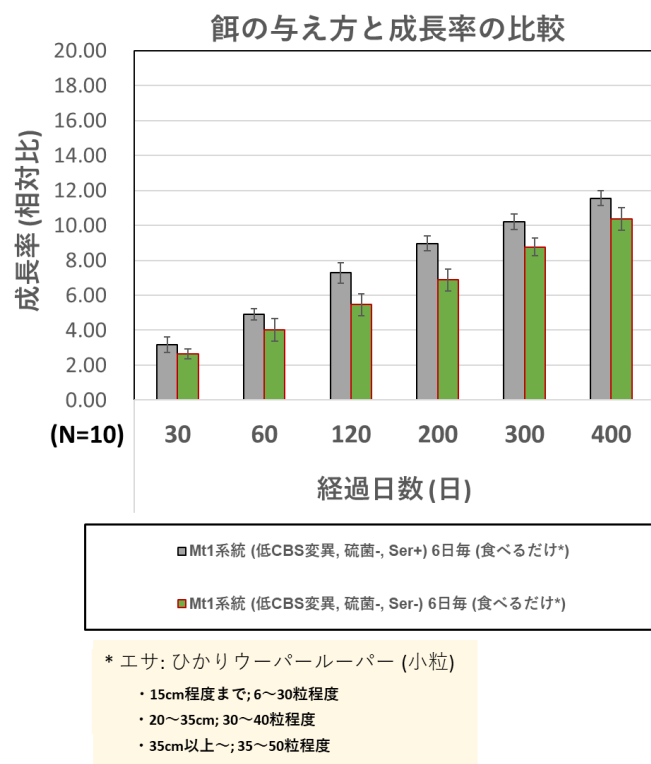
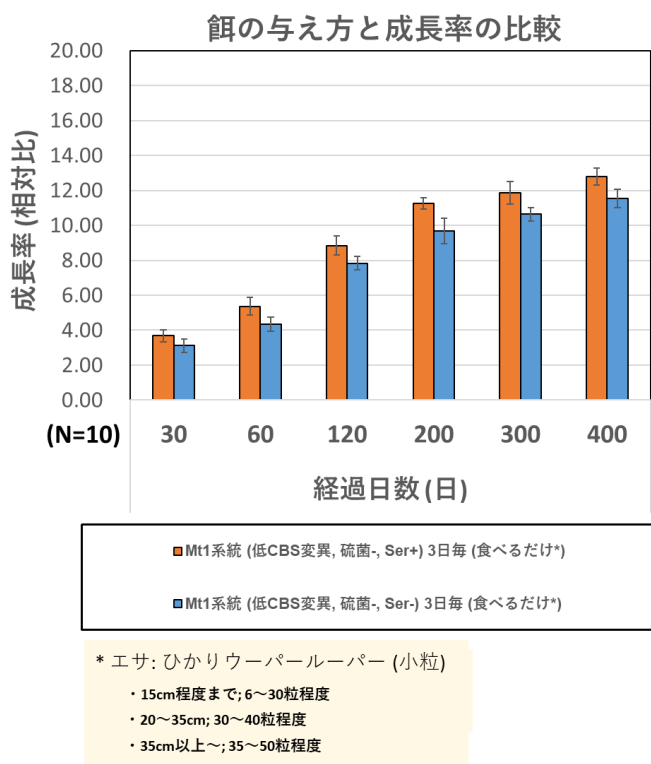
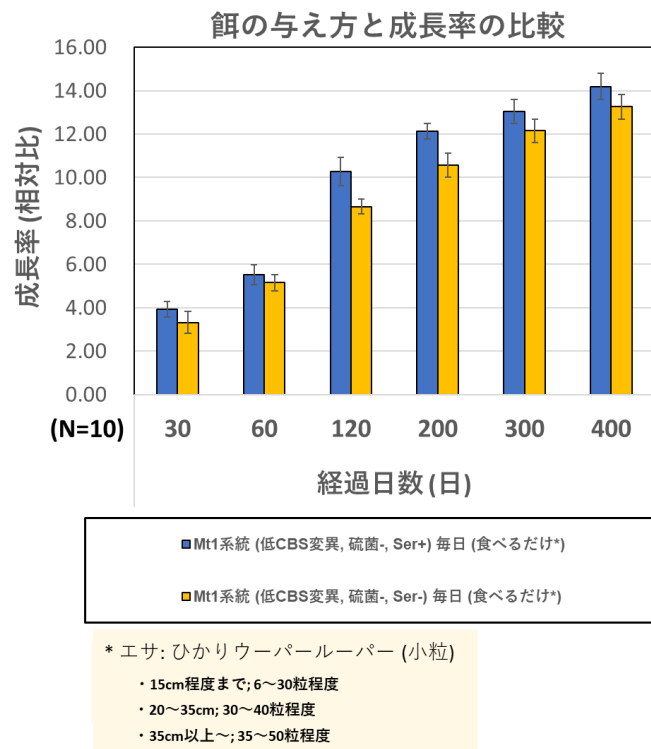
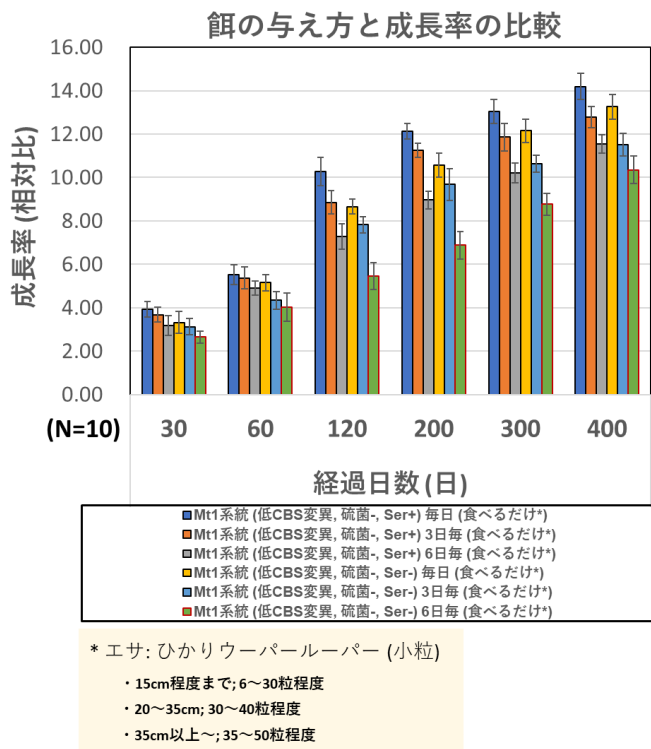
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6～30粒程度
- ・ 20～35cm; 30～40粒程度
- ・ 35cm以上～; 35～50粒程度

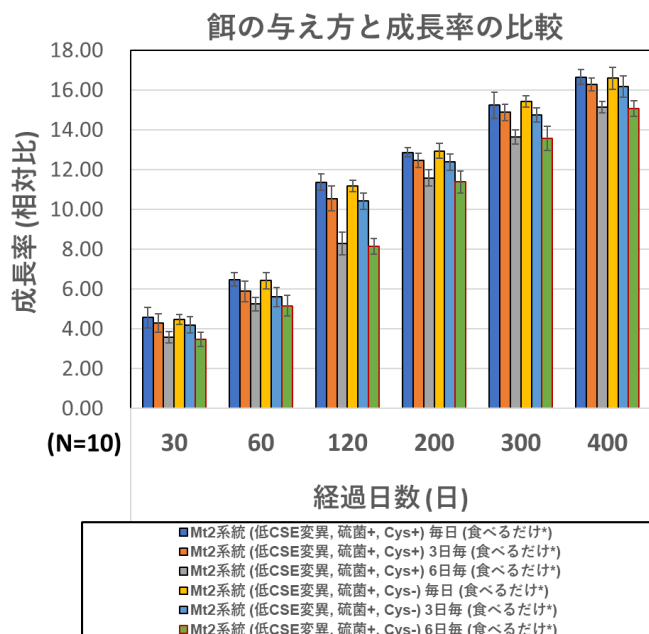
結果 14-3: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 3



結果 14-4-1: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 4-1

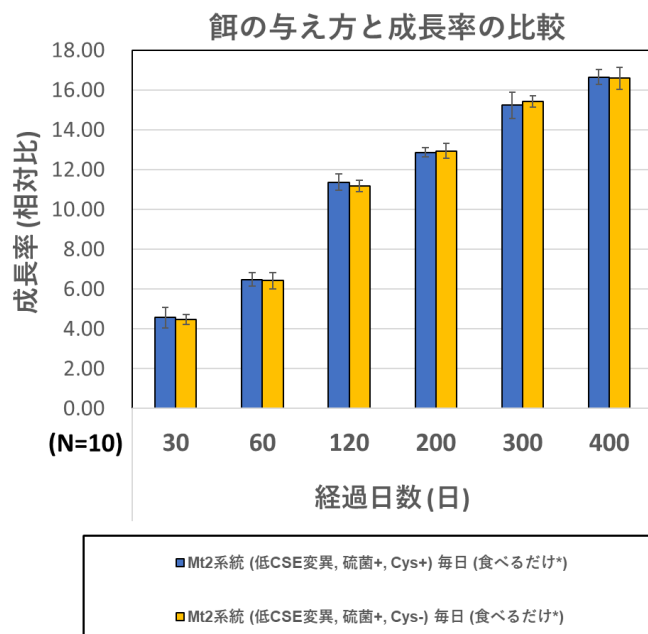


結果 14-4-2: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 4-2



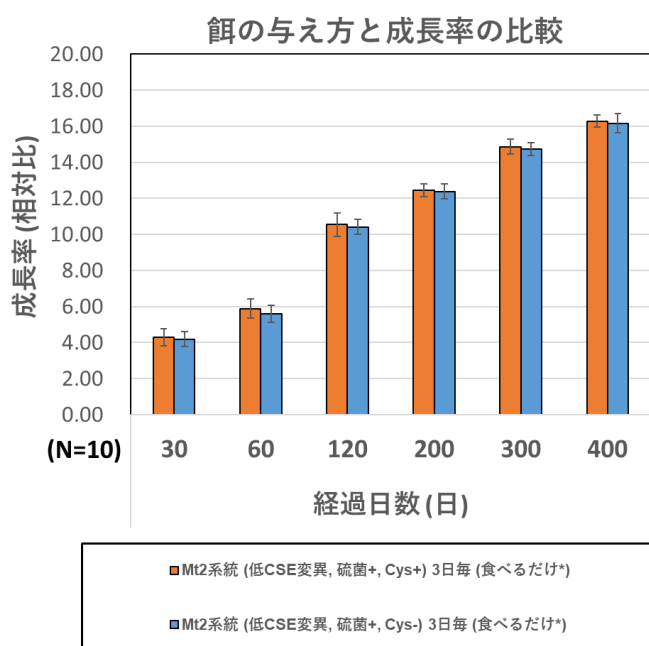
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



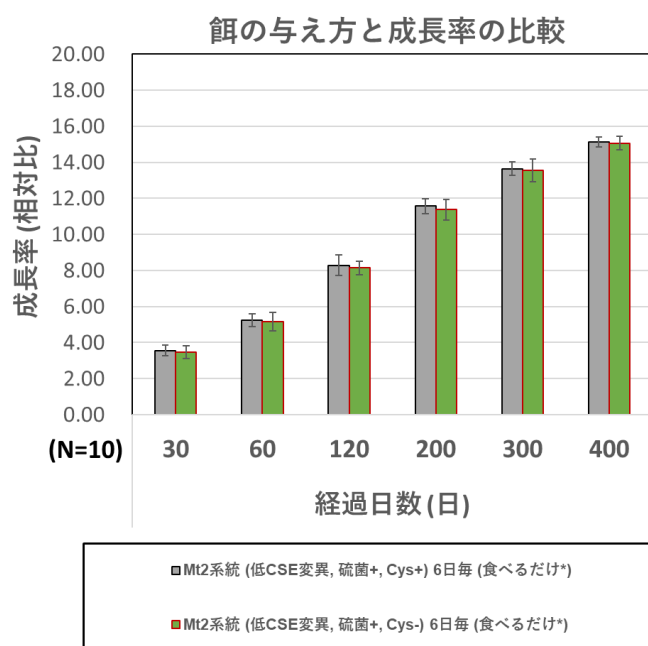
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

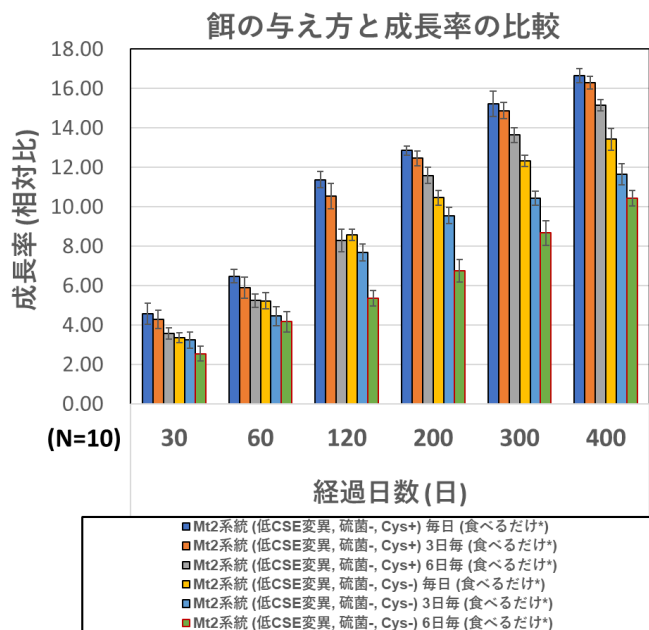
- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

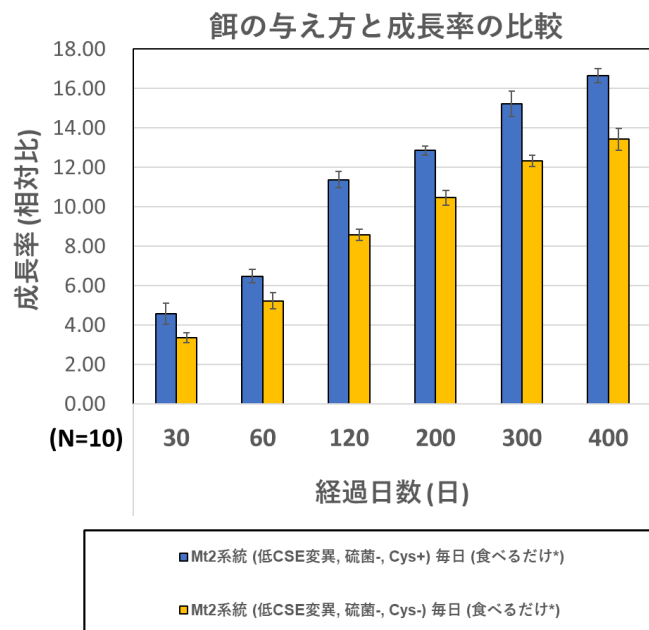
- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

結果 14-5-1: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 5-1



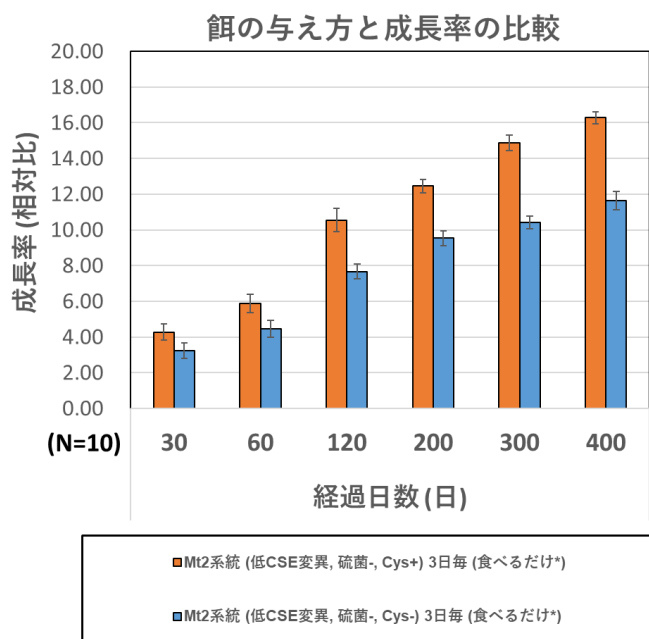
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



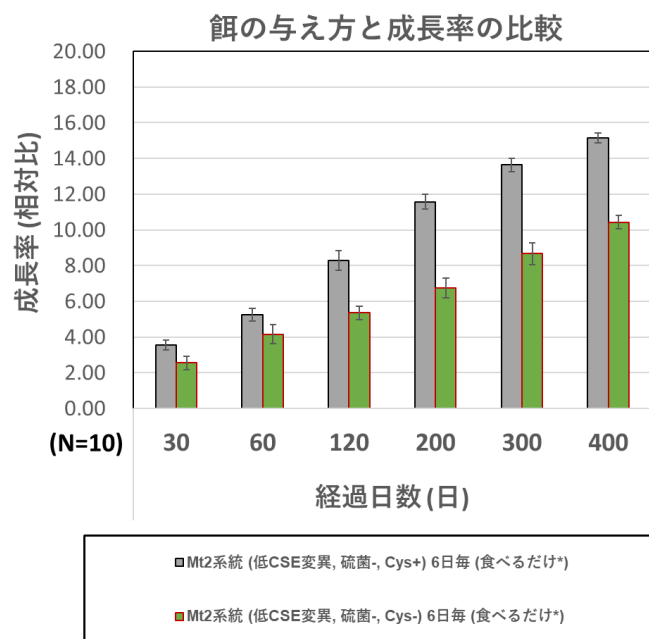
* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度



* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

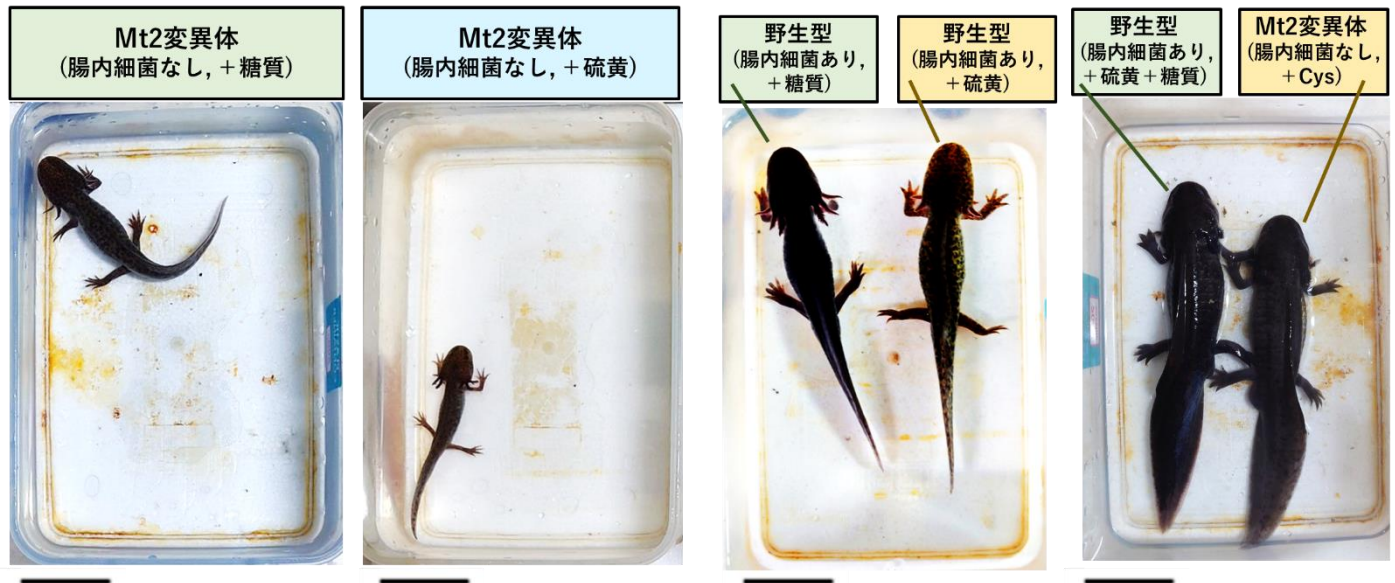


* エサ: ひかりウーパールーパー (小粒)

- ・ 15cm程度まで; 6~30粒程度
- ・ 20~35cm; 30~40粒程度
- ・ 35cm以上~; 35~50粒程度

結果 14-5-2: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 5-2

3日毎（食べるだけ）給餌 条件（day400）

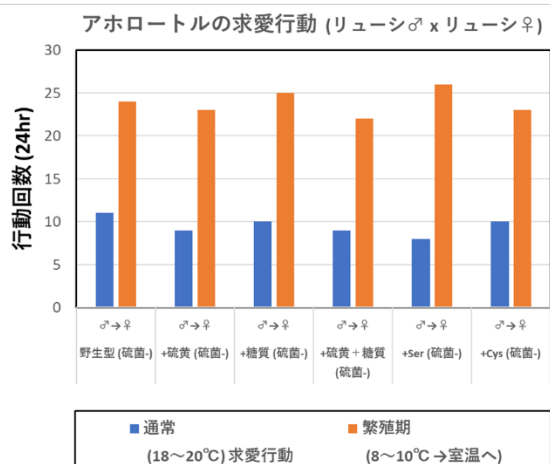
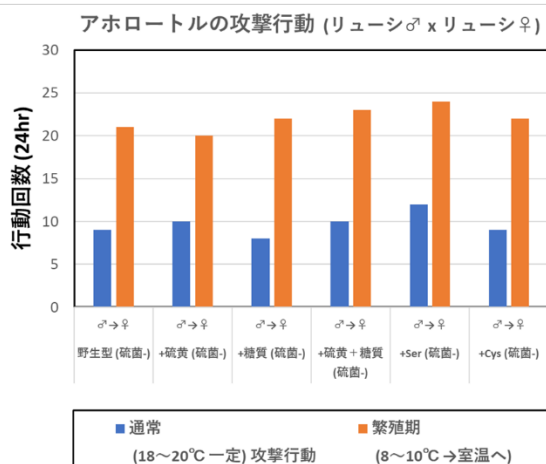
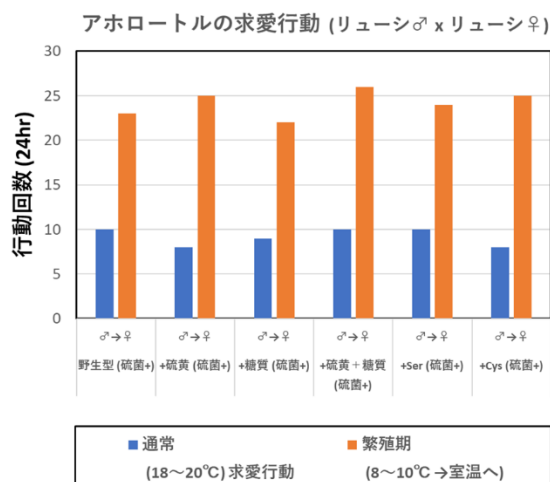
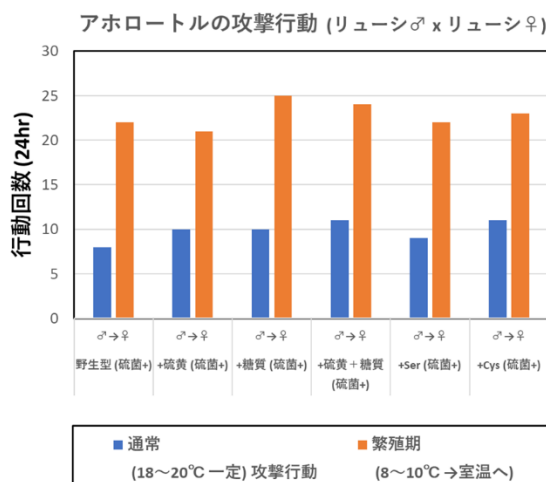
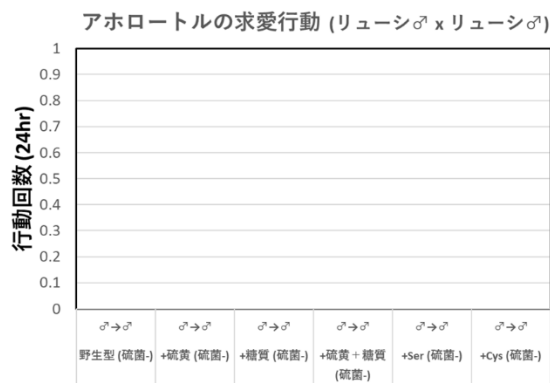
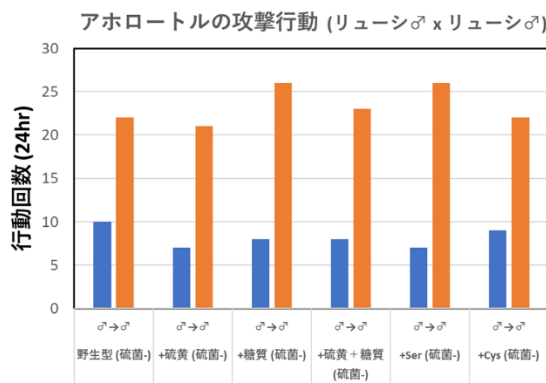
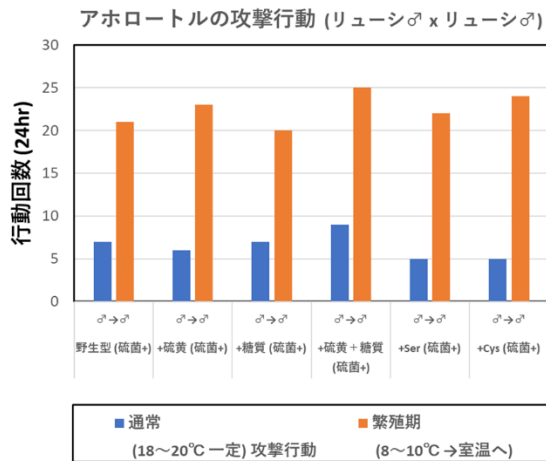


検証開始前の
サイズ
20~30mm

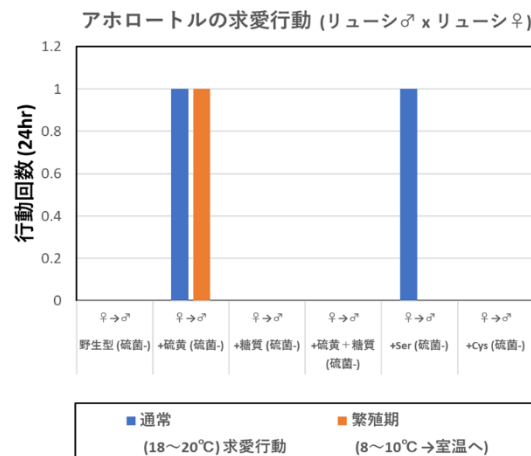
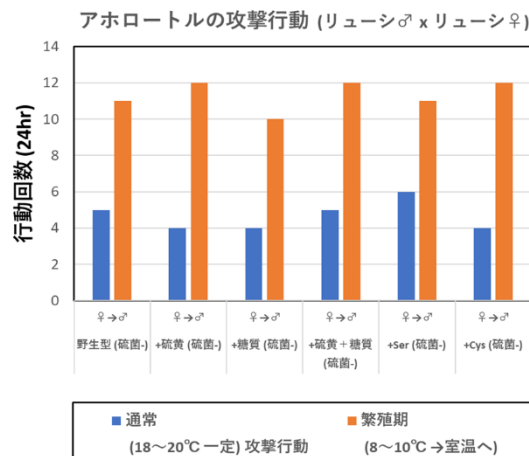
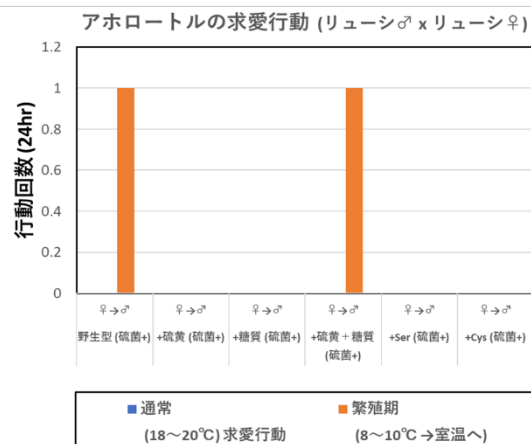
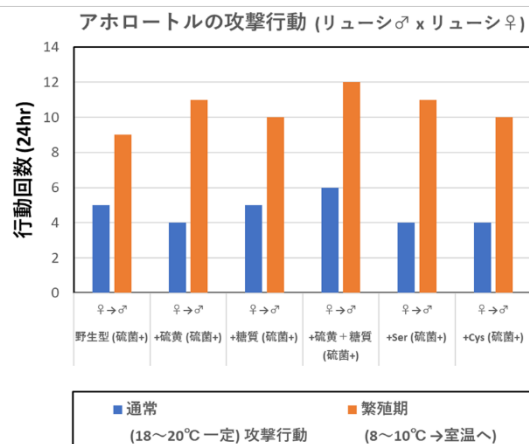
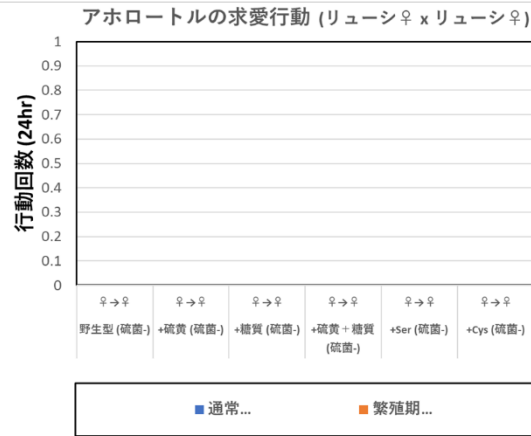
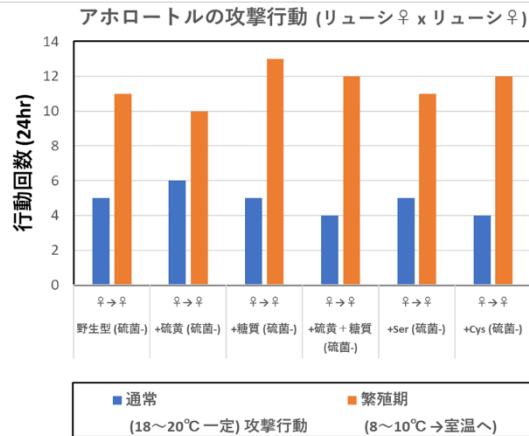
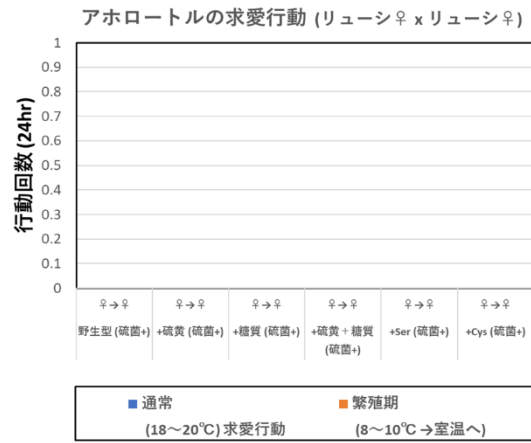
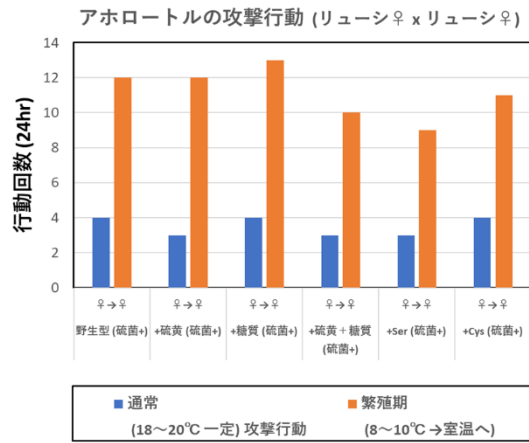


