

2024年11月14日

令和6年度JRA畜産振興事業調査研究発表会

事業名：昆虫タンパク質の豚用飼料有用性評価及び普及事業

昆虫タンパク質の飼料有用性評価の取り組み

－昆虫タンパク質の機能性と今後の課題について－

事業実施主体



香川大学
KAGAWA UNIVERSITY

香川大学農学部 准教授 川崎浄教

事業の概要

アメリカミズアブ幼虫粉末が豚用飼料原料として有用か評価するため
母豚や子豚に長期給与して繁殖成績や成長成績に及ぼす影響を検証



2019–2020年度に実施した鶏への給餌試験の結果も含め
昆虫の飼料利用に関する情報を普及

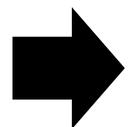
背景・目的



- 入手が不安定な魚粉や大豆粕に替わる素材のニーズ
- 持続可能な動物性タンパク質資源として昆虫の利用に期待

アメリカミズアブ (BSF)

- 北海道を除く日本全土に戦後から定着
- 作物・人畜には害を及ぼさない
- 幼虫は幅広い有機物で成長し、高タンパク質飼料として利用可能
- 動物性タンパク質の代替素材として豚に長期給与した例は少ない



幼虫粉末で動物性タンパク質を代替して
長期給与し、繁殖成績・成長成績への影響を検証

2019-2020に実施した事業

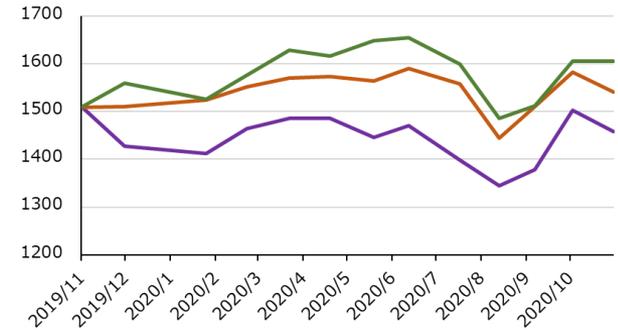
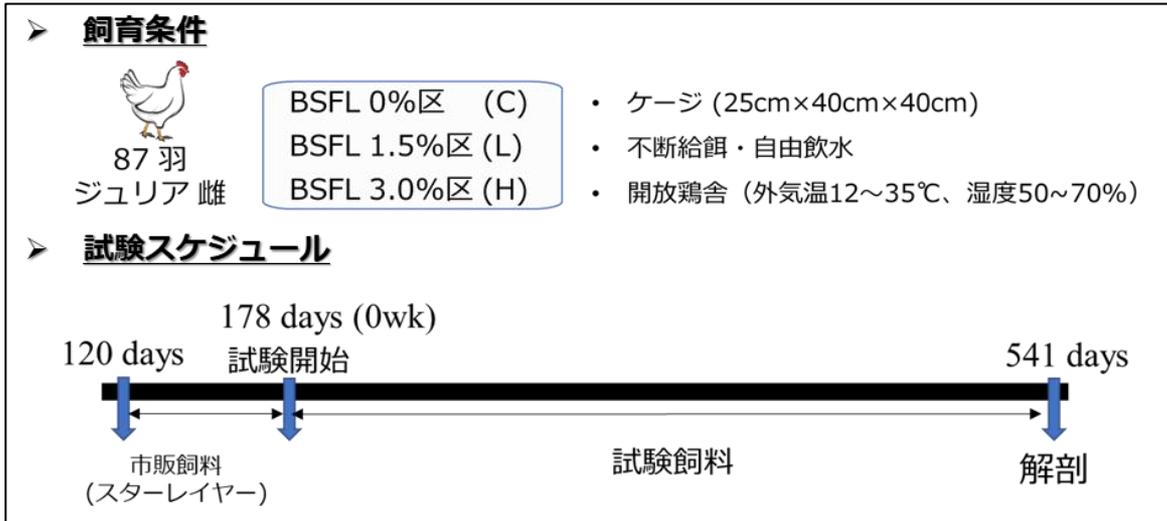


図1. レイヤーの体重

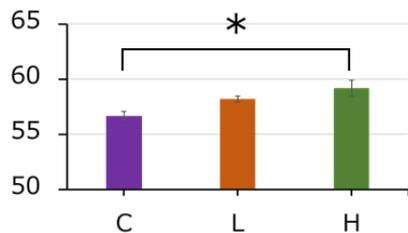


図2. 平均卵重

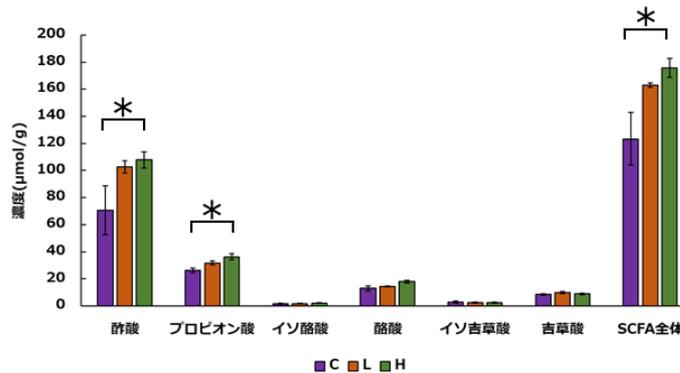


図3. レイヤーの盲腸内短鎖脂肪酸濃度

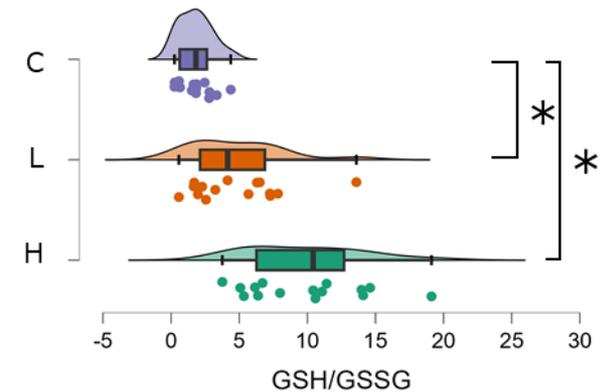


図4. レイヤー体内の酸化ストレス度合

* 数値が低いほど酸化ストレスにさらされている

* ボンフェローニ補正マンホイットニーのU検定を用いて検定を行った結果、有意差あり (p < 0.05)

事業内容

昆虫タンパク質の豚用飼料有用性評価及び普及事業

アメリカミズアブ（ミズアブ）幼虫粉末

代替

動物性タンパク質

目標および期待できる成果

- ・ 持続性の高い畜産
- ・ 濃厚飼料自給率の向上



未解決項目

- ①母豚や肥育豚の生産性への影響
- ②豚肉の品質への影響
- ③昆虫の飼料利用に関する情報の不足

①および②の検証：ミズアブ幼虫粉末の有用性評価

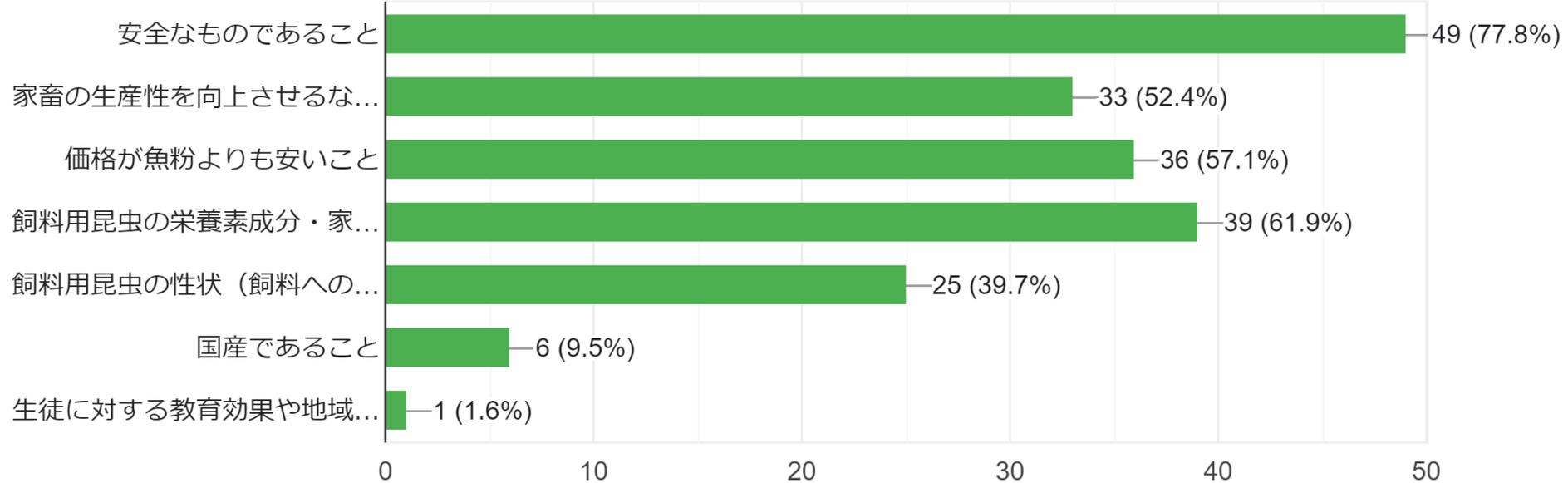
1. 母豚への長期飼育試験の実施
 - ・ 繁殖成績（産子数、哺乳子豚離乳時体重等）
 - ・ 栄養生理（腸内細菌叢、短鎖脂肪酸濃度等）
2. 肥育豚への長期給餌試験の実施
 - ・ 成育成績（飼料効率、増体重、罹患率、死亡率等）
 - ・ 栄養生理（消化管組織、腸内環境等）
3. 豚肉の品質評価の実施
 - ・ 理化学分析（一般成分、ドリップロス等）
 - ・ 食味試験（官能評価、味覚・外観・食感分析）

②の解決：昆虫の飼料利用に関する情報の普及

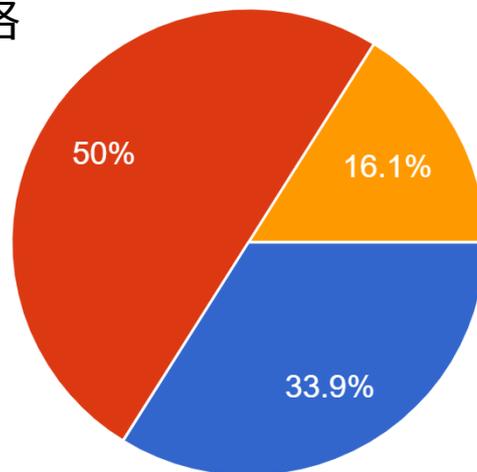
1. アンケート調査
全国の畜産現場へ昆虫の飼料利用に対する認識を調査
2. 冊子の配布
全国の畜産現場へ昆虫の飼料利用に関する情報を記載した冊子を配布
昆虫粉末の飼料利用を促進

