

## 第IV章 寒冷環境におけるエネルギー代謝と体組成

II章では、群飼条件の離乳子豚は環境温度の低下に対して互いに体を寄せあう休息行動(huddling)を示し、単飼条件では日増体量が低下するとされる温域でも良好な日増体量を維持する現象を明らかにした。さらにIII章では、群飼離乳子豚のhuddlingについて熱収支の面から検討を加え、寒冷環境における群飼の有利性を立証したが、一方、群飼離乳子豚の低温限界を究明するためには、寒冷が飼料のエネルギー利用、増体、体成分蓄積など離乳子豚の成長にどのような影響を及ぼすのか明らかにする必要がある。

しかし、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響について、飼料として摂取したエネルギーが体蓄積されるまでの一連の過程で調べた研究は少なく、とくに体組成に及ぼす寒冷の影響については明らかにされていない。

そこで本章では、寒冷の影響が明瞭に現れる単飼条件の離乳子豚を用いて、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響をエネルギー代謝と体成分蓄積の面から検討した。

### 1. 試験方法

群飼離乳子豚にとって明らかに寒冷である5℃と適温と考えられる25℃の環境において、比較屠殺法(comparative slaughter technique)<sup>9,53,78)</sup>に基づく試験9・10・11を実施した。

異なった環境温度下での長期にわたる豚の成長やエネルギー蓄積などを比較する際には、環境温度以外に必ず体重、日齢および飼料摂取量の要因が関与し、それら3要因を同時に等しくして検討することは難しい。

そこで、試験9は日齢と飼料摂取量の条件が同じくなるように、試験10は体重と飼料摂取量の条件が同じくなるように、また試験11では飼料摂取量を調節して体重と日齢の条件が同じくなるように試験条件を設定し、離乳子豚の成長、エネルギー出納、体成分蓄積などに及ぼす寒冷の影響を検討した。

試験9、10および11の設計を表12に示す。各試験において、28日齢(体重約7 kg)で離乳したラ

表12 試験設計と供試豚の日齢、体重および飼料給与量(試験9・10・11)

	試験 9			試験 10			試験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
供試頭数	4	4	4	4	4	4	4	4	4
飼料給与量(g/kg <sup>0.75</sup> /日)	—	110	110	—	110	110	—	140	90
平均日齢	離乳時	28	28	28	28	28	28	28	28
	試験開始時	35	35	35	37.5	36.0	36.0	35	35
	試験終了時	—	63	63	—	81.0	66.3	—	63
平均体重(kg)	離乳時	6.8	6.8	6.8	7.2	7.1	6.8	6.5	6.9
	試験開始時	7.0	7.5	7.6	9.2	8.8	9.3	7.4	8.3
	試験終了時	—	16.0	20.0	—	25.8	25.9	—	20.6

ンドレース種雄子豚を4腹から各3頭ずつ供試し、計12頭を環境調節室内の代謝ケージで飼育した。

#### 【試験9】

供試豚を25℃で1週間予備飼育し、35日齢に初

期屠殺区(以下、IS区)、5℃区および25℃区へ豚と体重を考慮して4頭ずつ配した。試験期間を35~63日齢の4週間とし、IS区は35日齢の試験開始時に屠殺・解体した。5℃区と25℃区は日量原

物110g/kg<sup>0.75</sup>の飼料を給与してそれぞれの環境温度下で飼育し、63日齢に屠殺・解体した。

#### 【試験10】

供試豚を体重9 kg時まで25℃で予備飼育し、体重9 kg時にIS区、5℃区および25℃区へ腹と日齢を考慮して4頭ずつ配した。試験期間を体重9 kg時から26kg時までとし、IS区は体重9 kgの試験開始時に屠殺・解体した。5℃区と25℃区は試験9と同じ日量110g/kg<sup>0.75</sup>の飼料を給与してそれぞれの環境温度下で飼育し、体重26kg時に屠殺・解体した。

#### 【試験11】

試験期間を試験9と同様に35～63日齢の4週間とし、供試豚を25℃で1週間予備飼育した後、35日齢にIS区、5℃区および25℃区へ腹と体重を考慮して4頭ずつ配した。IS区は35日齢の開始時に屠殺・解体した。25℃区は日量90g/kg<sup>0.75</sup>の飼料を給与し、63日齢に屠殺・解体した。5℃区は日増体量が25℃区と同じになるように飼料給与量を増加させ、結果的に日量140g/kg<sup>0.75</sup>を給与して63日齢に屠殺・解体した。

各試験において、群飼条件での試験1～4と比較し得るように同一の人工乳飼料(表2, GE17kJ/g, CP22%)を用い、週2回の体重測定により飼料給与量を決定した。排糞量と排尿量は毎日測定し、一部をサンプルとして採取した。屠殺時に屠体を血液、被毛、消化管内容物、内臓(消化器、肺、肝臓、腎臓、脾臓)および枝肉(皮下組織と筋肉・骨)に分割し、秤量した。血液のサンプルは屠殺時に採取し、凍結保存した。内臓と枝肉は凍結保存し、全量をチョッパーで磨砕・攪伴した後、サンプルを採取した。

飼料、残飼および糞は70℃で乾燥後サンプルを調製し、エネルギーと一般組成の分析に供した。尿、血液、内臓および枝肉のサンプルは凍結乾燥し、エネルギー、蛋白質、脂肪、灰分および水分の分析に供した。エネルギーはボンブカロリメーター(島津CA-3)で、蛋白質(N)はマイクロケルダール法で測定した。屠体の脂肪含量については、乾物から蛋白質と灰分を差し引いたものとした。

エネルギーの各体成分の蓄積量は比較屠殺法で求めた。すなわち、5℃区と25℃区の試験開始時における消化管内容物を除いた体重(EBW)とその組成をIS区より推定し、試験期間中のエネルギーと各体成分の蓄積量は試験開始時と終了時のEBW中含量の差として求めた。蛋白質および脂肪として蓄積されたエネルギー量は、BROUWER<sup>9)</sup>の式に従ってそれぞれの蓄積量に23.8kJ/g, 39.7kJ/gを乗じて算出した。熱産生量は、ME摂取量からエネルギー蓄積量を差し引いて求めた。

## 2. 結果と考察

### 1) 増体量と飼料効率

試験9～11における飼料摂取量、日増体量および飼料効率を表13に示す。試験9と10では5℃区と25℃区の飼料摂取量に差はないが5℃区の日増体量が低下し、試験9で5℃区の終了時体重が4 kg小さく(P<0.01)、試験10で5℃区の飼育期間が15日長くなった(P<0.01)。また試験11では、両区の日増体量と終了時体重をほぼ同じにできたが、そのためには5℃区では25℃区よりも1日当たりで241g、代謝体重(MBS)当たり41g/kg<sup>0.75</sup>/日の飼料が余分に必要であった(P<0.01)。飼料効率については、試験9～11を通じて5℃区で約30%の低下が認められた(P<0.01)。

5℃と25℃の間で日増体量および飼料効率に与える環境温度の影響が直線的であると仮定すると、環境温度1℃の低下につき日増体量は試験9・10より7.0～7.7g、飼料効率は試験9～11より0.009～0.011低下すると計算される。

豚の日増体量に及ぼす環境温度の影響についての報告順を表14に示す。環境温度の低下に伴う離乳子豚の日増体量の減少はおよそ7～14g/℃(LE DIVIDICH & NOBLET<sup>53)</sup>, HACKERら<sup>32)</sup>, BROWNら<sup>10)</sup>, 試験9・10)であり、肥育豚での14～22g/℃(所<sup>97)</sup>, FULLER & BOYNE<sup>24)</sup>, VERSTEGENら<sup>99)</sup>)に比べて小さい。しかし、これを体重当りに換算すると、肥育豚の0.22～0.32g/℃/kgに対し、離乳子豚では0.44～0.98g/℃/kgと大きな値となり、離乳子豚は肥育豚よりも寒冷の影響を強く受

表13 飼料摂取量, 日増体量および飼料効率 (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
飼料摂取量						
(g/kg <sup>0.75</sup> /日)	106	104	109	110	127 <sup>B</sup>	86 <sup>A</sup>
(g/日)	631	667	851	855	824 <sup>B</sup>	583 <sup>A</sup>
飼育期間(日)	28	28	45.0	30.3 <sup>A</sup>	28	28
日増体重(g)	304 <sup>A</sup>	443 <sup>A</sup>	397 <sup>A</sup>	551 <sup>B</sup>	439	433
飼料効率	0.48 <sup>A</sup>	0.66 <sup>A</sup>	0.45 <sup>A</sup>	0.65 <sup>B</sup>	0.53 <sup>B</sup>	0.75 <sup>B</sup>

A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり

表14 環境温度の低下に伴う豚の日増体量の変化

	試験期間	温度範囲	日増体量の減少量		研究者	
			g/℃*	g/kg/℃**		
離乳子豚	(6-19)	3-8	24~18-28~22	12.5	0.98	LE DIVIDICH & NOBLET 1982 <sup>53)</sup>
	(8-28)	5-16	2-20	13.7	0.76	HACKERら1973 <sup>32)</sup>
	(10-27)	6-12	2-20	11.2	0.61	BROWNら1976 <sup>10)</sup>
	(8-16)	5-8	5-25	7.0	0.58	本研究 試験9
	9-26	(5-11)	5-25	7.7	0.44	本研究 試験10
肥育豚	20-90	-	5-13	17.8	0.32	FULLER & BOYNE 1971 <sup>24)</sup>
	60-100	-	4.3-12.5	22.4	0.28	VERSTEGENら1979 <sup>99)</sup>
	45-85	-	5-15	14.1	0.22	所 1978 <sup>97)</sup>

( )内は低温下での体重および週齢

\* 環境温度1℃の低下に伴う減少量

\*\* 環境温度1℃の低下に伴う体重1kg当たりの減少量

けることを示唆する。

一方, 試験11の結果から, 25℃の環境下と同様な日増体量を得るためには, 環境温度1℃の低下につき2.1g/kg<sup>0.75</sup>/日の飼料が余分に必要となることが確認された。この量は, 試験9・10の日増体量と飼料効率から計算される必要量2.2~2.4g/kg<sup>0.75</sup>/日と一致する。

試験9~11の1日当たり飼料摂取量と日増体量の関係を, 一括して図11に示す。1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) と日増体量 (DG, g/日)の間には有意 (P<0.01) な正の相関があり, 以下の回帰式が得られた。

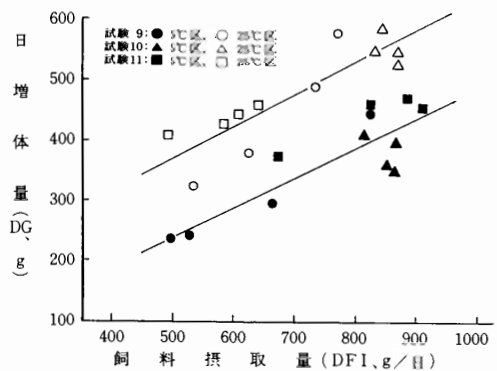


図11 飼料摂取量と日増体量の関係 (試験9~11)

$$5\text{℃} : \text{DG} = 0.50\text{DFI} - 13$$

$$(n=12, r=0.86, P < 0.01) \quad (4)$$

$$25\text{℃} : \text{DG} = 0.54\text{DFI} + 98$$

$$(n=12, r=0.89, P < 0.01) \quad (5)$$

各試験において飼料効率は25℃に比べ5℃で有意に低下しているにもかかわらず、(4)・(5)式の回帰係数に有意な差は認められなかった。このことは、飼料摂取量の変化に対する日増体量の反応は環境温度の影響を受けず、5℃での飼料効率は低下は維持に要するエネルギー量の増大に起因することを示唆する。共通の回帰係数を用いて(4)・(5)式を表すと以下のようになり、飼料摂取量100g/日の増加に伴う日増体量の増加は52gと推定される。

$$5\text{℃} : \text{DG} = 0.52\text{DFI} - 26 \quad (4')$$

$$25\text{℃} : \text{DG} = 0.52\text{DFI} + 111 \quad (5')$$

(4)・(5)式より、日増体量は25℃に比べ5℃では

137g 低下し、環境温度1℃の低下に伴う日増体量の減少は6.9gと計算される。また、25℃での飼料摂取量をDFI<sub>25</sub>(g/日)とすると、25℃と同じ日増体量を5℃で得るために必要となる飼料摂取量DFI<sub>5</sub>(g/日)は次のように表される。

$$\text{DFI}_5 = \text{DFI}_{25} + 264 \quad (6)$$

(6)式は、25℃と同じ増体速度を5℃で得るためには1日当たり264gの飼料の増給が必要となることを示し、試験11での実測値とほぼ一致する。

## 2) 消化率と代謝率

飼料成分の消化率について表15に示す。各成分の消化率は、粗繊維の消化率が試験10の5℃区で低かったことを除き環境温度による差は認められず、試験9～11の各区を通じて乾物、粗蛋白質、粗繊維、粗脂肪およびNFEそれぞれ平均91%、90%、41%、89%および95%であった。

表15 飼料成分の消化率 (%) (試験9～11)

	試 験 9		試 験 10		試 験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
乾 物	89.5	90.4	90.5	91.3	91.7	91.8
粗 蛋 白 質	87.8	88.9	90.5	89.8	91.2	91.5
粗 纖 維	30.1	32.0	43.2 <sup>a</sup>	53.2 <sup>b</sup>	43.3	43.9
粗 脂 肪	85.9	87.9	91.4	90.6	90.9	89.6
N F E	95.1	95.3	94.8	95.6	95.6	95.8

a, b異なる文字間に5%水準で有意差あり

表16 エネルギーの消化率および代謝率 (試験9～11)

	試 験 9		試 験 10		試 験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
<kJ/kg <sup>0.75</sup> /日>						
G E 摂 取 量	1,794	1,768	1,872	1,882	2,158 <sup>B</sup>	1,472 <sup>A</sup>
糞中エネルギー量	172	157	159	151	181 <sup>B</sup>	114 <sup>A</sup>
D E 摂 取 量	1,622	1,611	1,713	1,731	1,977 <sup>B</sup>	1,358 <sup>A</sup>
尿中エネルギー量	74	54	89	61	99 <sup>B</sup>	55 <sup>A</sup>
M E 摂 取 量	1,548	1,557	1,625	1,670	1,878 <sup>B</sup>	1,303 <sup>A</sup>
<%>						
消 化 率	90.4	91.1	91.5	92.0	91.6	92.3
代 謝 率	86.3	88.1	86.8 <sup>A</sup>	88.7 <sup>B</sup>	87.0	88.5
M E / D E	0.95	0.97	0.95 <sup>A</sup>	0.97 <sup>B</sup>	0.95	0.96

A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり

表17 窒素の消化率および蓄積率 (試験 9~11)

	試 験 9		試 験 10		試 験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
	〈g/kg <sup>0.75</sup> /日〉					
窒素摂取量	3.60	3.54	4.16	4.14	4.81 <sup>B</sup>	3.21 <sup>A</sup>
糞中窒素排泄量	0.44	0.40	0.36	0.42	0.42 <sup>B</sup>	0.28 <sup>A</sup>
可消化窒素量	3.16	3.15	3.76	3.72	4.39 <sup>B</sup>	2.94 <sup>A</sup>
尿中窒素排泄量	1.53 <sup>B</sup>	1.14 <sup>A</sup>	1.90 <sup>B</sup>	1.22 <sup>A</sup>	2.20 <sup>B</sup>	0.95 <sup>A</sup>
窒素蓄積量	1.63 <sup>A</sup>	2.01 <sup>B</sup>	1.86 <sup>A</sup>	2.50 <sup>B</sup>	2.19 <sup>B</sup>	1.99 <sup>A</sup>
	〈%〉					
消化率	87.8	89.0	90.4	89.9	91.2	91.5
蓄積率	45.3 <sup>A</sup>	56.8 <sup>B</sup>	44.7 <sup>A</sup>	60.4 <sup>B</sup>	45.5 <sup>A</sup>	62.0 <sup>B</sup>

A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり

エネルギー出納について表16に示す。エネルギーの消化率に環境温度による差は認められず、試験9~11の各区を通じて平均92%であった。代謝率は5℃区で尿中へのエネルギー排泄の増加あり全体では有意(P<0.01)に低下したが、その差は極めてわずかであった。エネルギーの代謝率は、試験9~11の各区を通じ平均88%であった。

窒素出納について表17に示す。窒素の消化率に環境温度による変化はなかったが、5℃区で尿中への窒素排泄の増加がみられ、蓄積率は5℃で平均46%、25℃区で平均60%と寒冷によって有意(P<0.01)に低下した。

そのため摂取ME当たりの尿中窒素排泄量は25℃区の平均 $7.3 \times 10^{-4}$ g/kJに対し、5℃区では平均 $11.1 \times 10^{-4}$ g/kJと有意(P<0.01)に増加した。

豚の消化率と環境温度の関係について、寒冷によって乾物、エネルギーおよび窒素の消化率が低下したとする報告<sup>23,25,81)</sup>がある一方で、粗繊維を除く各成分の消化率に寒冷による変化は認められないとする報告<sup>106)</sup>もみられる。本研究では、離乳子豚の消化率に寒冷による影響はとくに認められず、後者の結果と一致した。

反すう家畜では寒冷によって粗飼料給与時の消化率が低下すること<sup>11,12,48)</sup>が示され、食粥の消化管内通過速度が寒冷によって加速されること<sup>11,30,49,101)</sup>が文要な原因とされている。また寒冷下では甲状腺機能が高まり<sup>89)</sup>、甲状腺ホルモンが消化管の運動

を促進すること<sup>49,61)</sup>から、内分泌系の関与も示唆<sup>74)</sup>されている。しかし、反すう家畜でも濃厚飼料給与時の消化率には環境温度の影響は認められない<sup>76)</sup>。

反すう家畜でのこれらの結果は、穀類主体の飼料が給与され消化管内滞留時間が短い豚の消化率に及ぼす寒冷の影響について、飼料の種類および給与レベルの面からの検討が必要であることを示唆する。

寒冷下で窒素およびエネルギーの尿中排泄が増加する現象が認められた。同様のことは子豚<sup>23)</sup>および肥育豚<sup>25)</sup>でも報告されている。寒冷によって豚の甲状腺機能が昇進<sup>89)</sup>し、カテコールアミンの代謝産物であるバニルマンデル酸の尿中排泄量が増えること<sup>92)</sup>が報じられている。また寒冷では、体温維持に用いる期質を供給するために皮下組織の蛋白質分解が起こり、尿中への窒素およびエネルギーの排泄が増加することが指摘<sup>91)</sup>されている。

寒冷下では体温維持のために内分泌系を介した代謝の昇進が起こり、その結果として代謝産物の尿中排泄が増加するのであろう。しかし、それらの尿中物質自体のエネルギー量は極めて小さく、エネルギーの代謝率にはほとんど実質的な影響を与えないものと判断される。