Scale bars: 50mm

結果 14-6: 硫黄代謝を示す個体における摂食量の比較 6

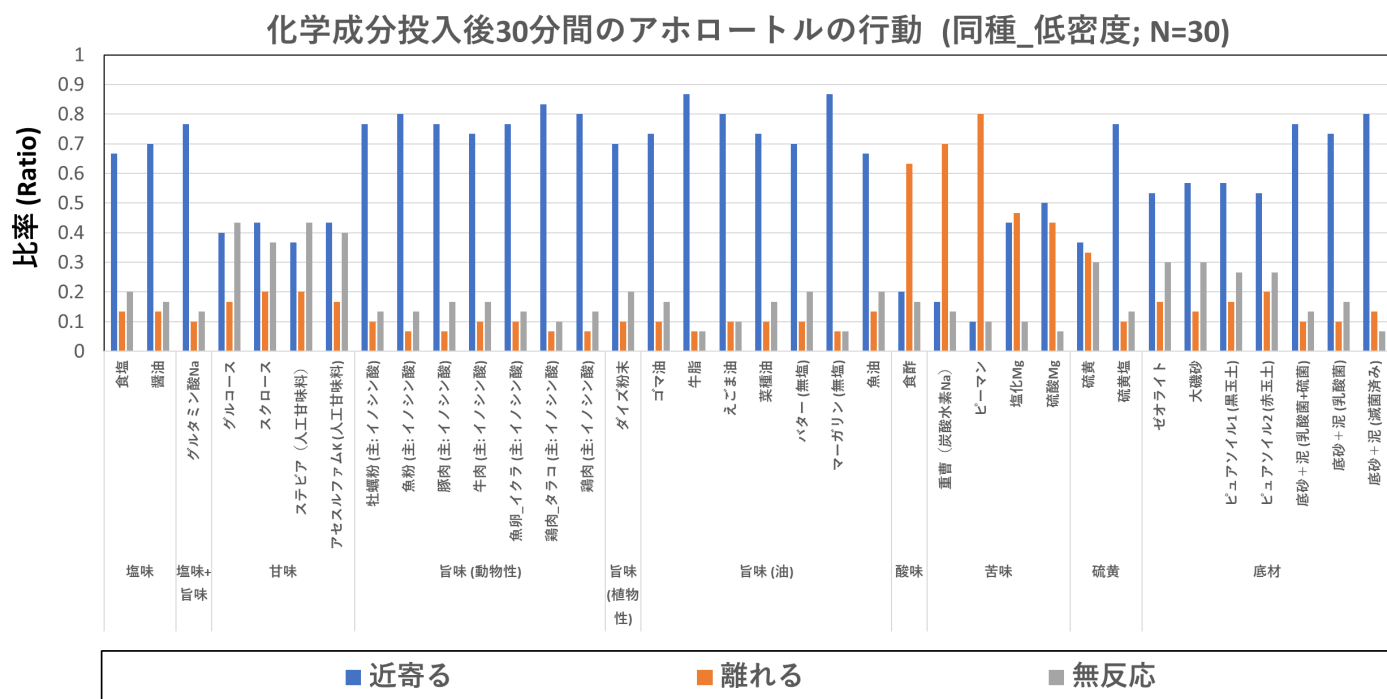


結果 14-7: 硫黄代謝を示す個体における噛合い行動の比較-1

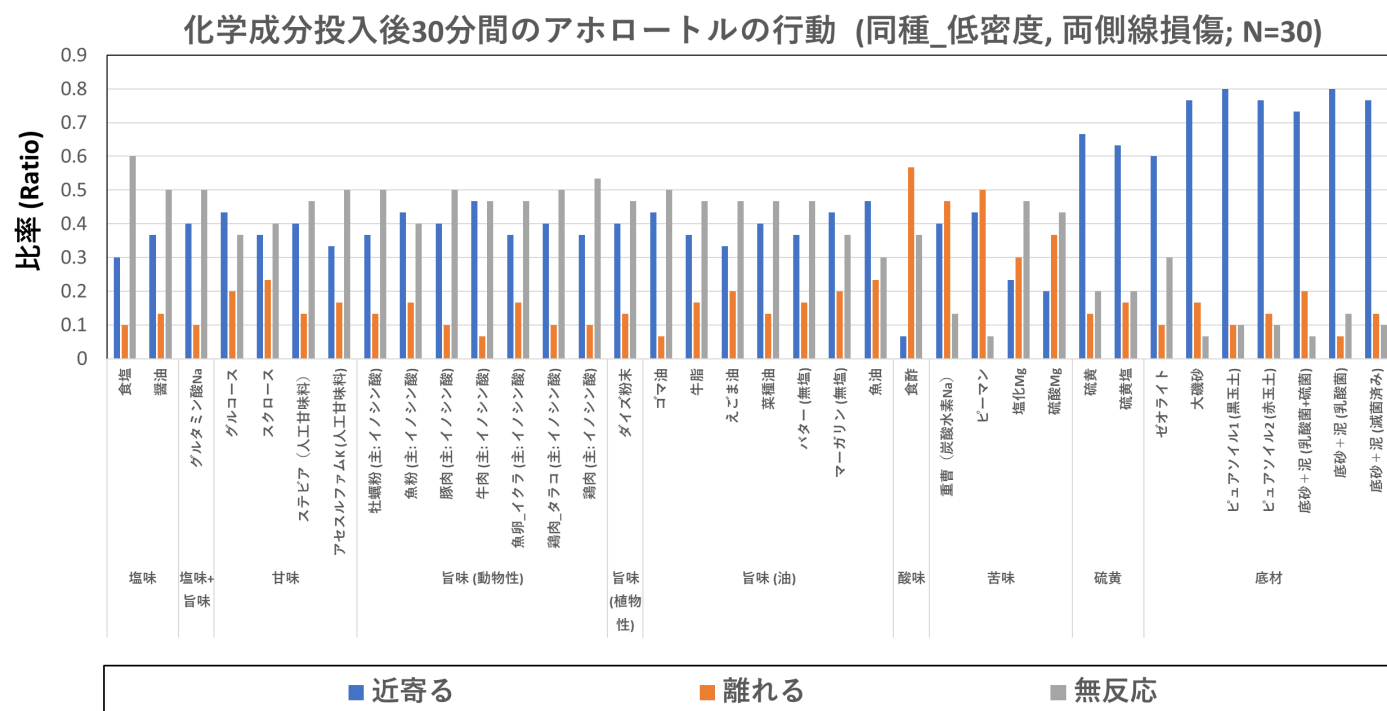


結果 14-8: 硫黄代謝を示す個体における噛合い行動の比較-2

(A) 硫黄酸化菌保持個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (硫黄酸化菌あり)



(B) 硫黄酸化菌非保持個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (硫黄酸化菌あり_両側の側線損傷個体)



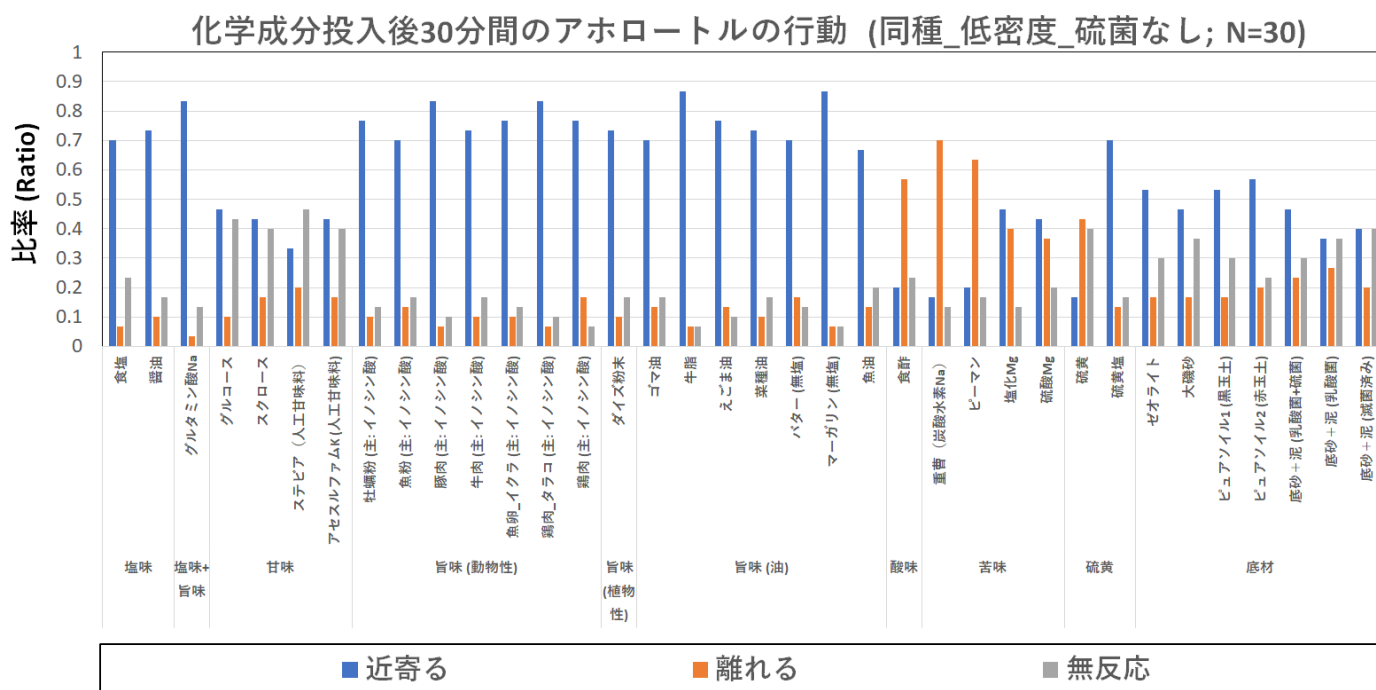
結果 14-9: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 1
(day90, 120, 200 雌雄の平均値)

側線を欠損しても硫黄源には反応できる

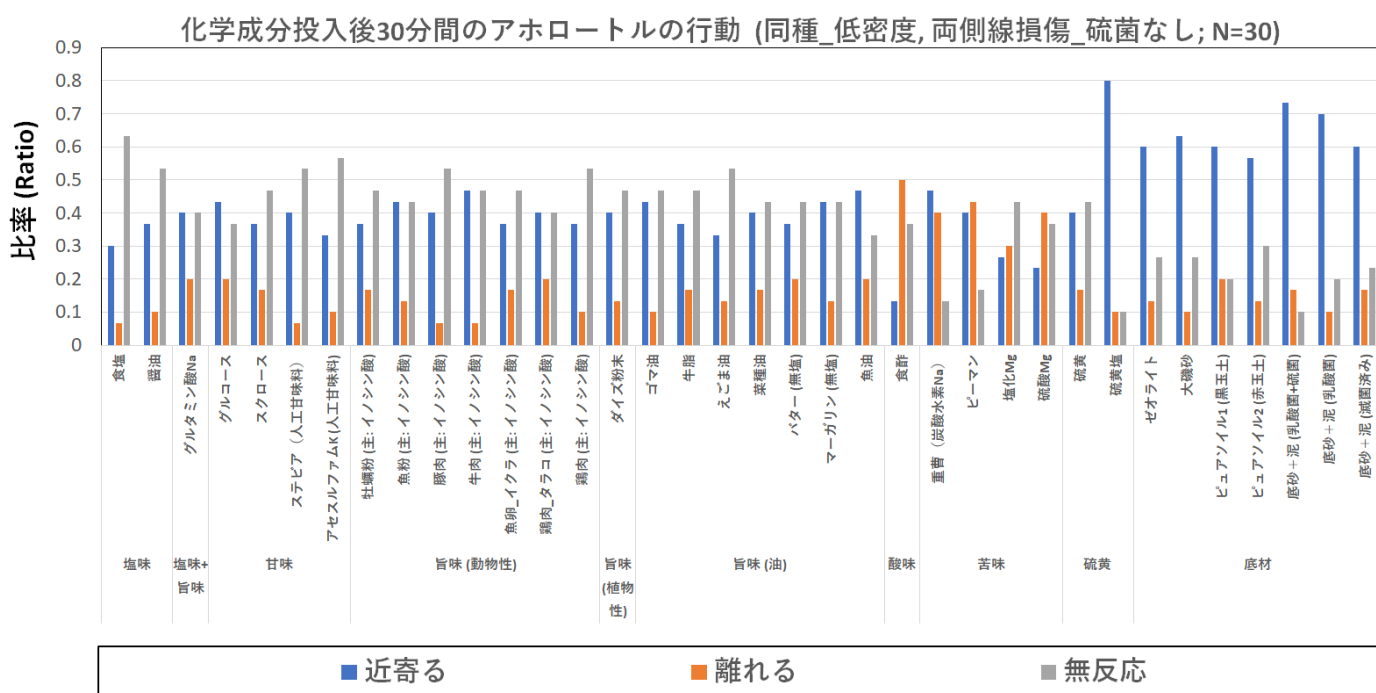
糖質の認識は嗅覚と側線 (側線を欠損しても嗜好性に大きく影響しない)

硫黄源の認識は嗅覚と側線で異なっている (側線では忌避・抑制的な応答, 嗅覚では好む)

(A) 硫黄酸化菌保持個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (硫黄酸化菌なし)



(B) 硫黄酸化菌非保持個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (硫黄酸化菌なし_両側の側線損傷個体)



結果 14-10: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 2 (day90, 120, 200 雌雄の平均値)

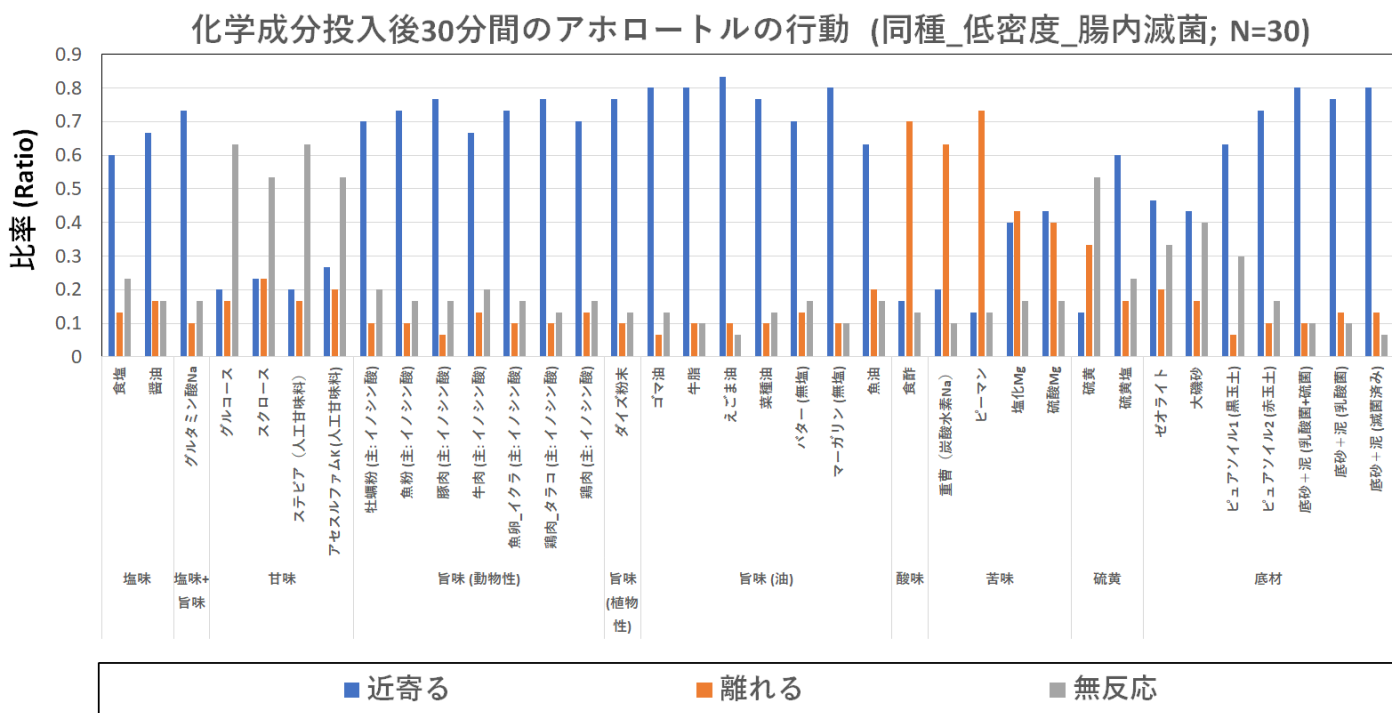
側線を欠損しても硫黄源には反応できる

糖質の認識は嗅覚と側線 (側線を欠損しても嗜好性に大きく影響しない)

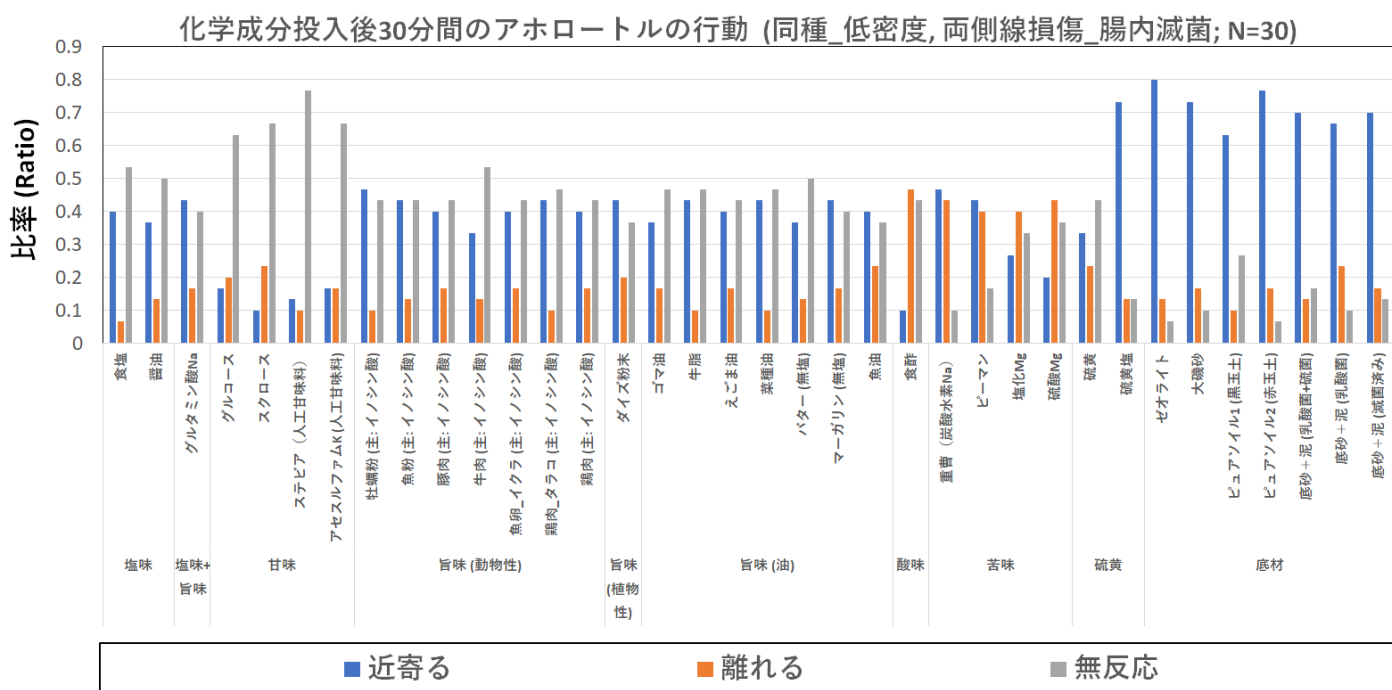
硫黄源の認識は嗅覚と側線で異なっている (側線では忌避・抑制的な応答, 嗅覚では好む)

硫黄酸化菌を腸内に持たない個体では硫黄への関心が減少する (硫黄源を摂取しなくなる)

(A) 腸内細菌を持たない個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (滅菌)



(B) 腸内細菌を持たない個体における餌／硫黄源の認識能力の比較 (滅菌_両側の側線損傷個体)



結果 14-11: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 3 (day90, 120, 200 雌雄の平均値)

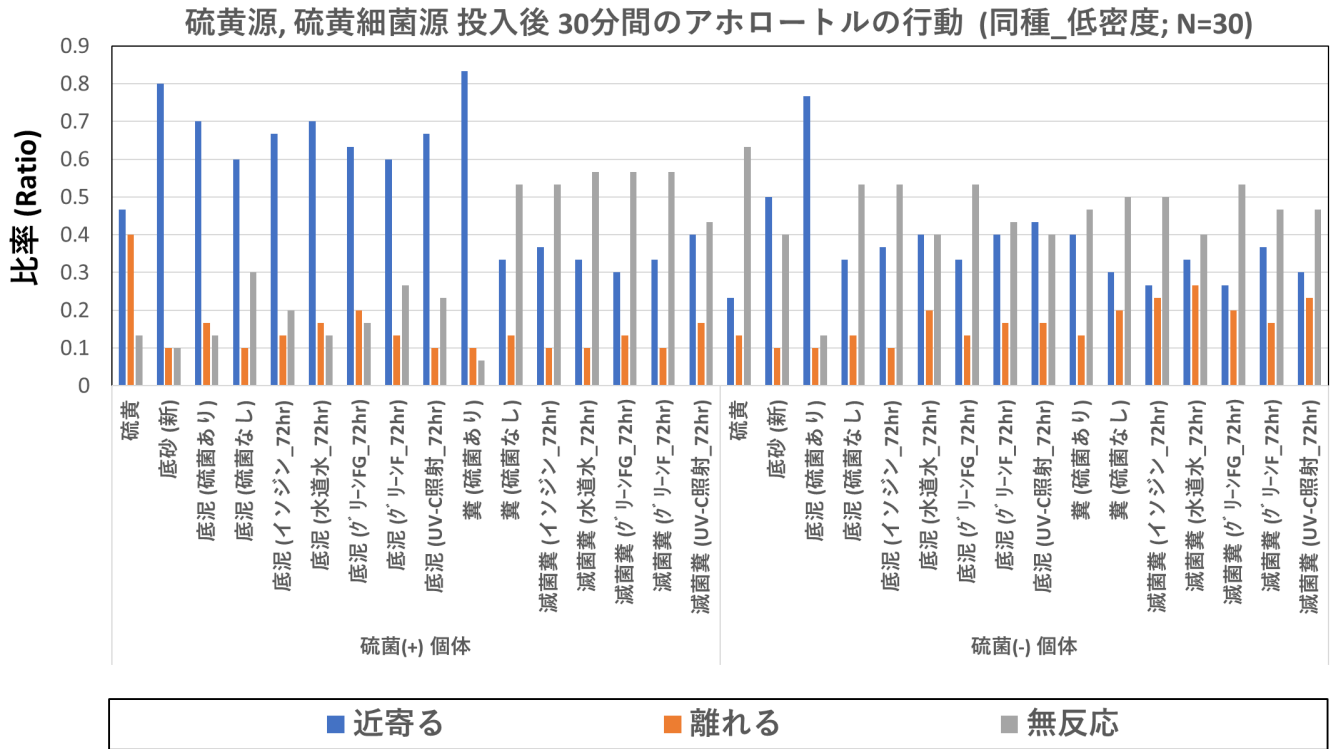
腸内細菌を著しく欠く個体は無機物への嗜好性を示す (腸内細菌の補充?)

糖質の認識は嗅覚と側線 (側線を欠損しても嗜好性に大きく影響しない)

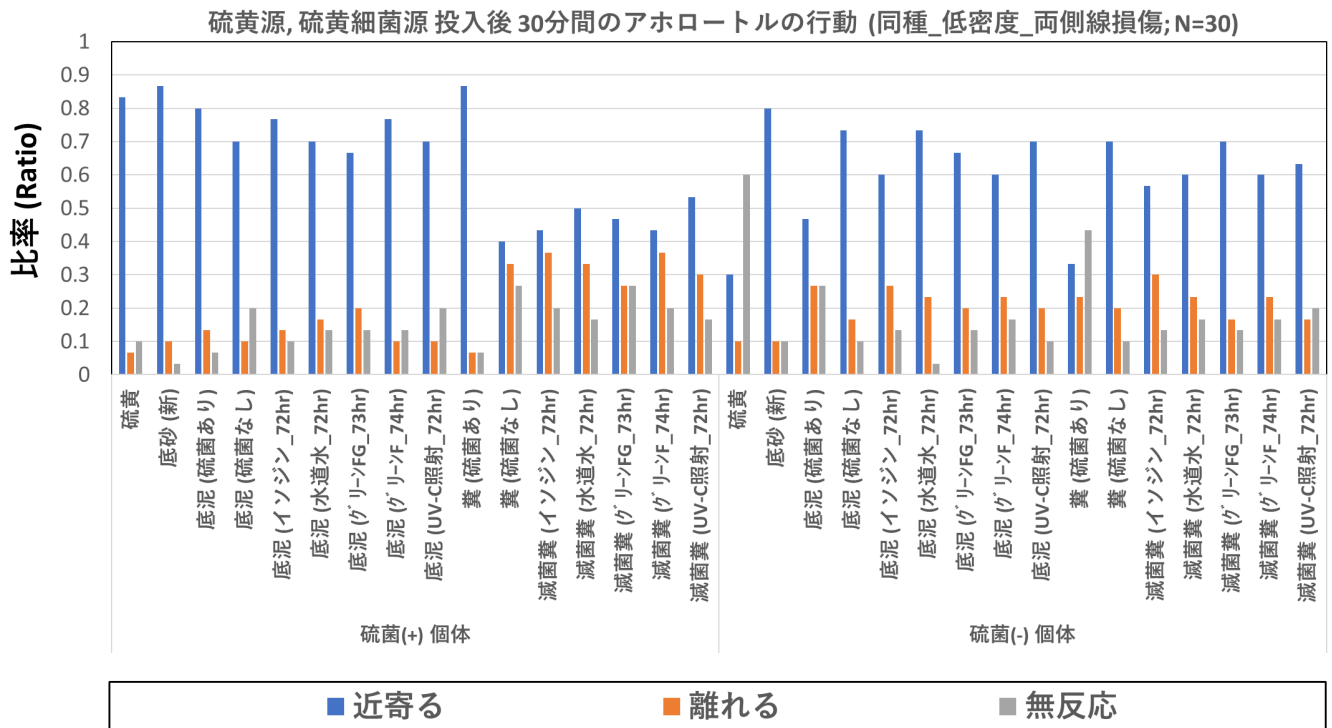
腸内の乳酸菌が欠乏すると糖質の要求性が低下する (乳酸菌が居ないから?)

乳酸菌を腸内に持たない個体では底砂・底泥への関心が増加する (乳酸菌を摂取するため?)

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (同種_低密度; N=30)



(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (同種_低密度_両側線損傷; N=30)



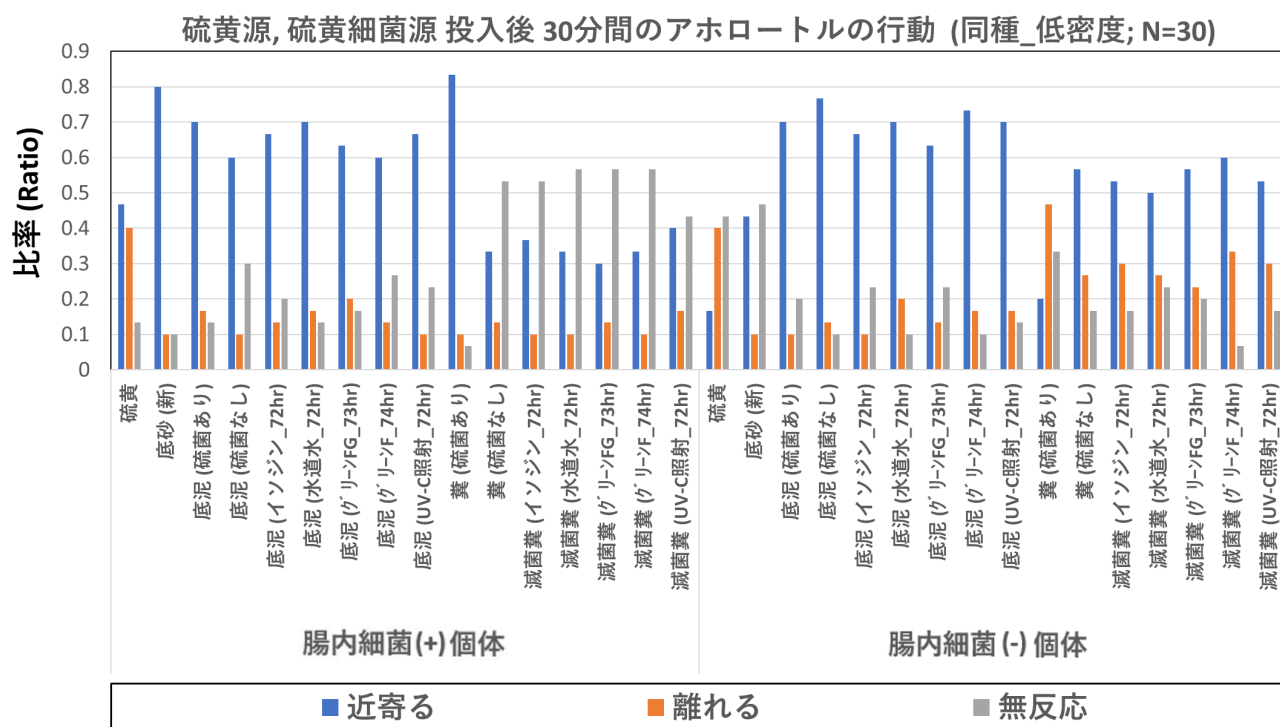
結果 14-12: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 4
(day90, 120, 200 雌雄の平均値)

腸内細菌を著しく欠く個体は無機物への嗜好性を示す（腸内細菌の補充？）

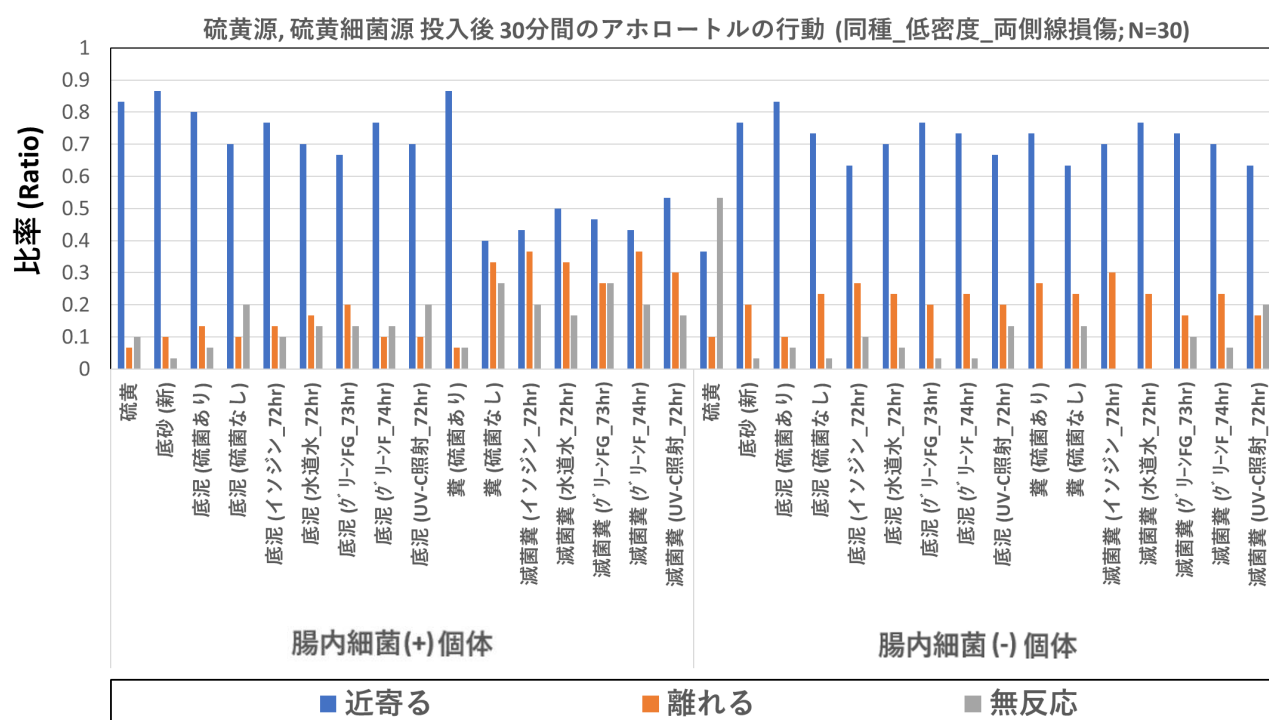
硫黄源の認識は嗅覚と側線で異なっている（側線では忌避・抑制的な応答，嗅覚では好む）

硫黄酸化菌を腸内に持たない個体では硫黄への関心が減少する（硫黄源を摂取しなくなる）

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (同種_低密度; N=30)



(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (同種_低密度_両側線損傷; N=30)



結果 14-13: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 5 (day90, 120, 200 雌雄の平均値)

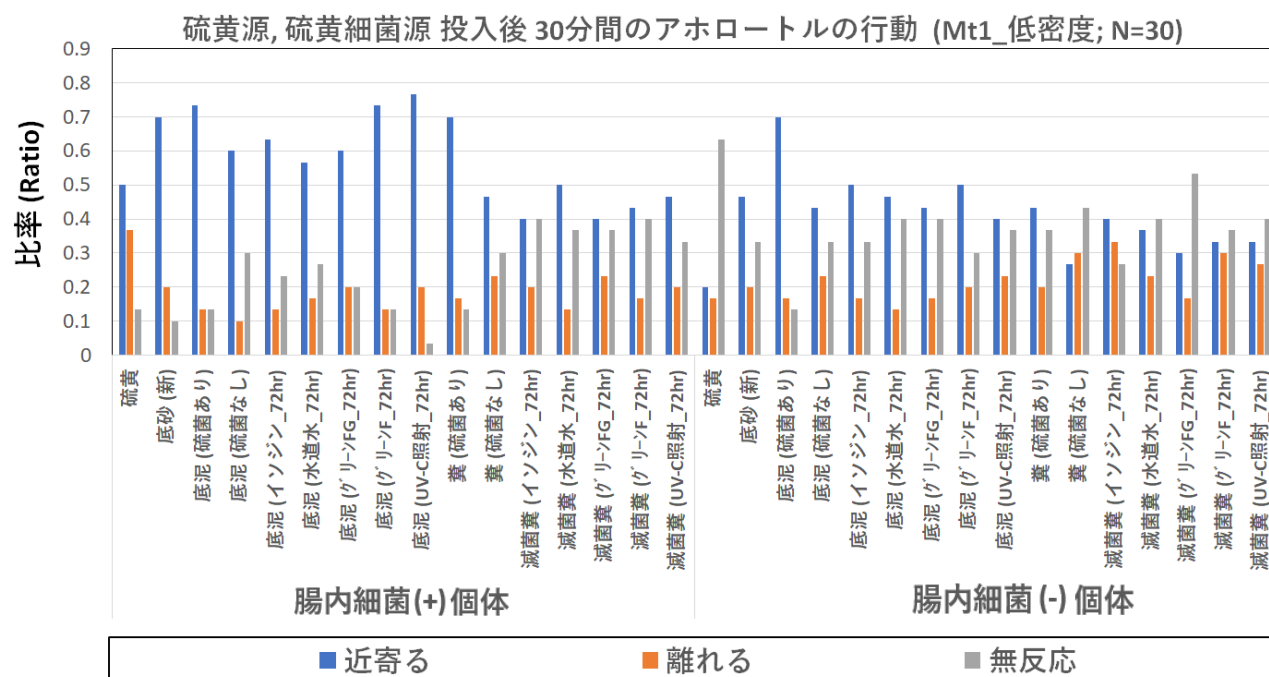
腸内細菌を著しく欠く個体は無機物のみならず糞への嗜好性を示す (腸内細菌の補充?ただし硫黄酸化菌は忌避)

腸内の乳酸菌が欠乏すると糖質の要求性が低下する (乳酸菌が居ないから?)

