

第 I 章 緒 言

1. 研究の目的

現代の養豚生産の基礎は明治時代に外国種豚の輸入などにより築かれたが、昭和30年代の初頭まではあくまでも副業の域を出ないものが大部分であった⁸⁸⁾。しかし、昭和36年の農業基本法公布により豚肉は選択的拡大農産物と位置づけられ、零細副業の生産段階から脱皮し、多頭化と主産地化を目指して飛躍的に発展した⁵⁰⁾。

それにあわせて、生産構造にも大きな変化があった。すなわち、中ヨークシャー種に代わって大型品種・ランドレース種の導入とその交雑種の利用、農産副産物の残飯を中心とした粗飼料に代わる市販配合飼料の大幅な利用、抗生物質に依存した衛生管理などである。さらに、配合飼料の利用を前提とした省力化が図られ、土地から遊離する形で規模拡大が進められなど、集約的な養豚構造となっている⁹⁷⁾。

多頭化の傾向が認められる昭和38年頃から豚舎の建築に制度資金が導入され、大型の豚舎の建造が開始された。このため、生産者や養豚技術者による各種の豚舎設計が試みられたが、管理作業に関連する平面設計に関するものが多く、豚の生産性に影響する断熱、換気など環境設計についてはほとんど検討されなかった。さらに、昭和37年の豚価の大暴落は危険分散の見地から繁殖・肥育の一貫経営に対する志向を強め⁵⁰⁾、一つの経営において種々のステージの豚が多頭数で飼育される状況を生み出した。

そのような中で寒冷期を中心に、不良な豚舎環境による発育の遅延、飼料効率の低下、疾病の多発など生産性の低下がみられるようになり、飼育規模が小さい副業的な生産段階では重視されなかった豚舎の環境管理が昭和40年代中頃から重要な課題となってきた。

とりわけ寒冷期の環境管理は重要な問題であるが、低温域における豚の生産反応に関する研究は

諸外国を含めても極めて少なく、環境生理学的な概念から提出された臨界温度や快適温度が、豚舎の環境設計の基準として用いられているのが現状である。

しかし、生産現場における飼養条件が考慮されていないそれらの温度は、豚にとっては理想的な環境を与えるが、経済性を重視する環境管理の実態からかけ離れたものとなっている。また、そのことは寒冷期の豚舎で必要以上に高い温度を要求することにつながり、寒冷地において豚舎の過剰な暖房機器の導入や暖房コストの高騰が散見される現象⁸⁹⁾をも生みだしている。

このような状況を背景に、豚舎の環境設計に利用し得る環境温度の基準を、熱的環境について生産の経済的限界を超えない範囲すなわち生産環境限界として提示しようとする考え方^{4,66)}が提唱され、肉生産に直結する肥育期についてはそのような方向性をもった研究⁶⁷⁾が最近になってまとめられた。

しかし、肉生産を目的として飼育される肉豚の生産性は肥育期だけで決まるのではなく、前段の離乳期の成長が肥育期の生産性に影響を及ぼすことが報告^{85,96)}されている。しかも離乳期の子豚では、飼料と環境の急変さらには群の組換えなどの要因が重なるため成長が損なわれ易く²⁶⁾、とくに寒冷期には温度管理に注意を払わなければならない。ところが、生産現場における発育ステージ別の豚の管理では、虚弱な哺育期と肉生産に直結する肥育期の中間に当たる離乳期の子豚についてはあまり関心が払われず、離乳子豚が分娩豚舎あるいは肥育豚舎の一部を利用して飼われているのが実態である。そのため寒冷期に、離乳子豚に対して過剰あるいは過少とも思われる温度環境が与えられているケースが多くみられる。

また、豚の環境生理研究においても、離乳子豚に関する研究は新生豚や肥育豚に比べて少ない^{27,51)}上に、ほとんどが単飼条件で検討されており、それらに基づいた現行の離乳子豚に対する温度管理

の推奨値^{10,84)}はかなり高い温度を要求している。

多頭数飼育による一貫経営の進展は、一方で豚の発育ステージ別の環境管理を可能にする要素を生みだしていることから、離乳期の子豚についても実際の環境管理に利用し得る群飼条件を前提とした生産環境限界の提示が必要と考える。

本研究は、離乳子豚の寒冷に対する生産環境限界すなわち低温限界を提示することを目的として、これまでわが国において用られたことのない比較屠殺法、群飼家畜の熱産生量測定の手法も導入して、寒冷に対する群飼離乳子豚の適応能力と離乳子豚の成長に及ぼす寒冷環境の影響をエネルギー利用の観点から明らかにしようとするものである。

2. 従来の研究

1) 環境管理と環境生理学

環境と動物の関係を生理学的手法により解析する家畜環境生理学は、第2次大戦以降における世界的な集約畜産の進展とともに急速に発展した^{64,103)}。その背景には、集約畜産においては生産の絶対量だけでなく効率が重要となり、環境効果を最大限に利用して生産効率を高める必要があること、労働生産性の追求が必然的に環境問題に生ずること⁶⁵⁾などがあった。

欧州では1950年代に入り本格的な研究が開始され、イギリスの Hannah Dairy Res. Insti. (HDRI) や Agricultural Research Council (ARC) において、家畜の体温調整機能、暑熱・寒冷環境下の生理反応が調べられ、カロリーメトリックな手法により家畜の臨界温度あるいは熱的中性圏が示されている¹⁰³⁾。欧州における環境生理研究は当初より栄養学と結びつきが深く、環境の影響をエネルギー要求量の側面から把握しようとする研究³⁸⁾がなされ、ARCの1981年版 The Nutrient Requirements of Pigs²⁾では熱的中性圏以下の温域での要求量が求められるように配慮されている。

アメリカでは同じく1950年頃から Missouri, Cornell, California の各大学を中心に、暑熱地域への家畜導入に伴う環境適応に関する諸問題の解明、合理的で経済性の高い畜舎設計の基礎資料の提供

などを目的とした研究が行なわれている¹⁰³⁾。アメリカにおける環境生理研究の特徴は農業工学との結びつきの中で進められてきたことにあり、その成果を American Society of Agricultural Engineers (ASAE) がとりまとめ、Midwest Plan Service (MWPS) から1964年以降、畜舎設計のための普及資料⁶⁰⁾が刊行され、その中で家畜のステージ別に温度の推奨値が公表されている。

わが国においても1950年代後半に家畜生産における環境の重要性が論じられ¹⁰³⁾、1960年には三村⁶²⁾によって環境生理学的研究が世界的に第2次大戦後の畜産学における新しい傾向であることが紹介されている。その後、東北大学、九州大学、広島大学、農林省畜産試験場などで反すう家畜を中心とした多くの研究が進められてきたことが山本^{102,103)}、安保³⁾により総説されている。

しかし、畜舎の環境管理の観点からみると、森田⁶⁷⁾が論説したようにわが国においては農業工学と共同した研究が進められておらず、畜舎設計を目的に行われていないために家畜生理学的研究により得られたデータは畜舎設計の基礎資料として整合性に問題があることが指摘されている⁴⁷⁾。

そのような指摘に対し、生物学的・工学的・経営的諸側面が絡み合った畜産における家畜管理を生産の場で統一的に捉え、家畜管理学として体系化を図る試みがなされている^{63,66)}。そこでは、家畜生産の現場における環境管理を実践する立場から、環境生理学を行動学、農業工学、経営学などと関連させて位置づけ、環境管理の観点では熱的中性圏あるいは生理的適温域よりも生産環境限界すなわち熱的環境について生産の経済的限界を超えない範囲を知ることが重要であるとしている⁴⁾。しかしながら、家畜の生産環境限界については、わずかに SAINSBURY⁸⁴⁾、三村⁶⁶⁾、所⁹⁷⁾が試みたものがあるだけで、まだ研究の緒についたばかりといえる。

