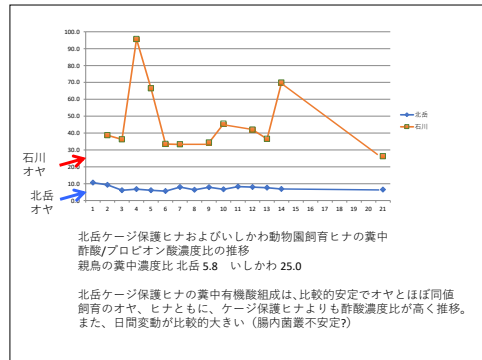


移を示しています。最初の頃は低いのですが、次第に盲腸が発達していくにつれて発酵も盛んになっていく様子が示されています。



一方で、このグラフは北岳でケージ保護を実施していたときの野生個体群です。この時のヒナは、既に短鎖脂肪酸濃度の高い状態から始まっていて、上がったりがったりはするのですが、親と同じレベルに飼育のヒナよりもずっと早くから到達します。ここで濃度が上がっているようなところは、盲腸発酵が促進されたという意味ですので、恐らく発酵に必要な細菌を取り込むために、前日あたりに親の盲腸糞を食べたことの影響がうかがわれるわけです。

一方で、こちらの飼育下のヒナでは、この当時は人工育雛で食糞行動を許容していない状態ですので、ヒナが周辺から細菌を取り込みつつ独力で腸内細菌叢をつくっていかなくちゃいけないということが示唆される結果になっています。

この図は短鎖脂肪酸それぞれの生成割合を見ていくために、酢酸という短鎖脂肪酸とプロピオン酸という短鎖脂肪酸の濃度の比率を示しています。

北岳のヒナの場合では、ずっとほぼ一定の状態、濃度の多少の上がり下がりはあるのですが、比率としてはほぼ一定していて、しかも、それは親とほとんど同じであることを示しています。

一方で、動物園で飼育していると、かなりの上がり下がりが起こっていて、腸内細菌の発酵パターンというのが日々大きく変動することが見て取れます。これ人工飼育の場合は、雛の腸内菌叢がかなり不安定でそのため盲腸発酵も不安定なままではないかと思われる。

まとめ

ライチョウの盲腸は、腸内細菌による発酵を進めるために、

1. 固液分離と逆送によって水分が多い
(盲腸内容物が排泄される盲腸糞は、水分が多い)
2. 固液分離によって、腸内細菌も回収できる
3. 嫌気性(酸素がない環境)
→ 短鎖脂肪酸を作ることができる
(消化吸収できない繊維質を有効活用し栄養にできる)
4. 短鎖脂肪酸のエネルギーで、水やミネラルを吸収

「まとめ」ですが、ライチョウの盲腸というのは、お示してきたように腸内細菌による発酵で高山植物をよりよく消化する仕組みとして発達しています。だから、固液分離が盲腸開口部と結腸近位部で起こって、そこから水が逆走されてくることによって水分が多くなっている。固液分離によって必要な腸内細菌を回収して、なくならないようにしている。

盲腸発酵による消化で、特徴的なことは、酸素がほとんどない環境で嫌気的な発酵を行い、それによって短鎖脂肪酸をつくることができるということです。このこと自体は、そもそも消化酵素がなくて消化吸収できない高山植物の繊維質を有効利用できるということにほかなりません。盲腸で腸内細菌によってつくられる短鎖脂肪酸のエネルギーで生活しているうえに、水やミネラルを吸収することもできているということで、盲腸のないライチョウというのは成り

立たないということでございます。

簡単ですけど、以上で発表を終わります。

○座長(中村 浩志) 大変分かりやすい発表をありがとうございました。

質疑応答

○座長(中村 浩志) 時間が4分ほどあります。質問がありましたら挙手をお願いいたします。——ございませんようでしたら次の発表に移らせていただきます。

そして、発表が全て終わった段階で10分間ほど総合討論の時間を取りますので、もし質問がありましたらそこで質問していただけたらと思います。

どうもありがとうございました。(拍手)



