

乳蛋白を考慮した乳牛の改良目標と指数の設定

中村 淳¹・鈴木三義¹・光本孝次¹

(受理 : 1994年11月29日)

Study on breeding goals including protein yield for dairy cattle

Atsushi NAKAMURA¹, Mitsuyoshi SUZUKI¹ and Takatsugu MITSUMOTO¹

要 約

乳蛋白を考慮した2通りの改良目標に基づき、産乳形質の改良傾向を検討した。改良目標としては、乳量、乳脂量、乳蛋白量による三形質によるもの(BG₁)と乳脂量、乳蛋白量の二形質によるもの(BG₂)を設定した。選抜反応は選抜指数理論に基づいて推定した。選抜指数は、複数の産乳形質を取入れたものを8通り設定した。指数による改良傾向の変化は、改良目標内の変異よりも改良目標間の変異が大きかった。改良目標に対する相対的重要度の変化において、その改良傾向の変動は改良目標BG₁より改良目標BG₂のほうが敏感であった。改良目標BG₂では、改良目標BG₁と比較して乳量に対する改良は見込めないが、相対的重要度によっては乳蛋白量の改良はBG₁の程度にすることが可能であり乳蛋白率の低下を抑えたと推察した。

キーワード : 改良目標, 乳蛋白量, 選抜指数

緒 論

乳牛の育種において、酪農先進国はその市場に応じて明確な改良目標を持ち、乳蛋白量に重点を置く乳牛の遺伝的改良を推進している^{1, 5)}。乳牛の改良目標として複数形質を考慮し、各形質の育種価を総合評価するための指数を利用することが改良目標を実現する上で有効であろう。すでに、牛群検定では乳蛋白についても検定しており、乳蛋白の評価値が公表されている。従って、乳牛の遺伝的メリットを総合評価する上で

SNFの代りに乳蛋白を考慮する可能性は十分に考えられる。現行の乳価を考慮した経済効果は、日本における将来の乳牛の改良目標を満足するという保証はない。乳蛋白の遺伝的改良が考慮されるようになれば、少なくとも乳蛋白率を維持し、同時に乳蛋白量を改良する方向性も十分考えられよう。我が国では、乳蛋白質における経済的価値は不明確である。また各生産形質の正味の経済価についても明確ではない。本研究の目的は、このような状況で、各形質に対する相対的重要度に基づく乳牛の改良傾向を検討し、改良目標を設

¹帯広畜産大学畜産管理学科家畜育種増殖学講座 〒080 北海道帯広市稲田町

¹Laboratory of Animal Genetics and Reproduction, Department of Animal Production and Agricultural Economics, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido 080 Japan

定するうえでの基礎的な知見を得ることである。

材料および方法

本研究で用いた遺伝率、遺伝相関、表型相関は、鈴木と光本¹¹⁾による北海道乳牛集団における初産のものである。乳量、乳脂量、乳蛋白量、乳脂率および乳蛋白率の標準偏差、表型相関および遺伝相関、遺伝率を表1に示した。これらの遺伝的なパラメータは、PEARSONらが示したものに近似していた⁸⁾。選抜反応の推定は選抜指数理論に基づいて行った。表型分散は、遺伝分散と誤差分散の和を用いた。また、娘牛50頭を持つ種雄牛を選抜した場合と仮定した。世代当たりの選抜反応は、標準偏差単位で示した。選抜強度は、相対的な選抜反応を検討する意味から、1とした。

始めに、単一形質に対する選抜を検討した。単一形質に対する選抜による遺伝的改良量および選抜形質以外の生産形質の相関反応を推定した。

多形質選抜において改良目標は三形質 (BG₁) によるものと二形質 (BG₂) によるものの2種を設定し、表2に示した。G_iは形質iの相加的遺伝価を示す。aは各形質の相加的遺伝価に対応した相対的重要度を示す。相対的重要度は、乳量、乳脂量、SNF量の現行の乳代に近似した(20, 882, 422)を正味の経済価と仮定し、標準偏差を乗じること求めた¹⁰⁾。乳蛋白量に対する重要度は、SNFの重要度と同じとみなした。その比は、ほぼ1:1.5:0.5であった。各形質の選抜反応は、乳蛋白に対する相対的重要度を変

化させることで検討した。選抜指数は、8組を設定し表2に示した。I_jはj番目の選抜指数を表す。BV_kは形質kの推定育種価を表す。bは各推定育種価に対応した選抜指数の係数である。