### 3) 熱産生量とエネルギー蓄積量

熱産生量とエネルギー蓄積について表18に示す。試験9・10では、5℃区と25℃区のME摂取量に

表18 熱産生量およびエネルギー蓄積量 (試験9~11)

	試験 9		試験 10		試験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
	〈kJ/日〉					
ME 摂取量	9,263	9,966	12,645	12,983	13,184 <sup>B</sup>	9,063 <sup>A</sup>
熱 産 生 量	6,971 <sup>B</sup>	6,256 <sup>A</sup>	9,091 <sup>b</sup>	7,800 <sup>a</sup>	9,463 <sup>B</sup>	6,027 <sup>A</sup>
エネルギー蓄積量	2,292 <sup>A</sup>	3,710 <sup>B</sup>	3,554 <sup>A</sup>	5,183 <sup>B</sup>	3,721 <sup>b</sup>	3,036 <sup>B</sup>
蛋白質としての蓄積量*	1,164 <sup>A</sup>	1,659 <sup>B</sup>	1,442 <sup>A</sup>	2,116 <sup>B</sup>	1,628	1,745
脂肪としての蓄積量**	1,175 <sup>A</sup>	2,124 <sup>B</sup>	2,088 <sup>A</sup>	3,053 <sup>B</sup>	1,969 <sup>b</sup>	1,251 <sup>a</sup>
	〈kJ/kg <sup>0.75</sup> /日〉					
ME 摂取量	1,548	1,557	1,625	1,670	1,878 <sup>B</sup>	1,303 <sup>A</sup>
熱 産 生 産	1,166 <sup>B</sup>	976 <sup>A</sup>	1,168 <sup>b</sup>	1,004 <sup>a</sup>	1,310 <sup>B</sup>	853 <sup>A</sup>
エネルギー蓄積量	382 <sup>A</sup>	581 <sup>B</sup>	457 <sup>A</sup>	667 <sup>B</sup>	568 <sup>b</sup>	450 <sup>B</sup>
蛋白質としての蓄積量*	193 <sup>A</sup>	257 <sup>B</sup>	186 <sup>A</sup>	271 <sup>B</sup>	251	260
脂肪としての蓄積量**	195 <sup>A</sup>	337 <sup>B</sup>	266 <sup>A</sup>	393 <sup>B</sup>	298 <sup>b</sup>	184 <sup>a</sup>

\* P=23.8kJ/g Brouwer (1965)  
 A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり  
 a, b異なる文字間に5%水準で有意差あり

差はないが、5℃区で熱産生量が有意(P<0.01)に増加し、エネルギー蓄積量、蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量が低下した(P<0.01~0.05)。

試験11では両区の日増体量を同じくするために、5℃区で1日当たり4.1MJ、MBS当たり575kJ/

kg<sup>0.75</sup>/日のME量が25℃区より余分に必要となった。その結果、5℃区では熱産生量、エネルギー蓄積量および脂肪としてのエネルギー蓄積量が増加した(P<0.01)。

試験11において両区の日増体量が同じであったにもかかわらず5℃区のエネルギー蓄積量が増加したことは5℃区の脂肪蓄積量が増えていることで説明されるが、そのことは寒冷による増体量の低下を補うためのME量は単にエネルギー蓄積を等しくする量では不足し、体重増加の内容を考慮しなければならないことを意味する。

試験9~11の1日当たりのME摂取量(DME, MJ/日)と熱産生量、エネルギー蓄積量、蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量(DHP, DER, DPRおよびDFR; MJ/日)の間に以下の回帰式が得られた(図12a)。

$$5℃: DHP = 0.627DME + 1.061 \quad (n=12, r=0.96, P<0.01) \quad (7)$$

$$25℃: DHP = 0.534DME + 0.952 \quad (n=12, r=0.96, P<0.01) \quad (8)$$

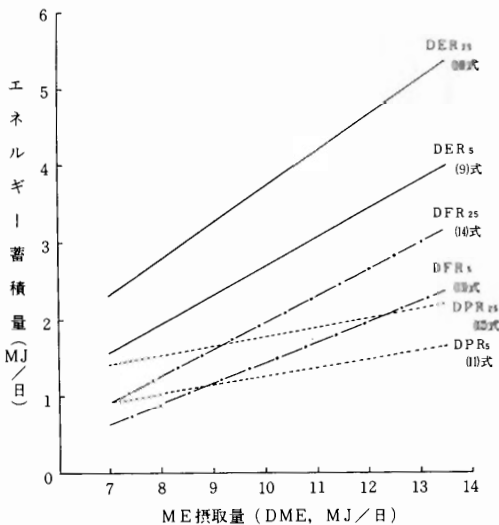


図12a. 1日当たりME摂取量とエネルギー蓄積量の関係(試験9~11)

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DER} = 0.373\text{DME} - 1.061$$

$$(n=12, r=0.89, P<0.01) \quad (9)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DER} = 0.466\text{DME} - 0.952$$

$$(n=12, R=0.95, P<0.01) \quad (10)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.113\text{DME} + 0.118$$

$$(n=12, r=0.82, P<0.01) \quad (11)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.120\text{DME} + 0.571$$

$$(n=12, r=0.79, P<0.01) \quad (12)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.260\text{DME} - 1.179$$

$$(n=12, r=0.85, P<0.01) \quad (13)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.346\text{DME} - 1.523$$

$$(n=12, r=0.87, P<0.01) \quad (14)$$

熱産生量, エネルギー蓄積量, 蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量について,  $5^{\circ}\text{C}$ と $25^{\circ}\text{C}$ の回帰式の係数間に有意差は認められず, 共通の回帰係数を用いると次のように表される。

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DHP} = 0.583\text{DME} + 1.560 \quad (7')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DHP} = 0.583\text{DME} + 0.434 \quad (8')$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DER} = 0.417\text{DME} - 1.560 \quad (9')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DER} = 0.417\text{DME} - 0.434 \quad (10')$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.117\text{DME} + 0.078 \quad (11')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DPR} = 0.117\text{DME} - 0.603 \quad (12')$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.300\text{DME} - 1.639 \quad (13')$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{DFR} = 0.300\text{DME} - 1.037 \quad (14')$$

(7')~(14')式より, 環境温度 $1^{\circ}\text{C}$ の低下にともなう1日当たりの熱産生量の増加量とエネルギー蓄積の減少量は $56\text{kJ}$ , 蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量はそれぞれ $26\text{kJ}$ および $30\text{kJ}$ と推定される。

一方, MBS 当たりでは試験9・10の結果より, 環境温度 $1^{\circ}\text{C}$ の低下にともなう熱産生の増加量とエネルギー蓄積の減少量は $8.2\sim 9.5\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ , 蛋白質としてのエネルギー蓄積の減少量は $3.2\sim 4.3\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ , 脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量は $6.4\sim 7.1\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ と計算された。

これらの値は, 環境温度 $1^{\circ}\text{C}$ の低下にともなう熱産生の増加量を $9\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ , 蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積の減少量を $4.0$ および $6.5\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ であるとした NOBLET & LE DIVIDICH<sup>78)</sup>の報告値と一致し, 寒冷によるエネルギー蓄積の減少は蛋白質蓄積よりも脂肪蓄積に起因

する部分が多いことを示す。

試験9~11のMBS当たりのME摂取量(ME,  $\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ )と熱産生量, エネルギー蓄積量, 蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量(HP, ER, PR および FR;  $\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ )との単回帰関係は以下のものであった。

$$5^{\circ}\text{C} : \text{HP} = 0.466\text{ME} + 430$$

$$(n=12, r=0.77, P<0.01) \quad (15)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{HP} = 0.44\text{ME} + 267$$

$$(n=12, r=0.86, P<0.01) \quad (16)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{ER} = 0.534\text{ME} - 430$$

$$(n=12, r=0.81, P<0.01) \quad (17)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{ER} = 0.551\text{ME} - 267$$

$$(n=12, r=0.91, P<0.01) \quad (18)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{PR} = 0.175\text{ME} - 85$$

$$(n=12, r=0.75, P<0.01) \quad (19)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{PR} = 0.014\text{ME} + 242$$

$$(n=12, r=0.11, \text{N.S.}) \quad (20)$$

$$5^{\circ}\text{C} : \text{FR} = 0.359\text{ME} - 345$$

$$(n=12, r=0.71, P<0.01) \quad (21)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \text{FR} = 0.537\text{ME} - 509$$

$$(n=12, r=0.87, P<0.01) \quad (22)$$

MBS 当たりの熱産生量, エネルギー蓄積量および脂肪としてのエネルギー蓄積量については,  $5^{\circ}\text{C}$ と $25^{\circ}\text{C}$ で回帰係数に有意差はなく, ME摂取量の増加に従って増加する関係があった。しかし, 蛋白質としてのエネルギー蓄積量は,  $5^{\circ}\text{C}$ ではME摂取量の増加に伴って増加するが,  $25^{\circ}\text{C}$ ではME摂取量に関係なく平均 $263\pm 21\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ とほぼ一定であった。そのためMBS 当たりでは, 寒冷によるエネルギー蓄積の減少は脂肪蓄積による部分が多いが, その比率は図12bに示すようにME摂取量が低くなるにつれて小さくなるものと考えられる。

さらに, エネルギーの利用効率と維持のME要求量について検討を加えた。(17)・(18)式より, 増体に対するMEの利用効率( $k$ )は $5^{\circ}\text{C}$ と $25^{\circ}\text{C}$ で $0.53$ および $0.55$ , 維持のME要求量(MEm)は $5^{\circ}\text{C}$ と $25^{\circ}\text{C}$ で $805\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ および $485\text{kJ}/\text{kg}^{0.75}/\text{日}$ と推定された。

また, 維持のME要求量(MEm)と蛋白質蓄積

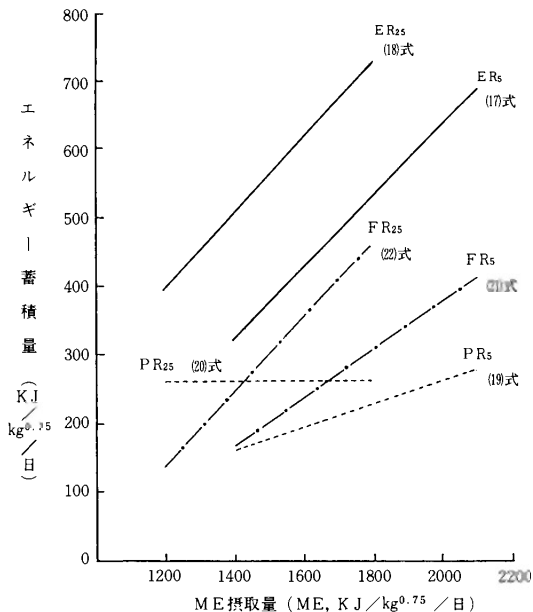


図12. 代謝体重当たりのME摂取量とエネルギー蓄積量の関係(試験 9~11)

および脂肪蓄積に対するMEの利用効率( $kp$ および $kf$ )を、 $ME = MEm + (1/kp)PR + (1/kf)FR$ のモデル<sup>2)</sup>により推定した。なお以下の重回帰式の計算にあたり、5℃では試験期間が他のものより平均15日長く日齢の進んでいた試験10のデータを含めると、 $kf$ が1.0を超えるためそれらを除外した。

$$5\text{℃} : ME = 940 + 2.22PR + 1.10FR \quad (n = 8, R^2 = 0.80, P < 0.01) \quad (23)$$

$$25\text{℃} : ME = 651 + 1.59PR + 1.46FR \quad (n = 12, R^2 = 0.81, P < 0.01) \quad (24)$$

(23)・(24)式から、5℃と25℃におけるMEmは940および651kJ/kg<sup>0.75</sup>/日、 $kp$ は0.45および0.63、 $kf$ は0.91および0.68と推定された。

離乳子豚の $k$ 、MEm、 $kp$ および $kf$ についての報告値<sup>15,17,21,54,55,78,86)</sup>を表19に示す。離乳子豚の $k$ については、0.46~0.91の値が報告されている。NOBLET & LE DILIDICH<sup>78)</sup>とCLOSE & STANIER<sup>15)</sup>は、熱的中性以下の温域では飼料摂取に伴う熱増加の一部が体温調節に使われるので環境温度の低下によって $k$ が高まるとしている。しかし、本研究では5℃と25℃の $k$ に有意な差は認められず、5℃と25℃を込みにした $k$ は0.54となり、次式よ

り環境温度1℃の低下に伴うエネルギー蓄積の減少量は9.6kJ/kg<sup>0.75</sup>/日と算定される。

$$5\text{℃} : ER = 0.543ME - 445 \quad (17)$$

$$25\text{℃} : ER = 0.543ME - 254 \quad (18)$$

離乳子豚の維持のME要求量について、18℃以上の温域での推定値は報告によって274~721kJ/kg<sup>0.75</sup>/日とかなりの変動がみられる(表19)。このような変動の原因として、環境温度の他に日齢<sup>45)</sup>、群サイズ<sup>13)</sup>、測定方法<sup>80)</sup>などの要因が考えられている。但し、環境温度の低下によってMEmが増加する傾向については一致しており、環境温度1℃の低下に伴うMEmの増加は18~35kJ/kg<sup>0.75</sup>/日の範囲が推定されている。

本研究での5℃と25℃のMEmの推定値は、(17)・(18)式から820および468kJ/kg<sup>0.75</sup>/日、(23)・(24)式より940および651kJ/kg<sup>0.75</sup>/日と計算され、5℃については比較し得るデータはないが、25℃のMEmについては上述の報告値の範囲にあった。また、環境温度1℃の低下に伴うMEmの増加量はそれらの式より14.5~17.6kJ/kg<sup>0.75</sup>/日と推定された。

離乳子豚の $kp$ については0.50~0.84、 $kf$ については0.72~0.84の推定値が報告されている(表19)。環境温度の影響を検討した研究<sup>15,78)</sup>では、環境温度の低下によって $kp$ が高まることを認め、その原因として臨界温度より下の温域では蛋白質蓄積に由来する余剰な熱の一部が体温調節に使われることを挙げている。

しかし本研究では、 $kf$ が25℃での0.68から5℃での0.91に高まったのに対し、 $kp$ は25℃の0.63から5℃での0.45に低下した。このことは、環境温度の低下により高まるとされている $k$ に環境温度による変化が認められなかったことを説明する。

5℃における $kp$ の低下は上記の研究に比べて厳しい寒冷条件下で熱産生を場大させるために体蛋白質の分解が促進されることに起因し、5℃での $kf$ の向上は(23)式で $kp$ が低下することに伴って脂肪蓄積に関係するMEの配分が相対的に小さくなったためと理解される。

寒冷下で体温維持に必要なとされ余剰の熱産生に体蛋白質が使われている可能性は、その分解産物である窒素の尿中排泄が増加していることから



表19 離乳子豚におけるエネルギーの利用効率

離乳週齢	試験週齢	環境温度(°C)	飼育条件	ME <sub>m</sub> kJ/kg <sup>0.75</sup> /日	エネルギーの利用効率			研究者
					K	K <sub>p</sub>	K <sub>f</sub>	
3	4-8	26	単飼	529	0.69	-	-	DE GOEY & EVAN 1977 <sup>21)</sup>
1	2-5	29-23	単飼	573	0.68	0.72	0.81	MC GRACKEN ら 1980 <sup>55)</sup>
2	3-5	18	群飼	721	0.80	-	-	
2	3-5	23	群飼	623	0.82	0.84	0.82	CLOSE & STANIER 1980 <sup>15)</sup>
2	3-5	28	群飼	544	0.71	0.74	0.72	
3	3-5	20	群飼	571	0.91	-	-	
3	3-5	24	群飼	497	0.76	-	-	LE DIVIDICH ら 1980 <sup>54)</sup>
3	3-5	28	群飼	411	0.79	-	-	
3	3-10	24-18	単飼	649	0.71	0.64	0.84	
3	3-10	28-22	単飼	508	0.60	0.50	0.84	NOBLET & LE DIVICH 1982 <sup>78)</sup>
3	3-10	32-26	単飼	445	0.60	-	-	
5	5-9	26	単飼	274	0.46	-	-	SEVE 1982 <sup>86)</sup>
2	2-5	18	単飼	739	0.58	-	-	
2	2-5	23	単飼	615	0.81	0.60	0.82	CLOSE & STANIER 1984 <sup>17)</sup>
2	2-5	28	単飼	550	0.74	0.65	0.86	
4	5-9	5	単飼	820	0.53	0.45	0.91	本研究
4	5-9	25	単飼	468	0.55	0.63	0.68	本研究

指摘できる。熱産生量 (HP, kJ/kg<sup>0.75</sup>/日) と尿中窒素排泄量 (UN, g/kg<sup>0.75</sup>/日) の間に図13および以下に示す関係が認められ、寒冷下での尿中への窒素排泄の増加が熱産生の増加に伴った変化であることを示唆する。

$$UN = 0.0026HP - 1.27$$

$$(n=24, r=0.87, P<0.01) \quad (25)$$

さらに, FULLER & BOYNE<sup>24)</sup>, HOLMES & MCLEAN<sup>41)</sup>も, 寒冷で熱産生量の増加に伴って尿中への窒素排泄量が増加し, 窒素蓄積量が減少することを認めている。

肥育豚の熱的中性圏における  $k_p$  と  $k_f$  の報告値<sup>5,14,18,28,38,43)</sup> を表20に示す。 $k_p$  について0.52~0.63,  $k_f$  について0.62~0.92の推定値が求められており, ARC<sup>2)</sup>は肥育豚の熱的中性圏にお

ける  $k_p$  値として0.56,  $k_f$  として0.74を採用している。離乳子豚の熱的中性圏における  $k_p$  について MAC CRACKEN ら<sup>55)</sup>と CLOSE & STANIER<sup>15)</sup>は2~5週齢間で0.72~0.74と肥育豚よりも高い値を報告しているが, 5~8週齢間で求めた本研究25°Cの  $k_p$  値(0.63)と  $k_f$  値(0.68)は肥育豚での推定値に近いものであった。

#### 4) 体成分蓄積量

蛋白質, 脂肪, 灰分および水分の蓄積量を表21に示す。試験9・10では, 5°C区で日増体重の低下に伴って各成分の蓄積量が減少した ( $P<0.01\sim0.05$ )。試験9・10の結果により, 環境温度1°Cの低下に伴う蛋白質, 脂肪, 灰分および水分蓄積の減少量は, 1日当たりで1.0~1.4, 1.2, 0.2および3.9~5.4g, MBS当たりで0.14~0.18,

0.16~0.18, 0.03および0.49~0.60g/kg<sup>0.75</sup>/日と計算された。また、両区の日増体量が同じであった試験11では、両区の蛋白質と水分の蓄積に差はなかったが、脂肪と灰分の蓄積量が5℃区で増加した (P<0.05, 0.01)。