2) 子豚の成長と熱的環境

子豚の環境生理研究については、1950年代のはじめに NEWLAND ら⁷⁷⁾が出生直後の子豚の体温が環境温度によって変化すること、POMEROY⁸²⁾が出生後の哺乳が遅れるほど子豚の耐寒性が低くなる

ことを報じ、新生豚の体温調節機能に関する研究がいち早く取り組まれた。

新生豚は、熱放散を防ぐ被毛と皮下脂肪が乏しく、体温調節機能が未熟で、代謝エネルギー源としての体脂肪やグリコーゲンの貯蔵量も少なく、寒冷に対する抵抗力が極めて弱い⁷²⁾。しかし、出生後の時間の経過とともに代謝能力が増大し、断熱層としての皮下脂肪も増える^{70,72)}。子豚の体温調節機能の発達過程について、生後6日齢までの体温調節機能未発達期、7～20日齢の体温調節機能発達期、20日齢以降の体温調節機能完成期に分けられることが紹介⁴⁾されており、少なくとも3週齢以上の離乳子豚においては十分な体温調節機能を有するとみられる。

子豚の臨界温度は出生直後で34℃と非常に高い⁷³⁾が、発育にともなって次第に低下する。単飼条件での子豚の臨界温度について、INGRAM & MOUNT⁴⁴⁾は体重4～8 kgで20℃以上と報告し、HOLMES & CLOSE³⁹⁾は体重2～20kgで29～17℃、ARC²⁾は体重5 kgで30～25℃、体重15kgで28～21℃の範囲を推定している。

群飼条件の新生豚では互いに体を寄せ合う行動により寒冷下での熱産生量を少なくできることがMOUNT⁶⁸⁾によって示され、その後、肥育豚⁴²⁾、繁殖豚²⁹⁾でも同様の報告されている。そのような寒冷に対する適応的行動は、群飼豚の臨界温度を引き下げることにつながる。

群飼子豚の臨界温度について、HOLMES & CLOSE³⁹⁾は体重2～20kgで24～15℃、Le DIVIDICHら⁵⁴⁾は25～36日齢で約28℃、McCRACKEN & CRAY⁵⁷⁾は17～43日齢で26～19℃の範囲としている。

但し、1～41日齢の子豚に環境温度を自由に選択させると、新生豚は32℃の温度を好み、それ以上の日齢では単飼、群飼を問わず29～30℃を選ぶことから、熱的中性圏が必ずしも子豚の快適温域とはならないことが指摘される⁶⁹⁾。

子豚の熱放散量および熱産生量は、環境温度以外の温熱要因によっても影響を受ける。MOUNT⁷⁷⁾は風の影響について、環境温度20～30℃にある20 kgの子豚では風速が毎秒10cmから56cmに増す

と、無風状態における環境温度4℃の低下に相当する熱放散の増加があるとしている。放射熱の影響について、STEPHENS & START⁹⁴⁾は10～20℃の環境において新生豚に赤外線ランプを用いると熱産生量が18～41%減少することを報じている。床断熱の影響について、MOUNT⁷¹⁾は木の床とポリスチレン床では新生豚の豚体から床へ流れる熱量をコンクリート床に比べ47%および84%減少することを示している。またSTEPHENS^{93,94)}は、新生豚に対してワラを敷料に用いると、赤外線ランプを用いるのと同様な熱産生量の軽減効果があるとしている。

一方、離乳子豚の成長と環境温度の関係については、1965年に至ってFULLER²³⁾が10～30℃の環境における離乳子豚の発育成績を報告するまでほとんど注目されることはなかった。その後、1970年代に母豚の繁殖サイクルを短縮する技術として早期離乳が検討されのを機に、早期離乳子豚に対する温度管理の重要性が指摘され⁵²⁾、1980年代に入ってから発育、エネルギー代謝、体組成などの面で急速な進展をみている。

離乳子豚の至適温度について、FULLER²³⁾は単飼条件の2～10週齢の子豚では20～25℃の環境で最も発育が良好であり、それ以下の温域では増体重と飼料効率⁴⁾が低下するとしている。SUGAHARAら⁹⁵⁾は、7～11ないし13週齢の離乳子豚の発育を7, 23および33℃の環境で調べ、7℃で飼料効率は低下するが増体は最も高いことを報告している。また、Le DIVIDICH⁵¹⁾は、群飼条件で3週齢離乳子豚の離乳後6週間の発育を32～20℃の温域で検討し、28℃から20℃へ順次低下させた場合に増体が最も高いことを示している。

離乳子豚の発育に及ぼす寒冷の影響について、HACKERら³²⁾、BROWNら¹⁰⁾、Le DIVIDICH & NOBLET⁵³⁾の研究は、臨界温度以下の温域では環境温1℃の低下につき11～14gの日増体量の減少があることを示している。

離乳子豚のエネルギー代謝に及ぼす寒冷の影響について、NOBLET & Le DIVIDICH⁷⁸⁾は環境温度1℃の低下につき9 kJ/kg^{0.75}/日の熱産生量が増加し、維持に要するMEが増加するとしている。

離乳子豚の維持の ME 要求量 (ME_m) を検討した研究^{15,16,54,78)}では、環境温度の低下に伴う 1 日当たりの ME_m の増加を $18 \sim 35 \text{ kJ/kg}^{0.75}/^{\circ}\text{C}$ と推定している。さらに、臨界温度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利用されるので、環境温度の低下によってエネルギーの利用効率(k)が高まることが指摘されている^{15,78)}。

また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とする研究^{16,20,23,53)}、寒冷による変化がなかったとする研

究^{24,99)}、寒冷下で背脂肪が増加したとする研究³⁴⁾があり、現在のところ一致した見解は得られていない。

以上のように、離乳子豚の成長と環境温度に関する研究は、この10年間にかなり進展したものの、新生豚や肥育豚における多くの研究に比べ極めて少ない⁵¹⁾。わが国においてはわずかに、離乳子豚に対する赤外線ランプと床暖房の効果^{33,46)}が検討されている程度である。

第II章 群飼離乳子豚の成長と環境温度の関係

離乳期の子豚では、飼料と環境の急変さらには群の組替えによるストレスなどが加わり成長が損なわれ易い²⁶⁾。また、離乳期の子豚の成長は肥育期の成長にも影響を及ぼすこと^{85,86)}から、この時期の環境管理は極めて重要である。とりわけ、環境温度は離乳子豚の成長に大きな影響を与える要因であり、単飼条件の離乳子豚について20℃より下の温域では日増体量と飼料効率⁸⁷⁾が低下することが報告²³⁾され、離乳子豚の温度管理では21～29℃の単飼条件での成績に基づいた推奨値^{80,84)}が使われている。

しかし、通常の飼養管理では離乳子豚を単飼することはなく群飼条件が前提となるが、群飼条件での離乳子豚の成長と環境温度の関係を調べた研

究はわずかに20℃以上の温域での報告⁸¹⁾があるにすぎず、低温域における群飼離乳子豚の成長については明らかにされていない。

本章では、群飼条件における離乳子豚の環境温度に対する行動・成長の反応を、低温域も含めて検討した。

1. 試験方法

群飼離乳子豚の5～25℃の温域における行動と成長を調べるため、環境調節室を用いて表1に示す試験1～4を実施した。

表1 試験設計および環境温度と供試豚の体重(試験1～4)