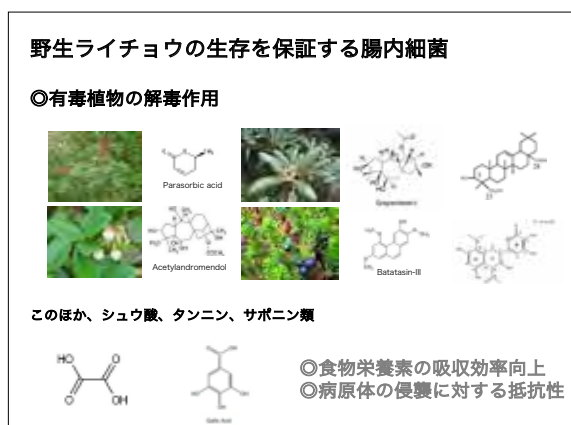
2「ライチョウの乳酸菌－生息環境を反映する腸内細菌」

土田さやか(中部大学応用生物学部講師)

○座長(中村 浩志) 次の発表は、同じく中部大学応用生物学部の土田さやかさんによる「ライチョウの乳酸菌－生息環境を反映する腸内細菌」です。よろ

しくお願いいたします。

○土田さやか 中部大学応用生物学部の土田と申します。よろしくお願いします。



我々の研究チームは希少種の保全に役立つ腸内細菌研究ということで研究を進めています。

具体的に何をしているかというと、それぞれの動物種を特徴づける乳酸菌の検索を行って、その有用性が明らかとなった菌を飼育下の個体に応用するというを行っています。

ライチョウでは、これはふん便、先ほどから何回も出てきています盲腸ふんを直接染色したのになりますが、上が野生ライチョウのふん便を染めたもの、下が飼育ライチョウのふん便を染めたものになります。

これは、先ほどから何度も御説明していますとおり、野生ライチョウの腸内細菌と飼育ライチョウの腸内細菌は全く異なるということが明らかになってきています。

ライチョウの生存を保証する腸内細菌ということで、先ほどの牛田先生の御発表にもありましたが、ライチョウは盲腸で非常に多くの細菌を飼っていて、野生の高山植物を分解して消化吸収するというの手助けをしています。ですので、高山植物を食べてそれをエネルギーにするには腸内細菌の存在が不可欠です。

ただし、ここにはちょっと「有毒植物」と書いてしまっていますが、ここに化学式をたくさん書かせています。このような毒や、シュウ酸、タンニンというようなすぐには毒にはならないのですが消化吸収を阻害するような物質がたくさん含まれている高山植物を分解することが必要です。

こういう腸内細菌はどのような作用を持っているかというと、栄養素の消化吸収効率を向上させて、かつ乳酸菌の特徴的な効果としては病原体の侵襲に対する抵抗性を示すということが上げられます。

野生のニホンライチョウから分離される乳酸菌についてですが、こちらに4種類の乳酸菌を挙げさせていただいています。

一番上は、もしかしたら皆さんも口にされたことがあるかもしれません。ラクトバチルス・プランタラム、植物性乳酸菌なんていう言い方でヨーグルトに入っていたりする菌です。

これは立山からになりますが、立山にすんでいる野生のニホンライチョウのふん便から分離されてきます。

こちらの2番目がラクトバチルス・アポデミです。

これは「野生のライチョウに特徴的」というふうには書いていますが、実はアカネズミなんかからも取れてきます。下に書いてありますが、タンニンの分解能力が非常に高いということが分かっています。

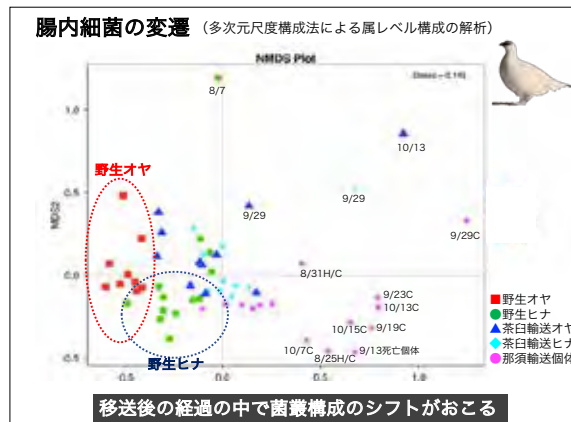
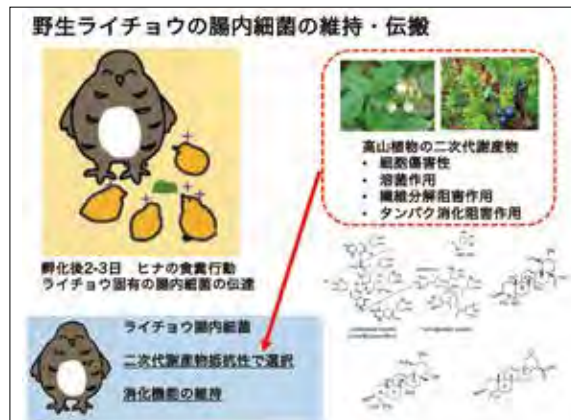
3つ目がラクトバチルス・ロイテリというのですが、これは様々な

