

畜舎換気設計の前提、低温環境と乳牛・豚の反応

朝 日 田 康 司

(北 大 農 学 部)

家畜生産における最も経済的な畜舎構造あるいは環境制御システムの確立がひろく叫ばれているが、冬季舎飼管理上早急に解決がせまられている課題の一つに畜舎換気がある。もとより家畜管理技術は、生物学的観点のみでなく工学的観点からも検討しなければならないことは云うまでもないが、しかし、家畜と環境との相互関係の理解が基礎になるであろう。換気対策とでもこの例外ではない。そこでこのような観点における低温環境と家畜生産について考えてみようと思う。

飼育適温範囲と低温環境下における家畜の反応

家畜は恒温動物であるから、体温をほぼ一定に維持し続け得てはじめて、正常な生活あるいは生産活動を営むことができる。体温調節機構は、形式的には次式のような方式で、家畜体と外囲との熱交換がなされるように働く。

$$H_P - H_L = \pm H_S, H_S \rightarrow 0$$

H_P : 熱発生量

H_L : 熱放散量

H_S : 体への熱蓄積量

すなわち、熱発生量と熱放散量が等しい場合、体温は一定に維持されるのである。熱発生量および放散量の大きさは、動物体および環境条件(とりわけ気象要素)によって影響され、一般に環境温度が低くなるにつれて熱放散量が増大し、皮膚血管収縮のみではとうてい放散量を防ぎ得ないので、化学的体温調節機構が働いて熱発生量を増やすことになる。この化学的体温調節がなされる温域より環境温度が高くなると、熱発生量が最低で、体温調節の反射がなく、皮膚血管の伸縮のみで体温を一定に調節できるような環境温度の範囲がある。これは熱的中性温域と呼ばれる。暑さ、寒さに対して中性であるという意味である。体温調節機転と代謝とが全く関係のない温域なので代謝不関域ともいわれる。熱的中性温域よりもさらに高温の範囲では、皮膚血管の開張と相俟って体からの蒸泄量が増えて、専ら物理的体温調節がなされる。この物理的調節が限界に達すると体温は上昇を始め、熱発生量も増えて来る。化学的調節温域、熱的中性温域、物理的調節温域では体温を正常に維持し得るので恒温適応域と呼ばれ家畜の生活、生産活動は可能であるが、家畜飼育の適温範囲とは、実は熱的中性温域と物理的調節温域に相当する環境温度範囲を云うのであり、熱発生量が最も少ないのであるから、家畜の生活、生産のエネルギーコストが最も少ない環境温度範囲なのである。

Sainsbury (1967, P28)は各種の試験成績を参考にして、第1表のような家畜ごとの適温範囲を示している。

一般的には、熱発生量のみでなく生体反応および生産反応を参考にして適温範囲を定める。

このような適温範囲で家畜を飼育するのが理想的ではあるが、われわれが環境条件に応じた家畜管理を行なう上で重要なのは、家畜の生産環境限界すなわち環境要因について生産の経済的限界を超えない範囲を知ることであろう。家畜生産においてきびしい環境は暑熱および寒冷環境である。いうまでもなく生産環境限界は環境要因の総合的効果であるから、これを固定的な数字とするのは正しくないが、一般に気温以外の環境要因の効果は比較的明らかにされていないのである。以下寒冷環境における家畜の反応を見ることにする。

牛：一般にヨーロッパ牛は耐寒性にすぐれ、耐暑性に劣ることが知られており、これは低温において呼吸数の減少、寒冷期に被毛が密に伸びること、立毛による被毛の断熱効果の増大、動静脈瘤の機構の発達、代謝率の亢進などによるとされている (Goodall & Yang, 1944)。

Yeck & Stewart (1959)は、ミズーリー大学での10年間の試験成績をとりまとめ、ホルスタイン種・ジャージー種・ブラウンスイス種ともに、適温範囲は $-1^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ で、ジャージー種は -1°C 、ホルスタイン種・ブラウンスイス種は -12°C で乳量の低下がみられるという。

