

令和 6 年度畜産関係研究委託調査に係る調査研究報告書(詳細版)

採卵鶏雄雛の新たな可能性: 発育、肉質、行動からみた経済的有効性の探究

九州大学 大学院農学研究院 保坂 善真

大阪産業大学 デザイン工学部 高橋 徹

本研究の背景

タンパク質危機の現状と課題

世界的な人口増加と経済発展に伴い、良質なタンパク質の需要は急速に拡大している。国際連合食糧農業機関(FAO)の予測によれば、世界人口の増加と新興国の経済発展により 2050 年までに世界の食肉需要は現在の約 2 倍に達すると見込まれている。一方、従来の畜産業による食肉・鶏卵の供給は環境負荷や資源効率の低さ、農地面積拡大の物理的限界などにより、持続可能な生産の限界に近づきつつある。近い将来、タンパク質の供給が需要に追いつかなくなる「タンパク質危機」の発生が予測されており、この課題への早急な対応が国際的に求められている。この社会課題の回避のため、代替肉の開発や未利用魚の開拓、昆虫食の普及など、新たなタンパク資源の探索が世界規模で進行している。しかし、これらの「新興タンパク源」が広く受け入れられ、安定的に供給されるようになるまでには、安全性の確認や生産技術の確立、消費者受容の醸成など、多くの課題が残されている。したがって、既存の食品生産システム内でまだ十分に有効活用されていない資源に着目することも、タンパク質危機に対する重要な戦略となる。

採卵鶏雄雛の処分問題

さて、養鶏産業では、卵を産まない雄雛は経済的価値を持たないとみなされ、孵化直後にほぼ全数が殺処分されている。国内の採卵鶏(雌)の飼養羽数は約 1.7 億羽(令和 5 年畜産統計調査・農林水産省)であり、その殺処分数(雄雛)もほぼ同数と推測できる。この数は、全世界では年間 70 億羽に達するとの報告もある。この慣行が続く主な理由は、雄であるゆえに「産卵しない」という決定的な特性にある。また、一般に採卵鶏種は肉用鶏種と比較して成長速度が遅く、飼料効率が低いため、食肉生産という目的での飼育にも経済的合理性がないという要因に加え、肉質や食味も肉用鶏に劣るとされていることもこの慣行の継続を後押ししている。

この「採卵鶏雄雛の処分問題」は、単に生命倫理の問題にとどまらず、産業上の経済損失でもある。処分費用は最終的に鶏卵価格に転嫁され、消費者の潜在的な負担となっている。動物福祉の観点から、海外では処分の禁止や制限に向けた法整備が進む国もあり、雄雛の有効活用は急務である。

家畜での去勢の意義と効果

家畜生産において去勢は古くから行われてきた管理技術であり、ウシやブタでは広く普及している。去勢の主な目的には、肉質の改善、攻撃性の低減、不要な繁殖の防止、飼育管理の容易化などがある。肉質改善の観点からは、去勢によって筋肉内脂肪の増加、肉の柔らかさの向上、雄特

有の臭気(雄臭)の抑制などの効果が得られる。これらの変化は、本来精巣から分泌されていた雄性ホルモン(テストステロン)の減少によるものである。体内のホルモン環境の変化は、筋タンパク質の代謝やコラーゲン合成にも影響を及ぼし、食味の向上に寄与することも多くの研究で報告されている(Moore, 2017; Squires, 2020; Zomeño, 2023)。

ニワトリにおいても、肉用鶏の去勢により肉質が改善することが知られており、国内外で「シャボン(カポン)」として珍重されてきた(Cui, 2018; Gesek, 2018; Mast 1981)。ただ、ニワトリの精巣が腹腔内深部にあるという解剖学的特性に加え、鳥類の麻酔技術が十分に確立していないこともあり、従来の外科的去勢は技術的に難しく、術中・術後の死亡リスクも高いという課題があった。さらに一部では、無麻酔での手術や、術創を縫合しない例もみられ、動物福祉的な課題をクリアできないでいる。

免疫去勢法の概要と利点

このような背景をふまえ、筆者が注目したのが免疫去勢法である。これは、性腺刺激ホルモン放出ホルモン(GnRH)に対する自己抗体を誘導することで、精巣機能を一時的に抑制する方法である。具体的には、GnRH アナログを抗原として接種することで、体内で GnRH に対する抗体産生を促し、下垂体からの黄体形成ホルモン(LH)と卵胞刺激ホルモン(FSH)の分泌が抑制される。結果として、精巣からのテストステロン分泌が減少し、外科的去勢と同様の効果が得られる、というメカニズムである。

すでにブタやウシでの免疫去勢は世界各国で実用化され、免疫去勢製剤(商品名:インプロバック(雄ブタ用)、ボプリバ(雌ウシ用)、いずれもゾエティスジャパン社、東京)が市販されている。ブタでの応用例では、雄性ホルモン分泌量の低下、攻撃的行動の減少、増体量の上昇、背脂肪の菲薄化、雄臭の減少、食味の向上などの効果が確認されている(Kotula-Balak, 2022; Pawlicki, 2022)。

国内外における去勢鶏の研究状況

外科的去勢技術をニワトリに応用する研究は、主に肉用鶏を対象として行われてきた。国内では、岩手県(南部かしわ)、秋田県(比内地鶏; 力丸, 2010a, 2010b)、福井県(福地鶏; 下嶋・大俵, 2022)、鳥取県(鳥取地どりピヨ; 尾崎, 2012)、大分県(おおいた冠地どり)など、各地の畜産試験場で地鶏を活用した去勢鶏(シャボン)の生産技術開発が進められており、去勢による、肉の色や、脂肪酸組成の変化が報告されている。とりわけ、秋田県畜産試験場の取り組みは先進的で、これまで殺処分されてきた比内地鶏の雄雛への外科的去勢技術の確立を成功させ、「あきたシャボン」としてブランド化を図っている。この事例は、殺処分される雄雛に新たな経済的価値を見出した好例として注目される。

海外に目を転じると、"castration(去勢)"と"chicken"をキーワードとして PubMed(米国国立医学図書館運営の生物医学分野の論文データベース)で検索すると約 300 件の文献がヒットするが、そのほとんどは肉用鶏を対象としたものである。一方、"castration"と"layer chicken(採卵鶏)"の組

み合わせでは、わずか数件しか報告がなく、世界的に見ても採卵鶏雄雛の去勢研究はほとんど行われていないことが推測できる。

免疫去勢法のニワトリへの応用については、2017 年以降に 4 件の研究報告(中国 2 件、ポルトガル 2 件)があるが、いずれも肉用鶏を対象としたものであった。中国の Zeng らの研究(2020)では、肉用鶏への免疫去勢剤(インプロバック)の適用により、テストステロン濃度の有意な低下、精巢の低形成、攻撃的行動の減少が確認・報告されている。一方、ポルトガルの Quaresma ら(2017)は、肉用鶏への免疫去勢によって、血中テストステロン濃度が約 80%減少し、腹部の脂肪重量、胸肉中の水分・タンパク含量、大腿骨長が増加することを報告している。

これらの研究成果は、免疫去勢法がニワトリにおいても有効である可能性を示しているが、採卵鶏を対象に免疫去勢処理の研究は行われていない。実際、採卵鶏種と肉用鶏種では筋成長の特性や脂質の代謝が異なるため、免疫去勢の効果も異なる可能性は十分に考えられ、採卵鶏に特化した研究が必要と考える。

以上の背景を踏まえ、本研究では以下の調査・実験を行った。

I 国内における去勢肉用鶏(地鶏)の生産および流通状況の現地調査

II 免疫去勢処理が採卵鶏雄雛の発育・肉質および行動に及ぼす影響

- ① 発育や肉質の特性の分析
- ② 行動特性の分析

上記の調査・実験結果を体系的に分析し、採卵鶏雄雛への免疫去勢の影響と効果を多角的に評価することで、免疫去勢処理による経済価値創出の可能性を判断した。

I 国内における去勢肉用鶏(地鶏)の生産および流通状況の現地調査

「あきたシャボン」は、これまで殺処分されていた比内地鶏の雄雛を去勢したもので特産品化されている事例である。秋田県内で生産されている本鶏に関する現地調査を行うため、筆者(保坂)は令和 6 年 7 月下旬に、秋田県畜産試験場・比内地鶏研究部(秋田県大仙市)の担当者(力丸宗弘氏)を訪ね、本鶏の開発の背景やその経過、肉質の科学的特性について聞き取りをおこなった。

その後、生産農家(杉渕 渉氏、秋田県北秋田市)を訪問した。杉渕氏に加え、本鶏の飼育グループである「あきたシャボン研究会」の皆さんも交えて、生産の状況、飼育の注意点や特徴等について話をうかがうとともに飼育場を訪問して飼育管理の実際を視察した。さらに、生産・販路の拡大に取り組む秋田県北秋田地域振興局・農業振興普及課の担当者(小松 莉奈氏、北秋田市)にも面会し、あきたシャボンの生産・流通の現状と課題点について調査した。調査の様子は、図 1 にまとめた。

技術開発の経緯

秋田県畜産試験場・比内地鶏研究部の力丸氏によれば、本事業の起源は、肉質の違いから市場価値が低く、ほとんどが雛の時点で廃棄処分されていた比内地鶏の雄鶏をいかに有効活用するかという課題にあった。同氏が平成 22 年度に開発した外科的去勢技術は、精巣が発育段階にあって、かつ、短時間での手術が可能な 4 週齢が最適な処置時期としている(Rikimaru, 2011)。処置に必要な器具は、メス、リトラクター(開創器)、フック、鉗子、雛の固定スタンドである。なお、秋田県はこの技術で生産される「あきたシャポン」の商標登録を行い、技術の保護と普及に努めている。

