

畜禽营养学
进展之七

气温与畜禽营养

东北农学院 许振英编译

中国畜禽营养研究会
北京地区畜牧与饲料科技情报网

一九八三年十月

气温与畜禽营养

(本书简介)

本刊乃畜禽营养研究会组编动物营养进展丛刊之一，包括译文与综述共七篇。一、二两篇阐述气温对恒温动物热能代谢的影响，衡量方法和动物的适应力。三、四、五篇着重气温环境与养猪生产的关系。第六篇介绍牛对环境的适应。第七篇概括的叙述了鸟类对气温的适应反应。

目 录

一、环境因素及其对家畜营养的影响

Blaxter L.K. 许振英译 (1)

二、家畜对气温的适应

Mount L.E. 许振英译 (11)

三、猪与环境温度

Mount L.E. 许振英译 (25)

四、生长肥育猪同猪舍温度和饲养水平的关系

Verstegen M.W.等.....胡殿金译 (39)

五、气温与猪的生产综述.....许振英 (47)

六、牛对环境温度的适应

Mount L.E. 温韦斋译 (56)

七、鸟类对环境温度的适应

Mount L.E. 吴成坤译 (67)

八、气候环境与家禽饲养

EMMANSG.C.等.....曹建译 (79)

环境因素及其对家畜营养的影响

《Nutrition and The Climatic Enviroment》

1977 1—16

Blaxter L.K. 著 许振英译

环境因素对畜牧生产的影响有直接与间接的；间接由于影响饲料供应，直接由于影响动物对能的需要量。当然，还有该二因素间的互作，或即动物的营养状态影响它对环境的反应。英国虽处于温带，也绝非不受环境变异的干扰。英国不至于遭受气候反常而作物歉收，但也不要忘记，外国因气候关系作物歉收对世界谷物、油料籽实和蛋白质精料市场的影响，其后果是售价上涨，波及英国畜牧业。苏联收成不好，不能完全归咎于官僚制度，生长季节气候不调也有干系。无论如何，苏联插手世界谷物市场，对英国的畜牧生产水平不无妨碍。

当地环境对畜牧生产的影响，可从直接与间接方面各举一例得到证明。1975年夏季干草与青贮收获不好，又加上英国干旱，所以牧草、作物特别是根类作物都减了产。如果不是秋季还好，否则冬草也大成问题了。在英国，对畜牧生产起间接作用的主要因素，毫无疑问统统基于土壤水分不足。当然水分过多也同样不利。秋雨绵绵会减少越冬谷物面积，温湿气候会助长作物病害，如马铃薯的瘟病，而如收割期风雨交加到割倒的草与庄稼，不仅降低质量，还将减产数量。

间接影响还可讲许多，不过谈谈意义更大的气候直接影响为是。在这一方面，虽然1975年是多年来气温最高的年份，但只要饮水足够，还找不出直接环境因素会降低生产力这种关系。下面介绍第二个例子。1975年4月8日暴风雨袭击苏格兰，某些地区遭受冷冻与风雪。损失规模难于估计，有两周时间当地屠宰场拒绝收购送来的大批死羊。由此足见，短暂气候骤变的危害。如能做到天气变化与持续时间的预报，必将有助于畜牧生产。

近廿年来，在物理环境对牲畜的作用，从概念上和数量化上都积累了大量资料。本文将从总的方面予以概括。大部分实例取自牛羊，但原理应当同样适于其他物种。

衡量单位 在阅读有关本题的文献中，往往碰到作者间所用单位不统一的困难。动物在单位时间的产热量，可用卡、焦耳甚或BTU（英国热量单位）/分钟、小时、日表示。焦耳/秒等于一瓦，所以每天产热量也无妨用瓦表示。至于产热率则可用绝对值如

每公斤体重，每公斤体重的幂数或按单位面积。

起码在从事营养者之间应公认统一计量单位。营养范畴的时间以日计，能量单位以焦耳计，已经明确。既然动物能量交换发生于体表，看来应当采用平方米作为面积单位。按日/平方米/焦耳(Jd^{-1})，便于表列对养分的需要(如英国农林渔业部，1975)和估计环境带来的热量损耗，并反过来再推算在冷环境的饲料需要。关于这，后文还将阐述。按 $^{\circ}C/M^2/W^{-1}$ 或更差的 Ms^{-1} 方式衡量绝热，必须用更直接，更易于处置的 $^{\circ}C/M^2/日/MJ^{-1}$ 来代替。本文附录备有互换数值。

产热与气温 图1—1表示气温对保持被毛剪短绵羊代谢的影响(Graham等, 1958)。只当气温在 $25^{\circ}C$ 以上时，不等量的饲料才产生不等量的热。在此以下，产热量与采食量毫不相干，完全取决于环境。从图1—2可见，这一效应全部来源于由辐射、对流与传导等可测热(Sensible)，而每降温 $1^{\circ}C$ 它是定量不变的。在低温，从皮肤与呼吸道蒸发逸失的热也不变。这一共同关系适于各种动物，图1—3乃包括婴儿在内的资料。