一般に、冬季間の1日の最低気温と乳量の間には負の相関があり、乳脂率との間に正の相関がある (Stall & Rasch, 1961)が、開放式牛舎で -10°C 程度の低温下でも飼料給与量を増すとか風雨(雪)に対する遮蔽をすれば、乳量は 10°C におけると全く同じであったという報告もある (Dice, 1935; 1940)。Witzel (1952)も、開放式牛舎で -7°C までの温度低下は乳量に影響はなかったとしている。

一方、McDonald & Bell (1958, b)は、ホルスタイン種の乳量が、 $-5^{\circ}\text{F} (-21^{\circ}\text{C}) \sim 38^{\circ}\text{F} (3^{\circ}\text{C})$ の温度範囲において、平均温度 $25^{\circ}\text{F} (-4^{\circ}\text{C})$ 以下で有意に減少するが、決定的な影響を与えるのは1日の最低気温 (DMAAT)で、これが $10^{\circ}\text{F} (-12^{\circ}\text{C})$ 以下になると乳量の激減がみられることを示している (第1図)。しかもDMAATが $40^{\circ}\text{F} (4^{\circ}\text{C})$ から $0^{\circ}\text{F} (-18^{\circ}\text{C})$ に低下すると、乾物および可消化エネルギー摂取量が増え、乳生産の粗効率および正味効率がそれぞれ約10%、8.5%減少したという (McDonald & Bell, 1958, a)。

子牛の適温は第1表のように 10°C で、 4°C 以下では悪影響が出るとされているが、開放式牛舎で、 -18°C の低温でもとりわけ障害はなかったとする報告もあり (Witzel, 1952)、風を防ぎ且つ乾燥状態を保てるならば開放式牛舎での育成も可能とする (Sainsbury, 1967, P29)者もいる。

豚：Mount (1968)は既往の報告をもとに、 $12 - 23^{\circ}\text{C}$ で肉豚の発育がほとんど等しく最高であることから、体重 20Kg 以上の肉豚では維持エネルギーを最小におさえるには $15 - 20^{\circ}\text{C}$ が限度であるとしている。Sørensen (1962)は低温(約 3°C)での肥育は枝肉中脂肪が増すとし、Seymourら (1964)は屠体の品質に環境温はあまり関与しないが、環境温と給与蛋白レベルの交互作用を認めている。

しかし、これらの数字は気温のみに関することであって、物理的環境の他の要素との関連について触れてはいないのである。すなわち肉豚の場合には、床のタイプが重要で、例えばMcLagan & Thomson (1950)は、乾燥した敷料を用いるならば、簡単な仮小屋でも7℃(範囲1~13℃)で、整備された豚舎では3℃(範囲-3~11℃)で充分飼育可能であると称している。すなわち床が充分断熱され、乾燥敷料が使用されるならば、第1表あるいは上述の温度範囲以下でも効率的飼育が可能であることが示唆されるのである。Sørensen (1962)も第2表のような成績を得ており、敷料のほかに低温期における群飼の意義も認められる。

また、冬季間敷料を用いるならば、床の加温がもたらす効果はないようである(Lucas & Thomson, 1953; Barberら, 1955; Kazarian & Hoeffler, 1960)。

初生子豚は一般に体温調節機能が充分に発達していないが、その発達は早い(Newlandら1952)。しかも体重の大きい子豚ほど低温に耐えうる(Taylor, 1958)。出生時の気温-7~1.6℃で、体重の小さいものは4℃で死に至ったが、大きいものは0.6℃の温度でも生后3日間耐えたという。また、離乳期まで平均6.7℃で飼育可能であるが、飼料消費量は加温群よりはるかに多くなる(Gill & Thomson, 1956)ので、飼料経済からも冬季間は生后3週間の保温は必要であろう。離乳時体重、離乳までの育成率におよぼす加温の意義はCampbell & Paterson (1958)が示している。