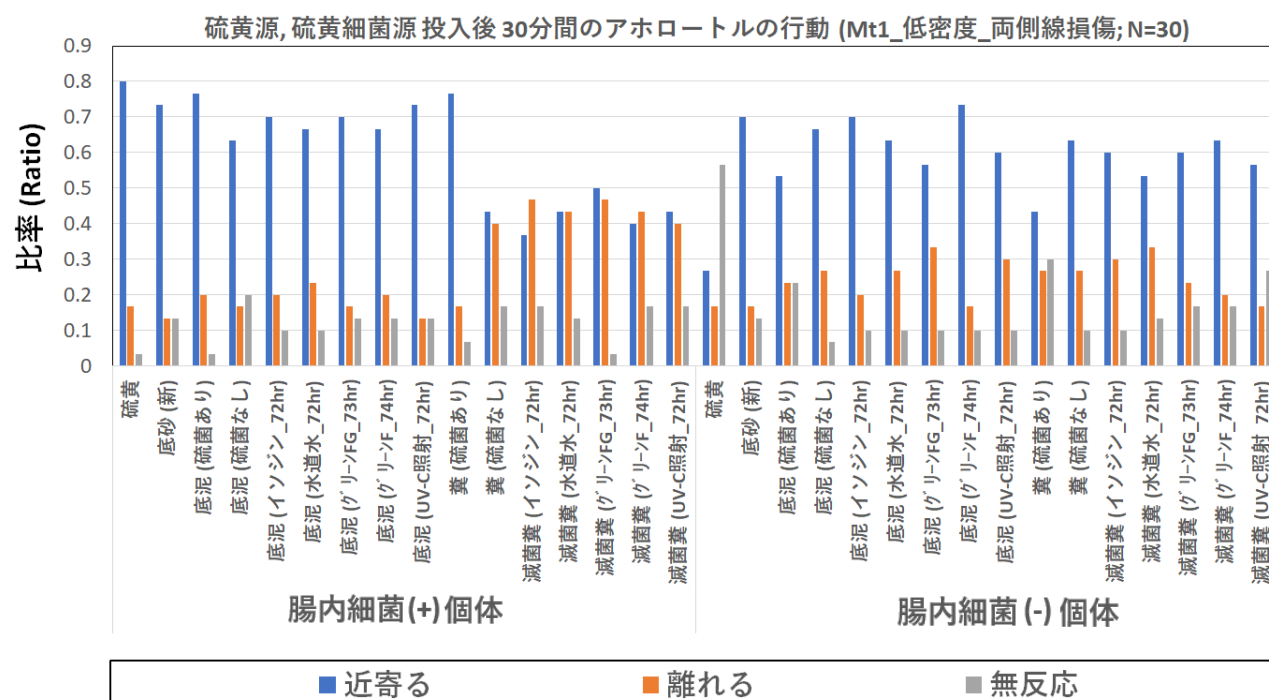
乳酸菌を腸内に持たない個体では底砂・底泥への関心が増加する (乳酸菌を摂取するため?)

硫黄酸化菌不足→摂取を忌避する vs 乳酸菌不足→積極的に摂取しようとする

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt1 変異体_低密度; N=30)



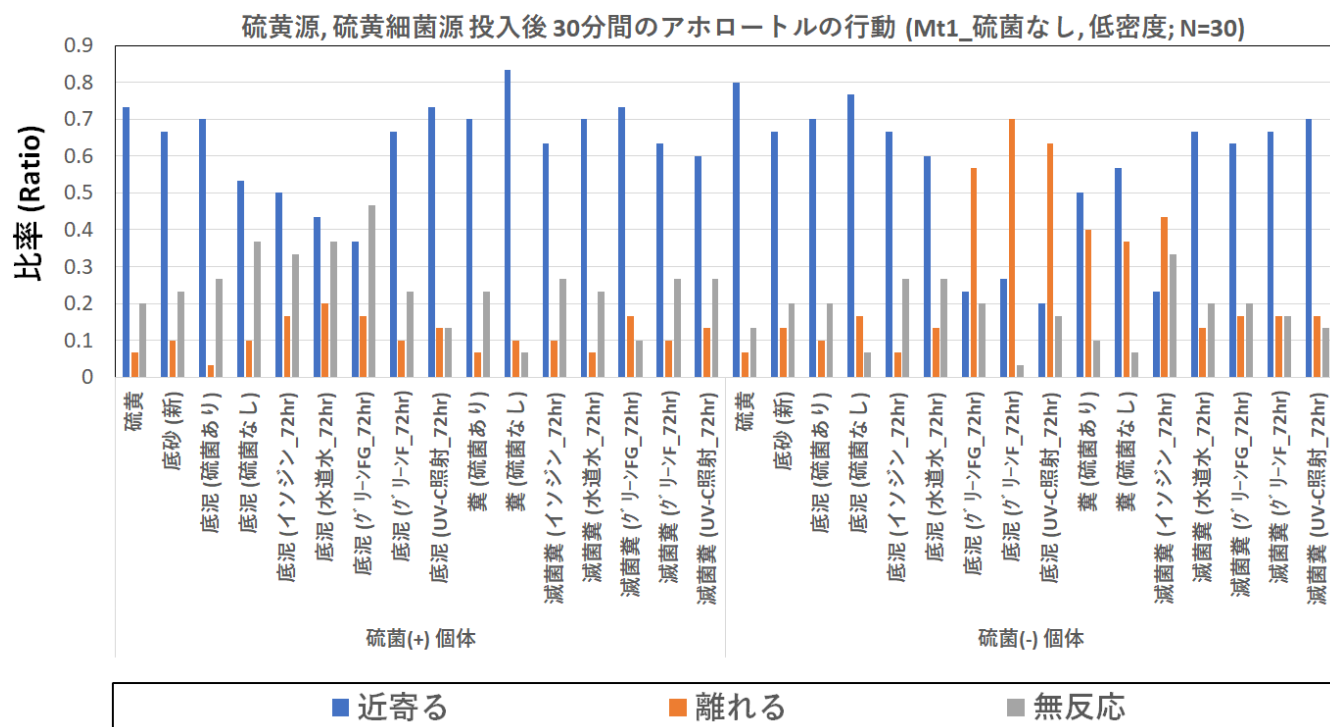
(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt1 変異体_低密度_両側線損傷; N=30)



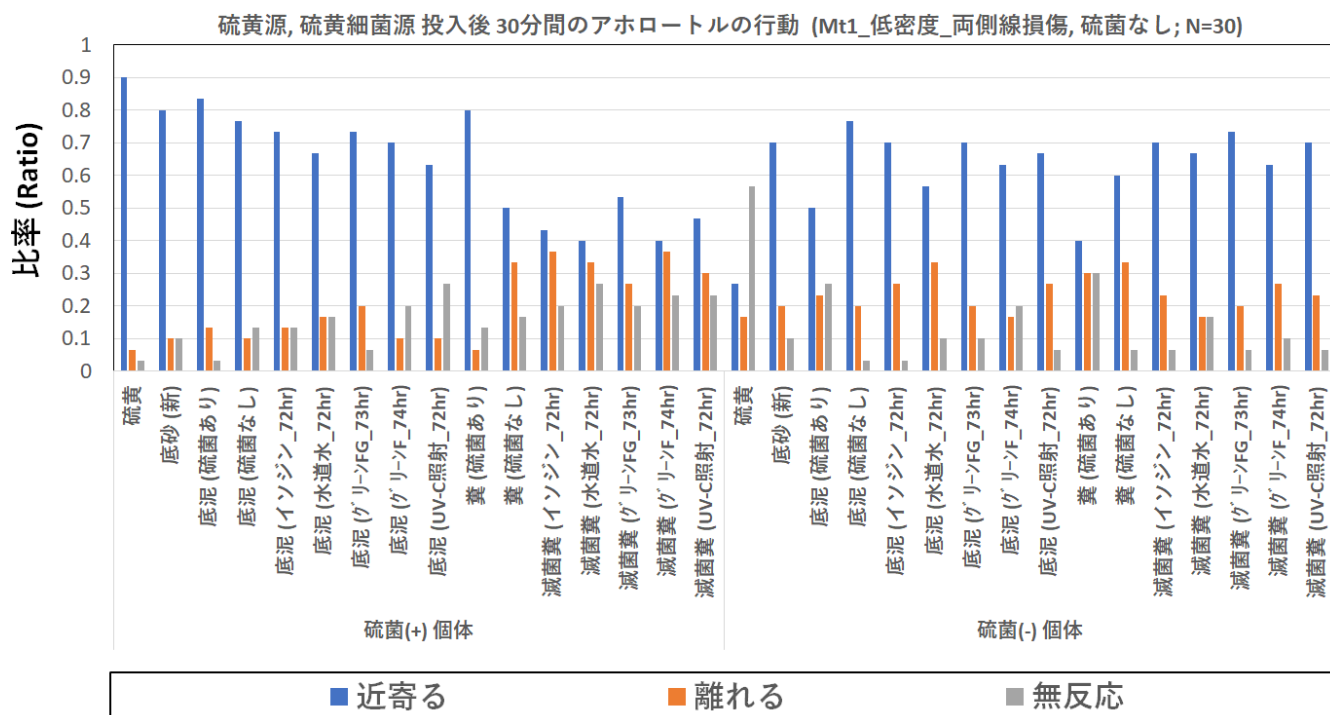
結果 14-14: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 5 (Mt1 変異体_day90, 120, 200 雌雄の平均値)

Mt1 変異体の硫黄への応答性は、野生型と比較しても大きな差異が見られなかった。

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt1 変異体_硫黄酸化菌なし_低密度; N=30)



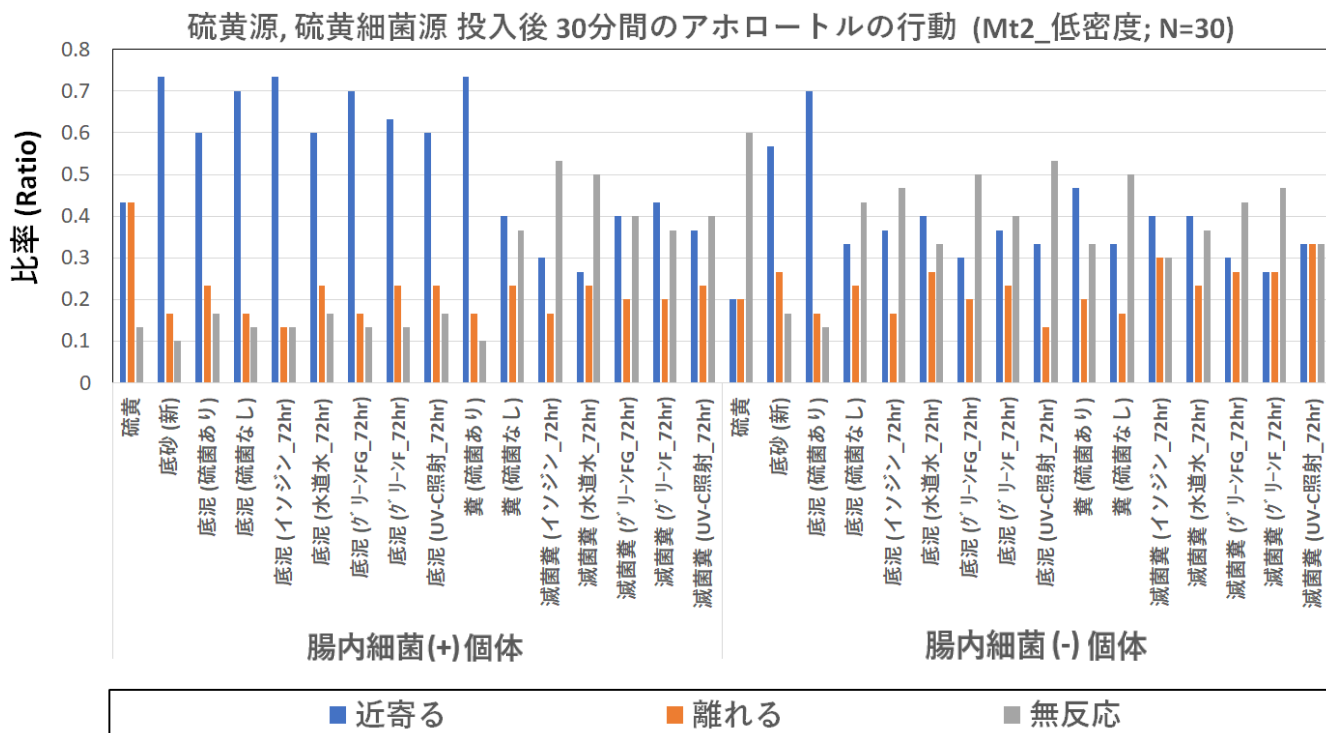
(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt1 変異体_硫黄酸化菌なし_低密度_両側線損傷; N=30)



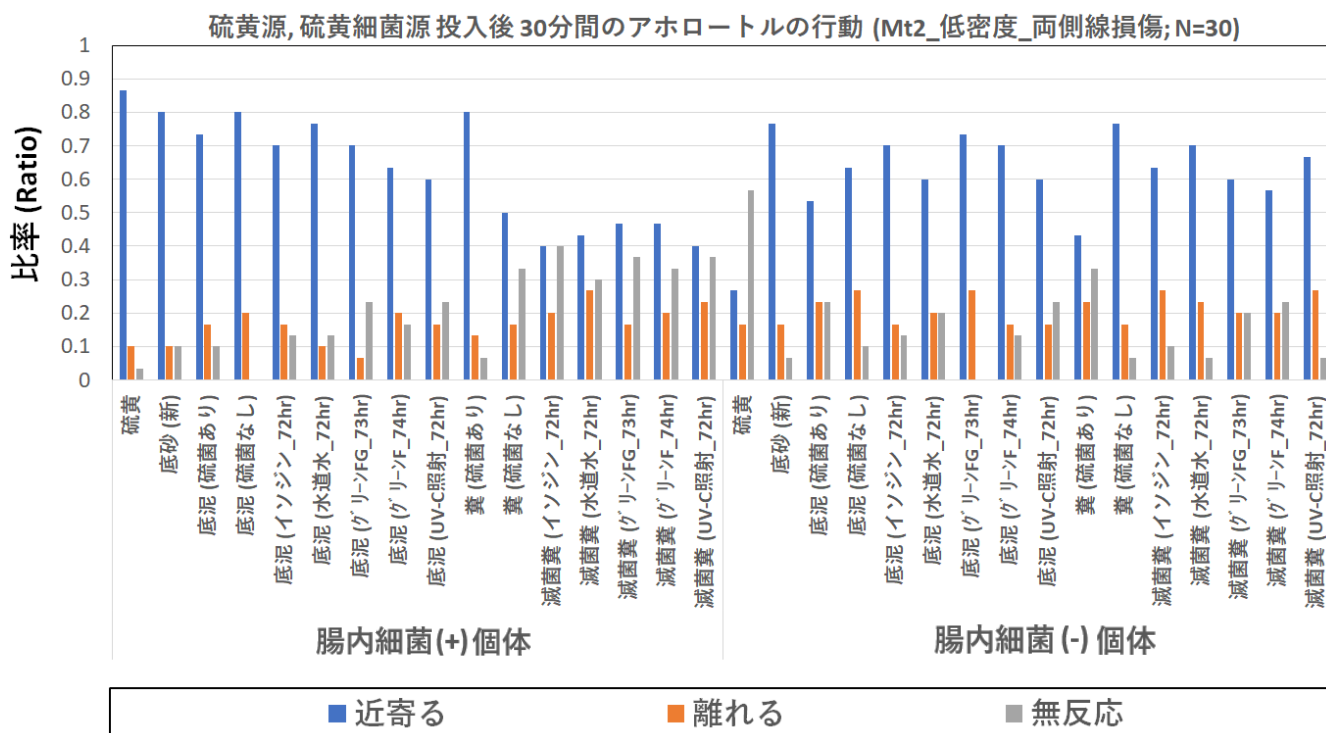
結果 14-15: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 5 (Mt1 変異体_硫黄酸化菌なし_day90, 120, 200 雌雄の平均値)

Mt1 変異体であっても、腸内の硫黄酸化菌に依存的な嗜好性の差を見せた。

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt2 変異体_低密度; N=30)



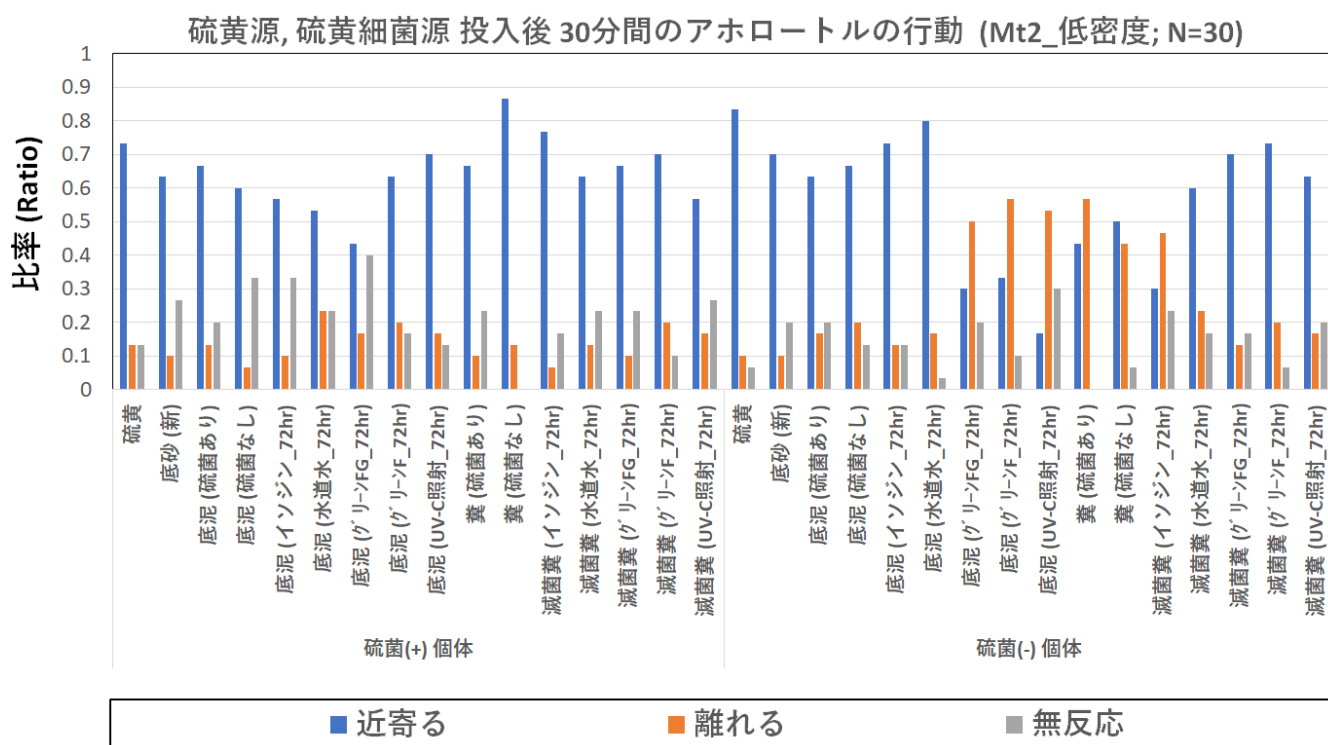
(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt2 変異体 低密度 両側線損傷; N=30)



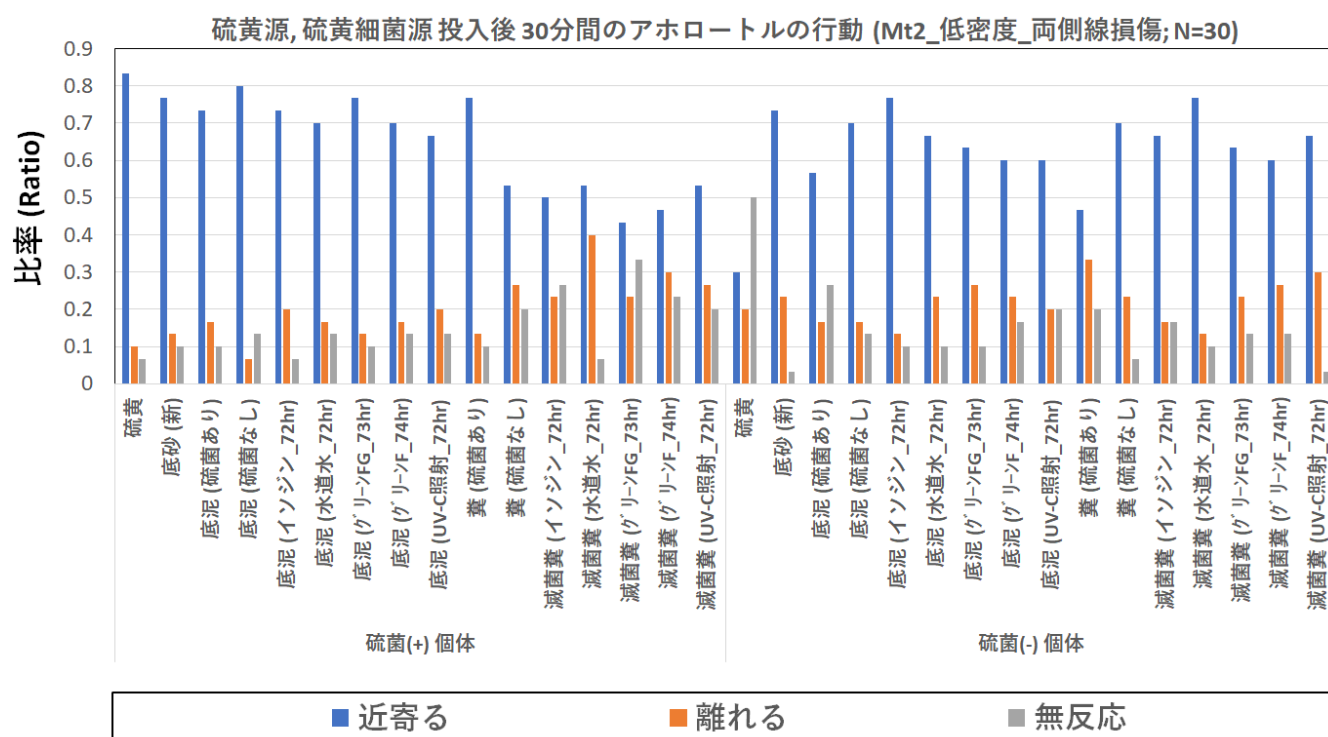
結果 14-16: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 5
(Mt2 変異体_day90, 120, 200 雌雄の平均値)

Mt2 変異体の硫黄への応答性は、野生型と比較しても大きな差異が見られなかった。

(A) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt2 変異体_硫黄酸化菌なし_低密度; N=30)



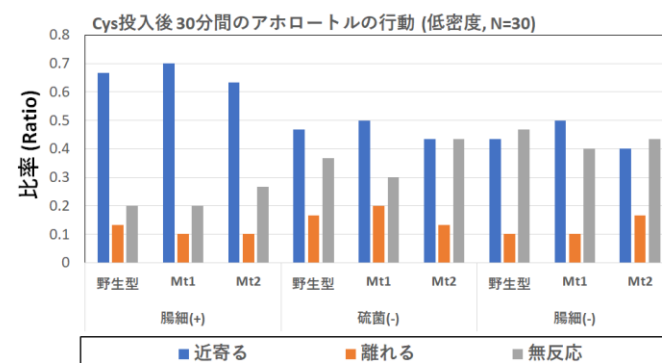
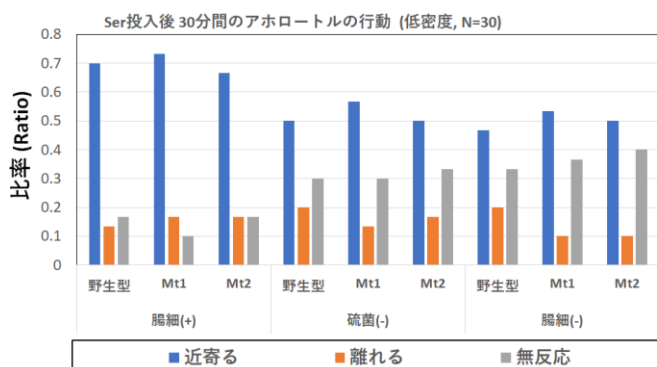
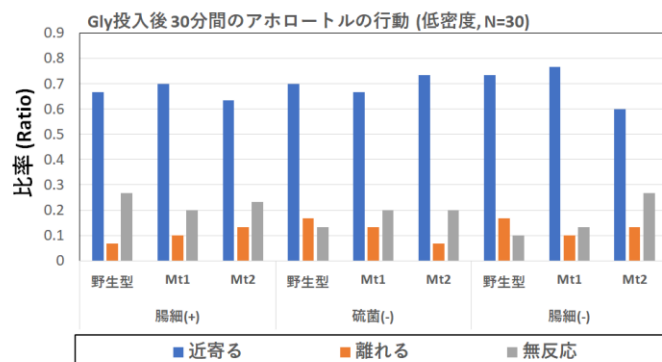
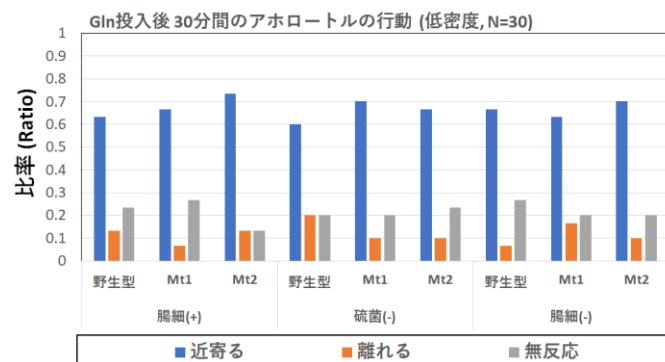
(B) 硫黄源, 硫黄細菌源 投入後 30 分間のアホロートルの行動 (Mt2 変異体_硫黄酸化菌なし_低密度_両側線損傷; N=30)



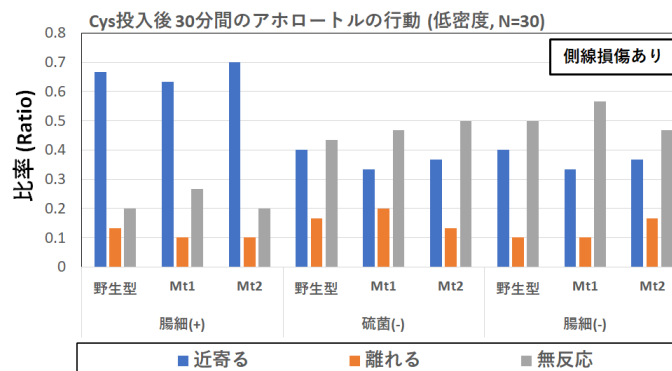
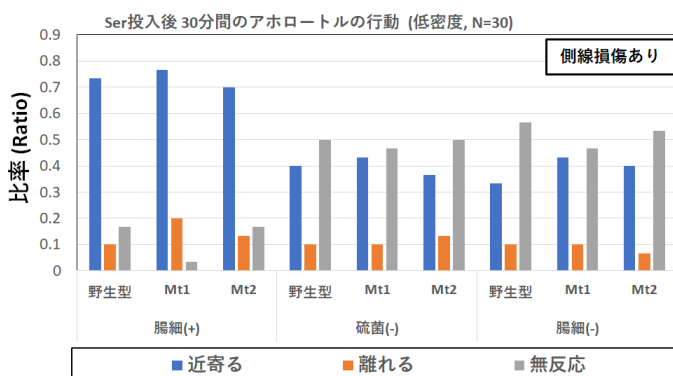
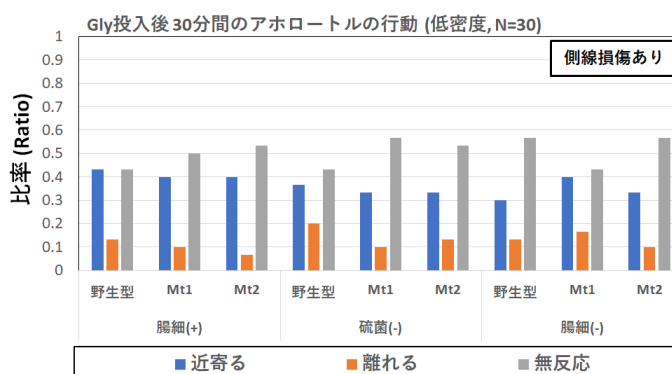
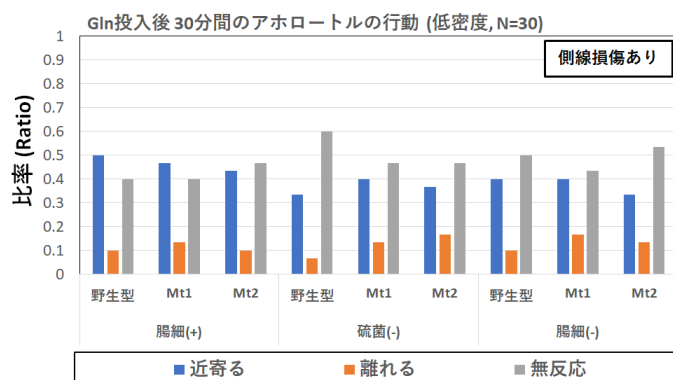
結果 14-17: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 5 (Mt2 変異体_硫黄酸化菌なし_day90, 120, 200 雌雄の平均値)

Mt2 変異体であっても、腸内の硫黄酸化菌に依存的な嗜好性の差を見せた。

(A) アミノ酸投入後 30 分間のアホロートルの行動 (側線損傷なし_低密度; N=30)

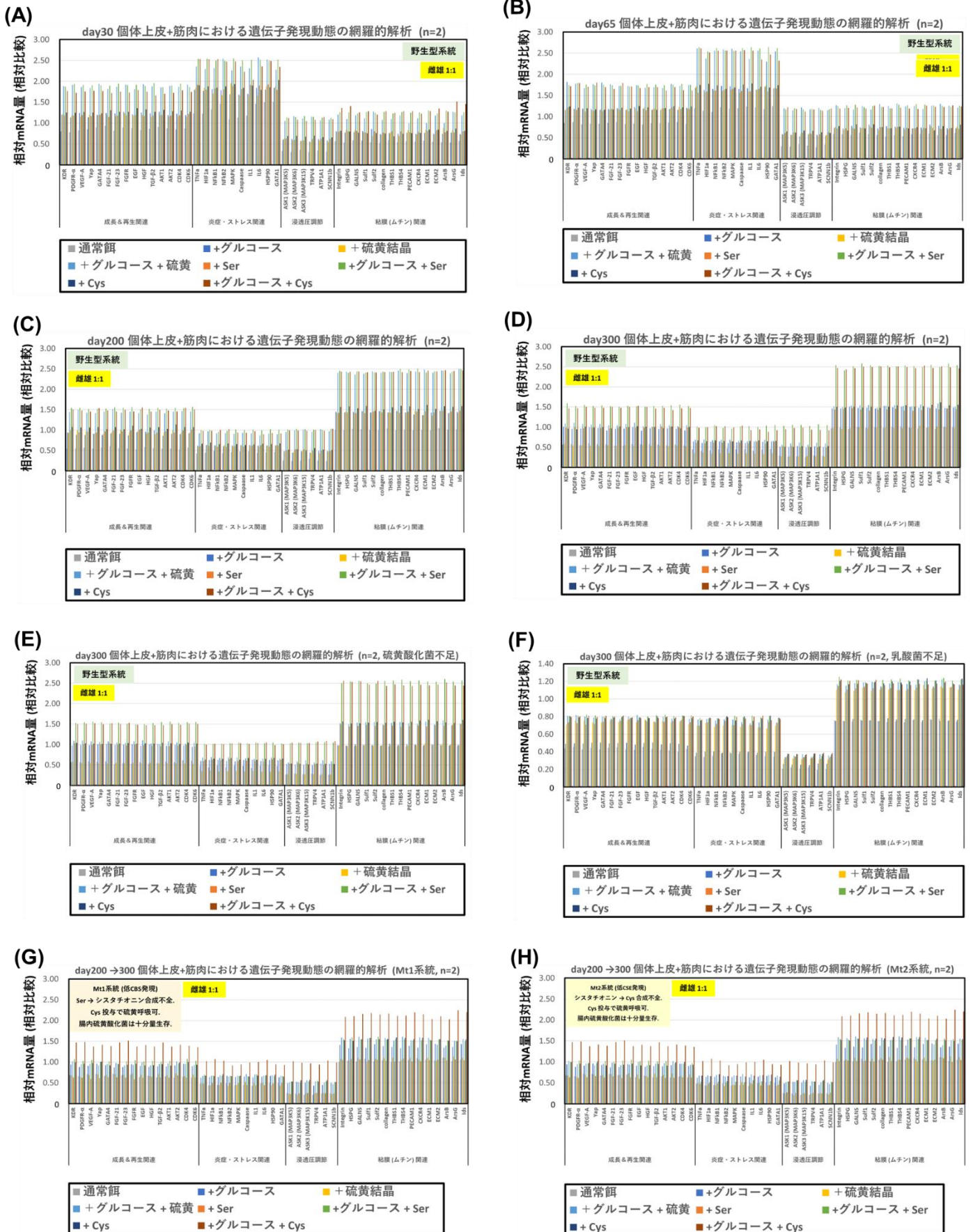


(B) アミノ酸投入後 30 分間のアホロートルの行動 (側線損傷あり_低密度; N=30)



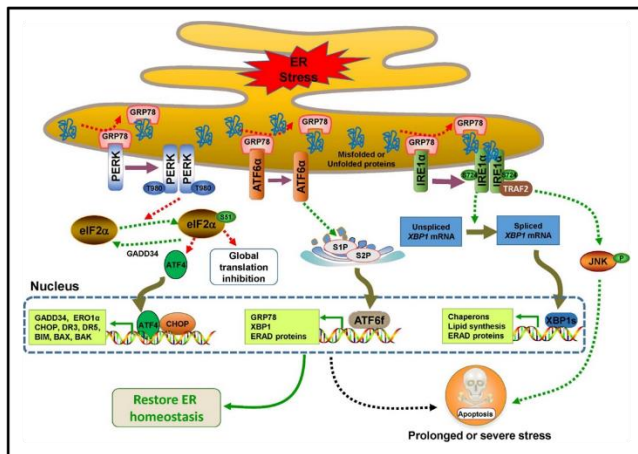
結果 14-18: 側線器官による他個体認識や硫黄源への応答性・嗜好性の確認 6
(Gly, Ser, Cys への応答性確認)

成長因子・炎症応答因子等の発現動態 (day30, day65, day200, day300)

