

微細藻類ユーグレナ給与が鶏卵および鶏肉の品質に及ぼす影響

渡邊翔太

Effect of Dietary *Euglena gracillis* on Chicken Egg and Meat  
Quality

Shota Watanabe

## 目次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1 章 緒論                       | 1  |
| 1.1.1 畜産物の生産量と家計消費量の変化       | 1  |
| 1.1.2 鶏卵と鶏肉の銘柄数の変化           | 6  |
| 1.1.3 銘柄卵と銘柄鶏                | 7  |
| 1.1.4 微細藻類とヒトの関わり            | 11 |
| 1.1.5 ユーグレナに関する既往の研究         | 12 |
| 1.1.6 研究の目的と構成               | 19 |
| 2 章 鶏ひなの成長試験                 | 22 |
| 2.1 背景および目的                  | 22 |
| 2.1.1 飼料利用に関する法律と安全性試験       | 22 |
| 2.2 材料および方法                  | 24 |
| 2.2.1 供試鶏                    | 24 |
| 2.2.2 試験区                    | 26 |
| 2.2.3 測定項目および統計処理            | 28 |
| 2.3 結果および考察                  | 28 |
| 2.3.1 ユーグレナ給与が鶏ひなの発育成績に与える影響 | 28 |
| 2.4 小括                       | 29 |
| 3 章 レイヤーへのユーグレナ給与が卵質に及ぼす影響   | 30 |
| 3.1 背景および目的                  | 30 |
| 3.1.1 鶏卵の生産とカラーファンスコアの関係     | 30 |
| 3.1.2 卵黄の色素とカロテノイドの関係        | 35 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1.3 | カロテノイド色素を利用した鶏卵の生産                     | 36 |
| 3.1.4 | ユーグレナを用いた鶏卵生産                          | 37 |
| 3.2   | 材料および方法                                | 38 |
| 3.2.1 | 供試鶏                                    | 38 |
| 3.2.2 | 試験区                                    | 38 |
| 3.2.3 | 測定項目および統計処理                            | 39 |
| 3.2.4 | 供試飼料の成分                                | 41 |
| 3.3   | 結果および考察                                | 43 |
| 3.3.1 | ユーグレナ給与が卵重,濃厚卵白高,ハウユニット,卵殻強度,卵殻厚に及ぼす影響 | 43 |
| 3.3.2 | ユーグレナ給与がカラーファンスコアと卵黄中のカロテノイドの含量に及ぼす影響  | 45 |
| 3.3.3 | ジアトキサンチンとアロキサンチンの抗酸化作用                 | 50 |
| 3.4   | 小括                                     | 52 |
| 4章    | ブロイラーへのユーグレナ給与が肉質に及ぼす影響                | 53 |
| 4.1   | 背景および目的                                | 53 |
| 4.1.1 | ブロイラーの生産と消費者の需要                        | 53 |
| 4.2   | 材料および方法                                | 56 |
| 4.2.1 | 供試鶏                                    | 56 |
| 4.2.2 | 試験区                                    | 57 |
| 4.2.3 | 測定項目および統計処理                            | 57 |
| 4.2.4 | 供試飼料の成分                                | 59 |
| 4.3   | 結果および考察                                | 62 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.1 ユーグレナ給与がブロイラーの飼養成績と解体成績に<br>与える影響    | 62 |
| 4.3.2 ユーグレナ給与がブロイラーのモモ肉と腹腔内脂肪の<br>色差に及ぼす影響 | 64 |
| 4.3.3 ユーグレナ給与がモモ肉の脂肪酸含量に及ぼす影響              | 65 |
| 4.4 小括                                     | 70 |
| 5章 比内地鶏へのユーグレナ給与が肉質に及ぼす影響                  | 71 |
| 5.1 背景および目的                                | 71 |
| 5.1.1 地鶏の生産と需要                             | 71 |
| 5.1.2 地鶏の種類                                | 72 |
| 5.2 材料および方法                                | 76 |
| 5.2.1 供試鶏                                  | 76 |
| 5.2.2 試験区                                  | 77 |
| 5.2.3 測定項目                                 | 78 |
| 5.2.4 供試飼料の成分                              | 79 |
| 5.3 結果および考察                                | 82 |
| 5.3.1 ユーグレナ給与が比内地鶏の飼養成績と解体成績に与え<br>る影響     | 82 |
| 5.3.2 ユーグレナ給与が比内地鶏のモモ肉と腹腔内脂肪の色差<br>に及ぼす影響  | 84 |
| 5.3.3 ユーグレナ給与がモモ肉の一般成分と脂肪酸含量に及ぼ            |    |

|        |     |
|--------|-----|
| す影響    | 86  |
| 5.4 小括 | 90  |
| 6章 総括  | 91  |
| 引用文献   | 96  |
| 謝辞     | 113 |

## 1 章 緒論

### 1.1.1 畜産物の生産量と家計消費量の変化

戦後，日本では食生活の欧米化が進み，畜産物と油脂類の消費量が急速に増加し，家畜の飼養頭数も増加した(草苺 2009). さらに 1906 年には，海外種の導入や畜産器具の導入および使用方法技術の導入が進み，畜産物の生産量はさらに増加していった(西川 1968).

戦前の日本における畜産業は耕作農家の副業に過ぎず，家畜へ与える配合飼料は耕作農家の副産物である小米や割麦，米ぬか，麦ぬか，ふすまなどを与える程度であった(佐藤 1972). しかし，戦後に家畜の飼養頭数が増加したことを受け，1953年に飼料供給の安定化を目的とした「飼料需給安定法」が制定された(横山 1994). これに基づいてトウモロコシや麦類，ふすまなどの飼料原料を政府が自らで輸入飼料の購買や保管および販売を担い，毎年飼料需給計画を立てて飼料輸入を進めるようになり，家畜へ与える飼料原料の重要性を我が国でも意識するようになった(佐藤 1972, 早川 1986). 1950年代後半に入ると，国内農業生産力の高まりによって食料不足が一時的に解消したが，さらなる高度経済成長に伴って畜産物需要が増大するようになった(草苺 2009). これを受け，日本ではアメリカからトウモロコシなどの飼料穀物を輸入する動きが拡大し，1960年に 130 万 tであったものが 1970年には 432 万 tへ増大することとなった(野口 2011). これに伴い，畜産物の生産に必要な配合飼料の生産も拡大し，1960年に 243 万 tであった配合飼料の生産量が 1980年には 2,138 万 tまで増加し，1993年には 2,600 万 tに

達した(西川 1968)。その後、畜産物の輸入量増加や国内における家畜飼養等羽数の減少などの影響を受け、2014年には2,390万 tまで減少した(図 1-1;農畜産業振興機構国内統計資料 2021)。しかし、2014年以降は生産量も徐々に増加し、現在では2,400万 t前後で推移している。

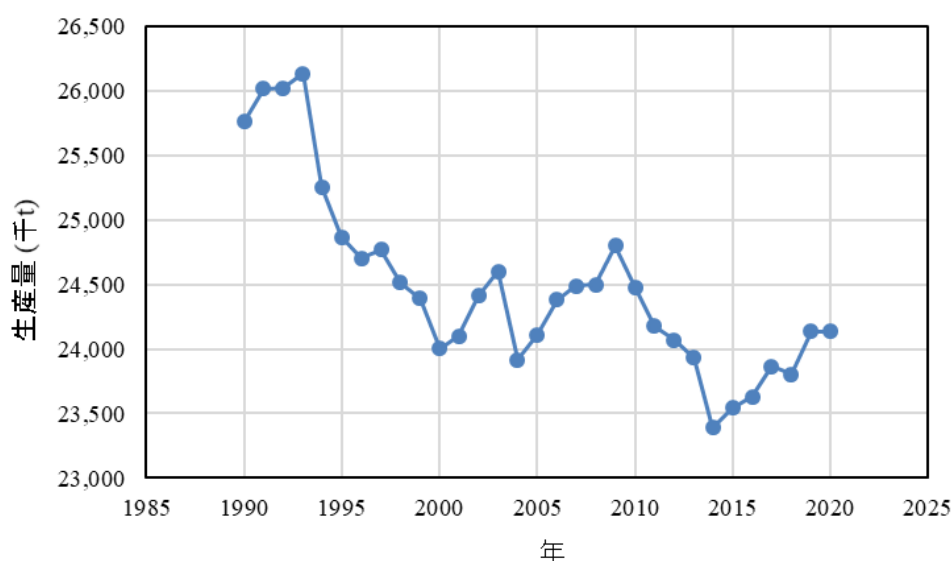


図 1-1 配合飼料の生産量の推移

(農畜産業振興機構国内統計資料 2021 より引用, 改変)

図 1-2 に畜産物の生産量の推移を示す(農畜産業振興機構国内統計資料 2021)。畜産物の生産量においては1990年時点での鶏卵の生産量が242万 tと一番多く、次いで豚肉が154万 t、鶏肉が138万 tと続き、牛肉が最も少なく56万 tであった。その後、豚肉の生産量は若干の減少傾向を辿り、2020年では131万 tまで減少している。また、牛肉においても生産量は豚肉と同様に減少傾向を辿り、2020年では48万 tまで減少している。



これに対して、豚肉や牛肉の生産量とは対照的に鶏卵や鶏肉の生産量は、緩やかな増加を辿り、2020年においては鶏卵では260万t、鶏肉では166万tにまで増加した。

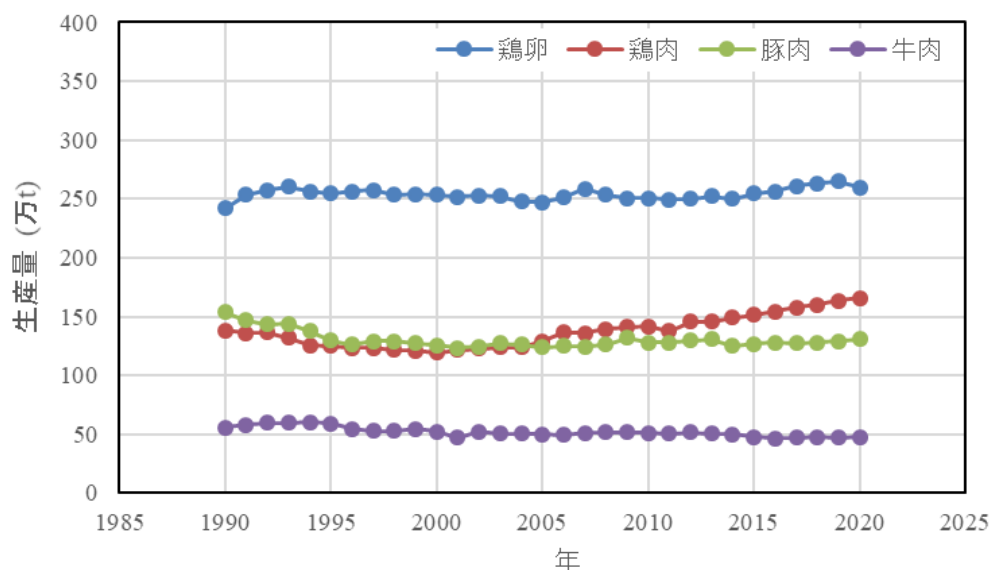


図 1-2 畜産物の生産量の推移

(農畜産業振興機構国内統計資料 2021 より引用，改変)

図 1-3 に 1 世帯当たりの畜産物の家計消費量を示す。1 世帯当たりの畜産物の家計消費量において、牛肉では 1990 年の 3,084 g/月から 2020 年には 2,451 g/月まで減少している。前述のように豚肉では国内の生産量は 1990 年から 2020 年までで減少し、その後横ばい傾向にあるが、家計消費は 1990 年の 4,842 g/月から 2020 年では 7,825 g/月と 1.61 倍まで増加している。また、鶏卵と鶏肉においても豚肉と同様に、1990 年では鶏卵で 10,826 g/月、鶏肉で 3,645 g/月であった消費量は、2020 年では鶏卵で 11,562 g/月と微増した一方、鶏肉では 6,424 g/月と

1.76 倍まで増加し消費が拡大している。鶏肉が増加した要因としては消費者の食への意識の変化によるもので、経済性と健康意識が向上したことに伴い、安価で健康的な鶏肉の需要が増加したと考えられる。また、豚肉においては牛海綿状脳症(BSE:Bovine Spongiform Encephalopathy)の発生に伴い、牛肉からの代替需要により生産量が増加したことが一因である(鹿熊 2014)。

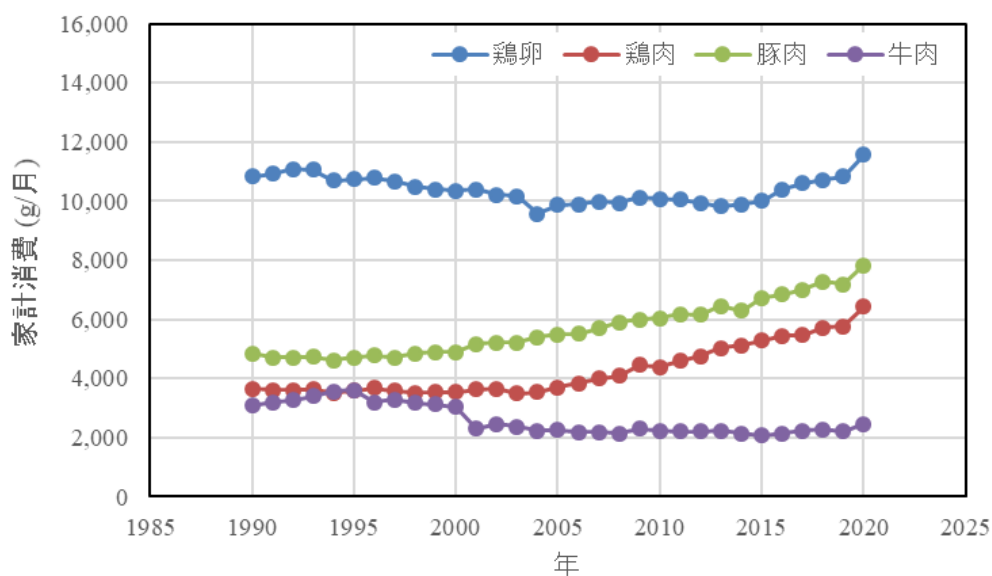


図 1-3 1 世帯当たりの畜産物の家計消費量

(農畜産業振興機構国内統計資料 2021 より引用，改変)

図 1-4 に牛肉と豚肉および鶏肉の輸入量の推移を示す。1990 年における牛肉と鶏肉の輸入量はそれぞれ 33 万 t と 50 万 t であり，2020 年では牛肉が 26 万 t (対 1990 年比 21% 減)，鶏肉が 55 万 t (同 10% 増) と牛肉では減少傾向にあり，鶏肉では概ね同等の輸入量にある。一方，豚肉では 1990 年に 52 万 t にあった

輸入量が 2020 年では 88 万 t(同 69%増)にまで増加している。

先述したように豚肉の家計消費量は増加傾向にあるが、国内での生産量は変わらず、豚肉の供給は輸入に依存していることが窺える。しかし、鶏肉は家計消費量が増加する中、輸入量は変わらないことから、国内の生産量の増加により供給が確保されているものと考えられる。このことから、1990 年以降、家庭消費量の点では鶏卵や鶏肉および豚肉のいずれも増加しているが、国内の生産量の点では鶏卵と鶏肉のみが増加していることが分かる。これに対して、豚肉は国内の生産量に変化は見られない一方で輸入量が増加しており、家庭で消費される豚肉は国内生産ではなく、輸入により賄われていることが分かる。

以上より、配合飼料の生産量と同様に鶏卵と鶏肉の消費量は 1990 年から 2014 年までは横ばいにあるが、2014 年以降は増加傾向を示している(図 1-3;農畜産業振興機構国内統計資料 2021)。このことから、家計における鶏卵と鶏肉の需要が増えたことを受け、現在では鶏卵や鶏肉の生産量の増加及び鶏卵や鶏肉の生産に必要な配合飼料の生産量も増加していることが窺える。

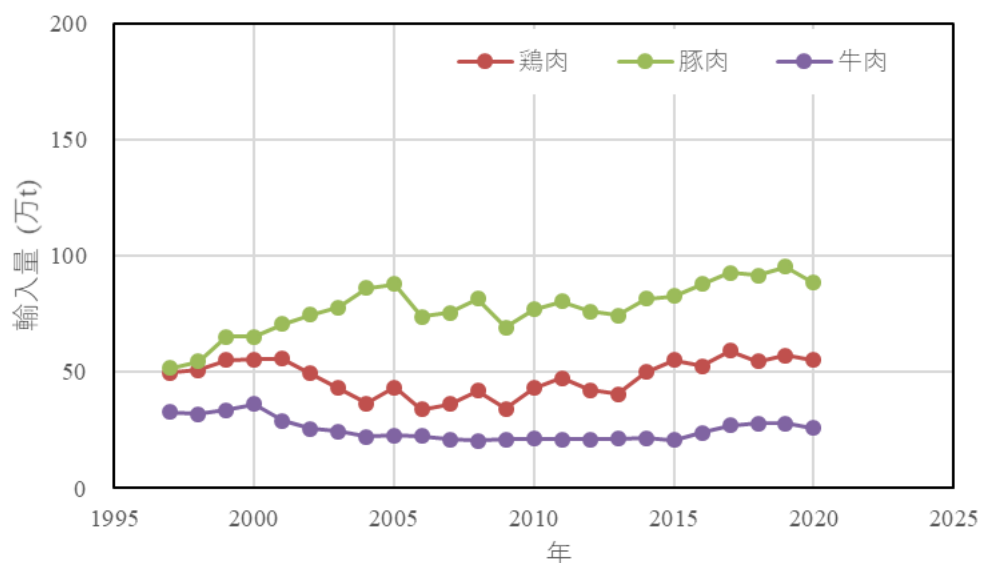


図 1-4 畜産物の輸入量の推移

(農畜産業振興機構国内統計資料 2021 より引用，改変)

### 1.1.2 鶏卵と鶏肉の銘柄数の変化

鶏卵や鶏肉の生産量の増加は配合飼料などの生産量だけでなく、流通する鶏卵と鶏肉の銘柄数の増加にも影響を与えている。銘柄とは生産者が通常の鶏卵や鶏肉に付加価値を付けて他の鶏卵や鶏肉と差別化を図ったものであり、安田ら(1998)や駒井(2008)は銘柄卵と銘柄鶏は①鶏の品種，②飼育方法，③給与する飼料，④栄養成分の強化および⑤安全性の面の5項目から差別化されるとしている。鶏卵における銘柄は1990年現在では151銘柄であったが、1992年現在では206銘柄に増加している(安田ら1998)。また、鶏肉においても、ブロイラーでは1995年現在で78銘柄にあったが、2006年現在では116銘柄に増加している(日本食鳥協会2007)。地鶏では1995年現在で34銘柄であったが、2006年現在には57銘柄に増加している(駒井

2008).

このような銘柄数の増加の背景には消費者意識の変化が関係しており、消費者が鶏卵や鶏肉に対してナチュラルでヘルシーなイメージを強く持つようになってきている(安田ら 1998, 駒井 2008). 実際に大手インテグレーターでも「安全安心」, 「健康志向」の意識が高い消費者をターゲットに栄養素の豊富な飼料を給餌する銘柄鶏を開発するなどの高付加価値商品の提案も行われている(堀内 2018). 銘柄卵や銘柄鶏の生産量は全体からすると少数に思われがちであるが、銘柄卵の生産量は 2000 年現在の鶏卵生産量全体の 20%を占め、銘柄鶏と地鶏の生産量は 2000 年現在で肉用鶏生産量全体の 50%近くを占めるまでに至っている(淡路 2017, 駒井 2008, 日本卵業協会 2000). そのため、今後、鶏卵や鶏肉の生産量を増加させるためには銘柄卵や銘柄鶏の生産が重要になると考えられる.

### 1.1.3 銘柄卵と銘柄鶏

前節(1.1.2)で述べたように、鶏卵や鶏肉の生産に関して消費者意識の変化を受け、鶏卵や鶏肉の銘柄数が増加している。また、前節(1.1.2)において消費者が鶏卵や鶏肉に対して、「安全安心」や「健康志向」を持つようになってきていることを述べたが、この消費者意識の変化の背景には大きく分けて 3 点の要因が挙げられる。

その 1 点目は食中毒事件や BSE 問題、さらには偽装表示問題など食品業界に事件が頻発したことであり(表 1-1; 厚生労働省医薬食品局食品安全部 2013), これにより消費者の「安全志向」

が高まった(安田ら 1998). 2点目は生活習慣病などの日常生活における健康への意識の変化が挙げられる. Adam(1989)やHunter(1989)は動脈硬化や心筋梗塞, 血栓症など生活習慣病予防のために食事から摂取する脂肪酸の n-6/n-3 を下げることが重要であるとしており, 実際に厚生労働省は第5次改訂日本人の栄養所要量にて n-6/n-3 比を下げることを提言した(厚生省保健医療局健康増進栄養課 1994). これにより, 消費者が食品に対して多少高くても身体に良いものを求める「健康志向」が高まったものと考えられる(奥山 1995). 3点目は食料消費が飽和に達した「飽食の時代」を迎えたことで, 食品の鮮度や味などが他と異なる「本物志向」への意識が高まったことである(安田ら 1998). このような消費者意識の変化から鶏卵や鶏肉においても「安全志向」, 「健康志向」, 「本物志向」が求められるようになり, 実際にこのような消費者をターゲットとした銘柄鶏の開発が進められるになった(堀内 2018).

表 1-1 近年の食の安全に関する主な出来事

(厚生労働省医薬食品局食品安全部 2013 より引用, 改変)

| 年    | 月  | 事例   |
|------|----|--|
| 2001 | 9  | 国内で初めてのBSE感染牛が発見され, 食肉消費に大きな影響.                          |
| 2001 | 9  | 中国産冷凍ハウレンソウの1割弱が残留農薬基準値を超過する事実が判明.                       |
| 2002 | 2  | 大手食品メーカーによる牛肉の原産地などの不正表示問題が発覚.<br>その後, 食品の不正表示事件が次々と表面化. |
| 2002 | 8  | 無登録農薬「ダイホルタン」が違法に輸入, 販売, 使用され, 32都県で農作物を回収, 廃棄.          |
| 2003 | 5  | カナダでBSEが発生.  |
| 2003 | 12 | アメリカでBSEが発生.   |
| 2004 | 1  | 国内で高病原性鶏インフルエンザが発生.                                      |
| 2004 | 2  | BSE発生国の牛のせき柱を含む食品等の製造, 加工, 販売を禁止.                        |
| 2008 | 1  | 中国産冷凍餃子より有機リン中毒事案が発生.                                    |
| 2008 | 9  | アメリカの販売・加工業者が非食用米殻を食用に転用していたことが判明.                       |
| 2008 | 9  | 大手食品メーカーが中国から輸入した加工食品の原材料の一部にメラミン混入が確認され, 食品を自主回収.       |
| 2008 | 9  | 八王子市において, 中国産冷凍いんげんから農薬のジケロールボスが検出.                      |
| 2009 | 9  | 飲食チェーン店において, 食肉の加熱不十分により腸管出血性大腸菌O157食中毒事件が広域に発生.         |
| 2011 | 5  | 飲食チェーン店において, 食肉の生食により腸管出血性大腸菌O157食中毒事件が広域に発生.            |
| 2012 | 8  | 浅漬を原因とする腸管出血性大腸菌O157食中毒事件が発生.                            |

銘柄卵や銘柄鶏は消費者意識を踏まえ, 生産者が①栄養成分を強化して生産したもの, ②通常とは異なる飼育方法にて生産したもの, ③通常とは異なる飼料を給与し生産したもの④家畜の品種など, 他との差別化を図ったものである(安田ら 1998).

実際の生産例として, 飼料中にアスタキサンチンを添加し, 鶏肉の赤みを濃くするなど色味の違いを訴求しているものが挙げられる(Matsushitaら 2000). また, 見た目だけではなく, 鶏肉に含まれるドコサヘキサエン酸などの n-3 系脂肪酸を増加させた鶏肉の生産も研究されている(Colmら 2018).

ヒトの体内では n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸を互いに変換す

る酵素がないため、摂取する食物によって体内の n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸のバランスが決まる。n-3 系脂肪酸には血栓融解作用や中性脂肪低下作用が認められ、動脈硬化の抑制作用が認められる (Oosthuizen ら 1994, Harris 1997)。n-6 系脂肪酸は生体内で様々な酵素反応を経てアラスタグランジンやロイコトリエンに変換されるが、これは平滑筋収縮や血小板凝集作用など動脈硬化を促進する作用が認められる (才田と近藤 2013)。n-3 系脂肪酸に比べて n-6 系脂肪酸が増えると動脈硬化が進行し、逆に n-3 系脂肪酸が増加すると出血傾向が生じることになる (小川ら 2015)。そのため、n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸の摂取量よりも n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸のバランスが重要とされており、Adam (1989) や Hunter (1989) は動脈硬化や心筋梗塞、血栓症など生活習慣病の予防のために食事から摂取する脂肪酸の n-6/n-3 の摂取量比率 (以下、n-6/n-3 比) を 10~11 とすることが最適であると報告している。これに対して鶏卵の n-6/n-3 比は Adam (1989) や Hunter (1989) が推奨する n-6/n-3 比 (=10~11) よりも低いため、n-6/n-3 比についての検討は進められていないが、一方、鶏肉のモモ肉の n-6/n-3 比は推奨値よりも高いため、n-6/n-3 比が低くなるように飼料等を工夫した鶏肉の生産が行われている (三田ら 2010)。

前項 (1.1.2) で述べたようにこのような銘柄卵と銘柄鶏は鶏卵や鶏肉それぞれの全体の生産量の 20% から 50% を占めている。今後も生産者は鶏卵と鶏肉の品質に対するニーズや消費拡大といった消費者の需要に応えるために銘柄卵と銘柄鶏の生産量が拡大していくものと考えられる。このような銘柄卵や銘柄



鶏の生産ではレイヤーやブロイラーなどを対象に、ハーブや海藻、酵素といった特別な飼料を給与することで卵質や肉質の改善を図っている(駒井 2008)。銘柄卵や銘柄鶏の生産量が増えれば、他との差別化を図るために新たな銘柄卵や銘柄鶏が創出されることも予想される。その場合、他の銘柄と差別化を図るために既存の飼料原料ではなく新規の飼料原料が使用されることも予想され、銘柄卵や銘柄鶏の生産量が増えれば、卵質や肉質改善として使用する飼料原料が必要となる。そのため、今後は新規飼料の探索および飼料の給与効果の評価が必要になると考えられる。

#### 1.1.4 微細藻類とヒトの関わり

藻類とは酸素を発生する光合成を行う生物の中からコケ植物、シダ植物および種子植物を除いた残りの全てと定義され、そのうち、顕微鏡にて個体識別が必要なものは微細藻類と定義される(千原 1999)。微細藻類は池や沼、水田などの淡水域から海洋や汽水域にも生息する単細胞生物で、クロロフィルを有し光合成を行う藻類である(北岡 1989)。微細藻類の起源は約 25 億年前であるとされており、微細藻類が出現したことにより、大気中に酸素が供給され現在の大気環境が生まれたとされている(Fujita と Ohki 1989)。

微細藻類は光と取り込んだ二酸化炭素を利用し、光合成を行うことから生態系において一次生産者としての役割を果たしているが(Hattori1990)、その一方で、アフリカやメキシコでは藻類を一次生産者としての役割だけではなく、貴重なタンパ

ク源として利用してきた(Watanabe1981). また, 第二次世界大戦後には世界各国で食料資源やタンパク質源として, 藻類の大量培養技術に関する研究が進められるなど, 藻類を資源として利用する動きが進められてきた(園田ら 1973, Hirayama と Nakamura 1976, Becker 2004).

