

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 21/01/2024

At the author's request, the full text of this thesis / dissertation will not be available online until January 21, 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO DA CARNE BOVINA (*Bos taurus indicus*) EM DIFERENTES  
FAIXAS DE pH FINAL E TEMPO DE MATURAÇÃO: PERFIL DE ÁCIDOS  
GRAXOS E COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS**

EVELYN PRESTES BRITO

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Zootecnia como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Doutora.

BOTUCATU-SP  
JANEIRO DE 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CÂMPUS DE BOTUCATU

CARACTERIZAÇÃO DA CARNE BOVINA (*Bos taurus indicus*) EM DIFERENTES  
FAIXAS DE pH FINAL E TEMPO DE MATURAÇÃO: PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS  
E COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

EVELYN PRESTES BRITO  
Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça  
Coorientadora: Profa. Dra. Carmen J. Contreras-Castillo  
Coorientador: Dr. Guilherme Sicca Lopes Sampaio

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Zootecnia como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Doutora.

BOTUCATU-SP  
JANEIRO DE 2022

B862c Brito, Evelyn Prestes  
Caracterização da carne bovina (*Bos taurus indicus*) em diferentes faixas de pH final e tempo de maturação: perfil de ácidos graxos e compostos orgânicos voláteis / Evelyn Prestes Brito. -- Botucatu, 2022  
76 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu  
Orientador: Roberto de Oliveira Roça  
Coorientadora: Carmen Josefina Contreras-Castillo

1. compostos aromáticos. 2. carne in natura. 3. Nelore. 4. oxidação lipídica. 5. pHf alto. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

ÉVELYN PRESTES BRITO, filha de Márcio Iran Queiroz Brito e Joiza Godinho Prestes Brito, nasceu em Brasília, Distrito Federal, Brasil, no dia 19 de dezembro de 1991. Em agosto de 2009, iniciou o curso de Zootecnia na Universidade Federal do Amazonas - UFAM, campus de Parintins/AM, graduando-se em dezembro de 2014. Em março de 2016, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-graduação em Zootecnia (PPGZ), área de conhecimento Produção Animal, na Universidade Estadual de Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu/SP, realizando estudos na área de produção e qualidade de carne de caprinos, obtendo o título de mestra no dia 06 de julho de 2018. No mesmo ano, mês de agosto, deu início ao curso de Doutorado em Zootecnia pelo PPGZ/UNESP, Campus de Botucatu/SP, na área de conhecimento Produção Animal, sob orientação do Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça e coorientadores Profa. Dra. Carmen J. Contreras-Castillo e Dr. Guilherme Sicca Lopes Sampaio. No dia 21 de janeiro de 2022, submeteu-se à banca para defesa de Tese.

## ***Dedicatória***

*Aos meus **familiares** e **amigos** por todo amor, carinho e cumplicidade nos momentos alegres e difíceis desta etapa de minha vida.*

*Tudo é um aprendizado, ou um divisor de águas.*

## **Agradecimentos**

À Deus e minha família, *Márcio Iran Queiroz Brito* (Pai), *Joiza Godinho Prestes Brito* (Mãe) e irmãos, *Anne Christinne Prestes Brito*, *Márcio Iran Prestes Brito*, *Emily Prestes Brito*, *Liandra Geisy Brito Borges* e *Ákla Hadassa da Silva Brito*.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP-Botucatu/SP.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao meu orientador, *Prof. Roberto de Oliveira Roça*.

Aos meus coorientadores, *Profa. Dra. Carmen J. Contreras-Castillo* e ao *Dr. Guilherme Sicca Lopes Sampaio*.

Ao Engenheiro, *Dr. Jair Sebastião da Silva Pinto*.

À técnica, *Mariana D. Baccarin Dargelio*.

À secretária da seção técnica do PPGZ, *Cláudia Cristina Moreci*.

À Central Multiusuário de Bioquímica e Análise Instrumental (Esalq/USP), *Prof. Dr. Severino Matias de Alencar* e as técnicas *Adna Prado Massarioli* e *Regina Helena Gonçalves*.

Aos meus amigos da República Paiol, *Vinicius R. Cambito de Paula*, *Shilton Reino Cavalcante* e *Mailson Alcantara*.