			試験 1		試験 2		試験 3		試験 4	
			5℃	20℃	10℃	20℃	15℃	20℃	20℃	25℃
離乳日	齢		28～29		28～30		28～29		28～29	
離乳時の体重	1	群	6.9	6.8	7.1	6.9	5.3	5.2	6.7	6.6
	2	群	7.8	7.9	7.9	8.1	7.6	7.8	7.5	7.8
	3	群	6.6	6.9	7.3	7.1	7.7	7.7	7.5	7.5
	平	均	7.1	7.2	7.4	7.3	6.9	6.9	7.2	7.3

環境温度の設定は、試験1では5℃：20℃、試験2では10℃：20℃、試験3では15℃：20℃、試験4では20℃：25℃とし、試験1～4を通じて5～25℃の温域を5℃毎に比較でき、なおかつ20℃の環境温度区を共通してもつように設計した。

供試豚には、4週齢(28～31日齢)で離乳したランドレース種子豚を24頭ずつ計96頭使用した。各試験において、4頭(雄2頭・雌2頭)を一群とし、各環境温度区へ体重と腹の関係が同じくなるように3群ずつを配置した。離乳時の体重は平均7 kgで、各群内の標準偏差は0.3～1.5 kgの範囲であった。

離乳直後より、各群を4.6 m²の豚房において表2に示す人工乳飼料を不断給餌し、4週間にわたり

飼育した。なお、豚房はコンクリート床であり、敷料は用いなかった。

各環境温度における飼料摂取量、日増体量および飼料効率を求めるため、体重は週1回、残飼量は週2回測定した。

また、各環境温度における週齢別の休息行動を調べるため、5週齢(離乳3～5日目)、6週齢(離乳14～16日目)および8週齢(離乳26～27日目)に行動調査を実施し、10分毎の行動形と休息時の群がり方をビデオカメラによって24時間観察した。休息時の行動は次の3つに分類して記録した。①体を極度に寄せあう休息行動：四肢を体の下に折り曲げ、重なりあったり、極度に体を寄せあって群がる(写真1)。②体を単に寄せあう休息行動：

表2 飼料の化学組成 (試験1～4・試験9～11)

	乾物	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	NFE	エネルギー (kJ/g)
	(原物中%)						
試験9	88.6	21.5	5.1	0.9	5.6	55.6	17.0
試験10	88.6	23.7	5.0	1.0	5.6	53.2	17.1
試験11	88.3	22.6	5.2	1.0	5.4	54.1	17.1
平均	88.5	22.6	5.1	1.0	5.5	54.3	17.1

四肢を伸ばし、単に体を寄せあって群がる (写真2)。③体の接触がない休息行動：四肢を伸ば

し、他の豚との接触を持たない個体がみられる (写真3)。



写真1 体を極度に寄せあう休息行動



写真2 体を単に寄せあう休息行動



写真3 体の接触がない休息行動

2. 結果と考察

1) 環境温度と群飼離乳子豚の行動

試験1～4における離乳子豚の1日の行動割合を表3に示す。延べ24回の行動観察を通じて、休息行動が73% (67～81%) と最も多く、次いで採食行動が18% (13～23%) であり、歩行・闘争等その他の行動は9% (5～14%) であった。これらの行動割合には環境温度あるいは週齢による影響は認められず、離乳子豚は1日の大半を休息行動に費やすことが確認された。

休息時の行動を環境温度および週齢別に表4に示す。体を単に寄せあう休息行動は6週齢までは20℃以上の温域のみで認められたが、8週齢では15℃でも観察されるようになり、さらに8週齢の25℃では体の接触のない休息行動もみられた。これは豚が寒さを感じない環境でみられる休息行動であり、離乳子豚の臨界温度が週齢とともに低下

表3 週齢および環境温度別の1日の行動割合(試験1~4)

時 期 行 動 計			5℃	10℃	15℃	20℃				25℃
			試験1	試験2	試験3	試験1	試験2	試験3	試験4	試験4
5 週 齢	休 息 (%)		69.4	72.6	69.4	75.2	80.6	67.9	74.5	72.6
	採 食 (%)		21.9	19.1	18.1	18.2	14.8	18.2	15.1	13.4
	その他 (%)		8.7	8.3	12.5	6.6	4.7	13.9	10.4	14.0
6 週 齢	休 息 (%)		68.4	74.8	76.9	74.7	77.4	76.0	72.9	68.4
	採 食 (%)		23.4	15.5	13.2	20.5	13.2	14.8	18.8	22.1
	その他 (%)		8.2	9.7	9.9	4.9	9.4	9.2	8.3	9.5
8 週 齢	休 息 (%)		67.0	77.3	70.7	71.4	69.1	74.7	69.8	74.7
	採 食 (%)		22.8	13.4	19.3	22.0	17.2	14.2	16.1	16.5
	その他 (%)		10.2	9.4	10.1	6.6	13.7	11.1	14.1	8.9

表4 環境温度に対する群飼離乳子豚の休息時の行動反応(試験1~4)

環 境 温 度 試 験 No		5℃	10℃	15℃	20℃				25℃
		試験1	試験2	試験3	試験1	試験2	試験3	試験4	試験4
5 週 齢 ¹⁾		●	●	●	●	●	●	●○	●○
6 週 齢 ²⁾		●	●	●	○	○	○	○	○
8 週 齢 ³⁾		●	●	●○	○	○	○	○	○□

1) 離乳3~5日後 ● 体を極度に寄せあう休息行動

2) 離乳14~15日後 ○ 体を単に寄せあう休息行動

3) 離乳26~27日後 □ 体の接触がない休息行動

していることを行動面から裏づける。

離乳子豚の臨界温度を熱産生量の測定値から推定した研究^{56,57,83)}では、離乳からの日齢に伴って臨界温度が低下することが示されている。本研究における群飼子豚の週齢別の環境温度に対する行動反応は、MACRAKEN ら⁵⁷⁾が推定した31日齢で25℃、37日齢で22℃および43日齢で19℃という28日齢離乳子豚の群飼条件で臨界温度を極めて良く説明する。

一方、体を極度に寄せあう休息行動が5週齢では5~25℃の全温度で、6週齢以降は15℃以下の温度で観察された。この休息行動は寒冷環境で見られる体温調節行動の1つで、熱放散にかかわる有効体表面積を少なくするための適応的行動とされている⁶⁶⁾。このような群飼条件での休息行動は新生豚、肥育豚および繁殖豚でも認められ、寒冷下での熱産生量を単飼条件より少なくする効果があることが報告^{68,42,29)}されている。離乳子豚において

も同様の効果が予測され、休息行動が1日の行動の70%を占める離乳子豚にとって効果的な適応的行動と考えられる。

2) 環境温度と群飼離乳子豚の成長

試験1~4の飼料摂取量、日増体量および飼料効率を表5に示す。試験1では、20℃区より5℃区の体重当たりの飼料摂取量が高い傾向にあり、日増体量と飼料効率が低下した($P < 0.01, 0.05$)。試験2では、20℃区に比べ10℃区の1日および体重当たりの飼料摂取量が増加し飼料効率が低下したが($P < 0.01 \sim 0.05$)、日増体量に差はなかった。試験3と4では、1日当たりの飼料摂取量、体重当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率に環境温度間で有意な差はなかった。しかし、試験3において離乳時体重が5 kg と小さかった1対の群は、離乳時体重が7 kg であった他の2対の群によりも体重当たりの飼料摂取量が高く、1日当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率が低い

表5 飼料摂取量, 日増体量および飼料効率 (試験1~4)

	試験 1		試験 2		試験 3		試験 4	
	5℃	20℃	10℃	20℃	15℃	20℃	20℃	25℃
飼料摂取量								
1日当たり(kg/頭)	0.63	0.65	0.73 ^b	0.67 ^a	0.61 (0.67)	0.67 (0.71)	0.69	0.63
体重当たり(g/kg/日)	59.1	54.3	59.1 ^B	53.5 ^A	53.2 (50.9)	54.3 (51.8)	54.9	51.6
日増体量(kg/頭)	0.32 ^A	0.42 ^B	0.43	0.43	0.39 (0.45)	0.44 (0.48)	0.45	0.43
飼料効率	0.51 ^a	0.64 ^b	0.59 ^a	0.65	0.62 (0.67)	0.66 (0.67)	0.64	0.68