Table 2. Breeding goals (BG) and Selection indices (I)

Breeding Goals

$$BG_1 = a_1 G_{\text{milk}} + a_2 G_{\text{fat}} + a_3 G_{\text{protein}}$$

$$BG_2 = a_2 G_{\text{fat}} + a_3 G_{\text{protein}}$$

Selection indices

$$I_1 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{fat}} + b_3 BV_{\text{protein}}$$

$$I_2 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{fat}\%} + b_3 BV_{\text{protein}\%}$$

$$I_3 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{fat}}$$

$$I_4 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{protein}}$$

$$I_5 = b_1 BV_{\text{fat}} + b_2 BV_{\text{protein}}$$

$$I_6 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{fat}\%}$$

$$I_7 = b_1 BV_{\text{milk}} + b_2 BV_{\text{protein}\%}$$

$$I_8 = b_1 BV_{\text{fat}\%} + b_2 BV_{\text{protein}\%}$$

The G's are additive genetic values.

The a's are relative economic values per standard deviation.

The BV's are estimated breeding values.

The b's are index coefficients.

Table 1. Phenotypic correlations and genetic correlations, heritabilities, standard deviation (SD) of first lactation in Hokkaido cows.

	SD	Milk	Fat	Protein	Fat %	Protein %
Milk	1,511	<u>0.36</u>	0.83	0.94	-0.29	-0.40
Fat	54	0.62	<u>0.29</u>	0.88	0.27	-0.08
Protein	39	0.91	0.76	<u>0.26</u>	-0.12	-0.09
Fat %	0.47	-0.56	0.29	-0.31	<u>0.82</u>	0.58
Protein %	0.21	-0.68	-0.09	-0.32	0.75	<u>0.70</u>

Diagonal = heritabilities.

Above diagonal = phenotypic correlations.

Below diagonal = genetic correlations.

(from SUZUKI and MITSUMOTO¹¹⁾)

結 果

1. 単一形質に対する選抜

単一形質に対する世代当たりの直接選抜反応、および間接反応を表3に示した。標準偏差単位でみると、成分量の直接選抜反応は0.39~0.47、成分率では0.62~0.66を示し、成分率でやや大きかった。直接選抜反応は乳量で713kg、乳脂量で22.8kg、乳蛋白量で16.0kg、乳脂率で0.31%、乳蛋白率で0.13%であった。乳量、乳脂量、および乳蛋白量のそれぞれの直接選抜に基づいた他の量形質の間接反応は正であった。率形質に対する間接反応は、乳脂量に対する選抜における乳脂率の間接反応を除き、負の方向にあった。乳脂率と乳蛋白率に対する直接選抜による量形質の間接反応は、乳脂率に対する乳脂量の間接反応以外、負であり、率形質に対する間接反応は正であった。

2. 複数形質に対する選抜

表4には、改良目標BG₁、BG₂と相対的重要度に基づいた(1:1.5:0.5)、8組の指数による一世代の選抜反応を標準偏差単位で示した。改良目標をBG₁とした場合、改良目標と選抜形質の中に乳量が含まれる指数間の選抜反応に変化がみられなかった(I₁~I₄、I₆、I₇)。I₅の選抜反応は乳量を含む指数の選抜反応に比べ乳量で小さい傾向にあった(0.41)。また、乳脂量、乳蛋白量は、乳量を含む選抜指数による選抜反応よりやや大きい傾向にあった(0.28、0.39)。乳脂率、乳蛋白率の選抜反応も同様にやや大きい傾向にあった(-0.24、-0.19)。率形質のみによる選抜I₈は、量形質、率形質とも選抜反応は小さい傾向にあった。特に、乳脂量についてはほとんど反応が認められなかった。

Table 3. Theoretical correlated responses in milk traits according to single trait selection of sire with 50 daughters.

Select on	Expected response per SD				
	Milk (kg)	Fat (kg)	Protein (kg)	Fat%(%)	Protein%(%)
Milk	0.47 (713)	0.26 (14.6)	0.37 (15.0)	-0.35 (-0.17)	-0.40 (-0.09)
Fat	0.28 (435)	0.42 (22.8)	0.30 (12.3)	0.18 (0.08)	-0.05 (-0.01)
Protein	0.41 (628)	0.31 (17.2)	0.39 (16.0)	-0.18 (-0.09)	-0.18 (-0.04)
Fat %	-0.28 (-423)	0.13 (7.2)	-0.13 (-5.3)	0.66 (0.31)	0.47 (0.10)
Protein %	-0.33 (-508)	-0.04 (-2.2)	-0.13 (-5.4)	0.49 (0.23)	0.62 (0.13)

Selection intensity equals 1.0.