アンケート結果 (2024/3月末時点)

何が重要か (3つまで)



飼料用昆虫の価格



- 40~60円/kg (牧草と同程度)
- 60~100円/kg (穀類・糟糠類・油粕類と同程度)
- 100~200円/kg (魚粉と同程度の価格)
- 200円/kg~

母豚への給餌試験

試験区

C区：対象区

L区：BSFで魚粉50%代替区（BSF 2.3%含有）

H区：BSFで魚粉100%代替区（BSF 4.6%含有）



飼料調製：母豚用

試験飼料組成

飼料原料	C	L	H
トウモロコシ	62.93	63.42	63.35
大豆粕	10.00	9.37	7.06
魚粉 (CP65%)	4.60	2.30	0.00
ミズアブ粉末	0.00	2.30	4.60
脱脂米糠	7.70	7.81	7.80
コーングルテンフィード	4.40	4.46	4.46
DDGS	4.20	4.37	4.37
フスマ	0.00	0.00	2.50
動物性油脂	2.50	2.60	2.60
コーン油	0.50	0.10	0.00
炭酸カルシウム	0.50	0.47	0.46
第3リン酸カルシウム	1.50	1.49	1.49
食塩	0.30	0.28	0.28
ビタミンミネラルミックス	0.17	0.17	0.17
リジン塩酸塩	0.69	0.84	0.84
L-トレオニン	0.01	0.02	0.02

試験飼料成分値 (計算値)

成分	C	L	H	要求量
TDN	78.00	79.07	77.92	74.8
粗蛋白質	16.33	16.24	15.35	15.0
粗脂肪	6.12	5.90	5.86	-
粗繊維	2.93	3.06	3.33	-
粗灰分	5.41	5.17	5.08	-
NFE	70.06	69.62	70.37	-
Ca	0.88	0.87	0.80	0.5
P	0.84	0.80	0.76	0.2
Na	0.23	0.19	0.19	0.1
リジン	1.31	1.37	1.30	0.8
メチオニン	0.30	0.29	0.27	0.2
トレオニン	0.63	0.60	0.57	0.4
GE Mcal/kg	4.78	4.69	4.68	-

単位：現物w/w%

測定・解析項目

(1)繁殖成績

産子数、離乳子豚頭数、離乳時子豚体重

(2)血液性状・血球組成

(3)乳中成分

(4)糞便

糞便中細菌叢・短鎖脂肪酸濃度

統計解析

- ・ 共分散分析を実施
- ・ 共変量として母豚の産歴や分娩頭数を使用

母豚繁殖成績 (n=10)

項目	C	L	H	p-value ¹
分娩時子豚頭数 [†]	9.9 ± 1.3	8.8 ± 1.2	12.3 ± 0.8	0.064
離乳時子豚頭数 [†]	9.0 ± 1.1	7.9 ± 1.3	10.9 ± 0.7	0.116
離乳率 [‡]	92.4 ± 2.1	89.4 ± 6.2	90.4 ± 4.8	0.833
出生時子豚体重 (g) [‡]	1227.3 ± 66.7	1449.4 ± 98.2	1207.8 ± 54.9	0.162
21日齢時子豚体重 (g) [‡]	6648.1 ± 449.8	7538.2 ± 527.8	5671.8 ± 233.8	0.100
離乳時子豚体重 (g) [‡]	9113.1 ± 557.4	9956.3 ± 705.8	7685.4 ± 277.9	0.205
増体重 (21-28d, g) [‡]	2465.0 ± 162.3	2418.1 ± 224.0	2013.7 ± 110.9	0.518
増体重 (0-28d, g) [‡]	7925.0 ± 517.6	8498.1 ± 627.4	6439.8 ± 277.4	0.186

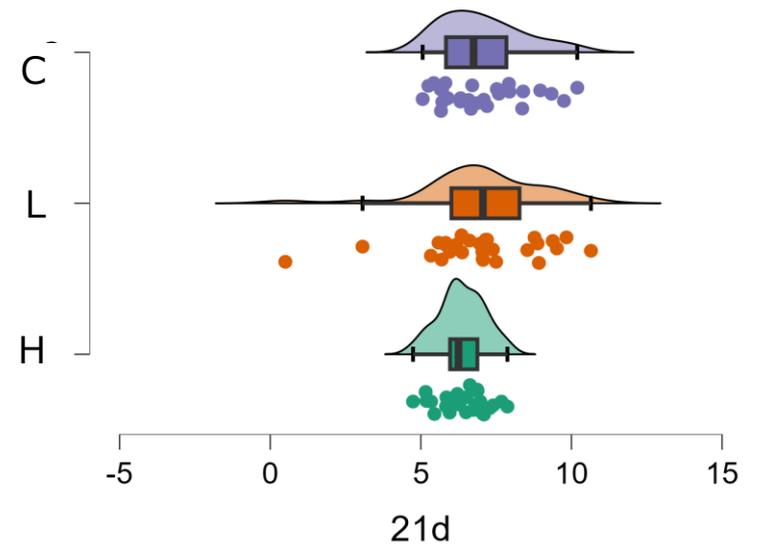
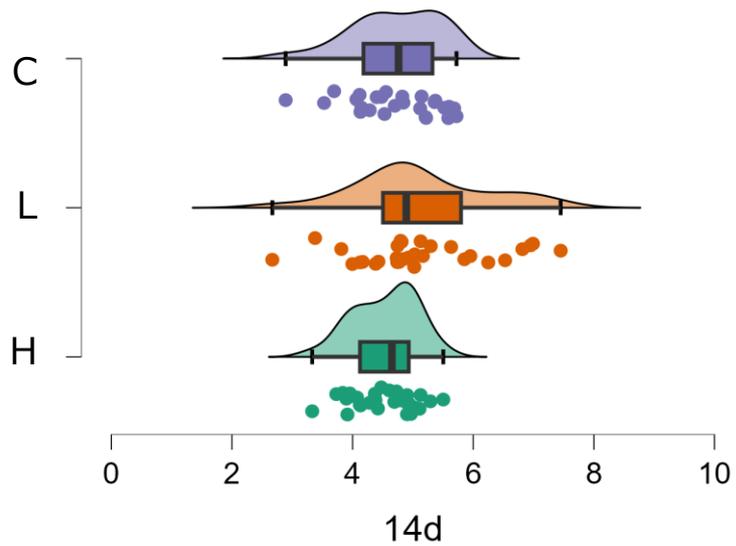
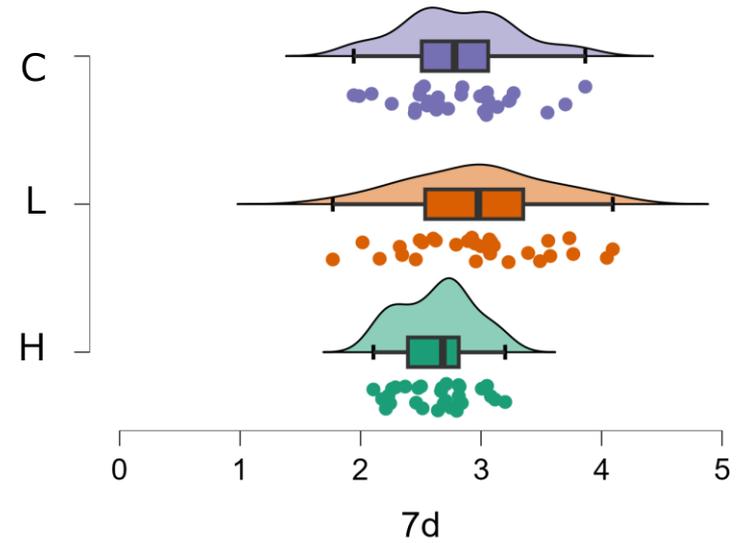
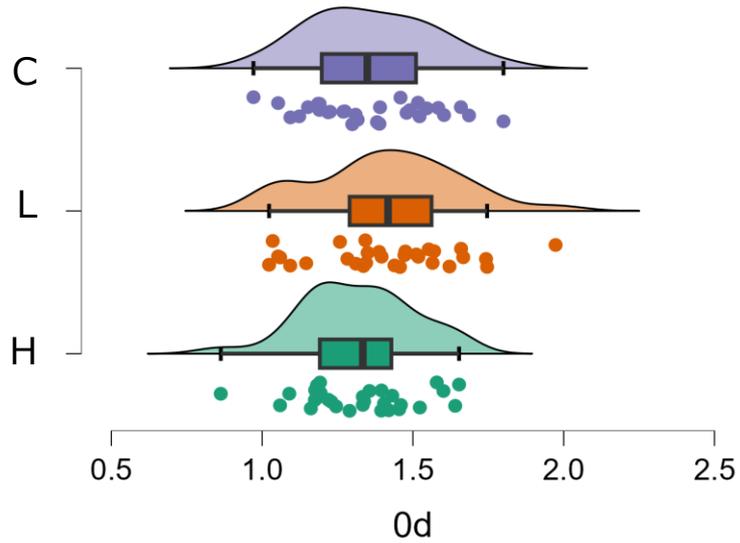
データ: 平均値 ± 標準誤差.

1 有意水準0.05以下の時、有意差あり

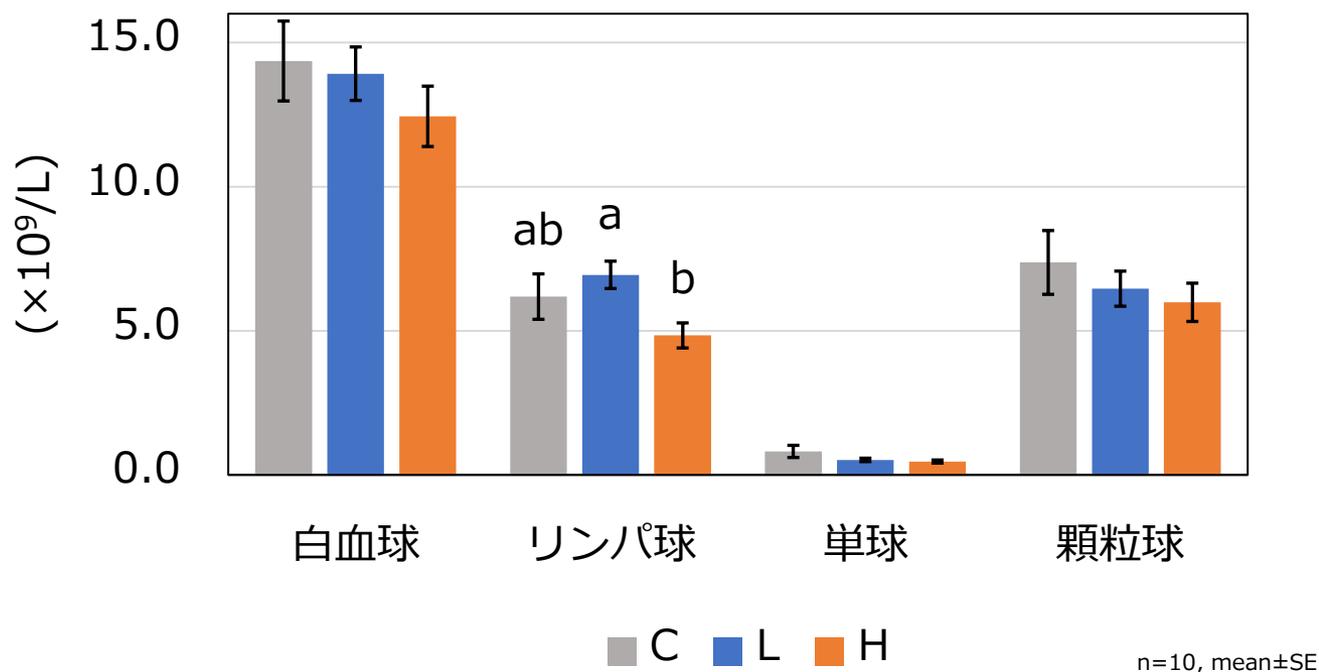
† 母豚の産歴を交絡因子として共分散分析を実施

‡ 分娩時子豚頭数を交絡因子として共分散分析を実施

子豚体重 (哺乳中)

