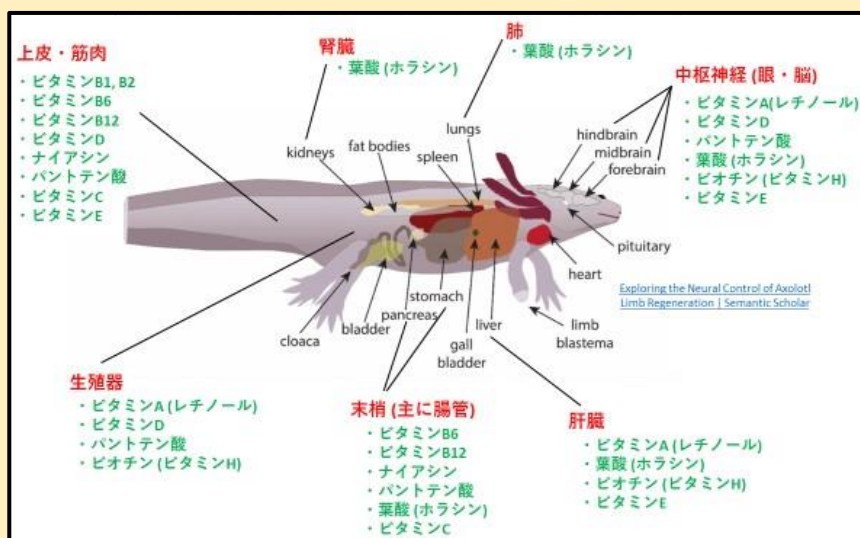
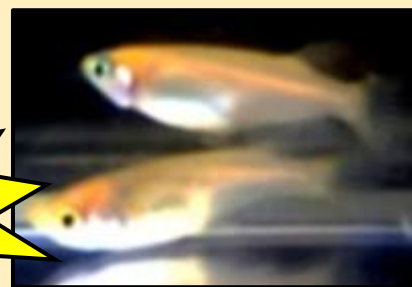


ウーパールーパーだより

～アホロートル研究・調査活動報告～

Vol 5.0

- 特集1 ビタミン投与検討 および ビタミン摂取生餌の開発
 特集2 アホロートルにおけるビタミン類の効果・作用機序の解明



2024/3/30 初版

Presented by
 ウーパールーパー研究室・はるらぼ



目次 (2024/3/30)

- ・ 2024 年 はるらぼの取り組み・各種案内/紹介 p.3～23
- ・ ウパルパ 119 番・無料治療相談のご案内 p.24

- ・ 2024/5/178 異分野研究会 (岡山) にて発表いたします p.25～28

- ・ 【研究報告】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 p.29～122
(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 誼衡, 阿保郎 太郎
2024 年 3 月 30 日 筆頭著者, 最終著者, 責任著者

- ・ 奥付 p.123

青: ラボ案内

黄色: 告知

緑: 研究・調査報告

NPO: ウーパールーパー研究室・はるらぼ



{ウーパールーパー研究室_はるらぼ}

@lab_new2

プロフィールを編集

2020年より、
正式に HAL Lab として
本格的に研究活動を開始。

https://twitter.com/lab_new2



Q: はるらぼって何？

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。

おさらい: 何故ウーパールーパーなのか？

睡眠や成長制御の関連遺伝子や作用機序等、
アホロートルでは殆ど解明されていない。
(研究テーマのブルーオーシャン)

また、昨今の環境保全や SDGs の観点からも、
テーマ推進の価値が非常に高いと考えている。

目的: アホロートルの成長メカニズムについて明らかにする。

意義: 生態を理解することで、絶滅から救う糸口が掴める。



野生下→体長40cm以上
(飼育下では30cm程度)

<実験課題>

アホロートルの成長にとって
必要な因子は何か？



<実験内容>

成長率を定量して同定する



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
- ・系統間の比較
- ・生育にとって重要な栄養素・代謝機序の解明
- ・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）
- ・病原微生物の感染機序の調査
- ・腸内環境や腸内フローラ・食砂行動に関する調査
- ・ネオテニーの変態誘導の要因調査（ヨウ素・汚染ストレス）

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



はるらぼ関係者・共同研究者一覧 (2024/3/30 更新)

ウーパールーパー部門

[>>Home](#)

杉山 遥 (PN)・・・主任研究者
 F.N.三太子 (HN)・・・研究技術員・ウパセラピスト（治療相談員）
 竜岡 龍騎 (PN)・・・共同研究者（アンダーソン・タイガーサラマンダー担当）
 阿保郎 太郎 (PN)・・・アホロートル繁殖個体の維持（ファーム管理）
 萩原 和晃・・・技術担当・共同研究者

魚類部門

あすみ 悠 (HN)・・・共同研究者・メダカプロジェクト担当
 枝豆 やみん (HN)・・・共同研究者・熱帯魚担当

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。

案件創出・調査部門・運営監修など担当の皆様

横江 諄衛, 高橋 慶, 九条 薫 (PN), 永田 一将, 大泉 祐介, 久木崎 玲美, 烏龍 黎羅,

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)



はるらぼ★クロニクル (代表例)

～2021年

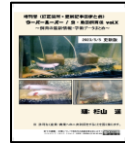
- ・ Twitter アカウントの開設
- ・ “ウーパールーパー研究室 はるらぼ” を開設
- ・ 汽水飼育評価系の構築を開始
- ・ 異種混泳試験の開始
- ・ 他、栄養環境の試験開始

>>Home



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、ウバ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)
- ・ 株式会社サイモン (SciMoun (株)) が公式スポンサーに就任.



アホロートルの生態と生息環境に関する知見 (2023-2024)

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

はるらぼ会報誌_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。

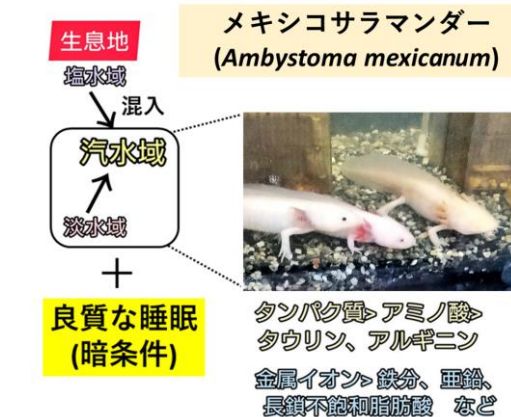
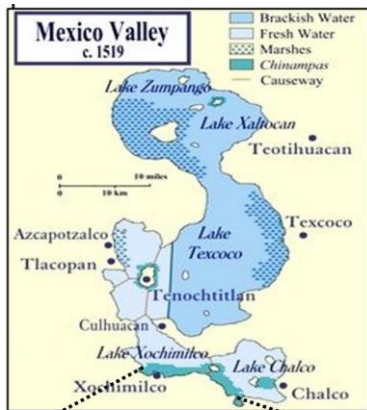
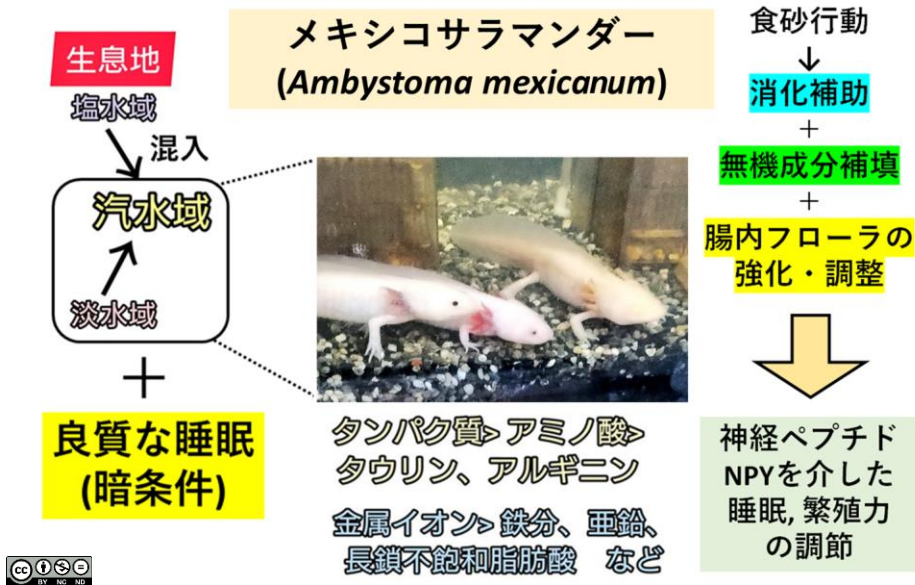
	ベアタンク時 (硬度低め)	産卵時 (硬度高め)
産卵時 (成体)	淡水～0.30%	淡水～0.40%
卵の孵化 (9割以上)	淡水～0.10%	淡水～0.15%
day30～60 (幼体)	0.10～0.15%	0.10～0.25%
day120以降 (亜成体以降)	0.10～0.20%	0.10～0.30%

- ・ 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、水の入れ替えが起こりにくく、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)



<現在>

水の硬度・・・中～高

Na 含有率

・・・中程度 (一定量のNaを含有している)

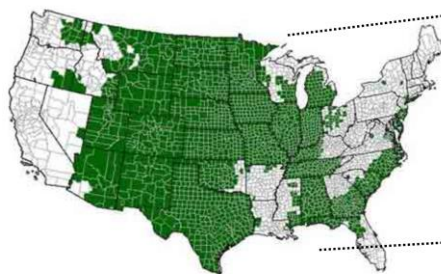
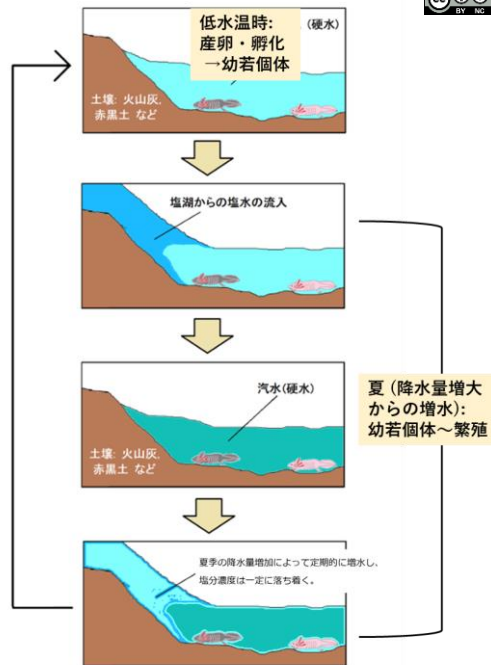
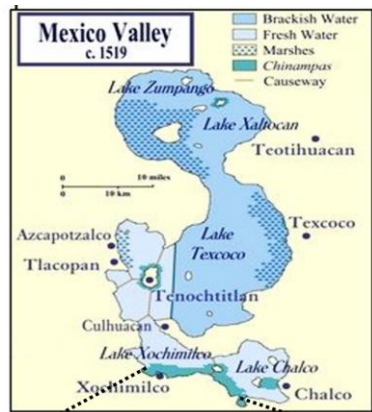
<植民地化前 (推定)>

水の硬度・・・中～高

Na 含有率・・・変動はあるが中～高?

(定期的に汽水であった?)





生息地: アメリカ大陸全般
水の硬度・・・中程度～非常に高い
Na含有率・・・低～非常に高い



メキシコ高:
タイガーサラマンダーの雑種が
野生化して問題に



アメリカ・テキサス州・メキシコ湾にて釣られた個体
(タイガーサラマンダーの雑種? ネオテニイ個体)
※ 参照: <https://www.reddit.com/r/newsofthe/comments/>



生息地: ザカプ湖
水の硬度・・・高
Na含有率・・・低(淡水)



生息地: ソチミルコ湖
<現在>
水の硬度・・・中～高
Na含有率・・・中程度(一定量のNaを含有している)
<植民地化前(推定)>
水の硬度・・・中～高
Na含有率・・・変動はあるが中～高?
(定期的に汽水であった?)

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)
といった防御応答が起こる。



アホロートルの生態と生息環境に関する知見 (2023-2024)

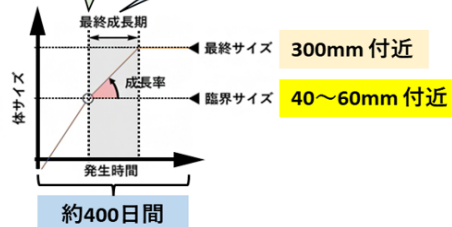
側線器官による
他個体の感知・応答

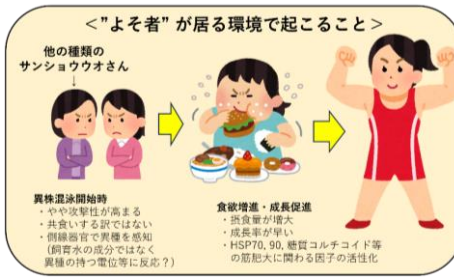


**成育密度の感知・成長速度の調整に
関する可塑性: 生後から90~120日**

生後1ヶ月

30~60日間





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。



《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。

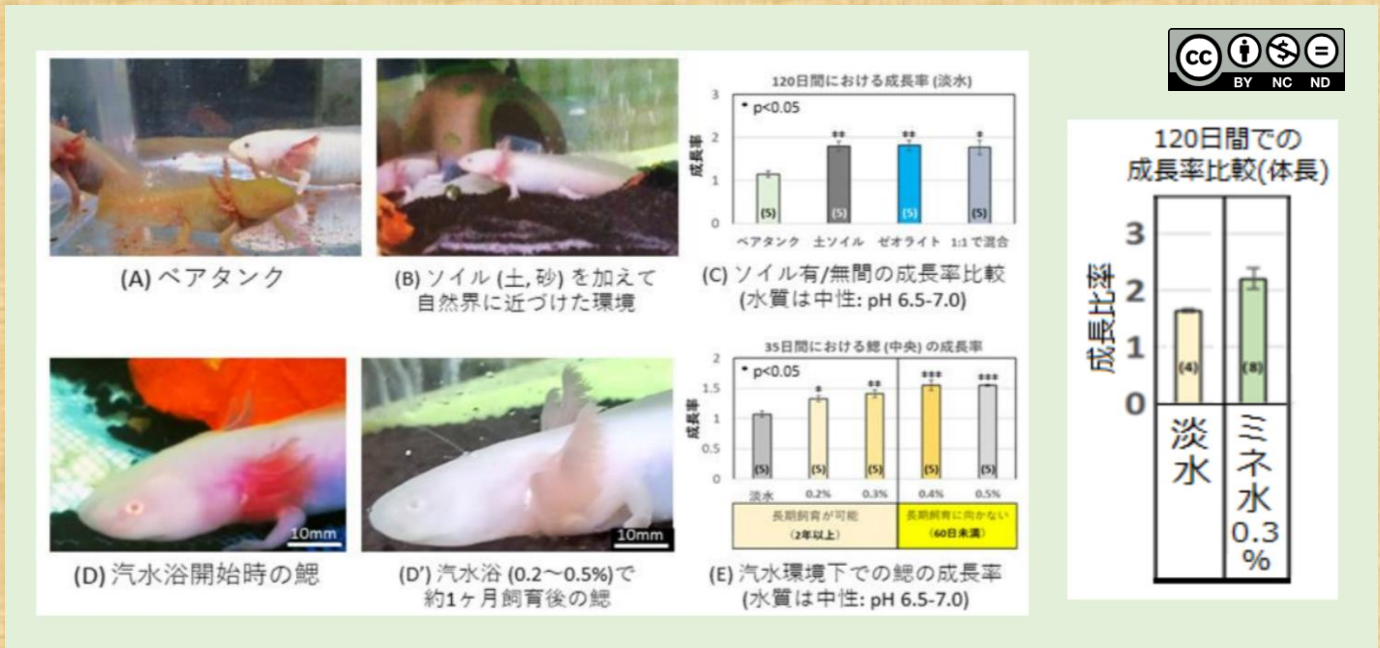
汽水条件である0.15～0.3%になるよう、塩水を作成し、そのままウーパールーパーを飼育する方法です。

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。

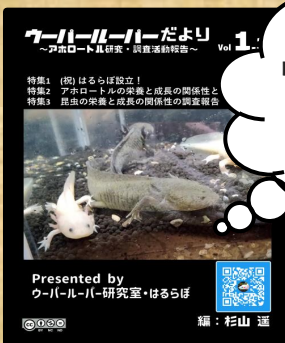
また、ソイルやゼオライトと併用することで、ミネ水の更なる効果や塩分による影響の緩和を見込めます。

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※がウパールパーの成長を早める**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！ ↓



「ウパールパー研究室_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》

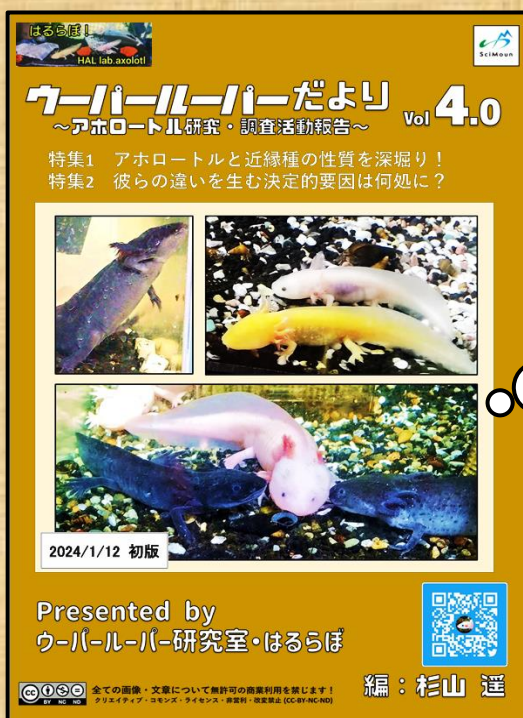
ウパールパーだより ～アホロートル研究・調査活動報告～

↓ 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！



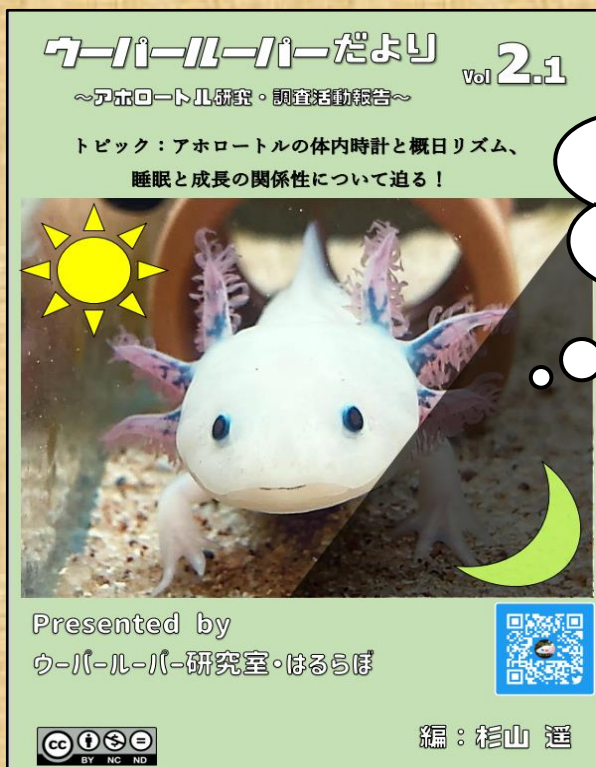
Vol 4 ウパールパの色違い で性質は変わる？

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>

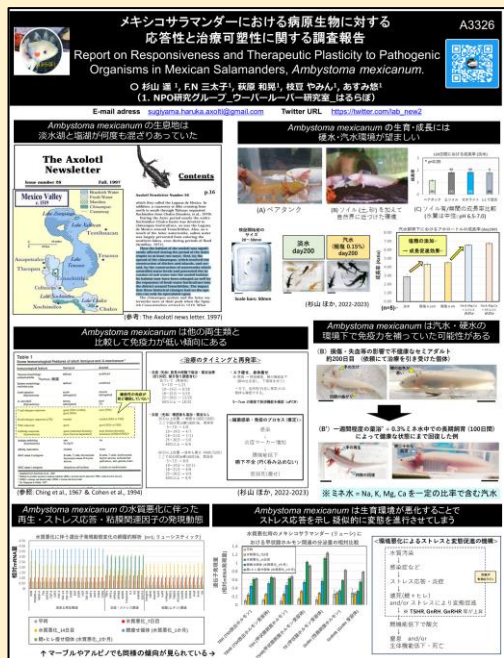
↓ 画像をクリックするとアーカイブが視聴可能！ ↓

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...

活動&成果報告・寄付など（詳細は https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl へ）

・論文・総説

【研究報告】 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 ← **NEW!**

(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 諄衡, 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】 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 誼衡 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, うにゃぎ 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 5.0 ← NEW!

著, 編纂, 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, 編纂, 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, 編纂, 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, 編纂, 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, 編纂, 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, 編纂, 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

・研究発表

・第46回日本分子生物学会年会 <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

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

○F.N. 三太子¹, 杉山 遙¹ (1. NPO 研究グループ_ウーパールーパー研究室_はるらぼ)

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

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

○杉山 遙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_ウーパールーパー研究室_はるらぼ)

・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

○杉山 遙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_ウーパールーパー研究室_はるらぼ)

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

萩原 和晃¹; ○杉山 遙¹ (1. NPO 研究グループ_ウーパールーパー研究室_はるらぼ)

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

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

杉山 遙¹ (1. NPO 研究グループ_ウーパールーパー研究室_はるらぼ)

・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)

・予算状況

- ・ 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)
- ・ 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)
- ・ 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)
- ・ 予算: 2022 年度: 約 1,3200,000 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)
- ・ 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)
- ・ 予算計画: 2024 年度: 約 1,532,000 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)

・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 (上記支援金を含む)。

2022～2024 年 他、活動支援として、ご寄付を頂戴しました (上記支援金を含む)。

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 (適当順, 適宜更新)

《 🚑 ウパールパ 119 番、無料相談窓口 🚑 》

by ウーパールーパー研究室_はるらぼ



皆様、ウパールパの飼育でお困りではありませんか？

「外鰓やヒレに元気がない。。。」

「餌を食べない/吐き戻す。。。」

「飼育方法って、これで合ってるのかな・・・？」

「みんな違うアドバイスをするから判断に困る。。。」

「SNS で相談すると、お説教が怖い。。。」

「もっとウパールパのことを知りたい！」

そんなウパの相棒の皆様、ご安心下さい！

私杉山にご相談いただけましたら、無料で誠心誠意、

ご相談に乗らせていただきます<(_ _)>

もし体調不良が気になるウパちゃんの情報などがございましたら、

そちらも是非是非お気軽にご相談下さい♪

【お問い合わせ先】

Twitter フォロー → DM でのお問い合わせ

ウパ研_はるらぼ Twitter リンク: https://twitter.com/lab_new2

杉山 遥 (筆者) の Gmail アドレス → sugiyama.haruka.axolti@gmail.com

【飼育・治療に関する情報】

杉山 遥 の research map ページ + 論文ダウンロードフォーム作製 (2023/2 月～)

当然、全記事・論文も取得無料で閲覧可能です。

杉山 遥 research map (日本学術振興会_研究者ポータルサイト):

https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl

2024.05.18 [SAT]

超異分野学会2024 岡山・中四国大会

生態系の結合 / Ecosystem Connect

岡山コンベンションセンター 1F イベントホール

<https://hic.lne.st/schedule/okayama-chushikoku->

[2024/?utm_source=pardot&utm_medium=email&utm_campaign=hic_okayama2024_20240518&utm_content=text link](https://hic.lne.st/schedule/okayama-chushikoku-2024/?utm_source=pardot&utm_medium=email&utm_campaign=hic_okayama2024_20240518&utm_content=text_link)

超異分野学会 2024 岡山・中四国大会 演題登録 1

申請者 Email

sugiyama.haruka.axolti@gmail.com

申請ステータス

Applied

申請者情報

氏名: 杉山 遥 Sugiyama Haruka

所属: NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ

研究科・部署: メキシコサンショウウオ生態研究部

肩書: 主任研究者

プロフィール写真



共同研究者

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ 萩原 和晃

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ あすみ 悠

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ 枝豆 やみん

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ F.N. 三太子

はるらぼファーム 阿保郎 太郎

サイマン・テクノロジー 横江 諄衡

演題登録情報(WEB 一般公開部分)

演題/テーマ名

ウーパールーパーのふしぎを解き明かす

演題/テーマ名(英語)

Our research, "What is the Axolotl, Ambystoma Mexicanaum?"

発表内容 / 事業に関するキーワード(ご自身に関連があると思うものを5つまで)

環境保全 メキシコサラマンダー ウーパールーパー 絶滅危惧種 SDGs

連携希望分野・業種

アクアリウム 保全生物学 地域団体 博物館 動物園

超異分野学会の参加者に求めるもの(複数選択可)

異なる視点からの意見;共同研究;実証フィールドの提供・活用;研究成果・保有技術の活用

あなたの研究 / 事業のイチ押しポイント(100字以内)

ウーパールーパーの生態を本気で全て理解しようと奔走している研究者は我々だけ！

"アホロートル" が何故ここまでメキシコ・ソチミルコで数を減らしてしまっているのか、その謎について解き明かします。

我々の活動は、ウーパールーパーの野生種、絶滅危惧種であるメキシコサラマンダー (Ambystoma Mexicanaum) について生態学・分子生物学・遺伝学・生理学・地質学まで多岐に渡り包括的に取り扱う保全研究プロジェクトです。

要旨(200文字以内)

両生類の保全活動と研究活動の両立は思った以上に進んでいないのが現状です。ペットとして親しまれているウーパールーパー、その野生種であるメキシコサラマンダー も、現在絶滅の危機に瀕しており、野生種は殆ど生き残っておりません。

我々は、彼らを救いたいという強い想いから、あらゆる観点から包括的に調査・研究して参りました。今回、我々の活動の現状と得られている知見について共有させていただきます。

演題登録情報(学会参加者のみ共有部分)

研究 / 事業の背景・動機(200字以内)

両生類の保全活動と研究活動の両立は思った以上に進んでいないのが現状です。

ペットとして親しまれているウーパールーパーの野生種であるメキシコサラマンダー (Ambystoma Mexicanaum) は、現在絶滅の危機に瀕しており野生種は殆ど生き残っていないのが現状です。

我々は、彼らを救いたいという強い想いから、2020年に私設ラボを設立し、あらゆる観点から包括的に調査・研究して参りました。

現在の取り組みと成果(200字以内)

現在、彼らの生息地であるメキシコ・ソチミルコは度重なる土地開発や埋め立てなどで、生育できる水環境を失っており、かつての生息地の情報が非常に少ないのが現状です。そこで過去の地形や水質に関する文献・記録に基づき推定した生育環境下で彼らを育成することで、定期的な汽水環境下で彼らが生息していた可能性や硬度の高い水域で感染源が少ない環境で生息していたために免疫力が非常に脆弱である事を明らかにしました。

これからの展望(200字以内)

今後、近縁種であるアンダーソンサラマンダーやタイガーサラマンダー等の種分化や分布と生態系の関連性や、成長や生育・子孫の繁栄において必要不可欠な栄養・餌条件・水質などについてより詳細に明らかとすることで、より大型のビオトープのような野生下に近い環境下での生育調査に移行する上で必要なパラメータを得ていきたい。

申請者 Email

sugiyama.haruka.axoltl@gmail.com

申請ステータス

Applied

申請者情報

氏名: F.N.三太子 F.N. Santako

所属: NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ

研究科・部署: メキシコサンショウウオ生態研究部

肩書: 研究技術員

プロフィール写真



共同研究者

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ 杉山 遥 (代表・主任研究者)

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ 萩原 和晃

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ あすみ 悠

NPO 研究グループ・ウーパールーパー研究室・はるらぼ 枝豆 やみん

はるらぼファーム 阿保郎 太郎

サイマン・テクノロジー 横江 誼衡

演題登録情報(WEB 一般公開部分)

演題/テーマ名

ウーパールーパーレスキュー911

演題/テーマ名(英語)

Axolotl rescue 911

発表内容 / 事業に関するキーワード(ご自身で関連があると思うものを5つまで)

メキシコサラマンダー ウーパールーパー 治療法 動物看護 動物医療

連携希望分野・業種

アクアリウム 保全生物学 地域団体 博物館 動物園

超異分野学会の参加者に求めるもの(複数選択可)

異なる視点からの意見;共同研究;実証フィールドの提供・活用;研究成果・保有技術の活用;事業化での連携

あなたの研究 / 事業のイチ押しポイント(100字以内)

ウーパールーパーの生態を本気で全て理解しようと奔走している研究者は我々だけ！

“アホロートル”が何故ここまでメキシコ・ソチミルコで数を減らしてしまっているのか、その謎について解き明かします。

F.N.三太子は、アホロートルの免疫の脆弱性を飼育個体における治療相談を受け、救っていく中で明らかにする活動に取り組んでいます。

要旨(200文字以内)

両生類の保全活動と研究活動の両立は思った以上に進んでいないのが現状です。ペットとして親しまれているウーパールーパー、その野生種であるメキシコサラマンダーも、現在絶滅の危機に瀕しており、野生種は殆ど生き残っておりません。

我々は、彼らを救いたいという強い想いから、その免疫力の脆弱性の要因を解明するために飼育個体の治療相談を受ける中で、異変の要因やその指標などの基準を明らかにしました。

演題登録情報(学会参加者のみ共有部分)

研究 / 事業の背景・動機(200字以内)

両生類の保全活動と研究活動の両立は思った以上に進んでいないのが現状です。

ペットとして親しまれているウーパールーパーの野生種であるメキシコサラマンダー (Ambystoma Mexicanum) は、現在絶滅の危機に瀕しており野生種は殆ど生き残っていないのが現状です。

我々は、彼らを救いたいという強い想いから、2020年に私設ラボを設立し、あらゆる観点から包括的に調査・研究して参りました。

現在の取り組みと成果(200字以内)

杉山代表を中心とした分子生物学的なアプローチによるアホロートル保全のための調査とは別に、動物看護の観点から彼らの免疫力の低さやその要因解明・改善のための必要事項などを無料治療相談(ウパレスキュー)活動を実施するなかで統計的に明らかにし、その知見を2023年12月開催の第46回日本分子生物学会年会において発表しました。

これからの展望(200字以内)

今後、近縁種であるアンダーソンサラマンダーやタイガーサラマンダー等の種分化や分布と生態系の関連性や、成長や生育・子孫の繁栄において必要不可欠な栄養・餌条件・水質などについてより詳細に明らかとすることで、より大型のビオトープのような野生下に近い環境下での生育調査に移行する上で必要なパラメータを得ていきたい。

【研究開発報告】

マルチビタミンを恒常的に投与した生体飼料系統の開発と 給餌後のアホロートル（ウパミン）に対する効果・恩恵

報告日: 2024 年 3 月 30 日

著: 杉山 遥[※] (Ph. D)¹, 横江 誼衡 (サイマン)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アホロートルルーパー研究室_はるらぼ
since 2020~

sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

X (旧 Twitter): https://twitter.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: [サイマン・テクノロジー](#) @SciMounTech (X/Twitter)

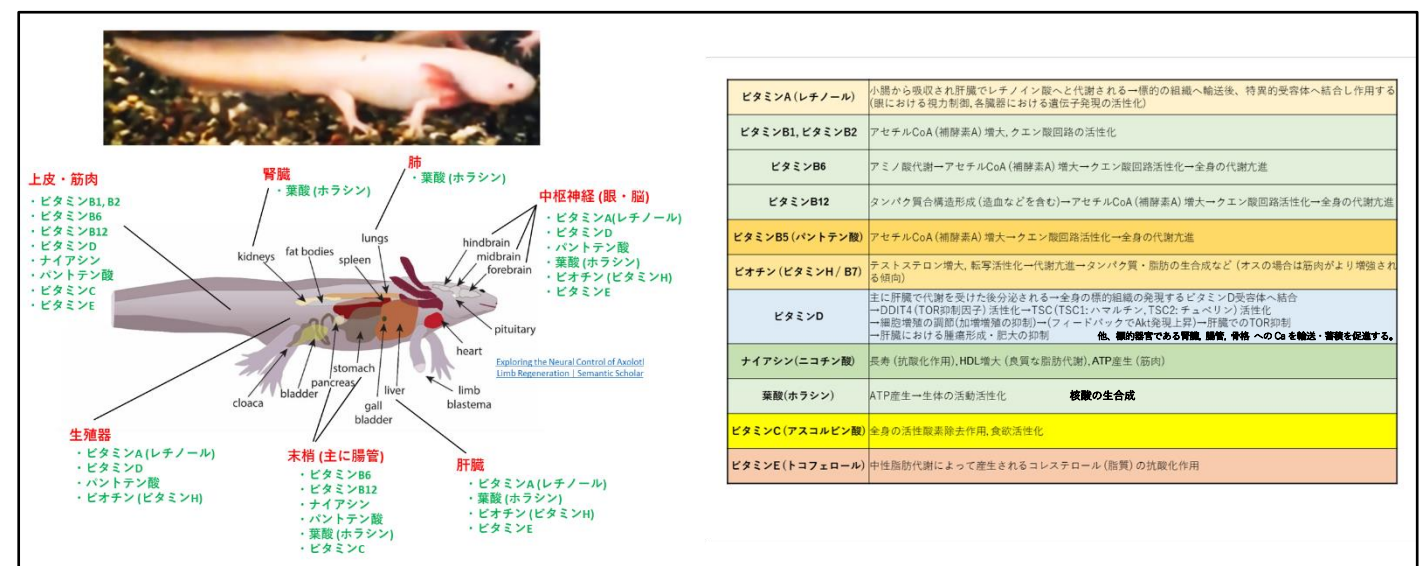


※ CC-BY-NC-ND; 本文献の許可なき商業利用、無断転載・改変の一切を禁止します。

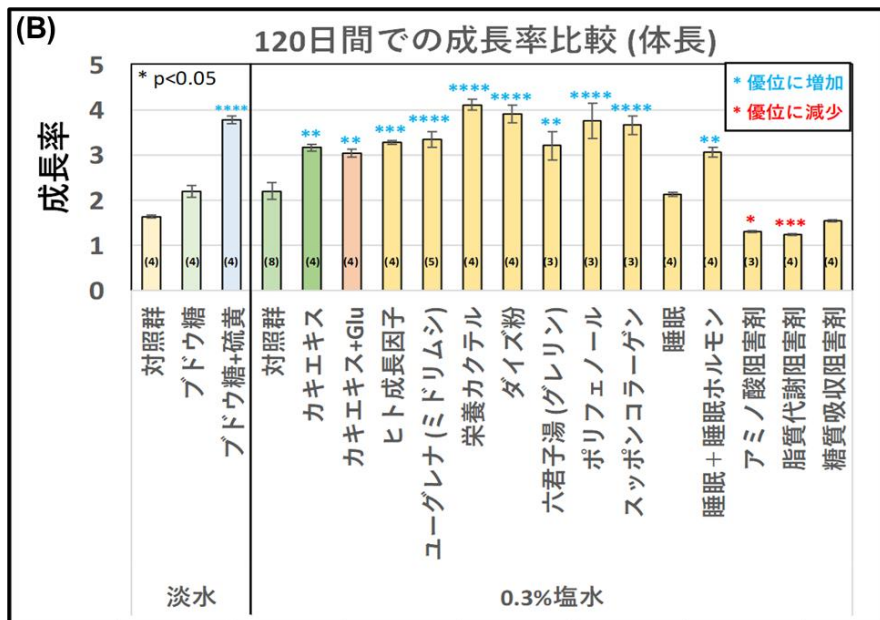


概要 Abstract

- これまでの我々の研究報告にて、メキシコサラマンダー (*Ambystoma mexicanum*, Axolotl; 以下、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)・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 1&2, 図 4, 当ラボポータルサイト>業績リスト https://researchmap.jp/HAL_lab_Axolotl. 参照)
- ビタミン類の効果については、人類の健康な生活において有用であることが知られており (図 1~3. 参照)、爬虫類や魚類・哺乳類の飼育についても幾つかの知見があり、彼らの生育にとって有用であると言われている。(文献 1, 補足図 1-1&1-2. 参照) 一方で、その詳細な機序や効果についてはまだ不明瞭な部分も多い。
- 本研究において、アホロートルの成長・生育においても不明瞭であったビタミン類の重要性について調査するために、様々な手法で経口投与を実施したところ、成長率が顕著に向上することを明らかとした。
- 投与の手法として、従来与えているペレット状の粒餌やアカムシとビタミン類を振りかけて併せて投与する方法のみならず、メダカ・フタホシコオロギ・ショウジョウバエ 等に餌と共に与えた状態でアホロートルに給餌させることで、効率的にビタミン類の効果を発揮させることができた。
- このマルチビタミンを摂取した活餌 および ビタミンを摂取したアホロートルの系統名・呼称について、以下のように命名した。
 - メダカ (ミナミメダカ, *Oryzias latipes*) “MB-M1_メダミン” (図 5-1. 参照)
 - フタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) “MC-M2_フタミン” (図 5-2. 参照)
 - キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) “MD-M3_ドロソミン” (図 5-3. 参照)
 - アホロートル/メキシコサラマンダー/ウーパールーパー (*Ambystoma mexicanum*) “MA-M5_ウパミン” (図 6. 参照)
- ヒトやマウスの知見に基づき、ビタミン類が関わる代謝経路やシグナル伝達系に関わる因子のうち、アホロートル・メダカ・フタホシコオロギ・ショウジョウバエにも関連遺伝子の配列が保存されているものに広く注目し、ビタミン摂取後に転写産物 (mRNA) の発現量が変動しているものを抽出することで、生育・成長にビタミンを必要とする器官・臓器を抽出し、どの部位・領域に対してどのビタミンが作用するかについて明らかにした (以下、Graphical abstract, 補足図 26. 参照)。



Graphical abstract: アホロートルにおけるビタミン類の効果・作用機序と標的器官 (臓器) 一覧



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)



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。

【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

【飼育密度の設定】

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。

【給餌条件】

給餌は週 2-3 回、ZT および CT13-15 (午後 7~9 時) に必ず行った。

ビタミンを摂取させる際、Nature Made マルチビタミン (大塚製薬株式会社) などのビタミン剤 (ビタミン K1, K2 は別途検討) を粉末状にすり潰し、餌 [市販粒餌: ひかりウーパールーパー (キョーリン) および 冷凍アカムシ] と混合し、経口投与にて各生体 (アホロートル, メダカ, フタホシオオロギ, ショウジョウバエ) へと摂取させた。(補足図 3-1&3-2, 過去検討結果 3, 図 4. 参照)

この投与方法により、脂溶性のビタミン類 [ビタミン A (レチノール / β -カロテン), D (カルシフェロール), E (トコフェロール), K (フィロキノン)] であっても、ある程度腸管からの吸収を望むことが可能である。

実際、ビタミン A 関連因子や代謝に関する因子の発現活性化が確認できる。(補足図 4, 5, 25-1&25-2. 参照)

【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 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。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。高硬度汽水（ミネ水）作製時は、瀬戸内海産の荒塩を用いて調整を行った。(100g 当たり NaCl 94.0g、MgCl₂ 150mg)。給餌は週 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】

遺伝子発現解析の手法としては、RT-qPCR を用いた。

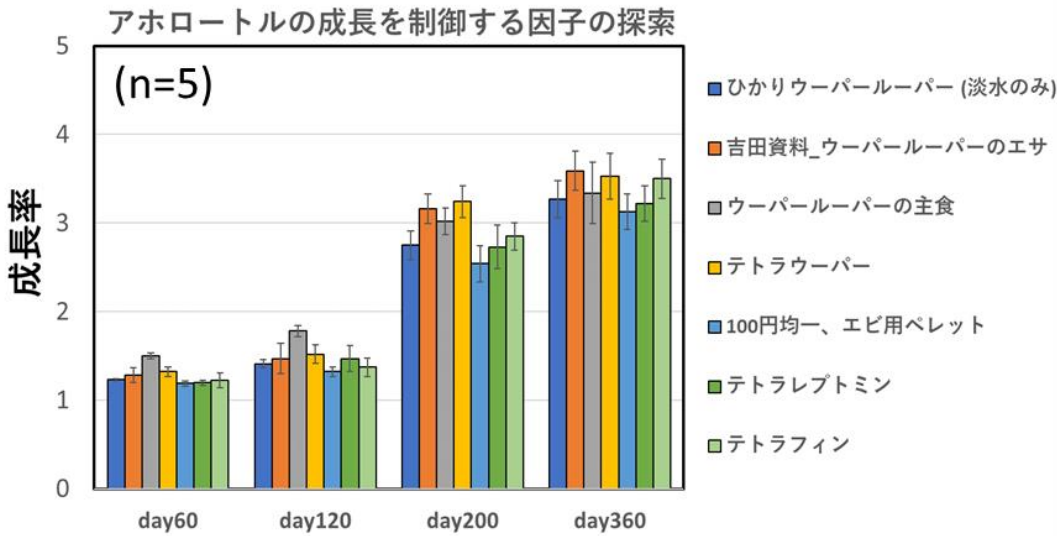
調査対象: 主に day60~day70 (体長 60mm~80mm 付近) の個体

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。

※下記の結果は、到着時の個体の stage が基本的に4cm付近であることから day30とし、その地点からの成長比較をしています。
 なので 実験開始〇〇日目、と書きかえるなら、30日間を引いた値となります。



参考: 市販ペット餌の成長率への影響の比較
(成長率への影響に違い見られるのか検証)

組成の比較 (例)

ひかりウーパールーパー
(キョーリン)

[illegible]

吉田資料
ウーパールーパーのエサ

■原材料
フィッシュミール/オキアミミール/グルテンミール/小麦粉/デンプン/脱脂大豆/ふすま/海藻粉/
クロレラ/乳酸菌/魚油/ビタミン・ミネラル類

■組成表示
粗たん白質48%以上/粗脂肪6%以上/粗繊維3%以下/粗灰分15%以下/水分10%以下/リン1%以上

コメット・ウーパールーパーの主食 (イトスイ)

フィッシュミール・オキアミミール・小麦・澱粉・バナナ粉末
海藻粉末・酵母・各種ビタミン・ミネラル類他

たんぱく質	48%以上	脂 肪 質	3%以上	粗 繊 維	3%以下
灰 分	15%以下	水 分	10%以下		

100均 (ダイソー) ザリガニの餌

材質：魚粉 魚油 小麦粉 大豆油 かす 米ぬか ビタミン カルシウム

テトラウーパー (テトラ)

栄養の与えかた
1日に2〜3回、数分で食べ尽くす量を
与えてください。

原材料
フッシュミール、植物性蛋白質、オキミ
ミール、野菜類、油脂、酵母、乾燥、濃縮、アミノ
酸、ビタミン、ミネラル、グルカン

保 証 成 分

粗蛋白質	52.0%以上
粗脂肪	1.5%以上
粗繊維	2.0%以上
粗灰分	14.0%以下
水分	9.4%以下

賞味期限・底面に記載

販売元 株式会社プラズマ ブランズ 株式会社
〒220-0004 神奈川県横浜市中区本町2-26 10階ビル
新横浜駅前ビル
お問い合わせ **045-322-4330**



テトラ ホームページ <http://www.tetra-ip.com>

テトラフィン

品名	デトラフィン 50g
原材料	フィッシュミール、穀類、酵母、植物性蛋白質、シュンブミール、油類、海藻、糖類、レシチン、クエン酸、βグルカン、ビタミン類、ミネラル類
栄養成分	粗蛋白質：42.0%以上粗脂肪：11.0%以上粗繊維：2.0%以下粗灰分：10.5%以下水分：6.5%以下

テトラレプトミン

与え方	保 証 成 分
1日最低2～3回、数分ずつ食べ尽くす量を与えてください。えさの与え方々に注意してください。	粗蛋白質：37.0%以上
原材料	粗脂肪：4.5%以上
フィッシュミール、植物性蛋白質、酵母、甲殻類、油魚、藻類、ユッカ、ビタミン類(A、D、E)、ミネラル類(Ca、P、Mg、Zn、Fe)、グルコン	粗繊維：2.5%以上
※本製品を水で溶かして与えますので、通常飼料よりフードの色が多量な水を含みますが、品質に問題ありません。	粗灰分：15.0%以下
	水分：9.0%以下
	賞味期限：下部に記載

過去検討結果 3: 市販のペレット状餌の成分・組成と摂取個体の成長率 (杉山, 2023)

結果・考察 Results & Discussions

【生体におけるビタミン摂取の効果と活餌としての恩恵】

ビタミン類 (Vitamin) は摂取することで活力を得られる物質としての総称であり、“脂溶性ビタミン” (ビタミン A, D, E, K) と “水溶性ビタミン” [ビタミン B 群, ビタミン C, ナイアシン, ビオチン (ビタミン H), 葉酸] に大別される。また、それぞれが生体内で異なる挙動を示すことが知られている (参考文献 1, 図 1~2. 参照) が、これらのビタミン類を広く含有するマルチビタミンを用いることで、広い標的に対して効果を示すことが可能であるとされている。(図 3. 参照)

我々は、アホロートルにおけるビタミン類の直接摂取 および 活餌を介した摂取による実際の効果について、成長・生育および繁殖能力に注目すると同時に、それらの活餌を系統化し広く普及させることで一般化できないかと考え、調査・開発を同時並行で進めた。その結果、一定の効果を示した系統について、以下のような呼称を命名するに至っている。

- メダカ (ミナミメダカ, *Oryzias latipes*) “MB-M1_メダミン” (図 5-1. 参照)
- フタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) “MC-M2_フタミン” (図 5-2. 参照)
- キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) “MD-M3_ドロソミン” (図 5-3. 参照)
- アホロートル/メキシコサラマンダー/ウーパールーパー (*Ambystoma mexicanum*) “MA-M5_ウパミン” (図 6. 参照)

これら MB-M1_メダミン, MC-M2_フタミン, MD-M3_ドロソミン 共に、マルチビタミンを給餌することで統計的に有意に成長率および繁殖力の向上が確認された。

同様に、アホロートルへの経口投与によって、同様の成長率の向上が示唆された (MA-M5_ウパミン)。併せてアホロートルの成長率に注目すると、直接摂取とビタミン摂取活餌系統の経口摂取は同程度に高い成長促進効果を示し、成長・再生に関わる因子群も同様に有意な発現上昇を示した。(補足図 1-1, 1-2, 1-6. 参照) またこの時、腸内細菌叢にも活性化が見られた。(補足図 3. 参照) また、炎症関連の因子の発現低下と粘膜関連因子の発現上昇が見られることから、ビタミン類の摂取によって免疫力が向上する可能性が示唆された。(補足図 2. 参照) また、初期胚 (受精卵) における浸透圧への耐性も向上しており、粘膜の強化や塩類排出の活性化などの生理機能の向上が示唆された。(補足図 1-5. 参照)

アホロートルにおけるビタミン類の直接摂取とビタミン摂取活餌の摂取の違い・利点としては、生き餌にビタミン類を代謝させることで消化能力が高くないアホロートルへの負担を軽減させることや、より食いつきの良い活餌の生体内へビタミンを封入することで経口摂取よりも効率的にアホロートルの体内へより多くのビタミン類を導入可能である点が挙げられる。(図 6. 参照)

また、ビタミン類を摂取したこれらの活餌における成長因子の発現量増大を踏まえると、体内に蓄積されたビタミンのみならず、多くの成長因子をより効率的に摂取可能である点も大きな利点であるといえる。(補足図 1-1 & 1-2. 参照) 尚、野生下において、肉食のアホロートルがビタミン類を摂取する経路としては、活餌や底砂を介した摂取が考えられ、本研究結果とも相関する。

ビタミン類の摂取は、生殖能力 (妊性) にも関わっており、ビタミン群/ビタミン類含有の活餌を摂取した成熟個体では累計産卵数 (並びに オスの精包放出/メスの産卵の誘発率) が顕著に増大する傾向が見られた。(補足図 1-3 & 1-4. 参照)

尚、アホロートルの成長不全個体のうち、一部がビタミン類への応答性や代謝不全が要因である可能性を示す結果が得られている。その経緯として、ビタミン類が成長・生育に与える効果の検証に際し、成育が遅い個体に着目したことに端を発する。特に、低密度条件 (材料と手法. 参照) でも生育が遅い個体では、成長において必要な因子の欠損・発現低下が想定されたため、ビタミン類に関与する因子の遺伝子発現 (mRNA) について確認を実施した。その結果として、成長不全が高頻度で確認される系統では、一定の割合でビタミン関連の遺伝子発現が欠乏している個体が確認された。そこで、これらの成長不全・成長遅延個体に対してマルチビタミンを投与し、ビタミン類摂取の補助を試みた所、ある程度成長率が促進・回復することが明らかとなった。このように、ビタミン類の摂取によって成長率がある程度回復できる個体同士を交配することで、樹立した系統 (すなわちビタミン類を積極的に与えないと生育・成熟できない系統) を “**ビタミン要求個体 (系統)**” とした。この系統においてビタミン関連因子の発現動態の確認を実施したところ、正常個体・成長不全個体群と比較して顕著なビタミン関連因子の発現低下が確認できた。尚、これらの成長・生育不全形質のレスキューに際し、マルチビタミン (+ 粒餌 or アカムシ) や 今回開発検討を行ったビタミン含有活餌 を与えることで、一定以上の効果を示す成果が得られている。(補足図 25-1 & 25-2. 参照)

【各ビタミン類が個々にもたらす作用・効果とその作用機序・経路について考える】

※ 青字 (下線あり) の一部に参考文献のリンクあり。 知見の概要一覧は、表 1 および 補足図 26 にて示す。

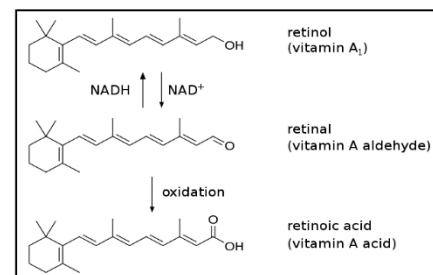
ここまでの結果から、マルチビタミンやビタミン類を摂取した活餌を摂取することで、成長・生育や免疫力の確保・繁殖力が向上することが明らかとなった。そこで次に、個々のビタミンがアホロートルおよびビタミンを摂取した活餌個体において、どの組織・臓器に対して作用しどのような効果をもたらすのか、について明らかにすべく、関連情報・文献の調査 および 関連遺伝子の実験の発現動態の調査・分析を順次実施した。以下、得られた情報・知見について示したと思う。