豚の快・不快を決定するものは、前述のMcLagan & Thomson (1950)の報告を詳細に検討するまでもなく、温度のほかに風と温度であることはほとんど間違いないものようである。Irving (1964)は“豚の快・不快は観察で識別できる”と述べており、Sainsbury (1954)も同様な考えから、約200回の観察を行ない、豚の快適温度と風との関係を第3表のようにまとめている。發育につれて快適温域は広くなり20週齢以上では風さえ少なければ4℃でも不快とならない。また比較的温暖な気温でも風速が大であれば不快を与え、逆に低温でも風速が小ならば快適温度たりうることが読みとれる。

Smith (1964)によれば、第3表で不快を示すときの豚の熱放熱量は、快適時の熱放散量の125%であるという。

以上低温と牛・豚の反応についてみたが、湿度との関係はどうか。湿度は、単独では家畜の生産その他への影響は比較的小さいとされているが、高温環境ではその影響はきわめて大きい。人間における不快指数の乳牛への応用(Cargill & Stewart, 1966; Hahn & McQuigg, 1967)、適温~高温環境における気象環境の一元的表示法の研究(Bianca, 1962; Ingram, 1965; 三村ら, 1968)などは温湿度が家畜におよぼす影響を総合的に把握しようとする試みである。

冬季の代表的な不良環境である低温・高湿すなわち冷湿環境における牛・豚の反応をみた成績はほとんどないが、輻射、対流による熱放散量がいちぢるしく多くなるため、余分の熱発生を必要とし、ついには体温維持も困難になる(三村, 1965)。一般に畜舎内相対湿度は60~70%が適当とされている。

畜舎における熱と水分の発生量

換気設計に際し熱平衡の観点あるいは水分平衡の観点何れに立つにせよ、畜舎内の家畜の熱および水分発生量を把握しておく必要がある。

牛：前出 Yeck & Stewart (1959) は、スタンション牛舎における乳牛の全熱発生量と水分発生量を第2図のように示している。舎内温 18℃ を超えると水分量が急激に増えることに注意したい。

牛舎の温度は常に一定ではなく、一般には日内変動がみられる。Yeck (1955) は、舎内温度が一定の場合と日内変動をする場合の熱および水分発生量をみている。大要を第3～5図に掲げておく。第3, 4図にみる如く、舎内温が1日内で変動しても、その平均温度が、一定温に維持した場合の温度と同じであれば、体重 100 lb 当りの熱および水分発生量はほとんど同じレベルである。また第5図は舎内温の日内変動に対する熱および水分発生量の日内の変動をみたものであるが、時刻ごとにとみると、熱および水分の発生量の最高最低が、舎内の最高・最低温度を記録した時刻と同時に対応しないで2～4時間のズレがあることに注目したい。また水分を例にとると、舎内温が 10～40℃ 下 (-12～4℃、図の左上) では、水分発生量の時刻ごとの変動幅は小さく 0.14 lb/hr/頭であるが、60～110° 下 (16～43℃、図の左下) では 1.5 lb/hr/頭と変動幅が大きくなっていて、舎内温が比較的高く且つ日内変動の大きい場合の換気設計には時刻ごとの水分発生量の変動を考慮する必要がある。

豚：第6図は母豚と1腹の子豚こみの全熱放散量の分娩後の相様をみたものである (Bondら, 1952) 分娩後3週で体重 cwt 当りの全熱放散量が安定するものとみることが出来る。第7図は第6図における頭熱と潜熱をみたもので、分娩後7週間では両者はほとんど同じ量であるが、8週になると頭熱が潜熱を上廻るようになる。

