

総説

## 肉牛の栄養と肉質 — 現状の課題と将来戦略 —

入江正和

近畿大学 生物理工学部

〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

Tel : 0736-77-0345 (ダイヤルイン +4108) Fax : 0736-77-4754

E-mail : irie@waka.kindai.ac.jp

### 【要約】

牛肉をめぐる国内外の情勢は大きく変化しつつあり、国産牛肉にとって肉質は重要である。そこで本総説では肉質向上のための栄養制御法、肉質をめぐる現状の課題と将来戦略について述べた。脂肪交雑向上法としては、ビタミン A 制御法があり、新たな方法としてビタミン C 添加法、ウルソコール酸投与法がある。ビタミン E 添加法は抗酸化作用の付与によって肉質を向上させる方法である。また、流通現場ではズル、シコリ、シミ、色調異常、異臭、しまりの低下など様々な低品質肉の発生が問題となっており、その解決が必要である。それら低品質肉の症状といくつかの可能性のある原因について解説を行った。原因の多くは栄養等の飼養管理によるものとみられ、原因解明と対策のさらなる研究が必要である。さらに黒毛和種を中心として将来の肉質改良方向についていくつかの提言をおこなった。脂肪交雑に関しては量よりもサシの細かさや、もも部のサシの入り方（モモ抜け）が大切である。黒毛和種においてオレイン酸含量などの脂肪質は脂肪交雑に代わる新たな改良目標となっており、流通現場における光学評価器機の活用によって成果が上がっている。また、国内での消費ニーズにこたえるため赤身肉生産や低コスト化も重要であり、ビタミン多給、放牧、若齢肥育などがその方法論として期待される。また、肉の熟成法も肉の多様化をもたらすものであり、その研究に関しても今後の検討が必要であろう。

**キーワード：**牛肉、肉質、脂肪交雑、低品質肉、和牛

### 【はじめに】

最近、わが国の肉用牛産業における国内外の情勢は大きく変化している。牛肉消費の伸びが停滞する中、輸入牛肉のシェアは高まっており、一方で子牛価格の高騰などから国産牛肉価格も高くなっており、TPP 対策が緊喫の課題となっている。その打開策として、和牛肉の輸出をはじめているが、海外でも Wagyu が作られ、牛肉をめぐる国内外での競争はより厳しさを増し

ている。

一方、肉質面では黒毛和種において遺伝的改良と飼養技術の進歩が脂肪交雑の多い和牛肉を効果的に作ることに成功し、多大なる貢献をした。しかし、最近では A5 の稀少価値が低下し、近交係数の高まりや、低品質肉の発生の増加、過度に脂肪交雑の高い牛肉の出現、消費者の赤身志向の増加を背景として品質面での新たな戦略が必要となってきた。そこで本項では肉質向上を中心とした栄養制御法について紹介すると共に、肉質をめぐる現状の課題と和牛の将来戦略についても述べることにする。

受理：2014 年 4 月 22 日

## 【栄養成分と肉質の向上】

効果的に脂肪交雑牛肉を作ることは今も将来も重要であり、その栄養学的技術を紹介する。

### 1) 脂肪交雑の向上

#### (1) ビタミン A 制御法

肥育期間におけるビタミン A 制御が脂肪交雑をあげることが Oka ら [12] により報告され、その効果的な方法が全国に広く普及した。すなわち、肥育中期のみにビタミン A を低下させると、発育にあまり悪影響が無く、脂肪交雑を上げることができる。脂肪交雑のメカニズムとしては、*in vitro* 試験 [13] で、脂肪前駆細胞が脂肪細胞に分化するのをビタミン A が抑制することから、低ビタミン A が脂肪細胞を増加させると考えられている。

#### (2) ビタミン C 添加法

ビタミン C は *in vitro* において脂肪前駆細胞を分化促進することが Trii ら [15] によって報告され、バイパス・ビタミン C を牛飼料に添加する研究が行われている。それらの結果では、顕著な効果はみられないようではあるものの、脂肪交雑を向上させる例もあり、研究と実践が続けられている [10]。

