

2. 新技術・新産業の創出に関する報告

(1) 中課題名「動物性生体高分子の遺伝子による機能制御技術の開発」

小課題名：分子育種による食肉の機能成分強化と畜産食品開発

研究の背景とねらい

現在、和牛に関わる畜産業は、安価な外国品種輸入牛肉との競争、畜産従事者の高齢化・後継者不足に加えて、すでに和牛がオーストラリアやアメリカ・カリフォルニアへ輸出されて飼育され、国産より安価な和牛肉が逆輸入される可能性があり、一段と厳しい状況に置かれている。一方、日本の食文化の成熟と健康志向の高まりの中で、和牛肉においても優れた味や香り、健康増進面での質の高さが、消費者からより強く求められている。このような状況下で、全国的ブランドである山形牛を産する本県では、和牛に関わる畜産業の根本的な構造改革が急務である。

そこで、これまで経験と勘に基づいて非効率的に行なわれてきた和牛の生産・流通に、遺伝子工学的手法による計画的・効率的な和牛生産法、物理化学的分析法や生体センシングの手法による迅速で客観的な和牛肉の品質評価法を導入し、本県の畜産業の活性化を目指す。

本課題では、1)物理・化学的分析と官能検査により和牛肉の呈味・香味成分を解明し、産業的に利用可能な成分の実用化を進めること、2)和牛肉の呈味成分の遺伝性を明らかにし、その生合成に関与する遺伝子群の染色体上の位置とはたらきを解明し、迅速・簡便な育種法に応用すること、3)解明された和牛肉の呈味・香味成分を検出できる簡易検査装置を複合技術融合グループと協力して開発し、呈味・香味成分含量を基準とした科学的食味評価システムを確立することを目標として研究をおこなった。

共同研究の体制と役割分担

研究代表者：半澤直人（山形大学理学部生物学科）

研究副代表者：小林正人（山形県農業研究研修センター畜産研究部）

（フェーズⅠ段階）

- ・食肉の食味評価と栄養化学的評価（阿部正博、石山徹、奥山祐輔：山形県農業研究研修センター畜産研究部）
- ・食肉の比較生化学的評価（中内祐二：山形大学理学部生物学科）
- ・高蛋白質・低脂肪・高機能性牛肉のDNAマーカー解析（小倉弘子：財団法人山形県企業振興公社雇用研究員、半澤直人：山形大学理学部生物学科）
- ・食肉の結合組織の高次構造と物理的特性に関する研究（岩田秀一、海老名太、松田企一（日東ベスト株式会社研究部）

（フェーズⅡ段階）

・分子育種による食肉の機能性成分強化と畜産食品開発

和牛肉の呈味・香味成分の化学的分析（小林正人、渡辺一博、佐藤亘：山形県農業研究研修センター畜産研究部）

和牛肉の呈味成分生合成関与遺伝子の機能解析（半澤直人：山形大学理学部生物学科）

研究の経過

（フェーズ 段階）

- i. 和牛の呈味・香味成分、物理的・化学的分析技術を確立し、評価基準となるデータを集積した。
- ii. 和牛の呈味関連成分として、融点の低い不飽和脂肪酸の含量が重要であることが明らかになったので、その生合成に関与する遺伝子群の染色体上の位置を DNA マーカー解析によって特定し、不飽和脂肪酸を高発現する家系および個体（種雄牛北国 7 の 8 および金鶴とその子供達）を確認した（東北農業研究論文 2 報、日本畜産学会発表）。

（中間年次における外部評価の概要）

和牛の呈味・機能性成分を遺伝子レベルで解析した研究事例はほとんどなく、新規性・独自性は非常に高い。しかし、学術論文等による対外的な評価実績が皆無なので、今後、研究内容に対する評価の客観性を高める必要がある。また、適切な DNA パターンがわかれば、これを有する家系・個体を用いた効率的な育種を行うことができ、遺伝子組み換えをする必要がないため、消費者にも十分受け入れられる。

