

飼料中の銅・亜鉛濃度と豚の発育および豚ふんへの排せつ量の検討

園原邦治

Effects of Dietary Concentration of Copper and Zinc on Fecal Excretion in Pig.

Kuniharu SONOHARA

要 約

豚飼料中、特にほ乳期子豚育成飼料に焦点を当て、特に日本飼養標準値から大きく乖離している銅量について自主規制値をさらに下回る値による豚の発育試験を試みた。試験は育成豚（雌及び去勢LWD種：体重10kg）24頭を用いて、日本飼養標準による養分要求量値5ppmの銅量を飼料添加した区（1区）・自主規制値の1/2量の62.5ppmの銅量を飼料添加した区（2区）・自主規制値量の125ppmの銅量を飼料添加した区（3区）に分け6週間（42日間）発育性を調査するとともにその後の肥育成績・消化試験等を実施し、以下の結果を得た。

1. 子豚育成期間の飼料への銅添加を自主規制値1/2量としたところ、1日平均増体重および飼料要求率は雌では平均557gおよび1.60去勢では576gおよび1.95となり、自主規制値量添加した区（3区）に比較し差は見られなかった。
2. 自主規制値区における豚ふんの重金属含量（特に銅量）は、試験開始とともに顕著に増加した。
3. 重金属（銅・亜鉛）の吸収率（見かけの消化率）を測定したところ、銅では18.8%、亜鉛では15.2%となり、排泄率はともに80%以上であった。
4. 105kg到達日齢は各区分による差は見られなかった。また、肝臓の重金属蓄積量並びに脂肪酸組成において区間差は認められなかった。

緒 言

豚から排せつされるふん中には、銅、亜鉛等の重金属が高濃度に含まれ^{1,2)}、豚ふんから作られる堆肥は作物、土壌や周辺水系を汚染する危険性が高いと以前から指摘されてきている。^{3,4)}

この背景には、離乳子豚に銅を高水準（125～250ppm）給与することにより子豚の増体が6～10%程度改善される報告⁵⁾等から離乳子豚飼料への銅の高水準添加が行われた経過がある。また、銅の高水準添加は豚の成長促進や飼料効率の改善さらにふん性状の改善（ふんが硬くなり軟便が減少し黒色化してにおいが少なくなる等）の報告⁶⁾がある。

飼料製造業界では、昭和60年から豚飼料への重金属（特に銅・亜鉛）の添加上限量を設定し、すべての豚飼料（ほ乳期子豚から種豚用飼料まで）について自主規制を行っている。平成10年には自主規制値の見直し

を行い、ほ乳期子豚育成飼料（生体重30kg以下）で銅125ppm・亜鉛120ppm、子豚育成飼料（30～70kg）で45ppm・55ppm、肉豚育成飼料（70kg以上）で10ppm・50ppm、種豚飼料で10ppm・50ppmに改訂している。しかしながら、銅の改正値は日本飼養標準養分要求量値（農林水産省農林水産技術会議事務局編2002、5.3ppm：10～30kg子豚期）に比べても大きく上回っている。

また、平成6～7年度における本県内の豚配合飼料中並びに豚ふん中の銅亜鉛等の重金属含有量の実態調査⁷⁾を行なったところ、ほ乳子豚用配合飼料（体重30kg以下）、子豚育成用配合飼料（30～70kg）、肉豚肥育配合飼料（70kg以上）、種豚用配合飼料の4ステージ別の銅含有量は、ほ乳期用で53～152mg/kg（平均117mg/kg）、子豚育成用で11～127mg/kg（43mg/kg）、肉豚肥育用で6～26mg/kg（平均18mg/kg）、種豚用9～26mg/kg（平均17mg/kg）とほぼ自主規制値となっている。

今回はこのような背景から、特にほ乳期子豚育成飼料に焦点を当て、日本飼養標準値から大きく乖離している銅量（自主規制値125ppmに対して日本飼養標準では5.3ppm）について、自主規制値をさらに下回る値による豚の発育試験を試みた。なお、亜鉛については銅量ほど

平成15年8月29日受付

の添加量ではないこと（自主規制値120ppmに対して日本飼養標準では84ppm）と銅の添加量減少に伴う亜鉛添加量の減少効果を鑑み、試験飼料一律で過不足のない添加量とした。また、重金属（銅・亜鉛）の豚体内への取り組みや排泄、肥育効果および体成績に対する影響について調査した。