() 内は離乳時体重が小さかった1群を除いた平均値

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

傾向を示し, その程度は15℃で大きかった。

試験1~4における各群の1日当たりの飼料摂取量, 日増体量および飼料効率を一括し, 環境温

度別に図1に示す。図1では, 試験3で離乳体重が小さかった群の15℃でのデータを棄却検定($P < 0.05$)によって除外, 23群について示している。

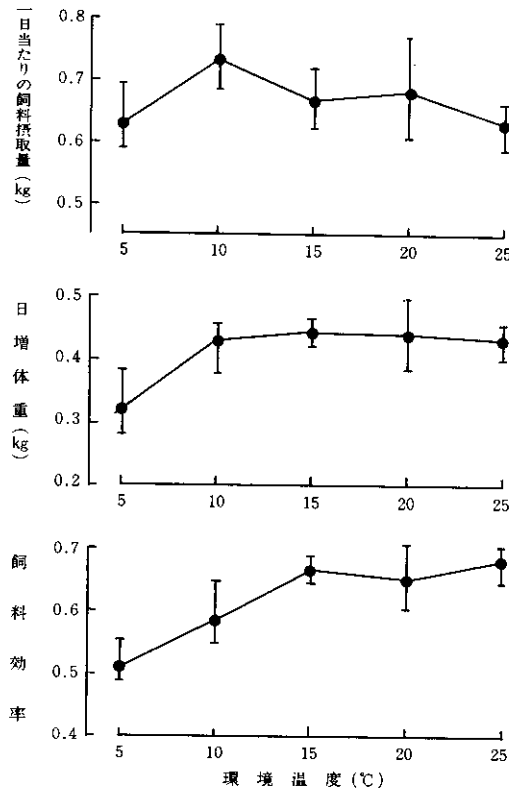


図1 環境温度別の飼料摂取量, 増体量および飼料効率 (試験1~4)

15℃以上の温域では、1日当たりの飼料摂取量、日増体量および飼料効率に差はなく、それぞれ平均0.67kg/頭、0.43kg/頭および0.66であった。10℃では、1日当たりの飼料摂取量が0.73kg/頭に増加し、飼料効率は0.59に低下したが、日増体量は0.43kg/頭と15℃以上の温域と同水準にあった。5℃では、1日当たりの飼料摂取量は0.63kg/頭で15℃以上の温域とほぼ同じであったが、日増体量は0.32kg/頭に低下し、飼料効率も0.51と大きく低下した。

離乳子豚の成長と環境温度の関係について、単飼条件の2～10週齢の子豚では20～25℃での増体が最も良好で、20℃より低い温域では飼料摂取量、増体速度および飼料効率が低下することが報告²³⁾されている。群飼条件では、3週齢離乳子豚の離乳から6週間の日増体重は週齢に伴って28℃から26℃へ下降させた群よりも、20℃から20℃へ下降させた群で高いことが認められている⁵¹⁾。しかし、20℃より低い温域での群飼離乳子豚の成長についてはほとんど検討されていない。

本研究では、15℃の環境下において群飼条件の離乳子豚は体を極度に寄せあって休息する適応的行動を示し、20℃以上の温域と同等の飼料摂取量、

日増体量および飼料効率を維持できることが確認された。群飼離乳子豚の15℃以上の温域における日増体量と飼料効率は平均0.43kg および0.66と良好であり、20～32℃の温域で3週齢離乳子豚を飼育した報告^{51,53)}での平均日増体量0.39kg (0.30～0.47)、飼料効率0.67 (0.59～0.72) とほぼ同じ水準にあった。本研究での15℃以上の温域における群飼離乳子豚の日増体量 (DG, g/日) と1日当たりの飼料摂取量 (DFI, g/日) の関係について、次のような回帰式が得られた。

$$DG = 0.50DFI + 97 \\ (n=17, r=0.83, P<0.01) \quad (1)$$

一方10℃では、飼料摂取量を増加させる適応的行動もみられ、飼料効率は低下するが日増体量は15℃以上の温域と同水準に維持された。しかし5℃では、10℃と同様に体を極度に寄せあう休息行動と体重当たりの飼料摂取量の増加が認められたにもかかわらず、日増体量が低下し飼料効率も大きく低下した。このことは不断給餌条件の群飼離乳子豚が良好な日増体量を維持できる低温の限界が10℃であることを示唆する。

第Ⅲ章 寒冷環境における群飼離乳子豚の熱産生量

前章において、群飼条件の離乳子豚は単飼条件では日増体量が低下するとされている低温域でも良好な日増体量を維持できることを明らかにし、その原因が群飼条件での適応的行動にある可能性を示した。

豚は寒冷に対して種々の適応的行動を示し、とりわけ群飼条件では互いに体を寄せあう休息行動(huddling)によって熱産生量を単飼条件より少なくでき、新生豚⁶⁸⁾、肥育豚⁴²⁾および繁殖豚²⁹⁾では6～37%の群飼による熱産生量の軽減効果が報告されている。しかし、離乳子豚におけるこの種の適応的行動についてはほとんど研究がされておらず、寒冷環境での群飼による熱産生量の軽減効果は明らかにされていない。

さらに、群飼とは一般的には2頭以上での飼育形態を意味するが、群飼による熱産生量の軽減効果は群飼頭数の違いによっても変化することが予測される。ところが、群飼頭数と熱産生量の関係については、わずかに新生豚で1頭から6頭の範囲で群飼頭数の増加に伴って熱産生量が低下することが報告⁶⁸⁾されているにすぎない。

本章では、寒冷環境における群飼離乳子豚のhuddlingと熱産生量の関係について検討した。

1. 試験方法

試験5では離乳子豚のhuddlingにおける群の集密度を検討するため、床温度を変える処理を設け

て休息時の群の床占有面積を調査した。試験6・7では離乳子豚のhuddlingによる熱産生量の軽減効果を、群飼頭数との関係も含めて検討した。さらに、試験8ではhuddlingによる外周空気および床への熱放散の抑制が子豚の顕熱放散の軽減に及ぼす効果を推定するため、放射・対流および伝導による熱放散を抑制する処理を設けて子豚の熱的モデルからの放熱量の軽減効果を検討した。

【試験5】

群飼離乳子豚の休息時における群床占有面積を、床暖房時と非床暖房時に分けて調査した。試験は冬季の4日間に床暖房を設備している離乳子豚舎の16豚房(各7.3m²)で実施し、前半の2日間は床暖房を用いて、後半の2日間は床暖房を止めて休息時の群床占有面積を測定した。期間中の各豚房における収容頭数は7～12頭、平均体重は10～26kgであった。

各豚房の縦面・横面それぞれ20cm毎に標識をつけ、休息中の群の豚房に対する縦方向の長さや横方向の長さを測定し、その積を群床占有面積とした。群床占有面積の測定は7頭以上が休息している豚房を対象とし、11時から17時の間に1時間間隔で実施した。舎内温度は1時間毎に豚舎中央部で、床温度は1日1回4つの豚房で測定した。

【試験6・7】

表6に示す温度条件の異なる二つの試験を設定し、群飼頭数1～8の範囲で離乳子豚の熱産生量を調査した。

表6 試験設計および熱産生量測定時の環境温度と供試豚の体重(試験6・7)