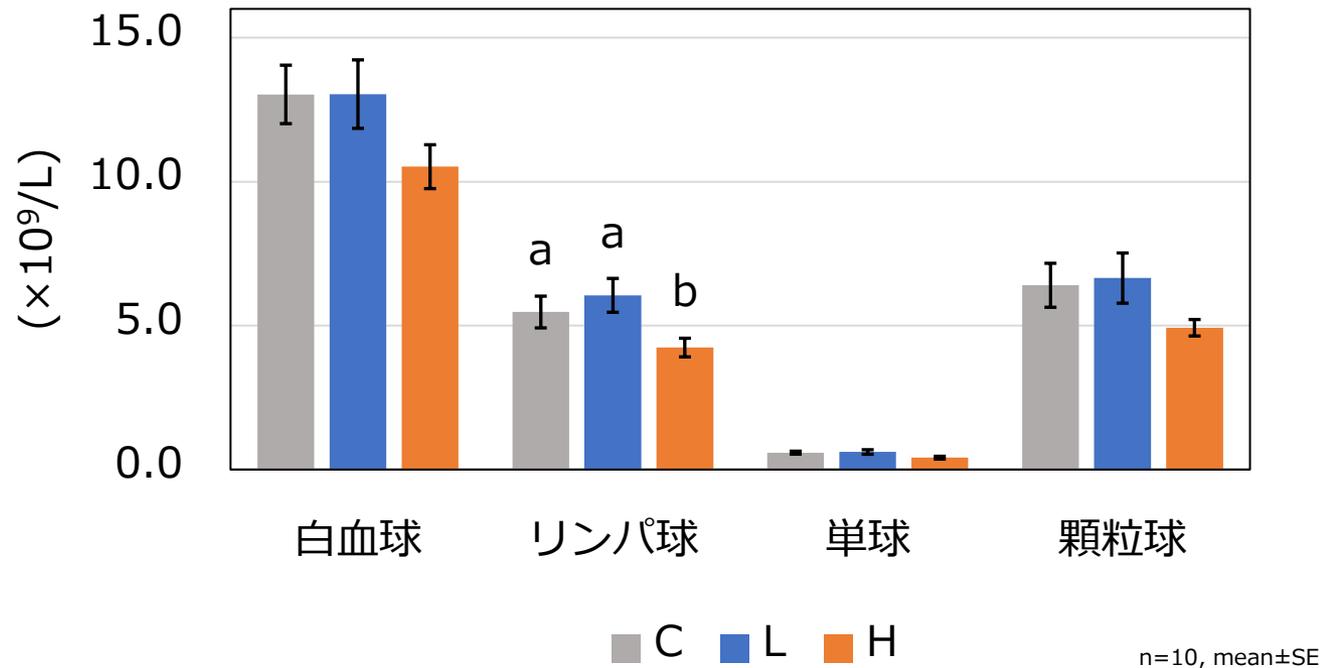


母豚の血球数（種付2ヶ月後）



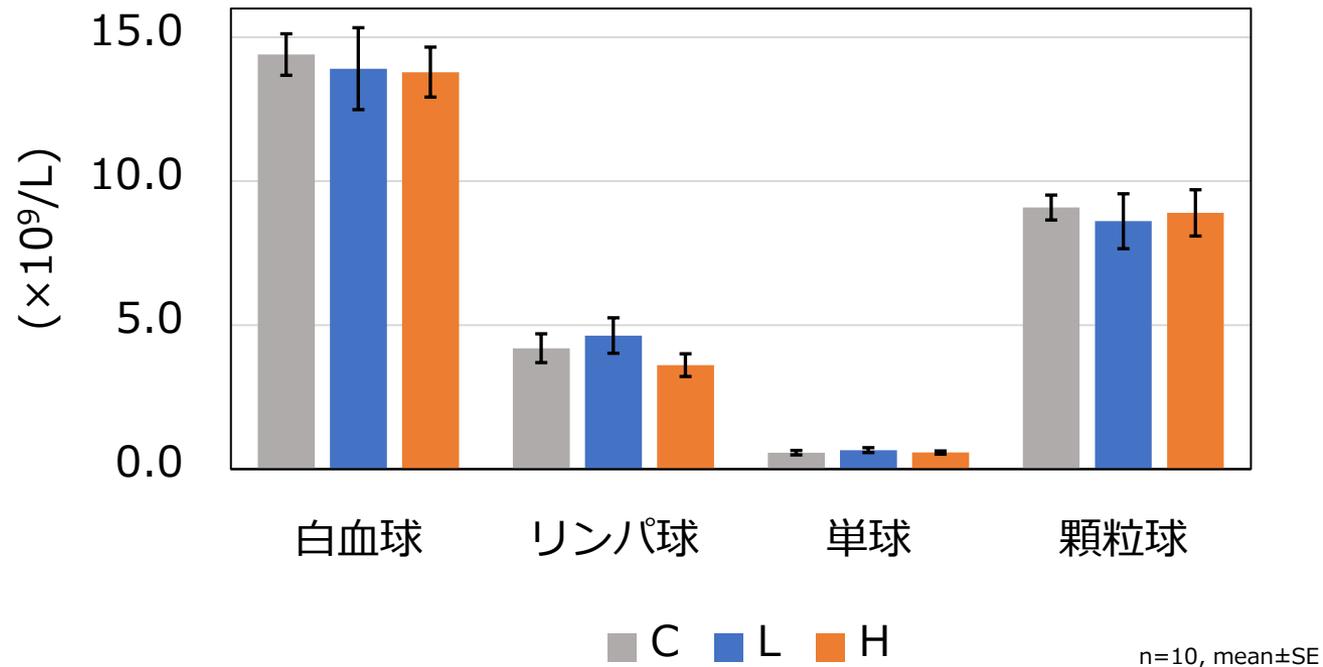
リンパ球数においてL区よりも**H区**で有意に**低い**値が見られた
($p=0.037$)

母豚の血球数（分娩2週間前）



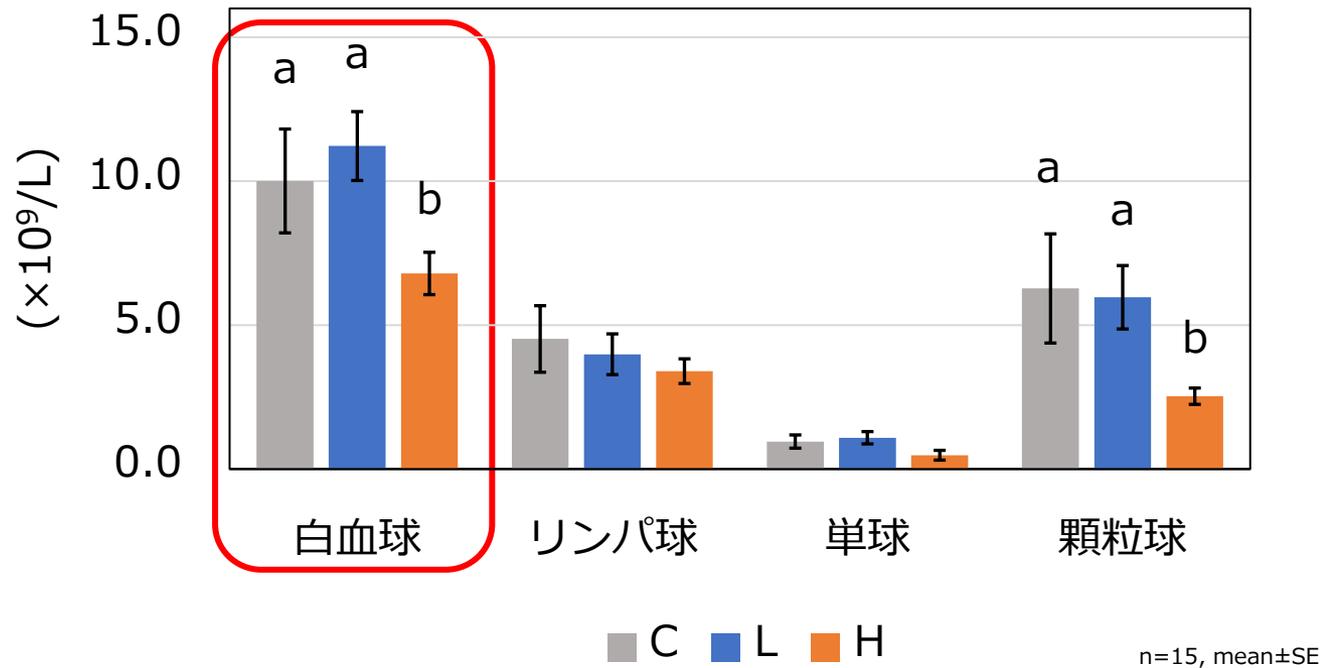
リンパ球数においてC区とL区よりも**H区**で有意に**低い**値が見られた($p=0.019$)

母豚の血球数 (離乳日)



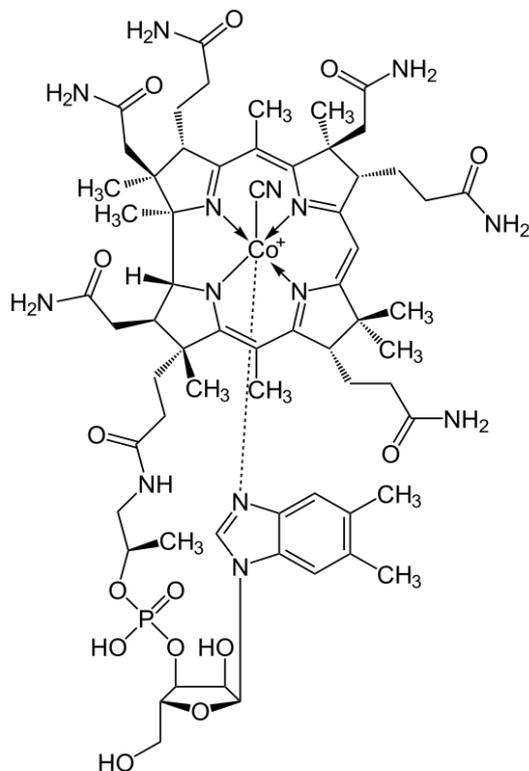
試験区間で有意な差は見られなかった

子豚の血球数



白血球と顆粒球においてC区とL区よりも**H区**で有意に低い値が見られた
($p=0.019$, $p=0.006$)

