

## 論 文 要 約

論文題目            ビタミン A 制御管理が枝肉成績に与える影響の再評価と血中ビタミン A 濃度の迅速推定技術の開発

地域環境科学専攻生物センシング工学      芝崎 美月

黒毛和種における高品質な霜降り牛肉の生産には、血中ビタミン A（以下、Vit. A）濃度を制限する飼養管理技術が長年活用されてきた。Vit. A は脂溶性ビタミンとして成長や免疫機能の維持に不可欠であるが、その血中濃度を意図的に低下させることで筋肉脂肪の蓄積を促進し、霜降りと呼ばれる脂肪交雑を増強させることが知られている。この技術は 1990 年代後半から広く普及し、現在も多くの肥育農場で常態的に実施されている。一方で、Vit. A 制御には多くの課題も伴っており、特に Vit. A 欠乏による免疫低下や感染症のリスク、体調不良による肥育効率の低下、さらには病畜に対する治療や管理の負担増といった弊害が報告されている。加えて、Vit. A 濃度は飼料や環境、個体差など様々な因子により変動しやすく、一定の濃度を維持するには高度な管理と定期的な血液分析が必要である。しかし、実際の現場では血中濃度の測定が煩雑でコストも高いため、定期的なモニタリングが行われず、Vit. A 欠乏症に陥る個体が少なくない。近年の研究では、従来よりも高めの Vit. A 濃度（50 IU/dL 前後）でも十分に霜降り肉の生産が可能であるという報告も見られるようになり、過去の管理基準を見直す必要性が高まっている。このような背景から、本研究では Vit. A 制御の有効性とリスクのバランスを再評価するとともに、より実用的かつ迅速で簡便な血中 Vit. A 濃度推定技術の開発を目的とした。

まず、第 3 章では Vit. A 濃度と枝肉形質との関係性を再評価するため、人工ニューラルネットワーク (ANN) を用いた多変量解析を実施した。使用した説明変数には、体重、体高、胸囲といった形態情報に加え、飼料摂取効率を表す RFI (Residual Feed Intake) や、血中 Vit. A の平均値・最小値などが含まれる。解析の結果、体重および体高は枝肉歩留 (Yield Rate: YR) に対して正の寄与を示し、骨格成長後の体重増加が歩留の向上に寄与することが示唆された。一方で胸囲は負の寄与を示し、従来の「筋肉の増加＝歩留向上」という理解とは異なる結果となった。また、Vit. A の最小値が低いほど YR および脂肪交雑基準 (Beef Marbling Standard: B.M.S.) が高くなる傾向が見られ、一定の Vit. A 制限が依然として霜降り肉生産に有効であることが確認された。RFI は YR には正に、B.M.S. には負に寄与するという対照的な結果を示し、高い飼料効率を維持しながら良好な霜降り肉生産が可能であると示唆された。

第4章では、血中 Vit. A 濃度を化学処理なしで迅速に推定する技術として、全血の蛍光スペクトルを用いた非破壊的測定法を構築した。従来の血漿分離や化学抽出を伴う分析法と異なり、本手法では全血の表面における蛍光指紋（EEM: Excitation-Emission Matrix）を取得し、PLS 回帰（Partial Least Squares Regression）によって Vit. A 濃度を推定する。得られたモデルでは決定係数  $R^2 = 0.91$ , RMSE = 9.12, RPD = 3.36 を達成し、牧場現場におけるスクリーニング用途に十分耐えうる精度が得られた。さらに、50 IU/dL 未満の低 Vit. A 個体群に絞った解析では RMSE = 7.03 と精度がさらに向上し、欠乏症リスクを持つ個体の早期発見に有効であることが示された。加えて、肥育段階別や季節別での推定精度を検討したところ、全季節を含めたモデルでは良好な予測精度を保つ一方で、MLR のような比較的単純な推定モデルでは測定時の気温が蛍光強度に影響を与えることが明らかになった。しかし、温度情報を明示的に PLS-R モデルへ入力した場合でも精度の改善は見られず、EEM データ自体に温度変動を補償する情報が内包されている可能性が示唆された。また、Support Vector Machine (SVM) や Multi-sigma による人工ニューラルネットワーク、ランダムフォレストといった他の非線形モデルでも  $R^2 = 0.91 \sim 0.93$  の精度が得られ、モデルの頑健性が確認された。

第5章では、Vit. A 測定のさらなる簡便化と可搬性向上のため、ろ紙とプラズマフィルタを用いた新しい試料作製法も開発した。本手法では、全血 600  $\mu$ L をプラズマフィルタに滴下することで血球を除去し、得られた血漿を蛍光干渉の少ないホウケイ酸ガラス製ろ紙に吸収させて測定する。この方法により、試料の保存・輸送が容易になり、現場導入に適したシステムとして高い実用性を有することが確認された。測定精度としては  $R^2 = 0.93$ , RPD = 3.84 を記録し、従来の血漿分析と遜色のないレベルで Vit. A 濃度を推定できることが示された。

この技術を現場に実装するにあたり、精度の他に残された大きな課題が、測定時の採血の手間である。本実験では牛の頭部を保定し、頸静脈より採血を行ったが、この保定および採血は牛にとってストレスが大きく、作業者にとっても重労働となる。通常の採血法は大量の採血に適した頸静脈から行われるが、本研究における使用血液量は 7.0  $\mu$ L と極めて微量である。このため、耳介など片手で保定可能な部位からの微量採血が可能であれば、牛および作業者への負担を大幅に軽減できると考えられる。こうした低侵襲かつ簡便な採血法の確立は、今後の現場展開に向けて極めて重要なステップである。

以上より、本研究は Vit. A 制御の効果について再検討するとともに、現場導入に適した複数の測定手法を確立し、それらを補完的に活用する統合的な飼養管理モデルを提案するものである。今後はこれらの技術を基盤に、スマート畜産への展開や、持続可能かつ高収益な黒毛和種肥育管理の実現に貢献することが期待される。