日本のような温帯地方ではタンパク質源としての微細藻類の利用にはコストの課題もあり, その用途では実現されなかった. しかし, その過程において, タンパク質源の利用だけではなく, 藻類が持つ機能性などが明らかとなっており, 1966年に世界で初めてクロレラ工業株式会社が微細藻類の大量培養と健康食品の製品化を実現した(Goldman1979, Borowizka1988). 1970年代には株式会社日建総本社やDIC株式会社などの複数社がスピルリナやクロレラなどの微細藻類の培養に成功し, 健康食品や化粧品, 飼料および肥料などの販売を始めている(宮森 2016).

#### 1.1.5 ユーグレナに関する既往の研究

ユーグレナは体長 0.05mm の紡錘形から球形をした単細胞生物であり, 原生動物門, 鞭毛中綱, 植物鞭毛虫亜綱, ミドリムシ目に分類される微細藻類である(北岡 1989). ユーグレナは光, 温度, pH, 溶存 CO<sub>2</sub>などの自然条件にかなり広い範囲で適応するため, 池や沼, 水田などの淡水域や汽水域, 海水域に棲息し, さらには動物排泄物由来の汚水, 食品工場などの排水でも生育できるとされる(Kottら 1964). ユーグレナ属および近縁の属種は 100 種類以上とされ, 代表的な種としては *Euglena*

*gracilis*, *Euglena mutabilis*, *Euglena Deses*, *Euglena acus* などが挙げられ、特に *Euglena gracilis* (図 1-4) は 1950 年代に Calvin が光合成の研究に用いた種である (Lynch1953, Cramer1952).

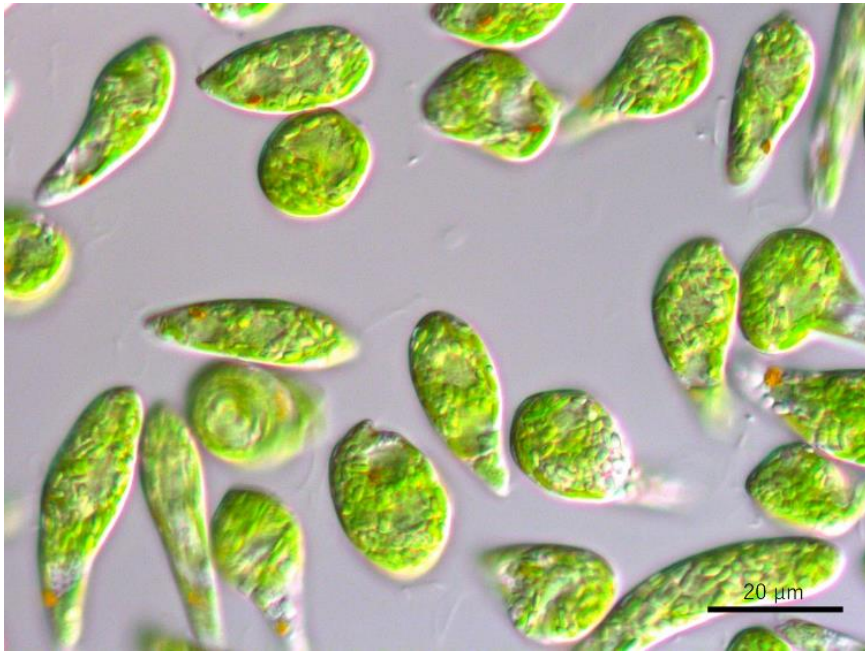


図 1-4 *Euglena gracilis* の顕微鏡写真

(画像提供;株式会社ユーグレナ)

ユーグレナの細胞にはクロロフィルが含まれており、光合成に利用される (水野 1977, Thomas と Dennis1969). また、ユーグレナの細胞はクロレラやスピルリナと異なり、細胞は細胞膜で覆われ、ユーグレナの細胞外膜はペリクルと呼ばれるらせん状の条溝が多数走っている (北岡 1989). 細胞には鞭毛が存在し、遊泳時の推進に利用されるほか、ユーグレナは細胞内にある眼点を用いて光を感知し、光源へ近づく走光性を持つ (Diehn1975).

そのため、ユーグレナはクロレラやスピルリナとは異なり、葉緑体を用いて光合成を行う植物的性質をもち、細胞を柔軟に変化させたり、鞭毛を使って自由に動き回ったりする動物的性質を併せ持つ。このように植物的性質と動物的性質を持っていることからユーグレナはビタミンやミネラル、アミノ酸や脂肪酸を含有することに加え(表 1-2)、生体内でのタンパク質の消化率が高いことが認められている(Hulanicka ら 1964 , Korn1964, Barsanti ら 2000, 中野ら 1995, Schwarzhans ら 2015)。

表 1-2 ユーグレナの栄養成分(北岡 1989 より引用, 改変)

| ビタミン           | ミネラル   | アミノ酸     | 脂肪酸       | その他     |
|----------------|--------|----------|-----------|---------|
| $\alpha$ -カロテン | カルシウム  | アラニン     | ミリスチン酸    | ゼアキサンチン |
| $\beta$ -カロテン  | マグネシウム | アルギニン    | パルミチン酸    | クロロフィル  |
| ビタミンB1         | カリウム   | アスパラギン酸  | パルミトレイン酸  | パラミロン   |
| ビタミンB2         | リン     | グルタミン酸   | ステアリン酸    |         |
| ビタミンB6         | ナトリウム  | プロリン     | オレイン酸     |         |
| ビタミンB12        | マンガン   | チロシン     | リノール酸     |         |
| ビタミンC          | 銅      | グリシン     | リノレン酸     |         |
| ビタミンD          | 鉄      | セリン      | イコサジエン酸   |         |
| ビタミンE          | 亜鉛     | シスチン     | イコサトリエン酸  |         |
| ビタミンK1         |        | バリン      | アラキドン酸    |         |
| ナイアシン          |        | ロイシン     | イコサペンタエン酸 |         |
| パントテン酸         |        | イソロイシン   | ドコサテトラエン酸 |         |
| 葉酸             |        | リジン      | ドコサヘキサエン酸 |         |
|                |        | スレオニン    |           |         |
|                |        | メチオニン    |           |         |
|                |        | フェニルアラニン |           |         |
|                |        | ヒスチジン    |           |         |
|                |        | トリプトファン  |           |         |

実際に、北岡(1989)は必須アミノ酸のバランス評価指標(アミノ酸スコア)に関して、スピルリナのアミノ酸スコアが 51、クロレラのアミノ酸スコアが 63 であるのに対して、ユーグレナのアミノ酸スコアは 80 以上にも及ぶことを報告している。また、北岡ら(1977)はラットを用いたユーグレナの消化試験を行ったところ、タンパク質の消化率は 93.1%に及ぶことを報告している。さらに、ユーグレナはパラミロンと呼ばれる  $\beta$ -1,3-グルカン構造を持つ顆粒を含んでいる(図 1-5)。一般的なバクテリア起源の  $\beta$ -1,3-グルカンは 54 °C で容易にゲル化を起こすが、ユーグレナに含まれるパラミロンはゲル化しない(Maeda ら 1967)。Barras と Stone(1968)はパラミロン顆粒がどの生物起源の  $\beta$ -1,3-グルカナーゼを用いても加水分解されないことを報告している。その一方、Barras と Stone(1968)は希アルカリで処理することによりパラミロン顆粒を膨張させられることを報告し、Marzullo と Danforth (1964)はカタツムリの酵素とカビ起源のエンド-型、 $\beta$ -1,3-グルカナーゼによって加水分解されることを報告している。これらの報告からパラミロンは胃酸などで分解されない難消化性の物質であるため、エネルギー源として利用されることはないが、 $\beta$ -グルカンと同様に体内における自然免疫系受容体によるシグナル伝達を調整する役割を持っていることが示唆されており、免疫賦活効果などが期待されている(安達と大野 2006)。実際にマウスの餌にユーグレナやパラミロンを添加することで肝臓の保護作用やアトピー性皮膚炎の抑制、大腸がんの抑制などの効果があるものと報告されている(Sugiyama ら 2009, 2010; Watanabe ら 2013)。

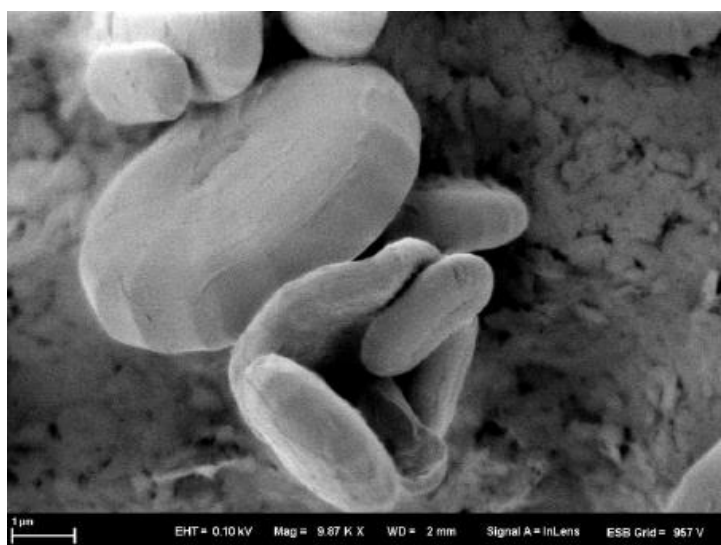


図 1-5 パラミロンの電子顕微鏡写真  
(画像提供;株式会社ユーグレナ)

ユーグレナの飼料利用に関する研究事例を表 1-3 に示す。水産分野ではニジマスに給与することでマダイに含まれるドコサヘキサエン酸が増加すること、ニジマスの稚魚の生存率が改善することが報告されている（佐藤ら 1984）。

畜産分野では Levine ら（2018）はブロイラーの飼料にユーグレナを 0.01～0.02% 添加することで飼料要求率が改善することおよびコクシジウムの感染抑制に効果があることを報告している。林と榎本（2004）はブロイラーの飼料にユーグレナを 1% 添加することで鶏肉中のタウリン含量が増加することを報告している。また、Aemiro ら（2016, 2017, 2019）はヒツジの飼料にユーグレナを 5～40% 給与することでタンパク質の消化率が改善するとともに、ユーグレナに含まれる脂肪酸がメタン発生量を抑制することを報告している。さらに、伊藤ら（2019）はレイヤの幼雛飼料中の大豆をユーグレナで全量置き換えてもレイヤ

一の発育に影響を及ぼさないもののユーグレナに含まれるパラミロンが腸管内でムチンおよびリゾチームの mRNA 発現量が有意に増加させることを報告している。

このような研究報告から、ユーグレナは食品だけではなく、機能性飼料としての活用が期待されている。前述のようにユーグレナは食品や飼料などの分野を跨いで、研究が進められてきたが、実際にユーグレナの商業利用に不可欠な実用規模の培養技術が確立されていなかったことから、大量生産を実現することは困難であった(鈴木 2016)。特にユーグレナは培養時にバクテリアや菌糸などのコンタミネーションに非常に弱く、屋外で安定した生産が難しいことが課題であった。しかし、2005年に鈴木らによって大量培養技術が確立され、世界で初めてのユーグレナの大量培養が実現した(鈴木ら 2013)。これをきっかけに今後は以前にもまして食品や化粧品などのヘルスケアの分野に関する研究開発が進められ、さらにユーグレナの油脂を産生する特性を利用したジェット燃料の生産や、付加価値の高く環境に優しい飼料や有機質肥料としての利用の実用化が期待されている。

表 1-3 ユーグレナの飼料利用に関する研究事例

| 著者      | 年    | タイトル   | 結果   |
|---------|------|--|--|
| 佐藤ら     | 1984 | 養魚初期飼料としてのユーグレナの栄養評価- II<br>ニジマス稚魚に対するユーグレナ飼料の栄養価  | ニジマス稚魚へユーグレナを50%給与することで、生残率が改善することを確認した。   |
| 林ら      | 2004 | 未来飼料・食料・新素材の可能性を求めて  | プロイラーへユーグレナを1%添加することで、鶏肉のタウリン含量が増加することを確認した。   |
| Aemiroら | 2016 | Effects of Euglena ( <i>Euglena gracilis</i> ) supplemented to diet (forage: concentrate rations of 60:40) on the basic ruminal fermentation and methane emissions in vitro condition. | 牛のルーメン消化液を用いた消化試験にて、ユーグレナを5%-100%添加することで、メタン発生量が抑制することを確認した。   |
| Aemiroら | 2017 | The effect of euglena ( <i>Euglena gracilis</i> ) supplementation on nutrient intake, digestibility, nitrogen balance and rumen fermentation in sheep.                                 | ヒツジへユーグレナを15%給与することで、タンパク質の消化率が改善することを確認した。  |
| Levinら  | 2018 | Evaluation of the effects of feeding dried algae containing beta-1,3-glucan on broiler challenged with Eimeria.  | プロイラーへユーグレナを0.01-0.02%給与することで、飼料要求率の改善、コクシジウムの感染を抑制することを確認した。  |
| Aemiroら | 2019 | Effect of substituting soybean meal with euglena ( <i>Euglena gracilis</i> ) on methane emission and nitrogen efficiency in sheep.   | 飼料中の大豆の20%をユーグレナで代替し、ヒツジへ給与することで、タンパク質の消化率の改善を確認した。<br>飼料中の大豆の10-20%をユーグレナで代替し、ヒツジへ給与することで、メタン発生量が抑制することを確認した。                 |
| 伊藤ら     | 2019 | 大豆代替飼料原料としてのユーグレナの給与がニワトリの成長および腸管粘液に及ぼす効果  | 飼料中の大豆の2-40%をユーグレナで代替し、レイヤーへ給与することで、発育成績に影響を及ぼさないことを確認した。<br>飼料中の大豆の5-20%をユーグレナで代替し、レイヤーへ給与することで、小腸のムチンとリゾチームの発現量が上昇することを確認した。 |



#### 1.1.6 研究の目的と構成

ユーグレナの大量培養技術の確立をきっかけとして、健康食品や化粧品などへの利用が広まった。一方、Levine ら (2018) と Aemiro ら (2016, 2017, 2019) は、ユーグレナに含まれる脂肪酸が家畜の免疫や機能性に関与することを指摘し、ユーグレナを含む微細藻類の飼料利用の可能性を示した。

Levine ら (2018) や伊藤ら (2019) の報告によりユーグレナに含まれるパラミロンがブロイラーのコクシジウムの感染抑制に効果があることやレイヤーの幼雛の腸管内でムチンやリゾチームの mRNA の発現量が増加することを報告しており、パラミロンの機能性が明らかにされている。しかし、その一方でユーグレナにはパラミロンだけではなく、カロテノイドやドコサヘキサエン酸などの機能性成分が多く含まれているため、パラミロンによる免疫作用だけではなく、ユーグレナに含まれるカロテノイドやドコサヘキサエン酸を用いることで、レイヤー飼料における色素剤として卵黄のカラーファンスコアの向上や鶏肉の色味改善およびドコサヘキサエン酸などの機能性成分を含む鶏肉の生産に寄与できるものと考えられる。

さらに、飼料の主原料として利用されるトウモロコシの n-6/n-3 比が 58.1 であるのに対して (藤井 2005)、ユーグレナのそれは 4.9 程度と低い (Aemiro 2016)。前項 (1.1.3) で述べたように動脈硬化や心筋梗塞、血栓症などの生活習慣病予防には n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸の摂取量よりも n-3 系脂肪酸と n-6 系脂肪酸のバランスが重要とされており、Adam (1989) や Hunter (1989) は n-6/n-3 比を 10~11 まで下げることが好まし

いとしている．実際に三田ら(2010)は n-6/n-3 比を低くした飼料をブロイラーへ給与することで鶏肉の n-6/n-3 比が低くなることを報告している．このことから，ユーグレナをブロイラーや地鶏の飼料へ添加することで飼料中の n-6/n-3 比を下げる効果が期待される．しかし，このようにレイヤーやブロイラーおよび地鶏への利用が期待される一方，それぞれの鶏種へ給与した際に鶏卵のカラーファンスコアやカロテノイド含量および鶏肉の色味や脂肪酸に与える影響については検討されていない．

ブロイラーにおいては黄色味を帯びた脂肪は見た目の悪印象により消費者に嫌われるとされるため(福坂 1996)，脂肪の黄色味の蓄積については好ましくない面もあるが，地鶏においては脂の黄色味を特徴としたものもみられる．レイヤーやブロイラーおよび地鶏における栄養学的機能等の有効性が明らかとなれば，国内における飼料資源としてのユーグレナの価値が一層高まるものと考えられる．

本研究では，レイヤーと肉養鶏におけるユーグレナ給与が鶏卵のカラーファンスコアや卵黄中のカロテノイド含量および鶏肉の脂肪酸含量に与える影響を明らかにする．そこで，まずはユーグレナをレイヤーや肉養鶏に使用するに当たって，養鶏用飼料としてユーグレナの安全性を確認するため，第 2 章にて鶏ひな試験を実施した．第 2 章で安全性を確認した上で，第 3 章ではユーグレナ給与がレイヤーの卵質に与える影響を検討した．また，第 4 章ではユーグレナ給与がブロイラーの飼養成績と肉質に与える影響を検討し，さらに第 5 章では地鶏の中でも脂肪の黄色味や鶏肉の脂肪酸が特徴とされる比内地鶏を対象に，ユ

ーグレナ給与が比内地鶏の飼養成績と肉質に与える影響を検討した。最後に第 6 章において第 2 章から第 5 章までに得られた結果を総括した。

## 2 章 鶏ひなの成長試験

### 2.1 背景および目的

#### 2.1.1 飼料利用に関する法律と安全性試験

鶏卵，牛乳，食肉などの畜産物は我々の豊かな食生活を送る上で欠くことの出来ない食材となっている．しかし，2001年にわが国で初めて BSE が確認されたことを受け，飼料の安全性を確保するための法律である「飼料の安全性の確保および品質の改善に関する法律(以下，飼料安全法)」が改正された(飼料安全法研究会 2004)．飼料安全法は 1952 年第 15 回の国会にて成立し，1954 年 1 月 1 日に施行された法律である．この法律は戦後の食料不足の時代に悪質な飼料が流通し飼料の取引の公正を欠く状況であったことや，飼料の安全性に不安が大きくこれを解消する必要にあった状況を踏まえて定められた法律であり，飼料の品質を保全し，その公正な取引を確保することを目的として制定されている．そのため，飼料安全法は(1)人の健康をそこなう恐れがある畜産物が生産されることの防止，(2)家畜等に被害が生じることにより畜産物等の生産が阻害されることの防止を目的としている(独立行政法人農林水産消費安全技術センター 2021)．

また，飼料安全法では，(1)わが国において対象家畜等に対する使用経験のない飼料，(2)天然物から抽出して製造していたもので飼料として使用の経験があるものを新たに化学合成法による製造に切り替えるなど大幅に製造方法を変更した飼料，(3)製造過程で飼料又は食品製造に使用されたことのない酵素，微生物

物，調整剤等を用いている飼料についてはこの法律に定められた試験を実施し，安全性を確認する必要があるとしている（独立行政法人農林水産消費安全技術センター2021）。

安全性の確認には給与対象となる家畜等に応じて鶏ひなの成長試験，豚の飼養試験，牛の飼養試験又は養殖水産動物の成長試験を実施することが求められる（表 2-1；独立行政法人農林水産消費安全技術センター 2021）。伊藤ら（2019）において，ユーグレナをレイヤーの幼雛へ 40%添加し，試験を行っているが，農林水産省が定める鶏ひなの成長試験では制限給餌を行った上で鶏ひなの成長を確認するなど試験方法が定められており，本試験方法に則った法律上の安全性は確認されていない。そのため，ユーグレナをレイヤー，ブロイラーおよび地鶏の飼料として利用するためには鶏ひな試験にて安全性を確認する必要がある。

そこで本章ではユーグレナを用いた鶏ひな試験を実施し，ユーグレナの安全性を確認することを目的とした。

表 2-1 鶏ひなの成長試験の概要

(独立行政法人農林水産消費安全技術センター2021より引用)

|      |   |
|------|---|
| 試験概要 | 試験品を含む試験用飼料を鶏のひなに給与して体重を測定し、その増体重により供試品の安全性を確認する。   |
| 試験方法 | (1) 供用動物及び試験区の設定<br>制限給与により育成した生後8日令の鶏ひな6羽を1区として用い、試験区として供試品の常用使用量区から無理のない範囲での可能な限り多量の供試品の使用量区までの数段階の試験区及び陰性対照区を設ける。他に、必要に応じて陽性対照区を設定する。                        |
|      | (2) 供用飼料<br>抗菌性飼料添加物を添加していない幼すう用配合飼料を基礎飼料として用い、この基礎資料の原料の一部を供試品等で置き換えて調整する。   |
|      | (3) 供用飼料の給与期間<br>給与鶏を各試験区に配分すると同時に、それぞれの供用飼料を給与し、13日令までの6日間継続する。  |
|      | (4) 観察項目<br>i) 一般症状<br>食欲、糞便性状、活力及び羽毛の光沢等。<br>ii) 飼料摂取量<br>試験期間中の各試験区の飼料摂取量を測定する。<br>iii) 体重<br>試験開始時及び試験飼料時に個体別に測定する。<br>iv) 剖検<br>一般症状等から以上を認めた場合には病理学的検査を行う。 |
| 評価方法 | 試験の結果、体重が減少したものは安全性上問題のある可能性があるものとして扱う。   |

## 2.2 材料および方法

### 2.2.1 供試鶏

本試験は一般社団法人日本科学飼料協会にて実施されたもので、バタリーケージにて飼養された産卵鶏の雄初生ひなを供試鶏とした。試験方法については「飼料の安全性評価基準および評価手続の制定について（平成20年5月19日付け20消安第597号，農林水産省消費・安全局長通知）」による「鶏ひなの成長試験」に準じ（独立行政法人農林水産消費安全技術センター2021），餌付時から7日齢までは1羽あたり10gのブロイラー肥育前期飼料（粗タンパク質22%以上，代謝エネルギー3,150 kcal/kg以上）を3日目まで給与し，4日目以降は1日1羽あたり3.5gを給与する制限給餌法により育成した。育成した105

羽の 8 日齢の産卵鶏(ジュリアライト)の雄ひなから，体重 44～50 g の個体 54 羽を選抜し，1 処理区あたり 6 羽ずつ計 3 処理区を 3 反復で振り分けた．個体識別としてアルミニウム製翼帯を脚へ取り付けた．試験期間は 8 日齢から 13 日齢までの 6 日間とした．試験期間中は電熱給温式のバッテリーケージで群毎に供試ひなを飼育し，飼料および飲水を不断給与した．また，環境条件による影響を防ぐため，各群の収容位置を毎日移動した(図 2-2)．実験動物の飼養などは動物実験等に関する規定を満たすよう一般社団法人日本科学飼料協会で定められた飼養基準にて実施した．



図 2-2 試験の飼養環境

### 2.2.2 試験区

飼料安全法にて定められる鶏ひな試験では試験区として試験飼料の常用使用量から無理のない範囲で可能な限り多量の使用量区を設けることと定められる。林と榎本(2004)はユーグレナを1%添加することで鶏肉中のタウリンが増加することを報告している。このことから鶏肉中の成分に影響を及ぼすために最低限必要な添加率は1%であると考えられる。本試験では林と榎本(2004)の添加率を参考に常用使用量を1%添加に設定し、多量使用量区を10%とした。試験に供試する藻体は株式会社ユーグレナ(東京)から入手したユーグレナ(*Euglena gracillis*)の乾燥粉末(以下、ユーグレナ粉末)を用いた(図2-1)。

繊維源をセルロースパウダーとして設計し、供試素材を無添加とした基礎飼料(粗タンパク質20%以上、代謝エネルギー2,850 kcal/kg以上)を給与する対照区と基礎飼料のセルロースパウダーを1%ユーグレナで置換したユーグレナ1%区(以下、Eug 1%)、およびセルロースパウダーを10%ユーグレナで置換したユーグレナ10%区(以下、Eug 10%)の計3区を設定した(表2-2)。



図 2-1 ユーグレナ粉末



表 2-2 試験飼料の配合割合

|                 | 対照区   | Eug 1% | Eug 10% |
|-----------------|-------|--------|---------|
| ユーグレナ粉末         | 0     | 1      | 10      |
| セルロースパウダー       | 10    | 9      | 0       |
| 圧べんとうもろこし       | 41.05 | 41.05  | 41.05   |
| グレインソルガム        | 10    | 10     | 10      |
| 大豆粕             | 22.5  | 22.5   | 22.5    |
| コーングルテンミール      | 6     | 6      | 6       |
| 魚粉 (CP 65%)     | 3     | 3      | 3       |
| 大豆油             | 4.5   | 4.5    | 4.5     |
| DL-メチオニン        | 0.02  | 0.02   | 0.02    |
| L-トレオニン         | 0.05  | 0.05   | 0.05    |
| L-アルギニン         | 0.02  | 0.02   | 0.02    |
| 第二リン酸カルシウム      | 1.3   | 1.3    | 1.3     |
| 炭酸カルシウム         | 0.98  | 0.98   | 0.98    |
| 食塩              | 0.4   | 0.4    | 0.4     |
| ビタミン・ミネラルプレミックス | 0.15  | 0.15   | 0.15    |
| 塩化コリン(60%製剤)    | 0.03  | 0.03   | 0.03    |

対照区の飼料組成を基本とし、ユーグレナ粉末とセルロースパウダーを置換した。

ビタミン・ミネラルプレミックスは以下の通り調整した。

1 kg中；硝酸チアミン 2 g, リボフラビン 4.5 g, 塩酸ピリドキシン 2 g, シアノコバラミン 10 mg,

ニコチン酸 30 g, D-パントテン酸カルシウム 7.5 g, d-ビオチン 75 mg, 葉酸 1 g, ビタミンA 6,500,000 IU,

ビタミンD3 2,500,000 IU, 酢酸dl- $\alpha$ -トコフェロール 40 g, ビタミンK3 3.836 g, マンガン 50 g, 亜鉛 50 g,

鉄 20 g, 銅 7.5 g, ヨウ素 0.5 g

### 2.2.3 測定項目および統計処理

試験期間中は毎日、食欲、便性状、鳴声、活力および羽毛の状態を観察した。試験の前後に個体別体重を測定し、区毎の増体量を算出した。試験開始時と試験終了時の給餌器の重量を測定し、飼料摂取量を算出した。区毎に測定した増体量と飼料摂取量から飼料要求率を算出した。なお、飼料要求率は飼料摂取量/増体量にて計算されるものであり、摂取した飼料あたりに対しての生産量を示す。得られたデータについて統計ソフトウェア(Excel 統計 2016, Social Survey Research Information, 東京)を用いて一元配置法による分散分析で有意差検定を行った。また、有意と判定された項目は Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、5%水準 ( $p < 0.05$ ) を有意差とした。

## 2.3 結果および考察

### 2.3.1 ユーグレナ給与が鶏ひなの発育成績に与える影響

各区の発育成績を表 2-3 に示す。増体量において対照区では 70.1 g/羽であったのに対して、Eug 1%では 70.8 g/羽、Eug 10%では 72.2 g/羽となり、Eug 1%と Eug 10%のいずれにおいても増体量に有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。飼料摂取量において対照区では 104.9 g/羽であったのに対して、Eug 1%では 105.2 g/羽、Eug 10%では 95.7 g/羽となり、Eug 10%では有意に低くなった ( $p < 0.05$ )。飼料要求率において対照区では 1.50 であったのに対して、Eug 1%では 1.49、Eug 10%では 1.33 となり、

Eug 10%では有意に低くなった ( $p < 0.05$ ). また, Eug 1%と Eug 10%のどちらにも供試ひなにおいて, 食欲不振, 下痢, 奇声, 活力低下および羽毛の損失などの健康状態に異常が観察されなかった.

