

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

久米新一¹⁾, 長野京子²⁾, 木村一雅³⁾

(¹⁾京都大学大学院農学研究科*, (²⁾鹿児島県畜産試験場**, (³⁾ヤクルト中央研究所***)

Effects of Galacto-oligosaccharides Supplementation on Health and Mineral Status in Dairy Calves

Shin'ichi KUME¹⁾, Kyoko NAGANO²⁾ and Kazumasa KIMURA³⁾

¹⁾Graduate School of Agriculture, Kyoto University, ²⁾Kagoshima Prefectural Livestock Experiment Station,

³⁾Yakult Central Institute for Microbiological Research

Summary

Data from 54 Holstein calves were collected to clarify the relationships between energy, protein and mineral status and fecal consistency in newborn calves at 6 day of age in Experiment 1. The occurrence of diarrhea decreased plasma glucose of calves at 6 days of age, and the rapid loss of P, Mg, Na and K into the feces was due to the development of diarrhea in calves. Ten female calves at 4 days of age were assigned to two groups in a 28-days control and supplemented with 20g of galacto-oligosaccharides (GOS)/day in Experiment 2. The diarrhea occurred in 4 untreated calves and 3 calves treated with GOS during 3 to 4 weeks after the treatment. Daily gains and rectal temperatures of calves were not affected by the GOS supplementation. Fecal DM of calves treated with GOS was higher than that of untreated calves, but fecal DM of the calves untreated and treated with GOS at week 4 was below 15%. The supplementation of GOS decreased plasma NEFA and keton bodies as well as fecal Na and K and increased plasma cholesterol. These results suggest that GOS supplementation improves energy and electrolyte status of calves, although the diarrhea occurred in the calves treated with GOS.

Key words: galacto-oligosaccharides, diarrhea, electrolyte, calves

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。家畜でも飼養管理の改善などにより、新生子畜の生存率は向上しているものの、家畜の生産性低下をもたらす原因の一つとして新生子畜の生存率低下は依然として大きな問題である。特に、出生直後の子牛は下痢、肺炎などによる致死率が高いため、健康状態を適正に保持することが求められている¹⁾。

食品中には栄養素だけではなく、生体防御、体調リズムの調節、老化抑制など、ヒトの生体調節機能に影響する機能性成分が数多く含まれている。特に、乳中にはそのような機能性成分が多いため、乳は機能性成分の宝庫と評されているが、乳中に含有されているガラクトオリゴ糖には、感染防御、ミネラル代謝改善などのさまざまな機能が知られている²⁾。

そこで、新生子牛の下痢を防止するために、新生子牛の下痢発生と糞・血液中成分の関係を明らかにするとともに、生後4日齢の子牛にガラクトオリゴ糖を4週間給与して、子牛の健康状態、ミネラル代謝などに及ぼす効果を調べた。

*所在地：京都市左京区北白川追分町（〒606-8502）

**所在地：国分市上ノ段2440（〒899-4461）

***所在地：国立市谷保1796（〒186-8650）

実験方法

1. 新生子牛の健康状態の調査（試験1）

北海道農業研究センター（札幌市）で分娩したホルスタイン種乳牛52頭とその子牛54頭（双子2組）を試験に用いた。子牛は出生直後に子牛房へ移した後に、6日間ほぼ母牛の初乳だけを給与した。初乳給与量は出生時に2.5 kg、それ以降は朝夕各2.5 kgに設定した。子牛からは出生直後と6日齢の初乳給与前の朝に血液と糞を採取し、また直腸温を測定した。ただし、出生直後のデータは出生後24時間以内に採取したサンプルを用いた。母牛の乳量は毎日測定し、初乳は分娩直後と分娩5日後の夕と6日後の朝に採取した。

