

論文名：飼料中リジンレベルの調節による食肉の呈味向上に関する研究（要約）

新潟大学大学院自然科学研究科

氏名 渡邊 源哉

近年、食生活の充実に伴い食品には栄養的な重要性だけではなく、さらなる価値である「おいしさ」や「機能性」が求められている。特に食肉は国際的に高品質化が検討されている。また日本国内では海外から輸入されている安価な食肉に対抗するため、品質による差別化を図ることが非常に重要である。

我々は飼料中のタンパク質及び特定のアミノ酸量の調節により、食肉の主要な呈味成分である筋肉遊離グルタミン酸（Glu）量が増加し、食肉呈味が向上することを示してきた。これまでの報告から飼料栄養による筋肉遊離 Glu の調節機構の一端が解明されつつあるが、全容の解明には至っていない。飼料栄養による Glu 調節機構が明らかとなれば、食肉の呈味向上のための最適な飼料及び給与期間の予測が可能となり、現在より効率的かつ効果的に高品質な食肉の作成が可能となる。

そこで本研究では、筋肉遊離 Glu 量の調節性が報告されているリジン（Lys）に着目し、飼料中 Lys レベルの調節による筋肉遊離 Glu 量の変動及び食肉スープの呈味を解析した。また、メタボローム解析及び Real time RT-PCR といった手法を取り入れ、飼料中 Lys レベルの変化による筋肉遊離 Glu 量の調節メカニズムの解明を試みた。試験には国際的に鶏肉の主流となっている Chunky 系ブロイラーを用いた。

1. 飼料中 Lys レベルによる筋肉遊離 Glu 量及び食肉呈味の変化の解析

飼料中 Lys レベルを NRC 要求量（1.0%）の 90%（Lys 90%区）、100%（Lys 100%区）及び 150%（Lys 150%区）に調整した 3 試験区を設け、28 日齢の Chunky 系雌ブロイラーに対し、10 日間給与した。この結果、従来の知見と同じく Lys 100%区に対して Lys150%区で筋肉遊離 Glu 量の平均値が増加した。また、Lys 90%区において筋肉遊離 Glu 量が 3 試験区で最大となった。Lys の制限により筋肉遊離 Glu 量が増加する知見はこれまでにない新しい知見であった。分析型官能評価より、Lys 100%区に対して Lys 150%区及び Lys 90%区の肉スープの呈味が異なることが示された。Lys 90%区では、Lys 100%区に対してうま味、コク及び味強度の有意な増加が認められた（ $P<0.05$ ）。よって、高 Lys 飼料及び低 Lys 飼料の給与によりうま味などを特徴とする食肉の生産の可能性が示された。

2. 高 Lys 飼料給与による筋肉遊離 Glu 量増加メカニズムの解析

高 Lys 飼料給与による筋肉遊離 Glu 量増加メカニズムを明らかにするため、Lys 100%区と Lys 150%区の代謝物質量を、メタボローム解析を用いて比較解析した。この結果、Lys 150%区において Lys 中間代謝物質であるサッカロピン、ピペコリン酸及び 2-アミノアジピン酸が顕著に変動した。サッカロピン及び 2-アミノアジピン酸は、分解によりそれぞれ 1

分子の Glu を副生成物として合成する。また、ピペコリン酸も分解の過程で 2-アミノアジピン酸へと代謝される。よって、高 Lys 飼料の給与による筋肉の Lys 分解の亢進が、筋肉遊離 Glu 量の増加を誘導する可能性が示唆された。

3. 低 Lys 飼料給与による筋肉遊離 Glu 量増加メカニズムの解析

低 Lys 飼料給与による筋肉遊離 Glu 量増加メカニズムを明らかにするため、Lys 100%区と Lys 90%区の代謝物質量を、メタボローム解析を用いて比較解析した。この結果、タンパク質構成アミノ酸の His、Gly、Ile、Val、Arg、Leu、Asn、Cys、Glu、Thr 及び Lys が、Lys 100%区に対して Lys 90%区で 1.2 倍以上に増加した。また、Lys 100%区に対して Lys 90%区で、タンパク質分解の指標となる 3M-His が 3.1 倍に増加した。よって、Lys 90%区における筋肉遊離 Glu 量の増加は、タンパク質の代謝変化により誘導されている可能性が示唆された。また、解糖系の中間代謝物質であるグルコース-6-リン酸及びフルクトース-6-リン酸、TCA サイクルの基質であるクエン酸、コハク酸及びリンゴ酸が増加した。TCA サイクルの代謝物質である α -KG はグルタミン酸脱水素酵素の触媒により、Glu に代謝されることから、TCA サイクルの代謝物質の増加が筋肉遊離 Glu 量の増加に寄与する可能性が示された。