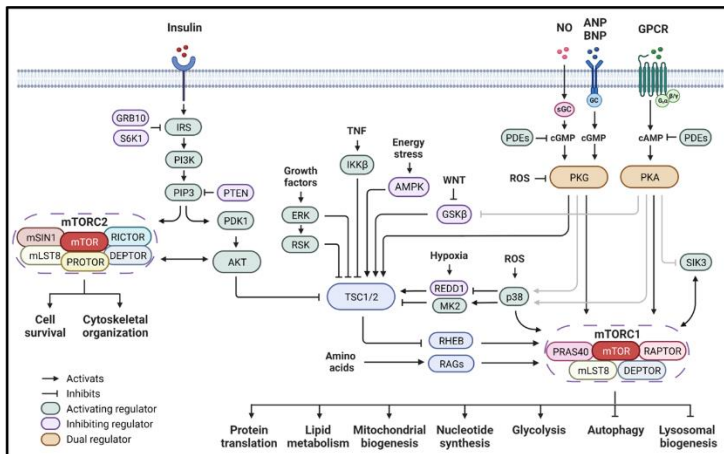


結果 14-19: 成長因子・炎症応答因子等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 1

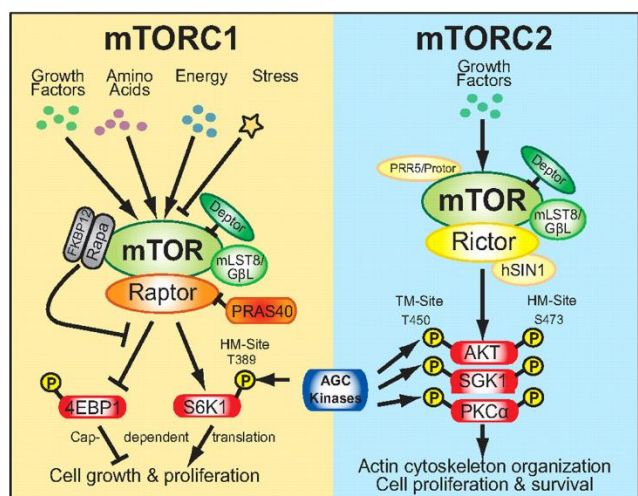




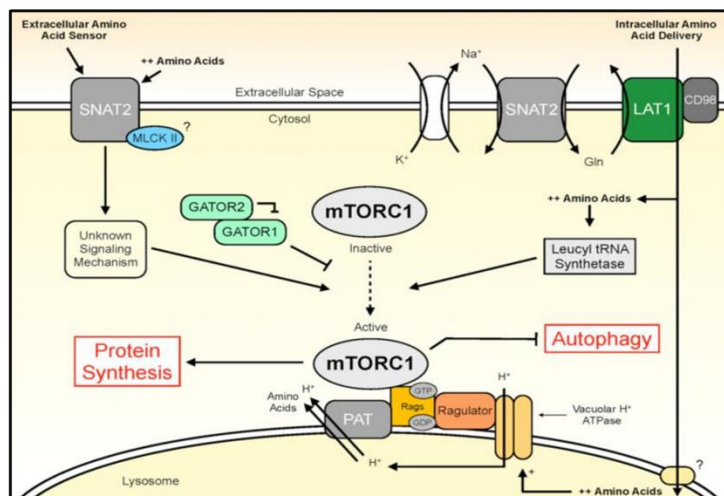
The Cross-Links of Endoplasmic Reticulum Stress, Autophagy, and Neurodegeneration in Parkinson's Disease
Haigang et al., Front Aging Neurosci. 2021.
<https://www.frontiersin.org/journals/aging-neuroscience/articles/10.3389/fnagi.2021.691881/full>



Regulation of mTOR Signaling: Emerging Role of Cyclic Nucleotide-Dependent Protein Kinases and Implications for Cardiometabolic Disease
Fubiao et al. J. Mol. Sci. 2023
<https://www.mdpi.com/1422-0067/24/14/11497>



Mammalian Target of Rapamycin (mTOR): Conducting the Cellular Signaling Symphony
Kathryn et al., Minireviews Volume, 2010.
[https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(20\)54851-5/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(20)54851-5/fulltext)



Amino acid transporters in the regulation of human skeletal muscle protein metabolism
Jared et al., Curr Opin Clin Nutr Metab Care, 2013
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24100668/>

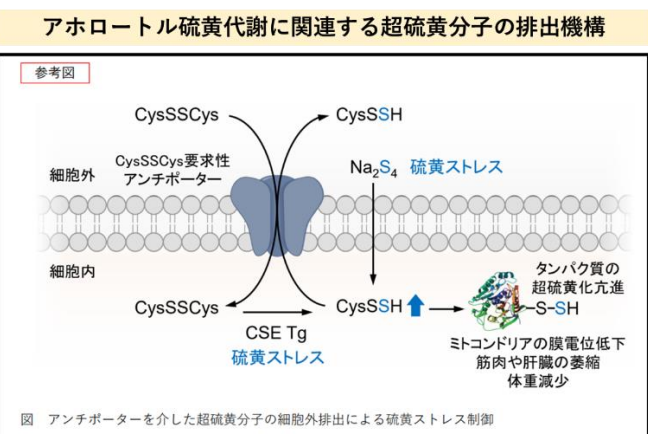


図 アンチポーターを介した超硫酸分子の細胞外排出による硫酸ストレス制御

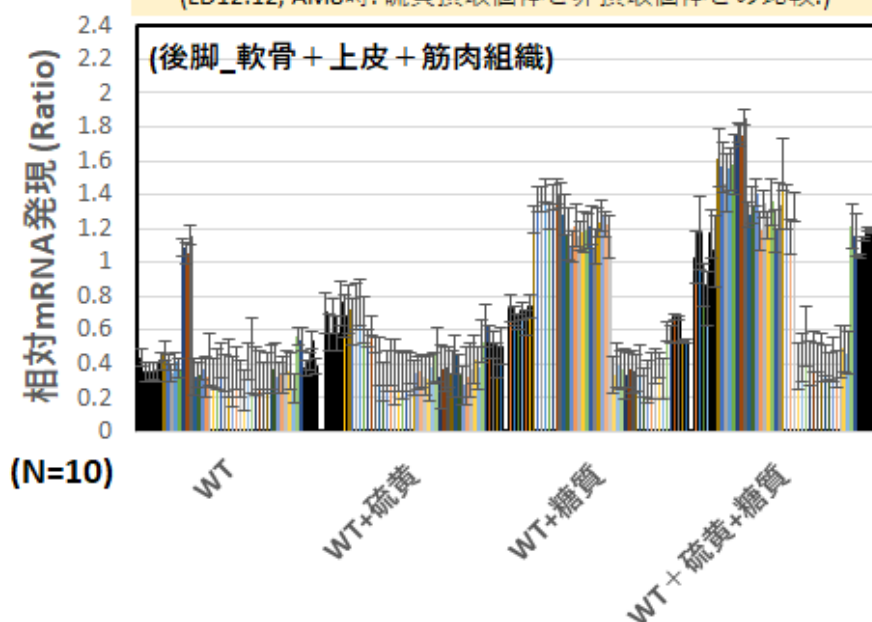
参考文献

- 筑波大学ジャーナル
- 細胞内のバランスを崩す過剰な超硫酸分子の排出機構を解明 2022.10.28
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/medicine-health/20221028140000.html> より
 - プレスリリース 2022.10.28
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/pdf/p20221028140000.pdf> より
- Murine SLC7A11 (mouse):**
過剰なシステイン-スルフィド (Cys-SSH) 等の超硫酸分子の細胞外への排出に関わる輸送体 (アンチポーター) を構成する。
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/pdf/p20221028140000.pdf>
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36279630/>

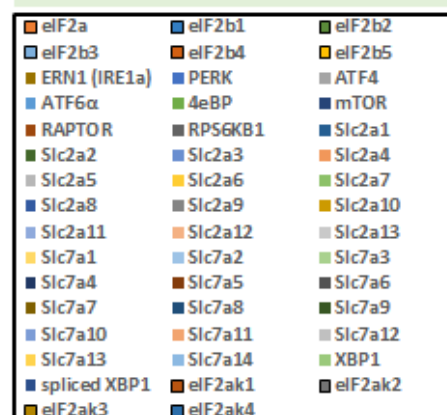
結果 14-20: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 2

硫酸化菌を持つ個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)

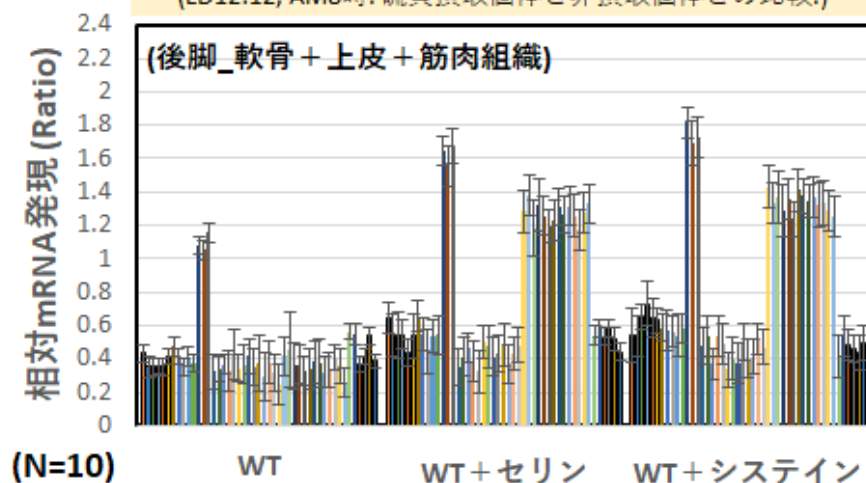


栄養状態が潤沢な場合

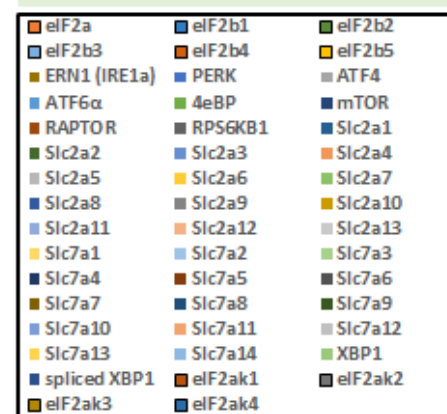


硫酸化菌を持つ個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)

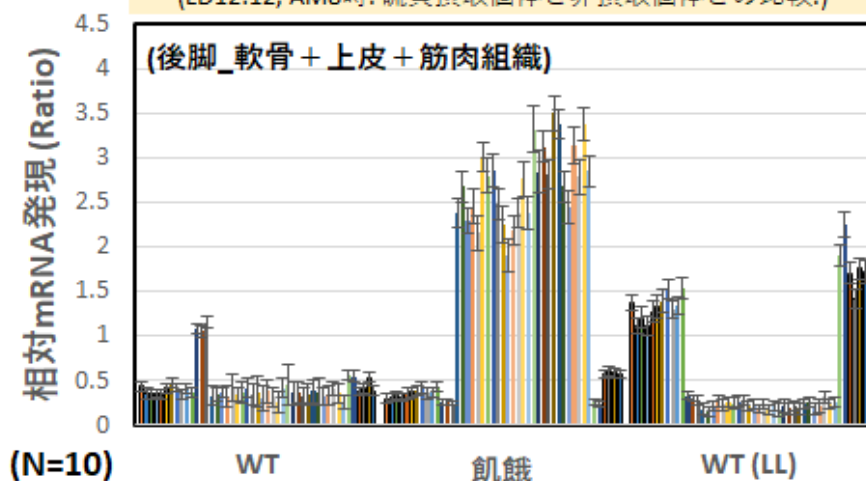


栄養状態が潤沢な場合

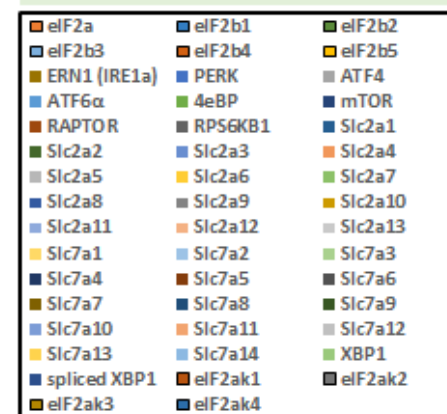


硫酸化菌を持つ個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



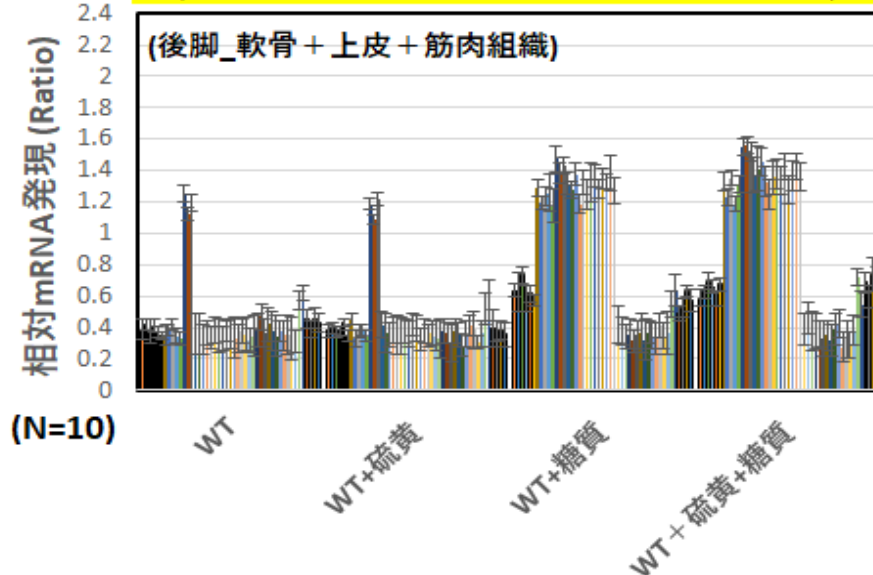
栄養状態が潤沢な場合



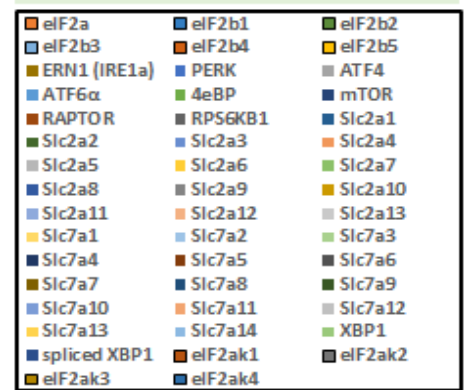
結果 14-21-1: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-1

硫酸化菌を持たない個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



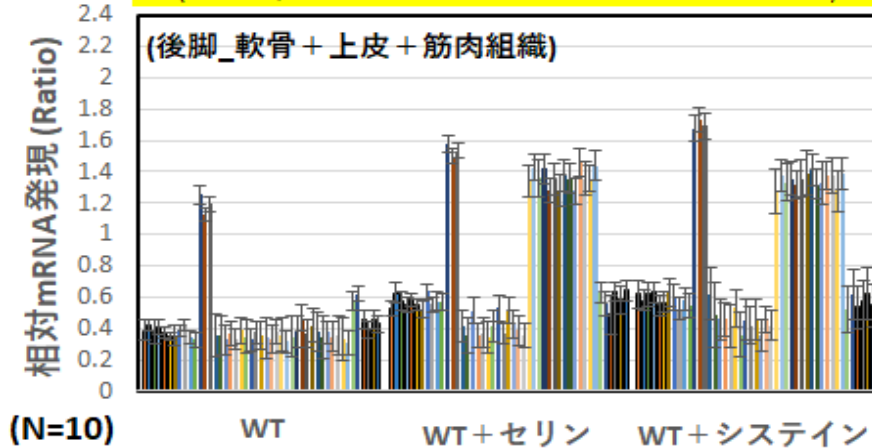
栄養状態が潤沢な場合



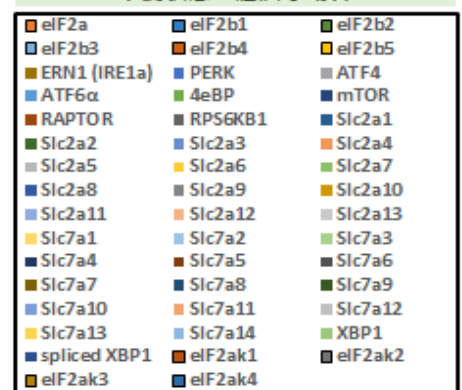
オス:メス = 1:1

硫酸化菌を持たない個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



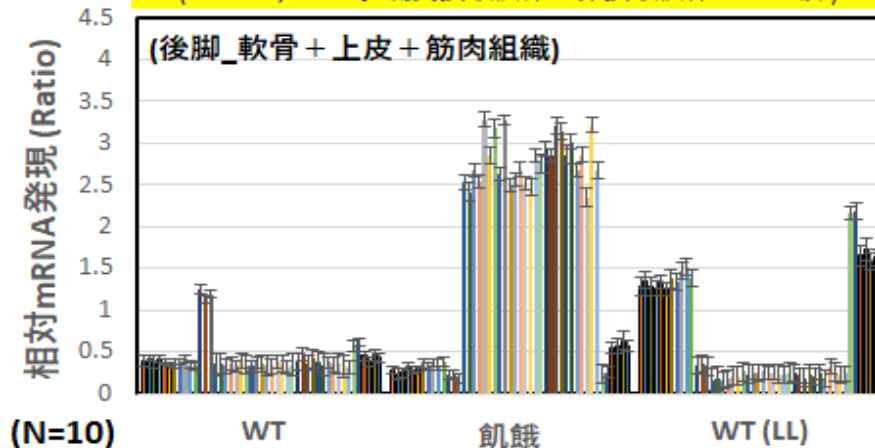
栄養状態が潤沢な場合



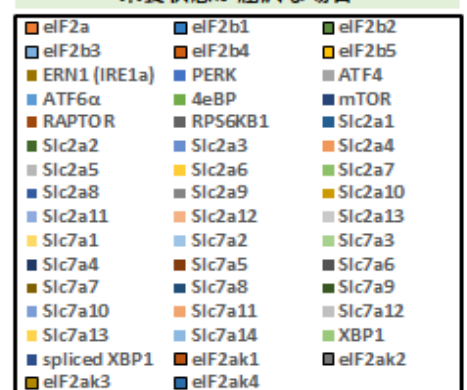
オス:メス = 1:1

硫酸化菌を持たない個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



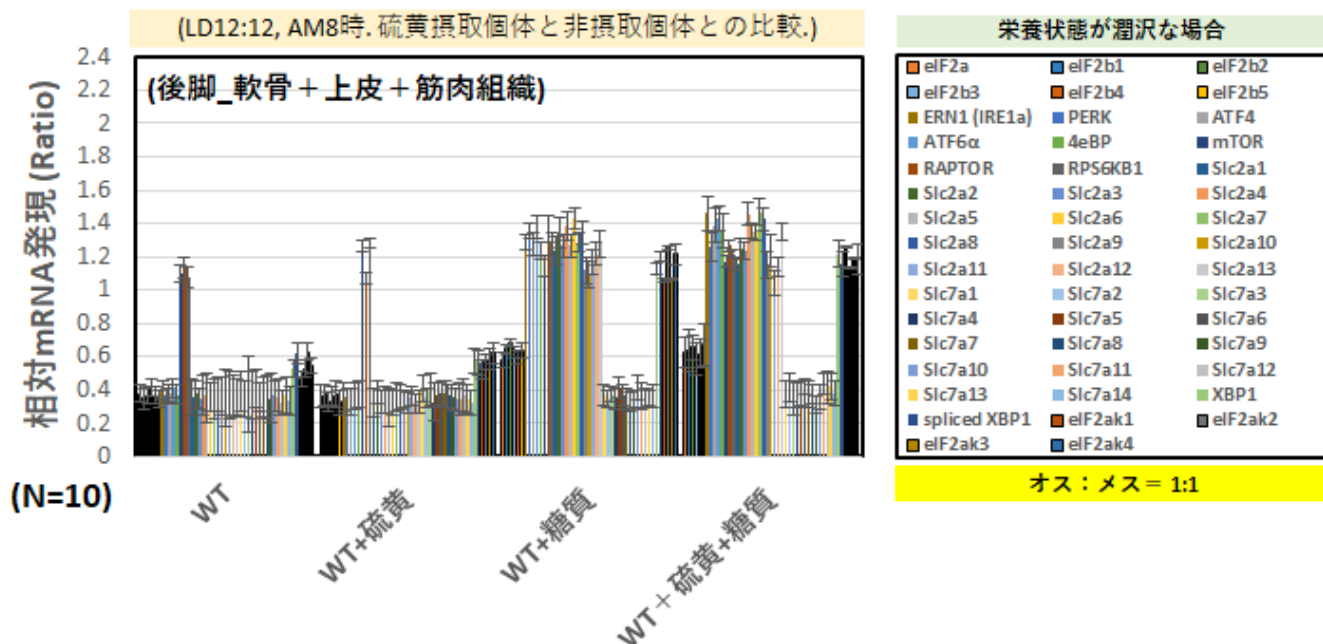
栄養状態が潤沢な場合



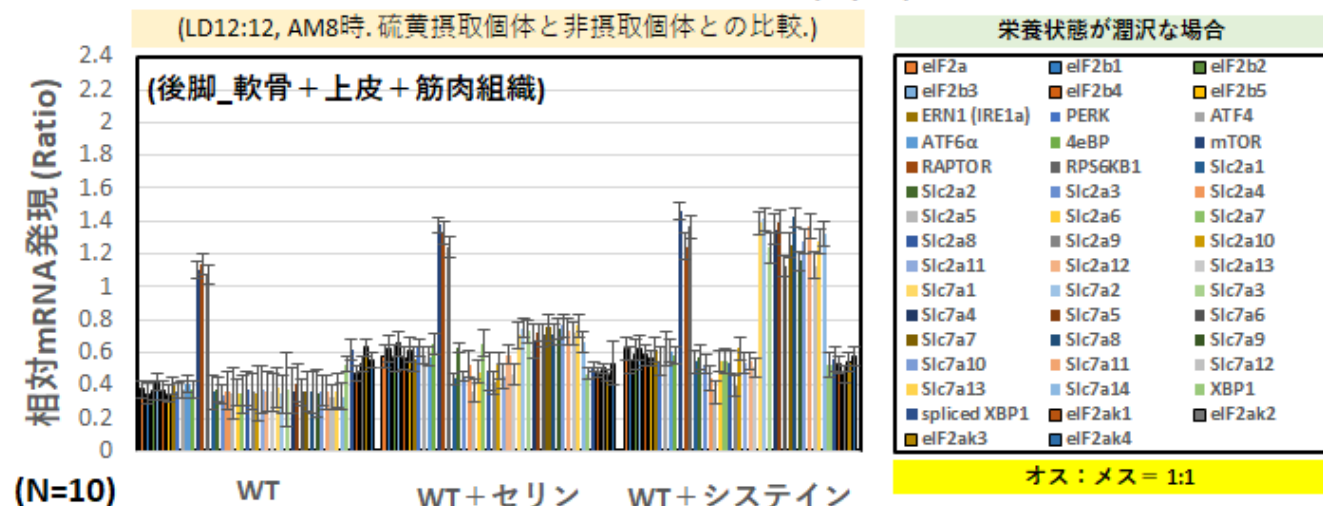
オス:メス = 1:1

結果 14-21-2: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-2

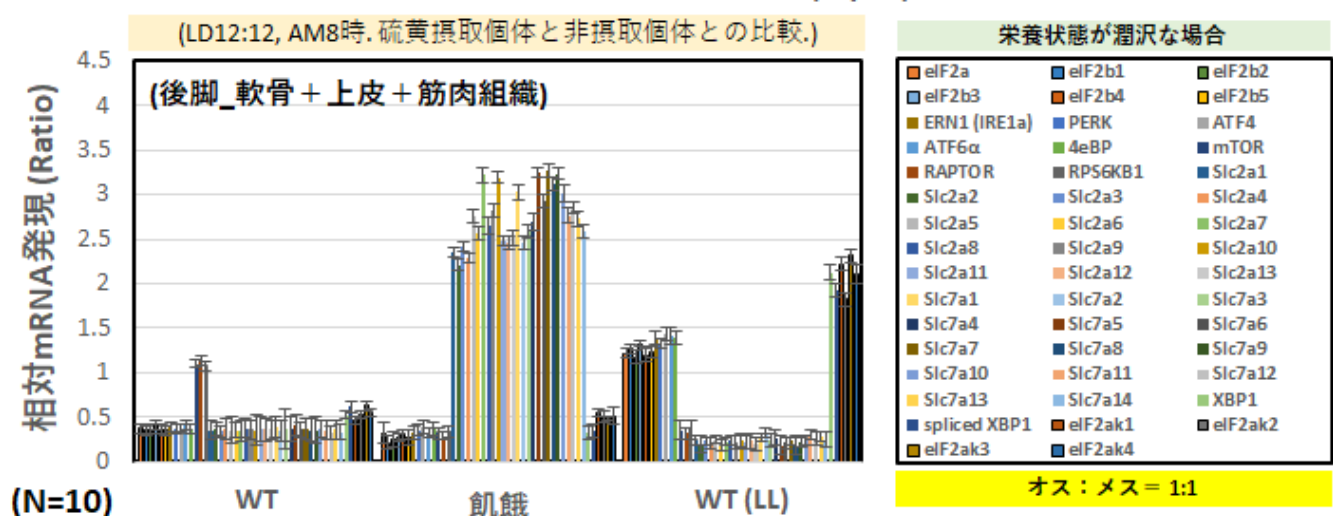
硫酸化菌を持つMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



硫酸化菌を持つMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



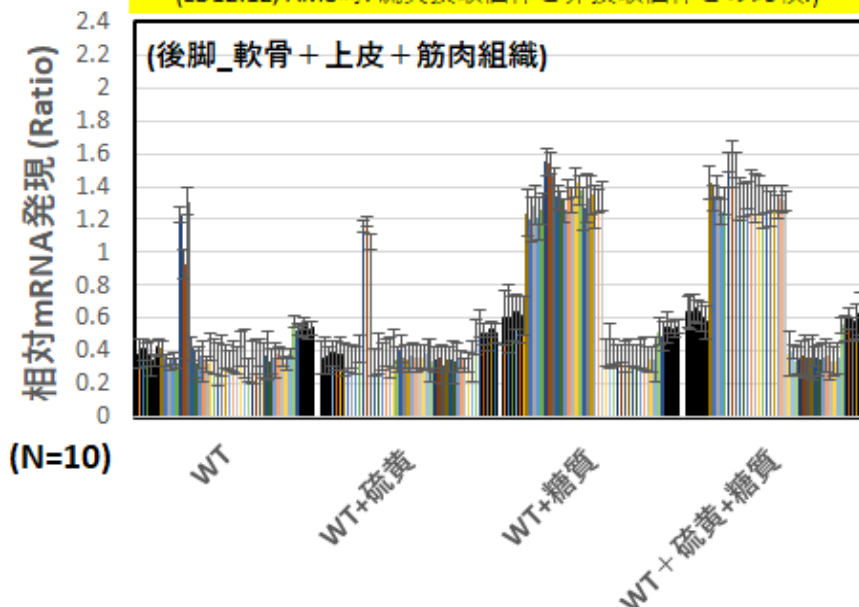
硫酸化菌を持つMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



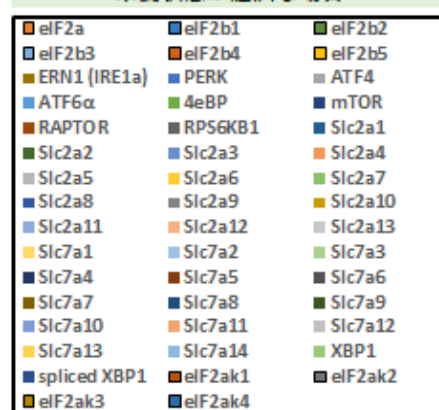
結果 14-21-3: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-3

硫酸化菌を持たないMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



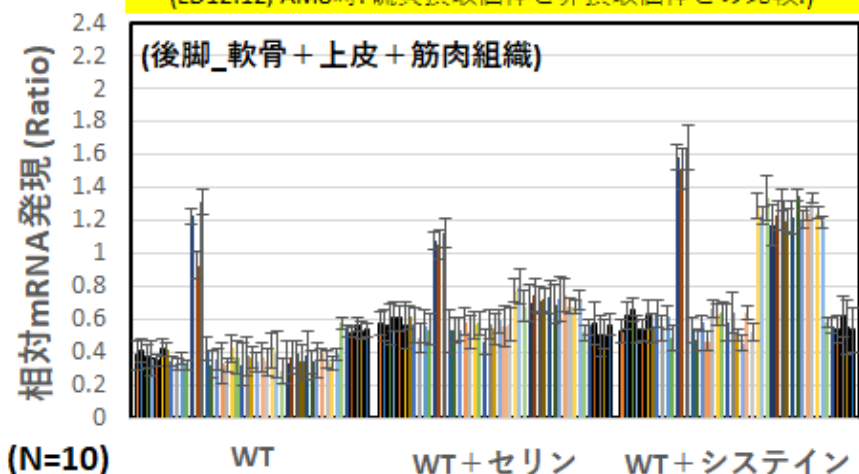
栄養状態が潤沢な場合



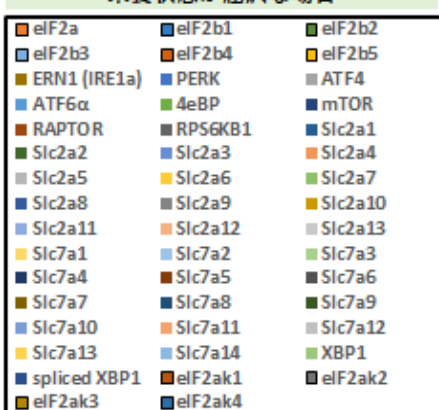
オス:メス = 1:1

硫酸化菌を持たないMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



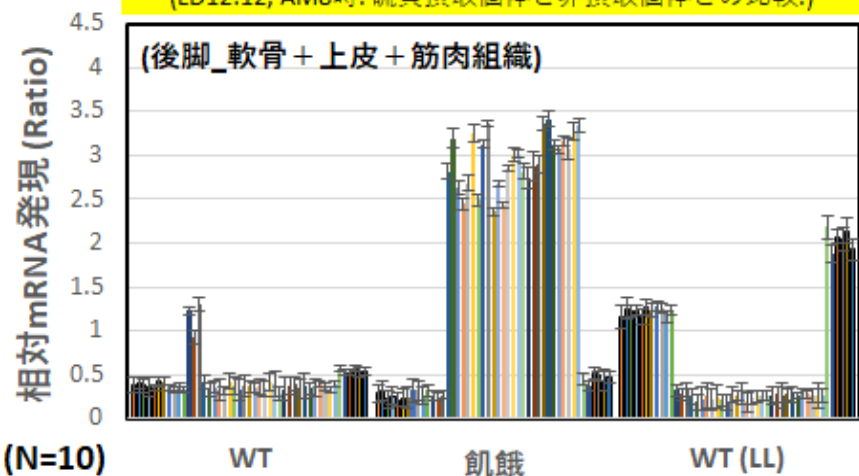
栄養状態が潤沢な場合



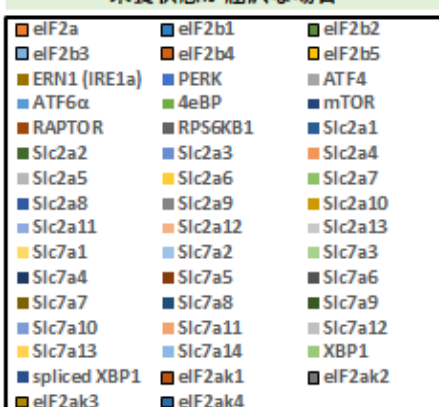
オス:メス = 1:1

硫酸化菌を持たないMt1個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫酸摂取個体と非摂取個体との比較.)



栄養状態が潤沢な場合

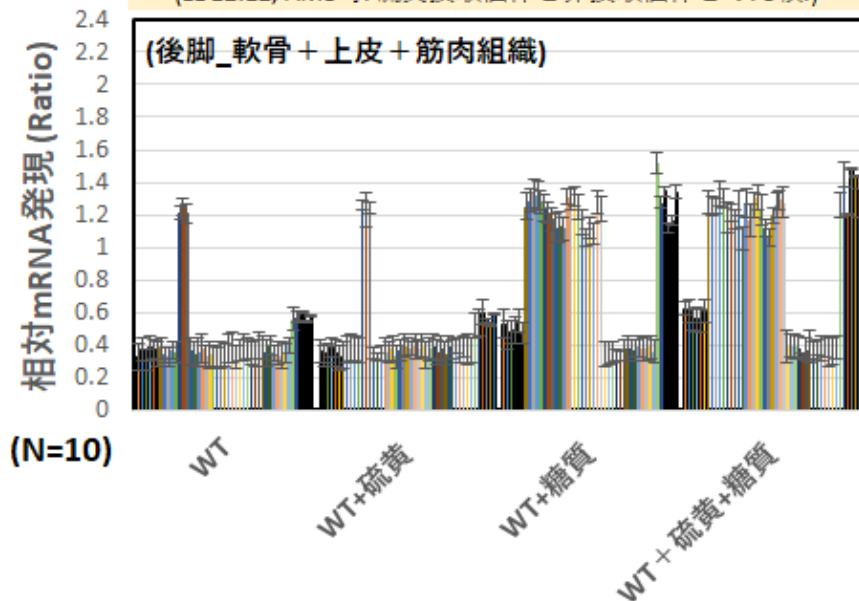


オス:メス = 1:1

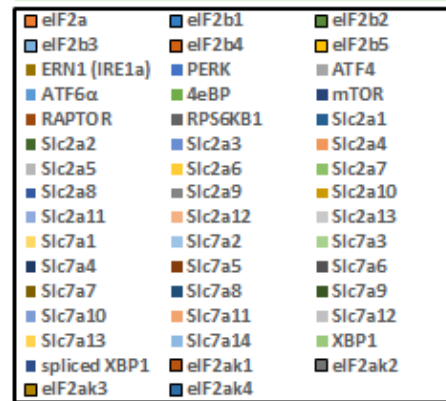
結果 14-21-4: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-4

硫黄酸化菌を持つMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫黄摂取個体と非摂取個体との比較.)



