

亜鉛添加が黒毛和種去勢牛の産肉性及び肉質に及ぼす影響

瀧澤秀明*・森下 忠*・榊原隆夫*・石井憲一*

摘要：黒毛和種去勢牛 7 頭を用いて、肥育中期以降の有機亜鉛（亜鉛メチオニン）及び無機亜鉛（炭酸亜鉛）添加が産肉性及び肉質に及ぼす影響について検討した。試験期間は 13 か月齢からと殺前日（28 か月齢～30 か月齢）の 15～17 か月とし、亜鉛は 15 か月齢から試験終了時まで添加した。有機亜鉛区は亜鉛メチオニン製剤を 1 日 1 頭当たり 4.0g（亜鉛として 400mg）添加し、無機亜鉛区は炭酸亜鉛を 1 日 1 頭当たり 1.2g（亜鉛として 800mg）添加した。なお、対照区は亜鉛を無添加とした。

- 1 乾物摂取量は亜鉛添加区が多い傾向が見られた。
- 2 枝肉重量は亜鉛添加区で有意に多くなった。
- 3 脂肪交雑基準は有機亜鉛区で高くなった。ロース芯面積は有機亜鉛区が有意に大きくなった。
- 4 筋間脂肪の脂肪酸組成では、不飽和脂肪酸が亜鉛添加区で高くなった。
- 5 血中亜鉛濃度は有機亜鉛区が有意に高くなった ($p < 0.01$)。
- 6 粗収益は亜鉛添加区が 10～12 万円程度上回った。

以上の結果から、亜鉛の添加は増体を改善させ、有機亜鉛は肉質を改善する可能性が示唆された。

キーワード：亜鉛、黒毛和種、産肉性、肉質、不飽和脂肪酸

Effects of Supplemental Zinc on Fattening Performance and Meat Quality of Japanese Black Steers

TAKIZAWA Hideaki, MORISHITA Makoto, SAKAKIBARA Takao and ISHII Kenichi

Abstract: Seven Japanese black steers were used to examine the effect of zinc feeding on fattening performance and meat quality. The experimental period was during 15-17 months from 13 to 28-30 months of age. Two steers of organic zinc group fed zinc methionine (400mg as zinc) and two steers of inorganic zinc group fed zinc carbonate (800mg as zinc) per day from 15 months of age to the day before slaughter. Three steers of control group were fed no supplemental zinc.

The results obtained are summarized as follows:

1. Both zinc groups showed higher dry matter intake than that of control group.
2. Both zinc groups of the dressed carcass weight were significantly higher than that of control groups.
3. The beef marbling standard number of organic zinc group was higher than those of the other groups. The loin eye area of inorganic zinc group was significantly larger than those of the other groups.
4. The rate of unsaturated fatty acid in the fat between loin eye area and rib in zinc groups were higher than that of control group.
5. The serum zinc in the inorganic zinc group during experimental period was significantly higher than that of the other groups.
6. The profit of the zinc fed groups were 100,000-120,000 yen higher than that of the control group.

These results suggest that feeding either form of zinc in Japanese black steers were effective for body weight gain and especially zinc methionine is useful for meat qualities.

Key Words: Zinc, Japanese black, Meat production, Meat qualities, Unsaturated fatty acid

緒言

飼料中の微量成分をコントロールして肥育牛の肉質及び増体を改善する技術はいくつか知見がある¹⁾。

ビタミンCを添加することにより牛の脂肪前駆細胞から脂肪細胞への分化を促進することが実証されており²⁾、大橋ら³⁾は黒毛和種肥育牛の肉質及び増体に効果があったことを報告している。また、ビタミンAは脂肪細胞の分化時期に低レベルにコントロールすることで肉質、特に脂肪交雑に効果的であることが明らかにされている^{4,5)}。

牛における亜鉛要求量は日本飼養標準において飼料1kg当たり30mgとされている⁶⁾が、我が国の85%の地域で牧草中の亜鉛は含量は不足していると言われ、また穀類中の亜鉛濃度は20~30mgであり牛に対して補給されるべき元素であると報告されている⁷⁾。また、亜鉛を添加することにより牛の脂肪前駆細胞から脂肪細胞への分化が促進されることが実証されており、米国でアバーディンアンガス種に亜鉛を補給したところ、脂肪交雑に効果があったと報告されている⁸⁾。筆者らは、黒毛和種去勢牛の肥育中期に有機亜鉛の添加は血中亜鉛濃度を増加し、ルーメン内発酵パターンのエネルギー転換効率を改善するため、増体に効果的であり、今後は、増体を中心とした亜鉛の添加量、添加時期や安価な無機亜鉛についても検討が必要であると報告した⁹⁾。そこで今回、黒毛和種肥育牛の肥育中期からと殺前日まで有機亜鉛、無機亜鉛を添加することによる肉質及び増体に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

