

総説

子牛の栄養・代謝の特異性

久米新一

京都大学大学院農学研究科
(〒 606-8502 京都市左京区北白川追分町)

【はじめに】

子牛の栄養と代謝は成牛と比較すると特異性が大きい、子牛の栄養管理では発育の改善とともに下痢などの疾病予防が欠かせない。このことはホルスタイン種子牛でも黒毛和種子牛でも同じであるが、子牛の栄養管理は乳牛と和牛の生産性向上と密接に関連している。

わが国では乳牛の遺伝的能力の改良と飼養管理の改善により、現在では多くの酪農家で1万kgレベルの高泌乳牛が飼養されているが、乳用子牛では高泌乳牛の遺伝的能力(乳生産)を発揮できるように、哺乳・育成期から栄養管理を改善することが求められている。それに対して、和牛子牛では従来からの母子同居・自然哺乳による子牛育成だけでなく、早期母子分離・人工哺乳による子牛育成が増加し、また哺乳ロボットによる子牛育成も増えている。筆者は畜産技術協会が平成19年に発刊した「和牛子牛を上手に育てるために一和牛子牛の損耗防止マニュアル」の作成に委員として参画したが、和牛子牛では多様化した子牛育成に対応できる栄養管理が必要である[3]。

【乳用子牛の発育改善と栄養管理】

乳用子牛の栄養管理の目標としては、農家の収益向上のために早期離乳(6週齢)と初産月齢の早期化(21カ月齢)が求められる。米国では乳牛の初産月齢の早期化に関する研究が1990年代に精力的に実施され、初産月齢が21

カ月でも増体を適正に保つと初産時の乳量が9,000kgを超え、その後の乳生産や繁殖成績にも問題のなかったことが報告されている[13]。

初産月齢の早期化は育成期の高タンパク質・高エネルギーの栄養管理によって達成できたが、その後、哺乳期の栄養管理でも同様の研究が数多く実施された。ホルスタイン種子牛を用いた研究成果[1]から、従来よりも高タンパク質(乾物当たりで25.8%)で低脂肪(乾物当たりで14.8%)の代用乳給与は、子牛の増体や体組成の改善に優れていることが報告されている。特に、高タンパク質の代用乳給与では子牛の増体や飼料効率が改善されるだけでなく、体脂肪を減らし、体タンパク質を増やす効果が、また低脂肪の代用乳給与により体脂肪を減らす効果が認められている[3]。

子牛の発育改善では体重と体高を高めることが必要であるが、育成期の高タンパク質・高エネルギーの栄養管理は体重と体高を同時に高める効果が高い。図1には北海道農業研究センターの育成牛40頭の体重と体高の推移を示したが、12カ月齢の牛の体重(366kg)と体高(127cm)がほぼ受精開始時期の目安(体重350kg、体高125cm)に達しているため、わが国でも12カ月齢で種付けし、初産月齢21カ月を達成することが十分に可能といえる。また、出生直後の子牛の生存率を低下させる最大の要因は難産であり、初産牛から生まれた子牛の致死率は経産牛から生まれた子牛の致死率より高いが、図1のように育成牛の発育が改善できると初産牛の難産を防止できる効果が高い[6,8]。