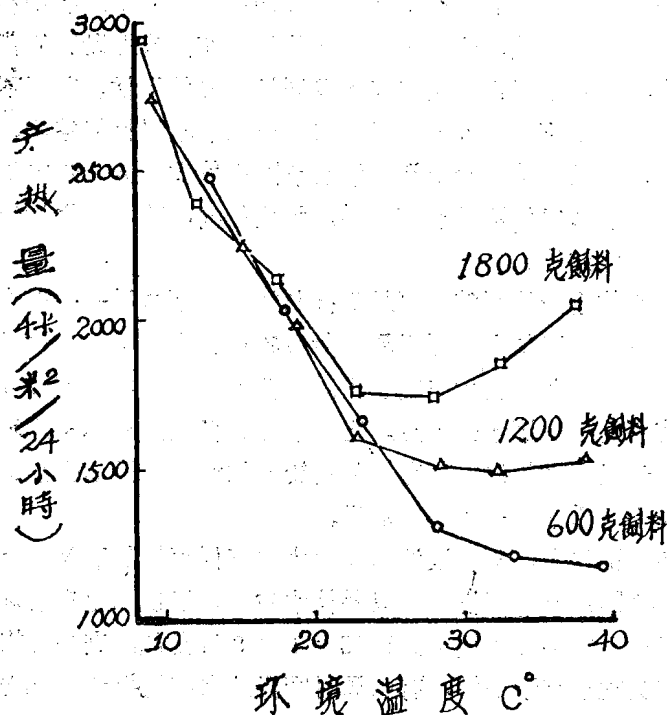


图1—1 被毛剪短绵羊散热量与气温及饲养水平的关系

动物临界温度下限的定义是，下降越过此数产热量要增加的温度，表示为：

$$T_G = T_R - \frac{1}{C} (H - E)$$

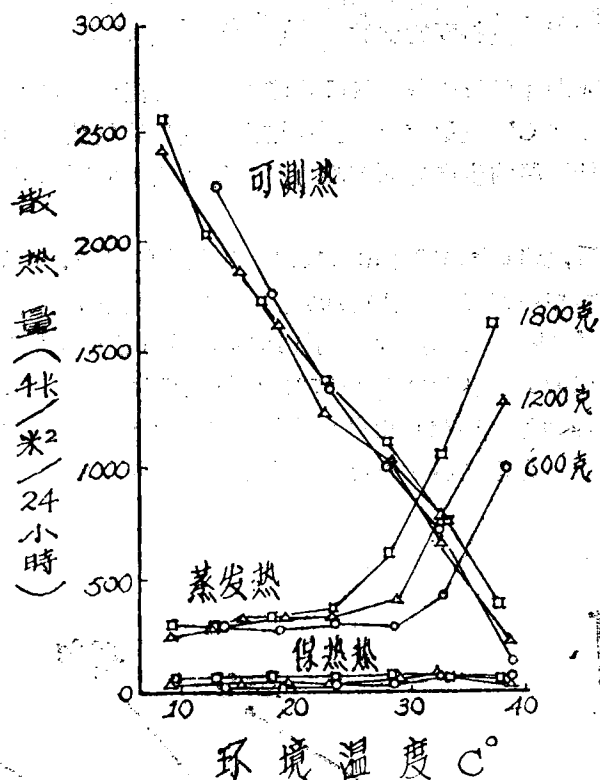


图 1—2 对图 1—1 绵羊散热量的剖析

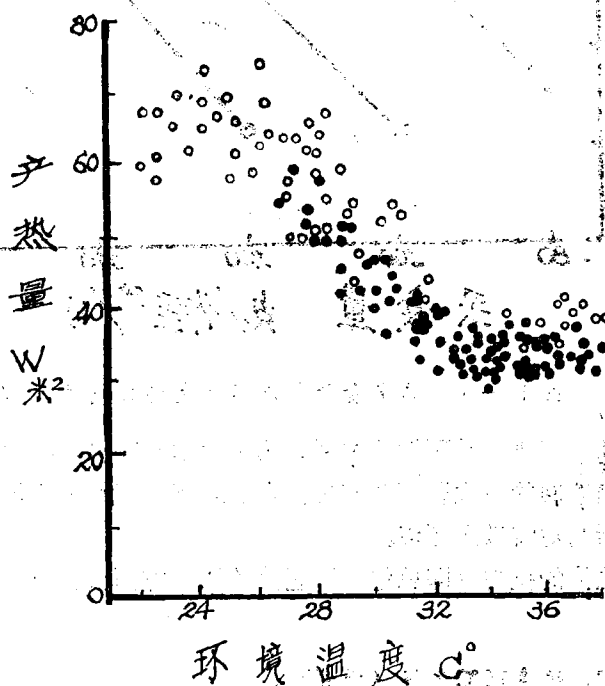


图 1—3 环境温度与婴儿产热

或：临界温度 = 肛温 - $\frac{\text{可测热与气温间}}{\text{负斜度的倒数}} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{产热量} \\ \text{蒸发散热} \\ \text{最低量} \end{array} \right.$