試験9~11の1日当たりの飼料摂取量と体成分蓄積量の関係を、一括して図14 a~17 aに示す。1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) と蛋白質, 脂肪, 灰分および水分の蓄積量 (P, F, AshおよびMoi; g/日) との間に、以下に示す回帰式が得られた。

$$5\text{℃} : P = 0.075DFI + 1.3 \quad (n=12, r=0.82, P<0.01) \quad (26)$$

$$25\text{℃} : P = 0.079DFI + 22.0 \quad (n=12, r=0.79, P<0.01) \quad (27)$$

$$5\text{℃} : F = 0.100DFI - 33.3 \quad (n=12, r=0.86, P<0.01) \quad (28)$$

$$25\text{℃} : F = 0.134DFI - 39.8 \quad (n=12, r=0.85, P<0.01) \quad (29)$$

$$5\text{℃} : \text{Ash} = 0.016DFI - 0.2 \quad (n=12, r=0.70, P<0.01) \quad (30)$$

$$25\text{℃} : \text{Ash} = 0.019DFI + 1.0 \quad (n=12, r=0.81, P<0.01) \quad (31)$$

$$5\text{℃} : \text{Moi} = 0.254DFI + 39.8 \quad (n=12, r=0.73, P<0.01) \quad (32)$$

$$25\text{℃} : \text{Moi} = 0.270DFI + 108.7 \quad (n=12, r=0.76, P<0.01) \quad (33)$$

(26)~(33)式のうち、各成分の5℃と25℃での蓄積量を示す2つの回帰式の係数間に有意な差はなく、飼料摂取量の変化に伴う各成分の蓄積反応は环境温度の影響を受けないものと判断される。そこで

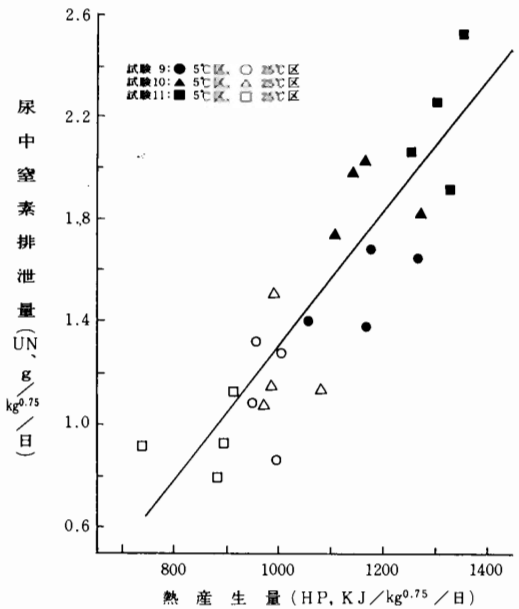


図13 熱産生量と尿中空窒素排泄量の関係 (試験9~11)

(26)~(33)式を、各成分毎に共通の回帰係数を用いて表すと以下のとおりである。

$$5\text{℃} : P = 0.077DFI + 0.1 \quad (26')$$

$$25\text{℃} : P = 0.077DFI + 23.3 \quad (27')$$

$$5\text{℃} : F = 0.116DFI - 45.2 \quad (28')$$

$$25\text{℃} : F = 0.116DFI - 27.4 \quad (29')$$

$$5\text{℃} : \text{Ash} = 0.018DFI - 1.6 \quad (30')$$

$$25\text{℃} : \text{Ash} = 0.018DFI + 2.0 \quad (31')$$

$$5\text{℃} : \text{Moi} = 0.262DFI + 33.8 \quad (32')$$

$$25\text{℃} : \text{Moi} = 0.262DFI + 114.6 \quad (33')$$

蛋白質, 脂肪, 灰分および水分の蓄積量は(26')~(33')

表20 肥育豚の熱的中性圏におけるエネルギーの利用効率

体重 kg	MEM kJ/kg <sup>0.75</sup> /日	Kp	Kf	研究者
23-42	511	0.58	0.70	Close ら 1973 <sup>(8)</sup>
20-50	440	0.63	0.70	Close & Mount 1976 <sup>(4)</sup>
20-90	429	0.55	0.62	Houseman & McDonald 1973 <sup>(43)</sup>
30-110	397	0.52	0.70	Gadeken ら 1974 <sup>(28)</sup>
30-90	460	0.53	0.69	Holmes ら 1980 <sup>(38)</sup>
40-110	477	0.53	0.92	Berchauer ら 1980 <sup>(5)</sup>

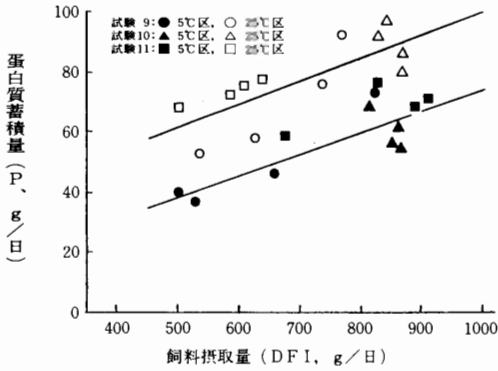


図14a. 1日当たりの飼料摂取量と蛋白質蓄積量の関係 (試験 9~11)

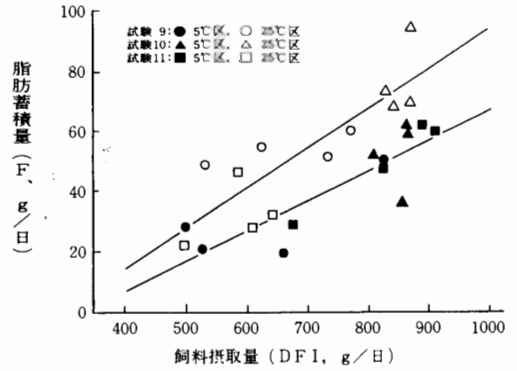


図15a. 1日当たりの飼料摂取量と脂肪蓄積量の関係 (試験 9~11)

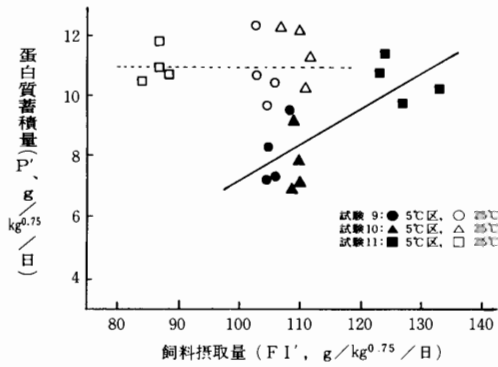


図14b. 代謝体重当たりの飼料摂取量と蛋白質蓄積量の関係 (試験 9~11)

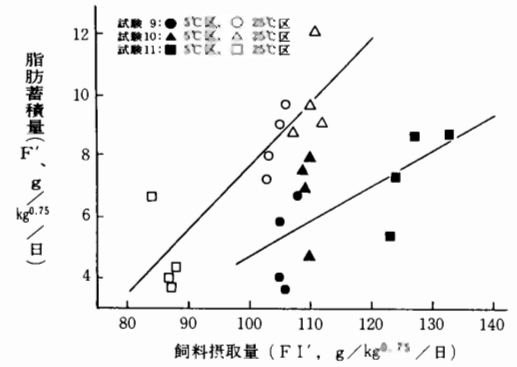


図15b. 代謝体重当たりの飼料摂取量と脂肪蓄積量の関係 (試験 9~11)

表21 化学成分の蓄積量に及ぼす環境温度の影響 (試験 9~11)

	試 験 9		試 験 10		試 験 11	
	5 °C	25 °C	5 °C	25 °C	5 °C	25 °C
	<g/日>					
蛋白質	48.9 <sup>A</sup>	69.7 <sup>B</sup>	60.6 <sup>A</sup>	88.9 <sup>B</sup>	68.4	73.3
脂肪	29.6 <sup>A</sup>	53.5 <sup>B</sup>	52.6 <sup>A</sup>	76.9 <sup>B</sup>	49.6 <sup>p</sup>	31.5 <sup>a</sup>
灰分	8.6 <sup>a</sup>	13.2 <sup>b</sup>	13.7 <sup>a</sup>	17.6 <sup>b</sup>	14.5 <sup>B</sup>	13.2 <sup>A</sup>
水分	208 <sup>A</sup>	285 <sup>B</sup>	225 <sup>A</sup>	332 <sup>B</sup>	272	278
	<g / kg <sup>0.75</sup> / 日>					
蛋白質	8.1 <sup>A</sup>	10.8 <sup>B</sup>	7.8 <sup>A</sup>	11.4 <sup>B</sup>	10.6	10.9
脂肪	4.9 <sup>A</sup>	8.5 <sup>B</sup>	6.7 <sup>A</sup>	9.9 <sup>B</sup>	7.5 <sup>p</sup>	4.6 <sup>a</sup>
灰分	1.5 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	1.8 <sup>a</sup>	2.3 <sup>b</sup>	2.2 <sup>B</sup>	2.0 <sup>A</sup>
水分	34.4 <sup>A</sup>	44.2 <sup>B</sup>	29.0 <sup>A</sup>	42.7 <sup>B</sup>	42.1	41.5

A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり  
a, b異なる文字間に5%水準で有意差あり

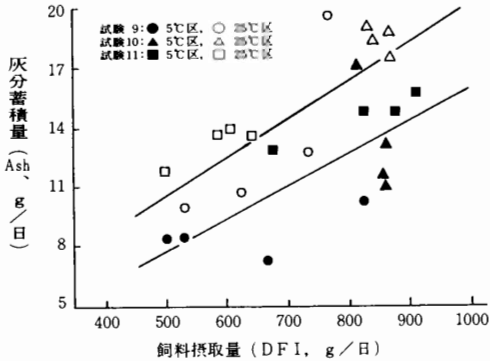


図16a 1日当たりの飼料摂取量と灰分蓄積量の関係(試験 9~11)

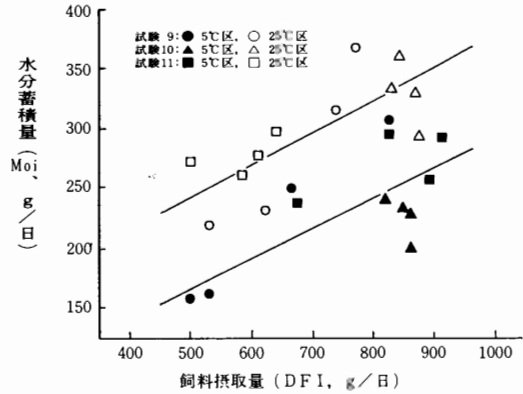


図17a 1日当たりの飼料摂取量と水分蓄積量の関係(試験 9~11)

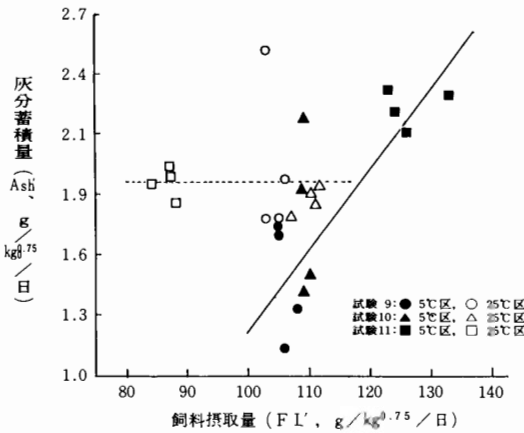


図16b 代謝体重当たりの飼料摂取量と灰分蓄積量の関係(試験 9~11)

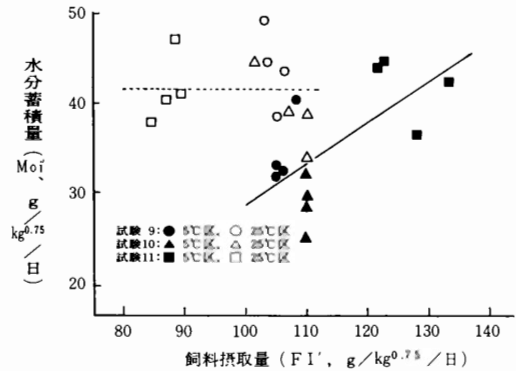


図17b 代謝体重当たりの飼料摂取量と水分蓄積量の関係(試験 9~11)

式より、5℃では25℃よりそれぞれ23.2, 17.8, 3.6および80.8g/日少なく、環境温度1℃の低下に伴う減少はそれぞれ1.2, 0.9, 0.2および4.0g/日と推定される。また、飼料摂取量100g/日の増加による蛋白質、脂肪、灰分および水分蓄積量の増加は、同じく7.7, 11.6, 1.8および26.2g/日と計算される。

これらのことは、蛋白質蓄積量と脂肪蓄積量の環境温度による変化は蛋白質蓄積で大きいのに対し、飼料摂取量による変化は脂肪蓄積で大きいことを示す。

一方、増体量(DG, g/日)と蛋白質および脂肪蓄積量(PおよびF, g/日)の関係について以下の重回帰式が得られた。

$$DG = 5.2P + 0.9F + 25 \quad (n=24, R^2=0.97, P<0.01) \quad (34)$$

(34)式は、蛋白質と脂肪の蓄積量各1gの変化が日増体量の5.2gおよび0.9gの変化をもたらすことを意味し、その値はLE DIVIDICH & NOBLET<sup>53)</sup>の報告値と近似している。

環境温度1℃の低下による蛋白質と脂肪蓄積の減少量は(26)~(29)式から1.2g/日および0.9g/日と推定されたが、それらに関連する日増体量の減少量は(34)式によりそれぞれ6.2g, 0.8gとなり、その合計は(4)・(5)式から求めた日増体量の減少量6.9gと一致する。このことは、寒冷によって引き起こされるエネルギー蓄積の低下は脂肪蓄積の減少による部分が大きかったのに対し、増体量の低下は脂

肪蓄積よりも蛋白質蓄積の減少による部分が多いことを示唆する。

また、飼料摂取量の増加による蛋白質と脂肪蓄積の増加量は同じく(26)'式から飼料摂取量100g/日の増加につき7.7g/日および11.6g/日と推定されたが、それらに関連する日増体量の増加は(34)式よりそれぞれ40.0g, 10.4gとなり、その合計は(4)'(5)'式から求めた日増体量の増加量52gと適合する。このことは、飼料摂取量の増加による蛋白質と脂肪蓄積の増加は脂肪蓄積で大きいにもかかわらず、そのことによって引き起こされる増体量の変化は蛋白質蓄積の増加による部分が多いことを意味する。但し、寒冷による場合に比べると、増体量の変化に占める蛋白質蓄積に関連した部分の比率は小さい。

以上のことは、環境温度に起因する増体量の変化と飼料摂取量に起因する増体量の変化とではその内容が異なることを示し、試験11において寒冷による増体量の低下を飼料の増給で補った5℃区で脂肪蓄積量が増加した理由を説明する。

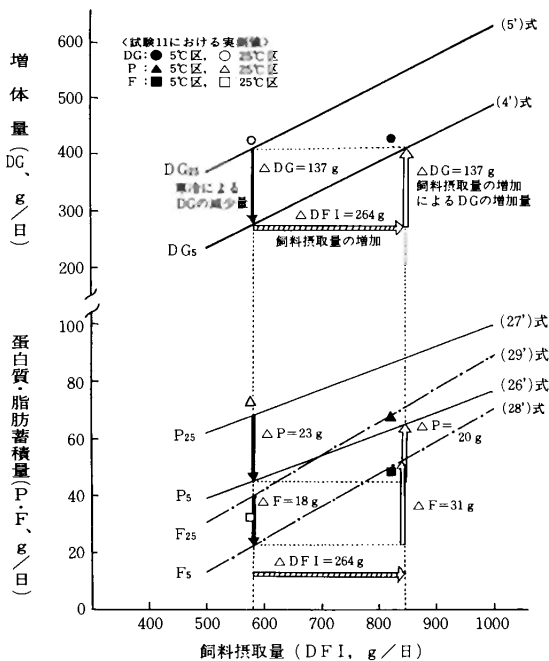


図18 日増体量、蛋白質および脂肪蓄積に及ぼす環境温度と飼料摂取量の影響 (試験 9~11)

図18はこれまで述べた5℃と25℃における飼料摂取量と日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量の関係を整理し、試験11の結果と共に示したものである。飼料摂取量が583g/日である離乳子豚の25℃での日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量は414, 68および40g/日(実測値433, 73および32g/日)であるが、5℃では寒冷により蛋白質と脂肪の蓄積量が23および18g/日減少し日増体量137gの低下がもたらされる。一方、5℃で寒冷による日増体量の低下を補うためには飼料264g/日(実測値241g/日)の増給が必要であり、そのことによって蛋白質蓄積量と脂肪蓄積量の20および31g/日の増加が起こり、飼料摂取量847g/日(実測値824g/日)での日増体量、蛋白質および脂肪の蓄積量は414, 65および53g/日(実測値439, 68および50g/日)となる。従って、5℃において日増体量を飼料の増給によって25℃と同等とすると、蛋白質蓄積量が3g/日(実測値5g/日)減少し、脂肪蓄積量が13g/日(実測値18g/日)増加することとなる。

すなわち、環境温度1℃の低下に伴う日増体量6.9gの低下は蛋白質蓄積1.2g/日および脂肪蓄積0.9g/日の減少によって引き起こされるが、飼料摂取量13.2g/日の増加に伴う日増体量6.9gの増加は蛋白質蓄積1.0g/日および脂肪蓄積1.5g/日の増加によって引き起こされ、寒冷による増体量の低下を飼料の増給で補うと、蛋白質蓄積量はあまり変化しないが、脂肪蓄積量は温度差1℃当たり0.6g/日増加することを示している。

試験9~11のMBS当たりの飼料摂取量と体成分蓄積量の関係を、一括して図14b~17bに示す。MBS当たりの飼料摂取量(FI', g/kg<sup>0.75</sup>/日)と蛋白質, 脂肪, 灰分および水分の蓄積量(P', F', Ash' および Moi' ; g/kg<sup>0.75</sup>/日)の関係は以下のとおりで、5℃では各成分について有意(P<0.01)な正の相関があったが、25℃では脂肪以外の成分について有意な相関関係は認められなかった。

$$5℃ : F' = 0.112FI' - 6.4 \quad (n=12, r=0.60, P<0.05) \quad (35)$$

$$25℃ : F' = 0.211FI' - 13.4 \quad (n=12, r=0.89, P<0.01) \quad (36)$$

$$5\text{℃} : P' = 0.121FI' - 4.9$$

(n=12, r=0.77, P<0.01) (37)

$$25\text{℃} : P' = 0.010FI' + 10.1$$

(n=12, r=0.12, N.S.) (38)

$$5\text{℃} : Ash' = 0.031FI' - 1.7$$

(n=12, r=0.71, P<0.01) (39)

$$25\text{℃} : Ash' = -.002FI' + 2.2$$

(n=12, r=-.10, N.S.) (40)

$$5\text{℃} : Moi' = 0.464FI' - 17.8$$

(n=12, r=0.71, P<0.01) (41)

$$25\text{℃} : Moi' = -.020FI' + 43.8$$

(n=12, r=-.05, N.S.) (42)