	試 験 6			試 験 7			
	予備期	A 期	B 期	予備期	C 期	予備期	D 期
離乳後日数*	4～9	10～21	22～27	7～12	13～26	27～29	30～37
平均体重(kg)	—	6.3～9.2	9.9～12.5	—	7.1～10.6	—	13.7～17.3
飼育温度(℃)	25～20	20	20	20	20	14	14
チャンバー内温度(℃)	—	20	28	—	14	—	14

* 供試豚の離乳日齢は、試験6で25～28日齢、試験7で27日齢であった。

試験 6 では、大ヨークシャー種 2 腹から得た 25～28 日齢離乳子豚 8 頭を供試した。供試豚は 20℃ の環境調節室内の豚房で飼育し、熱産生量の測定時のみチャンパーへ収容した。チャンパー内の温度を前半の A 期は 20℃、後半の B 期は 28℃ に設定し、熱産生量の測定を実施した。

試験 7 では、27 日齢で離乳した雑種子豚 (LW・D) 8 頭を供試した。前半は 20℃ の環境調節室内の豚房で飼育し、C 期に 14℃ に設定したチャンパー内で熱産生量を測定した。後半は 14℃ の環境調節室内の豚房で飼育し、D 期に同じく 14℃ に設定したチャンパー内で熱産生量を測定した。

試験 6・7 とも、給餌は 1 日 1 頭当たり 110g/kg^{0.75} の子豚用人工乳飼料を半量ずつ 9:30 と 16:30 に給与した。熱産生量の測定は 13:00 から 16:30 の間に実施した。各期とも群飼頭数を原則として 1 日毎に 8, 6, 4, 3, 2, 1 と減じて熱産生量の測定を行なったが、A 期では群飼頭数を 8 頭から 1 頭まで減じた後、再び 8 頭まで増加させた。

チャンパーは気容積 2.187m³ (1.80m×1.35m×0.90m) のものを用い、全頭休息時に所定の温度になるようにチャンパー内の温度を調節した。チャンパー内の風速は平均毎秒 0.6m であった。酸素濃度をパラマグネット式酸素分析器 (Morgan, M500 D) で測定し、McLEAN & WATTS の急速応答法⁵⁹⁾を簡易化した方法¹⁰⁵⁾により熱産生量を 1 分毎に算出した。なお、熱産生量測定システムの校正は窒素ガス注入法によって行なった¹⁰⁴⁾。

熱産生量測定時の子豚の行動は 1 分毎に記録し、全頭が 10 分以上連続して休息している時の測定値を休息時の熱産生量とした。

【試験 8】

放射・対流および伝導による熱放散を抑制する処理として上部暖房、床暖房および床断熱を選び、子豚の熱的模型からの放熱量の軽減効果を検討した。上部暖房に赤外線ランプ、床暖房に電熱マット、床断熱にポリスチレン床を用い、環境調節室内を 5, 10, 15 および 20℃ に制御し、表 7 に示す 6 つの処理を設定した。

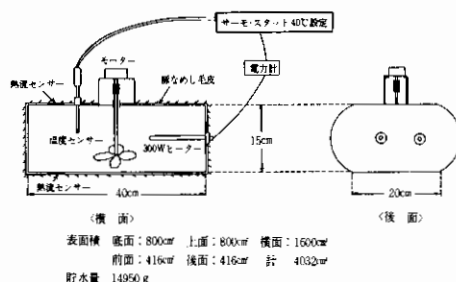
表 7 上部暖房、床断面および床暖房の処理 (試験 8)

	床の種類	上部暖房	環境温度
C	コンクリート	なし	5℃
P	ポリスチレン	なし	
M	電熱マット	なし	
CL	コンクリート	赤外線ランプ	10℃
PL	ポリスチレン	赤外線ランプ	15℃
ML	電熱マット	赤外線ランプ	20℃

処理 C はコンクリート床、処理 P はポリスチレン床、処理 M は電熱マット床で、いずれも上部暖房がない処理である。また、処理 CL はコンクリート床、処理 PL はポリスチレン床、処理 ML は電熱マット床で、いずれも上部暖房を用いた処理である。

上部暖房の赤外線ランプは 200W を使い、床上 70 cm に懸架した。床暖房の電熱マットは 130W (ナショナル子豚マット) を、床断熱のポリスチレン床は 20mm 厚のフォームポリスチレン板を使用した。

子豚熱的模型の概要は図 2 のとおりである。模型はステンレス製であるが、輻射熱の吸収を考慮して表面を豚のなめし毛皮で被覆した。各処理において、模型内の水温をヒーター (300W) とサーモスタット (OMRON サーモ 5) で 40±0.5℃ に保ち、ヒーターの電気消費量を 2 時間間隔で 12 時間連続して測定し、模型全体からの放熱量を算出した。さらに、模型の上面および底面における放熱量も併せて測定した。



また、模型の設置前に、各処理における床温度ならびに床上 15cm (模型の高さ) と 1 m の気温と

黒球温度を3時間連続して測定した。

各温度は銅・コンスタンタン熱電対で、模型の上面および底面での放熱量は熱流センサー（昭和電工 HFM-ES）で測定し、データ・ロガ（エーアンドデイ5312）により30分間隔で記録した。

2. 結果と考察

1) 休息時の群の集密度

試験5における温度環境と休息時床占有面積を表8に示す。舍内温は床暖房時、非床暖房時とも平均15℃であったが、床温度は床暖房時の平均28.5℃、非床暖房時14.6℃と非床暖房時で低かった。

表8 温度環境と群飼離乳子豚の休息時の床占有面積（試験5）

温度環境 (℃)	床 暖 房 あ り			床 暖 房 な し		
	測 定 数	範 囲	平 均	測 定 数	範 囲	平 均
舍 内 温 度	18	13.8-17.3	15.8	18	12.0-16.9	15.3
床 温 度	8	25.0-30.0	28.5	8	12.5-16.0	14.6
床 占 有 面 積 (cm ² /頭)*						
体 重 10-14kg	48	1,100-2,833	1,983 ^b	33	800-1,341	1,341 ^a
体 重 15-19kg	24	1,600-3,589	2,189 ^b	15	935-1,800	1,458 ^a
体 重 20-25kg	6	3,429-4,286	3,875 ^b	10	1,667-3,642	2,549 ^a

* 7頭以上で休息している際の床占有面積

a, b 異なる文字間に5%水準で有意差あり

1頭当りに換算した休息時床占有面積は、平均体重10~14kg, 15~19kg および20~26kgの群について、床暖房時それぞれ1,983, 2,189および3,875cm²、非床暖房時それぞれ1,341, 1,458および2,549cm²であり、いずれも非床暖房時に有意(P<0.05)に減少した。

群飼豚は臨界温度より下の温域では互いに体を寄せあう休息行動をすなわち huddling をするが、huddling における群の集密度は臨界温度との差が大きくなるほど高まるのが休息時の群床占有面積を指標とした Boon⁸⁾の研究で示されている。これは群飼条件の肥育豚について、臨界温度より5℃高い環境下に比べ、臨界温度より3℃低い環境下では休息時の床占有面積が体重30~35kgの群で24%、体重60~65kgの群で22%減少したことを報じている。

本研究で、離乳子豚は舍内温度15℃の非床暖房時に huddling を示し、休息時の床占有面積を床暖房時に比べ32~34%減少させた。温度条件が必ずしも同じではないので単純な比較は難しいが、少

なくとも離乳子豚の huddling における群の密度は肥育豚でのそれに相当するものと考えられる。

また、床暖房時には離乳子豚の huddling は観察されなかった。このことは、舍内温度が非暖房時とほぼ同じであるにもかかわらず、床暖房時の熱的環境は臨界温度以上の環境に相当していたことを意味し、豚体と床面での熱移動が休息時の豚体からの熱放散に大きな位置を占めていることを示唆する。