The values in parentheses are indicated in real scale.

Table 4. Selection responses for BG₁ and BG₂ on selection indices.

Index	Expected Responses per SD									
	BG ₁					BG ₂				
	Milk	Fat	Protein	Fat %	Protein %	Milk	Fat	Protein	Fat %	Protein %
I ₁	0.47	0.26	0.37	-0.37	-0.43	0.31	0.42	0.32	0.13	-0.08
I ₂	0.47	0.25	0.36	-0.37	-0.44	0.31	0.41	0.32	0.13	-0.08
I ₃	0.47	0.25	0.37	-0.37	-0.41	0.31	0.42	0.32	0.13	-0.08
I ₄	0.47	0.25	0.36	-0.37	-0.43	0.38	0.32	0.39	-0.13	-0.11
I ₅	0.41	0.28	0.39	-0.24	-0.19	0.31	0.42	0.32	0.14	-0.07
I ₆	0.47	0.25	0.37	-0.37	-0.42	0.31	0.41	0.32	0.13	-0.08
I ₇	0.47	0.25	0.36	-0.37	-0.44	0.38	0.31	0.39	-0.13	-0.11
I ₈	0.33	0.01	0.14	-0.53	-0.62	0.02	0.24	-0.01	0.33	-0.11

Selection intensity equals 1.0.

BG₂を改良目標とした場合、指数 I₁~I₃, I₅, I₆の選抜反応は全ての形質で同様の傾向を示した(0.31, 0.42, 0.32, 0.13, -0.08)。I₄とI₇において、乳量, 乳脂量, 乳蛋白量の選抜反応は指数 I₁~I₃, I₅, I₆に比べて乳脂量は小さい傾向にあるが(0.31), 乳量, 乳蛋白量は大きい傾向にあった(0.38と0.39)。また、乳脂率の選抜反応には減少傾向にあった(-0.13, -0.11)。指数 I₈では乳量と乳蛋白量の増加がほとんど見られず、乳脂量にやや増加傾向(0.24)がみられた。これに伴い乳脂率の大幅の増加も認められた(0.33)。乳蛋白率の選抜反応に関しては、I₄およびI₇と差異が認められなかった。

表5は、BG₁と同様に3形質を含む選抜指数 I₁において、いくつかの相対的重要度を変化させたときの選抜反応を示したものである。相対的重要度(1:1.5:0.5)、を基準に乳蛋白量に対する相対的重要度を0.25から2.0まで変化させた場合、および、乳脂量に対する相対的重要度を1.0から2.0に変化させた場合では選抜反応に差異が認められなかった。

表6はBG₂と同様に2形質を含む選抜指数 I₅において、乳蛋白量に対する相対的重要度を変化させた場合に期待される選抜反応を示したものである。乳蛋白量に対する相対的重要度の範囲は0.1から2.0までを仮定した。ここで、基準となる相対的重要度は(1:0.3)である。乳蛋白量の相対的重要度の増大に伴って乳量と乳蛋白量の期待選抜反応は増大傾向を示し(0.28~0.38, 0.3~0.38)、乳蛋白率は減少傾向を示した(-0.05~-0.13)。また、乳脂量に対する選抜反応は減少傾向を示し(0.42~0.38)、乳脂率にも減少傾向が認められた(0.19~-0.03)。

考 察

現実的には、世代あたりに推定された改良量は期待されるように到達するとは限らない。なぜなら、乳牛の改良において、乳生産形質のみに選抜圧を加えることはなく、実際には体型や難産性などが考慮されるからである。例えば、KENNEDY⁷⁾の指摘によれば、乳量に関して理論的な期待値の約40%が達成されてい

Table 5. Expected responses for BG₁ and I₁ due to sire selection with 50 daughters and variable relative weight.

Relative weight			Expected response / SD				
Milk	Fat	Protein	Milk	Fat	Protein	Fat %	Protein %
1.00	1.50	0.25	0.47	0.26	0.37	-0.37	0.44
1.00	1.50	0.50	0.47	0.26	0.37	-0.37	-0.43
1.00	1.50	1.00	0.47	0.26	0.37	-0.37	-0.43
1.00	1.50	2.00	0.47	0.26	0.37	-0.37	-0.43
1.00	1.00	0.50	0.47	0.26	0.37	-0.38	-0.44
1.00	2.00	0.50	0.47	0.26	0.37	-0.37	-0.43

Selection intensity equals 1.0.