材料および方法

1. 供試豚

当センターでけい養しているLWD種24頭（雌12頭去勢12頭）を用いた。

2. 試験区分

試験区分は表1の通りとした。試験開始前の授乳期から体重10kgまでをステージⅠとし、4腹からLWD種47頭（10kgになった時点で試験豚として24頭選抜した。）について腹ごとに授乳させ、生後3週間目（21日）から体重10kg時まで抗生物質無添加のA飼料を与えた。母親からの離乳は生後4週間目までに行い、10kgまでは分娩ケージの中で飼育した。また、10kg時から子豚育成期間をステージⅡとし今回の試験期間とした。試験期間は試験飼料摂取期間を揃えるために6週42日間とした。試験飼料は、抗生物質無添加のB飼料

に重金属（銅・亜鉛）を3段階に添加したのを用いた。試験豚は、ステージⅠで選抜された24頭について3区に分け、1区当たり去勢および雌豚それぞれ4頭を1豚房当たり約14m²（3.4×4.2）に割り付け飼養した。なお、試験豚はその後同豚房において105kgまで豚産肉能力検定飼料により肥育しと体成績を求めた。

今回の試験の重金属の添加量については、ステージⅠのA飼料については、重金属（銅・亜鉛）は無添加とし、ステージⅡのB飼料については、銅の添加を1区では日本飼養標準に定められた10kgから30kg子豚における養分要求値とほぼ同値である5ppm、2区では銅の自主規制値の1/2量の62.5ppm、3区では銅の自主規制値である125ppm添加した。亜鉛については今回の試験では統一した添加量とし各区とも日本飼養標準に準ずるよう54ppm添加した。試験飼料の成分および配合割合については表2のとおりである。

3. 飼料給与方法

飼料給与は不断給餌、飲水は自由飲水とした。

4. 肥育並びにと体成績

試験終了後引き続き同飼育条件により105kgまで肥育した後、と体成績を調査するとともに調査豚の肝臓の蓄積重金属（銅・亜鉛）量を測定した。

表1-1 試験区分（発育ステージ）

区 分	給 与 飼 料
授乳～10kgまで（ステージⅠ）	4腹 母乳+A飼料
10kg～子豚育成期—6週—まで（ステージⅡ）	24頭 B飼料（各別銅および亜鉛添加量）

表1-2 試験区分（銅・亜鉛添加量）

区分	供試頭数	添加量		計算含量	
		銅	亜鉛	銅	亜鉛
1区	8頭（♀4・去4）	5.0	54	9.1	84.5
2区	8頭（♀4・去4）	62.5	54	64.1	84.5
3区	8頭（♀4・去4）	125	54	129.1	84.5

表2-1 試験飼料（A飼料）の成分と配合割合

飼料成分		配合割合	%	
1	小麦粉（粉末）	30.00	CP (%)	25.20
2	脱脂粉乳	27.00	DE (Mcal/kg)	3.70
3	黄色トウモロコシ	11.62	P (%)	0.66
4	グルコース	10.00	Ca (%)	0.80
5	魚粉（65%）	7.00	Cu (ppm)	3.60
6	凝縮大豆蛋白	6.80	Zn (ppm)	38.40
7	粉末油脂	6.36		
8	炭酸カルシウム	0.32		
9	食塩	0.20		
10	ビタミンb群	0.20		
11	ビタミンADE	0.20		
12	ミネラル	0.20		
13	塩酸Lリジン	0.10		

表2-2 試験飼料（B飼料）の成分と配合割合

飼料成分		配合割合	%	
1	小麦粉（粉末）	23.00	CP (%)	19.30
2	脱脂粉乳	5.00	DE (Mcal/kg)	3.49
3	黄色トウモロコシ	47.43	P (%)	0.55
4	グルコース	5.00	Ca (%)	0.73
5	魚粉（65%）	1.50	Cu (ppm)	4.10
6	凝縮大豆蛋白	9.00	Zn (ppm)	30.50
7	粉末油脂	2.00		
8	大豆かす	4.00		
9	炭酸カルシウム	0.65		
10	食塩	0.20		
11	ビタミンb群	0.10		
12	ビタミンADE	0.10		
13	ミネラル	0.10		
14	塩酸Lリジン	0.63		
15	リン酸2石灰	1.00		
16	DLメチオニン	0.10		
17	Lトレオニン	0.19		