1/°C 实即总绝热值，或即体躯核心与空气间热流阻力。气温低于临界温度，则随着气温每 1°C 的下降而产热以 “°C” 量稳定上升。反过来，绝热的倒数，亦即每 °C 降温的失热量。也就等于为了保持适温的生产力而在临界温度每降温 1°C 所需多喂饲料以提供的代谢能量。

气温与饲料的关系，从 Tuller 与 Boyne (1971) 用猪作的试验，可从实用观点得到启发，如图 1—4。为在 5°C 和在 23°C 同样获得 700 克的日增重，当然喂料量有别，每降温 1°C，相当于每公斤体重^{0.75}多喂料 2.3 克。按处于 13°C 室温的 50 公斤猪推算，等于每日多喂 400 克。Verstegen 等 (1973) 与 Close 等 (1973) 根据他们试验中发现，每降温 10°C 要多喂 250~300 克。Verstegen 等 (1974) 用更小的猪得到每 10°C 每日 300 克 (注)。饲料都非小数，确切数字要看动物的总绝热性能及其临界温度。要想测定，还得深入理解热失散的物理学基础。

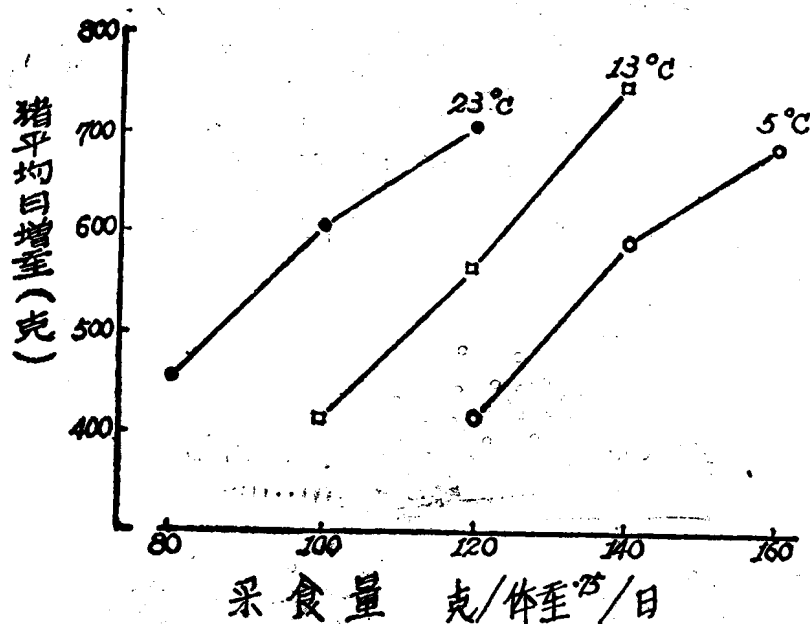


图 1—4 猪采食量与在不同室的日增重

图 1—5 示意动物产热与其环境的关系。热由躯中心产出，经血液向体表对流。动物运用启闭皮肤微血管网的方式以调节流量。在皮表还要消耗一些热量用于蒸发水分，其余则在体表经辐射与对流散入环境。

无妨把动物对热流的抗力 (即总绝热) 区分为两个方面 (三方面更好)。(1) 组

注 原文为每 °C，恐系 10°C 之误 (译者)。

织绝热，（2）外层绝热，包括被毛和毛面的边缘层，还有无毛动物的皮面。这些绝缘太重可从以下公式区分：

$$\text{组织绝热 } I_T = \frac{T_R - T_S}{H m^{-2} d^{-1}}$$

（即肛温（ T_R ）与皮温（ T_S ）的温差除以每日每平方米失热量）

$$\text{外层绝热 } I_E = \frac{T_S - T_A}{(H - E) m^{-2} d^{-1}}$$

（即皮温（ T_S ）与室温（ T_A ）的温差、除以每日每平方米的可测散热）

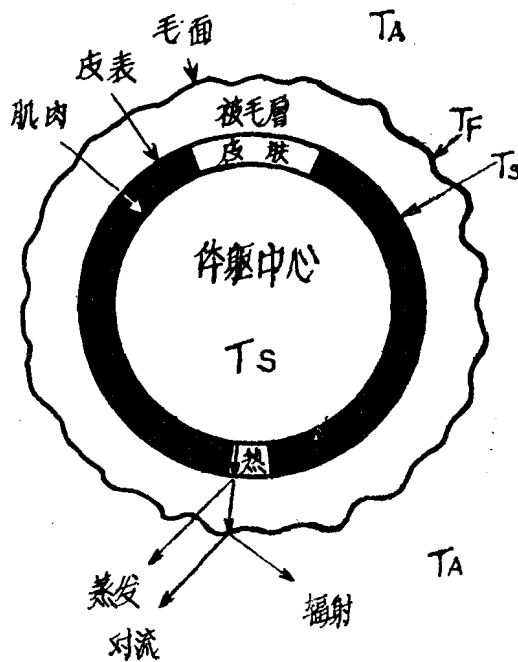


图 1—5 动物热流示意

被毛绝热（ I_F ）与空气绝热（ I_A ）共同构成外界绝热。足见，外界绝热与空气温度的关系。然而，气温并非环境冷热的唯一标志。我们还得考虑气流，能改变被毛绝热性的降雨以及短波和长波的辐射环境。晴天夜间由于射来的长波辐射减少会使可测散热上升。而在阳光照耀下短波辐射增加反而散热减少。很明显，详细的剖析一定牵扯到每一热能流量的物理运动一有的要涉及到总流量—不过，当按常规处理外界绝热时，一定要承认，所谓的绝热，事实上是随风速、辐射环境以及降雨量或其他施加到被毛上的水分而变动的。