尚、標的器官とその効果についての総括は、補足図 26 の図・表のまとめを参照のこと。

ビタミン A (レチノール/β カロテン) 標的組織と作用機序・効果

ビタミン A (ビタミン A1: レチノール, プロビタミン: β カロテン; 分解 → ビタミン A 産生) は、脂溶性のビタミンであり、ヒトにおいて小腸から吸収後、肝臓で代謝され、標的の組織へと送られる。また、酸化されることでレチノイン酸へと変化する。ビタミン A およびその誘導体は、以下のような作用/役割・生理活性を示す。(補足図 4&5, 文献 1. 参照)

- ・ 皮膚 (上皮) 細胞の分化を促進する。 [Wayback Machine \(archive.org\)](https://www.waybackmachine.org/)
- ・ 視細胞 (視力を司る細胞の総称) である桿体細胞 (光の明暗を感知する細胞) 中の光受容タンパク質であるオプシンと結合することでロドプシンとなる。これにより、幅広い波長域の色の波長を吸収できるようになる。そのため、ビタミン A が欠乏しロドプシンが不足すると、受け取れる光量が減少し、夜盲症のような視力低下を引き起こす。



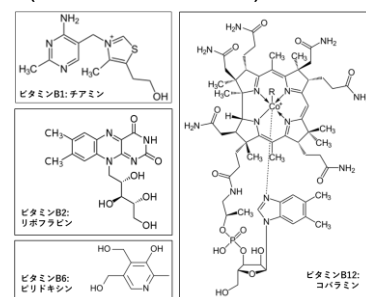
昆虫類 (ショウジョウバエ, コオロギ) および 魚類 (メダカ)・両生類 (アホロートル) いずれにおいても、関連因子 (LRP, RBPR2/Crb3, CREBP4, ALDH1, LRAT, STRA6, RAR, RXR etc...) が代謝に関わる肝臓 (およびそれに相当する器官) や標的器官 (眼, 脳, 上皮・筋肉, 生殖器) において発現しており、マルチビタミンの投与後から数時間後に有意な発現上昇が確認された。これらの結果から、小腸から吸収されたレチノールが、肝臓でレチノールからレチノイン酸へと代謝され、上記に挙げた標的の組織へと輸送された後、特異的受容体 (RAR, RXR) へと結合することで効果を発揮すると考えられる。

ビタミン B1 (チアミン), B2 (リポフラビン) ビタミン B6 (ピリドキシン), B12 (コバラミン) の作用機序とその効果

ビタミン B1 (チアミン)、ビタミン B2 (リポフラビン)、ビタミン B6 (ピリドキシン)、ビタミン B12 (コバラミン) は、いずれも水溶性ビタミンであり、生命が生きていく上で必要不可欠なエネルギーの源である ATP (アデノシン三リン酸) の産生にとって必要不可欠である。ATP 産生のための経路として、解凍系・クエン酸回路・電子 (水素) 伝達系 の 3 つが存在している。

その中のクエン酸回路の働きにおいて、ビタミン B 群の多くが関与していることが知られている。(補足図 6&7. 参照)

タンパク質や糖質の代謝において産生されたピルビン酸は、ピルビン酸脱水素酵素 (Pyruvate dehydrogenase, PDH; ピルビン酸デヒドロゲナーゼ) の活性によって補酵素であるアセチル CoA へと変換される。この PDH の作用においてビタミン B1, B2 の存在が必要不可欠である。PDH および活性化などに関連する遺伝子はヒトにおいても報告が多くみられ、マウスなどの哺乳類のみならず、アホロートルを含む両生類や魚類・昆虫類においても発現が確認されている。



同様に、クエン酸回路において α-ケトグルタル酸から生合成される補酵素スクシニル CoA にも同様に、ビタミン B1, B2 の作用が必要であることが知られている。このスクシニル CoA を基質とし、Alas (アミノレブリン酸シンターゼ, Aminolevulinic acid synthase) によって合成される アミノレブリン酸 (ALA) は、ヒトにおいて鉄と結合することでヘムを生み出す (血液の赤色素ヘモグロビンに含まれる成分) ことが知られており、この Alas はアホロートル・メダカ・昆虫類においても相同因子の発現が確認された。

同様に、ピルビン酸の生合成において、アミノ基を転移させる酵素 (アミノ基転移酵素=トランスアミナーゼ) の効果によってアミノ酸であるアラニンからアミノ基を転移させる酵素 [アラニンアミノ基転移酵素 ALT, アラニン:グリオ

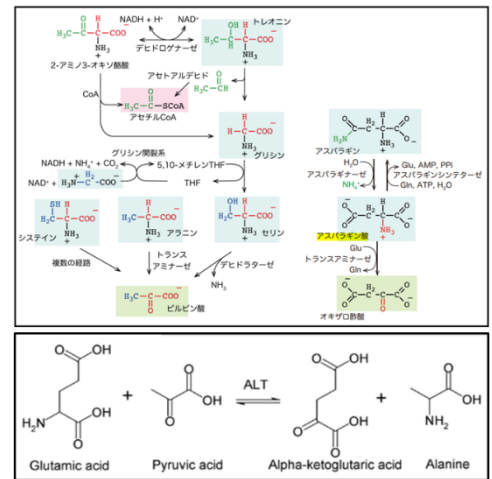
キシル酸アミノトランスフェラーゼ 1 (AGT1; 肝臓の細胞内小器官であるペルオキシソームに存在する)] や、

α -ケトグルタル酸をオキサロ酢酸とグルタミン酸に相互変換する酵素 [AST (Aspartate transaminase) または GOT (Glutamic Oxaloacetic Transaminase: グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミナーゼ)], 細胞質基質で働くものは s-AST.] などの作用にビタミン B6 が関わっている。

これらの因子は全身で発現が見られ、筋肉や皮膚 (上皮)、末梢の上皮組織 などにおいて一定の発現が見られ、マルチビタミンの投与後に顕著な発現増大を示した。

また、ビタミン B12 は、スクシニル CoA の生合成に一部関与し、前述の ALT や AST の発現と連動していると考えられる。

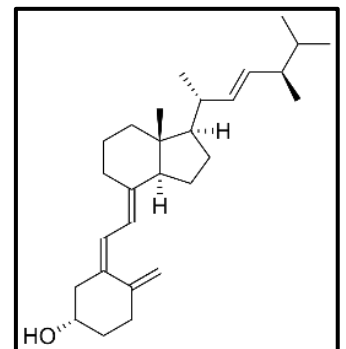
これらの結果から、アホロートルにおいて、ビタミン B1, B2, B6, B12 は補酵素 CoA の生合成を含めて、クエン酸回路を介した全身の代謝の制御・活性化に複合的に作用することが推察される。



ビタミン D (カルシフェロール) の作用機序とその効果

ビタミン D (カルシフェロール) は脂溶性のビタミンであり、肝臓に蓄積されて 25-ヒドロキシビタミン D (25(OH) D) として血中に放出され、腎臓ではさらにヒドロキシ化 [25-ヒドロキシビタミン D: (1, 25(OH)2D)] される。このヒドロキシ化されたビタミン D (1, 25(OH)2D) は、標的組織に局在する特異的受容体 (VDR) に結合し、様々な効果を発揮させる。(補足図 11 & 12. 参照)

- ・腸管...Ca の吸収を促進する
- ・腎臓...Ca の再吸収を促進する
- ・硬骨...Ca 吸収の促進→蓄積による骨形成



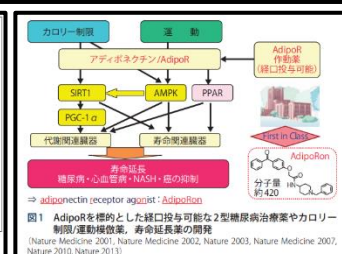
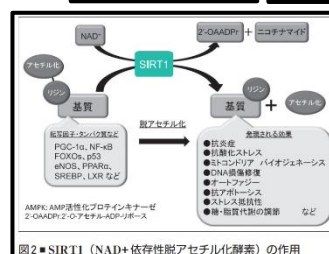
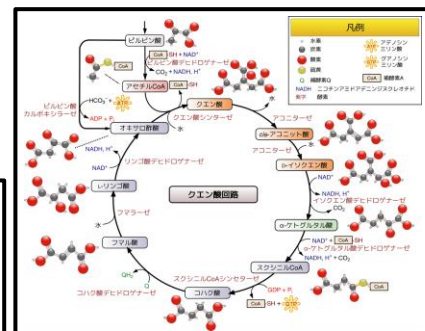
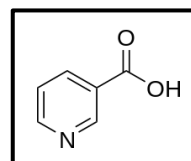
また VDR を介したシグナル経路には、以下のように肝臓における腫瘍の形成・肝臓肥大などを抑制する効果の報告がある。

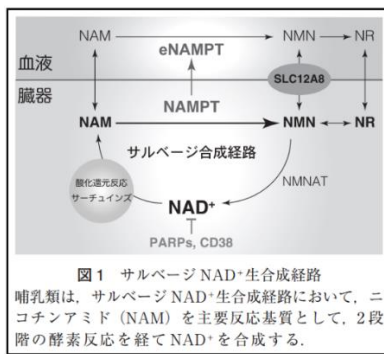
- ・全身の標的組織の発現するビタミン D 受容体へ結合
 - DDIT4 (TOR 抑制因子) 活性化
 - TSC (TSC1: ハマルチン, TSC2: チュベリン) 活性化
 - 細胞増殖の調節(加増増殖の抑制)→(フィードバックで Akt 発現上昇)
 - 肝臓での TOR 抑制→肝臓における腫瘍形成・肥大の抑制

この VDR は、アホロートル・メダカ・昆虫類においても相同因子の発現を確認することができ、マルチビタミンの投与後に、顕著に発現の増大が確認できた。VDR は生殖器や中枢神経でも発現が高く、生物種がことなっても類似の発現パターンが見られるが、厳密な役割が生物毎に恐らく若干異なる可能性はあるが、知見が十分ではないことから、上記の Ca 再吸収や肝臓 (魚類・両生類) /脂肪体・エノサイト (昆虫類) における腫瘍への関与の可能性が高いという考察までで現状は留めておく。

ナイアシン (ニコチン酸) の作用機序とその効果

ナイアシン NA / ナイアシナミド NAM (ニコチン酸 / ニコチン酸アミド; ビタミン B3) は水溶性ビタミンであり、必須アミノ酸であるトリプトファンから生合成される。また、生体内で ニコチンアミドアデニンヌクレオチド(NAD) および ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸(NADP) などに変換され、代謝時の補酵素として利用される。この NAD は脱アセチル化酵素である SIRT1によって NAM へ再び変換されることで代謝制御が循環される。NAD は前述のエネルギーの源 ATP の生合成にも関与することが知られている。尚、この SIRT1 は長寿タンパク質としても知られており、HDL 増大 (良質な脂肪代謝) や抗炎症作用など、細胞や組織の老化を抑制





する働きを示し、これらの生理活性はナイアシン摂取の効果として挙げる事ができる。

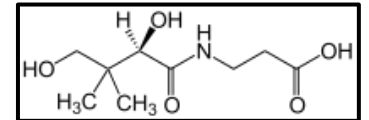
また、ニコチンアミドアデニンヌクレオチド (NAD) → SIRT → ナイアシンアミド (NAM) → ニコチンアミドモノヌクレオチド (NMN) の循環によって生じる NMN は、特異的な輸送体である [Slc12a8](#) を介して血液と組織・臓器を行き来することが報告されている。

尚、SIRT1 および [Slc12a8](#) は、アホロートル・メダカ・昆虫類において全身 (本検討に際しては腸壁・筋肉) で発現が確認され、いずれの生体に対してマルチビタミンを投与した後に

いても、SIRT1・[Slc12a8](#) mRNA の顕著な発現増大が確認された。(補足図 13&14. 参照)

ビタミン B5 (パントテン酸) の作用機序とその効果

[ビタミン B5 \(パントテン酸\)](#) は水溶性のビタミンであり、代謝経路において補酵素として働くアセチル CoA (補酵素 A) の増大 → クエン酸 (TCA) 回路活性化 → 全身の代謝亢進 という



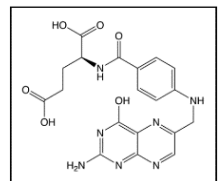
流れで効果を発揮する。パントテン酸を介した補酵素 A の生合成において、パントテン酸のリン酸化反応が必要であり、このリン酸化反応を触媒する酵素 ([パントテン酸キナーゼ, PANK](#)) は、アホロートル・メダカ・昆虫類共に、全身の組織・上皮・筋肉などで広く発現が確認され、マルチビタミン投与後に顕著な発現上昇が確認された。

葉酸 (ホラシン) の作用機序とその効果

[葉酸 \(ホラシン; ビタミン B9\)](#) は水溶性のビタミンであり、ビタミン B 群の一種である。

葉はラテン語で folium と呼ばれることから葉酸 (folic acid) と名付けられた経緯を持つ。

葉酸は体内で還元を受け、[ジヒドロ葉酸 \(DHF\)](#) を経て[テトラヒドロ葉酸 \(THF\)](#) に変換された後に補酵素として作用する。また葉酸は、[分子中の炭素基 \(メチル基 -CH₃, ホルミル基](#)



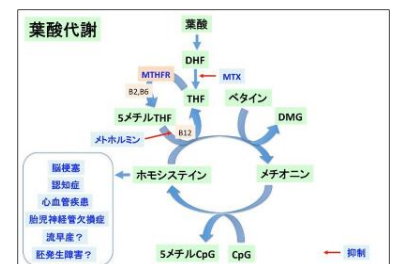
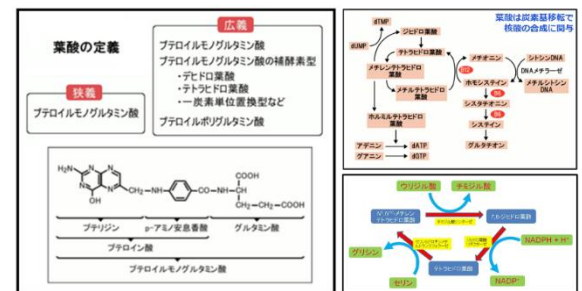
[=アルデヒド基 -CHO](#)) を移転させることで、核酸 (DNA, RNA) の合成に

[関与し](#)、この過程でビタミン B6・B12 と相互作用することが知られている。従って、生体が生存していく上で必要不可欠な要素の一つであることが分かる。

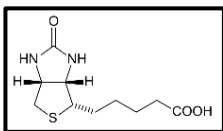
葉酸の代謝に関連する因子として、以下の物が存在する。

- ・[葉酸受容体 \(FR: folic acid receptor\)](#)
- ・[プロトン/葉酸共輸送担体 \(PCFT/SLC46A1\)](#)
- ・[ジヒドロ葉酸レダクターゼ \(DHFR\)](#)

これらの因子の発現を確認した所、アホロートル・メダカ・昆虫類共に、中枢神経・末梢 (腸・肝臓・腎臓) などでも広く発現が確認され、いずれの因子もマルチビタミン投与後に顕著な発現上昇が確認された。(補足図 17&18. 参照)



ビオチン (ビタミン H / B7) の作用機序とその効果



ビオチンが補酵素としてかかる主な酵素

酵素名	働き
ピルビン酸カルボキシラーゼ	糖代謝に関与
アセチルCoAカルボキシラーゼ	脂肪酸代謝に関与
β-メチルクロトンCoAカルボキシラーゼ	アミノ酸代謝に関与
プロピオンCoAカルボキシラーゼ	プロピオンCoA代謝に関与

[ビオチン \(ビタミン H / B7\)](#) は、[ビタミン B 群](#) に分類される[水溶性ビタミン](#) の一種である。

[ビオチンは](#)、ブドウ糖のリサイクル (糖代謝; 乳酸代謝)、脂肪酸の合成、アミノ酸の代謝に関わる[カルボキシラーゼ](#) と呼ばれる酵素の機能を補助する補酵素として作用する。(左下図. 参照)

また哺乳類のオスにおいて、[テストステロン増大 \(筋肉がより増強される\)](#) 傾向を示す報告も見られる。他、上記の代謝に関連する転写因子と協調的に作用することで活性化することも知られている。(補足図 19. 参照)

ビオチンの代謝や転写に関わる因子として以下のものが挙げられる。

→ [BTD \(ビオチニダーゼ\)](#), [SMVT \(Na 依存性マルチビタミン輸送体; SLC5A6\)](#), [HCS \(Holocarboxylase synthetase\)](#),

これらの因子は、アホロートル・メダカ・昆虫類共に発現が確認され、マルチビタミンの摂取によって発現が顕著に増大した。

尚、今回の調査において、qRT-PCR の試料として雌雄を 1:1 の比率で解析した所、オスの方が高い発現上昇率を示した。

これは、先述のオス特異的なテストステロン増大との相関があると考えられた。(補足図 19&20. 参照)

ビタミン C (アスコルビン酸) の作用機序とその効果

ビタミン C (アスコルビン酸) は水溶性のビタミンである。

ビタミン C は、食欲の増進にも作用することが知られており、食欲活性化の効果を示す。

また、体内で発生した活性酸素様物質 (ROS; O₂⁻, スーパーオキシド) およびそこから過酸化水素を

経て作られる ヒドロキシラジカル (-OH; 酸化力が強い) と反応し、細胞ひいては核内の DNA への障害 (組織の老化) を抑制する働きがある。

ヒトにおいて活性酸素が発生する要因として、紫外放射 (紫外線, UV) が表皮を透過した際や、除草剤の成分として用いられる強力な還元剤として知られる パラコート のような活性酸素を発生し得る構造の化学物質を摂取した場合も、同様に活性酸素が生じ組織内が大きく損傷されてしまう。(補足図 21. 参照) すなわち、活性酸素の発生に関わる因子は、UV を照射することでその発現が増大し、ビタミン C を摂取した際に発現が低下することが考えられた。

関連因子のうち、ビタミン C が血中で増大することで減少すると思しき因子として 活性酸素を除去するスーパーオキシディスムターゼ (SOD)・活性酸素が

ら生成される過酸化水素の除去に作用するカタラーゼ (CAT)・グルタチオンペルオキシダーゼ (GPX; 昆虫類 Gtpx) などがあり、ビタミン C の取り込みに伴って活性が上昇し得る因子として Na 依存性ビタミン C 輸送体 (SVCT; SLC23A1)、シトクロム B (Dcytb, 鉄還元酵素として作用) などが挙げられる。

今回の調査の結果、これらの因子はアホロートル・メダカ・昆虫類で相同因子を含めて一定レベル以上の発現が確認された。尚哺乳類の知見と同じく、SVCT・Dcytb は UV 照射後に活性が高まり、ビタミン C の摂取状態ではその活性が顕著に上昇する傾向を示した。また CAT・GPX・SOD は UV 照射後には活性が顕著に増加する傾向を示すが、ビタミン C を摂取しているとき明確にその発現量が相対的に減少する結果を示した。(補足図 22. 参照)

ビタミン E (トコフェロール) の作用機序とその効果

ビタミン E (トコフェロール) は脂溶性のビタミンであり、特に D- α -トコフェロール (α -TOH) は自然界に

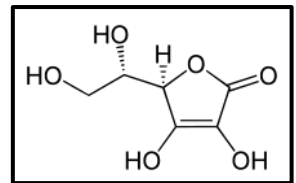
広く普遍的に存在し、植物、藻類、藍藻などの光合成生物により合成される。医薬品、食品、飼料などに疾病の治療、栄養の補給、食品添加物の酸化防止剤として広く利用されている。トコフェロール類の抗酸化作用は、細胞膜に多く含まれる不飽和脂肪酸が酸化することで有害な過酸化脂質に変化することを抑制し、哺乳類において細胞や血管の健康維持、老化予防に力を発揮することが知られている。

また、血中の LDL コレステロール (脂質) の酸化を防ぐ作用があるため、ヒトにおいて動脈硬化や心疾患、脳卒中などの生活習慣病予防の効果も期待されている。植物性の油類は、トコフェロール類を多く含むものが多いことが知られている。

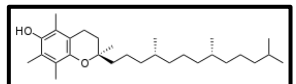
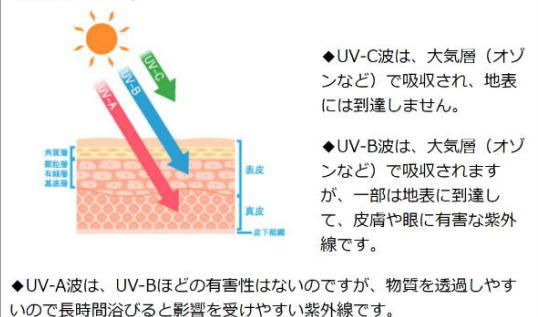
また、血中の LDL コレステロール (脂質) の酸化を防ぐ作用があるため、ヒトにおいて動脈硬化や心疾患、脳卒中などの生活習慣病予防の効果も期待されている。植物性の油類は、トコフェロール類を多く含むものが多いことが知られている。 (右表. 参照) 尚、我々の先行研究にて、アホロートルは油脂や動物性の旨味に対しても嗜好性を示すことが明らかとなっている (杉山, 2022) ことから、野生下におけるネオテニーのアホロートルおよび近縁種は、積極的に植物食性の活餌からトコフェロールを摂取する生態・生活様式である可能性が考えられる。この点については、是非今後、更に調査・研究を継続していきたい。

ビタミン E の代謝に関わる因子として、Nrf (発現領域: 右下表参照), ABCA, CES/NLGN などが挙げられ、脳・神経・上皮・筋肉における発現に加え、肝臓における発現が高く、哺乳類と同じく、中性脂肪 (TG) や コレステロールエステル (CE) の代謝・分解に寄与していることが推察される。

いずれの因子もアホロートル・メダカ・昆虫類で発現が確認されており、マルチビタミンの投与後に顕著に発現が増大することが確認された。(補足図 23&24. 参照)



「紫外線」は「UV-A」「UV-B」「UV-C」と波長の長さによって3種類に分けられていて、このうち「UV-A」と「UV-B」が地球上に届いている「紫外線」で、長時間浴びてしまうと「活性酸素」をつくる原因となり、その結果、特に女性が気にする「しみ」「しわ」の原因といわれています。



ビタミンEを多く含む食品は以下のとおりである。

- ・ひまわり油(サンフラワー油)、綿実油、ペーパナ油(サフラワー油)、米ぬか油、とうもろこし油などの油類
- ・アーモンド、ラカセイ、大豆などの油類
- ・キャビア、いくら、たらこなどの魚卵類
- ・青魚
- ・マヨネーズ

主要な植物油 (100g) 中の各種トコフェロールの含有量 (mg) ^[6]				
食品名	α -トコフェロール	β -トコフェロール	γ -トコフェロール	δ -トコフェロール
ひまわり油 (ハイオレイック)	38.7	0.8	2.0	0.4
綿実油	28.3	0.3	27.1	0.4
サフラワー油 (ハイオレイック)	27.1	0.6	2.3	0.3
米ぬか油	25.5	1.5	3.4	0.4
とうもろこし油	17.1	0.3	70.3	3.4
なたね油	15.2	0.3	31.8	1.0
大豆油	10.4	2.0	80.9	20.8
パーム油	8.6	0.4	1.3	0.2
オリーブ油	7.4	0.2	1.2	0.1
えごま油	2.4	0.6	58.6	4.6
アマニ油	0.5	0	39.2	0.6
ごま油	0.4	Tr	43.7	0.7

RNA expression pattern

Human	Mouse (ortholog)
Top expressed in	Top expressed in
• oral cavity	• epithelium of stomach
• bronchial epithelial cell	• mucous cell of stomach
• pylorus	• pyloric antrum
• cardia	• left lung lobe
• pericardium	• esophagus
• human penis	• duodenum
• jejunal mucosa	• respiratory epithelium
• germinal epithelium	• olfactory epithelium
• gums	• large intestine
• vulva	• jejunum

ビタミン K (フィロキノン、メナキノン) について

脂溶性ビタミンのビタミン K (フィロキノン) に関する調査・研究結果の取得に遅延が生じたため、関連情報 および 得られた知見を踏まえた作用機序などの考察については **補足図 27.** にて別途まとめたのでそちらを参照のこと。

【生息地とビタミン摂取、栄養素の必要割合などに関する考察】

我々の先行研究 ([ウーパールーパーだより vol.3.](#) 参照) において、メキシコにおける古式農法のチナンパ (植物の茎・根を浮島にする農業の手法) やメキシコに自生する植物 (パロサント、サトイモ、マメ類、トマト、リュウゼツラン、トウモロコシ) 由来の成分の中に、いくつかのビタミン類が含まれることから、かつての生息地の湖畔の水中・土壌中にもビタミン類が含まれていた可能性挙げられる。野、含有されていたと思しきビタミン類の例としては以下になる。

サトイモ科 の植物 (根/茎) の場合、ビタミン A, ビタミン B1, B2, B6, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸, ビオチン, **ビタミン C (最も含有率が高い)**, ビタミン E (トコフェロール) などを含有している。

マメ類 の場合、ビタミン A, ビタミン B1, B2, B6, ビタミン K, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸, ビオチン, **ビタミン C (最も含有率が高い)**, ビタミン E (トコフェロール) などを含む。

トマトの場合、ビタミン A, ビタミン B1, B2, B6, ビタミン K, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸, ビオチン, **ビタミン C (最も含有率が高い)**, ビタミン E (トコフェロール) などを含む。

リュウゼツランの場合、ビタミン A, **ビタミン C**, ビタミン E (トコフェロール) などを含む。

トウモロコシ の場合、ビタミン A, ビタミン B1, B2, B6, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸, ビオチン, ビタミン E (トコフェロール) などを含む。

これらの例を踏まえると、**当時のソチミルコ湖周辺の水・土壌の環境においては、ビタミン C を中心に、ビタミン A, B1, B2, B6, ビタミン K, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸, ビオチン などを含有していた**ことが推察された。

特に、ビタミン C (アスコルビン酸) を含有する植物・農産物が多く見られることから、原産地における生態の再現という意味で選択するならば、ビタミン C を多く含有する水質が彼らの生育や代謝制御にとってある程度有効であることが推察された。実際に、ビタミン C を投与することで、食欲増進による成長促進効果や血中における活性酸素 (ROS) の阻害など、アホロートルやメダカにとって有効な作用が発揮された本研究の結果がこの考察を支持している。

【ビタミン C (アスコルビン酸) 入りの塩素除去剤 (カルキ抜き) の効果に関する考察】

前述の考察を踏まえると、ビタミン C を含む水質調整剤を使用することで、アホロートルの生育に有効である可能性が考えられた。そこで、“**コトブキエ芸カルキ抜き (ビタミン C 入り)**” の含有量を調整し関連因子の発現量について比較した。

メダカとアホロートルにおける比較の結果、ビタミン C 入りカルキ抜きの含有量依存的に、活性酸素を除去するスーパーオキシドディスムターゼ (SOD)・活性酸素から生成される過酸化水素の除去に作用するカタラーゼ (CAT)・グルタチオンペルオキシダーゼ (GPX) の顕著な減少が見られた。また、ビタミン C の取り込みに伴って活性が上昇する Na 依存性ビタミン C 輸送体 ([SVCT](#); SLC23A1)、シトクロム B ([Dcytb](#), [鉄還元酵素として作用](#)) の発現上昇が確認された。(補足図 22-2. 参照)

総括 Conclusion

以下、本研究において得られた知見を示す。

・マルチビタミンを摂取した当ラボ命名の生体条件いずれにおいても、顕著な成長率・繁殖力（妊性）の向上が確認された。

- メダカ (ミナミメダカ, *Oryzias latipes*) “MB-M1_メダミン”
- フタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) “MC-M2_フタミン”
- キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) “MD-M3_ドロソミン”
- アホロートル/メキシコサラマンダー/ウーパールーパー (*Ambystoma mexicanum*) “MA-M5_ウパミン”

・今回の研究に用いた何れの生体においても、ビタミン類の摂取により以下のような効果・効能が期待できる。

- ✓ **ビタミン A (レチノール/β カロテン)**: 小腸から吸収され肝臓でレチノイン酸へと代謝される→標的の組織へ輸送後、特異的受容体へ結合し作用する (眼における視力制御, 各臓器における遺伝子発現の活性化)
- ✓ **ビタミン B1 (チアミン), B2 (リボフラビン)**: アセチル CoA (補酵素 A) 増大, クエン酸回路の活性化
- ✓ **ビタミン B6 (ピリドキシン)**: アミノ酸代謝→アセチル CoA (補酵素 A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
- ✓ **ビタミン B12 (コバラミン)**: タンパク質合構造形成 (造血などを含む)→アセチル CoA (補酵素 A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
- ✓ **ビタミン B5 (パントテン酸)**: アセチル CoA (補酵素 A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
- ✓ **ビタミン D (カルシフェロール)**: 主に肝臓で代謝を受けた後分泌される→全身の標的組織の発現するビタミン D 受容体へ結合→DDIT4 (TOR 抑制因子) 活性化→TSC (TSC1: ハマルチン, TSC2: チュベリン) 活性化→細胞増殖の調節 (加増増殖の抑制)→(フィードバックで Akt 発現上昇)→肝臓での TOR 抑制→肝臓における腫瘍形成・肥大の抑制
他、標的器官である腎臓, 腸管, 骨格 への Ca を輸送・蓄積を促進する。
- ✓ **ナイアシン (ニコチン酸)**: 長寿 (抗酸化作用), HDL 増大 (良質な脂肪代謝), ATP 産生 (筋肉)
- ✓ **葉酸 (ホラシン)**: ATP 産生→生体の活動活性化 核酸の生合成
- ✓ **ビオチン (ビタミン H / B7)**: テストステロン増大, 転写活性化→代謝亢進→タンパク質・脂肪の生合成など (オスの場合は筋肉がより増強される傾向)
- ✓ **ビタミン C (アスコルビン酸)**: 全身の活性酸素除去作用, 食欲活性化
- ✓ **ビタミン E (トコフェロール)**: 中性脂肪代謝によって産生されるコレステロール (脂質) の抗酸化作用
- ✓ **ビタミン K1 (フィロキノン)**: UBIAD1 の作用により、科学的修飾を受けてメナキノンに変換される。止血・損傷治癒作用・細胞死 (フェロトーシス) 抑制作用。
- ✓ **ビタミン K2 (メナキノン)**: 止血・損傷治癒作用・細胞死 (フェロトーシス) 抑制作用。

・現在は残っていない、かつての原産地ソチミルコ湖・メキシコ盆地の水環境において、水中・土壌中にビタミン C を筆頭に複数のビタミン類が溶け出しており、アホロートルや餌となる魚や小型生物が体内に摂取することで、紫外線の影響により体内で発生する活性酸素の除去や成長・生育の促進に用いていた可能性がある。

これらの知見から、飼育個体にビタミン類を生体に摂取させる事のあらゆる利点 および ビタミン類を摂取させた生体を活餌として他の生体へ与えることの利点を科学的・統計的に示すことができた。また、アホロートルが繁栄していた時代の水環境・地質を考える上での一つの手がかり・裏付けになったと言える。

また今後、当ラボへの研究補助をして下さっている“サイマン・テクノロジー” 横江社長と知見の詳細を共有することで、マルチビタミン入りの飼育飼料の開発や、“MB-M1_メダミン”, “MC-M2_フタミン”, “MD-M3_ドロソミン”, “MA-M5_ウパミン” の一部製品化へとつなげ、本報告の恩恵をご一読下さった皆様の元へお届けできる事ができるように努めたいと考えている。ただしこの過程で、生命倫理への配慮を決して欠くことがないよう、常に最大限配慮することを肝に銘じたく思う。



謝辞 Acknowledgments

ビタミンとアホロートルに関する我々の知見、いかがでしたでしょうか？

今回の報告内容は、ある意味では“**必須栄養素シリーズ**”の内の1作の位置づけになります。これに引き続き、タンパク質・脂肪（脂質）・糖質（硫黄代謝）の流れを予定しております。初期段階の検討結果を得てから早3年近くが経過し、栄養と成長制御に関する調査から野生下における最適な生息環境を推察・考察し始めていた最初期の頃の研究が、より高い精度で論文の形にまとまっていく過程が非常に感慨深く感じております。

2024年を迎え、はや3ヶ月が経過しましたが、今後も更なる飛躍を目指し活動して参ります。

スポンサーのサイマン（テクノロジー）様・他ご協力下さっている全ての皆様のご発展とご活躍をお祈りつつ、今回の研究報告を締めさせていただきます。

どうぞ今後とも、当ラボの活動のご支援・応援の程、何卒宜しくお願い申し上げます。

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

杉山 遥

脂溶性ビタミン

ビタミン A: レチノール、β-カロテン、α-カロテン、β-クリプトキサンチンなど
ビタミン D: エルゴカルシフェロール、コレカルシフェロール（日光を浴びることで生合成される）
ビタミン E: トコフェロール、トコトリエノール
ビタミン K: フィロキノン、メナキノンの 2 つのナフトキノ誘導体

水溶性ビタミン

ビタミン B 群
ビタミン B1: チアミン
ビタミン B2 (G): リボフラビン
ビタミン B3 (PP): ナイアシン
ビタミン B5: パントテン酸
ビタミン B6: ピリドキサル、ピリドキサミン、ピリドキシン
ビタミン B7: ビオチン。ビタミン Bw、ビタミン H ともいう。
ビタミン B9: 葉酸。ビタミン Bc、ビタミン M ともいう。
ビタミン B12: シアノコバラミン、メチルコバラミン、ヒドロキソコバラミン
ビタミン C: アスコルビン酸

種類		化学名・別名	欠乏症
水溶性ビタミン	ビタミン B ₁	チアミン	脚気、多発性神経障害、浮腫、便秘、食欲不振など
	ビタミン B ₂	リボフラビン	口角炎、口唇炎、口内炎、角膜炎、脂漏性皮膚炎など
	ナイアシン	ニコチン酸 / ニコンチン酸アミド	ペラグラ皮膚炎、口舌炎、皮膚炎、胃腸病など
	パントテン酸	ビタミン B ₅	皮膚障害、子どもの成長停止など
	ビタミン B ₆	ピリドキシン	皮膚炎、神経障害、食欲不振、貧血など
	ビオチン	ビタミン H	皮膚障害、脱毛など
	葉酸 (ホラシン)	プテロイルグルタミン酸	栄養性大赤芽球性貧血、口内炎、下痢など
	ビタミン B ₁₂	コバラミン	大赤芽球性貧血、神経障害など
脂溶性ビタミン	ビタミン C	アスコルビン酸	壊血病、食欲不振など
	ビタミン A	レチノール / β-カロテン	脚気、夜盲症、角膜乾燥症、感染抵抗力低下など
	ビタミン D	カルシフェロール	くる病、骨粗しょう症、骨軟化症、など
	ビタミン E	トコフェロール	溶血性貧血、不妊、筋萎縮など
	ビタミン K	フィロキノン	頭蓋内出血、止血しにくいなど

図 1: ビタミン群の効果・効能

ビタミンA

The diagram illustrates the metabolic pathway of Vitamin A. It begins with **β-カロテン** (beta-carotene) in an orange box. A dashed arrow labeled **抗酸化作用** (antioxidant action) points to a blue box stating **フリーラジカルを消去** (eliminate free radicals) and **一重項酸素消去** (singlet oxygen elimination). A solid arrow points down to a yellow box labeled **レチナール** (retinal). From **レチナール**, a dashed arrow labeled **酸化** (oxidation) points left to a yellow box labeled **レチノイン酸** (retinoic acid). A double-headed solid arrow labeled **可逆反応** (reversible reaction) connects **レチナール** and a yellow box labeled **ビタミンA (レチノール)** (Vitamin A (retinol)). From **レチノール**, a dashed arrow points down to a green box labeled **生癭** (keratinization). From **レチノール**, a solid arrow points down to a green box labeled **ビタミンAエステルとして肝臓に貯蔵** (stored in the liver as Vitamin A ester). From **レチノール**, a dashed arrow points down to a green box labeled **視覚** (vision). From **レチノール**, a dashed arrow points down to a green box labeled **上皮組織の分化とその維持** (differentiation and maintenance of epithelial tissue). From **レチノール**, a dashed arrow points down to a green box labeled **成長促進** (growth promotion).

```
graph TD; A[β-カロテン] -.->|抗酸化作用| B[フリーラジカルを消去<br/>一重項酸素消去]; A --> C[レチナール]; C -.->|酸化| D[レチノイン酸]; C <-->|可逆反応| E[ビタミンA<br/>(レチノール)]; C -.-> F[生癭]; C --> G[ビタミンAエステルとして<br/>肝臓に貯蔵]; C -.-> H[視覚]; C -.-> I[上皮組織の分化とその<br/>維持]; C -.-> J[成長促進];
```

[ビタミンAの性質、生理作用、消化吸収、体内代謝](#) | ビタミン大辞典 (e840.net)

[illegible]

ビタミンB群を上手に摂り入れよう | 栄養素カレッジ | 大塚製薬 (otsuka.co.jp)

[illegible]

[ビタミンCの真実 \(vit-c.jp\)](http://vit-c.jp)

ビタミンD合成経路

```
graph TD; A[コレステロール] --> B[7-デヒドロコレステロール]; B --> C[紫外線照射→皮膚]; C --> D[コレカルシフェロール<br/>(動物に多い)<br/>VD1]; C --> E[エルゴカルシフェロール<br/>(植物に多い)<br/>VD2]; D --> F[肝臓]; E --> F; F --> G[カルシジオール<br/>25-ヒドロキシビタミンD<br/>(25-OH-D)]; G --> H[腎臓]; H --> I[活性型ビタミンD<br/>カルシトリオール<br/>(1,25-ジヒドロキシビタミンD)<br/>(1,25-(OH)2-D)]; H --> J[非活性型ビタミンD<br/>(24,25-ジヒドロキシビタミンD)]; I --> K[腸からCaの吸収!]; J --> L[骨からCaの放出!]; J --> M[腎からのCaとPの排泄!];
```

コレステロール

7-デヒドロコレステロール

紫外線照射→皮膚

コレカルシフェロール
(動物に多い)
VD1

エルゴカルシフェロール
(植物に多い)
VD2

肝臓

カルシジオール
25-ヒドロキシビタミンD
(25-OH-D)

腎臓

活性型ビタミンD
カルシトリオール
(1,25-ジヒドロキシビタミンD)
(1,25-(OH)₂-D)

非活性型ビタミンD
(24,25-ジヒドロキシビタミンD)

腸からCaの吸収!

骨からCaの放出!

腎からのCaとPの排泄!

(文献 2014 Up To Dateの一部を改変)

図2: 体内におけるビタミンD生成の流れ

[NIES、日光浴の目安時間をリアルタイム公開 | OPTRONICS
ONLINE オプトロニクスオンライン \(optronics-media.com\)](http://optronics-media.com)

(文献 2014 Up To Dateの一部を改変)

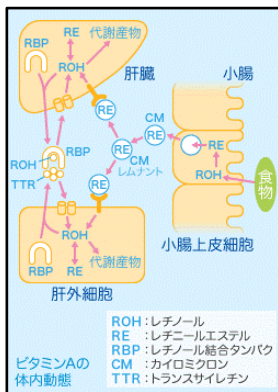
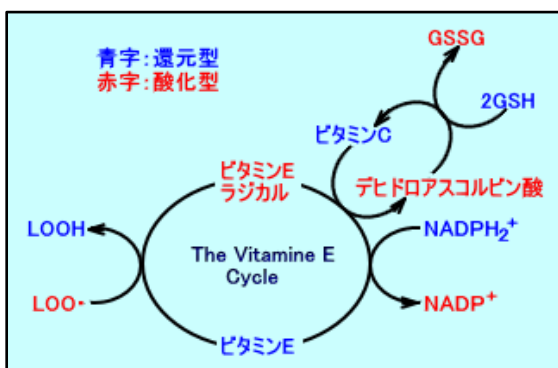


図 2-1: ビタミン群の生合成経路・生理的作用機序 など

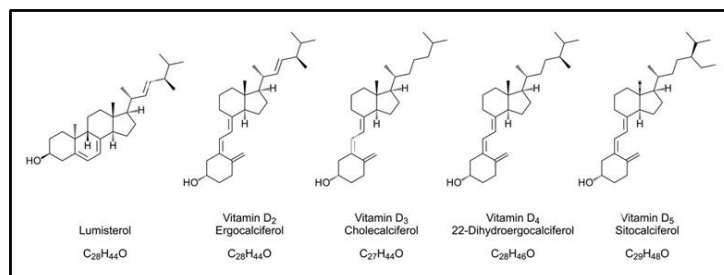
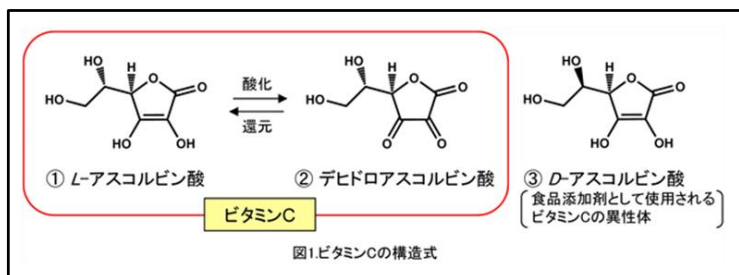
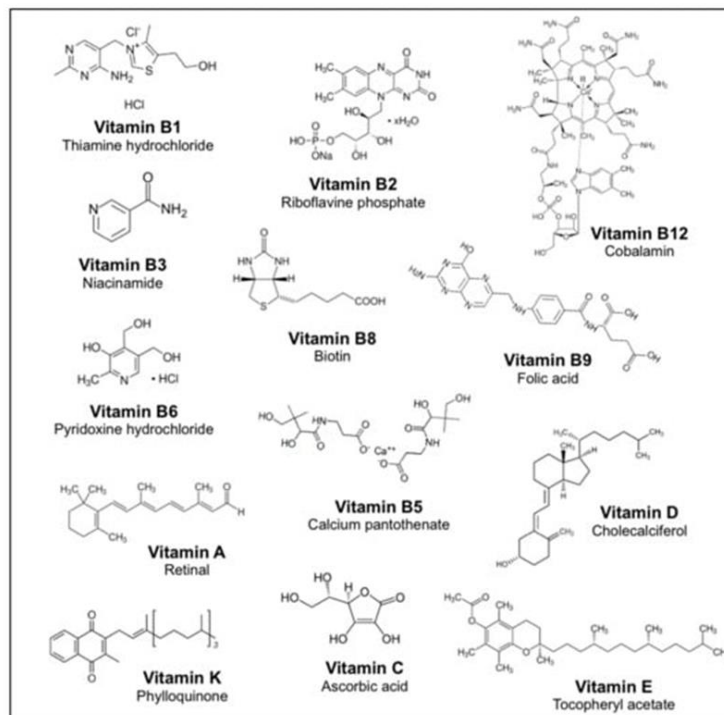
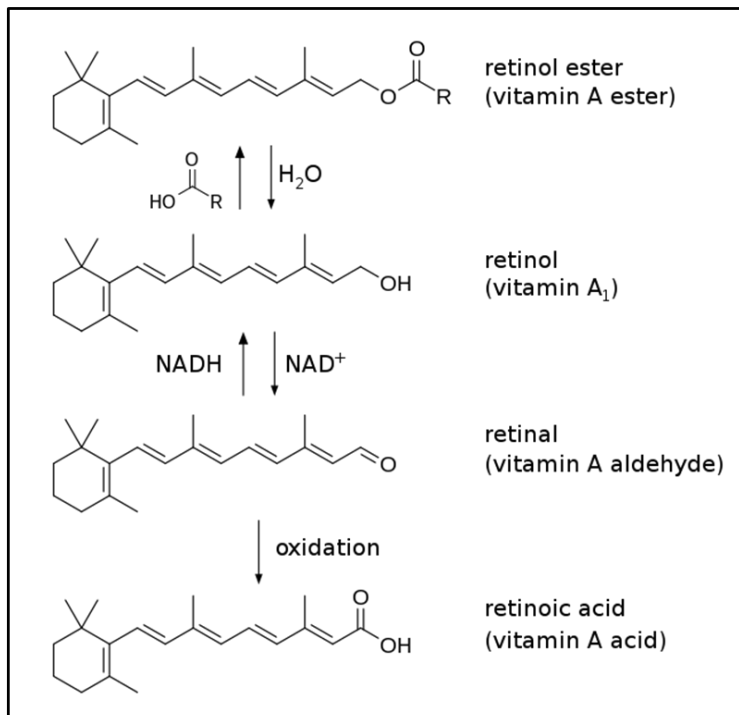


図 2-2: ビタミン群の化学構造式 など

	
栄養成分表示 1粒 (0.96g) 当たり	
エネルギー：3.97kcal	タンパク質：0 ～ 0.1g
脂質：0 ～ 0.1g	炭水化物：0.805g
食塩相当量：0 ～ 0.01g	ビタミンA：600μg
ビタミンB1：1.5mg	ビタミンB2：1.7mg
ビタミンB6：2.0mg	ビタミンB12：3.0μg
ナイアシン：15mg	パントテン酸：6.0mg
ビオチン：50μg	葉酸：240μg
ビタミンC：300mg	ビタミンD：5.0μg
ビタミンE：26.8mg	



https://www.otsuka.co.jp/nmd/product/item_102/

図 3-1: ビタミン群を効率的に摂取できるサプリメントの例 1

[Nature Made マルチビタミン (大塚製薬株式会社)]



https://www.sorashido.com/item/detail?item_prefixed=TF&item_code=715457&item_branch=001



[ビタミン K-2 100mcg 100mcg vitamin K-s](#)
Now Foods ナウフーズ

図 3-2: ビタミン群を効率的に摂取できるサプリメントの例 2

(ビタミン K1, K2; 補足図 27 & 28. 参照)



カルシウムとビタミンDの併用 → 強い骨格を作る (爬虫類等の硬骨)

爬虫類・両生類用栄養補給補助剤
«リンを含まない天然カルシウム»

爬虫類 トカゲ カルシウム ビタミン エサ / サプリメント / 添加剤 / GEX エキゾテラ カルシウム40g



【保証成分】

水分	12%以下
カルシウム	35~37%以下
塩分	0.06~0.07%以下
カリウム	0.04%以上
マグネシウム	0.03%以上
硫黄	0.04%以上
鉄	240ppm以上
亜鉛	9ppm以上
マンガン	5ppm以上
銅	2ppm以上



【使用方法】

マルチビタミンとの併用をお勧め！

野菜・果実に使用する場合・・・

約500gの野菜や果実に対して付属のスプーン5杯の カルシウム と カルシウム+ビタミンD3 を混ぜ合わせて振りかけて下さい。

コオロギなどの昆虫に使用する場合・・・

カルシウム と カルシウム+ビタミンD3 を1：1の比率で混ぜ合わせてプラケースやビニール袋などでコーティングさせてから与えて下さい。

【楽天市場】爬虫類 トカゲ カルシウム ビタミン エサ / サプリメント / 添加剤 / GEX エキゾテラ カルシウム40g：アクアペットサービス (rakuten.co.jp)

補足図 1-1: 生体へのビタミン群投与例 1 (爬虫類用のビタミン剤)

第1表 飼育期間と症状の出現（コイ）

ビタミン	体重増加に影響 が表われる日数	特異な欠乏症が 表われる日数	水 温	研 究 者
B ₂	2 週 間	6 間 週	23°C	萩 野
パントテン酸	2 //	6 //	//	//
B ₆	4 //	3~4 //	//	//
ナイアシン	4 //	6 //	//	//
コ リ ン	4~6 //	2~3* //	//	//
B ₂	2 週 間	3 週 間	22~25°C	青 江 ら
ナイアシン	3~4 //	6 //	//	//
イノシトール		4~7 //	//	//
PABA	16 週後正常	16 週後正常	//	//
B ₁	13 //	13 //	//	//
葉 酸	16 //	16 //	//	//

* 脂肪肝

第2表 コイのビタミンB群要求量

ビタミン	研究者	要 求 量	判 定 基 準	マスノスケ
		mg/kg/day		mg/kg/day
B ₁	青江ら	13週間異常なし	体重, 欠乏症	0.13~0.20
B ₂	青江ら	0.11	体重	0.75~1.0
	//	0.17	肝中ビタミン	
	萩 野	0.23~0.33	肝中ビタミンと体重	
B ₆	萩 野	0.15 付近	体重, 斃死率, 欠乏症, 肝中ビタミン, 酵素活性	0.38~0.43
B ₁₂	橋 本	8 週間異常なし	体重	0.0002~0.0003
ナイアシン	青江ら	0.55	体重	5~7
	萩 野	7*	体重, 肝中ビタミン	
パントテン酸	萩 野	1.0~1.4	体重, 肝中ビタミン	1.3~2.0
葉 酸	青江ら	16週間異常なし	体重, 斃死率, 赤血球数	0.1~0.15
イノシトール	青江ら	7~10	体重	18~20
PABA	青江ら	16週間異常なし	体重, 赤血球数	—
コ リ ン	萩 野	必要	体重, 脂肪肝	50~60
ビ オ チ ン				0.03~0.04

