

黒毛和種牛肥育における水田由来の自給飼料資源の活用に関する研究

北川 貴志

第1章 緒言

わが国の畜産においては、濃厚飼料のほとんどを輸入に依存していることから、飼料の安定供給の観点から飼料自給率の向上が求められている。本論文では、黒毛和種牛肥育において、飼料自給率を向上させるために、水田由来の国産飼料資源である飼料用米と生米ヌカの活用方法について検討した。

第2章 黒毛和種肥育牛への玄米給与が産肉性に及ぼす影響

第1節. 肥育中期以降における圧片トウモロコシの一部代替としての玄米給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響

玄米の可消化養分総量 (TDN) と粗タンパク質含量 (CP) が濃厚飼料の主原料であるトウモロコシに近いことに着目し、肥育中期以降において圧片トウモロコシの一部代替として玄米を 10% (原物) 配合した飼料の給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響について検討した。その結果、飼料摂取量、増体量および枝肉成績において、試験区と対照区の差はなかった。また、胸最長筋と筋間脂肪の色調、胸最長筋の粗脂肪含量および脂肪酸組成においても対照区との差はなかった。これらの結果より、玄米は発育や枝肉成績および枝肉各付け部位における肉色、脂肪の色と質に影響を与えずに圧片トウモロコシと 10% (原物) 代替できることが示された。一方、肥育期間中の血漿中ビタミン A 濃度への影響については、血漿中ビタミン A 濃度が経時的に低下していく途中の 18 カ月齢で試験区が対照区より低い値であった。玄米に含まれる全カロテン含量は圧片トウモロコシよりもかなり低いため、飼料中のトウモロコシを玄米に代替すると飼料中の全カロテン含量が減少し、血漿中ビタミン A 濃度に影響することが示された。

第2節. 肥育中期以降における圧片大麦の一部代替としての玄米給与が黒毛和種雌牛の産肉性に及ぼす影響

玄米の第一胃内での乾物、デンプンおよび CP の消失パラメーターや有効分解率が濃厚飼料の原料である大麦に近いことに着目し、肥育中期以降において大麦の一部代替として玄米を 10% (原物) 配合した飼料の給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響について検討した。その結果、飼料摂取量、増体量、枝肉成績や胸最長筋と筋間脂肪の色調において試験区と対照区の差は認められなかった。また、血漿中ビタミン A 濃度にも対照区との

差はなかった。玄米を大麦の代替として配合した場合、飼料中の全カロテン含量には影響がない結果、血中ビタミン A 濃度にも影響なく、慣行と同様の飼養できることが示された。胸最長筋の粗脂肪含量には両区に差はなかった。また、胸最長筋の脂肪酸組成については、対照区よりも試験区で C14:0 と C14:1 の割合が高い傾向と、C18:2 割合が低い傾向があったが、C18:1 の割合に差は認められなかった。これらの結果より、肥育中期以降に圧片大麦の代替として、10%（原物）の玄米を給与しても発育や産肉性に影響を与えないことが示され、玄米はトウモロコシの代替だけでなく、大麦の代替としても活用できることを見出した。

第 3 節. 肥育全期間における大麦代替としての玄米給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響

肥育全期間の濃厚飼料に玄米を大麦の代替として配合できる割合について検討した。試験区には玄米を対照区の飼料の大麦の一部代替として肥育全期間に原物あたりで 10% 給与する区（BR10 区）、15% 給与する区（BR15 区）、また、大麦の全量代替として前期に 18%、中期および後期に 30% 給与する区（BR18-30 区）の 3 試験区を設定した。いずれの試験区においても増体量に対照区との差は認められなかった。飼料摂取量については、BR18-30 区では対照区より濃厚飼料摂取量が多く、推定 TDN 摂取量も多くなった。また、枝肉成績においても、BR10 区と BR15 区には対照区との差は認められなかったが、BR18-30 区では枝肉重量とバラの厚さが対照区より大きくなった。大麦代替としての玄米の給与は 15%（原物）までは枝肉成績には影響せず、大麦と全量代替した給与では枝肉重量とバラの厚さが向上する可能性が示された。血漿中ビタミン A 濃度への影響については、BR10 区では第 2 章第 2 節と同様に、玄米を大麦と代替したことから、ビタミン A 濃度に対照区との差は認められなかった。一方、BR15 区と BR18-30 区では、大麦の代替として玄米を配合しているものの、TDN と CP を調整するためにトウモロコシの配合量を減らしたため、第 2 章第 1 節の試験と同様に血漿中ビタミン A 濃度が対照区よりも低い時期があった。玄米を活用することにより飼料全体の全カロテン含量が変化する場合は、血中ビタミン A 濃度への影響に留意する必要があることが示された。胸最長筋の色調については、いずれの試験区においても玄米の給与による影響は認められなかった。筋間脂肪色への影響は、BR18-30 区でのみ a*値が対照区より低い値であったが、枝肉格付の成績における BFS No. は対照区と同じ評価であった。また、胸最長筋の粗脂肪含量および脂肪酸組成はいずれの試験区においても対照区と差は認められなかった。大麦代替としての玄米給与による肉色、脂肪の色と質には悪影響はないことが示された。