受理：2013年3月15日

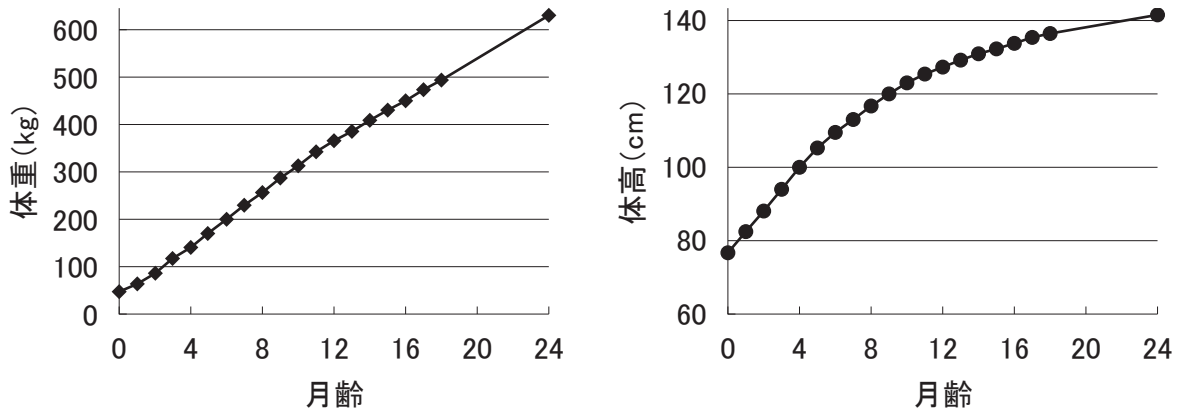


図1 ホルスタイン種子牛の哺乳期・育成期の体重と体高の変動 (n = 40)

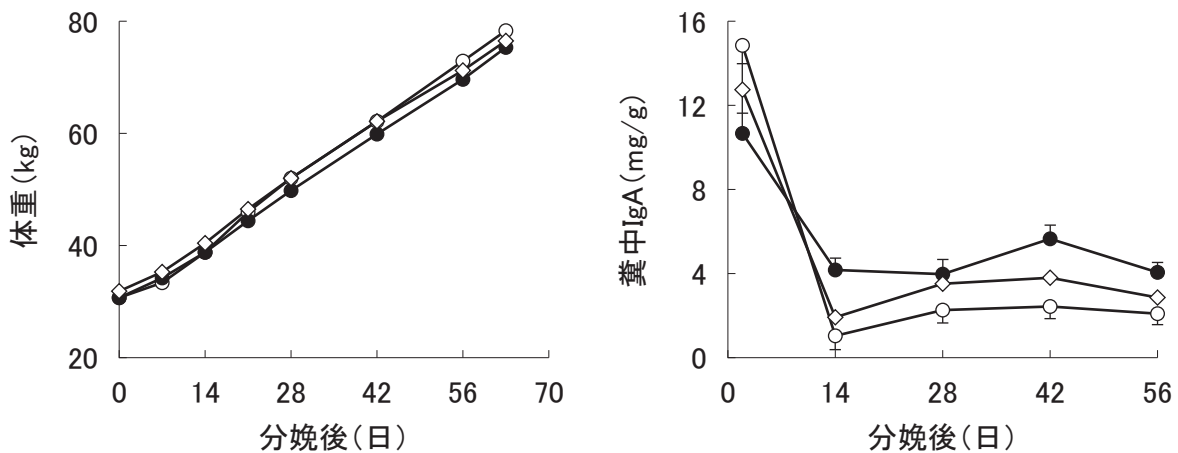


図2 対照区 (○)、WS区 (◇) とホエー区 (●) の和牛子牛の体重と糞中 IgA 含量

[和牛子牛の発育改善と栄養管理]

和牛子牛の栄養管理は多様であるが、乳用子牛と同様に哺乳期の高タンパク質・低脂肪と育成期の高タンパク質・高エネルギーの栄養管理は、和牛子牛の発育改善効果が期待できる。またわが国では子牛用代用乳のタンパク質源として主に脱脂乳が使われているが、チーズ製造時の副産物であるホエーはアミノ酸組成が優れ、良質なタンパク質源であるため、近年、代用乳への利用が注目されている。

表1は高タンパク質・低脂肪のホエー主体あるいは脱脂乳主体の代用乳の組成を示しているが、これらの3種類の代用乳を黒毛和種子牛63頭に3日齢から60日間給与した [14]。子牛にはカーフスターター（人工乳）と乾草も給与しているが、飼料摂取量と増体率に代用乳の影響は認められず、各試験区とも順調に発育していた（図2）。

この試験では子牛の下痢発生率に代用乳によ

表1 代用乳の成分と組成

	対照区	WS区	ホエー区
組成			
脱脂乳、%	66.3	28.5	0
ホエー、%	10.5	47.8	74.0
成分			
CP、%	26.3	26.4	26.1
粗脂肪、%	17.2	17.3	17.3
TDN、%	105.5	105.0	105.1

る影響は認められなかったが、糞中の IgA 含量はホエー区で最も高く推移していた。IgA は子牛の小腸粘膜を保護して病原菌や有害微生物の腸管からの侵入を防いでいるが、ホエータンパク質の給与によって黒毛和種子牛の糞中 IgA 含量が増加したことから、ホエータンパク質には腸管における IgA の産生を促進する効果のあることが認められた。したがって、アミノ酸組成に優れたホエータンパク質は子牛のタンパク質利用率を改善するだけでなく、腸管免疫を高める効果が期待できる。