2. 子牛のガラクトオリゴ糖給与試験（試験2）

生後4日齢のホルスタイン種雌子牛10頭を用いて、対照区とガラクトオリゴ糖給与（GOS）区に割り当て、各子牛房で4週間飼養した。子牛には養分要求量を満たすように、乳、配合飼料およびオーチャードグラス乾草を所要量給与した。GOS区では牛乳から調製したガラクトオリゴ糖（水分：3.7%，転移ガラクトオリゴ糖：56.1%）³⁾を20 g/日で、4週間朝の乳に混合して給与した。供試子牛では、体重、直腸温を毎週1回測定し、また糞、血液を毎週1回、朝の飼料給与前に採取した。

3. 分析項目

子牛の糞中の乾物、粗タンパク質（CP）、NDF、粗脂肪およびミネラル含量と乳中の全固形分率、脂肪率、タンパク質率、乳糖率、ミネラル含量を既報^{4, 5)}の方法で測定した。子牛の血液中のヘマトクリットを既報⁴⁾の方法で、また血漿中の全タンパク質、尿素態窒素、グルコース、遊離脂肪酸、トリグリセリド、ケトン体、コレステロール、LDH、Ca、Pi、Mg、Na、K、Cl濃度を自動生化学分析装置（日立製作所製、7250型）で測定した

データの統計処理は、採取日を変数にして、SASによるGLMプロシジャーを用いて解析した。また、採取した各成分間の相関関係を解析した。

結果と考察

1. 子牛の下痢と糞・血液成分の関係

子牛の1日齢と6日齢における体温、糞中成分および血液成分をTable 1に示した。各測定項目では、体温は6日齢で上昇する（ $p < 0.05$ ）のに対して、糞中乾物含量は6日齢で減少した（ $p < 0.001$ ）。出生直後の子牛の胎便成分ではCPが最も高く、ついで脂肪が高いが、6日齢ではCP含量がさらに増加した（ $p < 0.001$ ）のに対して、脂肪含量は6日齢で減少した（ $p < 0.001$ ）。また、糞中には繊維成分（NDF）が出生直後と6日齢とともに非常に少ないことが特徴的であった。ミネラルでは6日齢に比較して、出生直後の胎便ではNa含量が高い（ $p < 0.001$ ）ことを除くと、Ca、PおよびK含量が低い値（ $p < 0.001$ ）であった。

母牛の分娩直後の初乳成分は全固形分率、タンパク質率、脂肪率、Ca、P、NaおよびMg含量が高く、乳糖率は低かったが、これらの値は筆者らの既報^{4, 6)}の成績とほぼ同様であった。子牛の血液成分では、血中ヘマトクリット値（ $p < 0.001$ ）、血漿中遊離脂肪酸（ $p < 0.01$ ）、尿素態窒素（ $p < 0.05$ ）は6日齢で減少したのに対して、血漿中ケトン体（ $p < 0.01$ ）、コレステロール（ $p < 0.001$ ）、タンパク質（ $p < 0.001$ ）は6日齢で増加し、グルコース濃度には差異が認められなかった（Table 1）。血漿中ミネラル成分ではPi（ $p < 0.001$ ）およびK（ $p < 0.01$ ）が6日齢で増加し、Na（ $p < 0.001$ ）およびCl（ $p < 0.001$ ）が6日齢で減少した。

分娩直後の初乳は各栄養素を豊富に含み、また新生子牛の初乳成分の利用効率は非常に高いことが知られている。新生子牛の胎便中成分は妊娠中に母胎から胎児へ移行した成分の影響、また6日齢の糞中成分は初乳摂取の影響が大きいが、胎便には胎児体内で利用・代謝された成分が排泄され、また6日齢の糞には初乳成分の吸収・代謝と体内の蓄積成分の代謝によるものが排泄されたと考えられる。胎便中のCP含量が高いことは胎児の体内代謝が活発なことが示唆され、また6日齢でさらに高くなったことは子牛の体内代謝が盛んなこととともに、初乳からのタンパク質摂取量の多いことが影響したと考えられる。それに対して、子牛の糞中に繊維成分が非常に少ないことは初乳からの摂取がほとんど