肉質改善のメカニズムと外科的去勢

外科的去勢による最も注目すべき効果は、テストステロン濃度の低下による肉質の変化であろう。力丸氏の報告によれば、無去勢の雄鶏と比較して、筋肉中の結合組織が減少し、肉の柔らかさが雌鶏と同等かそれ以上に向上するとのことであった。さらに、筋肉内脂肪が増加し、風味が深みを増す。肉の固さは約 30%低下し、筋肉の赤みも減少して淡いピンク色に変化する。脂肪酸も、オレイン酸やパルミトレイン酸の量が増加するなど、多角的な肉質改善が実現されている(Rikimaru, 2009a, 2009b)。本鶏の外科的去勢の特徴は、腹腔内深部に位置する数センチメートルの精巣を除去する繊細な処置にある。熟練した技術者であれば 1 羽あたり約 5 分で処置が可能で、死亡率は 5%程度に抑えられている。ただし、除去しきれなかった精巣が体内に残存すると、精巣が再生し「スリップ(不完全な去勢鶏)」が出現する可能性があるとのことであった。

生産体制の確立と特徴的な飼育方法

平成 24 年度に、去勢技術を有する秋田県北秋田市の杉渕氏を中心としたメンバーにより「あきたシャポン研究会」が設立され、生産体制が整えられた。現在は北秋田市周辺で 4 農家 5 人のメンバーが生産活動を行っており、1 農家あたり年間 120～150 羽を出荷している。筆者が杉渕氏の飼育場を訪問した際には、ビニールハウス内の平飼いスペースに隣接して設置された飼育箱で、出荷 2 か月前からの「仕上げ期」に入った去勢鶏を見学する機会を得た。これらのシャポンは通常の比内地鶏より長い飼育期間を要し、210～240 日齢で出荷される。仕上げ期には数羽を箱内で飼育することで運動を制限し、さらに脂肪の割合を高めるために米と全粉乳を添加した特別飼料に切り替えている。このような独自の肉質を追求する飼育方法により、生産コストは通常の比内地鶏と比較して 2～3 割高くなっているものの、差別化された品質を実現している。

シャポン肉の流通と評価・現状の課題

北秋田地域振興局の小松氏によれば、あきたシャポンは当初、秋田県内および首都圏のホテルやレストランやデパートでの限定提供から始まり、徐々に販路拡大を進めてきたという。1 羽の販売価格は 1 万 5 千円から 2 万円程度となっている。

長期間飼育により、本鶏の生肉量は比内地鶏(雌)の約 2 倍の 1.6kg に達する。このため、一般の食鳥処理場での対応ができず、生産農家が手作業で出荷処理を行っている。この手間のかかる工程により出荷羽数は限定的となるが、試食会などでは肉の柔らかさ、ジューシーさ、脂の甘みを

伴った深い風味が高く評価されている。プロの料理人からは「通常の鶏肉では出せない深みのある味わい」や「幅広い調理法に適応する懐の深さ」といった評価を得ているとのことである。

小松氏によれば、現状の課題は生産規模の限界と認知度の低さにあるという。限られた生産者による少量生産のため、大規模な販路開拓や安定供給が困難な状況にある。さらに、外科的去勢技術の高度な専門性が生産拡大におけるボトルネックとなっている。精巢の完全除去には繊細な手技が必要であり、この技術習得の難しさが取り組み拡大の障壁になっていると筆者は感じた。

今後の展望

今後は、持続可能な生産システムの基盤づくりが必要であろう。去勢技術の精度向上や簡易化に向けた研究の継続、生産者間の技術共有、出荷作業の効率化などの生産面での課題解決が求められる。同時に、多様な調理法の可能性を探究し、あきたシャボンの特性を理解できる専門店や飲食店との連携を深めることが市場開拓の鍵となるだろう。

あきたシャボンの開発は、従来廃棄されていた雄鶏資源の高付加価値化に成功した取り組みである。この事例は、食料資源の有効活用と地域経済の活性化を両立させた優れたモデルであり、他の地域や産業に対しても貴重な示唆を提供している。今後は肉質向上のメカニズムに関する科学的理解を深め、販売者、消費者に向けた明確な価値提案を行うことで、この秋田産の高級食材が持続的に発展していくことを期待したい。

II 免疫去勢処理が採卵鶏雄雛の発育・肉質および行動に及ぼす影響

本研究では、養鶏産業において経済的価値が低いとされる採卵鶏雄雛の有効活用を目的として、免疫去勢処理がこれらの雄雛の発育・肉質特性および行動に及ぼす影響を総合的に評価した。免疫去勢製剤（インプロバック）を用いた処理時期・回数の異なる 3 つの雄の処理群、対照群および雌群を設定し、体重推移、飼料効率、血中テストステロン濃度、骨格や筋肉の発達、肉質の特性および行動特性などを 17 週齢まで詳細に分析した。本実験を通じて、免疫去勢処理による採卵鶏雄雛の経済的価値創出の可能性を科学的に検証し、タンパク質資源として有効活用するための基礎的知見を得ることを目指した。

材料と方法

実験は九州大学動物実験委員会の承認を得て実施した（承認番号：A24-328）。本研究では、免疫去勢製剤（インプロバック、ゾエティスジャパン、東京）を用い、採卵鶏雄雛（さくら）に対する去勢効果とその影響を検討した。雄雛は福岡県内の孵卵場（後藤孵卵場 九州事業所）より購入後、本学の家禽飼養実験施設内で飼育した。実験施設に導入後 4 週齢までは育雛器内で飼育し、その後ペン（1.5m×2m）内で平飼いした。飼育期間中は市販の成長段階にあわせた飼料（パワーチック ZK シリーズ、JA 全農くみあい飼料）を給餌し、餌および水には常時アクセスできるようにした。

育雛器からペンへの飼育移行時には、各群（10 羽/群）の平均体重がほぼ均等になるよう群分けを行った。処理群として、4 週齢に免疫去勢製剤を 0.6mL 接種する早期接種群（Early: E 群）、8 週齢に 0.6mL 接種する後期接種群（Late: L 群）、4 週齢と 8 週齢の両時点で 0.6mL ずつ接種する

2 回接種群 (Both: B 群)、および対照群 (Control: C 群) の 4 つの雄の群とし、さらに雌 (Female: F 群) を加えた計 5 群を設定した。飼育期間は孵化後 10 週間または 17 週間とした。

① 発育や肉質の特性の分析

本報告書では食肉も対象しているため、一般的な食品用語である「胸肉」、「もも肉」に加え、解剖学用語を併用している。「胸肉」は解剖学的には「胸筋」を、「もも肉」は主に「外側腸脛骨筋」を指す。なお、商業的なもも肉には外側腸脛骨筋以外の筋肉も含まれるが、本研究では外側腸脛骨筋のみを主な検索対象とした。

1) 体重推移および飼料効率

飼育期間中は、摂餌量を給餌前に前日との差から算出し (9~16 週齢まで)、体重は毎週午前 9 時の給餌前に測定した (5~17 週齢まで)。週ごとの増体量 (G) ならびに摂餌量 (F) を算出し、G/F 比から飼料効率を求めた。

2) サンプルの採取

10 週および 17 週齢に体重を計測後、イソフルランによる吸入麻酔下で放血殺を行った。採取した個体数は 10 週齢に 3~4 羽、17 週齢に 6~7 羽である。剥皮後、右側胸部からは胸筋 (胸肉) と烏口上筋 (ささみ) を採取し各筋の重量を計測した。また外側腸脛骨筋を含む右後肢は股関節で切り離したのちに足根関節まで剥皮し、後肢全体の重量を測定した。また上腕骨および精巣も採取した。各組織の重量計測以外の評価方法の詳細については後述するが、いずれの実験も $n=3\sim6$ の範囲で行った。

3) 血中テストステロン濃度の計測

採血は腋窩静脈より定期的 (E、L、B、C 群: 4、8、12、17 週齢、F 群: 17 週齢のみ) に行った。1,500g で 15 分間遠心分離を行い、血清を採取後、測定までマイナス 20℃で冷凍保存した。その後、血清中のテストステロン量を Testosterone ELISA kit (Enzo Life Science、米国) を用いてプロトコルに従い測定した。

4) 精巣の形態学的評価

解剖時 (10 週齢および 17 週齢) に精巣の重さおよび長さ (長径・短径) の計測に加え、精巣の重さを体重で除した精巣係数 (g/kg) を算出した。精巣は計測後、ホルマリン固定した後にパラフィン切片を作成して HE 染色を施し、顕微鏡撮影後、精細管の断面積を ImageJ で計測した。

5) 鶏冠・肉垂の形態的計測

雄性ホルモンの影響を受けやすいとされる鶏冠と肉垂 (Yoshioka, 2010) のサイズ (長さ、幅) を計測し、去勢による外見の変化を評価した。

6) 骨格発達の評価

17 週齢の上腕および後肢 (いずれも右側) から骨格筋を丁寧に取り除き、長骨 (上腕骨、大腿骨および下腿骨) の骨重量を計測した。その後、デジタルノギスで各骨の長軸長、骨幹中央部の幅、骨端部 (近位部および遠位部) の幅を計測した。

7) 骨格筋線維の形態および線維タイプの計測

左側の胸筋、外側腸脛骨筋を採取し、トラガカントガム (富士フイルム和光純薬・東京) を用いてコルクスタンドに固定した。液体窒素で冷却したイソペンタン中で急速凍結させ、凍結ブロッ

クを作成した。凍結ブロックからクリオスタットを使用して 10 μm 厚の切片を作製し、ヘマトキシリン・エオジン(HE)染色および免疫組織化学を行った。

HE 染色した筋線維の画像は ImageJ を用いて解析し、1 サンプル当たり 200 本の筋線維の断面積を測定して平均断面積を算出した。筋線維タイプは、モノクローナル抗ミオシン(速筋型)抗体(M4276、Sigma Aldrich)を用いた免疫組織化学を行い、染色強度の強い順にIIa、IIc およびIIb 型に分類した。この際、1 試料当たり 100 本の線維の筋線維タイプを同定し、タイプごとの本数と面積を算出した。

8) 栄養成分組成の解析

17 週齢の胸肉、もも肉の栄養成分組成の(水分、タンパク質、脂肪等の含有量)の分析を日本食品機能分析研究所(福岡市)に委託し、得られたデータを解析した。

9) 明度と色調

ポータブル分光測色計・色彩色差計 TCS-520(Pantone・TIME 社・中国)を用いて、17 週齢の左側の胸筋と外側腸脛骨筋の Lab 値(L: 明度、 a^* : 赤緑、 b^* : 黄青)を計測した。

