

# 肉用牛に水溶性ビタミン補給は必要か

京都大学大学院農学研究科応用生物学専攻  
松井 徹

## 1. はじめに

ビタミンは、体組織の構成成分やエネルギー源としては重要ではないが、体内で合成されないか、合成されてもその量が必要量を満たさず、健康な動物において微量であるが摂取する必要がある栄養素と定義できる。ヒトでは、脂溶性のビタミンA、ビタミンD、ビタミンE、ビタミンK、水溶性ビタミンであるビタミンB群（ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>2</sub>、ナイアシン、ビタミンB<sub>6</sub>、パントテン酸、葉酸、ビオチン、ビタミンB<sub>12</sub>）とビタミンCが「ビタミン」とされている。多くの動物や家禽では、ビタミンCは体内で十分な量が合成されると考えられているため「ビタミン」から除かれているが、コリンは、ブタや家禽では体内での合成量が必要量を満たさず、摂取する必要があるため、「ビタミン」に加えられている。

ビタミンの定義を満たしていないが、生理状態によってはその摂取が健康に貢献すると考えられているカルニチン、myo-イノシトールや補酵素Qなどいわゆる機能性成分は、ビタミン様物質または準ビタミンとされている。

## 2. 反芻胃内における水溶性ビタミン代謝

反芻胃が未熟な子牛では、単胃動物と同様にビタミンB群摂取が必須であるが、反芻胃の発達とともに、ウシにとって必要な量のビタミンB群を反芻胃内微生物が合成するようになるので、育成牛や肥育牛ではビタミンB群は必須ではないとされてきた（NRC, 2001）。

下記に示すように、反芻胃内におけるビタミンB群のみかけの合成を検討した報告がいくつかあるが、これらにより、必ずしも反芻胃内で全てのビタミンB群が合成されているのではないことが示されている。45%乾草と45%トウモロコシからなる飼料を給与された交雑種育成牛では、葉酸とパントテン酸の十二指腸移行量が摂取量を下回ることが報告されている（Zinnら, 1987）。Millerら（1986）は肥育牛に粗濃比の異なる飼料を給与し、反芻胃内ではビタミンB<sub>1</sub>のみかけの分解は合成を上回っており、分解は濃厚飼料多給で促進されること、濃厚飼料多給によりみかけのナイアシン合成が増加すること、反芻胃内におけるのみかけのビオチン合成はわずかであり、濃厚飼料の給与が少ない場合はその分解は合成を上回ることが報告している。Schwabら（2006）は、泌乳牛では、給与飼料中デンプン含量が高まると反芻胃内におけるナイアシン、ビタミンB<sub>6</sub>、葉酸のみかけの合成量が増加し、ビタミンB<sub>12</sub>のみかけの合成量が減少することを示すとともに、給与飼料に関係なくビオチンの十二指腸移行量が摂取量を下回ることが報告している。Santschiら（2005）は、TMRを給与された泌乳牛では、添加したビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>6</sub>、ビオチン、ビタミンB<sub>12</sub>の反芻胃内における分解は70%を下回ることが示し、これらビタミンの摂取量と反芻胃内のみかけの合成量を考慮すると、ウシにおけるビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>6</sub>、ビオチン栄養は飼料に依存していることを推察している。

給与飼料が反芻胃内におけるビタミンB群合成に影響を及ぼしていることは明らかであり、ビタミンB<sub>6</sub>とビオチンなどの栄養は、反芻胃内における合成ではなく、給与飼料に依存している可能性がある。また、肥育牛を用いた試験では、Millerら（1986）が示したようにビタミンB<sub>1</sub>栄養も飼料に依存している可能性があるが、ビタミンB<sub>1</sub>は反芻胃から効率よく吸収されることが知られており、反芻胃におけるみかけのビタミンB<sub>1</sub>分解には、その吸収が含まれていると考えられる。