なお、本来、牛ではビタミン C 添加が必要ではないとされているものの、ストレスの増加、感染症、肝機能低下、抗酸化物質不足などではビタミン C が多く必要とされるケースも想定され、添加はそれらを解決する一方法になる可能性がある。

#### (3) 胆汁酸製剤投与法

Irie ら [6] は、動物用や人用医薬品として臨床応用されている胆汁酸製剤（ウルソデオキシコール酸：以下、UDCA）を肥育牛に投与すると脂肪交雑を上げることが報告された。胆汁酸には脂質の乳化により消化率を上げる界面活性作用や、他にも利胆作用、利溼作用、肝血流量増加作用がある。UDCA は他のコール酸と比べ特に肝細胞に与える刺激が少ないため、臨床への応用が進んでいる。

研究として、黒毛和種牛 22 カ月齢から UDCA を毎月 3 回 7 カ月間、1 頭あたり 50g 飼料添加した結果、発育に影響は見られず、脂肪交雑が向上した。脂肪酸組成には特に変化はなく、既にこれらの方法は野外で普及しつつある。

UDCA の脂肪交雑増加メカニズムについては、明確ではないが、次のようなことが示唆されている。すなわち、UDCA は、①飼料中脂肪分を乳化し、体内へ脂肪の取り込みを促すこと、②脂質蓄積を直接増加させるのではなく、脂肪の取り込みが正味エネルギー増大になり、脂肪合成を促進させること、③コール酸など他の胆汁酸は脂肪蓄積の抑制作用があり、それが無い UDCA が置換されることにより逆に脂肪抑制が減少すること、④肝機能を高めること、である。

### 2) その他

#### (1) ビタミン E 添加法

牛におけるビタミン E の要求量は、飼料乾物 1kg あたり 15 IU であるが、多くの量を与えると、筋肉・脂肪内に蓄積し、特に抗酸化作用によって肉質に良い効果を与える [4, 11]。肉におけるプラスの効果は、肉色、風味、低品質肉の抑制などに対して幅広くみられ、特に肉色の劣化抑制や脂肪の酸化抑制は顕著である。

## 【低品質肉の発生】

流通現場ではズル、シコリ、シミ、色調異常、異臭など様々な低品質肉の発生が問題となっており、価格が低下する原因にもなっている [3]。多くの低品質肉の場合、原因についてはまだ明確とはいえないが、遺伝よりも飼養管理が主要因であるとみられている。

### 1) ズル

ズルは筋肉水腫のことであり、枝肉価格を低下させ、ひどい場合には全廃棄となる。水腫の原因として、遺伝的影響は殆どないとみられており、飼養管理や疾病によるところが大きい。内臓疾患などが水腫を発生させる原因になるとみられているが、ズルが多発するもっとも大きな原因はビタミン A の欠乏である。上述したビタミン A 制御法の失敗によるものが多く、最近では眼や関節、歩行などの臨床症状、ビタミン A 値などの血液検査などからできるだけ発生を抑制しようとしているが、いまだ数%の発生がある。ビタミン A 欠乏は、牛に様々な悪影響を及ぼすだけでなく、消費者にも「病気の牛」という不信感を与えるので、生産段階でのビタミン A 制御には充分注意する必要がある。

## 2) シコリ

シコリは筋炎とも言われ、筋肉の一部が脂肪組織や結合組織に過度に置換するもので(図1)、海外においても Callused ribeyes または Steatosis として問題視されている [1]。シコリは脂肪組織置換タイプが大半で、結合組織に置換する場合には、硬くなるため食用に適さなくなる。

わが国でのシコリ発生割合は、近年増加し、乳用種よりも交雑種や黒毛和種で多く、黒毛和種では肉質等級の高いものに多い(石塚ら2008)。部位では僧帽筋に多く、必ずしも左右両側で発生や症状は同じではなく、その発生率は、品種や性による発生率の違いがあるが、その遺伝的影響は小さく、出荷体重、月齢および生産農家などの条件で異なることから、飼養管理による影響が大きいと考えられている [7, 8, 14]。