Aos meus amigos de Piracicaba/SP, *Cleverson Henrique Freitas*, *Rodrigo José Milan*, *José M. de Moura Andrade*, *Gabriel H. dos S. S. Salgado* e companheiro, *Juan Dario Rios Mera*.

Aos meus amigos de Botucatu/SP, *Jéssica Moraes Cruvinel*, *Iasmin M. S. Calaça de Farias*, *Janaina Prieto de Oliveira*, *Lucas da Silva Lopes*, *Marconi Italo Lourenço da Silva*, *Caio César dos Ouros*, *Carolina Toledo Santos*, *Fernanda Kaiser Lima* e *Patrícia Versuti*.

Aos meus colegas do Laboratório de Qualidade e Processamento de Carnes (Esalq/USP), *Iliani Patinho*, *Cecylyana Leite Cavalcante*, *Milagros M. Coaquila Gonza*, *Gariela Akiko*, *Luana França*, *Monique Marcondes Krauskopf*, *Giovani Henrique Mariano* e *Priscila Robertina dos Santos-Donado*.

O presente trabalho foi realizado com apoio da *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)* - Código de Financiamento 001.

À todos que contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado e concluído, a minha **GRATIDÃO**.

*“Life is not so much what you accomplish  
as what you overcome.”*

***Robin Roberts.***



## LISTA DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.</b> Esquema do sistema HS-SPME.....  | 21     |
| <b>Figura 2.</b> Desenho experimental das amostras por faixa de pHf e maturação destinadas as análises de perfil de ácidos graxos e COVs.....   | 39     |
| <b>Figura 3.</b> A) Dendrograma de agrupamento dos tratamentos em relação aos ácidos graxos; B) Análises de componentes principais (ACP) do perfil de ácidos graxos em relação aos tratamentos .....                      | 49     |
| <b>Figura 4.</b> A) Dendrograma de agrupamento dos tratamentos em relação aos compostos orgânicos voláteis; B) Análises de componentes principais (ACP) dos compostos orgânicos voláteis em relação aos tratamentos ..... | 59     |
| <b>Figura 5.</b> A) Análise de múltiplos fatores (MFA); B) Representação dos grupos de perfil de ácidos graxos (AGs) e compostos orgânicos voláteis (COVs).....   | 61     |
| <b>Figura 6.</b> Cromatogramas de íons totais de compostos orgânicos voláteis em carne bovina <i>in natura</i> ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em diferentes faixas de pHf por tempo de maturação. ....                     | 55     |
| <b>Figura 7.</b> Cromatogramas de íons totais de compostos orgânicos voláteis em carne bovina <i>in natura</i> ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em diferentes tempos de maturação por faixas de pHf.....                     | 56     |

## LISTA DE TABELAS

|  | Página |
|--|--------|
| <b>Tabela 1.</b> Prevalência de <i>dark cutting</i> em carcaças de bovinos em diferentes países.....   | 6      |
| <b>Tabela 2.</b> Principais compostos orgânicos voláteis (COVs) identificados em carne bovina <i>in natura</i> de raças taurinas.....  | 15     |
| <b>Tabela 3.</b> Médias $\pm$ erro padrão da composição química da carne bovina ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em diferentes faixas de pH final (pHf).....  | 44     |
| <b>Tabela 4.</b> Médias $\pm$ erro padrão (% de ácidos graxos totais) do perfil de ácidos graxos da carne bovina ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em função das diferentes faixas de pH final (pHf) e tempo de maturação (TM).....              | 47     |
| <b>Tabela 5.</b> Médias $\pm$ erro padrão ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dos compostos orgânicos voláteis (COVs) da carne bovina ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em função das diferentes faixas de pH final (pHf) e tempo de maturação (TM)..... | 52     |
| <b>Tabela 6.</b> Médias $\pm$ erro padrão ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dos compostos orgânicos voláteis (COVs) da carne bovina ( <i>Bos taurus indicus</i> ) em função do efeito da interação pH final x tempo de maturação .....             | 54     |