组织绝热 单个动物除非处于 5°C 以下时组织绝热可下降 $10\sim 20\%$ 之外，在一般冷的情况基本稳定不变（Webster等1966，Webster等，1970）。下降的原因是在低温环境，那些不具备战栗肌肉的部位（如耳、腿、脚与尾梢）的温度，可降到比气温仅高

2 ~ 4 °C。为使这些部位在零下温度不致冻伤而血管膨胀，多流入血液。因之，象这类器官就在时态上呈现一种锯齿式波动，绝热力随之下降。幼畜组织的绝热性低于大畜 (Gonzalez—Jimenez等, 1962; Holmes, 1970)，犊牛生后一个月即可达到成年程度。Webster等 (1970) 认为，绝热值随体重而上升，并且在加拿大为在苏格兰二倍。他们解释可能由于长期低温生活。英国当然以低值为恰当。另外，体肥、特别是幼猪 (Ingram, 1964)，母猪也如此 (Holmes, 1974)，可增加组织绝热，甚至高到40%。各种家畜的组织绝热值如表1—1。

在临界温度以下，尚未引起血管膨胀以防损伤
表1—1 组织以上所测各种动物的组织绝热值 (°C/米²/MJ⁻¹/日⁻¹)

物种与类别	组织绝热值	来源
初生犊牛	0.62	Gonzalez—Jimenez等 (1962)
1月龄犊牛	1.62	Gonzalez—Jimenez等 (1962)
成年阉牛	1.59 ± 0.30	Blaxter等 (1964)
成年阉牛	1.22 ± 1.45	Blaxter等 (1961)
成年阉牛 (500公斤)	3.47	Webster等 (1970)
初生仔猪	0.24	Mount (1959)
成年猪	1.67	Irving等 (1956)
成年绵羊	1.32	Joyce等 (1964)
成年绵羊	1.35	Webster等 (1966)

外界绝热 如果在空气相对静止而辐射环境温度又与气温近似的条件测量绝热，再求它用探针测量被毛深度的回归，那么，斜度即表示单位深度的绝热值，而截点即代表在毛面空间带的对流与辐射绝热的估值。表1—2乃按此法估测空气绝热与被毛绝热的总结引人注意的是动物间截点差别竟如此之小；只有Webster等 (1970) 所得数值例外。另外，斜度还指明趋势。绵羊被毛按厘米比较，作为绝热体就比牛好；猪由于毛稀最差。如果按牛被毛为20mm计算，根据Blaxter等 (1964) 得3.4，根据Webster等 (1970) 得3.97，犊牛为3.01，表明在实际工作中，这些回归结果的离差还不太悬殊。

在最低气流与辐射温度和空气温度
相似条件下测得各种动物的外界绝热值及其与被毛深
表1—2 度F(Cm)。截点代表空气绝热估值，斜度乃被毛的导热倒数

物种与类别	$I_E = a + bF$	来源
幼犊竖毛	1.43 + 0.79 F	Gonzalez—Jimenez等 (1962)
成年阉牛	1.64 + 0.88 F	Blaxter等 (1964)
成年牛	2.33 + 0.57 F	Webster等 (1970)
成年绵羊	1.35 + 0.141 F	Joyce等 (1966)
幼猪	1.36 + 0.035 F	Mount (1964)
人 (裸体)	1.39	Bazett (1949)

吹风打乱被毛的绝热，加大表面的热交换。Joyce等（1966）与Webster等（1970）均曾设法予以估测，前者概括，后者细致。用绵羊所得数据见表1-3，用牛的见表1-4。由后表公式估算有风时牛的外界绝热要比绵羊大的多。在新西兰（Holmes等，1974）和在苏格兰（Blaxter等，1969）曾在风中进行直接测验；与按Joyce等（1966）公式推导值对比（图1-6），发现用于温带比较合适。

表1-3 绵羊外界绝热（℃/米²/MJ⁻¹/日）与风速及被毛深度的关系

风 速 (英里/小时)	外 界 绝 热					
	10mm**	20mm**	30mm**	40mm**	50mm**	60mm**
0.4	2.49	3.58	4.60	5.58	6.51	7.39
1.0	2.20	3.23	4.20	5.12	5.99	6.83
2.0	1.95	2.90	3.81	4.66	5.48	6.25
4.0	1.66	2.51	3.31	4.08	4.80	5.49
8.0	1.34	2.04	2.70	3.32	3.91	4.48
16.0	0.97	1.44	1.89	2.32	2.72	3.11