1 試験期間

試験期間は硫酸亜鉛メチオニンを給与する区(以下有機亜鉛区)は2005年1月26日~2006年5月25日、炭酸亜鉛を給与する区(以下無機亜鉛区)は2004年11月8日~2006年4月13日、亜鉛を添加しない区(以下対照区)は2004年9月11日~2006年1月10日までとした。

2 供試頭数及び試験区分

供試牛の血統を表1に示した。供試牛は10か月齢の県内産黒毛和種去勢牛7頭とした。供試牛は3か月間馴致した後、試験を開始し、当時の慣行により28~30か月齢でと殺し終了した。

試験牛は有機亜鉛区、無機亜鉛区に2頭、対照区に3頭を振り分けた。有機亜鉛区は15月齢時(2005年4月15日)から硫酸亜鉛メチオニン製剤(商品名ジンプロ®100、ジンプロ社)4.0g(亜鉛量として400mg、メチオニン800mg)を粉砕した圧ペントウモロコシに混合して1日1回濃厚飼料に振りかけて試験終了時まで給与した。無機亜鉛区は15月齢(2005年1月27日)から炭酸亜鉛を1.2g(亜鉛量として800mg)を粉砕した圧ペントウモロコシに混合して1日1回濃厚飼料に振りかけて試験終了時まで給与した。

3 管理方法

管理は開放追い込み牛舎(3.2m×6.4m:1牛房)で2または3頭1群の群飼育とした。飼料はドアフィーダにより個体管理し、1日量を朝夕2回に分けて給与した。給水はウォーターカップを用い自由飲水とした。

表1 供試牛

区分	生年月日	と殺日	父牛	父方祖父牛	母方祖父牛
有機亜鉛区					
3号牛	2003.12.3	2006.5.25	神茂福	紋次郎	糸晴波
4号牛	2004.1.23	2006.5.25	神茂福	安福	糸光
無機亜鉛区					
1号牛	2003.10.5	2006.4.13	福栄	藤桜	糸光
2号牛	2003.10.11	2006.4.13	福栄	紋次郎	第12西丸
対照区					
15号牛	2003.8.6	2006.1.10	神茂福	第7系桜	晴美
16号牛	2003.8.15	2006.1.10	福谷福	安福165の9	谷水
17号牛	2003.8.21	2006.1.10	菊百合	安福栄	藤桜

表 2 供試飼料
(原物%)

区 分	濃 厚 飼 料			粗 飼 料			
	前 期	中 期	後 期	アルファルファ ハイキューブ	チモシー乾草	トールフェスク ストロー	稲わら
D M	87.6	87.6	87.5	89.0	89.8	89.6	87.8
C P	15.2	13.4	11.8	15.6	6.7	5.1	4.7
T D N	73.5	73.7	71.8	49.4	56.3	46.0	37.6
トウモロコシ	28	32	32				
大麦	18	24	35				
グレイソルガム	12	6	0				
一般ふすま	15	15	25				
コーングルテンフィード	8	12	0				
大豆粕	10	4	1				
大豆皮	8	6	6				
ミネラル類	1	1	1				
合 計	100	100	100				

成分値は日本標準飼料成分表(2001年版)による

表 3 飼料給与量
(原物kg)

月 齢	濃 厚 飼 料			粗 飼 料		
	前 期	中 期	後 期	アルファルファ ハイキューブ	チモシー 乾草	稲わらまたは トールフェスクストロー
1 3	4 ~ 5	-	-	0.5	3 ~ 4	-
1 4	4 ~ 6	-	-	-	-	2 ~ 3
1 5	-	5 ~ 7	-	-	-	2 ~ 3
1 6 ~ 2 1	-	7 ~ 10	-	-	-	1 ~ 3
2 2 ~	-	-	8 ~ 10	-	-	1 ~ 3

4 供試飼料

供試飼料を表2に示した。濃厚飼料は14か月齢までは前期飼料を、21か月齢までは中期飼料を、それ以降は後期飼料を給与した。なお、成分量は日本標準飼料成分表(2001年版)¹⁰⁾に基づいて計算した。給与量は表3に示した。試験開始時に1日1頭当たり5kgから開始して、その後月齢に応じて増給した。粗飼料は試験開始時はアルファルファハイキューブを0.5kgとチモシー乾草4kgを給与した。アルファルファハイキューブは14か月齢まで給与し、チモシー乾草は14か月齢まで給与した。その後試験終了まではトールフェスクストローまたは稲わらをそれぞれ1~3kg給与した。また、21か月齢以降ビタミンA D₃ E剤(商品名デュファゾール®A D₃ E、共立製薬)を2か月おきに20mL経口投与した。

