

全国高等农业院校教材

家畜环境卫生学

第二版

东北农学院主编

畜牧、兽医专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材

家畜环境卫生学

第二版

东北农学院 主编

ND34/05

畜牧、兽医专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材
家畜环境卫生学
第二版
东北农学院 主编

责任编辑 刘博浩
出 版 农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 农业出版社印刷厂
* * *
开 本 787mm×1092mm16开本
印 张 20.75 字数 440千字
版、印次 1981年5月第1版
1998年10月第2版北京第5次印刷
印 数 45,101~50,100册 定价 22.00元

书 号 ISBN 7-109-01657-9/S·1098

第二版前言

本教材自1981年初版问世以来，各校使用后大多认为教材的体系和内容基本上是适用的，但也存在一些缺点，如部分章节内容不够充实，结合兽医专业不够，少数内容前后重复等。这些意见都是正确的。在农业部下达教材修订任务后，即根据部颁修订精神，结合使用者的意见和编者数年的教学实践体会，着手制订修订大纲，分工负责修改、补充和重写。稿成之日，又打印相互征求意见。1987年8月在哈尔滨召开审稿会议，对修订稿进行认真的审查讨论，经编写人修改后交由主编审阅，再由两位副主编和温书斋教授分工定稿。1988年8月在承德召开定稿会议，在原定稿的基础上进行全书的统一协调，并作进一步加工。为集思广益，充分发挥中青年骨干教师在教材修订中的作用，特地邀请东北农学院周忠、山东农业大学吴庆鹤和南京农业大学李如治三位同志参加审稿和定稿会议，并分工修订部分章节。

本版教材在内容和编排上作了较大的调整。初版第一章气象因素与家畜健康和生产力的关系和第二章畜舍内的空气环境，都是为制订家畜环境的控制和改善措施提供理论依据，但气象因素与舍内小气候因素的作用相同，使第二章编写困难，内容贫乏。这次修订把这两章分解为温热环境、光照和噪声以及空气中的有害气体、微粒和微生物三章，如此可以避免重复和充实内容；以后三章基本上还是保持原来的体系。各章节内容无论是新增、重写或修改，都尽可能增添新材料，删除陈旧欠妥之处；与兽医专业关系密切的材料酌情增补。在实验指导部分，某些试验分析方法也作了适当的增改，以适应目前生产技术发展的需要。

经过修订后的教材，无论在编排或内容上，已逐步趋于完善。但这是一门新学科，限于时间和编者的水平，一定还存在一些问题，希使用者和读者提出批评指正。

本版教材中，计量单位一律换算为法定单位(国际单位制)，但多年来计量单位使用比较混乱，对部分法定单位可能有陌生感，为此，书后特附本书常用的计量单位换算表，以资参照。

编者

1989年6月

第二版修订者

主 编 王庆镛 (东北农学院)
副主编 黄昌澍 (南京农业大学)
于炎湖 (华中农业大学)
编写者 温书斋 (北京农学院)
李震钟 (西北农业大学)
郎震美 (北京农业大学)
涂世棕 (吉林农业大学)
姬国栋 (内蒙古农牧学院)
余振华 (山东农业大学)

第一版编审者

主 编 东北农学院 王庆镛
副主编 南京农学院 黄昌澍
华中农学院 于炎湖
编 者 东北农学院 温书斋
西北农学院 李震钟
北京农业大学 郎震美
吉林农业大学 涂世棕
内蒙古农牧学院 姬国栋
山东农学院 余振华