（フェーズ 段階）

中間評価を受け、研究テーマを整理統合し、下記のように新たに研究を展開した。

- i. 和牛の呈味・香味成分の精製に成功し、製品化の準備を行った。
- ii. 高品質の和牛肉の物理的・化学的特性に着目し、複合技術グループと協力して、牛肉の簡易型脂肪融点検査装置の開発を進めた。
- iii. 不飽和脂肪酸の高発現個体の遺伝子診断を目指し、不飽和脂肪酸生合成に関与する遺伝子の転写量と不飽和脂肪酸発現量の相関性を解明した。
- iv. 不飽和脂肪酸を高発現する北国 7 の 8 と金鶴の子孫を DNA マーカーによって確認しながら、種雄牛、繁殖雌牛として選択し、繁殖用の牛群整備を行った。すでに、これらの種雄牛の精液、計 30,500 本（北国 7 の 8 系：21,000 本、金鶴系：9,500 本）の販売実績を上げた。

成果とその意義

(フェーズ)

- i. 高品質の和牛肉の物理化学的特性を解明し、融点の低い不飽和脂肪酸が牛肉の味を大きく左右することを明らかにした。(東北農業研究に論文2報発表)この研究により、これまであまり明確でなかった和牛肉の呈味成分の解明が進み、このような成分の含量が和牛肉の客観的な食味評価基準となることが明らかになった。
- ii. 和牛の不飽和脂肪酸合成に關与する遺伝子群の染色体上での位置を特定し、DNA マーカーにより、遺伝的に不飽和脂肪酸を高発現する家系と個体を識別できることを明らかにした。(日本畜産学会発表)

(フェーズ)

- i. 高品質の和牛肉の物理化学的特性を基に、科学的食味評価システムの一端を担う簡易型脂肪融点検査装置の試作機の開発および特許化を進めた(複合技術融合グループ)。この装置は、製品化された場合、全国の食肉検査場や食肉を取り扱う企業などに導入されて汎用される可能性がある。
- ii. DNA マーカーにより、識別した遺伝的に不飽和脂肪酸を高発現する家系の精液が、計 30,500 本売れた。確実な遺伝情報をともなった精液や受精卵は、さらに積極的な宣伝を行えば販売実績が上がると考えられる。また、この研究により、食肉としておいしく健康にもよい不飽和脂肪酸高発現の和牛を生きたまま判別できるようになり、DNA 診断に基づく迅速な育種法として畜産の現場で普及する可能性がある。また今後、初期胚の培養技術と組み合わせて、受精卵や初期胚由来の微量の細胞を用いて、将来不飽和脂肪酸高発現の個体になるかどうかを判定する出生前 DNA 診断に応用できる可能性が高い。
- iii. 高品質和牛肉の香味成分の安定的、効率的精製法を確立し、実用化、特許化の準備を進めた。和牛肉の香味成分は、食用として利用されずに廃棄される脂肪組織から精製して、香味料として製品化することができる。資源の再利用と簡便な精製法による低コスト生産により、高級和牛風味の安価な着香料として販売できる可能性がある。
- iv. 不飽和化酵素(SCD1)遺伝子の転写量が不飽和脂肪酸の発現量と相関することを明らかにした。この遺伝子の転写活性の分析は微量の試料から可能なので、畜産現場で生きた個体から抽出した微量試料(バイオプシー試料)を用いた不飽和脂肪酸高発現個体・家系の判別、および不飽和脂肪酸高発現組織の検査などに応用できる可能性が高い。

今後の研究展開

- i. 高品質和牛肉の香味成分の精製法を実用的規模で確立して企業へ技術移転し、

着香料を開発する。

- ii. 複合技術融合グループに協力して、牛肉の簡易型脂肪融点検査装置の開発をさらに推進する。
- iii. 不飽和脂肪酸合成に関与する遺伝子群近傍の DNA マーカーの検出法をより簡便化し、DNA マーカーによる不飽和脂肪酸の高発現個体の出生前 DNA 診断法を開発する。
- iv. SCD1 遺伝子の転写活性分析法をより簡便化し、微量の試料による生体遺伝子診断法を開発する。