5 調査項目

(1) 飼料摂取量及び体重、体高

飼料摂取量は給与量から残飼量を差し引いて求めた。体重及び体高は試験開始時から4週間毎に測定した。

(2) 枝肉検査

と殺48時間後に枝肉重量を測定した。また、第6~第

7肋骨間を切開して、ロース芯面積、ばらの厚さ、皮下脂肪の厚さ等の計測を行い、肉質は枝肉取引規格の評価法¹¹⁾に従って評価した。

(3) 脂肪酸組成分析

枝肉検査時に枝肉左半丸の第6~第7肋骨間を切開し部位の筋間脂肪を採取し、脂肪抽出後に脂肪酸組成の分析に供した。脂肪酸組成はO'keefeら¹²⁾の方法により、脂肪をナトリウムメチラートでメチルエステル化し、ガスクロマトグラフで分析した。脂肪酸メチルエステルの分離は、キャピラリーカラム(DB-225、J&W SCIENTIFIC)を装着したガスクロマトグラフ(5890 SERIES、HEWLETT PACKARD)を使用した。

脂肪酸組成比の定量は、飽和脂肪酸3種(ミリスチン酸、パルミチン酸及びステアリン酸)と不飽和脂肪酸5種(ミリストレイン酸、パルミトレイン酸、オレイン酸、リノール酸及びγリノレン酸)の計8種類について行った。

(4) 肉色及び脂肪色検査

肉色及び脂肪色については、色彩色差計(CR-200、ミノルタカメラ株式会社)を用い、光電色彩法により、明度(L値)、赤色度(a値)、黄色度(b値)を求めた。検査は第6~第7肋骨間切開6時間後に行い、測定部位は、

コース芯、腎脂肪及び皮下脂肪とした。

(5) 血しょう中亜鉛濃度測定

16か月齢から試験終了時まで1か月毎に試験牛の頸静脈から採血し、3,000回転で10分間遠心分離を行い、血しょうを分離して凍結保存後、血液性状分析に供した。

血中亜鉛濃度はテストワコー Zn (5-Br-PAPS法) を用いて吸光度測定により測定した。

(6) ルーメン内VFA性状測定

16か月齢から試験終了時まで1か月毎にルーメンカテーターを用いルーメン内容液を採取し、2重ガーゼでろ過した後各測定に用いた。

揮発性脂肪酸 (VFA) の測定はルーメン内容液に対し1/5容の20%メタリン酸含有5N硫酸で除蛋白したものをキャピラリーカラム (TC-FFAP, GL Sciences Inc.) を装着したガスクロマトグラフを用いて測定した。

(7) 経済性

粗収益は枝肉販売額 (枝肉重量 × 出荷時における県内主要食肉市場の枝肉卸売価格の格付け別平均単価) から素畜費 (10か月齢時体重 × 県内家畜市場の子牛体重1kg当たり平均単価 + 試験開始時までの飼料代40,000円) 及び試験開始後の飼料費、飼料添加物費を差し引くことにより求めた。なお、出荷時における県内主要食肉市場の枝肉卸売価格の格付け別平均単価はA-4が2,094円、A-3が1,901円、A-2が1,740円、B-4が2,013円、B-3が1,878円であった。また、素畜費の算出に用いた試験開始時における県内家畜市場の子牛体重1kg当たり平均単価は1,902円とした。

(8) 統計処理

両区の平均値の比較をt-検定で行い、危険率5%以下を有意とした。

結果

1 飼料摂取量及び増体成績

飼料摂取量を表4に示した。13~16か月齢の乾物摂取量は有機亜鉛区、無機亜鉛区、対照区の順に多く有意差が見られた (P<0.01)。16月齢以降は無機亜鉛区、有機亜鉛区、対照区の順に多く、無機亜鉛区は対照区より有意に多かった (P<0.05)。なお、1日1頭当たりの飼料由来の亜鉛量 (亜鉛無添加時) は353~468mgで、亜鉛添加時の有機亜鉛区の亜鉛量は756~868mg、無機亜鉛区の亜鉛量は1,159~1,256mgであった。

試験開始時からと殺実施前日までの増体成績を表5に示した。体重は添加剤開始時、試験終了時において亜鉛添加区がいずれも対照区より有意に高い数値となった (添加剤開始時P<0.01、試験終了時P<0.05)。増体量は13~16か月齢は有機亜鉛区が対照区より有意に多くなり (P<0.05)、無機亜鉛区も有意差はないものの対照区より多くなった。亜鉛添加以降の増体量は有意差はないものの有機亜鉛区が44kg、無機亜鉛区が83kgいずれも対照区を上回った。試験期間全体の増体量も有意差はないものの有機亜鉛区が83kg、無機亜鉛区が101kgいずれも対照区を上回った。体高は試験終了時の有機亜鉛区が対照区より有意に高くなった (P<0.05)。