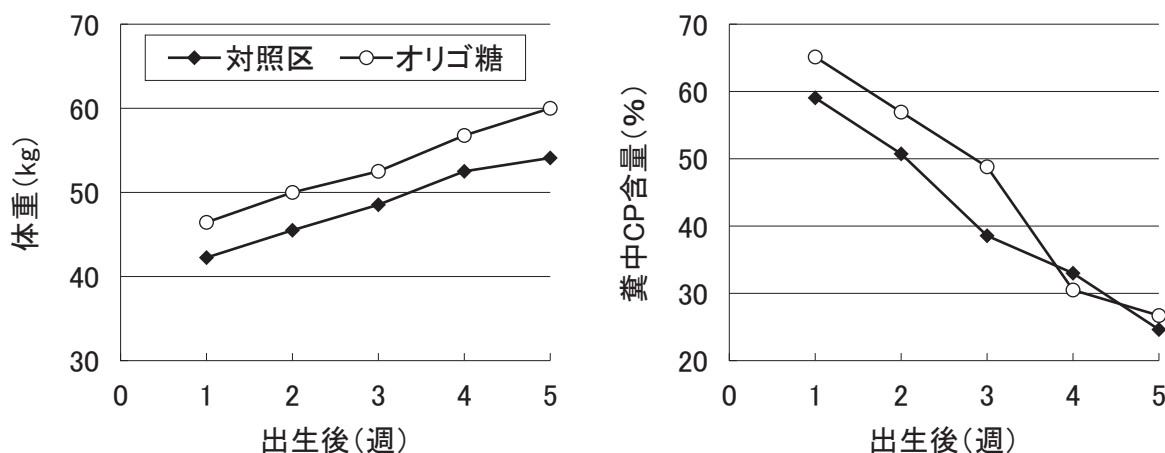


図3 ホルスタイン種子牛の体重と糞中 CP 含量の変動 (n = 10)

[子牛の栄養と代謝の特異性]

乳用子牛と和牛子牛の発育改善と栄養管理の関係を前述したが、子牛の栄養と代謝は哺乳期の特異性が非常に大きい。特に、新生子牛のタンパク質の消化機能は生後3週齢までは乳以外の消化が不十分なため、3週齢までは母乳あるいは乳タンパク質を主体にした代用乳の給与が欠かせない。また、多量の不飽和脂肪酸を含む植物性油脂は子牛の消化がよくないため、生後3週齢までの子牛の栄養管理では母乳と代用乳を主体に給与し、カーフスターター、乾草などを組み合わせて養分要求量を満たすことが必要になる。

生後3週齢以降の子牛は、代用乳、カーフスターターなどの給与量が離乳時期などによって異なるものの、子牛の発育改善と損耗防止を可能にする栄養管理が求められる。この時期の栄養管理ではエネルギーとタンパク質を充足させることが最も重要なポイントであり、子牛の栄養状態が良好になれば下痢、肺炎などによる疾病が減少し、発育が改善する。また、子牛の早期離乳では固形飼料の摂取によるルーメンの発達が不可欠なため、嗜好性がよく、高品質なカーフスターターの給与量を徐々に増やすことが効果的である。

図3は、ガラクトオリゴ糖を4日齢のホルスタイン種子牛に4週間給与した際の増体と糞中CP含量を示している [5]。子牛の増体率はほぼ順調であったが、出生直後の糞中のCP含量(47%)はやや低く、1週齢で最高値を示し、その後5週齢まで急激に減少している。このこ

とから、哺乳期のタンパク質代謝は非常に変動が大きいと、利用効率の高いタンパク質源を活用することが重要である。

[出生直後の子牛の栄養改善と母牛の栄養管理]

新生子牛の健康状態は飼養管理や衛生管理の不備、病原菌による感染など、さまざまな要因に影響される。特に、出生直後の新生子牛は栄養状態や健康状態を適切に維持するために、栄養成分や免疫成分を豊富に含んでいる初乳を十分に摂取することが欠かせない。しかし、初乳成分や初乳量は母牛の栄養状態に大きく影響され、母牛の分娩前後の栄養状態が適切でないと新生子牛の健康状態は悪化する。