* 按Joyce等（1966）下列公式的估值：

$$I_E(\text{℃/米}^2/\text{兆卡}^{-1}/\text{日}) = \frac{r}{r+F} \cdot \frac{1}{0.115+0.099\sqrt{V}} - r \log_e \frac{r+F}{r} (z-0.09\sqrt{V})$$

这里：

r = 绵羊的半径（150毫米）

F = 被毛深度（毫米）

V = 风速（哩/小时）

Z = 1毫米被毛的热绝热值（0.59℃/米²/兆卡⁻¹/日）

注1：上表计算兆卡值，乘以4184折合为兆焦

** 用探针实测的平均被毛深度

降雨肯定会改变外界绝热，但尚未取得数量化。根据Alexander用湿羔羊做的工作，不仅绝热下降，且还需要热来烘干被毛。表1-5乃用牛和绵羊的试验结果，表明被毛着雨着水后增加失热，风吹雨打会进一步增加失热。Webster等（1967）的工作证明，连雨使剪过毛的绵羊的绝热下降2℃/米²/兆焦⁻¹/日。长波辐射环境也起同此效果。这一效果，业经用测热器（Mount，1964；Joyce等，1966）和Webster（1971）用人造假动物装置予以测量。结果是下调了表1-2第一项（即 a 值或回归常数）。由此可见，当采用公式计算外界绝热时，如果仅考虑被毛与风速，则当动物遇到下雨或打湿，或夜晚晴朗的情况，应将估值下调。白天太阳辐射的效果，已经Clapperton等（1965）叙述并予以数量化。这显然会有效地提高绝热值。

表1-4 牛的外界绝热 ($^{\circ}\text{C}/\text{米}^2/\text{兆焦}^{-1}/\text{日}$) 估值与风速及被毛深度的关系

风 速 (哩/小时)	常用公式推导结果 ¹			回 归 公 式 结 果 ²		
	10mm	20mm	30mm	10mm	20mm	30mm
0.4	2.26	3.16	4.04	3.01	3.58	4.15
1.0	1.96	2.79	3.60	2.79	3.36	3.93
2.0	1.70	2.44	3.17	2.53	3.31	3.68
4.0	1.41	2.03	2.65	2.18	2.75	3.32
8.0	1.08	1.53	1.98	1.68	2.25	2.82
16.0	0.69	0.91	1.13	0.96	1.53	2.10

注: 1. 按表1-3公式, 把牛被毛的Z值改用 $0.46^{\circ}/\text{米}^2/\text{兆卡}^{-1}$, r改用400毫米)

2. 按加拿大 (Webster等, 1970) 观测所得回归分析。

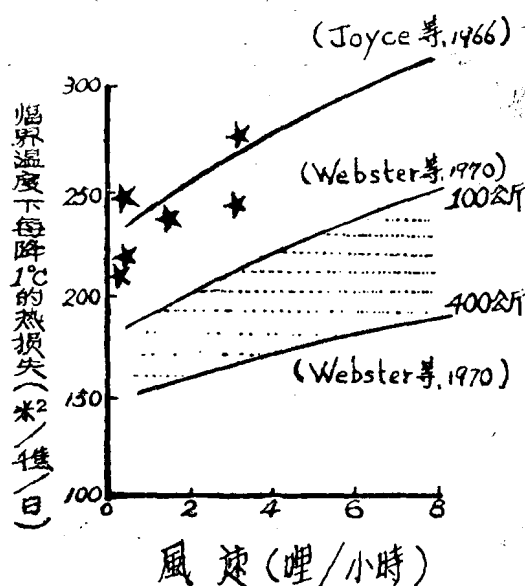


图 1—6 按两种方法与用测热器 (★) 在24小时直测牛临界温度以下的失热量

估计临界温度与采食量 根据表1、2、3与4提供有关绝热的资料, 加上水气蒸发的最低失热量为牛 $1.5\text{兆焦}/\text{米}^2/\text{日}$ (Blaxter等, 1961), 绵羊为 $1.3\text{兆焦}/\text{米}^2/\text{日}$ (Joyce等, 1964), 猪为 $0.7\text{兆焦}/\text{米}^2/\text{日}$ (Ingram, 1960), 以此为据可按以下公式推算临界温度 T_c :

这里, T_R 为肛温 (39°C), E 为蒸发最低失热量, H 为代谢增热, I_T 为组织绝热, I_E 为外界绝热。

在运用以上公式的方法和家畜营养需要表的利用上, 无妨举例说明。

假定有一头200公斤幼母牛, 被毛厚1厘米, 在早秋季节饲养, 计划日增重0.5公

表1—5 风与雨分别及一同对犊牛、成牛和绵羊
日散热量的影响。动物处于临界温度以下

动物类别	条 件		冷条件下 代 谢 (兆焦/日)	增加失热 (兆焦/日)			来 源
	风 速 (哩/小时)	24小时降雨		风	雨	风加雨	
犊 牛	3.5	4 小时	9.9	1.0	0.8	2.3	1
牛(毛剪短)	1.6	7 小时	54.5	4.6	4.0	7.5	2
牛(冬季密毛)	1.6	7 小时	37.0	1.2	1.2	1.8	2
黑头面绵羊	10.0	连雨	4.2	1.4	3.5	5.1	3
赛弗克绵羊	10.0	连雨	5.3	0.9	3.3	5.7	3
初生羔羊(2公斤)	12.5	初生后打湿	0.86	0.86	0.86	1.72	4