表4 飼料摂取量

	有機亜鉛区			無機亜鉛区			対照区		
	13月齢 ~ 16月齢	16月齢 ~ 試験終了時	全期間	13月齢 ~ 16月齢	16月齢 ~ 試験終了時	全期間	13月齢 ~ 16月齢	16月齢 ~ 試験終了時	全期間
1頭当たり (kg)									
濃厚飼料	592	3,196	3,788	458	3,629	4,087	422	2,757	3,178
粗飼料	319	917	1,236	366	1,008	1,374	318	673	991
D M	802A	3,609ab	4,410AB	726B	4,065a	4,791A	651C	3,004b	3,656B
C P	104	447	551	86	502	588	82	386	467
T D N	581	2,695	3,277	503	3,030	3,533	459	2,257	2,716
1頭1日当たり (kg/日)									
濃厚飼料	6.51	8.13	7.83	4.98	8.46	7.84	4.58	7.00	6.54
粗飼料	3.51	2.33	2.55	3.98	2.35	2.64	3.45	1.71	2.04
D M	8.81A	9.18ab	9.11AB	7.89B	9.48a	9.19A	7.08C	7.62b	7.52B
C P	1.14	1.14	1.14	0.94	1.17	1.13	0.89	0.98	0.96
T D N	6.39	6.86	6.77	5.47	7.06	6.78	4.99	5.73	5.59

DMについて検定、異符号間に有意差あり : a, b... 5%、A, B, C... 1%

表5 増体成績

項目	有機亜鉛区	無機亜鉛区	対照区
1 3 月齢時体重 (kg)	393.0 ± 24.0 ¹⁾	411.0 ± 16.0	352.7 ± 15.4 ²⁾
1 6 月齢時体重 (kg)	490.5 ± 15.5A	487.5 ± 15.5A	411.0 ± 5.4B
試験終了時体重 (kg)	779.0 ± 9.0a	815.0 ± 39.0a	655.3 ± 22.5b
1 3 ~ 1 6 体重増加量 (kg)	97.5 ± 8.5a	76.5 ± 0.5ab	58.3 ± 10.4b
1 6 ~ と殺体重増加量 (kg)	288.5 ± 24.5	327.5 ± 23.5	244.3 ± 27.4
1 3 ~ と殺体重増加量 (kg)	386.0 ± 33.0	404.0 ± 23.0	302.6 ± 35.1
1 3 ~ 1 6 D G (kg/日)	1.060 ± 0.09a	0.841 ± 0.01ab	0.641 ± 0.11b
1 6 ~ と殺 D G (kg/日)	0.736 ± 0.06	0.758 ± 0.05	0.620 ± 0.07
1 3 ~ と殺 D G (kg/日)	0.798 ± 0.07	0.772 ± 0.04	0.624 ± 0.07
1 3 月齢時体高 (cm)	125.0 ± 1.0	126.0 ± 3.0	122.7 ± 1.9
1 6 月齢時体高 (cm)	130.0 ± 2.0	131.5 ± 1.5	128.0 ± 2.2
試験終了時体高 (cm)	145.0 ± 1.0a	144.0 ± 2.0a	140.7 ± 1.2b

1) 平均 ± 標準偏差、以下の表同じ

2) 異符号間に有意差あり: a, b... 5%, A, B... 1%

3) 1日当たり増体量

表6 枝肉成績

	有機亜鉛区	無機亜鉛区	対照区
冷却枝肉重量 (kg)	471.8 ± 4.9a	505.8 ± 25.0a	396.3 ± 19.8b
口 - ス芯面積 (cm ²)	68.0 ± 1.0Aa	47.5 ± 1.5B	55.3 ± 3.1b
バラの厚さ (cm)	7.7 ± 0.0a	7.9 ± 0.1a	7.3 ± 0.2b
筋間脂肪の厚さ (cm)	2.1 ± 0.5AB	3.3 ± 0.2A	2.2 ± 0.0B
皮下脂肪の厚さ (cm)	4.1 ± 0.1	5.2 ± 0.8	3.5 ± 0.3
歩留基準値	75.5 ± 0.4a	71.6 ± 0.0b	74.6 ± 0.2ab
脂肪交雑等級 (BMS No)	6.0 ± 1.0	4.5 ± 1.5	3.7 ± 0.5
牛肉色基準 (BCS No)	4.5 ± 0.5	3.5 ± 0.5	4.7 ± 0.5
締まり及びきめ	4.0 ± 1.0	3.5 ± 0.5	2.7 ± 0.5
と殺月齢	28.9 ± 0.8	30.2 ± 0.1	28.9 ± 0.2
枝肉等級 (頭)			
A - 4	1	0	0
A - 3	1	0	2
A - 2	0	0	1
B - 4	0	1	0
B - 3	0	1	0