ビタミンB12



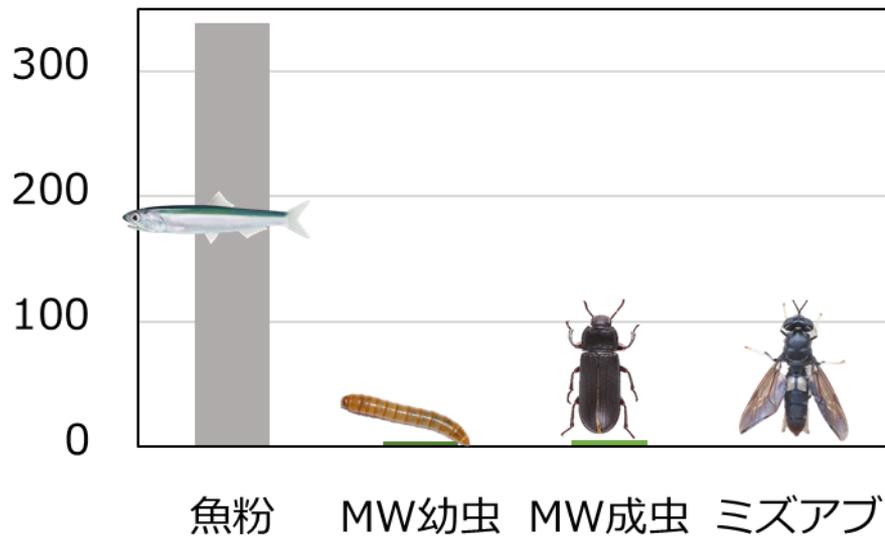
- ✓ 肉や魚貝類に多く含まれる
(植物性のものには含まれない)
- ✓ 赤血球、白血球、血小板の産生に重要な役割を担う (松田, 2006)

要求量

子豚(5~10 kg)…17.5 µg/kg
母豚 …15.0 µg/kg (日本飼養標準・豚より)

血球数

ビタミンB12含有量($\mu\text{g}/\text{kg}$)

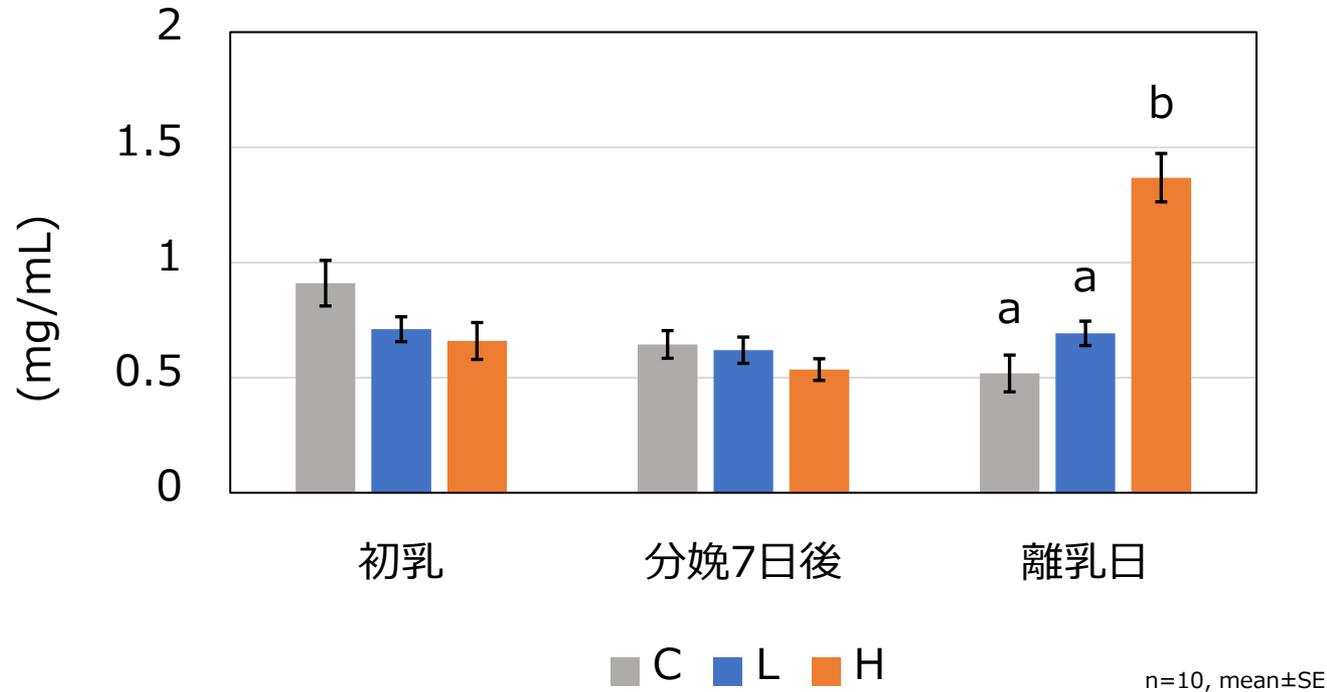


(川崎, 2020)
(Finke et al., 2002) より

- ✓ 昆虫はビタミンB合成経路を持たず、共生微生物から摂取している(Gu et al., 2022)
- ✓ ミズアブなどの昆虫にはビタミンB12が乏しい(Finke et al., 2002)

ミズアブ代替飼料には
ビタミンB12の添加が必須

乳中ラクトフェリン



離乳日においてC区とL区よりもH区で有意に高い値が見られた($p < 0.001$)

子豚・肉豚への給餌試験

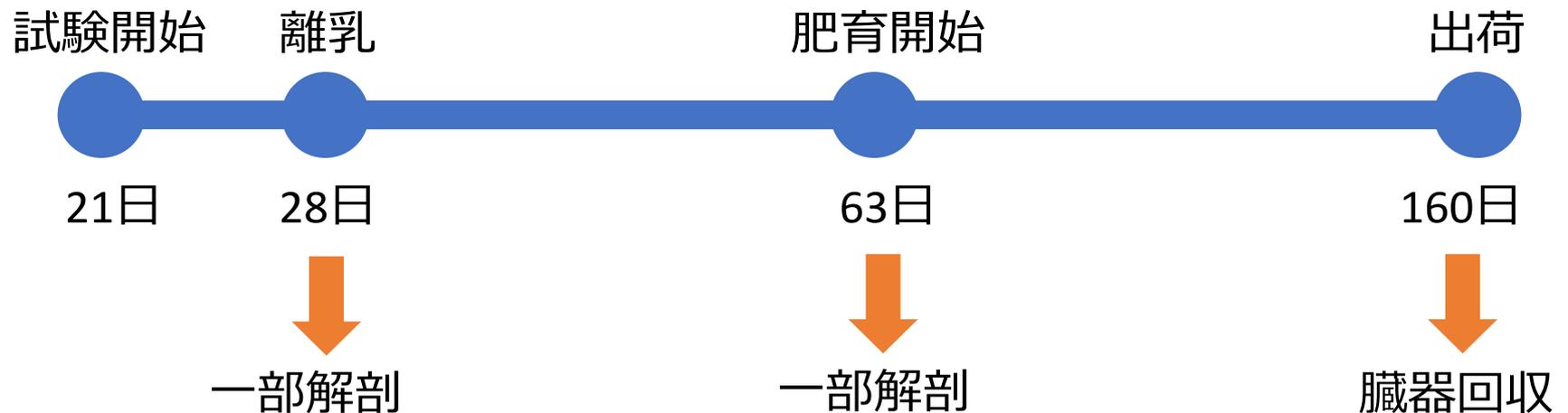
試験区

C区：対象区

L区：BSF50%代替区

H区：BSF100%代替区

子豚・肉豚試験スケジュール



試料調製：子豚 (Prestarter, 21d-35d)

試験飼料組成

飼料原料	C	L	H
トウモロコシ	35.0	34.8	32.0
パン粉	23.0	25.0	30.0
ミズアブ粉末	0.0	12.5	25.0
脱脂粉乳	10.0	5.0	0.0
濃縮ホエー蛋白	5.0	2.5	0.0
魚粉 (CP60%)	5.0	2.5	0.0
血漿タンパク	5.0	2.5	0.0
小麦粉	5.0	5.0	5.0
大豆粕	5.0	4.2	2.8
コーン油	4.0	3.0	2.0
第3リン酸カルシウム	2.0	2.0	2.0
食塩 (上質塩)	0.5	0.5	0.5
ビタミンミネラルミックス	0.5	0.5	0.7

単位：現物w/w%

試験飼料成分値 (計算値)

成分	C	L	H	要求量
TDN	84.91	84.80	84.80	82.93
粗蛋白質	23.30	23.30	23.22	21.95
粗脂肪	6.99	7.06	7.16	-
粗繊維	1.13	2.00	2.80	-
粗灰分	3.66	3.75	3.85	-
NFE	64.86	63.83	62.92	-
Ca	1.19	1.30	1.40	0.80
P	0.93	0.82	0.72	0.44
Na	0.26	0.26	0.25	0.20
リジン	1.36	1.23	1.10	1.24
メチオニン	0.39	0.40	0.41	0.32
トレオニン	0.91	0.88	0.84	0.68
GE Mcal/kg	4.88	4.89	4.89	-
DE Mcal/kg	3.74	3.74	3.74	-

試料調製：子豚 (Starter, 35d-63d)

試験飼料組成

飼料原料	C	L	H
トウモロコシ	48.5	50.0	51.5
大豆粕	22.0	20.8	19.5
パン粉	10.0	10.0	10.0
小麦粉	5.0	5.2	5.5
魚粉 (CP60%)	4.0	2.0	0.0
脱脂粉乳	4.0	2.0	0.0
ミズアブ粉末	0.0	4.0	8.0
コーン油	3.0	2.5	2.0
第3リン酸カルシウム	2.0	2.0	2.0
食塩 (上質塩)	0.5	0.5	0.5
ビタミンミネラルミックス	0.8	0.7	0.7
リジン塩酸塩	0.1	0.2	0.2
米糠	0.1	0.1	0.1

単位：現物w/w%

試験飼料成分値 (計算値)