第 4 節. トウモロコシおよび大麦の全量代替としての玄米給与（肥育全期間）が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響

肥育全期間において、濃厚飼料中のトウモロコシと大麦の全量を玄米に代替した飼料の

給与が黒毛和種去勢牛の発育と産肉性に及ぼす影響を検討した。その結果、飼養試験期間中、試験区 4 頭のうち 3 頭は鼓脹症を発症した。第一胃内での玄米のデンプンの消失速度は、大麦と同程度であるがトウモロコシよりも速いことから、トウモロコシの全量を玄米に代替したことにより、第一胃内でのガス産生が加速したことが鼓脹症の発生要因となった可能性がある。また、飼料の粒度が細かいほど第一胃内での発酵に伴うガス産生が加速すると考えられており、試験区では粒度の大きい圧片トウモロコシの全量が破碎した玄米に置き換わった結果、飼料の粒度が細かくなり過ぎたことも鼓脹症を引き起こす要因となった可能性もある。本試験により、玄米の多給による障害や課題が明らかとなり、本試験での玄米の給与レベル（濃厚飼料の原物中に前期 40%，中期および後期 60%）では第一胃内発酵への影響に配慮した飼料設計を行う必要があることが示された。農家現場では、玄米は第 2 章第 1 節から第 3 節までに示した方法により、トウモロコシや大麦の代替として濃厚飼料に 10～30%（原物）活用することが適切であると考えられた。

第 3 章 生米ヌカの保存方法の検討および黒毛和種雌肥育牛への生米ヌカ給与が産肉性に及ぼす影響

第 1 節. 高温期における生米ヌカの保存方法の違いが油脂性状およびトコフェロール含量に及ぼす影響

生米ヌカは高温期に油脂が過度に酸化することが課題であるため、高温期における生米ヌカの保存方法を検討した。高温期（滋賀県での夏季に相当）に生米ヌカを米袋に詰めて保存した場合（米袋区）、ビニール袋に詰めて保存した場合（ビニール袋区）、ペレット化して保存した場合（ペレット区）および低温庫内にて 14 °C で保存した場合（低温庫区）の油脂性状の変化を比較した。また、生米ヌカは濃厚飼料の原料の中では比較的豊富にビタミン E である α -トコフェロールを含有するという特徴があることから、本試験ではトコフェロール含量の変化についても検討した。その結果、保存期間中の生米ヌカの酸価（AV）には経時的な上昇が確認できたが、過酸化価（POV）には経時的な上昇は認められなかった。このことから、生米ヌカの油脂の酸化状態は、POV よりも AV の方が指標として適切であることが示された。米袋区の AV は保存 20 日目には平均値が 53.4 mg KOH/g であり、滋賀県で夏季に流通していた牛用配合飼料の AV の範囲（33.0 から 48.6 mg KOH/g の範囲）より高い値であった。一方、ビニール袋区とペレット区では、保存 20 日目の AV の平均値はそれぞれ 44.2 および 42.2 mg KOH/g であり、米袋で保管するよりも油脂の酸化を遅らせることができた。低温庫区では保存 90 日目の AV の平均値は 37.3 mg KOH/g であり、高温期においても長期的な保管が可能であることが確認できた。また、14 °C 以下の気温の季節では生米ヌカの油脂の酸化は大きく抑制されるものと考えられた。生米ヌカのトコフェロール含量と AV の関係については、 α -、 β -および γ -い