なお、L 値は明るさを示し、0(光が全く反射しない)~100(完全拡散反射)の範囲で表される。 a^* 値は正の場合は赤味の、負の場合は緑味の強さを表す。 b^* 値は正の場合は黄味の、負の場合は青味の強さを表す。 a^* および b^* 値はともに、絶対値が大きいほどそれぞれの色味が強いことを意味し、値が 0 に近いほど中間的な色調であることを示す。

10) 物理的特性(応力)

生肉(加熱前)および加熱後の食肉の応力を計測した。17 週齢の胸筋と外側腸脛骨筋の左側の中心部を冷凍条件下で各辺約 1cm の立方体にトリミングしたものを使用した。はじめに 20°C の環境下でクリープメータ RE-3305(山電、東京)を用いて表面から 70 パーセントの深度に到達した際の応力を測定した。測定後の筋肉は、さらに 95°C で 30 分間加熱し、4°C で一晩冷蔵保存し、翌日、同様の方法で加熱後の応力も測定した。

11) 統計学的解析

一元配置分散分析(one-way ANOVA)を用いて行い、群間の有意差の多重比較には Tukey の HSD(Honestly Significant Difference)検定を使用した。統計学的有意水準は 5%($p < 0.05$)、1%($p < 0.01$)および 0.5%($p < 0.005$)とした。

② 行動特性の分析

採卵鶏は肉用鶏と比較して摂餌量が少なく、覚醒時間や活動時間が長いという行動的特徴を持つことから、これらの特性が飼料効率や増体率に影響を及ぼす可能性が考えられる。また、先行研究では免疫去勢処理によって他個体への攻撃性や性行動に関連する問題行動が抑制されたとの報告もある。そこで本研究では、免疫去勢したニワトリに運動量計測装置を装着して飼育期間中の活動量を定量的に測定するとともに、詳細な行動様式の観察を行うことで、免疫去勢処理が行動特性に及ぼす影響を総合的に評価した。

1) 活動量の測定

活動量の計測装置 (WT901BLECL、Witmotion 社、中国) をニワトリの背部 (翼間) にマジックテープとともに装着し、得られる加速度をもとに運動量を数値化した。計測時間は日中 (10 時～15 時) の活動時間帯とし、8 週齢および 12 週齢の個体を対象とした。センサの重量は 20g であるが、装着による行動への影響を最小限にするため、測定の前日から装着を開始し、十分に順化させた。この装置は加速度センサ、小型バッテリーおよび無線通信モジュールを内蔵しており、Bluetooth5.0 を介して計測データをコンピュータへ送信・記録した。取得した加速度の時系列データから、活動量 A は以下の式で求めた。なお S_{active} は、静止していない時刻の集合、 S_{inactive} は、静止している時刻の集合を示す。

$$A = 100 \times \|S_{\text{active}}\| / (\|S_{\text{active}}\| + \|S_{\text{inactive}}\|)$$

2) 行動様式の観察

摂餌・飲水に加え、慰安行動 (羽ばたき、羽繕い、座り) の回数を計測した。13 週齢および 17 週齢の個体の日中の (10 時～15 時) 活動時間帯に、ビデオカメラで 1 群当たり、連続で 3 時間撮影した。撮影した映像を後日、分析し、各行動の頻度を定量的に評価した。

統計学的解析

一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を用いて行い、群間の有意差の多重比較には Tukey の HSD (Honestly Significant Difference) 検定を使用した。統計学的有意水準は 5% ($p < 0.05$) とした。

結 果

体重の推移

実験開始時には各群間に有意な体重差は認められなかったが、6 週齢から C 群と F 群の間に統計的に有意な差が出現した (C 群 vs F 群: $p < 0.05$)。この差は時間の経過とともに拡大し、17 週齢では雄 4 群の平均体重 (2,165.0g) は F 群 (1,383.0g) より約 56.5% の高値を示した。ただし、C 群と処理群 (E、L、B) 間には全実験期間を通じて統計的に有意な体重差は認められなかった。雄 4 群の平均増体量は 19.76～21.56g/日であり、各群間に統計的な有意差は認められなかった。これに対し、F 群 (雌) は 11.85g/日と、雄 4 群の約 55～60% の増体量にとどまった。雌雄間の増体量の差は特に、設定した実験期間の中期 (6 週齢～13 週齢) において顕著であった (図 2、表 1)。

飼料効率

全群で、成長に伴い飼料効率は低下傾向を示した。雄 4 群の中では E 群と B 群が最も高い飼料効率 (G/F) を示し、全期間平均でそれぞれ 1.33 および 1.34 であった。L 群と C 群もそれぞれ 1.25 と 1.23 と同様に比較的高い効率を維持した。F 群の飼料効率は 1.05 と、雄 4 群と比較して約 2 割低い値であった。全群において 9 週齢頃に飼料効率のピーク (約 2.3) が観察され、その後 16 週齢までに約 0.95 まで低下した (2B、表 1)。

血中テストステロン濃度

成長過程でのテストステロン濃度の変化は、免疫去勢処理のタイミングによって顕著に異なった。全ての雄群で成長に伴う濃度の上昇が観察されたが、その程度は E 群で最も抑制されていた。具体的には、C 群が 4 週齢から 17 週齢にかけて約 36 倍 (0.47 ng/mL→17.1 ng/mL) に増加したのに対し、E 群は約 5 倍 (0.94 ng/mL→5.0 ng/mL) の増加にとどまった。17 週齢では、4 週齢で免疫去勢処理を行った E 群が最も低いテストステロン濃度を示し、これは C 群の約 29%であった。一方、4 週齢と 8 週齢の両時点で処理を行った B 群では C 群より約 9%低い程度の抑制効果しか確認できなかった。さらに、8 週齢でのみ処理を行った L 群では抑制効果が見られず、むしろ C 群より約 26%高い濃度を示した。なお、17 週齢における F 群のテストステロン濃度は 1.5 ± 0.5 ng/mL であり、全群中最も低値であった。

これらの結果から、テストステロン抑制の効果は早期 (4 週齢時) の免疫去勢処理で最も顕著であり、その効果は 17 週齢でも持続していることが明らかとなった (図 3A)。

精巣の肉眼的観察と形態・組織学的評価

肉眼的観察において、免疫去勢処理を施した処理群 (E、L、B 群) の精巣は、群ごとに特徴的な大きさや形態を示した。E 群は全体的に小型で発達が顕著に抑制されており、サイズの均一性が高かった。L 群は E 群よりやや大きく、中程度の発達を示したが、個体間でのばらつきがわずかに認められた。2 回接種群 (B 群) は対照群と比較すると発達度が低いものの、一部の個体では対照群と同程度の大きさに達しているものもあった (図 3B)。17 週齢での精巣の重さは、E 群が対照群の約 1/4 にとどまり、最も低値を示した。L 群はその中間的な値を、B 群は対照群に近い値を示した。精巣係数 (精巣重量/体重) においても同様の傾向が観察され、E 群が最も低く、次いで L 群、B 群の順であった (表 2)。

形態学的計測では、長径および短径の両方において E 群が最も小さく、特に長軸方向の成長が顕著に抑制されていた。肉眼的観察においても、精巣の幅は、E 群が最も小さく、L 群がそれに続き、B 群は対照群とほぼ同等のサイズに達していた。長さは E 群と L 群間の差は小さかったが、対照群に比べると全処理群で短い傾向が見られた (表 2)。

組織学的評価では、精細管の断面積に明確な差が確認された。E 群の精細管断面積は最も小さく、L 群と B 群は中間的な値を示し、対照群が最大の断面積を有していた。E 群と対照群の間には統計的に有意な差が認められ、この結果は精巣の外観や重量測定の結果と一致する傾向を示した (図 3C、3D)。

骨格筋の発達(重さ)の評価

免疫去勢処理が採卵鶏雄雛の筋肉発達(重さ)に与える影響について統計解析した結果、処理群 (E、L、B 群) と C 群の間に有意差は認められなかった。10 週齢では L 群の烏口上筋 (ささみ) のみが C 群より小さい傾向があったが、17 週齢では胸筋、烏口上筋および後肢において処理群間に有意差はなかった。一部の処理群で C 群より重い傾向が見られたものの、統計的に有意なレベルには達しなかった。骨格筋の重さの雌雄間の比較では明確な性差が観察された。10 週齢の

時点で主に後肢重量において雄 4 群は F 群より約 40～50%大きく、17 週齢ではその差がさらに拡大し、いずれも雄群が大きかった。これらの差はすべて統計的に有意であった。10 週齢から 17 週齢にかけての変化(成長率を見ても)、雄 4 群は F 群を大きく上回った。雄 4 群の筋肉は胸筋と烏口上筋で約 90～130%、後肢で約 75～80%成長したのに対し、F 群はいずれも約 35～50%の成長にとどまった(図 4)。

鶏冠・肉垂の形態学的評価

17 週齢では、雄 4 群間の鶏冠および肉垂のサイズ(幅と高さ)に統計的な有意差は認められなかった。これに対し 10 週齢では、肉垂の幅と高さについて免疫去勢処理群(E、L、B 群)が C 群と比較して有意に小さい値を示していたが、成長に伴いこの差は消失した。また、雌群(F 群)は 10 週齢、17 週齢のいずれの時点においても、すべての測定項目で雄 4 群より有意に小さい値を示した(表 3)。

骨の発達の評価

処理群(E、L、B 群)と対照群(C 群)の骨の発達を比較すると、上腕骨、大腿骨および下腿骨の長軸長、近位部、骨幹中央部、遠位部各部位の幅および重さのいずれのパラメータにおいても、4 群間に統計的な有意差は認められなかった(図 5 では各骨の近位部、骨幹中央部、遠位部各部位の幅の結果は割愛)。また、群間でわずかな数値的差異は観察されたものの、統計的に有意ではなかった。大腿骨の重さは、E 群(16.50g)、L 群(16.73g)、B 群(16.30g)、C 群(15.73g)と、免疫去勢処理した 3 群がやや重い傾向を示し、上腕骨および下腿骨の重さにおいても L 群が C 群と比較して重い傾向にあったが、いずれも統計的に有意なレベルには達しなかった。骨の長さや幅についても同様で、すべての処理群が C 群と統計的に同等であった。