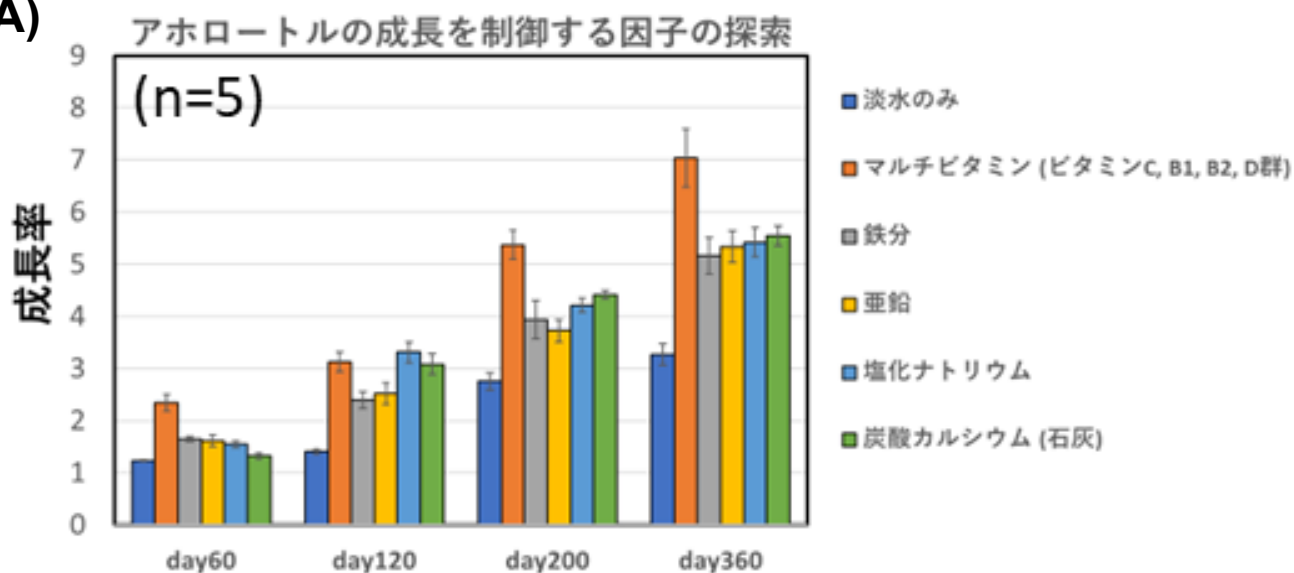
* 飼料の蛋白質含量 25%

も認められないときは、飼料以外からビタミンが十分供給されているか、要求量が極めて低い、その実験条件の下では必要としないかあるいは特別な意義がある場合と一応考えてよいであろう。

https://www.jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci1953/16/4/16_4_185/_pdf

補足図 1-2: 生体へのビタミン群投与例 2 (魚類のビタミン要求性)

(A)



(B)

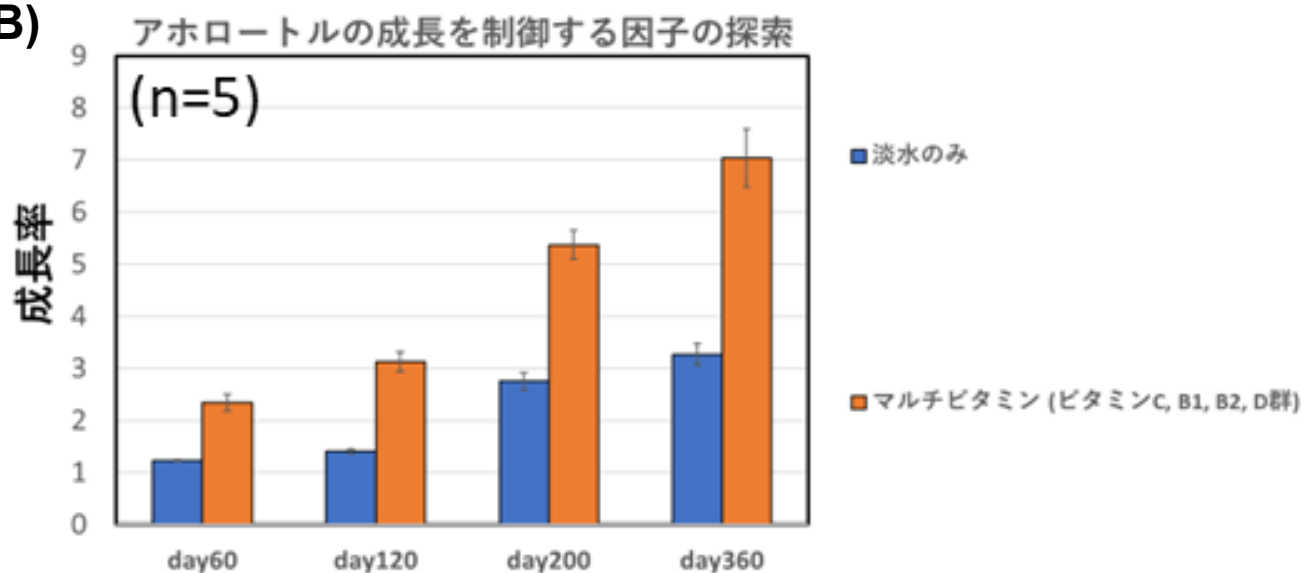
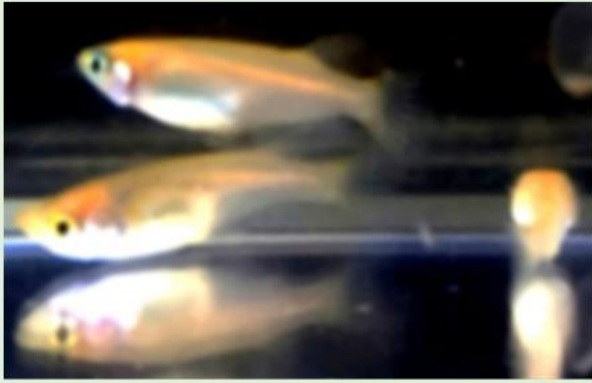


図 4: ビタミン類投与が成長・生育にもたらす効果・効能 1 (杉山, 2023)

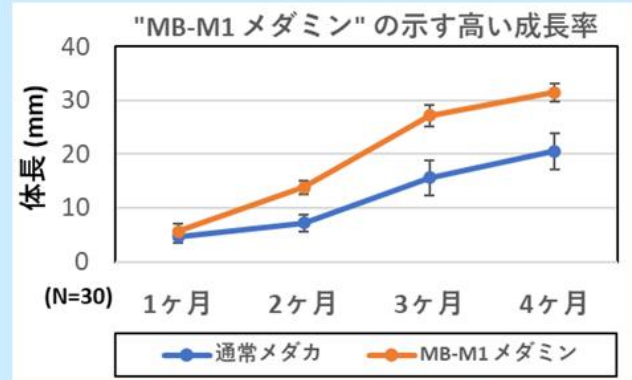
(A)



【ヒメダカ (*Oryzias latipes*)】

MB-M1 メダミン: ビタミンを投与した当ラボ発のメダカ系統

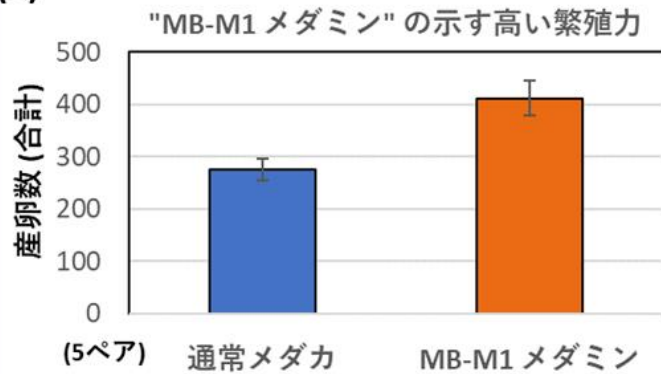
(B)



【MB-M1 の 成長速度・体長】

60cm ワイド水槽, 25°C 混泳飼育下 (N=30)
等量ずつ市販の餌を与えた成長率の比較

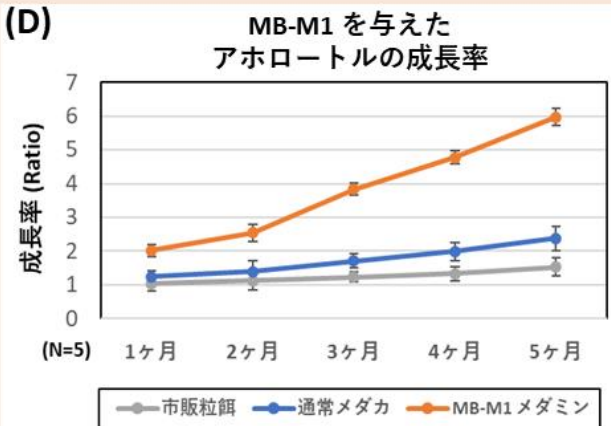
(C)



【MB-M1 の 繁殖力・妊性】

30cm キューブ水槽, 25°C, 7日間の合計産卵数
雌雄同数にて繁殖 (N=30, 6匹ペア計5組)

(D)



【MB-M1 の生餌としての効果】

アホロートル (リューススティック)
60cm ワイド水槽 混泳飼育下 (N=5)

(D')

検証開始時の目安



投与開始 5ヶ月目

市販粒餌



通常メダカ



MB-M1 メダミン



同一重量ずつメダカを与えた成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。
成長に伴った体格に合わせ、口に入るように稚魚・切身~成魚を与えた。

図 5-1: ビタミン投与飼育メダカ系統 "MB-M1 メダミン" を投与したアホロートルは高い成長率を示す。

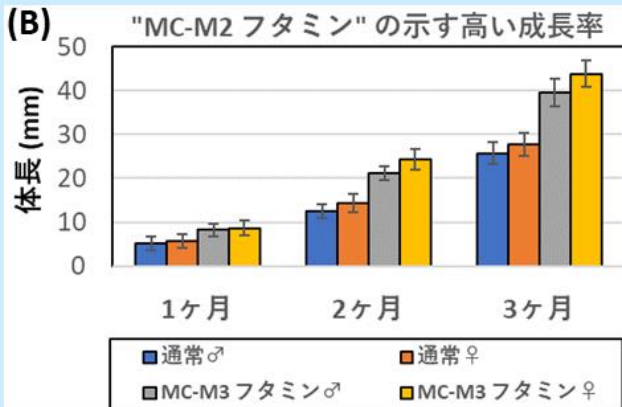
(A)



【フタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*)】

MC-M2 フタミン: ビタミンを投与した当ラボ発のコオロギ系統

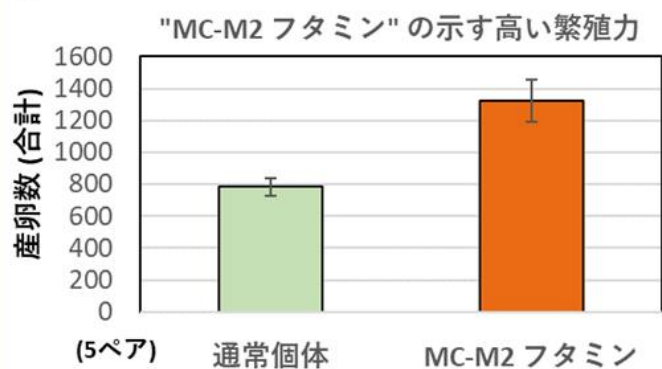
(B)



【MC-M2 の 成長速度・体長】

50cm ワイドケース, 30°C 集団飼育下 (N=20)
等量ずつ市販の餌 (ハツカネズミ用餌) を与えた成長率の比較

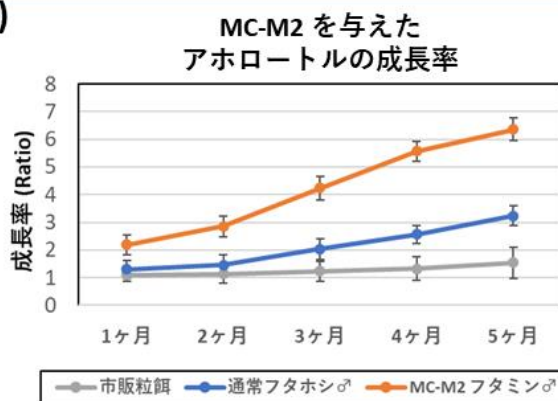
(C)



【MC-M2 の 繁殖力・妊性】

50cm ワイドケース, 30°C, 7日間の合計産卵数
雌雄同数にて繁殖 (N=30, 6匹ペア 計5組)

(D)



【MC-M2 の生餌としての効果】

アホロートル (リューススティック)
60cm ワイド水槽 混泳飼育下 (N=10)
体長に合わせて、1ヶ月目のコオロギ個体を等量与えた。

(D')

検証開始時の目安



同一重量ずつフタホシコオロギを与えた成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。
成長に伴った体格に合わせ、1ヶ月目のコオロギ個体を等量、口に入るように四肢を取った切身を与えた。

図 5-2: ビタミン投与飼育コオロギ系統 "MC-M2 フタミン" を投与したアホロートルは高い成長率を示す。

(A) 野生型♂



野生型♀



翅無し変異系統 ♀
(ウイングレス, wingless)

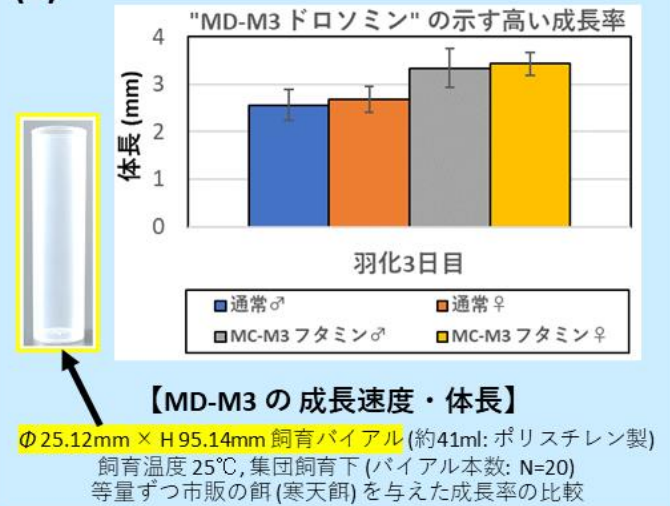


McVeyLab | Department of Biology (tufts.edu)
Pests - Greenshield Pest Control

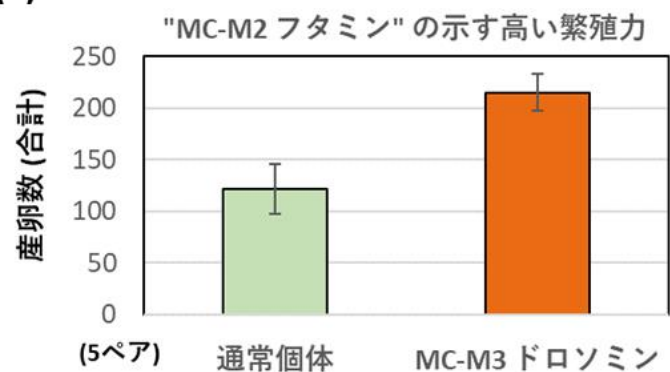
【キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*)】

MD-M3 ドロソミン: ビタミンを投与した
ショウジョウバエ系統 (基本は翅無し (ウイングレス))

(B)



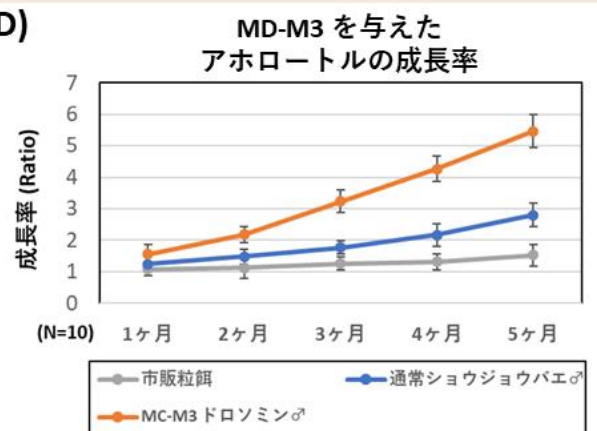
(C)



【MD-M3 の繁殖力・妊性】

φ 25.12mm × H 95.14mm 飼育バイアル (約41ml: ポリスチレン製)
飼育温度 25°C, 集団飼育下 (バイアル本数: 5本, 6匹ペア 計5組)

(D)



【MD-M3 の生餌としての効果】

アホロートル (リューススティック)
60cm ワイド水槽 混泳飼育下 (N=10)
体長に合わせて、ショウジョウバエ成虫を等量与えた。

(D')

検証開始時の目安



投与開始 5ヶ月目

市販粒餌



通常ショウジョウバエ



MD-M3 ドロソミン



同一重量ずつキイロショウジョウバエを与えた成長率を比較した。
成長率が飽和しないよう、週1~2回、少量ずつ与えた。
成長に伴った体格に合わせ、1ヶ月目のコオロギ個体を等量、口に入るように四肢を取った切身を与えた。

図 5-3: ビタミン投与飼育ショウジョウバエ系統 "MD-M3 ドロソミン" を投与したアホロートルは高い成長率を示す。



脂溶性ビタミン

- ・ビタミンA(レチノール/βカロテン)
- ・ビタミンD(カルシフェロール)
- ・ビタミンE(トコフェロール)

水溶性ビタミン

- ・ビタミンB1(チアミン)
- ・ビタミンB2(リボフラビン)
- ・ビタミンB5(パントテン酸)
- ・ビタミンB6(ピリドキシン)
- ・ビタミンB12(コバラミン)
- ・ビタミンC(アスコルビン酸)
- ・ビタミンH(ビオチン)
- ・ナイアシン(ニコチン酸)
- ・葉酸(ホラシン)

直接接種

ビタミン類摂取の恩恵

- ・高タンパク(筋肉)
- ・高脂肪(脂質)
- ・成長促進
- ・免疫力強化 など

MA-M5 ウパミン



MD-M3 ドロソミン



MC-M2 フタミン



MB-M1 メダミン



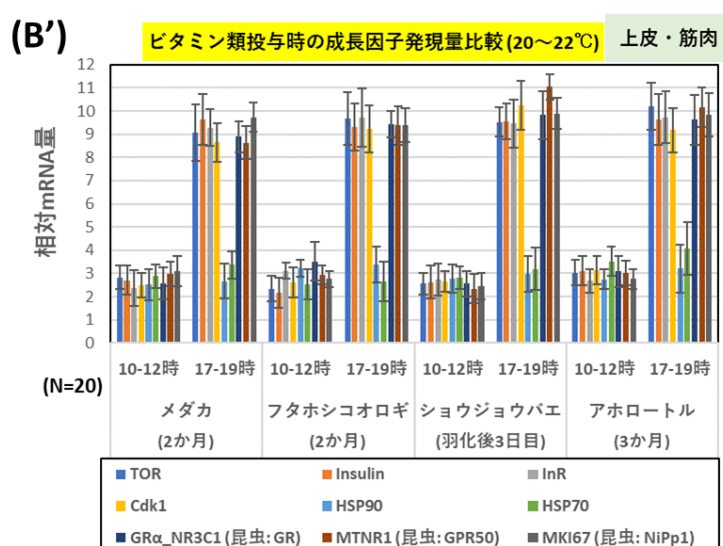
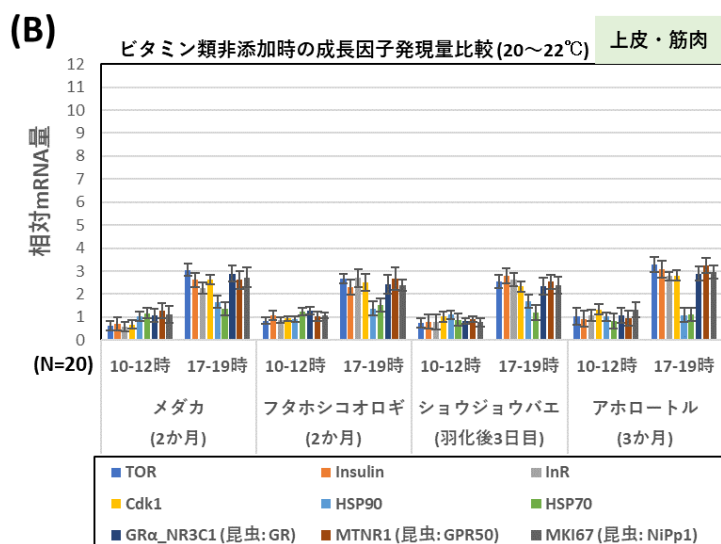
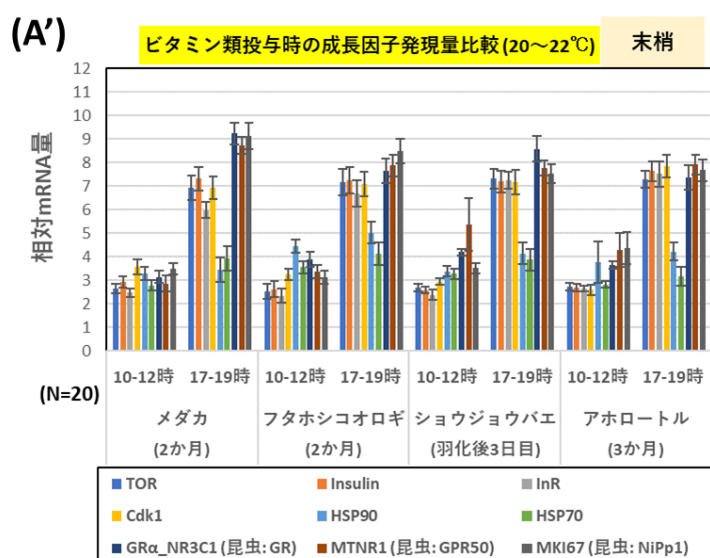
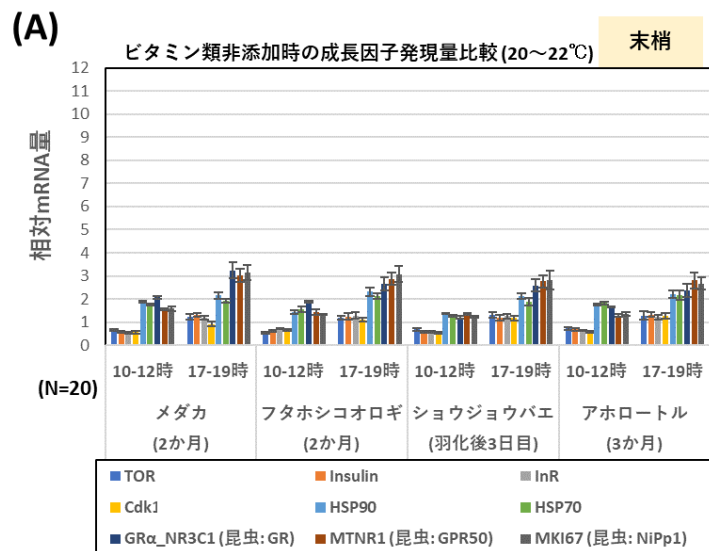
ビタミン類摂取の恩恵

- ・高タンパク(筋肉)
- ・高脂肪(脂質)
- ・成長促進 など

生餌を介した摂取のメリット

- ・生物を介してタンパク質・脂肪(脂質)を効率的に摂取可能
- ・ビタミン類を体内に保持した状態で摂取させることが可能
- ・ビタミン類の代謝に適応した個体を累代飼育・系統化により長期的に用いることが可能

図 6: ビタミン類の直接／間接摂取が成長・生育に与える効果・恩恵

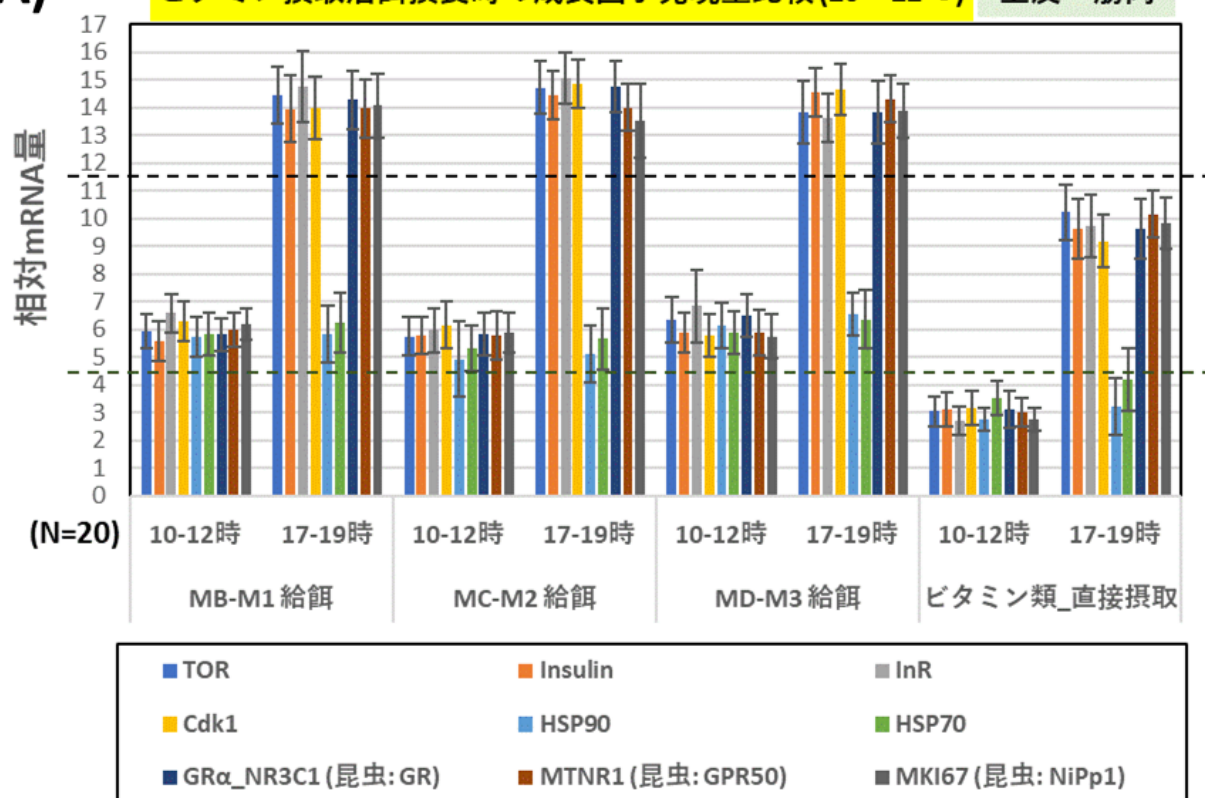


補足図 1-1: ビタミン投与飼育が成長・生育に与える恩恵 1 (LD12:12)

(A)

ビタミン摂取活餌摂食時の成長因子発現量比較 (20~22℃)

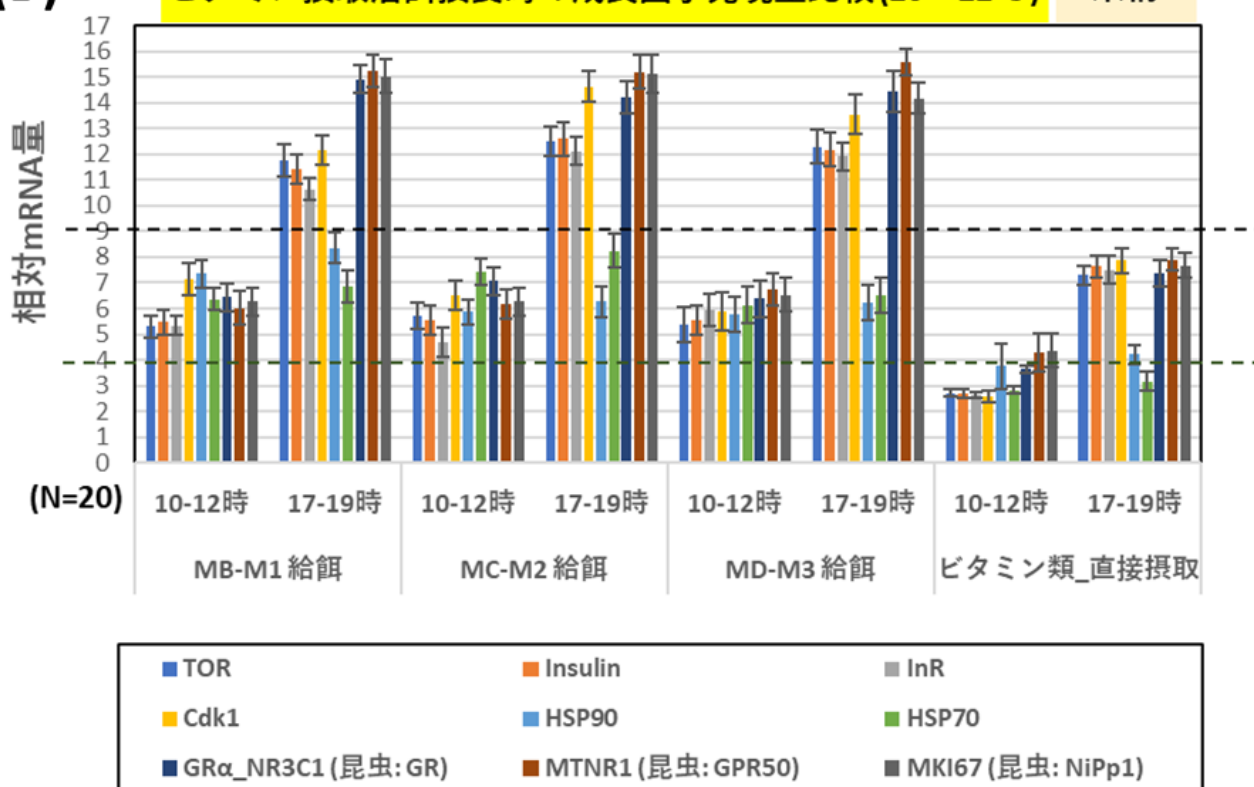
上皮・筋肉



(B)

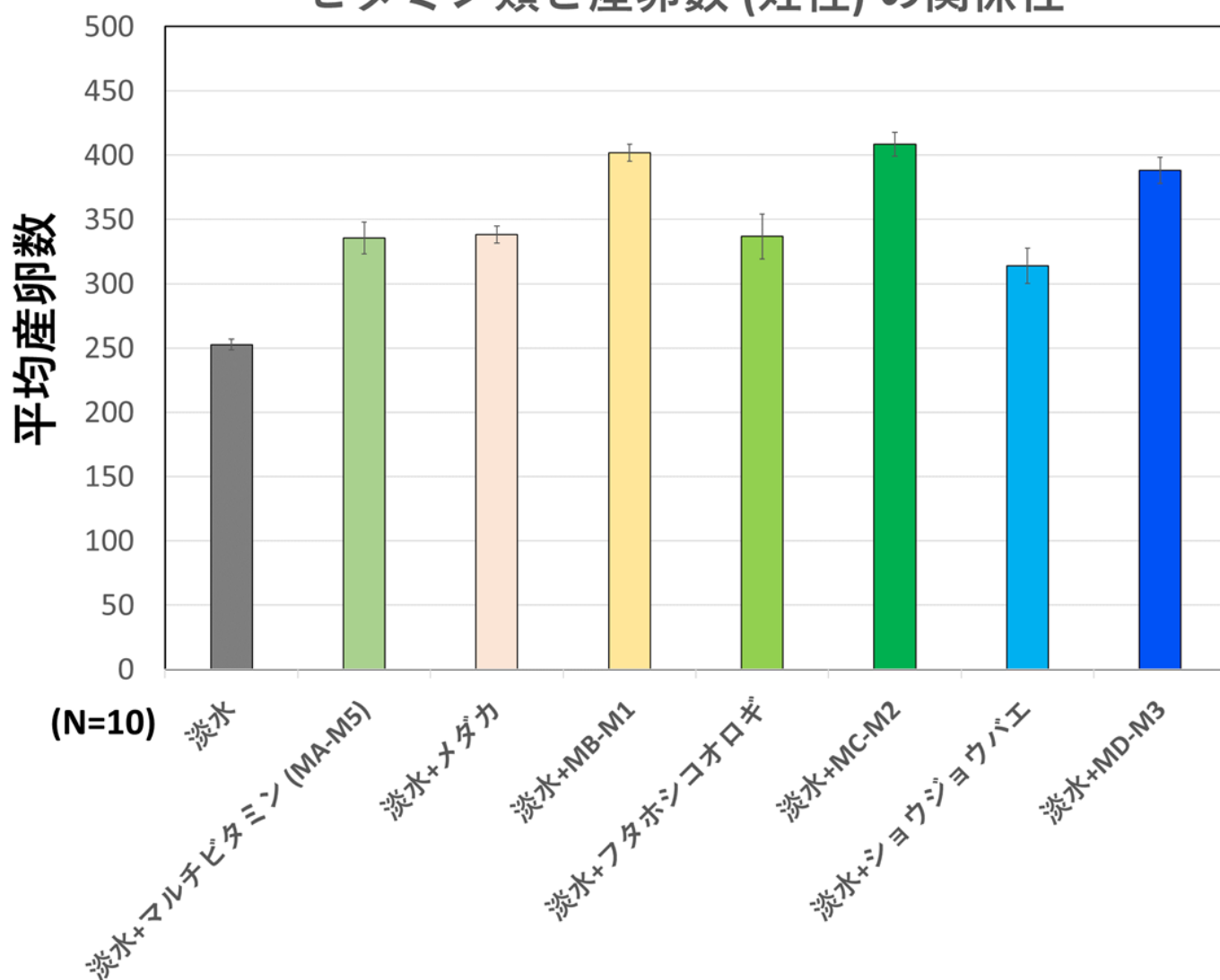
ビタミン摂取活餌摂食時の成長因子発現量比較 (20~22℃)

末梢



補足図 1-2: ビタミン直接摂取と生餌給餌による間接摂取の効果比較 1 (LD12:12)

ビタミン類と産卵数 (妊性) の関係性



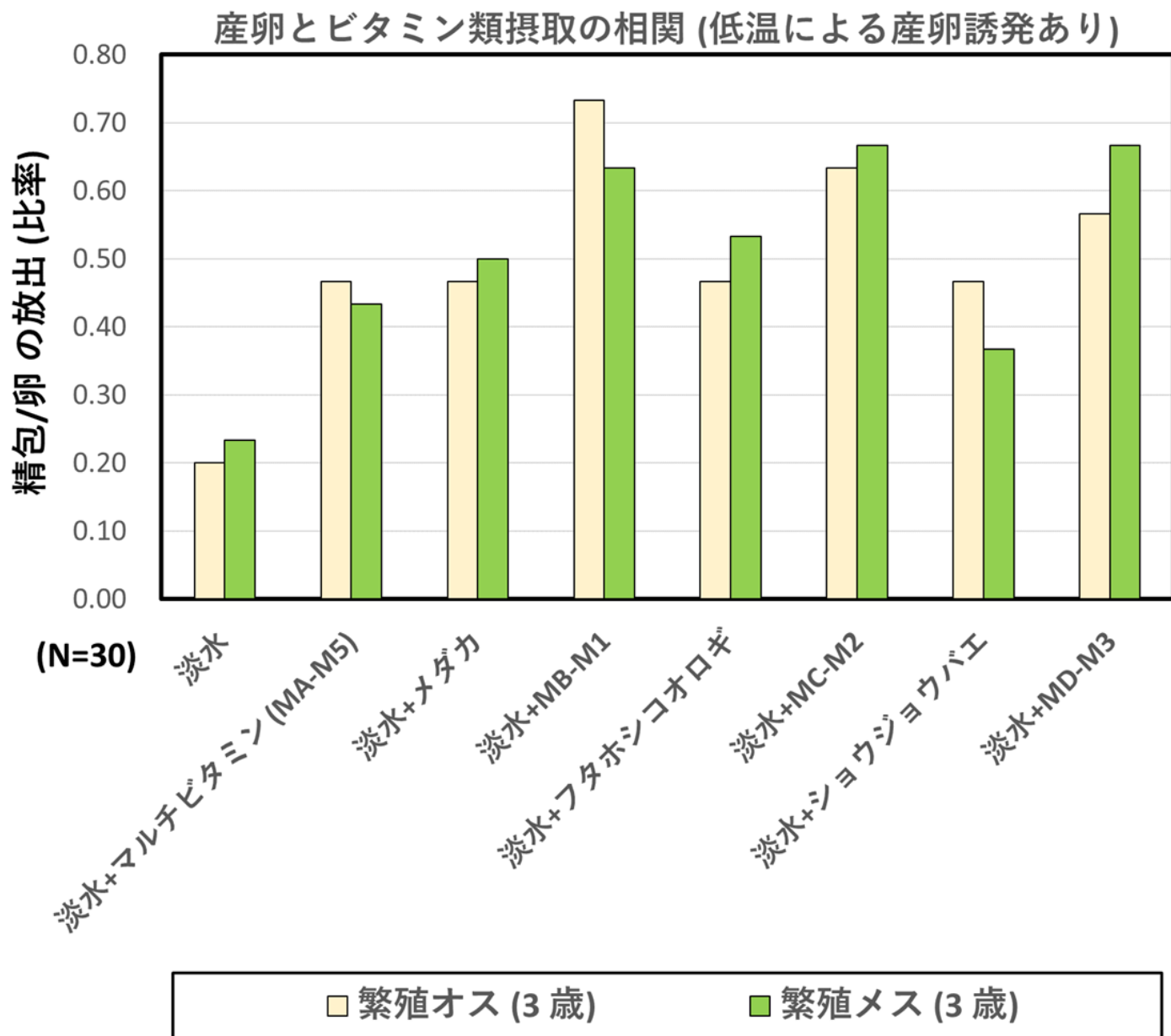
産卵数 (淡水で飼育された成体を移動させ、1年間雌雄で分けて飼育 → 産卵誘導)
単独飼育 (2year old_アダルト5ペアずつ)

繁殖とビタミンの相関関係 (産卵誘発; 18℃→7℃→18℃, LD12:12)								
	淡水	淡水 +マルチビタミン (MA-M5)	淡水 +メダカ	淡水 +MB-M1	淡水 +フタホシ コオロギ	淡水 +MC-M2	淡水 +シヨウジョウ バエ	淡水 +MD-M3
AVG	252.7	335.7	338.2	401.8	336.7	408.6	314	388.1
SEM	4.31	12.47	6.50	6.77	17.48	9.25	13.75	10.04

補足図 1-3: ビタミン投与飼育が繁殖力 (妊性) に与える恩恵 1 (LD12:12)

※ 活餌でない対照条件は粒餌 [ひかりウーパールーパー (小粒)].

※ 18℃で飼育している成熟個体を、同時期に 36hr 低水温下に置き、再度 18℃下へ戻すことで繁殖を誘発した。



産卵数 (淡水で飼育された成体を移動させ、約2年間雌雄で分けて飼育 → 産卵誘発)
単独飼育 (3year old_アダルト5ペアずつ)

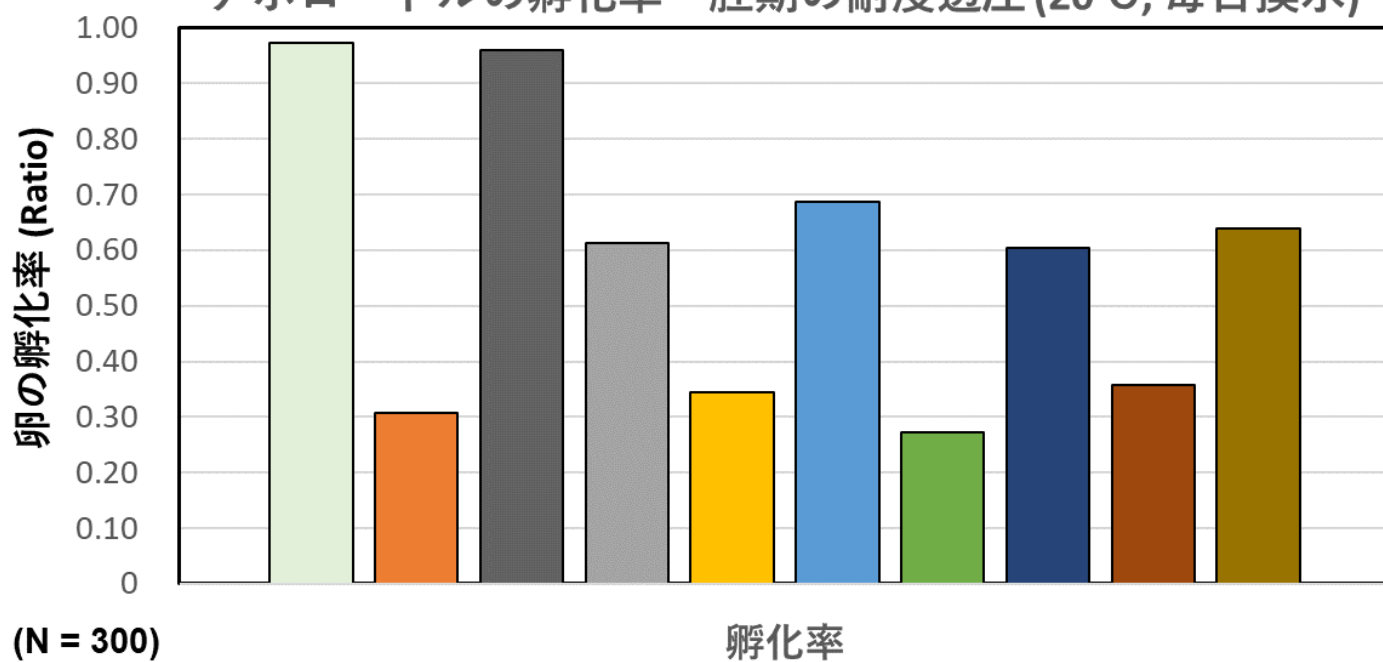
繁殖とビタミンの相関関係 (産卵誘発; 18℃→7℃→18℃, LD12:12)								
精包/卵の放出 (比率)	淡水	淡水+マルチビタミン (MA-M5)	淡水+メダカ	淡水+MB-M1	淡水+フタホシコオロギ	淡水+MC-M2	淡水+シヨウジョウバエ	淡水+MD-M3
繁殖オス (3 歳)	0.20	0.47	0.47	0.73	0.47	0.63	0.47	0.57
繁殖メス (3 歳)	0.23	0.43	0.50	0.63	0.53	0.67	0.37	0.67

補足図 1-4: ビタミン投与飼育が繁殖力 (妊性) に与える恩恵 2 (LD12:12)

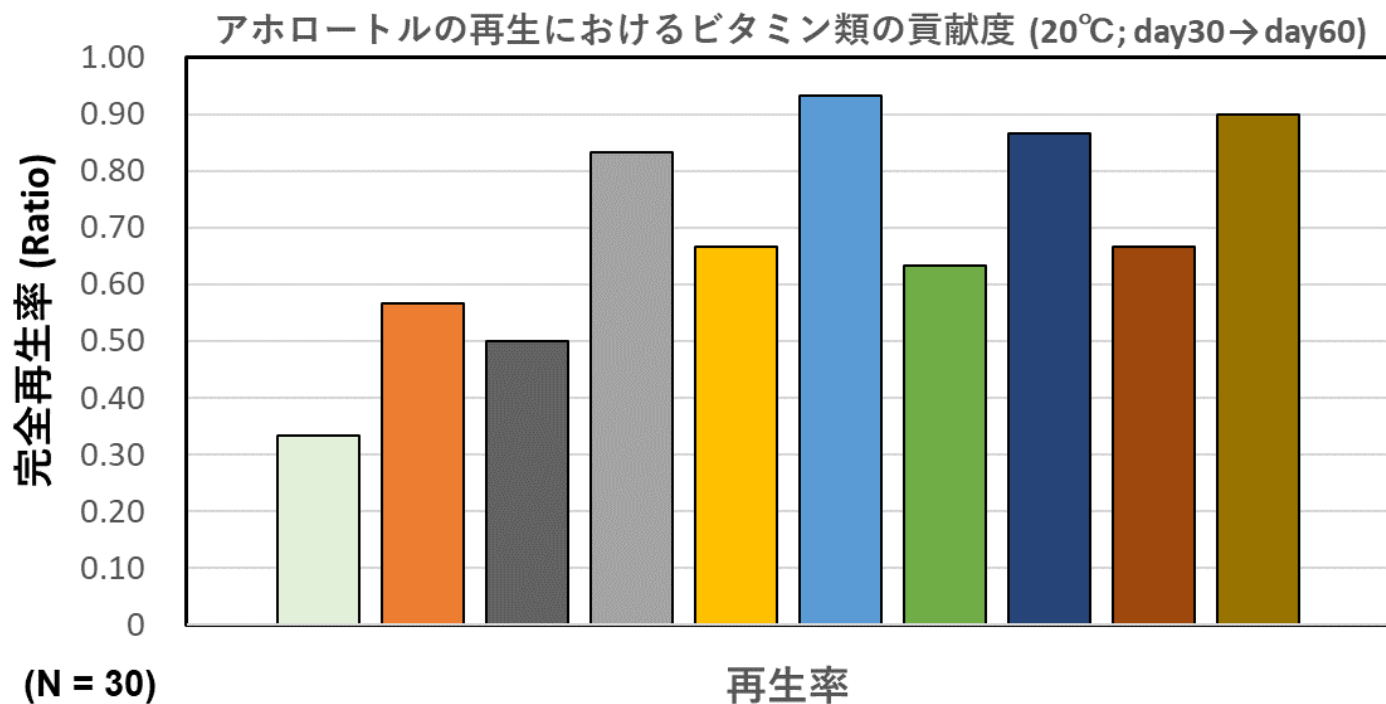
※ 活餌でない対照条件は粒餌 [ひかりウーパールーパー (小粒)].

※ 18℃で飼育している成熟個体を、同時期に 36hr 低水温下に置き、再度 18℃下へ戻すことで繁殖を誘発した。

アホロートルの孵化率・胚期の耐浸透圧 (20℃, 毎日換水)



補足図 1-5: ビタミン投与した個体の子孫は孵化率 (胚期の耐浸透圧) が向上する (LD12:12)

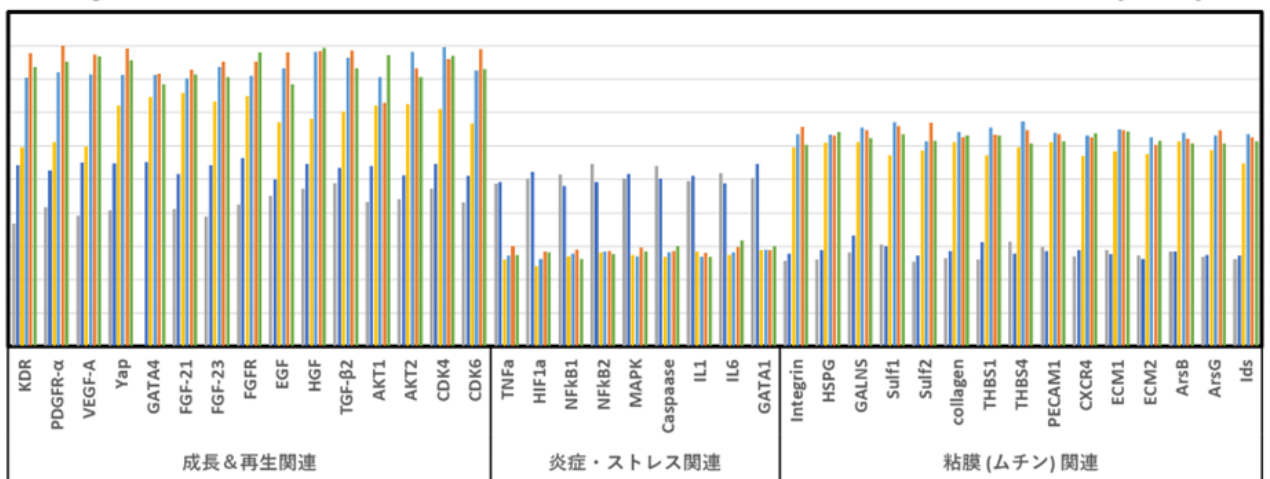


補足図 1-6: ビタミン投与飼育は汽水飼育の効果を活性化する (LD12:12)

※ 活餌でない対照条件は粒餌 [ひかりウーパールーパー (小粒)].