筆者は高泌乳牛の乳生産の増加、周産期病の予防、繁殖成績の向上などのために、移行期(分娩3週間前から分娩3週間後の期間)の栄養管理が非常に重要なことを報告している [4] が、移行期の栄養管理が改善できると高泌乳牛の生産性向上だけでなく、新生子牛の栄養状態や免疫状態も改善できる。近年、高泌乳牛では移行期の重要性が周知されてきたが、黒毛和種繁殖雌牛では分娩前後の栄養管理への関心はまだそれほど高くない。ホルスタイン種子牛と比較すると、黒毛和種子牛は虚弱なため、黒毛和種繁殖雌牛では分娩前後の栄養管理の改善が今後の重要な課題といえる。

[出生直後の子牛の健康維持と栄養管理]

黒毛和種とホルスタイン種では、初乳成分の含有量が異なることも特異性の一つである(表2)。初乳中には免疫グロブリン、ラクトフェリン

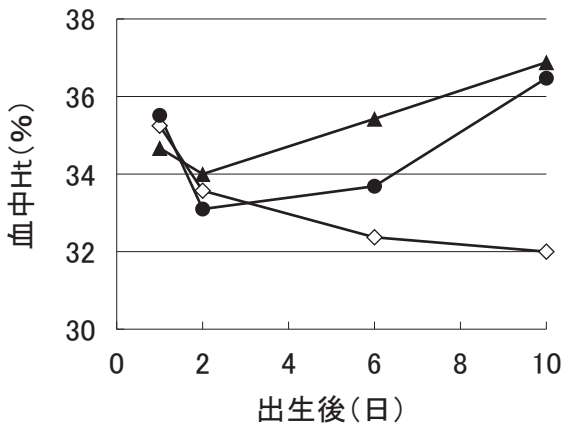


図4 対照区 (◇)、鉄投与 (40mg/日) 区 (●)、鉄 + ラクトフェリン (5g/日) 投与区 (▲) の子牛の血中ヘマトクリット値 (n = 36)

ンなど、免疫と関連するタンパク質が非常に多く含まれているため、初乳は受動免疫による新生子牛の健康維持に非常に重要な役割をはたしている [2, 3, 7]。しかし、ホルスタイン種と黒毛和種の初産牛では初乳中の IgG 含量が経産牛よりも低く、初産牛から生まれた子牛は初乳を必要量給与しても IgG 摂取量の不足することがある [7]。そのため、米国では初乳中の比重から IgG 含量を推定し、初産牛の初乳のように IgG 含量が低い場合には経産牛の冷凍保存した初乳や市販の免疫グロブリン製剤を利用することが推奨されている。

一方、出生直後の黒毛和種子牛には母牛が直接授乳しているため、母牛の栄養状態がよくない場合には子牛の IgG 摂取量が不足しやすい。また、黒毛和種の初乳はホルスタイン種よりも IgG 含量が高いため、受精卵移植で生まれた和牛子牛の人工哺乳など、和牛子牛に乳牛の初乳を利用する場合には IgG の補給が必須になる。

出生直後の子牛は体温を一定に保つことが困難なため、栄養面では初乳からのエネルギーの充足が最も重要である。出生直後の子牛の主要なエネルギー源としては乳糖と乳脂肪があげられるが、初乳中の乳糖含量は常乳よりも低いことから、乳脂肪の多い初乳ほどエネルギー源として優れていることになる。しかし、乳中の脂肪含量は品種間よりも個体毎の変動が非常に大きいため、低脂肪の初乳を給与している場合には代用乳などによるエネルギーの補給が必要といえる。また初乳中にはカルシウム、リン、マグネシウムなどが常乳の2倍以上含まれ、子牛

表2 黒毛和種とホルスタイン種の牛の初乳成分

	黒毛和種		ホルスタイン種	
	分娩直後	6日後	分娩直後	6日後
全固形分率、%	27.2	14.2	27.0	13.3
タンパク質率、%	18.1	4.3	14.4	3.7
脂肪率、%	4.2	3.9	6.2	4.2
乳糖率、%	2.7	4.9	2.6	4.2
Ca, mg/100g	200	161	238	136
P, mg/100g	190	144	199	108
Mg, mg/100g	35	12	35	11
Na, mg/100g	50	38	64	52
K, mg/100g	145	147	151	154
Fe, ppm	0.8	0.2	2.5	1.0
Zn, ppm	24	6	22	5
ビタミンA, μg/100g	456	41	176	35