性差に関しては顕著な違いが認められた。雄 4 群の平均骨重量は F 群と比較して、上腕骨で 83.9%、下腿骨で 92.2%、大腿骨で 98.2%(雄平均 16.32g、雌 8.23g)重かった。長軸長についても、雄 4 群は F 群と比較して上腕骨、大腿骨、下腿骨の順に 14.5%、18.6%、20.3%それぞれ長く、明確な性的二形を示した。骨の各部位の幅においても同様の傾向が見られ、すべてのパラメータで雄が雌よりも有意に大きかった。(図 5)

骨格筋の筋線維の形態および構成の特性

胸筋は速筋型の IIb 型筋線維のみで構成され、外側腸脛骨筋は速筋型の IIa 型、IIc 型、IIb 型の 3 タイプの筋線維で構成されていた(図 6A)。10 週齢と 17 週齢の筋線維断面積を比較すると、すべての群で週齢の進行にともない筋線維の断面積は増加したが、各群間に有意差はなかった(図 6B の 10 週齢の結果は割愛)。外側腸脛骨筋の筋線維タイプの構成比率を見ると、すべての群で優勢であったタイプは IIb 型であり、続いて IIc 型、IIa 型の順であった(図 6C)。線維タイプ別の断面積は $IIa < IIc < IIb$ となり、速筋の性質が強くなるほど断面積が大きくなる傾向が E 群以外で見られた(図 6D)。また、精巣の重さと外側腸脛骨筋の IIb 型線維の本数には負の相関($r = -0.65$, $p < 0.05$)が認められ、精巣が軽い E 群では、IIb 型の筋線維が多くなる傾向があった(図 6E)。

コラーゲン遺伝子発現量

COL1A1 遺伝子発現では、F 群の高発現が特徴的であった。胸筋では、F 群が最も高い発現量を示し、E 群が最低値であった。外側腸脛骨筋でも、F 群が著しく高い発現量を維持し、B 群および C 群が低い発現となった(図 7A)。一方、*COL3A1* 遺伝子の発現は、*COL1A1* 遺伝子とは異なるパターンを示した。胸筋では C 群が最も高い発現量を示し、F 群の発現量は検出限界以下または非常に低い値であった。外側腸脛骨筋では B および C 群が高発現量を記録し、E 群と F 群が同程度に低い値を示し同じ遺伝子であっても部位により発現パターンが大きく異なった(図 7B)。筋肉間で比較すると、*COL1A1* 遺伝子は、F 群での高発現という共通の傾向が胸筋と外側腸脛骨筋で観察されたが、対照的に *COL3A1* 遺伝子は胸筋と外側腸脛骨筋で異なる発現パターンを示し、群間の関係性が部位によって変化した。

栄養成分組成の解析

胸肉は、エネルギー、ナトリウム、脂質の各成分で群間に差異が認められた。エネルギーは E 群が他の群と比べてやや低く、ナトリウムは E 群が他の群よりも有意に高い傾向にあった。また、脂質においても E 群は他の群と比べて低い値を示した。一方、もも筋では、エネルギーで B 群が他の群と比較してやや高い傾向が見られた。脂質についても B 群が他群より若干高い値を示した。たんぱく質については、群間の差は比較的小さいものの、C 群がわずかに高い値を示した。また、ナトリウムでは E 群が他の群と比較して高い値を示し、C 群が最も低い値となった(表 4)。

明度と色調

胸筋の Lab 値は、各群間に統計的に有意な差は認められなかった。しかし、もも肉においては顕著な差が見られた。具体的には、E 群の L 値は C 群と比較して有意に高い値を示した。また、*a** 値(赤色度)についても、E 群および F 群は C 群と比較して有意に低い値を示した。これらの結果から、E 群のもも肉は、対照群である C 群に見られる雄特有の赤みが弱まり、むしろ F 群(雌)に近い色調を示すようになった(表 5)。

物理的特性(応力)

加熱前の段階では、各群間に大きな差異は認められなかった。一方、加熱後の分析では胸筋において、C 群と処理群(E、L、B 群)の間に有意な差が検出された。外側腸脛骨筋は加熱によって応力の値は増したものの、B 群が有意に低かったが、それ以外の群間での顕著な差異は検出されなかった(図 8)

活動量の解析

E 群は、他の群(L、B、C 群)と比較して活動量が有意に低いことが明らかとなった。特に 12 週齢では、E 群の活動量は 88.2%であり、L 群(92.6%)、B 群(95.9%)、C 群(95.6%)と比較して明らかな低値を示した(図 9B)。

行動の観察

17 週齢では、摂餌行動において早期処理群 (E 群) が他のすべての群と比較して有意に多い回数を示し、特に 2 回接種群 (B 群) および雌群 (F 群) との差が顕著であった。後期処理群 (L 群) および対照群 (C 群) も、B 群と比較して有意に多い摂餌回数を示した。飲水行動では、E 群と対照群は F 群よりも有意に多い回数が観察された。羽ばたき行動においては E 群と B 群が、F 群よりも有意に多い回数を示した。座り行動については、F 群が他のすべての群と比較して有意に長時間この行動を維持していた (表 6)。

考 察

体重増加と増体能力における去勢効果

最も注目すべき結果の一つとして、免疫去勢処理が雄雛の基本的な成長能力に大きな影響を与えなかったことである。テストステロン濃度が最も低下した E 群 (4 週齢で処理群) においても、対照群と統計的に有意な差のない体重増加と飼料効率が維持された。

成長過程において、6 週齢以降に雄 4 群 (E、L、B、C 群) と雌群 (F 群) の体重差が顕著となり、17 週齢では雄 4 群が雌群より約 56.5% 重かった。免疫去勢処理群 (E、L、B 群) が対照群と同等の成長を示したことは、採卵鶏雄雛の肉用利用における潜在的な可能性を示唆している。

テストステロン濃度と内分泌系への影響

免疫去勢処理の最も顕著な影響は、内分泌系、特にテストステロン濃度の制御であった。4 週齢で処理した E 群では、17 週齢時点でのテストステロン濃度が対照群の約 30% まで低下した。処理時期によって抑制効果が大きく異なり、早期処理 (4 週齢) が最も効果的であることが明らかになった。精巣の発達においても、E 群は対照群の約 1/4 の重量にまで抑制され、精細管の断面積や形態学的特徴に有意な変化が観察された。この結果は、免疫去勢処理が生殖機能に直接的かつ長期的な影響を及ぼすことを示している。

免疫去勢処理の効果は予想を覆る結果となった。4 週齢と 8 週齢の両方で処理を行った B 群において、テストステロン濃度の抑制効果がわずか (対照群の約 9% 減) だった点は特筆に値する。通常、免疫学的には 2 回目の接種 (ブースター) でより強い効果が出ると期待されるが、今回は早期の 1 回処理 (E 群) が最も効果的だった。

この予想外の現象の背景には、複数の生理学的メカニズムが可能性として考えられる。1) 初回処理後に生じた免疫寛容の誘導、2) 発達段階に応じた内分泌応答性の変動、3) 免疫学的記憶形成に最適でない接種間隔の設定、4) 遺伝的背景に起因する個体差の影響、などである。

特に着目すべき知見として、本研究結果がニワトリの初期発達段階に処置の効果が長時間持続する「感受性が高い時期」が存在しており、この時期の免疫去勢の介入が、長期的な精巣機能の抑制に起因する変化をもたらす可能性を示している。

行動特性と生理学的変化

行動解析からも興味深い知見が得られた。E 群では活動量の有意な低下(88.2%)と摂餌回数の増加が観察された。これらの変化は、テストステロン濃度の低下が行動調節メカニズムに影響を与えた可能性を示唆している。羽ばたき行動や飲水行動においても群間差が認められ、免疫去勢処理が行動パターンに部分的な影響を及ぼすことも示された。これらの変化の生物学的意義や因果関係については、さらなる研究を重ねる必要はあるが、活動量低下による群飼育時の闘争行動の減少や、ケージ内での安定した行動は、ニワトリの損耗率の低減と飼育管理の効率化に有益だろう。また、養鶏農家の労働負担軽減と経営改善も期待できる。

行動特性の変化は飼育設備や給餌システムの最適化にも応用できる知見でもあり、飼養施設の設計や飼育マニュアルの改良にも活用できるだろう。

肉質および組織学的特性

筋肉の発達や骨格の形成において、処理群間に統計的な有意差は認められなかった。これは、免疫去勢処理が骨格筋の基本的発達を阻害しないことを意味する。肉質の特性では、E 群のもも肉(外側腸脛骨筋)において明度の上昇と赤色度の低下が観察された。これらの変化は、テストステロン濃度低下による筋肉組成の変化を反映していると考えられる。コラーゲン遺伝子発現や栄養成分においても、処理群間で特徴的な差異が確認された。

飼料効率と経済的側面

飼料効率は、E 群と B 群が最も高値(1.33 および 1.34)を示した。これは、免疫去勢処理が飼料効率に有利に作用する可能性を示唆している。9 週齢頃にピークを迎え、その後低下する飼料効率の推移は、将来の飼料設計や出荷時期の最適化に有用な情報となり得るだろう。

「あきたシャボン」と本研究における免疫去勢処理の比較

本研究の採卵鶏雄雛への免疫去勢処理と、肉用鶏(比内地鶏)を用いたあきたシャボンの外科的去勢を比較すると、いくつかの重要な相違点と共通点が見られた。最も基本的な違いは対象品種(採卵鶏か肉用鶏か)である。肉用鶏は元来、肉生産に適した筋発達の特性を持つため、去勢効果の現れ方も異なる。あきたシャボンでは筋肉内脂肪の増加や風味の深化が報告されているが、本研究の採卵鶏では脂質含量の大幅な増加は確認されなかった。これは品種特性の違いに加え、飼育期間の差(あきたシャボン:210-240 日齢、本研究:119 日齢=17 週齢)や飼育管理の方法(特別な飼料の使用や運動制限の有無)の違いも影響していると考えられる。一方、共通点としては両者ともテストステロン濃度低下と肉の色調変化(赤色度の減少)が観察された。この変化は去勢処理の生理的影響を反映したものと考えられる。