相対mRNA量 (相対比較)

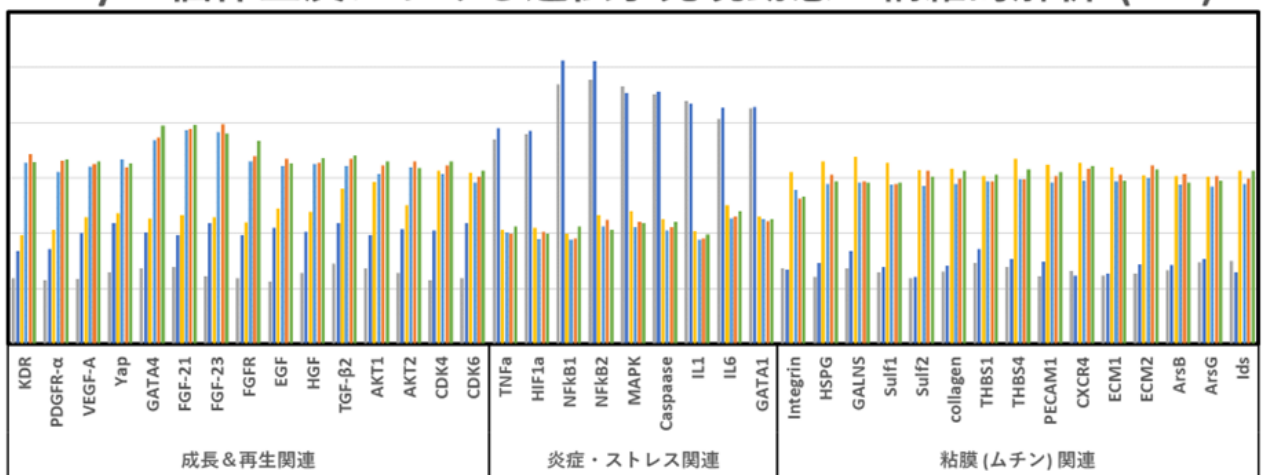
day30 個体上皮における遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)



■ 粒餌 ■ アカムシ ■ 粒餌+ビタミン ■ MB-M1 ■ MC-M2 ■ MD-M3

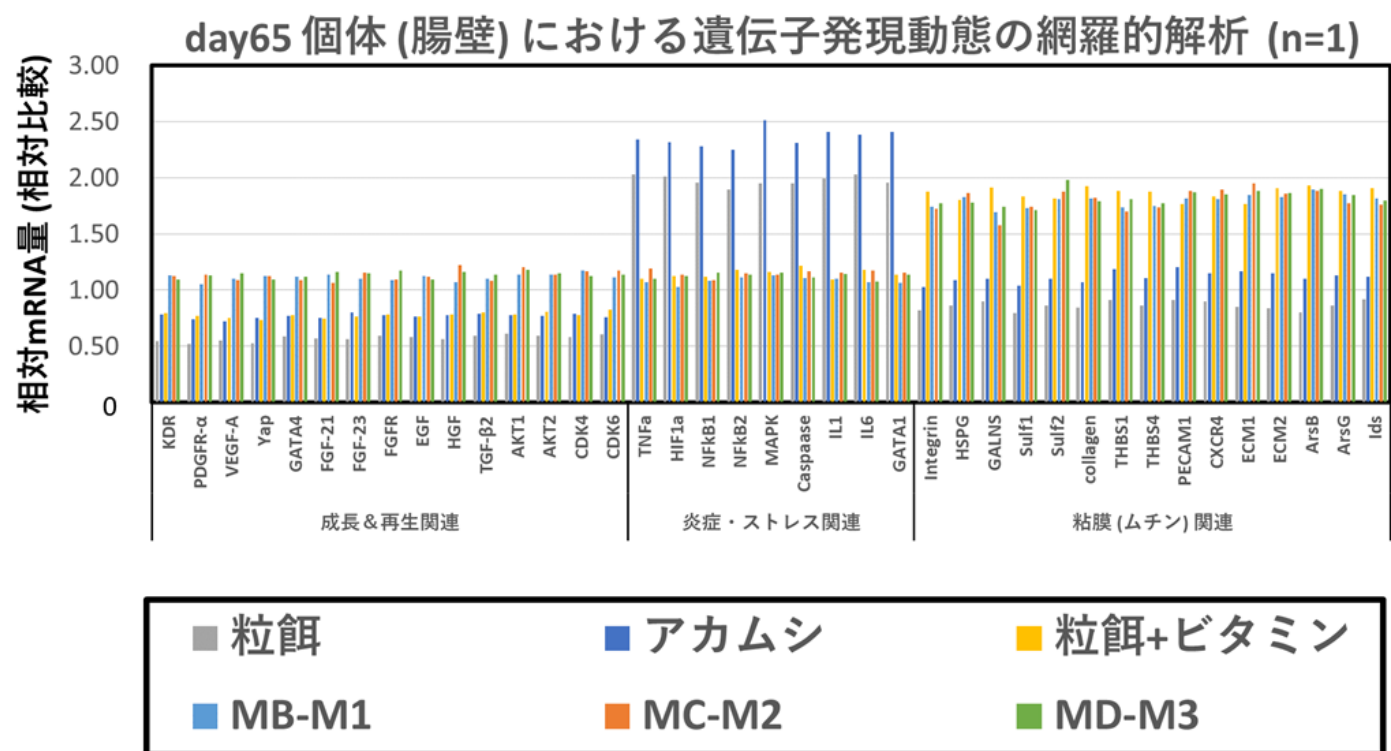
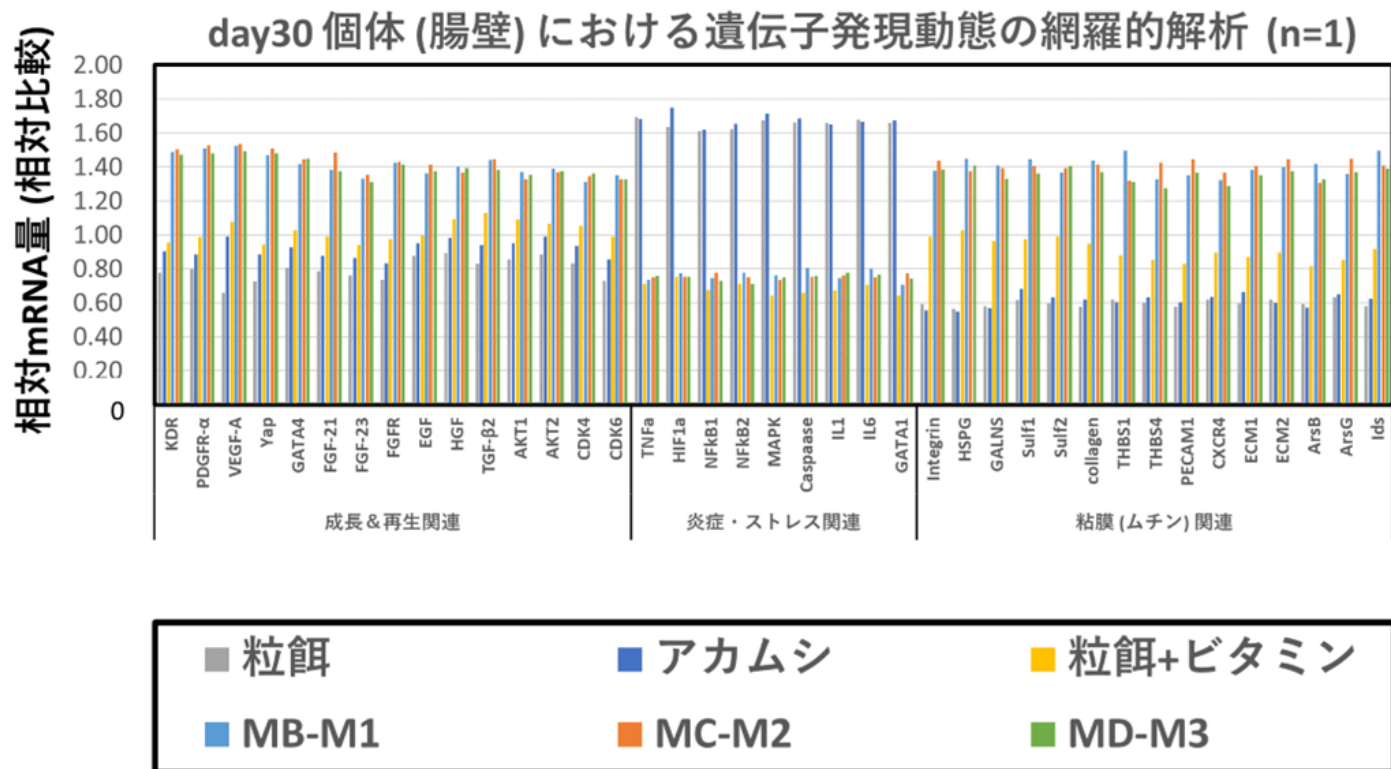
相対mRNA量 (相対比較)

day65 個体上皮における遺伝子発現動態の網羅的解析 (n=1)

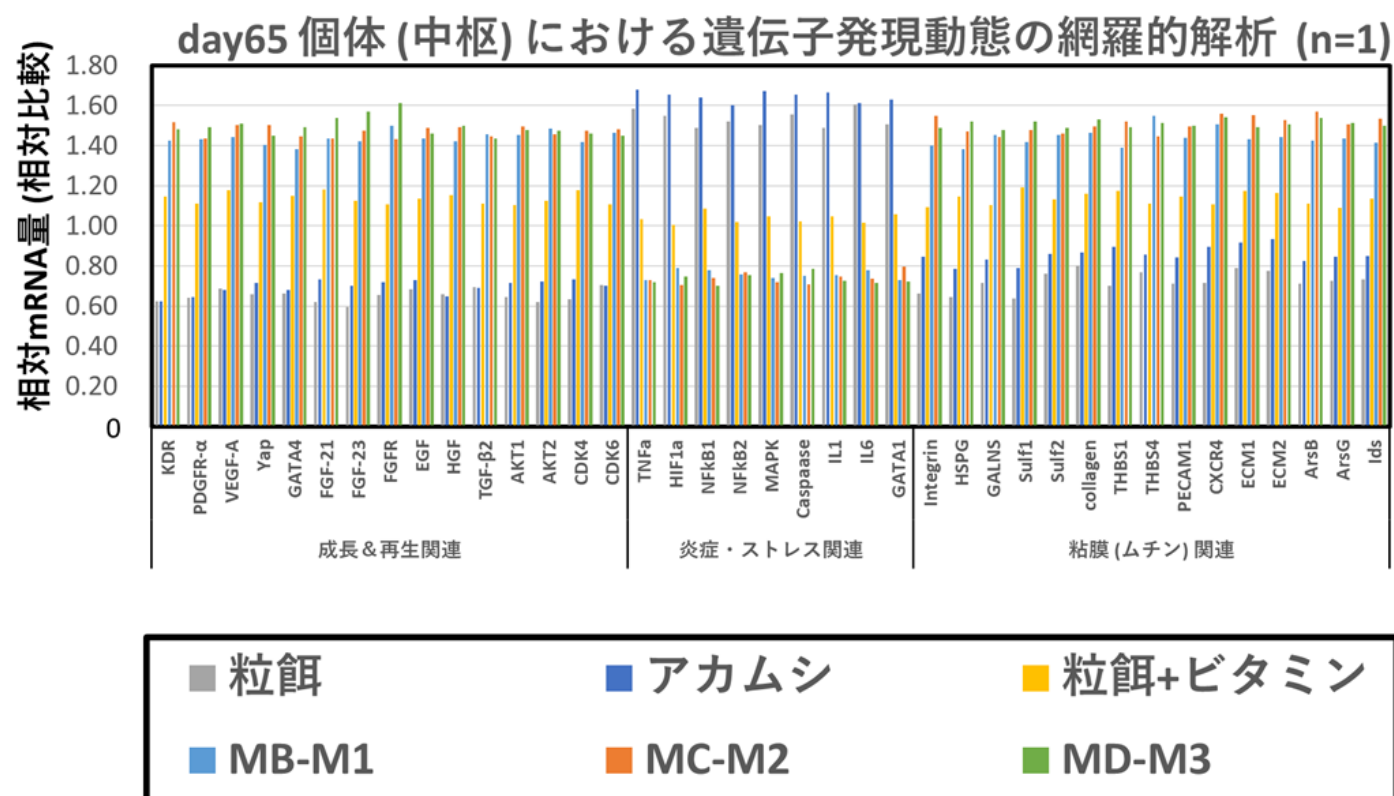
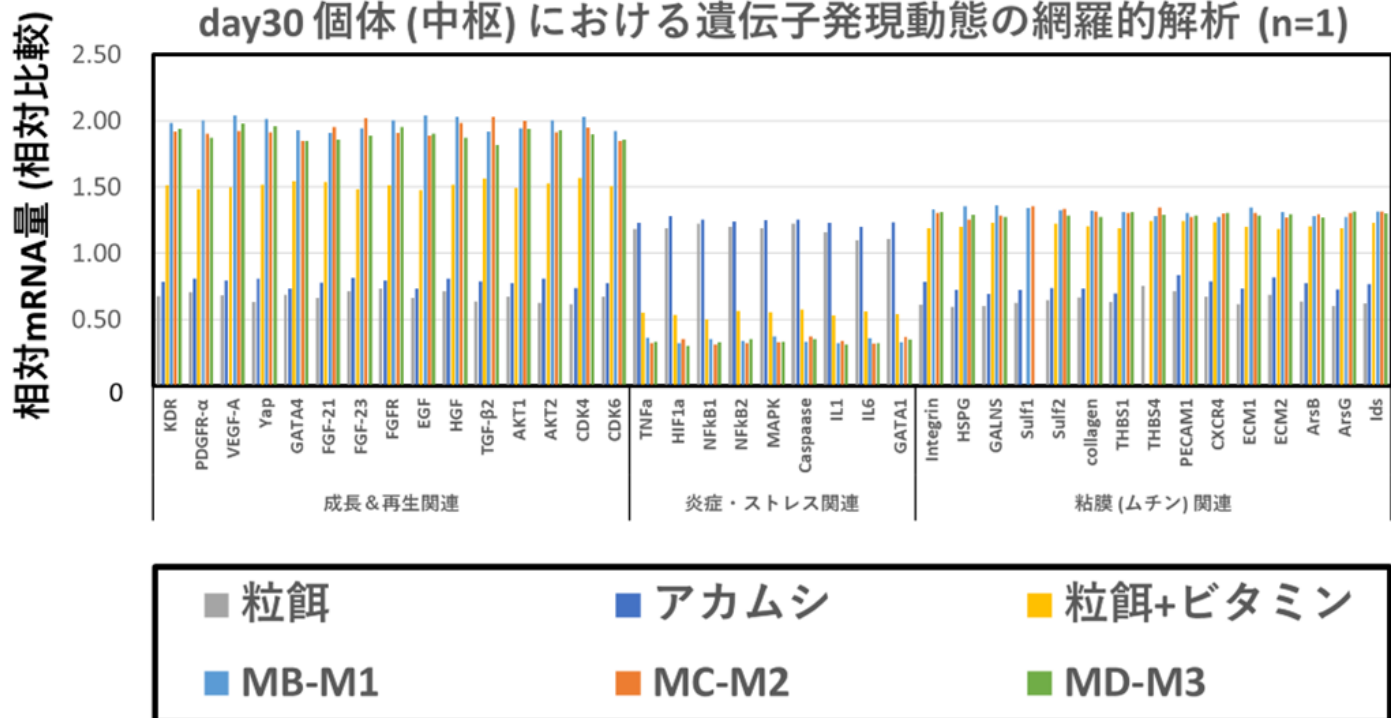


■ 粒餌 ■ アカムシ ■ 粒餌+ビタミン ■ MB-M1 ■ MC-M2 ■ MD-M3

補足図 2-1: ビタミン投与飼育が免疫力 (炎症マーカー発現) に与える恩恵 1 (上皮)

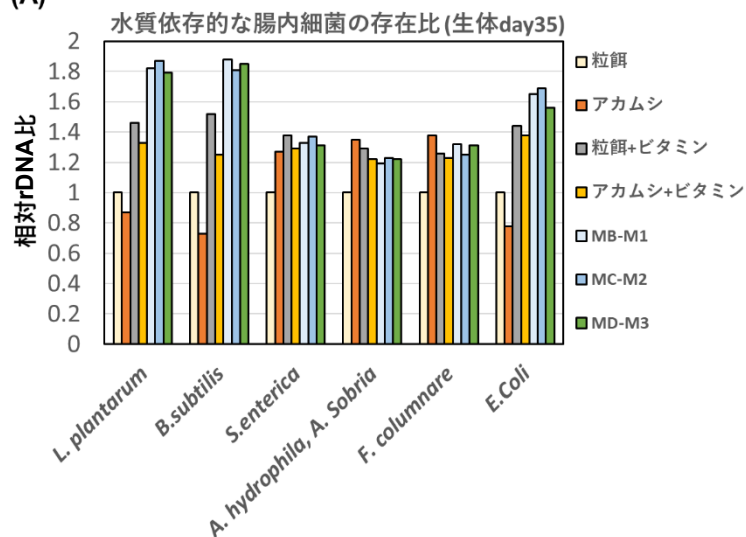


補足図 2-2: ビタミン投与飼育が免疫力 (炎症マーカー発現) に与える恩恵 2 (末梢)

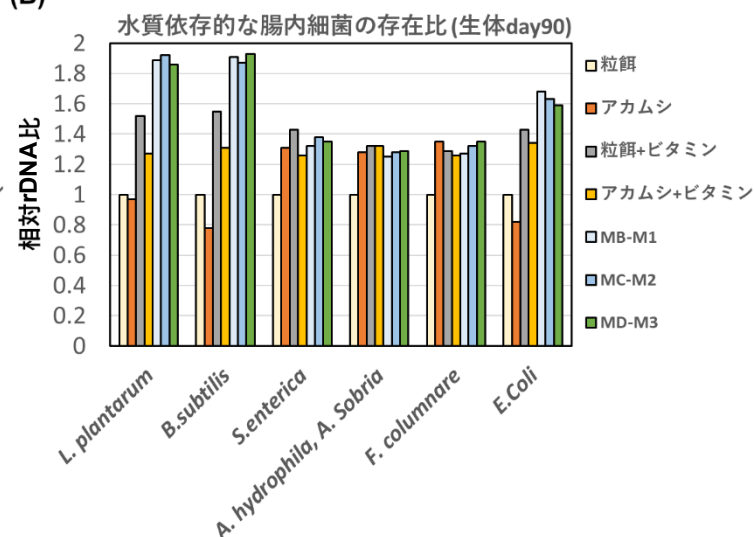


補足図 2-3: ビタミン投与飼育が免疫力 (炎症マーカー発現) に与える恩恵 3 (中枢)

(A)



(B)



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>	エロモナス類	感染症の原因菌
	<i>F. columnare</i>	カラムナリス類	感染症の原因菌
	<i>N. europaea</i>	ニトロソモナス類	アンモニア硝化菌
	<i>N. winogradskyi</i>	ニトロバクター類	亜硝酸酸化菌
	<i>S. enterica</i>	サルモネラ類	腸内細菌
	<i>E. coli</i>	大腸菌	腸内細菌
	<i>Vibrio vulnificus</i>	腸炎ビブリオ	吐き戻しの原因 (好塩細菌)
	<i>Campylobacter jejuni</i>	カンピロバクター類	肉類に付着 (耐塩細菌)
グラム陽性細菌	<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ球菌類	皮膚の化膿・嘔吐など (耐塩細菌)
	<i>Streptococcus iniae</i>	レンサ球菌	眼球突出、腎臓や脾臓の腫れ、心外膜炎など
	<i>L. plantarum</i>	乳酸菌	腸内細菌
	<i>B. subtilis</i>	枯草菌類	濾過バクテリア
藻類 (水苔)	<i>C. pediculus</i>	コッコネイス属	珪藻類
	<i>T. lacustris</i>	テトラスポラ属	緑藻類
	<i>M. willeana</i>	ミクロスポラ属	糸状緑藻類
真菌 (カビ)	<i>S. cerevisiae</i>	出芽酵母	パン酵母
	<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	水質浄化、 増えすぎると 水カビ病の原因
	<i>A. prolifer</i>	ワタカビ属 (卵菌類)	
	<i>A. proliferoides</i>		
	<i>A. racemosa</i>		
	<i>A. cochlioides</i>		
	アフアノマイセス属 (糸状菌類)		

参考: 飼育水槽内で生息する微生物リスト (黄色: 汚染された生魚・生肉由来の病原性微生物)

補足図 3: ビタミン投与飼育が腸内細菌叢に与える恩恵

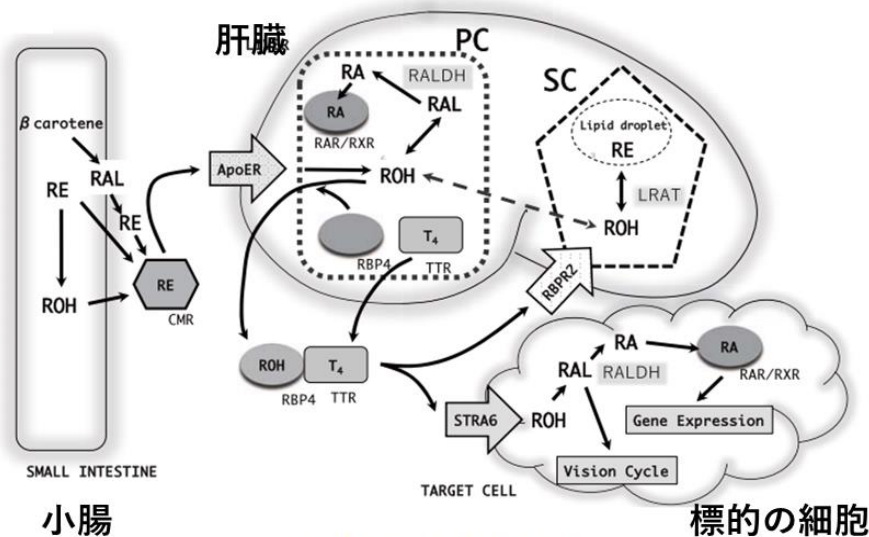


図1 ビタミンAの吸収と転送

小腸から吸収されたビタミン A は肝臓に転送後標的組織に送られる。その際にビタミン A とその代謝産物は特異的結合タンパク質や膜受容体を介して移動する。

ROH: レチノール RAL: レチナール RA: レチノイン酸 RE: レチニルエステル CMR: キロミクロンレムナント RBP4: レチノール結合タンパク質 TTR: トランスサイレチン PC: 実質細胞 SC: 星細胞 ApoER: アポリポタンパク質 E 受容体 STRA6: RBP4 受容体 RBPR2: RBP4 受容体 RDHs: レチノールデヒドロゲナーゼ RALDH: レチナールデヒドロゲナーゼ LRAT: レシチン・レチノールアルシトランスフェラーゼ RAR/RXR: レチノイン酸核内受容体群

https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/95/5-6/95_257/pdf/-char/ja

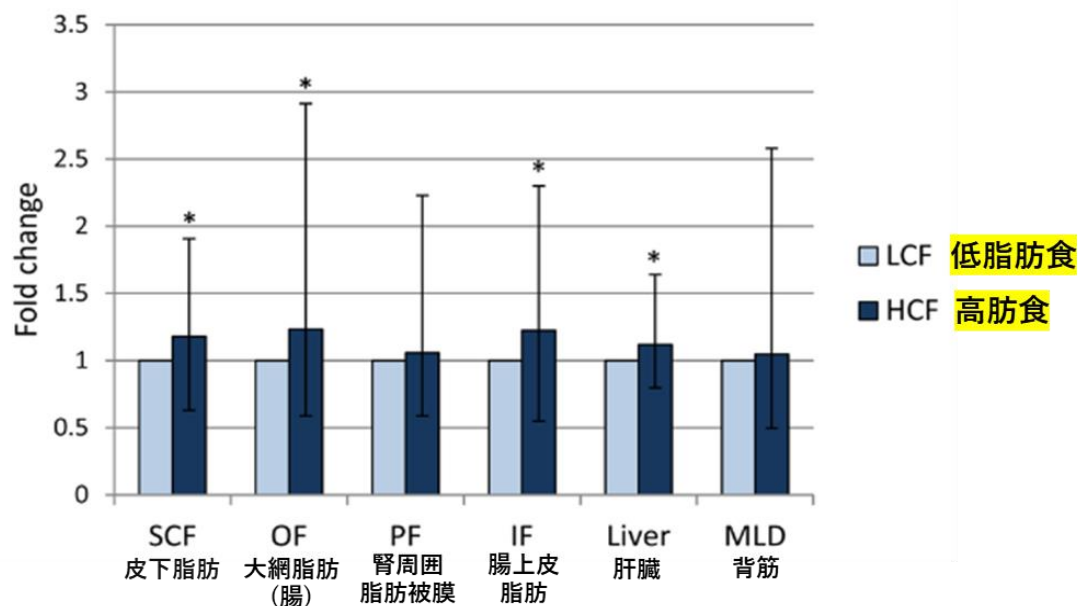


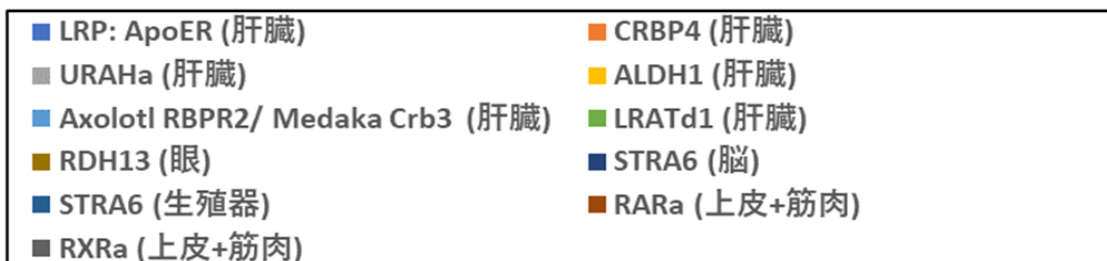
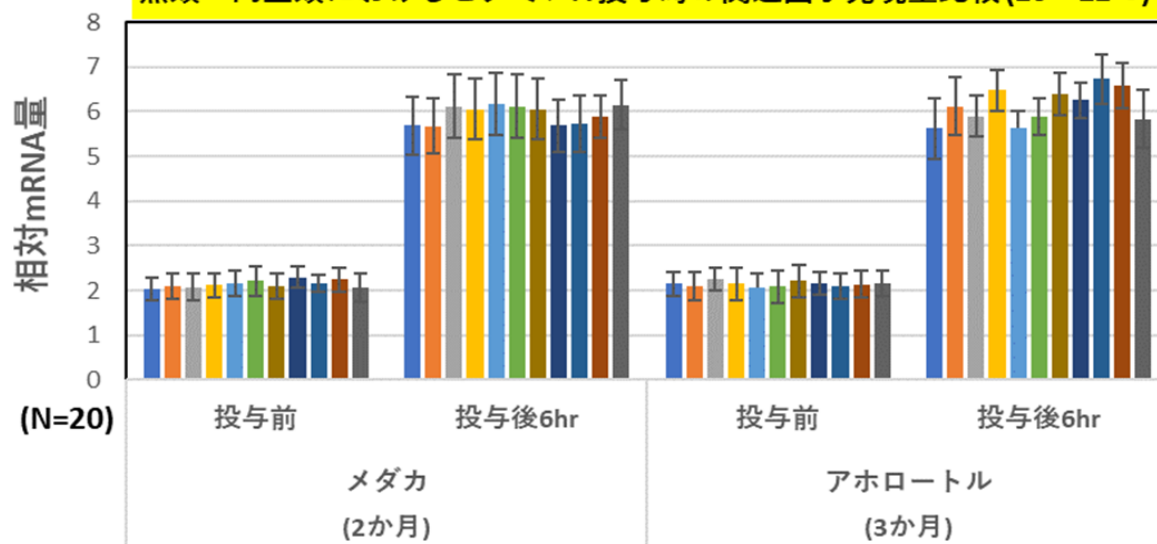
Figure 1. Fold changes of *RBP4* mRNA abundance in different adipose tissues, liver and muscle of high carcass fat (HCF, n = 20) compared to low carcass fat (LCF, n = 18) bulls. Data were normalized to beta-2-microglobulin (*B2M*) and ubiquitously expressed transcript (*UXT*) for adipose tissues, *UXT* and ribosomal protein S9 (*RP59*) for liver tissue, and topoisomerase II beta (*TOP2B*) and *B2M* for muscle tissue and calculated using the REST software (Version 2.0.13, QIAGEN, Hilden, Germany). Graphs show fold changes of expression of HCF vs. LCF bulls with standard errors calculated by REST software⁴⁵. * indicate significant differences between groups with P < 0.05. SCF = subcutaneous fat, PF = perineural fat, OF = omental fat, IF = intestinal fat, MLD = Musculus longissimus dorsi. Carcass fat: 食品/餌中に含まれる脂肪

Carcass fat: 食品/餌中に含まれる脂肪

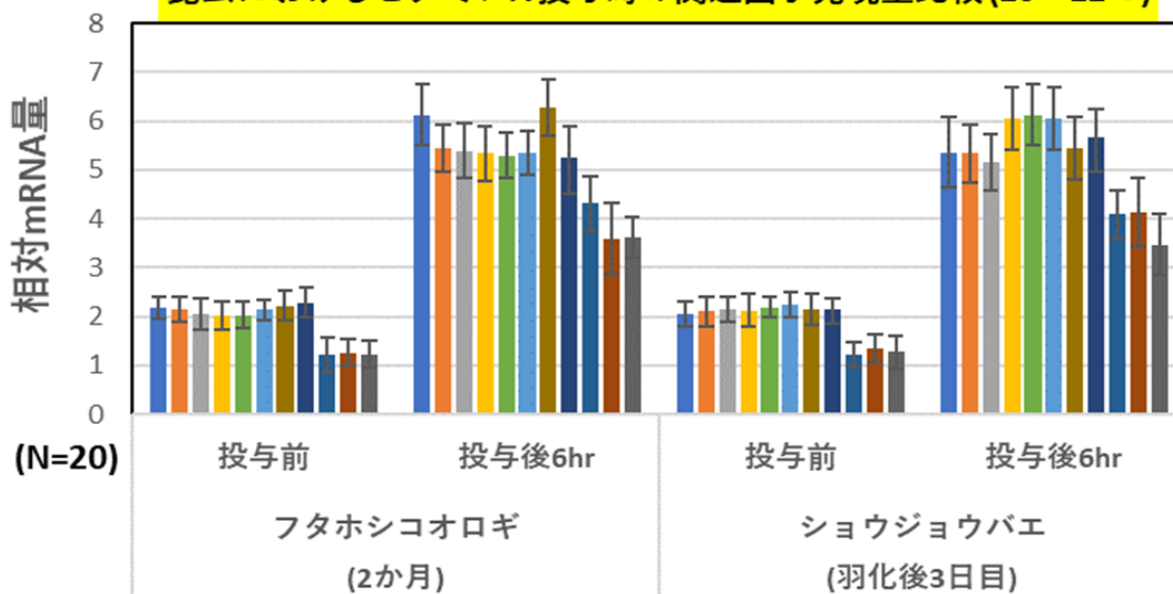
(5) (PDF) Retinol binding protein 4 abundance in plasma and tissues is related to body fat deposition in cattle (researchgate.net)

補足図 4: 生物種毎のビタミン A (レチノール/ β カロテン) 代謝について 1 (ヒト・マウス)

魚類・両生類におけるビタミンA投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



昆虫におけるビタミンA投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



補足図 5: 生物種毎のビタミン A (レチノール/ β カロテン) 代謝について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

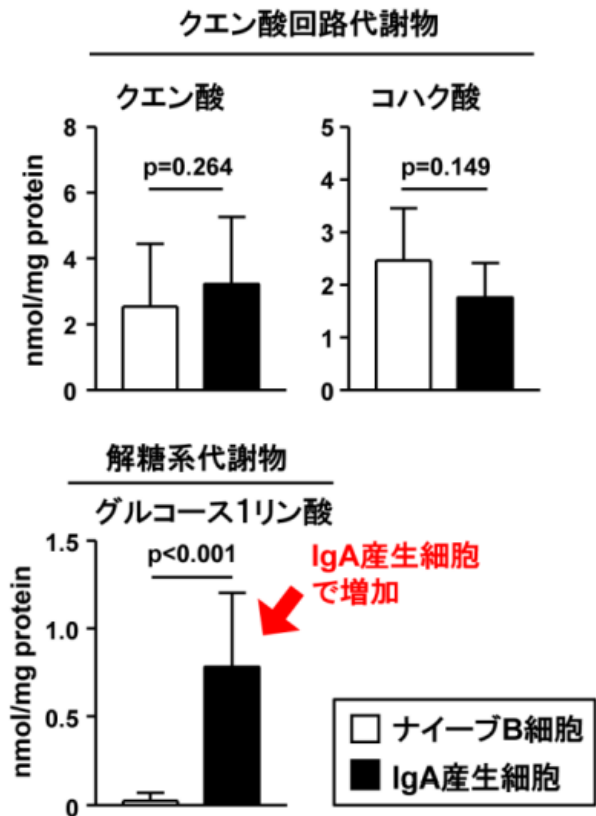
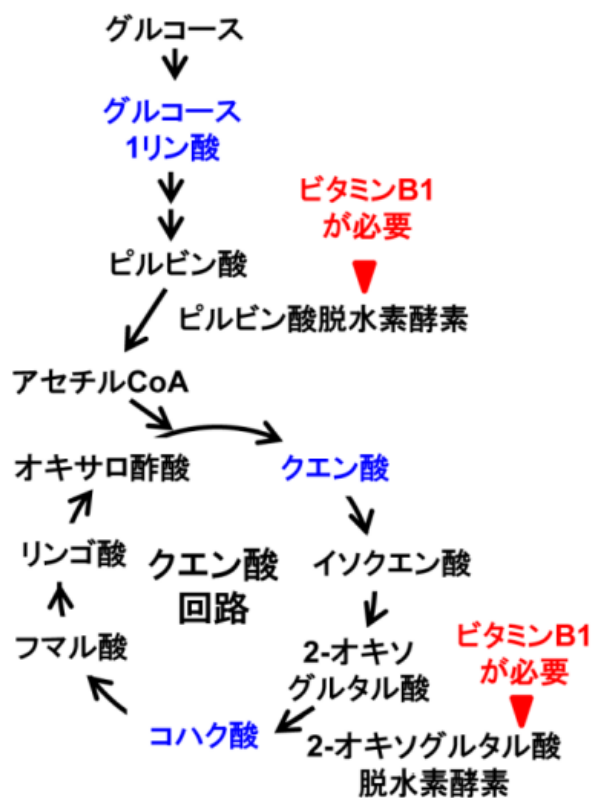
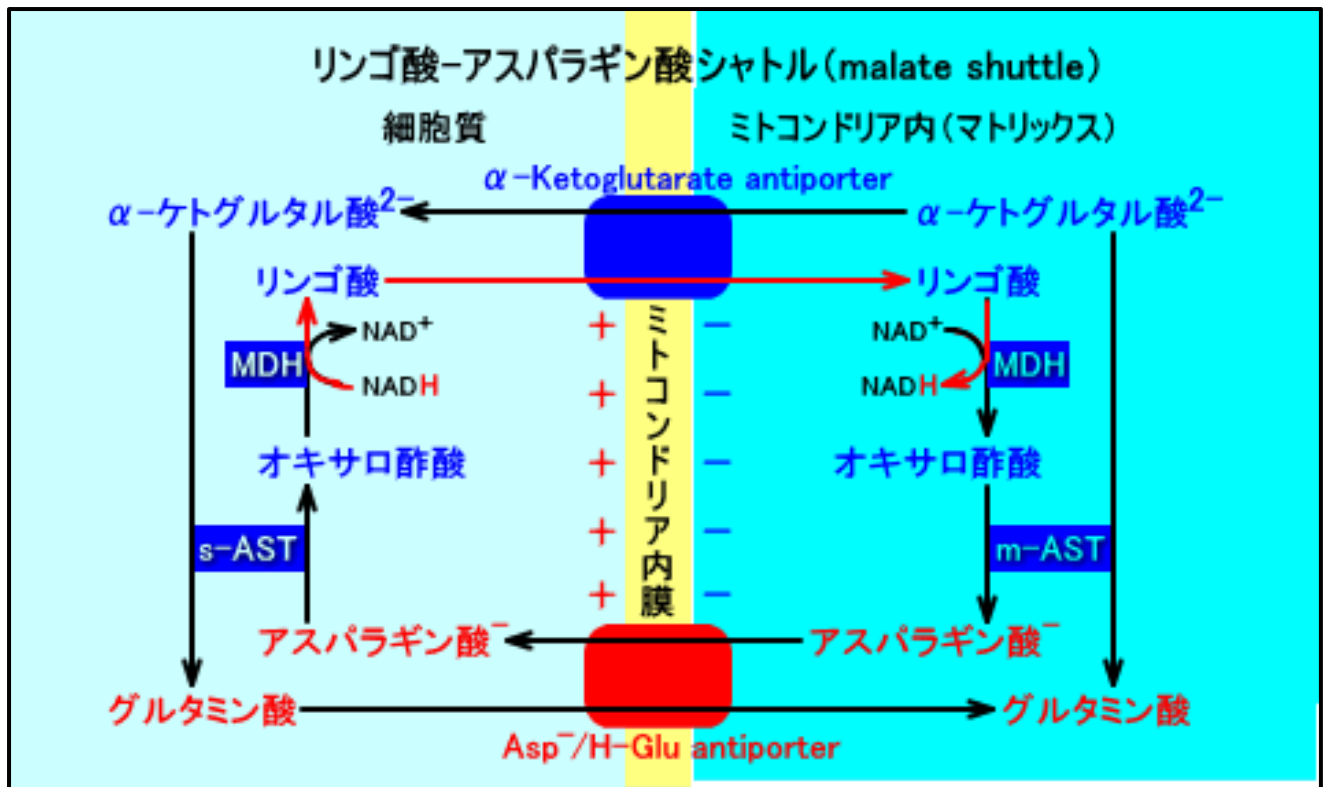


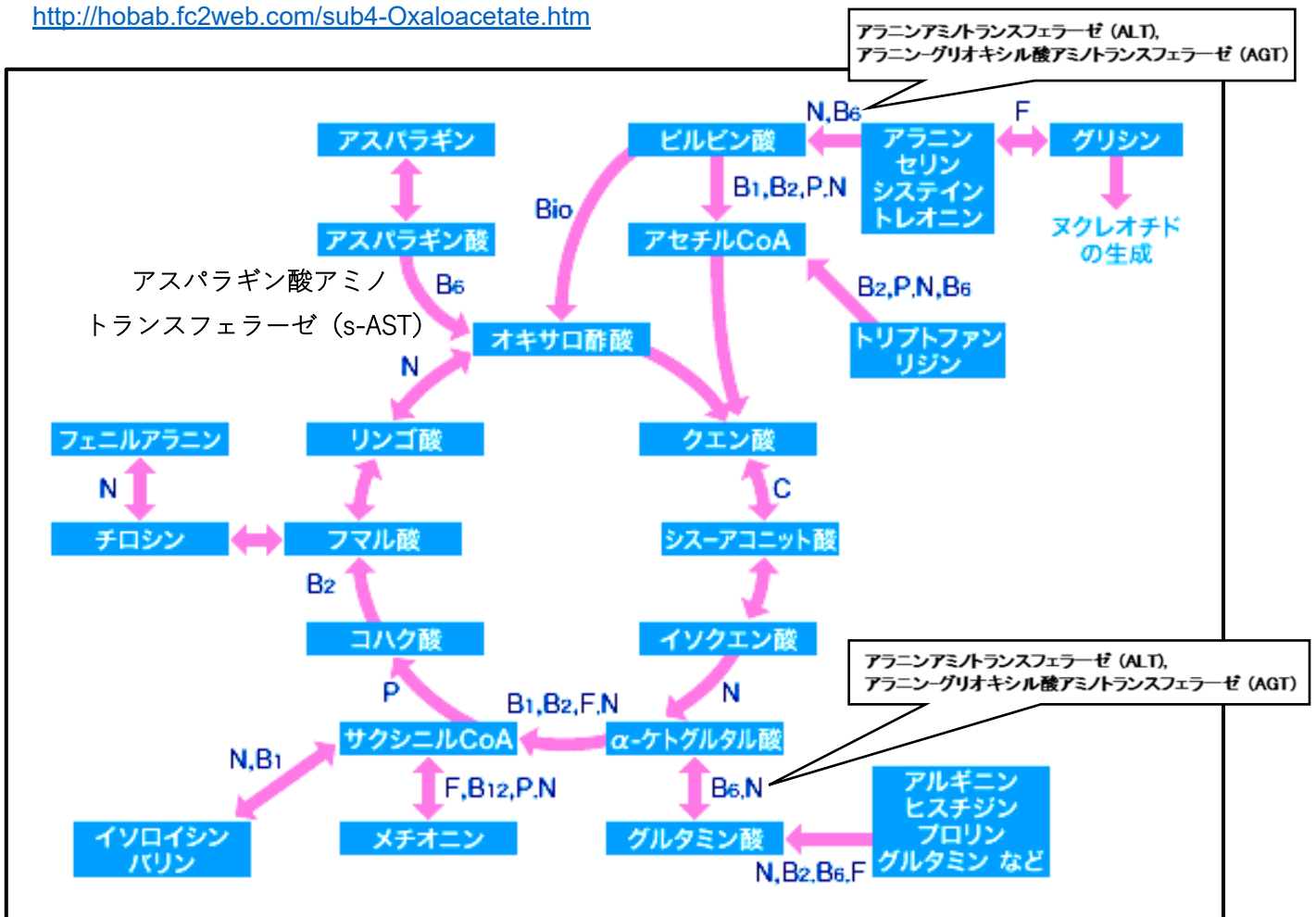
図1 パイエル板から回収したナীবB細胞と腸管絨毛組織から回収したIgA産生細胞の代謝物を測定した。その結果、クエン酸回路の代謝物であるクエン酸やコハク酸は両細胞で変化は認められなかった(右上グラフ)。一方で、解糖系代謝物であるグルコース1リン酸はIgA産生細胞で多く認められた(右下グラフ)。

<https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/content/900006498.pdf>

補足図6: 生物種毎のビタミンB1(チアミン), B2(リボフラビン)の生理的作用について1
(ヒト、マウス)



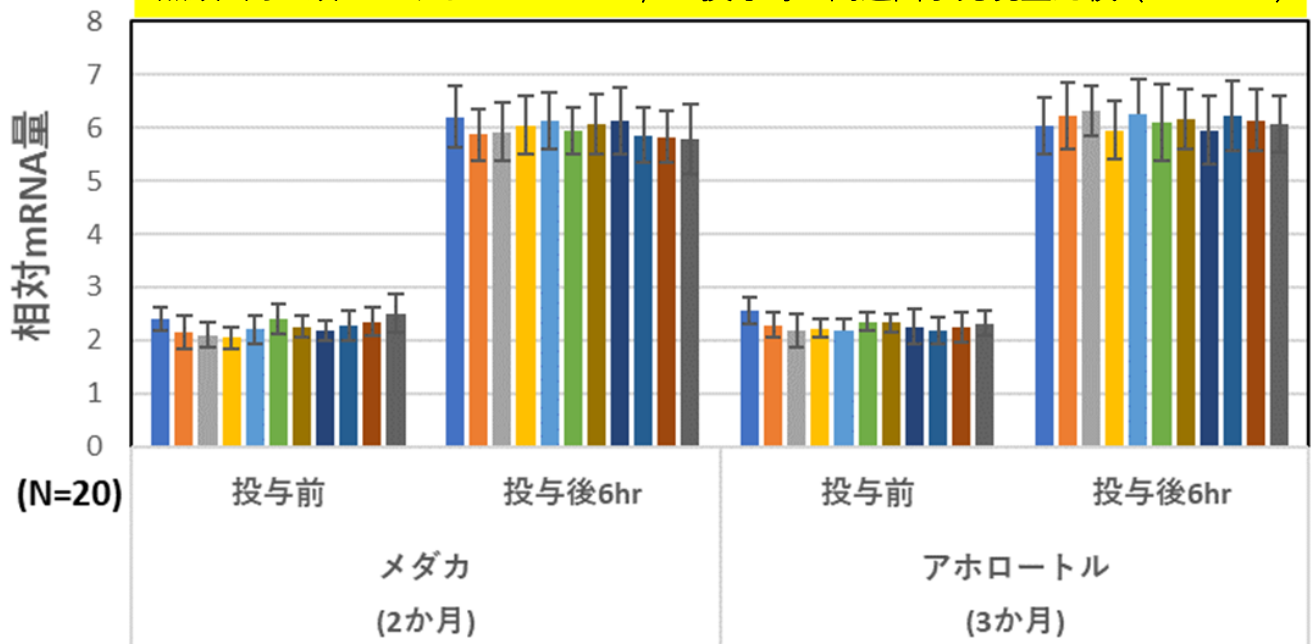
<http://hobab.fc2web.com/sub4-Oxaloacetate.htm>



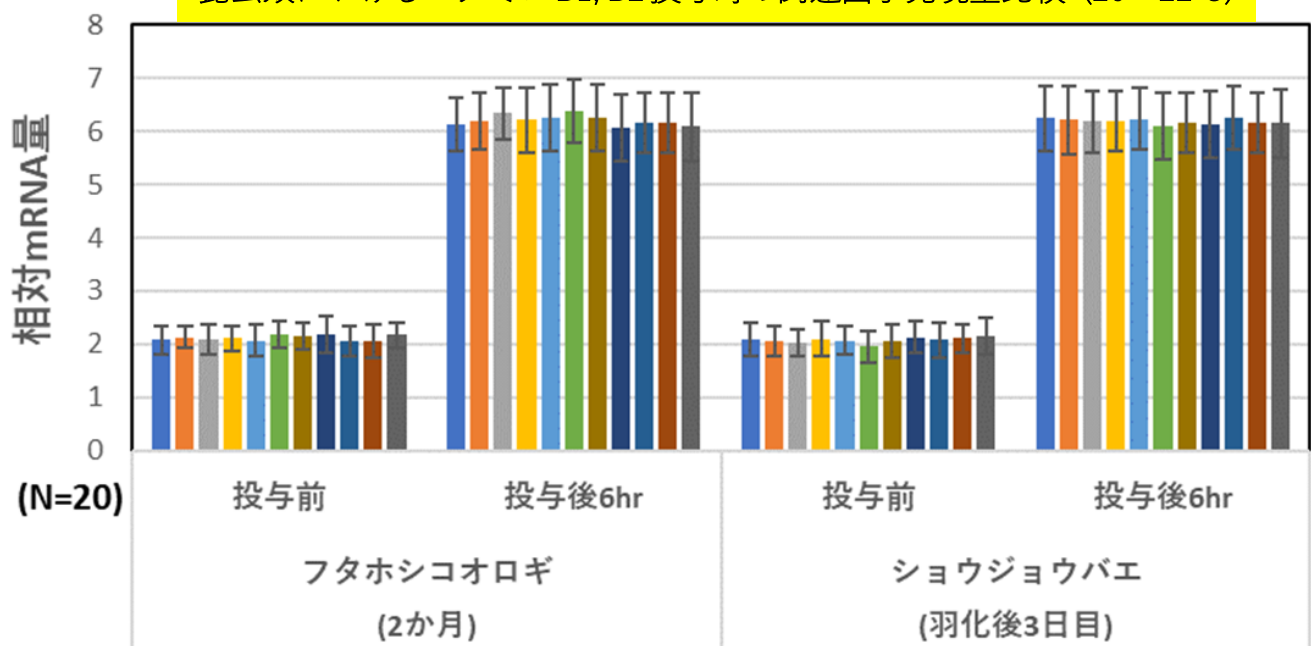
<https://www.orthomolecular.jp/nutrition/vitam>

補足図 7: 生物種毎のビタミン B1 (チアミン), B2 (リボフラビン) の生理的作用について 2
(ヒト、マウス)

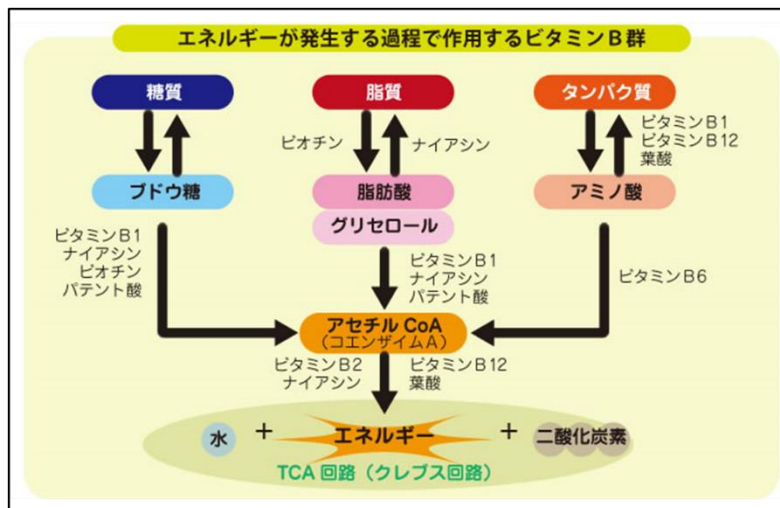
魚類・両生類におけるビタミン B1, B2 投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



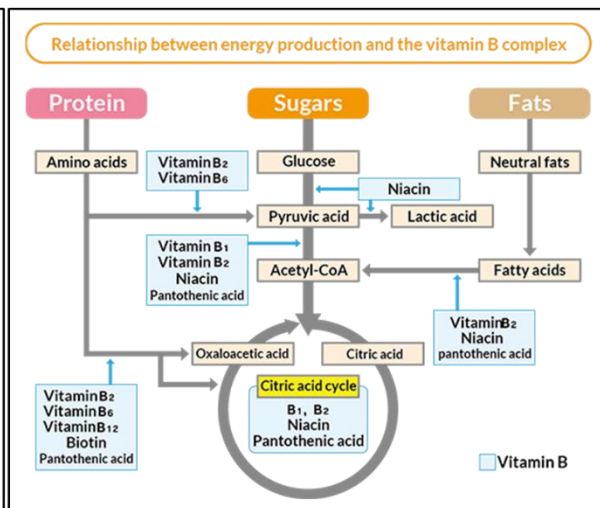
昆虫類におけるビタミン B1, B2 投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



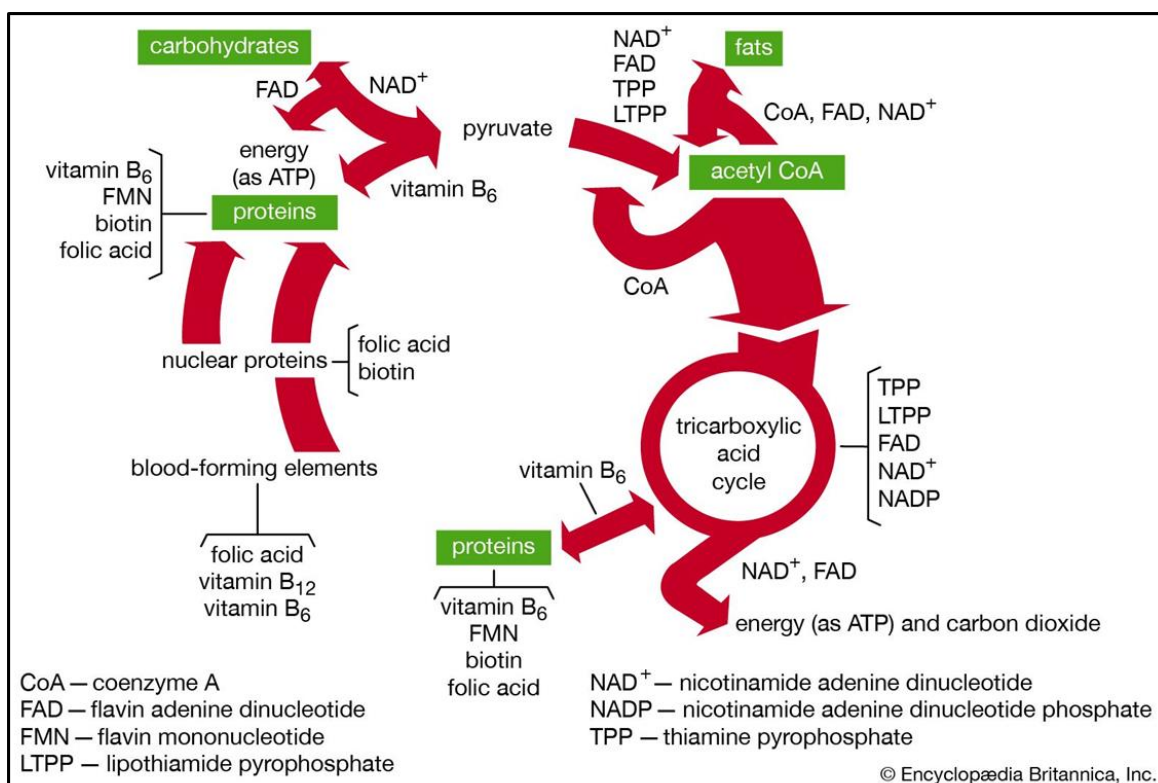
補足図 8: 生物種毎のビタミン B1 (チアミン), B2 (リボフラビン) の生理的作用について
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)