の骨の発育などに重要な役割をはたしている。新生子牛は体内組織に酸素を十分に運搬して代謝機能を高めることが必要であるが、新生子牛が貧血になり、必要量の酸素を運搬できなくなると、エネルギー代謝が減退するだけでなく、子牛の免疫機能が低下する。子牛の貧血はミネラルによる機能障害の代表的なものの一つであるが、受精卵移植による双子分娩や初産牛から生まれた子牛では貧血になりやすい特徴がある [7, 8]。そのため、貧血気味の子牛には鉄剤などを補給することによって貧血を改善することが必要であるが、図4で示したようにラクトフェリンには貧血を早期に改善できる機能がある [8]。

[子牛の下痢予防と栄養管理]

初乳中の IgG による疾病予防効果はそれほど長くは持続せず、子牛の下痢発生は5日齢から3週齢にかけて多くなるなど、初乳を適量給与しても子牛の健康状態は阻害されやすい。したがって、前述したホエー給与による腸管の IgA 産生の増加のように、子牛の能動免疫を高める栄養管理が重要になる。

表3の6日齢のホルスタイン種子牛には下痢が発生しているが、下痢になると水分だけでなく、ナトリウム、カリウムなどの電解質が大量に糞中に排泄され、体内の電解質代謝が阻害される [3]。また、子牛が下痢状態になると血漿中グルコース濃度が低下し、エネルギー不足になることが認められたため、子牛が下痢になった場合にはブドウ糖や生理食塩水による輸液療法が効果的といえる。

子牛の下痢発生にはさまざまな要因が関与しているが、IgA は子牛の小腸粘膜を保護し、病

表3 6日齢の子牛の下痢と電解質の関係

	正常	軟便	下痢
頭数	39	9	4
糞 (NaとKは乾物当たり)			
水分, %	73.4 ^a	81.6 ^b	87.1 ^c
Na, %	0.38 ^c	0.64 ^b	1.30 ^a
K, %	0.47 ^b	0.55 ^b	0.85 ^a
血漿			
Na, mg/dl	321.3 ^b	318.7 ^b	360.0 ^a
K, mg/dl	20.0 ^b	22.0 ^a	23.6 ^a

^{a, b, c} P < 0.05.

原菌の体内への侵入を防ぐことで下痢の発生を予防している。特に、出生直後の子牛は腸管でIgAを産生すること（能動免疫）ができないため、能動免疫が十分なレベルに達するまでは母乳からIgAを得ること（受動免疫）で下痢を予防している。しかし、初乳中のIgG含量と比較すると、初乳中のIgA含量は非常に低いいため、子牛では下痢などの疾病発生のリスクが高まる。そのため、子牛の下痢予防では母乳から移行するIgA量を増やし、受動免疫を高水準に保つとともに、子牛によるIgAの産生を促進し、新生子牛の能動免疫を早期に高めることが必要である。

飼料中には栄養素だけでなく、家畜の生理機能や免疫機能を高める機能性成分が含まれている。子牛の下痢予防では子牛の栄養状態を良好に保つとともに、飼料中の機能性成分を活用することが効果的である。特に、草食動物である牛は牧草中に豊富に含まれているβ-カロテンやビタミンEなどを有効活用して健康を維持しているが、濃厚飼料の多給などによってβ-カロテンなどの摂取量が不足すると、母牛だけでなく、新生子牛の健康状態も阻害されることになる。例えば、子牛の血漿中β-カロテン濃度は出生直後には非常に低いものの、初乳中のβ-カロテンを体内に効率よく取り込んで、下痢の予防などに利用している。しかし、母牛の牧草摂取量が不足して初乳中のβ-カロテンが少なくなると、子牛体内に取り込まれるβ-カロテンが不足し、子牛に下痢が発生しやすくなる[9]。

子牛は下痢や腸内感染があると脂肪の消化率が低下し、β-カロテンなどの脂溶性ビタミンの吸収量も減少する。β-カロテンなどのカロテノイドによる免疫賦活効果には、レチノイン酸を介した効果と抗酸化作用による効果が報告