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....                                       | 1             |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....   | 4             |
| <b>1. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                     | 5             |
| 1.1. <i>Dark cutting</i> .....  | 5             |
| 1.2. Perfil de ácidos graxos em carne bovina .....                        | 7             |
| 1.3. Compostos orgânicos voláteis em carne bovina .....                   | 9             |
| 1.3.1. Fatores que influenciam o perfil volátil.....                      | 12            |
| 1.3.1.1. Raças bovinas.....   | 12            |
| 1.3.1.2. pH final.....  | 18            |
| 1.3.1.3. Tempo maturação.....   | 18            |
| 1.3.2. Determinação dos compostos orgânicos voláteis.....                 | 20            |
| 1.3.2.1. Microextração em fase sólida por <i>headspace</i> (HS-SPME)..... | 20            |
| 1.3.2.2. Cromatografia gasosa – espectrometria de massas (GC-MS) .....    | 21            |
| <b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                | 22            |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....  | 33            |
| <b>Resumo</b> .....   | 34            |
| <b>Abstract</b> .....   | 35            |
| <b>1. Introdução</b> .....  | 36            |
| <b>2. Material e métodos</b> .....  | 37            |
| <b>3. Resultados e discussão</b> .....                                    | 43            |
| <b>4. Conclusões</b> .....  | 62            |
| <b>Referências</b> .....  | 62            |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....   | 67            |
| <b>IMPLICAÇÕES</b> .....  | 68            |

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente o cenário da produção de carne brasileira está cada vez mais intensificado, o que vem exigindo cada vez mais a adoção de tecnologias robustas e de alta eficiência para melhorias do sistema de produção da carne, a qual ainda apresenta significativas perdas devido à garantia da qualidade exigida pelo mercado consumidor. Essa intensificação se deve a grande demanda de carne de qualidade produzida para atender o crescimento populacional e a exigência do consumidor, considerando a carne bovina umas das fontes de nutrientes essenciais para a funcionalidade e desenvolvimento do organismo humano (MACIEL; NUNES; SU, 2018).

No ano de 2020, o rebanho brasileiro atingiu 218,2 milhões de cabeças tendo abatido 29,9 milhões de cabeças, o que representou uma queda de 8,6% em relação aos 32,5 milhões de cabeças abatidas em 2019 (IBGE, 2020). Do total de carne produzida, 73,93% foram destinados ao mercado interno e 26,07% ao mercado externo. Apesar da queda nesse período, o Brasil registrou um aumento de 8% nas exportações relacionadas à carne bovina, em que 83,21% desse volume foi carne *in natura*, seguido de 10,23% industrializada e 6,56% de miúdos e outros (ABIEC, 2020).

Entretanto, o cumprimento das exigências sobre a qualidade de carne *in natura* imposta pelo mercado externo, por parte das indústrias brasileiras de carne bovina, foi um fator primordial para que o Brasil se tornasse o líder atual do ranking de exportação. Sendo assim, ao considerarmos que a carne bovina *in natura* apresenta atributos determinantes no momento da compra, como a cor e aparência, é imprescindível que o aroma também seja considerado determinante para aceitabilidade e preferência do consumidor (KARABAGIAS, 2018). Esta premissa também está relacionada com as exigências do consumidor do mercado interno, apesar do consumo de carne ter caído em torno de 8% em relação ao ano de 2019, o consumo de carne *per capita* atual é de 36,39 kg/hab/ano, mantendo o Brasil como o terceiro país no ranking de maiores consumidores do mundo no ano de 2020 (ABIEC, 2020).

O cenário da produção de carne brasileira apresenta poucas informações referentes aos padrões de qualidade, principalmente ao perfil de ácidos graxos e aos compostos aromáticos de carne bovina *in natura*. A carne bovina brasileira apresenta uma proporção proveniente de animais de origem zebuína predominante no rebanho

nacional, com terminação em sistema de pastejo. Atualmente, 80% da pecuária de corte brasileira é representado pela raça Nelore pura ou de cruzados (*Bos taurus indicus*) (DE NADAI BONIN et al., 2021).

Contudo, ocorre uma limitação inerente à qualidade de carne relacionado ao fato de que algum nível de estresse é ocasionado em bovinos de corte durante o pré-abate, principalmente em abates de bovinos machos não castrados, devido à alta susceptibilidade ao estresse em decorrência dos hormônios esteroides masculinos responsáveis pelas reações mais reativas de comportamento. Isto faz com que ocorra o esgotamento das reservas de glicogênio muscular, redução no acúmulo de ácido láctico e conseqüentemente apresentem valores de pH final intermediário (5,8 a 6,1) a alto (> 6,2) na carne, podendo caracterizar como corte de carne escura ou *dark cutting*, sendo esta característica prejudicial à exportação do produto, diferentemente de uma carne com pH final normal (5,4-5,7) (CONTRERAS-CASTILLO et al., 2016a; LOUDON et al., 2018; MAHMOOD; DIXON; BRUCE, 2019; SILVA et al., 2019).