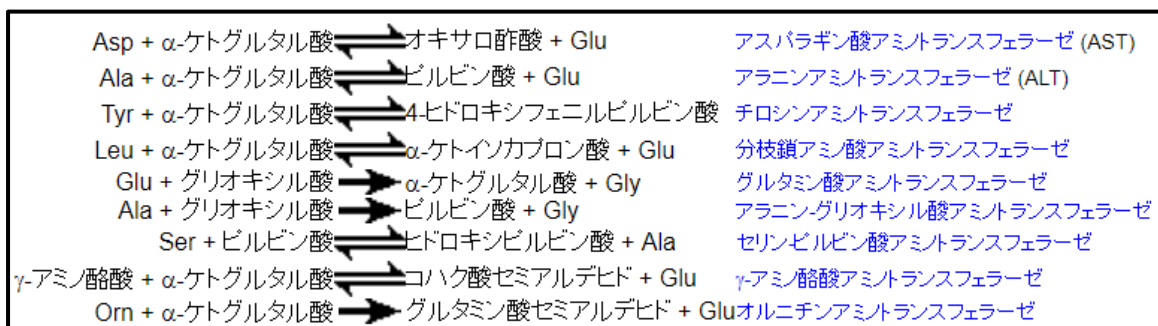
<https://www.otsuka.co.jp/nutraceutical/about/nutrition/sports-nutrition/essential-nutrients/vitaminbcomplex.html>



<https://www.otsuka.co.jp/en/nutraceutical/about/nutrition/sports-nutrition/essential-nutrients/vitaminbcomplex.html>



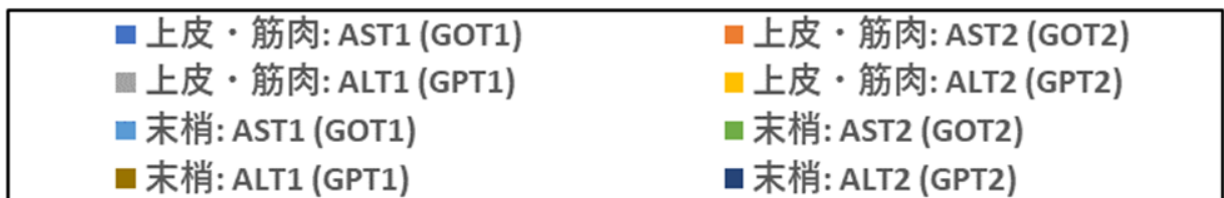
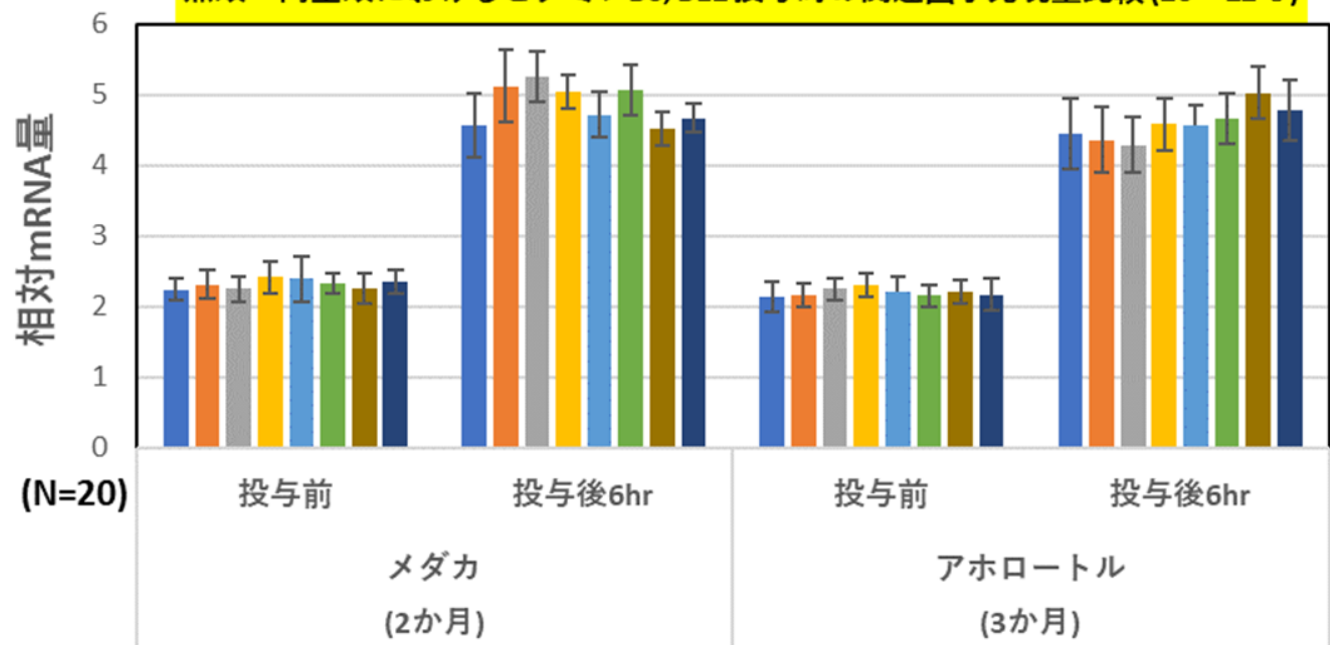
<https://www.britannica.com/science/pantothenic-acid>



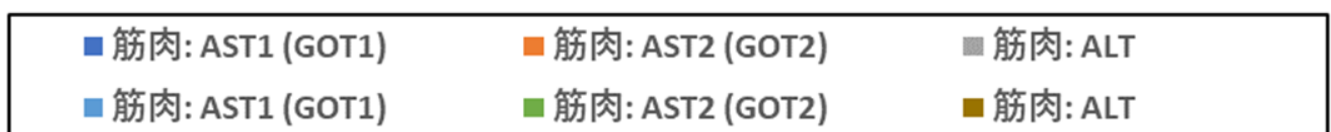
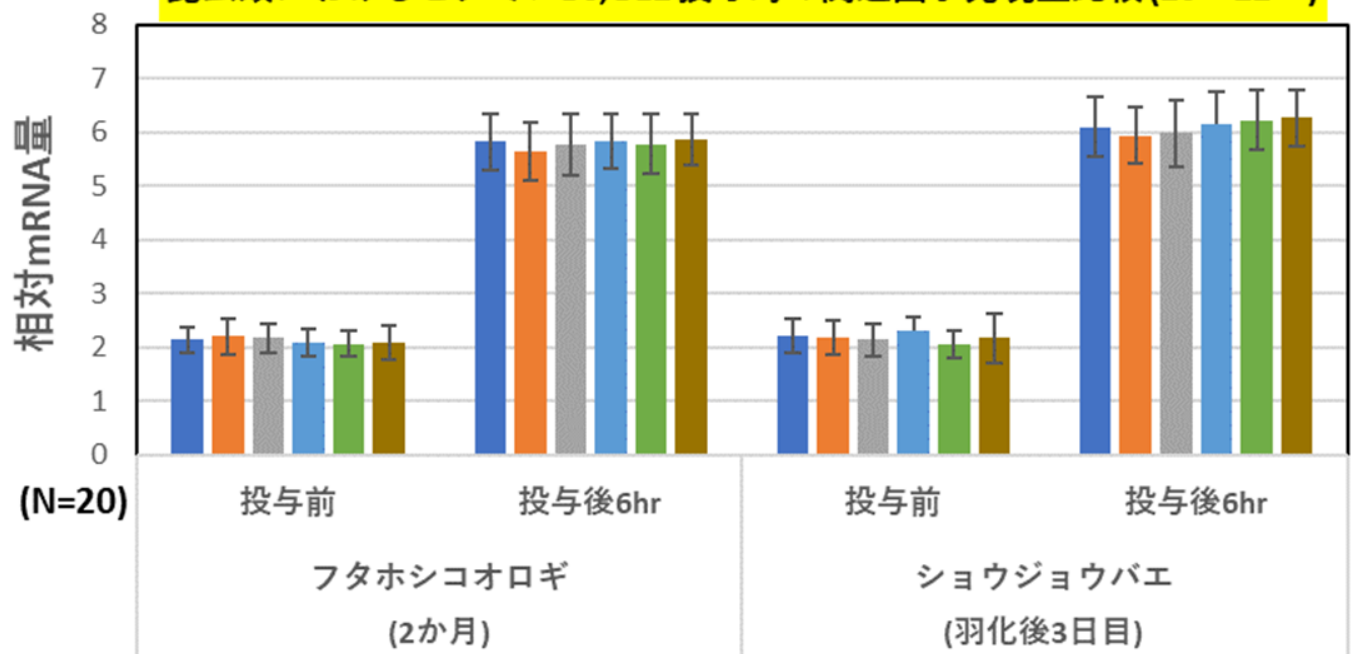
http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/amino_met.htm

補足図 9: 生物種毎のビタミン B6 (ピリドキシン), B12 (コバラミン) の生理的作用について (ヒト、マウス)

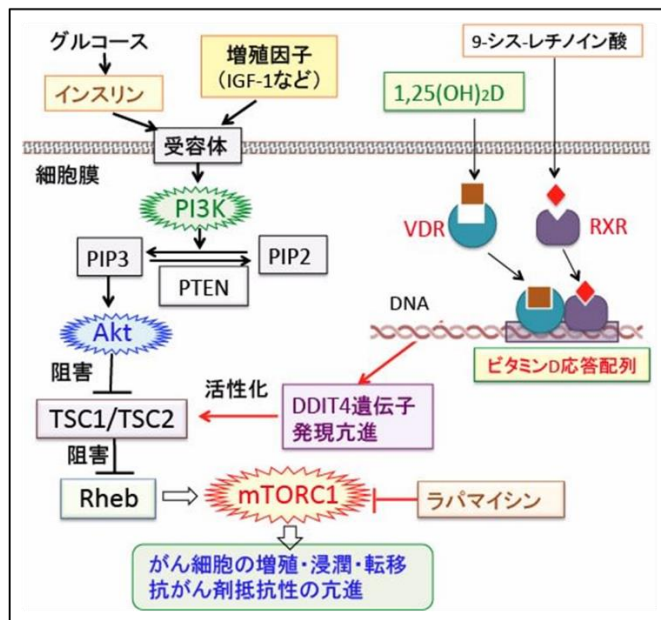
魚類・両生類におけるビタミンB6, B12投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



昆虫類におけるビタミンB6, B12投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



補足図 10: 生物種毎のビタミン B6 (ピリドキシン), B12 (コバラミン) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)



535) ビタミンD3とレチノイドとラパマイシンとメトホルミンの相乗効果 - 「漢方がん治療」を考える (goo.ne.jp)

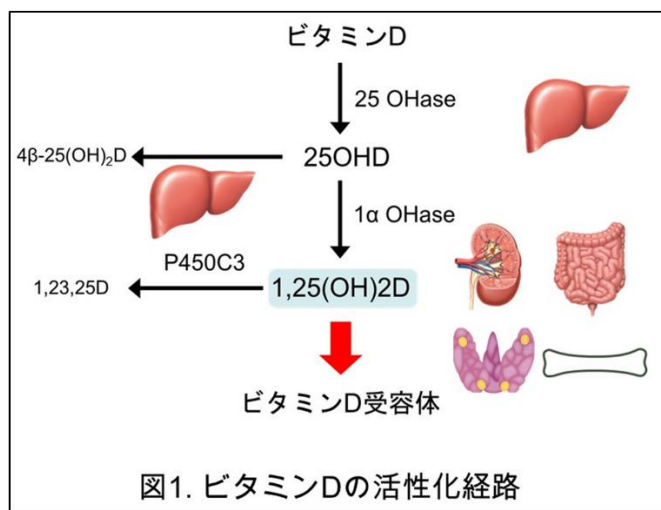
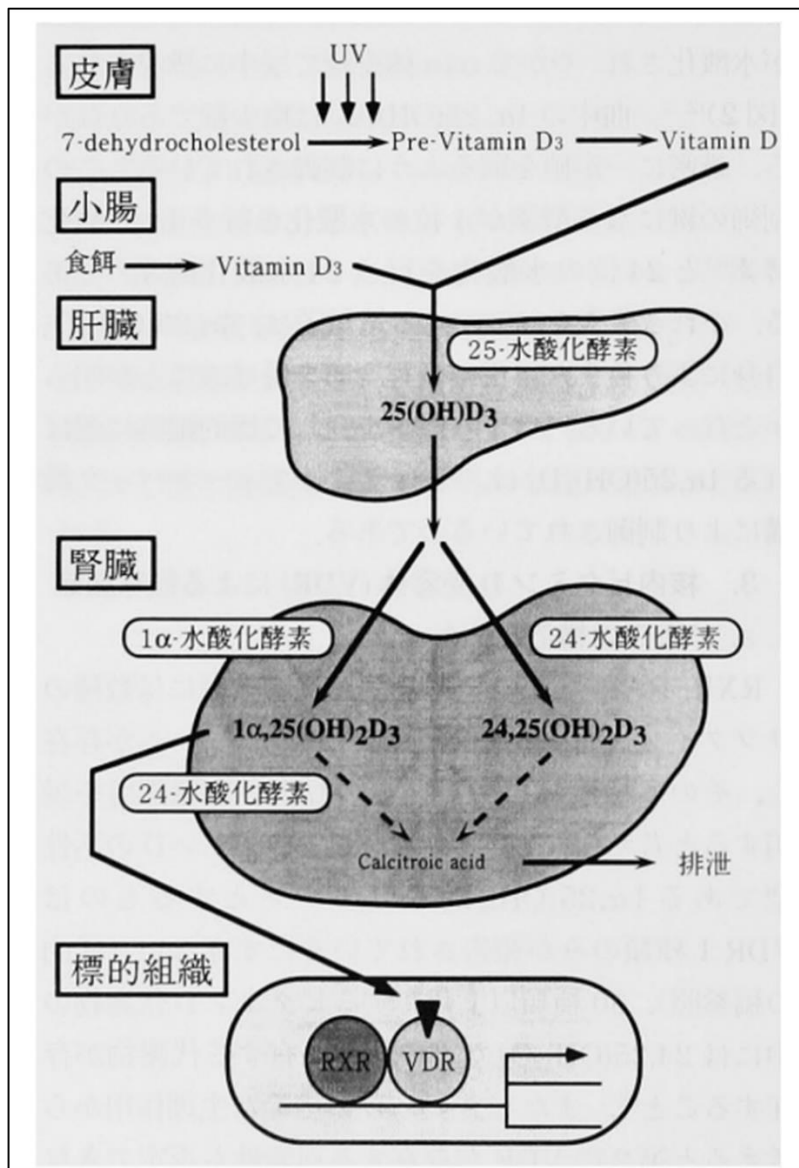


図1. ビタミンDの活性化経路

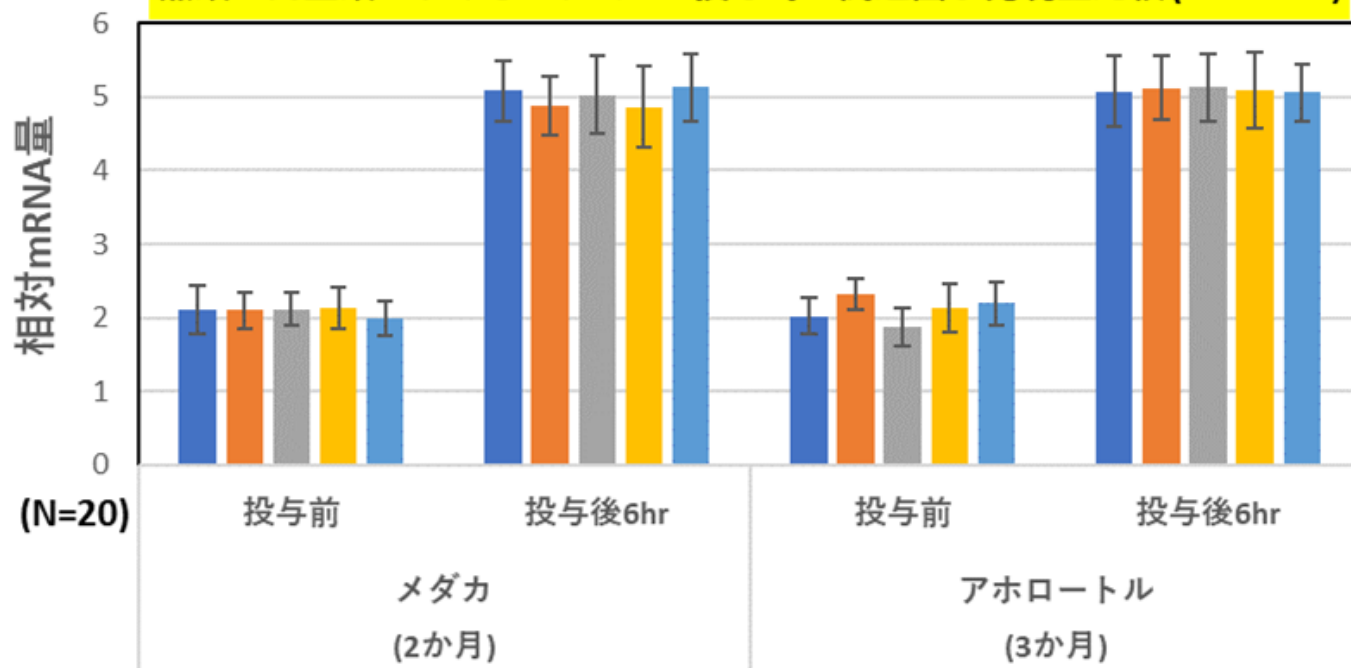
東京大学医学部附属病院 (u-tokyo-bone-mineral-lab.jp)



https://www.jstage.jst.go.jp/article/nogeikagaku1924/72/10/72_10_1199/_pdf/-char/ja

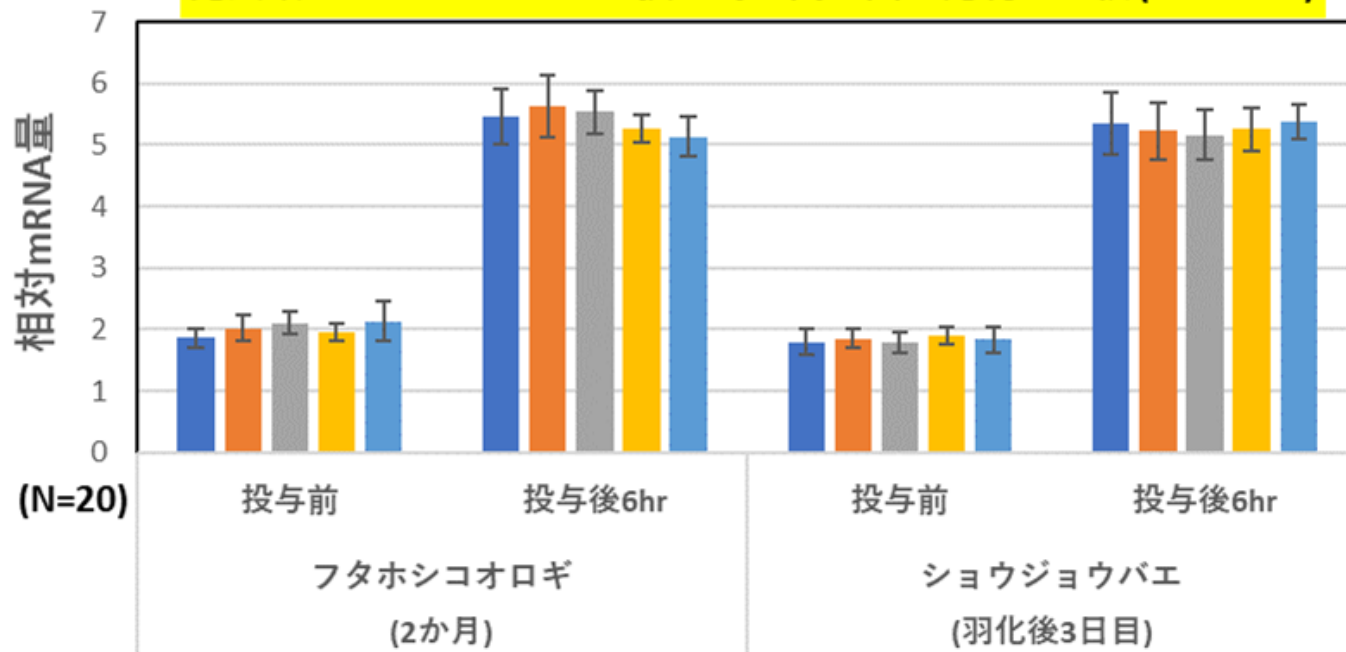
補足図 11: 生物種毎のビタミン D (カルシフェロール) の生理的作用について 1
(ヒト、マウス)

魚類・両生類におけるビタミンD投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



■ VDR (上皮) ■ VDR (筋肉) ■ VDR (腸) ■ VDR (生殖器) ■ VDR (中枢神経)

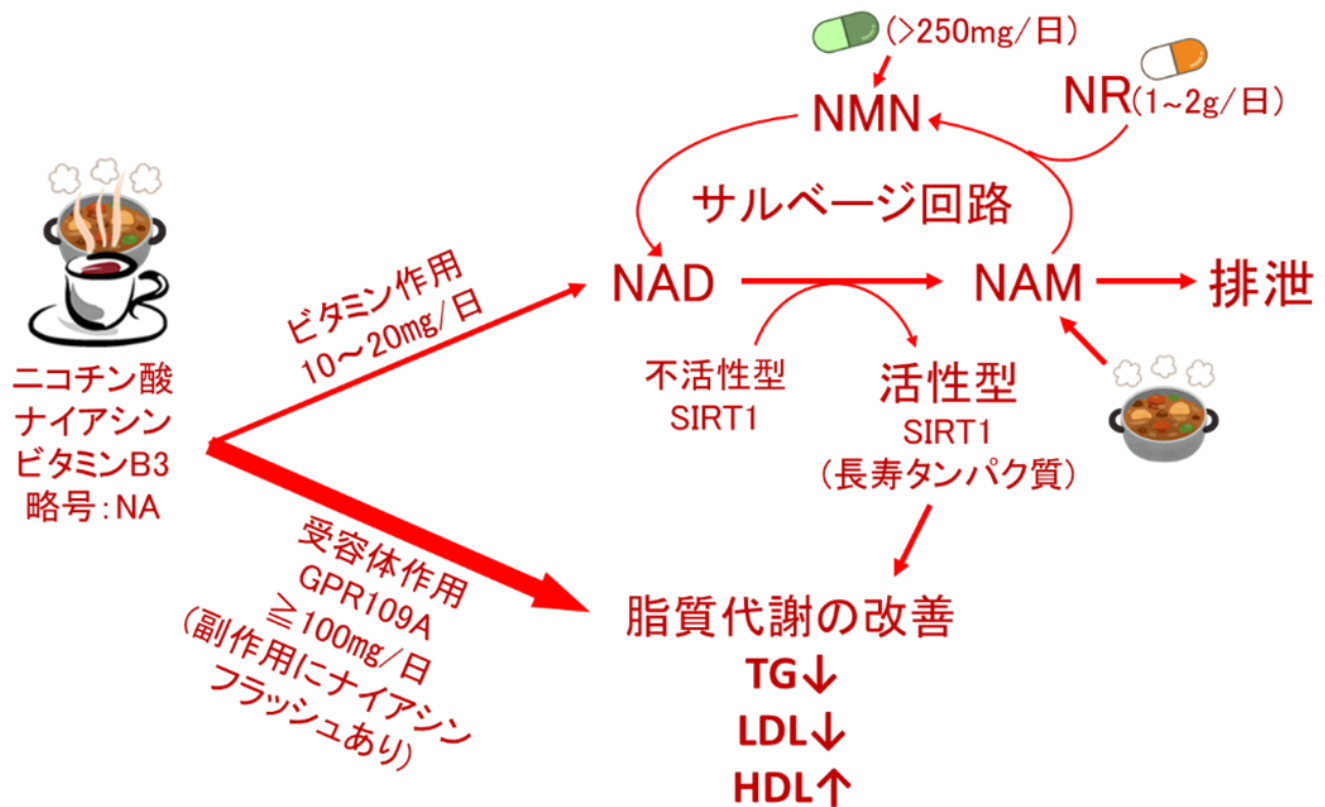
昆虫類におけるビタミンD投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



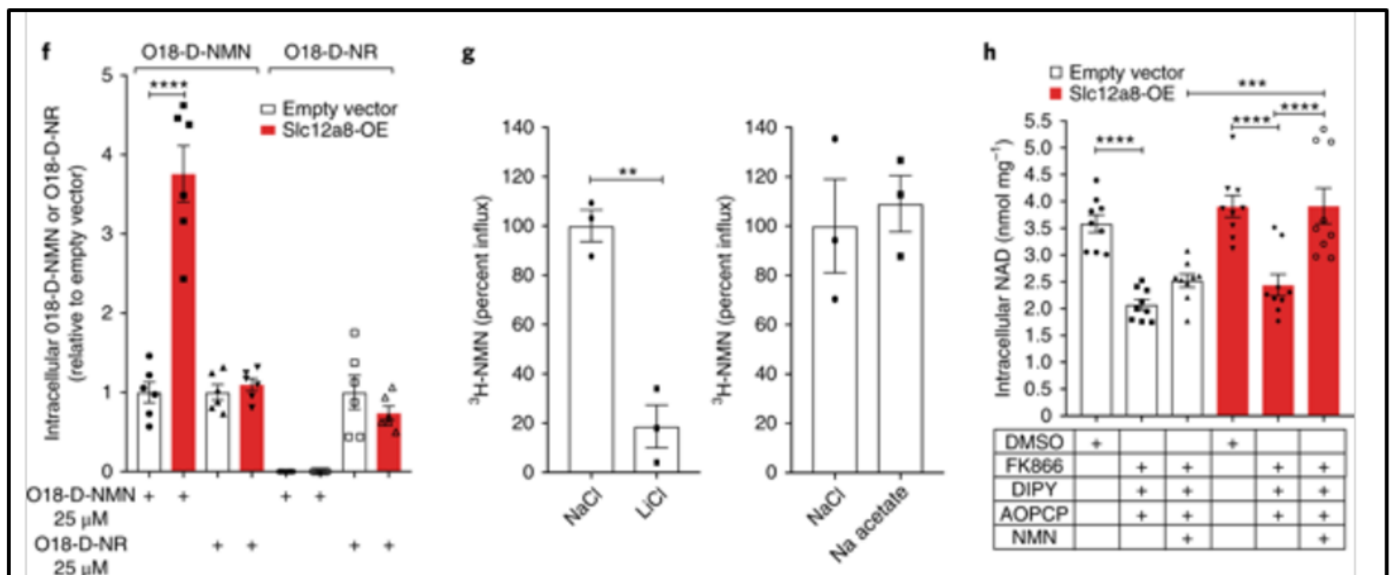
■ VDR (上皮) ■ VDR (筋肉) ■ VDR (腸) ■ VDR (生殖器) ■ VDR (中枢神経)

補足図 12: 生物種毎のビタミン D (カルシフェロール) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

図1. ニコチン酸のビタミン作用と受容体作用



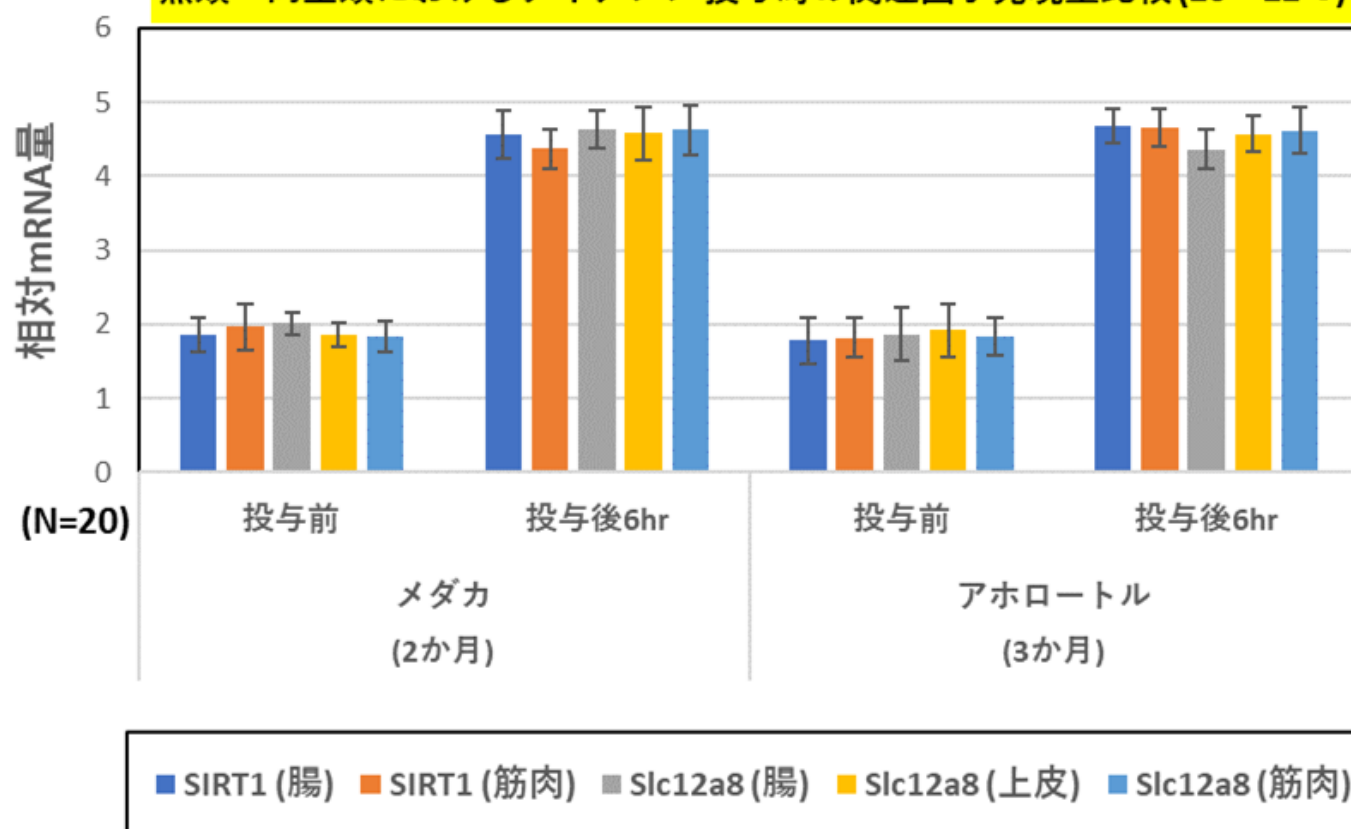
第471話 NADブースターの比較/脂質代謝の改善はニコチン酸で | 医薬経済オンライン (iyakukeizai.com)



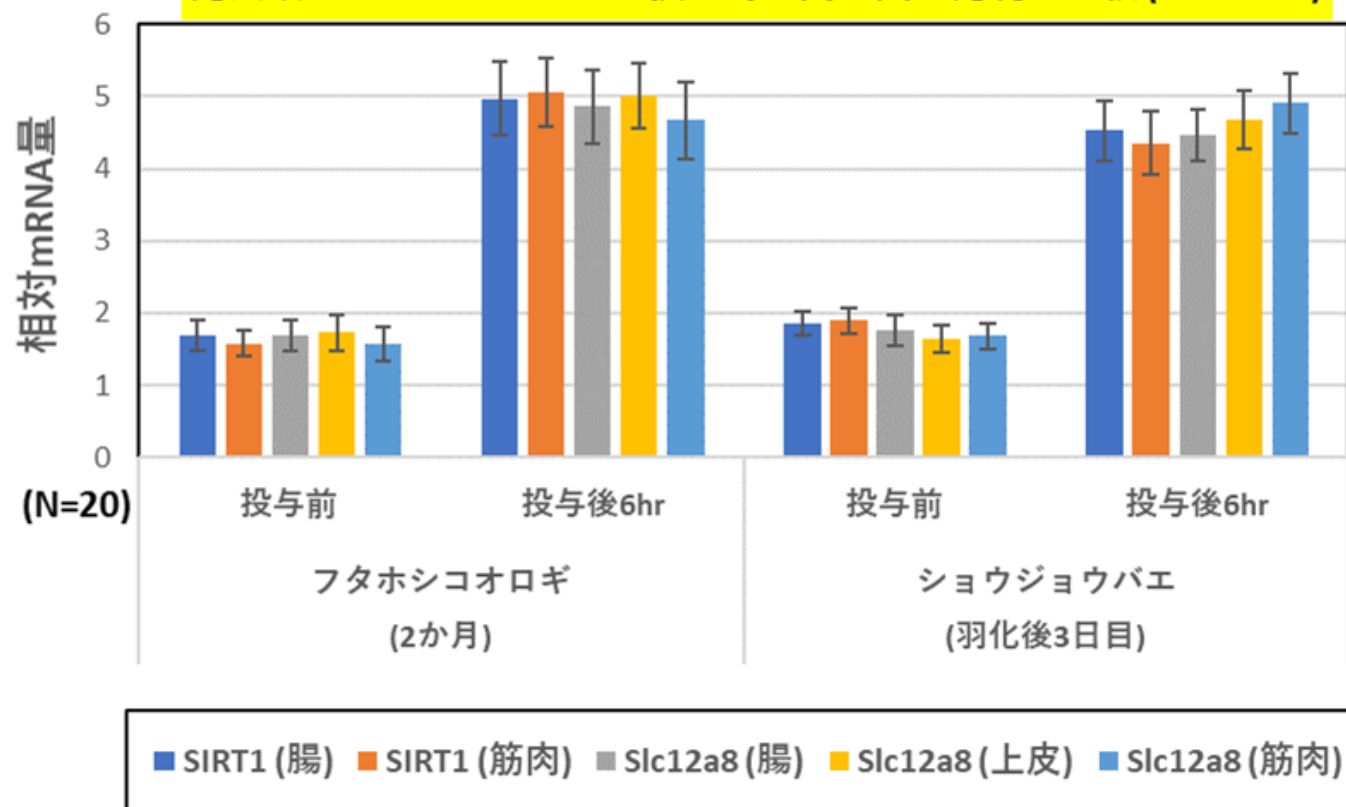
Slc12a8はニコチンアミドモノヌクレオチド輸送体である [Nature Metabolism](https://doi.org/10.1038/s41594-020-00000-0) | [Nature Portfolio](https://doi.org/10.1038/s41594-020-00000-0) (natureasia.com)

補足図 13: 生物種毎の ナイアシン (ニコチン酸) の生理的作用について 1
(ヒト、マウス)

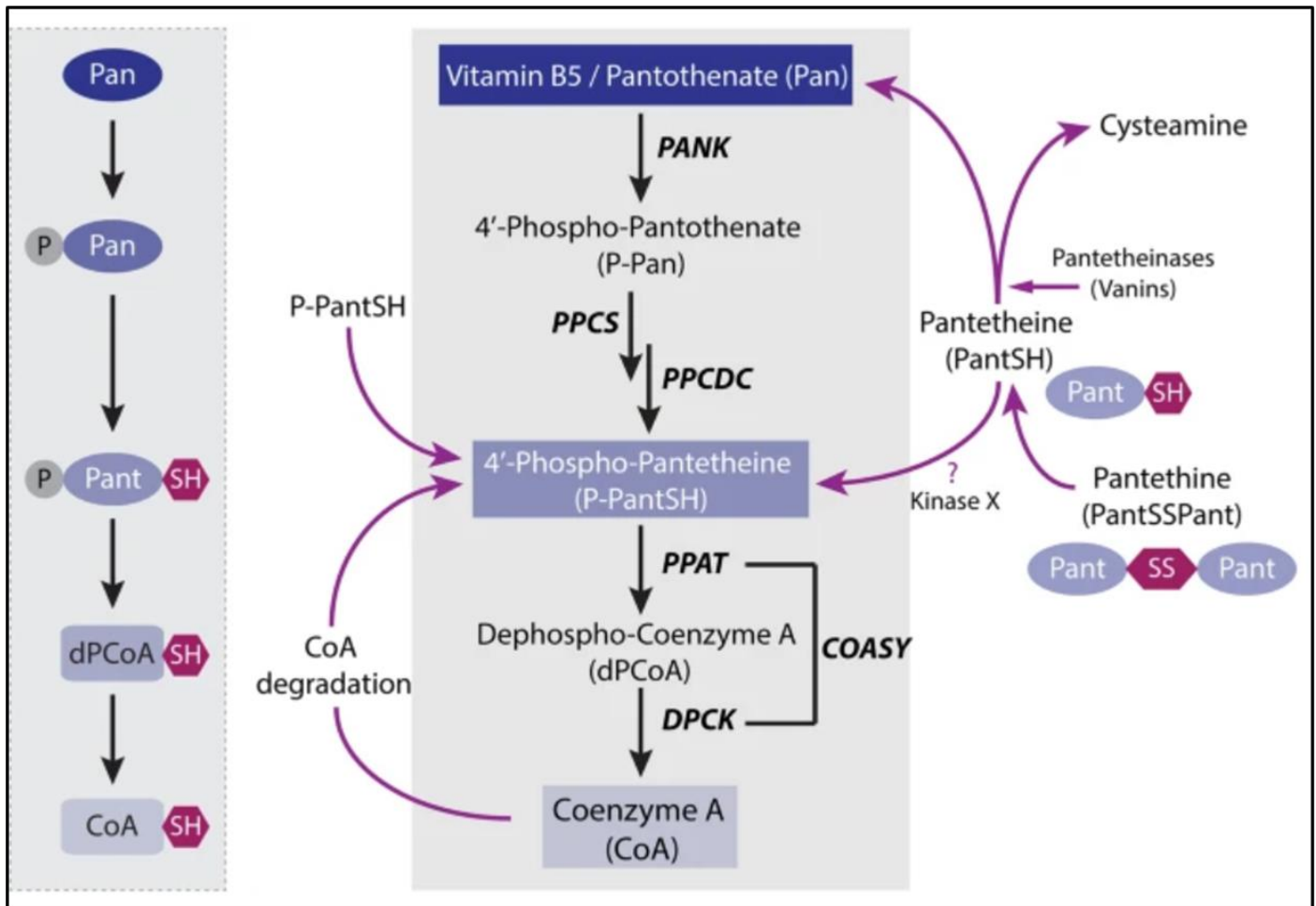
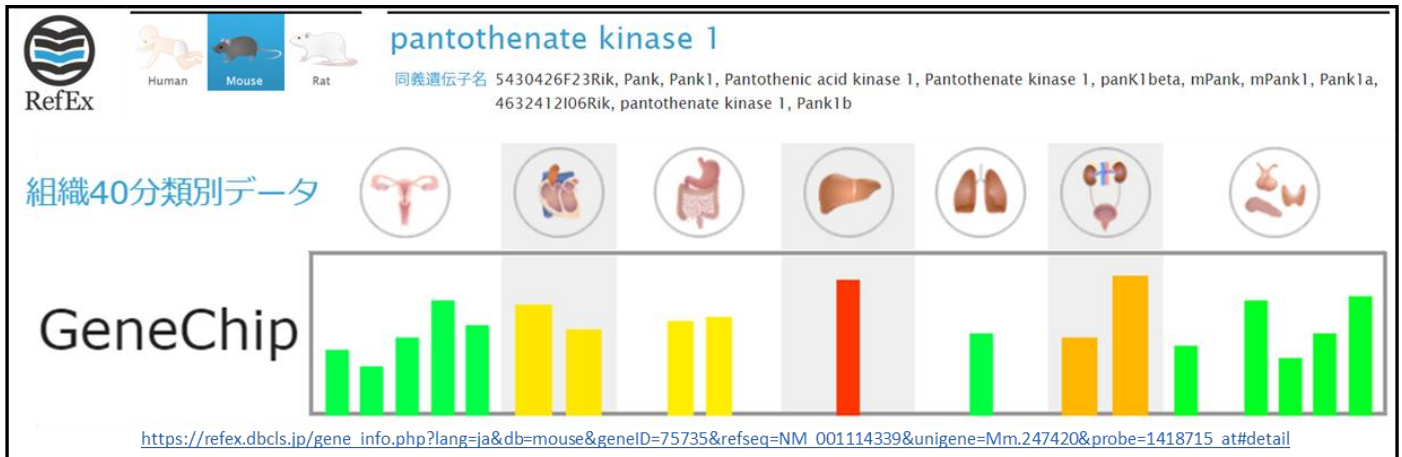
魚類・両生類におけるナイアシン投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



昆虫類におけるナイアシン投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)



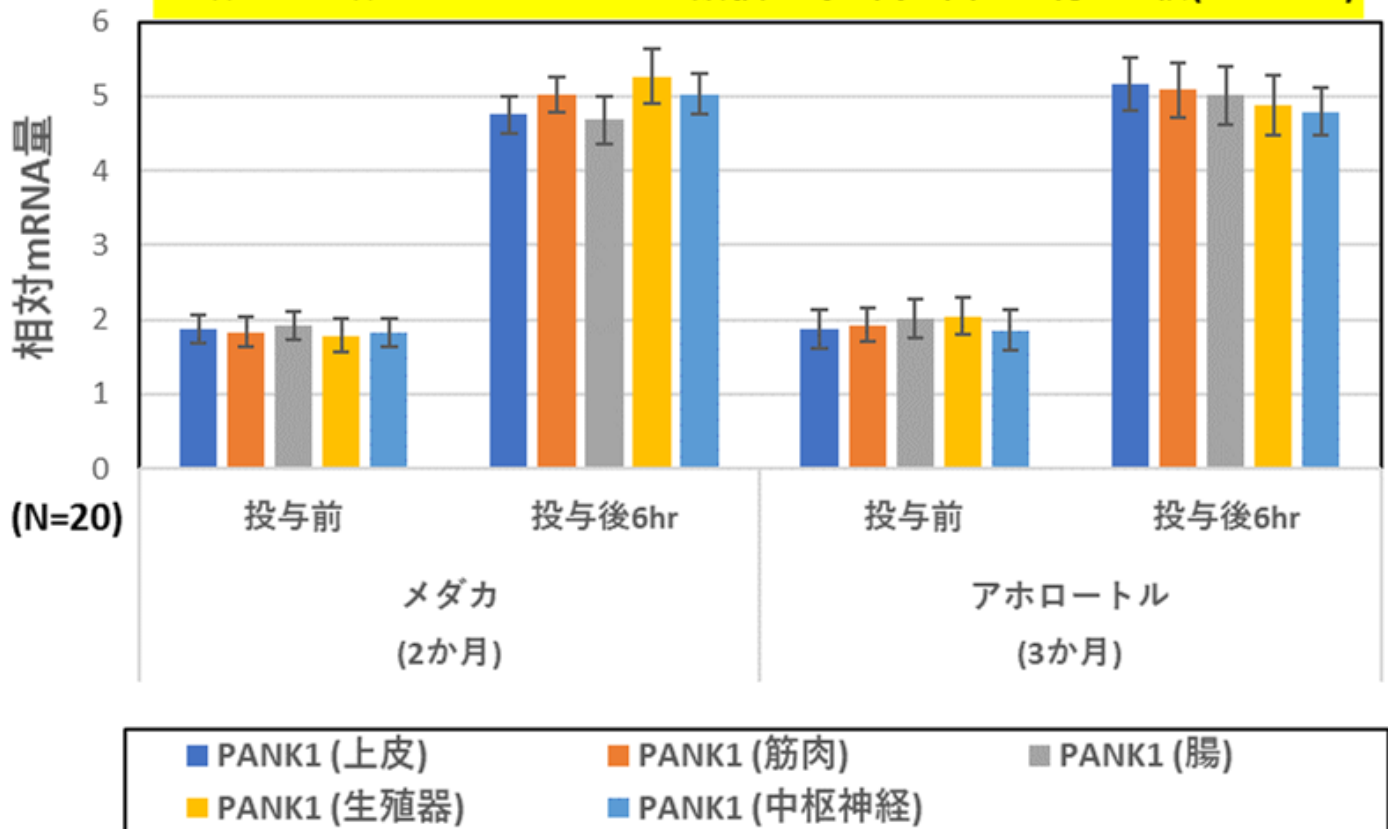
補足図 14: 生物種毎の ナイアシン (ニコチン酸) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)



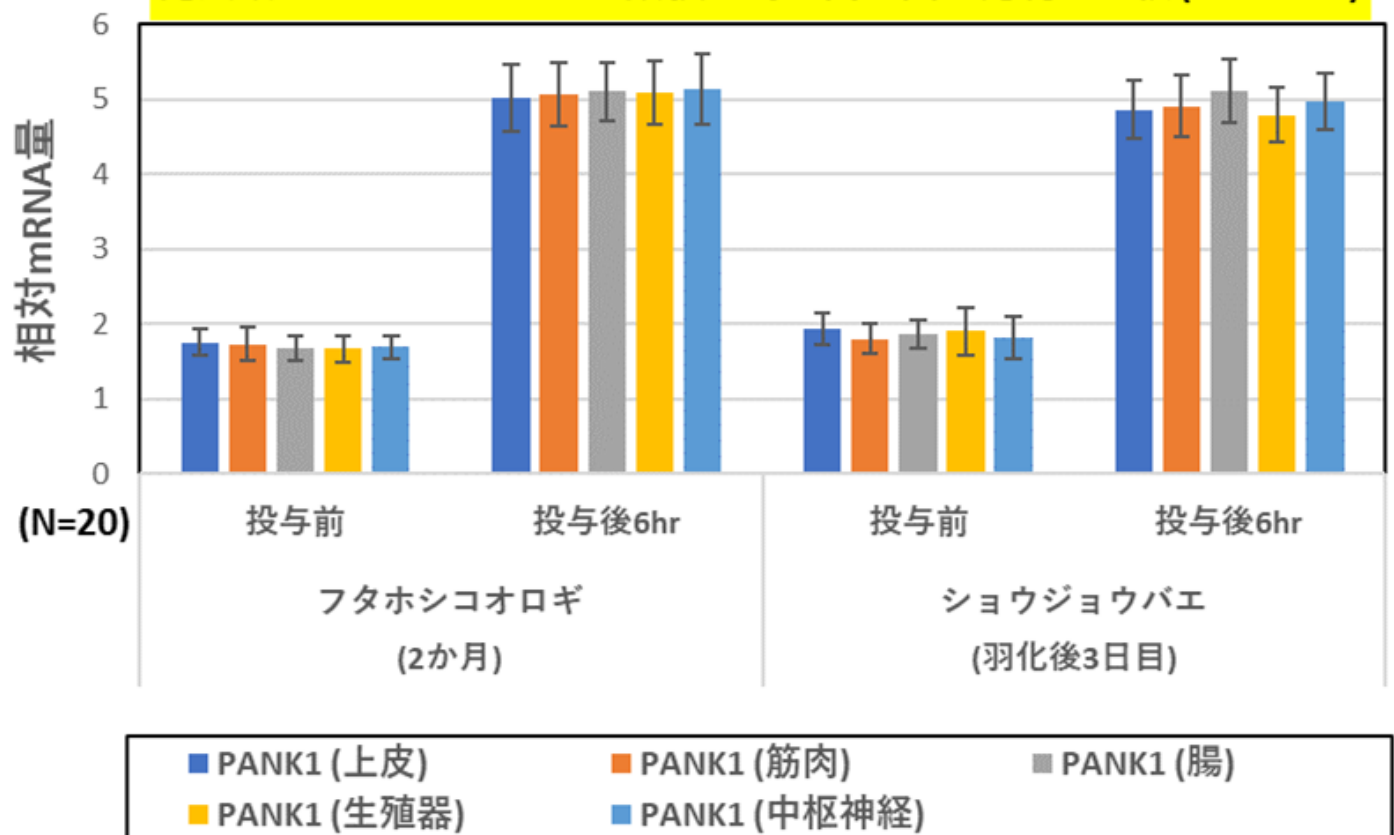
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-11564-8>

補足図 15: 生物種毎の ビタミン B5 (パントテン酸) の生理的作用について 1
(ヒト、マウス)

魚類・両生類におけるパントテン酸投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)