以上の結果から, ユーグレナを飼料中 1~10 %配合した飼料を給与しても, ひなの発育や健康状態に悪影響を及ぼすことはないものと考えられる.

表 2-3 増体量, 飼料摂取量, 飼料要求率の変化

|             | 対照区                      | Eug 1%                   | Eug 10%                  |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 増体量 (g/羽)   | 70.1 ± 3.3               | 70.8 ± 2.2               | 72.2 ± 1.4               |
| 飼料摂取量 (g/羽) | 104.9 ± 4.4 <sup>a</sup> | 105.2 ± 3.1 <sup>a</sup> | 95.7 ± 1.2 <sup>b</sup>  |
| 飼料要求率       | 1.50 ± 0.01 <sup>a</sup> | 1.49 ± 0.03 <sup>a</sup> | 1.33 ± 0.02 <sup>b</sup> |

平均値 ± 標準偏差, n=3

<sup>a,b</sup>;異符号間に有意差あり ( $p < 0.05$ ).

## 2.4 小括

飼料安全法において定められた「鶏ひなの成長試験」に準じて生育試験を実施した結果, ユーグレナの添加水準を 1~10%としても鶏ひな生産における法律上の安全性に問題はないと判断した.

### 3 章 レイヤーへのユグレナ給与が卵質に及ぼす影響

#### 3.1 背景および目的

##### 3.1.1 鶏卵の生産とカラーファンスコアの関係

図 3-1 に鶏卵の生産量の推移を示す。鶏卵の生産量は 1990 年の 242 万 t から 1993 年には 260 万 t まで上昇した。その後、2005 年まで徐々に減少し 2007 年に一旦は 1993 年の 260 万 t 近くまで上昇したものの 2009 年以降 250 万 t 前後の横ばい傾向にあった。しかし、2015 年以降家計で消費される鶏卵の増加に伴い生産量が増加し、2020 年には 260 万 t を下回ったものの、2019 年には 264 万 t にまで達した(図 3-1)(農畜産業振興機構国内統計資料 2021)。

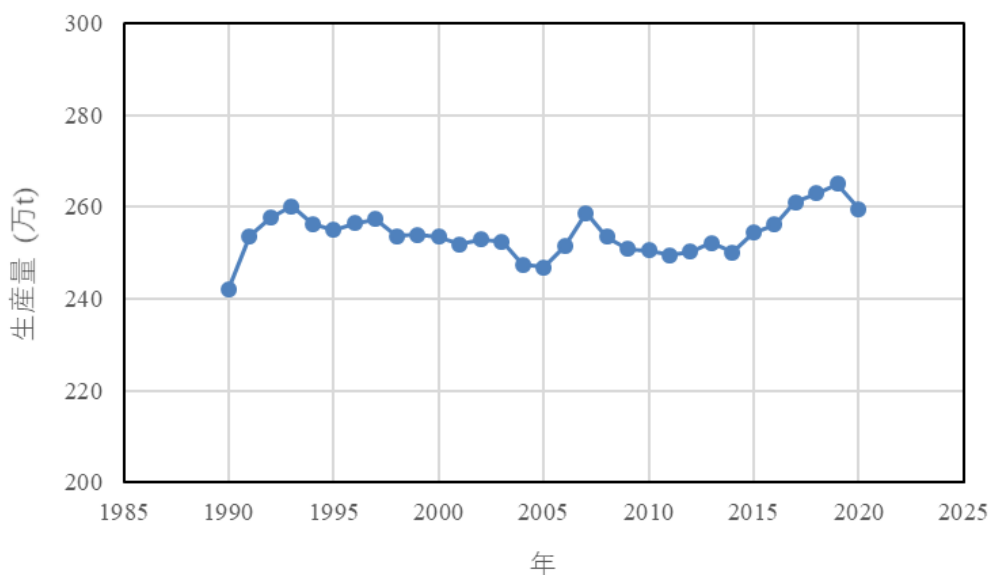


図 3-1 鶏卵の生産量の推移

表 3-1 に世界における 2019 年の鶏卵生産量の上位国を示す(鶏鳴新聞 2020a). 世界における鶏卵の生産量は 1 位が中国で 2,500 万 t, 2 位がアメリカで 595 万 t, 3 位がインド 578 万 t, 4 位がブラジルで 294 万 t, 5 位がメキシコで 285 万 t, 6 位がロシア 269 万 t と続き, 次いで日本 264 万 t と 7 位の位置にある.

各国における家庭内の鶏卵の消費量を表 3-2 に示す. 日本における鶏卵の消費量は 2005 年時点で 328 個であったが, 2019 年では 338 個まで増加している(鶏鳴新聞 2020b). 世界における 1 人あたりの鶏卵の消費量は 2019 年では 1 位がメキシコで 372 個であり, 日本はそれに次いで 2 位の位置にある.

わが国における鶏卵は業務用, 加工用および家庭用の用途で消費されている. 鶏卵消費の内訳としては業務用が 30%, 加工用が 20%, 家庭用が 50%となっており, 家庭用での消費量が大半を占める(農林水産省 2022). このことから日本における鶏卵の生産量は世界における生産量と比べても高い水準にあると言え, 家庭内消費量は世界と比べても最大の消費先であることが分かる.

表 3-1 各国の採卵鶏の飼養羽数と鶏卵の生産量

| 国名       | 人口(千人)    | 飼養羽数(千羽)  | 鶏卵生産量(t)   |
|----------|-----------|-----------|------------|
| 中国       | 1,400,000 | 1,400,000 | 25,000,000 |
| アメリカ     | 327,000   | 337,000   | 5,950,000  |
| インド      | 1,370,000 | 261,480   | 5,781,600  |
| ブラジル     | 201,000   | -         | 2,943,346  |
| メキシコ     | 1,243,000 | 163,298   | 2,852,815  |
| ロシア      | 14,680    | 143,913   | 2,691,000  |
| 日本       | 1,262,000 | 141,792   | 2,639,733  |
| パキスタン    | 228,900   | 80,000    | 1,404,000  |
| イラン      | 83,600    | 68,257    | 1,105,000  |
| 韓国       | 52,000    | 53,000    | 1,009,555  |
| フランス     | 6,700     | 48,256    | 928,000    |
| スペイン     | 47,330    | 458,000   | 872,000    |
| コロンビア    | 49,395    | 52,804    | 862,964    |
| ドイツ      | 83,020    | 48,000    | 850,000    |
| アルゼンチン   | 45,000    | 44,800    | 843,696    |
| イタリア     | 60,300    | 39,800    | 775,000    |
| イギリス     | 66,600    | 40,000    | 694,661    |
| オランダ     | 17,300    | 30,806    | 625,000    |
| カナダ      | 37,590    | 27,577    | 553,437    |
| 南アフリカ    | 58,780    | 27,607    | 533,375    |
| カザフスタン   | 18,690    | 1,628     | 304,226    |
| オーストラリア  | 25,522    | 21,027    | 253,174    |
| オーストリア   | 8,800     | 6,921     | 131,554    |
| ポルトガル    | 10,300    | 6,850     | 115,120    |
| アイルランド   | 4,920     | 3,652     | 82,034     |
| フィンランド   | 5,510     | 3,920     | 76,700     |
| ニュージーランド | 5,000     | 3,828     | 74,663     |
| デンマーク    | 5,800     | 4,200     | 74,000     |
| スロバキア    | 5,500     | 5,537     | 69,680     |
| スイス      | 8,610     | 3,084     | 60,304     |
| ペルー      | 33,000    | 2,950,000 | 48,830     |
| モンゴル     | 3,230     | 830       | 10,830     |
| キプロス     | 880       | 361       | 9,775      |

\*鶏鳴新聞2020年より引用,一部改変.

表 3-2 各国における家庭内の鶏卵の消費量

| 国名       | 年    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| メキシコ     | 349  | 351  | 345  | 345  | 355  | 365  | 358  | 335  | 347  | 352  | 357  | 371  | 363  | 368  | 372  |
| 日本       | 328  | 324  | 323  | 333  | 325  | 324  | 329  | 328  | 329  | 329  | 330  | 331  | 333  | 337  | 338  |
| ロシア      | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 260  | 260  | 220  | 285  | 291  | 295  | 305  | 307  | 306  |
| アメリカ     | 255  | 256  | 250  | 248  | 246  | 247  | 247  | 248  | 251  | 261  | 252  | 272  | 276  | 284  | 293  |
| 中国       | -    | 340  | 349  | 333  | 344  | 295  | 295  | 274  | 300  | 255  | 242  | 282  | 307  | 255  | 293  |
| コロンビア    | -    | 205  | 188  | 199  | 215  | 214  | 234  | 228  | -    | 242  | 252  | 262  | 279  | 293  | 292  |
| アルゼンチン   | 174  | 186  | 199  | 206  | 210  | 239  | 242  | 244  | 244  | 256  | 266  | 273  | 280  | 271  | 285  |
| カザフスタン   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 268  | 254  | 285  |
| 韓国       | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 270  |
| カナダ      | 187  | 193  | 185  | 194  | 192  | 196  | 202  | 208  | 217  | 225  | 233  | 240  | 242  | 253  | 257  |
| デンマーク    | 238  | 270  | 300  | -    | -    | -    | -    | 240  | 240  | 245  | 248  | 241  | 245  | 248  | 249  |
| オーストラリア  | 165  | 155  | 166  | 196  | 194  | 198  | 216  | 214  | 210  | 214  | 226  | 235  | 244  | 244  | 247  |
| オーストリア   | 232  | 227  | 230  | 236  | 232  | 234  | 234  | 232  | 234  | 235  | 234  | 235  | 235  | 236  | 240  |
| ニュージーランド | 215  | 211  | 213  | 220  | 223  | 230  | 227  | 223  | 226  | 220  | 225  | 235  | 246  | 237  | 236  |
| ドイツ      | 206  | 209  | 210  | 208  | 210  | 214  | 212  | 217  | 218  | 231  | 233  | 235  | 230  | 235  | 236  |
| スペイン     | 206  | 196  | 191  | 189  | 177  | 214  | 233  | 239  | 206  | 205  | 225  | 217  | 267  | 260  | 235  |
| ペルー      | -    | -    | -    | -    | -    | 154  | 165  | 167  | 168  | 184  | 198  | -    | 204  | 224  | 234  |
| ブラジル     | 130  | 132  | 132  | 121  | 125  | 132  | 134  | -    | 168  | -    | 192  | 190  | 192  | 212  | 230  |
| スロバキア    | -    | 207  | 205  | 204  | 201  | 197  | 207  | 207  | 218  | 212  | 210  | 212  | 219  | 228  | 224  |
| フランス     | 231  | 225  | 224  | 220  | 218  | 230  | 209  | 205  | 216  | 216  | 221  | 215  | 219  | 213  | 223  |
| イタリア     | 218  | 219  | 224  | 224  | 215  | 210  | 206  | -    | -    | 218  | 221  | 215  | 215  | 208  | 209  |
| イラン      | 131  | 130  | 158  | 158  | 155  | 164  | 155  | 191  | 193  | 185  | 192  | 195  | 183  | 183  | 207  |
| キプロス     | -    | -    | 157  | 198  | 172  | 145  | 152  | 163  | 143  | 175  | 150  | 165  | 163  | 206  | 206  |
| オランダ     | 183  | 182  | 182  | 182  | 184  | 185  | 188  | 192  | 195  | -    | -    | -    | -    | 205  | 205  |
| フィンランド   | 151  | 150  | 150  | 162  | 164  | 169  | 172  | 181  | 188  | 186  | 198  | 202  | 205  | 198  | 201  |
| イギリス     | 172  | 173  | 178  | 183  | 189  | 182  | 189  | 182  | 180  | 184  | 189  | 193  | 197  | 199  | 197  |
| スイス      | 185  | 184  | 189  | 186  | 187  | 189  | 181  | 175  | 178  | 178  | 174  | 177  | 177  | 181  | 184  |
| アイルランド   | 143  | 171  | 165  | 165  | 165  | 165  | 165  | 165  | 165  | 165  | 169  | 176  | 179  | 188  | 181  |
| ポルトガル    | -    | -    | -    | 163  | 163  | 161  | 147  | 140  | 140  | 140  | 142  | 143  | 143  | 153  | 159  |
| 南アフリカ    | 107  | 124  | 137  | 137  | 130  | 137  | 147  | 153  | 147  | 143  | 143  | 141  | 128  | 130  | 152  |
| モンゴル     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 105  |
| パキスタン    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 88   |
| インド      | 46   | 38   | 47   | 48   | 51   | 57   | 57   | 62   | 63   | 63   | 65   | 66   | 68   | 76   | 77   |
| マレーシア    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 320  | -    | 331  | 343  | 315  | -    | -    | -    | -    |
| ハンガリー    | 295  | 295  | 295  | 251  | 261  | 261  | 247  | 235  | 217  | 214  | 215  | 221  | 227  | 238  | -    |
| スウェーデン   | 200  | 198  | 197  | 197  | 201  | 207  | 207  | 213  | 222  | 217  | 220  | -    | 235  | 235  | -    |
| トルコ      | -    | -    | -    | -    | 177  | 171  | 168  | 185  | 187  | 194  | 200  | 203  | 214  | 224  | -    |
| ベルギー     | -    | 200  | 200  | 184  | -    | -    | 235  | -    | 182  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| ポーランド    | -    | -    | -    | -    | 203  | 200  | -    | 181  | 166  | 168  | 160  | 155  | 145  | 142  | -    |

\*鶏鳴新聞2020年より引用、一部改変。単位は個。

日本の鶏卵生産には主に白色レグホン種とロードアイランドレッド種が用いられている(玖村ら 2018). 白色レグホン種は卵殻色が白い卵いわゆる白玉を産み, ロードアイランドレッド種は卵殻色が赤い卵いわゆる赤玉を産む. ロードアイランドレッドの赤玉は消費者に好まれやすいという利点があり, 銘柄卵などの生産に使用される(古瀬 2014).

鶏卵は鮮やかな黄色い卵黄色が特徴の食品素材であり, 卵黄は黄色が当然と考えられている. 卵黄色による栄養的な大きな違いは無いが, 調理前後の卵黄の視覚的な印象から濃い色調が消費には好まれる傾向にあり, この卵黄色の濃さが卵の商品価値を高める重要な嗜好要素でとされる(玖村ら 2018). 一般的に卵黄色の判定にはロッシュヨークカラーファンが用いられ, 15 段階に分けた色見本と実際の鶏卵の卵黄の色を照らし合わせ, カラーファンスコアを判定する(鈴木 2018). この際, 卵黄色が濃くなるにつれ, カラーファンスコアが高くなる. 奥野ら(1973)は消費者が興味や関心を寄せるカラーファンスコアは 10 以上と報告している.

実際に本研究で市販される鶏卵のうち, 無銘柄卵と卵黄色の濃さを訴求している銘柄卵のカラーファンスコアをヨークカラーファン(DSM ニュートリション, 東京)で測定したところ, 表 3-3 に示すカラーファンスコアとなった. 3 種類の無銘柄卵のカラーファンスコアは概ね 9 付近であるのに対して, 3 種類の銘柄卵は 10 以上と有意に高い値を示した( $p < 0.05$ ). この結果からも消費者が興味や関心を寄せるカラーファンスコアは 10 以上が好ましいものと考えられ, 銘柄卵は無銘柄卵よりも高い



カラーファンスコアとしていることが分かる。

表 3-3 無銘柄卵と銘柄卵のカラーファンスコア

|           | 無銘柄卵                 |                      |                      | 銘柄卵                   |                       |                       |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | A                    | B                    | C                    | A                     | B                     | C                     |
| カラーファンスコア | 8.7±0.5 <sup>a</sup> | 9.1±0.6 <sup>a</sup> | 9.3±0.4 <sup>a</sup> | 10.7±0.5 <sup>b</sup> | 11.1±0.3 <sup>b</sup> | 11.4±0.5 <sup>b</sup> |

平均値±標準偏差, n=10.

<sup>a,b</sup>: 異符号間に有意差あり(p<0.05)

### 3.1.2 卵黄の色素とカロテノイドの関係

卵黄の色素の成分は全てが脂溶性であり，鶏の体内では合成されず，摂取した飼料に含まれるカロテノイド系色素に由来する(吉田 1989). 養鶏においては脂肪の合成は脂肪細胞ではなく，肝臓で行われる(Leveilleら 1975). そのため，脂肪を多く含む卵黄成分は肝臓で合成，貯蔵され，貯蔵された成分は卵黄を形成する際に血流を介して，卵巣へ輸送され卵黄へ蓄えられる(古瀬 2014). カロテノイドも本過程にて卵黄へ蓄積され，その結果として卵黄の黄色味がクリーム色から濃いオレンジ色を呈するようになる(玖村ら 2018). 卵黄の色素剤として用いられるカロテノイド色素は主に光合成細菌や菌類などの微生物，藻類，陸上植物が酢酸やメバロン酸などから合成することができるとされている(眞岡 2007).

例えばパラコッカス属の海洋細菌や酵母菌であるファフィア酵母はアスタキサンチンを生産することができ，藍藻(シアノバクテリア)類のスピルリナはゼアキサンチンを生産し，藻類のうち珪藻類やユーグレナ類などはジアトキサンチンやジアジノキ

サンチン，アロキサンチンを生産し，緑藻類であるクロレラはルテインを生産することが知られる(眞岡 2007)．このように藻類は重要なカロテノイドの供給源となっており，実際にアスタキサンチンを始め，多くのカロテノイドが養殖魚用や鶏卵用の色素剤として利用される．

### 3.1.3 カロテノイド色素を利用した鶏卵の生産

前節(3.1.2)において，カロテノイドの摂取が鶏卵の卵黄色の向上に寄与することを述べた．既往の研究において，Tersiaら(2018)はアスタキサンチンを含むパラコッカスを給与することでカラーファンスコアが増加することを報告している．また，池谷と池谷(2002)と馬場ら(2004)はレイヤーの飼料にアオサを0.5～5%添加することでカラーファンスコアが増加すると報告し，笹田ら(2004)は海苔を原料とし，レイヤーの飼料に1～4%程度添加することで鶏卵のカラーファンスコアが増加することをそれぞれ報告している．さらに，Selimら(2018)はレイヤーの飼料にスピルリナを0.1～0.3%給与することで卵黄のカラーファンスコアが有意に増加することを報告している．また，Jinら(2012)はクロレラをレイヤーの飼料に0.3～0.5%添加することで鶏卵のカラーファンスコアが有意に増加することを報告している．

このことから，飼料中にカロテノイドを含む藻類や細菌の給与は卵黄のカラーファンスコアの増加に寄与するものと示されている．また，Yamashita(2004)は中年女性を対象にアスタキサンチンを経口摂取したところ，皮膚の柔軟性や保湿性の向上や

シワの改善効果があることを報告している。また、Seddon ら (1994) はルテインとゼアキサントンの摂取により加齢黄斑変性に対するリスクが低下することを報告している。さらに、Neng (2020) はユーグレナから熱水抽出したジアトキサントンを含むカロテノイド画分をマウスに給与することで血糖値の上昇を抑制することを報告している。これらの報告からカロテノイドはヒトの健康に寄与する機能性成分であるとともに、養殖用や鶏卵においても色素剤としても利用できる素材である。

#### 3.1.4 ユーグレナを用いた鶏卵生産

前節(3.1.4)にてカロテノイドがヒトの健康に寄与する機能性成分であることならびに鶏卵のカラーファンスコアの向上に寄与することを述べた。微細藻類であるユーグレナもカロテノイドを含有していることから、ユーグレナをレイヤーへ給与することで卵黄のカラーファンスコアの増加や卵黄へのカロテノイドの蓄積などの効果が期待できる。

伊藤ら(2019)はレイヤーの幼雛飼料中の大豆をユーグレナで40%置き換えてもレイヤーの発育に影響を及ぼさないことならびに腸管内のムチンおよびリゾチームの mRNA 発現量が有意に増加することを報告している。しかし、卵重や卵殻強度、カラーファンスコアや卵黄中のカロテノイド含量などの卵質改善効果に関する報告はない。そのため、既往の研究で報告されるレイヤーへの免疫賦活効果に加えて、新たにユーグレナ給与により卵重や卵殻強度の増加、カラーファンスコアの向上およびカロテノイド含量の増加が認められれば、更なるユーグレナ

の利活用の一助になるものと考えられる。

そこで、本章ではレイヤーに対してユーグレナを給与した際の卵重や濃厚卵白高，ハウユニット，卵殻強度，卵殻厚，カラーファンスコアと卵黄中のカロテノイド含量に与える影響を評価した。

## 3.2 材料および方法

### 3.2.1 供試鶏

本試験は愛媛県畜産研究センター養鶏研究所にて実施されたもので，成鶏ケージで飼養されたボリスブラウン種(616日齢)を供試鶏とした。収容密度は1ゲージに2羽を1組とし，1試験区当たり14ケージの計28羽とした。試験飼料を28日間給与し，馴致させた。馴致期間終了後，各試験区の産卵率が各区で80%となることを確認した後，本試験を実施した。試験期間中は不断給餌，自由飲水とした。実験動物の飼養などは動物実験等に関する規定を満たすよう愛媛県畜産研究センター養鶏研究所で定められた飼養基準にて実施した。

### 3.2.2 試験区

市販養鶏用飼料(粗タンパク質17%以上，代謝エネルギー2,850 kcal/kg以上，低カロテノイド飼料)を用いた対照区に対して，林と榎本(2004)が報告する添加率を基準とし，市販養鶏用飼料にユーグレナ粉末をそれぞれ1%，2%および5%添加したユーグレナ1%区(以下，Eug 1%)，ユーグレナ2%区(以下，Eug 2%)，ユーグレナ5%区(以下，Eug 5%)の計4区を設定

した。ユーグレナ粉末は前章と同様に株式会社ユーグレナ(東京)から入手したユーグレナの乾燥粉末を用いた。飼料の公定規格にユーグレナは登録されておらず、消化率や代謝エネルギーを算出できないため本試験では供試飼料への添加とした。

### 3.2.3 測定項目および統計処理

測定項目は卵重、濃厚卵白高、ハウユニット、卵殻強度、卵殻厚、カラーファンスコア、カロテノイド含量およびカロテノイドの脂質抗酸化作用の計8つとした。卵重と濃厚卵白高、ハウユニット、卵殻強度、卵殻厚およびカラーファンスコアの6つの分析には0日、7日、14日、21日、28日に各区で産卵された卵のうち、汚卵や破卵を除いた鶏卵をサンプルとし、一個ずつの重量を測定した後、卵質測定装置(NABEL,京都)にて測定した。卵質測定装置にて卵殻強度を測定後、測定用の容器に割卵したサンプルを入れ、濃厚卵白高、ハウユニットを測定した。測定後、卵殻を卵殻厚さ計にて卵殻厚を測定した。カロテノイドの分析には28日に産卵された卵のうち、各区ランダムに5個の鶏卵を選抜し、その後5個の卵を一つの容器に混合したものをサンプルとして1検体を供試した。卵黄のカロテノイド分析において有意差が認められたカロテノイドを卵黄から抽出し、得られたカロテノイドを用いて抗酸化作用を測定した。

試験に供試した飼料とユーグレナ粉末の一般成分(水分、粗タンパク、粗脂肪、粗繊維、粗灰分)の分析を一般財団法人日本食品分析センター(東京)に委託した。そこでの分析手順は以下の通りである。分析は農林水産省の飼料分析基準に定めら

れた公定法に従って行なわれている。すなわち、水分の測定には常圧加熱乾燥法が、粗タンパク質にはケルダール法が、粗脂肪にはソックスレー法が適用されている。また、粗繊維の測定にはろ過法が、粗灰分には直接灰化法が適用された。

カロテノイド含量の分析については一般財団法人生産開発科学研究所に委託した。ユーグレナ粉末のカロテノイドはアセトンを用いて、室温で抽出した。卵黄について分離凍結した卵黄からアセトンにてカロテノイドを抽出した。その後、得られた抽出液をヘキサンとエーテルを 1:1 で混合した溶液と水で分配し、ヘキサン-エーテル層を減圧下で濃縮し、乾固した。乾固した赤色残渣を分画し、高速液体クロマトグラフ (HPLC; High Performance Liquid Chromatography) にてさらに分画ジアトキサンチンとアロキサンチンを得た。

カロテノイドの含量は Maoka ら (2008; Maoka 2009) の方法に準じ、UV-Vis (日立, 東京), ESI TOF-MS (ブルンカー ジャパン, 日本), <sup>1</sup>H NMR (Unity INOVA500, Varian, America) によって分析されたスペクトルデータから測定した。ジアトキサンチンとアロキサンチンの定量は Schiedt と Liaaen (1995) の方法に準じた。色素の抗酸化作用の測定には Terao (1989) の方法に準じた。本研究では鶏卵サンプルから抽出したカロテノイドをポジティブコントロールとして主色素の他にルテインを用いて、抗酸化作用を比較した。

得られたデータについて統計ソフトウェア (Excel 統計 2016, Social Survey Research Information, 東京) を用いて一元配置法による分散分析で有意差検定を行った。また、有意と判定さ

れた項目は Tukey-Kramer の多重比較検定を適用した。いずれも 5%水準 ( $p < 0.05$ ) を有意差とした。

#### 3.2.4 供試飼料の成分

表 3-4, 表 3-5 に供試飼料の一般成分とカロテノイド含量の測定値を示す。一般成分において, ユーグレナ粉末は対照区よりも粗タンパク質, 粗脂肪が高いため, ユーグレナ添加により, 粗タンパク質と粗脂肪含量はわずかに高い状況にあった。一方, 粗繊維と粗灰分においてはわずかに低い状況にあった。しかし, いずれもユーグレナ粉末の成分から計算される設計値から 1% 以内の範囲となり, ほとんど同等であった。ユーグレナ粉末は対照区よりも総カロテノイド含量や  $\beta$ -カロテン, ゼアキサントリン, ジアトキサントリン, アロキサントリンおよびジアジノキサントリンが高い一方,  $\beta$ -クリプトキサントリンとルテインは低い。試験飼料のカロテノイド含量とユーグレナの添加率の相関係数を算出したところ, 総カロテノイド含量と  $\beta$ -カロテン, ゼアキサントリン, ジアトキサントリン, アロキサントリンおよびジアジノキサントリンはユーグレナの添加率に応じて増加し, 正の相関を示した ( $p < 0.01$ )。また,  $\beta$ -クリプトキサントリンとルテインはユーグレナの添加率に応じて低くなり, 負の相関を示した ( $p < 0.01$ )。