Table 1 Mean (SD) of fecal and plasma composition of calves in Experiment 1

| | Days after birth | | Time Effect (<i>P</i> <) |
|-----------------------------------|------------------|--------------|---------------------------|
| | 0 | 6 | |
| Rectal temperature, °C | 38.8 (0.4) | 39.0 (0.4) | * |
| Fecal composition (On a DM basis) | | | |
| DM, % | 31.6 (7.4) | 26.6 (7.7) | *** |
| CP, % | 47.3 (12.1) | 65.2 (10.8) | *** |
| Ether extract, % | 15.5 (7.7) | 10.7 (6.4) | *** |
| NDF, % | 3.2 (1.8) | 4.3 (4.7) | NS |
| Ca, mg/100 g | 288 (137) | 607 (354) | *** |
| P, mg/100 g | 52 (33) | 300 (157) | *** |
| Na, mg/100 g | 910 (292) | 632 (410) | *** |
| K, mg/100 g | 142 (119) | 436 (260) | *** |
| Blood Ht, % | 35.8 (6.4) | 31.5 (6.3) | *** |
| Plasma composition | | | |
| Glucose, mg/dl | 102 (29) | 106 (17) | NS |
| NEFA, μ Eq/l | 553 (344) | 396 (127) | ** |
| Total ketones, μ mol/l | 69.6 (64.6) | 105.0 (62.1) | ** |
| Cholesterol, mg/dl | 27.2 (10.5) | 71.1 (14.8) | *** |
| Protein, g/dl | 4.7 (0.7) | 6.1 (0.6) | *** |
| Urea nitrogen, mg/dl | 11.1 (2.8) | 9.7 (3.9) | * |
| Ca, mg/dl | 11.3 (1.0) | 11.1 (0.9) | NS |
| Pi, mg/dl | 6.8 (1.0) | 8.0 (0.7) | *** |
| Na, mEq/l | 144 (4) | 140 (5) | *** |
| K, mEq/l | 4.8 (0.4) | 5.0 (0.3) | ** |
| Cl, mEq/l | 100 (4) | 97 (4) | *** |

****p* < 0.001, ***p* < 0.01, **p* < 0.05

ないことを反映し、またCa, PおよびK含量が出生直後に非常に低いことは、体内でこれらのミネラルを最大限に有効利用するために体内からの排泄量を抑制していることによるもの⁷⁾と考えられる。

子牛の血中ヘマトクリット値が1日齢から6日齢にかけて有意に低下したことから、既報^{4,7)}と同様に初乳摂取により造血機能の低下したことがうかがわれる。また、子牛の血漿中タンパク質濃度の上昇は初乳摂取による免疫グロブリンの移行によるものであり、1日齢の子牛の血漿中遊離脂肪酸濃度が高く、コレステロール濃度が低いことは出生直後に子牛はややエネルギー不足であったことを示唆している。しかし、子牛の血漿中ミネラル濃度には明らかな関係は認められなかった。

本報では糞中乾物含量を下痢の指標として用い、既報^{8,9)}と同様に糞中乾物含量20%以上を正常便、それ以下を軟便・下痢状態とみなし、乾物含量15%以下を下痢症状とした。出生直後には糞中乾物含量が15%以下の子牛はみられず、6日齢で2頭が15%以下であったが、糞中乾物含量が20%以下の子牛は6日齢では10頭であった。そこで、6日齢における子牛の糞中乾物含量と糞成分の関係を調べると、糞中Na ($R^2 = 0.38$), K ($R^2 = 0.38$), Mg ($R^2 = 0.29$) およびP ($R^2 = 0.36$) 含量と糞中乾物含量に負の有意な相関 (*p* < 0.001) が、また糞中CP ($R^2 = 0.13$) 含量は正の有意な相関 (*p* < 0.05) が認められた。子牛の糞中乾物含量と血液成分では、血漿中グルコース濃度と5%水準で正の有意な相関が、また血漿中遊離脂肪酸濃度と10%水準で負の有意な相関が認められた (Fig. 1)。

