

第 477 回月例研究会資料

ブタのアミノ酸栄養の新機軸

令和 5 年 7 月 26 日

農研機構 畜産研究部門食肉用家畜研究領域  
食肉用家畜飼養技術グループ 上級研究員

石田藍子



# SDGsとエコフィード



近頃、耳にすることが多い、『SDGs（エスディー・ジーズ）』皆様ご存知のとおり、国連で採択された持続可能な開発目標のことであり、我々が取り組んでいかなければならない17個の目標です。

12 つくる責任  
つかう責任



その中の目標12「つくる責任 つかう責任」の中に、廃棄物の管理や削減などの内容が盛り込まれています。人間が生活していく以上、ものは消費され、いずれは廃棄物となります。私たちには、ものを「つかう責任」があり、その責任の上で、「ゴミを減らす（Reduce）」、「繰り返し使う（Reuse）」、「資源を循環する（Recycle）」という“3R”に取り組まなければなりません。

パンや弁当など食品を製造する工場等から排出される原料や製品の残さ、売れ残り製品等を廃棄物にせず、これらを食品循環資源として加工し、飼料化された「エコフィード」は、まさに“3R”を実践するものです。

日本科学飼料協会では、食品循環資源を原料として製造し、一定の基準を満たした飼料をエコフィードとして認証する「エコフィード認証制度」の窓口としての活動を行っています。

エコフィード認証制度については、ホームページに「エコフィード認証制度実施の手引き」をご用意しています。ご興味のある方は是非ご覧ください。



エコフィードは、エコロジカル（環境にやさしい）やエコノミカル（節約する）の「エコ」と飼料を意味する「フィード」を組み合わせた造語です。

## お問い合わせ先

一般社団法人日本科学飼料協会

〒104-0033 東京都中央区新川2-6-16 馬事畜産会館 6階

TEL : 03-3297-5631 FAX : 03-3297-5633

E-mail: info@kashikyo.lin.gr.jp ホームページ: <http://kashikyo.lin.gr.jp/>

# ブタのアミノ酸栄養の新機軸

農研機構畜産研究部門食肉用家畜研究領域  
石田 藍子

NARO

1. リジンの不足・充足による代償性成長に関する研究
  - 1) ブタの代償性成長と窒素蓄積
  - 2) ラットの代償性成長時におけるタンパク質代謝
  - 3) C2C12筋管細胞における代償的なタンパク質蓄積の検討
2. ブタにおけるアミノ酸トランスポーターの研究
  - 1)アミノ酸トランスポーターの発現分布
  - 2)栄養が塩基性アミノ酸トランスポーターの発現に及ぼす影響

+  $\alpha$ -1. 授乳豚への飼料用米給与+  $\alpha$ -2. 最近のデータの紹介 (Cat-1発現量は指標になるか)

2

## 代償性成長とは

✓代償性成長とは・・・

成長を抑制された動物が、その抑制が解除された後に同日齢の個体よりも高い成長速度を示す現象。

✓20世紀の初めにウシおよびラットで報告(Waters, 1908)。

✓再現性が難しく、メカニズムの解明が進んでいない。

✓リジンは必須アミノ酸であり、穀物中の含量が低いため、穀物主体飼料で不足しやすい。

✓飼料中リジン含量を不足から充足へ変えることにより、代償性成長を誘発できると仮説をたてた。

✓再現性を確保し、メカニズムについて研究。

3

## 代償性成長の研究概要

飼料中リジン含量の不足から充足への変化により代償性成長が誘発されるか検討しそのメカニズムを明らかにする。

1. 飼料中リジン含量の充足によるブタの代償性成長と窒素蓄積

2. ラットの代償性成長時におけるタンパク質代謝

3. C2C12筋管細胞における代償的なタンパク質蓄積の検討

4

## 1-1. 実験概要(ブタ)

- 供試動物：LWD交雑種ブタ 6週齢 オス  
(0-21日:n=10, 21-24日:n=5)
- 試験飼料：対照飼料 (Lys:1.15%)  
リジン不足飼料 (Lys:0.74%)
- 処理区およびスケジュール  
対照区：24日間対照飼料を給与  
代償性成長区：リジン不足飼料を21日間給与後に飼料を切り替え、  
3日間対照飼料を給与