動物、哺乳類も含めて動物から分離される乳酸菌で、ライチョウにも広く分布しているということになります。

最後の4つ目ですが、これは広義の意味での乳酸菌になりますが、ストレプトコッカス・ガロリティカス、一番下のほうに書いていますとおり、これもタンニンの分解能力が非常に高い細菌になります。

この青色で囲った2種類の菌というのは、ある地域特定ではなく、野生のライチョウであれば全ての個体が持っている非常にライチョウにとって特徴的な乳酸菌であると言えます。

ですので、この2種類がどういう能力を持っているかというと、先ほどから言っていますとおりタンニンの分解能力が高いということです。ですので、どの山域にいるライチョウにとってもタンニンというものをうまく分解することはライチョウの生存にとって非常に重要であるということが考えられます。



るときはこのあたりにぎゅっと群れとして固まった状態なのですが、地上に送られるとだんだんと野生のものからは離れていくというのが見て取れるかと思えます。

最初のほうは結構頑張ってるこの辺に位置するのですが、やっぱり日にちがどんどんたっていく、動物園での飼育の期間が長くなっていくと野生の腸内細菌叢からはずれていってしまうということが見て取れます。



小林さんとか中村先生のお話にもありましたが、中央アルプスでライチョウの復活作成というのが行われて、その作戦に我々腸内細菌学者がどのような貢献ができるかというのをここにお示しています。

ここに書いてありますけれども、腸内細菌学が野生復帰に貢献できることは、野生復帰が可能な個体かどうか、もうちょっと具体的に言うと、高山植物を分解できるような腸内環境を有しているかどうかというのを判定するということで復活作戦に貢献することができると考えます。

具体的に我々がやったのは、菌叢のモニタリングと、あとは高山植物の消化能力の判定、タンニンなどの二次代謝産物分解力の測定と、ちょっと今日は出てこないですけども病原体の判定というようなことで、中央アルプスへのライチョウ復活作戦へ我々は貢献しました。

先ほどから言っていますが、野生ライチョウの腸内細菌の特徴というのは、高山植物の二次代謝産物である有毒なものであったり反栄養物質であったりになりますが、そういうものをちゃんと分解することのできる能力を持っているかということが非常に重要な特徴です。

二次代謝産物といわれるものは細胞障害性があったり細菌自体を溶かしてしまったり、あとはタンニンなんかでいうとたんぱく質の消化阻害を起こすので、そういうものを分解して体に害がないようにしないといけないということで、二次代謝産物のこういう能力に対する腸内細菌叢があるかということも二次代謝産物の傾向性と消化機能の維持ということで判定しました。

すみません、ちょっと細かくなって見づらいなのですが、これがライチョウの持つ腸内細菌を網羅的に解析したものになります。

野生は赤い四角で示しています。

赤い破線の丸で示したところが野生のケージ保護をされている親の腸内細菌を表したものになります。

緑色は野生のひなを表しています。

大体一ところに固まっているので、違う個体であっても似たような腸内細菌叢を持っているということになります。

青の三角は茶臼山動物園に輸送した親で、薄い水色のひし形が茶臼山動物園に輸送したひなの腸内細菌を輸送した後も継時的に取って調べたものです。

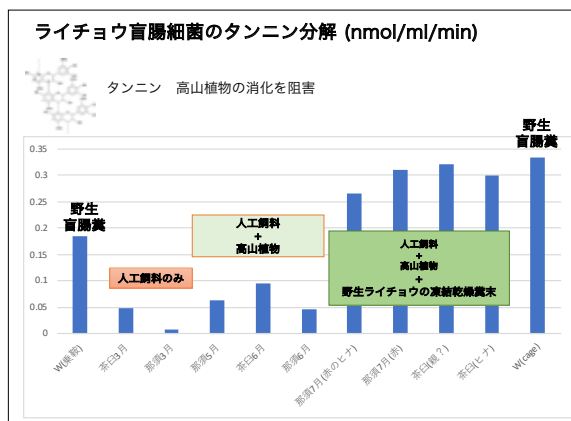
これは野生の親から離れば離れるほど子の群れとの腸内細菌叢が異なることを示しています。ですので、最初の野生下であ