新生子牛が下痢になると、K, Naなどの電解質が大量に糞中に排泄される⁸⁾が、本報では下痢状態になると電解質に加えて、糞中のMgおよびP含量も増加した。また、既報^{1,10)}の成績と同様に、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。それ以外に、血漿中 β -カロテン濃度が低い子牛は軟便・下痢状態になり、またビタミンAも軟便・下痢症状発生に関与している⁹⁾。一般に、子牛が下痢になるとブドウ糖や生理食塩水による輸液療法が行われるが、必須ミネラルや脂溶性ビタミンの補給も効果のあることが推察される。

2. ガラクトオリゴ糖の下痢予防効果

ガラクトオリゴ糖給与試験では、下痢は試験期間中で対照区4頭とGOS区3頭で発生し、それぞれ治療を施した。対

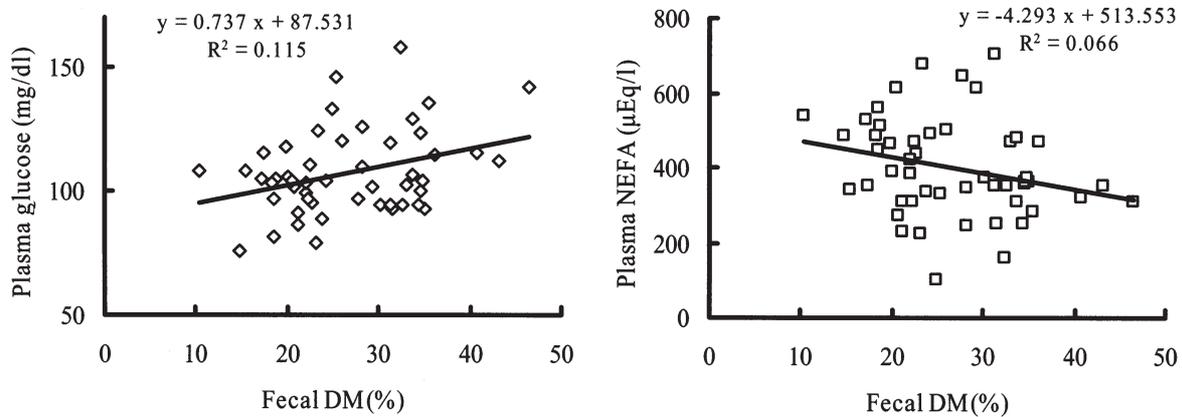


Fig. 1 Relationships between fecal DM and plasma glucose or NEFA of Holstein calves at 6 days of age in Experiment 1.

照区とGOS区の子牛の体重，糞中成分，血液成分の変動をFig. 2に示した。試験開始時のGOS区の体重が対照区より多かったため，GOS区の体重が対照区よりも多かった ($p < 0.01$) が，増体率には両区間に差異は認められなかった。子牛の直腸温は，対照区 (38.8°C) とGOS区 (38.7°C) でほぼ同じであった。糞中乾物含量はGOS区が対照区より高い傾向 ($p < 0.10$) であったが，試験終了時の5週齢では両区とも15%以下に低下した。糞中粗タンパク質含量には両区間に差異は認められなかったが，試験開始時の62.2%が試験終了時には25.8%と急激に減少した。糞中成分で両区間に差異が認められたのはNa ($p < 0.05$) とK ($p < 0.05$) 含量であり，Na含量は5週齢時に，またK含量は2週齢と4週齢時に対照区がGOS区よりも高かった。

血液成分では，血漿中遊離脂肪酸 ($p < 0.05$) とコレステロール ($p < 0.01$) に差異が認められ，4週齢と5週齢時の血漿中遊離脂肪酸が対照区で高く，また2-5週齢時の血漿中コレステロールがGOS区で高かったが，血漿中グルコース濃度には両区間に差異が認められなかった (Fig. 2)。GOS区の血漿中Pi濃度は2週齢，3週齢および5週齢時に高く ($p < 0.10$)，また対照区の血漿中ケトン体は5週齢時に高かった ($p < 0.05$) が，それ以外の血液成分には両区間に差異は認められなかった。