Outro fator, supracitado, que também pode influenciar na ocorrência de carne *dark cutting* é o sistema de produção, pois bovinos terminados em pasto possuem menor aporte energético na dieta e assim apresentam menor reserva de glicogênio muscular quando comparados com animais terminados em confinamento (KNEE et al., 2007; LOUDON et al., 2018; MAHMOOD; DIXON; BRUCE, 2019).

No Brasil, a incidência de pHf de carcaças com carne *dark cutting* foi relatada em patamares ainda mais elevados em condições experimentais com gado típico do Brasil (LOBO-JR. et al., 2012). Estudos apresentaram influência do pHf na estabilidade de cor (RIBEIRO et al., 2021; ROSA et al., 2016), desnaturação térmica das proteínas (RIOS-MERA; DA SILVA PINTO; CONTRERAS-CASTILLO, 2017), maciez e capacidade de retenção de água (RAMOS et al., 2022).

Outros fatores de qualidade de carne bovina, como perfil de ácidos graxos e compostos orgânicos voláteis, relacionados ao atributo de aroma da carne *in natura* em faixas de pHf e tempos de maturação são insuficientes na literatura ao considerar o cenário brasileiro, como sistema de produção em pasto, raça Nelore (*Bos taurus indicus*) e condição sexual (machos não castrados).

Desta forma a hipótese deste estudo é que faixas de pHf (normal, intermediário e alto) com um determinado tempo de maturação (3, 14 e 28 dias) da carne *in natura* de zebrúinos, embalados a vácuo a 2 °C, podem influenciar na composição dos ácidos graxos e na formação de compostos orgânicos voláteis. Contudo, quais compostos

formados podem influenciar na caracterização de uma carne maturada de zebuínos embalada à vácuo com pHf acima do normal? Sendo assim, para responder essas lacunas foi proposto os seguintes capítulos:

O capítulo I, intitulado “**Revisão de literatura**” foi apresentado de acordo com as normas da ABNT 2021 (link: <https://www.normasabnt.org/formatacao-abnt/>) e teve como objetivo de abordar tópicos com levantamentos de produções científicas publicadas para fornecer embasamento teórico e implicações científicas relacionados aos assuntos da tese.

O capítulo II, intitulado “**Influência do pH final e tempo de maturação no perfil de ácidos graxos e compostos orgânicos voláteis da carne bovina (*Bos taurus indicus*)**” foi apresentado de acordo com as normas de publicação da revista *Meat Science* (link: <https://www.elsevier.com/journals/meat-science/0309-1740/guide-for-authors>) e teve como objetivo avaliar a influência de diferentes faixas de pHf e tempo de maturação no perfil de ácidos graxos e compostos orgânicos voláteis em carne de bovinos Nelore (*Bos taurus indicus*).

#### 4. Conclusões

O pH intermediário e alto da carne bovina (*Bos taurus indicus*) *in natura* embalada a vácuo e maturadas aos 28 dias contribuíram para perfil de compostos aromáticos típico de carne *in natura*, como álcoois, aldeído e cetonas. Estes compostos são considerados indicadores de oxidação lipídica, por meio da  $\beta$ -oxidação dos ácidos graxos insaturados presentes neste estudo.