(37)~(42)式は、MBS 当たりの蛋白質、灰分および水分の蓄積量が、5℃では飼料摂取量10g/kg<sup>0.75</sup>/日の増加について1.2、0.3および4.6g/kg<sup>0.75</sup>/日増えるのに対し、25℃では飼料摂取量に関係なく平均11.0±0.9、2.0±0.2および41.7±4.3g/kg<sup>0.75</sup>/日とはほぼ一定であることを示している。

しかし、25℃において脂肪を除く各成分のMBS当たりの蓄積量に飼料摂取量による変化がなかったことに対する十分な考察は難しく、この点については飼料摂取水準の範囲をさらに広げて検討する必要があるだろう。

### 5) 体組成と内臓・毛重量

消化管内容物を除いた体重の増加量すなわち empty body weight gain (EBWG) 中の化学組成を表22に示す。試験9では、5℃区で脂肪の比率とエネルギー含量が低下し、水分の比率が高まった (P<0.01)。試験10では、両区の蛋白質、脂肪、灰分、水分の比率およびエネルギー含量に有意な差はなかった。試験11では、5℃区の脂肪の比率とエネルギー含量が増加 (P<0.05) し、蛋白質と水分の比率が低下 (P<0.01) した。また屠体の組成も、表23に示すように EBWG 中の化学組成の関係をそのまま反映したのとなっている。

表22 空気重増加 (EBWG) 中の化学組成 (試験9~11)

	試 験 9		試 験 10		試 験 11	
	5℃	25℃	5℃	25℃	5℃	25℃
開始時EBW(kg)	7.2	7.3	8.2	8.6	7.6	7.5
終了時EBW(kg)	15.5 <sup>A</sup>	19.1 <sup>B</sup>	24.1	23.9	18.9	18.6
E B W G (kg)	8.3 <sup>A</sup>	11.8 <sup>B</sup>	15.9	15.3	11.3	11.1
蛋白質(%)	16.6	16.5	17.2	17.3	16.9 <sup>a</sup>	18.5 <sup>b</sup>
脂肪(%)	9.8 <sup>A</sup>	13.0 <sup>B</sup>	14.9	15.0	12.1 <sup>b</sup>	8.0 <sup>a</sup>
灰分(%)	3.1	3.1	3.9	3.4	3.6	3.3
水分(%)	70.5 <sup>B</sup>	67.4 <sup>A</sup>	64.0	64.3	67.4 <sup>A</sup>	70.2 <sup>B</sup>
エネルギー(kJ/g)	7.8 <sup>A</sup>	8.9 <sup>B</sup>	10.1	10.1	9.1 <sup>b</sup>	7.7 <sup>a</sup>

A, B異なる文字間に1%水準で有意差あり  
a, b異なる文字間に5%水準で有意差あり

表23 屠体 (EBW) 中の化学組成 (試験9~11)

	試 験 9			試 験 10			試 験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
蛋白質(%)	15.3 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	16.0 <sup>b</sup>	15.7 <sup>a</sup>	16.7 <sup>b</sup>	16.7 <sup>b</sup>	15.3 <sup>a</sup>	16.3 <sup>b</sup>	17.2 <sup>b</sup>
脂肪(%)	10.4	10.2	12.0	10.5 <sup>a</sup>	13.5 <sup>b</sup>	13.4 <sup>b</sup>	8.0 <sup>a</sup>	10.4 <sup>b</sup>	8.0 <sup>b</sup>
灰分(%)	3.9	3.4	3.4	3.6	3.8	3.5	3.6	3.6	3.4
水分(%)	70.4 <sup>b</sup>	70.4 <sup>b</sup>	68.6 <sup>a</sup>	70.3 <sup>b</sup>	66.1 <sup>a</sup>	66.5 <sup>a</sup>	73.1 <sup>c</sup>	69.7 <sup>a</sup>	71.4 <sup>b</sup>
エネルギー(kJ/g)	7.5	7.7	8.4	7.7 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>	6.8 <sup>a</sup>	8.2 <sup>c</sup>	7.3 <sup>b</sup>

a, b, c異なる文字間に5%水準で有意差あり

表24 寒冷下における脂肪比率の変化と屠殺体重、屠殺日齢および飼料摂取量との関係

温度範囲 (%)	豚の種類	適温下に対する低温下での条件と反応				研究者
		飼料 摂取量	屠殺 体重	屠殺 日齢	脂肪 比率	
5-25	離乳子豚	=	-	=	-	本研究 試験9
5-25	離乳子豚	=	=	+	=	本研究 試験10
5-25	離乳子豚	+	=	=	+	本研究 試験11
24~18-32~26	離乳子豚	=	-	=	-	Le Dividich ら 1982 <sup>53)</sup>
10-35	離乳子豚	=	-	=	-	Dauncy & Ingram 1983 <sup>20)</sup>
18-28	離乳子豚	=	-	=	-	Close & Stanier 1984 <sup>16)</sup>
2-20	離乳子豚	=	-	=	-	Brown ら 1976 <sup>10)</sup>
2-20	肥育豚	=	-	=	-	Hacker 1976 <sup>32)</sup>
5-23	肥育豚	=	=	+	=	Fuller & Boyne 1971 <sup>24)</sup>
14~4-17~8	肥育豚	=	=	+	(=)	Verstegen ら 1979 <sup>99)</sup>
13-25	肥育豚	+	=	=	(+)	Hale ら 1968 <sup>34)</sup>

( ) 内は背脂肪の変化

豚の体組成に及ぼす環境温度の影響については、寒冷下で脂肪の比率が低下したケース<sup>10,16,20,23,32,53)</sup>、寒冷による変化がなかったケース<sup>24,99)</sup>および寒冷下で背脂肪が増加したケース<sup>34)</sup>が報告されており、いままでのところ見解は必ずしも一致していない。本研究においても、25℃区に対する5℃区のEBWG中および屠体の組成は、試験9、10および11で全く異なる関係を示している。

豚の体組成は飼料摂取量<sup>40)</sup>あるいは体重<sup>19,87)</sup>によっても変化することが報告されており、それらの要因の関与が寒冷環境における豚の体組成についての理解を複雑にさせているものと思われる。そこで、試験9~11における飼料摂取量、体重および日齢の条件と脂肪比率の変化との関係を整理し、既往の研究結果と共に表24に示す。

飼料摂取量と日齢の条件は同じであり屠殺体重が5℃区で小さい試験9では、5℃区の脂肪比率が低下した。飼料摂取量と体重の条件は同じであり屠殺日齢が5℃区で高い試験10では、両区の脂肪比率に差異はなかった。日齢と体重の条件は同じであり飼料摂取量が5℃区で多い試験11では、5℃区の脂肪比率が増加した。

このように5℃区の脂肪比率の変化は、体重と飼料摂取量の違いに対応していることがわかる。

さらに既往の研究についても、寒冷下で脂肪比率が低下したとする研究、寒冷による脂肪比率の変化がないとする研究および寒冷下で背脂肪が増加したとする研究の試験条件は、それぞれ試験9、10および11で設定した条件と一致する。

これらのことは、寒冷環境で飼育された豚の体組成の変化は直接的には飼料摂取量と体重に起因し、寒冷や日齢は間接的な要因であることを示唆する。また、そのことは屠体の成分量の検討からも指摘できる。

試験9~11における屠体の蛋白質、脂肪、灰分、水分およびエネルギー量と体重の関係を、IS区の数値も含めて図19~23に示す。体重(BW, kg)と屠体の蛋白質、脂肪、灰分、水分量(P, F, Ash, Moi; kg)およびエネルギー量(E, MJ)の関係は以下のように表される。

$$P = 0.160BW - 0.133 \quad (n=36, R^2=0.99, P<0.01) \quad (43)$$

$$\text{Ash} = 0.032BW + 0.009 \quad (n=36, R^2=0.98, P<0.01) \quad (44)$$

$$\text{Moi} = -.008BW^2 + 0.851BW - 0.974 \quad (n=36, R^2=0.99, P<0.01) \quad (45)$$

$$F = 0.006BW^2 - 0.066BW + 0.831 \quad (n=36, R^2=0.91, P<0.01) \quad (46)$$

$$E = 0.240BW^2 + 1.185BW + 29.258$$

$$(n=36, R^2=0.97, P<0.01) \quad (47)$$

これらの式の決定係数は、蛋白質、灰分および水分量の分散の98%以上を、脂肪量についても91%までを体重だけで説明できることを意味し、屠体の成分量は基本的には体重に規定されていることを示す。さらに、他の成分の極めて高い決定係数に比べ脂肪の決定係数が低いことは、屠体の脂肪量が体重以外の要因によっても影響を受けていることを意味し、同一体重での体組成の変化は主として脂肪量の変化に起因することを示す。

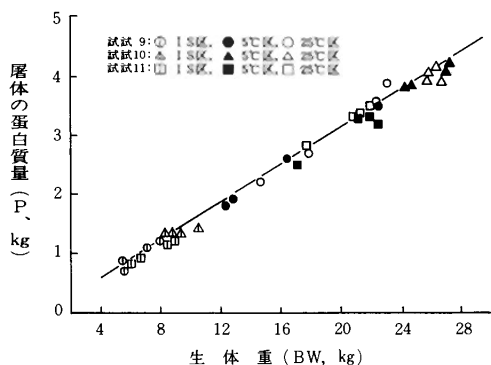


図19 屠体の蛋白質量と体重の関係(試験 9~11)

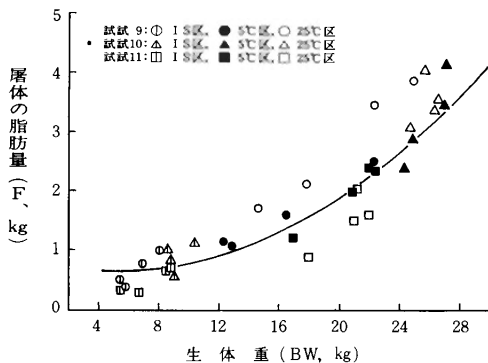


図20 屠体の脂肪量と体重の関係(試験 9~11)

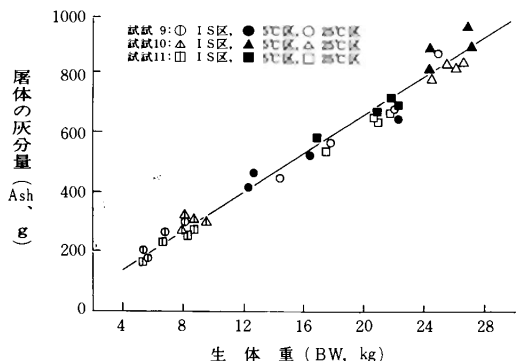


図21 屠体の灰分量と体重の関係(試験 9~11)

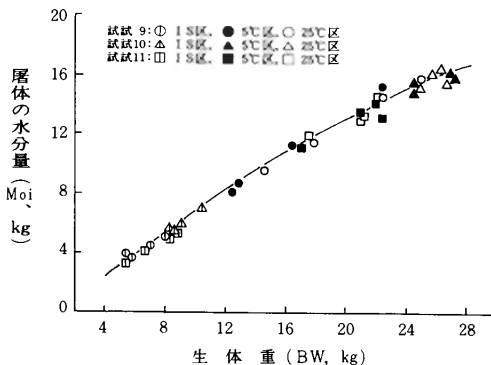


図22 屠体の水分量と体重の関係(試験 9~11)

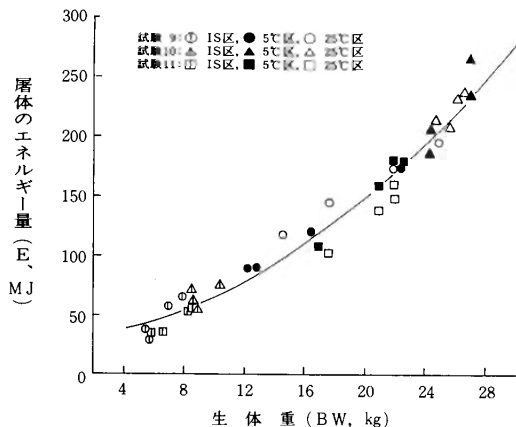


図23 屠体のエネルギー量と体重の関係  
(試験 9~11)

また、(43)~(47)式の微分式(43)/(47)式は、体重の変化に伴う蛋白質、灰分、水分、脂肪およびエネルギーの変化量 ( $\Delta P$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta Ash$ ,  $\Delta Moi$ ; gおよび

$\Delta E$ ; kJ)を表し、体重 1 kg の増加に伴う蛋白質と灰分の増加量は160および32gと一定であるのに対し、水分の増加量は体重が重くなる程小さく、



表25 屠体の成分量についての重回帰分析

&lt;重回帰式&gt;

$$P = 0.1931X_1 - 0.0009X_2 - 0.0046X_3 - 0.0107X_4 + 0.6204 \quad (n=24, R^2 = 0.99, P < 0.01) \quad (48)$$

$$F = 0.6512X_1' + 0.0019X_2 - 0.0123X_3 - 0.0284X_4 - 50.6102 \quad (n=24, R^2 = 0.89, P < 0.01) \quad (49)$$

$$(X_1' = 0.014X_1^2 - 0.411X_1 + 4.210)$$

$$\text{Ash} = 36.61X_1 - 0.1292X_2 - 2.0682X_3 + 1.3372X_4 - 46.3610 \quad (n=24, R^2 = 0.95, P < 0.01) \quad (50)$$

$$\text{Moi} = 1.0804X_1'' - 0.0011X_2 - 0.0081X_3 - 0.0211X_4 + 36.5517 \quad (n=24, R^2 = 0.95, P < 0.01) \quad (51)$$

$$(X_1'' = -0.012X_1^2 + 1.029X_1 - 2.636)$$

$$E = 0.6772X_1''' + 0.0967X_2 + 0.6191X_3 + 1.1991X_4 - 2164.56 \quad (n=24, R^2 = 0.95, P < 0.01) \quad (52)$$

$$(X_1''' = 0.521X_1^2 - 10.338X_1 + 141.717)$$

&lt;標準偏回帰係数&gt;

$$P \quad (48) \text{式}: X_1 = 1.1987, X_2 = -.1858, X_3 = -.0655, X_4 = -.1004$$

$$F \quad (49) \text{式}: X_1' = 0.5463, X_2 = 0.0123, X_3 = 0.1439, X_4 = 0.2180$$

$$\text{Ash} \quad (50) \text{式}: X_1 = 1.0489, X_2 = -.1197, X_3 = -.1363, X_4 = -.0577$$

$$\text{Moi} \quad (51) \text{式}: X_1'' = 1.0686, X_2 = -.0621, X_3 = -.0337, X_4 = -.0575$$

$$E \quad (52) \text{式}: X_1''' = 0.6472, X_2 = 0.2783, X_3 = 0.1268, X_4 = 0.1607$$

&lt;相対重要度&gt;

$$P \quad (48) \text{式}: X_1 = 93.8, X_2 = 3.0, X_3 = 0.8, X_4 = 2.4$$

$$F \quad (49) \text{式}: X_1' = 47.9, X_2 = 27.9, X_3 = 8.9, X_4 = 15.2$$

$$\text{Ash} \quad (50) \text{式}: X_1 = 93.0, X_2 = 1.6, X_3 = 4.4, X_4 = 1.0$$

$$\text{Moi} \quad (51) \text{式}: X_1'' = 98.2, X_2 = 0.4, X_3 = 0.3, X_4 = 1.1$$

$$E \quad (52) \text{式}: X_1''' = 64.1, X_2 = 18.3, X_3 = 7.0, X_4 = 10.6$$

P = 蛋白質量 (kg), F = 脂肪量 (kg), Ash = 灰分量 (g), E = エネルギー量 (MJ)

X<sub>1</sub> = 体重 (kg), X<sub>2</sub> = 飼料摂取量 (g/日), X<sub>3</sub> = 環境温度 (°C), X<sub>4</sub> = 日齢 (日)

脂肪とエネルギーの増加量は体重が重くなる程大きくなることを示す。そのことは、体重の増加に伴って蛋白質と灰分の比率は変化せず、水分と脂肪が置き代わることにより脂肪の比率が高まるといふ体重と体組成の概括的な関係を裏づける。

$$\Delta P = 160 \quad (43)$$

$$\Delta F = 12BW - 66 \quad (46)$$

$$\Delta \text{Ash} = 32 \quad (44)$$

$$\Delta \text{Moi} = -16BW + 851 \quad (45)$$

$$\Delta E = 480BW + 1185 \quad (47)$$

試験 9 ~ 11 の 5 °C 区と 25 °C 区の 24 頭のデータを用い、屠体の成分量を規定する要因として体重、飼料摂取量、環境温度および日齢を取り上げた重回帰分析の結果を表 25 に示す。脂肪、水分およびエネルギー量については、体重との間に有意 ( $P < 0.01$ ) な 2 次の関係が認められたので、(49), (51), (52) 式にその関係を導入した。

(48) ~ (52) 式の決定係数は、上記の 4 つの要因で屠

体の蛋白質、脂肪、灰分、水分およびエネルギー量の分散のそれぞれ 99%, 86%, 95%, 98% および 95% まで説明できることを意味する。さらに (48) ~ (52) 式の相対重要度は、屠体の蛋白質、灰分および水分量はほとんど体重によって規定されているのに対し、脂肪量は体重だけでなく飼料摂取量によっても変化するが環境温度と日齢による影響は極めて小さいことを示す。

以上のように、屠体の成分量あるいは体組成に及ぼす寒冷そのものの影響は極めて小さく、寒冷下での体組成の変化は体重と飼料摂取量に関連した脂肪量の変化で説明できる。

一方、化学成分の屠体内での分布が環境温度によって変化する可能性が指摘<sup>99)</sup>されている。そこで、化学成分の屠体内分布に及ぼす寒冷の影響について検討した。

表26 EBWおよび屠体各部位の重量 (kg) (試験9~11)