れのトコフェロール含量も AV と有意な負の相関が認められ、酸化が進むとトコフェロールが減少することが示された。また、いずれの保存方法においても、 α -トコフェロール含量は保存 90 日目まで経時的に低下したが、 γ -トコフェロール含量は保存 30 日目までに低下した以降は濃度の減少は認められなかった。 α -トコフェロールは保存 90 日目まで抗酸化効果を発揮するのに対し、抗酸化能が最も強い γ -トコフェロールは保存 30 日までの期間に抗酸化能を発揮すると考えられる。一方、 β -トコフェロール含量にはいずれの区も保存期間中に大きな変化はなく、生米ヌカの油脂の抗酸化への β -トコフェロールの関与は小さいと考えられた。以上、本試験より、高温期における生米ヌカの油脂の酸化状態の推移とトコフェロール含量の変化が把握でき、また、保管方法の違いがこれらの油脂の酸化進度に及ぼす影響についても明らかとした。

第 2 節. 生米ヌカ給与（肥育全期間）が黒毛和種雌肥育牛の産肉性に及ぼす影響

生米ヌカの黒毛和種牛への給与については、生米ヌカはリンとマグネシウム含量が高いことから、去勢牛への多給により、リン酸型の結石の形成が助長される可能性があることが指摘されている。そのため、第 3 章第 2 節では、去勢牛より尿石症発生リスクの低い雌牛の肥育において、生米ヌカの給与が産肉性に及ぼす影響を検討した。生米ヌカを配合飼料代替として 10%（原物）配合した濃厚飼料を肥育全期間、黒毛和種雌肥育牛に給与した。その結果、増体量と枝肉成績には試験区と対照区の差は認められなかった。また、と畜検査では、試験区に供した全頭のウシの膀胱内に尿石は確認されなかった。以上の結果より、生米ヌカは黒毛和種雌牛肥育において、産肉性や肉質に影響を及ぼすことなく、濃厚飼料に 10%（原物）配合できることが確認できた。生米ヌカは配合飼料より安価に入手できることから、黒毛和種雌牛肥育での飼料経費の削減にも期待できる。

第 4 章 黒毛和種牛肉の官能特性に影響を及ぼす要因と玄米給与が黒毛和種牛肉の官能特性に及ぼす影響

第 1 節. 黒毛和種牛肉の官能評価において総合評価に寄与する官能特性と脂肪含量の関係

黒毛和種牛肉の官能評価において、どのような官能特性が「総合評価」に影響しているのかを調べるとともに、「総合評価」に寄与する官能特性が牛肉の脂肪含量の違いによりどのように異なるかについて検討した。分析型パネルにより 16 頭分の胸最長筋の焼成肉の官能評価を行い、各パネリストのデータ（ $n = 135$ ）を分析に用いた。「総合評価」以外の評価項目を変数とした主成分分析を実施し、食感、風味、うま味のそれぞれと関連する 3 つの主成分が得られた。供試した全ての胸最長筋の官能評価値を用いて、「総合評価」を目的変数、各主成分を独立変数とする重回帰分析（変数増減法）を行った結果、食感と風味の良さはうま味よりも「総合評価」に寄与したと考えられた。多汁性があり、風味に特

徴がある黒毛和種牛肉では、「食感の良さ」と「風味の良さ」が重視されると推察された。一方、同様の重回帰分析を粗脂肪含量で区分（30-35%区, 35-40%区, 40-45%区, 45-50%区）した牛肉毎に行った結果、30-35%区では食感が風味より強く「総合評価」と関連していた。また、35-40%区では、食感、風味、うま味が同程度に「総合評価」と関連し、40-45%区では食感が風味よりやや強く「総合評価」と関連した。最も脂肪含量が多い45-50%区では、食感のみが「総合評価」に関連していた。このように「総合評価」に影響する官能特性とそれらの影響の程度が脂肪含量により異なることが、消費者の脂肪交雑量の好みの違いや消費者ニーズの多様化に影響していると考えられた。