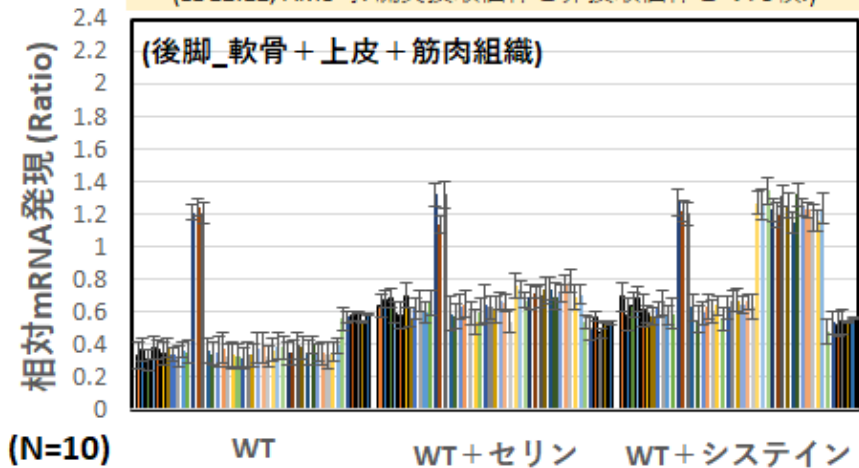
栄養状態が潤沢な場合



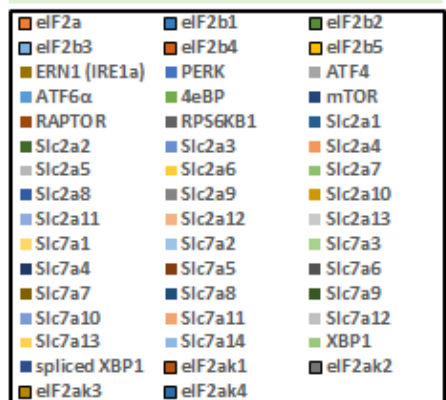
オス:メス = 1:1

硫黄酸化菌を持つMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫黄摂取個体と非摂取個体との比較.)



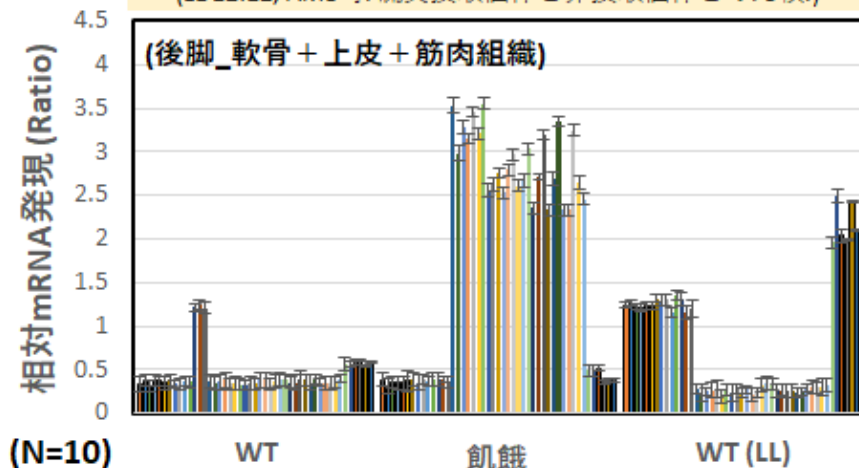
栄養状態が潤沢な場合



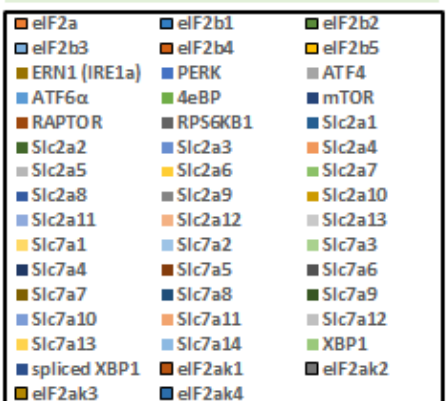
オス:メス = 1:1

硫黄酸化菌を持つMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)

(LD12:12, AM8時. 硫黄摂取個体と非摂取個体との比較.)



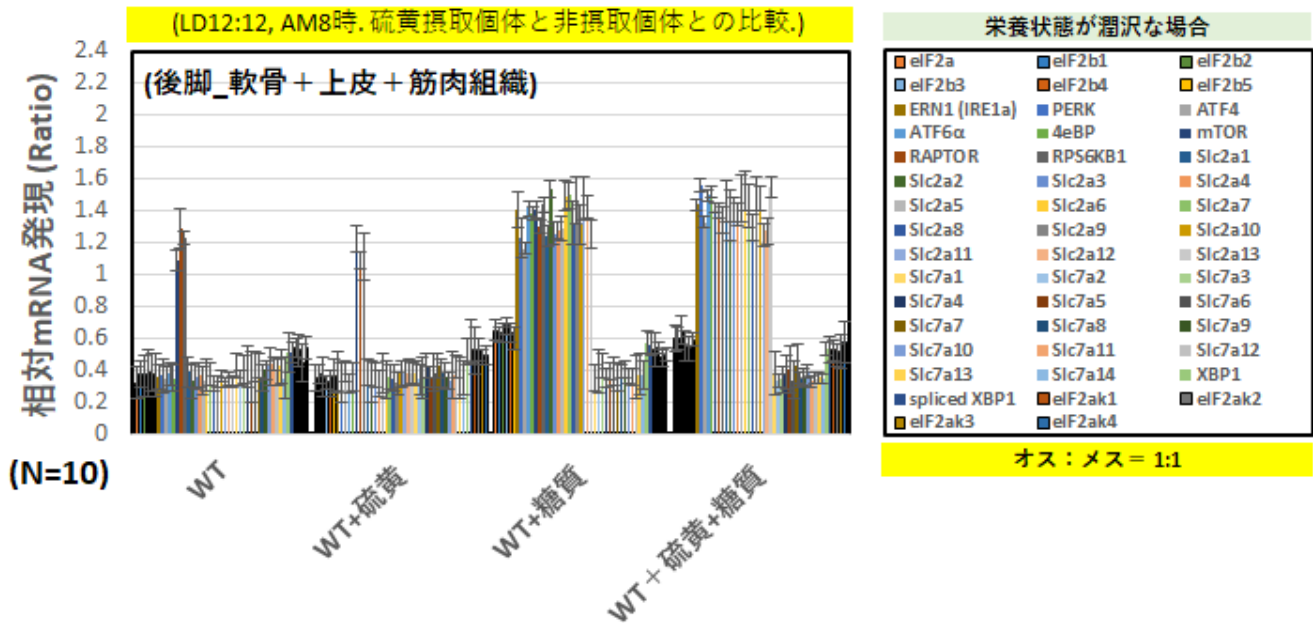
栄養状態が潤沢な場合



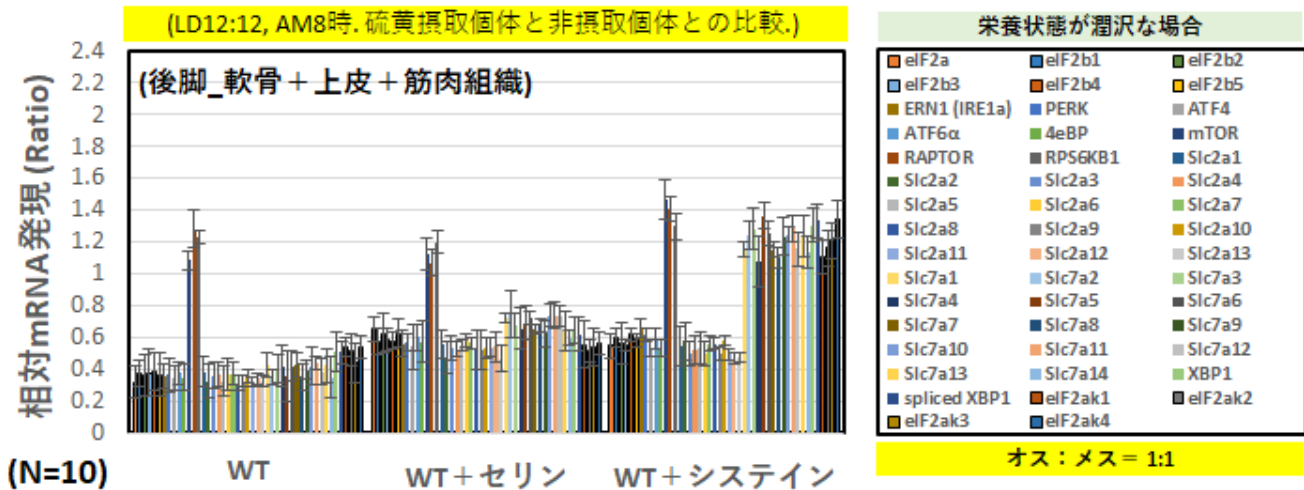
オス:メス = 1:1

結果 14-21-5: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-5

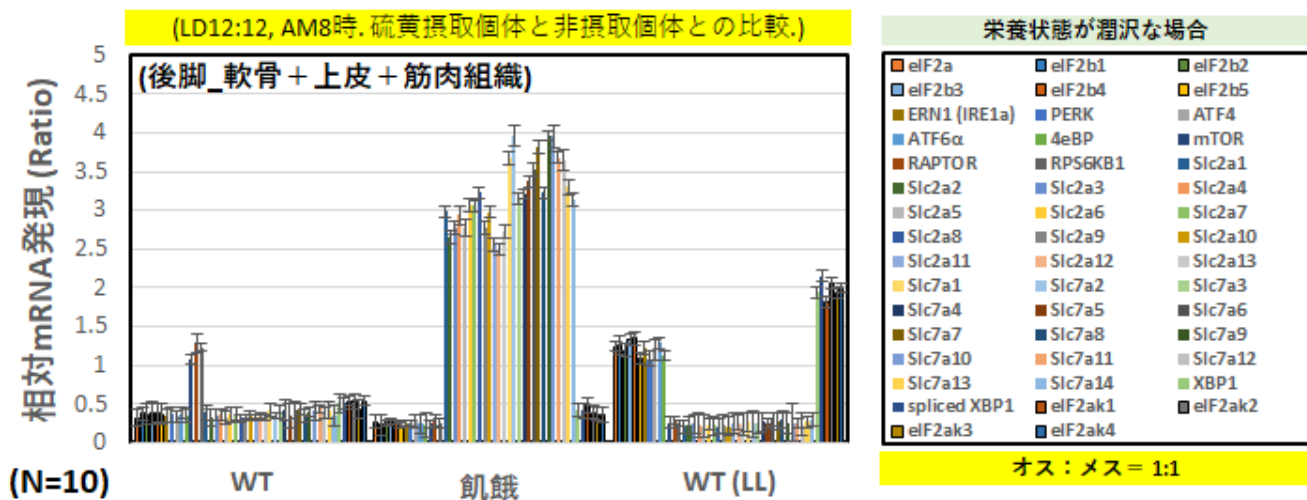
硫酸化菌を持たないMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



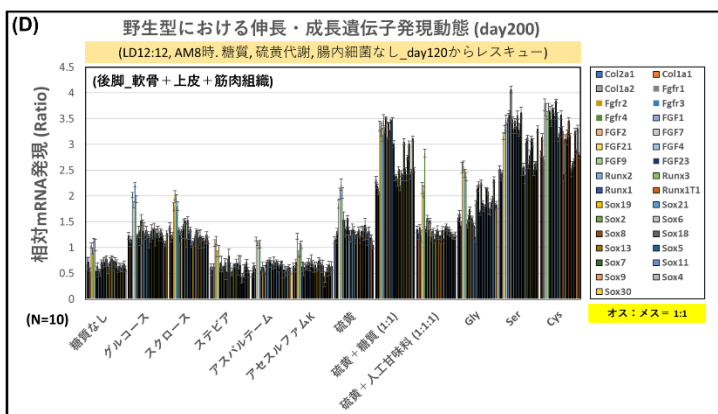
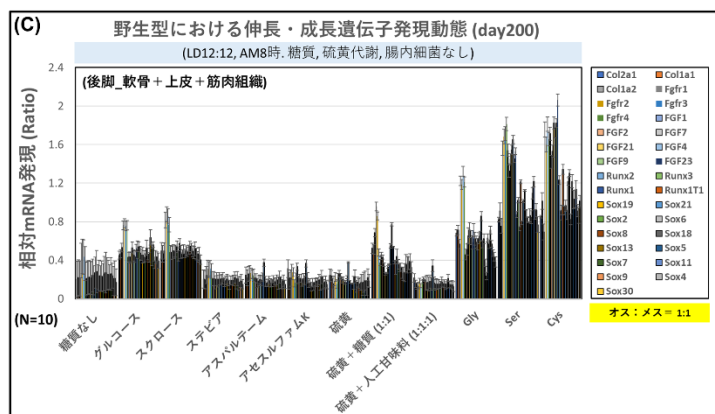
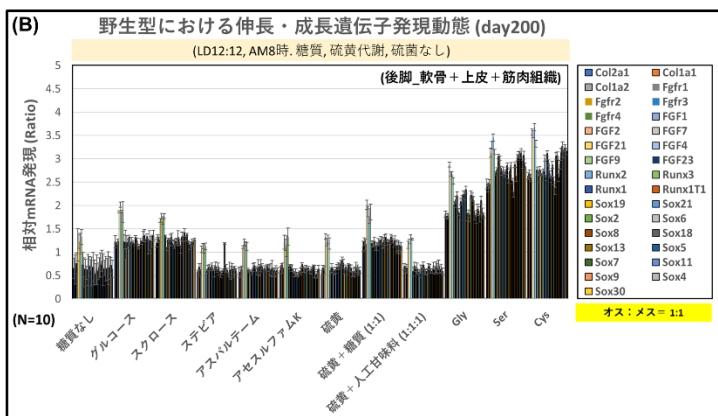
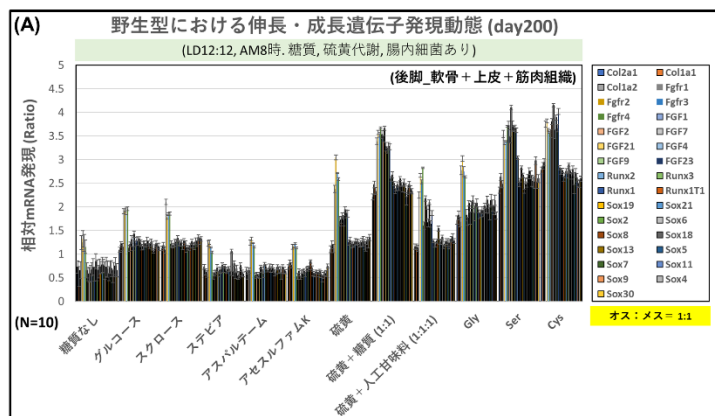
硫酸化菌を持たないMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



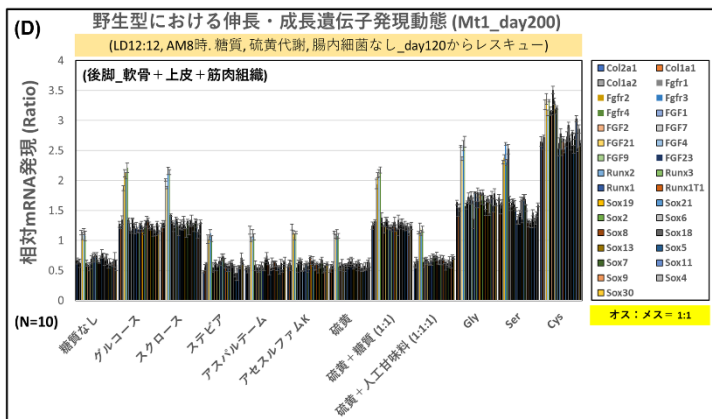
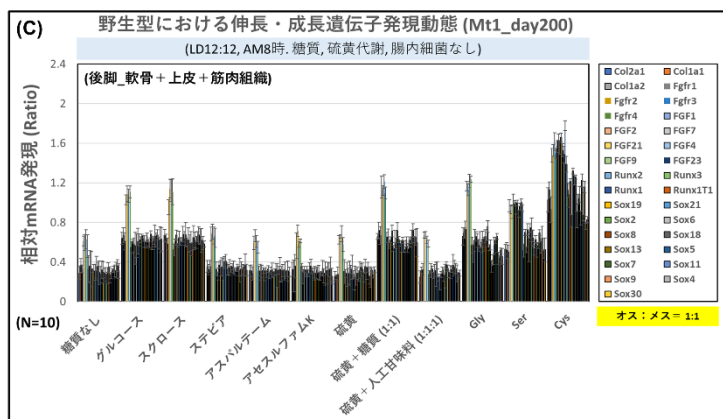
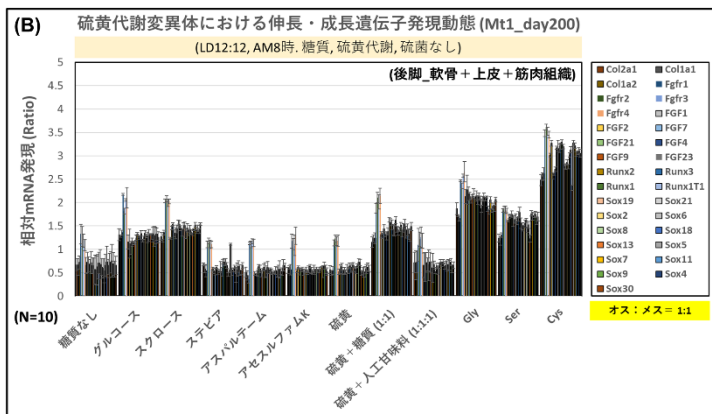
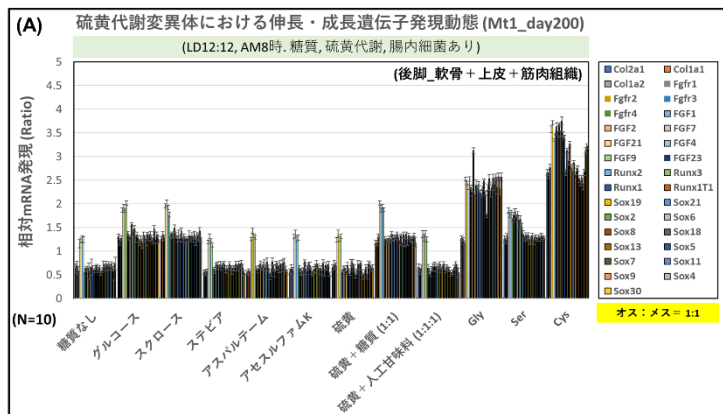
硫酸化菌を持たないMt2個体における eIF2 関連発現動態 (day200)



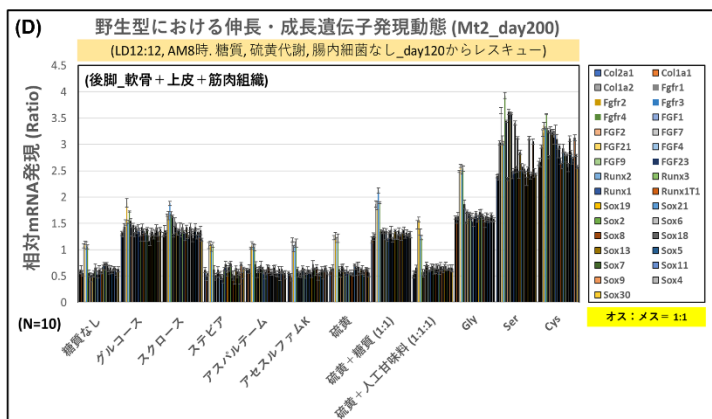
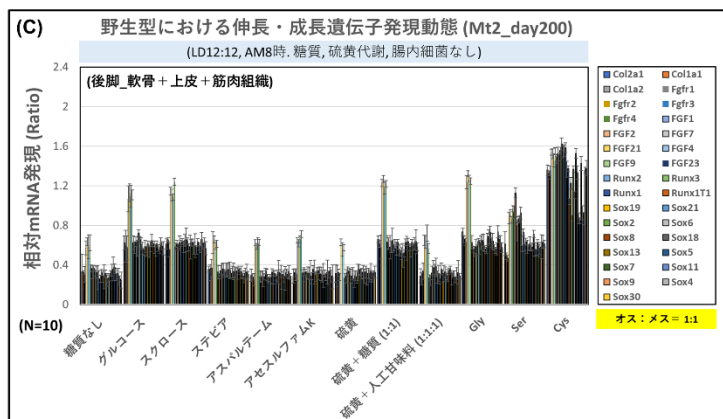
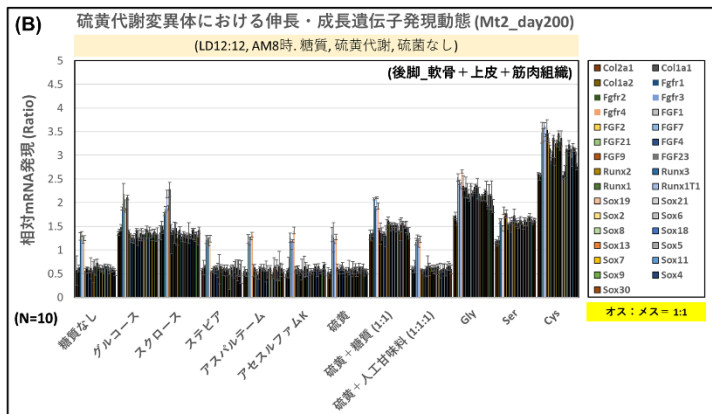
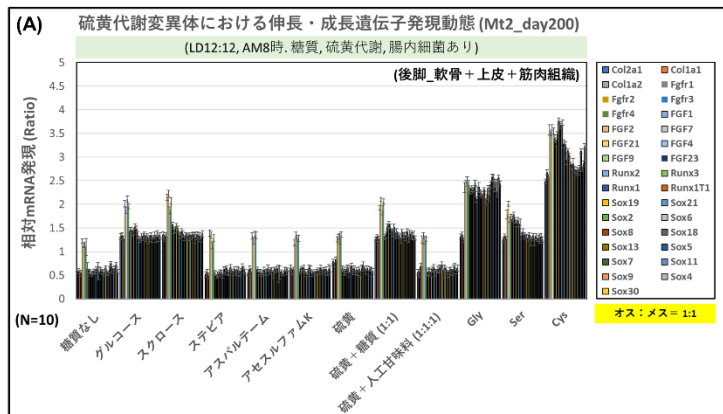
結果 14-21-6: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 3-6



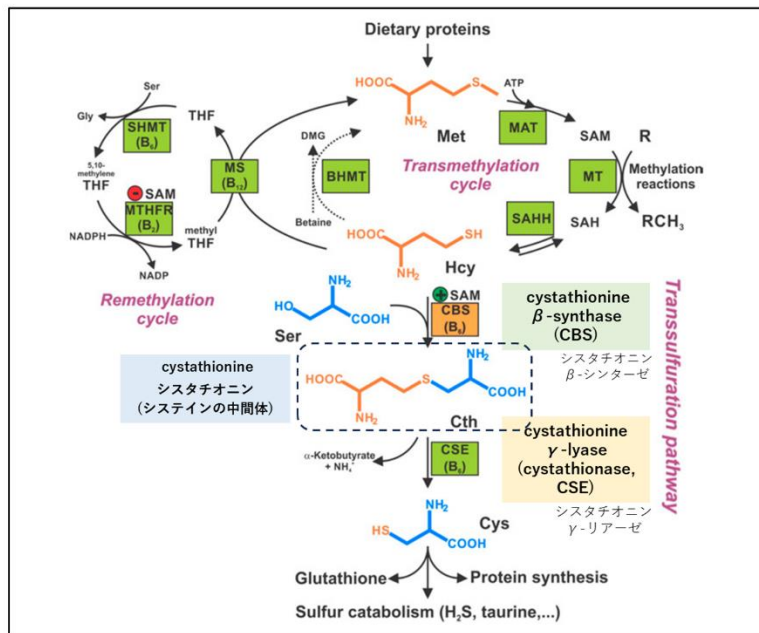
結果 14-22: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 4



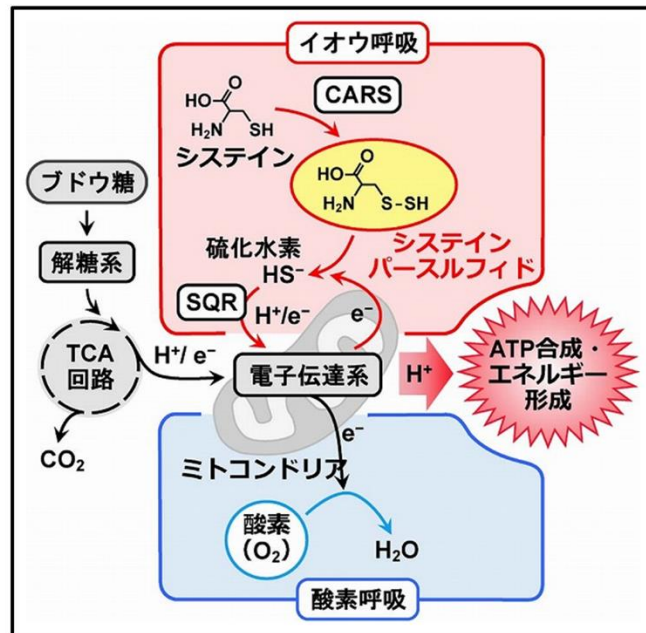
結果 14-23: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 5



結果 14-24: 成長因子・炎症応答因子 等の発現動態 (および 腸内細菌叢との相関関係) 6



Cystathionine-β-synthase: Molecular Regulation and Pharmacological Inhibition - PMC (nih.gov)

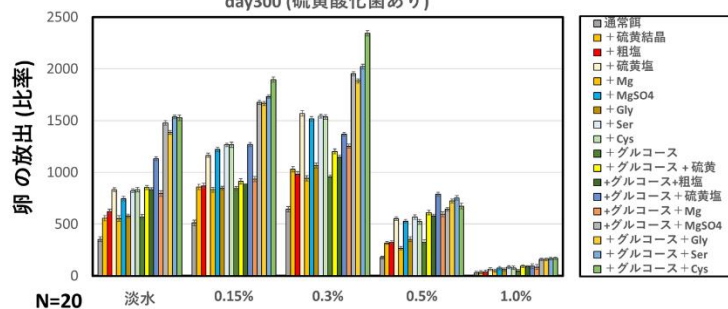


化学と生物 - 日本農芸化学会 - | Vol.56 No.8 | 活性イオウ分子 : システインパースルフィドの新規生成経路の発見とその生理機能 (jsbba.or.jp)

妊性 (野生型_day300)

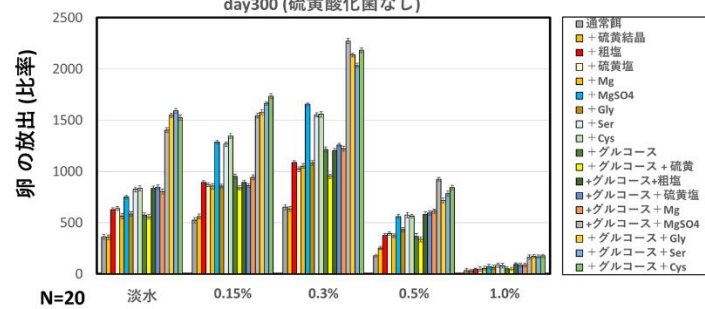
(A) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃で産卵誘導)

day300 (硫黄酸化菌あり)



(B) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃で産卵誘導)

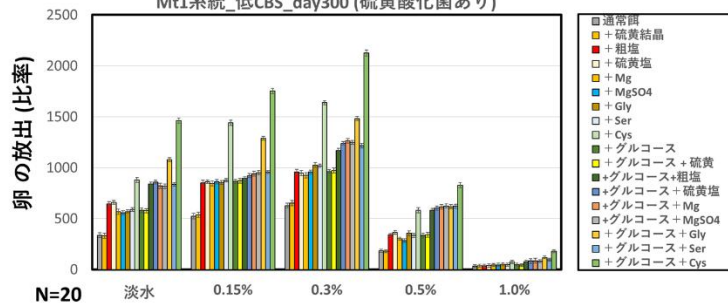
day300 (硫黄酸化菌なし)



妊性 (Mt1系統_低CBS_day300_硫黄酸化菌あり)

(C) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃で産卵誘導)

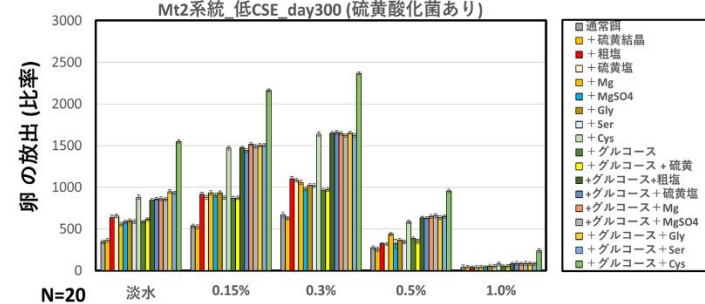
Mt1系統_低CBS_day300 (硫黄酸化菌あり)



妊性 (Mt2系統_低CSE_day300_硫黄酸化菌あり)

(D) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃で産卵誘導)

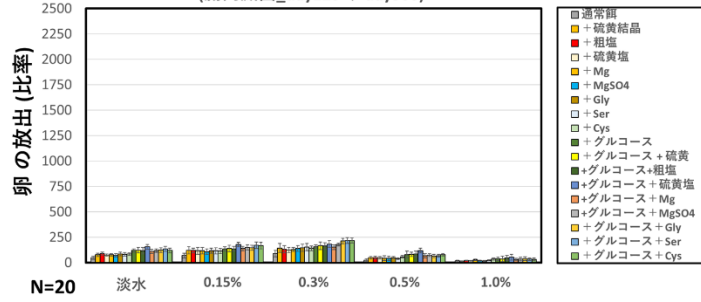
Mt2系統_低CSE_day300 (硫黄酸化菌あり)



結果 15-1: 硫黄酸化菌の制御を実施した個体における妊性 1

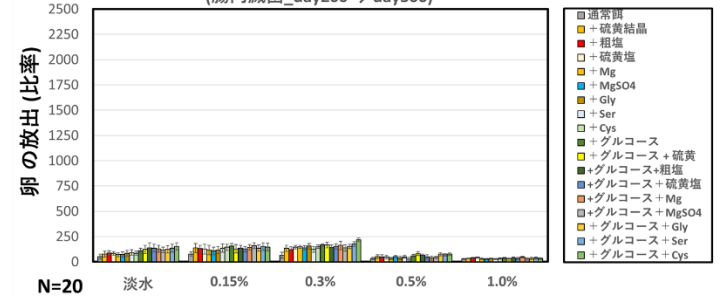
妊性 (腸内減菌_day120 → day300)

(A) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(腸内減菌_day120 → day300)



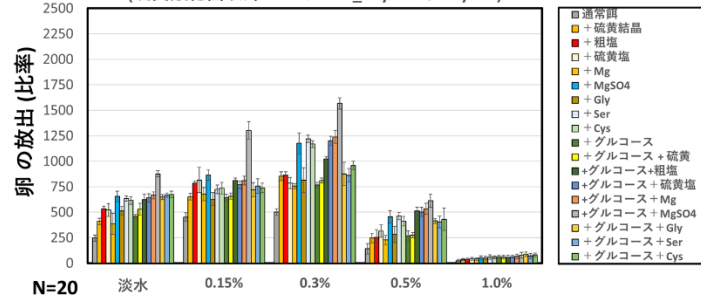
妊性 (腸内減菌_day200 → day300)

(B) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(腸内減菌_day200 → day300)



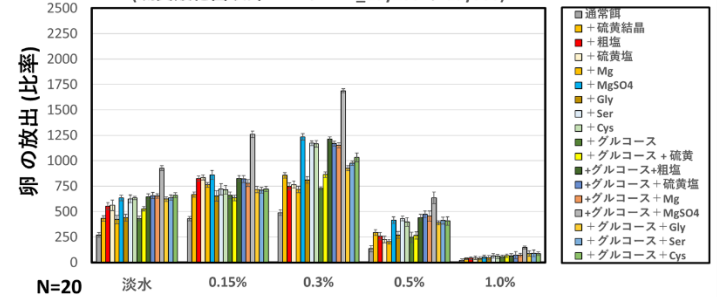
妊性 (硫黄酸化菌以外レスキュー_day120 → day300)

(C) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(硫黄酸化菌以外レスキュー_day120 → day300)



妊性 (硫黄酸化菌以外レスキュー_day200 → day300)

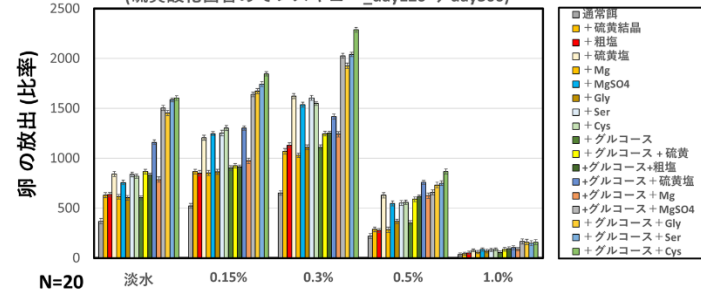
(D) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(硫黄酸化菌以外レスキュー_day200 → day300)



妊性 (硫黄酸化菌レスキュー_day120 → day300)

※ 硫黄酸化菌を持つ個体の糞投与

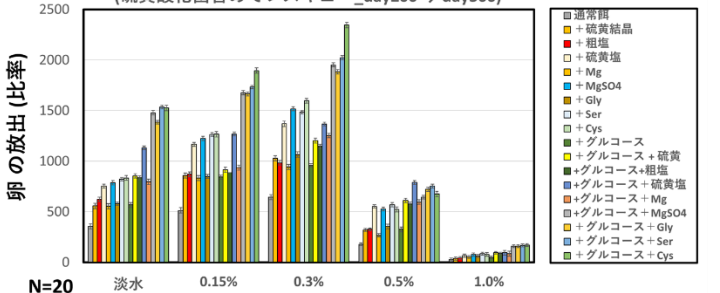
(E) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(硫黄酸化菌含めてレスキュー_day120 → day300)