ガラクトオリゴ糖は乳中に含まれていて，乳糖にガラクトースが結合した galactosyl-lactose を主要構成成分とするオリゴ糖であり，感染防御，ミネラル代謝改善，免疫賦活性などのさまざまな機能が知られている²⁾。特に初乳中の含有量が多いため，新生子牛の疾病予防に重要な役割を果たしていることが推察される¹¹⁾。また，ガラクトオリゴ糖を給与した乾乳牛では窒素利用効率が改善されたため，飼料添加物としての利用も可能と考えられる³⁾。

本試験では，GOS区は糞中乾物含量の増加，糞中NaおよびK含量の低下，血漿中コレステロール濃度の上昇，血漿中遊離脂肪酸およびケトン体濃度の低下が認められた。試験1の結果と比較すると，ガラクトオリゴ糖は子牛の下痢を防止する可能性があるものと考えられるが，下痢は対照区だけでなく，GOS区でも発生した。これらの結果は，下痢の発生はさまざまな要因が働いたため，ガラクトオリゴ糖の給与だけでは下痢の発生は防止できなかったことが推察される。しかし，ガラクトオリゴ糖給与は子牛のエネルギー代謝と電解質平衡を改善し，子牛の健康維持に貢献できることが示唆された。

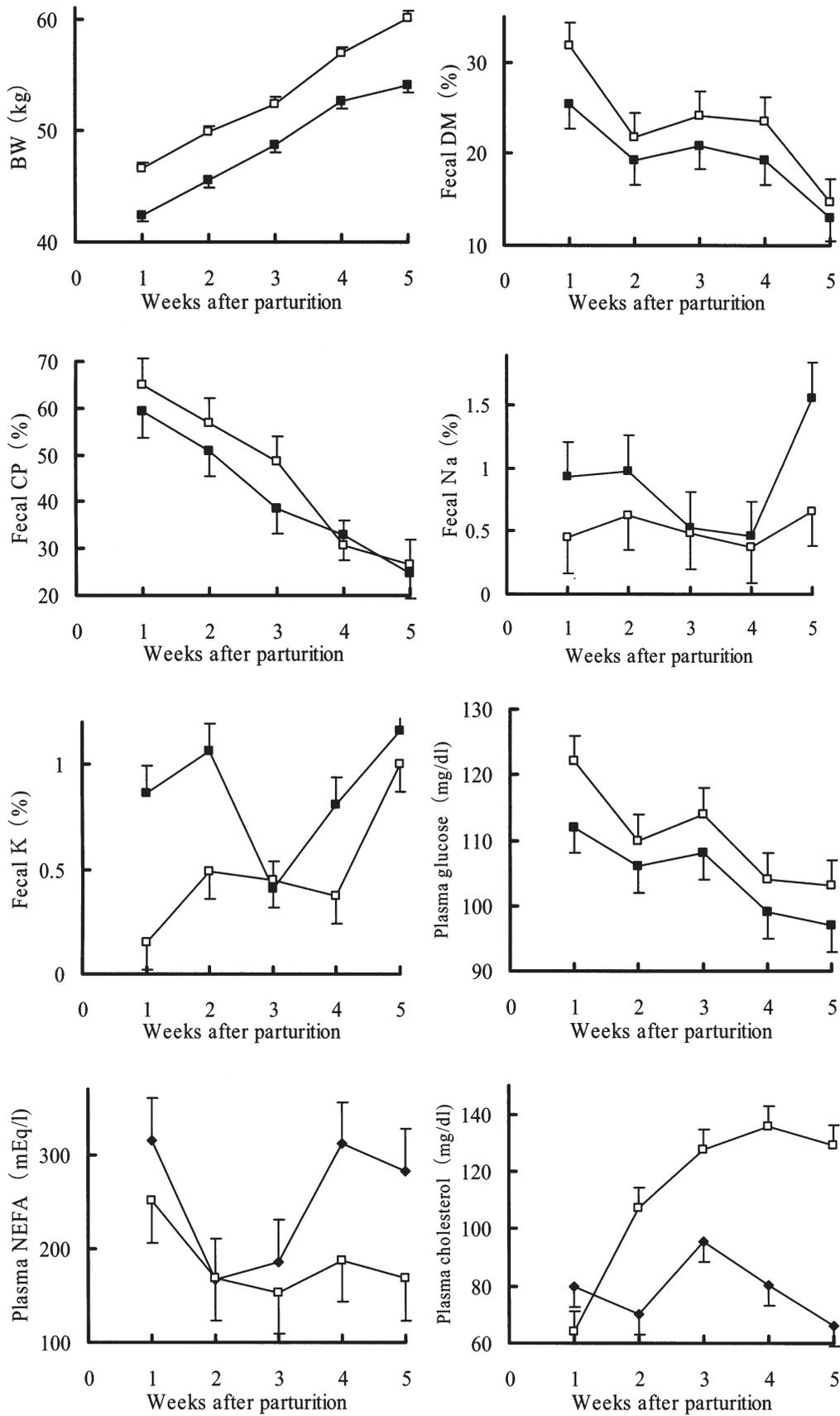


Fig. 2 Daily gain, fecal and plasma composition of untreated calves (■) and calves treated with GOS (□) in Experiment 2.

参考文献

- 1) Quigley III JD, Drewry JJ (1998) Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. *Journal of Dairy Science* 81: 2779 - 2790.
- 2) Gopal PK, Gill HS (2000) Oligosaccharides and glycoconjugates in bovine milk and colostrum. *British Journal of Nutrition* 84 (Suppl. 1) : S69 - S74.
- 3) Santoso B, Kume S, Nonaka K, Gamo Y, Kimura K, Takahashi J (2003) Influence of β 1-4 galacto-oligosaccharides supplementation on nitrogen utilization, rumen fermentation, and microbial nitrogen supply in dairy cows fed silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 16: 1137 - 1142.
- 4) Kume S, Tanabe S (1993) Effect of parity on colostrum mineral concentrations of Holstein cows and value of colostrum as a mineral source for newborn calves. *Journal of Dairy Science* 76: 1654 - 1660.