実用的な面として、免疫去勢処理は外科的去勢と比較して、処置の簡便性、動物福祉面での優位性、死亡リスクの低減、産業規模への適応性などの優位性を持つ。今後は、採卵鶏雄雛への免疫去勢処理とあきたシャボンで実施されているような特別な飼育管理(長期の飼育、特別な飼料など)を組み合わせることで、採卵鶏雄雛の肉質がさらに向上する可能性がある。

養鶏産業振興に向けた展望

本研究は、採卵鶏雄雛への免疫去勢処理が生産特性に及ぼす影響を多角的に検証した。得られた主な知見は以下である。

1. 成長への影響: 血中テストステロン濃度が対照群の約 30%まで低下した E 群(4 週齢処理群)においても、体重増加と飼料効率は対照群と同等に維持された。
2. 内分泌系への影響: 免疫去勢処理、特に 4 週齢での処理は、血中テストステロン濃度と精巣の発達に顕著な抑制効果を示した。17 週齢での血中テストステロン濃度の抑制と精巣重量の減少は、免疫去勢処理の生理学的影響を明確に示していた。
3. 行動特性の変化: 活動量の低下と摂餌回数の増加など、行動パターンに部分的な変化が観察された。これらの変化の生物学的意義については、さらなる研究が必要である。
4. 肉質および組織学的特性: 筋肉発達や骨格形成に統計的な有意差は認められず、免疫去勢処理がニワトリの基本的な成長を阻害しないことが示唆された。外側腸脛骨筋の明度や色(赤色度)の変化は、興味深い知見ではあるものの、その実用的意義については慎重に評価する必要がある。
5. 飼料効率と経済的側面: 免疫去勢処理を施した E 群と B 群では飼料効率が向上し(1.33 および 1.34)、これは採卵鶏雄雛の経済的価値を高める可能性を示した。また、処理群で見られた摂餌行動の増加と活動量の低下は、エネルギー利用効率の向上につながり、飼料コスト削減と産業的実用性の向上に寄与する可能性がある。

以上をまとめると、本研究は採卵鶏雄雛の経済的価値を探る上で重要な初期的知見を提供した。産業的な実用化を目指すためには、さらなる研究と検証が不可欠である。

今後は、免疫去勢技術の最適化と生産性向上に向けて、今後も継続的な研究に取り組み、この技術の実践的価値の確立を目指していく。

参考文献

1. Cui X, Cui H, Liu L, Zhao G, Liu R, Li Q, et al. Decreased testosterone levels after caponization leads to abdominal fat deposition in Chickens. BMC Genomics, 19:19, 2018.
2. Gesek M, Murawska D, Otrocka-Domagala I, Michalska K, Zawacka M. Effects of caponization and age on the histology, lipid localization, and fiber diameter in muscles from Leghorn cockerels. Poult Sci, 98:1354–62, 2019.
3. Kotula-Balak M, Pawlicki P, Galuszka A, Pardyak L, Tuz R, Dubniewicz K, et al. Effect of immunocastration using Improvac on the regulation of adiponectin and leptin in the testes of Landrace boars. Med Weter, 77:1–6, 2022.
4. Mast MG, Jordan HC, Macneil JH. The effect of partial and complete caponization on growth rate, yield, and selected physical and sensory attributes of cockerels. Poult Sci, 60:1827, 1981.

5. Moore K, Mullan B, Dunshea F. Boar taint, meat quality and fail rate in entire male pigs and male pigs immunized against gonadotrophin releasing factor as related to body weight and feeding regime. *Meat Sci*, 125:95-101, 2017.
6. 尾崎裕昭・福岡規夫・森田憲嗣・澤英夫, 「鳥取地どりピヨ」の改良試験旨み(アラキドン酸)向上試験II 鶏の去勢が発育および肉質に及ぼす影響, 鳥取県中小家畜試験場研究報告 58: 29-34, 2012.
7. Pawlicki P, Galuszka A, Pardyak L, Tuz R, Płachno BJ, Malopolska M, et al. Leydig cells in immunocastrated Polish Landrace pig testis: differentiation status and steroid enzyme expression status. *Int J Mol Sci*, 23:6120, 2022.
8. Quaresma MAG, Antunes IC, Ribeiro MF, Prazeres S, Bessa RJB, da Costa PM. Immunocastration as an alternative to caponization: evaluation of its effect on body and bone development and on meat color and composition. *Poult Sci*, 96: 3608-3615, 2017.
9. Rikimaru K, Takahashi H, Nichols MA. An efficient method of early caponization in slow-growing meat-type chickens. *Poult Sci*, 90:1852-1857, 2011.
10. Rikimaru K, Yasuda M, Komatsu M, Ishizuka J. Effects of caponization on growth performance and carcass traits in Hinai-jidori chicken. 46:351-355, 2009a.
11. Rikimaru K, Yasuda M, Komatsu M, Ishizuka J. Effects of caponization on meat quality of Hinai-jidori chicken. 46:345-350, 2009b.
12. 力丸宗弘・小松恵・安田正明・石塚条次, 比内地鶏の去勢に関する試験(第1報)ー比内地鶏の去勢が発育およびと体成績に及ぼす影響ー秋田農技セ畜試研究報告 24: 53-58, 2010a.
13. 力丸宗弘・小松恵・安田正明・石塚条次, 比内地鶏の去勢に関する試験(第2報)ー比内地鶏の去勢が肉質に及ぼす影響ー秋田農技セ畜試研究報告 24: 59-65, 2010b.
14. 下嶋晋太郎・大俵直子, 去勢した福地鶏雄雛の産肉性能調査, 福井県畜産試験場研究報告, 35: 25-29, 2022.
15. Squires EJ, Bone C, Cameron J. Pork production with entire males: directions for control of boar taint. *Animals (Basel)*, 10:1665, 2020.
16. Yoshioka K, Watahiki Y, Kanie A, Tsujio M, Ikadai H, Kashimoto T, Mutoh K. Morphology of the cockerel's comb after androgen administration. *Br Poult Sci*, 51:185-94, 2010.
17. Zeng YT, Wang C, Zhang Y, Xu L, Zhou GB, Zeng CJ, Zuo ZC, Song TZ, Zhu Q, Yin HD, Zhang M. Improvac immunocastration affects the development of thigh muscles but not pectoral muscles in male chickens. *Poult Sci*, 99(10):5149-5157, 2020.
18. Zomeño C, Gispert M, Čandek-Potokar M, Mörlein D, Font IFM. A matter of body weight and sex type: pig carcass chemical composition and pork quality. *Meat Sci*, 197:109077, 2023.

本稿の執筆にあたり、秋田県での現地調査において、秋田県畜産試験場・比内地鶏研究部主任研究員の力丸 宗広 様、秋田県北秋田地域振興局農林部農業普及課 技師の小松 莉奈 様、秋田県北秋田市の杉渕 渉様をはじめとする、あきたシャボン研究会のメンバーの皆様にも多大なるご協力をいただきました。また、秋田県中央家畜保健衛生所技師の川畑 海渡 様には、本調査実行のために多大なる協力を賜りました。

本学農学研究院の食品製造工学研究室の井倉則之 教授、栄養科学研究室の佐藤匡央 教授ならびに田中愛健 助教からは、研究機器の貸与およびデータ解析の助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

最後に、ニワトリの長期間の飼育・管理および本研究のデータ解析を担当した、西村正太郎 准教授をはじめとする九州大学農学部家畜生体機構学の教室員に心から感謝いたします。



秋田県 北秋田振興局作成のあきたシャボンの販売促進用リーフレット
シャボンの誕生の背景、生産方法、肉質の特徴などが説明されている

図1: 現地調査で訪問した秋田県畜産試験場およびあきたシャボンの生産農家（上・中段）
県もあきたシャボンのリーフレットを作成・発行し、販売促進に取り組んでいる。

図2

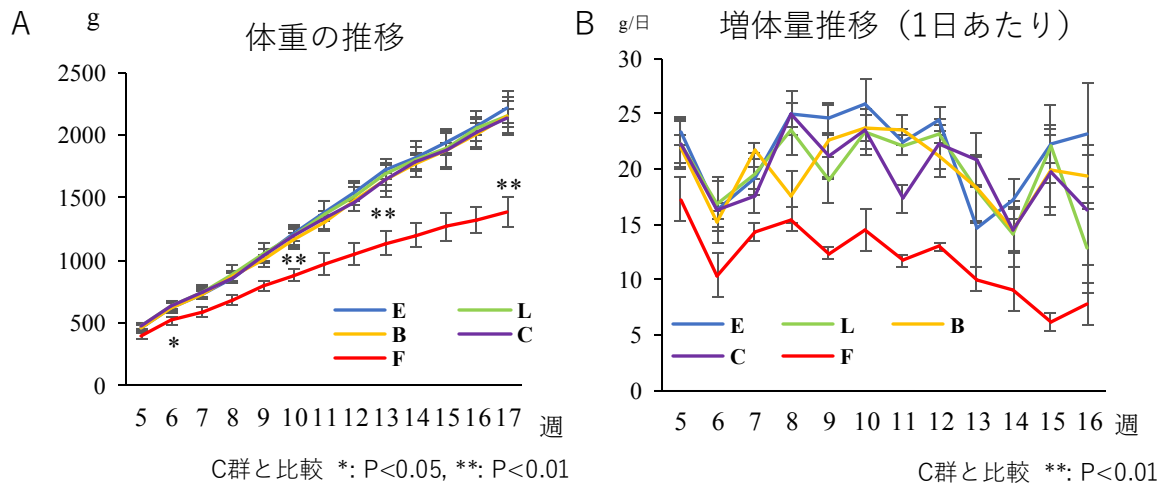


図2: 飼育期間中の体重の推移 (A) と、増体量の推移 (/日) (B)
(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C:対照群、F:雌群)