なお、ビタミンCやコリンは、飼料に含まれるほとんどが反芻胃内で分解されるため、その栄養は体内合成に依存していると考えられる。

### 3. 成反芻動物で明瞭な欠乏症が生じる水溶性ビタミン

反芻動物で、明瞭な欠乏症が生じる水溶性ビタミンとしてはビタミンB<sub>1</sub>とB<sub>12</sub>がある。

抗ビタミンB<sub>1</sub>としてビタミンB<sub>1</sub>分解酵素であるチアミナーゼが知られている。チアミナーゼにはチアミナーゼI（EC 2.5.1.2）とチアミナーゼII（EC 3.5.99.2）がある。チアミナーゼIは、シダ類に含まれている。また、濃厚飼料を急激に増給すると生じる乳酸アシドーシス時には、反芻胃内のチアミナーゼIが増加する。したがって、シダ類の多量摂取や濃厚飼料の急激な増給により、反芻胃内でビタミンB<sub>1</sub>が速やかに分解され、欠乏となるリスクが高まる。ビタミンB<sub>1</sub>は糖質代謝に必要であり、その欠乏により中枢神経に障害が生じる。反芻動物における典型的なビタミンB<sub>1</sub>欠乏症としては、灰白脳軟化症が知られている（McDowell, 1989）。イオウの過剰摂取でも、反芻胃内でのビタミンB<sub>1</sub>分解促進や合成抑制が生じ、ビタミンB<sub>1</sub>欠乏を生じる（Olkowskiら, 1991）。一方、イオウを過剰摂取した肉牛における灰白脳軟化症の発症機作として、体内におけるビタミンB<sub>1</sub>代謝異常が原因であるとする論文もある（Amatら, 2013）。

ビタミンB<sub>12</sub>はコバルトを必須な構成成分としている。このビタミンは微生物によってのみ合成される。反芻胃内微生物もビタミンB<sub>12</sub>を合成するが、コバルトが不足すると合成量は著しく減少する（Stanglら, 2000）。したがって、反芻動物で生じるビタミンB<sub>12</sub>欠乏はコバルト欠乏に起因している。ビタミンB<sub>12</sub>はプロピオン酸からオキサロ酢酸を介した糖新生経路におけるメチルマロニルCoAからスクシニルCoAへの反応に必須である。反芻動物においてプロピオン酸は主要な糖新生の基質であるので、この糖新生経路は特に重要である。また、ビタミンB<sub>12</sub>は、生体内におけるコリンの合成ならびに葉酸の利用など1炭素単位の代謝にも必須である。ビタミンB<sub>12</sub>の典型的な欠乏症としては悪性貧血が知られているが、これは、葉酸代謝異常に起因する。

### 4. ナイアシンとビオチンの補給効果

ビタミンなどの栄養素の強度の欠乏では、典型的な欠乏症が生じるが、軽度の欠乏では典型的な欠乏症が発症せず、いわゆる「未病」状態となり、生産性などに影響する場合があると考えられる。このような状態の場合は、その栄養素の補給効果により、栄養素の過不足を検討することになる。

ナイアシンは、反芻胃内で合成され、動物の体内でもトリプトファンから合成される。Byers（1981）は、14報の論文をとりまとめ、フィードロットへ導入した育成牛において、導入直後のナイアシン補給が増体と飼料効率を改善することを報告している。また、ナイアシン補給は反芻胃内発酵に影響を及ぼし、繊維消化や微生物体タンパク質合成を促進することも報告されている。ビオチンは正常なケラチン

合成に必要である。Campbellら（2000）は、ヘレフォード種雌肥育牛に対してビオチン補給の介入試験を行い、ビオチンが蹄の亀裂発生を抑制するとともに、蹄の強度を改善することを報告している。