このことから, ユーグレナ粉末の添加により, 飼料中の総カロテノイド含量やカロテノイドの組成に影響することが示唆された。

表 3-4 供試飼料の一般成分

| 一般成分 (%) | 対照区  | Eug 1% | Eug 2% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 |
|----------|------|--------|--------|--------|---------|
| 粗タンパク質   | 17.0 | 17.1   | 17.2   | 17.5   | 33.1    |
| 粗脂肪      | 6.3  | 6.4    | 6.5    | 6.6    | 15.4    |
| 粗繊維      | 2.9  | 2.9    | 2.8    | 2.8    | 0.1     |
| 粗灰分      | 12.7 | 12.6   | 12.5   | 12.5   | 4.8     |

表 3-5 供試飼料の総カロテノイドの含量と組成割合

| 項目                       | 対照区  | Eug 1% | Eug 2% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 | 相関係数     |
|--------------------------|------|--------|--------|--------|---------|----------|
| 総カロテノイド含量 (µg/g)         | 3.5  | 4.5    | 6.4    | 11.1   | 100     | 0.998**  |
| カロテノイド組成 (%)             |      |        |        |        |         |          |
| α-カロテン                   | -    | -      | -      | -      | -       | -        |
| β-カロテン                   | 10.5 | 10.8   | 11.3   | 12.6   | 36.9    | 0.998**  |
| β-クリプトキサンチン              | 9.2  | 9.2    | 9.2    | 9.1    | 8.5     | -0.926   |
| 3'-ヒドロキシ-β, ε-カロテン-3'-オン | -    | -      | -      | -      | -       | -        |
| ルテイン                     | 68.9 | 68.2   | 66.8   | 63.5   | -       | -0.997** |
| ゼアキサンチン                  | 1.4  | 1.5    | 1.7    | 2.1    | 10.4    | 0.997**  |
| ジアトキサンチン                 | -    | 0.2    | 0.7    | 1.9    | 24.0    | 0.996**  |
| アロキサンチン                  | -    | 0.1    | 0.4    | 1.0    | 12.3    | 0.994**  |
| ジアジノキサンチン                | -    | 0.1    | 0.2    | 0.6    | 7.9     | 0.996**  |
| その他                      | 10   | 10     | 9.8    | 9.2    | 0.0     | -0.978** |

表中の「-」は未検出を示す。表中の「相関係数」は添加率と各脂肪酸含量との間の相関係数を表す。  
また、\*は5%水準(p<0.05)、\*\*は1%水準(p<0.01)で相関係数が有意であることを示す。



### 3.3 結果および考察

#### 3.3.1 ユーグレナ給与が卵重，濃厚卵白高，ハウユニット，卵殻強度，卵殻厚に及ぼす影響

表 3-6 に各区における卵重，濃厚卵白高，ハウユニット，卵殻強度および卵殻厚を示す。卵重，濃厚卵白高，ハウユニット，卵殻強度および卵殻厚については分散分析の結果から試験区においてユーグレナを給与したことによる影響は見られなかった。Mahmoud ら(2020)は飼料中の粗タンパク質含量を 16%から 18%へ高めても，鶏卵の鮮度を表す指標の一つであるハウユニットや卵殻厚に変化はみられないが，卵重は有意に増加することを報告している。本試験において，供試飼料へユーグレナ粉末を 1~5%添加することでの粗タンパク質含量はわずかに高かったものの(表 3-4)，卵重に変化は見られなかった(表 3-6)。Mahmoud ら(2020)が報告する粗タンパク質含量までユーグレナの添加水準を上げることで卵重に影響を及ぼすことが考えられるが，少なくとも本試験で設定したユーグレナの添加水準においてはレイヤーの卵重やハウユニット等に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

表 3-6 卵重，濃厚卵白高，ハウユニット，卵殻強度と卵殻厚

| 項目         | 給与期間(日) | 対照区         | Eug 1%      | Eug 2%      | Eug 5%      |
|------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 卵重 (g)     | 0       | 65.2 ± 6.2  | 62.8 ± 6.1  | 64.7 ± 4.4  | 62.4 ± 4.5  |
|            | 7       | 64.6 ± 4.3  | 62.1 ± 4.8  | 65.1 ± 4.1  | 64.5 ± 3.5  |
|            | 14      | 64.1 ± 4.7  | 64.8 ± 5.2  | 63.1 ± 4.4  | 64.5 ± 5.1  |
|            | 21      | 64.8 ± 6.0  | 63.4 ± 5.6  | 64.8 ± 5.6  | 63.9 ± 5.5  |
|            | 28      | 65.9 ± 4.7  | 65.1 ± 6.0  | 66.4 ± 4.3  | 64.1 ± 4.9  |
| 濃厚卵白高 (mm) | 0       | 7.3 ± 1.5   | 7.4 ± 1.5   | 7.3 ± 1.2   | 7.4 ± 1.2   |
|            | 7       | 7.9 ± 1.4   | 7.1 ± 1.4   | 7.2 ± 1.4   | 7.8 ± 1.0   |
|            | 14      | 7.7 ± 1.4   | 6.8 ± 1.2   | 7.3 ± 1.0   | 7.5 ± 1.3   |
|            | 21      | 7.8 ± 0.9   | 7.5 ± 1.4   | 7.0 ± 1.3   | 7.2 ± 1.7   |
|            | 28      | 7.7 ± 1.3   | 7.5 ± 1.2   | 7.3 ± 1.0   | 7.6 ± 1.3   |
| ハウユニット     | 0       | 82.9 ± 11.7 | 84.2 ± 10.4 | 83.5 ± 8.5  | 84.8 ± 8.5  |
|            | 7       | 87.2 ± 9.2  | 83.0 ± 10.0 | 82.7 ± 9.2  | 86.9 ± 5.2  |
|            | 14      | 86.0 ± 10.6 | 80.2 ± 9.5  | 84.3 ± 6.3  | 84.9 ± 8.0  |
|            | 21      | 87.1 ± 6.0  | 84.4 ± 10.9 | 81.4 ± 9.3  | 82.8 ± 11.2 |
|            | 28      | 85.5 ± 9.4  | 85.1 ± 6.3  | 83.2 ± 7.3  | 85.4 ± 8.6  |
| 卵殻強度 (N)   | 0       | 33.0 ± 7.0  | 32.1 ± 8.9  | 32.8 ± 5.6  | 36.5 ± 8.9  |
|            | 7       | 33.6 ± 8.4  | 36.1 ± 8.9  | 32.1 ± 7.3  | 34.7 ± 8.6  |
|            | 14      | 31.6 ± 11.1 | 32.8 ± 9.3  | 30.9 ± 9.6  | 34.5 ± 9.1  |
|            | 21      | 34.1 ± 7.1  | 34.4 ± 8.8  | 36.0 ± 9.4  | 37.0 ± 6.3  |
|            | 28      | 33.5 ± 9.6  | 38.0 ± 11.1 | 38.9 ± 9.7  | 37.3 ± 10.3 |
| 卵殻厚 (mm)   | 0       | 0.38 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.38 ± 0.02 |
|            | 7       | 0.41 ± 0.04 | 0.38 ± 0.05 | 0.39 ± 0.03 | 0.38 ± 0.04 |
|            | 14      | 0.36 ± 0.04 | 0.37 ± 0.03 | 0.36 ± 0.05 | 0.36 ± 0.04 |
|            | 21      | 0.38 ± 0.04 | 0.37 ± 0.03 | 0.38 ± 0.03 | 0.38 ± 0.03 |
|            | 28      | 0.39 ± 0.04 | 0.38 ± 0.04 | 0.37 ± 0.02 | 0.38 ± 0.04 |

平均値±標準偏差,各期間の反復数は以下の通り.

給与期間0日 : 対照区: n=22, Eug 1%: n=21, Eug 2%: n=23, Eug 5%: n=20

給与期間7日 : 対照区: n=20, Eug 1%: n=19, Eug 2%: n=19, Eug 5%: n=20

給与期間14日 : 対照区: n=20, Eug 1%: n=19, Eug 2%: n=20, Eug 5%: n=20

給与期間21日 : 対照区: n=19, Eug 1%: n=17, Eug 2%: n=20, Eug 5%: n=19

給与期間28日 : 対照区: n=15, Eug 1%: n=13, Eug 2%: n=19, Eug 5%: n=19

### 3.3.2 ユーグレナ給与がカラーファンスコアと卵黄中のカロテノイドの含量に及ぼす影響

表 3-7 に各区におけるカラーファンスコアを示す。給与期間と試験区のカラーファンスコアの変動について二元配置分析を行ったところ、ユーグレナ添加区では有意な増加が認められた ( $p < 0.05$ )。一方、給与期間毎の試験区のカラーファンスコアについて多重比較検定を行ったところ、全ての期間において Eug 5% で有意に増加した ( $p < 0.05$ )。

表 3-7 各区におけるカラーファンスコア

| 給与期間 (日) | 対照区                    | Eug 1%                 | Eug 2%                 | Eug 5%                  |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0        | 8.4 ± 1.4              | 7.3 ± 0.6              | 7.4 ± 1.0              | 7.7 ± 1.4               |
| 7        | 8.1 ± 0.8 <sup>b</sup> | 9.1 ± 0.7 <sup>a</sup> | 9.6 ± 0.7 <sup>a</sup> | 10.8 ± 0.6 <sup>a</sup> |
| 14       | 8.1 ± 0.8 <sup>b</sup> | 9.2 ± 0.6 <sup>a</sup> | 9.5 ± 0.8 <sup>a</sup> | 10.9 ± 0.6 <sup>a</sup> |
| 21       | 8.2 ± 0.8 <sup>b</sup> | 8.8 ± 0.8 <sup>a</sup> | 9.6 ± 0.6 <sup>a</sup> | 10.5 ± 0.7 <sup>a</sup> |
| 28       | 8.6 ± 0.9 <sup>b</sup> | 8.9 ± 0.6 <sup>b</sup> | 9.3 ± 1.0 <sup>b</sup> | 10.4 ± 0.6 <sup>a</sup> |

平均値 ± 標準偏差, 各期間の反復数は以下の通り。

給与期間0日 : 対照区: n=22, Eug 1%: n=21, Eug 2%: n=23, Eug 5%: n=20.

給与期間7日 : 対照区: n=20, Eug 1%: n=19, Eug 2%: n=19, Eug 5%: n=20.

給与期間14日 : 対照区: n=20, Eug 1%: n=19, Eug 2%: n=20, Eug 5%: n=20.

給与期間21日 : 対照区: n=19, Eug 1%: n=17, Eug 2%: n=20, Eug 5%: n=19.

給与期間28日 : 対照区: n=15, Eug 1%: n=13, Eug 2%: n=19, Eug 5%: n=19.

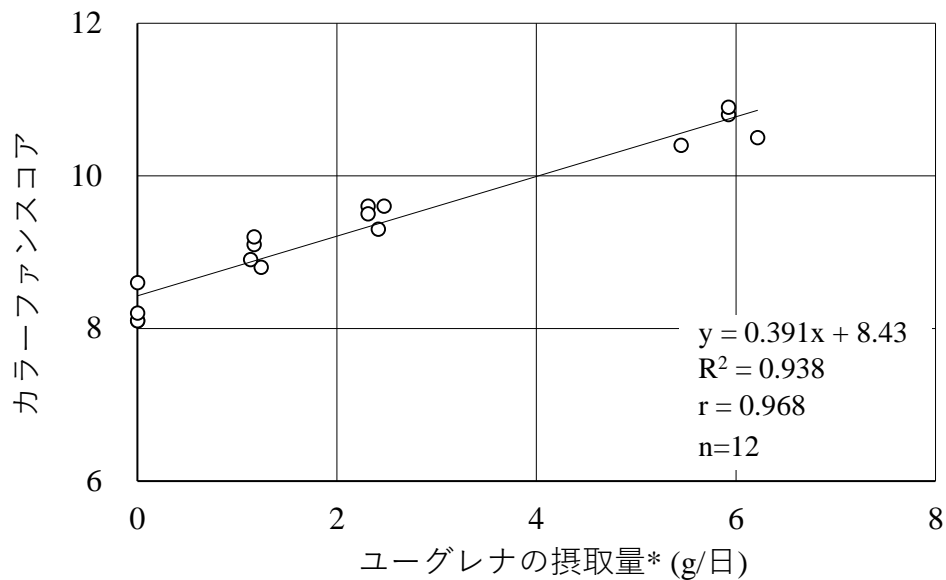
<sup>a-b</sup>; 対照区に対して有意差あり ( $p < 0.05$ ).

図 3-2 に試験期間中の卵黄のカラーファンスコアとユーグレナの摂取量の相関を示す。各期間におけるユーグレナ摂取量とカラーファンスコアの相関を確認したところ、ユーグレナの摂取量に応じてカラーファンスコアが有意に増加した ( $r=0.968$ ,  $p < 0.01$ )。このことから、ユーグレナを 5% 添加することで、卵

黄のカラーファンスコアを増加させることが明らかとなった。

前節(3.1.1)にて奥野ら(1973)は消費者が興味や関心を寄せるカラーファンスコアは10以上が好ましいことを報告している。本試験で設定したEug 5%ではすべての期間でカラーファンスコアは10以上を示し、奥野ら(1973)が報告するカラーファンスコアを満たす結果となった。また、図中の回帰線からユーグレナ摂取量4g/日、おおよそ3.5%の上乗せ添加でカラーファンスコアが10となることから、少なくとも4%の添加量で消費者の嗜好を満たすカラーファンスコアに達することが推察できる。また、現在では飼料自給率向上に向けて飼料用米の生産量が増加している。飼料用米はトウモロコシやマイロなどの代替が可能であり、良質な飼料原料とされる(脇と村野2011)。その一方で飼料用米に含まれるカロテノイドはトウモロコシやマイロよりも低く、飼料用米をレイヤー飼料へ使用することで卵黄のカラーファンスコアは低くなる(西藤2008)。そのため、飼料用米を使用する際には色素剤を添加する必要がある。

本試験からユーグレナの添加はカラーファンスコアの増加に寄与することが明らかとなった。このことから、ユーグレナの添加量を調整することで飼料用米を使用することで飼料中のカロテノイド含量が低くなる場合においても色素剤として利用できるものと考えられる。



\*ユーグレナの摂取量は各給与期間中の飼料摂取量から算出。

図 3-2 ユーグレナの摂取量とカラーファンスコアの相関

表 3-8 に各区における卵黄中のカロテノイドの含量を示す。前節(3.2.4)において、ユーグレナを添加することで、飼料中の総カロテノイド含量とβ-カロテン、ゼアキササンチンおよびジアジノキササンチンはユーグレナの添加率に応じて増加したが、卵黄中における総カロテノイド含量とβ-カロテン、ゼアキササンチンおよびジアジノキササンチンの含量に有意差は認められなかった(p>0.05)。また、ユーグレナを添加することで、飼料中のβ-クリプトキササンチンとルテインはユーグレナの添加率に応じて減少したが、卵黄中におけるβ-クリプトキササンチンとルテインの含量に有意差は認められなかった(p>0.05)。しかし、その一方で、ユーグレナ添加により飼料中で増加したジアトキササンチンとアロキササンチンの含量は卵黄においてもユーグレナ添加率に応じて有意に増加し(p<0.05)、給与21~28日の期間における

ジアトキサンチンの摂取量と卵黄中のジアトキサンチン含量には正の相関が確認され ( $r=0.950$ , 図 3-3), 給与 21~28 日の期間におけるアロキサンチンの摂取量と卵黄中のアロキサンチン含量には正の相関が確認された ( $r=0.980$ , 図 3-4).

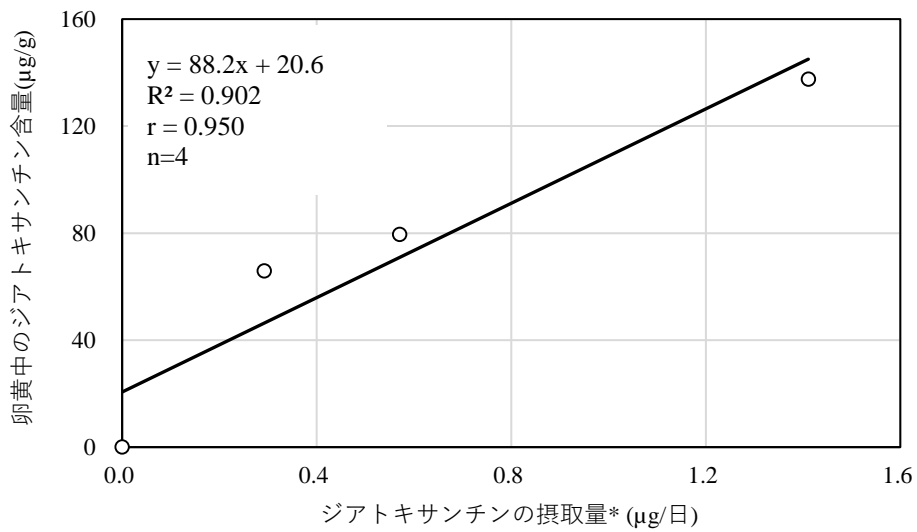
表 3-8 に示されるとおり, 対照区の飼料にはジアトキサンチンやアロキサンチンは含まれず, これらのカロテノイドはユーグレナの添加に応じて増加していることが分かる. また, 図 3-3 と図 3-4 からジアトキサンチンとアロキサンチンの摂取量に応じて, 卵黄中の含量が増加していることが分かる. このことから卵黄中のジアトキサンチンとアロキサンチンの増加はユーグレナ由来のカロテノイドの移行に起因すると推察される.

表 3-8 各区における卵黄中のカロテノイドの含量

| 項目   | 対照区    | Eug 1% | Eug 2% | Eug 5% | 相関係数   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 総カロテノイド含量 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )    | 2,630  | 2,440  | 2,650  | 2,500  | -0.304 |
| カロテノイド含量 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )     |        |        |        |        |        |
| $\alpha$ -カロテン                             | -      | -      | -      | -      | -      |
| $\beta$ -カロテン                              | -      | -      | -      | -      | -      |
| $\beta$ -クリプトキサンチン                         | 123.6  | 168.4  | 214.7  | 172.5  | 0.423  |
| 3'-ヒドロキシ- $\beta$ , $\epsilon$ -カロテン-3'-オン | 134.1  | 187.9  | 143.1  | 135.0  | 0.309  |
| ルテイン                                       | 1104.6 | 766.2  | 776.5  | 777.5  | 0.600  |
| ゼアキサンチン                                    | 746.9  | 802.8  | 824.2  | 677.5  | -0.621 |
| ジアトキサンチン                                   | -      | 65.9   | 79.5   | 137.5  | 0.950* |
| アロキサンチン                                    | -      | 17.1   | 55.7   | 97.5   | 0.979* |
| ジアジノキサンチン                                  | -      | -      | -      | -      | -      |
| その他  | 520.7  | 431.9  | 556.5  | 502.5  | -0.100 |

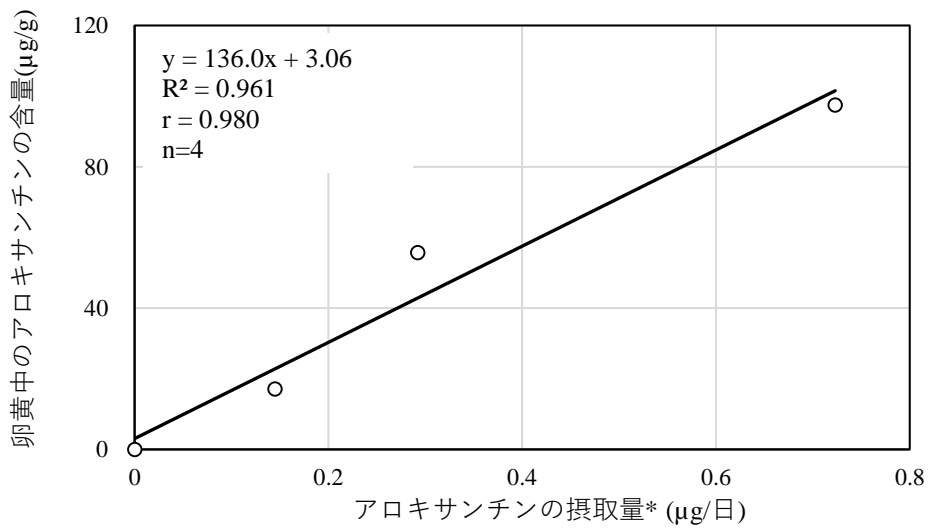
表中の「-」は未検出を示す. 表中の「相関係数」は添加率と各脂肪酸含量との間の相関係数を表す.

また, \*は5%水準( $p < 0.05$ )で相関係数が有意であることを示す.



\*ジアジノキシサンチンの摂取量は給与28日目の飼料摂取量から算出.

図 3-3 ジアトキシサンチンの摂取量と卵黄中のジアトキシサンチン含量の相関



\*アロキシサンチンの摂取量は給与28日目の飼料摂取量から算出.

図 3-4 アロキシサンチンの摂取量と卵黄中のアロキシサンチン含量の相関

ジアトキサンチンやアロキサンチンは黄色から赤色を呈することが知られている (Shenら 2012, Paulina と Malgarzata 2017). このことから, ユーグレナの添加率に応じてカラーファンスコアの増加にはユーグレナ由来のジアトキサンチンやアロキサンチンが鶏卵へ蓄積したことが一因であると考えられる.

### 3.3.3 ジアトキサンチンとアロキサンチンの抗酸化作用

図 3-5 にジアトキサンチンとアロキサンチンの脂質ヒドロペルオキシド活性として示した抗酸化作用を示す.

ルテインとジアトキサンチンおよびアロキサンチンの脂質ヒドロペルオキシド活性の間に有意性は認められなかった ( $p > 0.05$ ). 生体膜の構成成分のひとつである不飽和脂肪酸は活性酸素やフリーラジカルによりプロトンを引き抜かれると脂質ラジカルになり, さらに脂質ラジカルが酸素を取り込むと脂質ペルオキシラジカルを生じる (眞岡 2007). また, 脂質ラジカルや脂質ペルオキシラジカルは連鎖的に脂質過酸化反応を進行するが, これに対して, カロテノイドはこの脂質過酸化反応に対して顕著な抑制効果を示すことが知られる (眞岡 2007).

本試験においてもジアトキサンチンとアロキサンチンの抗酸化作用を脂質ラジカルによる脂質過酸化作用の抑制効果を指標にして評価したところ, ジアトキサンチンとアロキサンチンはルテインと同等の脂質過酸化抑制効果を持つことが示された.



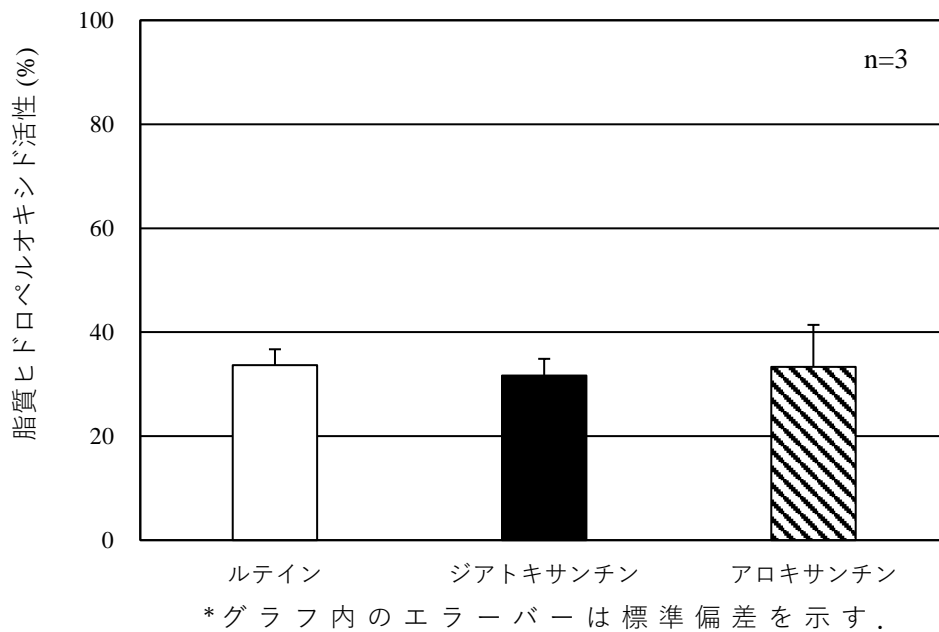


図 3-5 ジアトキサンチンとアロキサンチンの抗酸化作用

アロキサンチンの機能性に関する報告はなされていないが、Neng (2020)はジアトキサンチンの継続摂取が高脂肪食を摂取したマウスの血糖値の上昇を抑制する効果があることを報告している。このことから、レイヤーの飼料中にユーグレナを5%添加することでカラーファンスコアを高めた上で、血糖値の抑制に寄与する可能性のあるアロキサンチンなどのカロテノイドを含有した銘柄卵の生産が可能であると考えられる。

### 3.4 小括

本試験では，レイヤーに対してユーグレナを給与した際のカラーファンスコアと卵黄中のカロテノイド含量に与える影響を評価した．その結果，以下の知見を得た．

- (1) 卵黄のカラーファンスコアはユーグレナの添加水準に応じて有意に増加 ( $p < 0.01$ ) し，卵黄のカラーファンスコアの増加に寄与するカロテノイドの主体はジアトキサンチンやアロキサンチンであることが分かった．
- (2) 卵黄のカラーファンスコアの増加に寄与するジアトキサンチンとアロキサンチンが最も高くなるユーグレナの手添加水準は 5% であることが分かった．
- (3) ユーグレナを給与した卵黄中で同定されたジアトキサンチンとアロキサンチンはルテインと同等の抗酸化作用を持つことが分かった．
- (4) 卵黄のカラーファンスコアが 10 以上を示し，卵黄中のジアトキサンチンとアロキサンチンが最も高くなるユーグレナ 5% 添加が機能性卵の生産に最適であると考えられる．

## 4 章 ブロイラーへのユーグレナ給与が肉質に及ぼす影響

### 4.1 背景および目的

#### 4.1.1 ブロイラーの生産と消費者の需要

第 1 章でも述べた通り，1990 年において，138 万 t にあった鶏肉の生産量は 2020 年で 163 万 t にまで達した（農畜産業振興機構国内統計資料 2021）。また，一世帯当たりの鶏肉の家計消費量についても 1990 年では 3,645 g/月の消費量であったのに対して，2020 年では 6,424 g/月にまで達しており，消費者からの需要が増加していることが窺える（農畜産業振興機構国内統計資料 2021）。こうした消費者の鶏肉の購買理由には鶏肉の値段が牛肉や豚肉と比べて安価であること，カロリーが低くタンパク質が豊富であるといったことが挙げられる（引地ら 2020, 日本食肉消費総合センター 2018）。これらのことから，消費者は鶏肉に対して，安価であり，かつ健康的な食品であるといったイメージを持っていることが分かる。

Adam(1989)や Hunter(1989)は動脈硬化や心筋梗塞，血栓症を予防するためには摂取する食事から摂取する脂質に含まれる n-6/n-3 比を 10~11 とすることが最適であるとしており，また，奥山(1995)は摂取する食事の n-6/n-3 比は可能な限り下げることがを推奨している。