5. 消化試験

代謝ケージを用いて、体重60kg時点における重金属（銅・亜鉛）の消化率を測定した。調査豚は試験豚の同腹豚2頭を用いて2回の繰り返し試験とした。試験方法は、全ふん採取法により12日間体重の3%制限給餌とし、採食開始時間を揃えて採食が終わった段階で残量を測り、給水は餌量の2倍程度とした。採ふんは試験開始7日目から5日間ふんを採取した。給与飼料は試験3区で使用した飼料（125ppm添加飼料）を用いた。

6. 試験期間

平成12年10月から平成13年12月まで実施した。

7. 調査項目

1日平均増体重、飼料要求率、ふん中の重金属（銅・亜鉛）含量、重金属（銅・亜鉛）の吸収率（見かけの消化率）、排泄率、肝臓腎臓の重金属（銅・亜鉛）含量、と体成績とした。

ふんの採取は、試験開始前日、試験開始1週（7日目）を前期、試験終了（42日目）を後期、肥育期間体重50kg時の4回について豚房ごとに全量採取し、60℃乾燥5日間行い粉碎後試験に供した。分析は、重金属（銅・亜鉛）量については湿式灰化による原子吸光法、脂肪酸組成はガスクロマトグラフィー法による。

結果ならびに考察

試験に用いた試験飼料の重金属含有量についてその測定結果を表3に示した。測定結果は、計算上の値よりすべての区で上回ったが、各区間の添加割合に変動は見られなかった。

体重10kgから6週（42日間）までの期間の発育は

表3 試験飼料の重金属測定 単位ppm

試験飼料	銅含有量		亜鉛含有量	
	計算上	測定結果	計算上	測定結果
A飼料	3.6	5.3±2.2	38.4	42.4±6.2
B飼料	4.1		30.5	
B飼料1区*	9.1	14.2±2.7	84.5	93.1±3.2
B飼料2区*	64.1	72.8±3.8	84.5	87.8±1.8
B飼料3区*	129.1	135.3±6.7	84.5	87.0±2.7
産肉能力検定		13.7±3.6		86.3±4.9

*1区添加量銅5ppm 亜鉛54ppm
*2区添加量銅60ppm 亜鉛54ppm
*3区添加量銅125ppm 亜鉛54ppm

表4 発育成績 -10kgから42日間（6週）-

区分	開始時体重 (kg)	日齢 (日)	終了時体重 (kg)	1日平均増体重 (g)	飼料要求率	飼料効率
1区雌	10.3±0.8	41	32.2±2.2	521.3±49.6	1.60	62.5
1区去勢	9.6±1.0	42	30.1±2.8	488.6±86.6	2.13	46.8
2区雌	10.3±0.3	42	35.7±1.9	577.3±76.4	1.60	62.7
2区去勢	10.8±0.9	43	33.9±2.7	576.8±89.4	1.95	51.2
3区雌	9.4±0.8	41	32.8±0.5	556.4±27.0	1.66	60.1
3区去勢	9.5±0.4	43	33.9±1.7	579.1±47.1	1.72	58.0
平均	9.9±1.0	42	33.0±2.5	549.9±68.5	1.77	56.8

表4のとおりで、試験開始時の体重および日齢は平均9.9kg生後42日目であり、ほぼ各区性別ともに差は見られなかった。

今回の試験では、試験開始前の調整として、飼料については重金属を無添加（今回の飼料としてA飼料）としているにも拘わらず、発育においては下痢等も見られず平均的な値となったことは、子豚離乳用飼料においても自主規制値である125ppm値添加の低減化について検討する必要があると思われる。

6週42日間の最終体重は平均33kg1日平均増体重は549.9gであるのに対して、1区では雌、去勢豚ともに1日平均増体重において低下したが、2区と3区においては、ほぼ同値であった。また、各区とも雌が去勢豚より高い値を示した。飼料要求率は1区去勢豚において低い値を示したものの、区間並びに性間において差は認められなかった。

特に子豚育成用飼料の重金属添加量の割合は大きく、日本飼養標準により肥育豚1頭当たりの離乳から出荷までの飼料摂取量から計算すると、子豚育成用飼料では、約42日で採食量は平均49.4kg中、銅の濃度が125ppmとして、銅総量6,174mgとなり、これは全体（子豚離乳用飼料期では採食量10.1kg・銅濃度125ppm、育成期前期飼料では採食量121kg・45ppm、後期飼料では採食量147.9kg・10ppm）の約43%を占めることになる。今回の試験により銅濃度がその1/2の62.5ppmでは、銅総量3,087mgとなり、全体の27%となり、約16%が軽減されたことになる。