$$T_c = T_R + EI_E - H(I_T + I_E)$$

1. Holmes等 (1975)
2. Blaxter等 (1965)
3. Blaxter等 (1966)
4. 根据Alexander (1974) 工作总结计算

斤。查阅农渔部(英, 1975) 或农业科委 (英, 1965) 颁发标准, 可得每日代谢能需要量, 从而估计产热量。包括维持的代谢能需要加上 $(1 - k_f)$ 乘以生产的代谢能需要量。

按英国农业科委需要表, 维持需要为33.4兆焦/日, 总需要为44.4兆焦/日。总产热量应为: $33.4 + [(44.4 - 33.4) \times 0.49] = 38.8$ 兆焦/日, 因为所用饲料的代谢能利用率是51%。200公斤牛的体表面积是3米² (见附表)。单位体表的热损失为 $38.8 \div 3 = 12.9$ 兆焦/米²/日。

这头牛的组织绝热值是1.59单位(见表1—1); 假定环境有微风(4哩/小时), 它的外界绝热应是1.41单位(表1—4)。最后, 把这些数值代入公式得:

$$T_c = 39.0 + (1.5 \times 1.41) - 12.9(1.59 + 1.41)$$

$$T_c = 2.4^\circ\text{C}$$

如在越冬期间被毛厚度从1厘米长到3厘米, 则外界绝缘变成2.65, T_c 也不再是+2.4℃而降至-11.7℃。再如日增重改为0.75公斤, 这时产热就变成13.9兆焦/米²/日, 临界温度进一步降到-16℃。

为了保证预定日增重, 在低于临界温度以下需增的饲料量, 可按以下关系求得:

$$\text{需增加的饲料量} = T_c - T_x / \left(\frac{HI_T}{H - E} + I_E \right)$$

当气温降到 T_x (低于 T_c) 时、为了防止增重下降而

式中分母即每低于临界温度1°·每米²每日应当增加的能量。

对于一头被毛厚1厘米、日增重0.5公斤的动物，此数应是：

$$\begin{aligned} \text{兆焦/米}^2/\text{日}^{-1}/^{\circ}\text{C}^{-1} &= \left(\frac{12.9}{12.9-1.5} \times 1.59 + 1.41 \right)^{-1} \\ &= \frac{1}{1.13 + 1.59 + 1.41} \\ &= 0.321 \text{兆焦/米}^2/\text{日}/^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

该动物的体表实为3米²，故总量应为0.96兆焦/日/°C。这样，为了应付低于临界温度10°C，理应每日增加9.6兆焦的能量，相当于0.8公斤大麦。

设或动物的被毛比较厚，它的临界温度就较低（见上文），这时每降温1°所需增添的能量就不是0.32兆焦而要少得多（0.22兆焦）。一般而言，临界温度愈低，在保证不减产的情况，低于临界温度所需补加的饲料就越少。

附表：

1. 单位时间产热量		
从	到	系数
兆卡/日 ⁻¹	兆焦/日 ⁻¹	乘以4.184
兆卡/日 ⁻¹	瓦	乘以48.4
2. 绝热值（单位面积热流量除以温差）		
°C/米 ² /日/兆卡	°C/米 ² /日/兆焦 ⁻¹	除以4.184
°C/米 ² /日/兆卡	°C/米 ² /瓦 ⁻¹	除以48.4
3. 体重、体表与代谢体重*		
体重（公斤）	体表（米 ² ）	代谢体重（体重 ^{0.75} ）
1	0.09	1.0
2	0.14	1.7
15	0.26	3.3
25	0.76	11
50	1.2	19
100	1.9	32
200	3.0	53
400	4.9	89
600	6.4	121

- * 乃按通用的Meeh公式 $A = 0.09^2 / s^2$ 计算的。对某一物种不一定完全符合，甚至同种之内，体重与面积的幂数也变动在0.5~0.6范围，系数相应高些（0.12~0.15），为了概略计算，通用公式已够精确。

讨论 从以上介绍资料，家畜在不同条件，包括风速的临界温度是可以估算的。更精确的处置还应把长波与短波的辐射考虑在内，概略性的处置，则应把降雨包括在内。提醒注意的是，上述计算较宜于干燥阴天，辐射温度接近气温。计算方式当然也适于舍内或简单荫棚。

有根据 (Slee, 1971; Webster, 1974) 认为家畜具有适应寒冷能力。适应对策之一就是多吃，增加产热量；似乎它们也意识到饲料的御寒作用。更重要的是冬季被毛加厚，加强绝缘性。不仅牛是这样，甚至长期处于寒冷的猪也如此。此外，经常处于严寒的动物，已形成许多绝缘办法应付寒冷。天气骤变，往往使未经此适应过程的家畜措手不及。遇到这种情况，公式可有助于推算临界温度和额外饲料需要量，被毛厚度可以测，饲料量可以制定，产热量也可以算。