飼養管理による原因には物理的要因と飼育条件の要因、栄養的要因があげられている [3]。物理的要因としては、まず、注射やバイオペシーによる神経や筋肉の損傷がシコリの原因となる。また、生産農家の影響が大きいため、栄養を含む飼養管理の影響が大きいと考えられている。

栄養素欠乏の原因説では、ビタミンA、カロテン、ビタミンE不足などが挙げられている。ビタミンA不足からズルが発生し、ズルがシコリに置き換わるとい説もあるが、ズルとシコリは必ずしも部位や発生農家が一致しないこ

と、適切なビタミンA制御をおこなっても発生すること、ビタミンAを制御しない豚でも時折多発することから、少数例にしかすぎないものと考えられる。なお、和牛肉はビタミンEが低いこと [5]、ビタミンE欠乏は筋肉障害を引き起こすこと、さらにビタミンEとSe給与が効果を有すること (Personal comm.) から、著者 [3] はビタミンEやSeなどの抗酸化物質不足によりシコリが生じるという仮説を立てている。

シコリのメカニズムとしては、脂肪組織の異常増殖というより、神経組織や筋組織がダメージを受けて、筋組織の再生がうまくゆかず、長期にわたって脂肪組織や結合組織が増殖・置換してゆくものと考えられるが、今後のメカニズムの追求が必要であろう。

## 3) シミ

シミ (Spot, Blood splash) は筋肉内などに点状または帯状に黒いものがみられるものである。これは、毛細血管の血圧が異常に高まり、破裂し、漏出した血液が黒く凝固したものである。シミの発生は、と畜前後の要因(生体と、と畜処理)がもっとも重要であると考えられている [3]。

発生のメカニズムとしては、と畜時にストレスや物理的圧力によって血圧が上昇し、毛細血管が破れて、筋肉中に血液が浸潤したり、散ったりして残り、その部分が凝固し、黒く見えることによっている。従って、放血が悪いわけではなく、栄養管理を主因とした血管の脆弱化、

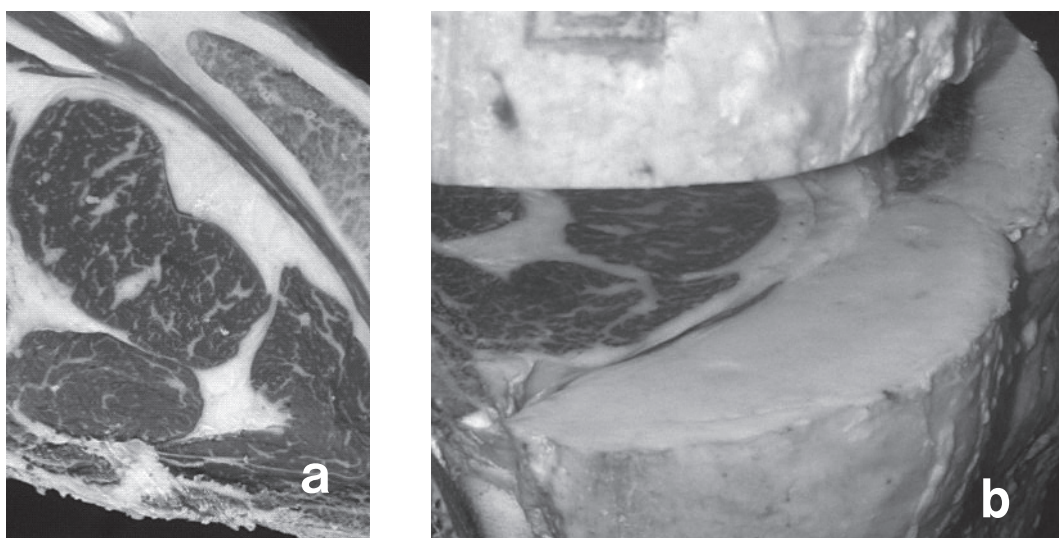


図1 僧帽筋(写真右上)にみられるシコリ(a)と僧帽筋全てが脂肪に置換したシコリ(b)