肉豚および成豚の全熱放散量および水分発生量は第8, 9図に掲げる通りである (Bondら, 1959)。第8, 9図作成の基礎はそれぞれ次式によるものである。

$$Y = 2.477 + 0.034X_1 - 0.57X_2 + 0.148X_1^2 + 0.710X_2^2 - 0.313X_1X_2$$

ここで、Y：全熱発生量 (Btu/hr/頭) の常用対数

X_1 ：体重 (lb) の常用対数

X_2 ：気温 / 100, °F

$$Y = -0.961 + 0.291X_1 - 0.785X_2 - 0.146X_1X_2 - 0.029X_1^2 + 1.375X_2^2$$

ここで、Y：水分発生量 (lb/hr/頭) の常用対数

X_1 ：体重 / 100, lb

X_2 ：気温 / 100, °F

第9図の成績は、コンクリート床の場合であるが、床の形式の違いは水分発生量にも影響する。これを検討した Harman ら (1966) の成績を第10図に掲げる。図にみる如く、コンクリート床と床面積の35%をスノコ式にした場合とでは、水分発生量にほとんど差を認めないが、全面スノコ式にすると水分発

生量は約6割 ($0.08 / 0.19 \times 100 = 42\%$)も減るのである。なお、コンクリート床の場合、豚舎で発生する全水分量に占める豚体自体から発生する水分量の割合は、約50%でしかないことが報ぜられている (Bond, 1952)。これを第11図に示す。

最後に、冬季舎飼牛、豚の熱発生量と水分排出量を一括まとめた Sainsbury (1967, P81-82)の表を第4表に掲げておく。

あ と が き

以上牛・豚を対象として、冬季舎飼時の換気対策の前提となるべき事柄について文献紹介を試みたが、もとより充分なものではない。畜舎におけるアンモニア、二酸化炭素などのガス発生量、およびそれらの濃度と家畜の反応などについて触れることができなかった。鶏における研究比べ牛・豚とこれらガスとの関係を検討した文献が手もとにほとんど見当らなかったのである。冬季間舎内温 21°C 、相対湿度 $55 \sim 66\%$ に保つよう換気を行ない、しかも毎日清掃している豚舎でもアンモニアの発生が認められ、またスノコ式床の豚舎ではアンモニアのほかに二酸化炭素、硫化水素、メタンなどが検出されており (Dayら, 1965)、この種の研究の今後の発展が期待されるのである。Roller (1965)も畜舎内汚染空気が家畜生産におよぼす研究の必要な所以を強調している。なお、上記 Day らは豚舎の臭気問題に取り組み始めているを付け加えておこう。

参 考 文 献

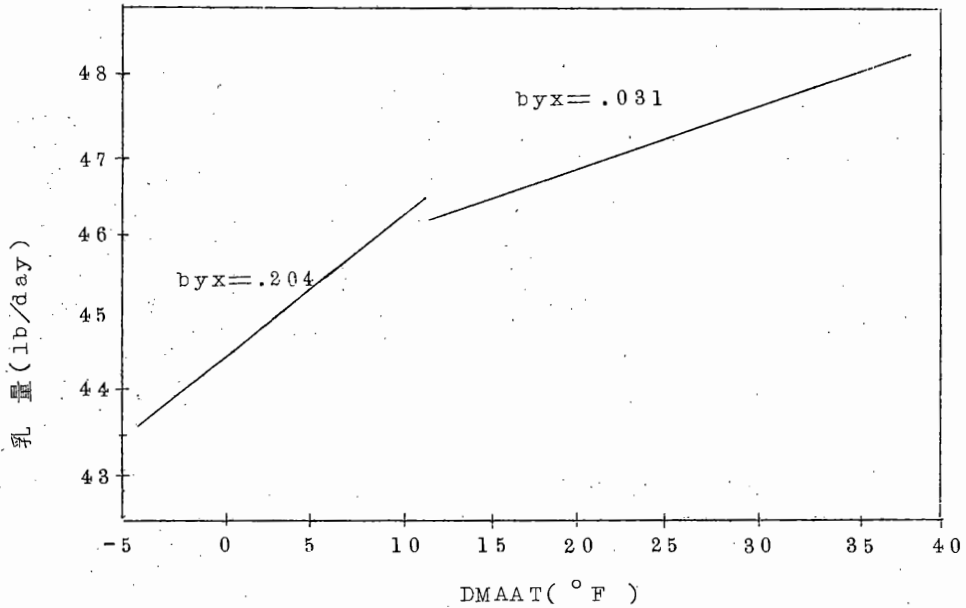
- Barber, R.S., Braude, R., & Mitchell, K.G. (1955) J. agric. Sci., 46 : 31 - 36.
- Bianca, W. (1962) Nature, 195 : 251 - 252.
- Bond, T.E., Kelly, C.F., & Heitman, H., Jr. (1952) Agr. Eng., 33 : 148 - 154; (1959) Trans. ASAE, 2 : 1 - 4.
- Campbell, R.C., & Paterson, H. (1958) J. agric. Sci., 51 : 234 - 236.
- Cargill, B.F., & Stewart, R.E. (1966) Trans. ASAE, 9 : 702 - 706, 712.
- Day, D.L., Hausen, E.L., & Anderson, S. (1965) Trans. ASAE, 8 : 118 - 121.
- Dice, J.R. (1935) J. Dairy Sci., 18 : 447 - 448; (1940) ibid, 23 : 61 - 69.
- Gill, J.C., & Thomson, W. (1956) J. agric. Sci., 47 : 324 - 331.
- Goodall, A.M., & Yang, S.H. (1954) ibid, 44 : 1 - 4.