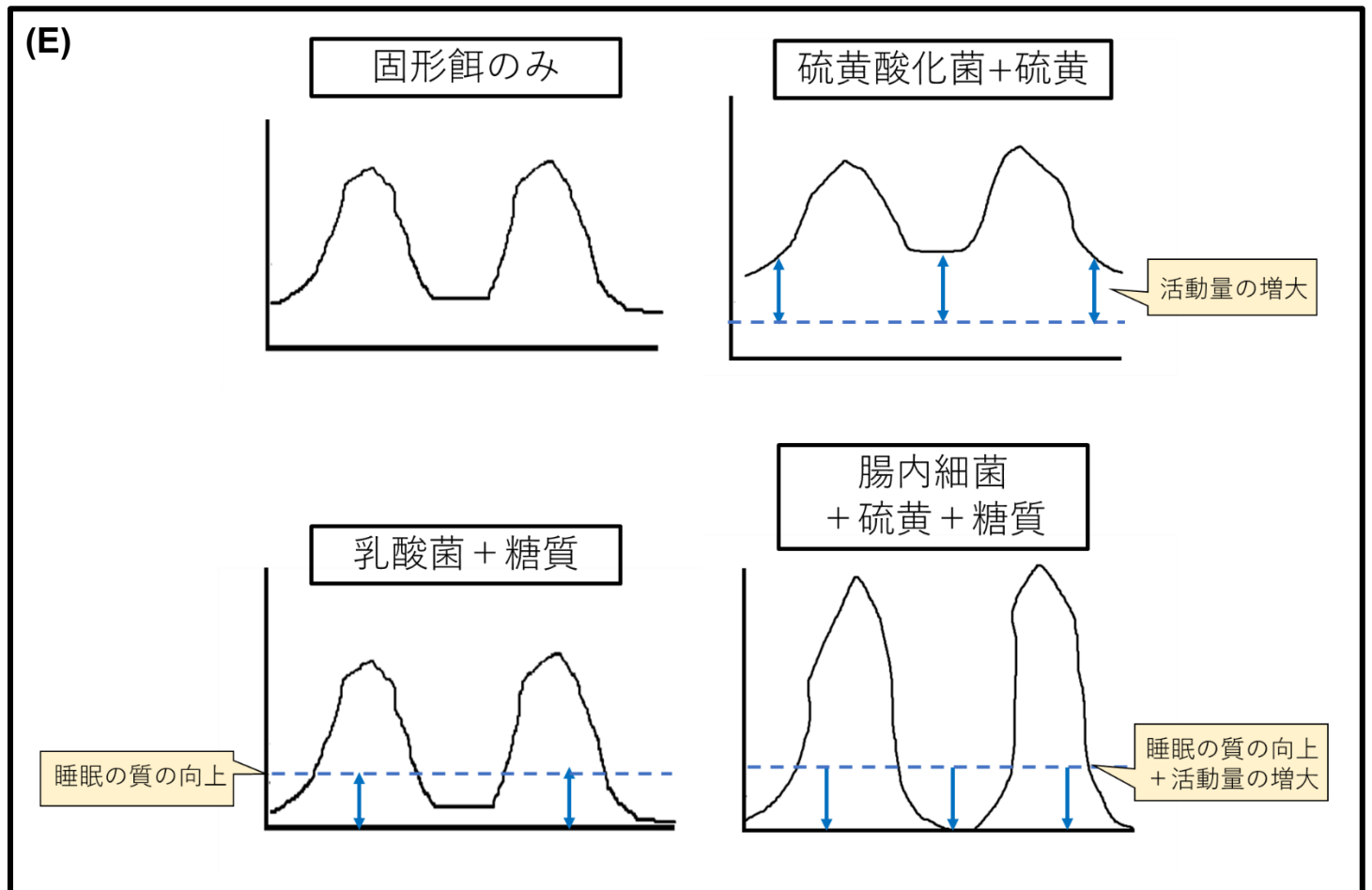
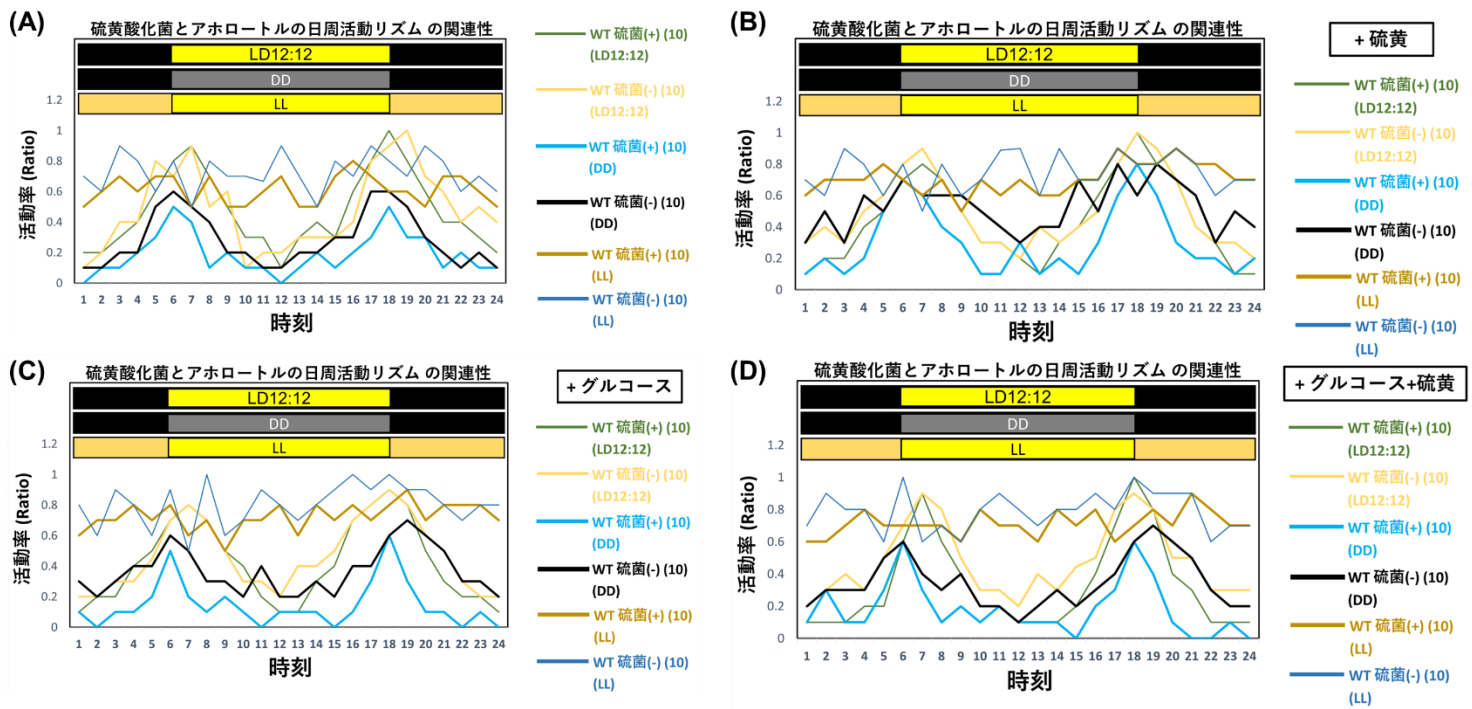
妊性 (硫黄酸化菌レスキュー_day200 → day300)

※ 硫黄酸化菌を持つ個体の糞投与

(F) 産卵と塩ストレスの相関 (20℃→10℃ で産卵誘導)
(硫黄酸化菌含めてレスキュー_day200 → day300)



結果 15-2: 硫黄酸化菌の制御を実施した個体における妊性 2

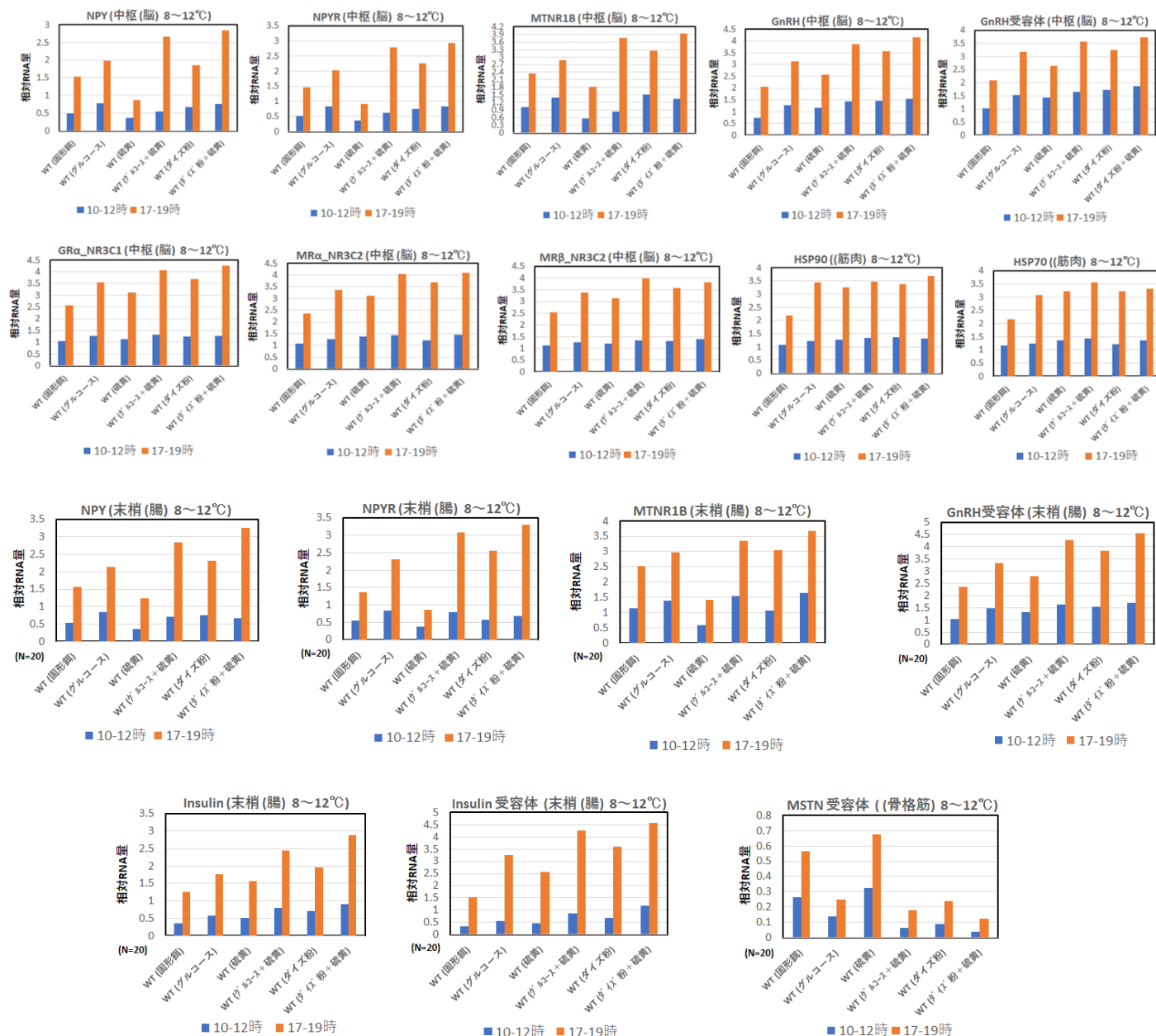


結果 16-1: 体内時計 (+概日リズム)

グルコースの摂取によって、腸内乳酸菌の効果で睡眠の質が向上する。

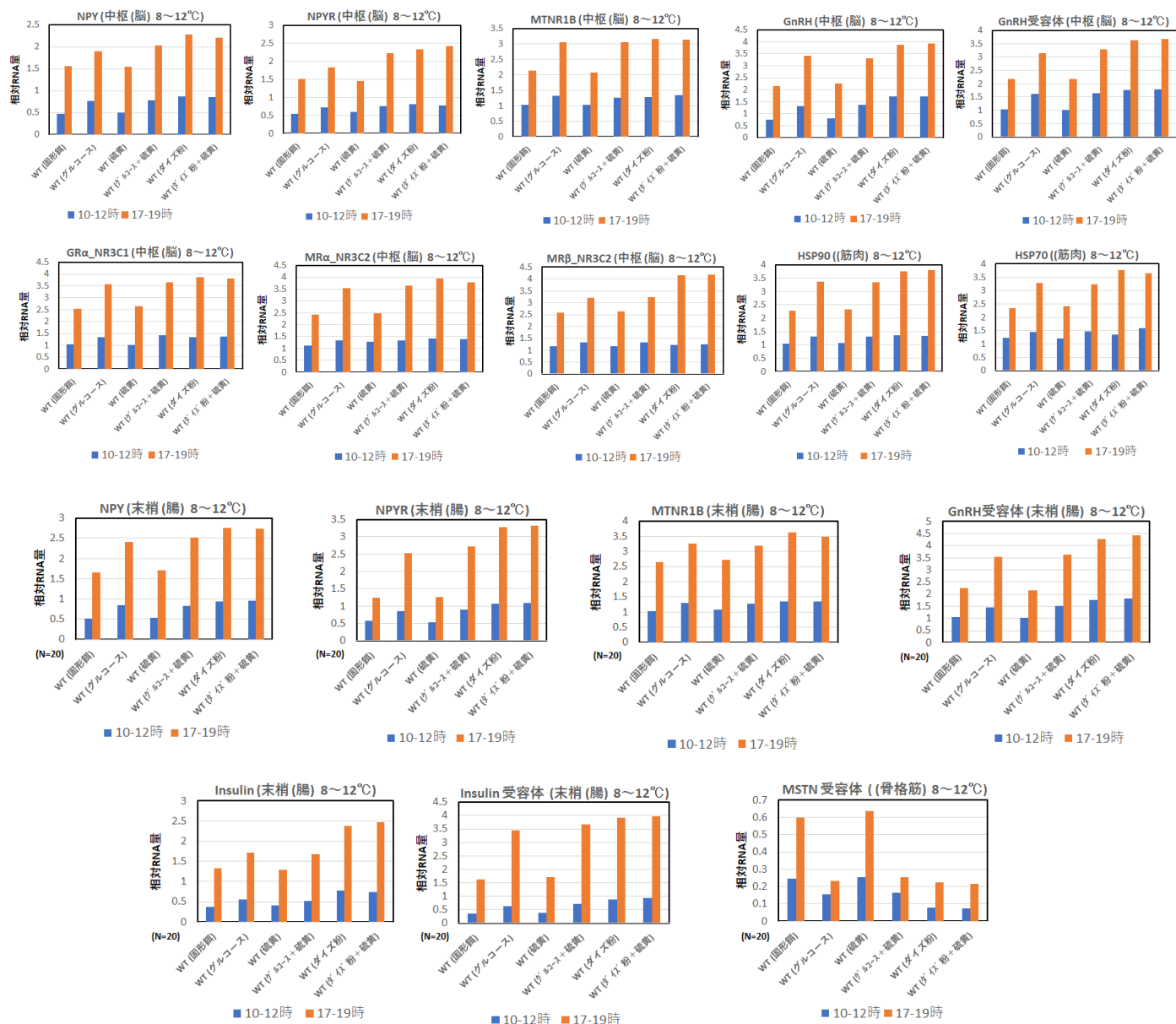
硫酸酸化菌の効果で硫黄呼吸を行える個体は、活動時間帯における活動量が増大する。

→ 併せ技で、成長因子の発現量が亢進されて成長が活性化され、筋肉量が増大する？



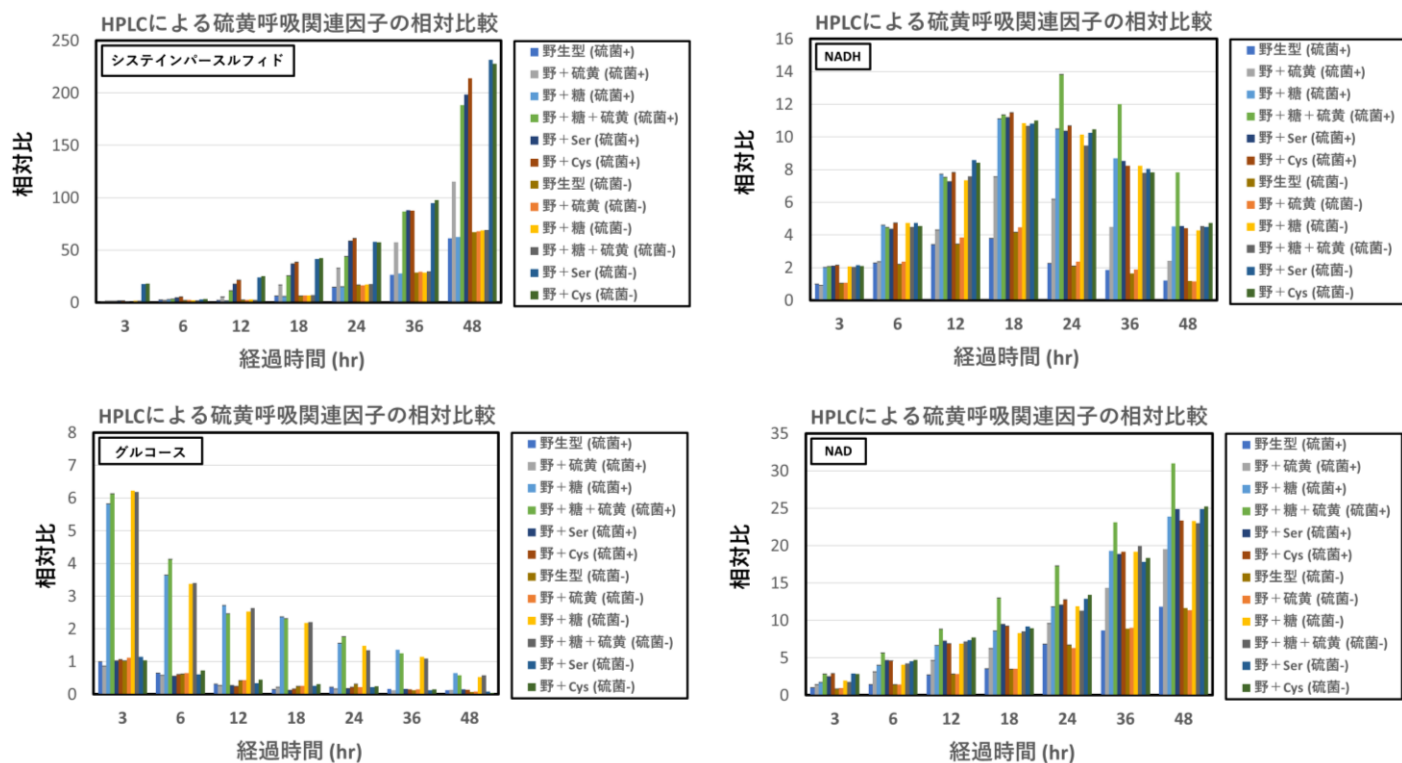
結果 16-2: 体内時計+筋肉 (+NPY など 概日リズムの関連因子)-1

day300 硫黄酸化菌(+), LD12:12



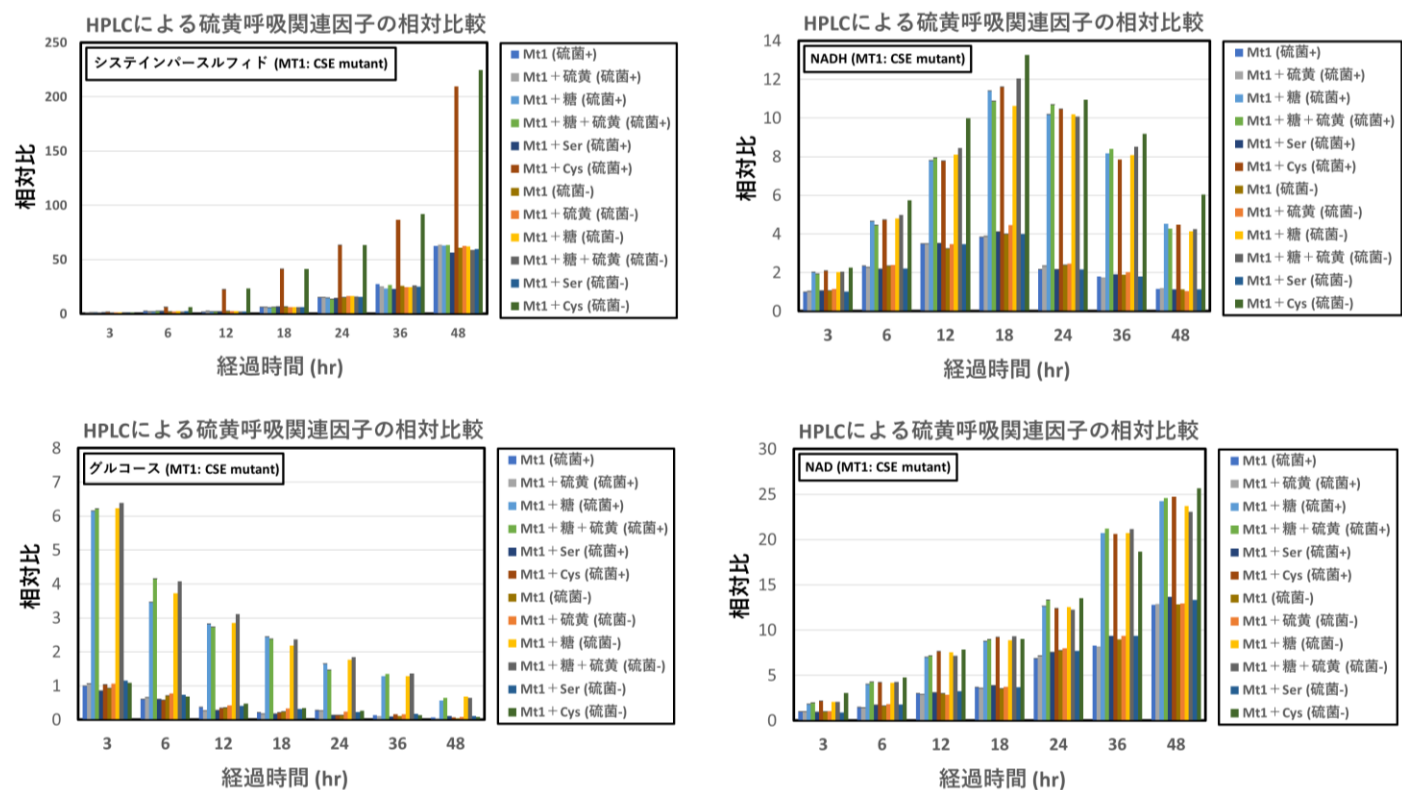
結果 16-3: 体内時計+筋肉 (+NPY など 概日リズムの関連因子)-2
day300 硫黄酸化菌(-), LD12:12

(A) 野生型における血中に含まれる硫黄代謝・糖代謝に関連する産物



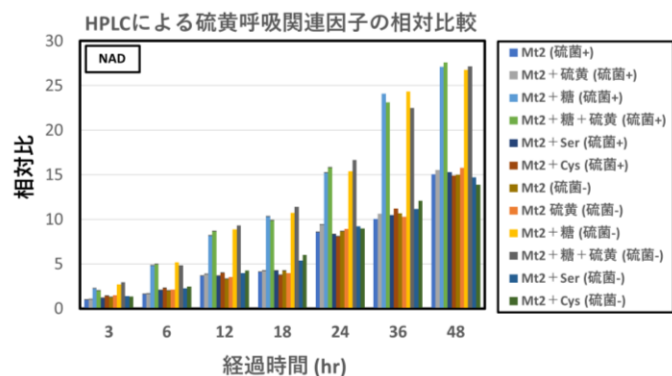
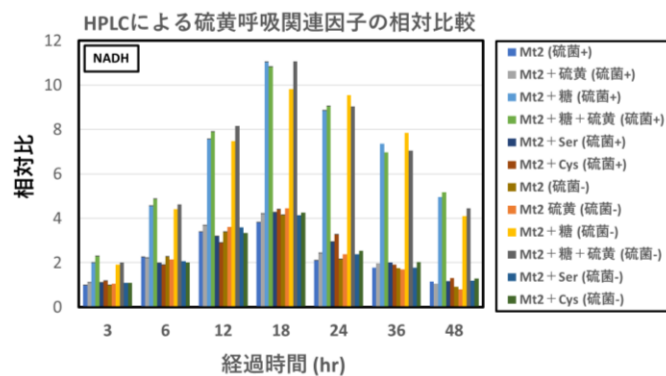
結果 17-1: HPLC による硫黄呼吸関連因子の相対比較-1 (N=10)

(B) Mt1 変異体 (低 CBS 変異体) における血中に含まれる硫黄代謝・糖代謝に関連する産物



結果 17-2: HPLC による硫黄呼吸関連因子の相対比較-2 (N=10)

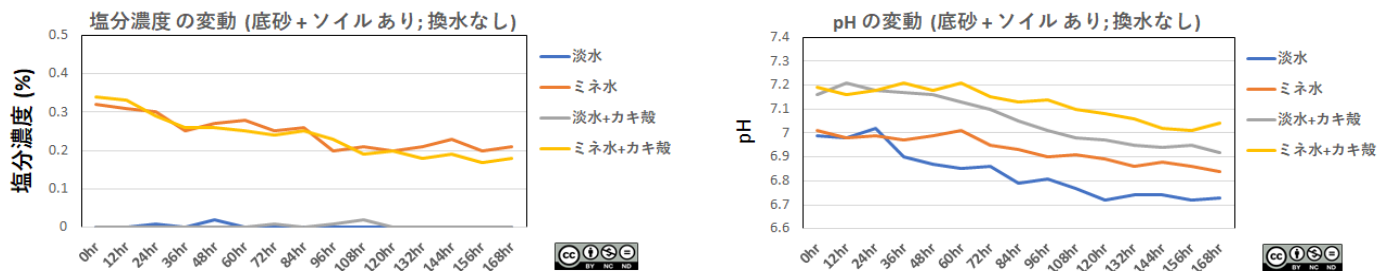
(C) Mt2 変異体 (低 CSE 変異体) における血中に含まれる硫黄代謝・糖代謝に関連する産物



結果 17-3: HPLC による硫黄呼吸関連因子の相対比較-3 (N=10)

以下、”[\(まとめ\) ウパルパに良い水質や治療情報・病気の再発リスクなど \(杉山 遥, 2023\)](#)” より抜粋。

ソイル・砂が入っていると、それらの吸着効果から、塩分濃度が時間経過と共にある程度低下することで、マイルドな効果になっているというメリットがあることが明らかになっている。



特に、底砂の主成分であるゼオライトにはイオン交換作用があり、既に底砂に吸着されたアンモニウムイオン (NH_4^+) と新たに加えたミネ水中で塩が水に溶けて生じたナトリウムイオン (Na^+) の交換反応が起こることで、水質が一時的に悪化することがあるため、ミネ水での飼育の際はこまめな水替え (週 1~2 回) を実施するか、同日に半量水替え後から数分~数時間後に再度全量換水するとより水質を安定に保つ事が可能である。

また、ミネ水条件下では、淡水条件と比較して pH の低下 (酸化) も緩和されることが明らかになっている。

note 記事 (https://note.com/lab_new2/n/n00721bcab68e)

ミネ水飼育に関する検証動画: 当ラボメンバー あすみ 悠 氏による検証報告 (YouTube 動画):
<https://www.youtube.com/watch?v=xDMi3p90xYA>

参照: 濾材の吸着特性について (主にゼオライト・イオン交換反応関連)

- <https://t-aquagarden.com/column/zeolites>
- https://nuce.aesj.or.jp/_media/clwt:2_吸着データ_ゼオライト_4.28.pdf
- <https://www.aquarium-favorite.com/entry/zeolite/>
- <https://kingsbiscuit.exblog.jp/31117762/>
- <https://horti.jp/26045>

補足図 12: 汽水飼育時における底砂・底材への Na^+ 吸着の影響

(底砂・底材に Na^+ が吸着され、水中の汽水濃度は 0.3% ならば 0.2% 程度まで徐々に低下していく.)

以下、”[ウパルパ 飼育水槽の濾過環境と水質管理・維持について \(杉山 遥, 2023\)](#)” より抜粋。

金属イオン (濾剤や水中に含まれ、生体や濾過バクテリアの生命活動に利用される。)

・ Na^+ : ナトリウムイオン ・ K^+ : カリウムイオン ・ Ca^{2+} : カルシウムイオン ・ Mg^{2+} : マグネシウムイオン

濾材・床材(多孔子)

濾材表面の孔子の中で、前述の濾過バクテリア類が生息し、窒素源の濾過を行う。

また、無機成分がごく少量水中へと溶出し、水のミネラル含有率≒硬度 (KH, GH) を少し上昇させる作用を持つ。

・ゼオライト (沸石; 化学式 $\text{Mn}+1/n(\text{AlO}_2)-(\text{SiO}_2)_x \cdot y\text{H}_2\text{O}$)

規則的なチャンネル(管状細孔)とキャビティ(空洞)を有する剛直な陰イオン性の骨格からなるアルカリまたはアルカリ土類金属を含む含水アルミノケイ酸塩類全般を指す。以下の優先順位で陽イオンを吸着する作用がある。

組成: (アルカリ性; 組成: ケイ素 Si、アルミニウム Al、鉄 Fe、カルシウム Ca、カリウム K、ナトリウム Na、マグネシウム Mg、マンガン Mn)

■陽イオン交換優先順位 (ゼオライト)

$\text{Cs} \rightarrow \text{Rb} \rightarrow \text{K} \rightarrow \text{NH}_4 \rightarrow \text{Ba} \rightarrow \text{Sr} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Al} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Li}$

交換優先順位からナトリウム (Na) よりも、アンモニウムイオン (NH_4) を優先的に吸着することが分かります。

・ソイル (黒土, 赤土)

- 黒土: 弱酸性の土壌。

組成: 火山灰 (ケイ素 Si、アルミニウム Al など) + 枯れた植物 (タンパク質、炭水化物、脂質、葉緑素に含まれる ヨウ素 I)

- 赤土: 弱酸性～弱アルカリ性 の土壌。

組成: 火山灰 (塩素イオン Cl^- 、硝酸イオン、亜硝酸イオン、硫酸イオン SO_4^{2-} 、重炭酸イオン HCO_3^- 、

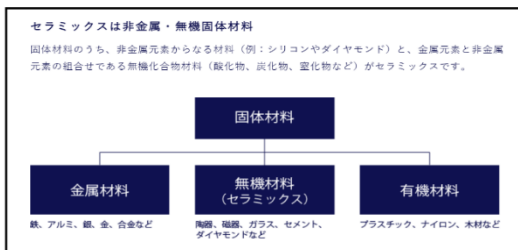
アンモニウムイオン NH_4^+ 、鉄 Fe、カルシウム Ca、カリウム K、ナトリウム Na、マグネシウム Mg)

・セラミック製リング濾材; 表面に多くの孔子があり、濾過バクテリアや汚れの吸着効果等を持つ濾材 (例は右下)。

セラミックス: 非金属・無機固体材料全般 (いわゆる陶磁器などの焼き物もセラミックスに含まれる)

・牡蠣殻・貝殻; 主成分は炭酸カルシウム (CaCO_3)

作用: セラミック同様、表面に多くの孔子があり、濾過バクテリアや汚れ・無機イオンの吸着効果等を持つ。



セラミックスの特徴

金属・プラスチックと比べて…

- ・硬くてもろい・摩耗しにくい
- ・耐熱性がある
- ・腐食に強い

組成: 90%以上が炭酸カルシウム (CaCO_3)、窒素 N_2 0.09%, リン酸 H_3PO_4 0.1%, カリウム K 0.03%, マグネシウム Mg 0.2%, 珪酸 Si 0.48%, 鉄 Fe 1,750ppm 等

・活性炭; 石炭やヤシ殻などの炭素物質を原料とし、高温でガスや薬品と反応させて作られる網目状の微細孔 (直径 $10 \sim 200 \text{\AA}$ ※ $10 \text{\AA} = 1 \text{nm}$, 壁の表面積 $(500 \sim 2500 \text{ m}^2/\text{g})$)を持つ炭素の総称。

作用: 活性炭は、水道水中の塩素、アンモニア性窒素、界面活性剤 (陰イオンを生じるタイプ)、農薬等に含有される水中の有害物質や悪臭 (臭気物質等) を吸着・除去し、水の濁りを低減させて水を透明にする。

組成: 90%以上が炭素。一部の炭素は、酸素・水素との化合物となっている。また、灰分は原料固有の成分で

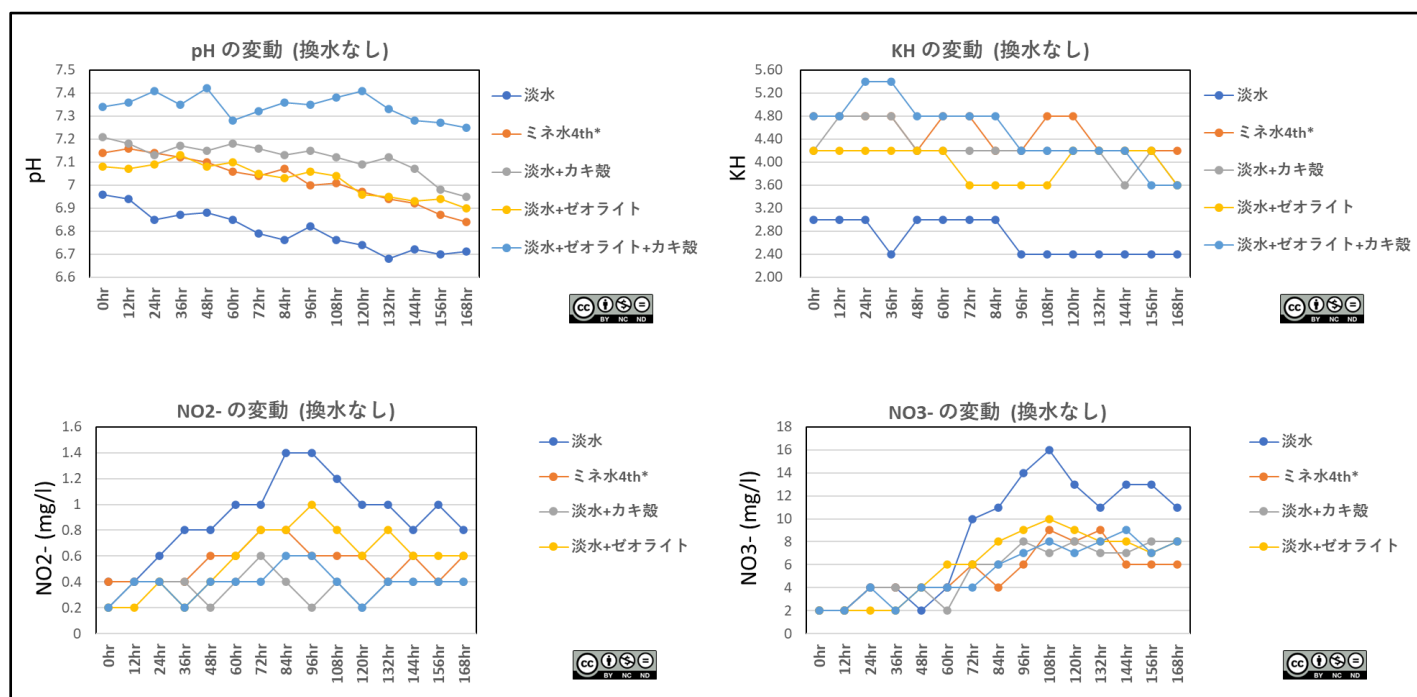
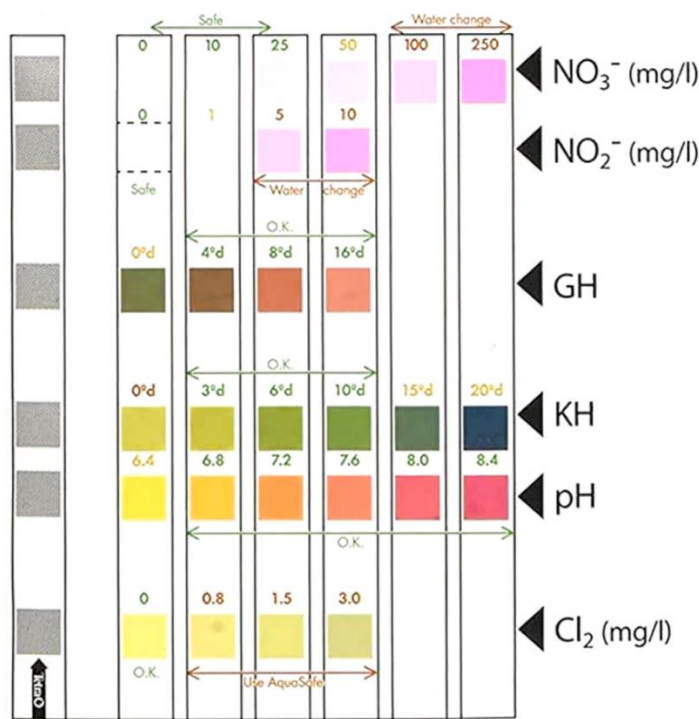
濾過方法・フィルター

- ・ 外部フィルター: 外部のタンク状の構造の中で、物理的なフィルター濾過と生息している微生物による生物濾過を並行可能。
- ・ 上部フィルター: 上部設置型のフィルター。原理は外部式と類似であるが、濾過力は外部式と比較するとやや劣る。
- ・ 投げ込み式フィルター: 所謂ブクブク。安価で設置は楽であるが、濾過効果は限定的。ウパルパに対しては濾過不足。

ハルラボ式の水槽構成における水質変化に関する調査結果

本項では、当ラボの推奨している飼育水槽の構成および飼育水における水質の変動について調査を行った結果について示す。

検討の結果、汽水飼育やカキ殻でも一定の pH・GH の維持効果があるが、ゼオライトと併用することでより高い効果が得られた。



補足図 13: 水質試験紙（テトラ 6 in 1）による飼育水槽の水質変化の調査

調査数: $N = 5$ ずつ.