これは大分見づらくて本当に申し訳ありません。生データみたいになっちゃっていますけれども、先ほどと同じように固まりで見ただけでもいいと思います。

野生の親が赤色のところ、野生のひなが緑色、だんだんだんだんにちがたっていく、この辺になると3月になります。この辺になると随分と野生のものからは離れてしまうという傾向にあります。

ここに2つだけちょっと丸をさせていただきましたが、茶臼山動物園に輸送した親のものが比較的野生のものに近いところに位置するということです。この2つは実は同じ個体でして、先ほど田村さんの発表にあったペレットを全く食べなかったという個体なので、恐らく一生懸命高山植物を食べていた、この2点のみの説明にはなりますが、

中村先生の御指摘どおり高山植物を食べることが飼育下でも非常に重要だということを示しているかと思います。



あとは、実際にふん便をもらって消化能力が維持されているか判定するということを行いました。

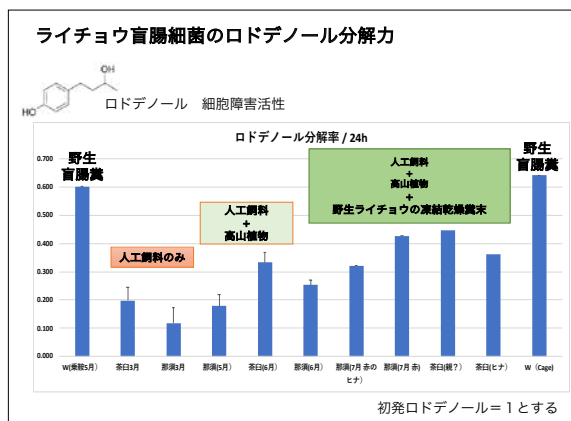
これはライチョウの盲腸内の細菌がタンニンをどれだけ分解するかということを示しています。

この辺、これですね、こっちを見ていただいたほうがいいと思います。

これが野生の盲腸ふんに含まれる細菌が示すタンニン分解能力になるのですが、この辺、人工飼料がほとんどで、ほとんど高山植物の給与がない時期は、輸送されて飼育下に置かれた個体というのはタンニンの分解能が落ちていることが分かります。

ただし、人工飼料に高山植物を足す、最後のほうは野生ライチョウの凍結乾燥ふん便を餌に混ぜて与えてもらうということを実施していただきました。そうすると大体野生と同程度のタンニン分解能力に戻ったということを示しています。

これはロドデノールという高山植物に含まれる毒なのですが、先ほどと同じように見ていただければ、野生ほど高くないのですが、これも徐々に徐々に餌を変えていくと、高山植物をプラスすると高くなるということが分かります。

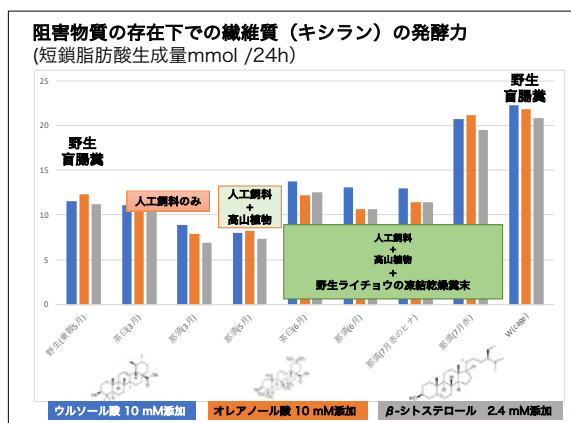


これは、この下の書かせていただいたウルソール酸、オレアノール酸、B-シトステロールというのは、これも高山植物に含まれる消化阻害物質になりますが、こういうものが存在している中で食物繊維であるキシランをどの程度分解できるかということを示しています。

野生の盲腸ふんがこれですが、非常に高いです。

これも先ほどと同様に、徐々に徐々に増やし、5月ぐらいから高山植物の給与ががって増えて、それに伴ってどんどん分解能力が上がっていくということが分かります。

これらの結果を基に、今回中央アルプスに復帰、再導入させる個体というのはちゃんと高山植物を消化できますよということの評価して中村先生にお伝えした次第です。



まとめ

- ✓ 人工飼料で飼育すると腸内細菌が30-40日で、飼育型腸内細菌にシフト
- ✓ 高山植物をあたえと、野生型に復帰傾向をしめす
- ✓ 高山植物の給与に加えて、野生の盲腸糞（凍結乾燥糞末）を給与すると高山植物の毒物分解力、消化力ともに大きく改善