と畜時のストレスや、スタニング（気絶処理）処理から放血までの時間の遅れなどが原因として指摘されており [3]、また遺伝的要因は少ないとみられている [7]。

#### 4) 異常色調

色調異常肉に関しては肉色の濃い DFD（海外のダークカットビーフ）、肉色の薄い PSE、脂肪の黄色いものなどがある。牛肉は元来肉の色が濃いいため、どちらかといえば肉色の濃いケースが問題となる。

色調が濃くなる原因としては、色素の増加、色素の化学的変化、組織の微細構造の変化がある [2]。肉色素の中心はミオグロビンであるが、持続的運動、加齢などによって増加する。デオキシミオグロビンは酸素と結合すると、肉本来の鮮やかな色を有するオキシミオグロビンとなるが、酸化するとメトヘモグロビンとなり、暗色化する。食肉ではカット後の時間によってメト化が進むが、ビタミンEなどの蓄積があれば、時間を遅らせることができる。逆に抗酸化物質不足や硝酸塩中毒などはメト化を推進させる。

組織の微細構造による肉色変化は、主に基質となる筋組織における反射率や透過率などの光学現象の変化によっている [2]。組織構造は、と畜後の乳酸生成などの pH の変化によって影響を受け、pH がと畜後 24 時間経過しても中性に近い高いままだと DFD (Dark Firm Dry) となり、1 時間以内に急速に低下すると PSE (Pale Soft Exudative) となる。DFD では組織が密着し、光を透過しやすくなり、内部のデオキシミオグロビンが観察しやすくなるため、暗く、濃く見える。DFD では、一見硬そうに感じるが、保水性が高く、多汁性があるため、やわらかく食味はよい。一方、DFD には見栄え以外に pH が高いため細菌が繁殖しやすいという欠点がある。PSE は牛肉では、ヒレやモモ深部などに観察されることが多く、淡い肉は消費者受けするので、牛肉ではあまり問題とはならないが、食味は低下しているので注意が必要である。なお、こういった現象は眼でみただけではなかなか判断できないが、各種光学評価によればその原因を追及できる。

メカニズムについては、DFD の場合、ストレスなどによるグリコーゲンの消耗で、乳酸生成が少なく、発生することはわかっているが、

遺伝なども関連している可能性があり、対策と原因についてはさらなる研究が必要である。

脂肪の色調異常には黄色化が有名である。この原因としては、放牧や青草多給による青草中のカロテノイドの蓄積が有名であり、見栄えが悪くなるだけでなく、風味も日本人には一般的に好まれないものとなる。また黄疸症状を示す牛もビリルビンの蓄積によって全身が黄色化する。

#### 5) 異臭

異臭にはいろいろな種類がある（神田と入江 2002）。ボーンテイントは枝肉をカットした場合、不快なチーズ臭があるものである。ボアテイントは雄臭で、その臭いは主に性ホルモン由来物質とスカトールに起因している。また、青草を多給したり、放牧したりすると、テルペン類などの様々な物質が肉中に移行し、その臭い（香り）は一般的に日本人には好まれなくなる。また、他にも、各種の飼料成分は微量であっても、組織に移行することによって様々な臭いになる可能性がある。

#### 6) しまりの低下

しまりについては肉のしまりと脂肪のしまりがあり、それらは別のものである。肉のしまりの悪いものは、カット断面から肉汁が出やすく、肉もブヨブヨと軟質にみえる。赤身肉や若齢肉では注意が必要で、食味にも影響する。しまりの悪さは遺伝的背景、ストレスやある種の栄養成分の不足等が影響すると考えられているが、原因については今後のさらなる検討が必要である。

脂肪のしまりについては悪いものは軟脂と呼ばれ、ひどいものでは枝肉において半透明状態で、スライス後も脂肪が崩れてしまう。一般的には黒毛和種では脂肪のやわらかさはその特徴であるが、過度な軟脂の発生は避けた方がよい。