### <測定項目>

- 飼養成績、血清中インスリン様成長因子-I(IGF-I)濃度、  
血清中コルチゾール濃度、窒素蓄積量

5

1. 飼料中リジン含量の充足によるブタの代償性成長と窒素蓄積  
⇒リジンの充足に伴い代償性成長が誘発され  
このとき、体内への窒素の蓄積は高い。

A. Ishida et al. *Animal Science Journal*, 83, 743-749, (2012)

体タンパク質の合成と分解のどのような変化によるのか不明。  
最大の蓄積器官である骨格筋のタンパク質代謝について検討。

## 2. ラットの代償性成長時におけるタンパク質代謝

目的:リジンの充足による代償性成長時における  
骨格筋タンパク質代謝の変化を明らかにする。

6

## 1-2. 実験概要(ラット)

- 供試動物：Wistsar ラット 4週齢 オス (n=6)
- 試験飼料：対照飼料 (Lys: 1.30%)  
リジン不足飼料 (Lys: 0.46%)
- 処理区およびスケジュール  
対照区：対照飼料を21日間給与  
代償性成長区：リジン不足飼料を14日間給与後、飼料を切り替え、  
対照飼料を7日間給与

### 測定項目

飼養成績、腓腹筋重量、骨格筋タンパク質合成速度、  
骨格筋タンパク質分解速度、血清中IGF-I濃度、  
血清中コルチコステロン濃度、Atrogin-1 mRNA発現量

7

## 2. ラットの代償性成長時におけるタンパク質代謝

リジンの充足に伴い  
IGF-Iが増加 ⇒骨格筋タンパク質合成が増加し、  
骨格筋タンパク質分解が抑制された。  
グルココルチコイドが減少⇒骨格筋タンパク質合成が増加され、  
骨格筋タンパク質分解が抑制された。  
⇒ ⇒ ⇒骨格筋重量が増加

A. Ishida et al. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 57, 401-408, (2011)

リジンの充足に伴う骨格筋タンパク質代謝に及ぼす影響が、  
リジンの直接的作用によってもおきるのかは不明。

## 3. C2C12筋管細胞における代償的なタンパク質蓄積の検討

目的：培地中リジンの充足により代償的なタンパク質  
蓄積が誘発されるか明らかにする。

8

### 1-3. 実験概要(C2C12筋管細胞)

- C2C12筋芽細胞：筋管へ分化誘導2日後、実験に用いた。
- リジン濃度 (0.8 mM=DMEMと同じ or 0.04 mM)

- IGF-IとDexの組み合わせ  
IGF-1 100ng/ml, デキサメタゾン1 μM  
or  
IGF-1 50ng/ml, Dex 1.5 μM

PC: Positive control	1x Lys IGF-I 100, Dex 1	1x Lys IGF-I 100, Dex 1
NC: Negative control	1/20x Lys IGF-I 50, Dex 1.5	1/20x Lys IGF-I 50, Dex 1.5
+Lysine	1/20x Lys IGF-I 50, Dex 1.5	1x Lys IGF-I 50, Dex 1.5
+Hormone	1/20x Lys IGF-I 50, Dex 1.5	1/20x Lys IGF-I 100, Dex 1
+Lysine&Hormone	1/20x Lys IGF-I 50, Dex 1.5	1x Lys IGF-I 100, Dex 1

- 測定項目
  - ・細胞内タンパク質量

0time      18H      36H  
培地の切り替え

実験3 予備実験より  
培地中リジン濃度の充足のみでは代償的なタンパク質蓄積は誘発されない。

IGF-I濃度の増加およびグルココルチコイド濃度の低下が必須ではないか。

### 3. C2C12筋管細胞における代償的なタンパク質蓄積の検討

リジン濃度の増加、IGF-I濃度の増加、Dexの低下によって、代償的なタンパク質蓄積が誘発されるか。

リジンの不足から充足に伴う代償性成長前後の生体内での変化を組み合わせる実験

9

10

培地中リジンの充足とIGF-I濃度の増加およびグルココルチコイドの低下の組み合わせ  
⇒代償的なタンパク質蓄積が誘発された。

A. Ishida et al. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 77, 2302-2304, (2013)

ブタおよびラットにおける代償性成長がリジン単独の直接作用によるものでなく、血中IGF-I濃度の増加および血中グルココルチコイド濃度の低下を介して誘発されると考えられた。