			試 験 9			試 験 10			試 験 11		
			IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
E	B	W	6.2 <sup>A</sup>	15.3 <sup>B</sup>	18.3 <sup>C</sup>	8.6 <sup>A</sup>	23.9 <sup>B</sup>	24.1 <sup>B</sup>	6.8 <sup>A</sup>	18.9 <sup>B</sup>	18.6 <sup>B</sup>
枝		肉	4.7 <sup>A</sup>	12.2 <sup>B</sup>	15.4 <sup>C</sup>	6.5 <sup>A</sup>	19.1 <sup>B</sup>	19.7 <sup>B</sup>	5.1 <sup>A</sup>	14.6 <sup>B</sup>	14.9 <sup>B</sup>
		皮下組織	—	—	—	1.6 <sup>A</sup>	4.7 <sup>B</sup>	4.7 <sup>B</sup>	1.2 <sup>A</sup>	3.5 <sup>B</sup>	3.2 <sup>B</sup>
		筋肉・骨	—	—	—	4.9 <sup>A</sup>	14.5 <sup>B</sup>	15.0 <sup>B</sup>	3.9 <sup>A</sup>	11.1 <sup>B</sup>	11.7 <sup>B</sup>
内		臓	1.2 <sup>A</sup>	2.4 <sup>B</sup>	2.8 <sup>B</sup>	1.5 <sup>A</sup>	3.3 <sup>B</sup>	3.2 <sup>B</sup>	1.3 <sup>A</sup>	3.3 <sup>C</sup>	2.8 <sup>B</sup>
血		液	0.3 <sup>A</sup>	0.8 <sup>B</sup>	0.8 <sup>B</sup>	0.5 <sup>A</sup>	1.5 <sup>B</sup>	1.2 <sup>B</sup>	0.4 <sup>A</sup>	1.0 <sup>B</sup>	0.9 <sup>B</sup>

A, B, C異なる文字間に1%水準で有意差あり

試験9~11の屠体各部位の重量を表26に、屠体内の蛋白質、脂肪、灰分、水分およびエネルギーの分布状況を表27~31に示す。各試験のIS区、5℃区および25℃区を通じ、脂肪は皮下組織、骨・筋肉、内臓、血液の順に、蛋白質とエネルギーは骨・筋肉、皮下組織、内臓、血液の順に、灰分と水分は骨・筋肉、内臓、皮下組織、血液の順に多く存在した。各成分について屠体内の分布に5℃区と25℃区で変化が認められたのは、試験10の水分および試験11の蛋白質・水分であり、いずれも5℃区で骨・筋肉の比率が低くなり内臓の比率が増加した (P<0.05)。

そのうち試験10の水分分布の変化は、内臓の水分量が5℃区で増加したことに起因するが、その生理的な解釈は不明である。また、試験11の蛋白質と水分分布の変化は、5℃区の内臓重量の増加によるもので、5℃区の飼料摂取量が多いことに関係した変化と考えられる。各成分の屠体内分布について、試験9~11を通じて共通した変化が認められないことから、寒冷による直接的な影響はないものと判断される。

HOLMES & CLOSE<sup>39)</sup>は屠体内の脂肪分布が環境温度によって変化する可能性を指摘しているが、実際に子豚の体組成に及ぼす環境温度の影響を化学成分の屠体内分布まで言及した研究はFULLER<sup>23)</sup>およびDAUNCEY & INGRAM<sup>20)</sup>の報告があるにすぎない。かれらは、蛋白質の分布に環境温度による変化はないが、脂肪とエネルギーの分布は寒冷により皮下組織中の比率が低下し筋肉・内臓中の比率が高まったとしている。しかし、これらの研

究では寒冷区の子豚の体重が対照区より小さくなっているため、脂肪とエネルギーの分布の変化を必ずしも寒冷のみの影響とみることはできない。さらにSTANIER<sup>91)</sup>は、寒冷下で飼育したマウスの皮下脂肪の比率が低飼料摂取水準では低下するのに対し、高飼料摂取水準では変化しないことを指摘しており、寒冷下で認められる化学成分の屠体内分布の変化は寒冷だけで説明できないことを示唆する。

表27 屠体中の蛋白質の分布状況 (試験9~11)

	試験 9			試験 10			試験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
絶対重量	< g >								
全体	962 <sup>a</sup>	2,460 <sup>b</sup>	3,054 <sup>c</sup>	1,339 <sup>a</sup>	3,991 <sup>b</sup>	4,024 <sup>b</sup>	1,034 <sup>a</sup>	3,076 <sup>b</sup>	3,212 <sup>b</sup>
枝肉	747 <sup>a</sup>	1,992 <sup>b</sup>	2,526 <sup>c</sup>	1,037 <sup>a</sup>	3,230 <sup>b</sup>	3,312 <sup>b</sup>	805 <sup>a</sup>	2,407 <sup>b</sup>	2,623 <sup>c</sup>
皮下組織	—	—	—	212 <sup>a</sup>	619 <sup>b</sup>	611 <sup>b</sup>	174 <sup>a</sup>	481 <sup>b</sup>	501 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	825 <sup>a</sup>	2,610 <sup>b</sup>	2,702 <sup>b</sup>	631 <sup>a</sup>	1,925 <sup>b</sup>	2,116 <sup>c</sup>
内臓	174 <sup>a</sup>	352 <sup>b</sup>	410 <sup>c</sup>	221 <sup>a</sup>	502 <sup>b</sup>	497 <sup>b</sup>	179 <sup>a</sup>	512 <sup>c</sup>	427 <sup>b</sup>
血液	40 <sup>a</sup>	116 <sup>b</sup>	118 <sup>b</sup>	81 <sup>a</sup>	259 <sup>b</sup>	214 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	157 <sup>b</sup>	162 <sup>b</sup>
含量	< 原物中重量% >								
全体	15.3 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	16.0 <sup>b</sup>	15.7	16.7	16.7	15.3 <sup>a</sup>	16.3 <sup>b</sup>	17.2 <sup>c</sup>
枝肉	15.8 <sup>a</sup>	16.3 <sup>b</sup>	16.3 <sup>b</sup>	16.1	16.9	16.8	15.7 <sup>a</sup>	16.5 <sup>b</sup>	17.6 <sup>c</sup>
皮下組織	—	—	—	13.4	13.3	13.0	14.0 <sup>a</sup>	14.0 <sup>a</sup>	15.9 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	16.9	18.0	18.0	16.2 <sup>a</sup>	17.3 <sup>b</sup>	18.0 <sup>b</sup>
内臓	13.9	14.9	14.6	14.4 <sup>a</sup>	15.2 <sup>b</sup>	15.5 <sup>b</sup>	14.2 <sup>a</sup>	15.6 <sup>b</sup>	15.3 <sup>b</sup>
血液	14.4	15.0	15.4	14.8 <sup>a</sup>	17.7 <sup>ab</sup>	18.4 <sup>b</sup>	14.2 <sup>a</sup>	15.7 <sup>ab</sup>	17.6 <sup>b</sup>
全屠体蛋白質率	< % >								
全体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝肉	77.5 <sup>a</sup>	80.5 <sup>ab</sup>	82.4 <sup>b</sup>	77.5 <sup>a</sup>	80.9 <sup>a</sup>	82.3 <sup>b</sup>	77.9 <sup>a</sup>	78.2 <sup>a</sup>	81.7 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	15.9	15.5	15.2	16.7	15.7	15.7
筋肉・骨	—	—	—	61.6 <sup>a</sup>	65.4 <sup>b</sup>	67.1 <sup>b</sup>	61.2 <sup>a</sup>	62.5 <sup>ab</sup>	66.0 <sup>b</sup>
内臓	18.2 <sup>b</sup>	14.7 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>	16.5 <sup>b</sup>	12.6 <sup>a</sup>	12.4 <sup>a</sup>	17.2 <sup>b</sup>	16.7 <sup>b</sup>	13.3 <sup>a</sup>
血液	4.3	4.8	4.0	6.0	6.5	5.3	4.9	5.2	5.0

a, b, c異なる文字間に5%水準で有意差有り

表28 屠体中の脂肪の分布状況 (試験9~11)

	試験 9			試験 10			試験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
絶対重量	< g >								
全体	665 <sup>a</sup>	1,591 <sup>b</sup>	2,262 <sup>c</sup>	902 <sup>a</sup>	3,248 <sup>b</sup>	3,223 <sup>b</sup>	551 <sup>a</sup>	2,009 <sup>c</sup>	1,501 <sup>b</sup>
枝肉	615 <sup>a</sup>	1,488 <sup>b</sup>	2,097 <sup>c</sup>	845 <sup>a</sup>	3,123 <sup>b</sup>	3,055 <sup>b</sup>	521 <sup>a</sup>	1,898 <sup>c</sup>	1,405 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	533 <sup>a</sup>	1,773 <sup>b</sup>	1,878 <sup>b</sup>	316 <sup>a</sup>	1,044 <sup>b</sup>	762 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	321 <sup>a</sup>	1,350 <sup>b</sup>	1,177 <sup>b</sup>	196 <sup>a</sup>	854 <sup>c</sup>	644 <sup>b</sup>
内臓	48 <sup>a</sup>	95 <sup>b</sup>	159 <sup>c</sup>	47 <sup>a</sup>	120 <sup>b</sup>	164 <sup>b</sup>	38 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	94 <sup>b</sup>
血液	3 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>
含量	< 原物中重量% >								
全体	10.4	10.2	12.0	10.5	13.5	13.4	8.0 <sup>a</sup>	10.4 <sup>b</sup>	8.0 <sup>a</sup>
枝肉	12.6	11.9	13.8	13.1	16.2	15.5	9.8 <sup>a</sup>	12.8 <sup>b</sup>	9.3 <sup>a</sup>
皮下組織	—	—	—	33.3	37.5	39.8	24.5 <sup>a</sup>	29.2 <sup>b</sup>	23.2 <sup>a</sup>
筋肉・骨	—	—	—	6.5 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	7.8 <sup>ab</sup>	5.0 <sup>a</sup>	7.6 <sup>b</sup>	5.5 <sup>a</sup>
内臓	3.8 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	5.7 <sup>b</sup>	3.0	3.6	5.2	3.0	3.2	3.4
血液	1.0	1.0	0.8	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
全屠体脂肪率	< % >								
全体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝肉	91.6	93.2	92.6	94.6	96.2	94.8	92.8 <sup>a</sup>	94.5 <sup>b</sup>	93.6 <sup>ab</sup>
皮下組織	—	—	—	59.3	54.3	58.3	56.1	51.4	49.9
筋肉・骨	—	—	—	35.3	41.9	36.6	36.7	43.1	43.7
内臓	8.0	6.3	7.2	5.3	3.6	5.1	7.1 <sup>a</sup>	5.4 <sup>b</sup>	6.3 <sup>ab</sup>
血液	0.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

a, b, c異なる文字間に5%水準で有意差有り

表29 屠体中の灰分の分布状況（試験9～11）

	試 験 9			試 験 10			試 験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
絶 対 重 量	< g >								
全 体	242 <sup>a</sup>	515 <sup>b</sup>	649 <sup>b</sup>	302 <sup>a</sup>	898 <sup>b</sup>	832 <sup>b</sup>	240 <sup>a</sup>	674 <sup>b</sup>	637 <sup>b</sup>
枝 肉	208 <sup>a</sup>	442 <sup>b</sup>	558 <sup>b</sup>	259 <sup>a</sup>	762 <sup>b</sup>	708 <sup>b</sup>	213 <sup>a</sup>	563 <sup>b</sup>	544 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	11 <sup>a</sup>	30 <sup>b</sup>	32 <sup>b</sup>	15 <sup>a</sup>	39 <sup>b</sup>	37 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	249 <sup>a</sup>	732 <sup>b</sup>	676 <sup>b</sup>	198 <sup>a</sup>	524 <sup>b</sup>	507 <sup>b</sup>
内 臓	31 <sup>a</sup>	66 <sup>b</sup>	83 <sup>c</sup>	36 <sup>a</sup>	119 <sup>b</sup>	111 <sup>b</sup>	23 <sup>a</sup>	102 <sup>b</sup>	83 <sup>b</sup>
血 液	3 <sup>a</sup>	8 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	6 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	13 <sup>b</sup>	4 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>
含 量	< 原物中重量% >								
全 体	3.9 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	3.6	3.8	3.5	3.6	3.6	3.4
枝 肉	4.4 <sup>b</sup>	3.7 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>	4.0 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>b</sup>	3.6 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	3.9 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>
皮下組織	—	—	—	0.7	0.6	0.7	1.2	1.1	1.2
筋肉・骨	—	—	—	5.1 <sup>ab</sup>	5.1 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	5.1 <sup>b</sup>	4.7 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>
内 臓	2.5 <sup>a</sup>	2.8 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.4 <sup>a</sup>	3.6 <sup>ab</sup>	3.5 <sup>b</sup>	1.9 <sup>a</sup>	3.1 <sup>b</sup>	3.0 <sup>b</sup>
血 液	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1
全 屠 体 灰 分 比 率	< % >								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	86.2	85.7	85.4	86.0	84.9	85.1	88.7 <sup>b</sup>	83.4 <sup>a</sup>	85.4 <sup>ab</sup>
皮下組織	—	—	—	3.6	3.3	3.8	6.1	5.7	5.8
筋肉・骨	—	—	—	82.4	81.6	81.3	82.6 <sup>b</sup>	77.7 <sup>a</sup>	79.6 <sup>ab</sup>
内 臓	12.7	12.9	13.3	12.0	13.2	13.4	9.6 <sup>b</sup>	15.1 <sup>a</sup>	13.0 <sup>a</sup>
血 液	1.1	1.4	1.3	2.0	1.9	1.5	1.6	1.5	1.6

a, b, c 異なる文字間に5%水準で有意差有り

表30 屠体中の水分の分布状況（試験9～11）

	試 験 9			試 験 10			試 験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
絶 対 重 量	< g >								
全 体	4,353 <sup>a</sup>	10,748 <sup>b</sup>	12,970 <sup>c</sup>	6,022 <sup>a</sup>	15,793 <sup>b</sup>	16,034 <sup>b</sup>	4,931 <sup>a</sup>	13,134 <sup>b</sup>	13,284 <sup>b</sup>
枝 肉	3,133 <sup>a</sup>	8,275 <sup>b</sup>	10,200 <sup>c</sup>	4,329 <sup>a</sup>	12,030 <sup>b</sup>	12,674 <sup>b</sup>	3,612 <sup>a</sup>	9,732 <sup>b</sup>	10,350 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	832 <sup>a</sup>	2,255 <sup>b</sup>	2,189 <sup>b</sup>	741 <sup>a</sup>	1,917 <sup>b</sup>	1,896 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	3,498 <sup>a</sup>	9,774 <sup>b</sup>	10,485 <sup>b</sup>	2,870 <sup>a</sup>	7,814 <sup>b</sup>	8,455 <sup>b</sup>
内 臓	989 <sup>a</sup>	1,837 <sup>b</sup>	2,139 <sup>c</sup>	1,233 <sup>a</sup>	2,576 <sup>c</sup>	2,429 <sup>b</sup>	1,023 <sup>a</sup>	2,567 <sup>c</sup>	2,189 <sup>b</sup>
血 液	231 <sup>a</sup>	635 <sup>b</sup>	630 <sup>b</sup>	460 <sup>a</sup>	1,185 <sup>c</sup>	932 <sup>b</sup>	296 <sup>a</sup>	835 <sup>b</sup>	745 <sup>b</sup>
含 量	< 原物中重量% >								
全 体	70.4 <sup>b</sup>	70.4 <sup>b</sup>	68.6 <sup>a</sup>	70.3	66.1	66.5	73.1 <sup>c</sup>	69.7 <sup>a</sup>	71.4 <sup>b</sup>
枝 肉	67.2	68.0	66.3	66.8	63.0	64.1	70.4 <sup>b</sup>	66.9 <sup>a</sup>	69.5 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	52.6	48.6	46.6	60.3 <sup>b</sup>	55.7 <sup>a</sup>	59.7 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	71.5 <sup>b</sup>	67.6 <sup>a</sup>	69.7 <sup>ab</sup>	73.7 <sup>b</sup>	70.4 <sup>a</sup>	72.2 <sup>b</sup>
内 臓	79.8 <sup>c</sup>	78.3 <sup>b</sup>	76.6 <sup>a</sup>	80.2 <sup>b</sup>	77.7 <sup>a</sup>	75.8 <sup>a</sup>	81.0 <sup>b</sup>	78.1 <sup>a</sup>	78.4 <sup>a</sup>
血 液	83.6	83.1	82.8	83.9 <sup>b</sup>	80.8 <sup>ab</sup>	80.2 <sup>a</sup>	84.6 <sup>b</sup>	83.1 <sup>ab</sup>	81.1 <sup>a</sup>
全 屠 体 水 分 比 率	< % >								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	71.9 <sup>a</sup>	76.5 <sup>b</sup>	78.3 <sup>b</sup>	72.0 <sup>a</sup>	76.2 <sup>b</sup>	79.1 <sup>c</sup>	73.3 <sup>a</sup>	74.0 <sup>a</sup>	78.0 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	13.8	14.3	13.7	15.0 <sup>b</sup>	14.6 <sup>ab</sup>	14.2 <sup>a</sup>
筋肉・骨	—	—	—	58.2 <sup>a</sup>	61.9 <sup>b</sup>	65.4 <sup>c</sup>	58.3 <sup>a</sup>	59.4 <sup>ab</sup>	63.7 <sup>b</sup>
内 臓	22.8 <sup>b</sup>	17.6 <sup>a</sup>	16.7 <sup>a</sup>	20.4 <sup>c</sup>	16.3 <sup>b</sup>	15.1 <sup>a</sup>	20.6 <sup>b</sup>	19.6 <sup>b</sup>	16.5 <sup>a</sup>
血 液	5.3	6.0	5.0	7.6	7.5	5.8	6.1	6.4	5.6

a, b, c 異なる文字間に5%水準で有意差有り

表31 屠体中のエネルギーの分布状況 (試験9~11)