同様な研究として、体重が約10kgの子豚に抗生物質を無添加及び添加した飼料に銅量を養分要求値、60ppm値、125ppm値、250ppm値とした結果、抗生物質無添加では、飼料への銅の添加水準が高まるにつれ増体量が改善されるが、抗生物質を添加した場合には、銅60ppm以上では、増体量の改善は見られなかったと報告⁸⁾がある。今回の試験において、この時期での抗生物質は無添加で行っており、自主規制値と1/2自主規制値との間で増体効果は変わらない結果となったことや、抗生物質を添加した場合には、さらに銅量の低減化が図れるものと思われる。

ふん中の重金属量（銅・亜鉛）は、表5-1、表5-2に示したとおり、銅においては、試験前期および後期3区が最も高く2区、1区の順になり区間差（前期後期ともに1区と2区及び1区と3区並びに2区と3区間において

表5-1 ふん中の銅濃度 (DM中)

開始前	前期	後期	50kg時
57.6±15.3	114.2±39.8a	121.5±42.3d	84.2±10.4
57.6±15.3	437.6±62.2b	458.1±62.2e	86.4±19.8
57.6±15.3	813.7±72.2c	839.3±69.6f	90.6±23.3

ab, ac, bc間において p < 0.01
de, df, ef間において p < 0.01

表5-2 ふん中の亜鉛濃度 (DM中)

開始前	前期	後期	50kg時
396.8±22.2	671.7±22.8	565.0±30.2	330.6±29.9
396.8±22.2	613.7±31.1	528.2±22.6	325.6±28.4
396.8±22.2	537.1±19.7	529.5±17.2	346.7±27.5

有意差 (p<0.01) が認められた。特に3区においては、試験前期 (試験開始7日目) の銅量は813.7ppm試験後期 (試験終了時) 839.3ppmとなり、試験開始前の同57.6ppmおよび試験終了後検定飼料摂取時期である50kg体重時における同90.6ppmと比較して試験期間中に急激に高くなる傾向を示した。亜鉛においては、各区間に差はなく同傾向を示したが、開始前から試験期間において減少しさらに50kg時で濃度が最も小さくなった。

配合飼料と豚ふんに含まれる銅量を調査した報告⁹⁾によれば、飼料中 (乾物) 10-20ppm銅量に対してふん中に20-100ppm、120ppm前後で400-600ppm、200ppm前後で1000ppm程度となっており、飼料中の銅含量とふん中の銅含量において正相関 (r = .772) が得られている。

今回の結果は、離乳から30kgまでの子豚のふん中銅含量と限られた範囲内での値であり、ふん採取に当たって個体別全量ふんから抽出していないためバラツキが見られたが、全体的にやや高い値となった。今後はさらに体重別全量採取によるふん中の銅含量を測定する必要がある。

また、銅および亜鉛の餌とふん中における濃度からその比率 (ふん濃度/餌濃度) を、相対的濃縮率として比較した。その結果、表6-1と表6-3の通り、銅では6.0~10.8倍を亜鉛では3.8~9.4倍の値を示した。1区において相対的濃縮率が高くなる傾向を示し、摂取量が少ない場合に濃縮率が高くなる傾向であったが、各区間の有意差は見られなかった。重金属のふんおよび堆肥中における含有率についての報告¹⁰⁾によると、豚ふんから豚ふん堆肥にした場合には、さらに銅含量が増加し、豚用飼料から豚ふん、豚ふん堆肥になるにつれて含有率が増加

表6-1 銅の相対的濃縮率 (ふん/飼料)

	開始前	前期	後期	50kg時
1区	10.8	8.0	8.6	6.2
2区	10.8	6.0	6.3	6.3
3区	10.8	6.0	6.2	6.6

表6-2 亜鉛の相対的濃縮率 (ふん/飼料)

	開始前	前期	後期	50kg時
1区	9.4	7.2	6.1	3.8
2区	9.4	6.9	6.0	3.8
3区	9.4	6.2	6.1	3.8

し、豚用飼料中の重金属は豚ふんを経て豚ふん堆肥として5.4-11.8倍に濃縮した結果報告があり、銅における経口から土壌までの一貫した動態について今後更に調査する必要がある。