第2節. 黒毛和種牛肉のミネラル濃度と理化学分析値の関係

海外種牛の牛肉で官能特性との関連が報告されている牛肉中のミネラル濃度に着目し、黒毛和種牛の胸最長筋を用いて、牛肉のミネラル濃度と理化学分析値の関係について検討した。粗脂肪含量はMg, KおよびZnの濃度と負の相関があったが、その他のミネラル（Na, Mn, Cu, Mo）濃度との相関は認められなかった。MnとZn濃度間に相関は認められなかったが、Mg, Mn, Fe, CuおよびZn濃度の間にはそれぞれ正の相関があった。Mg, Mn, Fe, CuおよびZn濃度は白筋型筋線維より赤筋型筋線維に多いため、これらミネラルの濃度は牛肉中の赤筋型筋線維の組成割合を反映している可能性が示唆された。K濃度は細胞内液量を反映していると考えられ、水分含量と正の相関があった。Mo濃度は、他のミネラルとの関連が認められなかったことから、他のミネラル濃度には影響しない何らかの形質に関連していると考えられた。これらの結果より、黒毛和種牛の胸最長筋のミネラル濃度は粗脂肪含量だけではなく、筋線維型や細胞内液量などの形質の影響も受けると考えられた。

第3節. 黒毛和種牛肉の官能評価値と理化学分析値およびミネラル濃度の関係

黒毛和種牛肉の官能評価値と理化学分析値およびミネラル濃度の関係について胸最長筋を用いて検討した。理化学分析値と官能評価値との関係については、粗脂肪含量とC18:1割合は、それぞれ「多汁性」と「悪い牛くささの無さ」と正の相関があった。ミネラル濃度と官能評価の関係については、いくつかの関係が認められた。Mn濃度は「やわらかさ（嚙切時）」と「線維感の無さ」の評点と正の相関があり、また、「やわらかさ（咀嚼時）」の評点とも正の相関を示す傾向があった。Mg濃度は多いほど、「悪い牛くささ」が強くなる関係が認められた。各ミネラル濃度を変数とした主成分分析により得られた第1主成分の固有ベクトルは、白筋型筋線維より赤筋型筋線維に多いMg, Mn, Fe, CuおよびZn濃度で大きく正であり、第1主成分は、「良い牛くささ」と「風味の強さ」と関連していた。これらの結果より、牛肉の官能特性には、粗脂肪含量やC18:1割合以外にも、ミネラル濃度に反映されている赤筋型筋線維の組成割合などの形質も影響を与えていると考えられた。

第4節. 玄米給与が黒毛和種牛肉の官能特性に及ぼす影響

玄米を大麦代替として肥育全期間に給与した試験区2頭と対照区2頭の胸最長筋を用いて、玄米給与が牛肉の官能特性に及ぼす影響について検討した。対照区のうちの1頭では、「やわらかさ（嚙切時）」および「繊維感の無さ」の評点が試験区のうちの1頭よりも高かったが、これはこれらの官能特性と関連すると考えられる Mn 濃度および粗脂肪含量の違いによるものと考えられた。一方、大麦代替としての玄米給与による胸最長筋中の Mn 濃度および粗脂肪含量への影響は認められなかったことから、本試験で認められた「やわらかさ（嚙切時）」および「繊維感の無さ」の差は、玄米給与による影響ではないと考えられた。さらに、黒毛和種牛肉で重要な官能特性である香りや風味には供試した個体間に差は認められなかった。大麦の代替としての玄米給与による黒毛和種牛肉の官能特性への明確な影響はないものと考えられた。

第5章 総括

本研究の成果を以下のように総括した。第一に、玄米は濃厚飼料中のトウモロコシや大麦と原物あたり 10~30%代替できるが、40%以上では鼓脹症を誘発する問題があることを明らかとした。また、玄米の配合によりトウモロコシの配合割合が低下させると、血中ビタミン A 濃度が低下することを示した。第二に、高温期の生米ヌカの油脂の酸化は、米袋による保管よりもビニール袋による保管やペレット加工により抑制でき、また、濃厚飼料に生米ヌカを 10%（原物）配合しても産肉性に影響はないことを示した。第三に、黒毛和種牛肉の官能特性には、牛肉の粗脂肪含量と脂肪酸組成の他に、粗脂肪含量や C18:1 割合以外にも、ミネラル濃度に反映されている赤筋型筋線維の組成割合などの形質が影響する可能性と、大麦の代替として玄米を給与しても牛肉の官能特性に明確な影響はないことを示した。