Table 6. Expected response for BG₂ and I₅ due to sire selection with 50 daughters and variable relative weight.

Relative weight		i	Expected response / SD				
Fat	Protein		Milk	Fat	Protein	Fat %	Protein %
1.00	0.10		0.28	0.42	0.30	0.19	-0.05
1.00	0.30		0.31	0.42	0.32	0.14	-0.07
1.00	0.50		0.33	0.42	0.34	0.11	-0.08
1.00	1.00		0.35	0.40	0.36	0.04	-0.11
1.00	2.00		0.38	0.38	0.38	-0.03	-0.13

Selection intensity equals 1.0.

るにすぎない。

乳脂量の単一形質選抜における相対的な改良量は、乳蛋白量のそれよりも40%大きいものである。このことは、表1に示したように、乳脂量と乳蛋白量の遺伝率が同程度であることからそれぞれの標準偏差の大きさの差に起因した選抜反応である。同様に乳脂率の改良量は、乳蛋白率よりも140%大きいものである。この現象も、表1に示した遺伝率が同程度であったことから、標準偏差の大きさの違いが原因となっている。単一形質選抜における他形質の間接反応は、表1に示してある各形質間の遺伝相関に依存する。単一形質選抜に対するこのような傾向はDOMMERHOLT and WILMINK¹⁾、GIBSON²⁾、JAGER and KENNEDY³⁾、KENNEDY⁴⁾により報告されているが、推定に用いたパラメータが異なるにもかかわらず同様の選抜反応の傾向を示している。

乳量、乳脂量、乳蛋白量を改良目標として考慮した場合(BG₁)、率形質のみによる指数(I_s)以外、改良傾向は乳量だけの選抜による改良傾向と類似している。その傾向は、指数に乳量を含む指数で顕著である。従って、量形質を含む指数においては、改良が指数に含まれる形質に依存しないことが示唆された。このような改良目標では、乳量単一による選抜と選抜反応が同等であり、乳量と他の量形質の遺伝相関が大きいことから、乳量中心の改良となることを意味する。本研究で示した程度の相対的重要度の変化では各形質の改良傾向に変化が認められなかった。乳成分、特に乳蛋白に対する遺伝的改良を考えた場合、乳蛋白量の相対的重要度を変化させる事によるその遺伝的改良は難しいと推察した。標準偏差単位で相対的重要度を考えた場合、乳量に対する相対的重要度のスケールを検討する必要がある。

改良目標を乳脂量と乳蛋白量として設定した場合(BG₂)、その選抜反応は相対的重要度の変化に依存する。これは乳量が改良目標に組込まれていないので、成分量の遺伝的変化を容易にしていると思われる。このことから、乳量よりも乳成分量に改良の重点を置くならば、乳成分量のみによる改良目標を設定することが考えられる。この場合、乳量に対する遺伝的改良は、乳量を考慮した改良目標よりも小さいが、率形質の低下が抑えられる傾向にある。改良目標BG₂では、相対的重要度によっては乳蛋白量の改良はBG₁と同程度にすることが可能であり、乳蛋白率の低下を抑えら

れると推察した。乳脂率の遺伝的改良に関しても乳蛋白率と同様の傾向が得られたが、乳脂量の遺伝的改良はBG₁に比べ大きいものであった。しかし、相対的重要度による期待される改良量が乳量を考慮した改良目標に比べて動きやすい点では、改良目標の安定性の面で留意すべきであると思われる。

本研究では改良目標の設定と相対的重要度による、産乳形質の遺伝的変化を予測した。乳牛は世代の長い家畜であるため牛群の更新には年月を要する。乳牛の改良目標は、現状の乳価よりも将来の市場の状況や乳価、消費者の栄養成分に対する要求に対して、長期的な見通しで計画し、設定する必要がある。例えば、乳成分の改良に重点をおき、率形質の遺伝的変化をできるだけ低下させず、乳脂量と乳蛋白量の効率的な増加を望むならば、乳脂量と乳蛋白量の二形質を考慮した指数による選抜が容易であると推察した。オランダにおけるINETのように乳量にペナルティとしての負の小さな重み付けを置き、同時に乳成分を選抜するような指数も考えられよう¹⁾。また、ターゲット集団からの遺伝資源の導入に依存する場合には、光本¹²⁾が指摘するようにターゲット集団と異なる改良目標を育種戦略なしに弱い選抜圧で後追することは避けるべきである。