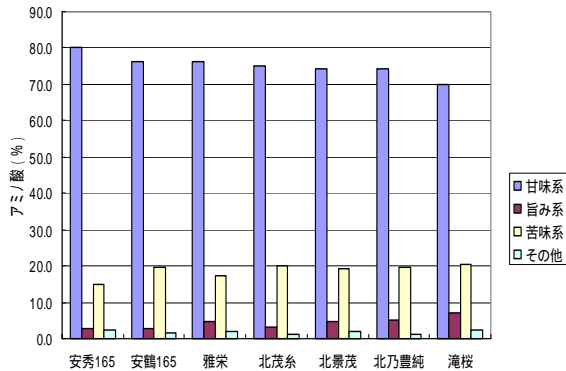
精製した香気成分の官能試験

香り表現	回答率 (%)
甘い	82
丸みのある	55
ミルク臭	36
キャラメル香気	36
暖かい	32
弱い	27
焼肉の	27
カスタードクリーム様	27
穏やかな	23
芳醇な	23
牛のにおい	23
芳香性	18
広がりのある	18
滑らかな	9

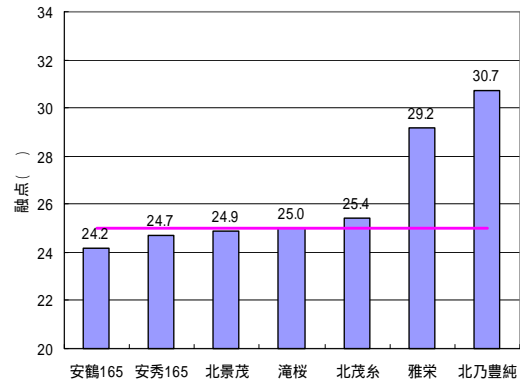
官能評価と肉の理化学分析値の関連(相関係数)

	脂肪融点	不飽和脂肪酸比率	脂肪交雑	加熱歩留	切断エネルギー
香り	-0.19	-0.01	-0.99	-0.38	-0.08
柔らかさ	-0.93	0.89	0.12	0.86	-0.98
多汁性	-0.98	0.94	-0.03	0.83	-1.00
味	-1.00	0.97	-0.03	0.86	-0.99
風味	-0.96	0.96	-0.09	0.79	-0.90
総合評価	-0.98	0.95	0.10	0.89	-1.00

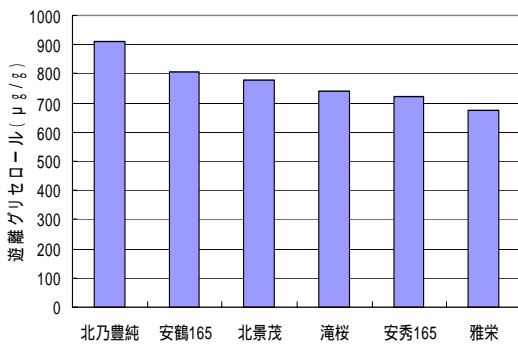
脂肪融点が高いと柔らかさ、多汁性、味、風味、総合評価が低い。
不飽和脂肪酸が多いと柔らかさ、多汁性、味、風味、総合評価が高い。