成分	C	L	H	要求量
TDN	80.38	80.28	80.19	77.50
粗蛋白質	19.58	19.62	19.62	19.05
粗脂肪	6.16	5.91	5.67	-
粗繊維	2.18	2.43	2.68	-
粗灰分	3.39	3.20	3.00	-
NFE	68.56	68.72	68.92	-
Ca	1.01	0.98	0.96	0.70
P	0.83	0.77	0.72	0.40
Na	0.26	0.24	0.22	0.15
リジン	1.17	1.23	1.20	1.14
メチオニン	0.33	0.32	0.31	0.30
トレオニン	0.73	0.73	0.73	0.63
GE Mcal/kg	4.81	4.80	4.80	-
DE Mcal/kg	3.54	3.54	3.54	-

試料調製：肥育豚 (Grower, 63d-120d)

試験飼料組成

飼料原料	C	L	H
トウモロコシ	62.93	63.42	63.35
大豆粕	10.00	9.37	7.06
魚粉 (CP65%)	4.60	2.30	0.00
ミズアブ粉末	0.00	2.30	4.60
脱脂米糠	7.70	7.81	7.80
コーングルテンフィード	4.40	4.46	4.46
DDGS	4.20	4.37	4.37
フスマ	0.00	0.00	2.50
動物性油脂	2.50	2.60	2.60
コーン油	0.50	0.10	0.00
炭酸カルシウム	0.50	0.47	0.46
第3リン酸カルシウム	1.50	1.49	1.49
食塩	0.30	0.28	0.28
ビタミンミネラルミックス	0.17	0.17	0.17
リジン塩酸塩	0.69	0.84	0.84
L-トレオニン	0.01	0.02	0.02

試験飼料成分値 (計算値)

成分	C	L	H	要求量
TDN	78.00	79.07	77.92	74.8
粗蛋白質	16.33	16.24	15.35	15.0
粗脂肪	6.12	5.90	5.86	-
粗繊維	2.93	3.06	3.33	-
粗灰分	5.41	5.17	5.08	-
NFE	70.06	69.62	70.37	-
Ca	0.88	0.87	0.80	0.5
P	0.84	0.80	0.76	0.2
Na	0.23	0.19	0.19	0.1
リジン	1.31	1.37	1.30	0.8
メチオニン	0.30	0.29	0.27	0.2
トレオニン	0.63	0.60	0.57	0.4
GE Mcal/kg	4.78	4.69	4.68	-

単位：現物w/w%

試料調製：肥育豚 (Finisher, 120d-)

試験飼料組成

飼料原料	C	L	H
トウモロコシ	50.34	50.73	50.68
フスマ	20.00	20.00	22.00
大豆粕	8.00	7.49	5.65
魚粉 (CP65%)	3.68	1.84	0.00
ミズアブ粉末	0.00	1.84	3.68
脱脂米糠	6.16	6.25	6.24
コーングルテンフィード	3.52	3.57	3.57
DDGS	3.36	3.50	3.49
動物性油脂	2.00	2.08	2.08
コーン油	0.40	0.08	0.00
炭酸カルシウム	0.40	0.37	0.37
第3リン酸カルシウム	1.20	1.19	1.19
食塩	0.24	0.22	0.22
ビタミンミネラルミックス	0.14	0.13	0.13
リジン塩酸塩	0.55	0.67	0.67
L-トレオニン	0.01	0.02	0.02

試験飼料成分値 (計算値)

成分	C	L	H	要求量
TDN	74.12	74.98	74.06	74.8
粗蛋白質	16.20	16.13	15.42	15.0
粗脂肪	5.76	5.58	5.55	-
粗繊維	4.24	4.35	4.57	-
粗灰分	5.35	5.15	5.09	-
NFE	68.39	68.72	69.32	-
Ca	0.72	0.72	0.66	0.5
P	0.87	0.84	0.80	0.2
Na	1.83	1.50	1.50	0.1
リジン	1.18	1.23	1.18	0.8
メチオニン	0.28	0.27	0.26	0.2
トレオニン	0.61	0.58	0.56	0.4
GE Mcal/kg	4.68	4.67	4.67	-

単位：現物w/w%

測定・解析項目

(1)成長成績

日平均増体重(ADG)、日平均摂食量(ADFI)、飼料効率(FE)

(2)血液性状・血球組成

(3)腸管(十二指腸・空腸・回腸)

絨毛高・陰窩深・絨毛高陰窩深比

(4)盲腸内容物

盲腸細菌叢・短鎖脂肪酸濃度

測定・解析項目

(5)肉質の解析

粗成分分析

水分、灰分、粗タンパク質、粗脂肪含量

肉質検査

背脂肪厚、枝肉重量、格付結果
肉色(L*値、a*値、b*値)、pH
食感(破断応力、破断歪率)
加熱損失、ドリップロス

(6)豚肉の食味試験

官能評価

人工味覚センサーによる味覚評価

測定・解析項目

統計処理

子豚の成長成績
血液性状
腸内細菌叢
盲腸内短鎖脂肪酸

共分散分析

・子豚の性別や体重を共変量として使用
Bonferroni法

肉質

Kruskal-Wallis検定

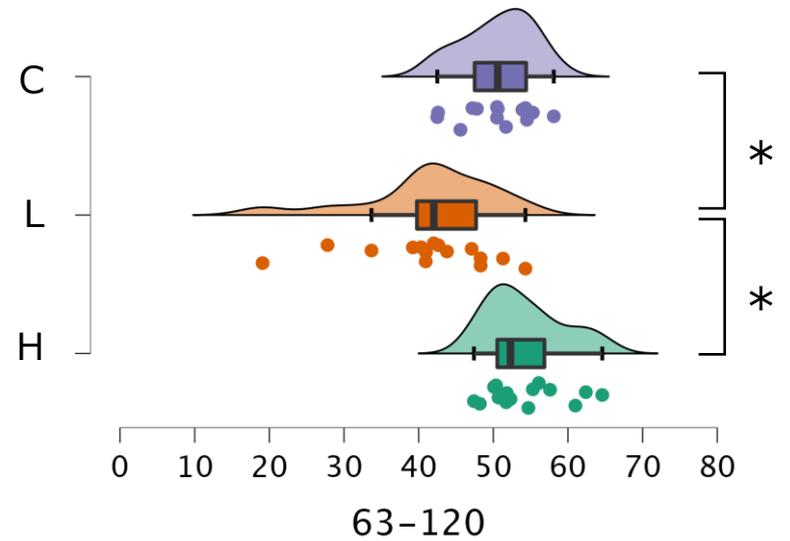
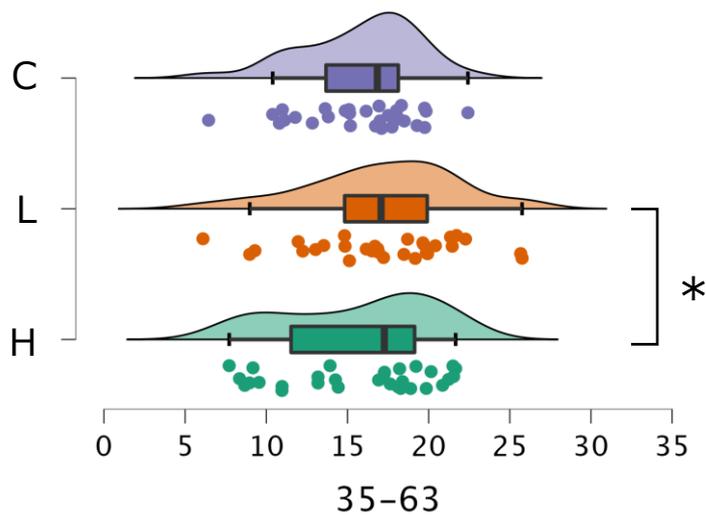
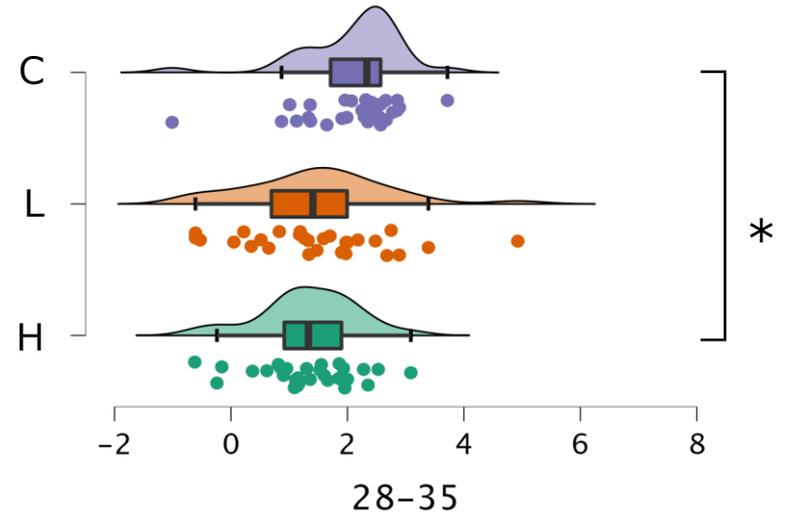
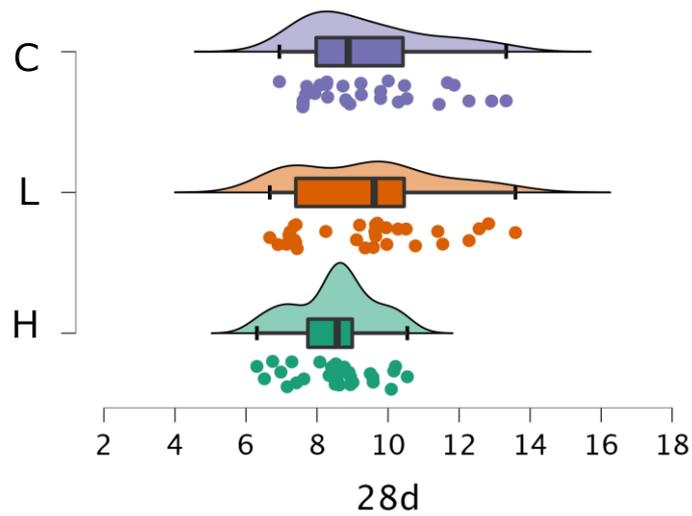
Dunn検定（Bonferroni補正）