表 4-1 に畜種と部位ごとの脂質含量と n-6/n-3 比の比較を示す。鶏のムネ肉は皮付で脂質が 5.23 g/100g, n-6/n-3 比は 8.4, 皮無ではそれぞれ 1.9 g/100g, 6.4 であり，n-6/n-3 比について Adam(1989)や Hunter(1989)が報告する推奨値よりも低い（食

品データベース 2021)。これに対して牛肉のモモ肉では脂質が 12.2 g/100g, n-6/n-3 比は 38.0, ヒレ肉ではそれぞれ 15 g/100g, 23.5 であり鶏のムネ肉に比べて脂質と n-6/n-3 比が高い(食品データベース 2021)。また, 豚肉のモモ肉では脂質が 6.0 g/100g, n-6/n-3 比は 21.7, ヒレ肉ではそれぞれ 3.7 g/100g, 14.7 と鶏のムネ肉と比べて脂質と n-6/n-3 比は高い(食品データベース 2021)。

このように他の畜肉よりも脂質や n-6/n-3 比が低いことも鶏肉に対してヘルシーで健康的なイメージを持つ要因の一つであると考えられる。しかし, 一方で鶏のモモ肉は皮付で脂質 14.2 g/100g であり n-6/n-3 比は 19.6, 皮無ではそれぞれ脂質が 5.0 g/100g, 16.8 である。ムネ肉と比べて皮付では脂質と n-6/n-3 比はともに高く, 皮無では脂質が若干低いが n-6/n-3 比は高く, さらに Adam(1989)や Hunter(1989)が推奨する n-6/n-3 比よりも高い(食品データベース 2021)。

表 4-1 畜種と部位ごとの脂質と n-6/n-3 比の比較

| 畜種 | 部位      | 脂質(mg/100g) | n-6/n-3比 |
|----|---------|-------------|----------|
| 鶏  | ムネ肉(皮付) | 5.23        | 8.4      |
|    | ムネ肉(皮無) | 1.9         | 6.4      |
|    | モモ肉(皮付) | 14.2        | 19.6     |
|    | モモ肉(皮無) | 5           | 16.8     |
| 牛  | モモ肉     | 12.2        | 38       |
|    | ヒレ肉     | 15          | 23.5     |
| 豚  | モモ肉     | 6           | 21.7     |
|    | ヒレ肉     | 3.7         | 14.7     |

\*食品データベース(2021)より引用

そのため、今後消費者が鶏肉を購入するにあたっての健康意識が強くなることが予測された場合、鶏肉の消費量を増やすためには、ムネ肉だけではなく、モモ肉においてもより健康的なイメージを持てるように n-3 系脂肪酸であるドコサヘキサエン酸などの含量を高めつつ、n-6/n-3 比を低く保った鶏肉の生産開発が重要になるものと考えられる。

前節(1.1.5)において、ユーグレナにはドコサヘキサエン酸などの n-3 系脂肪酸が含まれていることを述べた。Hulan ら(1980)は飼料中に n-3 系不飽和脂肪酸を含むレッドフィッシュミールを添加することで、モモ肉で n-3 系不飽和脂肪酸が増加したことを報告している。林と榎本(2004)はユーグレナをブロイラーへ給与することでブロイラーのモモ肉中にタウリン含量が増加することを報告しているが、モモ肉中の脂肪酸含量や脂肪の黄色味に与える影響については報告されていない。そのため、ブロイラーへユーグレナを給与することで、モモ肉中のドコサペンタエン酸などの脂肪酸を増加させつつ、n-6/n-3 比を減少させられるものと考えられる。

一方で、第 3 章でユーグレナに含まれるカロテノイドが卵黄のカラーファンスコアを向上させることを確認したが、ブロイラーにおいて、黄色味を帯びた脂肪は見た目の悪印象により消費者に嫌われる(福坂 1996)。そのため、ユーグレナ給与により脂肪の黄色味が増加した場合、消費者の印象を悪化させることに繋がるものが懸念される。

そこで、本章ではブロイラーに対してユーグレナを給与した際の飼養成績と脂肪の黄色味およびモモ肉の脂肪酸含量に与

える影響を評価した。

## 4.2 材料および方法

### 4.2.1 供試鶏

本試験は秋田県畜産試験場にて実施されたもので、バタリーケージおよび成鶏ケージで使用されたロス社のチャンキー種を供試鶏とした。体重 30～34g の個体 32 羽選抜し、4 つの試験区に対し各々 8 羽ずつ振り分けた。個体識別としてアルミニウム製翼帯を脚もしくは翼膜へ取り付けた。区分後、餌付けから 14 日齢までバタリー育すう器で飼育し、14 日齢以降は成鶏ケージへ移動し、42 週齢まで飼育した(図 4-1)。試験期間は 0 日齢から 42 日齢までの 43 日間とし、試験期間中は不断給餌、自由飲水とした。実験動物の飼養などは動物実験等に関する規定を満たすよう秋田県畜産試験場で定めた飼養基準にて実施した。

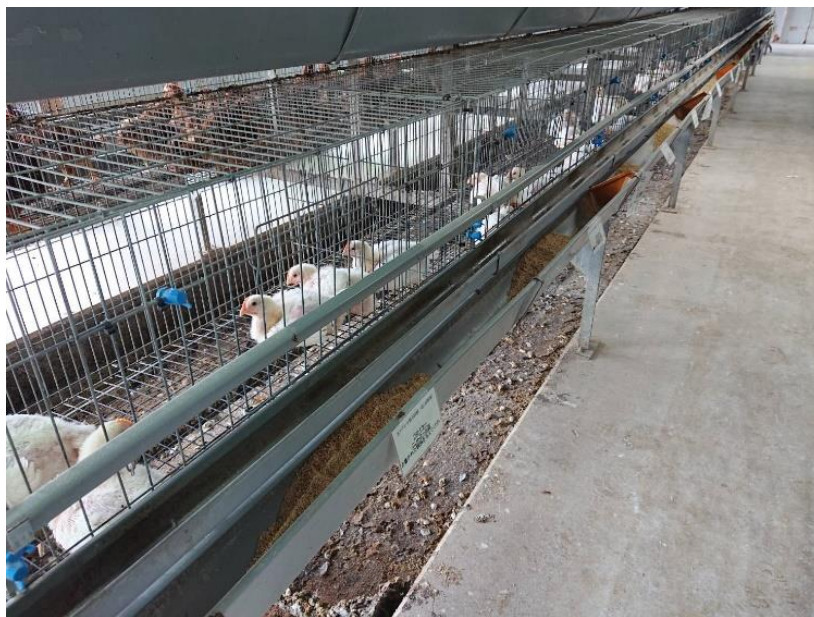


図 4-1 試験の飼養環境

#### 4.2.2 試験区

2週齢まで餌付飼料（粗タンパク質 24% 以上，代謝エネルギー 3,000 kcal/kg 以上）を，2～4週齢まで中期飼料（粗タンパク質 20% 以上，代謝エネルギー 2,920 kcal/kg 以上）を，4～6週齢まで仕上飼料（粗タンパク質 17.5% 以上，代謝エネルギー 2,900 kcal/kg 以上）を用いた．

市販飼料のみを給与した対照区に対して，林と榎本(2004)が報告する添加率と第3章の結果を参考とし，市販飼料にそれぞれ 1.25%，2.5%および 5%添加したユーグレナ 1.25%区（以下，Eug 1.25%），ユーグレナ 2.5%区（以下，Eug 2.5%），ユーグレナ 5%区（以下，Eug 5%）の計 4 区を設定した．ユーグレナ粉末は前章と同様に株式会社ユーグレナ（東京）から入手したユーグレナの乾燥粉末を用いた．飼料の公定規格にユーグレナは登録されておらず，消化率や代謝エネルギーを算出できないため本試験では供試飼料への添加とした．

#### 4.2.3 測定項目および統計処理

測定項目は体重，飼料摂取量，飼料要求率，飼養成績，解体成績，モモ肉と腹腔内脂肪の色差およびモモ肉の脂肪酸含量の計 8 つとした．0 日，7 日，14 日，21 日，28 日，35 日および 42 日齢時点の生体重を測定し，各週齢における体重から平均日増体重を算出した．個体毎の平均飼料摂取量は測定が困難であるため，群全体の平均飼料摂取量と羽数から算出した．また，平均日増体重と平均飼料摂取量から飼料要求率を算出した．

42 日齢に各区から 8 羽すべてを 18 時間絶食させた後に刀で

静脈を切り，放血した．放血後，60℃の湯に約1分間浸漬した後，脱羽毛機を用いて脱羽した．その後，と体を解体し，正肉部位（モモ肉，ムネ肉，ササミ），手羽先，手羽元，可食内臓部位（心臓，肝臓，砂肝）および腹腔内脂肪の重量を測定した．絶食体重に対する各部位の重量から歩留まり割合を算出した．

なお，本試験では解体した組織重量の測定および脂肪酸含量の分析を行うため，安楽殺ではなく放血と殺とした．

脂肪酸含量の分析には解体した供試鶏のうち，6羽分のモモ肉を用いた．モモ肉の重量を測定後，モモ肉の皮を取り除き，モモ肉のみを家庭用のミートチョッパー（No. 5-A, Veritas, 東京）でミンチした．色差計でモモ肉の色差を測定後，試料を真空包装し，-30℃で冷凍保存した．脂肪酸の分析を一般財団法人日本食品分析センター（東京）に委託した．脂肪酸含量の分析時に冷凍保存したサンプルを解凍し，ドリップも含めて分析に使用した．

モモ肉と腹腔内の脂肪の色差の測定には解体した供試鶏8羽分のモモ肉を用いた．ミンチしたモモ肉および腹腔内脂肪の色差（L\*値，a\*値，b\*値）の測定には，測色色差計（Z-1001DP，日本電色工業株式会社，東京）を用いた．モモ肉はミンチ後，測定容器へ投入し，色差を測定した．ミンチ処理後は一定の時間間隔で各サンプルを測定した．腹腔内脂肪は解体後のサンプルを測定容器へ投入し，色差を測定した．

供試飼料とユーグレナ粉末の一般成分（水分，粗タンパク，



粗脂肪，粗繊維および粗灰分）と脂肪酸の分析は第3章と同様に一般財団法人日本食品分析センター（東京）に委託した。

得られたデータについて統計ソフトウェア（Excel 統計 2016, Social Survey Research Information, 東京）を用いて一元配置法による分散分析で有意差検定を行った。また，有意と判定された項目は Tukey-Kramer の多重比較検定を適用した。いずれも 5%水準 ( $p < 0.05$ ) を有意差とした。

#### 4.2.4 供試飼料の成分

表 4-2 に供試飼料の一般成分の測定値を示す。一般成分において，ユーグレナ粉末は対照区よりも粗タンパク質と粗脂肪の含量が高いため，Eug 5%の粗タンパク質，粗脂肪含量はわずかに高い状況にあった。一方，粗繊維と粗灰分においては Eug 5%でわずかに低い状況にあった。しかし，いずれもユーグレナ粉末の成分から計算される設計値から 1%以内の範囲となり，ほとんど同等であった。また，ユーグレナ粉末の粗タンパク質は第3章において 33.1%であったが本試験においては 30.6%と低い。しかし，粗脂肪においては第3章では 15.4%，本試験では 15.3%と粗脂肪において変化は見られないことから試験実施にあたって問題ないものと判断した。

表 4-2 供試飼料の一般成分

| ステージ | 一般成分(%) | 対照区  | Eug 1.25% | Eug 2.5% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 |
|------|---------|------|-----------|----------|--------|---------|
| 餌付   | 粗タンパク質  | 24.0 | 24.1      | 24.2     | 24.6   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 2.5  | 2.7       | 3.0      | 3.6    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 5.0  | 4.9       | 4.8      | 4.6    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 7.0  | 7.0       | 6.9      | 6.7    | 3.4     |
| 中期   | 粗タンパク質  | 20.0 | 20.1      | 20.4     | 20.9   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 2.0  | 2.2       | 2.5      | 3.1    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 6.0  | 5.9       | 5.8      | 5.5    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 8.0  | 7.9       | 7.8      | 7.6    | 3.4     |
| 仕上   | 粗タンパク質  | 17.5 | 17.7      | 18.0     | 18.6   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 1.5  | 1.7       | 2.0      | 2.7    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 6.0  | 5.9       | 5.8      | 5.5    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 9.0  | 8.9       | 8.8      | 8.5    | 3.4     |

表 4-3 に仕上飼料の脂肪酸含量の測定値を示す。脂肪酸含量において、ユーグレナ粉末は対照区よりもラウリン酸，ミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸が高い一方，オレイン酸とリノール酸および n-6/n-3 比は低い。試験飼料の脂肪酸含量とユーグレナの添加率の相関係数を算出したところ，ラウリン酸とミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸はユーグレナの添加率に応じて増加し，正の相関を示した ( $p < 0.05$ )。また，オレイン酸とリノール酸はユーグレナの添加率に応じて減少し，負の相関を示した ( $p < 0.05$ )。このことから，ユーグレ

ナ粉末の添加により，飼料中のラウリン酸とミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸の含量と n-6/n-3 比に影響することが示唆された。

表 4-3 供試飼料(仕上飼料)の脂肪酸含量

| 脂肪酸含量 (mg/100g) |             | 対照区  | Eug 1.25% | Eug 2.5% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 | 相関係数     |
|-----------------|-------------|------|-----------|----------|--------|---------|----------|
| デカン酸            | C10:0       | -    | 1         | 3        | 4      | 8       | 0.965*   |
| ラウリン酸           | C12:0       | -    | 1         | 3        | 10     | 200     | 0.977*   |
| ミリスチン酸          | C14:0       | 7    | 21        | 35       | 62     | 1100    | 0.998**  |
| ミリストレイン酸        | C14:1       | -    | 1         | 2        | 4      | 70      | 0.998**  |
| ペンタデカン酸         | C15:0       | -    | 2         | 5        | 9      | 180     | 0.998**  |
| パルミチン酸          | C16:0       | 400  | 430       | 450      | 460    | 600     | 0.912    |
| パルミトレイン酸        | C16:1       | 10   | 13        | 15       | 20     | 200     | 0.998**  |
| ヘプタデカン酸         | C17:0       | -    | 1         | 2        | 4      | 80      | 0.998**  |
| ステアリン酸          | C18:0       | -    | 3         | 7        | 12     | 100     | 0.996**  |
| オレイン酸           | C18:1       | 700  | 690       | 680      | 670    | 200     | -0.980** |
| リノール酸           | C18:2 (n-6) | 1300 | 1282      | 1270     | 1240   | 100     | -0.993** |
| $\alpha$ -リノレン酸 | C18:3 (n-3) | 80   | 80        | 90       | 90     | 100     | 0.863    |
| $\gamma$ -リノレン酸 | C18:3 (n-6) | -    | -         | -        | -      | -       | -        |
| アラキジン酸          | C20:0       | 13   | 13        | 14       | 11     | -       | -0.655   |
| イコセン酸           | C20:1       | 11   | 11        | 12       | 12     | 20      | 0.863    |
| イコサジエン酸         | C20:2 (n-6) | 1    | 4         | 7        | 13     | 240     | 0.998**  |
| イコサトリエン酸        | C20:3 (n-6) | -    | 1         | 1        | 1      | 30      | 0.651    |
| アラキドン酸          | C20:4 (n-6) | 3    | 8         | 13       | 23     | 390     | 0.998**  |
| イコサペンタエン酸       | C20:5 (n-3) | 1    | 2         | 3        | 5      | 70      | 0.998**  |
| ベヘン酸            | C22:0       | 4    | 3         | 2        | 2      | -       | -0.861   |
| ドコサテトラエン酸       | C22:4 (n-6) | -    | 5         | 5        | 6      | 260     | 0.764    |
| ドコサペンタエン酸       | C22:5 (n-3) | -    | 2         | 2        | 5      | 20      | 0.957*   |
| ドコサヘキサエン酸       | C22:6 (n-3) | 1    | 3         | 6        | 8      | 18      | 0.973*   |
| リグノセリン酸         | C24:0       | -    | 11        | 11       | 2      | 30      | -0.101   |
| 飽和脂肪酸           |             | 400  | 428       | 455      | 510    | 2200    | 0.998**  |
| 不飽和脂肪酸          |             | 2000 | 2025      | 2050     | 2100   | 2000    | 0.998**  |
| 一価不飽和脂肪酸        |             | 700  | 680       | 670      | 670    | 400     | -0.812   |
| 多価不飽和脂肪酸        |             | 1300 | 1300      | 1340     | 1390   | 1500    | 0.982*   |
| n-6/n-3比        |             | 15.9 | 15.0      | 12.8     | 12.0   | 5.3     | -0.973*  |

表中の「-」は未検出を示す。表中の「相関係数」は添加率と各脂肪酸含量との間の相関係数を表す。また、\*は5%水準(p<0.05)，\*\*は1%水準(p<0.01)で相関係数が有意であることを示す。

## 4.3 結果および考察

### 4.3.1 ユーグレナ給与がブロイラーの飼養成績と解体成績に与える影響

表 4-4 に飼養成績を示し，表 4-5 に解体成績を示す．各期間の体重と平均日増体重は対照区とユーグレナ添加区で有意差はみられなかった ( $p > 0.05$ )．また，解体成績において，モモ肉，ムネ肉，ササミ，肝臓，心臓，砂肝，腹腔内脂肪，手羽先および手羽元の歩留まりにおいても有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )．Choi ら (2004) が実施した試験においてもブロイラーへユーグレナを 1% 給与しても増体の改善効果は見られないと報告しており，本試験の Eug1% の結果と一致した．石井 (2019) は飼料中の粗タンパク質を 1.4% 程度高めることで増体重が増加することを報告している．

本試験においてはユーグレナの添加率が最も高い 5% 添加区においても対照区と比較し，粗タンパク質の変動は 1% 程度であり，粗タンパク質の増加はみられていない．そのため，ユーグレナの添加率を 5% 以上とし，粗タンパク質を高めた場合，本試験とはまた異なる結果となる可能性はあるが，少なくとも本試験のユーグレナ 1~5% 添加においては飼養成績と解体成績に影響はみられないものと考えられる．

表 4-4 各区における飼養成績

| 項目             | 日齢 (日) | 対照区            | Eug 1.25%      | Eug 2.5%       | Eug 5%         |
|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 体重 (g)         | 0      | 32.0 ± 1.2     | 31.9 ± 1.2     | 31.9 ± 1.2     | 32.0 ± 1.2     |
|                | 14     | 459.8 ± 38.3   | 477.0 ± 29.7   | 457.5 ± 40.0   | 482.0 ± 36.7   |
|                | 28     | 1511.3 ± 131.0 | 1475.0 ± 141.3 | 1480.5 ± 84.1  | 1525.3 ± 77.1  |
|                | 42     | 2486.9 ± 187.3 | 2385.8 ± 196.9 | 2324.3 ± 174.4 | 2445.3 ± 157.9 |
| 平均日増体重 (g/日/羽) | 0-14   | 45.6 ± 4.1     | 47.1 ± 3.4     | 45.1 ± 5.1     | 47.7 ± 4.1     |
|                | 14-28  | 93.7 ± 8.7     | 92.2 ± 8.6     | 88.8 ± 4.0     | 90.8 ± 8.9     |
|                | 28-42  | 72.9 ± 6.5     | 70.1 ± 9.0     | 64.9 ± 11.8    | 70.8 ± 8.0     |
|                | 0-42   | 50.4 ± 6.3     | 51.1 ± 11.1    | 48.3 ± 19.6    | 50.6 ± 5.6     |
| 飼料摂取量 (g/日/羽)  | 0-14   | 35.9           | 37.1           | 34.9           | 36.3           |
|                | 14-28  | 102.8          | 98.1           | 103.6          | 103.1          |
|                | 28-42  | 148.3          | 139.2          | 157.6          | 155.0          |
|                | 0-42   | 95.6           | 91.5           | 98.7           | 98.1           |
| 飼料要求率          | 0-14   | 1.18           | 1.17           | 1.15           | 1.13           |
|                | 14-28  | 1.37           | 1.38           | 1.42           | 1.38           |
|                | 28-42  | 2.03           | 1.99           | 2.43           | 2.19           |
|                | 0-42   | 1.61           | 1.58           | 1.78           | 1.68           |

平均値 ± 標準偏差, 体重と平均日体重はn=8, 飼料摂取量飼料要求率はn=1.

表 4-5 各区における解体成績

| 解体成績 (%) | 対照区        | Eug 1.25%  | Eug 2.5%   | Eug 5%     |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| と体重      | 93.2 ± 0.7 | 93.7 ± 0.7 | 92.0 ± 0.8 | 92.8 ± 1.0 |
| モモ肉      | 21.5 ± 1.0 | 21.0 ± 0.6 | 21.1 ± 1.2 | 20.6 ± 0.8 |
| ムネ肉      | 20.1 ± 1.2 | 19.9 ± 0.8 | 20.2 ± 1.1 | 20.0 ± 1.1 |
| ササミ      | 3.9 ± 0.3  | 4.1 ± 0.4  | 3.8 ± 0.3  | 4.0 ± 0.2  |
| 肝臓       | 2.0 ± 0.1  | 1.8 ± 0.0  | 2.2 ± 0.6  | 2.1 ± 0.4  |
| 心臓       | 0.4 ± 0.0  | 0.4 ± 0.0  | 0.4 ± 0.0  | 0.4 ± 0.0  |
| 砂肝       | 1.1 ± 0.2  | 1.2 ± 0.2  | 1.2 ± 0.1  | 1.1 ± 0.1  |
| 腹腔内脂肪    | 1.0 ± 0.1  | 0.7 ± 0.1  | 0.8 ± 0.2  | 0.8 ± 0.2  |
| 手羽先      | 4.1 ± 0.2  | 4.6 ± 0.5  | 4.5 ± 0.3  | 4.4 ± 0.1  |
| 手羽元      | 4.0 ± 0.2  | 4.2 ± 0.4  | 4.3 ± 0.3  | 4.2 ± 0.2  |

平均値 ± 標準偏差, n=8.

#### 4.3.2 ユーグレナ給与がブロイラーのモモ肉と腹腔内脂肪の色差に及ぼす影響

表 4-6 にモモ肉と腹腔内脂肪の色差を示す。モモ肉と腹腔内脂肪の色差はユーグレナ添加区で有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。Katharina ら (1985) はブロイラーの鶏肉に含まれるカロテノイドはルテインやゼアキサントフェン、クリプトキサントフェンが主成分であることを報告している。池谷と池谷 (2002) はブロイラーの飼料中にアオサ飼料を 3% 添加することで腹腔内脂肪の黄色味が増加することを報告している。この報告では 3% 添加では飼料中のルテインとゼアキサントフェンおよびクリプトキサントフェンの含量の合計が  $302.8 \mu\text{g/g}$  であったのに対して、第 3 章で確認したユーグレナ 5% 添加時の該当のカロテノイドの合計は  $8.3 \mu\text{g/g}$  と低い。そのため、本試験におけるユーグレナの添加量では腹腔内脂肪の色味に影響を及ぼすほどのカロテノイド含量に満たず、結果として、モモ肉と腹腔内脂肪の色味に影響を及ぼさなかったものと考えられる。このことから、ユーグレナを給与することでブロイラーの脂肪の黄色味を増すことはなく、消費者への見た目の悪印象に繋がることはないと考えられる。

表 4-6 各区におけるモモ肉と腹腔内脂肪の色差

| 部位    | 色値  | 対照区        | Eug 1.25%  | Eug 2.5%   | Eug 5%     |
|-------|-----|------------|------------|------------|------------|
| モモ肉   | L*値 | 58.6 ± 1.5 | 59.8 ± 1.6 | 59.6 ± 2.0 | 58.3 ± 1.7 |
|       | a*値 | 5.7 ± 0.9  | 5.4 ± 1.0  | 6.0 ± 1.3  | 5.8 ± 0.8  |
|       | b*値 | 16.6 ± 0.5 | 16.4 ± 1.3 | 16.5 ± 0.6 | 17.7 ± 0.7 |
| 腹腔内脂肪 | L*値 | 74.8 ± 1.3 | 73.3 ± 1.7 | 72.2 ± 1.9 | 73.1 ± 1.5 |
|       | a*値 | 4.4 ± 1.5  | 6.4 ± 1.7  | 6.8 ± 2.9  | 6.3 ± 1.6  |
|       | b*値 | 21.5 ± 1.9 | 21.8 ± 1.6 | 24.2 ± 1.6 | 24.7 ± 0.8 |

平均値 ± 標準偏差, n=8.