重金属 (銅・亜鉛) の吸収率 (見かけの消化率) と排泄率を表7に示した。その結果、銅においては吸収率は18.8%となり、逆に排泄率は81.2%とほぼ摂取された8割の銅が豚の体外にふんとして排泄されることがわかった。

表7 重金属 (銅・亜鉛) の吸収 (見かけの消化) 率と排泄率

	単位: 量 (g) 率 (%)		吸収率	排泄率
	1日平均 給与量	1日平均 排泄量		
銅	0.2090±0.032	0.1697±0.062	18.8	81.2
亜鉛	0.1741±0.042	0.1476±0.113	15.2	84.8

排泄率については、抗生物質無添加のほ乳期子豚用飼料で銅83-89%、亜鉛83-84%に対して、抗生物質添加した場合銅92-93%、亜鉛83-93%と高くなる報告¹¹⁾がある。今回の試験は、子豚育成用飼料の抗生物質無添加飼料であり、抗生物質を添加した場合は排泄率が高くなる可能性がある。また、肥育豚による銅量の違いによる排泄率の変化を求めた報告では、飼料中の銅量5ppmで71.3%、10ppmで83.7%、20ppmで83.3%の結果であったが、今回の試験においては、銅量125ppmに対して排泄率81.2%とやや低い値となった。

重金属の排泄量が80%以上になったことは、飼料からの摂取量によってふん中への移行に大きく影響することから考えて、ほ乳期子豚育成飼料における自主規制値1/2量の銅添加量の軽減化による効果は堆肥や土壌中の重金属低減化に大きく影響すると考えられる。ただし、今回の試験は60kg時点の試験豚でありさらに子豚 (10kgから30kgまで) のそれぞれの時点での消化率を求める必要がある。また、亜鉛についても調査したところ銅よりも排泄率で84.8%とやや高い値となった。

つぎに、105kgまで肥育しと畜場出荷した結果について、表8には105kg到達日齢結果を、表9には、試験豚の肝臓の重金属 (銅・亜鉛) の蓄積量を示した。

ステージIIの試験終了時から105kgまでの肥育期間における到達日齢は、平均80.9日と区間差は認められなかった。また、試験開始から105kgまでの1日平均増体重は平均775.6gであった。特に、2区において雌去勢ともに他区に比較して高い値を示したが、有意差は見られなかった。また、105kg時における試験豚の肝臓の重金属 (銅・亜鉛) 蓄積量は、銅では平均9.0~13.2mg、亜鉛では平均53.7~78.2mgとばらついたものの、区間に差は見られなかった。飼料の銅含量と肝臓の銅蓄積について、添加量が増加すると、肝臓の蓄積量が加速的に増加すると報告¹²⁾されているが、長期にわたる飼料中への銅の高水準添加は肝臓機能低下を招くものと予想される。

表8 105kg到達日齢

区分	肥育開始体重 (kg)	肥育期間 (日)	105kg到達日数 (日)	1日平均*増体重 (g)
1区雌	32.2±2.2	84.5±3.3	167.5±2.3	749.0±12.2
1区去勢	30.1±2.8	83.7±3.7	167.5±4.6	759.5±26.7
2区雌	35.7±1.9	76.3±5.5	160.0±6.6	802.3±38.8
2区去勢	33.9±2.7	70.8±9.4	155.2±9.7	839.4±60.6
3区雌	32.8±0.5	85.5±6.6	168.5±7.5	751.3±35.0
3区去勢	33.9±1.7	85.0±3.4	169.5±4.1	752.0±18.2
計	33.0±2.5	80.9±7.6	164.7±7.7	775.6±46.8

*試験開始から105kgまで

表9 重金属 (銅・亜鉛) の肝臓蓄積量

区分	肝臓重量 (g)	銅蓄積量 (mg)	亜鉛蓄積量 (mg)	銅濃度 (ppm)	亜鉛濃度 (ppm)
1区雌	1405±61.3	9.0±0.5	73.3±23.8	7.5±3.7	60.9±19.3
1区去勢	1420±48.9	12.1±0.9	72.3±12.3	10.2±3.8	61.5±13.2
2区雌	1368±89.9	13.2±1.2	78.2±27.1	12.5±5.5	73.4±27.1
2区去勢	1550±191.6	10.7±1.1	77.7±10.0	8.8±4.4	64.6±12.5
3区雌	1495±156.3	12.0±1.4	71.7±22.4	10.1±3.6	60.1±16.3
3区去勢	1325±71.8	12.2±1.0	53.7±10.8	11.5±4.1	50.0±10.4