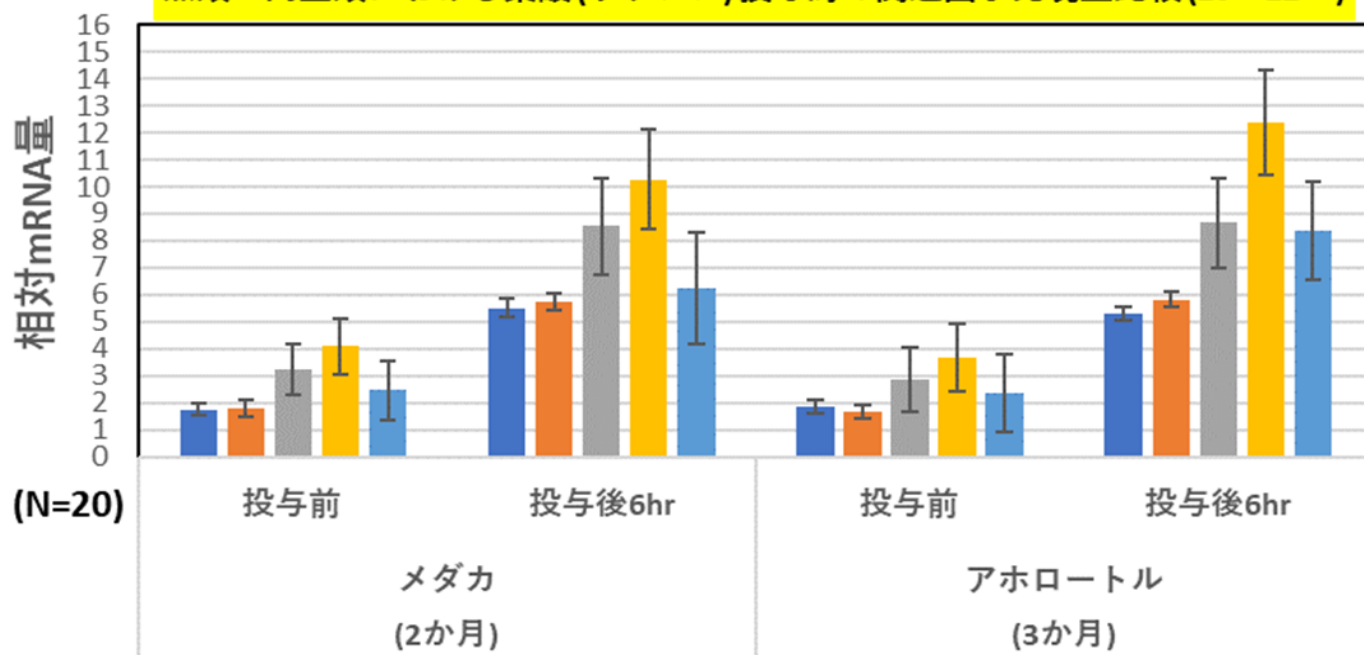


昆虫類におけるパントテン酸投与時の関連因子発現量比較 (20~22℃)

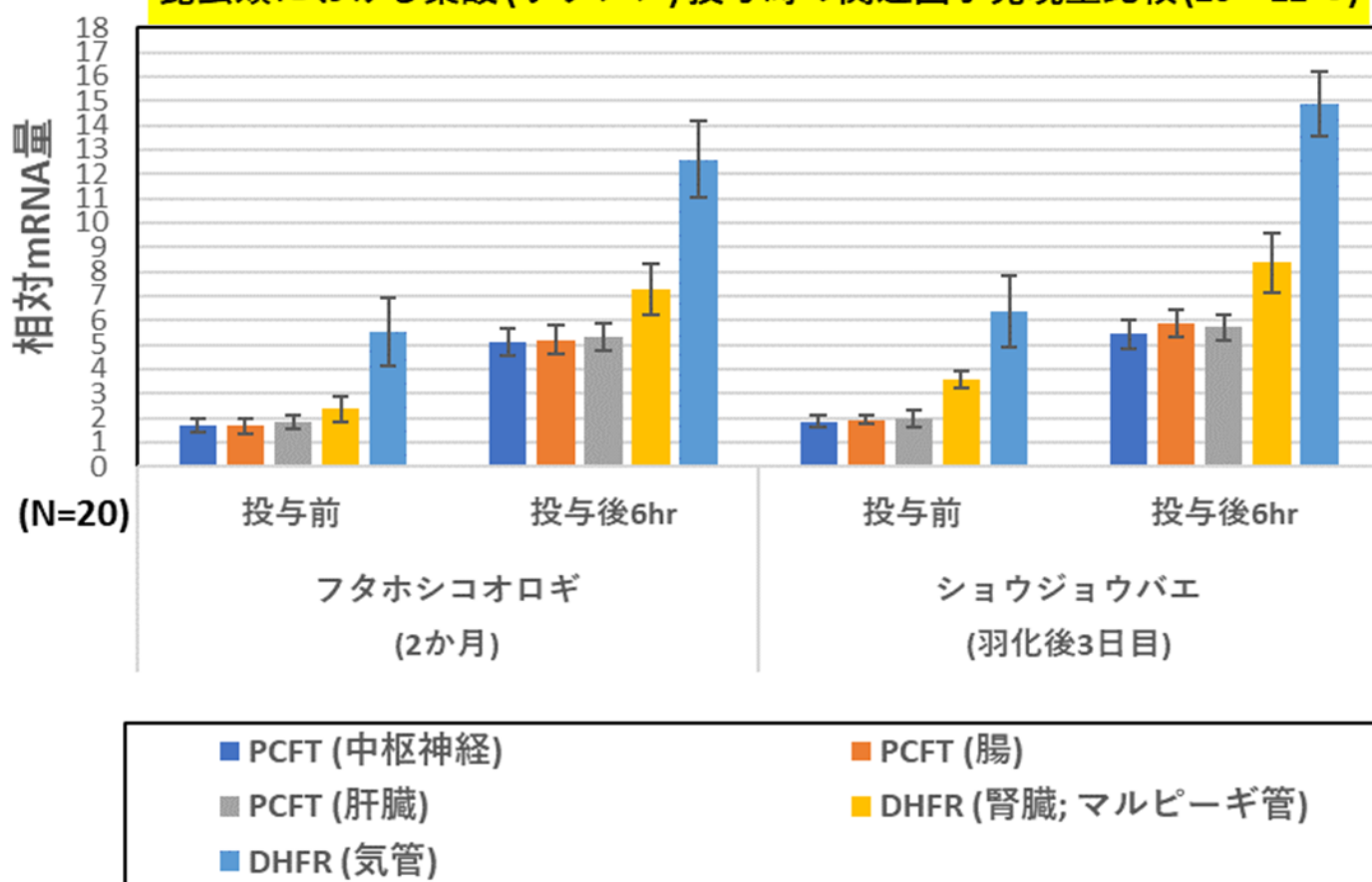


補足図 16: 生物種毎の ビタミン B5 (パントテン酸) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

魚類・両生類における葉酸(ホラシン)投与時の関連因子発現量比較(20~22℃)

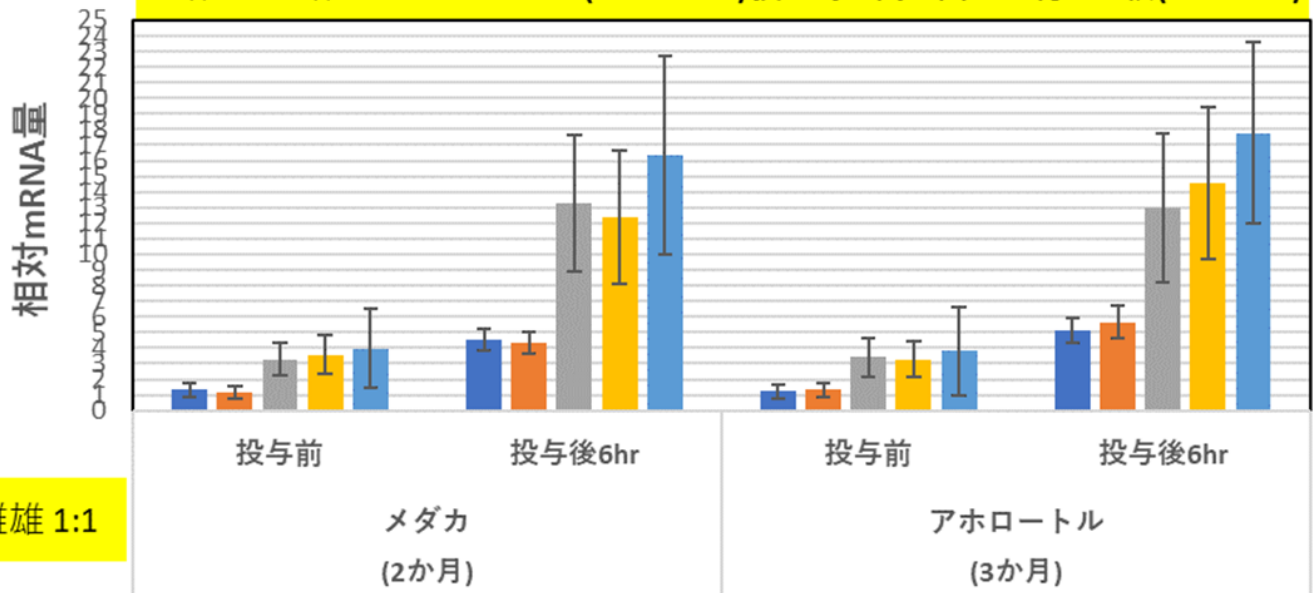


昆虫類における葉酸(ホラシン)投与時の関連因子発現量比較(20~22℃)

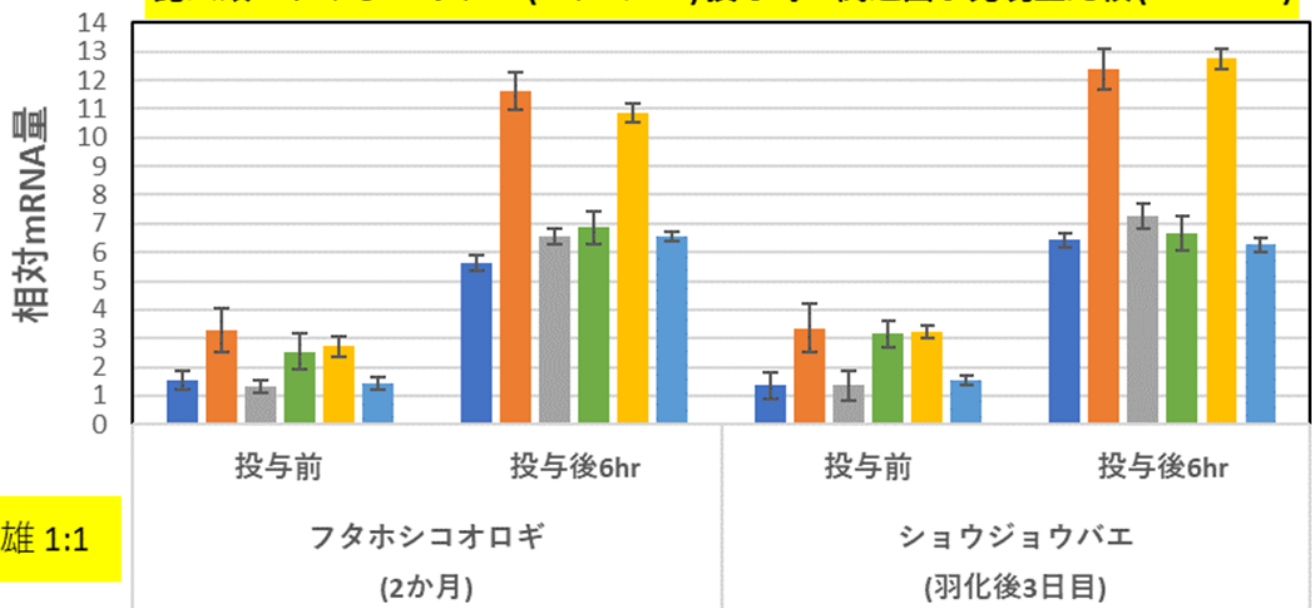


補足図 18: 生物種毎の葉酸 (ホラシン) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

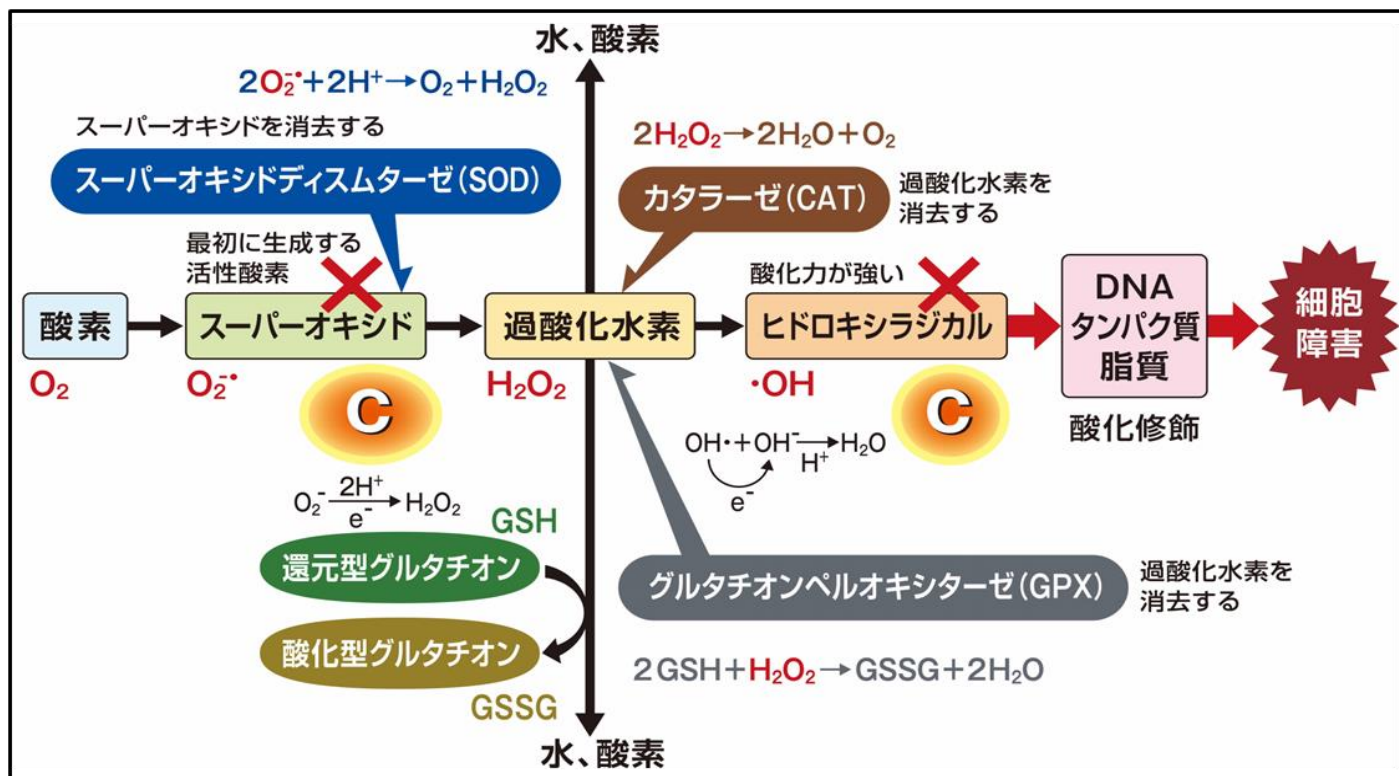
魚類・両生類におけるビオチン(ビタミンH)投与時の関連因子発現量比較(20~22℃)



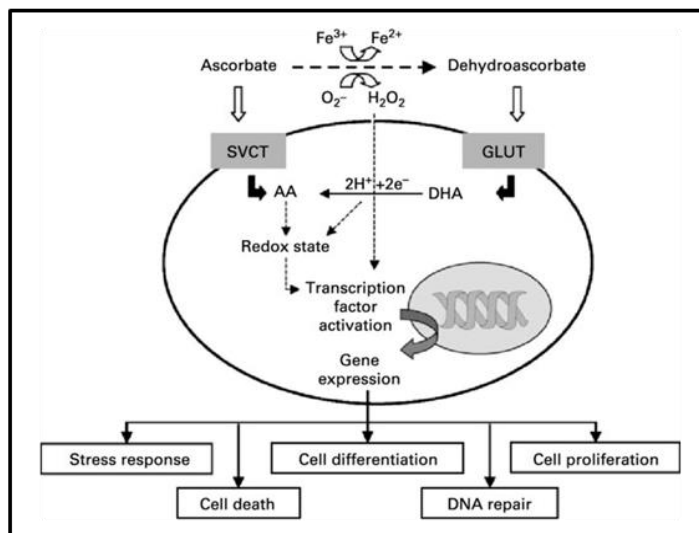
昆虫類における ビオチン(ビタミンH) 投与時の関連因子発現量比較(20~22℃)



補足図 20: 生物種毎の ビオチン (ビタミン H / B7) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)



<https://www.tmgihg.jp/research/topics/201606-3386/>



https://www.researchgate.net/publication/40681434_Can_vitamin_C_induce_nucleotide_excision_repair_Support_from_in_vitro_evidence

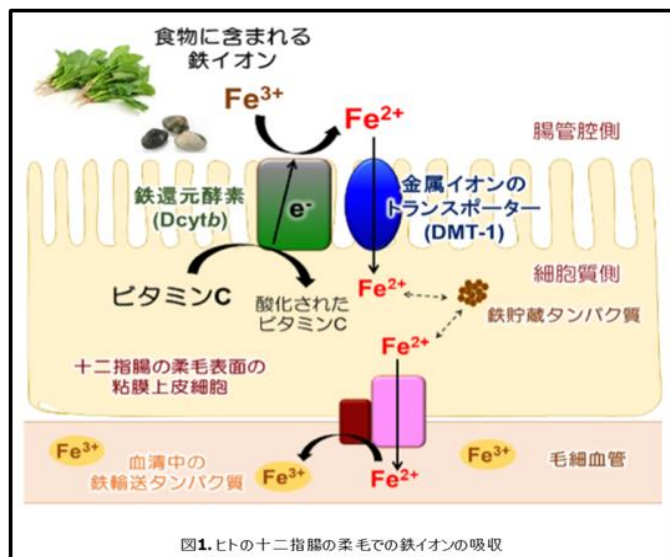
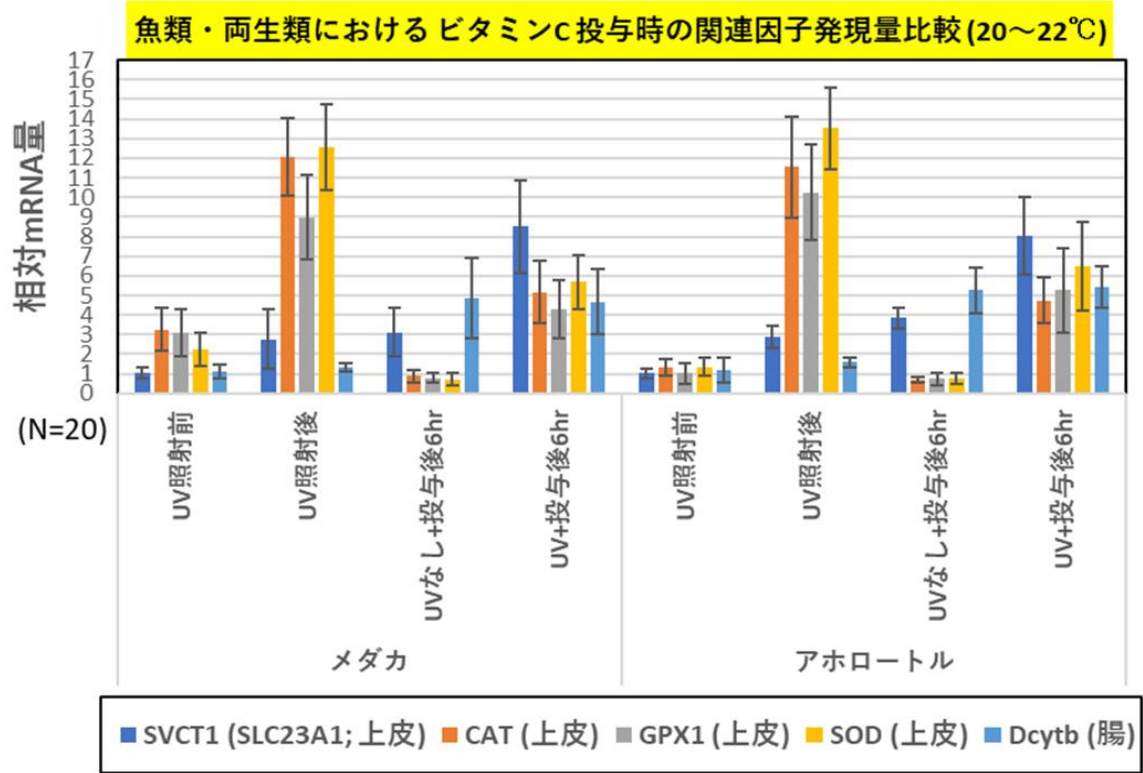


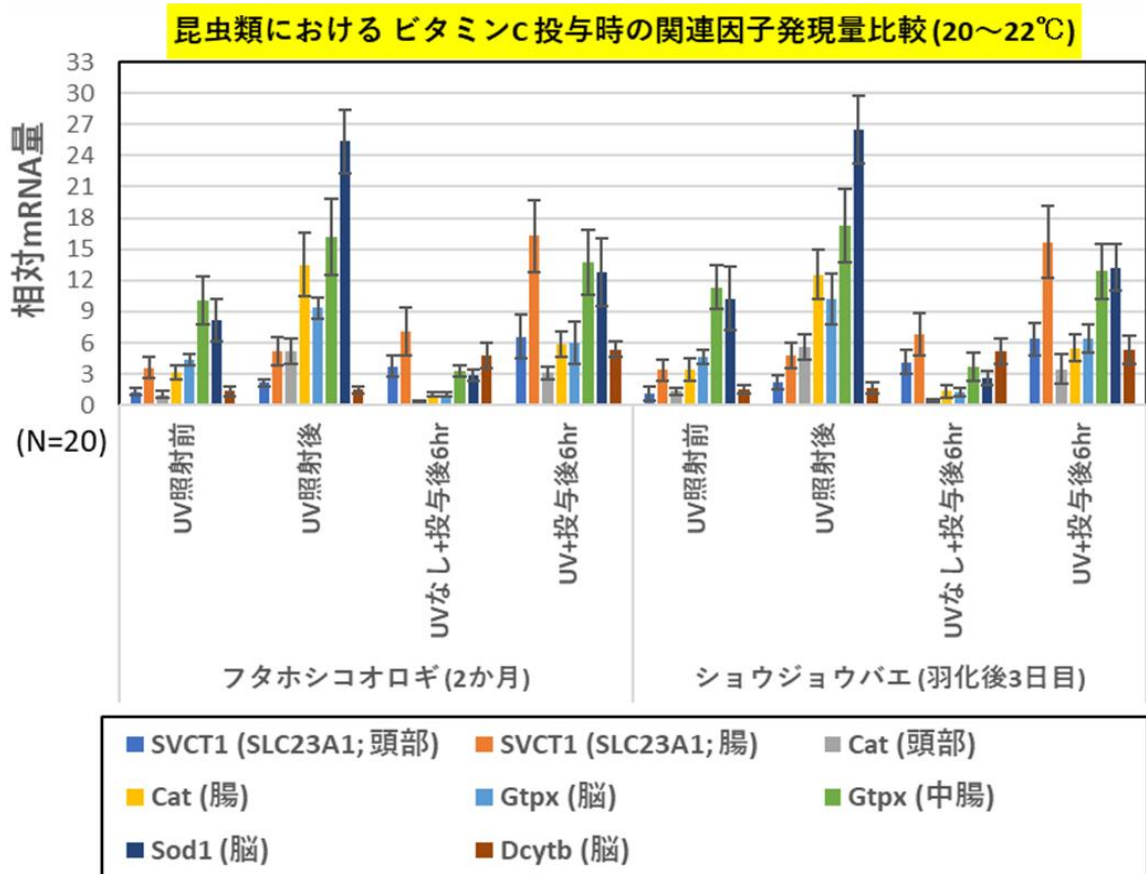
図1. ヒトの十二指腸の柔毛での鉄イオンの吸収

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2018/180820/

補足図 21: 生物種毎の ビタミン C (アスコルビン酸) の生理的作用について 1
(ヒト、マウス)



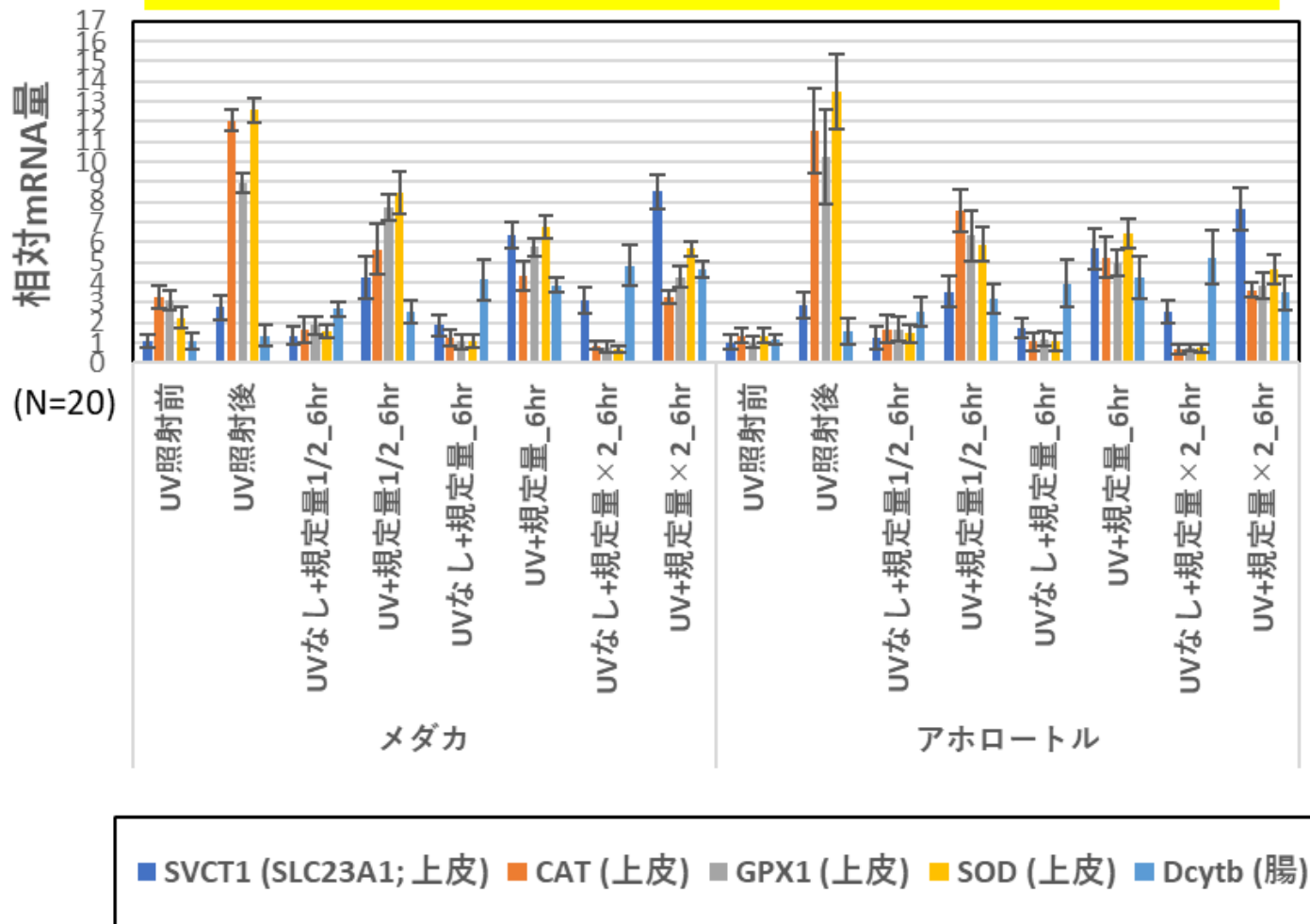
UVを6hr照射 → ビタミンC投与 (照射は継続) → 投与後6hr後に解析



UVを6hr照射 → ビタミンC投与 (照射は継続) → 投与後6hr後に解析

補足図 22-1: 生物種毎の ビタミン C (アスコルビン酸) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

魚類・両生類における ビタミンC 投与時の関連因子発現量比較 (20～22℃)



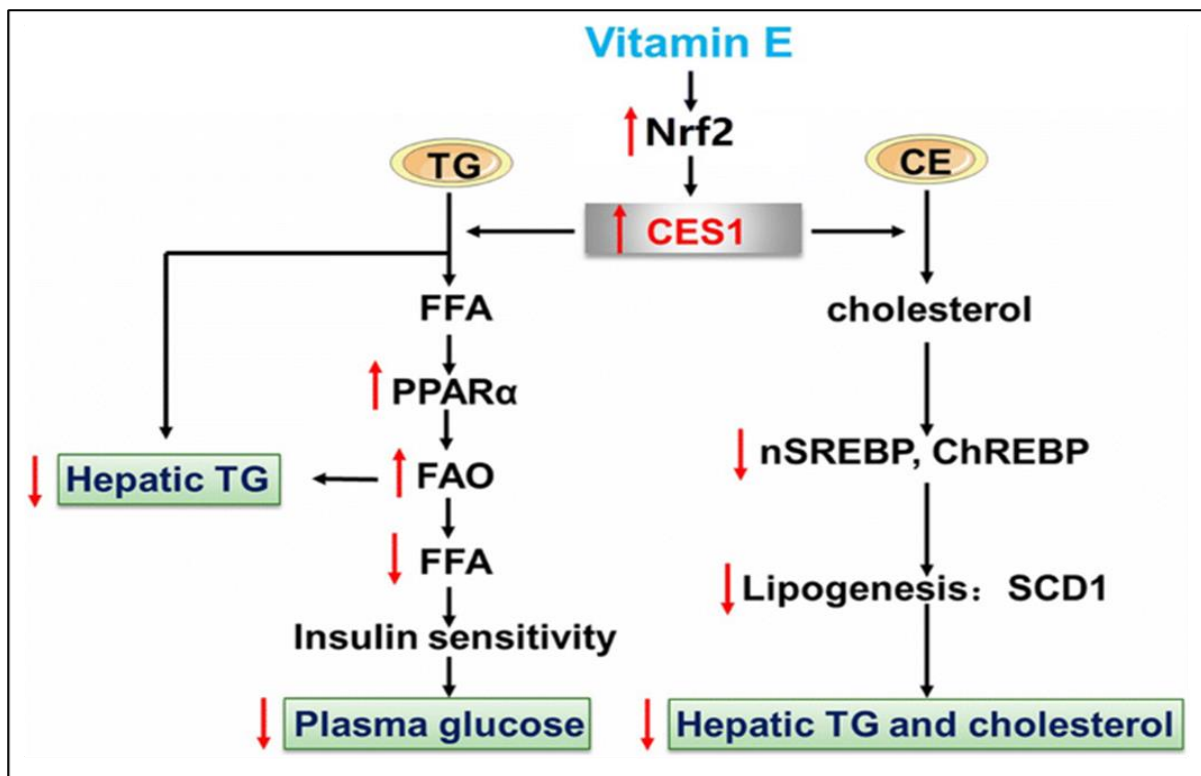
UVを6hr照射 → ビタミンC投与 (照射は継続) → 投与後6hr後に解析

補足図 22-2: 生物種毎の ビタミン C (アスコルビン酸) 入りのカルキ抜きの効果
(アホロートル, メダカ)

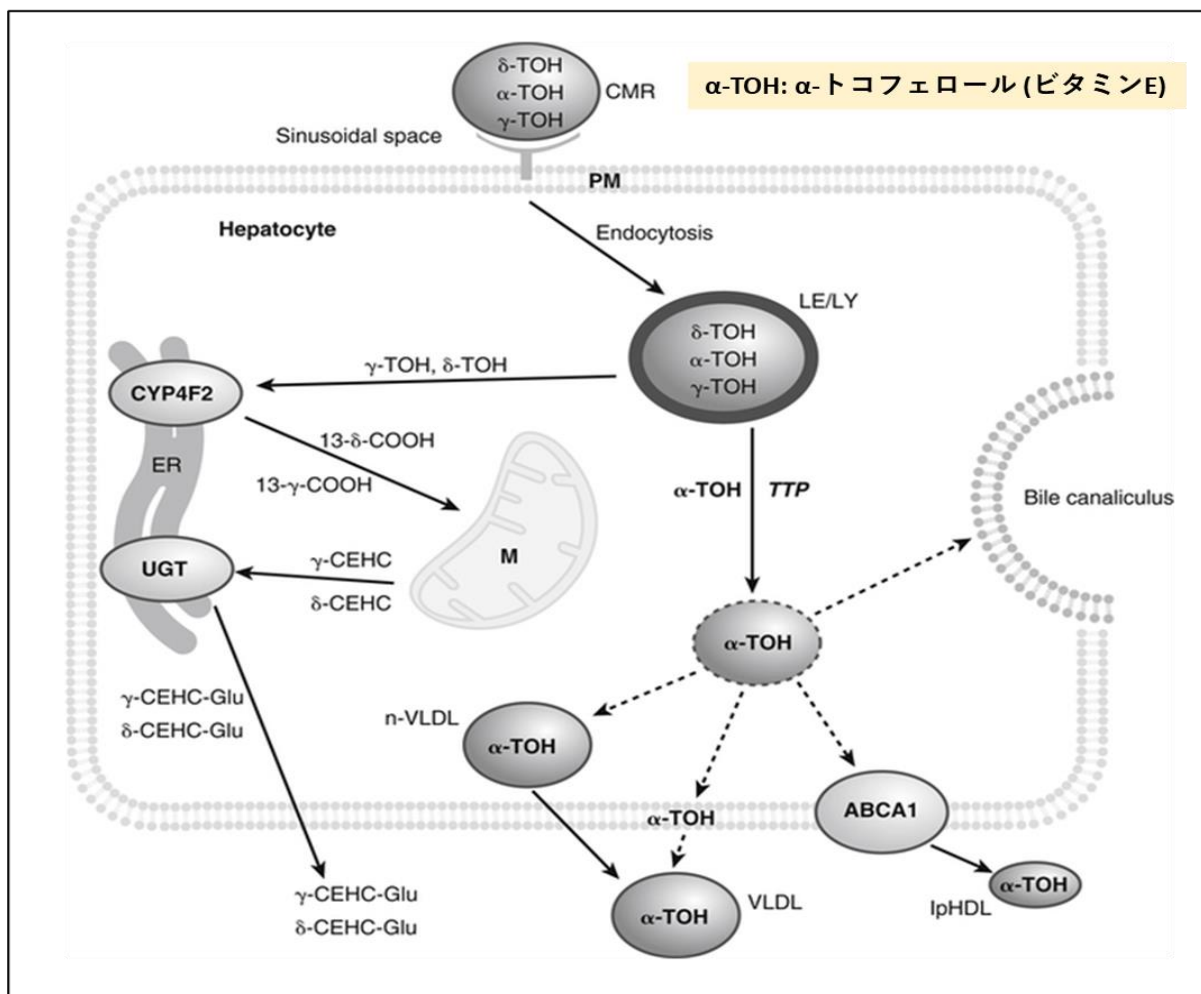


使用したカルキ抜きの例:

[寿工芸 コトブキ工芸 カルキ抜き 500 ビタミン入り](#)



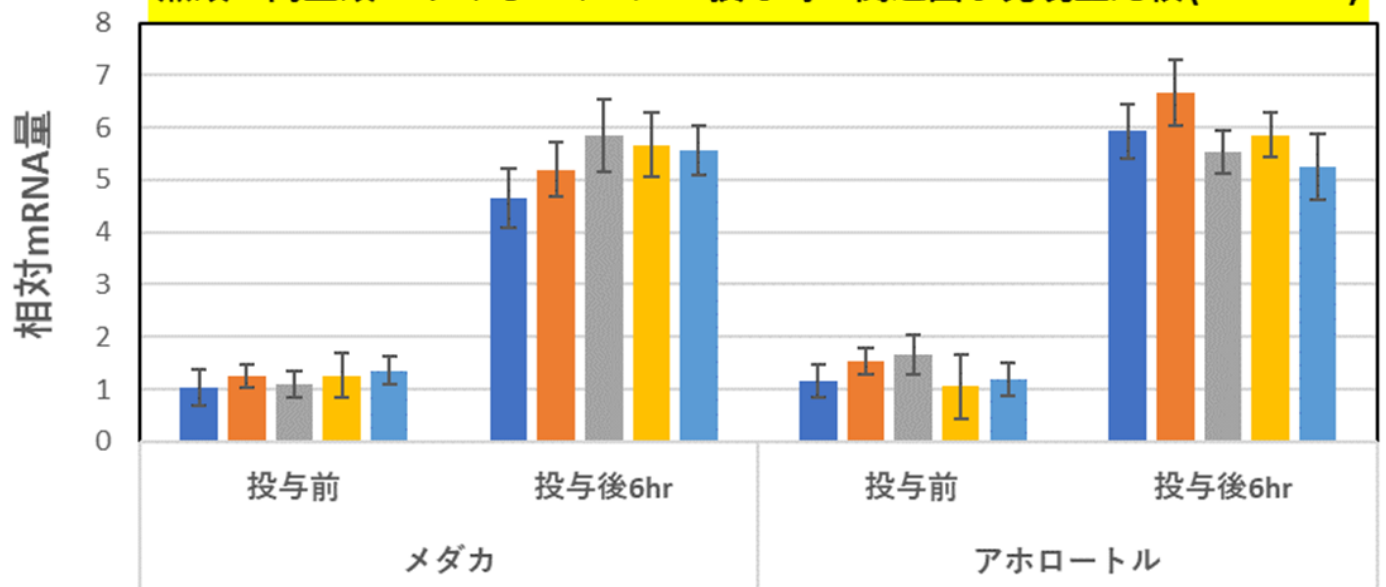
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10620-019-05657-9>



<https://basicmedicalkey.com/vitamin-e/>

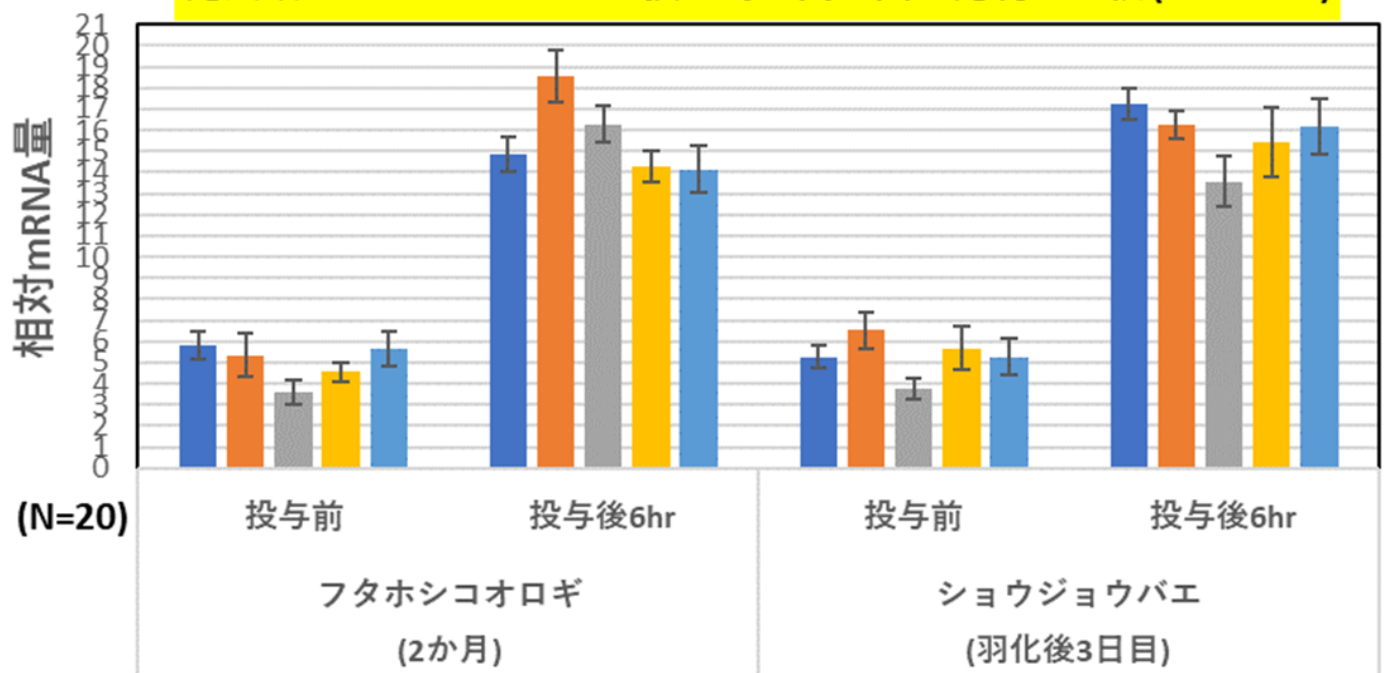
補足図 23: 生物種毎の ビタミン E (トコフェロール) の生理的作用について 1 (ヒト、マウス)

魚類・両生類における ビタミンE 投与時の関連因子発現量比較 (20～22℃)



■ Nrf2 (脳) ■ Nrf2 (上皮・筋肉) ■ Nrf2 (肝臓) ■ ABCA1 (肝臓) ■ CES1/NLGN1 (肝臓)

昆虫類における ビタミンE 投与時の関連因子発現量比較 (20～22℃)

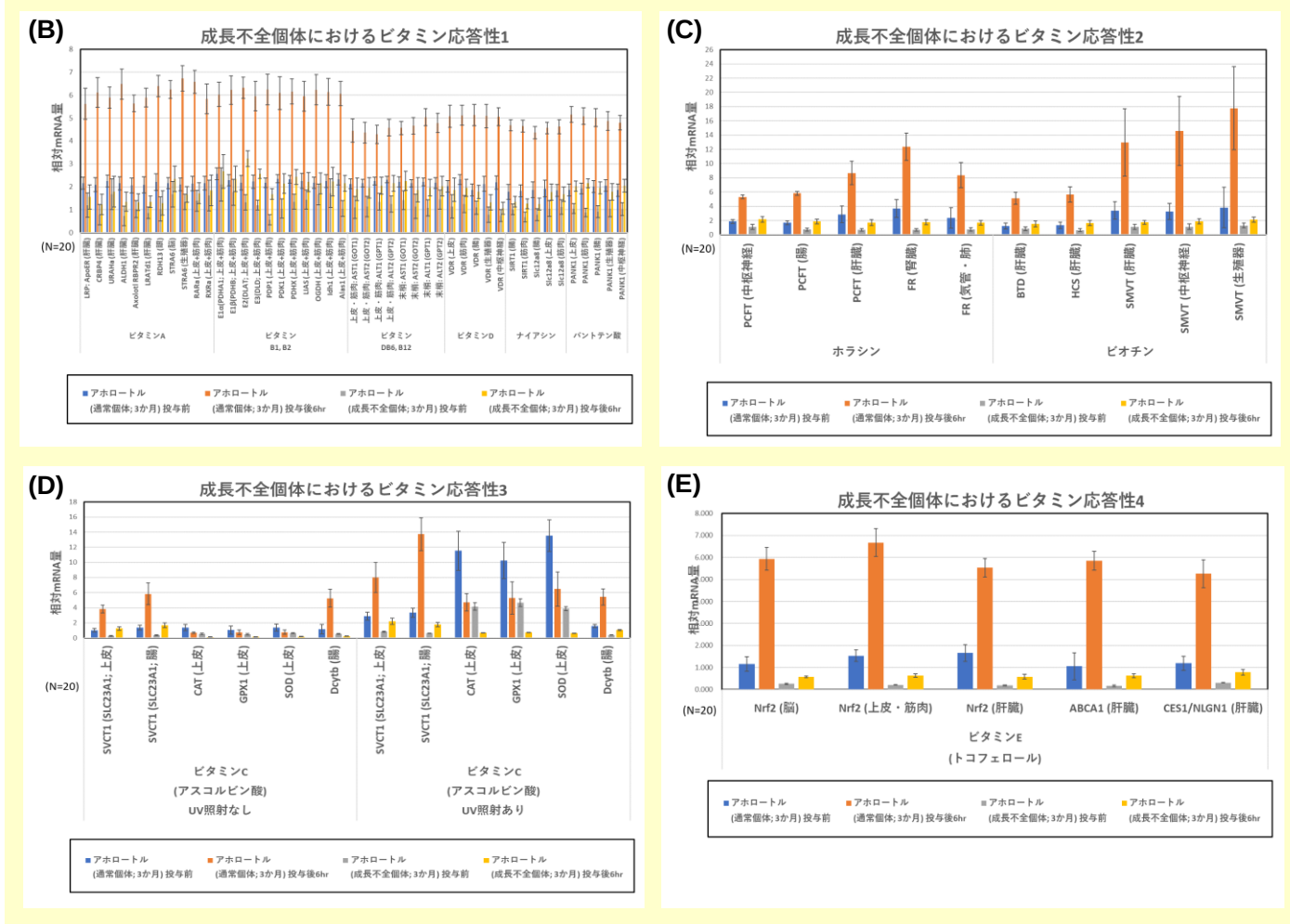


■ Nrf2 (脳・神経) ■ Nrf2 (上皮・筋肉) ■ Nrf2 (脂肪体) ■ ABCA12 (脂肪体・エノサイト) ■ ABCA12 (上皮・筋肉)

補足図 24: 生物種毎の ビタミン E (トコフェロール) の生理的作用について 2
(アホロートル, メダカ, コオロギ, ショウジョウバエ)

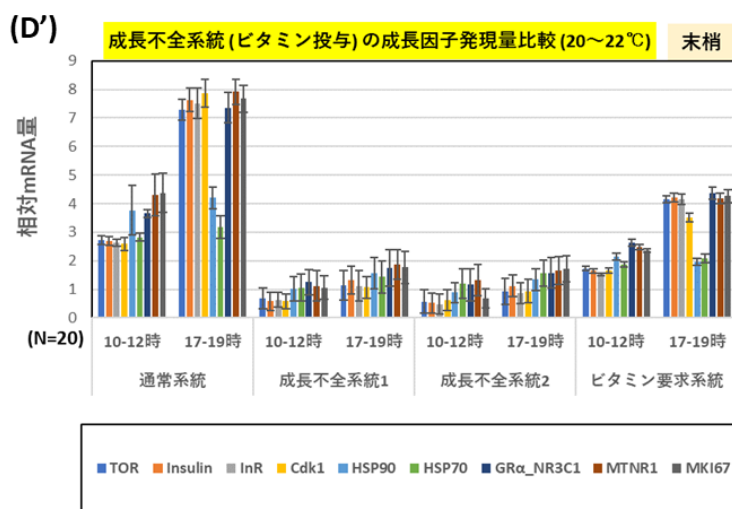
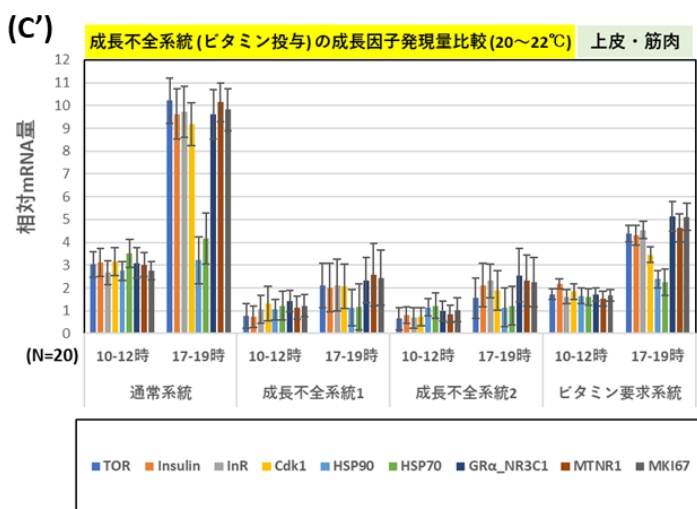
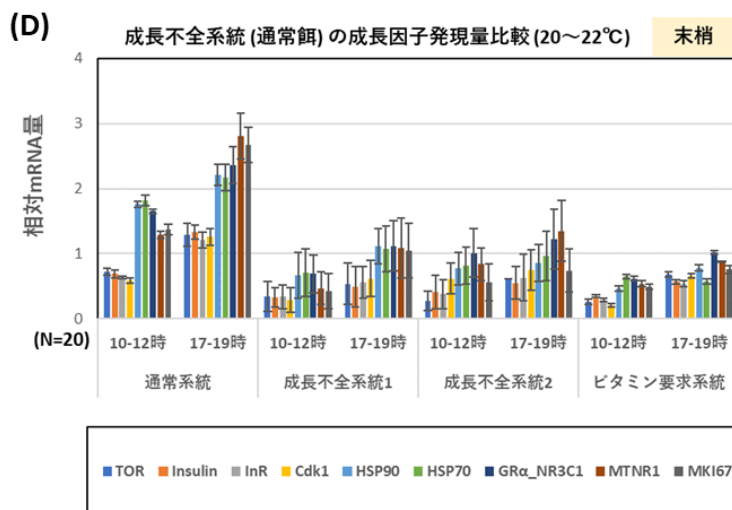
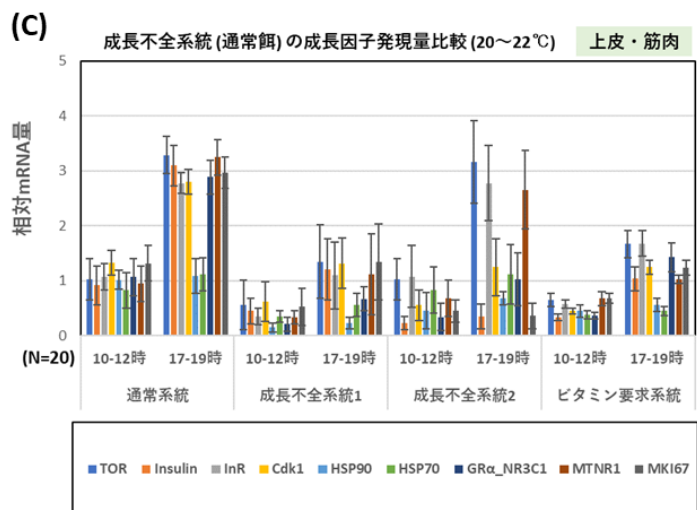
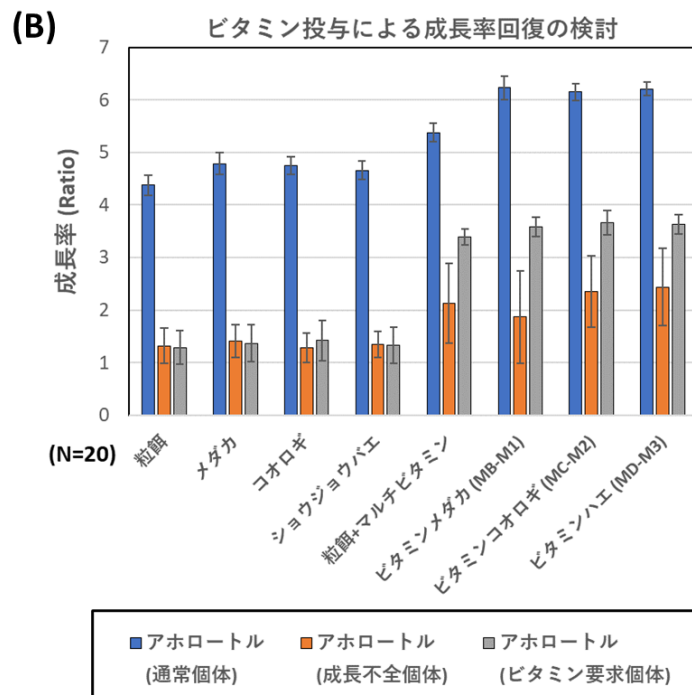
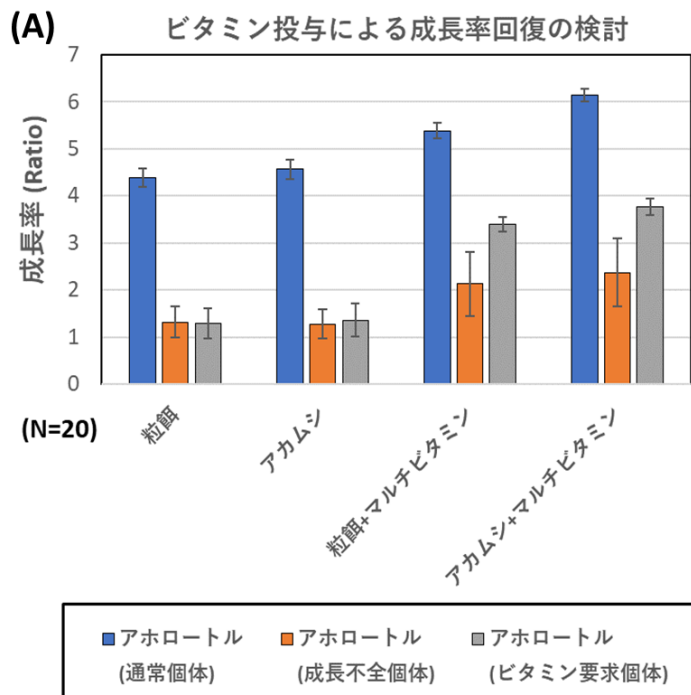
表 1: ビタミン類の作用機序・標的器官に関するまとめ