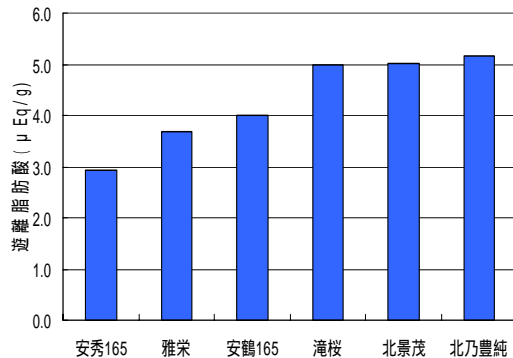
遊離アミノ酸組成に及ぼす種雄牛の影響



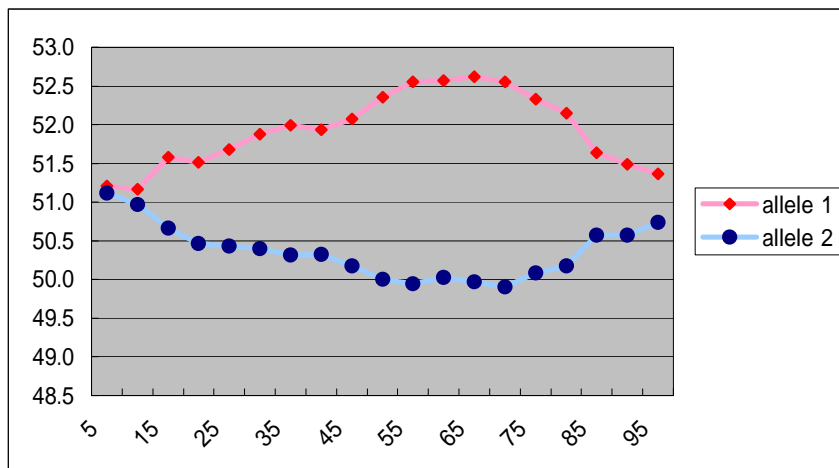
筋肉脂肪の融点に及ぼす種雄牛の影響



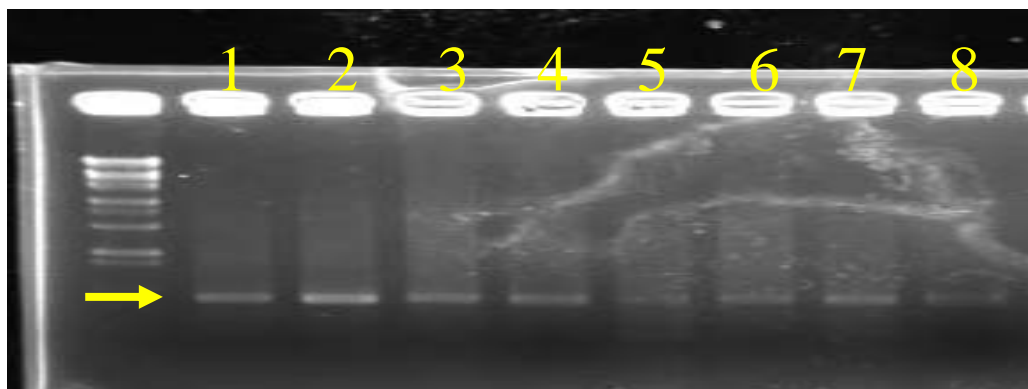
遊離グリセロールに及ぼす種雄牛の影響



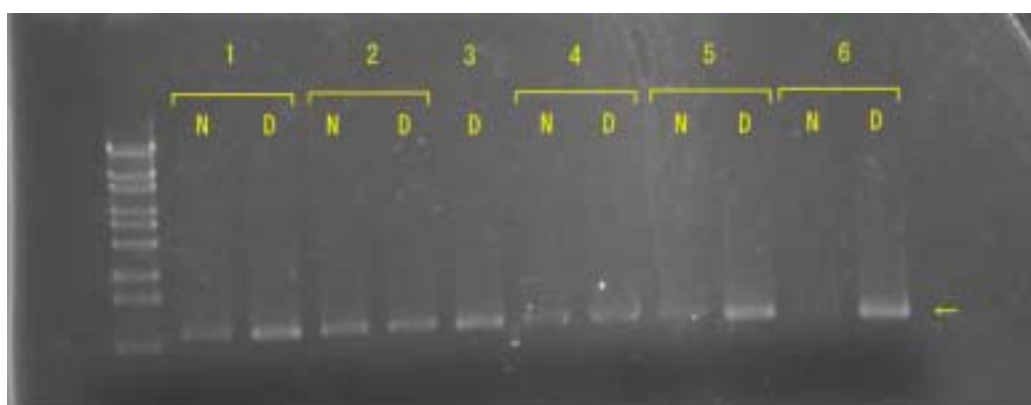
遊離脂肪酸に及ぼす種雄牛の影響



19番染色体のオレイン酸含量に対する対立遺伝子効果
 縦軸：オレイン酸含量（%），横軸：動原体からの距離（cM）
 allele 1：高発現の対立遺伝子，allele 2：低発現の対立遺伝子



1～3：和牛脂肪 4：和牛筋肉 5：乳牛筋肉 6、7：乳牛脂肪 8：乳牛乳腺
 SCD1 遺伝子転写量の品種間比較（和牛の方が乳牛よりも転写量が多い）



1～6：個体番号，N：首筋肉（脂肪が少ない），D：横隔膜（脂肪が多い）
 和牛 SCD1 遺伝子の転写量の組織間比較