### 【将来方向】

#### 1) 脂肪交雑

和牛においては肉質のうち特に脂肪交雑の向上に力を入れてきた。その改良は特に黒毛和種においてめざましかったし、それらは輸入肉との競争において力強い特徴にもなった。しかし、最近では図 2 にみられるように、筋肉内脂肪含量が高くなり、多いものでは 50% を越えるな

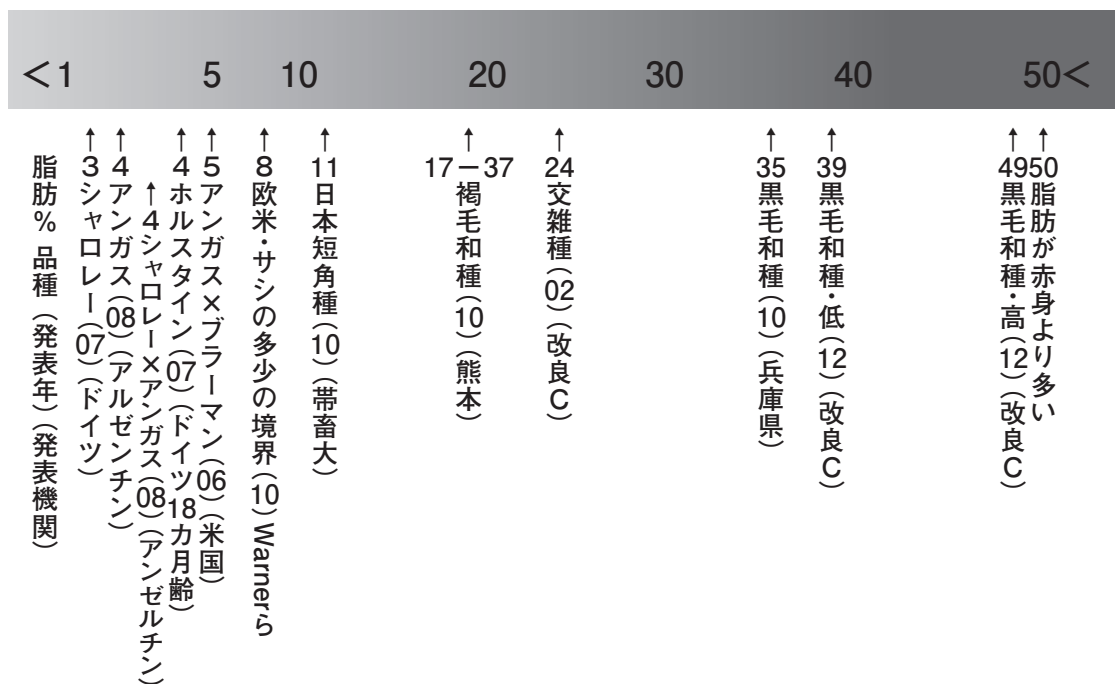


図2 胸最長筋(ロース肉)中の粗脂肪含量(%)の比較

ど、過度な蓄積が問題とされるようになり、また遺伝的な偏りが激しくなったこともあって、黒毛和種ではこれ以上の脂肪交雑の向上はおこなわないこととなった。

しかし、脂肪交雑が重要でなくなった訳ではなく、黒毛和種については依然重要であり、脂肪交雑の改良として著者らは、量よりもサシの細かさや、もも部のサシの入り方(モモ抜け)を検討することを提案している。

## 2) 脂肪の質

黒毛和種では脂肪交雑が充分高まったため、次のターゲットにしたのが脂肪の質である。和牛は、特にオレイン酸含量が高く、融点が高い

という特徴があり、融点の低さはバターなみである(図3)。融点の低さは口溶けの良さ、なめらかさをもたらし、オレイン酸自体が独特の風味をもたらす一因であるとも考えられている。つまり、食感だけでなく、舌に対する呈味として脂肪酸が影響したり、良い香りの前駆物質としてオレイン酸が役割を果たす可能性が示唆されている。脂肪の質は変動が多く、遺伝と飼養管理の影響を受けている。オレイン酸含量や一価不飽和脂肪酸含量を流通で安価に非破壊的に迅速測定するための光学評価器が開発され[2]、流通ラインで活用され、育種改良や数々のブランド牛肉生産に成果を挙げている。