2) 群飼頭数と熱産生量

試験6・7における休息時の行動を表9および写真4~7に示す。子豚の huddling はチャンバー内温度28℃(B期)では認められなかったが、20℃(A期)と14℃(C, D期)で観察された。

離乳子豚の huddling は、これまでの試験1~5では離乳直後を除いて15℃以下の温域でみられたのに対し、試験6では20℃でも観察された。これは試験6・7のチャンバー内では空気を攪拌しているために風速の影響があり、チャンバー内の環境が無風状態に比べ寒冷であったためと理解され



四肢を体の下に折り曲げ、体を丸める。

写真4 寒冷下における単飼時の休息行動（A期）



四肢を伸ばし、弛緩した姿勢をとる。

写真5 温暖下における単飼時の休息行動（B期）



極度に体を寄せあがり、重なりあがりする
(huddling)。

写真6 寒冷下における群飼時の休息行動
(A期：6頭)



四肢を伸ばし、重なりあいはみられない。

写真7 温暖下における群飼時の休息行動
(B期：6頭)

表9 群飼離乳子豚の休息時の姿勢と行動(試験6・7)

		試験6		試験7	
		A期	B期	C期	D期
姿勢	四肢を伸ばす	—	+	—	—
	体を丸める	+	—	+	+
	huddling	+	—	+	+

る。チャンバー内の風速が0.6m/秒であったことを考慮すると、20℃以下のチャンバー内は離乳子豚にとって寒冷な環境と判断できる。

試験6における群飼頭数別の休息時の熱産生量を図3に示す。20℃（A期）での熱産生量は、1頭から4頭まで群飼頭数の増加に伴い最大17%の低下を見たが、4頭以上での差はなく、体重当たりの熱産生量は1, 2, 3, 4, 6および8頭でそれぞれ19.0, 18.2, 17.2, 15.7, 15.5および15.2 kJ/kg/時であった。また、28℃（B期）での熱産生量には群飼頭数による違いは認められず、1頭から8頭までの平均は14.6±0.8kJ/kg/時であった。

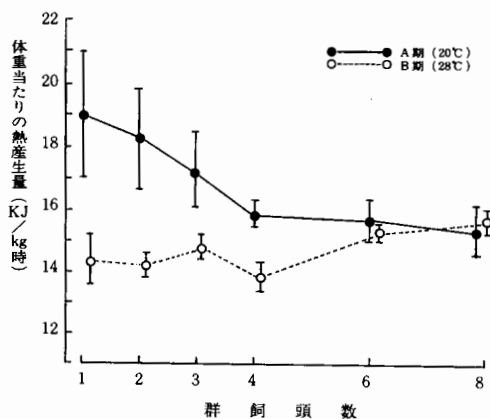


図3 群飼頭数と休息時の熱産生量の関係(試験6)

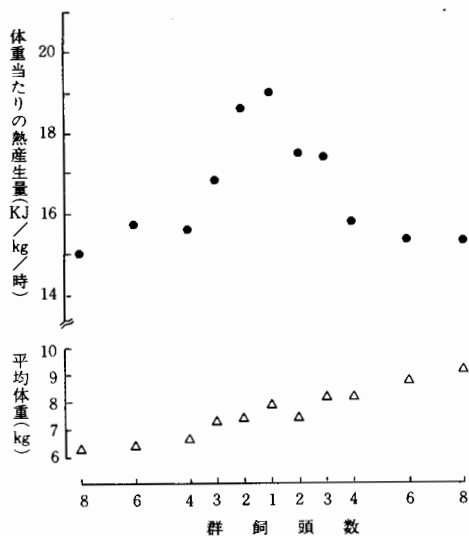


図4 試験の進行順に示した熱産生量の推移(試験6; A期)

さらにA期の熱産生量を測定順に、測定時の体重も加えて図4に示す。供試豚の平均体重は試験の進行に伴って6.3kgから9.2kgまで直線的に増加した。しかし、熱産生量は群飼数8頭から4頭でほぼ一定であり、3, 2, 1頭と急激に増加した後、1頭から4頭まで急激に低下し、再び4頭以上ではほぼ一定となるパターンを示した。このことは、A期における熱産生量の変化が子豚の増体に伴うものではないことを意味する。

14℃で測定した試験7の休息時の熱産生量を図

5に示す。C期の熱産生量は、試験6の20℃(A期)と同様に、1頭から4頭まで最大15%の低下を認めたが4頭以上では差がなく、1, 2, 3, 4, 6および8頭でそれぞれ17.3, 16.0, 15.2, 14.7, 14.3および14.9kJ/kg/時であった。一方D期では、子豚がhuddlingをしていたにもかかわらず休息時の熱産生量に違いはなく、1頭から8頭までの平均は14.7±0.4kJ/kg/時であった。

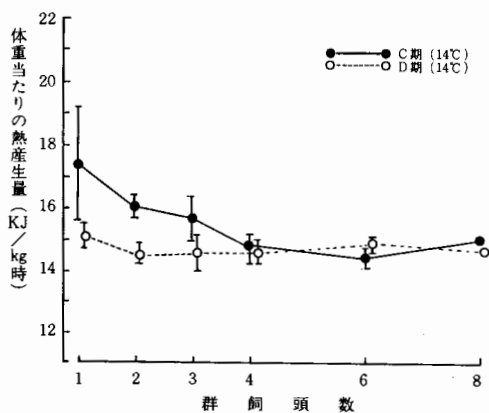


図5 群飼頭数と休息時の熱産生量の関係(試験7)

群飼豚は寒冷下でhuddlingをすることにより熱産生量を単飼豚よりも少なくできることが新生豚⁶⁸⁾、肥育豚⁴²⁾および繁殖豚²⁹⁾で報告され、それぞれ28~37%, 6~23%および18~21%の群飼による熱産生量の軽減効果が推定されている。

本研究で、離乳子豚における群飼による熱産生量の軽減効果は4頭以上の群で15~17%と推定された。その効果は新生豚で報告されているものよりは小さいが、少なくとも肥育豚および繁殖豚での効果に匹敵するものと考えられる。

また、28℃と14℃(D期)では、休息時の熱産生量に群飼による変化は認められなかった。そのうち28℃では、チャンパー内の環境が温暖でありhuddlingをしなかったために熱産生量の変化がなかったであろう。一方14℃(D期)において、子豚がhuddlingしていたにもかかわらず熱産生量に群飼の効果がみられなかったことの原因について十分な考察は難しい。しかし、D期ではA, C

期より供試豚の日齢が進み、体重も大きくなっていったこと、また14℃の環境に馴致されていたことから、離乳子豚の増体および寒冷馴化に伴って臨界温度が変化している可能性が考えられる。

一方、群飼頭数と熱産生量の関係について、MOUNT⁶⁸⁾は新生豚で1頭から6頭まで群飼頭数の増加に伴って熱産生量が低下したことを報告している。しかし本研究では、離乳子豚の熱産生量は1頭から4頭まで群飼数の増加に伴って低下するが、4頭以上ではほとんど変わらないことが確認された。

寒冷下での群飼による熱産生量の軽減は、豚が huddling をすることで放熱にかかわる有効体表面積を減少させ、その結果として熱放散量が少なくなること起因する現象と理解される。すなわち、huddling の際に生じる豚体と豚体の接触面では温度差がほとんどないことから断熱と同様の効果もたらされ、接触面での熱放散が抑制されるためである。従って、群飼による熱産生量の軽減効果は、群全体の体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率によって変化すると考えられる。