ビオチンは糖代謝や脂肪酸合成に関連する酵素の補酵素としても機能している。ビオチン補給は、遺伝的能力が高い肥育牛では脂肪交雑に影響しないが、遺伝的能力が低い肉牛では脂肪交雑を改善することが示唆されている（Norton & Elliott, 2004）。また、同じグループのLawrenceら（2007）は、和牛/アンガス牛交雑種を用いた試験で、ビオチン補給が筋肉内脂肪含量を高める傾向がある（ $P=0.06$ ）ことを報告している。最近、黒毛和種肥育牛に対するビオチンとビタミンB<sub>6</sub>を補給した野外試験が報告された（石井順一郎ら, 2014 第52回肉用牛研究会大会講演要旨, 15-18）。この報告では5つの補給試験が行われており、ビオチンとビタミンB<sub>6</sub>補給により、2つの試験では脂肪交雑が有意（ $P<0.05$ ）に向上し、他の3つの試験では脂肪交雑向上傾向（ $P<0.10$ ）が認められている。

## 5. ビタミンC

泌乳牛では、乳房炎（Weissら, 2004）、暑熱ストレス（Padillaら, 2006）、肝臓機能障害（Padillaら, 2007）により、ビタミンCの栄養状態の指標である血漿中ビタミンC濃度が低下することが報告されている。また、ビタミンC投与により、乳房炎が軽減することも報告されている。肥育に伴って血漿中ビタミンC濃度は低下する（Matsui, 2012）。ウシ脂肪細胞の分化をビタミンCが促進することが報告されて以来（Toriiら, 1998）、国内では、肥育牛に対する「バイパス」ビタミンC補給試験が開始されている。これら試験では、供試頭数が少ないこともあり、脂肪交雑向上が明瞭にならない場合も多いが、広岡（2009）は、17のビタミンC補給試験のデータを用いたメタ分析によって、ビタミンC補給により脂肪交雑は有意に向上することを報告している。海外では、イオウ過剰摂取時に生じる脂肪交雑減少に対するビタミンC補給試験が同じグループから2つ報告されており（Poggeら, 2013ab）、そのうち1報ではビタミンC補給により脂肪交雑を改善することが示されている（Poggeら, 2013a）。

## 6. おわりに

ウシにおけるビタミンB<sub>6</sub>、ビオチンなどの栄養は、給与飼料に依存している可能性がある。また、特殊な飼料を摂取したウシではビタミンB<sub>1</sub>とビタミンB<sub>12</sub>欠乏が生じる。

ナイアシン補給による育成牛の増体促進効果や、ビオチン補給による蹄質改善効果と脂肪交雑向上効果が報告されている。また、肥育の進行に伴い血漿中ビタミンC濃度が低下することから、肥育後期にはビタミンCが不足している可能性があり、ビタミンC補給が脂肪交雑を向上する可能性がある。水溶性ビタミン補給による生産性向上などは、一貫した結果が得られない場合が多い。この原因としては、水溶性ビタミンの反芻胃内や体内での合成量やビタミンの必要量がウシの状態によって変化することが考えられる。加えて、ビタミンの栄養が飼料に依存している場合は、飼料中のビタミンの量やその利用性も関連する。したがって、ウシにおけるこれら水溶性「ビタミン」の効果は「条件付き」となる。

日本国内における肉牛の肥育では強度の濃厚飼料多給が行われており、反芻胃内

における水溶性ビタミン代謝は海外での報告が当てはまらない可能性がある。日本独特の肥育方法における水溶性ビタミン代謝ならびにその補給効果をさらに検討する必要がある。