考虑环境对家畜的直接影响及其与饲料供应的相互作用，将有助于畜舍、畜棚设计，估算绝热投资的收益，设计辅助采暖装置以及长期饲料规划。由而从保证生产角度、估量环境对饲料需要的影响。为使这一方式精确可靠，还得进行大量工作，按小时把当地的户外环境综计起来；因为每片云彩都会改变环境对热的要求，都有待深入细致测量。虽然如此，科研业已提供足够数据、回答气候环境影响中的许多问题。

家畜对气温环境的适应

《Adaptation to The Thermal Enviroment》

第七章 1979, 116-144

Mount L.E. 著 许振英译

动物为了适应环境而引致对某一刺激的反应变化。适应可能牵涉动物本身对某一环境变动的风土驯化 (acclimatization) 或动物在其继代选育中导致的遗传适应。适应可局限于某些体组织，也可遍及全身。

一般来说，适应意味着动物的生存由于反应中发生了变化而得到改善。例如处于寒带的哺乳类，表现急剧的代谢反应以调节体温。另外，遇冷则血管收缩和被毛竖立，均属于生理反应，加强绝热以利节温。动物还采取改换伸展姿势为紧凑姿势、同窝间相互偎挤或钻入垫草等行为反应。这些反应都能提高动物与冷环境间的绝热效果，从而节省为了保持体温所需的代谢上升。从这个意义上，行为反应也属于对冷的代谢反应的适应。在寒带养大的动物，比在热带养育的动物体型紧实，构成所谓形态适应，俾便对冷的代谢反应降低到低于原本要求水平。

Prosser为适应下的定义包括：

(1) 适应可降低环境改变原应导致的效应。

(2) 在生物, 凡对环境变化中有利于生存的变动都意味着适应。彼此相似的适应变异, 或者可以遗传学测定, 或者通过环境因素来诱导。由环境变化带来的反应, 可因环境变化的强弱与持续长短而不同。微细但持久的变化, 往往后果与短暂的大幅度变动相等。

除开遗传适应之外, 在生物个体的一生可出现三种类型的适应。第一是风土驯化, 指在复杂的环境中牵连到的错综交织的反应。第二是调处 (Conditioning), 亦即把原来反应转移到新的刺激。经典范例如巴甫洛夫的狗, 把某一象铃响的无意信号和投饵联系起来, 使其成为条件刺激, 即或不再给食, 狗依然分泌唾液。操纵调处 (Operant Conditioning) 是另一类型的调处, 动物摸到为了谋取某一效果诸如觅食或变换环境的操纵反应。大白鼠为御寒而按动杠杆。研究猪对温度的选择也用此法。

第三类适应是习惯 (habituation)。它并非主动适应, 而仅乃对某一特定环境刺激的反应钝化。习惯限于有关环境因素和动物所起反应并无密切关连的机遇。如猪乍一听到喷气机噪音受惊, 但很快习以为常, 不再表现从未遭过干扰的动物那种饲养、繁殖和行动方面的越规。然如把噪音和饲养员送饲料联贯起来, 那么条件就失去中立性, 变成刺激条件, 将企望得食和行动衔接起来。

风土驯化过程包括下面所述对行为、生理及形态的改变。

行为适应 (Behavioural Adaptation) 动物随着对环境的要求而变换姿势与对风 and 阳光的方向。遇冷则身体紧缩, 有效地减少热交换体表面积; 与冷地面的接触也尽量减少。

动物彼此偎挤可有效地改变环境冲击, 减少为了御寒的代谢反应。群畜之所以比单畜代谢反应小, 即基于栖堆行为反应增强了绝热力。栖堆与筑巢乃恒温动物抗寒的重要行为调节。例如小白鼠遇冷采取栖堆的方式, 是以抵消否则要多吃需要。

动物采取各种适应行为以应付不同环境。在户外, 它们利用太阳、遮阴、风挡、泥坑或地穴。沙漠白昼气温可达44℃, 小鼠躲入气温仅26℃的地穴, 以免受热。美洲跳鼠

表 2—1 单猪与 5 头一群猪对气温的选择

日 龄	气 温 °C				
	23~28	29~31	32~34	35~37	$\bar{X} \pm S E^{\circ}C$
单猪					
< 1	1	2	5	2	32.3 ± 0.9
1~7	8	16	4	0	29.3 ± 0.4
8~41	16	33	11	6	28.3 ± 0.6
群猪					
2~7	2	3	3	0	30.1 ± 1.0
8~41	8	9	4	1	30.4 ± 0.7

(deer mouse) 在亚高山境地，夏季24小时内温差在4—20℃之间，而穴温则昼夜均保持在10°左右。在户内，动物呆在无贼风的地方，有垫草就尽量利用。捕获圈养动物也设法寻找适温。