#### Agradecimentos

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da ESALQ, USP - Piracicaba, SP (Protocolo nº 2019/22) e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e corresponde a uma extensão do Projeto de Pesquisa com Auxílio à Pesquisa – Temático (Processo FAPESP nº. 17/26667-2), intitulado “Qualidade de carne em bovinos *Bos indicus*: marcadores biológicos para atributos do produto cárneo em diferentes faixas de pH final” sob a responsabilidade da Prof<sup>a</sup>. Dra. Carmen J. Contreras Castillo – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

#### Referências

- Anderson, S. (2007). Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan™ near-infrared spectrophotometer with FOSS artificial neural network calibration model and associated database: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 90(4), 1073–1083. <https://doi.org/10.1093/jaoac/90.4.1073>
- Aranha, A. S., Andrighetto, C., Lupatini, G. C., Mateus, G. P., Ducatti, C., Roça, R. O., Martins, M. B., Santos, J. A. A., Luz, P. A. C., Utsunomiya, A. T. H., & Athayde, N. B. (2018). Performance, carcass and meat characteristics of two cattle categories finished on pasture during the dry season with supplementation in different forage allowance. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70(2), 517–524. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9576>
- Bernardo, A. P. da S., Marinelli Saraiva Ferreira, F., Muniz Da Silva, A. C., Souza Prestes, F., Francisco, V. C., Tieko Nassu, R., Da Silva Do Nascimento, M., & Bertelli Pflanzler, S. (2021). Dry-aged and wet-aged beef: Effects of aging time and temperature on microbiological profile, physicochemical characteristics, volatile compound profile and weight loss of meat from Nellore cattle (*Bos indicus*). *Animal Production Science*, 61(14), 1497–1509. <https://doi.org/10.1071/AN20120>
- Bertram, H. C., & Andersen, H. J. (2008). Proton NMR Relaxometry in Meat Science. *Modern Magnetic Resonance*, 1729–1733. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3910-7\\_194](https://doi.org/10.1007/1-4020-3910-7_194)
- Bhadury, D., Nolvachai, Y., Marriott, P. J., Tanner, J., & Tuck, K. L. (2021). Detection of Volatiles from Raw Beef Meat from Different Packaging Systems Using Solid-

- Phase Microextraction GC – Accurate Mass Spectrometry. *Foods*, 10.
- Boler, D. D., & Woerner, D. R. (2017). What is meat? A perspective from the American Meat Science Association. *Animal Frontiers*, 7(4), 8–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0436>
- Calkins, C. R., & Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77(1 SPEC. ISS.), 63–80. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.016>
- Casaburi, A., Piombino, P., Nychas, G. J., Villani, F., & Ercolini, D. (2015). Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage. *Food Microbiology*, 45(PA), 83–102. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.002>
- Cifuni, G. F., Napolitano, F., Riviezzi, A. M., Braghieri, A., & Girolami, A. (2004). Fatty acid profile, cholesterol content and tenderness of meat from Podolian young bulls. *Meat Science*, 67(2), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.10.017>
- Contreras-Castillo, C. J., Lomiwes, D., Wu, G., Frost, D., & Farouk, M. M. (2016). The effect of electrical stimulation on post mortem myofibrillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. *Meat Science*, 113, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.012>
- da Luz, P. A. C., Andrighetto, C., Lupatini, G. C., Aranha, H. S., Trivelin, G. A., Mateus, G. P., Santos, C. T., Francisco, C. de L., Castilhos, A. M., & Jorge, A. M. (2019). Effect of integrated crop-livestock systems in carcass and meat quality of Nelore cattle. *Livestock Science*, 220(July 2018), 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.018>
- Dashdorj, D., Amna, T., & Hwang, I. (2015). Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview. *European Food Research and Technology*, 241(2), 157–171. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2449-3>
- Denzer, M. L., Cassens, A. M., Wills, K. M., Pfeiffer, M. M., Mafi, G. G., VanOverbeke, D. L., & Ramanathan, R. (2020). Effects of Enhancement and Modified Atmosphere Packaging on Flavor and Tenderness of Dark-Cutting Beef. *Meat and Muscle Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.22175/mmb.11157>
- Elmore, J. S., Campo, M. M., Enser, M., & Mottram, D. S. (2002). Effect of lipid composition on meat-like model systems containing cysteine, ribose, and polyunsaturated fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1126–1132. <https://doi.org/10.1021/jf0108718>
- English, A. R., Wills, K. M., Harsh, B. N., Mafi, G. G., VanOverbeke, D. L., & Ramanathan, R. (2016). Effects of aging on the fundamental color chemistry of dark-cutting beef. *Journal of Animal Science*, 94(9), 4040–4048. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0561>
- Frank, D., Hughes, J., Piyasiri, U., Zhang, Y., Kaur, M., Li, Y., Mellor, G., & Stark, J. (2020). Volatile and non-volatile metabolite changes in 140-day stored vacuum packaged chilled beef and potential shelf life markers. *Meat Science*, 161(December 2018), 108016. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108016>
- Gorraiz, C., Beriain, M. J., Chasco, J., & Insausti, K. (2002). Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from Pirenaica and Friesian bulls and heifers. *Journal of Food Science*, 67(3), 916–922. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09428.x>
- Gruffat, D., Bauchart, D., Thomas, A., Parafita, E., & Durand, D. (2021). Fatty acid composition and oxidation in beef muscles as affected by ageing times and cooking methods. *Food Chemistry*, 343(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128476>