	試 験 9			試 験 10			試 験 11		
	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
絶 対 重 量	<MJ>								
全 体	47.6 <sup>a</sup>	118.5 <sup>b</sup>	158.4 <sup>c</sup>	66.1 <sup>a</sup>	223.5 <sup>b</sup>	222.6 <sup>b</sup>	46.1 <sup>a</sup>	156.0 <sup>b</sup>	136.6 <sup>b</sup>
枝 肉	40.3 <sup>a</sup>	102.8 <sup>b</sup>	138.7 <sup>c</sup>	56.5 <sup>a</sup>	197.4 <sup>b</sup>	196.7 <sup>b</sup>	39.1 <sup>a</sup>	133.2 <sup>b</sup>	117.2 <sup>b</sup>
皮下組織	—	—	—	25.5 <sup>a</sup>	83.7 <sup>b</sup>	87.3 <sup>b</sup>	16.6 <sup>a</sup>	53.0 <sup>b</sup>	42.0 <sup>b</sup>
筋肉・骨	—	—	—	31.0 <sup>a</sup>	113.7 <sup>b</sup>	109.4 <sup>b</sup>	22.5 <sup>a</sup>	80.2 <sup>b</sup>	75.2 <sup>b</sup>
内 臓	6.3 <sup>a</sup>	12.8 <sup>b</sup>	16.8 <sup>c</sup>	7.6 <sup>a</sup>	19.6 <sup>b</sup>	20.5 <sup>b</sup>	5.8 <sup>a</sup>	18.8 <sup>c</sup>	15.4 <sup>b</sup>
血 液	1.0 <sup>a</sup>	2.9 <sup>b</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>b</sup>	5.4 <sup>b</sup>	1.2 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>
含 量	<kJ/原物1g>								
全 体	7.5	7.7	8.4	7.7 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	9.2 <sup>ab</sup>	6.8 <sup>a</sup>	8.2 <sup>b</sup>	7.3 <sup>a</sup>
枝 肉	8.3	8.3	9.0	8.7	10.3	10.0	7.5 <sup>a</sup>	9.0 <sup>b</sup>	7.8 <sup>a</sup>
皮下組織	—	—	—	16.0	17.7	18.5	13.0 <sup>a</sup>	14.9 <sup>b</sup>	12.9 <sup>a</sup>
筋肉・骨	—	—	—	6.3 <sup>a</sup>	7.8 <sup>b</sup>	7.3 <sup>b</sup>	5.8 <sup>a</sup>	7.2 <sup>c</sup>	6.4 <sup>b</sup>
内 臓	5.0 <sup>a</sup>	5.4 <sup>b</sup>	6.0 <sup>c</sup>	4.9 <sup>a</sup>	5.9 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	4.6 <sup>a</sup>	5.7 <sup>b</sup>	5.5 <sup>b</sup>
血 液	3.7	3.8	3.9	3.7 <sup>a</sup>	4.5 <sup>ab</sup>	4.6 <sup>b</sup>	3.5 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	4.3 <sup>c</sup>
全屠体エネルギー に対する比率	<%>								
全 体	100	100	100	100	100	100	100	100	100
枝 肉	84.0 <sup>a</sup>	86.2 <sup>ab</sup>	87.3 <sup>b</sup>	85.4	88.2	88.4	84.7	85.2	85.7
皮下組織	—	—	—	38.4	37.1	39.2	35.1	33.4	30.3
筋肉・骨	—	—	—	47.1	51.1	49.2	49.6 <sup>a</sup>	51.7 <sup>ab</sup>	55.5 <sup>b</sup>
内 臓	13.7 <sup>b</sup>	11.3 <sup>ab</sup>	10.8 <sup>a</sup>	11.5 <sup>b</sup>	8.9 <sup>ab</sup>	9.2 <sup>a</sup>	12.6 <sup>b</sup>	12.2 <sup>ab</sup>	11.4 <sup>a</sup>
血 液	2.3	2.5	1.9	3.1	3.0	2.4	2.7	2.6	2.9

a, b, c 異なる文字間に5%水準で有意差あり

表32 内臓および被毛重量 (g/kg<sup>0.75</sup>) (試験9~11)

		試 験 9			試 験 10			試 験 11		
		IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃	IS	5℃	25℃
内 臓	胃	13.0	15.6	14.0	12.9 <sup>a</sup>	17.2 <sup>b</sup>	13.7 <sup>a</sup>	13.2 <sup>a</sup>	16.1 <sup>b</sup>	14.3 <sup>ab</sup>
	肝 臓	47.8 <sup>a</sup>	59.6 <sup>b</sup>	59.1 <sup>b</sup>	55.3	57.2	59.6	49.8 <sup>a</sup>	71.6 <sup>c</sup>	58.7 <sup>b</sup>
	心 臓	10.5 <sup>a</sup>	12.9 <sup>b</sup>	12.6 <sup>b</sup>	9.9 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	9.4 <sup>a</sup>	8.3 <sup>a</sup>	12.3 <sup>c</sup>	11.0 <sup>b</sup>
	肺	18.8	20.4	22.6	20.8	25.1	26.7	26.0	23.5	22.7
	腎 臓	10.4	12.1	12.4	10.8 <sup>a</sup>	13.8 <sup>b</sup>	10.4 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>	15.6 <sup>b</sup>	10.4 <sup>a</sup>
	脾 臓	3.8 <sup>a</sup>	5.0 <sup>b</sup>	4.8 <sup>ab</sup>	4.4	5.5	4.5	3.5 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	4.7 <sup>b</sup>
被 毛		—	3.9	2.5	4.5 <sup>b</sup>	4.7 <sup>b</sup>	3.0 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.1 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>

a, b, c 異なる文字間に5%水準の有意差あり

試験9～11の内臓器重量について表32に示す。試験9では5℃区と25℃区の各臓器重量に有意な差はなく、試験10では胃、心臓および腎臓の重量が、試験11では肝臓、心臓および腎臓の重量が5℃区で25℃区よりも有意 ( $P < 0.05$ ) に増加した。

寒冷下で認められた臓器重量の変化のうち、試験10での増加は5℃区の日齢が進んでいることで、試験11での増加は5℃区の飼料摂取量が多いことで説明される。

SUGAHARA ら<sup>95)</sup>、FULLER<sup>23)</sup>、STAHLY & CROMWELL<sup>90)</sup>も寒冷下で飼育した豚の心臓、脾臓および腎臓の重量増加を報じているが、それらは寒冷下で飼料摂取量が増加したことに関連した変化であるとしている。飼料摂取量と日齢の条件が同じである試験9では臓器重量に変化がないことを

考えあわせると、寒冷下での臓器重量の増加は直接的には飼料摂取量と日齢に起因すると判断される。

また被毛の重量について、試験9～11を通じて5℃区で25℃区より増加する傾向が認められた(表32)。FULLER<sup>23)</sup>は寒冷下で子豚の被毛重量が増加することを報じ、寒冷に対する断熱的な適応であることを指摘している。そのような現象は大型の哺乳動物では一般的にみられ、BLAXTER<sup>7)</sup>は体表面積当たりの被毛重量の増加が生体全体の断熱性を向上させるとしている。しかし MOUNT<sup>70)</sup>は、2週齢の子豚から被毛を剃りとっても断熱性に有意な低下はなく、豚では皮下脂肪が断熱性に大きな役割を占めていることを報告している。

## 第V章 総合論議および結論

本研究は、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響をエネルギー代謝と体成分蓄積の面から明らかにするとともに、群飼条件下における離乳子豚の寒冷に対する適応的行動を検討し、群飼離乳子豚の適応的行動も考慮した低温限界を提示することを目的とした。

### 1. エネルギー蓄積と増体に及ぼす寒冷の影響

増体速度や飼料効率など離乳子豚の成長に与える寒冷の影響は、基本的には豚と外周とのエネルギー収支の関係で捉えることができる。その関係を量的に表す上では、熱的中性圏の下限すなわち下臨界温度の概念が必要となる。

単飼子豚の体重2~20kgの下臨界温度について、30~21℃の範囲が推定されている<sup>2,44)</sup>。臨界温度は日齢、飼料摂取量、群・単飼の違い、風などの要因によって変化するので臨界温度を固定した値で表すことは好ましくないが、本研究では寒冷の影響を解析するために単飼条件下における28日齢離乳子豚の離乳後4~6週間の下臨界温度を平均25℃とみなし、単飼離乳子豚のエネルギー蓄積と増体に及ぼす寒冷の影響をIV章で検討した。

下臨界温度以下の温域では化学的調節による体温維持機能が働くため、熱産生量が増大し、エネルギー蓄積量が減少する。単飼条件下の離乳子豚について、寒冷による熱産生量の増加は環境温度1℃の低下につき1日当たりの56kJであり、そのことによって蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量が1日当たりそれぞれ26kJおよび30kJ低下すると推定され、寒冷下でのエネルギー蓄積量の減少は脂肪蓄積の減少による部分が多いことが示された。

一方、寒冷による日増体量の減少は環境温度1℃の低下につき7gであり、そのうち蛋白質蓄積に関連する部分は6.2g、脂肪蓄積に関連する部分は0.8gと推定され、寒冷下での増体量の減少はエネ

ルギー蓄積とは逆に蛋白質蓄積の減少に関連した部分が多い。

このような寒冷によるエネルギー蓄積や日増体量の低下を、飼料の増給によって補うことが可能である。寒冷による日増体量の低下を補うための飼料の増給は、単にエネルギー蓄積を等しくする量では不足であり、環境温度1℃の低下につき日量13g (ME195kJに相当)が必要と計算された。

また、下臨界温度より下の温域では、飼料摂取や代謝に伴う熱増加の部分が体温維持に使われるので理論的にはエネルギーの利用効率( $k$ )が高まると考えられている。既にいくつかの研究<sup>15,78,98)</sup>ではそのような効果が認められており、 $k$ の変化が $kp$ の向上によることを示唆している<sup>15,78)</sup>。

しかし、本研究におけるエネルギーの利用効率は、 $kp$ が25℃の0.63から5℃の0.45に低下するのに対し、 $kf$ は25℃の0.68から5℃の0.91に高まり、その結果として5℃と25℃の $k$ に差がないことを示している。5℃での $kp$ の低下は、上記の研究に比べて厳しい寒冷条件下で体温維持に必要な余剰の熱産生に体蛋白質が使われている可能性を示唆する。そのことは、5℃で尿中への窒素排泄量が増加していること(表17)、さらに尿中窒素排泄量の増加が熱産生量の増加に伴った変化であること(図18)からも推察される。一方、5℃での $kf$ の増加は(23)式で $kp$ が低下することに伴って脂肪蓄積に関係するMEの配分が相対的に小さくなったためと考えられ、生物学的には熱増加が体温調節に利用されることによる効率の向上分を脂肪蓄積の効率の方へ見積もったためと解釈される。従って、5℃の寒冷下では $kf$ には実質的な変化はなく、 $kp$ が低下するため体温維持に熱増加の部分が使われることによる $k$ の向上効果が相殺されたのであろう。このことは、寒冷の厳しい条件下ではエネルギーの利用効率を引き下げる要因も派生することを示唆する。

## 2. 体組成に及ぼす寒冷の影響

寒冷下で豚の体組成が変化することが認められている。しかし、その変化は報告によって異なり、①寒冷下で脂肪の比率が低下したケース<sup>10,16,20,23,32,53)</sup>、②変化がなかったケース<sup>24,99)</sup>および③寒冷下で脂肪が増加したケース<sup>34)</sup>に分類され、IV章の試験9、10および11でもその各ケースが認められた。

寒冷下では日増体量が低下するため、体重・日齢・飼料摂取量の3要因を同時に等しくさせて体組成に与える寒冷の影響を検討することはできず、そのことが寒冷下での体組成について異なった結果を導く原因と考えられる。

寒冷下で脂肪比率が低下した①のケースでは、飼料摂取量と日齢の条件は同じであるが体重は寒冷区で小さくなっており、脂肪比率の低下が体重の違いに起因している可能性がある。豚体の成分量と体重の関係を示した(40)~(52)式の決定係数および図19~23は、豚体の成分量は大部分が体重によって規定され、体重が小さくなるほど脂肪比率が低下することを表している。

寒冷下で脂肪比率が増加した③のケースでは、体重と日齢の条件は同じであるが飼料摂取量は寒冷区で高くなっており、脂肪比率の増加が飼料摂取量の違いに起因している可能性がある。寒冷下での日増体量の低下を飼料の増給で補うこのケースでは、日増体量の寒冷による低下と飼料の増給による増加では内容が異なるため、図18に示す関係により脂肪蓄積量が温度差1℃当たり日量0.6g増加すると推定される。

一方、寒冷下で体組成の変化が認められなかった②のケースでは、日齢の条件は異なるが、体重・飼料摂取量の条件は等しく設定されている。さらに、豚体の成分量を規定する要因として体重、飼料摂取量、環境温度および日齢を取り上げた重回帰分析の結果(表25)は、豚体の脂肪量の分散はほとんど体重と飼料摂取量によって説明され、環境温度と日齢による影響は小さいことを示している。

以上のことから、寒冷下での体組成の変化は直

接的には体重と飼料摂取量の違いに起因しており、寒冷は間接的な要因にすぎないことが指摘される。

## 3. 寒冷に対する適応能力

野生動物や大型家畜では冬に皮下に分布する脂肪が多くなり<sup>22)</sup>、毛皮の断熱性も高まること<sup>6,35)</sup>が知られており、それらは寒冷に対する最も効果的な生体の適応である。豚についても体内の脂肪分布が環境温度によって変化する可能性が指摘されている<sup>39)</sup>が、離乳子豚の体成分の体内分布を検討したIV章では脂肪の体内分布に環境温度による変化はみられなかった。一方、寒冷下で脂肪分布に変化を認めた研究<sup>20,23)</sup>ではむしろ皮下組織中の比率の低下を報告している。但し、これらの研究では寒冷区の体重が対照区よりも小さいので、脂肪分布の変化を必ずしも寒冷のみの影響とみることはできない。本研究の結果も含め現在のところ、離乳子豚に関して寒冷下で皮下への脂肪分布を増加させる断熱的適応は確認されていない。

子牛は寒冷下で被毛の単位面積当たり重量、長さおよび太さを増し<sup>35,36)</sup>、そのことは組織の断熱性だけでなく空気層の断熱性も高める効果を有する<sup>6,7)</sup>。しかし、牛に比べ被毛の長さ・密度が乏しい豚においては皮下脂肪が断熱の主体となり、被毛の役割は小さい。皮下脂肪が極めて少ない新生豚では被毛の有無が断熱性に影響するが、2週齢の子豚では被毛を剃りとっても断熱性に差がみられない<sup>70)</sup>。IV章では、寒冷による離乳子豚の被毛の重量増加が認められたが、その断熱的效果は大きくないものと考えられる。

豚は寒冷に対して、体表面積を小さくする姿勢をとる、互いに体を寄せあう、採食量を増すなどの適応的行動を示す。<sup>73)</sup>

特に群飼豚では、互いに体を寄せあう行動(huddling)によって寒冷下での熱放散・熱産生量を単飼豚より少なくすることができる。寒冷下での群飼による熱産生量の減少について、新生豚<sup>68)</sup>では28~37%(環境温度20℃)、肥育豚<sup>42)</sup>では6~23%(環境温度9℃)、繁殖豚<sup>29)</sup>では18~21%(環境温度14~8℃)の軽減効果が認められている。



離乳子豚について、II・III章において群飼条件では寒冷下で huddling をすることが認められ、4頭以上の群飼による熱産生量の軽減効果は15~17% (環境温度14℃) であることがIII章で明らかにされた。この離乳子豚での群飼による熱産生量の軽減効果は、試験8において15℃の環境下で赤外線ランプを用いた効果に匹敵する。

寒冷下での熱産生量と群飼頭数の関係について、新生豚では1頭から6頭まで群飼頭数の増加に伴う熱産生量の減少が報告<sup>67)</sup>されているが、離乳子豚においては4頭以上では頭数増による熱産生量の変化は認められなかった。

寒冷下での群飼による熱産生量の軽減は豚の huddling により放熱にかかわる有効体表面積が小さくなることに起因し、その軽減効果は群全体の総体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率  $A_R$  が大きいほど高まる。(2)式および図6は、群飼頭数の増加に伴い  $A_R$  は増加するが頭数が多くなるに従って  $A_R$  の増加量は小さくなることに示し、離乳子豚の群飼において4頭以上では頭数増による熱産生量の変化がみられなかったことを説明するとともに、新生豚との相違が個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比率の差異にあることを示唆する。

また、群飼豚の huddling は豚体同士の接触面において外周空気への放射・対流による熱放散あるいは床への伝導による熱放散を抑制することで熱産生量を軽減するが、休息時の熱産生量を軽減する効果は後者の方が高いことが熱的模型を用いた試験8の結果から推察された。従って、huddling において他の豚の上に重なって休息する個体が多いほど床への熱放散を抑制する効果が高くなり、熱産生量の軽減効果は高まるものと考えられる。

このような適応的行動による熱産生量の減少は離乳子豚の下臨界温度を引き下げることにつながる。離乳子豚の下臨界温度について、MACRAKEN<sup>57)</sup>は29日齢離乳子豚に対して31日齢で25℃、37日齢で22℃、43日齢で19℃と推定している。その推定値は、II章における群飼離乳子豚の週齢別の環境温度に対する行動反応を極めて良く説明する。

群飼離乳子豚の15℃における日増体量は450g、

飼料摂取量は670g/日であった(試験3)が、飼料摂取量が同じである単飼離乳子豚の15℃における日増体量は(4)・(5)式より391gと計算される。そのことは、日増体量に対する群飼の効果が15%であることを示し、群飼による熱産生量の軽減効果と一致する。

さらに、寒冷に対する豚の適応的行動として採食量の増加が挙げられる。II章では、不断給餌条件の群飼離乳子豚は、10~15℃の範囲で環境温度1℃の低下に対し12g/日の飼料摂取量を増加させ、日増体量の低下を補うことが認められた。その増加量は、単飼離乳子豚で(4)・(5)式から求めた日増体量の低下を補うために必要な飼料の増給量13g/日/℃とほぼ一致する。但し、採食量の増加で寒冷による増体量の低下が補われた場合に、前述のように体組成が変化することを考慮する必要があるだろう。

#### 4. 群飼離乳子豚の成長と低温限界

これまでにいくつかの家畜の生産環境限界<sup>66,84,97)</sup>の提示がなされているが、子豚について触れているのはSAINSBURY<sup>84)</sup>のものだけで、離乳子豚に対し21~24℃の温度を要求している。さらに、現在のところ、豚に対する実用的な温度管理の公的な推奨値はMWPSの公表値<sup>60)</sup>しかなく、子豚について体重5~14kgで29℃、14~34kgで24℃としている。この推奨値は、単飼離乳子豚の下臨界温度よりもむしろ高く設定されている。

通常の離乳子豚の飼養管理では群飼条件が前提となるので、離乳子豚に対する低温限界の設定においては、少なくとも群飼条件での適応能力を考慮しなければならない。しかし、離乳子豚の成長と環境温度の関係について群飼条件での調べた研究は極めて少なく、ほとんどが単飼条件で検討されており、単飼条件では20℃より低い温域では日増体量と飼料効率<sup>23)</sup>が低下することが報告<sup>23)</sup>されている。

II章において、群飼条件の離乳子豚は huddling をすることにより、環境温度の低下に対し15℃まで日増体量と飼料効率を損なうことなく良好な成

長を示すことを明らかにした。群飼離乳子豚の15℃以上の温域における日増体量と飼料摂取量の回帰式(1)と単飼離乳子豚の25℃における同様の回帰式(5)の回帰係数および定数に有意な差が認められないことから、群飼条件での15℃以上の環境は単飼条件の25℃の環境に相当すると判断され、群飼条件では熱的中性圏が15℃まで低減すると考えられる。

そのような環境における離乳子豚の日増体量(DG, g/日)と飼料摂取量(DFI, g/日)の関係は、(1)・(5)式の共通の回帰係数と定数を用いて群・単飼に関係なく次のように示される。

$$DG = 0.53DFI + 88 \quad (53)$$

群飼離乳子豚は15℃より下の温域では採食量を増す適応的行動を示し、飼料効率は低下するものの10℃まで日増体量を15℃以上の温域と同等に維持できることが認められた。しかし、5℃では群飼離乳子豚の huddling および体重当たりの飼料摂取量増加がみられたにもかかわらず、日増体量・飼料効率ともに低下した。