異符号間に有意差あり: a, b... 5%, A, B... 1%

表7 筋間脂肪の脂肪酸組成

	有機亜鉛区	無機亜鉛区	対照区
飽和脂肪酸 (%)			
ミリスチン酸 (C14:0)	2.01 ± 0.37	2.59 ± 0.06	1.91 ± 0.28
パルミチン酸 (C16:0)	25.19 ± 1.73	24.82 ± 0.88	23.18 ± 1.26
ステアリン酸 (C18:0)	8.11 ± 0.83a	9.44 ± 0.54a	15.35 ± 1.51b
計	35.31 ± 2.93	36.85 ± 0.40	40.44 ± 2.83
不飽和脂肪酸 (%)			
ミリストレイン酸 (C14:1)	0.75 ± 0.09a	1.18 ± 0.01b	0.62 ± 0.11a
パルミトレイン酸 (C16:1)	3.55 ± 0.19a	5.67 ± 0.23b	3.46 ± 0.51a
オレイン酸 (C18:1)	58.28 ± 3.18	53.96 ± 0.61	53.28 ± 2.52
リノール酸 (C18:2)	2.02 ± 0.03	2.20 ± 0.36	2.11 ± 0.40
リノレン酸 (C18:3)	0.09 ± 0.00	0.14 ± 0.09	0.09 ± 0.02
計	64.69 ± 2.93	63.15 ± 0.40	59.56 ± 2.83

異符号間に有意差あり: a, b... 5%

2 枝肉成績

枝肉成績は表6に示した。冷却枝肉重量は亜鉛添加区が対照区より有意に重くなった ($P < 0.05$)。ロース芯面積は有機亜鉛区のみが無機亜鉛区 ($P < 0.01$)、対照区 ($P < 0.05$)より有意に高い数値となった。バラの厚さは亜鉛添加区が対照区より有意に厚くなった ($P < 0.05$)。筋間脂肪は無機亜鉛区が対照区より有意に厚くなった ($P < 0.01$)。歩留基準値は有機亜鉛区が無機亜鉛区より有意に高い数値となった ($P < 0.05$)。脂肪交雑等級は有意差はないものの有機亜鉛区、無機亜鉛区、対照区の順で格付けが高くなった。枝肉等級は有機亜鉛区でA-4、A-3が各1頭、無機亜鉛区でB-4、B-3が各1頭、対照区でA-3が2頭、A-2が1頭となり、亜鉛添加区が対照区より良好であった。

3 脂肪酸組成分析結果

筋間脂肪の脂肪酸組成比は表7に示した。ミリスチン酸とパルミトリン酸は無機亜鉛区が他の2区より有意に多くなった ($P < 0.05$)。また、ステアリン酸は対照区が亜鉛添加区より有意に多くなった ($P < 0.05$)。不飽和脂肪酸は有意差はないものの有機亜鉛区、無機亜鉛区、対照区の順で多い数値となった。

4 肉色及び脂肪色検査結果

肉色検査結果は表8に示した。無機亜鉛区のロース芯のL値が対照区より有意に高い数値となった ($P < 0.05$) 以外は差がみられなかった。

5 血しょう中亜鉛濃度測定結果

16か月齢以降1か月毎に採血した血しょう中亜鉛濃

表8 肉色検査結果

		有機亜鉛区	無機亜鉛区	対 照 区
ロース芯	L 値	59.2 ± 4.9a	61.0 ± 0.7a	56.0 ± 1.3b
	a 値	33.3 ± 1.6	32.1 ± 1.1	32.5 ± 1.5
	b 値	9.9 ± 0.0	9.7 ± 0.3	9.1 ± 0.5
腎脂肪	L 値	96.0 ± 8.8	90.2 ± 2.5	86.9 ± 8.8
	a 値	4.4 ± 0.6	11.1 ± 3.2	12.6 ± 6.8
	b 値	4.7 ± 0.8	4.4 ± 0.6	5.1 ± 2.5
皮下脂肪	L 値	90.9 ± 1.0	87.9 ± 0.9	91.5 ± 2.4
	a 値	8.3 ± 1.4	11.3 ± 0.8	8.9 ± 1.8
	b 値	3.6 ± 0.2	3.3 ± 0.3	3.3 ± 1.4

異符号間に有意差あり：a、b... 5%

表9 血しょう中の亜鉛濃度

($\mu\text{g} / \text{dL}$)