11

### 1. 代償性成長研究概要

#### ○飼料中リジン含量の充足によるブタの代償性成長と窒素蓄積

→飼料中リジン含量の充足により代償性成長が誘発され、代償性成長時に窒素蓄積が高くなる。

#### ○飼料中リジン含量の充足によるラットの代償性成長時とタンパク質代謝

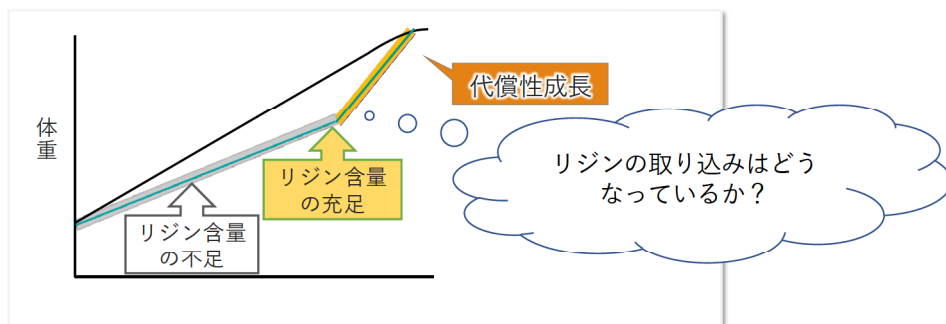
→骨格筋タンパク質合成が増加し、タンパク質分解が抑制される。  
リジン濃度の増加、IGF-I濃度の増加、グルココルチコイドの低下を伴う。

#### ○C2C12筋管細胞における代償的なタンパク質蓄積の検討

→培地中リジン濃度の増加のみでは代償的なタンパク質蓄積は起きない。  
IGF-I濃度の増加およびグルココルチコイド濃度の低下により代償的なタンパク質蓄積が誘発される。

12

## 代償性成長時のアミノ酸トランスポーター発現



Cationic amino acid transporter (Cat)-1…基質 Lys, Arg, His  
 ⇒Lys充足後もCat-1 mRNA発現高いまま

生体内でアミノ酸のトランスポーターの  
 栄養に対する適応は複雑で重要では？

13

## 成長とAAT発現部位 アンガス種

- 哺乳期、離乳後、育成期、肥育期の十二指腸、空腸、回腸
- 塩基性アミノ酸トランスポーターCat-1発現量 mRNA発現量  
 →空腸での発現量が育成期で高い。

Liao et al. 2008, *J. Anim. Sci.* 86, 620-631

## ウマは大腸でAAT発現が高い

- 中性アミノ酸トランスポーター LAT-3、塩基性アミノ酸トランスポーター b<sup>0+</sup>ATの発現が高い
- 飼料の大部分を吸収する大腸でのアミノ酸吸収に寄与している可能性

Woodward et al. *J. Anim. Sci.* 2010, 88: 1028 -1033

## ブタのAAT発現は不明

→様々な器官のAAT mRNA発現量を調べる。

14

## 2. ブタにおけるAATの研究

1. ブタ組織・器官におけるアミノ酸トランスポーターの発現分布

2. 栄養が塩基性アミノ酸トランスポーターの発現に及ぼす影響

1. ブタ組織・器官におけるアミノ酸トランスポーターの発現分布

目的: ①ブタの臓器におけるAAT発現を調べる。

②初期成長時のブタの骨格筋におけるCATsのmRNA発現量の変化を明らかにする。(骨格筋部位でも比較)

15

## 2-1. 実験概要(ブタ組織における分布)

- 供試動物：LWD交雑種ブタ 0, 7, 12, 26, 45日齢(同腹子)
- 一般管理下における各日齢にて採材
- 組織・器官：胸最長筋、大腿二頭筋、菱形筋、肝臓、腎臓、心臓、  
 大脳、胃、十二指腸、空腸、回腸、大腸
- mRNA発現量を測定:  
 Cat-1, Cat-2, Cat-3, EAAC1, ASCT1, ATB<sup>0+</sup>, y<sup>+</sup>LAT1, BAT1, SN2

16

- ・組織・器官でのブタのAAT発現分布が明らかに
  - ・骨格筋でCat-1もCat-2Aも成長に伴って発現量は変化
  - ・パターンは骨格筋間で変わらない
  - ・Cat-2 mRNA発現量は骨格筋により発現量に差がある
- Ishida, A et al. *Amino Acids* 49, 1805-1814 (2017).