群飼離乳子豚の15℃より下の環境温度 t℃における日増体量(DG<sub>t</sub>, g/日)は、環境温度 1℃の低下に伴う日増体量の減少が(4)・(5)式より6.9gと推定されることから(53)式より以下のように表される。

$$DG_t = 0.53DFI + 6.9t - 15.5 \quad (54)$$

また、15℃より下の環境温度 t℃において群飼離乳子豚が15℃以上の温域と同等の日増体量を維持するのに必要な飼料摂取量 DFI<sub>t</sub>は、15℃以上の温域における飼料摂取量を DFI<sub>15</sub>とすると以下の式で示される。

$$DFI_t = DFI_{15} - 13.0t + 195.3 \quad (55)$$

不断給餌条件の群飼離乳子豚の飼料摂取量は15℃以上の温域では平均670g/日、10℃では730g/日、5℃では630g/日であったが、(55)式より15℃以上の温域と同等の日増体量を維持するのに必要な飼料摂取量は10℃で735g/日、5℃で800g/日と計算され、群飼離乳子豚が15℃以上の温域と同等の日増体量を10℃では維持でき、5℃では維持できなかったことを裏付ける。

一方、体重5～20kgの離乳子豚に対する期待日増体量について、1975年版日本飼養標準<sup>79)</sup>は平均330g、1979年版NRC飼養標準<sup>75)</sup>はそれより高い平均400gに設定している。さらに、離乳子豚の飼料効率について、20～28℃の温域で平均0.67(0.59～0.72)の値が報告<sup>51,53)</sup>されている。

これらのことから、不断給餌条件の群飼離乳子豚の適応的行動を考慮した低温限界は次のように設定される。すなわち、日増体量と飼料効率を損なわない低温限界は15℃であり、そこでの飼料摂取量は670g/日、日増体量は443g(実測値450g)、飼料効率は0.66(実測値0.67)と推定される。また、日増体量を損なわない低温限界は10℃であり、そこでの飼料摂取量は730g/日、日増体量は440g(実測値430g)、飼料効率は0.60(実測値0.59)と推定される。

これらの低温限界は、MWPSの推奨値よりも10℃以上が低いが、NRC飼養標準の期待日増体量および20℃以上の温域での飼料効率を満たすものである。

さらに、15℃より下の温域で群飼離乳子豚が採食量を増やす適応的行動により日増体量の低下を補った場合に体組成の変化が予測されるが、15℃以下の環境温度 t℃における群飼離乳子豚の飼料摂取量(DFI, g/日)を考慮した蛋白質、脂肪、灰分および水分蓄積量(P<sub>t</sub>, F<sub>t</sub>, Ash<sub>t</sub>およびMoi<sub>t</sub>; g/日)は、(26)～(33)式より以下のように示される。

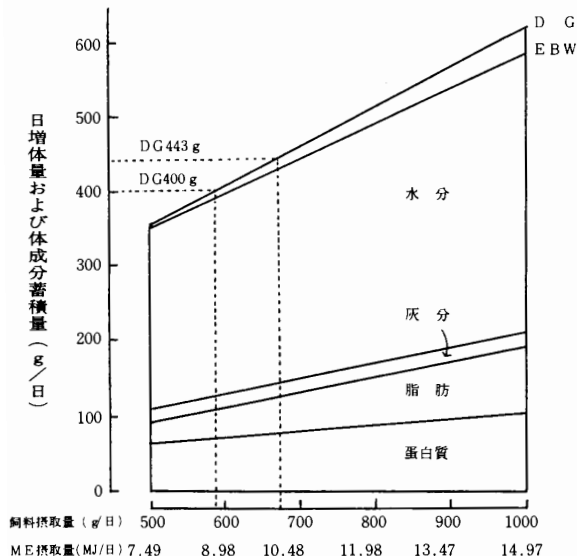
$$P_t = 0.077DFI + 1.16t + 5.9 \quad (56)$$

$$F_t = 0.116DFI + 0.89t - 40.8 \quad (57)$$

$$Ash_t = 0.018DFI + 0.18t - 0.7 \quad (58)$$

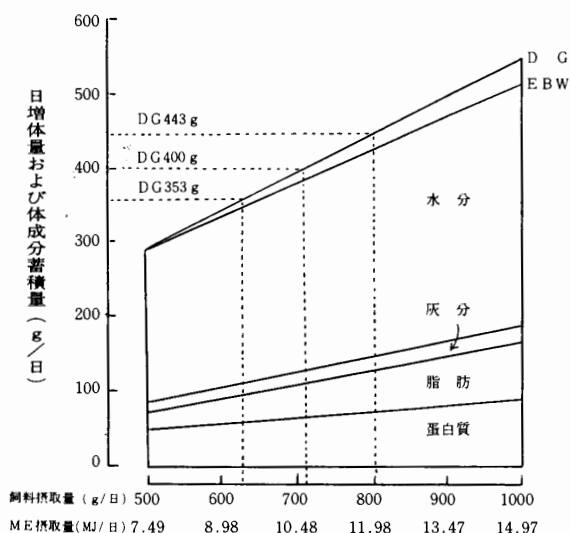
$$Moi_t = 0.262DFI + 4.04t + 54.0 \quad (59)$$

これらの関係を用いて、群飼離乳子豚の飼料摂取量と日増体量および体成分蓄積量の関係を環境温度力別に示すと図24～26のとおりである。採食量を増やす適応的行動によって日増体量の低下を防止できる低温限界10℃における群飼離乳子豚の体組成は、(55)と(56)～(59)式から1日当たり3gの脂肪蓄積量の増加と水分蓄積量の低下が起こることが推定され、脂肪の比率が高くなるものと考えられる。



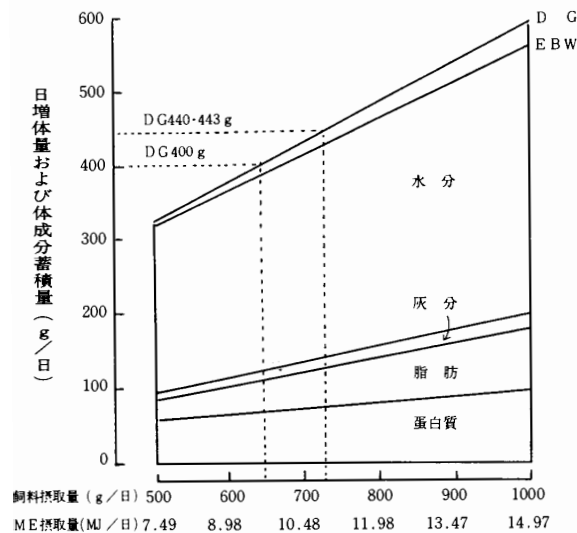
DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
670 *	10.0	443	74.9	50.2	14.1	290.1	* 試験1~4の採食レベル
589	8.8	400**	68.7	40.8	12.6	268.9	**NRCの期待増体量

図24 群飼離乳子豚の15℃以上における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量



DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
630 *	9.4	353	60.2	36.6	11.5	239.3	* 試験 1の採食レベル
800	12.0	443**	73.3	56.4	14.6	283.8	**15℃以上での増体量
719	10.8	400***	67.1	56.4	13.1	262.6	***NRCの期待増体量

図26 群飼離乳子豚の5℃における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量の関係



DFI (g/日)	DME (MJ/日)	D G (g/日)	体成分蓄積量 (g/日)				備 考
			P	F	Ash	Moi	
730 *	10.9	440	73.5	52.7	14.2	285.7	* 試験 2の採食レベル
735	11.0	443**	74.1	53.3	14.2	287.0	**15℃以上での増体量
654	9.8	400***	67.9	43.9	12.9	265.7	***NRCの期待増体量

図25 群飼離乳子豚の10℃における飼料摂取量と増体量および体成分蓄積量の関係

以上のように、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体および体成分蓄積の面から明らかにするとともに、寒冷に対する離乳子豚の適応能力を検討し、不断給餌条件下での群飼離乳子豚の適応能力も考慮した低温限界を提示した本研究の成果は、離乳子豚の環境管理を考える際に重要な情報を提供するものである。

## 要 約

本研究は、群飼離乳子豚の環境温度別の行動と成長を調べ、群飼離乳子豚の寒冷に対する適応的行動が熱収支に与える効果を検討するとともに、離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体および体成分蓄積の面から究明し、群飼離乳子豚の適応的行動を考慮した低温限界を提示することを目的とした。得られた結果は以下のように要約される。

1. 群飼離乳子豚の環境温度に対する行動の反応は週齢によって変化し、寒冷に対する適応的行動である互いに体を寄せあう休息行動 (huddling) は、離乳直後の5週齢では5~25℃の全温域で観察されたが、6週齢以降では15℃以下の温域だけでみられた。

2. 群飼離乳子豚の5~25℃の温域における成長の反応は次のようであった。15℃以上の温域では飼料摂取量、日増体量および飼料効率に差は認められず、良好な成績を示した。10℃では、日増体量は15℃以上の温域と同水準にあったが、飼料摂取量の増加により飼料効率が低下した。5℃では日増体量・飼料効率ともに低下した。

3. 群飼離乳子豚の寒冷環境における huddling は、休息時の群床占有面積を床暖房時比べ32~34%減少させる群の集密度を有した。

4. 群飼離乳子豚は、寒冷下で huddling をすることにより、休息時の熱産生量を減少させた。寒冷下での離乳子豚の熱産生量は1頭から4頭まで群飼頭数の増加に応じて低下したが、それ以上では頭数増による変化はなく、4頭以上の群飼による熱産生量の軽減効果は15~17%であった。

5. 互いに重なりあう休息形態をとる huddling では外周空気への放射・対流による熱放散と床面への伝導による熱放散とが抑制されることになるが、子豚の熱的模型からの放熱量の検討結果より、休息時の豚の頭熱放散を軽減する効果は後者で高いことが推察された。

6. 離乳子豚の飼料の利用性に及ぼす寒冷の影

響について、飼料成分の消化率に変化はなかったが、エネルギーの代謝率および窒素の蓄積率は寒冷によって低下した。

7. 寒冷により離乳子豚の熱産生量は環境温度1℃の低下につき1日当たり56kJ増加し、そのことによる蛋白質および脂肪としてのエネルギー蓄積量の低下は1日当たり26kJおよび30kJであり、寒冷下によるエネルギー蓄積量の減量は脂肪蓄積の減少による部分が多いものと推察された。

8. 離乳子豚のエネルギーの利用効率に及ぼす寒冷の影響について、蛋白質蓄積に対するMEの利用効率 ( $k_p$ ) は25℃の0.63から5℃での0.45に低下し、脂肪蓄積に対するMEの利用効率 ( $k_f$ ) は25℃の0.68から5℃での0.91に高まり、その結果として増体するMEの利用効率 ( $k$ ) には5℃と25℃では差が認められず平均0.54と推定された。

9. 寒冷による離乳子豚の日増体量の減少量は環境温度1℃の低下につき7gであり、そのうち蛋白質蓄積に関連する部分は6.2g、脂肪蓄積に関連する部分は0.8gと推定され、寒冷下による増体量の低下は蛋白質蓄積の減少に関連した部分が多いと判断された。

10. 離乳子豚の体成分蓄積に及ぼす寒冷の影響について、蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量は環境温度1℃の低下につきそれぞれ1日当たり1.2g、0.9g、0.2gおよび4.0g減少すると計算された。

11. 飼料摂取量の増加に伴う離乳子豚の体成分蓄積量の増加は環境温度の影響を受けず、蛋白質、脂肪、灰分および水分の蓄積量は1日当たり100gの飼料摂取量の増加によりそれぞれ7.7g、11.6g、1.8gおよび4.0g増加すると計算された。

12. 寒冷による離乳子豚の増体量の低下を補うために必要な飼料の増給量は、単にエネルギー蓄積を等しくさせる量では不足し、環境温度1℃の低下につき日量13g (ME195kJ相当) が必要であった。

13. 離乳子豚の増体量について、環境温度に起因する変化と飼料摂取量に起因する変化とではその内容が異なるため、寒冷下における増体量の低下を飼料摂取量の増加によって補うと脂肪蓄積量の増加が起こることが判明し、その場合の脂肪蓄積量の増加は温度差1℃当たり日量0.6gと推定された。

14. 寒冷下における離乳子豚の体組成について、脂肪比率が低下するケース、脂肪比率が増加するケースおよび体組成に変化がないケースの3つを認めたが、それらの変化は直接的に体重と飼料摂取量の違いに起因し、寒冷は間接的な要因であることが明らかとなった。

15. 離乳子豚の被毛重量が寒冷下で増加する現象が認められたが、体成分の体内分布および臓器重量には寒冷に起因する変化はみられなかった。

16. 群飼離乳子豚の環境温度別の行動と成長を調べ、寒冷環境における群飼離乳子豚の適応的行動の熱収支上の有利性を明らかにし、さらに離乳子豚の成長に及ぼす寒冷の影響を飼料のエネルギー利用、増体、体成分蓄積などの面から究明した結果、不断給餌条件の群飼離乳子豚に対する日増体量と飼料効率を損なわない低温限界は15℃と設定された。また、日増体量だけを問題とし、飼料効率の低下および体組成の変化を許容するならば低温限界は10℃まで低下する。

## 謝 辞

本研究をとりまとめるに当たり、終始懇切なるご指導を賜り、かつご校閲の労をおとりいただいた北海道大学教授朝日田康司博士に衷心から感謝の意を表す。また、北海道大学教授上山英一博士ならびに同助教授大久正彦博士には、ご校閲の労をおとりいただき、有益なるご助言を賜り、さらに北海道立滝川畜産試験場前場長奥村純一博士には、本研究のとりまとめの機会とご激励をいただいた。ここに深甚なる謝意を表す。

本研究は、昭和58年から北海道立滝川畜産試験場および広島大学において実施したものであり、この間、北海道立滝川畜産試験場元場長渡辺寛氏、

同場長阿部登氏、同研究部長和泉康史博士（現中央農試畜産部長）、広島大学教授山本禎紀博士、同助教授伊藤敏男博士ならびに同助手藤田正範博士からは多大なるご指導とご便宜をいただいた。

本研究の実施にあたっては、北海道立滝川畜産試験場元飼養科長所和暢博士（現管理科長）、同藤田保氏、同蒔田秀夫氏（現天北農試主任研究員）ならびに同岡本全弘博士（現畜産資源開発科長）のご助言とご協力を得、また飼養科ならびに養豚科の諸氏には絶大なるご協力をいただいた。

ここに、以上の各位に衷心より感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) ADAMS, K. L., T. H. BAKER and A. H. JENGEN. 1980. Effect of supplemental heat for nursing piglets. *J. Anim. Sci.*, 50 : 779-782.
- 2) Agricultural Research Concl. 1981. The nutrient requirements of pigs. 1-65. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- 3) 安保佳一. 1974. 最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の生理に関する研究の動向. 日畜会報, 45 : 39-47.
- 4) 朝日田康司. 1979. 豚の環境生理. 「農業技術大系. 畜産編. 4. 豚」. 基125-139. 農山魚村文化協会. 東京.
- 5) BERSCHAUER, F., G. FAUS and K. H. MENKE. 1980. Effect of body weight on efficiency of utilization of energy and protein in pigs. *in* Energy metabolism (MOUNT, L. E., ed.), 101-105. Butterworths, London.
- 6) BIANCA, W. 1968. Thermoregulation. *in* Adaptation of domestic animals (HAFEZ, E. S. E., ed), 97-118. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 7) BLAXTER, K. L. 1977. Environmental factors and their influence on the nutrition of farm livestock. *in* Nutrition and the climatic environment (HARESIGN, W., H. SWAN and D. LEWIS eds.), 1-16. Butterworths, London.
- 8) BOON, C. R. 1981. The effect of departures from lower critical temperature on the group postural behaviour of pigs. *Anim. Prod.*, 33 : 71-79.
- 9) BROUWER, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. *in* Energy metabolism (BLAXTER, K. L., ed.), 441-443. Academic Press, London.
- 10) BROWN, D. E., R. R. HACKER and G. J. KING. 1976. Growth and ACTH responses to cold stress of young pigs fed ad libitum. *Can. J. Anim. Sci.*, 56 : 365-371.
- 11) CHRISTOPHERSON, R. J. 1976. Effects of prolonged cold and the outdoor winter environment on apparent digestibility in sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 56 : 201-212.
- 12) CHRISTOPHERSON, R. J. and P. M. KENNEDY. 1983. Effects of the thermal environment on digestion in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.*, 63 : 477-496.
- 13) CLOSE, W. H. 1971. The influence of environmental temperature and plane of nutrition on heat losses from individual pigs. *Anim. Prod.*, 13 : 295-302.
- 14) CLOSE, W. H. and L. E. MOUNT. 1976. Gains in protein and fat in the growing pig in relation to environmental temperature. *in* Energy metabolism of farm animals (6th Symp. 1976) (Vermorel, M., ed.), 173-176. Eur. Ass. Anim. Prod. 19, Clermont-Ferrand.
- 15) CLOSE, W. H. and M. W. STANIER. 1980. The energy requirements for growth in the early-weaned pigs. *in* Energy metabolism (MOUNT, L. E., ed.), 399-402. Butterworths, London.
- 16) Close, W. H. and M. W. STANIER. 1984. Effects of plane of nutrition and environmental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet. 1. Growth and body composition. *Anim. Prod.*, 38 : 211-220.
- 17) CLOSE, W. H. and M. W. STANIER. 1984. Effects of plane of nutrition and environ-