- 5) Kume S, Toharmat T, Nonaka K, Oshita T, Nakui T, Ternouth JH (2001) Relationships between crude protein and mineral concentrations in alfalfa and value of alfalfa silage as a mineral source for periparturient cows. *Animal Feed Science and Technology* 93: 157 - 168.
- 6) Kume S, Nonaka K, Oshita T (2003) Relationship between parity and mineral status in dairy cows during the periparturient period. *Animal Science Journal* 74: 211 - 215.
- 7) Kume S, Toharmat T, Kobayashi N (1998) Effect of restricted feed intake of dams and heat stress on mineral status of newborn calves. *Journal of Dairy Science* 81: 1581 - 1590.
- 8) Kume S, Toharmat T (2001) Electrolyte status and fecal consistency in newborn calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 14: 640 - 645.
- 9) Kume S, Toharmat T (2001) Effect of colostrum β -carotene and vitamin A on vitamin and health status of newborn calves. *Livestock Production Science* 68: 61 - 65.
- 10) Blum JW, Hammon H (2000) Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves. *Livestock Production Science* 66: 151 - 159.
- 11) Nakamura T, Kawase H, Kimura K, Watanabe Y, Ohtani M, Arai I, Urashima T (2003) Concentrations of sialyloligosaccharides in bovine colostrum and milk during the prepartum and early lactation. *Journal of Dairy Science* 86: 1315 - 1320.