表10 と体成績 (背脂肪の厚さ)

単位: cm

区分	肩		背		腰		ランジリ		
	外側	内側	外側	内側	外側	内側	前	中	後
1区	0.9	2.6	0.5	1.4	0.9	1.8	2.4	1.9	2.7
2区	0.9	2.8	0.6	1.2	1.1	1.6	2.5	1.9	2.6
3区	1.0	2.7	0.6	1.3	0.7	1.7	2.3	1.7	2.6

表11 脂肪酸組成の割合 単位%

区分	背脂肪 (外)		背脂肪 (内)		腎脂肪	
	飽和	不飽和	飽和	不飽和	飽和	不飽和
1区	43.2	57.7	45.4	54.6	51.2	48.8
2区	41.9	58.1	45.3	54.7	51.2	48.8
3区	43.4	56.6	43.7	46.3	51.3	48.7

肉質、特に脂肪についての分析結果は表10および表11のとおりである。背脂肪の厚さについては有意差は認められなかった。また脂肪酸組成についても区間や性差による差は見られなかった。特に、銅の添加による有害作用として脂肪の軟化等の酸化作用の報告¹³⁾があるが、今回の試験においては認められなかった。

文 献

- 1) 若澤秀幸・中村元弘・山下春吉・横森達郎・岩崎光育. 配合飼料とそれを給与した豚のふんに含まれる無機物. 静岡県農業試験場研究報告, 29: 75-82, 1984.
- 2) 三浦憲蔵・片山勝之・皆川 望. 豚ふん施用に伴う農耕地の銅・亜鉛の蓄積. 畜産研究成果情報, No. 13: 3-4. 畜産試験研究推進会議・農林水産省畜産試験場. 1999
- 3) Davis, G.K.: High-level copper feeding of swine and poultry and the ecology. *Ped. Proc.*, 33, 1194-1196 (1974)
- 4) 吉田 澤: 堆肥肥施用の土壌・農作物への影響 [1] [2] [3], 農及園, 72, 473-478, 577-582, 674-678 (1997)
- 5) Stahly TS, Cromwell GL, Monegue HJ. Effects of the dietary inclusion of copper and (or) antibiotics on the performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 51: 1347-1351. 1980.
- 6) Hill GM, Cromwell GL, Crenshaw TD, Dove CR, Ewan RC, Knabe DA, Lewis AJ, Libal GW, Mahan DC, Shurson

GC, Southernr LL, Veum TL. Growth promotion effects and plasma changes feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weanling pigs (regional study). *Journal of Animal Science*, 78: 1010-1016. 2000.

- 7) 千葉県農業化学検査所: 平成7年度試験成績書, p44 ~ 49 (1996)
- 8) 高木久雄・花積三千人・山崎廣明・米持千里, 肉豚の肥育期における銅および亜鉛含量が発育および排泄量に及ぼす影響. 平成10年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業報告書, 日本科学飼料協会. 東京. 1999
- 9) 若澤秀幸・中村元弘・山下春吉・横森達郎・岩崎光育. 静岡県農業試験場研究報告, 29: 14-18. 1984.
- 10) 磯部 等・関本 均. 栃木県における豚用飼料, 豚ふんおよび豚ふん堆肥の重金属含量の実態. *日本土壤肥科学雑誌*, 70: 39-43. 1999.
- 11) 高木久雄・花積三千人・山崎廣明・米持千里. 抗菌性物質無添加の哺乳期豚用飼料における銅および亜鉛含量が発育および排泄量に及ぼす影響. 平成10年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業報告書, 日本科学飼料協会. 東京. 1999.
- 12) Cromwell, G.L., Efficacy of copper as a growth promotant and its interrelation with sulfur and antibiotics for swine. *Feedstuffs*, Vol. 53 Nov. 2, 30. 1981.
- 13) 館野英喜・内田三郎・山形勝吉・浜田龍夫・甫立京子. 豚の飼料添加が豚の成長肥育とと体成分に及ぼす影響. 茨城県養豚試験場研究報告, 6: 17-21. 1991