官能評価

Kruskal-Wallis検定

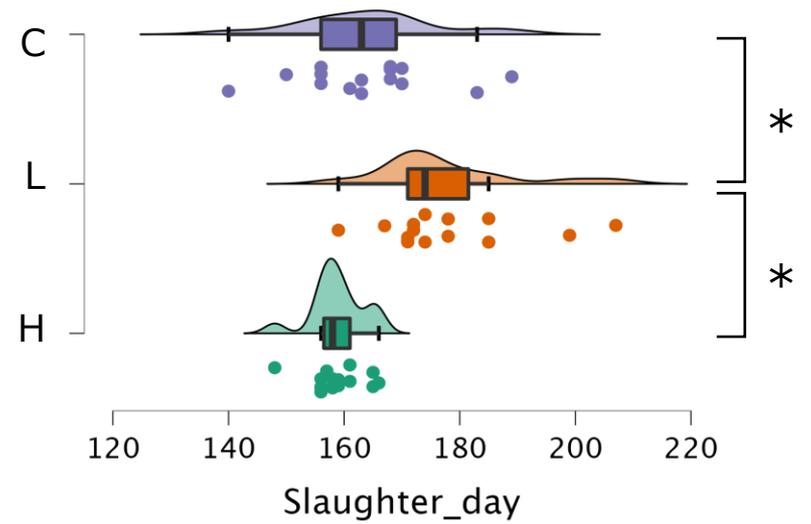
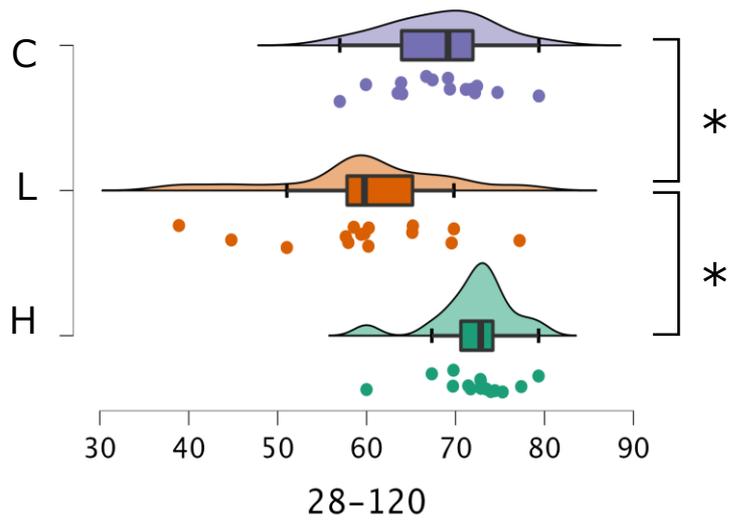
Steelの多重比較検定（c区との比較）

子豚の成長成績



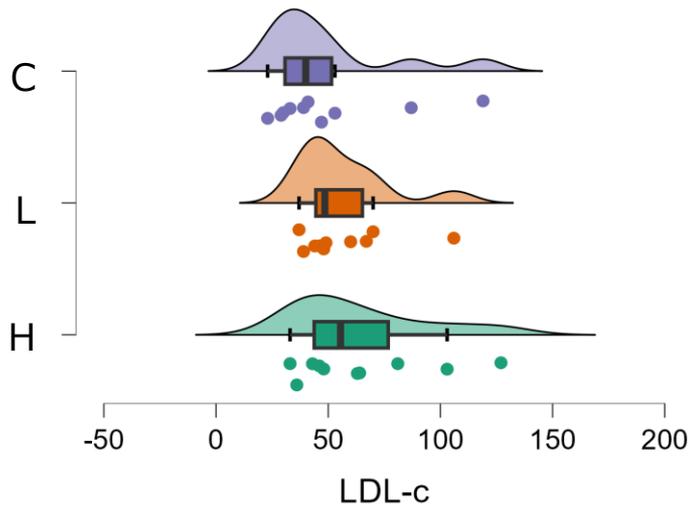
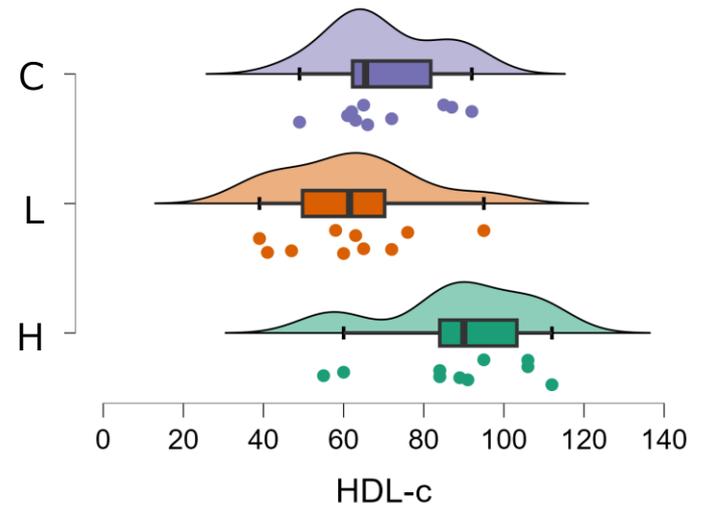
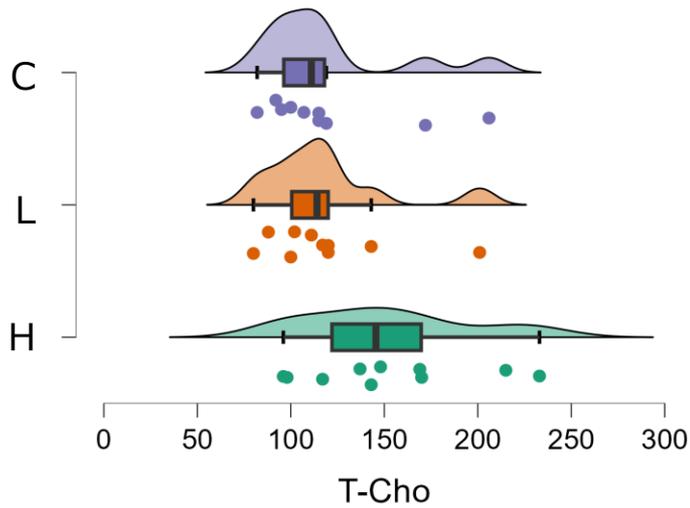
* Mann-Whitney U test with Bonferroni correction ($p < 0.05$)

子豚成長成績

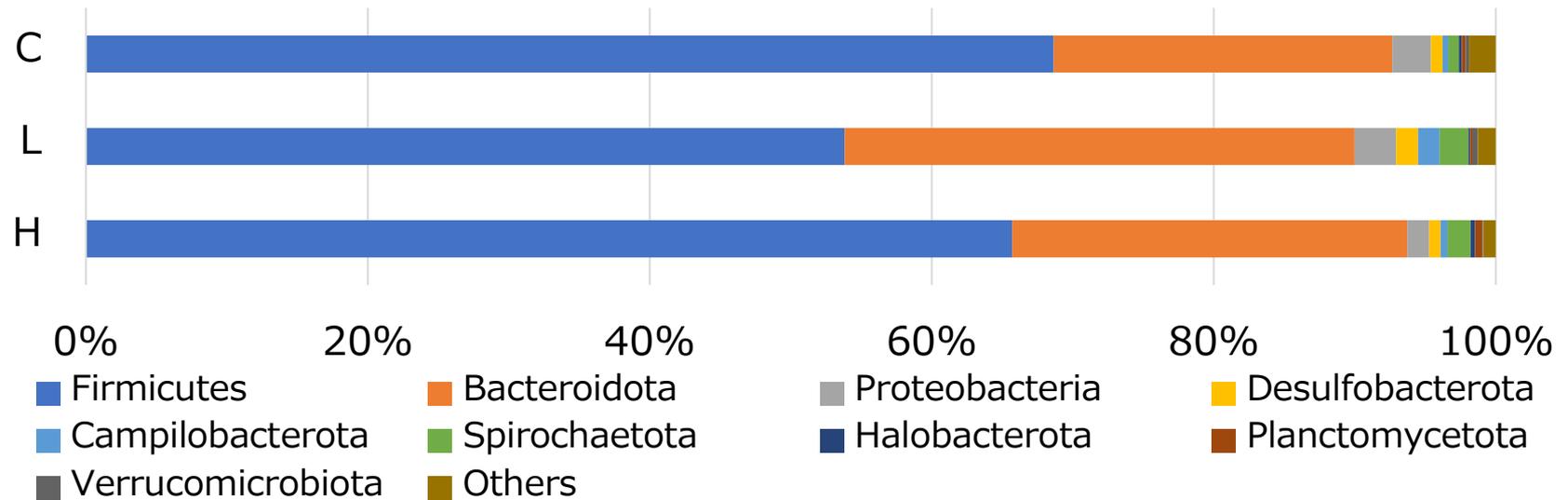
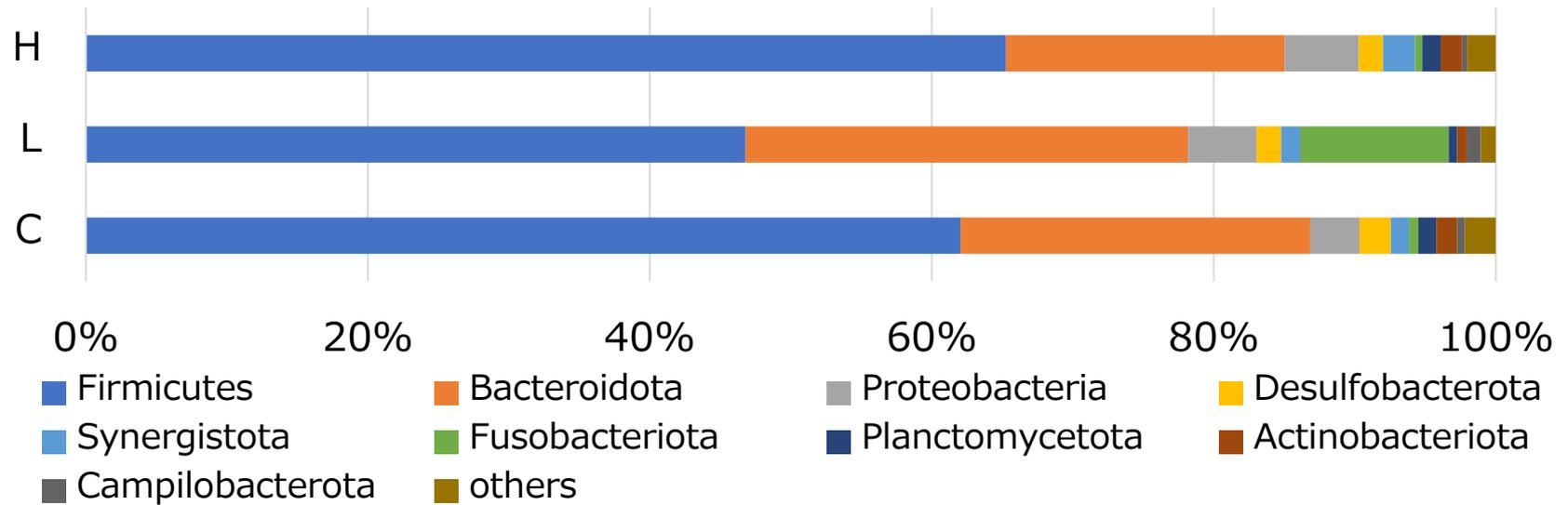


* Mann-Whitney U test with Bonferroni correction ($p < 0.05$)

子豚血中コレステロール (28日齢)