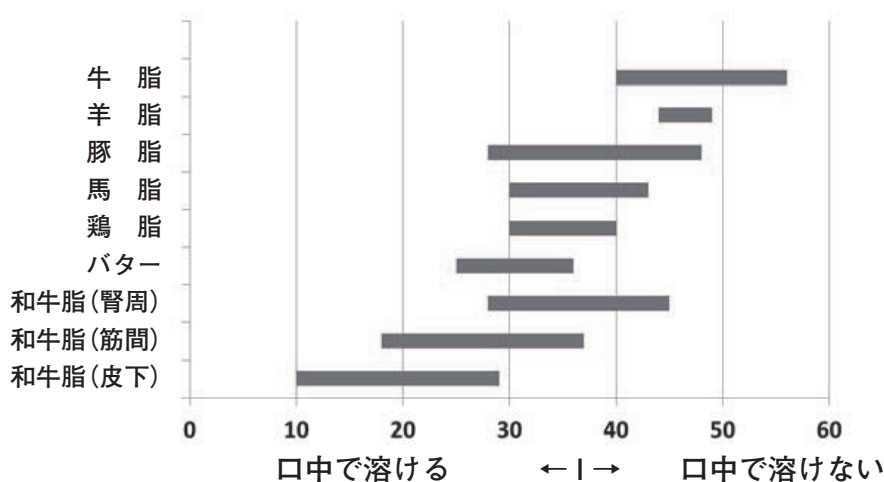


図3. 様々な動物性脂肪の融点(食品成分表と入江のデータから作成)

### 3) 肉の多様性

脂肪交雑のはいったおいしい肉はわが国で第一の消費ニーズではあるが、一方で、赤身や少しでも安価でおいしい和牛肉といったニーズが増えつつある。この対策には、日本短角種や褐毛和種などの遺伝的に赤身型である品種の活用、黒毛和種でもビタミン多給法、放牧肥育法、若齢肥育法といった飼養管理技術でサシを抑える方法などがある。また、コストを抑える方法としては、一貫経営化、若齢肥育、経産牛肥育、エコフィード利用などがあり、いずれもこれからの方向である。

遺伝的制御、飼養管理制御に次いで忘れてはならない多様性の方法が、肉の熟成などの生産物になってからの制御法である。熟成にはドライ法とウェット法があり、いずれもやわらかさなどのテクスチャーや風味成分に大きな変化をもたらすため、今後の研究の進展が期待される。

#### 【おわりに】

海外産牛肉との競争には肉の高品質化が必須である。一方で、最高級肉だけでなく、家庭で食べられる高級肉としての和牛肉がないと、子供を持つ家庭は特に輸入肉購入に傾いてしまい、わが国の食文化の継承が危ぶまれることにもなる。紹介した方法によって、もっとリーズナブルな和牛肉を生産することも必要であろう。

また海外産 Wagyu も増加しており、将来、質が良くて安価な Wagyu 肉の輸入も想定せねばならない。今は輸入品とは質で確実な差があるが、将来、質だけで競争することは難しくなる日も来るだろう。その対策を一言でいうなら、生産者の顔が見えて、安心感があり、食べ慣れて、おいしい、地元密着型の牛肉ということになる。各産地では、しっかりした戦略を立て、身近な消費者を味方につける努力を期待したい。