ビタミンA (レチノール)	小腸から吸収され肝臓でレチノイン酸へと代謝される→標的の組織へ輸送後、特異的受容体へ結合し作用する (眼における視力制御, 各臓器における遺伝子発現の活性化)
ビタミンB1, ビタミンB2	アセチルCoA (補酵素A) 増大, クエン酸回路の活性化
ビタミンB6	アミノ酸代謝→アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビタミンB12	タンパク質合構造形成 (造血などを含む)→アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビタミンB5 (パントテン酸)	アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビオチン (ビタミンH / B7)	テストステロン増大, 転写活性化→代謝亢進→タンパク質・脂肪の生合成など (オスの場合は筋肉がより増強される傾向)
ビタミンD	主に肝臓で代謝を受けた後分泌される→全身の標的組織の発現するビタミンD受容体へ結合→DDIT4 (TOR抑制因子) 活性化→TSC (TSC1: ハマルチン, TSC2: チュベリン) 活性化→細胞増殖の調節(加増増殖の抑制)→(フィードバックでAkt発現上昇)→肝臓でのTOR抑制→肝臓における腫瘍形成・肥大の抑制他、標的器官である腎臓, 腸管, 骨格 へのCaを輸送・蓄積を促進する。
ナイアシン(ニコチン酸)	長寿 (抗酸化作用), HDL増大 (良質な脂肪代謝), ATP産生 (筋肉)
葉酸(ホラシン)	ATP産生→生体の活動活性化 核酸の生合成
ビタミンC (アスコルビン酸)	全身の活性酸素除去作用, 食欲活性化
ビタミンE (トコフェロール)	中性脂肪代謝によって産生されるコレステロール (脂質) の抗酸化作用

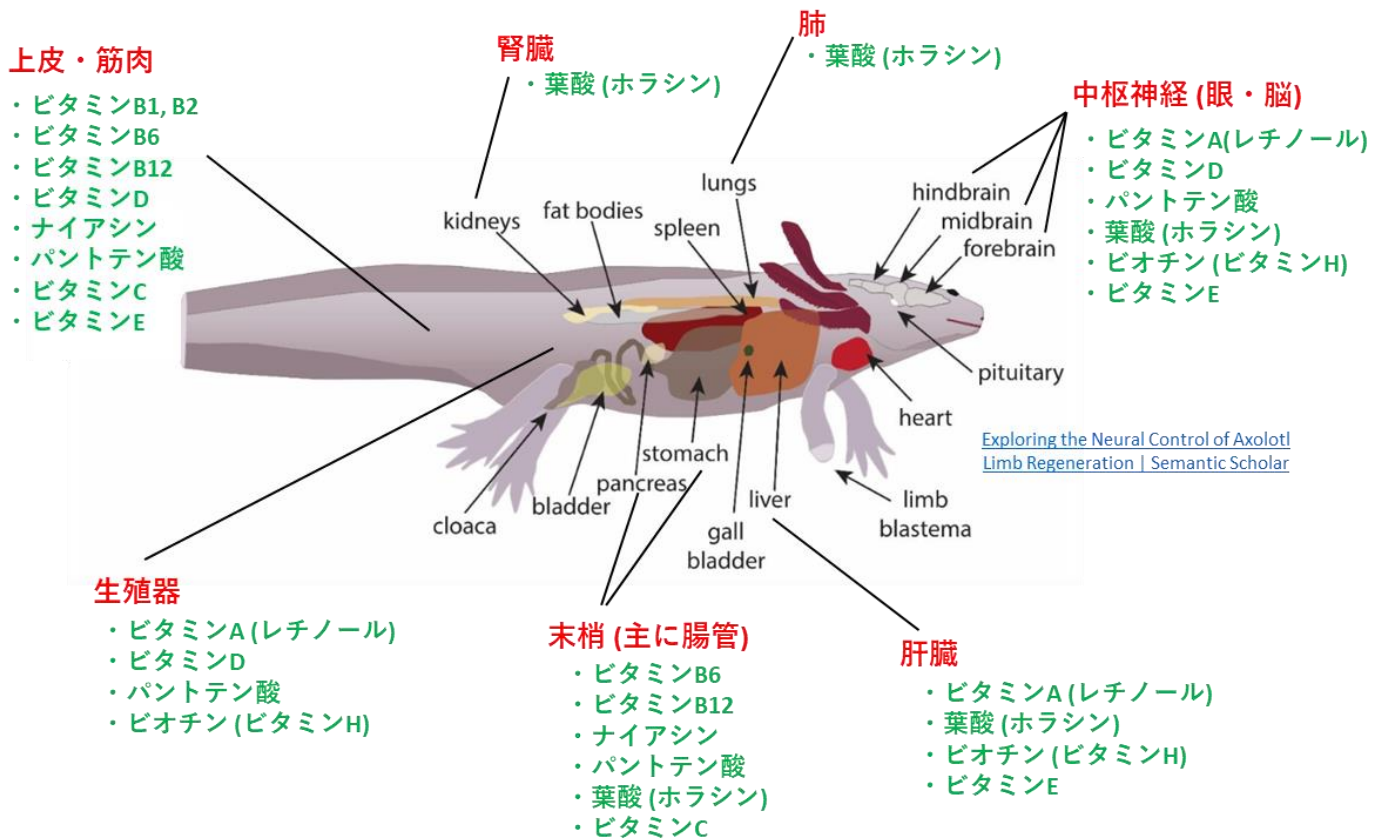


補足図 25-1: 成長不全個体におけるビタミン応答性不全・代謝不全について 1
【アホロートル (メキシコサラマンダー)】

成育が遅い個体に着目した。[特に、低密度条件 (材料と手法. 参照) でも生育が遅い個体。] それらの個体の内、ビタミン関連の遺伝子発現 (mRNA) が欠乏している個体が確認された。なので、マルチビタミン (+粒餌 or アカムシ) や ビタミン摂取生餌 を与えると一部レスキューできる (図(A) 黄色矢頭.)。一方で、アカムシや通常生餌だけでは、十分にはレスキューできない。



補足図 25-2: 成長不全個体におけるビタミン応答性不全・代謝不全について 2
【アホロートル (メキシコサラマンダー)】



ビタミンA (レチノール)	小腸から吸収され肝臓でレチノイン酸へと代謝される一標的の組織へ輸送後、特異的受容体へ結合し作用する (眼における視力制御, 各臓器における遺伝子発現の活性化)
ビタミンB1, ビタミンB2	アセチルCoA (補酵素A) 増大, クエン酸回路の活性化
ビタミンB6	アミノ酸代謝→アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビタミンB12	タンパク質合構成形成 (造血などを含む)→アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビタミンB5 (パントテン酸)	アセチルCoA (補酵素A) 増大→クエン酸回路活性化→全身の代謝亢進
ビオチン (ビタミンH / B7)	テストステロン増大, 転写活性化→代謝亢進→タンパク質・脂肪の生合成など (オスの場合は筋肉がより増強される傾向)
ビタミンD	主に肝臓で代謝を受けた後分泌される→全身の標的組織の発現するビタミンD受容体へ結合→DDIT4 (TOR抑制因子) 活性化→TSC (TSC1: ハマルチン, TSC2: チュベリン) 活性化→細胞増殖の調節 (加増増殖の抑制)→(フィードバックでAkt発現上昇)→肝臓でのTOR抑制→肝臓における腫瘍形成・肥大の抑制 他、標的器官である腎臓, 腸管, 骨格 へのCaを輸送・蓄積を促進する。
ナイアシン (ニコチン酸)	長寿 (抗酸化作用), HDL増大 (良質な脂肪代謝), ATP産生 (筋肉)
葉酸 (ホラシン)	ATP産生→生体の活動活性化 核酸の生合成
ビタミンC (アスコルビン酸)	全身の活性酸素除去作用, 食欲活性化
ビタミンE (トコフェロール)	中性脂肪代謝によって産生されるコレステロール (脂質) の抗酸化作用

補足図 26: ビタミン類が作用する (可能性の高い) 組織・臓器まとめ

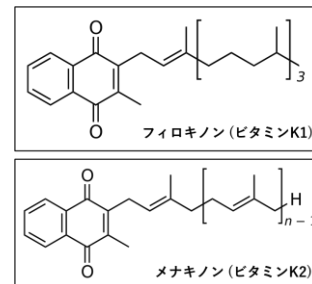
ビタミン K (フィロキノン、メナキノン) の作用機序とその効果

ビタミン K (フィロキノン、メナキノン) は、脂溶性ビタミンの一種である。ビタミン K 類は、藻類、野菜類、豆類、肉類、乳類、卵類、油脂類に多く含まれています。

特に、ビタミン K1 として知られるフィロキノンは、酸素発生型光合成を行う (すなわち葉緑体を持つ) 生物 (シアノバクテリア、植物、藻類) のみが合成する。

また、ビタミン K2 と呼ばれるメナキノンは、細菌類 および 動物類に多く含まれる。

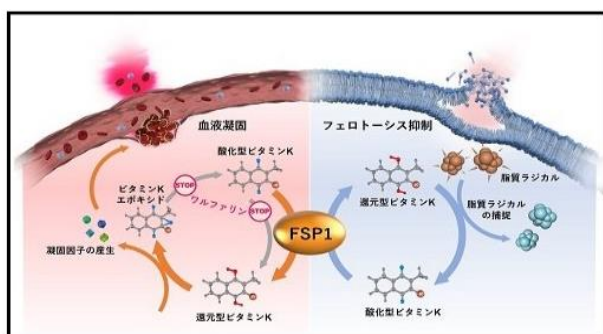
ビタミン K2 には 15 種類の同族体が存在するが、食品に多く含まれヒトにとって重要である成分は動物性食品に含まれるメナキノン-4 (UBIAD1 という因子によって側鎖がフィロキノンから側鎖が変更されることで生合成される) および 納豆菌によって生産されるメナキノン-7である。



ビタミン K の作用として、血液凝固作用 および フェロトーシスの抑制作用^{※1} の 2 つが挙げられる。

血液凝固に関わるビタミン K の作用: ビタミン K は、酸化型ビタミン K →還元型ビタミン K →ビタミン K エポキシドへと変換される回路をまわることで、血液の凝固に必要なタンパク質 (凝固因子) が作られ、出血した際に血を止める役割を果たす。

ワルファリンはこのビタミン K サイクルをとめることで凝固因子が作られなくなるため血を固まりにくくする。ワルファリン^{※2} が



効いている状態でも、ビタミン K は FSP1 の働きによって還元型ビタミン K へと変換する経路がある。従って、ワルファリン中毒になった際であっても、ビタミン K を投与することで凝固因子が生合成されるため止血可能な状態になる。

ビタミン K によるフェロトーシスの抑制作用: 酸化型ビタミン K は FSP1 (AIFM2; 東北大学プレスリリース, 2022, 参照) の働きによって還元型ビタミン K に変換される。還元型ビタミン K は脂質ラジカルを捕捉することでフェロトーシスを抑えるとともに、酸化型ビタミン K に戻り再び FSP1 によって還元される。

※1 フェロトーシス: プログラム細胞死の一種。

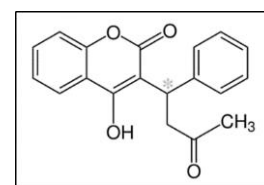
酸化的に損傷したリン脂質 (すなわち過酸化脂質) の鉄依存的な蓄積によって誘導される。

アポトーシスなどの他の制御された細胞死とは遺伝学的にも生化学的にも異なる仕組みである。この変化は、フリーラジカルが脂質分子 (例えば、多価不飽和脂肪酸) から電子を奪い、それによって脂質の酸化を促進したときに起こる。

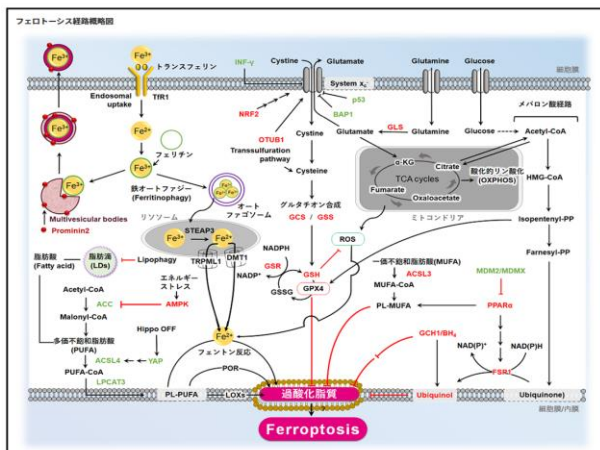
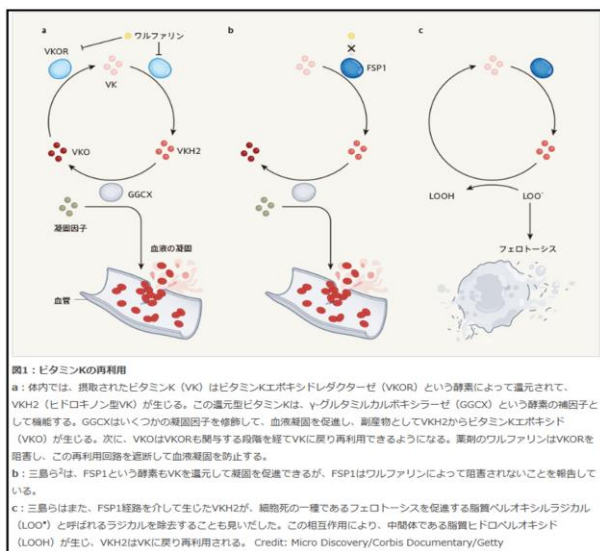
フェロトーシスから身を守る主な細胞機構として、グルタチオンペルオキシダーゼ 4 (GPX4) を介した、過酸化脂質から無毒の脂質アルコールに変換する仕組みが存在する。

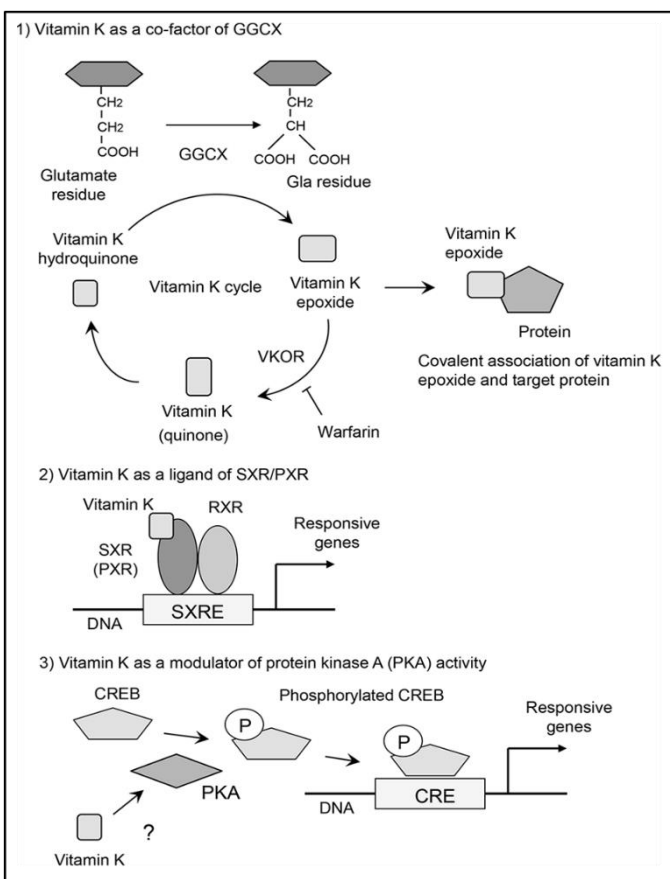
※2 ワルファリン: ワルファリン (warfarin)

は、抗凝固剤の 1 つ。血栓塞栓症の治療および予防に用いられ、殺鼠剤としても用いられる。ワルファリンカリウムが医薬品として使われ、商品名はワーファリン、及びワルファリン



K. 投与方法は経口 (内服) のみである。心臓弁膜症に対する機械弁を用いた弁置換術後や心房細動が原因となる脳塞栓症予防に用いられる他、あるいは深部静脈血栓症による肺塞栓症予防のために、また抗リン脂質抗体症候群での血栓症予防のためにしばしば処方される。





<https://www.intechopen.com/chapters/51057>

また、**VKOR** によってビタミン K は還元を受けることから、ビタミン K 摂取時にビタミン K 代謝サイクルがより動くことにより、**VKOR** の発現の原著な増大が見られている。

ビタミン K に関連する因子として、**UBIAD1**, **Nr1i2 (SXR/PXR)**, **GGCX**, **VKOR** などが挙げられる。これらはいずれも、アホロートル・メダカ・昆虫類において発現が確認されている。これらの因子は、アホロートル・メダカでは肝臓や脳において発現が顕著であり、昆虫類でも脂肪体・エノサイト等の肝臓に相当する組織においては高い発現レベルを示した。

メナキノンの合成に関わる UBIAD1 は、ビタミン K1 (フィロキノン) の摂取に伴って mRNA 発現が顕著に増大し、ビタミン K2 (メナキノン) を生合成する準備をする。一方で、**メナキノンを与えた場合は、K1 摂取時程は UBIAD1 の発現量に変化は生じなかった。**

また、ビタミン K1 & K2 を摂取した個体では、活性酸素 (O2-; ROS) 要因の鉄依存的な過酸化脂質の蓄積 (およびそれに起因したフェロトーシス誘発) の抑制作用への導入として、ビタミン K 受容体 (**マウス SXR/ ヒト PXR**) 発現の上昇が確認された。

一方で、**ビタミン K 誘導体 (メナキノール etc...)** は **γ-グルタミルカルボキシラーゼ (GGCX)** の補酵素として作用し、損傷時の血液凝固や骨形成時に関与していることから、損傷を受けた生体においてビタミン K 摂取個体の方でより顕著に発現の上昇が見られた。

ビタミンK₁

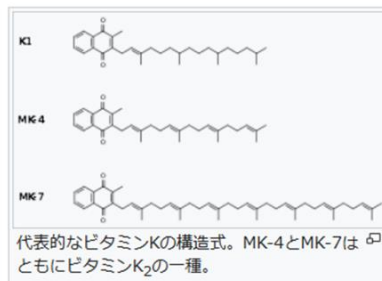
「フィロキノン」も参照

フィロキノン、ファイトメナジオンなどとも呼ばれ、植物が**光合成**に使うために合成している。摂取源としては**葉菜類**、**植物油**、**豆類**、**海藻類**、**魚介類**などが挙げられる。

ビタミンK₂

「メナキノン」も参照

メナキノンとも呼ばれ、その側鎖の長さによってメナキノン-4、メナキノン-7の様に区別されている。この数字は側鎖を構成するイソプレニ単位の数を表しており、それぞれMK-4、MK-7のように略記する。MK-4は動物体内に多く存在するもので、食餌から得たビタミンK1を動脈壁や肝臓、精巣などで変換している^{[3][4]}。原核生物はMK-6からMK-14という側鎖の長いメナキンを合成し呼吸に利用している。摂取源としては**食肉**、**鶏卵**、**乳製品**などが挙げられるが、**納豆**には非常に多く含まれている。



K₁ → K₂ 変換

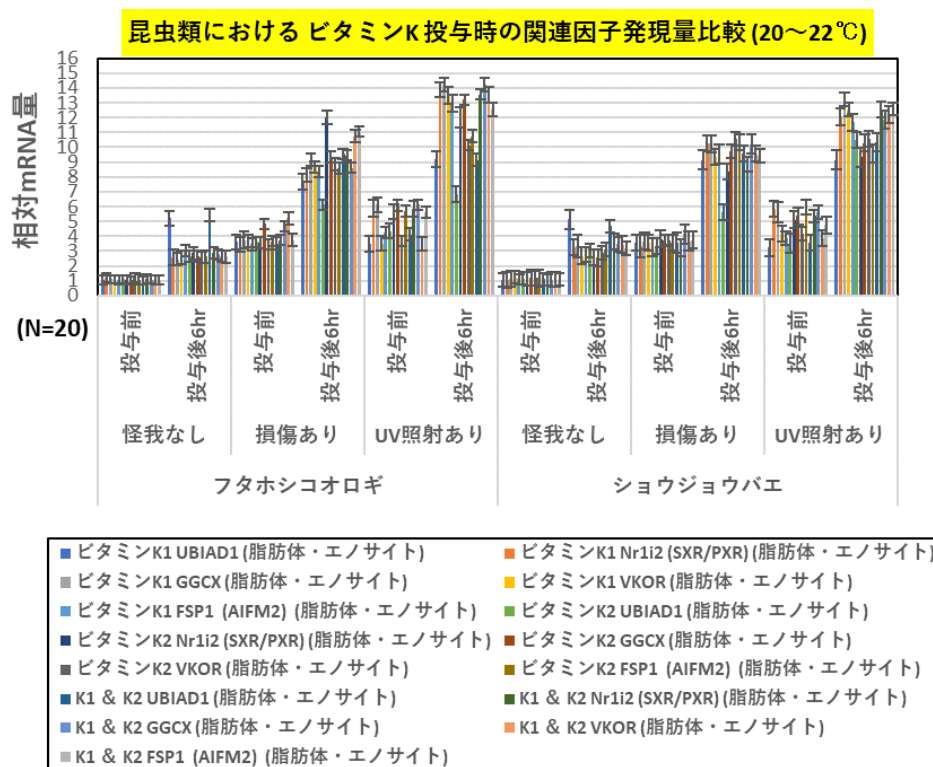
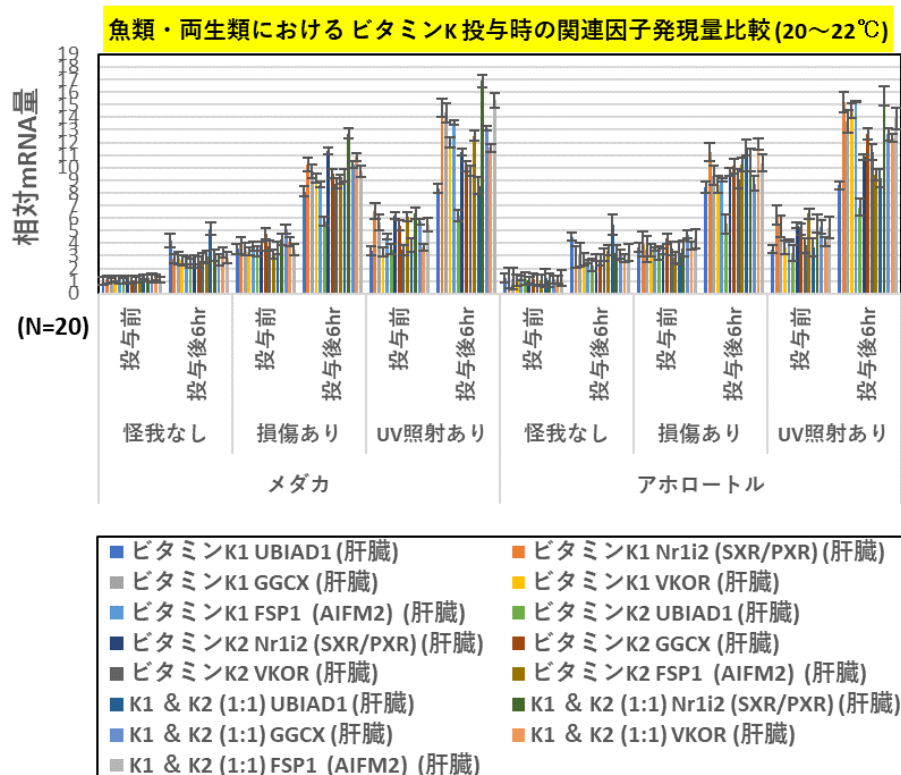
ビタミンK1のフィロキノン骨格は、いくつかの組織(**精巣**、**肝臓**、**血管壁**)においてビタミンK2のMK-4に変換される。

ビタミンKは以下の3つの状態がある。

名称	略称	構造	説明
ビタミンK	K		キノン骨格。
ビタミンKヒドロキノン	KH ₂		還元型のビタミンK。
ビタミンKエポキシド	KO		エポキシ化されたビタミンK。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%93%E3%82%BF%E3%83%9F%E3%83%B3K>

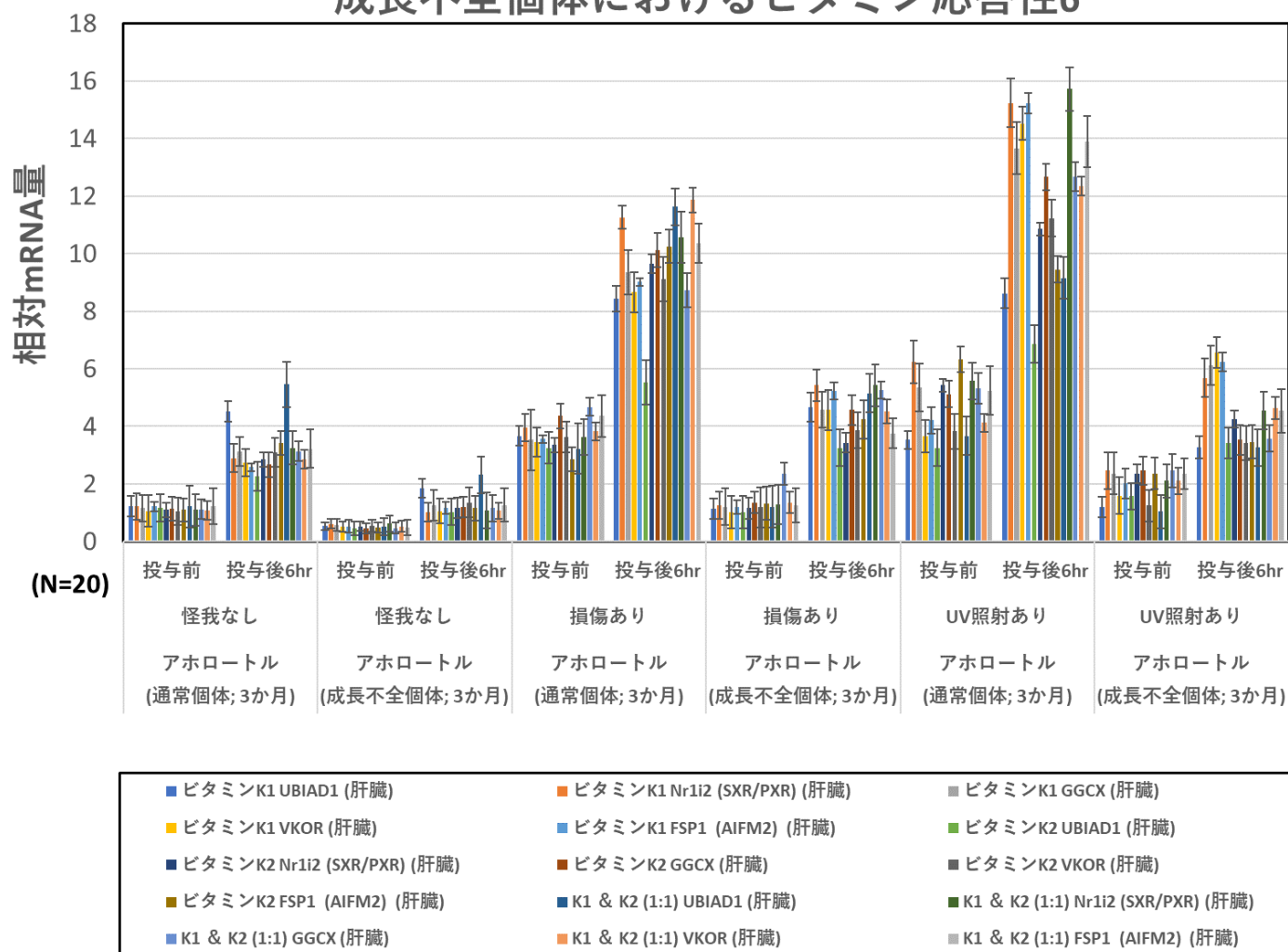
また前述の、2022 年にてビタミン K の還元酵素であると明らかになった **FSP1 (AIFM2)** の発現について確認したところ、ビタミン K1, K2 の投与時にいずれの生体においても顕著な発現上昇が確認できた。



ビタミンK1 (フィロキノン)	UBIAD1の作用により、科学的修飾を受けてメナキノンに変換される。止血・損傷治癒作用・細胞死抑制作用。
ビタミンK2 (メナキノン)	止血・損傷治癒作用・細胞死抑制作用。

補足図 27-1: ビタミン K (フィロキノン, メナキノン) に関する調査報告 1

成長不全個体におけるビタミン応答性6



補足図 27-2: ビタミン K (フィロキノン, メナキノン) に関する調査報告 2

参考文献 References

[1] ビタミン類・栄養関連

- [ビタミン A - Wikipedia](#) [ビタミン A - オースモレキュラー栄養医学研究所 \(orthomolecular.jp\)](#)
<https://www.takanohara-ch.or.jp/wordpress/wp-content/uploads/2015/08/di201507.pdf>
<https://www.ims.u-tokyo.ac.jp/imsut/content/900006498.pdf>
[Nutrients | Free Full-Text | Detection of Bitterness in Vitamins Is Mediated by the Activation of Bitter Taste Receptors \(mdpi.com\)](#)
[転写後調節と代謝 核内受容体 - 脳科学辞典 \(neuroinf.jp\)](#)
http://www2.huhs.ac.jp/~h990002t/resources/download/15/15biochem3/02sugarcatabolism_1_15.pdf
https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/91/2/91_139/_pdf/-char/ja
[\(5\) \(PDF\) Retinol binding protein 4 abundance in plasma and tissues is related to body fat deposition in cattle \(researchgate.net\)](#)
https://www.researchgate.net/publication/261756316_Divergent_Roles_for_Adiponectin_Receptor_1_AdipoR1_and_AdipoR2_in_Mediating_Revascularization_and_Metabolic_Dysfunction_in_Vivo/figures?lo=1
[Retinol-binding protein 4 mRNA translation in hepatocytes is enhanced by activation of mTORC1 | American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism](#) [レチノール結合蛋白-4 \(umin.ac.jp\)](#)
[Retinol binding protein 4 antagonists and protein synthesis inhibitors: Potential for therapeutic development - ScienceDirect](#)
[ビタミン D 生成に日光は重要？必要な時間や効果など解説 | 健達ねっと \(mcsg.co.jp\)](#)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/98/8/98_2006/_pdf
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos1956/37/10/37_10_934/_pdf
[TTR transthyretin \[Homo sapiens \(human\)\] - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)
<http://hobab.fc2web.com/sub4-vitamin.htm>
https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/63/7/63_KJ00004913362/_pdf/-char/ja
[副腎の構造と機能 | ビジュアル生理学 \(bunseiri.com\)](#)
[細胞が栄養状態に応じてタンパク質の合成・分解を調節する仕組みを解明 210209rs.pdf \(niigata-u.ac.jp\)](#)
<https://lpi.oregonstate.edu/jp/mic/ビタミン/リボフラビン>
https://www.orthomolecular.jp/nutrition/vitamin_b/
<http://hobab.fc2web.com/sub4-Oxaloacetate.htm>
<https://www.mdpi.com/2072-6643/8/2/68>
<https://www.otsuka.co.jp/en/nutraceutical/about/nutrition/sports-nutrition/essential-nutrients/vitaminbcomplex.html>
<https://www.britannica.com/science/pantothenic-acid>
http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/amino_met.htm
https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/91/2/91_151/_pdf/-char/ja
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nogeikagaku1924/72/10/72_10_1199/_pdf/-char/ja
[第471話 NAD ブースターの比較/脂質代謝の改善はニコチン酸で | 医薬経済オンライン \(iyakukezai.com\)](#)
[Slc12a8 はニコチンアミドモノヌクレオチド輸送体である | おすすめのコンテンツ | Nature Metabolism | Nature Portfolio \(natureasia.com\)](#)
[メトレキサートの作用機序と葉酸代謝 薬理 薬学 \(yakugakugakusyuu.com\)](#)
[葉酸塩 : Study Group Tulip-blog チューリップ勉強会 \(livedoor.jp\)](#)
[One-carbon Metabolism Analysis Service - Creative Proteomics \(creative-proteomics.com\)](#)
[葉酸 \(ビタミン B9、ビタミン M\): 構造、機能、代謝と one carbon metabolism \(ultrabem.com\)](#)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/24/11/24_11_933/_pdf
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200128-3/index.html>
[jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci1953/16/4/16_4_185/_pdf">jstage.jst.go.jp/article/aquaculturesci1953/16/4/16_4_185/_pdf](#)



[2] Axolotl related genes

Rbp4 (Retinol binding protein 4)

[Rbp4|AMEX60DD102052620.1 at chr8q:429537489-429605088](#)

[Rbp4|AMEX60DD301052620.2 at chr8q:429537489-429605234](#)

[Rbp4|AMEX60DD102052620.3 at chr8q:429537498-429604426](#)

[Rbp4|AMEX60DD102052620.4 at chr8q:429537508-429605088](#)

STRA6(stimulated by retinoic acid 6)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.3 at chr11p:210806221-211197970](#)

[Stra6|AMEX60DD301003903.3 at chr11p:249935812-249981531](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.1 at chr11p:210806221-211192761](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.2 at chr11p:210806221-211192761](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.6 at chr11p:210806221-211197970](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.4 at chr11p:210806221-211192761](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.5 at chr11p:210806221-211197970](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD201003815.7 at chr11p:210806244-211015979](#)

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.8 at chr11p:210806250-211197970](#)

[Stra6|AMEX60DD201003903.1 at chr11p:249827102-250070190](#)

[Stra6|AMEX60DD201003903.2 at chr11p:249827115-250070858](#)

[Loc113405356 \[nr\]|Sugt1p4-stra6lp \[hs\]|AMEX60DD201043827.1 at chr6q:7948868-8734787](#)

CRBP (cellular retinol binding protein; RPB3, RBP4 etc...)

[Acrbp|AMEX60DD301026876.1 at chr3p:168531557-168677172](#)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/5950>

[Eod39_9631 \[nr\]|Acrbp \[hs\]|AMEX60DD301026878.1 at chr3p:168962128-169150278](#)

[As28_09104 \[nr\]|Acrbp \[hs\]|AMEX60DD301026880.1 at chr3p:169472547-169473178](#)

[Eod39_9631 \[nr\]|Acrbp \[hs\]|AMEX60DD301026878.2 at chr3p:168962132-169150278](#)

Axolotl RBP4

[Rbp4|AMEX60DD102052620.1 at chr8q:429537489-429605088](#)

[Rbp4|AMEX60DD301052620.2 at chr8q:429537489-429605234](#)

[Rbp4|AMEX60DD102052620.3 at chr8q:429537498-429604426](#)

[Rbp4|AMEX60DD102052620.4 at chr8q:429537508-429605088](#)

Transthyretin (トランスサイレチトランスサイレチン, Transthyretin; TTR, CTS, CTS1, HEL111, HsT2651, PALB, TBPA, ATTN)

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&q=htcGeneInGenome&i=Mcts1%7CAMEX60DDU001010278.1&c=C0088106&l=0&r=205008&o=genes_fragmented&table=genes_fragmented)

[bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&q=htcGeneInGenome&i=Mcts1%7CAMEX60DDU001010278.1&c=C0088106&l=0&r=205008&o=genes_fragmented&table=genes_fragmented](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&c=chr5q&l=461622865&r=461756716&o=461684694&t=461756716&q=genes_other&i=Xelaev_18036011mg+%5Bnr%5D%7CAMEX60DD102039609.4)

[トランスサイレチン - Wikipedia](#)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/98/8/98_2006/_pdf

https://www.jstage.jst.go.jp/article/medchem/30/1/30_30/_pdf/-char/ja

Axolotl TTR

[https://genome.axolotl-omics.org/cgi-](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&c=chr5q&l=461622865&r=461756716&o=461684694&t=461756716&q=genes_other&i=Xelaev_18036011mg+%5Bnr%5D%7CAMEX60DD102039609.4)

[bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&c=chr5q&l=461622865&r=461756716&o=461684694&t=461756716&q=genes_other&i=Xelaev_18036011mg+%5Bnr%5D%7CAMEX60DD102039609.4](https://genome.axolotl-omics.org/cgi-bin/hgc?hgslid=69715_5uEAztFlj0qCx310CTXrTpTbcU5J&c=chr5q&l=461622865&r=461756716&o=461684694&t=461756716&q=genes_other&i=Xelaev_18036011mg+%5Bnr%5D%7CAMEX60DD102039609.4)



RALDH (アルデヒドデヒドロゲナーゼ)

[RALDH - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axolotl Aldh1

[Aldh1I2|AMEX60DD201008361.3 at chr12q:835061604-835374097](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD301023440.1 at chr2q:133258104-133284934](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.20 at chr2q:135889702-136398444](#)
[Aldh1a3 \[nr\]|AMEX60DD201003526.1 at chr11p:84759731-84964422](#)
[Aldh1I2|AMEX60DD102008361.1 at chr12q:834540512-835374097](#)
[Aldh1a1 \[nr\]|AMEX60DD201009295.1 at chr13q:16877398-16881942](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD301023444.12 at chr2q:135740292-136398444](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD301023444.13 at chr2q:135740859-136398444](#)
[Aldh1a1 \[nr\]|AMEX60DD102043180.1 at chr6p:1108677363-1109230314](#)
[Aldh1a2|AMEX60DD201004101.1 at chr11q:41012107-41154365](#)
[Aldh1I2|AMEX60DD301008361.2 at chr12q:834540762-835374097](#)
[Aldh16a1 \[hs\]|AMEX60DD201016386.1 at chr1p:1231551701-1232236902](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.8 at chr2q:135613044-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.9 at chr2q:135737928-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.10 at chr2q:135737946-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.11 at chr2q:135738031-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.14 at chr2q:135741797-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.15 at chr2q:135741797-136218804](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.16 at chr2q:135741797-136398444](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.17 at chr2q:135741797-136398444](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD201023444.18 at chr2q:135741797-136398444](#)
[Aldh1I1|AMEX60DD301023444.19 at chr2q:135741827-136268615](#)
[Aldh1b1|AMEX60DD201043840.1 at chr6q:12880362-12890203](#)
[Aldh18a1|AMEX60DD201052772.1 at chr8q:565267426-566492030](#)
[Aldh18a1|AMEX60DD201052772.2 at chr8q:565267448-566492030](#)
[Aldh18a1|AMEX60DD102052772.3 at chr8q:565267458-566487717](#)

ApoER (LRP1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=apoER2%20mRNA>

Axolotl ApoER

[Lrp8|AMEX60DD201019576.1 at chr1q:1260757290-1261539972](#)
[Lrp8 \[nr\]|AMEX60DD201019576.2 at chr1q:1260757291-1261026433](#)
[Lrp8 \[nr\]|AMEX60DD301019576.3 at chr1q:1261175313-1261355240](#)

RBPR2 (STRA6-like)

[The Retinol Binding Protein Receptor 2 \(Rbpr2\) is required for Photoreceptor Outer Segment Morphogenesis and Visual Function in Zebrafish | Scientific Reports \(nature.com\)](#)

[RBPR2 - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axolotl RBPR2

[Loc115075238 \[nr\]|Sugt1p4-str6lp \[hs\]|AMEX60DD301003815.3 at chr11p:210806221-211197970](#)



[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.1 at chr11p:210806221-211192761](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.2 at chr11p:210806221-211192761](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.6 at chr11p:210806221-211197970](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.4 at chr11p:210806221-211192761](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.5 at chr11p:210806221-211197970](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD201003815.7 at chr11p:210806244-211015979](#)
[Loc115075238 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD301003815.8 at chr11p:210806250-211197970](#)
[Loc113405356 \[nr\]Sugt1p4-stra6lp \[hs\]AMEX60DD201043827.1 at chr6q:7948868-8734787](#)

LRAT (lecithin retinol acyltransferase)

[LRAT lecithin retinol acyltransferase \[Homo sapiens \(human\)\] - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axolotl LRAT

[Lratd1|AMEX60DD201033189.1 at chr4p:373808896-373813231](#)
[Lratd1|AMEX60DD201033189.2 at chr4p:373808904-373813231](#)
[Lratd1|AMEX60DD103033189.3 at chr4p:373810955-373814665](#)
[Lratd1|AMEX60DD103033189.4 at chr4p:373810955-373813231](#)
[Loc115085705 \[nr\]Lratd2 \[hs\]AMEX60DD201040486.1 at chr5q:1036674339-1036678786](#)
[Loc115462687 \[nr\]Lrat \[hs\]AMEX60DD301045105.1 at chr6q:757490176-757520641](#)
[Lrat|AMEX60DD301045105.2 at chr6q:757490179-757845993](#)
[Lrat|AMEX60DD301045105.4 at chr6q:757490187-757845993](#)

RDH (retinol dehydrogenase)

[Celaphus_00016311 \[nr\]Rdh10 \[hs\]AMEX60DDU001012813.3 at C0111886:14409-27507](#)
[Loc115087528 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DDU001015818.1 at C0122724:40679-43939](#)
[Loc115087528 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DDU001032904.1 at C0183286:24919-28267](#)
[Loc115087522 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029688.1 at chr3q:486570006-486609558](#)
[Loc115465867 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029690.2 at chr3q:486899508-487018013](#)
[Rdh8|AMEX60DD301031843.1 at chr3q:1429746663-1429903158](#)
[Rdh10|AMEX60DD301039910.4 at chr5q:682261683-682422444](#)
[Loc109978551 \[nr\]Sardh \[hs\]AMEX60DD301050729.1 at chr8p:192164825-192520889](#)
[Sardh.l \[nr\]Sardh \[hs\]AMEX60DD102050729.2 at chr8p:192345267-193181640](#)
[Sardh \[hs\]AMEX60DD201050731.1 at chr8p:193361208-193439649](#)
[Cadr_000027305 \[nr\]Rdh10 \[hs\]AMEX60DDU001012813.2 at C0111886:14134-28043](#)
[Loc115090131 \[nr\]Rdh12 \[hs\]AMEX60DD201012016.3 at chr14q:309997816-310249910](#)
[Loc115090131 \[nr\]Rdh12 \[hs\]AMEX60DD201012016.4 at chr14q:309997850-310249910](#)
[Rdh7.2.l \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD301029693.3 at chr3q:487817131-487909824](#)
[Loc115465871 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029708.1 at chr3q:490490242-490810307](#)
[Loc115465871 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029708.2 at chr3q:490490729-490810307](#)
[Loc115087523 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD301029708.3 at chr3q:490490729-491318988](#)
[Loc115465871 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029708.4 at chr3q:490685455-491287414](#)
[Loc115087527 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD301029708.5 at chr3q:490942739-491318988](#)
[Loc115087527 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD103029708.6 at chr3q:490942741-491427173](#)
[Loc115087527 \[nr\]Rdh16 \[hs\]AMEX60DD201029708.7 at chr3q:490942915-491287414](#)



[Loc115087522 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD301029708.8 at chr3q:490943031-491049347](#)
[Loc102446561 \[nr\]\[Rdh14 \[hs\]\]AMEX60DD201033124.2 at chr4p:327438831-327469392](#)
[Cadr 000027305 \[nr\]\[Rdh10 \[hs\]\]AMEX60DDU001012813.1 at C0111886:11976-26136](#)
[Loc115480570 \[nr\]\[Rdh14 \[hs\]\]AMEX60DD201000861.1 at chr10p:345902874-346252699](#)
[Loc115480570 \[nr\]\[Rdh14 \[hs\]\]AMEX60DD102000861.3 at chr10p:345902973-346252699](#)
[Loc115090131 \[nr\]\[Rdh12 \[hs\]\]AMEX60DD201012016.1 at chr14q:309720099-310249910](#)
[Loc115090131 \[nr\]\[Rdh12 \[hs\]\]AMEX60DD103012016.2 at chr14q:309997783-310249910](#)
[Ccadc18 \[nr\]\[Rdh8 \[hs\]\]AMEX60DD201019162.1 at chr1q:1062614090-1062860909](#)
[Loc115464870 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029686.1 at chr3q:485830202-486033137](#)
[Loc115464870 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD301029686.2 at chr3q:485962262-486033137](#)
[Loc115465867 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029690.1 at chr3q:486885607-487018013](#)
[Loc115465867 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029693.1 at chr3q:487656497-487909824](#)
[Loc115465867 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029693.2 at chr3q:487657076-487909824](#)
[Loc115465875 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029694.1 at chr3q:487962380-488085731](#)
[Loc115087522 \[nr\]\[Rdh16 \[hs\]\]AMEX60DD201029697.1 at chr3q:488422576-488517083](#)
[Rdh5|AMEX60DD201029898.1 at chr3q:558499399-558772184](#)
[Rdh5|AMEX60DD201029898.2 at chr3q:558645011-558772184](#)
[Rdh5|AMEX60DD301029898.3 at chr3q:558672224-558772184](#)
[Rdh5|AMEX60DD301029898.4 at chr3q:558672248-558772184](#)
[Rdh5|AMEX60DD301029898.5 at chr3q:558698448-558772184](#)
[Rdh14|AMEX60DD201033124.1 at chr4p:327438773-327469392](#)
[Rdh13|AMEX60DD201034286.1 at chr4p:1026836325-1027406143](#)
[Rdh13|AMEX60DD201034286.2 at chr4p:1026836326-1027406143](#)
[Rdh10|AMEX60DD301039910.1 at chr5q:682220779-682422444](#)
[Rdh10.I \[nr\]\[Rdh10 \[hs\]\]AMEX60DD103039910.2 at chr5q:682220857-682422444](#)
[Rdh10|AMEX60DD301039910.3 at chr5q:682220887-682422444](#)
[Loc115087724 \[nr\]\[Rdh11 \[hs\]\]AMEX60DD201046452.1 at chr6q:1585460562-1585787726](#)
[Loc108793117 \[nr\]\[Sardh \[hs\]\]AMEX60DD201050729.3 at chr8p:192345583-193181640](#)

STRA6 (signaling receptor and transporter of retinol)

[STRA6 signaling receptor and transporter of retinol STRA6 \[Homo sapiens \(human\)\] - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axolotl STRA6

[Stra6|AMEX60DD201003903.1 at chr11p:249827102-250070190](#)
[Stra6|AMEX60DD201003903.2 at chr11p:249827115-250070858](#)

RAR (RARA: retinoic acid receptor, alpha)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene>

Axolotl Rara

[Rara \[nr\]\[Bcor-rara \[hs\]\]AMEX60DD201010149.1 at chr13q:311788522-312065225](#)
[Rara \[nr\]AMEX60DD301010149.5 at chr13q:311793415-312188078](#)
[Rara|AMEX60DD301010149.2 at chr13q:311788537-312288806](#)
[Rara|AMEX60DD201010149.3 at chr13q:311788541-311942113](#)
[Rara|AMEX60DD301010149.4 at chr13q:311788659-312185113](#)



RXR (*retinoic acid receptor*)

[RXR - Gene - NCBI \(nih.gov\)](#)