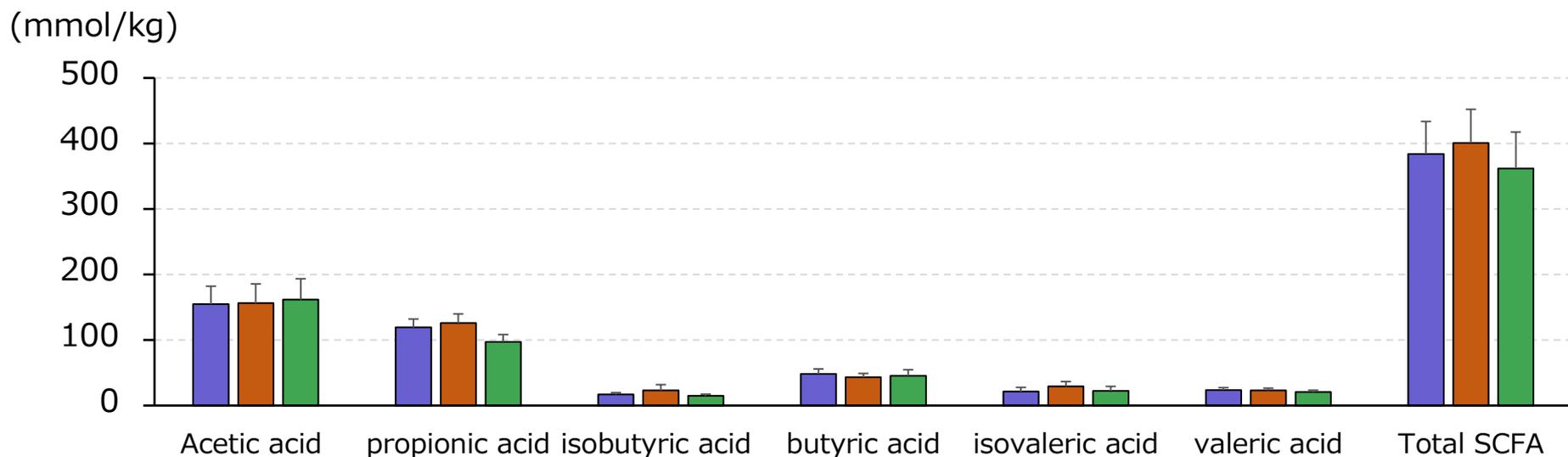
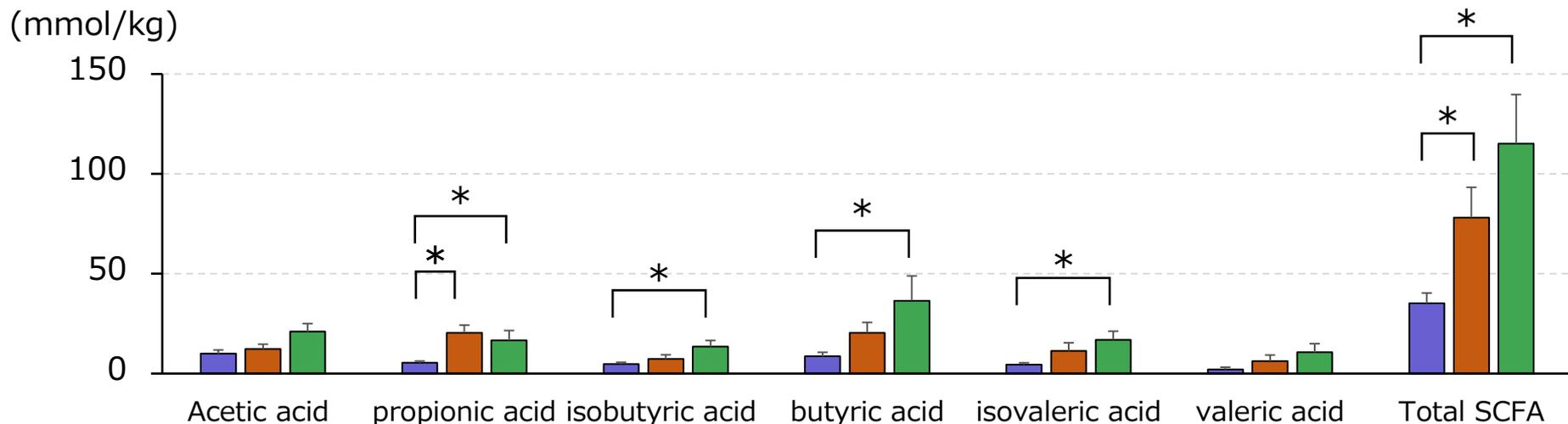


子豚糞中細菌叢



上: 21日齡時; 下: 35日齡時

子豚糞中短鎖脂肪酸濃度

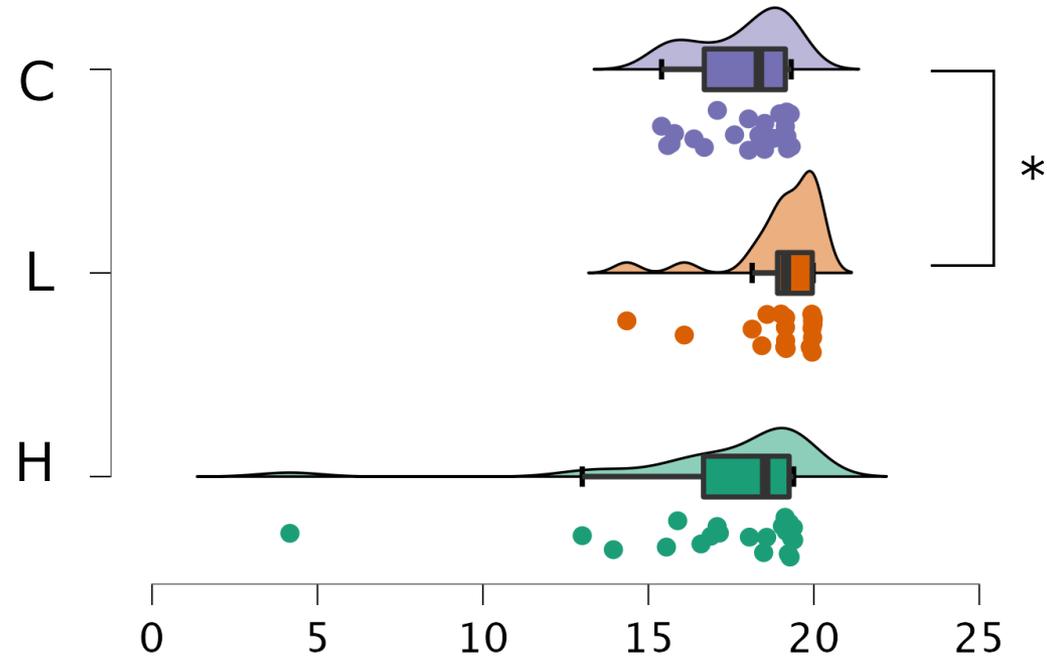


■ C ■ L ■ H

* Dunn's post-hoc comparisons with Bonferroni correction ($p < 0.05$)

上: 21日齡時; 下: 35日齡時

破断応力 ($\times 10^5 \text{ N/m}^2$)

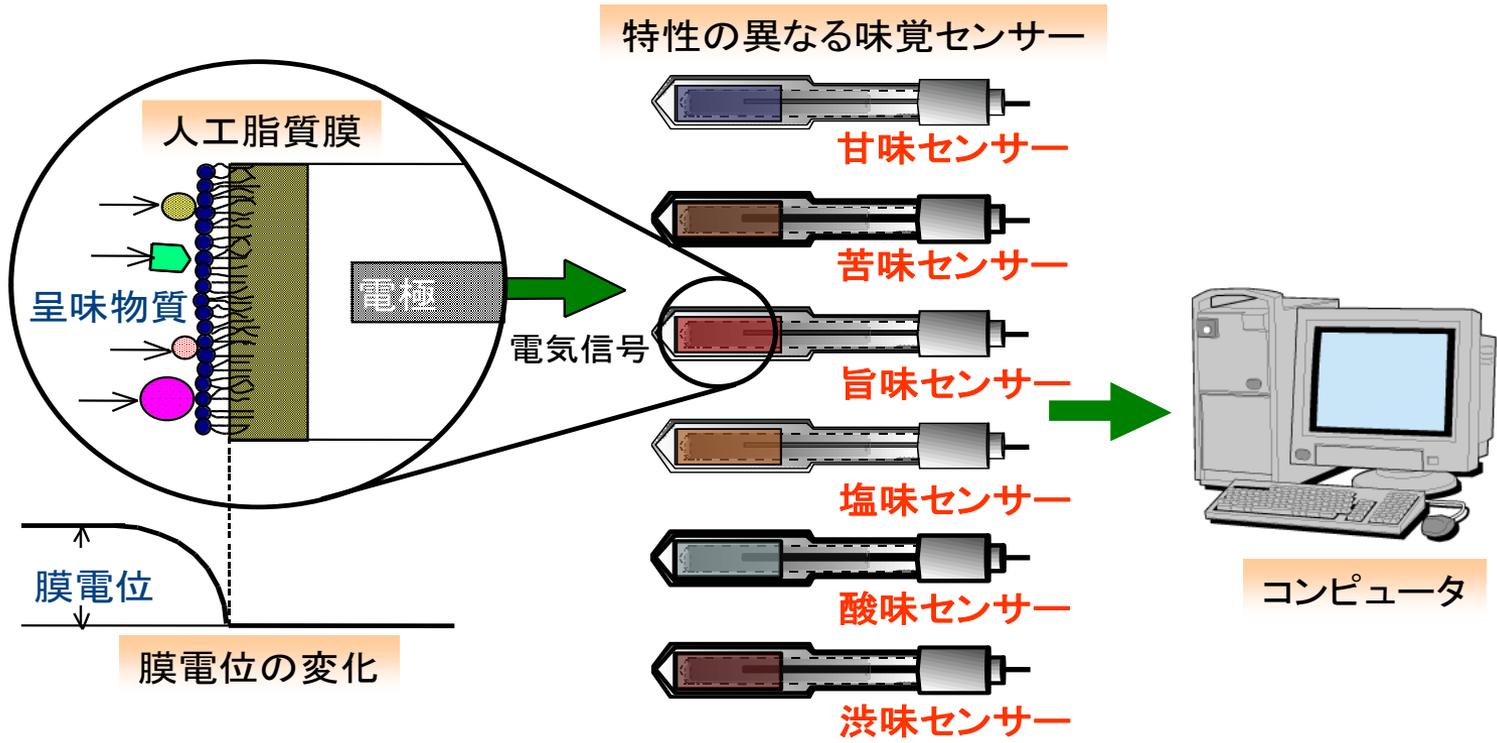


食感に関する値：破断荷重の単位面積当たりの力

* Dunn's post-hoc comparisons with Bonferroni correction ($p < 0.05$)