群飼豚の huddling において、豚体同士の接触面は群飼頭数が増加するほど多くなり、群全体の体表面積に占める豚体同士の接触面積の比率は高まる。その関係は、他の豚の上に重なる個体がない休息形態で個体間の接触面積が同じであると仮定すると、次のようにモデル化できる。すなわち、個体の体表面積 A 、個体間の接触面積 a 、群飼頭数 N 、個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比 r とすると、群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率 A_R (%) は以下のように表される。

$$A_R = 2 \cdot (a/A) \cdot (1 - 1/N) \cdot 100 \\ = 200 \cdot r \cdot (1 - 1/N) \quad (2)$$

(2)式を用いて、群飼頭数 (N) による群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率 (A_R) の変化を図6に示す。群飼頭数の増加に伴い A_R は増加するが、 A_R の増加量は頭数が多くなるにしたがって小さくなる。さらに、 A_R の増加量が頭打ちとなる頭数は r が小さいほど低いことがわか

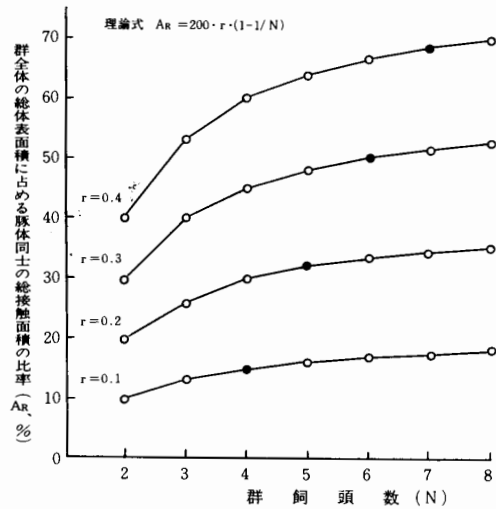


図6 群飼頭数と群全体の総体表面積に占める豚体同士の総接触面積の比率の関係

る。群飼頭数が1頭増えることによる A_R の増加量 (ΔA_R) は(2)式の微分式から次のように求められ、 ΔA_R が2%以下となる頭数は r が0.4, 0.3, 0.2および0.1の場合にそれぞれ7頭、6頭、5頭および4頭と計算される。

$$\Delta A_R = 200 \cdot r \cdot (1/N^2) \quad (2')$$

これらのことは、群飼頭数の増加に伴い熱産生量が1頭から6頭まで低下したとする新生豚での報告⁶⁸⁾と4頭以上では熱産生量に変化がなかった離乳子豚での本研究との相違について、離乳子豚と新生豚における個体の体表面積に対する個体間の接触面積の比率の違いが関与していることを示唆する。

さらに、群飼による熱産生量の軽減効果が離乳子豚では新生豚より小さかったことについて、離乳子豚の huddling における群の集密度は新生豚より低く、とくに多頭数群飼時に他の豚の上で休息する個体数が少ないことも関係している可能性が考えられる。

3) 群飼時の熱放散

群飼豚の huddling では図7に示すように重なりあいのない休息形態と互いに重なりあう休息形態の2つが観察され、他の豚の上に重なって休息する個体が多いほど床占有面積で表される群の集密

度は高まる。

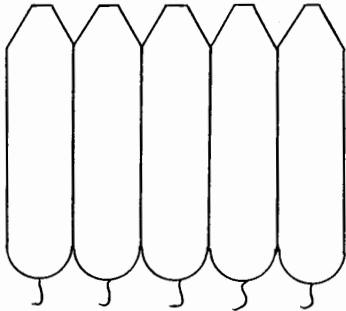


図7a. 重なりあいのない休息形態

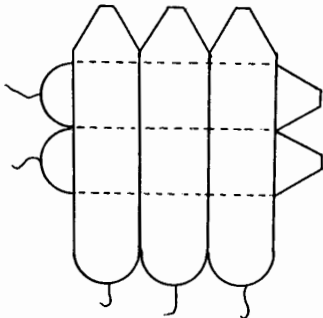


図7b. 互いに重なりあう休息形態

図7 群飼豚のhuddlingにおける休息形態

一方、休息時の豚体の顕熱放散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に大別でき、群飼時の熱産生量の軽減効果は huddling における豚体同士の接触面で外周空気あるいは床面への熱放散が抑制される結果としてもたらされる。

並んで体を寄せあう休息形態(図7 a)での豚体同士の接触面においては、各個体の外周空気への熱放散が抑制される。それに対し、互いに重なりあう休息形態(図7 b)での豚体同士の接触面においては、下になる個体では外周空気への熱放散が抑制されるが、上になる個体では床面への熱放散も抑制されることになる。従って、huddling にお

ける群の集密度の違いは熱放散が抑制される面積だけでなく、軽減される熱放散の内容にも影響を与える。

群飼豚の huddling による外周空気および床面への熱放散の抑制が子豚の顕熱放散の軽減にどのような意味を持つのか推定するため、試験8では子豚の熱的模型を用いて検討した。

表10 各処理における温度条件¹⁾(試験8)

処理	気 温 (℃)		床上15cmの 放射温度 ³⁾ (℃)	床温度 (℃)
	室温 ²⁾	床上15cm		
環境温度 5℃	C	4.4	4.7	4.5
	P	4.4	5.1	5.1
	M	4.4	7.5	7.5
	CL	4.5	7.7	9.2
	PL	4.4	8.0	10.2
環境温度 10℃	ML	4.5	11.5	13.4
	C	9.6	9.6	9.6
	P	9.7	9.7	9.8
	M	9.7	11.2	11.8
	CL	9.7	12.0	13.6
環境温度 15℃	PL	9.8	11.7	13.4
	ML	9.9	13.6	16.1
	C	14.6	14.4	14.5
	P	14.6	14.7	14.9
	M	14.6	17.4	18.5
環境温度 20℃	CL	14.8	17.5	19.0
	PL	14.7	17.1	19.1
	ML	14.8	20.2	21.3
	C	20.0	19.8	19.9
	P	19.3	19.6	19.6
環境温度 25℃	M	19.4	23.6	25.7
	CL	19.4	21.1	23.3
	PL	19.6	22.0	24.0
	ML	19.6	24.5	29.4
	C	24.5	24.5	24.5

- 1) 模型設置前3時間の中央値
- 2) 環境調節室中央床上1mの気温
- 3) 床上15cmの気温と黒球温度から算出

試験8の各処理における温度環境を表10に示す。環境調節室中央床上1 mで測定した環境温度は、それぞれの設定温度に対し±0.5℃の範囲内にあっ

た。床上15cmの気温は、処理CとPでは環境温度とほぼ同じであったが、処理Mで1～4℃、処理CLとPLで2～3℃、処理MLで4～9℃環境温度より高かった。床上15cmの放射温度についても、処理CとPでは環境温度と同じであったが、処理Mで2～6℃、処理CLとPLで4～5℃、処理MLで6～9℃環境温度より高かった。床温度は、処理CとPでは環境温度と変わりがなかったが、処理CLとPLで4～7℃、処理Mで19～30℃、処理MLで28～32℃環境温度より高かった。

各処理における模型上面での放熱量を図8に示す。模型上面での放熱量は、赤外線ランプを用いなかった処理C、PおよびMに比べ、赤外線ランプを用いた処理CL、PLおよびMLで155～284 kJ/m²/時(38～57%)減少した。

同様に、模型底面での放熱量を図9に示す。模型底面での放熱量はコンクリート床の処理CとCLに比べ、ポリスチレン床の処理PとPLで477～674 kJ/m²/時(87～92%)減少した。また、電熱マット床の処理MとMLでは模型底面で578～877 kJ/m²/時の受熱があった。