水替え後 12hr 後から測定開始 (水が綺麗な状態から開始)

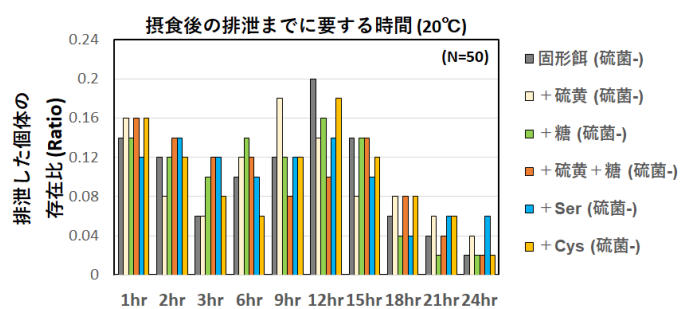
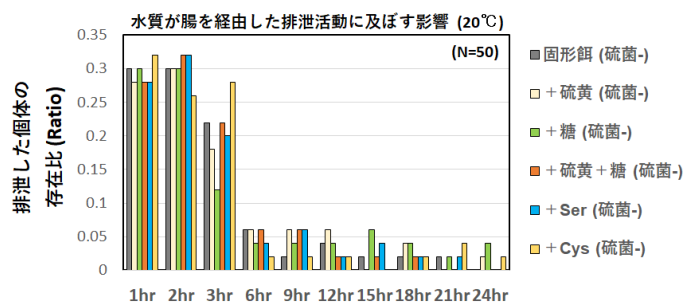
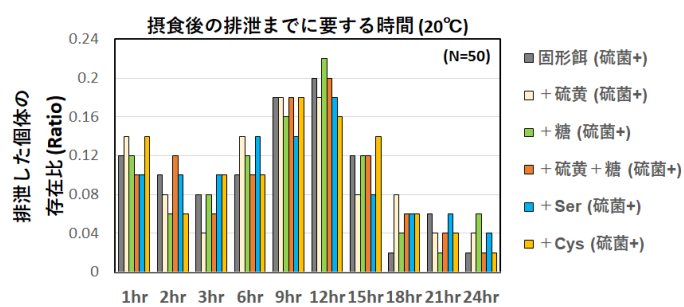
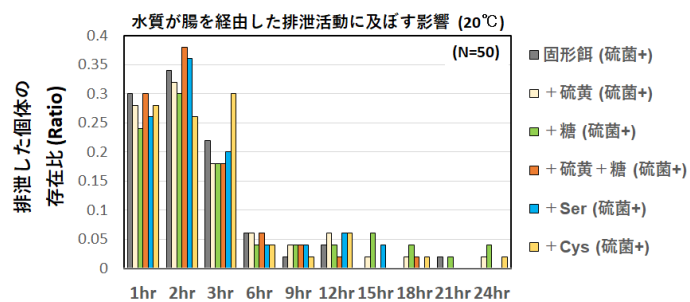
替水無で、7日間、上記の数値変動を測定・定量した。

" *ミネ水 4th: Na, K, Mg. Ca = 1:1:1:1 (0.3%) "

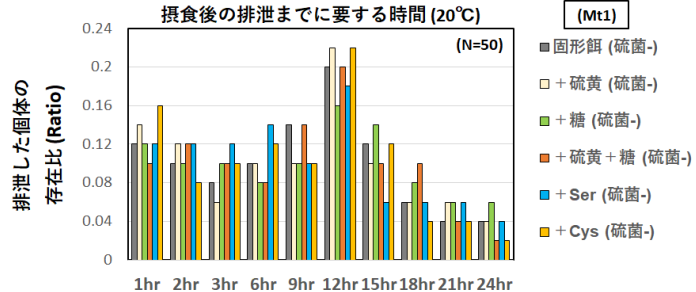
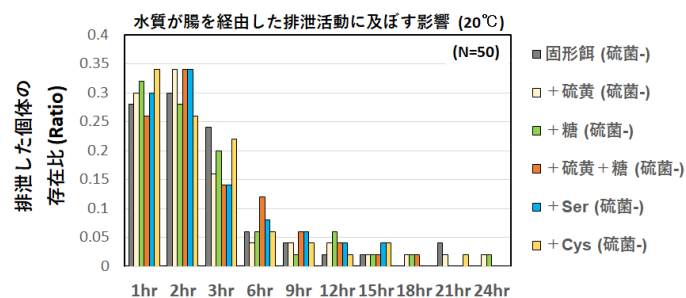
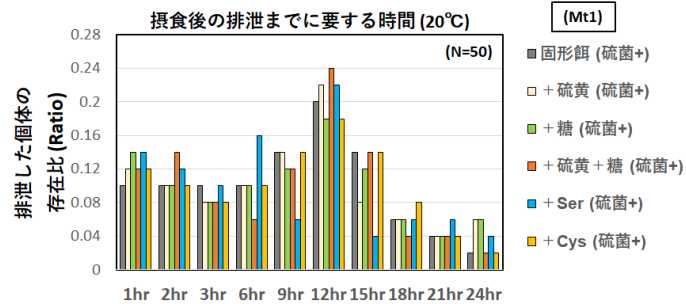
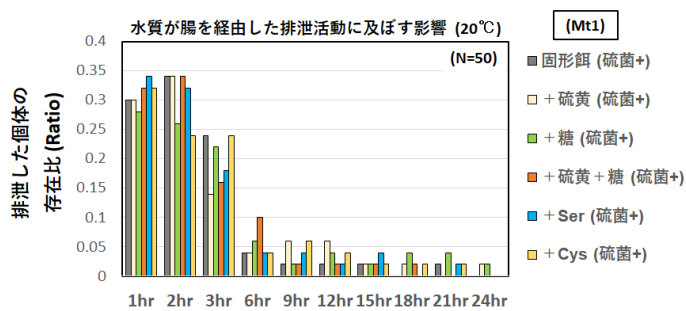
水温: 18~20℃, 水槽: GEX マリーナ 60.0cm 水槽

飼育: 生体 (12~15cm) x 2 匹

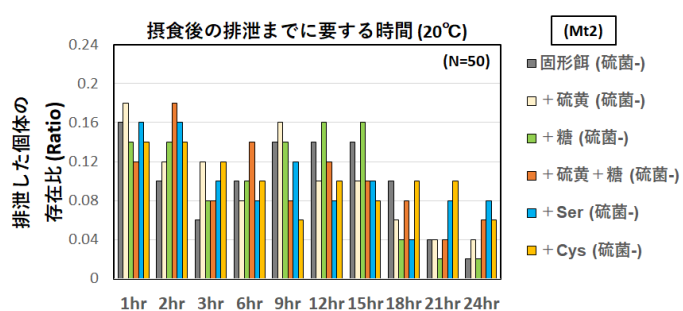
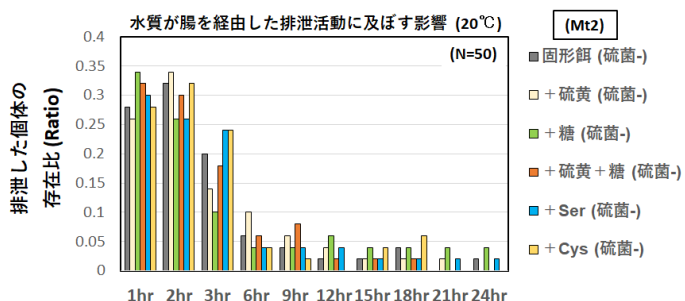
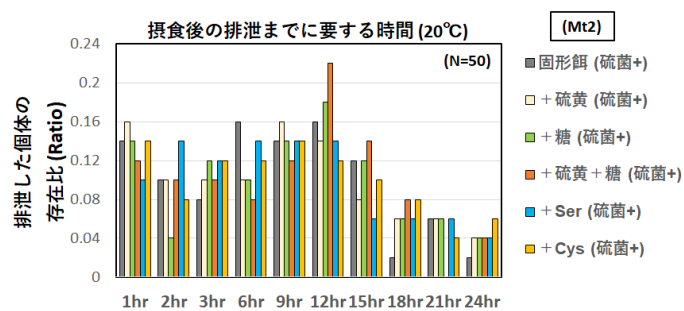
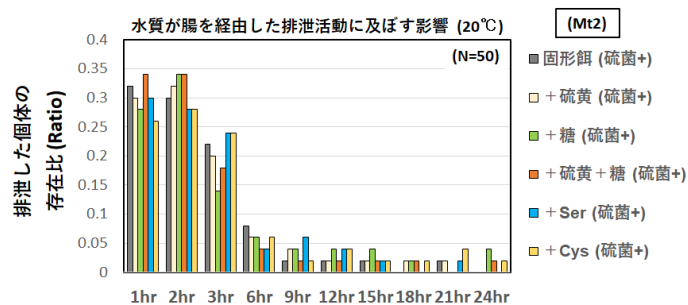
ベアタンク + 外部フィルター (GEX メガパワー6090)



補足図 14-1: 硫黄酸化菌と排泄頻度 1

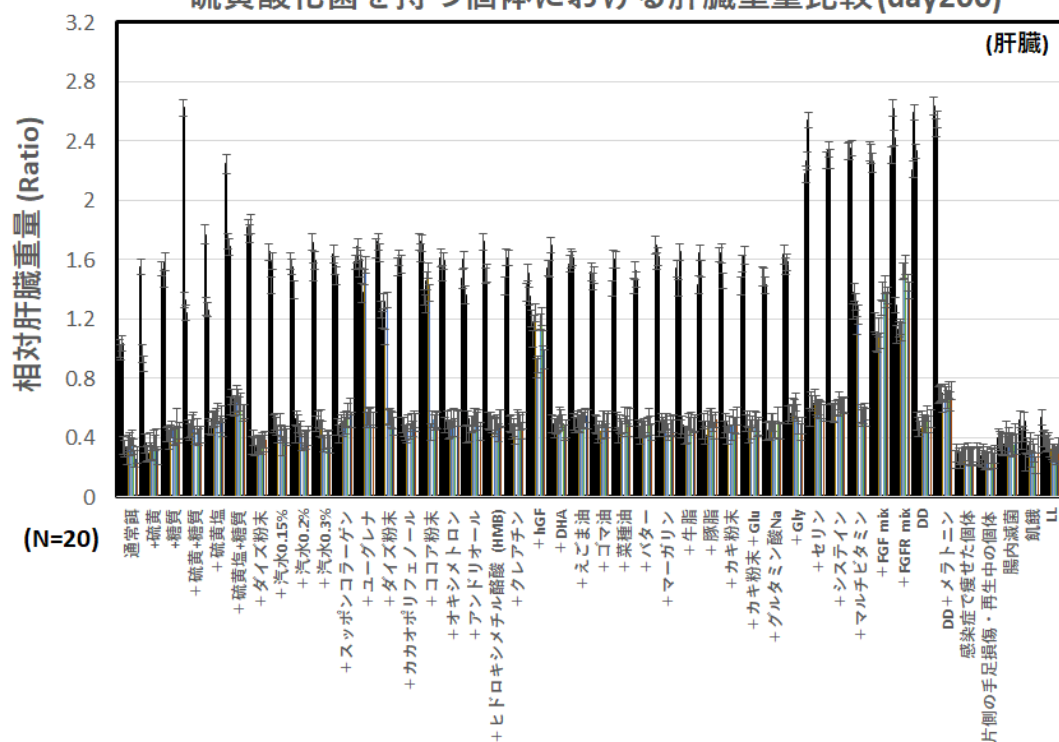


補足図 14-2: 硫黄酸化菌と排泄頻度 2



補足図 14-3: 硫黄酸化菌と排泄頻度 3

硫黄酸化菌を持つ個体における肝臓重量比較 (day200)

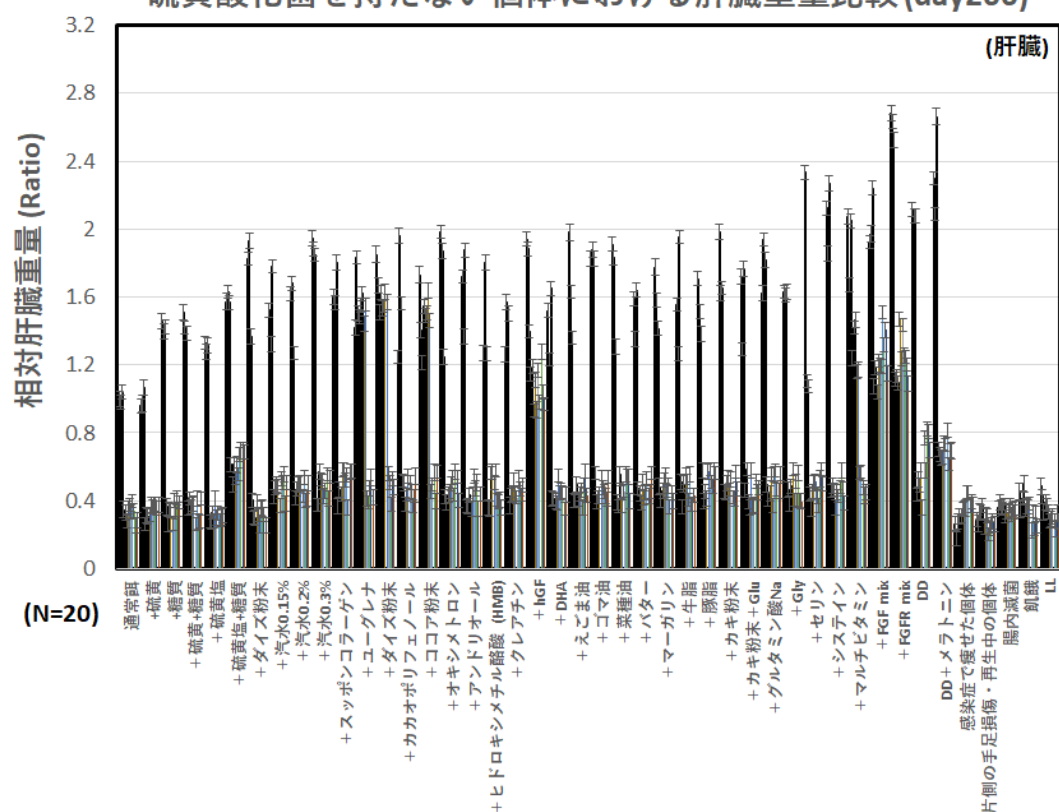


栄養状態が潤沢な場合

- WT
- Sulfur Respiration (CBS-)_Mt1
- Sulfur Respiration (CSE-)_Mt2
- Vitamin_Mt1
- Vitamin_Mt2
- Vitamin_Mt3
- Vitamin_Mt4
- Vitamin_Mt5
- Col_SB_Mt1
- Col_SB_Mt2
- Col_SB_Mt3
- Col_SB_Mt4
- Col_SB_Mt5

オス：メス = 1:1

硫黄酸化菌を持たない個体における肝臓重量比較 (day200)



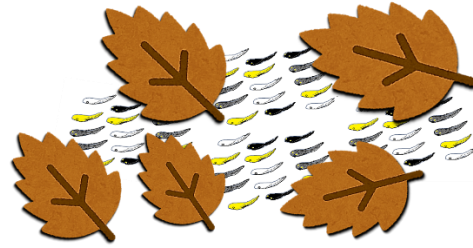
栄養状態が潤沢な場合

- WT
- Sulfur Respiration (CBS-)_Mt1
- Sulfur Respiration (CSE-)_Mt2
- Vitamin_Mt1
- Vitamin_Mt2
- Vitamin_Mt3
- Vitamin_Mt4
- Vitamin_Mt5
- Col_SB_Mt1
- Col_SB_Mt2
- Col_SB_Mt3
- Col_SB_Mt4
- Col_SB_Mt5

オス：メス = 1:1

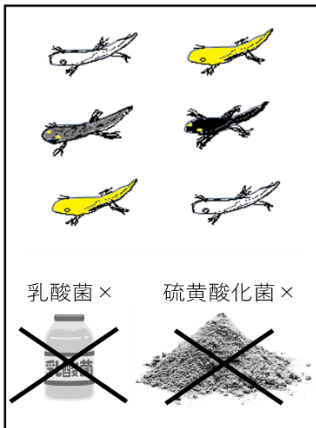
補足図 14-4: 硫黄呼吸を行う個体における肝臓重量の比較

出生時～手脚が生えるまで (体長 0.5～2.0cm)



木や葉の陰で集団生活し、
動物プランクトンを食べて成長する。
周辺の環境から底砂を摂取し、
腸内フローラを整え始める。

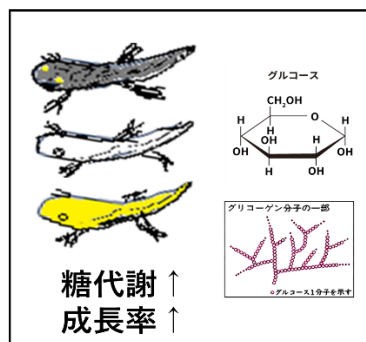
ある程度の大きさまで育ってから (体長 3.0～7.0cm)



成長遅延

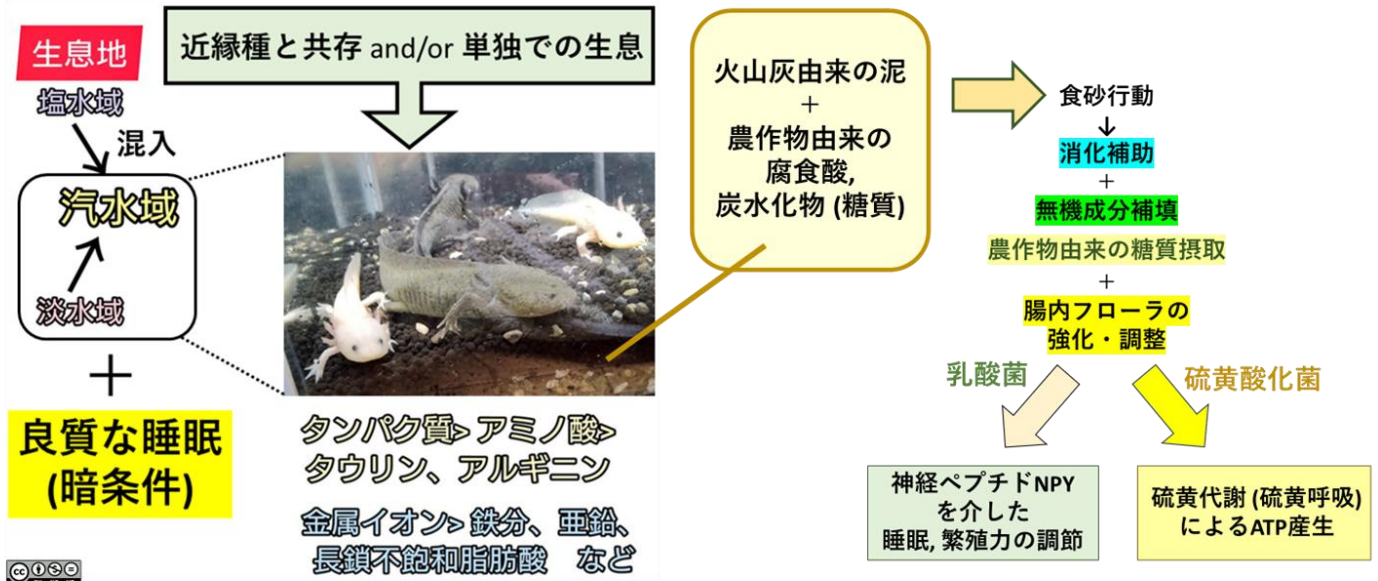


成熟化が進んでから (体長 10cm～)



補足図 15: アホロートルの生活環境と代謝制御の相関モデル図

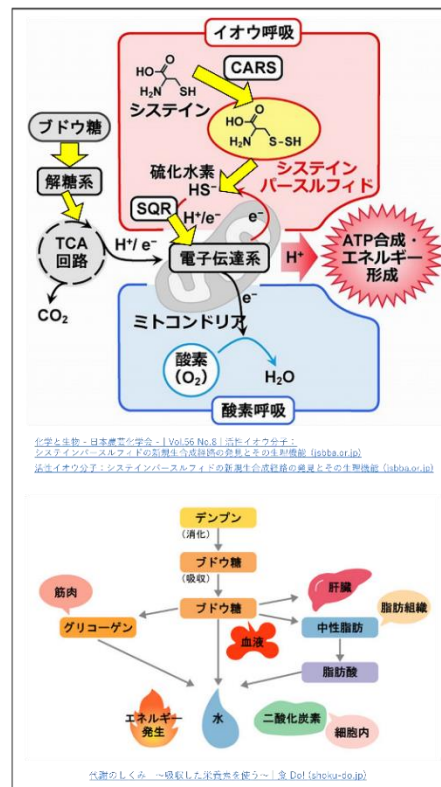
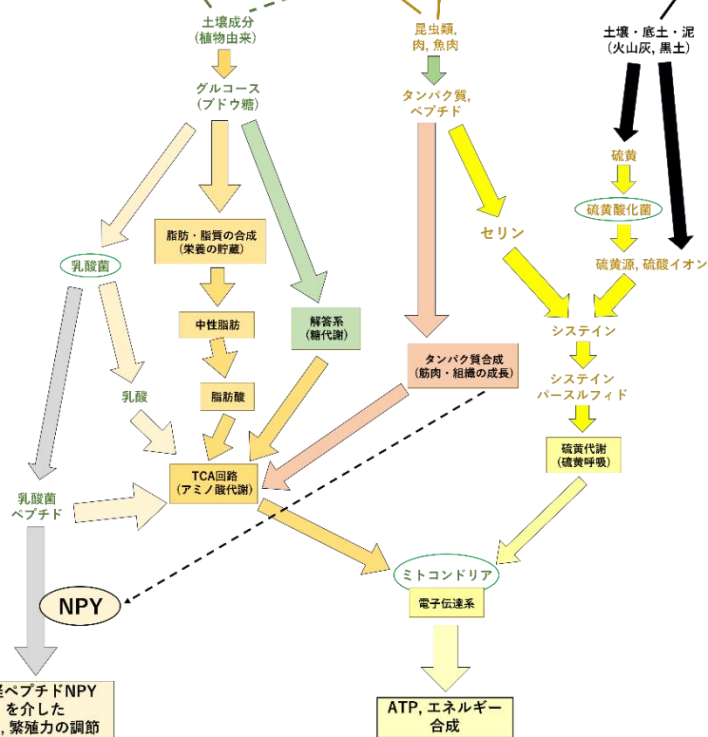
まとめ: アホロートルの生活環における糖代謝と硫黄代謝



- ・ アホロートルは、古式農法の盛んな水環境で糖質を摂取する能力を得た。
- ・ 食砂行動により乳酸菌等を摂取することで、植物由来の糖代謝が可能。
- ・ アホロートルは火山のような泥環境において硫黄源を摂取していた。
- ・ 食砂行動の中で硫黄酸化菌を摂取することで硫黄の代謝を可能とした。
- ・ 糖代謝と硫黄代謝を併せることで高い成長促進効果が生じる。

補足図 16: アホロートルの生活環における糖代謝と硫黄代謝の生物学的意義

まとめ: アホロートルの生息環境と栄養摂取



補足図 17: アホロートルの生活環境と代謝制御の相関モデル図

参考文献 References

[1] 硫黄呼吸

[哺乳類が硫黄でエネルギー代謝「硫黄呼吸」を世界で初めて発見 | Science Portal - 科学技術の最新情報サイト「サイエンスポータル」\(jst.go.jp\)](#)

[世界初：哺乳類における「硫黄呼吸」を発見 - 酸素に依存しないエネルギー代謝のメカニズムを解明 - \(東北大学 2017 年 10 月 25 日\)](#)

[CysteinyI-tRNA synthetase governs cysteine polysulfidation and mitochondrial bioenergetics - PMC \(nih.gov\)](#)

[Hydrogen sulfide generation in mammals: the molecular biology of cystathionine- \$\beta\$ - synthase \(CBS\) and cystathionine- \$\gamma\$ -lyase \(CSE\) - PubMed \(nih.gov\)](#)

[Cystathionine \$\beta\$ -Synthase Is Necessary for Axis Development in Vivo](#)

[2] Axolotl Cars family (Cars: Cys を CysSSH に変換する酵素)

Axolotl Cars1

[Cars1|AMEX60DD201004304.5 at chr11q:141825542-142859832](#)

[Cars1|AMEX60DD301004304.7 at chr11q:142567302-142859832](#)

[Cars1|AMEX60DD201004304.2 at chr11q:141594113-142859832](#)

[Cars \[nr\]|Cars1 \[hs\]|AMEX60DD301004304.4 at chr11q:141791271-142806808](#)

[Cars1|AMEX60DD201004304.1 at chr11q:141593906-142859832](#)

[Cars1|AMEX60DD201004304.3 at chr11q:141675235-142859832](#)

[Cars1|AMEX60DD301004304.6 at chr11q:142567302-142859832](#)

Axolotl Cars2

[Cars2|AMEX60DD201047877.4 at chr7p:621633345-623008645](#)

[Cars2|AMEX60DD201047879.1 at chr7p:622296936-622326822](#)

[Cars2|AMEX60DD201047877.1 at chr7p:621631943-623008645](#)

[Cars2|AMEX60DD301047877.2 at chr7p:621633236-623008645](#)

[Cars2|AMEX60DD102047877.3 at chr7p:621633337-623008645](#)

[Cars2|AMEX60DD201047877.5 at chr7p:621894803-623008645](#)

[3] Cystathionine γ -Lyase

(cystathionase, CSE; シスタチオニンを切断しシステインを合成する酵素)

[【薬理学研究室】 シスタチオニン \$\gamma\$ -リアーゼがタンパク質ポリスルフィド化により自己制御されることを発見 \(Int J Mol Sci 誌に掲載\) | 昭和薬科大学 \(shoyaku.ac.jp\)](#)

[Murine cystathionine \$\gamma\$ -lyase: complete cDNA and genomic sequences, promoter activity, tissue distribution and developmental expression - PMC \(nih.gov\)](#)

[Cystathionine gamma-lyase - Wikipedia](#)

[CTH Gene - GeneCards | CGL Protein | CGL Antibody](#)

Axolotl CTH

[Cth|AMEX60DD102019280.4 at chr1q:1134669571-1134925934](#)

[Cth \[nr\]|AMEX60DD102019280.3 at chr1q:1134669557-1134963243](#)



[4] Cystathionine β -Synthase

[CBS; セリン⇒シスタチオニン (システイン前駆体) の合成に関わる酵素]

[Cystathionine \$\beta\$ -Synthase in Physiology and Cancer - PMC \(nih.gov\)](#)

[Cystathionine beta synthase - Wikipedia](#)

[Cystathionine- \$\beta\$ -synthase: Molecular Regulation and Pharmacological Inhibition - PMC \(nih.gov\)](#)

[CBS Gene - GeneCards](#) | [CBS Protein](#) | [CBS Antibody](#)

Axolotl CBS

[Cbs|AMEX60DD201046795.1 at chr7p:19698119-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.2 at chr7p:19698119-20199923](#)

[Cbs \[nr\]|Cbsl \[hs\]|AMEX60DD201046795.3 at chr7p:19698172-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.4 at chr7p:19698310-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.5 at chr7p:19698427-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.6 at chr7p:19698458-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD102046795.7 at chr7p:19698476-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.8 at chr7p:19739766-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.9 at chr7p:19739805-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.10 at chr7p:19739828-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD201046795.11 at chr7p:19739878-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD102046795.12 at chr7p:19739909-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD301046795.13 at chr7p:19740120-20199923](#)

[Cbs|AMEX60DD102046795.14 at chr7p:19762083-20199923](#)

[5] Sulfide Quinone Oxidoreductase

(SQR, SQOR, 硫化水素 H₂S の水素をミトコンドリア電子伝達系へ供与する酵素)

[SQR related genes - GeneCards Search Results](#)

[Sulfide:quinone oxidoreductase alleviates ferroptosis in acute kidney injury via ameliorating mitochondrial dysfunction of renal tubular epithelial cells - ScienceDirect](#)

[Human Sulfide:Quinone Oxidoreductase Catalyzes the First Step in Hydrogen Sulfide Metabolism and Produces a Sulfane Sulfur Metabolite | Biochemistry \(acs.org\)](#)

[SQOR Gene - GeneCards](#) | [SQOR Protein](#) | [SQOR Antibody](#)

Axolotl SQOR

[Sqor.l \[nr\]|Sqor \[hs\]|AMEX60DD201003616.2 at chr11p:117786106-118082228](#)

[Sqor.l \[nr\]|Sqor \[hs\]|AMEX60DD301003616.3 at chr11p:117786133-117958217](#)

[Sqor \[nr\]|AMEX60DD201003616.6 at chr11p:117786194-117958217](#)

[Sqor|AMEX60DD201003616.7 at chr11p:117786235-117958217](#)

[Sqor.l \[nr\]|Sqor \[hs\]|AMEX60DD201003616.1 at chr11p:117786080-117958217](#)

[6] 栄養・成長関連

【改訂版】メキシコサンショウウオ等の栄養と成長に関する最新報告

杉山 遥

2023 年 4 月 19 日 https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/41331050

【総説】メキシコサラマンダー および トラフサンショウウオ科の近縁種における生態・生息環境に関する調査報告

杉山 遥, 枝豆 やみん, 竜岡 龍騎, 阿保郎 太郎, 萩原 和晃,

FN 三太子, あすみ 悠

2023 年 12 月 31 日 https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/44375317

チナンパ <https://mexicoct.com/blog/chinampa/>

【研究報告】マルチビタミン投与効果 (アホロートル、メダカ、コオロギ、ショウジョウバエ)

杉山 遥, 横江 誼衡, 阿保郎 太郎

2024 年 3 月 30 日 https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/45945173

ダイズの粉末に含まれるビタミンについて

- ・ [カロリーSlim 大豆](https://calorie.slim.jp/104023/) calorie.slim.jp/104023/
- ・ 公益財団法人 日本豆類協会> 豆の栄養成分表 <https://www.mame.or.jp/eiyou/seibun.html>

ユーグレナ (ミドリムシ) 錠剤に含まれるビタミンについて

- ・ 健康コラム_ユーグレナ> [ユーグレナってなに？ユーグレナの特徴や含まれている成分、期待できる効果などを解説！](#)
- ・ ユーグレナに含まれる栄養成分とその栄養価_ユーグレナ.NAVI <https://www.eu-glena.net/eiyou/>

育たないウーパールーパーの秘密を解明！

杉山 遥, 横江 誼衡, 阿保郎 太郎

2024 年 6 月 27 日 https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl/published_papers/46910749

GLUT (Glucose transporter)

<https://www.genecards.org/Search/Keyword?queryString=GLUT>

<https://www.proteinatlas.org/ENSG00000117394-SLC2A1/tissue/liver>

Axolotl GLUT family

Slc2a1

[Loc101065106 \[nr\]|Slc2a1 \[hs\]|AMEX60DD301026751.1 at chr3p:136959076-137180750](#)

[Loc115078667 \[nr\]|Slc2a1 \[hs\]|AMEX60DD301026752.1 at chr3p:137546903-137734364](#)

[Loc115078667 \[nr\]|Slc2a1 \[hs\]|AMEX60DD201026752.2 at chr3p:137547708-137734364](#)

[Slc2a1|AMEX60DD201052048.1 at chr8q:150600327-150673151](#)

Slc2a2

[Slc2a2 \[hs\]|AMEX60DD301001568.2 at chr10p:715614061-715808047](#)