#### 【参考文献】

1. AMSA (American Meat Science Association). 2001. Meat Evaluation Handbook. The AMSA, Illinois.
2. 入江正和. 2015a. 肉質の評価：肉用牛の科学 (肉用牛研究会刊行、入江正和・木村信熙 監修). 養賢堂、東京、pp264-272.
3. 入江正和. 2015b. 低品質肉の発生：肉用牛の科学 (肉用牛研究会刊行、入江正和・木村信熙 監修). 養賢堂、東京、pp278-281.
4. Irie, M., Fujita, K., Sudou, K. 1999. Changes in meat color and alphatocopherol concentrations in plasma and tissues from Japanese beef cattle led by two methods vitamin E supplementation. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 12: 810-814.
5. Irie, M., Inno, Y., Ishizuka, Y., Nishioka, T., Morita, T. 2006. Vitamins A and E in Carcass fat from Japanese black and F 1 cross cattle. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 19: 1266-1270.
6. Irie, M., Kouda, M., Matono, H. 2011. Effect of ursodeoxycholic acid supplementation on growth, carcass characteristics, and meat quality of Wagyu heifers (Japanese Black cattle) J. Anim. Sci., 89: 4221-4226.
7. 石田孝史、徳永忠昭、有馬慎吾、森田哲夫、高橋俊浩、入江正和. 2013. ロジスティック回帰分析による黒毛和種枝肉における瑕疵発生に及ぼす環境および遺伝的要因の解析. 日畜会報、84: 435-442.
8. 石塚 譲、西岡輝美、大谷新太郎、入江正和. 2008. 牛枝肉暇庇“シコリ”発生に影響する諸要因. 日畜会報、79: 497-506.
9. 神田 宏、入江正和. 2002. と畜処理における肉質管理. 食肉の科学、43: 19-32.
10. 松井 徹. 2015. ビタミンC：肉用牛の科学 (肉用牛研究会刊行、入江正和・木村信熙 監修). 養賢堂、東京、pp291-293.
11. 三津本充. 1996. 総説—ビタミンEとビタミンCによる牛肉品質の改善と保持—, 日畜会報、67: 1110-1126.
12. Oka, A., Maruo, Y., Miki, T., Yamasaki, T., Saito, T. 1998. Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle. Meat Sci., 48: 159-167.
13. Ohyama, M., Matsuda, K., Torii, S., Matsui, T., Yano, H., Kawada, T., Ishihara, T. 1998. The interaction between vitamin A and thiazolidinedione on bovine adipocyte differentiation in primary culture. J. Anim. Sci., 76: 61-65.

14. 高橋 奈緒子, 撫 年浩, 木村 信熙. 2011. シコリ発生頻度の高いホルスタイン種去勢牛肥育農場における部分肉別シコリ発生分布に関する検討. 日畜会報, 82: 139-145.
15. Torii, S., Ohyama, M., Matsui, T., Yano, H. 1998. Ascorbic acid-2-phosphate enhances adipocyte differentiation of cultured stromal vascular cells prepared from bovine perirenal adipose tissue. Anim. Sci. Tech. 69: 439-444.

## Nutrition of beef cattle and meat quality - Current issues and future strategy -

Masakazu Irie

Faculty of Biological Oriented Science and Technology, Kindai University

### [Abstract]

Meat quality is important for beef production in Japan, because domestic and international circumstances for beef are changing greatly. Some nutrition control methods on meat quality improvement, the current issues and future strategy over the beef in Japan were reviewed. To improve marbling, there are the vitamin A control method, and new methods of supplemental vitamin C and ursodeoxycholic acid. Supplemental vitamin E is a method of improving the meat quality by the antioxidant activity. In meat market, various low-quality beef such as intramuscular edema, steatosis, spot, abnormal color, unusual odor, low firmness have become problems. Some possible causes of low-quality meat were stated. Although much of the causes are seemed to be due to feeding management including nutrition, further research are needed. Future improvement directions for meat quality on Wagyu were proposed. About marbling, fine small intramuscular fat and the marbling in ham are more important than the fat contents in loin. Fat quality such as oleic acid content in Japanese Black Cattle has become new objective characteristics to replace the marbling. Good results are being obtained by the use of optical evaluation device at meat market. Lean meat production and cost reduction to meet the consumption needs in Japan are also important. Methods such as vitamin supplementation, grazing, and young fattening are expected. In addition, aging method of meat also will bring about the diversification of meat.

**Key words:** Beef, Low quality beef, Marbling, Meat quality, Wagyu