- Guo, R., Yu, F., Wang, C., Jiang, H., Yu, L., Zhao, M., & Liu, X. (2020). Determination of the Volatiles in Fermented Bamboo Shoots by Head Space–Solid-Phase Micro Extraction (HS-SPME) with Gas Chromatography–Olfactory–Mass Spectrometry (GC-O-MS) and Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA). *Analytical Letters*, *0*(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1795667>
- Holman, B. W. B., Ponnampalam, E. N., Kilgannon, A. K., Collins, D., Plozza, T., & Hopkins, D. L. (2019). Moisture content, fatty acid profile and oxidative traits of aged beef subjected to different temperature-time combinations. *Meat Science*, *157*(June), 107876. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107876>
- Insausti, K., Beriain, M. J., Gorraiz, C., & Purroy, A. (2002). Volatile compounds of raw beef from 5 local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Journal of Food Science*, *67*(4), 1580–1589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10325.x>
- Karabagias, I. K. (2018). Volatile profile of raw lamb meat stored at  $4 \pm 1$  °C: The potential of specific aldehyde ratios as indicators of lamb meat quality. *Foods*, *7*(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/foods7030040>
- Kilgannon, A. K., Holman, B. W. B., Frank, D. C., Mawson, A. J., Collins, D., & Hopkins, D. L. (2020). Temperature-time combination effects on aged beef volatile profiles and their relationship to sensory attributes. *Meat Science*, *168*(February), 108193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108193>
- Lala, B., Cecato, U., Pereira, V., Mari, G., Grande, P., Müller, L., Claudino-Silva, S., & Bridi, A. M. (2019). Grazing Height of Xaraés Grass Improve Longissimus Muscle Fatty. *Revista Valore*, *4*, 196–209.
- Lee, D., Lee, H. J., Yoon, J. W., Kim, M., & Jo, C. (2021). Effect of different aging methods on the formation of aroma volatiles in beef strip loins. *Foods*, *10*(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods10010146>
- Listrat, A., Lebre, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition determine meat quality. *Productions Animales*, *28*(2), 125–136.
- Machiels, D., Istasse, L., & Van Ruth, S. M. (2004). Gas chromatography-olfactometry analysis of beef meat originating from differently fed Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus bulls. *Food Chemistry*, *86*(3), 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.011>
- Mansur, A. R., Song, E. J., Cho, Y. S., Nam, Y. Do, Choi, Y. S., Kim, D. O., Seo, D. H., & Nam, T. G. (2019). Comparative evaluation of spoilage-related bacterial diversity and metabolite profiles in chilled beef stored under air and vacuum packaging. *Food Microbiology*, *77*(September 2018), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.006>
- Marušić, N., Vidaček, S., Janči, T., Petrak, T., & Medić, H. (2014). Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham. *Meat Science*, *96*(4), 1409–1416. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.003>
- Mattson, F. H., & Grundy, S. M. (1985). Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research*, *26*(2), 194–202. [https://doi.org/10.1016/s0022-2275\(20\)34389-3](https://doi.org/10.1016/s0022-2275(20)34389-3)
- Olivares, A., Navarro, J. L., & Flores, M. (2009). Distribution of volatile compounds in lean and subcutaneous fat tissues during processing of dry fermented sausages. *Food Research International*, *42*(9), 1303–1308. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.017>
- Piao, M. Y., Yong, H. I., Lee, H. J., Fassah, D. M., Kim, H. J., Jo, C., & Baik, M.