#### 4.3.3 ユーグレナ給与がモモ肉の脂肪酸含量に及ぼす影響

表 4-7 にモモ肉の脂肪酸含量を示す。モモ肉の脂肪酸含量は Eug 1.25% では対照区よりもラウリン酸、ペンタデカン酸およびヘプタデカン酸の 3 項目が有意に増加した ( $p < 0.05$ )。また、Eug 2.5%、Eug 5% ではラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸含量の 5 項目が有意に増加し ( $p < 0.05$ )、Eug 5% では n-6/n-3 比が有意に減少した ( $p < 0.05$ )。

鶏における脂肪酸合成は主に肝臓で行われる (O'Hea と Leveille 1968)。高と田先 (1975a) は給与した脂肪酸により肝臓と血漿中の脂肪酸組成は特異的に影響を受けること、また、脂肪組成と筋肉中の脂肪酸組成も給与する飼料の脂肪酸によって変化することを報告している。実際に Hulan ら (1980) は飼料

中に n-3 系不飽和脂肪酸を含むレッドフィッシュミールを添加することで、モモ肉で n-3 系不飽和脂肪酸が増加したことを報告している。また、高と田先(1975b)は脂肪酸を構成する炭素原子の数が奇数となる奇数脂肪酸も肝臓で分解されることを報告している。

本試験においても、飼料中で増加が確認されたラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸はモモ肉中でもその増加が確認された。このことから、本試験において確認されたモモ肉中の脂肪酸含量の増加にはユーグレナ由来の脂肪酸の移行に起因しているものと考えられる。飼料中で増加が確認されたラウリン酸やミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸ならびにドコサヘキサエン酸などの中鎖脂肪酸、奇数脂肪酸および n-3 系脂肪酸が増える一方、飼料中で増加が確認されたアラキドン酸においては有意な増加は認められなかった ( $p > 0.05$ )。Leskanich ら(2009)は n-3 系脂肪酸をブロイラーへ給与することで、鶏肉中への n-3 系脂肪酸の蓄積量は増加するが、一方で n-6 系脂肪酸は減少することを報告している。このことから、本試験においてアラキドン酸の増加が確認されなかったことについては鶏肉中の n-3 系脂肪酸の蓄積量が増えたことで、n-6 系脂肪酸の蓄積が



抑制されたものと考えられる。

Danielle ら (2012) はドコサヘキサエン酸を摂取することで心血管機能の維持やアルツハイマー病の予防などに効果があることを報告している。Ngoc (2020) はペンタデカン酸やヘプタデカン酸などの奇数脂肪酸を摂取することで、炎症性サイトカインで 2 型糖尿病の予測因子である IL-6 の値が低くなることを報告している。また、Nisha ら (2020) は中鎖脂肪酸を摂取が高脂血症の抑制に繋がることを報告している。そのため、ユーグレナ給与により認められたラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸含量の増加は高脂血症の予防や血管機能の維持、糖尿病やアルツハイマー病などの予防に効果がある機能性成分であり、ユーグレナの添加によりこれらの機能性成分を鶏肉へ蓄積させることが出来るものと考えられる。

n-6/n-3 比においては Eug 5% で対照区よりも有意に減少した ( $p < 0.05$ )。n-3 系多価不飽和脂肪酸の摂取は脂質代謝を改善し、成人病予防に効果があることが報告されている (Bang ら 1971, Hwang ら 1988, Anderson と Conner 1989)。

Adam (1989) と Hunter (1989) は動脈硬化や心筋梗塞、血栓症など生活習慣病の予防のために食事から摂取する脂肪酸の n-

6/n-3 比を 10~11 とするのが好ましいと報告している。これ  
に対して、本試験では対照区の n-6/n3 比は 12.3 と  
Adam(1989)や Hunter(1989)が推奨する 10~11 よりも高い値  
を示している。しかし、その一方で Eug5%では 8.3 と対照区  
よりも有意に低く、Adam(1989)や Hunter(1989)が推奨する基  
準よりも下回っている。

これより、ブロイラーの飼料へユーグレナを 5%添加するこ  
とにより中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸および n-3 系脂肪酸を高め、  
n-6/n-3 比を推奨値よりも低くした鶏肉の生産が可能であると  
考えられる。

表 4-7 各区におけるモモ肉の脂肪酸含量

| 脂肪酸含量 (mg/100g) |             | 対照区                     |        | Eug 1.25%                 |        | Eug 2.5%                 |        | Eug 5%                   |        |
|-----------------|-------------|-------------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
| デカン酸            | C10:0       | -                       | -      | -                         | -      | -                        | -      | -                        | -      |
| ラウリン酸           | C12:0       | 2.0 ± 0.4 <sup>b</sup>  | (0.0)  | 4.0 ± 0.3 <sup>a</sup>    | (0.1)  | 5.1 ± 0.9 <sup>a</sup>   | (0.1)  | 9.6 ± 1.2 <sup>a</sup>   | (0.2)  |
| ミリスチン酸          | C14:0       | 32.0 ± 3.0 <sup>b</sup> | (0.6)  | 49.0 ± 11.2 <sup>ab</sup> | (1.2)  | 69.0 ± 15.4 <sup>a</sup> | (1.7)  | 88.0 ± 24.4 <sup>a</sup> | (2.1)  |
| ミリストレイン酸        | C14:1       | 8.0 ± 1.1               | (0.2)  | 8.2 ± 0.5                 | (0.2)  | 9.3 ± 0.9                | (0.2)  | 10.6 ± 1.2               | (0.3)  |
| ペンタデカン酸         | C15:0       | 5.0 ± 0.9 <sup>b</sup>  | (0.1)  | 8.4 ± 1.1 <sup>a</sup>    | (0.2)  | 10.1 ± 2.1 <sup>a</sup>  | (0.2)  | 14.4 ± 2.5 <sup>a</sup>  | (0.3)  |
| パルミチン酸          | C16:0       | 1250.0 ± 83.7           | (25.3) | 983.3 ± 184.4             | (23.6) | 1066.7 ± 175.1           | (25.6) | 1016.7 ± 172.2           | (24.4) |
| パルミトレイン酸        | C16:1       | 383.3 ± 40.8            | (7.8)  | 250.0 ± 54.8              | (6.0)  | 283.3 ± 75.3             | (6.8)  | 266.7 ± 81.6             | (6.4)  |
| ヘプタデカン酸         | C17:0       | 8.0 ± 0.3 <sup>b</sup>  | (0.2)  | 9.6 ± 0.3 <sup>a</sup>    | (0.2)  | 10.1 ± 1.1 <sup>a</sup>  | (0.2)  | 10.9 ± 2.3 <sup>a</sup>  | (0.3)  |
| ステアリン酸          | C18:0       | 333.3 ± 51.6            | (6.7)  | 316.7 ± 40.8              | (7.6)  | 350.0 ± 54.78            | (8.4)  | 316.7 ± 40.8             | (7.6)  |
| オレイン酸           | C18:1       | 1883.3 ± 117            | (38.1) | 1566.7 ± 206.6            | (37.6) | 1650.0 ± 258.8           | (39.6) | 1533.3 ± 287.5           | (36.8) |
| リノール酸           | C18:2 (n-6) | 816.7 ± 40.8            | (16.5) | 733.3 ± 81.7              | (17.6) | 750.0 ± 104.9            | (18.0) | 716.7 ± 132.9            | (17.2) |
| α-リノレン酸         | C18:3 (n-3) | 63.0 ± 3.1              | (1.3)  | 66.9 ± 5.8                | (1.6)  | 68.7 ± 4.9               | (1.6)  | 67.7 ± 6.6               | (1.6)  |
| アラキジン酸          | C20:0       | 3.0 ± 0.4               | (0.1)  | 3.0 ± 0.7                 | (0.1)  | 3.1 ± 0.3                | (0.1)  | 3.2 ± 0.5                | (0.1)  |
| イコセン酸           | C20:1       | 22.0 ± 3.1              | (0.4)  | 23.4 ± 3.6                | (0.6)  | 21.5 ± 4.4               | (0.5)  | 21.6 ± 2.8               | (0.5)  |
| イコサジエン酸         | C20:2 (n-6) | 9.0 ± 0.6               | (0.2)  | 9.9 ± 1.1                 | (0.2)  | 9.8 ± 0.9                | (0.2)  | 9.6 ± 0.6                | (0.2)  |
| イコサトリエン酸        | C20:3 (n-6) | 1.0 ± 0.2               | (0.0)  | 1.2 ± 0.3                 | (0.0)  | 1.1 ± 0.3                | (0.0)  | 1.1 ± 0.3                | (0.0)  |
| アラキドン酸          | C20:4 (n-6) | 77.0 ± 8.1              | (1.6)  | 80.0 ± 8.8                | (1.9)  | 88.0 ± 7.9               | (2.1)  | 85.0 ± 7.9               | (2.0)  |
| イコサペンタエン酸       | C20:5 (n-3) | 3.0 ± 1.1               | (0.1)  | 4.0 ± 1.1                 | (0.1)  | 4.2 ± 1.2                | (0.1)  | 4.7 ± 1.7                | (0.1)  |
| ドコサテトラエン酸       | C22:4 (n-6) | 21.0 ± 1.9              | (0.4)  | 22.6 ± 2.1                | (0.5)  | 21.1 ± 1.8               | (0.5)  | 20.9 ± 1.7               | (0.5)  |
| ドコサペンタエン酸       | C22:5 (n-3) | 15.0 ± 2.1              | (0.3)  | 13.6 ± 1.8                | (0.3)  | 13.7 ± 1.6               | (0.3)  | 14.7 ± 2.2               | (0.4)  |
| ドコサヘキサエン酸       | C22:6 (n-3) | 9.0 ± 1.6 <sup>b</sup>  | (0.2)  | 10.6 ± 2.2 <sup>ab</sup>  | (0.3)  | 12.4 ± 1.3 <sup>a</sup>  | (0.3)  | 13.6 ± 1.5 <sup>a</sup>  | (0.3)  |
| 飽和脂肪酸           |             | 1600.0 ± 126.5          |        | 1300.0 ± 219.1            |        | 1416.7 ± 200.0           |        | 1333.3 ± 206.6           |        |
| 不飽和脂肪酸          |             | 3166.7 ± 175.1          |        | 2616.7 ± 402.1            |        | 2816.7 ± 416.7           |        | 2600.0 ± 544.1           |        |
| 一価不飽和脂肪酸        |             | 2350.0 ± 151.7          |        | 1866.7 ± 307.7            |        | 2016.7 ± 354.5           |        | 1833.3 ± 408.2           |        |
| 多価不飽和脂肪酸        |             | 816.7 ± 40.8            |        | 750.0 ± 122.5             |        | 800.0 ± 109.5            |        | 766.7 ± 175.1            |        |
| n-6/n-3比        |             | 12.3 ± 2.1 <sup>a</sup> |        | 8.9 ± 1.3 <sup>ab</sup>   |        | 8.8 ± 0.3 <sup>ab</sup>  |        | 8.3 ± 0.4 <sup>b</sup>   |        |

平均値 ± 標準偏差, n=6. 括弧内の数字は総脂肪酸含量に対する比率を示す. <sup>a,b</sup>; 異符号間に有意差有 (p < 0.05).

#### 4.4 小括

本試験では，ブロイラーに対してユーグレナを給与した際の飼養成績と脂肪の黄色味およびモモ肉の脂肪酸含量に与える影響を評価した。その結果，以下の知見を得た。

- (1) ユーグレナの添加水準を 1～5%とした場合，ユーグレナの添加が増体量と解体成績およびモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及ぼさないことが分かった。
- (2) ユーグレナの添加水準を 5%とし，ブロイラーへ給与することでモモ肉中のペンタデカン酸とヘプタデカン酸の奇数脂肪酸，ラウリン酸とミリスチン酸の中鎖脂肪酸および n-3 系脂肪酸であるドコサヘキサエン酸の含量を増加させるとともに，n-6/n-3 比を減少させることが分かった。
- (3) 奇数脂肪酸や中鎖脂肪酸および n-3 系の脂肪酸は機能性成分とされていることと，n-6/n-3 比が Adam(1989)や Hunter(1989)が推奨する値(=10-11)とされることから，ユーグレナの添加水準を 5%とすることで機能性鶏肉の生産が可能であることが示された。

## 5 章 比内地鶏へのユーグレナ給与が飼養成績と肉質に及ぼす影響

### 5.1 背景および目的

#### 5.1.1 地鶏の生産と需要

第 2 章ではユーグレナを鶏ひなへ給与することで飼料としての安全性について確認し，ユーグレナが飼料として利用できることを明らかにした．第 3 章ではレイヤーの飼料に対してユーグレナを 5%以上添加することで，卵黄中のカロテノイド含量が増加し，これがカラーファンスコアを高めることを明らかにした．第 4 章ではブロイラーの飼料に対してユーグレナを 5%添加することで鶏肉中のドコサヘキサエン酸などの脂肪酸含量を増加させることを明らかにした．これらの結果から，レイヤーやブロイラーへのユーグレナ給与の有効性が示された．

一方，国内における肉養鶏の品種はブロイラーだけではなく，近年で注目されているわが国の固有の地鶏がある．地鶏の生産量は鶏肉全体の 1%程度に留まっているが，地鶏の銘柄数は 1995 年では 34 銘柄であったのに対して，2006 年には 57 銘柄まで増加している(駒井 2008)．また，生産性の高いブロ

イラーが大量に生産される一方で出荷日齢の短縮によってブロイラーの肉質は「やわらか過ぎる，淡白」であり，地鶏のような「歯ごたえやコクのある」を特徴とする鶏肉品質への消費者志向が高まっている(駒井 2008)．とくに 2000 年以降では安全性と健康が強く意識されるようになり，第 1 章の緒言でも述べたようにナチュラルでヘルシーなイメージが銘柄鶏や地鶏と重なり，地鶏の需要が拡大している(淡路 2017，駒井 2008)．そのため，今後の鶏肉の生産において，ブロイラーだけではなく地鶏を対象とした飼料開発を行うことは国内において重要な課題であると考えられる．

### 5.1.2 地鶏の種類

地鶏肉の日本農林規格(特定 JAS)で定められた地鶏とは「在来種由来の血液百分率が 50%以上のものであって出生の証明ができるもの」を飼養し，一定期間以上平飼いにより国内で飼育した鶏と定められている(農林水産省告示 2009 号)．在来種とは明治時代までに国内で成立し，または定着した鶏品種を指し，これには 38 鶏種が定められている(農林水産省告示 2009 号)．地鶏の主な生産地は徳島県や兵庫県，福島県，愛知県，秋田県および岐阜県などが挙げられるが，その中でも名古屋コ

ーチンや薩摩地鶏および比内地鶏は日本三大地鶏と称されるほど有名な地鶏である。表 5-1 に日本三大地鶏と称される名古屋コーチンや薩摩地鶏および比内地鶏の生産量と肉質の特徴を示す。

表 5-1 各地鶏の生産地と特徴

(国産地鶏・銘柄ガイドブック 2017 より引用，改変)

| 鶏種    | 名古屋コーチン              | 薩摩地鶏                   | 比内地鶏                   |
|-------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 生産地   | 愛知県                  | 鹿児島県                   | 秋田県                    |
| 生産量   | 約100万羽               | 約14万羽                  | 約52万羽                  |
| 特徴    | 歯ごたえ、風味              | 旨味                     | 歯ごたえ、風味<br>さめ細かい脂の黄色味  |
| 関与成分等 | 破断強度が高い<br>独特の香りを有する | グルタミン酸と<br>イノシン酸の含量が多い | イノシン酸と<br>アラキドン酸の含量が多い |

名古屋コーチンは愛知県で生産される地鶏で，ブロイラーに比べて歯ごたえやこくのある風味が特徴とされている。尾関ら(1994)は名古屋コーチンのモモ肉はブロイラーよりも破断強度が高いことを報告している。また，松石ら(2005)はモモ肉を加熱した際に名古屋コーチン独特の香りを有することを報告している。このことから破断強度の高さや独特の香りが名古屋コーチンの歯ごたえや風味に影響しているものと考えられる。薩摩地鶏は鹿児島県で生産される地鶏で，名古屋コーチンと同様にブロイラーと比べて旨味が強いとされている。福永ら

(1989)の研究では薩摩地鶏のモモ肉中のグルタミン酸やイノシン酸の含量が高いことを明らかにしており、これが薩摩地鶏の旨味に影響しているものとしている。

一方、比内地鶏は秋田県で生産される地鶏で、ブロイラーに比べて歯ごたえやこくのある風味に加えて、きめ細かな脂の黄色味が特徴であり、Fujimuraら(1994)とRikimaruとTakahasi(2010)は比内地鶏の成分を調べたところ、比内地鶏のモモ肉中のイノシン酸とアラキドン酸の含量がブロイラーよりも高いことを報告しており、アラキドン酸が比内地鶏のうま味成分の一種であると考えられている。

ユーグレナにはn-6系脂肪酸であるリノール酸やアラキドン酸をはじめn-3系脂肪酸であるエイコサペンタエン酸やドコサヘキサエン酸などの高度不飽和脂肪酸を含むこと(Korn 1964, 宮武ら 1985, 中野ら 1995)に加え、カロテノイドを含有する。日本三大地鶏のうち、それぞれの地鶏の中でアラキドン酸のような脂肪酸と脂肪の黄色味が付加価値として挙げられている地鶏は比内地鶏のみである。

第3章において、ユーグレナのカロテノイドが、カラーファンスコアの増加に寄与することが明らかになった。また、第4章においてはユーグレナのカロテノイドが脂肪の黄色味に影響



響を及ぼすことはなかったが、脂肪酸が鶏肉の奇数脂肪酸や中鎖脂肪酸および n-3 系脂肪酸を増加させることを明らかにした。一方、ブロイラーの脂肪の黄色味についてはユーグレナのカロテノイドによる影響はみられなかった。Akiba ら (2001) はカロテノイドの給与期間を長くすることで鶏肉中のカロテノイドの蓄積が増加することを報告している。ブロイラーの飼育期間が 6 週齢程度であるのに対して、地鶏の飼育期間は一般的には 12 週齢以上とされ、飼育期間がブロイラーよりも長い。そのため、ブロイラーにおいてカロテノイドの蓄積は見られなかったが、給与期間の長い地鶏においてはカロテノイドの蓄積の傾向が異なる可能性がある。このことから、ユーグレナに含まれる脂肪酸やカロテノイドがモモ肉の脂肪へ蓄積することで比内地鶏の特徴を向上させることに繋がると考えられる。

そこで本章では、初生からユーグレナを配合飼料へ添加し、ユーグレナの給与が比内地鶏の発育および肉質に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 5.2 材料および方法

### 5.2.1 供試鶏

本試験は秋田県畜産試験場にて実施されたもので、バタリーケージおよび運動場が付随したパイプハウスで飼養された比内地鶏の雌を供試鶏とした。比内地鶏の雌は秋田県畜産試験場で孵化した個体を用いた。体重 38～52g の個体羽選抜し、4つの試験区に対し、各々26羽ずつ振り分けた。個体識別としてアルミニウム製翼帯を脚もしくは翼膜へ取り付けた。区分後、雛は餌付けから4週齢までバタリーケージで飼育し、4週齢以降は運動場が付随したパイプハウスで23週齢まで群飼育した（図 5-1）。試験期間は0日齢から160日齢までの161日間とし、試験期間中は不断給餌、自由飲水とした。実験動物飼養などは動物実験等に関する規定を満たすよう秋田県畜産試験場で定めた飼養基準にて実施した「秋田県畜産試験場動物実験委員会」（平成27年度受付番号11）。



図 5-1 試験の飼養環境

#### 5.2.2 試験区

孵化後から 4 週齢まで前期飼料（粗タンパク質 21% 以上，代謝エネルギー 3,100 kcal/kg 以上）を，4～9 週齢まで中期飼料（粗タンパク質 19% 以上，代謝エネルギー 2,900 kcal/kg 以上）を，9～23 週齢まで仕上飼料（粗タンパク質 16% 以上，代謝エネルギー 2,900 kcal/kg 以上）を用いた．市販飼料のみを給与した対照区に対して，林と榎本(2004)が報告する添加率と第 3 章と第 4 章の結果を参考とし，各飼料にそれぞれユーグレナ粉末を 1.25%，2% および 5% 添加したユーグレナ 1.25% 区（以下，Eug 1.25%），ユーグレナ 2.5% 区（以下，Eug 2.5%）およびユーグレナ 5% 区（以下，Eug 5%）の計 4 区を設

定した。ユーグレナ粉末は前章と同様に株式会社ユーグレナ（東京）から入手したユーグレナの乾燥粉末を用いた。飼料の公定規格にユーグレナは登録されておらず、消化率や代謝エネルギーを算出できないため本試験では供試飼料への添加とした。

### 5.2.3 測定項目

測定項目は体重，飼料摂取量，飼料要求率，飼養成績，解体成績，モモ肉と腹腔内脂肪の色差およびモモ肉の脂肪酸の計 8 つとした。試験開始後 0，4，14 および 23 週齢時点で比内地鶏の体重を測定し，各週齢における体重から各週齢における体重から平均日増体重を算出した。個体毎の平均飼料摂取量は測定が困難であるため，群全体の平均飼料摂取量と羽数から算出した。また，平均日増体重と平均飼料摂取量から飼料要求率を算出した。23 週齢に各区から 6 羽をランダムに選抜し，18 時間絶食させた後に刀で静脈を切り，放血した。放血後，60℃の湯に約 1 分間浸漬した後，脱羽毛機を用いて脱羽した。その後，と体を解体し，正肉部位（モモ肉，ムネ肉，ササミ），手羽先，手羽元，可食内臓部位（心臓，肝臓，砂肝）および腹腔内脂肪の重量を測定した。絶食体重に対する各部位の重量から歩留まり割合を算出した。なお，本試験では解体した

組織重量の測定および脂肪酸含量の分析を行うため、安楽殺ではなく放血と殺とした。脂肪酸含量の分析は解体した供試鶏のうち、5羽を用い、色差の測定には解体した供試鶏のうち、6羽を用いた。脂肪酸含量の分析と色差の測定および供試飼料の分析は前章と同様の手順にて分析した。

得られたデータについて統計ソフトウェア(Excel 統計 2016, Social Survey Research Information, 東京)を用いて一元配置法による分散分析で有意差検定を行った。また、有意と判定された項目は Tukey-Kramer の多重比較検定を適用した。いずれも 5%水準 ( $p < 0.05$ ) を有意差とした。

#### 5.2.4 供試飼料の成分

表 5-2 に供試飼料の測定値を示す。一般成分において、ユーグレナ粉末は対照区よりも粗タンパク質と粗脂肪が高いため、ユーグレナ添加により、飼料中の粗タンパク質と粗脂肪含量はわずかに高い状況にあった。一方、粗繊維と粗灰分においてはわずかに低い状況にあった。しかし、いずれもユーグレナ粉末の成分から計算される設計値から 1%以内の範囲となり、ほとんど同等であり、第 4 章と同様の傾向を示した。

表 5-2 供試飼料の一般成分

| ステージ | 一般成分(%) | 対照区  | Eug 1.25% | Eug 2.5% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 |
|------|---------|------|-----------|----------|--------|---------|
| 餌付   | 粗タンパク質  | 21.0 | 21.1      | 21.4     | 21.8   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 3.0  | 3.2       | 3.5      | 4.0    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 6.0  | 5.9       | 5.8      | 5.5    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 8.0  | 7.9       | 7.8      | 7.8    | 3.4     |
| 中期   | 粗タンパク質  | 18.0 | 18.2      | 18.3     | 18.3   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 2.0  | 2.2       | 2.3      | 2.4    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 5.0  | 4.9       | 4.8      | 4.8    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 3.0  | 3.0       | 3.0      | 3.0    | 3.4     |
| 仕上   | 粗タンパク質  | 16.0 | 16.2      | 16.4     | 16.7   | 30.6    |
|      | 粗脂肪     | 2.0  | 2.2       | 2.3      | 2.7    | 15.3    |
|      | 粗繊維     | 6.0  | 5.9       | 5.9      | 5.7    | 0.1     |
|      | 粗灰分     | 9.0  | 8.9       | 8.9      | 8.7    | 3.4     |

表 5-3 に仕上飼料の脂肪酸含量の測定値を示す。脂肪酸含量において、ユーグレナ粉末は対照区よりもラウリン酸，ミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸が高い一方，オレイン酸とリノール酸および n-6/n-3 比は低い。試験飼料の脂肪酸含量とユーグレナの添加率の相関係数を算出したところ，ラウリン酸とミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸，アラキドン酸およびドコサヘキサエン酸はユーグレナの添加率に応じて増加し，正の相関を示した ( $p < 0.05$ )。また，オレイン酸とリノール酸はユーグレナの添加

率に応じて減少し，負の相関を示した ( $p < 0.05$ )。このことから，ユーグレナ粉末の添加により，飼料中の脂肪酸酸含量と  $n-6/n-3$  比に影響することが示唆された。

表 5-3 供試飼料(仕上飼料)の脂肪酸含量

| 脂肪酸含量(mg/100g)  |             | 対照区  | Eug 1.25% | Eug 2.5% | Eug 5% | ユーグレナ粉末 | 相関係数     |
|-----------------|-------------|------|-----------|----------|--------|---------|----------|
| デカン酸            | C10:0       | -    | 1         | 1        | 5      | 8       | 0.946    |
| ラウリン酸           | C12:0       | -    | 3         | 6        | 10     | 200     | 0.994**  |
| ミリスチン酸          | C14:0       | 6    | 20        | 33       | 61     | 1100    | 0.999**  |
| ミリストレイン酸        | C14:1       | -    | 1         | 2        | 4      | 70      | 0.999**  |
| ペンタデカン酸         | C15:0       | -    | 2         | 5        | 9      | 180     | 0.999**  |
| パルミチン酸          | C16:0       | 400  | 410       | 410      | 410    | 600     | 0.683    |
| パルミトレイン酸        | C16:1       | 10   | 12        | 15       | 20     | 200     | 0.999**  |
| ヘプタデカン酸         | C17:0       | -    | 1         | 2        | 4      | 80      | 0.999**  |
| ステアリン酸          | C18:0       | 100  | 100       | 100      | 100    | 100     | 0.293    |
| オレイン酸           | C18:1       | 1200 | 1180      | 1170     | 1150   | 200     | -0.984*  |
| リノール酸           | C18:2 (n-6) | 1700 | 1670      | 1650     | 1620   | 100     | -0.986*  |
| $\alpha$ -リノレン酸 | C18:3 (n-3) | 100  | 100       | 100      | 100    | 100     | 0.293    |
| $\gamma$ -リノレン酸 | C18:3 (n-6) | -    | -         | 1        | -      | -       | 0.098    |
| アラキジン酸          | C20:0       | 10   | 12        | 12       | 10     | -       | -0.315   |
| イコセン酸           | C20:1       | 7    | 7         | 7        | 8      | 20      | 0.991**  |
| イコサジエン酸         | C20:2 (n-6) | 1    | 4         | 7        | 13     | 240     | 0.999**  |
| イコサトリエン酸        | C20:3 (n-6) | -    | 11        | 6        | 2      | 30      | -0.133   |
| アラキドン酸          | C20:4 (n-6) | 2    | 7         | 12       | 21     | 390     | 0.999**  |
| イコサペンタエン酸       | C20:5 (n-3) | 2    | 3         | 4        | 5      | 70      | 0.999**  |
| ベヘン酸            | C22:0       | 5    | 7         | 6        | 5      | -       | -0.344   |
| ドコサテトラエン酸       | C22:4 (n-6) | -    | 3         | 7        | 13     | 260     | 0.999**  |
| ドコサペンタエン酸       | C22:5 (n-3) | -    | -         | 1        | 1      | 20      | 0.968*   |
| ドコサヘキサエン酸       | C22:6 (n-3) | 1    | 2         | 6        | 9      | 20      | 0.977*   |
| リグノセリン酸         | C24:0       | 10   | 11        | 11       | 11     | 30      | 0.683    |
| 飽和脂肪酸           |             | 700  | 720       | 750      | 810    | 2200    | 0.997**  |
| 不飽和脂肪酸          |             | 3000 | 2980      | 2980     | 2960   | 2000    | -0.956*  |
| 一価不飽和脂肪酸        |             | 1200 | 1190      | 1180     | 1160   | 400     | -0.999** |
| 多価不飽和脂肪酸        |             | 1800 | 1790      | 1800     | 1750   | 1500    | -0.861   |
| $n-6/n-3$ 比     |             | 16.5 | 16.2      | 15.3     | 14.5   | 4.9     | -0.984*  |

表中の「-」は未検出を示す。表中の「相関係数」は添加率と各脂肪酸含量との間の相関係数を表す。

また，\*は5%水準( $p < 0.05$ )，\*\*は1%水準( $p < 0.01$ )で相関係数が有意であることを示す。

## 5.3 結果および考察

### 5.3.1 ユーグレナ給与が比内地鶏の飼養成績と解体成績に与える影響

表 5-4 に飼養成績の変化を示し，表 5-5 に解体成績の変化を示す．4 週齢体重と 0～4 週齢における平均日増体重は対照区と比べて，Eug 1.25%と Eug 2.5%で有意に増加した ( $p < 0.05$ )．一方で Eug 5%においては 4 週齢体重と平均日増体重は対照区と比べて有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )．また，23 週齢の体重と 0～23 週齢の平均日増体重においては対照区と比べて，ユーグレナ添加区で有意差は認められず ( $p > 0.05$ )，0～4 週齢において Eug 1.25%と Eug 2.5%でみられた有意差は一過性の可能性が高いと判断した．

Choi ら (2004) が実施した既往の報告においても，ブロイラーへユーグレナを 1% 給与しても増体の改善効果は見られないと報告している．また，第 4 章においても同様にブロイラーへユーグレナを給与しても飼養成績に影響を及ぼすことはなかった．また，伊藤ら (2019) は幼雛へユーグレナを添加した際に飼養成績と解体成績に影響を及ぼすことはないとしている．第 4 章においてもブロイラーへユーグレナを給与することで飼養成績と解体成績に変化はみられておらず，これらの先行研



究を追認している。このことから、比内地鶏の飼料へユーグレナを添加しても、飼養成績と解体成績に影響はみられないものと考えられる。

表 5-4 各区における飼養成績

| 項目             | 週齢    | 対照区                       | Eug 1.25%                 | Eug 2.5%                  | Eug 5%                    |
|----------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 体重 (g)         | 0     | 43.7 ± 2.9                | 44 ± 2.9                  | 43.4 ± 3.2                | 43.3 ± 2.9                |
|                | 4     | 394.7 ± 34.7 <sup>b</sup> | 437.7 ± 33.3 <sup>a</sup> | 426.8 ± 37.9 <sup>a</sup> | 380.5 ± 25.3 <sup>b</sup> |
|                | 14    | 2,211.9 ± 186.8           | 2,197.2 ± 133.9           | 2,200.0 ± 169.3           | 2,225.6 ± 158.4           |
|                | 23    | 3,325.4 ± 273.9           | 3,286.2 ± 233.3           | 3,243.7 ± 272.3           | 3,226.0 ± 239.2           |
| 平均日増体重 (g/日/羽) | 0-4   | 12.5 ± 1.2 <sup>b</sup>   | 14.1 ± 1.2 <sup>a</sup>   | 13.5 ± 1.3 <sup>a</sup>   | 12.0 ± 0.9 <sup>b</sup>   |
|                | 4-14  | 25.9 ± 2.4                | 25.1 ± 1.7                | 25.4 ± 2.2                | 26.3 ± 2.1                |
|                | 14-23 | 17.7 ± 2.3                | 17.3 ± 3.1                | 16.6 ± 3.0                | 16.1 ± 2.1                |
|                | 0-23  | 20.4 ± 1.7                | 20.1 ± 1.4                | 19.9 ± 1.7                | 19.8 ± 1.5                |
| 飼料摂取量 (g/日/羽)  | 0-4   | 28.0                      | 28.0                      | 27.4                      | 27.5                      |
|                | 4-14  | 137.9                     | 124.7                     | 133.7                     | 124.5                     |
|                | 14-23 | 167.8                     | 166.8                     | 154.3                     | 163.9                     |
|                | 0-23  | 129.7                     | 124.2                     | 122.7                     | 123.0                     |
| 飼料要求率          | 0-4   | 2.20                      | 1.99                      | 2.00                      | 2.29                      |
|                | 4-14  | 5.32                      | 4.96                      | 5.26                      | 4.73                      |
|                | 14-23 | 9.49                      | 9.59                      | 9.36                      | 10.02                     |
|                | 0-23  | 6.36                      | 6.18                      | 6.16                      | 6.21                      |

平均値 ± 標準偏差, n=26. <sup>a,b</sup>;異符号間に有意差あり (p<0.05).