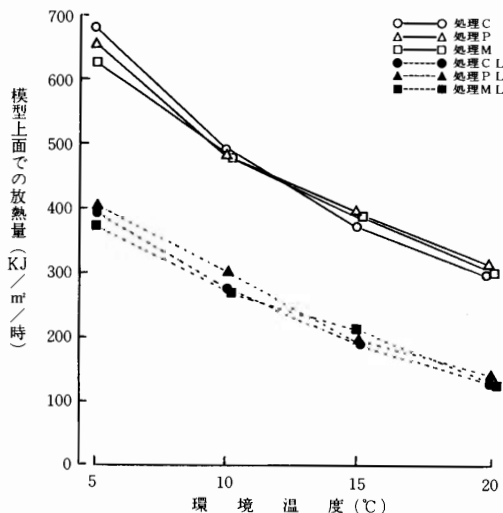


図8 模型上面での放熱量(試験8)

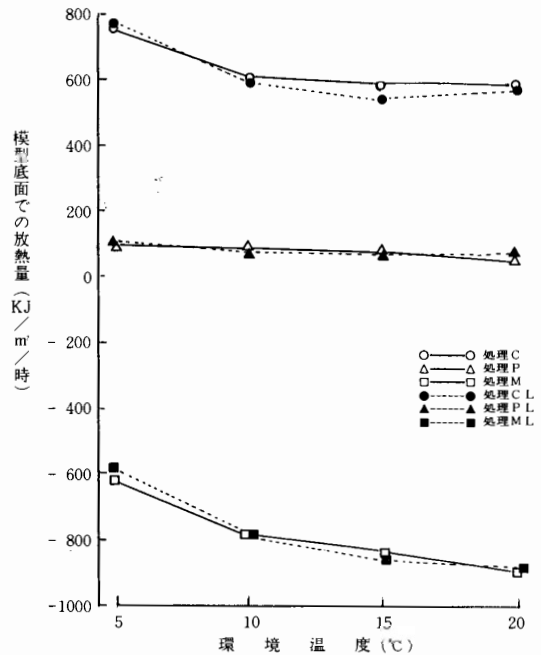


図9 模型底面での放熱量(試験8)

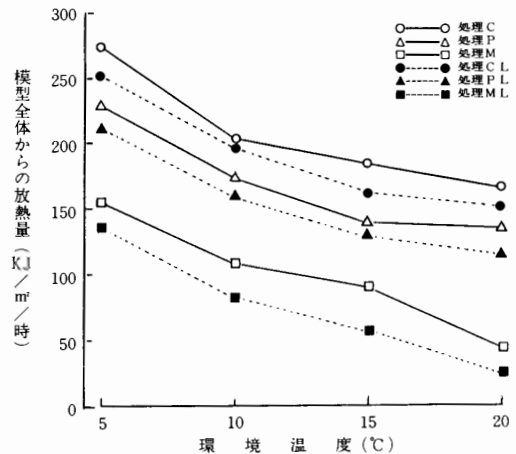


図10 模型全体からの放熱量(試験8)

さらに、模型全体からの放熱量を図10に示す。模型全体からの放熱量は処理Cで最も大きく、次いで処理CL、P、PL、Mの順であり、処理MLで最も小さかった。図10の関係を用いて、上部暖房、床断熱および床暖房による模型全体からの放熱量の軽減効果について表11で検討した。赤外線ランプによる上部暖房は、コンクリート床にお

表11 模型全体からの放熱量に及ぼす床断熱、床暖房および上部暖房の効果 (試験8)

各 効 果 の 算 定 式		環 境 温 度			
		5℃	10℃	15℃	20℃
〈床の効果〉					
Cに対するPの効果	$(1 - P/C) \times 100$	17	14	23	19
Cに対するMの効果	$(1 - M/C) \times 100$	44	46	49	73
〈上部暖房の効果〉					
Cにおける効果	$(1 - P/C) \times 100$	8	4	12	10
Pにおける効果	$(1 - M/C) \times 100$	8	8	8	13
Mにおける効果	$(1 - M/C) \times 100$	11	25	39	44
〈上部暖房と床の効果〉					
Cに対するPLの効果	$(1 - P/C) \times 100$	23	21	29	30
Cに対するMLの効果	$(1 - M/C) \times 100$	50	60	69	85

いて平均9%(4~12%),ポリスチレン床においても平均9%(8~13%),電熱マット床において平均30%(11~44%)の軽減効果があった。床断熱の効果について、ポリスチレン床はコンクリート床よりも平均18%(14~23%)の放熱量を減少させた。また、床暖房の効果では、電熱マット床はコンクリート床よりも平均53%(44~73%)の放熱量を減少させた。さらに、床断熱と上部暖房の併用により平均26%(21~30%),床暖房と上部暖房の併用により平均66%(50~85%)の軽減効果があった。

放射・対流による熱放散を抑制する上部暖房の効果について、ADAMSら¹⁾は赤外線ランプを用いることによって新生豚の育成率と増体量が高まることを報じている。本研究においても、赤外線ランプを用いることにより模型上面での放熱量が38~57%減少し、模型全体からの放熱量を4~13%軽減させる効果があった。

伝導による熱放散を抑制する床断熱の効果について、MOUNT⁷⁾は新生豚の豚体から床面への熱流量を測定し、ポリスチレン床では床への熱放散量がコンクリート床に比べ80~85%減少することを報告している。STEPHENS⁹⁾、VERSTEGEN & VAN DER HEL¹⁰⁾は、床断熱により豚の熱産生量が減少し増体量が高まったとしている。本研究においても、ポリスチレンによる床断熱は模型底面での放熱量をコンクリート床に比べて87~92%減少させ、

模型全体からの放熱量を14~23%軽減させることが認められた。

伝導により給熱する床暖房の効果について、萩原ら³⁾、糟谷ら⁴⁾、MCGINNISら⁵⁾は子豚の損耗率や増体量に明らかな影響が認められなかったとしている。しかし本研究では、電熱マットによる床暖房は模型底面において578~877kJ/m²/時の熱を流入させ、模型全体からの放熱量を44~73%減少させる大きな効果があった。前述のように、床断熱だけでも子豚の熱産生量および増体量に効果が認められていることから、さらに給熱がある床暖房の効果がないとは考え難く、子豚に対する床暖房の効果についてより慎重な検討が必要であろう。

このように上部暖房、床断熱および床暖房はいずれも豚体から熱放散量を軽減する効果を有すると考えられるが、模型全体からの放熱量の軽減効果を比較すると、床面からの給熱がある床暖房での軽減効果が最も大きく、床面への熱放散を抑制する床断熱の効果は外周空気への熱放散を抑制する上部暖房よりも大きいものと推察される。また、試験6・7で離乳子豚のhuddlingは休息時の熱産生量を15~17%減少させることを明らかにしたが、その効果は試験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ものと考えられる。

さらに、各処理における模型全体からの放熱量(Y, kJ/時)と模型上面および底面での放熱量(X₁ および X₂, kJ/m²/時)の間に以下の重回帰式が得

られ、模型全体からの放熱量の92%までが上面と底面での放熱量によって説明された。

$$Y = 0.20X_1 + 0.08X_2 + 80.91$$

(n=24, $R^2=0.92$, $P<0.01$) (3)

X_1 と X_2 の標準偏回帰係数は0.505および0.768, 相対重要度は30.2%および69.8%であり、模型の底面積が全表面積の20%でしかないにもかかわらず模型底面での放熱量が模型全体の放熱量に大き

く影響し、模型底面での放熱量の抑制は模型上面での放熱量の抑制よりも模型全体からの放熱量を軽減する効果が高いことを意味する。

このことから、床面への伝導による熱放散の抑制は、外周空気への放射・対流による熱放散の抑制よりも休息時の豚の顕熱放散を軽減する効果が高いことが推察され、群飼豚の 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熱産生量の軽減効果は高まるものと考えられる。