↓

野生復帰が可能と判断された → 中央アルプスへの再導入

今後の課題

- ✓ 高山植物代替品となる飼料の開発（高山植物栽培、化合物合成も視野に入れる）

まとめに入ります。

人工飼料で飼育すると腸内細菌は大体30日から40日で飼育型腸内細菌叢というところに大きくシフトしてしまうということが分かりました。

ただし、高山植物を与えると野生型の腸内細菌に復帰する傾向があるということが分かりました。

高山植物の給与に加えて、野生の盲腸ふんの乾燥粉末を加えると、さらに高山植物の毒物の分解力だったり消化力だったりというものが大きく改善するということも分かりました。

これらを基に野生復帰が可能と判断された個体を中央アルプスへ再導入していただいたということになります。

今後の課題としては、高山植物の代替品となる飼料の開発などを考えていかなければならないというふうに考えています。

私の発表は以上です。

○座長(中村 浩志) ありがとうございました。(拍手)

質疑応答

○座長(中村 浩志) 時間が若干ございますので、質問がありましたらお願いいたします。
一番前の方。

○質問者8 駒ヶ根市の北村と申します。
大変興味あるお話をありがとうございました。
腸内細菌叢のシフトは鳥の年齢には関係なく起こりますか。

○土田さやか そうですね、基本的には鳥の年齢には関係なく、野生下から飼育下かというようなドラスチックな変化があれば起こると考えていいと思います。

○質問者8 ありがとうございました。

今は腸内細菌叢を再構成する場合は高山植物の代替品を入れるという御提案があったと思うのですが、腸内細菌叢そのものを人工的に再構成させる、食べさせるというような取り組みはお考えではないですか。

○土田さやか すみません。ちょっと私の説明が悪かったかもしれないのですが……。
1枚戻ってもらっていいですか。

野生ライチョウの凍結乾燥ふんというのは、これは実際に野生で取っていただいたふん便を凍結して乾燥した粉末を餌に混ぜて与えてもらっています。基本的にこれがふん便を移植するというようなことと同等なので、ふん便を与えているのとはほぼ同じであると思います。

○質問者8 例えば腸内細菌叢のプロファイリングが分かっていたときにリコンビナントとかで再構成するとか、そういうことまでは……

○土田さやか それをやろうと思うと、基本的に全ての細菌が培養できるという前提の下になります。

人でも今培養できて手元に持てる、保存しておけるというような細菌種というのは全体のおよそ20%程度で、80%ぐらいは私たちが培養することができない細菌だと言われています。

ライチョウになると培養できない細菌が人のものより随分と多いので、やっぱりリコンビナントでというのは、なかなか全体を表すのは難しいと考えています。

○質問者8 大変勉強になりました。ありがとうございました。

3「動物園のライチョウの産卵に影響する母鳥の生理と環境」

金原 弘武(岐阜大学応用生物科学部)

小野ゆきな(岐阜大学応用生物科学部)

楠田 哲士(岐阜大学応用生物科学部)

○座長(中村 浩志) では、次に3番目の発表に移らせていただきます。

金原さん、小野さん、楠田さん3名による連名の発表ですが、岐阜大学応用生物科学部の方です。「動物園のライチョウの産卵に影響する母鳥の生理と環境」ということで、金原さん、発表をお願いいたします。

○金原 弘武 岐阜大学の金原弘武と申します。本日はよろしくお願いいたします。



私たち岐阜大学ではニホンライチョウの繁殖生理について研究しております。

ニホンライチョウのモデル動物であるスバルバルライチョウの飼育が2008年から始まりましたが、私たちの繁殖学に関する研究もここから始まっています。

その後、中村先生と小林先生のご協力の下、野生のニホンライチョウにおいて野外の繁殖内分泌について調査されました。

そして、実際に2015年からニホンライチョウの飼育が始まりましたが、私たちはニホンライチョウの繁殖生理を調査し、飼育下繁殖技術のさらなる向上を目的として現在まで研究を行っております。

鳥の繁殖が実際にどうなっているのかについて簡単に説明していきます。
繁殖は主にホルモンによってコントロールされています。