[Slc2a2 \[hs\]|AMEX60DD201001568.1 at chr10p:715488021-715780143](#)

Slc2a3

[Loc115457688 \[nr\]|Slc2a3 \[hs\]|AMEX60DD201026752.3 at chr3p:137547712-137734364](#)



Slc2a4

[Slc2a4|AMEX60DD301012941.2 at chr1p:128479835-128865786](#)

[Slc2a4|AMEX60DD301012941.1 at chr1p:128479800-128865786](#)

[Slc2a4rg \[nr\]|Znf704 \[hs\]|AMEX60DD201027076.1 at chr3p:258895586-259324846](#)

[Slc2a4rg \[nr\]|Znf704 \[hs\]|AMEX60DD301027076.2 at chr3p:258905836-259324846](#)

Slc2a5

[Slc2a5|AMEX60DD201051185.1 at chr8p:418237723-418357420](#)

Slc2a6

[Slc2a6|AMEX60DDU001024156.1 at C0151869:16190-32610](#)

[Slc2a6|AMEX60DDU001024156.2 at C0151869:16196-32610](#)

[Slc2a6|AMEX60DDU001036495.1 at C0196572:999-30409](#)

[Slc2a6|AMEX60DD201050566.1 at chr8p:112563762-112771543](#)

[Slc2a6|AMEX60DD201050566.2 at chr8p:112658930-112771543](#)

Slc2a7

[Loc101936619 \[nr\]|Slc2a7 \[hs\]|AMEX60DD201051186.1 at chr8p:418467474-418472314](#)

Slc2a8

[Slc2a8|AMEX60DD301050586.3 at chr8p:117414944-117553754](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050586.5 at chr8p:117435383-117553754](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050588.5 at chr8p:117646340-117891449](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050586.1 at chr8p:117414135-117553754](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050586.2 at chr8p:117414163-117553754](#)

[Slc2a8|AMEX60DD102050586.4 at chr8p:117414992-117508459](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050588.1 at chr8p:117638114-117891449](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050588.2 at chr8p:117638122-117891449](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050588.3 at chr8p:117646324-117891449](#)

[Slc2a8|AMEX60DD301050588.4 at chr8p:117646326-117891449](#)

Slc2a9

[Loc115072934 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DDU001011711.1 at C0107880:21019-63815](#)

[Loc106721969 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DDU001011711.2 at C0107880:21019-63815](#)

[Loc115072934 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DDU001009311.1 at C0070194:15544-81598](#)

[Loc103817995 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD201000374.1 at chr10p:125161510-125184528](#)

[Loc115072934 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD101000376.1 at chr10p:125210873-125249447](#)

[Loc115072934 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD301000376.2 at chr10p:125210873-125249447](#)

[Loc115480337 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD201000389.1 at chr10p:126155067-126260219](#)

[Loc115480337 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD201000389.2 at chr10p:126155067-126260219](#)

[Loc115480337 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD301000392.1 at chr10p:126441149-126534186](#)

[Loc115480337 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD301000394.1 at chr10p:126750827-127044458](#)

[Loc115480337 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD301000394.3 at chr10p:126750887-127044458](#)

[Loc112104526 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD301000902.1 at chr10p:379161121-379285293](#)

[Loc112971917 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD201045868.2 at chr6q:1300842478-1301103400](#)

[Loc107114423 \[nr\]|Slc2a9 \[hs\]|AMEX60DD102052900.4 at chr8q:647147650-647515088](#)



[Loc115480337 \[nr\]Slc2a9 \[hs\]AMEX60DD301000394.2 at chr10p:126750885-127044458](#)
[Loc102461712 \[nr\]Slc2a9 \[hs\]AMEX60DD102000902.3 at chr10p:379161123-379651425](#)
[Loc107114423 \[nr\]Slc2a9 \[hs\]AMEX60DD103052900.1 at chr8q:647147646-647515088](#)
[Loc107114423 \[nr\]Slc2a9 \[hs\]AMEX60DD103052900.2 at chr8q:647147646-647515088](#)
[Loc107114423 \[nr\]Slc2a9 \[hs\]AMEX60DD201052900.3 at chr8q:647147647-647515088](#)

Slc2a10

[Slc2a10|AMEX60DD201027602.3 at chr3p:496186025-496397504](#)
[Slc2a10|AMEX60DD201027602.2 at chr3p:495889973-496397504](#)
[Slc2a10|AMEX60DD201027602.1 at chr3p:495889959-496397504](#)

Slc2a11

[Slc2a11.3.s \[nr\]AMEX60DDU001017630.1 at C0129241:55071-55432](#)
[Slc2a11|AMEX60DD201000362.1 at chr10p:123337882-123372860](#)
[Loc115480337 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD201000373.1 at chr10p:124892102-125142197](#)
[Loc115480337 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DDU001009305.3 at C0070190:182229-213883](#)
[Loc115480574 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD301000393.1 at chr10p:126545607-126687755](#)
[Loc112104526 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD301000902.2 at chr10p:379161121-379636803](#)
[Loc115072934 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DDU001009311.2 at C0070194:15544-81598](#)
[Loc115480337 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD201000389.3 at chr10p:126232155-126260219](#)
[Loc112104526 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD301000902.7 at chr10p:379291668-379442337](#)
[Loc112992796 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD201000364.1 at chr10p:123810440-124099062](#)
[Loc115480337 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD201000371.1 at chr10p:124579679-124785196](#)
[Loc112104526 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD101000902.4 at chr10p:379161126-379651425](#)
[Loc112104526 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD101000902.5 at chr10p:379161126-379651425](#)
[Loc101932748 \[nr\]Slc2a11 \[hs\]AMEX60DD102000902.6 at chr10p:379161128-379534505](#)

Slc2a12

[Slc2a12|AMEX60DD301034265.3 at chr4p:1015825406-1016312233](#)
[Slc2a12|AMEX60DD201034265.1 at chr4p:1015825348-1016382111](#)
[Slc2a12|AMEX60DD301034265.2 at chr4p:1015825375-1016382111](#)
[Slc2a12|AMEX60DD103034265.4 at chr4p:1015825421-1016382111](#)

Slc2a13

[Monax 5e013469 \[nr\]Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007496.1 at chr12q:320594152-321829806](#)
[Monax 5e013469 \[nr\]Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007496.3 at chr12q:320594298-321412203](#)
[Loc104542801 \[nr\]Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007497.1 at chr12q:322020403-322654829](#)
[Llap 5658 \[nr\]Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007497.3 at chr12q:322444521-322654829](#)
[Loc104325320 \[nr\]Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007497.2 at chr12q:322390318-322654829](#)
[Slc2a13 \[hs\]AMEX60DD201007496.2 at chr12q:320594242-320683893](#)

Amino acid transporter

<https://www.genecards.org/Search/Keyword?queryString=LAT1>

[Pharmacokinetic role of L-type amino acid transporters LAT1 and LAT2](#)

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=SLC7A5&keywords=LAT1>

Axolotl LAT (L-type amino acid transporter, *human SLC7A5*) family

Slc7a1

[Slc7a1|AMEX60DD301049268.1 at chr7q:630390086-630958586](#)

[Slc7a1|AMEX60DD301049268.2 at chr7q:630390132-630958586](#)

[Slc7a1|AMEX60DD201049268.3 at chr7q:630392206-630958586](#)

[Slc7a1|AMEX60DD201049268.4 at chr7q:630392236-630958586](#)

[Slc7a1|AMEX60DD301049268.5 at chr7q:630671408-630958586](#)

[Loc108786311 \[nr\]|Slc7a1 \[hs\]|AMEX60DD301030113.1 at chr3q:658990043-658991011](#)

Slc7a2

[Slc7a2|AMEX60DD201045461.1 at chr6q:1008842850-1009155821](#)

[Slc7a2|AMEX60DD201045461.2 at chr6q:1008842850-1009423330](#)

[Slc7a2|AMEX60DD201045461.3 at chr6q:1008842850-1009423330](#)

[Slc7a2|AMEX60DD201045461.4 at chr6q:1008842865-1009155821](#)

Slc7a3

[Slc7a3|AMEX60DD201036866.1 at chr5p:42480302-42602247](#)

[Loc103802310 \[nr\]|Slc7a3 \[hs\]|AMEX60DD201036866.2 at chr5p:42483386-42602247](#)

Slc7a4

[Slc7a4|AMEX60DD201001189.1 at chr10p:519241876-519495225](#)

[Slc7a4|AMEX60DD201001189.2 at chr10p:519241878-519495225](#)

Slc7a5

[Slc7a5|AMEX60DD201017173.1 at chr1q:107912777-108500965](#)

[Slc7a5|AMEX60DD201017173.2 at chr1q:107912777-108500965](#)

[Slc7a5|AMEX60DD301017173.3 at chr1q:107912886-108500965](#)

[Slc7a5 \[nr\]|AMEX60DD301017174.1 at chr1q:108802129-108803226](#)

Slc7a6

[Slc7a6|AMEX60DD301015434.7 at chr1p:908013907-908287840](#)

[Slc7a6os \[nr\]|AMEX60DD301015436.4 at chr1p:908775456-908845999](#)

[Slc7a6|AMEX60DD201015434.2 at chr1p:907619429-908487156](#)

[Parpi_0005454 \[nr\]|Slc7a6os \[hs\]|AMEX60DD102015436.3 at chr1p:908670832-908845938](#)

[Slc7a6|AMEX60DD301015434.1 at chr1p:907619403-908665871](#)

[Slc7a6|AMEX60DD301015434.4 at chr1p:907619530-908487156](#)

[Slc7a6|AMEX60DD301015434.5 at chr1p:907619548-908487156](#)

[Slc7a6|AMEX60DD301015434.6 at chr1p:907770328-908258135](#)

[Slc7a6os|AMEX60DD201015436.1 at chr1p:908670696-908845999](#)

Slc7a7

[Dr999 pmt18425 \[nr\]|Slc7a6os \[hs\]|AMEX60DD301015436.2 at chr1p:908670816-908845999](#)
[Loc103779155 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD201033096.1 at chr4p:307009529-307010269](#)
[Loc115646941 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301040047.5 at chr5q:785187547-785684686](#)
[Loc113586918 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301009339.4 at chr13q:35480798-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD102009339.8 at chr13q:35484114-35769507](#)
[Loc113586918 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD103009339.9 at chr13q:35564476-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD301009339.10 at chr13q:35564498-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD301009339.11 at chr13q:35614897-35769507](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.3 at chr5p:1075044662-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.4 at chr5p:1075044662-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.5 at chr5p:1075044722-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.7 at chr5p:1075044833-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD102038582.2 at chr5p:1076002859-1076534983](#)
[Slc7a7|AMEX60DD201009339.1 at chr13q:35480409-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD301009339.2 at chr13q:35480694-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD301009339.3 at chr13q:35480696-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD201009339.5 at chr13q:35483338-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD201009339.6 at chr13q:35483466-35769507](#)
[Slc7a7|AMEX60DD201009339.7 at chr13q:35483553-35769507](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.1 at chr5p:1075044662-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.2 at chr5p:1075044662-1075708905](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD301038579.6 at chr5p:1075044771-1075583672](#)
[Loc108786901 \[nr\]|Slc7a7 \[hs\]|AMEX60DD201038582.1 at chr5p:1076002812-1076534983](#)

Slc7a8

[Slc7a8|AMEX60DD201009577.1 at chr13q:90315356-90457012](#)
[Slc7a8|AMEX60DD201009577.2 at chr13q:90315357-90457012](#)
[Slc7a8|AMEX60DD301009577.3 at chr13q:90315358-90455445](#)
[Slc7a8|AMEX60DD201009577.4 at chr13q:90315363-90530326](#)
[Slc7a8 \[hs\]|AMEX60DD102009577.5 at chr13q:90315365-90425450](#)

Slc7a9

[Loc115467115 \[nr\]|Slc7a9 \[hs\]|AMEX60DD201033082.1 at chr4p:300842159-301152673](#)
[Loc103779155 \[nr\]|Slc7a9 \[hs\]|AMEX60DD201033093.1 at chr4p:305991378-305992225](#)
[Loc115088833 \[nr\]|Slc7a9 \[hs\]|AMEX60DD201033095.1 at chr4p:306206727-306584186](#)
[Slc7a9|AMEX60DD301017607.1 at chr1q:293555494-294211483](#)

Slc7a10

[Slc7a10|AMEX60DD201017624.1 at chr1q:301016809-301778440](#)
[Slc7a10|AMEX60DD301017624.2 at chr1q:301016890-301778440](#)
[Slc7a10|AMEX60DD301017624.3 at chr1q:301016994-301252962](#)

Slc38a1(SNAT1)

[岡山大学 学術研究員医歯薬学域 \(医学系\)](#)

<https://www.nature.com/articles/s42003-019-0582-4>



Slc7a11

[Slc7a11|AMEX60DD201044707.1 at chr6q:490653408-491379966](#)

[Loc104532172 \[nr\]|Slc7a11 \[hs\]|AMEX60DD201044708.1 at chr6q:491388054-491676190](#)

[Loc115477910 \[nr\]|Slc7a11 \[hs\]|AMEX60DD102007093.2 at chr12q:167499629-167627962](#)

[Dr999_pmt14834 \[nr\]|Slc7a11 \[hs\]|AMEX60DD201007093.1 at chr12q:167488863-167627962](#)

Murine SLC7A11 (mouse):

過剰なシステインパースルフィド (Cys-SSH) 等の超硫黄分子の細胞外への排出に関わる輸送体 (アンチポーター) を構成する。

<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/pdf/p20221028140000.pdf>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36279630/>

Slc7a14

[Loc106543065 \[nr\]|Slc7a14 \[hs\]|AMEX60DDU001038387.1 at C0203203:14505-14844](#)

[Slc7a14|AMEX60DD201001557.1 at chr10p:712415964-712585701](#)

[Loc115082526 \[nr\]|Slc7a14 \[hs\]|AMEX60DD201001561.1 at chr10p:712873858-713077694](#)

[Loc115082526 \[nr\]|Slc7a14 \[hs\]|AMEX60DD201001561.2 at chr10p:712985971-713077694](#)

eIF2 (eukaryotic initiation factor (eIF))

<https://first.lifesciencedb.jp/archives/10059>

[https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(20\)54851-5/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(20)54851-5/fulltext)

<https://jkns.or.kr/journal/view.php?doi=10.3340/jkns.2019.0027>

[https://www.cell.com/cell-metabolism/fulltext/S1550-4131\(09\)00160-0](https://www.cell.com/cell-metabolism/fulltext/S1550-4131(09)00160-0)

[The Cross-Links of Endoplasmic Reticulum Stress, Autophagy, and Neurodegeneration in Parkinson's Disease](#)

[Gut microbiota mediate the FGF21 adaptive stress response to chronic dietary protein-restriction in mice |](#)

[Nature Communications](#)

[EIF2B1 Gene - GeneCards | EI2BA Protein | EI2BA Antibody](#)

<https://www.mdpi.com/1422-0067/24/14/11497>

[Neuronal Regulation of eIF2 \$\alpha\$ Function in Health and Neurological Disorders: Trends in Molecular Medicine](#)

[IJMS | Free Full-Text | Translation Regulation by eIF2 \$\alpha\$ Phosphorylation and mTORC1 Signaling Pathways in](#)

[Non-Communicable Diseases \(NCDs\) \(mdpi.com\)](#)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/juoeh/34/4/34_331/pdf/-char/ja

<https://www.researchgate.net/publication/260380565> Forced swim test induces divergent global transcripto

[mic alterations in the hippocampus of high versus low novelty-seeker rats](#)

[ストレスでタンパク質合成が止まる仕組み | 理化学研究所 \(riken.jp\)](#)

<https://virologyj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12985-020-01362-6>

[Mutational analysis of the alpha subunit of eIF2B provides insights into the role of eIF2B bodies in translational](#)

[control and VWM disease - Journal of Biological Chemistry \(jbc.org\)](#)

[IJMS | Free Full-Text | Translation Regulation by eIF2 \$\alpha\$ Phosphorylation and mTORC1 Signaling Pathways in](#)

[Non-Communicable Diseases \(NCDs\) \(mdpi.com\)](#)

Axolotl eIF2

[Eif2a \[nr\]|AMEX60DD201001925.1 at chr10p:934230050-934835369](#)

[Eif2a|AMEX60DD301001925.2 at chr10p:934230051-934889192](#)

[Eif2a \[nr\]|AMEX60DD301001925.3 at chr10p:934230051-934835369](#)

[Eif2a|AMEX60DD301001925.4 at chr10p:934230053-934835369](#)



[Eif2a|AMEX60DD102001925.5 at chr10p:934230057-934835202](#)
[Eif2a|AMEX60DD301001925.6 at chr10p:934230111-934835202](#)
[Eif2b1 \(α\)|AMEX60DD201000570.1 at chr10p:186586891-186761009](#)
[Eif2b1|AMEX60DD201000570.2 at chr10p:186586899-186761009](#)
[Eif2b1|AMEX60DD201000570.3 at chr10p:186587437-186761009](#)
[Eif2b2 \(β\) \[nr\]|AMEX60DD301026786.1 at chr3p:148052760-148053071](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001005140.1 at C0030729:35152-39698](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001005764.1 at C0033858:21946-22231](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001010473.1 at C0089555:128365-128718](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001024419.1 at C0152974:5663-6634](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001039207.1 at C0206384:85369-100724](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DDU001041880.1 at C0216140:2098-3659](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DD201011144.2 at chr14p:48448953-48527417](#)
[Eif2b2 \[nr\]|AMEX60DD201011858.1 at chr14q:251811440-251812211](#)
[Eif2b2|AMEX60DD201011144.1 at chr14p:48440462-48527417](#)
[Eif2b3 \(γ\)|AMEX60DD201019884.1 at chr1q:1394579531-1395521143](#)
[Eif2b3|AMEX60DD102019884.2 at chr1q:1394579558-1395838620](#)
[Eif2b3|AMEX60DD201019884.3 at chr1q:1394579569-1395521143](#)
[Eif2b3|AMEX60DD301019884.4 at chr1q:1395463551-1395521143](#)
[Eif2b4 \(δ\) \[nr\]|AMEX60DD301032562.1 at chr4p:73510604-73760449](#)
[Eif2b4|AMEX60DD101032562.2 at chr4p:73510934-73760449](#)
[Eif2b4|AMEX60DD102032562.3 at chr4p:73510942-73760449](#)
[Eif2b4|AMEX60DD102032562.4 at chr4p:73510960-73760449](#)
[Eif2b5 \(ε\) |AMEX60DD201001487.1 at chr10p:662291413-663219573](#)
[Eif2b5|AMEX60DD201001487.2 at chr10p:662291413-662398737](#)
[Eif2b5|AMEX60DD201001487.3 at chr10p:662291413-663219573](#)
[Eif2b5 \[hs\]|AMEX60DD301001487.4 at chr10p:662291436-662523737](#)
[Eif2b5|AMEX60DD301001487.6 at chr10p:662546240-663063886](#)
[Eif2d|AMEX60DD201009005.2 at chr13p:198605526-198766910](#)
[Eif2d|AMEX60DD201009005.1 at chr13p:198605469-198766910](#)

Axolotl eIF2a kinase

[Eif2ak1|AMEX60DD301025859.1 at chr2q:1241569956-1243256019](#)
[Eif2ak1|AMEX60DD301025859.2 at chr2q:1241722918-1243256019](#)
[Eif2ak1|AMEX60DD301025859.3 at chr2q:1241723221-1243256019](#)
[Eif2ak2 \[nr\]|AMEX60DD201034213.1 at chr4p:992720288-993919695](#)
[Eif2ak2 \[nr\]|AMEX60DD301034213.2 at chr4p:992728746-993919695](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.1 at chr6q:1441835893-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.2 at chr6q:1441835893-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.3 at chr6q:1441835893-1442234558](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.4 at chr6q:1441835896-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.5 at chr6q:1441835897-1442025215](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.6 at chr6q:1441835916-1442025215](#)



[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.7 at chr6q:1441835953-1442242834](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.8 at chr6q:1442062564-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.9 at chr6q:1442062628-1442266543](#)
[Eif2ak4|AMEX60DD201030020.1 at chr3q:611862087-611871385](#)

IRE1

[ERN1 Gene - GeneCards | ERN1 Protein | ERN1 Antibody](#)

Axolotl IRE1 (ERN1)

[Ern1|AMEX60DD301031086.2 at chr3q:1128787547-1129537044](#)
[Ern1|AMEX60DD201031086.1 at chr3q:1128787500-1129537044](#)

EIF2AK3 (PERK)

[EIF2AK3 Gene - GeneCards | E2AK3 Protein | E2AK3 Antibody](#)

Axolotl EIF2AK3

[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.4 at chr6q:1441835896-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.5 at chr6q:1441835897-1442025215](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.6 at chr6q:1441835916-1442025215](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.7 at chr6q:1441835953-1442242834](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD201046142.8 at chr6q:1442062564-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.9 at chr6q:1442062628-1442266543](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.1 at chr6q:1441835893-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.2 at chr6q:1441835893-1442266647](#)
[Eif2ak3|AMEX60DD301046142.3 at chr6q:1441835893-1442234558](#)

ATF4

[ATF4 Gene - GeneCards | ATF4 Protein | ATF4 Antibody](#)

[Sinulariolide Induced Hepatocellular Carcinoma Apoptosis through Activation of Mitochondrial-Related Apoptotic and PERK/eIF2 alpha/ATF4/CHOP Pathway \(researchgate.net\)](#)

Axolotl ATF4

[NT/BL EST library \(CO782513.1\)](#)

ATF6

[ATF6 Gene - GeneCards | ATF6A Protein | ATF6A Antibody](#)

Axolotl ATF6

[Atf6|AMEX60DD301018411.2 at chr1q:662422342-663268463](#)
[Atf6|AMEX60DD301018411.1 at chr1q:662417186-663362396](#)
[Atf6|AMEX60DD301018411.3 at chr1q:662434922-663362396](#)

mTOR complex

[Mammalian Target of Rapamycin \(mTOR\): Conducting the Cellular Signaling Symphony* - Journal of Biological Chemistry \(jbc.org\)](#)

Axolotl mTOR, RAPTOR

[Cib84 004910 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DDU001033453.1 at C0185118:22143-42267](#)
[Rptor 0 \[nr\]|AMEX60DD301009030.1 at chr13p:203461416-203462817](#)
[Tor3a|AMEX60DD201020084.1 at chr1q:1456180681-1456267513](#)



[Loc104572717 \[nr\]|Deptor \[hs\]|AMEX60DD301026981.1 at chr3p:220631117-220735181](#)
[Loc101938612 \[nr\]|Deptor \[hs\]|AMEX60DD301026984.1 at chr3p:221027078-221083994](#)
[Loc101938612 \[nr\]|Deptor \[hs\]|AMEX60DD201026984.2 at chr3p:221027078-221180719](#)
[Loc101938612 \[nr\]|Deptor \[hs\]|AMEX60DD301026984.3 at chr3p:221027588-221083994](#)
[Deptor|AMEX60DD301040399.3 at chr5q:992267826-992941933](#)
[Rictor|AMEX60DD301041942.1 at chr6p:344056915-344891941](#)
[Loc115082653 \[nr\]|Rictor \[hs\]|AMEX60DD201041943.1 at chr6p:345016040-345050255](#)
[Rictor|AMEX60DD201041944.1 at chr6p:345100806-345728253](#)
[Tor2a|AMEX60DD201050258.4 at chr8p:8920984-9098301](#)
[Cib84_004910 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD201050346.1 at chr8p:33254709-33303043](#)
[Cib84_004910 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD201050346.2 at chr8p:33254709-33301907](#)
[Mtor|AMEX60DD301051133.4 at chr8p:393496395-394005754](#)
[Lamtor4|AMEX60DD201013100.4 at chr1p:177552791-177585452](#)
[Lamtor4 \[nr\]|AMEX60DD301013100.6 at chr1p:177552793-177585452](#)
[Lamtor4|AMEX60DD102013100.7 at chr1p:177552795-177771192](#)
[Lamtor2 \[nr\]|AMEX60DD201016810.1 at chr1p:1385771268-1385902580](#)
[Lamtor2 \[nr\]|AMEX60DD201016810.2 at chr1p:1385771275-1385902580](#)
[Lamtor2 \[nr\]|AMEX60DD103016810.4 at chr1p:1385771297-1386008536](#)
[Lamtor2 \[nr\]|AMEX60DD201016810.5 at chr1p:1385771301-1385902580](#)
[Rptor|AMEX60DD301031343.3 at chr3q:1258918721-1259205857](#)
[Loc104476078 \[nr\]|Deptor \[hs\]|AMEX60DD301040399.4 at chr5q:993044931-993093708](#)
[Rictor|AMEX60DD201041942.2 at chr6p:344056921-344911239](#)
[Lamtor3|AMEX60DD102044277.4 at chr6q:242202793-242544816](#)
[Lamtor3|AMEX60DD102044277.7 at chr6q:242202852-242544816](#)
[Tor2a|AMEX60DD201050258.3 at chr8p:8920984-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD201050258.5 at chr8p:8921001-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD201050258.6 at chr8p:8921001-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD301050258.7 at chr8p:8921008-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD301050258.8 at chr8p:8921221-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD301050258.9 at chr8p:8947573-9098301](#)
[Loc115096938 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD301050349.2 at chr8p:33848307-33872694](#)
[Mtor|AMEX60DD301051133.1 at chr8p:391299561-394005754](#)
[Tor4a|AMEX60DDU001015497.1 at C0121692:1350-6494](#)
[Castor1 \[nr\]|AMEX60DD301000952.1 at chr10p:395078417-395496156](#)
[Lamtor5 \[nr\]|AMEX60DD201009249.1 at chr13p:239750511-239773915](#)
[Lamtor4 \[nr\]|AMEX60DD301013100.1 at chr1p:177552715-177585452](#)
[Lamtor4|AMEX60DD201013100.2 at chr1p:177552754-177585452](#)
[Lamtor4 \[nr\]|AMEX60DD201013100.3 at chr1p:177552767-177585452](#)
[Lamtor4 \[nr\]|AMEX60DD201013100.5 at chr1p:177552791-177902449](#)
[Lamtor2 \[nr\]|AMEX60DD301016810.3 at chr1p:1385771295-1385902580](#)
[Rptor|AMEX60DD301031343.1 at chr3q:1258784788-1260763853](#)
[Loc115473544 \[nr\]|Rptor \[hs\]|AMEX60DD301031343.2 at chr3q:1258784819-1258878415](#)

[Otor|AMEX60DD301035833.1 at chr4q:719531068-719653748](#)
[Deptor|AMEX60DD201040399.1 at chr5q:992156296-993093708](#)
[Deptor|AMEX60DD301040399.2 at chr5q:992156536-993093708](#)
[Lamtor3|AMEX60DD201044277.1 at chr6q:242202488-242544816](#)
[Lamtor3|AMEX60DD301044277.2 at chr6q:242202500-242544816](#)
[Lamtor3|AMEX60DD201044277.3 at chr6q:242202523-242544816](#)
[Lamtor3|AMEX60DD102044277.5 at chr6q:242202794-242544816](#)
[Lamtor3|AMEX60DD102044277.6 at chr6q:242202794-242544816](#)
[Lamtor1|AMEX60DD201049868.1 at chr7q:980669301-981179495](#)
[Tor2a|AMEX60DD301050258.1 at chr8p:8920948-9098301](#)
[Tor2a|AMEX60DD301050258.2 at chr8p:8920972-9098301](#)
[Loc115097264 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD301050348.1 at chr8p:33734671-33797597](#)
[Loc115097264 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD201050348.2 at chr8p:33734703-33797597](#)
[Loc115097264 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD102050348.3 at chr8p:33736224-33797597](#)
[Loc115096938 \[nr\]|Tor1b \[hs\]|AMEX60DD301050349.1 at chr8p:33848221-33872694](#)
[Tor4a|AMEX60DD201051015.1 at chr8p:347262189-347543410](#)
[Tor4a|AMEX60DD103051015.2 at chr8p:347262413-347356963](#)
[Tor4a|AMEX60DD201051015.3 at chr8p:347262419-347474915](#)
[Mtor|AMEX60DD301051133.2 at chr8p:391299576-394005754](#)
[Mtor|AMEX60DD301051133.3 at chr8p:391299633-394005754](#)
[Castor2|AMEX60DD201054196.1 at chr9p:299427103-299930488](#)
[Castor2|AMEX60DD301054196.2 at chr9p:299427201-299903567](#)

RPS6KB1 (S6K1)

[RPS6KB1 Gene - GeneCards](#) | [KS6B1 Protein](#) | [KS6B1 Antibody](#)

[アミノ酸飢餓応答因子 GCN1 による細胞増殖制御機構の発見 \(医学研究科\) - 弘前大学](#)

Axololt S6K1

[Rps6kb1|AMEX60DD201054651.1 at chr9q:33570944-34269338](#)
[Rps6kb1|AMEX60DD103054651.2 at chr9q:33577372-34269338](#)

システイン関連

システイン

<https://jp.iherb.com/c/l-cysteine>

<https://jp.iherb.com/pr/california-gold-nutrition-l-cysteine-ajipure-500-mg-60-veggie-capsules/72317>

シスタチオニン

<https://ja.wikipedia.org/wiki/シスタチオニン>

https://www.jstage.jst.go.jp/article/fpj/147/5/147_285/_pdf

システインパースルフィド

[活性イオウ分子：システインパースルフィドの新規生合成経路の発見とその生理機能 \(jsbba.or.jp\)](#)

[酸性硫酸塩土壌における微生物群集 | 研究内容 | 環境適応生物を活用する環境修復技術の開発 \(nihon-u.ac.jp\)](#)



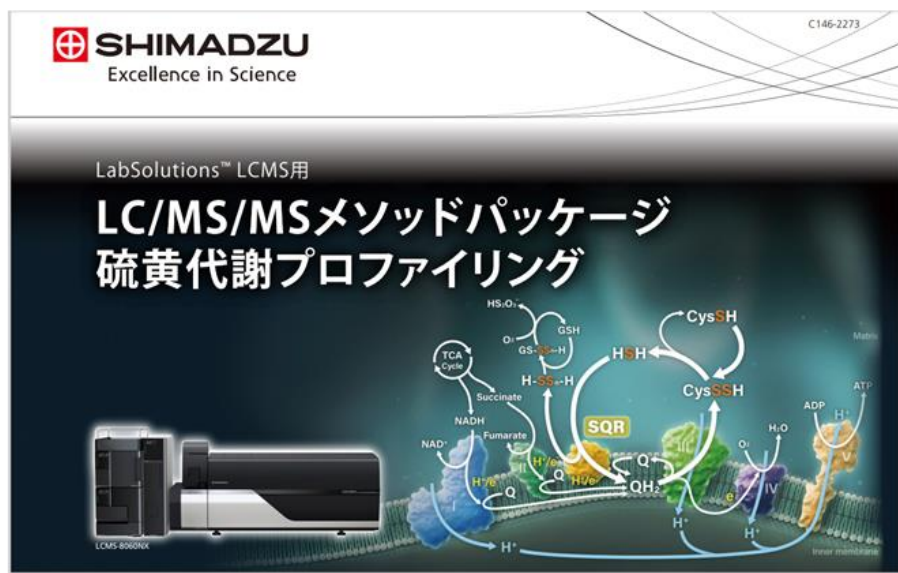
IOC / HPLC 関連

イオンクロマト分析 | 株式会社アイテス株式会社アイテス

<https://www.fc-cubic.or.jp/research-facilities/イオンクロマトグラフ/>

https://www.ites.co.jp/chemistry/index/component_analysis/ion-chromatography.html

https://www.nstec.nipponsteel.com/technology/chemical-analysis/inorganic-analysis/inorganic-analysis_06_ic.html

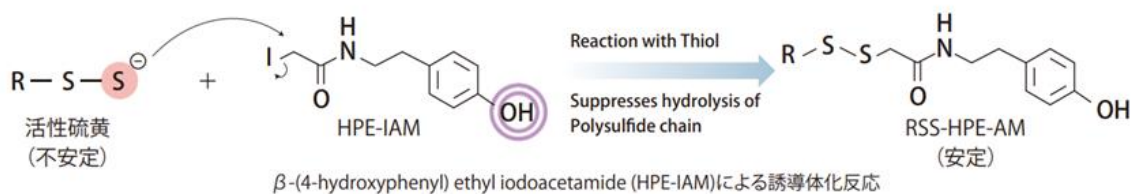


登録化合物一覧

化合物名	略称
Cysteine	CysSH
Cysteine hydrodisulfide	CysSSH
Cysteine hydrotrisulfide	CysSSSH
Cystine	CysSSCys
Cystine trisulfide	CysSSSCys
Cystine tetrasulfide	CysSSSSCys
Glutathione	GSH
Glutathione hydrodisulfide	GSSH
Glutathione hydrotrisulfide	GSSSH
Glutathione disulfide	GSSG
Glutathione trisulfide	GSSSG
Glutathione tetrasulfide	GSSSSG
Sulfite	HSO3-
Thiosulfite	HS2O3-
Reaction By-product_1	Bis-S-HPE-AM
Reaction By-product_2	Bis-SS-HPE-AM
Reaction By-product_3	Bis-SSS-HPE-AM

細胞、血漿を対象にした前処理例：活性硫黄の安定化

硫黄代謝物の中でも、還元型の活性硫黄は非常に不安定であり、サンプルに対しての誘導体化反応を含む適切な前処理が必須となります。本メソッドパッケージの取扱説明書には、活性硫黄が含まれるとされる細胞および血漿を対象とした前処理例を記載しています。



参照: 島津製作所 [LabSolutions LCMS用 LC/MS/MSメソッドパッケージ](#)

ミンテイジ株式会社 > 紫外線照射装置による殺菌効果(資料)

<https://www.mintage.co.jp/assets/紫外線照射装置による殺菌効果.pdf>

奥付

ウーパールーパーだより vol 7.0

発行日・・・ 2025/1/5

編集・著者 杉山 遥 (PN; Ph.D) ほか

発行元 ウーパールーパー研究室_はるらぼ, HAL_Lab_Axolotl

問い合わせ先 sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com または X (Twitter) の DM へ

X (旧 Twitter) URL https://twitter.com/lab_new2 (@lab_new2)



硫黄って温泉のイメージ強いよね。

by 杉山 遥



ウーパールーパー研究室・はるらぼ

sugiyama.haruka.axoltl@gmail.com

since 2020~ (@lab_new2)

X (旧 Twitter): https://twitter.com/lab_new2