味を認識する原理（味覚センサー）

<イメージ>

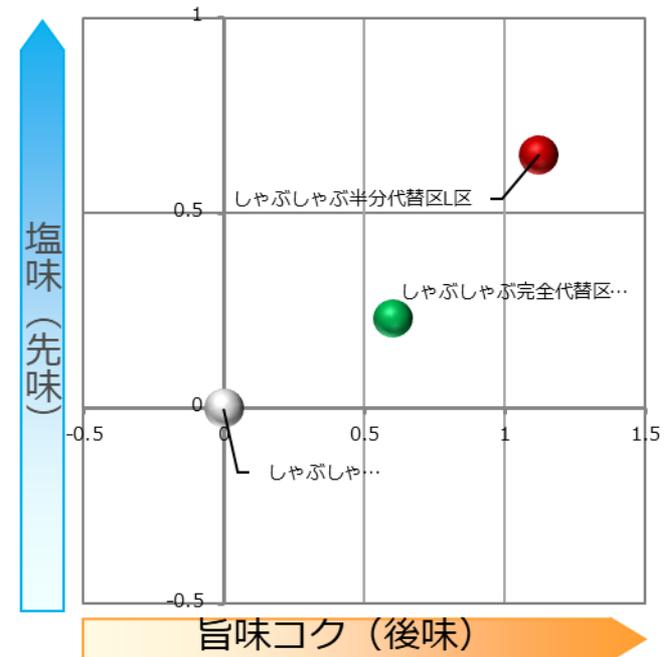
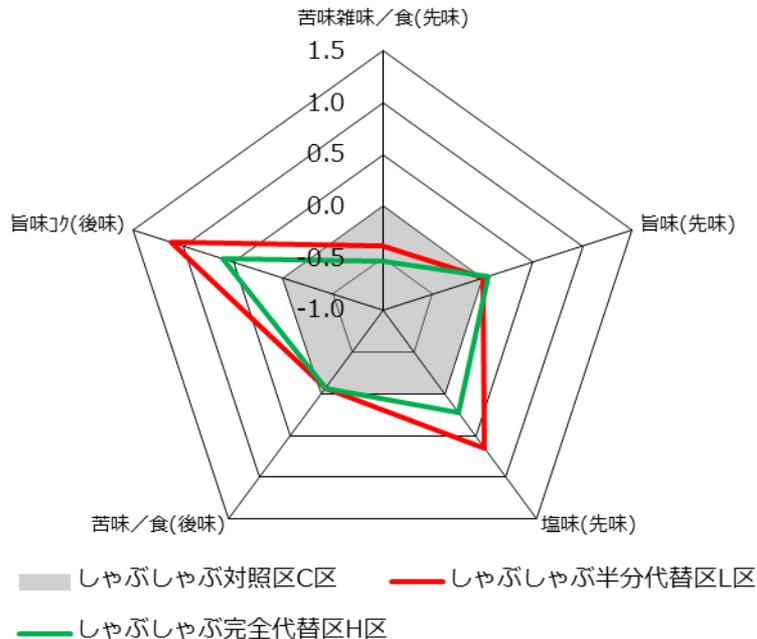


センサーは各味ごとに特化した人工脂質膜をもつ。
人工脂質膜に呈味物質が吸着すると、膜電位が変化する。
センサーの出力強弱から、味の濃淡やバランスを解析する。

測定結果 比較 (しゃぶしゃぶ)

「対照区C区」を0とした値。

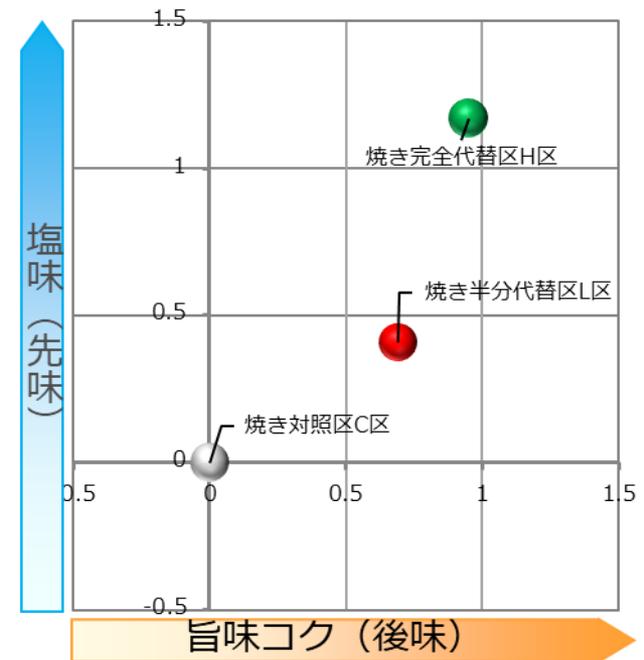
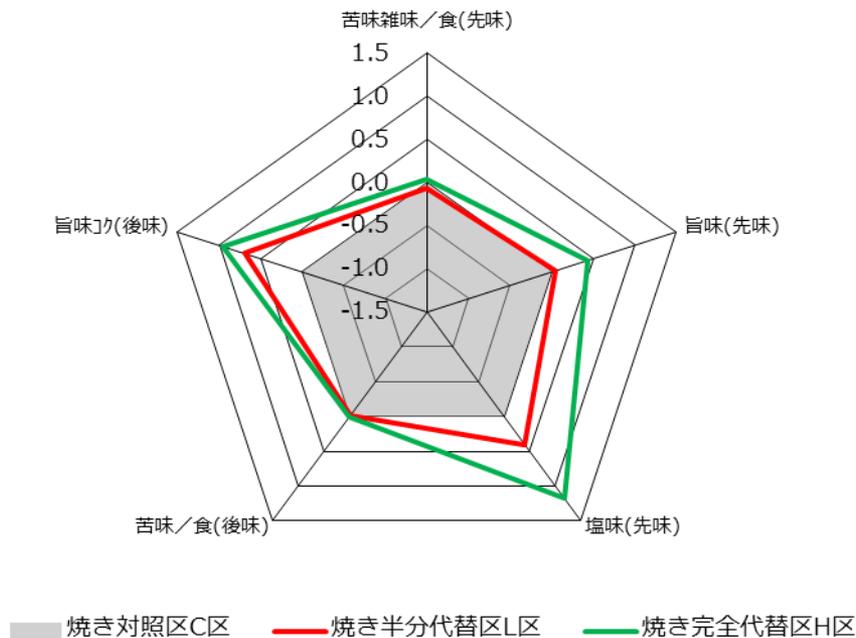
1.0の数値差が濃度差約20%(人間が異なる味わいと感じる濃度差)を示す。
味覚の鋭い方は0.5程度(約10%の濃度差)でも認識可能である。



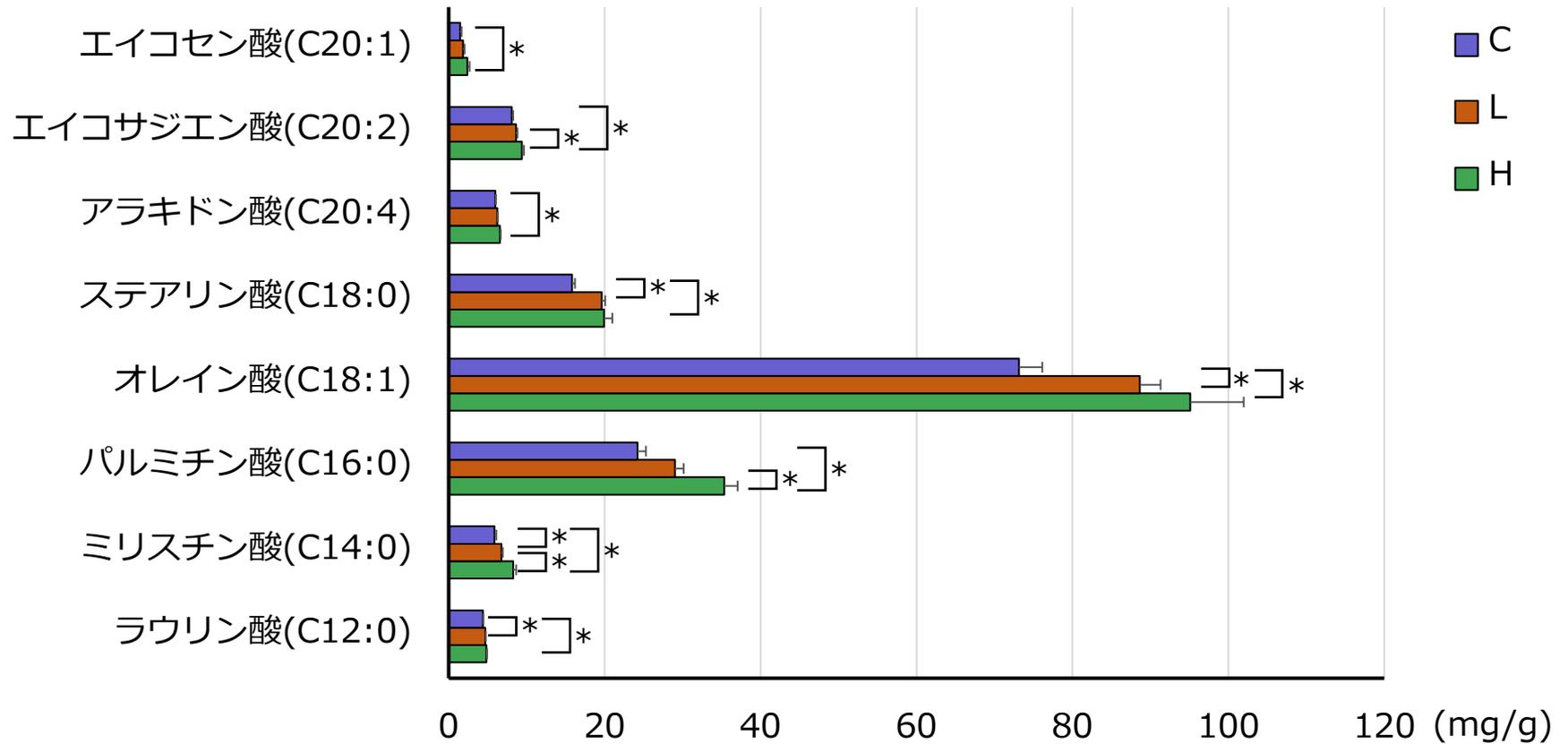
測定結果 比較 (焼肉)

「対照区C区」を0とした値。

1.0の数値差が濃度差約20%(人間が異なる味わいと感じる濃度差)を示す。
味覚の鋭い方は0.5程度(約10%の濃度差)でも認識可能である。



豚肉背脂肪の脂肪酸組成



* Dunn's post-hoc comparisons with Bonferroni correction ($p < 0.05$)

まとめ

アメリカミズアブ幼虫脱脂粉末

母豚や肥育豚の飼料中タンパク質資源と代替可

離乳期の子豚飼料中の配合量
動物性タンパク質との代替率

今後も調査が必要

飼料メーカーが使用できない現状を変える必要有
→飼料公定規格別表への登録等が必要