- Hahn, G.L., & McQuigg, J.D.(1967)ASAE paper 67 - 107.
- Harman, D.J., Dale, A.C., & Jones, H.W.(1966)ASAE paper 66 - 422.
- Ingram, D.L.(1965)Res. Vet. Sci., 6 : 9 - 17.
- Irving, L. (1964) Terrestrial Animals in Cold :Birds & Mammals.
In Adaptation to Environment (ed. by D.B. Dill)pp 361 - 377.
Am. Physiol. Soc.
- Kazarian, E.A., & Hoeffler, J.A.(1960)Quarterly Bull., Michigan
agric. Exp. Stat., 42 : 541 - 547.
- Lucas, I.M., & Thomson, W.(1953)J.agric. Sci., 43 : 192 - 198.
- McDonald, M.A., & Bell, J.M.(1958)a. Canad. J. anim. Sci., 38 :
148 - 159, b. ibid, 38 : 160 - 170.
- McLagan, J.R., & Thomson, W.(1950)J.agric. Sci., 40 : 367 - 374.
- 三村 耕 (1965) 家畜管理の技術,養賢堂, pp52 -53.
- 三村 耕ほか(1968): 農林水産業特別試験研究補助金による研究報告書
- Mount, L.E.(1968)The Climatic Physiology of the Pig. Edward
Arnold Ltd., p231.
- Newland, H.W., McMillen, W.N., & Reineke, E.P.(1952)J.anim. Sci.,
11 : 118 - 133,
- Roller, W.L. (1965)Trans. ASAE, 8 : 353 ; 357.
- Sainsbury, D.W.B.(1954)Ph. D. thesis, Univ. London, Sainsbury
(1967)より引用
- Sainsbury, D.W.B.(1967)Animal Health and Housing, Bailliere,
Tindall & Cassel.
- Seymour, E.W., Speer, V.C., Hays, V.W., Mangold, D.W., & Hazen,
T.E.(1964)J. anim. Sci., 23 : 375 - 379.
- Smith, C.V.(1964)Agr. Meteorol., 1 : 249-270.
- Sørensen, P.H.(1962)Influence of Climatic Env. on Pig Performance.
In Nutrition of Pigs and Poultry (ed. by J.T. Morgan & D. Lewis)
Butterworths, PP.88 - 103.
- Stall, W., & Rasch, D.(1961)Anim. Breed. Abstr., 29 : No.2000
- Taylor, J.G.(1958)U.S. Agr. Res. Serv. Ser., 42 : 19.
- Witzel, S,A.(1952)Agr. Eng., 23 : 635 - 642.
- Yeck, R.G.(1955)Univ. Mo. agric. Exp. Stat. Res. Bull., 595