乳蛋白に価値をおいた改良を行う必要がない場合、乳量と乳蛋白量は遺伝相関が高いので、VAN VLECK⁹⁾が指摘したように乳蛋白を検定する費用、労力、計算の面でメリットがなくなることも示唆された。

選抜指数法によって乳牛の遺伝的改良を議論する場合、その結果は遺伝的パラメータの推定誤差に依存する。また、選抜によって遺伝的パラメータは変化する可能性がある。よって、さらに精度の高い乳牛の遺伝的パラメータを用いて、将来、本研究の問題を再検討する必要がある。

また、標準偏差当たりの相対的重要度を用いて議論を進めてきたが、経済的重要度は、乳価として設定することもできるし、酪農家の経済メリットの観点から生産コストから飼料費を差し引いた値を用いることも考えられる。よって、乳牛の改良における経済的に最適な経済的重要度を導くための研究が将来必要となる^{1, 3, 4)}。

参 考 文 献

- 1) DOMMERHOLT, J., and J. B. M. WILMINK, .

- Optimal selection responses under varying milk prices and margins for milk production., *Livest. Prod. Sci.*, 14; 109-121, 1986.
- 2) GIBSON, J. P., The options and prospects for genetically altering milk composition in dairy cattle., *Anim. Breed. Abstr.*, 55; 231-243, 1987
- 3) GIBSON, J. P., Selection on major components of milk: alternative methods of deriving economic weights., *J. Dairy. Sci.*, 72; 3176-3189, 1989.
- 4) GIBSON, J. P., The effect of pricing systems, economic weights, and population parameters on economic response to selection on milk components., *J. Dairy. Sci.*, 72; 314-3326, 1989.
- 5) GIBSON, J. P., and J. C. M. DEKKERS., Evaluation of the lifetime profit index for dairy sires., *Annual Res. Rep of Univ. of Guelph.*, 38-39, 1991.
- 6) JAGER, D. de., and B. W. KENNEDY., Genetic parameters of milk yield and composition and their relationship with alternative breeding goals., *J. Dairy. Sci.*, 70; 1258-1226, 1987.
- 7) KENNEDY, B. W., Reducing fat in milk and dairy products by breeding., *J. Dairy. Sci.*, 65; 443-449, 1982.
- 8) PEARSON, R. E., W. E. VINSON, and T. T. MEINERT, The potential for increasing productivity through selection for increased milk and component Yields., *Proc. 4th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod.* 14; 104-113, 1990.
- 9) VAN VLECK, L. D., Breeding for increased protein content in milk., *J. Dairy. Sci.*, 61; 815-824, 1978.
- 10) VAN VLECK, L. D., E. J. POLLAK and E. A. OLTENACU., *Genetics for the Animal Sciences.*, 322-326, W. H. Freeman and Company, New York, 1987.

- 11) 鈴木三義・光本孝次, 多形質BLUP法と選抜指数の組合わせとその問題点の解明, 肉牛の改良目標の設定に関する研究, 1-35, 1989.
- 12) 光本孝次, ホルスタインの改良目標, 畜産の研究, 47; 1061-1064, 1175-1180, 1993.

Summary

The goal of dairy cattle breeding is to improve the nation's dairy industry. Cattle are usually bred for multiple rather than single traits. In the future, protein will become more important than Solid-Not-Fat (SNF) content in the dairy industry. Two alternative breeding goals were defined by additive genetic values with several production traits according to their economic values per standard deviation. The first breeding goal (BG₁) included milk, fat, and protein yield. The second (BG₂) was fat and protein yield. Selection was based on sires with 50 daughters. Selection responses were obtained by standard selection index procedure and expressed as proportion of standard deviation for each trait. The 8 selection indices were derived on several milk production traits and two breeding goals. The genetic change for selection indices varied more between breeding goals than within each goal. The breeding goal BG₂ was sensitive to various relative economic values. The estimated response of milk yield in BG₂ tended to be lower than BG₁, but fat yield tended to be higher. Choosing the appropriate economic values of protein in BG₂, the expected response of protein yield was similar between breeding goals. The loss of genetic gain for percentage traits could be reduced by selecting BG₂. When the goal is to increase protein yield and maintain the protein content, selection due to BG₂ is preferred.

Key words : breeding goal, protein content, selection index