表 5-5 各区における解体成績

| 解体成績 (%) | 対照区        | Eug 1.25%  | Eug 2.5%   | Eug 5%     |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| と体重      | 93.5 ± 0.5 | 93.7 ± 0.2 | 92.5 ± 0.6 | 93.1 ± 0.5 |
| モモ肉      | 19.4 ± 0.1 | 19.1 ± 0.4 | 19 ± 0.1   | 19.5 ± 0.9 |
| ムネ肉      | 12.1 ± 0.2 | 13.2 ± 0.3 | 12.1 ± 0.2 | 12.5 ± 0.9 |
| ササミ      | 3.1 ± 0.2  | 3.4 ± 0.1  | 3.2 ± 0.3  | 3.3 ± 0.4  |
| 肝臓       | 1.6 ± 0.1  | 1.6 ± 0    | 1.6 ± 0.1  | 1.5 ± 0.2  |
| 心臓       | 0.5 ± 0    | 0.4 ± 0    | 0.5 ± 0.1  | 0.4 ± 0.1  |
| 砂肝       | 1.8 ± 0.1  | 2.0 ± 0.2  | 1.6 ± 0.1  | 1.6 ± 0.2  |
| 腹腔内脂肪    | 5.8 ± 1    | 4.3 ± 0.5  | 5.7 ± 0.8  | 5.4 ± 1.4  |
| 手羽先      | 3.8 ± 0.1  | 3.9 ± 0.1  | 3.7 ± 0.1  | 3.8 ± 0.4  |
| 手羽元      | 3.3 ± 0.1  | 3.4 ± 0.1  | 3.2 ± 0.1  | 3.5 ± 0.4  |

平均値 ± 標準偏差, n=6.

### 5.3.2 ユーグレナ給与が比内地鶏のモモ肉と腹腔内脂肪の色差に及ぼす影響

表 5-6 にモモ肉と腹腔内脂肪の色差を示す。モモ肉と腹腔内脂肪の b\*値は Eug 2.5%, Eug 5%で対照区よりも高くなったが、有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。第 4 章においてもブロイラーの飼料中にユーグレナを 1.25~5%添加してもモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及ぼさないことが確認されている。一方、Akiba ら (2001) はカロテノイドの給与期間を長くすることで鶏肉中のカロテノイドの蓄積が増加することを報告している。ブロイラーの飼育期間が 6 週齢であるのに対し、比内地鶏の飼育期間は 23 週齢とブロイラーよりも約 4 倍の長

い。本試験では給与期間の違いから比内地鶏へのカロテノイドの蓄積による脂肪の黄色味の増加を期待したが、本試験においてそのような結果はみられなかった。前節(4.3.2)において、ユーグレナに含まれるルテインやゼアキサントシンおよびクリプトキサントシンの含量は池谷と池谷(2002)が報告するアオサ飼料よりもその含量は少ない。これには採卵鶏と肉養鶏における卵黄と脂肪へのカロテノイドの蓄積効率などが異なることが考えられる。以上より、ユーグレナの給与はブロイラーや比内地鶏といった畜種や給与期間が異なった場合においてもモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

表 5-6 各区におけるモモ肉と腹腔内脂肪の色差

| 部位    | 色値  | 対照区        | Eug 1.25%  | Eug 2.5%   | Eug 5%     |
|-------|-----|------------|------------|------------|------------|
| モモ肉   | L*値 | 53.3 ± 0.6 | 50.6 ± 0.7 | 52.4 ± 0.4 | 51.4 ± 1.1 |
|       | a*値 | 16 ± 0.3   | 17 ± 0.4   | 16.8 ± 0.4 | 17.1 ± 0.4 |
|       | b*値 | 16.4 ± 0.4 | 16.1 ± 0.7 | 17.6 ± 0.7 | 18.1 ± 0.9 |
| 腹腔内脂肪 | L*値 | 68.3 ± 0.5 | 67.5 ± 0.8 | 65.8 ± 0.7 | 67.7 ± 1.6 |
|       | a*値 | 3.3 ± 0.6  | 4.4 ± 0.6  | 4.3 ± 0.3  | 3.8 ± 0.9  |
|       | b*値 | 32.2 ± 1.4 | 30.5 ± 1.6 | 34.7 ± 1.7 | 37.4 ± 2.0 |

平均値 ± 標準偏差, n=6.

### 5.3.3 ユーグレナ給与がモモ肉の一般成分と脂肪酸含量に及ぼす影響

表 5-7 にモモ肉の一般成分を表 5-7 に示す。モモ肉の水分やタンパク質および脂質はユーグレナ添加区で有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。

表 5-7 各区におけるモモ肉の一般成分

| 一般成分  | 対照区        | Eug 1.25%  | Eug 2.5%   | Eug 5%     |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| 水分    | 71.5 ± 0.4 | 71.0 ± 0.5 | 71.3 ± 0.5 | 71.3 ± 0.5 |
| タンパク質 | 20.7 ± 0.2 | 21.0 ± 0.1 | 20.6 ± 0.2 | 20.9 ± 0.7 |
| 脂質    | 5.4 ± 0.4  | 5.8 ± 0.3  | 7.3 ± 0.9  | 6.8 ± 2.5  |

平均値 ± 標準偏差, n=6.

表 5-8 にモモ肉の脂肪酸含量を示す。モモ肉の脂肪酸含量は Eug 1.25% で対照区よりもラウリン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸が有意に増加した ( $p < 0.05$ )。また、Eug 2.5%、Eug 5% ではラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸含量の 5 項目が有意に増加し ( $p < 0.05$ )、さらに Eug 5% では n-6/n-3 比が有意に減少した ( $p < 0.05$ )

第 4 章においてもブロイラーの飼料へユーグレナを添加することでモモ肉中のラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン

酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸含量の5項目が有意に増加しており ( $p < 0.05$ )，本章の結果と一致している．このことから，第4章と同様，本章におけるモモ肉中の脂肪酸含量の増加にはユーグレナ由来の脂肪酸の移行が起因しているものと考えられる．一方，飼料中で増加が確認されたラウリン酸やミリスチン酸，ペンタデカン酸，ヘプタデカン酸ならびにドコサヘキサエン酸などの中鎖脂肪酸，奇数脂肪酸およびn-3系脂肪酸が増える一方，飼料中で増加が確認されたアラキドン酸においては有意な増加は認められなかった ( $p > 0.05$ )．Leskanichら(2009)はn-3系脂肪酸をブロイラーへ給与することで，鶏肉中へのn-3系脂肪酸の蓄積量は増加するが，一方でn-6系脂肪酸の減少することを報告している．このことから，本試験においてアラキドン酸の増加が確認されなかったことについては鶏肉中のn-3系脂肪酸の蓄積量が増えたことで，n-6系脂肪酸の蓄積が抑制されたものと考えられる．

第4章でも述べたようにペンタデカン酸やヘプタデカン酸などの奇数脂肪酸の摂取や中鎖脂肪酸を摂取およびドコサヘキサエン酸の摂取は高脂症や心血管機能の維持およびアルツハイマー病の予防に効果があるとされる (Ngoc2020, Nishaら2020)．Danielleら(2012)はドコサヘキサエン酸を摂取する

ことで心血管機能の維持やアルツハイマー病の予防などに効果があることを報告している。そのため、ユーグレナ給与により認められたラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸含量の増加は高脂血症の予防や血管機能の維持、糖尿病やアルツハイマー病などの予防に効果がある機能性成分であり、ユーグレナの添加によりこれらの機能性成分を鶏肉へ蓄積させることが出来るものと考えられる。n-6/n-3 比においても第 4 章と同様に Eug 2.5%と Eug 5%で対照区よりも有意に減少したが ( $p < 0.05$ ), Adam(1989) や Hunter(1989)が推奨する n-6/n-3 比(=10~11)を満たすことはなかった。これに対して、第 4 章における対照区の n-6/n-3 比が 12.3 であったのに対して、本章の対照区の n-6/n-3 比は 16.2 であった。これはブロイラーと地鶏の品種や給与期間の違いが影響しているものと推察され、比内地鶏において n-6/n-3 比を推奨値まで低くするためにはユーグレナの添加水準を 5%以上とする必要があるものと考えられた。

これより、比内地鶏の飼料へユーグレナを 5%添加することで n-6/n-3 比を推奨値とすることはないが、その一方で中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸および n-3 系脂肪酸を高めた鶏肉の生産が可能であると考えられる。

表 5-8 各区におけるモモ肉の脂肪酸含量

| 脂肪酸含量 (mg/100g) |             | 対照区                         | Eug 1.25%                    | Eug 2.5%                     | Eug 5%                        |
|-----------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| デカン酸            | C10:0       | 1.0 ± 0 (0)                 | 1.0 ± 0.0 (0)                | 1.0 ± 0.0 (0)                | - -                           |
| ラウリン酸           | C12:0       | 2.6 ± 0.2 <sup>b</sup> (0)  | 4.6 ± 0.4 <sup>a</sup> (0)   | 5.8 ± 0.6 <sup>a</sup> (0)   | 9.3 ± 0.2 <sup>a</sup> (0)    |
| ミリスチン酸          | C14:0       | 45.6 ± 3.9 <sup>b</sup> (1) | 62.0 ± 4.7 <sup>ab</sup> (1) | 78.0 ± 7.7 <sup>a</sup> (1)  | 110.0 ± 26.4 <sup>a</sup> (2) |
| ミリストレイン酸        | C14:1       | 8.4 ± 1.1 (0)               | 8.4 ± 0.9 (0)                | 12.0 ± 1.6 (0)               | 11.0 ± 0.0 (0)                |
| ペンタデカン酸         | C15:0       | 4.4 ± 0.2 <sup>b</sup> (0)  | 8.6 ± 0.9 <sup>a</sup> (0)   | 10.8 ± 1.0 <sup>a</sup> (0)  | 15.7 ± 3.1 <sup>a</sup> (0)   |
| バルミチン酸          | C16:0       | 1720.0 ± 162.5 (23)         | 1520.0 ± 106.8 (22)          | 1620.0 ± 162.5 (23)          | 1567.0 ± 208.2 (23)           |
| バルミトレイン酸        | C16:1       | 404.0 ± 60.8 (5)            | 300.0 ± 23.7 (4)             | 380.0 ± 55.6 (5)             | 283.3 ± 5.7 (4)               |
| ヘプタデカン酸         | C17:0       | 8.2 ± 0.4 <sup>b</sup> (0)  | 11.6 ± 0.9 <sup>a</sup> (0)  | 10.4 ± 0.8 <sup>ab</sup> (0) | 12.7 ± 2.1 <sup>a</sup> (0)   |
| ステアリン酸          | C18:0       | 540.0 ± 40.4 (7)            | 494.0 ± 22.0 (7)             | 470.0 ± 24.1 (7)             | 516.7 ± 100.2 (8)             |
| オレイン酸           | C18:1       | 3220.0 ± 302.3 (43)         | 2860.0 ± 180.6 (41)          | 2960.0 ± 237.9 (42)          | 2733.3 ± 152.8 (41)           |
| リノール酸           | C18:2 (n-6) | 1220.0 ± 86 (16)            | 1360.0 ± 92.7 (20)           | 1144.0 ± 84.5 (16)           | 1133.3 ± 152.8 (17)           |
| α-リノレン酸         | C18:3 (n-3) | 47.6 ± 2.7 (1)              | 63.2 ± 7.8 (1)               | 54.0 ± 6.8 (1)               | 49.0 ± 11.5 (1)               |
| アラキジン酸          | C20:0       | 6.8 ± 0.8 (0)               | 6.8 ± 0.5 (0)                | 6.2 ± 1.1 (0)                | 6.7 ± 1.2 (0)                 |
| イコセン酸           | C20:1       | 22.0 ± 3.4 (0)              | 23.4 ± 3.9 (0)               | 23.0 ± 4.2 (0)               | 18.7 ± 3.1 (0)                |
| イコサジエン酸         | C20:2 (n-6) | 6.6 ± 0.9 (0)               | 7.8 ± 0.8 (0)                | 7.4 ± 1.8 (0)                | 9.0 ± 3.1 (0)                 |
| イコサトリエン酸        | C20:3 (n-6) | 11.8 ± 1.9 (0)              | 13.2 ± 1.6 (0)               | 13.6 ± 4.7 (0)               | 13.3 ± 2.1 (0)                |
| アラキドン酸          | C20:4 (n-6) | 136.0 ± 5.5 (2)             | 138.0 ± 8.4 (2)              | 138.0 ± 13.0 (2)             | 136.7 ± 5.7 (2)               |
| イコサペンタエン酸       | C20:5 (n-3) | 3.2 ± 1.1 (0)               | 4.0 ± 1.0 (0)                | 5.0 ± 2.7 (0)                | 3.7 ± 0.6 (0)                 |
| ベヘン酸            | C22:0       | 2.4 ± 0.6 (0)               | 2.8 ± 0.5 (0)                | 2.2 ± 0.5 (0)                | 2.7 ± 0.6 (0)                 |
| ドコサテトラエン酸       | C22:4 (n-6) | 21.8 ± 1.8 (0)              | 25.6 ± 5.5 (0)               | 25.2 ± 5.6 (0)               | 21.7 ± 3.2 (0)                |
| ドコサペンタエン酸       | C22:5 (n-3) | 8.6 ± 1.5 (0)               | 11.6 ± 2.4 (0)               | 11.6 ± 1.5 (0)               | 10.7 ± 1.5 (0)                |
| ドコサヘキサエン酸       | C22:6 (n-3) | 36.0 ± 2.2 <sup>b</sup> (0) | 39.6 ± 1.5 <sup>ab</sup> (1) | 44.8 ± 5.5 <sup>a</sup> (1)  | 43.7 ± 2.3 <sup>a</sup> (1)   |
| リグノセリン酸         | C24:0       | 3.2 ± 0.5 (0)               | 3.8 ± 0.8 (0)                | 3.4 ± 0.6 (0)                | 3.7 ± 0.6 (0)                 |
| 飽和脂肪酸           |             | 2333.6 ± 204.0              | 2114.4 ± 134.1               | 2207.4 ± 194.7               | 2255.0 ± 343.3                |
| 不飽和脂肪酸          |             | 5157.6 ± 400.7              | 4867.8 ± 299.0               | 4833.2 ± 380.6               | 4797.4 ± 265.3                |
| 一価不飽和脂肪酸        |             | 3655.4 ± 360.9              | 3193.0 ± 206.5               | 3376.6 ± 295.8               | 3046.3 ± 154.9                |
| 多価不飽和脂肪酸        |             | 1502.2 ± 88.0               | 1674.8 ± 96.4                | 1456.6 ± 108.1               | 1430.6 ± 178.9                |
| n-6/n-3比        |             | 16.2 ± 0.8 <sup>b</sup>     | 14.7 ± 0.5 <sup>ab</sup>     | 13.1 ± 0.5 <sup>a</sup>      | 12.3 ± 0.5 <sup>a</sup>       |

平均値 ± 標準偏差, n=5. 括弧内の数字は総脂肪酸含量に対する比率を示す. <sup>a,b</sup>; 異符号間に有意差あり (p < 0.05).

#### 5.4 小括

本試験では，比内地鶏に対してユーグレナを給与した際の飼養成績とモモ肉と腹腔内脂肪の色差およびモモ肉の脂肪酸に与える影響を評価した。その結果，以下の知見を得た。

- (1) ユーグレナの添加水準を 1～5%とした場合，ユーグレナの添加が増体量と解体成績およびモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及ぼさないことが分かった。
- (2) ユーグレナの添加水準を 5%とすることでモモ肉中のペンタデカン酸とヘプタデカン酸の奇数脂肪酸，ラウリン酸とミリスチン酸の中鎖脂肪酸および n-3 系脂肪酸であるドコサヘキサエン酸の含量を増加させるとともに，n-6/n-3 比を減少させることが分かった。しかし，n-6/n-3 比を減少させる一方で Adam(1989)や Hunter(1989)が定める推奨値(=10～11)を満たすことはなかった。
- (3) 奇数脂肪酸や中鎖脂肪酸および n-3 系の脂肪酸は機能性成分とされるため，ユーグレナの添加水準を 5%とすることで機能性鶏肉の生産が可能であることが示された。



## 6 章 総括

本研究はユーグレナの飼料としての安全性を確認するとともに、ユーグレナの給与がレイヤーとブロイラーおよび地鶏の鶏卵や鶏肉に与える効果を解明したものである。第2章ではユーグレナの飼料としての安全性を確認するために飼料安全法によって定められた飼料の安全性評価基準及び評価手続に則った鶏ひな試験を実施した。その結果、飼料中のセルロースパウダーをユーグレナで1%置き換えた区とユーグレナで10%置き換えた区の両方において、増体量の減少や健康状態に異常が観察されることはなかった。このことから、ユーグレナを飼料中に1~10%配合した飼料を給与しても、ひなの発育や健康状態に悪影響を及ぼすことはなく、法律上においてもユーグレナの安全性に問題はないことが分かった。

第3章ではレイヤーの飼料にユーグレナを添加した際の卵重、濃厚卵白高、ハウユニット、卵殻強度、卵殻厚、卵黄のカラーファンスコア、卵黄のカロテノイド含量およびカロテノイドの抗酸化作用に与える影響を検討するため、ユーグレナの添加率を1~5%と段階的に変化させた飼料をレイヤーに給与した。卵重、濃厚卵白高、ハウユニット、卵殻強度、卵殻厚はユーグレナ添加による変化は見られなかった。しかし、カラーファンスコアはユーグレナの添加率に応じて有意に増加し( $p < 0.05$ )、卵黄に含まれるジアトキサンチンとアロキサンチンもユーグレナの添加率に応じて有意に増加し( $p < 0.05$ )、Eug5%で10以上のカラーファンスコアを示した。ジアトキサンチンとアロキサンチンは黄色から赤色を呈するカロテノイドであることから

(Shen ら 2012, Paulina と Malgarzata 2017), カラーファンスコアの増加に寄与するカロテノイドの主体はジアトキサンチンやアロキサンチンであることが分かった。奥野ら(1973)は消費者の興味や関心を寄せるカラーファンスコアは 10 以上としている。また, Neng(2020)はジアトキサンチンを摂取することで血糖値の上昇を抑制する効果があることを報告しており, 本試験においてもユーグレナを給与した卵黄から抽出したジアトキサンチンとアロキサンチンはルテインと同等の抗酸化作用を持つことが明らかとなった。このことから, 卵黄のカラーファンスコアが 10 以上を示し, 卵黄中のジアトキサンチンとアロキサンチンが最も高くなるユーグレナ 5%添加が機能性卵の生産に最適であると考えられる。

第 4 章ではブロイラーの飼料にユーグレナを添加した際の有効性を確認するため, ユーグレナの添加率を 1.25~5%段階的に変化させた飼料をブロイラーに給与し, 増体量と解体成績, モモ肉と腹腔内脂肪の色差およびモモ肉の脂肪酸含量に与える影響を検討した。ユーグレナを添加した区のいずれにおいても増体量と解体成績およびモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及ぼすことはなかった。しかし, モモ肉の脂肪酸含量はユーグレナを 1.25%添加した区では対照区と比べてラウリン酸, ペンタデカン酸およびヘプタデカン酸が有意に増加した ( $p < 0.05$ )。また, ユーグレナを 2.5%とユーグレナを 5%添加した

区では対照区と比べてラウリン酸，ミリスチン酸，ペントデカン酸，ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸の含量が有意に増加した ( $p < 0.05$ )。さらにユーグレナを 5% 添加した区では対照区と比べて n-6/n-3 比が有意に減少し，Adam(1989)や Hunter(1989)が推奨する n-6/n-3 比 (=10~11) よりも低い n-6/n-3 比となった ( $p < 0.05$ )。モモ肉で増加した脂肪酸は飼料へユーグレナを添加した際に飼料中でも増加が確認された脂肪酸であることから，モモ肉の脂肪酸含量の増加はユーグレナ由来の脂肪酸の移行に起因しているものと考えられ，飼料中にユーグレナを 2.5%~5% 添加することでモモ肉の n-6/n-3 比を制御できるものと考えられる。これより，ブロイラーの飼料へユーグレナを 5% 添加することによりブロイラーの脂肪の黄色味を増加させることなく，中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸および n-3 系脂肪酸を高め，n-6/n-3 比を推奨値よりも低くした鶏肉の生産が可能であると考えられる。

第 5 章では比内地鶏の飼料にユーグレナを添加した際の有効性を確認するため，ユーグレナの添加率を 1.25~5% と段階的に変化させた飼料を比内地鶏に給与し，飼養成績と解体成績，モモ肉と腹腔内脂肪の色差およびモモ肉の脂肪酸含量に与える影響を検討した。ユーグレナを添加した区のいずれにおいても増体量と解体成績およびモモ肉と腹腔内脂肪の色差に影響を及

ぼすことはなかった。第3章において、ユーグレナ給与が卵黄のカラーファンスコアを増加させることが示されたが、第4章と第5章において脂肪の黄色味が増加することではなく、これについては採卵鶏と肉養鶏における鶏卵と脂肪へのカロテノイドの蓄積効率などが関係していると考えられる。一方、モモ肉の脂肪酸含量はユーグレナを1.25%添加した区では対照区よりもラウリン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸が有意に増加した( $p < 0.05$ )。また、ユーグレナを2.5%と5%添加した区ではラウリン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸およびドコサヘキサエン酸の含量が有意に増加した( $p < 0.05$ )。さらにn-6/n-3比においてもユーグレナを2.5%、5%とすることで有意に減少したが( $p < 0.05$ )、Adam(1989)やHunter(1989)が推奨するn-6/n-3比(=10~11)を満たすことはなかった。モモ肉で増加した脂肪酸は飼料へユーグレナを添加した際に飼料中でも増加が確認された脂肪酸である。このことから、モモ肉の脂肪酸含量の増加はユーグレナ由来の脂肪酸の移行に起因しているものと考えられる。以上より飼料中にユーグレナを2.5%~5%添加することで中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸およびn-3系脂肪酸を高めた鶏肉の生産が可能であると考えられる。

本研究より、ユーグレナをレイヤーの飼料へ5%添加することで卵黄のカラーファンスコアを高めつつ、卵黄中のジアトキサンチンやアロキサンチンを高めることが明らかとなった。また、ブロイラーにおいては飼料中へユーグレナを5%の添加することで中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸およびn-3系脂肪酸を高め、n-6/n-3比を低く維持できることが明らかとなった。また、地

鶏においては飼料中へユーグレナを 2.5～5%添加することで中鎖脂肪酸や奇数脂肪酸および n-3 系脂肪酸を高めることが明らかとなった。これより、レイヤーとブロイラーにおいては飼料中にユーグレナを 5%添加，地鶏においては飼料中にユーグレナを 2.5%添加することで鶏卵や鶏肉の品質向上に寄与することが示された。銘柄卵や銘柄鶏の生産量は鶏卵や鶏肉の全体の生産量のうち，20 から 50%を占めている。今後も鶏肉や鶏卵の生産量を増やしていくためには，生産者は鶏卵と鶏肉の品質に対するニーズや消費拡大といった消費者の需要に応える必要があり，銘柄卵と銘柄鶏の作出は鶏卵や鶏肉の生産量の拡大に繋がるものと考えられる。

本試験にて得られた知見は家禽生産や飼料開発といった畜産分野の今後の展開に寄与するとともに，微細藻類の新たな応用展開にも寄与するものと期待される。

## 引用文献

- 安達禎之・大野尚仁．真菌多糖の免疫系による認識とその活性作用．日本医真菌学会誌，47(3):185-194. 2006.
- Adam O. Dietary  $\omega$  3 and  $\omega$  6 fatty acids: Biological Effects and Nutritionality(Galli, C and Simopoulos, A.P., eds). pp.33. Plenum Publishing. America. 1989.
- Aemiro A, Watanabe S, Suzuki K, Hanada M, Uematsu K and Nishida T. The Effects of Euglena (*Euglena gracilis*) supplemented to diet (forage: concentrate ratios of 60:40) on the basic ruminal fermentation and methane emissions in in vitro condition. Animal Feed Science and Technology, 212: 129-135. 2016.
- Aemiro A, Kiiru P, Watanabe S, Suzuki K, Hanada M, Uematsu K and Nishida T. Effects of Euglena (*Euglena gracilis*) supplementation on nutrient intake, digestibility, nitrogen balance and rumen fermentation in sheep. Animal Feed Science and Technology, 225: 123-133. 2017.
- Aemiro A, Watanabe S, Suzuki K, Hanada M, Umetsu K and Nishida T. Effect of substituting soybean meal with euglena (*Euglena gracilis*) on methane emission and nitrogen efficiency in sheep. Animal Science Journal, 90:71-80. 2019.
- Akiba Y, Sato K, Takahaashi K, Toyomizu M, Matsushita K and Komiyama H. Meat color of broiler chickens as affected by age and feeding of yeast phaffia rhodozyma containing high

concentrations of astaxanthin.