有機亜鉛区	無機亜鉛区	対 照 区
133.5 ± 17.4A	114.3 ± 23.4B	111.4 ± 16.0B

異符号間に有意差あり：A、B... 1%

表10 ルーメン内VFA性状

	有機亜鉛区	無機亜鉛区	対 照 区
VFA総量 (mol%)	7.38 ± 4.38A	6.49 ± 3.92a	5.04 ± 1.81Bb
VFA組成比 (%)			
酢酸	64.40 ± 3.19A	63.52 ± 4.19a	60.22 ± 4.08B
プロピオン酸	21.88 ± 2.30	21.07 ± 3.44	21.90 ± 3.45
n-酪酸	13.72 ± 1.74Aa	15.41 ± 3.23b	17.88 ± 2.40Cc
A/P比	2.99 ± 0.45	3.10 ± 0.59	2.85 ± 0.66

異符号間に有意差あり：a、b... 5%、A、B、C... 1%
A/P比：酢酸/プロピオン酸比

表11 経済性

(円)

	有機亜鉛区	無機亜鉛区	対 照 区
枝肉販売額 ¹⁾	942,893 ± 55,316a	985,721 ± 82,779a	731,158 ± 28,664 b
諸経費 ²⁾	825,361 ± 23,486a	895,697 ± 28,079a	740,557 ± 34,394 b
素畜費 ³⁾	634,375 ± 12,363	690,484 ± 26,628	582,704 ± 27,136
飼料費	187,855 ± 11,124	205,022 ± 1,451	157,853 ± 8,616
添加剤費	3,131 ± 0	191 ± 0	0 ± 0
粗収益 ⁴⁾	117,532 ± 78,803a	90,024 ± 54,700a	- 9,399 ± 35,695 b

1) 枝肉販売額：枝肉販売単価 × 枝肉重量

2) 諸経費：素畜費 + 飼料費 + 添加剤費

3) 素畜費：10月齢時体重 × 県内市場における平均kg単価 + 40,000円

4) 粗収益：枝肉販売額 - (素畜費 + 飼料費 + 添加剤費)

5) 検定は枝肉販売額、諸経費、粗収益で実施、異符号間に有意差あり：a、b... 5%

度の平均値を表9に示した。対照区及び無機亜鉛区が110 µg / d L程度であったのに対し、有機亜鉛区は133 µg / d Lと有意差が見られた(P < 0.01)。

6 ルーメン内VFA性状測定結果

16か月齢以降1か月毎に採取したルーメン内容液VFA性状の平均値を表10に示した。VFA総量は有機亜鉛区が対照区より(P < 0.01)、また無機亜鉛区も対照区より有意に高くなった(P < 0.05)。酢酸組成比は亜鉛添加区が対照区より有意に高く(P < 0.01)、酪酸組成比は無添加区、無機亜鉛区、有機亜鉛区の順で有意に高くなった。(無機亜鉛区と有機亜鉛区はP < 0.05、有機亜鉛区と対照区、無機亜鉛と対照区はP < 0.01)。

酢酸/プロピオン酸比(A/P比)は有意差はないものの無機亜鉛区、有機亜鉛区、対照区の順で低い数値となった。

7 経済性

経済性は表11に示した。亜鉛添加区は対照区より素畜費及び飼料費が多かったが、枝肉販売価格も多かったため、粗収益は有機亜鉛区、無機亜鉛区、対照区の順に多くなり、対照区と比較して有機亜鉛区が約12万円、無機亜鉛区が約10万円上回った。

考 察

亜鉛は、核酸、蛋白質、炭水化物の代謝に関与する酵素の必須成分である。また、免疫等の生体防御システムにおいても重要な働きを担っている。

日本飼養標準では牛の亜鉛要求量は飼料中30mg/kgとされ⁶⁾、我が国のほとんどの地域で牧草中の亜鉛は含量は不足している。また穀類中の亜鉛濃度は20~30mgであり牛に対して補給されるべき元素であると報告されている⁷⁾。亜鉛添加による増体への効果については、

Perryらは18~29Zn/kgDM給与により増体に効果があったと報告¹⁴⁾しているが、Pondら¹⁵⁾、Nunneryら¹⁶⁾は24ppmまたは30ppmZn/kgDM給与で効果がなかったと報告し、Greeneらは360mgZn/日給与で増体に効果がなかったと報告⁸⁾している。今回の試験の増体成績については試験開始時に試験牛の体重に差がみられるものの、亜鉛添加期間の増体は亜鉛添加により改善がみられた。これは、増体成績において有機亜鉛を給与することにより向上したという他の報告と一致している^{17,18)}。矢野¹⁹⁾は亜鉛添加が増体を改善する要因として亜鉛欠乏時には血中インスリン様成長因子-1(IGF-1)濃度が低下することから、IGF-1の作用を介して筋肉蛋白質蓄積増加とそれに伴う増体の改善を導いたことを挙げている。筆者ら⁹⁾は実施した既報の試験において、肥育中期にのみ有機亜鉛を添加した場合には増体への効果がみられなかったが、今回は肥育中期から肥育後期まで添加することによって増体の改善がみられた。このことから、亜鉛を肥育後期まで継続的に添加することにより増体に効果的であると考えられる。