第1表 家畜の適温範囲

	適温範囲
乳牛	50°F ~ 60°F (10°C ~ 16°C) 20°F ~ 70°F (-7°C ~ 21°C)でも乳生産に大きな影響なし
肉牛	20°F ~ 60°F (-7°C ~ 16°C)
子牛	生時 50°F ~ 60°F (10°C ~ 16°C) 子牛肉生産 60°F ~ 70°F (16°C ~ 21°C)
肥育豚	離乳時 75°F (24°C) 出荷時 60°F (16°C)
繁殖豚	50°F ~ 60°F (10°C ~ 16°C)
子豚	生時 80°F (27°C)

(Sainsbury, 1967)



第1図 乳量とDMAATの関係 (McDonald, 1958)

第2表 低温期(3℃)における肉豚(体重4.0 → 9.0Kg)におよぼす敷料および群飼の効果

	日増体量	F.U./Kg増体	供試豚
単飼, 敷料なし	0.45 Kg	5.9	3 頭
群群, 敷料なし	0.63	4.3	5
群群, 敷料あり	0.72	3.7	5

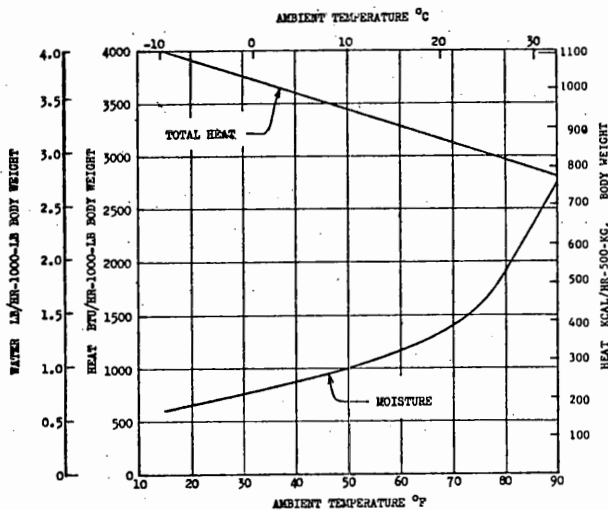
(Sørensen, 1962)

第3表 豚の快適温度と風速の関係

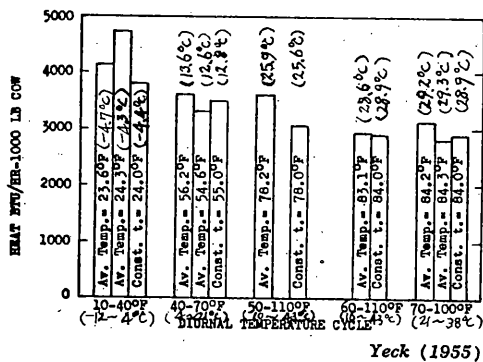
(○:快, ×:不快)

気温 (℃)	風速 (m / sec)		
	< 0.15	0.15 ~ 0.26	0.26 ~ 0.36
2.1	○	○	1~8週齢 ×
1.8	1週齢以下 ×	5週齢以下 ×	12週齢以下 ×
1.6	10日齢以下 ×	1~3週齢 ×	"
1.3	8週齢以下 ×	12週齢以下 ×	—
1.0	15週齢以下 ×	約16週齢以下 ×	—
7	16週齢以下 ×	14週齢以下 ×	20週齢以下 ×
4	20週齢以下 ×	20週齢以下 ×	"
2	×	×	×

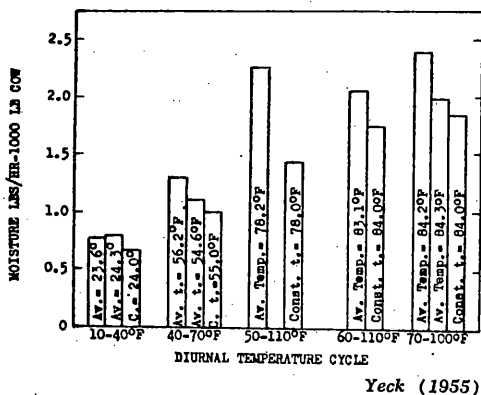
(Sainsbury, 1954)