図3

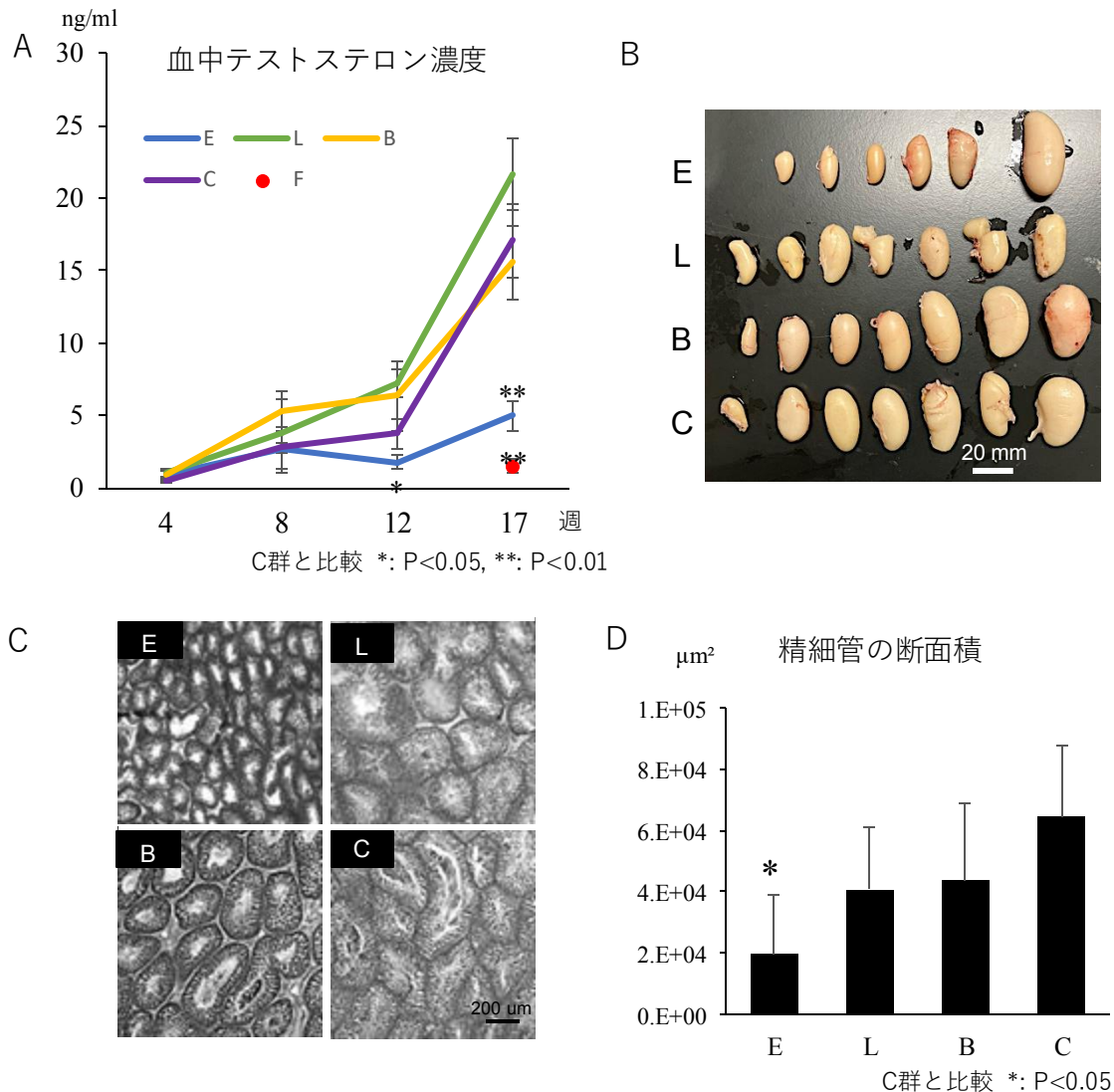


図3: 血中テストステロン濃度 (A) ならびに精巣の外観 (B) を示す。
精巣の組織像 (C) および精細管の断面積 (D) で精巣の形成レベルを評価した。
(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C:対照群、F:雌群)

図4

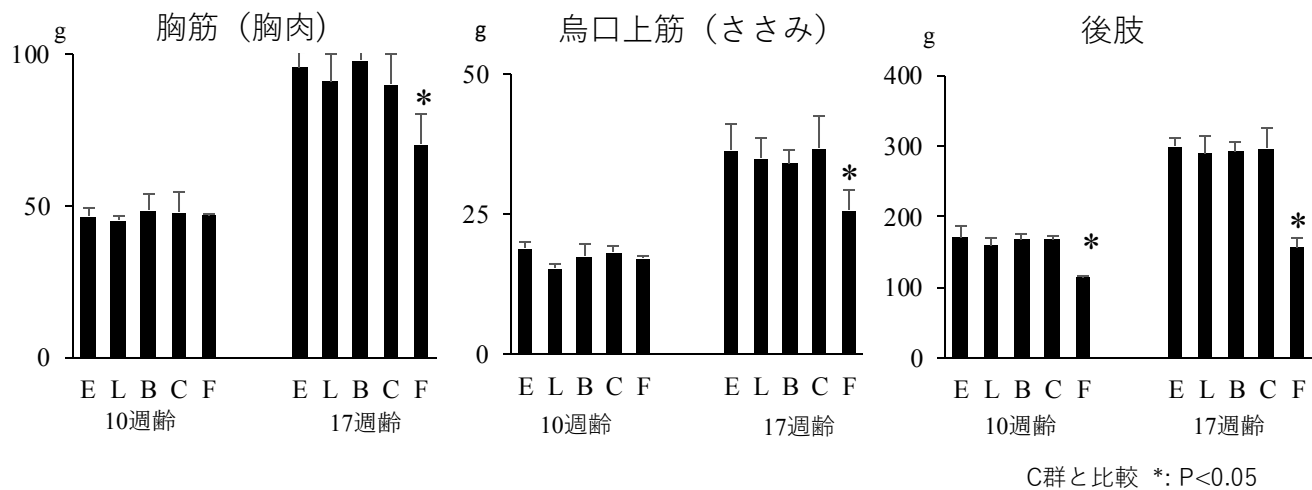


図4: 10週齢および17週齢の胸部の筋肉および後肢の重さ。雌が低値である以外は各群に有意な違いは見られない。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C:対照群、F:雌群)

図5

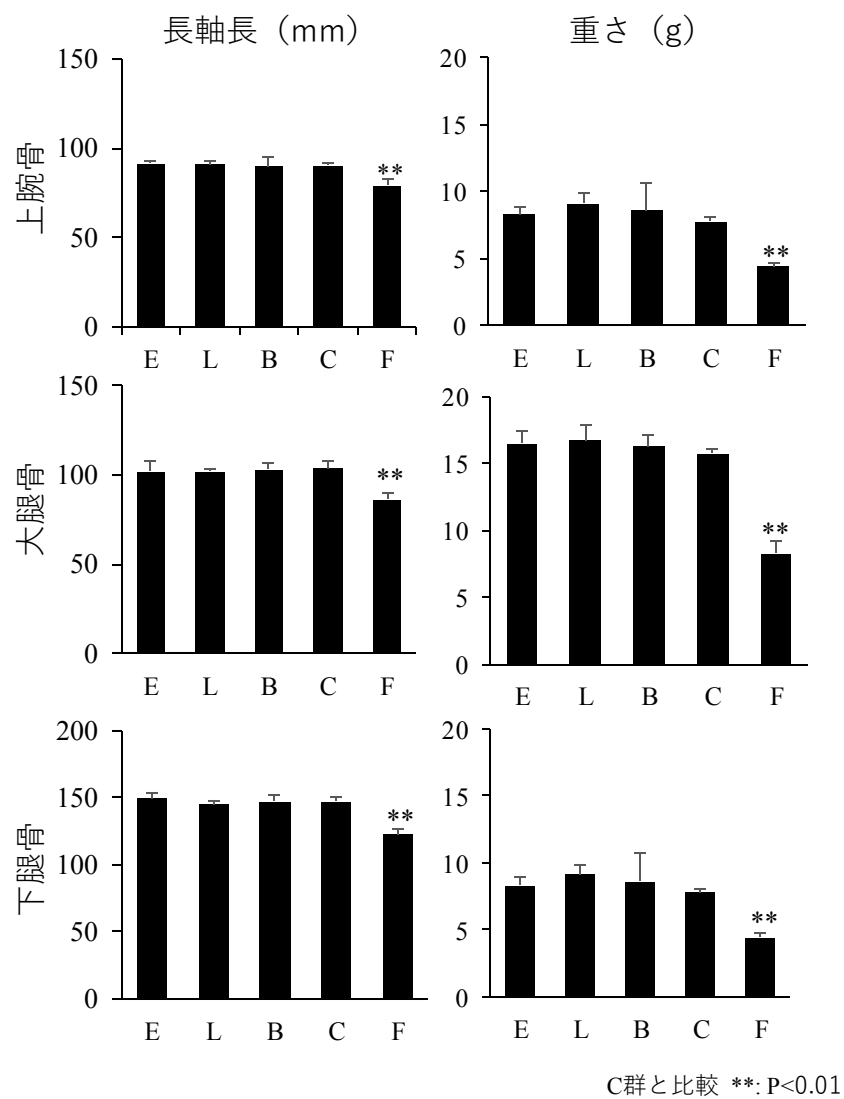


図5: 17週齢の長骨の長さならびに重さ。雌が低値である以外は各群に有意な違いは見られない。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C:対照群、F:雌群)

図6

HE染色

免疫組織化学
(抗ミオシン (速筋) 抗体)