されている[12]。筆者らは泌乳マウスにβ-カロテンを投与したところ、回腸の腸管関連リンパ組織におけるIgA産生細胞数が増加し、乳腺のIgA産生細胞数と乳中へのIgA分泌量が増加した[10, 11]ことから、β-カロテンには腸管免疫改善効果のあることが認められた。しかし、子牛で実施したβ-カロテン給与試験では明確な効果が認められなかった[11]ことから、新規の試験を検討しているところである。

【おわりに】

ヒトでは、乳幼児の栄養改善が発展途上国を中心にした生存率向上・人口増加に多大な貢献をしたことがよく知られている。家畜でも栄養管理の改善により子牛の増体率は向上しているものの、新生子牛では下痢、肺炎などによる致死率が依然として高いため、健康状態を適正に保持することが求められている。したがって、子牛の発育改善と疾病予防に適した栄養管理法の開発は今後もさらなる研究が必要といえる。

【引用文献】

- Blome, R. M., Drackley, J. K., McKeith, F. K., Hutjens, M. F. and McCoy, G. C. 2003. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. *J. Anim. Sci.* 81: 1641-1655.
- Ishikawa, H., Serizawa, S., Ahiko, K., Asai, Y., and Seike, N. 1992. Changes in the chemical composition of colostrum from Japanese Black cows. *Anim. Sci. Tech. (Jpn)*. 63: 1153-1156.
- 久米新一. 2007. 子牛の栄養と発育. 和牛子牛を上手に育てるために一和牛子牛の損耗防止マニュアル. 畜産技術協会. 東京. pp.58-62.
- 久米新一. 2012. 高泌乳牛の周産期病の発生要因と栄養管理によるその予防. 畜産の研究. 66: 247-254.
- 久米新一, 長野京子, 木村一雅. 2006. 子牛の健康状態・ミネラル代謝におよぼすガラクトオリゴ糖給与の影響. 微量栄養素研究. 23: 22-27.
- Kume, S., Nonaka, K. and Oshita, T. 2003. Relationship between parity and mineral status in dairy cows during the periparturient period. *Anim. Sci. J.* 74: 211-215.

7. Kume, S. and Tanabe, S. 1993. Effect of parity on colostrum mineral concentrations of Holstein cows and value of colostrum as a mineral source for newborn calves. *J. Dairy Sci.* 76: 1654-1660.
8. Kume, S. and Tanabe, T. 1996. Effect of supplemental lactoferrin with ferrous iron on iron status of newborn calves. *J. Dairy Sci.* 79: 459-464.
9. Kume, S. and Toharmat, T. 2001. Effect of colostrum β -carotene and vitamin A on vitamin and health status of newborn calves. *Livest. Prod. Sci.* 68: 61-65.
10. Nishiyama, Y., Sugimoto, M., Ikeda, S. and Kume S. 2011. Supplemental β -carotene increases IgA secreting cells in mammary gland and IgA transfer from milk to neonatal mice. *Brit. J. Nutr.* 105: 24-30.
11. Nishiyama, Y., Yasumatsuya, K., Kasai, K., Sakase, M., Nishino, O., Akaike, M., Nagase, T. Sugimoto, M., Ikeda, S. and Kume, S. 2011. Effects of supplemental β -carotene with whey on IgA transfer from maternal milk and mucosal IgA induction in neonatal mice and calves. *Livest. Sci.* 137: 95-100.
12. Rühl, R. 2007. Effects of dietary retinoids and carotenoids on immune development. *Proc. Nutr. Soc.* 66: 458-469.
13. Van Amburgh, M. E., Galton, D. M., Bauman, D. E., Everett, R. W., Fox, D. G., Chase, L. E. and Erb, H. N. 1998. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *J. Dairy Sci.*, 81: 527-538.
14. Yasumatsuya, K., Kasai, K., Yamanaka, K., Sakase, M., Nishino, O., Akaike, M., Mandokoro, K., Nagase, T. and Kume, S. 2012. Effects of feeding whey protein on growth rate and mucosal IgA induction in Japanese Black calves. *Livest. Sci.* 143: 210-213.

Nutrition and metabolism in calves

Shinichi Kume

Graduate School of Agriculture, Kyoto University
(Kyoto 606-8502, Japan)