可采用多级选择法研究动物的行为适应力，让动物从事先安排好的多幅度条件中任选其一。表2—1列举幼猪处在人工气候室所挑选的气温频数：

不过，当前研究行为适应的主要途径，依然是经典式的条件反射与操纵反射（巴甫洛夫）。表2—2列举动物对高低气温的行为反应总结：

表2—2 哺乳类与禽类对高低气温的行为反应

高 温		低 温	
哺乳类与禽类			
食欲下降		卷躯、拱背、栖堆	
饮水增多		加强活动	
散群、避免体接触		筑巢	
减少活动		寻找高温小气候	
寻找低温小气候		尽量加食	
哺乳类筑穴			
躲避阳光			
哺乳类	禽 类	哺乳类	禽 类
打泌并躺在新拱		冬 眠	昏 眠
出凉土上			松 羽
唾液吐敷体表			羽毛防护腿爪姿势
夜 牧	展翅		休憩时头插入翅内
	坐在冷土上		
Flipper waving	撒水		
伸卧	增加由腿散热的姿势（如卧蹠）		
夏 眠			

生理适应 (Physiological Adaptation) 动物对气温环境适应的生理方式有：代谢、绝缘和贮热3种。

一) 代谢适应 (metabolic adaptation) 代谢率上升，作为对冷的逆境反应的反复应用，以在适温区休闲代谢增长的形式构成代谢适应；由寒冷诱发的代谢同样上升，以加强动物在低温的生存力。如果仅限于代谢反应，可称之为代谢气温适应 (acclimation)，意即只对一个变因，通常是环境温度的反应。这是一种多半仅在实验场合而难得在生产场合才遭遇的现象。代谢适应的实质，是动物在天冷而食物供应充足的情况，用多吃增热来顶替消耗体组织。

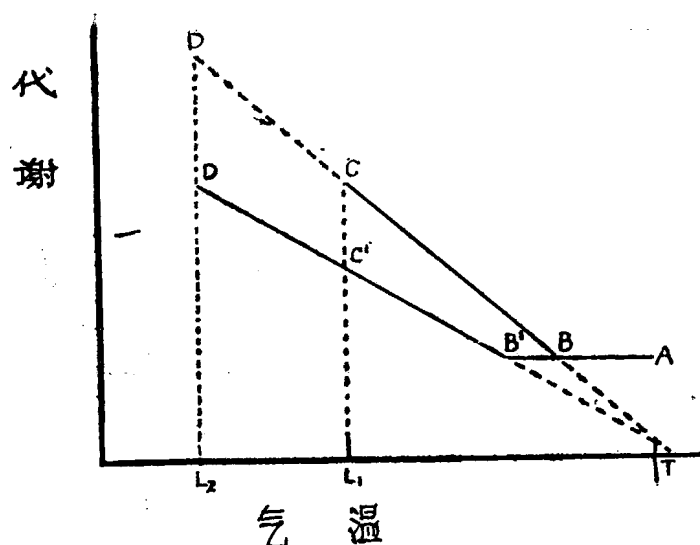


图 2—1 图示动物代谢率与环境温度的关系。动物的绝热力增强，则斜线从BC移向B'C'，转移角度以动物的体温(T)为中轴。在代谢率不变的前提下，临界温度同时从B移到B'，抗冷下限从 L_1 降到 L_2 。以上属于绝热反应。所谓代谢反应，则BC线延伸到D。基于代谢率从C上升到D，同时抗冷下限也从 L_1 降到 L_2 。变换最低代谢率A将会移动B的位置，牵动临界温度。

长期处于寒冷的动物采食量增多。有时反应要有一个间隔(图 2—4)；大白鼠转搬到冷处，并不立即加食，而在一周之后。

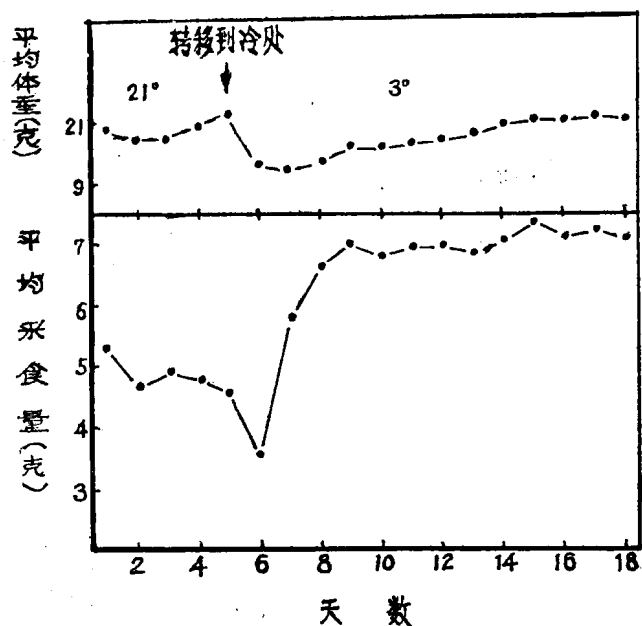


图 2-2 5 周龄小白鼠十只从 21°C 移到 3°C 的平均日采食量与体重。采食量要经过一个拖延阶段。