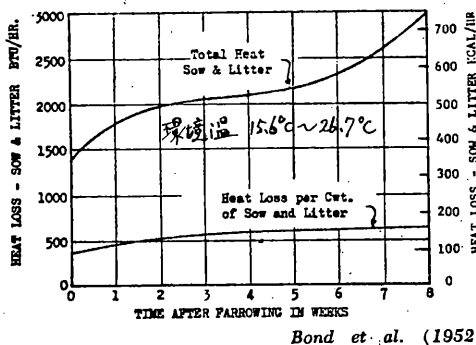
第2図 スタynchon牛舎における牛の全熱生量と水分発生量 (R.H.は55~70%, ストールの水分発生量を含む) (Yech & Stewart 1959)



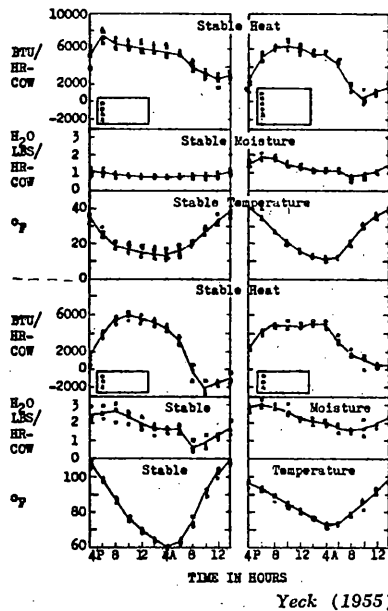
第3図 環境温度に日変動がある場合と完環境温度の場合の熱放散量の比較 (牛)



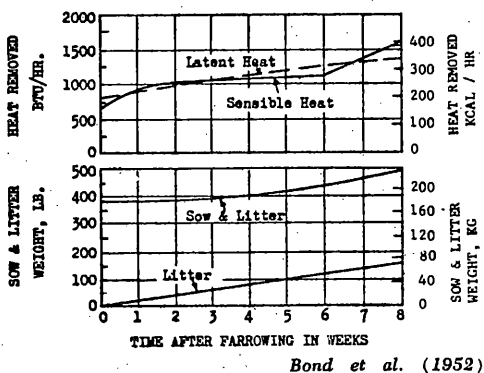
第4図 同上条件における蒸発水分量 (牛)



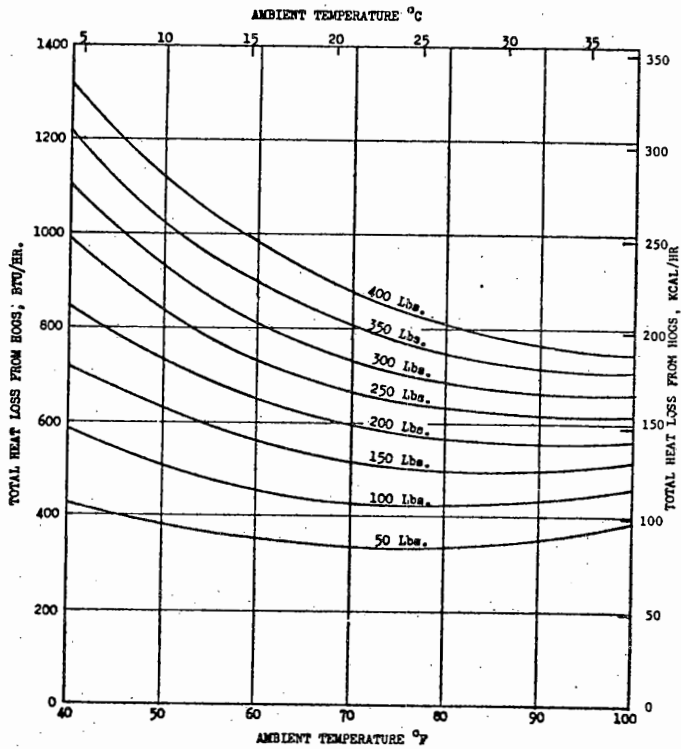
第6図 子付母豚とし腹子こみの分娩後8週までの全放散量の変化 (子豚数平均6頭)



