

氏名(国籍)	ケート イライザ ニース (オーストラリア)		
学位の種類	博士(農学)		
学位記番号	博甲第4699号		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	<b>Postmortem Meat Tenderization and Associated Biochemical Factors: Comparative Study on Water Buffalo Meat and Brahman Beef</b> (熟成に伴う食肉の軟化と関連する生化学的要因の解析：水牛肉とブラーマン牛肉での比較研究)		
主査	筑波大学教授	農学博士	金井幸雄
副査	筑波大学教授	農学博士	本田洋
副査	筑波大学准教授	Ph.D(家畜生理学)	田島淳史
副査	筑波大学講師	博士(農学)	平林美穂
副査	筑波大学教授(連係大学院)	農学博士	竹中昭雄

## 論文の内容の要旨

食肉は一定の熟成期間を経て軟化する。この軟化現象は、種々の生化学反応の結果、特に筋肉タンパク質の分解によるものと考えられているが、熟成期間にみられる生化学反応と食肉の柔らかさとの関係は、動物種、品種、年齢、屠殺時の生理状態等によって異なり、食肉の軟化を定量的に説明する理論は完成していない。そこで本研究では、水牛肉と牛肉を用い、熟成期間中にみられる生化学的变化を詳細に比較し、食肉の軟化現象を支配する要因を解析した。同一飼料で6カ月間肥育した30カ月齢の交雑水牛（フィリピン在来水牛×ムラー種）と交雑牛（ブラーマン×フィリピン在来牛）それぞれ10頭（雌雄各5頭）を供試し、直ちに枝肉を4℃で熟成させた後、経時的に分析用サンプルを採取し、以下の実験に供した。

### 1. 熟成に伴う食肉の軟化について

剪断力（Shear Force, 以下SF）を肉の柔らかさの指標として、屠殺の2, 4, 7及び14日後に胸最長筋及び半膜様筋のSF値を測定した。その結果、SF値は熟成が進むにつれて小さくなったが、雌の交雑水牛では胸最長筋および半膜様筋ともに交雑牛に対して一貫して低い値を示した。一方、雄のSF値は、熟成開始直後（屠殺2日後）には種間の差はなかったが、その後は交雑水牛が常に低い値を示した。また、雌雄間の比較では、雌より雄の方がSF値が高く、これは結合組織の溶解度の違いが原因と推察された。

### 2. 食肉の軟化に関連する生化学的要因の解析

1) 筋原線維タンパク質の分解：食肉の軟化に関係する主要な筋原線維タンパク質であるトロポニンT（TnT）を熟成速度の指標として分析した。その結果、交雑水牛では交雑牛と比較して速い段階でのTnTの分解が認められた。この結果は、交雑水牛の肉の柔らかさの結果と一致し、筋原線維タンパク質の分解が食肉軟化に関係することが確認された。

2) pHの変化：食肉のpHは熟成に従って下降し、このpHの下降は筋肉の酵素活性を変化させ、肉の熟成と柔らかさに影響を与える。そこで、屠殺直後から48時間後までpHを測定した結果、雌では交雑牛より

交雑水牛の肉の方がpHの下降が遅かった。また、このpHの変化は乳酸濃度の変化と一致したが、グリコーゲン濃度との間には一定の関係がみられなかった。一方、雄ではpHの下降に種間の違いがなかったが、雄と雌の結果を総合して、屠殺直後のpHと熟成初期（屠殺2日後）のSF値との間に負の相関があるものと推論した。

3) 筋線維型の違い：筋線維型の違いは、筋肉内の解糖速度、pHの下降及び酵素活性に影響することが知られている。そこで、ミオシン重鎖のアイソフォーム組成（速筋と遅筋の割合）を測定した。その結果、交雑水牛と交雑牛との間には有意な筋線維型の違いは認められず、両種間にみられる食肉軟化の差異に筋線維型は関与していないものと推察した。

4) タンパク分解酵素の活性：熟成過程における食肉軟化は、筋肉中の酵素が筋線維タンパク質を分解し、筋線維の構造を脆弱化するためと考えられている。そこで、数種のタンパク分解酵素抑制剤を用いた酵素活性抑制試験により、水牛肉及び牛肉におけるタンパク質の分解にはカルパイン系が関与することを明らかにしたうえで、カルパイン1、カルパイン2及びカルパスタチンの活性を比較定量した。その結果、交雑水牛では交雑牛と比較して筋肉中のカルパイン／カルパスタチンの比活性が有意に高かった。さらに、これらの酵素のmRNA発現量を調べたところ、カルパイン1／カルパスタチン及びカルパイン2／カルパスタチンのいずれの比較においても、交雑水牛のmRNA発現量は交雑牛と比較して有意に高かった。

これらの結果から、交雑水牛とブラーマン交雑牛を同一年齢及び同一飼育条件で肥育し、屠殺後4℃で2週間の熟成を行った場合には、水牛肉は牛肉より軟化の過程が速く進行し、食肉の柔らかさも牛と同等か、あるいはより優れることが明らかになった。また、水牛肉及び牛肉の食肉軟化に関係する生化学的要因として、屠殺直後の筋肉中のpH及びカルパインの比活性が支配的な役割を果たしていることが判明した。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

食肉の柔らかさは、品質を判断する上で最も重要な要因の一つであり、柔らかさに関係する要因の解明は、食品産業上、極めて重要な課題である。本研究は、食肉の軟化（熟成）に長時間を要し、品質予測が難しい牛肉及び水牛肉について、熟成に伴う食肉の軟化過程を種々の生化学的変化に関連づけて解析することにより、食肉の柔らかさを支配する要因の抽出を試みたものである。食肉の品質に影響することが明らかな年齢、飼養条件及び屠殺後の熟成条件については、これらを一定の条件に固定することによりその影響を最小限にしたうえで、筋肉の剪断力の変化をpH、筋原線維タンパク質の分解、タンパク質分解酵素の活性などの一連の変化と関連づけることにより、食肉軟化の過程を支配する要因として屠殺直後のpH及びカルパイン活性の二つを特定することに成功している。また、これらの基礎的研究成果に加え、食肉の柔らかさという観点では、水牛肉が牛肉に比べて同等の品質を持つことを科学的に証明するなど、実用面でも極めて有益な知見を提示している。これらの基礎と応用の両面にわたる知見は、今後の食肉科学及び食肉産業の進展に大きく貢献することが期待される。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。