

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	AFZAL RAHMAN
論文題目	Noninvasive Preincubation Sex Determination and Monitoring of Sex-Specific Early Embryonic Growth Rate in Chicken Eggs Using Longitudinal Visible Transmission Spectroscopy (長軸方向の可視透過分光法を用いたインキュベーション前の非侵襲雌雄判定と性特異的な初期鶏胚成長率のモニタリング)		
(論文内容の要旨)			
鶏肉は2018年に世界で最も多く消費されている食肉であり、一人当たりの消費量は年間約16kgに相当するとの統計がある。世界人口の増加に伴い、その消費量は今後20年間で60%増加すると予想されている。肉用鶏においては雛の雌雄の成長速度の違いから、孵化期間の初期に性別の判定が切望されている。一方、採卵鶏では雌のみが必要とされることから、孵化直後の雌雄判定で雄と判定された雛は、年間70億羽殺処分されている。この処分は、孵化するまで雌雄を判定できないことによるエネルギー損失および動物福祉の観点から大きな問題となっている。さらに孵化までに要する期間（ハッチングタイム）の個体差は、出荷される雛の成長状態にばらつきを生じ、その後の成育にも大きく影響を与えることから、初期の胚成長とハッチングウインドウとの関係性を明らかにすることは、生産者の経済負担だけでなく、雛の品質の観点からも重要な課題である。そこで本研究では、鶏卵縦方向の可視光透過率に着目し、胚の成長速度を高精度で非破壊的に計測し、早期に雌雄判定する手法の開発を試みた。 本論文は7章で構成され、第1章では研究背景として現状の問題点を整理するとともに、研究目的が述べられている。第2章では鶏胚の発生および雌雄判定に関する先行研究を整理するとともに、本研究で用いる解析手法について述べ、第3章では本研究で用いるために構築した実験装置や鶏卵の色判定手法の詳細を記述している。 鶏卵中での卵黄比が雌雄と関係があるか否かを調べるため、第4章では孵化器に入れる前のブロイラー種（ROSS308）の269個の鶏卵について、200 nmから955 nmにおける鶏卵縦方向の透過スペクトルを調査した。59個は加熱して卵黄と卵白の体積比率を調べ、残りの210羽は孵化させた後、雛の性別を調査した。2標本検定の結果、吸光度スペクトルのうち、500 nmから654 nmの範囲で雌雄に有意差が認められ（$p<0.05$）、同じくこの波長範囲で卵黄比の高低に有意差が認められた（$p<0.05$）。さらにこれらの波長に基づく教師付きロジスティック回帰分類モデルによると、76%の精度で孵化器に入れる前に雌雄を判定できるとの結果を得た。 第5章では、血中ヘモグロビンに敏感な波長を選択し、縦置き鶏卵の575 nmと598 nmの透過率比（T575/T598）を用いて初期胚成長率のモニタリングを実施し、雌雄の違いについて調査した。レイヤー種の白色鶏卵232個を孵化0日目から8日目までの期間、毎日透過スペクトルを計測し、孵化後に判別した雌雄との関係について調査した。無精卵や死卵を除いた206個が孵化し、その結果は雄97羽、雌109羽であった。透過率比を用いると、胚発生が孵化3日目で検出可能であり、従来の横方向の透過測定よりも36時間早く判別可能であることが分かった。さらに、3日目の透過率比を比較すると、雄は雌よりも有意に（$p<0.001$）低い値を取ることが観察された。この理由は雌胚内のエストロゲン受容体や酵素の働きによる赤血球産生によるものと考えた。 第6章では、前章で見出した初期胚成長率による雌雄判別のアプローチを、ブロイラー種の薄茶色の卵殻を持つ鶏卵に対して試みた。鶏卵の色や厚さによる影響を考慮し、各波長との組み合わせの中から、575 nmと610 nmの鶏卵縦方向の透過率比を用いた。その結果、胚の成長は孵化開始から3日目（72時間）で検出可能であり、以前に測定された横方向の透過測定よりも24時間早かった。しかし、雌雄の判別については、3日目の透過率比（T575/T610）に有意な差（$p>0.05$）は認められなかったもの			

の、7日目には有意差 ($p<0.05$) が認められた。一方、孵化時間は、4日目の透過率比 (T575/T610) と弱い相関を示し、6日目の透過率比は孵化後の雛の体重と正の相関 ($R=0.54$) が認められた。

第7章では、鶏卵縦向きの透過スペクトルに対して、多変量解析や統計的解析手法を組み合わせることで、非破壊で雌雄を判別できることを総括し、本手法が精密な孵化場管理や家禽生産に貢献できる技術であると結論づけている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、非破壊による鶏卵の早期雌雄判定技術の開発を目指すために、鶏卵に対する縦方向の透過スペクトルの利用を検討したものである。特に、透過スペクトルに含まれる鶏卵の色に伴う影響についても調査し、実用性を踏まえた研究が行われた。本論文では効率的な鶏肉生産を実現すると共に、動物福祉の観点から満足しうる孵卵技術の開発を目指す内容であり、評価できる点は以下の通りである。

1. 孵化を開始する前の鶏卵 (ROSS308) について、波長500 nmから654 nmの吸光度を利用することで、卵黄と卵白の体積比 (卵黄比) を評価できることを示すとともに、この卵黄比から孵化後の雌雄が76%の精度で判定できることを示した。
2. 白色の卵殻をもつ鶏卵において、波長575 nmと598 nmにおける縦方向の透過率比 (T575/T598) を利用すると、孵化3日目以降で有精卵と無精卵の判別が可能であり、さらに孵化3日目において、雄は雌よりも有意に低い透過率比の値を取ることを明らかにした。
3. 薄茶色の卵殻をもつ鶏卵では、波長575 nmと610 nmにおける縦方向の透過率比 (T575/T610) を利用すると、孵化開始から3日目で胚の成長を検出できるものの、雌雄に有意な差は見られないことを示した。
4. 薄茶色の鶏卵のハッチングタイムは、4日目の透過率比 (T575/T610) と弱い相関があり、6日目の透過率比は孵化後の雛の体重と正の相関があることを示した。

以上のように、本論文は鶏卵に対して縦方向の透過スペクトルの利用によって、非破壊で胚成長を計測でき、早期に鶏卵雌雄情報の取得可能性があることを示したものであることより、農畜産物の情報化に関して大きな貢献が期待できる。このことから、生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和2年6月15日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士 (農学) の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)