前述の結果から、Real time RT-PCR を用いて、タンパク質の代謝調節因子及び α -KG と Glu を相互変換する GDH の mRNA 発現を解析した。また、これらの発現と筋肉遊離 Glu 量との相関を得て、Glu 量の増加に対するタンパク質代謝及び TCA サイクルの影響を解析した。この結果、タンパク質分解の指標として用いた、 μ -Calpain、Caspase 3 及び 20S proteasome C2 subunit の mRNA 発現が Lys 90%区において有意に発現上昇し、筋肉遊離 Glu 量との有意な正の相関を示した ($P < 0.05$)。よって、低 Lys 飼料の給与による筋肉遊離 Glu 量の増加にタンパク質の分解が寄与する可能性が示唆された。タンパク質合成の指標とした IGF-1、IGF-2 及び Myostatin はいずれも mRNA の発現変動は認められなかった。また、 α -KG と Glu の相互変換を触媒する GDH の mRNA 発現も変化しなかった。よって、今回測定を行ったタンパク質合成の調節因子及び GDH の mRNA 発現は、低 Lys 飼料の給与による筋肉遊離 Glu 量の増加に寄与しない可能性が示唆された。

4. 低 Lys 飼料給与による飼育成績低下の改善と食肉呈味向上の両立

低 Lys 飼料給与は飼育成績低下をもたらすが、その改善と食肉呈味向上の両立を目的とし、低リジン飼料の給与期間の短縮による方法及び相対的低 Lys バランス飼料給与モデルによる方法の二つを考案した。低リジン飼料の給与期間の短縮による方法では、Lys 100%飼料及び Lys 90%飼料をそれぞれ 3、6 及び 10 日間給与した。測定項目は、飼育成績、筋肉遊離アミノ酸量及び食肉スープの分析型官能評価とした。この結果、Lys 100%区に対する Lys 90%区の増体重量及び飼料摂取量は、給与期間 3 日において有意な差は認められず、6 日から 10 日において段階的に低下した。Lys 100%区に対する Lys 90%区の飼料効率及び生体重に対する筋肉及び臓器重量は有意な差は認められなかった。筋肉遊離 Glu 量は、給与期間 3、6 及び 10 日の Lys 90%区において、Lys 100%区に対してそれぞれ 21.5%、23.3% 及び 24.1%高かった。また、定量された筋肉遊離アミノ酸の総量は Lys 90%区の 3 日目に

【別紙 2】

において有意に高く、10 日目でも増加傾向が認められた。よって、筋肉遊離アミノ酸量は Lys 90%飼料の給与から 3 日程度の早い段階で増加し、その後も高く維持されることが示された。分析型官能評価による肉スープの呈味評価の結果、試験期間を通じて、Lys 100%区に対する Lys 90%区のうま味、コク及び味強度が高いことが示された。よって、Lys 90%区の食肉呈味は、3、6 及び 10 日のいずれの飼養期間においても、Lys 100%区に対して増強されている可能性が示された。

相対的低 Lys バランス飼料給与モデルによる方法では、Lys を要求量に対して、125%（対照区）及び 110%（低 Lys モデル区）になるように調整し、他の必須アミノ酸は両試験区とも 125%となるよう調整し、10 日間給与した。測定項目は飼育成績、筋肉遊離アミノ酸量及び食肉スープの分析型官能評価とした。この結果、Lys 摂取量が低 Lys モデル区において対照区に対して有意に低下したが ($P<0.05$)、対照区に対する低 Lys モデル区の増体重量、飼料摂取量及び飼料効率、いずれも有意な差は認められなかった。筋肉遊離 Glu 量は、対照区に対して低 Lys モデル区で 34.5%有意に増加した ($P<0.05$)。また、低 Lys モデル区において定量された筋肉遊離アミノ酸の総量が有意に増加した ($P<0.01$)。分析型官能評価より、対照区に対して、低 Lys モデル区の肉のうま味、甘味、コク及び味強度が有意に高いことが示された ($P<0.01$)。また、苦味及び酸味は有意に抑制された ($P<0.05$)。以上より、低 Lys モデル区の食肉呈味は対照区に比して増強されていることが示された。

本研究により、高 Lys 飼料または低 Lys 飼料の給与により食肉呈味を向上できる可能性が示された。特に低 Lys 飼料の給与による食肉の呈味向上はこれまでにない全く新しい知見である。また、筋肉遊離 Glu 量の増加機構の解明に着手し、高 Lys 飼料の給与では Lys の分解機構、低 Lys 飼料の給与ではタンパク質の分解機構が寄与する可能性を示した。さらに、低 Lys 飼料の給与の問題点である飼育成績の低下の改善に、飼料の給与期間の短縮及び必須アミノ酸のレベルの調節による相対的な低 Lys 飼料の給与が有効であることを示した。以上から、新たな食肉呈味の向上の発見、Glu 調節機構の推定及び飼育成績の改善と食肉呈味の向上を両立する方法を提案したことで、食肉の高品質化に寄与できたものと考えられる。