栄養状態によって、どのようにCatsの発現量が変化するか不明。

2. 栄養が塩基性アミノ酸トランスポーターの発現に及ぼす影響

タンパク質制限・エネルギー制限によるCat-1とCat-2の mRNA発現量への影響は?

+ α 1 : 豚への飼料用玄米給与

- ・肥育後期豚
  - トウモロコシ全量を飼料用玄米に代替した飼料飼養成績に影響を及ぼさず肥育できる(勝俣ら, 2015)
- ・授乳期母豚の栄養管理
  - ✓子豚の成長
  - ✓母豚の回復
 } →生産性に影響 **重要**  
 飼料用玄米を多給した報告はない。

トウモロコシを飼料用玄米に全量代替した飼料を給与

授乳豚および子豚の飼養成績、乳中の免疫指標に及ぼす影響について検討。

+ α 1. 実験概要(授乳豚への飼料用玄米多給)

- ・LW交雑種 メス13頭 2産次 (対照区6頭、玄米区7頭)
- ・処理区 対照区 (トウモロコシ主体飼料) 玄米区 (飼料用玄米主体飼料) H27年度産飼料用コシカ
- ・分娩1日後から21日後まで給与
- ・子豚は一腹10頭、えづけ飼料は給与せず

試験飼料の配合設計

原料, %	試験飼料
トウモロコシまたは玄米	65.00
大豆粕	19.04
魚粉 (CP65%)	1.00
フスマ	4.70
大豆油	2.50
コーングルテンフィード	5.00
L-lysine・HCl	0.26
ビタミン・ミネラルミックス	2.50

<測定項目>

飼養成績、背脂肪厚、発情回帰日数、血液成分、乳中および血中IgGおよびIgA

<統計>

t検定、混合モデル (反復測定データ)

- ・玄米給与は…
  - ✓母豚の飼養成績および発情回帰日数に影響しない
  - ✓子豚の増体に影響しない
  - ✓母豚の血中総タンパク質が上がる
  - ✓乳中IgG, IgAに影響しない
  - ✓玄米給与により母豚の血中 IgG増加
- 飼料用由来の高い Arg の影響か
- 石田ら、日本畜産学会報、89, 47-54(2018)

トウモロコシから飼料用玄米への全量代替は可能。妊娠期での給与については検討が必要。

- 供試動物：LWD同腹仔 3頭×6腹分 (n=6)

- 5週齢から2週間飼養 (10.9±1.1 kg)

- 処理区

	CP含量	摂取量		タンパク質 摂取量	エネルギー 摂取量
対照区：C	21%	飽食	➔	C 100%	100%
制限区：FR	21%	76%に制限		FR 76%	76%
低タンパク質区：LP	16%	飽食		LP 76%	100%

- 測定項目：骨格筋(胸最長筋、大腿二頭筋、菱形筋)のCat-1、Cat-2A mRNA発現量、血漿中アミノ酸濃度、骨格筋遊離アミノ酸濃度

### 栄養状態がCatsのmRNA発現に及ぼす影響

- Cat-1 mRNAは低CP飼料で高くなる。
- Cat-2Aは低CP質飼料と制限給餌で発現量が異なる。
- 骨格筋の遊離アミノ酸がCat-1発現量に影響していると示唆。

A. Ishida et al. *Animal Science Journal*, in press

## + α 2 : Cat-1発現量は栄養状態の指標になる?

- 筋肉、肝臓のCat-1mRNA発現量が、ブタのリジンの栄養状態の指標となるか、検討を進めている。

発表ではデータを少しご紹介します。