#### 引用文献

- Amat, S., McKinnon, J. J., Olkowski, A. A., Penner, G. B., Simko, E., Shand, P. J. and Hendrick, S. (2013) Understanding the role of sulfur-thiamine interaction in the pathogenesis of sulfur-induced polioencephalomalacia in beef cattle. *Res. Vet. Sci.* 95: 1081-1087.
- Byers, F. M. (1981) Another look at niacin [Requirements for ruminants]. *Anim. Nutr. Health* 36: 36-43.
- Campbell, J. R., Greenough, P. R. and Petrie, L. (2000) The effects of dietary biotin supplementation on vertical fissures of the claw wall in beef cattle. *Can. Vet. J.* 41: 690-694.
- Chaiyotwittayakun, A., Erskine, R. J., Bartlett, P. C., Herd, T. H., Sears, P. M. and Harmont, R. J. (2002) The effect of ascorbic acid and L-histidine therapy on acute mammary inflammation in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85: 60-67.
- 広岡博之 (2009) 黒毛和種肥育牛におけるビタミンC投与がBMSナンバーに及ぼす影響: メタアナリシスによるアプローチ. *肉用牛研究会報* 87: 37-40.
- Lawrence, R. J. Doyle, J. C., Elliott, R., Norton, B. W. and Loxton, I. (2007) Effect of biotin supplementation on meat quality of F1 Wagyu/Black Angus feedlot steers of known genotype. *Meat Sci.* 77: 228-237.
- Matsui, T. (2012) Vitamin C nutrition in cattle. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 25: 597-605.
- McDowell, L. R. (1989) *Vitamins in animal nutrition*. Academic Press, New York, USA.
- Miller, B. L., Meiske, J. C. and Goodrich, R. D. (1986) Effects of grain source and concentrate level on B-vitamin production and absorption in steers. *J. Anim. Sci.* 62: 473-483.
- Norton, B. W. and Elliott, R. (2004) New perspectives on vitamin supplements for ruminant production systems in Asia and the Pacific. *Proc. Internatl. Symp. Rec. Adv. Anim. Nutr.* 23, 116-131.
- NRC. (1996) *Nutrient Requirement of Beef Cattle*, seventh ed. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
- Olkowski, A. A., Rousseaux, C. G. and Christensen, D. A. (1991) Association of sulfate-water and blood thiamine concentration in beef cattle: field studies. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 825-832.
- Padilla, L., Matsui, T., Kamiya, Y., Kamiya, M., Tanaka M. and Yano, H. (2006) Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows. *Livest. Sci.* 101: 300-304.
- Padilla, L., Matsui, T., Shibano, K., Katamoto, H. and Yano, H. (2007) Relationship between plasma vitamin C and serum diagnostic biochemical markers in lactating cows. *J. Vet. Med. Sci.* 69: 909-913.
- Pogge, D. J. and Hansen, S. L. (2013a) Supplemental vitamin C improves marbling in

- feedlot cattle consuming high sulfur diets. *J. Anim. Sci.* 91: 4303-4314.
- Pogge, D. J. and Hansen, S. L. (2013b) Effect of varying concentrations of vitamin C on performance, blood metabolites, and carcass characteristics of steers consuming a common high-sulfur (0.55% S) diet. *J. Anim. Sci.* 91: 5754-5761.
- Santschi, D. E., Berthiaume, R., Matte, J. J., Mustafa<sup>1</sup>, A. F. and Girard, C. L. (2005) Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 2043-2054.
- Schwab, E. C., Schwab, C. G., Shaver, R. D., Girard, C. L., Putnam, D. E. and Whitehouse, N. L. (2006) Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 174-187.
- Stangl, G. I., Schwarz, F. J., Müller, H. and Kirchgessner, M. (2000) Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B<sub>12</sub>, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *Br. J. Nutr.* 84: 645-653.
- Torii, S., Ohyama, M., Matsui, T. and Yano, H. (1998) Ascorbic acid-2-phosphate enhances adipocyte differentiation of cultured stomal vascular cells prepared from bovine perirenal adipose tissue. *Anim. Sci. Technol. (Jpn)* 69: 439-444.
- Weiss, W. P., Hogan, J. S. and Smith, K. L. (2004) Changes in vitamin C concentrations in plasma and milk from dairy cows after an intramammary infusion of *Escherichia coli*. *J. Dairy Sci.* 87: 32-37.
- Zinn, R. A., Owens, F. N., Stuart, R. L., Dunbar, J. R. and Norman, N. N. (1987) B-vitamin supplementation of diets for feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 65: 267-277.