- (2017). Comparison of fatty acid profiles and volatile compounds among quality grades and their association with carcass characteristics in longissimus dorsi and semimembranosus muscles of Korean cattle steer. *Livestock Science*, 198(February), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.021>
- R Core Team. (2019). An Introduction to dplyR. *Foundation for Statistical Computing*. [www.R-project.org](http://www.R-project.org).
- Saraiva, C., Oliveira, I., Silva, J. A., Martins, C., Ventanas, J., & García, C. (2015). Implementation of multivariate techniques for the selection of volatile compounds as indicators of sensory quality of raw beef. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3887–3898. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1447-y>
- Schindler, S., Krings, U., Berger, R. G., & Orlien, V. (2010). Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated. *Meat Science*, 86(2), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.036>
- Sha, K., Lang, Y. M., Sun, B. Z., Su, H. W., Li, H. P., Zhang, L., Lei, Y. H., Li, H. B., & Zhang, Y. (2017). Changes in Lipid Oxidation, Fatty Acid Profile and Volatile Compounds of Traditional Kazakh Dry-Cured Beef during Processing and Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13059>
- Silva, L. F., Barbosa, A. M., Júnior, J. M. da S., Oliveira, V. da S., Gouvêia, A. A., Silva, T. M., Lima, A. G. V. de O., Nascimento, T. V. C., Bezerra, L. R., & Oliveira, R. L. (2021). Growth, physicochemical properties, fatty acid composition and sensorial attributes from longissimus lumborum of young bulls fed diets with containing licuri cake. *Livestock Science*, October, 104775. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104775>
- Sirtori, F., Dimauro, C., Bozzi, R., Aquilani, C., Franci, O., Calamai, L., Pezzati, A., & Pugliese, C. (2020). Evolution of volatile compounds and physical, chemical and sensory characteristics of Toscano PDO ham from fresh to dry-cured product. *European Food Research and Technology*, 246(3), 409–424. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03410-0>
- Söbeli, C., Uyarcan, M., & Kayaardı, S. (2021). Pulsed UV-C radiation of beef loin steaks: Effects on microbial inactivation, quality attributes and volatile compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102558>
- Stetzer, A. J., Cadwallader, K., Singh, T. K., McKeith, F. K., & Brewer, M. S. (2008). Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles. *Meat Science*, 79(1), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.025>
- Tait, E., Perry, J. D., Stanforth, S. P., & Dean, J. R. (2014). Identification of volatile organic compounds produced by bacteria using HS-SPME-GC-MS. *Journal of Chromatographic Science*, 52(4), 363–373. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmt042>
- Utama, D. T., Kim, Y. J., Jeong, H. S., Kim, J., Barido, F. H., & Lee, S. K. (2020). Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of dry-aged beef from Hanwoo cows slaughtered at 60 or 80 months old. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 157–165. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0205>
- Van Ba, H., Amna, T., & Hwang, I. (2013). Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like model systems. *Meat Science*, 94(4), 480–488. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.029>

- Wang, X., Zhu, L., Han, Y., Xu, L., Jin, J., Cai, Y., & Wang, H. (2018). Analysis of volatile compounds between raw and cooked beef by HS-SPME–GC–MS. *Journal of Food Processing and Preservation*, *42*(2), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13503>
- Wills, K. M., Mitacek, R. M., Mafi, G. G., Vanoverbeke, D. L., Jaroni, D., Jadeja, R., & Ramanathan, R. (2017). Improving the lean muscle color of dark-cutting beef by aging, antioxidant-enhancement, and modified atmospheric packaging. *Journal of Animal Science*, *95*(12), 5378–5387. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1967>
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, *78*(4), 343–358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
- Wu, S., Luo, X., Yang, X., Hopkins, D. L., Mao, Y., & Zhang, Y. (2020). Understanding the development of color and color stability of dark cutting beef based on mitochondrial proteomics. *Meat Science*, *163*(November 2019), 108046. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108046>
- Yancey, E. J., Dikeman, M. E., Hachmeister, K. A., Chambers IV, E., & Milliken, G. A. (2005). Flavor characterization of top-blade, top-sirloin, and tenderloin steaks as affected by pH, maturity, and marbling. *Journal of Animal Science*, *83*(11), 2618–2623. <https://doi.org/10.2527/2005.83112618x>
- Yang, J., Dashdorj, D., & Hwang, I. (2018). Effect of the calpain system on volatile flavor compounds in the beef longissimus lumborum muscle. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *38*(3), 515–529. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.515>