第5図 第3, 4図の詳細 (日内変動)

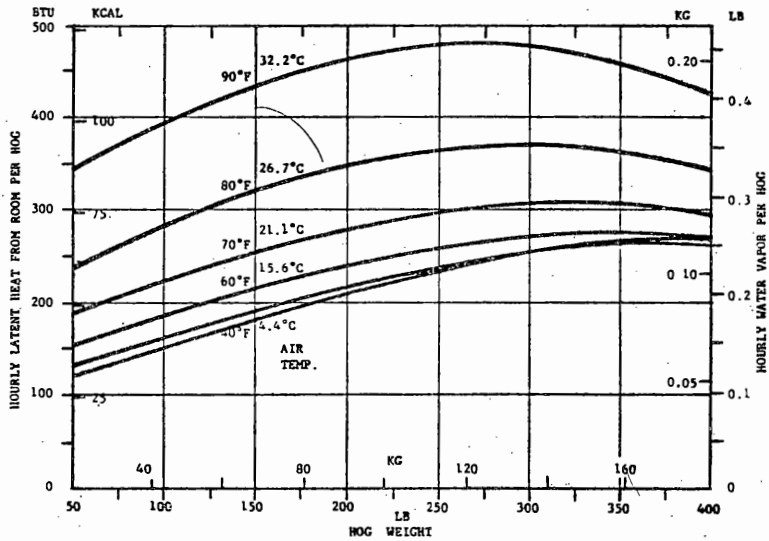


第7図 同上条件における顕熱潜熱の変化



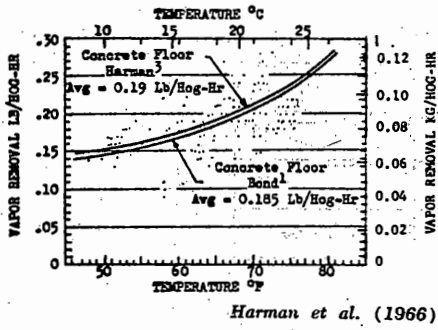
Bond et al. (1959)

第 8 図 肥育豚および成豚の体重別，環境温度別
全熱放散量（風速0.10~0.15m/秒，R.H.50%）



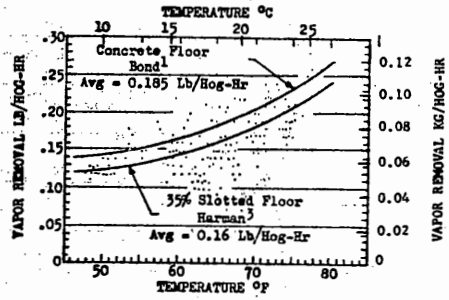
(Bond et al., 1959)

第 9 図 豚舎からの全潜熱放散量
コンクリート床，1日2回清掃，敷料は使わない
敷料を使うと潜熱は約 $\frac{1}{3}$ 増加する。風速0.10~0.15m/
m/秒，R.H.50%



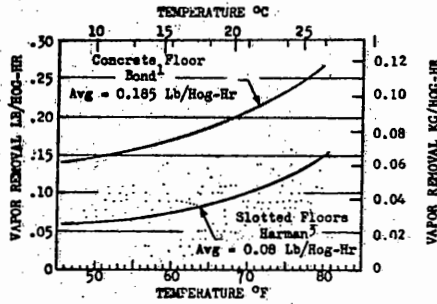
Harman et al. (1966)

第10図-1 豚舎で発生する
水分量
コンクリート床
の場合



Harman et al. (1966)

第10図-2 豚舎で発生する
水分量
一部(床面積の
35%)スノコ式
の場合



Harman et al. (1966)

第10図-3 豚舎で発生する
水分量
全面スノコ式床
の場合