Axolotl Rxra

[Rxra|AMEX60DD301050719.5 at chr8p:185153645-185381409](#)

[Rxra \[nr\]|AMEX60DD201050719.2 at chr8p:185114775-185708395](#)

[Rxra \[nr\]|AMEX60DD201050719.3 at chr8p:185114775-185708395](#)

[Rxra|AMEX60DD301050719.4 at chr8p:185119040-185708395](#)

Axolotl Rxrb

[Rxrb \[nr\]|AMEX60DD301010826.1 at chr13q:460468819-460731048](#)

[Rxrb \[nr\]|AMEX60DD201010826.2 at chr13q:460487299-460731048](#)

[Rxrb \[nr\]|Rxra \[hs\]|AMEX60DD201010826.3 at chr13q:460487399-460731048](#)

[Rxrb \[nr\]|AMEX60DD201010826.4 at chr13q:460487399-460731048](#)

[Rxrb \[nr\]|AMEX60DD201010826.5 at chr13q:460487399-460731048](#)

[Rxrb \[nr\]|AMEX60DD301010826.6 at chr13q:460494308-460731048](#)

[Rxra \[nr\]|AMEX60DD201050719.1 at chr8p:185114701-185708395](#)

Lecithin: retinol acyltransferase (LRAT)

[Lratd1|AMEX60DD201033189.1 at chr4p:373808896-373813231](#)

[Lratd1|AMEX60DD201033189.2 at chr4p:373808904-373813231](#)

[Lratd1|AMEX60DD103033189.3 at chr4p:373810955-373814665](#)

[Lratd1|AMEX60DD103033189.4 at chr4p:373810955-373813231](#)

[Loc115085705 \[nr\]|Lratd2 \[hs\]|AMEX60DD201040486.1 at chr5q:1036674339-1036678786](#)

[Loc115462687 \[nr\]|Lrat \[hs\]|AMEX60DD301045105.1 at chr6q:757490176-757520641](#)

[Lrat|AMEX60DD301045105.2 at chr6q:757490179-757845993](#)

[Lrat|AMEX60DD301045105.4 at chr6q:757490187-757845993](#)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/hikakuseiriseika1990/21/2/21_2_56/_pdf

<https://www.reactome.org/content/detail/R-ALL-975599#Homo%20sapiens>

<https://biocyc.org/FLY/NEW-IMAGE?type=ENZYME&object=Cellular-Retinol-Binding-Proteins>

[Reactome | cholesterol + phosphatidylcholine \(lecithin\) => cholesterol ester + 2-lysophosphatidylcholine \(lysolecithin\)](#)

<https://www.sdbonline.org/sites/fly/aimain/3e-ktest.htm>

https://escholarship.org/content/qt3tc705gj/qt3tc705gj_noSplash_59f34c804e98072d999f985738963584.pdf?t=ny5ucl

<https://flybase.org/cgi-bin/cvreport.pl?id=GO%3A0102279>

<https://amigo.geneontology.org/amigo/term/GO:0102279>

MKI67 (細胞増殖マーカー)

[Mki67.s \[nr\]|AMEX60DD201052733.1 at chr8q:540492904-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|AMEX60DD201052733.3 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|Mki67 \[hs\]|AMEX60DD201052733.4 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|Mki67 \[hs\]|AMEX60DD201052733.5 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|Mki67 \[hs\]|AMEX60DD201052733.6 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|Mki67 \[hs\]|AMEX60DD201052733.7 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|AMEX60DD201052733.8 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|AMEX60DD201052733.9 at chr8q:540492905-540730077](#)

[Mki67.s \[nr\]|AMEX60DD201052733.10 at chr8q:540492905-540730077](#)



[Mki67.s \[nr\]||AMEX60DD201052733.11 at chr8q:540492905-540730077](#)
[Mki67.s \[nr\]||Mki67 \[hs\]||AMEX60DD201052733.12 at chr8q:540492908-540730077](#)
[Mki67.s \[nr\]||AMEX60DD301052733.14 at chr8q:540492909-540728114](#)
[Mki67.s \[nr\]||AMEX60DD201052733.15 at chr8q:540492913-540730077](#)
[Mki67.s \[nr\]||AMEX60DD301052733.16 at chr8q:540492936-540729006](#)
[Mki67 \[nr\]||AMEX60DD201028336.1 at chr3p:759751089-760081527](#)
[Mki67 \[nr\]||AMEX60DD201028336.2 at chr3p:759751111-760081527](#)
[Mki67 \[nr\]||AMEX60DD201028336.3 at chr3p:759751126-760081527](#)
[Mki67 \[nr\]||AMEX60DD301028336.4 at chr3p:759751166-760081527](#)
[Mki67 \[nr\]||AMEX60DD201028336.5 at chr3p:759751170-760081527](#)
[Mki67.s \[nr\]||AMEX60DD201052733.2 at chr8q:540492904-540730077](#)
[MKI67 Gene - GeneCards | KI67 Protein | KI67 Antibody](#)

Axolotl E1 α (PDHA1)

[Loc104547552 \[nr\]||Pdha1 \[hs\]||AMEX60DD301048142.2 at chr7p:767909572-767912114](#)
[Pdha1.l \[nr\]||Pdha1 \[hs\]||AMEX60DD301048145.4 at chr7p:768462002-768712038](#)
[Loc104547552 \[nr\]||Pdha1 \[hs\]||AMEX60DD301048145.6 at chr7p:768709496-768712038](#)
[Loc104547552 \[nr\]||Pdha1 \[hs\]||AMEX60DD301048142.1 at chr7p:767909572-767912114](#)
[Pdha1|AMEX60DD201048145.1 at chr7p:768461865-768712038](#)
[Pdha1|AMEX60DD201048145.2 at chr7p:768461889-768712038](#)
[Pdha1|AMEX60DD102048145.3 at chr7p:768461976-768712038](#)
[Pdha1|AMEX60DD201048145.5 at chr7p:768462011-768712038](#)

Axolotl E1 β (PDHB)

[Pdhb|AMEX60DD301023861.6 at chr2q:388080703-388144895](#)
[Pdhb|AMEX60DD102023861.4 at chr2q:388080685-388144895](#)
[Pdhb|AMEX60DD201023861.1 at chr2q:388080484-388144895](#)
[Pdhb|AMEX60DD102023861.2 at chr2q:388080656-388144895](#)
[Pdhb \[nr\]||AMEX60DD102023861.3 at chr2q:388080656-388144895](#)
[H355_002675 \[nr\]||Pdhb \[hs\]||AMEX60DD102023861.5 at chr2q:388080696-388144895](#)

Axolotl E2 (DLAT)

[Dlat|AMEX60DD301053741.3 at chr9p:107572120-107902051](#)
[Dlat.l \[nr\]||Dlat \[hs\]||AMEX60DD102053741.4 at chr9p:107572143-107902051](#)
[Dlat|AMEX60DD102053741.6 at chr9p:107572279-107902051](#)
[Dlat.l \[nr\]||Dlat \[hs\]||AMEX60DD301053741.7 at chr9p:107586742-107902051](#)
[Dlat|AMEX60DD201053741.1 at chr9p:107571956-107902051](#)
[Dlat.l \[nr\]||Dlat \[hs\]||AMEX60DD301053741.2 at chr9p:107572017-107902051](#)
[Dlat|AMEX60DD102053741.5 at chr9p:107572151-107588521](#)

Axolotl E3 (DLD)

[Dld|AMEX60DDU001006311.1 at C0035962:263984-265097](#)
[Dld.s \[nr\]||Dld \[hs\]||AMEX60DD301040517.1 at chr5q:1061127134-1061128653](#)
[Dld \[hs\]||AMEX60DD301007477.1 at chr12q:312566853-313217183](#)
[Dld \[hs\]||AMEX60DD102007477.2 at chr12q:312566978-313217183](#)



Axolotl PDP1

[Pdp1|AMEX60DD301040114.3 at chr5q:822922592-822993731](#)

[Pdp1|AMEX60DD301040114.1 at chr5q:822922393-822993731](#)

[Pdp1|AMEX60DD301040114.2 at chr5q:822922414-822993731](#)

Axolotl PDP2

[Pdk1|AMEX60DD201055676.1 at chr9q:469913214-470545129](#)

[Pdk1|AMEX60DD301055676.2 at chr9q:469913261-470545129](#)

[Pdk1|AMEX60DD301055676.3 at chr9q:470046448-470545129](#)

Axolotl PDHX

[Pdhx|AMEX60DD301005105.1 at chr11q:561257262-562661682](#)

[Pdhx|AMEX60DD103005105.2 at chr11q:561257408-562661682](#)

Axolotl LIAS

[Lias|AMEX60DD201045660.2 at chr6q:1140131037-1140616062](#)

[Lias|AMEX60DD201045660.1 at chr6q:1140130402-1140616062](#)

oxoglutarate dehydrogenase (OGDH)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/4967>

Axolotl OGDH

[Loc104532369 \[nr\]|Ogdh \[hs\]|AMEX60DDU001019945.1 at C0137403:21203-23584](#)

[Ogdh \[hs\]|AMEX60DDU001020462.1 at C0139399:16426-64809](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001315.1 at chr10p:569327708-569403405](#)

[Loc103800651 \[nr\]|Ogdh \[hs\]|AMEX60DD301001316.1 at chr10p:569471977-569486684](#)

[E2i00_017014 \[nr\]|Ogdh \[hs\]|AMEX60DD301001317.1 at chr10p:569486891-569489467](#)

[Ogdh|AMEX60DD301024522.1 at chr2q:736588435-736591169](#)

[Ogdh|AMEX60DD301051998.5 at chr8q:109607258-110660400](#)

[Loc104532369 \[nr\]|Ogdh \[hs\]|AMEX60DD301001315.2 at chr10p:569327708-569390831](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.8 at chr10p:577388471-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.9 at chr10p:577388516-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.1 at chr10p:577387547-578566713](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.2 at chr10p:577388292-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.3 at chr10p:577388303-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.4 at chr10p:577388303-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.5 at chr10p:577388303-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.6 at chr10p:577388422-578566713](#)

[Ogdh|AMEX60DD201001341.7 at chr10p:577388471-578567683](#)

[Ogdh|AMEX60DD301051998.1 at chr8q:109369327-112032830](#)

[Ogdh \[hs\]|AMEX60DD201051998.2 at chr8q:109369378-112032830](#)

[Ogdh \[hs\]|AMEX60DD201051998.3 at chr8q:109369397-112032830](#)

[Ogdh|AMEX60DD301051998.4 at chr8q:109369434-112032830](#)

ldh1 (isocitrate dehydrogenase 1: NADP+)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/15926>

Axolotl ldh1

[ldh1|AMEX60DD102055140.3 at chr9q:197466425-197826109](#)

[ldh1 \[nr\]|AMEX60DD301045540.1 at chr6q:1061072473-1061074144](#)

[ldh1.s \[nr\]|ldh1 \[hs\]|AMEX60DD201055140.1 at chr9q:197465608-197826595](#)

[ldh1.s \[nr\]|ldh1 \[hs\]|AMEX60DD301055140.2 at chr9q:197466024-197826595](#)

[ldh1.s \[nr\]|ldh1 \[hs\]|AMEX60DD201055140.4 at chr9q:197466429-197826397](#)

Alas1 (aminolevulinic acid synthase 1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=succinyl-CoA+synthase>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/11655>

Axolotl Alas1

[Alas1|AMEX60DD201023169.1 at chr2q:25897992-25926677](#)

[Alas1|AMEX60DD101023169.2 at chr2q:25904133-25926677](#)

[Alas1|AMEX60DD102023169.3 at chr2q:25904136-25926677](#)

Axolotl AST

(Aspartate aminotransferase Glutamic oxaloacetic transaminase, AST = glutamic-oxaloacetic transaminase, GOT)

[アスパラギン酸アミノ基転移酵素](#)

GOT1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/2805>

GOT2 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/2806>

Axolotl ALT

(Alanine aminotransferase, ALT = glutamic-pyruvic transaminase, GPT)

https://www.niph.go.jp/h-crisis/wp-content/uploads/2020/12/20201208104111_content_11131500_000702651.pdf

http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/amino_met.htm

GPT1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/2875>

GPT2 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/84706>

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040713.2 at chr5q:1194437025-1194714544](#)

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040713.4 at chr5q:1194437041-1194714544](#)

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040713.6 at chr5q:1194438157-1194714544](#)

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040714.1 at chr5q:1194822339-1195299610](#)

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040714.3 at chr5q:1194822415-1195100747](#)

[Loc107295651 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD201040714.4 at chr5q:1194834807-1195423444](#)

[Loc108791983 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD301040714.8 at chr5q:1194834807-1195299610](#)

[Gpt.1 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD301040714.9 at chr5q:1194851194-1195100165](#)

[Gpt.1 \[nr\]|AMEX60DD301040714.10 at chr5q:1195099245-1195224277](#)

[Gpt2|AMEX60DD301016622.1 at chr1p:1305857046-1306201723](#)

[Gpt2|AMEX60DD301016622.2 at chr1p:1305861070-1306201723](#)

[Gpt2 \[nr\]|AMEX60DD102016622.3 at chr1p:1305861095-1306201723](#)

[Gpt2 \[nr\]|AMEX60DD301016622.4 at chr1p:1305861182-1306201723](#)

[Loc111835609 \[nr\]|Gpt \[hs\]|AMEX60DD102040713.3 at chr5q:1194437028-1194622807](#)

[Loc109094192 \[nr\]|Gpt2 \[hs\]|AMEX60DD301040714.2 at chr5q:1194822402-1194834549](#)



Axolotl Vitamin D receptor (VDR: ビタミン D 受容体)

[Vdr|AMEX60DD201029429.1 at chr3q:379345917-379976390](#)

[Vdr|AMEX60DD301029429.2 at chr3q:379345917-379965113](#)

[Vdr|AMEX60DD201029429.3 at chr3q:379346066-379579704](#)

[Vdr|AMEX60DD301029429.4 at chr3q:379346158-379897141](#)

Axolotl SIRT1

[ron01-02/ky893932209600017499 \(jpn-geriat-soc.or.jp\)](#)

[【研究成果】長寿遺伝子 SIRT1\(サーチュイン\)が筋の細胞膜修復に働くことを発見！～筋ジストロフィー治療の研究に光明～ | プレスリリース・メディア | 札幌医科大学 \(sapmed.ac.jp\)](#)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/shinzo/43/2/43_140/pdf/-char/ja

[c4d01e747436ddb5024bbc242cd7a8f4.pdf \(sapmed.ac.jp\)](#)

[黒ウコンのポリメトキシフラボノイドが「長寿遺伝子」産物 SIRT1 を活性化する\(u-tokyo.ac.jp\)](#)

https://www.h.u-tokyo.ac.jp/press/_icsFiles/afieldfile/2023/08/23/release_20230823.pdf

[【研究成果】長寿遺伝子 SIRT1\(サーチュイン\)が筋の細胞膜修復に働くことを発見！～筋ジストロフィー治療の研究に光明～ | プレスリリース・メディア | 札幌医科大学 \(sapmed.ac.jp\)](#)

[SLC12A8 は JAK/STAT 経路を通して膀胱癌細胞の増殖、浸潤と遷移を促進し、上皮間充織転換をトリガーする。](#)

[【JST・京大機械翻訳】 | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター](#)

<https://project.nikkeibp.co.jp/behealth/atcl/news/domestic/00192/>

[Quercetin 3,5,7,3',4'-pentamethyl ether from Kaempferia parviflora directly and effectively activates human SIRT1 | Communications Biology \(nature.com\)](#)

[Sirt1|AMEX60DD301051826.2 at chr8q:4145111-4384323](#)

[Sirt1|AMEX60DD103051826.4 at chr8q:4145115-6274354](#)

[Sirt1|AMEX60DD201051826.5 at chr8q:4145117-4383865](#)

Axolotl Slc12a8

[Aaes_64363 \[nr\]|Slc12a8 \[hs\]|AMEX60DD301056069.3 at chr9q:766480833-767133775](#)

[Slc12a8|AMEX60DD201056069.1 at chr9q:766480276-767133775](#)

[Loc104263534 \[nr\]|Slc12a8 \[hs\]|AMEX60DD301056069.2 at chr9q:766480336-767133775](#)

[Slc12a8|AMEX60DD201056069.4 at chr9q:766491880-767133775](#)

[Slc12a8|AMEX60DD201056069.5 at chr9q:766492029-767133775](#)

Axolotl PANK1

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/search/all/?term=PANK1>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/53354>

[Pank1|AMEX60DD201052571.1 at chr8q:408529837-409131469](#)

[Pank1|AMEX60DD201052571.2 at chr8q:408529859-409131469](#)

[Pank1|AMEX60DD301052571.3 at chr8q:408529923-409131469](#)

[Pank1|AMEX60DD201052571.4 at chr8q:408704946-409131469](#)

[Pank1|AMEX60DD201052571.5 at chr8q:408747513-409131469](#)



Axolotl プロトン共役葉酸輸送体 (PCFT_SLC46A1)

[メトトレキサートの作用機序と葉酸代謝 薬理 薬学 \(yakugakugakusyuu.com\)](#)

https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201702290075882257

[Slc46a1|AMEX60DD201054877.1 at chr9q:125126929-125357146](#)

[Slc46a1|AMEX60DD301054877.4 at chr9q:125345099-125357146](#)

[Slc46a1|AMEX60DD201054877.3 at chr9q:125326417-125357146](#)

[Slc46a1|AMEX60DD201054877.2 at chr9q:125326367-125357146](#)

Axolotl Folate Receptor (FOLR; 葉酸樹上隊)

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=FOLR1>

<https://www.mdpi.com/2073-4409/11/2/214>

<https://journals.biologists.com/bio/article/8/1/bio041160/2061/Folic-acid-modifies-the-shape-of-epithelial-cells>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2553645/>

<https://kaken.nii.ac.jp/file/KAKENHI-PROJECT-16K15705/16K15705seika.pdf>

<https://medical.nikkeibp.co.jp/leaf/all/di/digital/201210/527010.html>

[H355_006558 \[nr\]|Folr3 \[hs\]|AMEX60DD301049865.5 at chr7q:979936385-980048853](#)

[Loc111833885 \[nr\]|Folr3 \[hs\]|AMEX60DD201049865.3 at chr7q:979936381-980048853](#)

[Folr2 \[nr\]|Folr3 \[hs\]|AMEX60DD201049865.1 at chr7q:979936376-980048853](#)

[Folr2 \[nr\]|Folr3 \[hs\]|AMEX60DD201049865.2 at chr7q:979936376-980048853](#)

[Folr2 \[nr\]|Folr3 \[hs\]|AMEX60DD201049865.4 at chr7q:979936381-980048853](#)

Axolotl HLCS (Holocarboxylase synthetase, ホロカルボキシラーゼ合成酵素)

<https://www.vitamin-society.jp/research/hp2023-01/> <https://lpi.oregonstate.edu/jp/mic3>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123858535000052>

[ビオチン | Linus Pauling Institute | Oregon State University](#)

[ホロカルボキシラーゼ合成酵素欠損症の分子生物学的研究](#)

[Holocarboxylase synthetase is an obligate participant in biotin-mediated regulation of its own expression and of biotin-dependent carboxylases mRNA levels in human cells - PubMed \(nih.gov\)](#)

[HLCS Gene - GeneCards | BPL1 Protein | BPL1 Antibody](#)

[Hlcs|AMEX60DD201047213.1 at chr7p:200650227-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD102047213.2 at chr7p:200650248-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.3 at chr7p:200683010-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.4 at chr7p:200838349-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.5 at chr7p:201130870-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.6 at chr7p:201130870-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.7 at chr7p:201131411-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.8 at chr7p:201158787-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD201047213.9 at chr7p:201290897-202349562](#)

[Loc112114735 \[nr\]|Hlcs \[hs\]|AMEX60DD301047213.11 at chr7p:201291083-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD301047213.13 at chr7p:201434348-202246293](#)

[Dr999_pmt10412 \[nr\]|Hlcs \[hs\]|AMEX60DD301047213.15 at chr7p:202246412-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD201047213.10 at chr7p:201290897-202349562](#)

[Hlcs|AMEX60DD201047213.12 at chr7p:201291320-202349562](#)

[Dr999_pmt10412 \[nr\]|Hlcs \[hs\]|AMEX60DD102047213.14 at chr7p:201979365-202349562](#)



Axolotl BTD (biotinidase, ビオチニダーゼ)

[Identification of alternatively spliced human biotinidase mRNAs and putative localization of endogenous biotinidase - ScienceDirect](#)

[Human serum biotinidase. cDNA cloning, sequence, and characterization. \(jbc.org\)](#)

[Btd \[nr\]|AMEX60DD301022812.7 at chr2p:1328616808-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.8 at chr2p:1328616963-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.5 at chr2p:1328616666-1328694707](#)

[Btd|AMEX60DD201022812.1 at chr2p:1328610955-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.2 at chr2p:1328616524-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.3 at chr2p:1328616542-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.4 at chr2p:1328616574-1329023765](#)

[Btd|AMEX60DD301022812.6 at chr2p:1328616682-1329023765](#)

Axolotl SMVT (sodium dependent multivitamin transporter; SLC5A6)

[Sodium dependent multivitamin transporter \(SMVT\): a potential target for drug delivery - PubMed \(nih.gov\)](#)

[Sodium Dependent Multivitamin Transporter \(SMVT\): A Potential Target for Drug Delivery - PMC \(nih.gov\)](#)

[Tissue expression of SLC5A6 - Summary - The Human Protein Atlas](#)

[Loc115458636 \[nr\]|Slc5a6 \[hs\]|AMEX60DD301032638.8 at chr4p:107366662-107762184](#)

[Slc5a6|AMEX60DD301032638.6 at chr4p:106519687-106799009](#)

[Slc5a6|AMEX60DD301032638.7 at chr4p:106519687-106798766](#)

[Slc5a6|AMEX60DD201032638.1 at chr4p:106519613-107666730](#)

[Slc5a6|AMEX60DD201032638.2 at chr4p:106519613-107489338](#)

[Slc5a6|AMEX60DD301032638.3 at chr4p:106519628-107667057](#)

[Slc5a6|AMEX60DD301032638.4 at chr4p:106519628-107489739](#)

[Slc5a6|AMEX60DD301032638.5 at chr4p:106519628-107667057](#)

Axolotl SLC23A1 (SVCT1 (SODIUM-DEPENDENT VITAMIN C TRANSPORTER 1): Na 依存性ビタミン C トランスポーター1)

[jstage.jst.go.jp/article/manms/9/3/9_164/pdf](#)

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/nogeikagaku1924/78/10/78_10_962/pdf/-char/ja](#)

[https://plaza.umin.ac.jp/model/2016/thesis/pathologic/homma.html](#)

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/87/9/87_KJ00008828832/article/-char/ja](#)

[https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000172.000036737.html](#)

[https://www.biol.se.tmu.ac.jp/nenpo/nenpo2008.pdf](#)

[https://www.vit-c.jp/topics/topics-01.html](#)

[https://www.tmiq.or.jp/J_TMIG/genome300/SLC23A1.html](#)

[Loc115091371 \[nr\]|Slc23a1 \[hs\]|AMEX60DD201007734.1 at chr12q:501147901-501681945](#)

[Rohu_003054 \[nr\]|Slc23a1 \[hs\]|AMEX60DD301039421.1 at chr5q:336214949-336215298](#)

[Slc23a1|AMEX60DD201030434.1 at chr3q:840520677-841485291](#)

[Slc23a1|AMEX60DD201030434.2 at chr3q:840520677-841485291](#)

Axolotl GPX (Glutathione peroxidase)

グルタチオンペルオキシダーゼ

https://www.sccj-ifsc.com/library/glossary_detail/1425

https://bibgraph.hpcr.jp/abst/pubmed/7487090?click_by=p_ref

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/38413>

[Gpx4.l \[nr\]|Gpx4 \[hs\]|AMEX60DD201013560.1 at chr1p:259820346-259841514](#)

[Gpx1 \[nr\]|AMEX60DD201024229.1 at chr2q:595986665-595992294](#)

[Gpx3|AMEX60DD201030117.1 at chr3q:660542767-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.2 at chr3q:660542814-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.3 at chr3q:660542814-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.4 at chr3q:660542892-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.5 at chr3q:660542892-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.6 at chr3q:660542893-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.7 at chr3q:660542893-660599338](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.8 at chr3q:660542893-660599338](#)

[Gpx3 \[nr\]|AMEX60DD301030117.9 at chr3q:660542896-660608465](#)

[Gpx3|AMEX60DD301030117.10 at chr3q:660544637-660726542](#)

[Gpx7 \[nr\]|AMEX60DD301019607.1 at chr1q:1276741180-1277033638](#)

[Gpx8|AMEX60DD102042105.1 at chr6p:436511460-436531852](#)

[Asz78_000747 \[nr\]|Gpx8 \[hs\]|AMEX60DD102042105.2 at chr6p:436511506-436531852](#)

Axolotl CAT (Catalase)

https://www.istage.ist.go.jp/article/lifesupport/22/3/22_119/_pdf/-char/ja

https://www.istage.ist.go.jp/article/geriatrics1964/36/8/36_8_530/_pdf/-char/ja

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=CAT>

[Catalase \[nr\]|Cat \[hs\]|AMEX60DD301005096.3 at chr11q:555528070-555795574](#)

[Catalase \[nr\]|Cat \[hs\]|AMEX60DD102005096.2 at chr11q:555258744-555795574](#)

Axolotl SOD (スーパーオキシドディスムターゼ)

[SOD](#) <https://numon.pdbj.org/mom/94?l=ja>

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=SOD1>

[銅・亜鉛-スーパーオキシドディスムターゼ](#)

[「酵素の仕事」シリーズ 6\)スーパーオキサイドディスムターゼ](#)

[Loc104312661 \[nr\]|Sod2 \[hs\]|AMEX60DD201034307.1 at chr4p:1041816270-1041933937](#)

[Sod2|AMEX60DD201034309.1 at chr4p:1042012184-1042025357](#)

[Sod3 \[nr\]|AMEX60DD201045765.1 at chr6q:1226454148-1226461431](#)

[Eod39_14333 \[nr\]|Sod1 \[hs\]|AMEX60DD103047338.1 at chr7p:258782442-258850610](#)

[Sod1 \[nr\]|AMEX60DD102047338.2 at chr7p:258784290-258850610](#)

Axolotl Dcytb (シトクロム b; CYBRD1)

[ヒト小腸での鉄分吸収のメカニズム](#)

https://www.istage.ist.go.jp/article/vso/92/5.6/92_289_2/_pdf/-char/ja

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=CYBRD1>

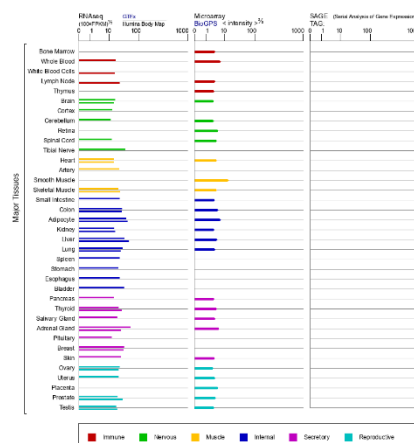
[Cybrd1|AMEX60DDU001030723.1 at C0175539:37563-37774](#)

[Cybrd1.s \[nr\]|Cybrd1 \[hs\]|AMEX60DDU001032206.1 at C0180904:28320-28661](#)



Nrf2 [nr]|Nfe2l2 [hs]|AMEX60DD201055595.2 at chr9q:416382339-416691520

Loc108701422 [nr]Abca12 [hs]AMEX60DD301055409.1 at chr9q:342295793-342902869



Axolotl CES1 (Carboxylesterase 1)

[Carboxylesterase 1 - Wikipedia](#)

[CES1 Gene - GeneCards](#) | [EST1 Protein](#) | [EST1 Antibody](#)

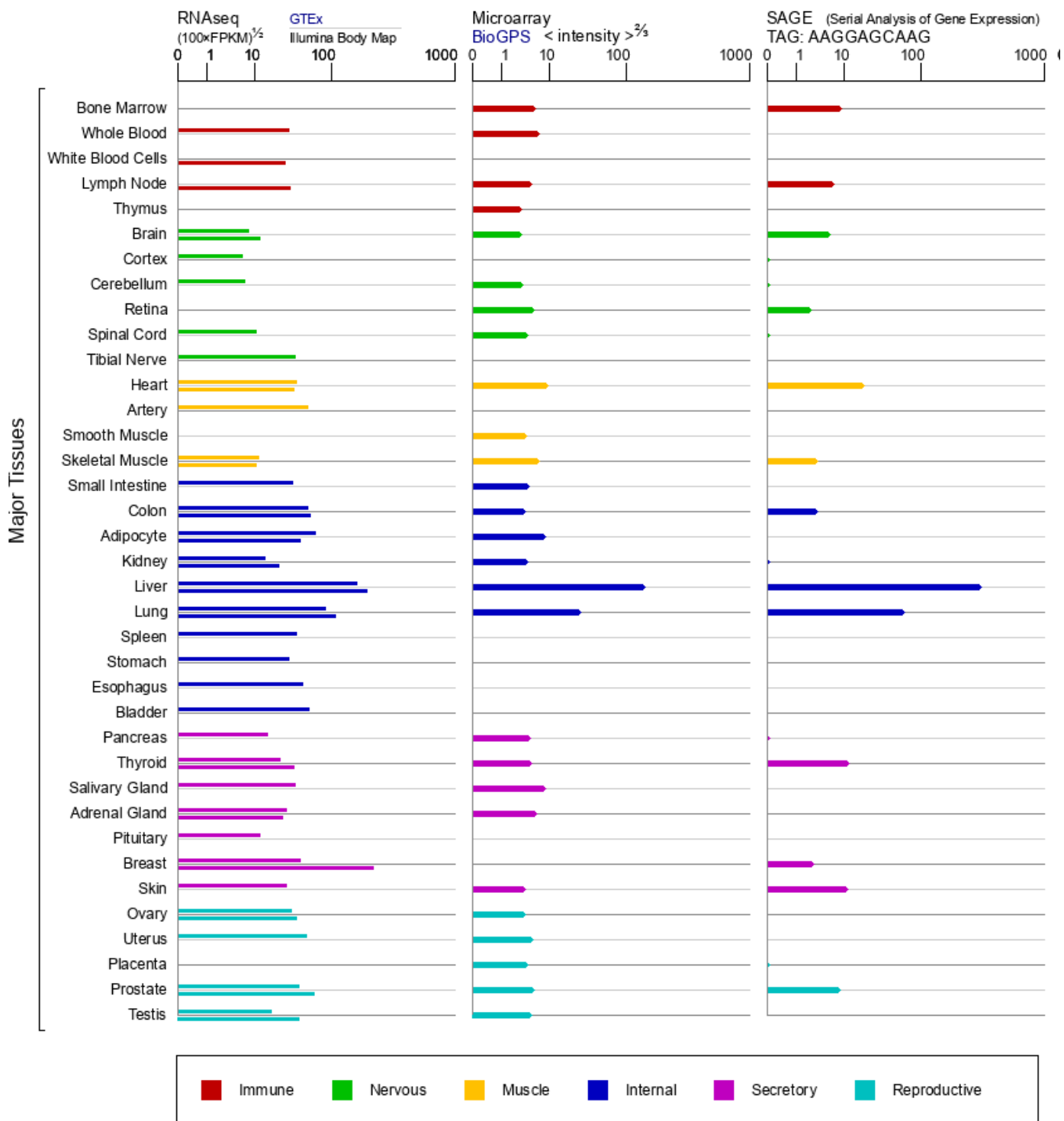
[Loc115470865 \[nr\]|Ces1 \[hs\]|AMEX60DD301016739.1 at chr1p:1368050385-1368106550](#)

[Loc115470865 \[nr\]|Ces1 \[hs\]|AMEX60DD201016745.4 at chr1p:1369919927-1370194435](#)

[Loc115470865 \[nr\]|Ces1 \[hs\]|AMEX60DD201016745.5 at chr1p:1369919929-1370194435](#)

[Loc115095119 \[nr\]|Ces1d \[hs\]|AMEX60DD201022999.1 at chr2p:1372769661-1373065815](#)

[Loc115470863 \[nr\]|Ces1 \[hs\]|AMEX60DD201023000.1 at chr2p:1373134030-1373512929](#)



[3] 魚類・メダカ (*Oryzias latipes*) 関連

Medaka genome browser

[UTGB Toolkit - \(utgenome.org\)](http://utgenome.org/)

Zebra fish (*Danio rerio*)

[Chromosome 12: 11,445,703-11,460,368 - Region in detail - Danio_rerio - Ensembl genome browser 111](#)

MKI67 (MIB1)

All species <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/4288/ortholog/?scope=7776>

Medaka mki67

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101173508/>

<https://www.researchgate.net/publication/256477634> Post-Proliferative Immature Radial Glial Cells Female-Specifically Express Aromatase in the Medaka Optic Tectum

<https://www.sanger.ac.uk/theses/kenyon-thesis.pdf>

Medaka ApoER (LRP1B)

<https://europepmc.org/article/med/15126508>

GenScript https://www.genscript.com/gene/canis-lupus-familiaris/476136/lrp1b.html#xm_014121515.2

Medaka RBP4

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33284085/>

<https://d-nb.info/1207145963/34>

Medaka TTR (トランスサイレチン, Transthyretin ; TTR, CTS, CTS1, HEL111, HsT2651, PALB, TBPA, ATTN)

https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2766&context=open_access_dissertations

HIUase <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=HIUase> (肝臓内で発現あり)

[Recent Advances in Transthyretin Evolution, Structure and Biological Functions](#)

Uraha <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101169773>

Urahb <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101172405>

Medaka RALDH

Aldh111 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101167504>

Aldh112 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101155544>

Aldh1a <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100049450>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101172271>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101157525>

Medaka RBPR (Crumbs)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7480234/>

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/protein/XP_011472343.1

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=crumbs+Oryzias>

Crb3 <https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=CRB3>

Medaka LRATd1

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=Oryzias+LRAT>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101162811>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101168318>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101174970>



Medaka RDH13

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=Oryzias++retinol+dehydrogenase>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101164512>

Medaka STRA6

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101164553/>

Medaka RARa

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100049282>

Medaka RXRa

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100125504>

Medaka AST (Aspartate aminotransferase Glutamic oxaloacetic transaminase, AST = glutamic-oxaloacetic transaminase, GOT)

[アスパラギン酸アミノ基転移酵素](#)

GOT1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101163996/>

GOT2 <https://www.uniprot.org/uniprotkb/H2LYP8/entry>

Medaka ALT

(Alanine aminotransferase, ALT = glutamic-pyruvic transaminase, GPT)

https://www.niph.go.jp/h-crisis/wp-content/uploads/2020/12/20201208104111_content_11131500_000702651.pdf

[Simultaneous stimulation of glycolysis and gluconeogenesis by feeding in the anterior intestine of the omnivorous GIFT tilapia, Oreochromis niloticus](#)

http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/amino_met.htm

GPT1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/105353973>

GPT2 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101161270>

Medaka Vitamin D receptor (VDR)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100169845>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100169844>

Medaka SIRT1

[release_20230823.pdf \(u-tokyo.ac.jp\)](#)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101175344>

Medaka Slc12a8

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101163861>

Medaka PANK1

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=PANK1+Oryzias>

Medaka PCFT (SLC46A1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101170694>

Medaka FR (Folate Receptor)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101171932>

Medaka HLCS (Holocarboxylase synthetase, ホロカルボキシラーゼ合成酵素)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101169801>

Medaka BTB (biotinidase)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101173953>

Medaka SMVT (sodium dependent multivitamin transporter; SLC5A6)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101167595/>



Medaka GPX (glutathione peroxidase)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=glutathione+peroxidase+medaka>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101160642>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101164048>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/105354929>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101172806>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101165150>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101170806>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101161096>

Medaka SLC23A1 (SVCT1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101155711>

Medaka CAT (Catalase)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101158017>

Medaka SOD (スーパーオキシドディスムターゼ)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101170534>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101155245>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101169658>

Medaka Dcytb (シトクロム b; CYBRD1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101159870/>

Medaka NRF2 (Nuclear factor erythroid 2-related factor 2)

<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2000278117>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101171008>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101164853>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101172343>

Medaka ABCA1 (ATP Binding Cassette Subfamily A Member 1)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=ATP+Binding+Cassette+Subfamily+A+Member+1+medaka>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101163147>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101165853>

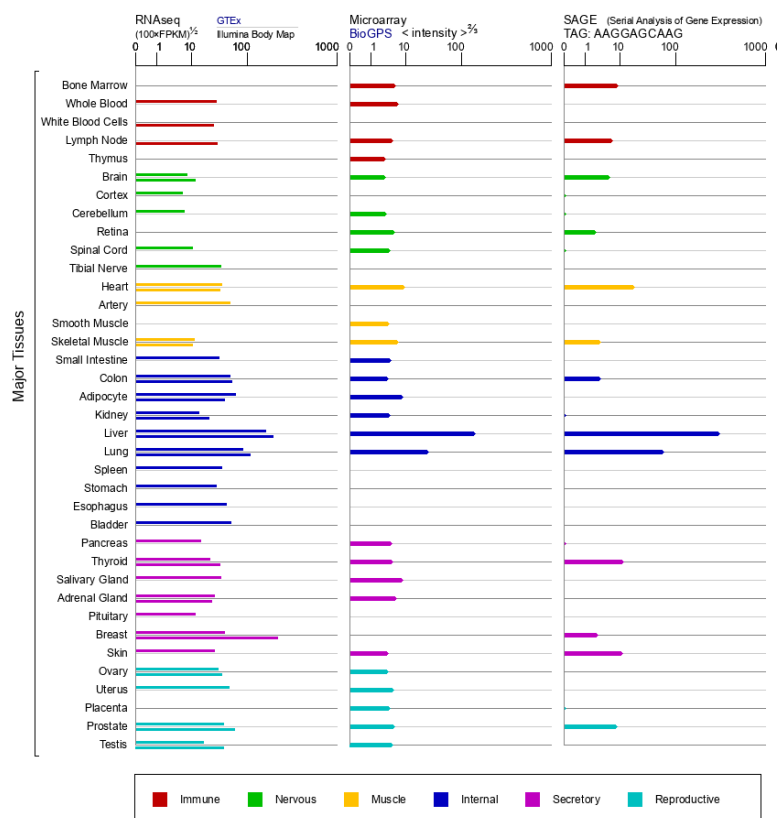
Medaka CES (Carboxylesterase, NLGN: Neuroligin 1)

<https://bsd.neuroinf.jp/wiki/%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%83%AD%E3%83%AA%E3%82%AE%E3%83%B3>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101159009>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100529172>

https://maayanlab.cloud/Harmonizome/gene_set/Carboxylesterase+type+B%2C+conserved+site/InterPro+Predicted+Protein+Domain+Annotations



[4] フタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) 関連

[フタホシコオロギ \(mushinavi.com\)](http://mushinavi.com)

https://www.zobodat.at/pdf/LBB_0042_1_0803-0815.pdf

[コオロギ - Wikipedia](#)

[5] キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) 関連

[3-268-01 バイアル瓶\(ショウジョウバエ飼育用\) 75813-160\(100 本×5トレイ\) VWR \(airis1.co.jp\)](#)

***Drosophila* mki67 (NiPp1)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/44748/> <https://thebiogrid.org/110434/summary/homo-sapiens/mki67.html>

[Coordination between cell proliferation and apoptosis after DNA damage in *Drosophila* | Cell Death & Differentiation \(nature.com\)](#)

***Drosophila* melatonin receptor**

<https://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=GPR50>

***Drosophila* GR**

<https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12866-020-01848-x>

***Drosophila* LRP (ApoER)**

<https://flybase.org/reports/FBgn0069398>

***Drosophila* transthyretin (TTR)**

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00724913>

ALDH (DmALDH)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3103639/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=DmALDH>

<https://flybase.org/reports/FBgn0012036>

***Drosophila* Retinol-binding protein (RBP)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6724816/>

pinta <https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q9VD09/entry>

<https://reactome.org/content/detail/R-DME-2980979-14>

<https://flybase.org/reports/FBgn0038966>

Nina (pinta の下流因子)

<https://www.sciencedirect.com/topics/nursing-and-health-professions/cellular-retinol-binding-protein>

NinaE = Rh1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=ninaE>

<https://flybase.org/reports/FBgn0002940.html>

<https://www.jneurosci.org/content/25/21/5187>

NinaB <https://flybase.org/reports/FBgn0002937>

CRALBP <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=CRALBP>

***Drosophila* Rdh1 (Retinol dehydrogenase 1)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/35708>

<https://flybase.org/reports/FBgn0033205>

***Drosophila* Additional sex combs (Asx: mammalian homolog ASXL1 interact with RAR)**

<https://www.sdbonline.org/sites/fly/gene/uspirc2b.htm> <https://flybase.org/reports/FBgn0261823>

ASXL1 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021925820556305>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/171023>



***Drosophila* RXR homologue (ultraspiracle: USP)**

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1327536/>

<https://flybase.org/reports/FBgn0003964>

***Drosophila* Pdha**

[FlyBase Gene Report: Dmel\Pdha](#)

***Drosophila* Pdhb**

[FlyBase Gene Report: Dmel\Pdhb](#)

***Drosophila* Dlat**

[FlyBase Gene Report: Dlat\bb](#)

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?term=dlat\[gene\]%20AND%20drosophila\[orgn\]%20AND%20alive\[prop\]%20NOT%20newentry\[gene\]%20&sort=weight](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?term=dlat[gene]%20AND%20drosophila[orgn]%20AND%20alive[prop]%20NOT%20newentry[gene]%20&sort=weight)

***Drosophila* DLD (CG7430)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/39988>

***Drosophila* Pdp (pyruvate dehydrogenase phosphatase)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=pyruvate+dehydrogenase+phosphatase+catalytic+subunit+1+drosophila>

***Drosophila* Pdk (pyruvate dehydrogenase kinase 1: Pdk1, complex: PDHX)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/38017>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/35970>

***Drosophila* lipoic acid synthetase: LIAS (Las)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/40259>

***Drosophila* Oxoglutarate dehydrogenase (Ogdh)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/39899>

***Drosophila* Isocitrate dehydrogenase (ldh)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/44291>

***Drosophila* Aminolevulinate synthase (Alas)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/37815>

***Drosophila* AST**

(Asparate aminotransferase Glutamic oxaloacetic transaminase, AST = glutamic-oxaloacetic transaminase, GOT)

[アスパラギン酸アミノ基転移酵素](#)

Got1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/36782>

Got2 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/33373>

***Drosophila* ALT (Alanine aminotransferase, ALT = glutamic-pyruvic transaminase, GPT)**

https://www.niph.go.jp/h-crisis/wp-content/uploads/2020/12/20201208104111_content_11131500_000702651.pdf

http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/amino_met.htm

CG1640 (ALT) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=Drosophila+glutamic-pyruvic+transaminase>

***Drosophila* Vitamin D receptor (VDR)**

<https://www.aging-us.com/article/205518/text>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcla.23988>



***Drosophila* SIRT1**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/34708>

***Drosophila* Slc12a8**

<https://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2017&context=honorstheses>

***Drosophila* PANK**

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19602483/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/46234>

***Drosophila* PCFT (SLC46A ortholog)**

<https://www.genome.jp/brite/dpe02000+6592998>

<https://www.researchgate.net/publication/229074331>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021925820368034>

<https://reactome.org/content/detail/R-DME-917870>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5513181/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=SLC46A1+Drosophila>

***Drosophila* DHFR (Dihydrofolate reductase)**

<https://flybase.org/reports/FBgn0004087.htm>

***Drosophila* HCS (Holocarboxylase synthetase)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/40659>

***Drosophila* Btnd (biotinidase)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/31552>

<https://flybase.org/reports/FBgn0029848>

***Drosophila* SMVT (sodium dependent multivitamin transporter; SLC5A6, CG2191)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/37294>

<https://flybase.org/reports/FBgn0039873>

***Drosophila* SLC23A1 (SVCT1)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=SLC23A1+Drosophila>

[FlyBase Gene Report: Dmel¥CG6293](#)

***Drosophila* Gtpx (Glutathione peroxidase)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/38413> [FlyBase Gene Report: Dmel¥Gtpx](#)

***Drosophila* Catalase (Cat, CG6871)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/40048>

***Drosophila* SOD (superoxide dismutase; スーパーオキシドディスムターゼ)**

<https://www.uniprot.org/uniprotkb/P61851/entry> [FlyBase Gene Report: Dmel¥Sod1](#)

https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?uniprot:P61851

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4274663/>

***Drosophila* Dcytb (シトクロム b; CYBRD1, CG1275)**

<https://www.mdpi.com/1422-0067/18/7/1456>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=drosophila+cybrd1>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/36395>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/38286>



***Drosophila* NRF2 (Nuclear factor erythroid 2-related factor 2)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/42743>

<https://flybase.org/reports/FBgn0262975>

***Drosophila* CG34210 (ABCA12, Idd)**

<https://flybase.org/reports/FBgn0083956>

***Drosophila* Nlg1 (Neuroigin 1)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/40913>

<http://flybase.org/reports/FBgn0051146>

[6] ビタミン K 関連文献

https://www.jstage.jst.go.jp/article/vso/94/3/94_184/_pdf

https://www.jstage.jst.go.jp/article/faruawpsj/51/3/51_220/_pdf

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsnfs/76/4/76_199/_pdf/-char/ja

[Vitamin K, SXR, and GGCX | IntechOpen](#)

[ビタミン K 再利用の新たなメディエーターの発見 | Nature ダイジェスト | Nature Portfolio](#)

[Vitamin K converting enzyme UBIAD1 plays an important role in osteogenesis and chondrogenesis in mice - ScienceDirect](#)

[これからはじめる フェロトーシス検出 同仁化学研究所 \(dojindo.co.jp\)](#)

[日本内科学会雑誌第 99 巻第 6 号 \(jst.go.jp\)](#) <https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q9BRQ8/entry>

[ビタミン K の新たな作用とその還元酵素を発見 50 年... | プレスリリース・研究成果 | 東北大学 -TOHOKU UNIVERSITY-](#)

[Molecular characterization of AIFM2/FSP1 inhibition by iFSP1-like molecules | Cell Death & Disease \(nature.com\)](#)

UBIAD1 (UbiA prenyltransferase domain containing protein 1)

Axolotl gene

[Dr999_pmt02900 \[nr\]Ubiad1 \[hs\]AMEX60DD301051134.1 at chr8p:391447667-391531444](#)

[Dr999_pmt02900 \[nr\]Ubiad1 \[hs\]AMEX60DD301051134.2 at chr8p:391447858-391531444](#)

[Loc107294608 \[nr\]Ubiad1 \[hs\]AMEX60DD301051134.3 at chr8p:391447902-391530667](#)

[Loc107294608 \[nr\]Ubiad1 \[hs\]AMEX60DD301051134.4 at chr8p:391447902-391531444](#)

[Dr999_pmt02900 \[nr\]Ubiad1 \[hs\]AMEX60DD301051134.5 at chr8p:391447902-391531444](#)

Medaka, *Oryzias* gene

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101169358>

***Drosophila* gene (heix, heixuedian)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=34961>

Nr1i2 (PXR, SXR: human <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/8856> / mouse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/18171>)

Axolotl gene

[Nr1i2|AMEX60DD301046953.1 at chr7p:73268392-74087497](#)

[Nr1i2|AMEX60DD301046953.2 at chr7p:73268463-74087497](#)

[Nr1i2|AMEX60DD301046953.3 at chr7p:73268463-74087497](#)

[Nr1i2|AMEX60DD201046953.4 at chr7p:73268505-74093874](#)

[Nr1i2|AMEX60DD301046953.5 at chr7p:73269768-74087497](#)

Medaka, *Oryzias* gene

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100144354>

***Drosophila* ortholog gene (Hr96)**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=42993>



GGCX (gamma-glutamyl carboxylase)

Axolotl gene

[Ggcx|AMEX60DDU001003384.2 at C0018050:125250-610787](#)

[Ggcx|AMEX60DDU001003384.1 at C0018050:125250-610787](#)

[Ggcx|AMEX60DDU001003384.3 at C0018050:125308-610787](#)

[Ggcx|AMEX60DDU001003384.4 at C0018050:125329-610787](#)

[Ggcx|AMEX60DDU001003384.5 at C0018050:125425-610787](#)

Medaka, *Oryzias* gene

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101172424>

Drosophila gene

<https://www.uniprot.org/uniprotkb/Q9NDA0/entry>

VKOR

Axolotl gene

[Vkorc1I1|AMEX60DD301054310.2 at chr9p:350320512-350489951](#)

[Vkorc1 \[nr\]|Vkorc1I1 \[hs\]|AMEX60DD301028254.1 at chr3p:734670247-734708883](#)

[Vkorc1I1|AMEX60DD301054310.1 at chr9p:350309263-350489951](#)

Medaka, *Oryzias* gene

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/101175272>

Drosophila gene

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/3346188>

FSP1 ([Ferroptosis suppressor protein 1; AIFM2](#))

Axolotl gene

[Aifm2|AMEX60DD301051886.1 at chr8q:38279250-38781611](#)

[Aifm2|AMEX60DD201051886.2 at chr8q:38279719-38781611](#)

[Aifm2|AMEX60DD102051886.3 at chr8q:38279729-38781611](#)

[Aifm2 \[nr\]|AMEX60DD201051889.1 at chr8q:41544921-41546069](#)

Medaka, *Oryzias* ortholog gene (aifm1, 3, 4)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=apoptosis+inducing+factor+mitochondria+associated+2+Oryzias>

Drosophila gene (AIF)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/33390>

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM_001272978.1?report=GenBank

奥付

ウーパールーパーだより vol 5.0

発行日・・・ 2024/3/30

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

Twitter URL https://twitter.com/lab_new2 (@lab_new2)



疲れたらビタミンを摂取しようね。

by 杉山 遥



ウーパールーパー研究室・はるらぼ

sugiyama.haruka.axolotl@gmail.com

since 2020~ (@lab_new2)

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