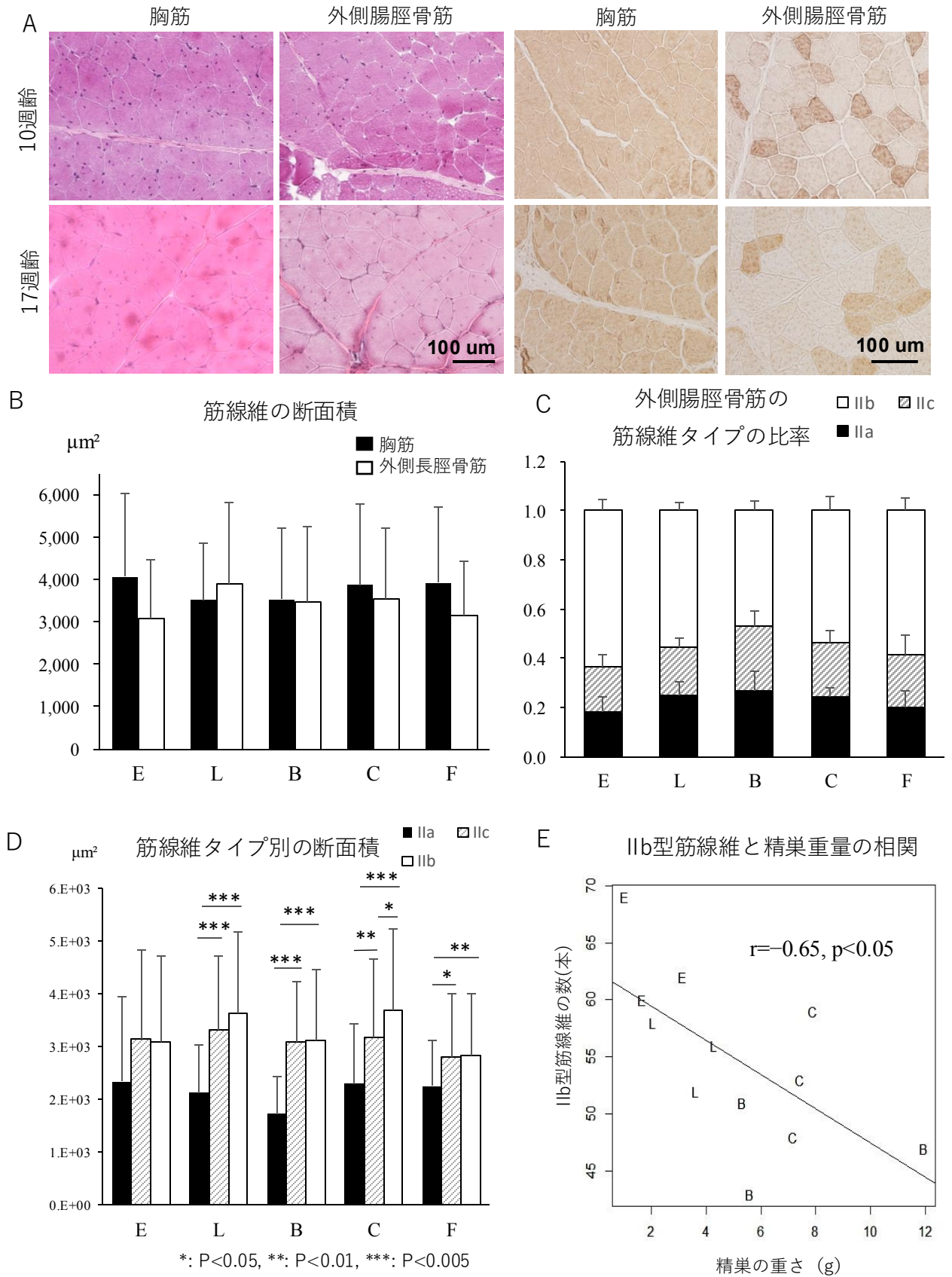


図6: 10週齢および17週齢の筋組織の組織像 (A)。胸筋 (胸肉) はほぼ速筋からなるが、外側腸脛骨筋 (もも肉) は染色強度が異なり、様々な種類の筋線維が混在していることが分かる。外側腸脛骨筋の筋線維の断面積 (B)、外側腸脛骨筋 (もも肉) の筋線維タイプの比率 (C) と、各筋線維タイプの断面積 (D)。図Eは、IIb型 (速筋) 線維と精巣の重量の相関を示す (いずれも17週齢での解析)。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C: 対照群、F: 雌群)

図7

コラーゲン遺伝子の発現量

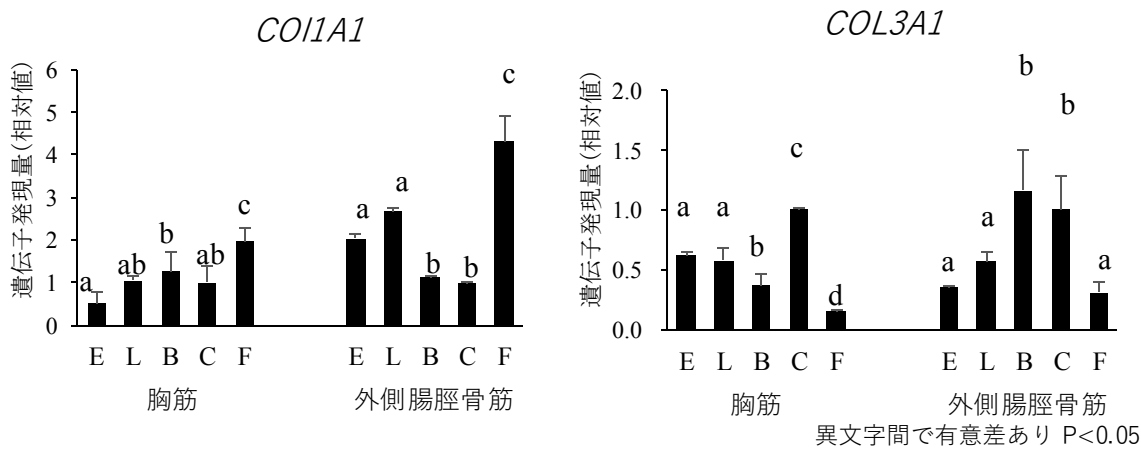


図7: 各筋組織のコラーゲン遺伝子 (COL1A1 (A) 、COL3A1 (B)) の発現量の比較 (いずれも17週齢での解析)。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C: 対照群、F: 雌群)

図8

応力 (N/mm²)

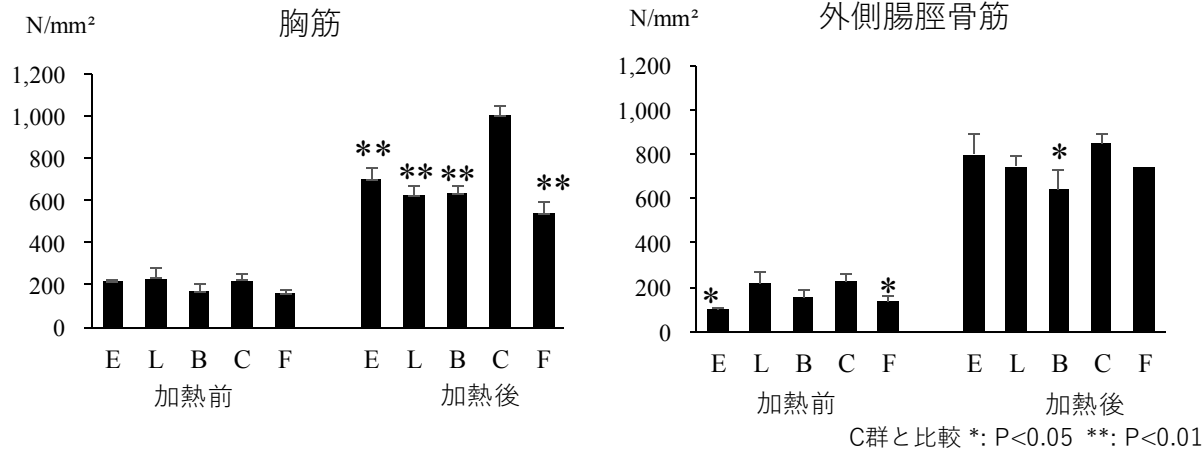


図8: 各筋組織の応力 (いずれも17週齢での解析)。加熱前後で計測している。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C: 対照群、F: 雌群)

図9

実際に計測した加速度データの例

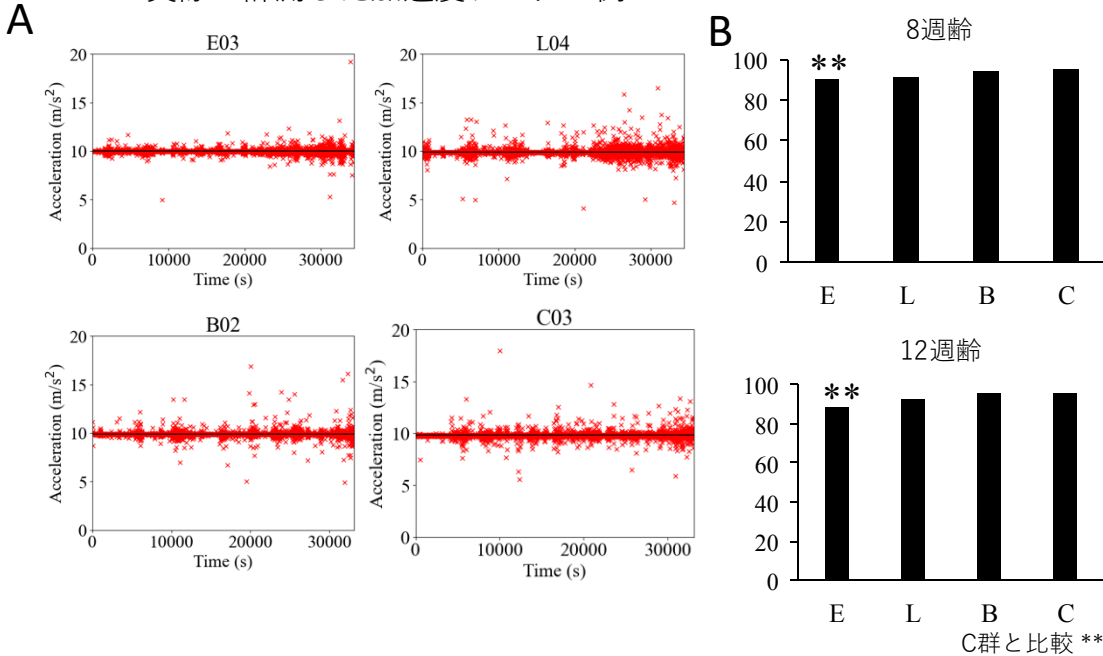


図9: 計測した加速度データプロットとその量 (A)。図Aの基線 (10の横線) から離れているほど、強い加速度を記録しており (活動量が高い)、Bは図Aをもとに算出した活動量を示す。(E: Early群、L: Late群、B: Both群、C: 対照群、F: 雌群)