ミネラル栄養素である亜鉛の増体に対する効果については、報告に見られるとおり種々の条件(無機亜鉛・有機亜鉛、添加量・濃度、給与期間、牛の品種)により効果が増減することが考えられ、今後も様々な条件下で検証していく必要がある。肉質においては有機亜鉛添加区で脂肪交雑の改善が見られた。この結果はSpearsら及びGreeneらの報告と同様であった。Spearsら²⁰⁾はアンガス×ヘレフォード交雑種去勢牛で亜鉛添加により肉質等級、枝肉歩留まり、脂肪交雑、背脂肪の厚さが増加すると報告している。Greeneら⁸⁾はアンガス種去勢牛で脂肪交雑、脂肪の厚さが増加する報告をしている。しかしながら、黒毛和種を用いた試験では脂肪交雑については一定の傾向がみられていない。この理由として和牛肥育の場合ビタミンAをコントロール(給与抑制)して脂肪交雑の改善する給与形態が

挙げられる。亜鉛を添加することにより、脂肪細胞の分化促進する作用があるが、ビタミンAを抑制することでも脂肪細胞の分化促進する作用がある。飼料への亜鉛添加量の増加は、血液ビタミンA濃度が高まり、ビタミンA作用が増強されるという報告¹⁹⁾があり、ビタミンAのコントロール時期と同時期に亜鉛を添加するとお互いの働きを相殺することになり、脂肪交雑の改善がみられないと考えられる。いずれにせよ脂肪交雑に関する亜鉛の効果についてはビタミンAとの関連性など更なる検討が必要であろう。

脂肪酸組成では亜鉛区の不飽和脂肪酸の割合が高くなった。これは、亜鉛添加区での飼料摂取量が多くなったことが一因と考えられる。脂肪が柔らかく口触りと風味のおいしい牛肉は脂肪中の不飽和脂肪酸の割合が高いことが報告されている。特に1価の不飽和脂肪酸であるオレイン酸が多いほど風味が良いとされており、有機亜鉛区でオレイン酸の割合が高く対照区より風味のよいおいしい牛肉になっている可能性が高いと考えられる。

ルーメン内性状では、VFA総量は亜鉛添加区で多くなった。これは対照区に比べて飼料摂取量が多かったためと考えられるが、VFA組成比は亜鉛添加区で酢酸組成比が高くなった。既報の試験⁹⁾では、有機亜鉛添加区でプロピオン酸組成比が有意に高くなったが、今回の試験ではみられなかった。これはH.M.Arelovichらの牛の飼料への無機態亜鉛の添加は粗飼料の乾物消化率に影響を及ぼさず、ルーメン内プロピオン酸モル比を上昇させ、酢酸：プロピオン酸比を減少させたとしている報告²¹⁾と異なる。これは、今回の試験は亜鉛添加区の肥育後期の粗飼料を稲わらからフェスクストローに変更したために粗飼料摂取量を増加し、酢酸産生量が高くなったと考えられる。

飼料に添加する有機亜鉛あるいは無機亜鉛について、Greeneら⁸⁾は亜鉛メチオニン添加は酸化亜鉛添加及び亜鉛無添加より脂肪交雑が多く脂肪も厚くなったと有機亜鉛の有効性を報告している。一方、Malcolm-Callisら²²⁾は酸化亜鉛、アミノ態亜鉛、多糖態亜鉛の3種類を比較し、発育性、産肉性に差はなかったと報告している。また、Spearsら²⁰⁾は酸化亜鉛、蛋白態亜鉛の両方とも肉質、脂肪交雑に同程度の効果があったと報告している。今回の試験において有機亜鉛区、無機亜鉛区の産肉性及び肉質について総合的に見て有機亜鉛区が無機亜鉛区よりも優れた成績であった。

今回の試験において有機亜鉛を添加することで血中亜鉛濃度が有意に上昇し、一方無機亜鉛区は血中亜鉛濃度の上昇がみられなかった。Greeneらの報告⁸⁾によるとアンガス種を用いた試験で有機態の亜鉛を添加した場合、内臓脂肪量や脂肪交雑が有意に増加したが、無機態の亜鉛では内臓脂肪量や脂肪交雑に影響を及ぼさなかったことから有機態亜鉛と無機態亜鉛では吸収