- mental temperature on the growth and development of the early-weaned piglet. 2. Energy metabolism. *Anim. Prod.*, 38 : 221-231.
- 18) CLOSE, W. H., M. W. A. VERSTEGEN and L. E. Mount. 1973. The energy costs of maintenance and production in the growing pig. *Proc. Nutr. Soc.*, 32 : 72A.
- 19) CUTHBERTSON, A. and R. W. POMEROY. 1962. Quantitative anatomical studies of the composition of the pig at 50, 68 and 92kg carcass weight. II. Gross composition and skeletal composition. *J. Agric. Sci.*, 59 : 215-223.
- 20) DAUNCEY, M. J. and D. L. INGRAM. 1983. Evaluation of the effects of environmental temperature and nutrition on body composition. *J. Agric. Sci.*, 101 : 351-358.
- 21) DE GOEY, L. W. and R. C. EWAN. 1975. Effect of level of intake and diet dilution on energy metabolism in the young pig. *J. Anim. Sci.*, 40 : 1045-1051.
- 22) FOLK, C. E. Jr. 1974. Textbook of environmental physiology. 136-220. Lea & Febiger. Philadelphia.
- 23) FULLER, M. F. 1965. The effects of environmental temperature on the nitrogen metabolism and growth of the young pig. *Br. J. Nutr.*, 19 : 531-546.
- 24) FULLER, M. F. and A. W. BOYNE. 1971. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 1. Nitrogen metabolism, growth and body composition. *Br. J. Nutr.*, 25 : 259-272.
- 25) FULLER, M. F. and A. W. BOYNE. 1972. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 2. Energy metabolism. *Br. J. Nutr.*, 28 : 373-384.
- 26) 古郡 浩. 1979. 豚の一生と生理学的特性. 「農業技術大系, 畜産編, 4. 豚」, 基27-57. 農山魚村文化協会, 東京.
- 27) 古郡 浩. 1985. 豚における栄養生理研究 30年の進歩. 栄養生理研究会報, 29 : 47-66.
- 28) GÄDEKEN, D., H. J. OSLAGE and H. FLIEGEL. 1974. Der Energiebedarf für die Eiweiß and Fettsynthese bei wachsenden Schweinen. in Energy metabolism of farm animals (6th Symp. 1973) (MENKE, K. H., H. J. LANTZSH and J. R. REICHI eds.), 169-172. Eur. Ass. Anim. Prod. 14, Stuttgart.
- 29) GEUYEN, T. P. A., J. M. F. VERHAGEN and M. W. A. VERSTEGEN. 1984. Effect of housing and temperature on metabolic rate of pregnant sows. *Anim. Prod.*, 38 : 477-485.
- 30) GONYOU, H. W., R. J. CHRISTOPHERSON and B. A. YOUNG. 1979. Effects of cold temperature and winter conditions on some aspects of behaviour of feedlot cattle. *Appl. Anim. Ethol.*, 5 : 113-124.
- 31) GRAHAM, N. MCC., F. W. WAINMAN, K. L. BLAXTER and D. G. ARMSTRONG. 1959. Environmental temperature, energy metabolism, and heat regulation in sheep. 1. Energy metabolism in closely clipped sheep. *J. Agric. Sci.*, 52 : 13-24.
- 32) HACKER, R. R., M. P. STEFANOVIC and T. R. BATRA. 1973. Effects of cold exposure on growing pig : growth, body composition and 17-ketosteroids. *J. Anim. Sci.*, 37 : 739-744.
- 33) 萩原達也・片寄正歳・佐藤安弘. 1972. 床面温水暖房の肥育効果に関する試験. 神奈川県畜試研報, 59 : 26-31.
- 34) HALE, O. M., J. C. JOHNSON, Jr. and E. P. WARREN. 1968. Influence of season, sex and dietary energy concentration on performance and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.*, 27 : 1577-1582.
- 35) 北海道新得畜産試験場. 1983. 実用化レポー

- ト (No.118) カーフハッチによる乳用子牛の育成技術。農林水産技術会議事務局，東京。
- 36) 北海道滝川畜産試験場。1982。無看護分娩時の豚舎保温に関する試験。北海道農業試験会議資料。
- 37) HOLMES, C. W. 1970. Effects of air temperature on body temperatures and sensible heat loss of Friesian and Jersey calves at 12 and 76 days of age. *Anim. Prod.*, 12 : 493-501.
- 38) HOLMES, C. W., R. CHRISTENSEN, J. R. CARR and G. PEARSON. 1980. Some aspects of the energy metabolism of growing pigs fed on diets containing different concentrations of protein. *in* Energy metabolism (MOUNT, L. E., ed.), 97-100. Butterworths, London.
- 39) HOLMES, C. W. and W. H. CLOSE. 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. *in* Nutrition and the climatic environment (HARESIGN, W., H. SWAN and D. LEWIS eds.), 51-73. Butterworths, London.
- 40) HOLMES, C. W. and W. E. COEY. 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. *Anim. Prod.*, 9 : 209-218.
- 41) HOLMES, C. W. and N. R. McLEAN. 1974. The effect of low ambient temperatures on the energy metabolism of sows. *Anim. Prod.*, 19 : 1-12.
- 42) HOLMES, C. W. and L. E. MOUNT. 1966. Heat loss from young pigs, individually and in groups, at ambient temperatures of 9, 20 and 30°C. *J. Physiol.*, 186 : 75-77.
- 43) HOUSEMAN, R. A. and I. McDONALD. 1973. The prediction of body composition in bacon pigs from measurements of feed intake and live-weight gain. *Anim. Prod.*, 17 : 295-304.
- 44) INGRAM, D. L. and L. E. MOUNT. 1965. The metabolic rates of young pigs living at high ambient temperatures. *Res. Vet. Sci.*, 6 : 300-306.
- 45) JORDAN, J. W. and W. D. BROWN. 1970. The retention of energy and protein in the baby pig fed on cow's milk. *in* Energy metabolism of farm animals (Schurch, A. and C. Wenk eds.), 161-165. Eur. Ass. Anim. Prod. 13, Zurich.
- 46) 糟谷 泰・首藤新一・阿部 登・米田裕紀・所 和暢。1967。豚の冬期保温方式に関する研究。1. 離乳子豚に対する保温効果について。滝川畜試研報，5 : 86-90。
- 47) 片山秀策。1986。断熱強制換気による畜舎の環境調節に関する農業工学的研究。北海道農業試験場研究報告，145 : 53-152。
- 48) KENNEDY, P. M., R. J. CHRISTOPHERSON and L. P. MILLIGAN. 1982. Effects of cold exposure on feed protein degradation, microbial protein synthesis and transfer of plasma urea to the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.*, 47 : 521-534.
- 49) KENNEDY, P. M., B. A. YOUNG and R. J. CHRISTOPHERSON. 1977. Studies on the relationship between thyroid function, cold acclimation and retention time of digesta in sheep. *J. Anim. Sci.*, 45 : 1084-1090.
- 50) 黒沢不二町。1983。肉豚生産の展開構造に関する研究。北海道立農業試験場報告，40。
- 51) LE DIVIDICH, J. 1981. Effects of environmental temperature on the growth rate of early-weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.*, 8 : 75-85.
- 52) LE DIVIDICH, J. and A. AUMAITRE. 1978. Housing and climatic conditions for early weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.*, 5 : 71-80.
- 53) LE DIVIDICH, J. and NOBLET. 1982. Growth rate and protein and fat gain in early-



- weaned piglets housed below thermoneutrality. *Livest. Prod. Sci.*, 9 : 731-742.
- 54) LE DIVIDICH, J., M. VERMOREL, J. NOBLET, J. C. BOUVIER and A. AUMAITRE. 1980. Effects of environmental temperature on heat production, energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets. *Br. J. Nutr.*, 44 : 313-323.
- 55) MAC CRACKEN, K. J., S. M. EDDIE and W. G. STEVENSEN. 1980. Energy and protein nutrition of earlyweaned pigs. Effect of energy intake and energy : protein on energy utilization and body composition of pigs slaughtered at 32d. *Br. J. Nutr.*, 43 : 305-319.
- 56) MCCRACKEN, K. L. and B. J. CALDWELL. 1980. Studies on diurnal variations of heat production and the effective lower critical temperature of early-weaned pigs under commercial conditions of feeding and management. *Br. J. Nutr.*, 43 : 321-328.
- 57) MCCRACKEN, K. L. and R. GRAY. 1984. Further studies on heat production and effective lower critical temperature of early-weaned pigs under commercial conditions of feeding and management. *Br. J. Nutr.*, 43 : 321-328.
- 58) MCGINNIS, R. M., D. N. MARPLE, V. K. GANJAM, T. J. Prince and J. F. Pritchett. 1981. The effects of floor temperature, supplemental heat and drying at birth on neonatal swine. *J. Anim. Sci.*, 53 : 1424-1431.
- 59) MCLEAN, J. A. and P. R. WATTS, 1976. Analytical refinements in animal calorimetry. *J. Appl. Physiol.*, 40 : 827-831.
- 60) Midwest Plan Service. 1983. Structures and environment hand-book 11th ed. Midwest Plan Service, Iowa.
- 61) MILLER, J.K., E. W. SWANSON, W. A. LYKE, B. R. MOSS and W. F. BYRNE. 1974. Effect of thyroid status on digestive tract fill and flow rate of undigested residues in cattle. *J. Dairy Sci.*, 57 : 193-197.
- 62) 三村 耕. 1960. 家畜管理に関する生態学的研究について. *日畜会報*, 31 : 161-168.
- 63) 三村 耕. 1965. 家畜管理の技術. 養賢堂, 東京.
- 64) 三村 耕. 1969. 家畜の環境調節技術の変遷. 「戦後農業技術発達史 第8巻 畜産編」. 607-618. 日本農業研究所, 東京.
- 65) 三村 耕. 1974. 日畜学会創立50周年シンポジウム記録. 53-64. 日本畜産学会.
- 66) 三村 耕・森田琢磨. 1980. 家畜管理学. 養賢堂, 東京.
- 67) 森田琢磨. 1974. 畜舎と装置化. *日畜会報*, 45 : 569-577.
- 68) MOUNT, L. E. 1960. The influence of huddling and body size on the metabolic rate of the young pig. *J. Agric. Sci.*, 55 : 101-105.
- 69) MOUNT, L. E. 1963. Environmental temperature preferred by the young pig. *Nature*, 199 : 1212-1213.
- 70) MOUNT, L. E. 1964. The tissue and air components of thermal insulation in the new-born pig. *J. Physiol.*, 170 : 268-295.
- 71) MOUNT, L. E. 1967. The heat loss from new-born pig to floor. *Res. Vet. Sci.*, 8 : 175-185.
- 72) MOUNT, L. E. 1968. The climatic physiology of the pig. Edward Arnold, London.
- 73) MOUNT, L. E. 1968. Adaptation of swine. *in* Adaptation of domestic animals (Hafez, E. S. E., ed.), 277-291. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 74) MOUNT, L. E. 1978. Adaptation to thermal environment. 116-144. Edward Arnold, London.
- 75) National Research Council. 1979. Nutrient requirements of swine 8th ed. National Academy Press, Washington.

- 76) National Research Council. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. 96-108. National Academy Press, Washington.
- 77) NEWLAND, H. W., W. N. McMILLEN and E. P. REINEKE. 1952. Temperature adaptation in the baby pig. *J. Anim. Sci.*, 11 : 118-123.
- 78) NOBLET, J. and J. LE DIVIDICH. 1982. Effect of environmental temperature and feeding level on energy balance traits of early-weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.*, 9 : 619-632.
- 79) 農林水産技術会議事務局. 1975. 日本飼養標準豚. 中央畜産会, 東京.
- 80) OSINKA, Z. 1980. Energy cost of protein and fat deposition by calves. *Z. Tierphysiol, Tierernähr. Futter-mittelkd.*, 43 : 138-145.
- 81) PHILLIPS, P. A., B. A. YOUNG and J. B. MCQUITTY. 1980. Weight responses of growing-finishing swine to acute cold stress. *Can. J. Anim. Sci.*, 60 : 557.
- 82) POMEROY, R. W. 1953. Studies on piglet mortality. 1. Effect of low temperature and low plane of nutrition on the rectal temperature of the young pig. *J. Agric. Sci.*, 43 : 182-191.
- 83) ROBERTSON, A. M., J. J. CLARK and J. M. BRUCE. 1985. Observed energy intake of weaned piglets and its effect on temperature requirements. *Anim. Prod.*, 40 : 475-479.
- 84) SAISBURY, D. 1972. Pig housing 3rd ed.. 211. Farming Press, Ipswich.
- 85) 佐野 修・相馬由和・鈴木輝雄. 1979. 5週齢時体重とその後の発育との関係について. *日豚研誌*, 16 : 267.
- 86) SEVE, B. 1982. Age at weaning, development of chemical body components, and energy utilization in piglets from 3-25kg live weight. *Livest. Prod. Sci.*, 9 : 603-617.
- 87) SCHMIDT, M. K., T. L. VEUM, J. L. CLARK and G. F. KRAUSE. 1973. Chemical composition of crossbred swine from birth to 136kg with two planes of nutrition from 53 to 136 kilograms. *J. Anim. Sci.*, 37 : 683-687.
- 88) 首藤新一・朝日田康司. 1980. 北海道養豚史略. 「北海道養豚史」, 1 : 21. 日本養豚研究会北海道支部, 札幌.
- 89) SORENSEN, R. H. 1962. Influence of climatic environment on pig performance. *in* Nutrition of pigs and poultry (Morgan, J. T. and D. Lewis eds.), 88-103. Butterworths, London.
- 90) STAHLY, T. S. and G. L. CROMWELL. 1979. Effect of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 49 : 1478-1488.
- 91) STANIER, M. W. 1977. Effect of environmental temperature and food intake on the distribution of fat in growing hairless mice. *Br. J. Nutr.* 37 : 279-284.
- 92) STEFANOVIC, M. P., H. S. BAYLEY and S. T. SLINGER. 1970. Effect of stress on swine : heat and cold exposure and starvation on vanilmandelic acid output in the urine. *J. Anim. Sci.*, 30 : 378-381.
- 93) STEPHENS, D. B. 1971. The metabolic rates of newborn pigs in relation to floor insulation and ambient temperature. *Anim. Prod.*, 13 : 303-313.
- 94) STEPHENS, D. B. and I. B. START. 1970. The effects of ambient temperature, nature and temperature of the floor and radiant heat on the metabolic rate of the new-born pig. *Int. J. Biomet.*, 14 : 275-283.
- 95) SUGAHARA, M., D. H. BAKER, B. G. HARMON and A. H. JENSEN. 1970. Effect of ambient temperature on performance and carcass development in young swine. *J. Anim. Sci.*, 31 : 59-62.

- 96) 高橋 明・谷村一紘・木下正夫・窺 俊定・高木久雄. 1967. 子豚の発育に関する調査 I 生後3週離乳の体重とその後の発育との関係について. 日豚研誌, 4: 21
- 97) 所 和暢. 1984. 寒地における肉豚生産と畜舎環境に関する研究. 北海道立農業試験場報告, 41.
- 98) VERSTEGEN, M. W. A., W. H. CLOSE, I. B. START and L. E. MOUNT. 1973. The effects of environmental temperature and plane of nutrition on heat loss, energy retention and deposition of protein and fat in groups of growing pigs. *Br. J. Nutr.*, 30: 21-35.
- 99) VERSTEGEN, M. W. A., G. MATEMAN, H. A. BRANDSMA and P. I. HAARTSEN. 1979. Rate of gain and carcass quality in fattening pigs at low ambient temperatures. *Livest. Prod. Sci.*, 6: 51-60.
- 100) VERSTEGEN, M. W. A. and W. VAN DER HEL. 1974. The effects of temperature and type of floor on metabolic rate and effective critical temperature in groups of growing pigs. *Anim. Prod.* 18: 1-11.
- 101) WESTRA, R. and R. J. CHRISTOPHERSON. 1976. Effects of cold on digestibility, retention time of digesta, reticulum motility and thyroid hormones in sheep. *Can. J. Anim. Sci.*, 56: 699-708.
- 102) 山本禎紀. 1974. 最近10年間における畜産学の進歩. 家畜・家禽の管理・生態に関する研究の動向. 日畜会報, 45: 77-84.
- 103) 山本禎紀. 1976. 畜産領域における環境生理学. 日畜会報, 47: 687-697.
- 104) 山本禎紀・秦 寛・隅田真代・宮田マリ子・伊藤敏男, 1986. 熱産生量測定用大小各種チャンバーの急速応答法による校正結果について. 家畜の管理, 22: 12-14.
- 105) 山本禎紀・隅田真代・小迫孝実. 1985. 心拍数と熱産生量との関係を解析する研究手法としての急速応答法による熱産生量測定方法の検討. 日畜会報, 56: 947-953.
- 106) 米田裕紀・杉本巨之. 1973. 寒冷環境における肉豚の飼養法改善に関する研究. 第3報 寒冷環境が消化率に及ぼす影響について. 日豚研誌, 10: 141.

# Studies on the Growth and the Utilization of Feed Energy in Weaned Piglets kept in Cold Environment

by

Hiroshi HATA

## Summary

As development of intensive pig farming, environment control of pig housing has become to be more important. However, little scientific information on the suitable air temperature for weaned piglets is available. At present time, American Society of Agricultural Engineers(ASAE) published the only official recommendation of housing temperature for weaned piglets. From a practical view, the temperature recommended by ASAE might be too high because there is no consideration on the adaptability to thermal environment of group housed piglets.

The objective of this study is to determine the influence of coldness on growth of weaned piglets through utilization of feed energy and deposition of body components and to clarify the significance of adaptive behaviour in group housed piglets in cold environment, and then to propose the minimum temperature to suitable performance of weaned piglets kept in group.

### 1. Energy Metabolism and Growth Rate of Weaned Piglets in Cold Environment

Effects of coldness on energy metabolism and growth of weaned piglets were determined in three trials using comparative slaughter technique in rooms controlled to 5 and 25°C.

There was no difference in digestibilities of nutrients between the piglets kept in the 5 and 25°C room, while metabolizability of energy and nitrogen balance were decreased for the piglets in the colder room. It was indicated that 1°C decrement of environmental temperature resulted in 56 kJ/day increment of heat production of piglet and decrement of energy retention as protein and fat by 26 and 30 kJ/day, respectively. This suggested that the energy retained as fat was more affected by coldness than that as protein. Depression of environmental temperature from 25°C to 5°C, the efficiency of utilization of ME for protein accretion( $K_p$ ) decreased from 0.63 to 0.45, whereas the efficiency for fat accretion( $K_f$ ) increased from 0.68 to 0.91, so that there was no difference in efficiency for body weight gain( $K_w$ ) between the two temperature. Average  $K_w$  value was 0.54.

Growth rate of the piglets decreased by 7g/day per 1°C depression of temperature. The depression partitioned into 6.2 g/day decrease related to protein deposition and 0.8 g/day decrease related to fat deposition. This indicated that larger part of depression in growth rate due to coldness was attributable to depression of protein deposition.

Extra ME intake is required to prevent the depression in energy retention and growth rate due to coldness. The additional ME intake of 195 kJ/day required to maintain growth rate to the

15°C after 6 weeks of age.

No negative effect on feed intake, live weight gain and feed efficiency was observed above 15°C. In the piglets in 10°C, they maintained similar growth rate but increased feed intake, and therefore depressed their feed efficiency. In 5°C, both the growth rate and feed efficiency depressed remarkably.

These results showed that the minimum temperature for maintaining suitable growth rate and feed efficiency in group housed weaned piglets was evaluated to be 15°C. If depression in feed efficiency would be allowed, the minimum temperature for weaned piglets fed *ad libitum* and kept in group could be reduced to 10°C. The minimum temperatures proposed in the present study are over 10°C less than the temperature recommended by ASAE.

北海道立農業試験場報告 第 70 号

---

寒冷環境における離乳子豚の成長と  
飼料エネルギーの利用に関する研究

秦 寛

(滝川畜産試験場 研究部養豚科)

平成元年 3 月 28 日 発行

発行者 北海道立滝川畜産試験場

073 滝川市東滝川

印刷所 (株) 総 北 海

078 旭川市神楽岡14条5丁目

電話(0166)65-2101番

---