Anderson GJ and Connor WE. On the demonstration of  $\omega$ -3 essential fatty acid deficiency in humans. The American Journal of Clinical Nutrition, 49: 585-587. 1989.

淡路和則. 地鶏生産における担い手と新技術導入-山口県 A 農協の事例から. 農業経営研究誌, 54(4): 60-65. 2017.

馬場強三・石崎修造・赤沢貴光・江川幸恵・西川 徹・大浦招寛・松本信助. 藻類の有効活用による閉鎖性水域の浄化に関する研究 -アオサ添加飼料給与による鶏卵に及ぼす変化-. 長崎県衛生公害研究所報, 49: 31-39. 2004.

Bang HO, Dyerberg J and Nielsen AB. Plasma lipid and lipoprotein pattern in Greenlandic West Coast Eskimos. The Lancet, 1:1143-1146. 1971.

Barras DR and Stone BA. Beta-1,3-Glucan hydrolases from *Euglena gracilis*. I. The nature of hydrolases. BioChemica et Biophysica Acta, 191: 329-341. 1968.

Barsanti L, Passarelli V, Walne PL and Gualtieri P. The photoreceptor protein of *Euglena gracilis*. FEBS Letters, 482: 247-251. 2000.

Becker W. Microalgae in human and animal nutrition. In (Richmond, A eds.). Vol.1. pp.312-351. Oxford University Press. United Kingdom. 2004.

Borowitzka MA. Vitamins and fine chemicals from Microalgae. Vol.1. pp.153-196. Cambridge University Press, Cambridge, England. 1988.

- Choi SW, Paik IK and Park BS. Effect of dietary supplementation of fresh water algae euglena on the performance and fatty acid composition of breast muscle of broiler chickens. Korean Journal of Poultry Science, 31: 273-281. 2004.
- 千原光雄. 藻類の多様性と系統. 第 1 版. 2 頁. 裳華房. 東京. 1999.
- Christian G, Ida O, Alfonso T, Tomás VF, Luigi M, Christophe B, Clementina S and Paola C. Food modulation controls qstaxanthin qccumulation in eggs of the wea urchin qrbacia lixula. Marine Drugs, 16:186. 2018.
- Colm AM, Douglas C, Jason DK, Anne K. Tolerance of broilers to dietary supplementation with high levels of the DHA rich microalga, *Aurantiochtrium Limacinum*:effects on health and productivity. Animals, 8(10):180. 2018.
- Cramer M and Myers J. Growth and photosynthetic characteristics of *Euglena gracilis*. Archives of Microbiology, 17:383-402.1952.
- Dajana JK, Jelica BS, Olivera BB, Aleksandra CM and Ivan LM. Algae in food and feed. Food and Feed Research, 40: 21-31. 2013.
- Danielle S, Robert B, Shaker A.M. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefit throughout life. Advances in nutrition, 3: 1-7. 2012.
- Diehn B, Fonseca JR and Jahn TL. High speed cinemicrography of the direct photophobic response of Euglena and the



mechanism of negative phototaxis. *Journal of Eularyotic Microbiology*, 22:492-496. 1975.

独立行政法人農林水産消費安全技術センター．飼料の安全性評基準及び評価手続の制定について．([http://www.famic.go.jp/ffis/feed/tuti/20\\_597\\_1.html](http://www.famic.go.jp/ffis/feed/tuti/20_597_1.html),2021.10.30.)

Eric AJ, Micheael J, Lewis C and GRAU R, Pigmentation of egg yolks with astaxanthin from the yeast *phaffia rhodozyma*. *Poultry Science*, 59(8): 1777-1782. 1980.

藤井麻衣・山崎俊雄・山口良二・加藤武志．エゴマ，規格外米または大麦を利用した機能性鶏卵の生産．福井県畜産試験場研究報告，18:13-20. 2005.

Fujimura S, Muramoto T, Katsukawa T, Hatano T and Ishibashi T. Chemical analysis and sensory evaluation of free amino acids and 5'-inosinic acid in meat of Hinai-dori, japanese native chicken, comparison with broilers and layer pullets. *Animal Science and Technology*, 65:610-618. 1994.

Fujita Y and Ohki K. *Cyanobacteria*. Vol.1. pp.1-18. Tokyo Univ. Press. Japan. 1989.

福永隆生・古賀克也・舞田裕二・松岡尚二．薩摩鶏交雑種のムネ肉およびもも肉の遊離アミノ酸，カルノシンおよび5'-イノシン酸含量．鹿児島大学農学部学術報告．39:223-232. 1989.

福坂一利．ブロイラー品質改善に関する試験(第2報)-育成前期の栄養水準と育成後期におけるフェザーミールの飼料添加が発育と体脂肪の蓄積及び色調に及ぼす影響-．山口県畜産試験場報

- 告, 12:81-86.1996.
- Goldman JC. Outdoor Algal Mass Cultures-I.Applications. Water Research, 13(1):1-19. 1979.
- Hanaa H, Abd EB, Farouk K, El B, Gamal S and El B. Spirulina species as a source of carotenoids and a-tocopherol and its anticarcinoma factors. Biotechnology, 2(3):222-240. 2003.
- Harris WS. n-3 fatty acids and serum lipoproteins:human studies. The American journal of clinical nutrition, 65(5):1645S-1654S. 1997.
- Hattori T. Primer to Ecology of Microorganism. Vol.2. pp.103-124. Tokyo University Press. Japan. 1990.
- 早川治. 畜産物の消費と流通機構(吉田寛一編). 第1版. 農山漁村文化協会. 東京. 1986.
- 林正弘・榎本俊樹. 未来飼料・食糧・新素材の可能性を求めて. 遺伝:生物の化学, 58(6):71-76. 2004.
- 引地宏二・関谷敏彦・平井久美子・橋本慎二・大滝幸子. 地鶏, 銘柄鶏の消費者購買行動分析(1)鶏肉の消費実態と地鶏, 銘柄鶏に求める特徴. 神奈川県畜産技術センター研究報告, 2:15-21. 2020.
- Hirayama K and Nakamura K. Fundamental studies on the physiology of rotifers in mass culture-V. Dry Chlorella powder as a food for rotifers. Aquaculture, 8: 301-307. 1976.
- 古瀬充宏.ニワトリの科学.第1版.48頁.朝倉書店.東京.2014.
- Hulan HW, Proudfoot FG and Mcrae KB. Effect of vitamins on the incidence of mortality and acute death syndrome ("flip-

- over”) in broiler chickens. *Poultry Science*, 59:927-931. 1980.
- Hulanicka D, Erwin J and Bloch K. Lipid Metabolism of *Euglena gracilis*. *The Journal of Biological Chemistry*, 239: 2778-2787. 1964.
- Hunter JF. Dietary  $\omega$  3 and  $\omega$  6 fatty acids: Biological effects and nutritional essentiality (Galli C and Simopoulos. A.P., eds.). Vol.1. pp.43. Pelenum Publishing. New york. 1989.
- Huifen W, Lyn M.S, Bengt V, Samar B, Julia S, Antoinette M, David R, Jacobs Jr, Ching P.H, Alan R.S. Obesity modifies the relations between serum markers of dairy fats and inflammation and oxidative stress among adolescents. *Obesity a research journal*, 19: 2404-2410. 2011.
- 堀内芳彦. 知育特性を生かした肉用鶏経営の事業戦略. *農林金融*, 382-394. 2018.
- Hwang DH, Boudrean M and Chanmugan P. Role of  $\omega$  -3 fatty acids and chronic ethanol in the regulation of plasma and liver lipids and plasma appoprotein A1 and E in rats. *The Journal of Nutrition*, 118: 1299-1303. 1988.
- 池谷章久・池谷守司. アオサ粉末給与が採卵鶏およびブロイラーの生産性および生産物に及ぼす影響. *静岡県中小家畜試験場研究報告*, 13: 19-26. 2002.
- 伊藤 謙・笹渡翔・安部瑠利香・藤盛和子・渡邊翔太・鈴木健吾・朝山雄太・南 一郎・西向めぐみ・喜多一美. 大豆代替飼料原料としてのユーグレナの給与がニワトリの成長および腸管粘液に及ぼす効果. *日本家禽学会誌*, 56: J1-J8. 2019.

- 石井俊行．ブロイラーの生産性能に対する飼料の代謝エネルギーとタンパク質・アミノ酸バランスに関する研究．東京農工大学博士論文．2019．
- Jin YJ, Kwan EK, Ho JI, Sung TO, Soon UL, Hyuk SK, Byung HM, Jin MK, Byoung KA and Chang WK. The production of lutein enriched eggs with dietary chlorella. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(1): 13-17. 2012.
- 鹿熊俊明．豚枝肉価格の変動の要因分析と近年の季節変動．*日本養豚学会誌*，51(3):168-175. 2014.
- Katharina S, Leuenberger FJ, Vecchi M and Glinz E. Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure and Applied Chemistry*, 57(5): 685-692. 1985.
- 鶏鳴新聞．主要国の1人当たりの鶏卵消費量(個)．<https://www.jz-tamago.co.jp/business/news/k00018339/2020a>．
- 鶏鳴新聞．主要国の採卵鶏飼養羽数と鶏卵生産量，飼養システム，白色卵鶏・有色卵鶏の羽数割合．<https://www.jz-tamago.co.jp/business/news/k00018372/2020b>．
- 北岡正三郎．ユーグレナ．生理と生化学(北岡正三郎編)．第1版．株式会社学会出版センター．東京．1989．
- 北岡正三郎・細谷圭助．*Euglena gracilis* タンパク質の人工消化実験およびネズミ飼育試験による栄養価の決定．*日本農芸化学会誌*，51: 483-488. 1977.
- 草苺仁．戦後の食料消費と家計の役割．*季刊家計経済研究*，83:12-25. 2009.

- 玖村朗人・若松純一・八田一．乳肉卵の機能と利用．第1版．株式会社アイ・ケイ コーポレーション．東京．2018．
- Korn ED. The fatty acids of *Euglena gracilis*. Journal of Lipid Research, 5: 352-362. 1964.
- Kott Y and Wachs AM. Amino acid composition of bulk protein of *Euglena* grown in waste water. Apple Microbiology, 12(4): 292-294. 1964.
- 駒井亨．銘柄鶏と地鶏．畜産の研究，62(6):657-664.2008.
- 厚生労働省医薬食品局食品安全部．食品の安全確保に向けた取り組み．(<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syokusanzen/dl/pamph01.pdf>. 2013.)
- 厚生省保健医療局健康増進栄養課(監修)．日本人の栄養所要量(第5次改訂)．第1版．第一出版．東京．1994．
- Leskanich CO, Mattherws KR, Warkup CC, Noble RC and Hazzledine M. The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical and organoleptic characteristics of pig meat and fat. Japan Animal Science, 75:673-683.
- Leveille GA, Romsos DR, Yeh YY, O'Hea EK. Lipid biosynthesis in the chick. A consideration of site of synthesis, influence of diet and possible regulatory mechanisms. Poultry Science, 54:1075-1093. 1975.
- Levine R, Horst G, Tonda R, Lumpkins B and Mathis G. Evaluation of the effects of feeding dried algae containing beta-1,3-glucan on broiler challenged with *Eimeria*. Poultry

- Science, 97: 3494-3500. 2018.
- Lynch VH and Calvin M. CO<sub>2</sub> fixation. Annals of the New York Academy of Sciences, 56(5):890-900. 1953.
- Maeda I, Saito H, Masada M, Misaki A and Harada T. Properties of gels formed by heat treatment by curdlan, a bacterial  $\beta$ -1,3-glucan. agricultural biological chemistry, 31:1184-1188. 1967.
- Mahmoud A, Mohamed ME, Mohamed E, Muhammad A and Sabry A. Influence of low-protein diet with different levels of amino acids on laying hen performance, quality and egg composition. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 92(1): e20180230. 2020.
- 三田有紀子・續順子・丹波真清．亜麻仁配合飼料飼育鶏肉の脂肪酸組成とその調理変化．椛山女学園大学研究論集 自然科学篇，41: 121-130. 2010.
- 眞岡孝至．カロテノイドの多様な生理反応．食品・臨床栄養，2:1-12. 2007.
- 眞岡孝至．カロテノイド-天然色素とその役割．ENEOS TechnicalReview, 56(3):12-19. 2014.
- Maoka T, Akimoto N, Yam M, Hosokawa M, Miyashita K. A New C37 skeletal carotenoid from the clam, *Paphia amabilis*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(24): 12069-12072. 2008.
- Maoka T. Recent progress in structural studies of carotenoids in animals and plants. Arch of Biochemistry and Biophysics,

483(2):191-195. 2009.

松石昌典・加藤綾子・石毛教子・堀剛久・石田雄祐・金子紗千・竹之中優典・宮村陽子・岩田琢磨・沖谷明紘．名古屋コーチン，ブロイラーおよび合鴨肉の食味特性の比較．日本畜産学会報，76(4):423-430. 2005.

Matsushita K, Komiyama H, Akiba Y, Sato K, Takahashi K, Toyomizu M, Tsunekawa H and Nagao H. Influence of feeding duration and dietary level of *Phaffia rhodozyma*, a yeast containing high concentrations of astaxanthin, with or without supplementation of lecithin and  $\alpha$ -tocopherol on meat color development in broiler chickens. *Japan Poultry Science*, 37: 341-348. 2000.

Marzullo G and Danforth WF. Kinetic studies of the oxidative assimilation of acetate by a nonphotosynthetic strain of *Euglena gracilis*. *Journal of General Microbiology*, 34(1): 9-20. 1964.

水野寿彦．日本淡水プランクトン図鑑．第1版．9-21頁．保育社．大阪．1977.

宮武和孝・南川美幸・中野長久・北岡正三郎．培養条件によるユーグレナの高度不飽和脂肪酸組成の変動について．日本栄養・食糧学会誌，38: 117-122. 1985.

宮森映理子．微細藻類ビジネスの市場動向と日本の現状・将来展望．化学工学誌，80(5): 262-265. 2016.

中野長久・宮武和孝・山地亮一・西澤亜利・重岡成・細谷圭介・乾博・渡辺文雄・榎本俊樹・竹中重雄．原生生物ユーグレナは

- 閉鎖系生活空間において唯一の栄養源として機能する. CELSS  
学会誌, 8: 7-12. 1995.
- Neng TS. Studies on novel food functions of microbial  
metabolites and constituents. Kyoto University Research  
Information Repository, 2020.
- Ngoc BT, Yen TN and Jeong YM. Pentadecanoic Acid, an Odd-  
Chain Fatty Acid, Suppresses the Stemness of MCF-7/SC  
Human Breast Cancer Stem-Like Cells through JAK2/STAT3  
Signaling. *Nutrients*, 12(6):1663. 2020.
- (公財) 日本食肉消費総合センター. 「食肉に関する意識調査」報  
告書 (平成 30 年度), 2018.
- 日本卵業協会. 殻付鶏卵規格取引の実態調査報告書. 2000.
- 日本食鳥協会. 国産銘柄ガイドブック. 全国食鳥新聞社. 東京.  
2007.
- 日本食鳥協会. 国産銘柄ガイドブック. 全国食鳥新聞社. 東京.  
2017.
- 西川哲三郎. 配合飼料の変遷と最近の動向. 日本畜産学会誌,  
39(6):235-245. 1968.
- Nisha P, Cintia B.D, Katie W, Harjinder S, Manohar L.G.  
Medium-chain fatty acids lower postprandial lipemia:A  
randomized crossover trial. *Clinical nutrition*, 39(1): 90-96.  
2020.
- 西藤克己. 飼料用米給与による生産物への影響評価:高付加価値  
化と差別化に向けて. *グラス&シード*, 23:36-42. 2008.
- 野口敬夫. アメリカからの飼料穀物輸入と日本の配合飼料供給に



おける系統農協の現状と課題．食料・農業・農村経済学会，  
113:39-52. 2011.

農畜産業振興機構国内統計資料，配合飼料・混合飼料の生産動向，  
牛肉の生産動向種類別生産量(その1)，(その2)，豚肉需給表，  
鶏肉需給表，鶏卵需給表，畜産物需給の推移，家計消費，牛肉の  
輸入動向，輸入量(その1)，(その2)，豚肉の輸入動向，輸入量，  
ブロイラー等の輸入動向，ブロイラーの輸入量．  
([https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05\\_000073.html](https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_000073.html)，  
2021.12.19.)

農林水産省．食肉鶏卵をめぐる情勢．([https://www.maff.go.jp/j/  
chikusan/shokuniku/lin/attach/pdf/index-8.pdf](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/shokuniku/lin/attach/pdf/index-8.pdf). 2022.2.11.)

農林水産省告示第2009. 地鶏肉の日本農林規格  
([https://www.maff.  
go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/kikaku\\_jidori\\_150821.pdf](https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_jidori_150821.pdf), 2021.12.  
27.)

O'Hea EK, Leveille GA. Lipogenesis in isolated adipose tissue of  
the domestic chick (*Gallus domesticus*). *Comparative  
biochemistry and physiology*. 26(1):111-120. 1968.

小川恒夫・川北久美子・竹之山槇一・二宮るみ子・小松洋一．女  
子学生における血清 n-3 系多価不飽和脂肪酸について．南九州大  
学研究法，45:1-7. 2015.

奥野秀樹・谷内光雄・吉岡重治郎．卵黄の着色に関する試験．東北  
農業研究センター研究報告，14:289-292. 1973.

奥恒行・加藤秀夫・国重(田口)智子・服部道世・和田圭子・東美  
登里．EPA 及び DHA 高含有卵の n-3 系多価不飽和脂肪酸等脂

- 溶性成分ならびに物理化学的性状の安定性. 栄養学雑誌, 54(2):109-119. 1996.
- 奥山治美. 脂質栄養指針は従来のままでよいか. 脂質栄養学, 4(1):16. 1995.
- Oosthuizen W, Vorster HH, Jerling JC, Barnard HC, Smuts CM, Silvis N, Kruger A and Venter CS. Both fish oil and olive oil lowered plasma fibrinogen in women with high baseline fibrinogen levels. *Journal of thrombosis and Haemostasis*, 72:557-562. 1994.
- 尾関教生・吉田行夫・加藤貞臣・川村孝彦・坪内凉子・柴田幸雄・伊藤秀夫・申七郎. 名古屋コーチン(名古屋種)鶏肉の食品組織学特性(第2報) -コーチンモモ肉の組織構造とその成分について-. 調理科学, 27(3):183-190. 1994.
- Paulina K and Malgarzata JR. Isolation and purification of all-*trans* diadinoxanthin and all-*trans* diatoxanthin from diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Journal of Applied Phycology*, 29:79-87. 2017.
- Pesti GM. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds on biological performance. *Journal of applied poultry research*, 18(3):477-486. 2009.
- Rajput N, Naeem M, Ali S, Zhang JF, Zhang L and Wang T. The effect of dietary supplementation with the natural carotenoids curcumin and lutein on broiler pigmentation and immunity. *Poultry Science*, 92(5): 1177-1185. 2013.

- Rikimaru K and Takahashi H. Evaluation of the meat from Hinai-jidori chickens and broilers: analysis of general biochemical components, free amino acids, inosine 5' -monophosphate, and fatty acids. *Journal of Applied Poultry Research*, 19: 327-333. 2010.
- 笹田布佐子・安部正雄・斉藤武司・桑島正徳・石川 智. 鶏への色落ち海苔給与試験 (I) 採卵鶏への色落ち海苔給与が産卵性及び卵質に及ぼす影響. *香川県畜産試験場研究報告*, 39: 60-63. 2004.
- 園田頼和・清古義雄・風袋則夫・村上利雄. 石油酵母培養廃水の活性スラッジ処理およびスラッジ抽出液の利用: 炭化水素からの菌体生産 第3報. *醗酵工学雑誌*, 51(7): 484-488. 1973.
- 才田恵美・近藤和男. 必須多価不飽和脂肪酸とはどのようなものか(そうだったんだ脂肪酸), 第1版. 22-31頁. 文光堂. 東京. 2013.
- Schiedt K and Liaaen JS. Isolation and analyses in carotenoids (Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H. Eds.). vol.1A. pp.81-108. *Basel Birkhäuser Swis*. 1995.
- Schwarzhaus JP, Cholewa D, Grimm P, Beshay U, Risse JM, Friehs K and Flaschel E. Dependency of the fatty acid composition of *Euglena gracilis* on growth phase and culture conditions. *Journal of Applied Phycology*, 27: 1389-1399. 2015.
- 佐藤守・吉中禮二・黒島良介・森本晴之・松岡良知・柳川和司・池田静徳. 養魚初期飼料としてのユーグレナの栄養評価 - I . ニジマス稚魚に対するユーグレナ飼料の栄養価. *水産増殖*, 32: 88-91. 1984.

- 佐藤正．日本経済の高度成長と畜産物消費・流通の変化(吉田寛一編).第1版．農山漁村文化協会．東京．1972.
- Seddon JM, Ajani UA, Sperduto RD, Hiller R, Blair N, Burton TC, Farber MD, Gragoudas ES, Haller J, Miller DT, Yannuzzi LA, Wiuett W. (1994) Dietary carotenoids, vitamin A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. *Journal of American Medical Association*, 272(18):1413-14203. 1994.
- Selim S, Hussein E and Abou Elkhair R. Effect of *Spirulina platensis* as a feed additive on laying performance, egg quality and hepatoprotective activity of laying hens. *European Poultry Science*, 82: 1-13. 2018.
- Shen L, Xu H and Guo X. Satellite remote sensing of harmful algal blooms (HABs) and a potential synthesized framework. *Sensors*, 12: 7778-7803. 2012.
- 食品データベース. ([https://fooddb.mext.go.jp/result/result\\_top.pl?USER\\_ID=16822&MO](https://fooddb.mext.go.jp/result/result_top.pl?USER_ID=16822&MO), 2021.12.20.)
- 飼料安全法研究会．飼料安全法の解説，第3版.1頁.株式会社大成出版社．東京．2004.
- Sugiyama A, Suzuki K, Mitra S, Arashida R, Yoshida E, Nakano R, Yabuta Y and Takeuchi T. Hepatoprotective Effects of Paramylon, a  $\beta$ -1, 3-D-glucan Isolated from *Euglena gracilis* Z, on acute liver injury induced by carbon tetrachloride in rats. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 71(7): 885-

890. 2009.

Sugiyama A, Hata S, Suzuki K, Yoshida E, Nakano R, Mitra S, Arashida R, Asayama Y, Yabuta Y and Takeuchi T. Oral administration of paramylon, a  $\beta$ -1,3-D glucan isolated from *Euglena gracilis* Z inhibits development of atopic dermatitis like skin lesions in NC/Nga mice. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 72(6): 755-763. 2010.

鈴木健吾. 微細藻類ユーグレナによるパラミロン生産と利用可能性の検討. 東京大学博士論文. 2016.

鈴木健吾・吉田絵梨子・中嶋綾香・朝山雄太. ユーグレナの大量培養技術と機能性化粧品原料. *Cosmetic Stage*, 7(4):61-63. 2013.

鈴木健吾・吉田絵梨子・中嶋綾香・朝山雄太. ユーグレナの大量培養技術と機能性化粧品原料. *Cosmetic Stage*, 7(4):61-63. 2013.

鈴木啓一. 飼料用米給与採卵鶏へのホヤ殻の飼料添加給与による卵黄色改善効果. *畜産の情報*, 50-57.2018.

高泰松・田先威和夫. 鶏の肝臓および血漿中の脂肪酸組成に及ぼす給与脂肪酸の影響. *日本畜産学会報*, 46(6):317-325. 1975a.

高泰松・田先威和夫. マーガリン酸, ステアリン酸およびリノール酸を添加した鶏肝臓ホモジネートによる脂肪酸の分解. *日本畜産学会報*, 46(10):581-584. 1975b.

Terao J. Antioxidant activity of  $\beta$ -Carotene related carotenoids in solution. *The Lipids*, 24:659-661. 1989.

Tersia AC, Elsje P and Karin J. Application of *Paracoccus marcusii* as a potential feed additive for laying hens. *Poultry Science*, 97(3): 986-994. 2018.

- Thomas VC and Dennis MT. Induction of auxotrophic mutations in *Euglena gracilis*. *Journal of Heredity*, 60(1): 39-41. 1969.
- Toyomizu M, Sato K, Taroda H, Kato T and Akiba Y. Effects of dietary Spirulina on meat color in muscle of broiler chickens. *British Poultry Science*, 42(2):197-202. 2010.
- 脇雅之・村野多可子. 丸粒粳及び玄米の採卵鶏への利用. 千葉県畜産総合研究センター研究報告, 11:55-58.2011.
- Watanabe A. "Research of Blue-green Algae," in *Production and Conversion of Biomass*. Vol.1. pp.3-25. Gakkai Shuppan Center, Japan. 1981.
- Watanabe T, Shimada R, Matsuyama A, Yuasa M, Sawamura H, Yoshida E and Suzuki K. Antitumor activity of the  $\beta$ -glucan paramylon from *Euglena* against preneoplastic colonic aberrant crypt foci in mice. *Food and Function*, 4: 1685-1690. 2013.
- Yamashita Eiji. The effects of dietary supplement containing astaxanthin on skin condition. *Carotenoid Science*, 5: 21-24. 2004.
- 安田真澄・荒幡克己・杉山道雄・戸田千恵子. 銘柄卵消費の実態と方向性について. 岐阜大学農学部研究報告, 63: 1998.
- 横山英信. 戦後飼料用麦国家管理の基本的性格 -食糧用麦国家管理との動向比較を中心に-. *東北農業経済研究*, 13(2):21-37. 1994.
- 吉田實. 卵黄の色調に関する諸問題が検討された. *科学飼料*, 34:361-364. 1989.

## 謝辞

本論文の作成にあたり，多くの助言を頂いた北里大学の田中勝千教授に深く感謝いたします。また，本論文の審査に携わっていただいた北里大学大学院獣医学系研究科の濱野 美夫教授，有原 圭三教授，森 敦教授，岩手大学農学部 of 喜多 一美教授に感謝申し上げます。さらに北里大学大学院獣医学系研究科に所属される先生方ならびに職員の皆様にお礼申し上げます。

本研究の遂行において，レイヤーの給与試験に対して，技術的指導や有益な助言を頂いた愛媛県農林水産研究所の坂本様，大北様，あすかアニマルヘルス株式会社の岡田様，一般財団法人生産開発科学研究所の眞岡先生に厚く御礼申し上げます。

比内地鶏の給与試験に対して，技術的指導や有益な助言を頂いた秋田県畜産試験場の力丸様，有限会社折林ファームの三浦様に厚くお礼申し上げます。

また，試験実施にあたり，供試試料であるユーグレナとクロレラの提供から試験のご支援とご指導を賜りました株式会社ユーグレナの鈴木様，杉本様に感謝申し上げます。

また本論文の作成，学位の取得にあたり，その過程を温かく見守り，ご支援をくださった家族と多くの先生方，企業の皆様に対して深い感謝の意を表して謝辞と致します。