後の代謝が異なっていると推察している。筋肉蛋白質や脂肪交雑を増加させるための酵素類の生産、活性化等に積極的に利用される場合、血中亜鉛濃度が容易に上昇しないという報告もあることから、今回の無機亜鉛についても、同様に血中濃度が上昇しないまでも利用されていたと考えられる。しかしながら、無機亜鉛はストレス等の要因により利用が阻害されることがあり、その効果が不安定な無機亜鉛よりも有機亜鉛の方が実用性が高いと推察される。

経済性は添加物経費については無機亜鉛の方が安価であるが、有機亜鉛についても1頭当たりの経費は3千円程度であるため枝肉重量の増加が見込めれば十分に投資効果があると考えられる。

以上の試験の結果から亜鉛添加は増体成績を向上させ、有機亜鉛は脂肪交雑を改善する可能性が示唆された。しかし環境等の様々な条件により発現する機能や作用が違ってくると推察されるため、更に亜鉛の添加時期や給与量を検討する必要があると考えられる。

引用文献

1. 全国家畜産物衛生指導協会企画．生産獣医療システム 肉牛編．東京，農山漁村文化協会，90-101 (1999)
2. 鳥居伸一，松田恭子，大山路世，松井徹，矢野秀雄．黒毛和種から単離した脂肪前駆細胞の脂肪細胞への分化におけるビタミン及び脂肪酸の影響．肉用牛研究会報．60，27-28(1995)
3. 大橋秀一，瀧澤秀明，森田宏．和牛におけるビタミンC給与が肉質に与える影響．愛知農総試研報．31，245-252(1999)
4. 矢野秀雄，金聖元．肥育牛のビタミンA栄養とその後の展開．肉牛ジャーナル．11，64-71(1997)
5. 農林水産省農林水産技術会議事務局編．日本飼養標準肉用牛(2000年版)．104-107(2000)
6. 農林水産省農林水産技術会議事務局編．日本飼養標準肉用牛(2000年版)．47(2000)
7. 農林水産省農林水産技術会議事務局編．草地におけるミネラルの分布と動態に関する研究．研究成果．106 (1978)
8. Greene L.W., D.K. Lunt, F.M. Byers, N.K. Chirase, C.E. Richmond, R.E. Knutson, G.T. Schelling, Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. J. Anim. Sci. 66, 1818-1823(1988)
9. 瀧澤秀明，森下忠，石井憲一．有機亜鉛添加が黒毛和種去勢牛の産肉性及び肉質に及ぼす影響．愛知農総試研報．37，159-165(2005)
10. 独立行政法人 農業技術研究機構編．日本標準飼

- 料成分表(2001年版)。(2002)
11. 日本食肉格付協会. 新しい牛枝肉取引規格, (1988)
 12. O'Keefe, P.W., G.H. Wellington, L.R. Mattick and J.R. Stoufferand. Composition of bovine muscle lipids at various carcass locations. *J. Food Sci.* 33, 188-192(1968)
 13. 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 日本飼養標準肉用牛(2000年版). 13-14(2000)
 14. Perry T.W., W.M. Beeson, W.H. Smith and M.T. Mohler. Value of zinc supplementation of natural ration for fattening beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27, 1674-1677(1968)
 15. Pond W.G. and R.R. Oltjen. Response of large and medium frame beef steers to protein and zinc supplementation of a corn silage-corn finishing diet. *Nutr. Rep. Int.* 38, 737-743(1988)
 16. Nunnery G.A., G.E. Carstens and L.W. Greene. Feedlot performance and carcass characteristics in steers and levels of supplemental zinc. *J. Anim. Sci.* 74, 294(1996)
 17. 柏木敏孝, 谷口俊仁, 志茂順子, 長谷川正彦. 有機亜鉛給与による黒毛和種去勢牛の肥育成績に及ぼす影響. 和歌山農林水産研報. 6, 143-153(2005)
 18. 岩井俊暁, 山本稔, 松下厚志. 高品質牛肉「京都肉」の合理的生産技術の確立～有機亜鉛の飼料添加が黒毛和種去勢牛の増体と肉質に及ぼす効果. 京都畜技セ試験研究成績. 1, 53-62(2004)
 19. 矢野秀雄. 肥育牛の肉質および増体に及ぼすビタミンCと亜鉛の影響. 日本科学飼料協会. 科学飼料50(5), 31-39(2005)
 20. Spears J.W. and E.B. Kegley. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80, 2747-2752(2002)
 21. Arelovich H.M., F.N. Owens, G.W. Horn and J.A. Vizcarra. Effects of supplemental zinc and manganese on ruminal fermentation, forage intake, and digestion by cattle fed prairie hay and urea. *J. Anim. Sci.* 78, 2972-2979(2000)
 22. Malcoms-Callis K.J., G.C. Duff, S.A. Gunter, E.B. Kegley and D.A. Vermeire. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78, 2801-2808(2000)