表1: 飼育期間中の増体量G、摂餌量F、
および飼料効率G/F

C群と比較 **: P<0.01

	E	L	B	C	F
増体量G (g/日)	21.56 ± 3.74	19.76 ± 3.68	19.94 ± 3.08	19.76 ± 3.33	11.85 ± 3.28**
摂餌量F (g/日)	17.56 ± 3.83	16.18 ± 3.12	16.08 ± 2.96	17.57 ± 3.96	10.63 ± 1.85**
飼料効率 (G/F)	1.33 ± 0.55	1.25 ± 0.42	1.34 ± 0.48	1.23 ± 0.62	1.05 ± 0.42

表2: 精巢のインデックス

異文字間で有意差あり P<0.05

10週齢	E	L	B	C
精巢 左 (g)	0.27 ± 0.02 ^a	0.20 ± 0.05 ^a	0.29 ± 0.04 ^a	1.78 ± 0.73 ^b
精巢 右 (g)	0.30 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.04 ^b	0.28 ± 0.06 ^a	1.91 ± 0.62 ^c
精巢重さ (g)	0.57 ± 0.05 ^a	0.41 ± 0.09 ^b	0.58 ± 0.09 ^a	3.70 ± 1.36 ^c
精巢係数 (g/kg)	0.46 ± 0.07 ^a	0.32 ± 0.05 ^b	0.48 ± 0.11 ^a	2.90 ± 1.00 ^c
精巢 長径 (cm)	1.33 ± 0.05 ^a	1.16 ± 0.05 ^b	1.50 ± 0.20 ^c	2.63 ± 0.56 ^d
精巢 短径 (cm)	0.66 ± 0.05 ^a	0.60 ± 0.10 ^b	0.66 ± 0.05 ^a	1.20 ± 0.17 ^c

17週齢	E	L	B	C
精巢 左 (g)	0.93 ± 0.40 ^a	2.03 ± 1.13 ^{ab}	3.74 ± 1.47 ^{bc}	3.97 ± 0.58 ^c
精巢 右 (g)	0.90 ± 0.51 ^a	1.83 ± 0.89 ^a	3.63 ± 1.29 ^b	3.90 ± 0.66 ^b
精巢重さ (g)	1.83 ± 0.91 ^a	3.86 ± 1.98 ^a	7.37 ± 2.75 ^b	7.88 ± 1.15 ^b
精巢係数 (g/kg)	0.80 ± 0.38 ^a	0.76 ± 0.92 ^a	0.33 ± 1.07 ^b	3.58 ± 0.61 ^b
精巢 長径 (cm)	0.92 ± 0.15 ^a	1.20 ± 0.32 ^{ab}	1.57 ± 0.25 ^b	1.58 ± 0.08 ^b
精巢 短径 (cm)	2.05 ± 0.20 ^a	2.58 ± 0.46 ^a	2.82 ± 0.92 ^a	3.28 ± 0.25 ^b

表3: 鶏冠および肉垂のサイズ (cm)

C群と比較して *: P<0.05 **: P<0.01

10週齢	E	L	B	C	F
鶏冠 幅	4.90 ± 0.20	5.06 ± 0.30	4.87 ± 0.33	5.77 ± 0.68	3.60 ± 1.21**
鶏冠 高	2.23 ± 0.46	2.30 ± 0.36	2.23 ± 0.68	2.30 ± 0.45	1.60 ± 0.17**
肉垂 幅	2.27 ± 0.68*	2.53 ± 0.35*	2.07 ± 0.31*	3.10 ± 0.17	0.80 ± 0.20**
肉垂 高	2.13 ± 0.15*	2.07 ± 0.23*	2.10 ± 0.17*	2.93 ± 0.62	0.93 ± 0.11**

17週齢	E	L	B	C	F
鶏冠 幅	7.30 ± 0.88	7.88 ± 0.59	7.70 ± 0.70	7.54 ± 0.27	3.40 ± 0.44**
鶏冠 高	3.45 ± 0.61	3.90 ± 0.70	4.00 ± 0.51	3.82 ± 0.21	1.70 ± 0.30**
肉垂 幅	3.45 ± 0.52	3.22 ± 0.41	3.98 ± 0.41	3.38 ± 0.28	1.70 ± 0.26**
肉垂 高	3.30 ± 0.29	3.38 ± 0.28	3.60 ± 0.65	3.66 ± 0.42	1.37 ± 0.15**

表4: 胸肉およびもも肉の栄養成分（17週齢・100 gあたり） C群と比較 *: P<0.05

胸肉	E	L	B	C
エネルギー (kcal)	108.67 ± 1.53	112.00 ± 2.00	114.00 ± 1.00	114.67 ± 4.51
たんぱく質 (g)	25.27 ± 0.23	25.90 ± 0.30	25.40 ± 0.35	25.47 ± 0.29
脂質 (g)	0.83 ± 0.06*	0.93 ± 0.35	1.40 ± 0.20	1.43 ± 0.51
炭水化物 (g)	0.00	0.00	0.00	0.00
食塩相当量 (g)	0.10	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01
ナトリウム (mg)	42.00 ± 3.61*	36.67 ± 2.08	37.00 ± 1.00	37.00 ± 2.00
水分 (g)	72.7 ± 0.26	71.97 ± 0.06	72.03 ± 0.25	71.9 ± 0.53
灰分 (g)	1.20	1.20	1.17 ± 0.06	1.20

もも肉	E	L	B	C
エネルギー (kcal)	125.00 ± 1.40	124.33 ± 1.53	130.67 ± 2.52	124.00 ± 13.23
たんぱく質 (g)	22.10 ± 0.44	22.53 ± 0.61	22.57 ± 0.21	22.87 ± 2.21
脂質 (g)	4.07 ± 1.68	3.77 ± 0.25	4.43 ± 0.21	3.60 ± 2.19
炭水化物 (g)	0.00	0.03 ± 0.06	0.03 ± 0.06	0.00
食塩相当量 (g)	0.20	0.20	0.20	0.17 ± 0.06
ナトリウム (mg)	68.33 ± 9.24	65.33 ± 2.31	63.00 ± 2.00	55.67 ± 14.43
水分 (g)	72.70 ± 1.54	72.50 ± 0.46	71.80 ± 0.40	72.43 ± 1.29
灰分 (g)	1.13 ± 0.06	1.17 ± 0.06	1.17 ± 0.06	1.10 ± 0.10

表5: 胸肉およびもも肉の明度（*L*）および色調（*a**, *b**） C群と比較 *: P<0.05

胸肉	E	L	B	C	F
<i>L</i>	60.4 ± 1.12	59.3 ± 4.72	65.8 ± 3.21	61.03 ± 5.17	64.2 ± 1.85
<i>a</i> *	2.82 ± 0.35	3.52 ± 0.33	3.82 ± 0.81	5.08 ± 0.42	4.73 ± 2.31
<i>b</i> *	18.3 ± 1.57	18.2 ± 0.82	20.0 ± 0.84	22.05 ± 1.36	21.46 ± 2.95

もも肉	E	L	B	C	F
<i>L</i>	64.93 ± 4.53*	56.83 ± 1.99	56.16 ± 2.56	54.82 ± 3.4	59.45 ± 3.31
<i>a</i> *	4.00 ± 0.71*	6.48 ± 0.54	4.23 ± 0.29	7.45 ± 1.36	3.54 ± 1.31*
<i>b</i> *	17.52 ± 0.96	16.79 ± 3.27	16.99 ± 2.18	17.40 ± 1.95	18.71 ± 3.55

表6 行動の種類（回）（13および17週齢）異文字間で有意差あり P<0.05

13週齢	E	L	B	C
摂餌	7.33 ± 2.02	8.05 ± 0.64	8.05 ± 0.44	7.88 ± 0.65
飲水	1.72 ± 0.59	2.10 ± 0.46	1.90 ± 0.46	2.90 ± 0.93
羽ばたき	1.06 ± 0.20	0.62 ± 0.36	1.10 ± 0.08	0.95 ± 0.16
羽繕い	3.60 ± 0.59	3.48 ± 1.37	3.76 ± 0.33	3.57 ± 0.76
座り	1.06 ± 0.42	1.19 ± 0.36	1.57 ± 0.52	1.90 ± 0.79

17週齢	E	L	B	C	F
摂餌	10.44 ± 1.26 ^a	8.43 ± 0.62 ^{ac}	6.05 ± 0.16 ^b	8.67 ± 1.33 ^{ac}	6.61 ± 1.10 ^{bc}
飲水	3.56 ± 0.67 ^a	2.24 ± 1.03 ^{ab}	2.47 ± 0.73 ^{ab}	2.71 ± 0.14 ^a	1.78 ± 0.42 ^b
羽ばたき	2.67 ± 0.58 ^a	2.33 ± 0.44 ^{ab}	2.05 ± 0.16 ^a	2.19 ± 0.33 ^{ab}	1.67 ± 0.29 ^b
羽繕い	5.94 ± 1.55	4.76 ± 0.87	4.33 ± 0.79	4.62 ± 0.93	6.72 ± 1.39
座り	1.78 ± 0.67 ^a	1.33 ± 0.22 ^a	1.81 ± 0.54 ^a	2.14 ± 0.42 ^a	3.61 ± 0.59 ^b