目 录

绪论.....	1
第一章 温热环境.....	4
第一节 体温和热调节	5
第二节 太阳辐射	12
第三节 空气温度	16
第四节 空气湿度	40
第五节 气压和气流	45
第六节 温热因素的综合作用	51
第七节 气候的服习、驯化和适应	58
第二章 光照和噪声.....	66
第一节 光的概念和一般作用	66
第二节 光的生物学效应	70
第三节 光周期对家畜的影响	80
第四节 可见光作用的生理机制	88
第五节 噪声	89
第三章 空气中的有害气体、微粒和微生物	96
第一节 大气中的有害气体	96
第二节 畜舍和畜牧场中的有害气体	100
第三节 空气中的微粒	107
第四节 空气中的微生物	109
第四章 畜牧场的设置	113
第一节 畜牧场场址的选择	113
第二节 畜牧场场地规划与建筑物布局	117
第三节 畜牧场的公共卫生设施	127
第五章 畜舍环境的改善和控制.....	135
第一节 建筑材料的主要特性	137
第二节 畜舍的基本结构及其作用	144
第三节 家畜环境控制与畜舍类型的选择	149
第四节 畜舍的保温与采暖	150
第五节 畜舍的防暑与降温	157
第六节 畜舍的通风换气	164
第七节 畜舍的采光与照明	180
第八节 畜舍的排水与粪尿清除	189
第九节 垫料的使用	192

第十节 家畜饲养密度	194
第六章 畜牧场的卫生防护	199
第一节 畜牧场的环境污染	199
第二节 畜牧场环境污染的途径	201
第三节 畜牧生产废弃物的处理和利用	213
第四节 畜牧场的环境管理	227
第五节 环境卫生监测	233
实验指导	237
实验一 气象因素的测定	237
实验二 畜舍采光的测定和计算	251
实验三 空气中有害气体的测定	253
实验四 畜舍通风量计算	268
实验五 畜牧场设计图的识别	282
实验六 水质检验	292
实验七 饮水氯化消毒有关指标的检验	314
实验八 畜牧场环境卫生调查	319
附录	321
一、计量单位换算表	321
二、国际单位制词冠	323

绪 论

家畜环境卫生学是研究外界环境因素对家畜的作用和影响的基本规律，并依据这些规律以制订利用、保护和改造环境措施的一门学科。其目的在为家畜创造良好的生活和生产条件，以保持健康、预防疾病、提高生产力和降低生产成本，充分发挥家畜的利用价值，来满足人民生活 and 轻工业原料上日益增长的需要。

环境的严格定义是指作用于机体的一切外界因素。家畜的环境大抵可分为物理、化学、生物学和群体(或称社会)四个方面：物理因素有温热、光照、噪声、地形、地势、海拔、土壤、牧场和畜舍等；化学因素有空气、氧、二氧化碳、有害气体、水，以及土壤的化学成分等；生物学因素有饲料、牧草、有害和有毒植物、媒介虫类和病原体等；群体因素有家畜与家畜之间的群体关系，以及人类对家畜所施的饲养、管理、调教和利用。亦即与家畜生活和生产有关的一切外界条件，都属于环境因素范畴。

外界环境因素是异常复杂的，不论是自然因素或人为因素，可以各种各样的方式，经由不同的途径，单独地或综合地对家畜机体发生作用和影响，并且通过家畜机体的内在规律，引起各种各样的反应。外界环境因素具有“有利”和“有害”两方面：一方面，外界环境是动物的生存条件，动物与外界环境经常进行着物质交换和能量交换；动物依赖外界环境而生长、繁殖和生产各种产品；动物接受外界环境的刺激，增强体质和提高生产力。但另一面，外界环境也存在对动物机体有害的各种因素和刺激，动物处在有害的情况下，能发生保护性反应或适应力，以消除或防御之，假如那些有害的因素超过动物机体所能忍受的限度，则家畜生理机能失调，轻则影响健康和生产力，重则引起疾病甚至死亡。这种干扰或妨害机体正常机能而引起生理上和行为上反应的过程称之为“应激”(stress)，而那些引起应激的有害环境因素称为“应激原”(stressor)。例如在一般天气条件下，适度的太阳辐射，具有促进新陈代谢、加强血液循环、增进健康和调节钙、磷代谢等作用，因而常利用日光来治疗疾病或预防疾病；但在炎热的气候条件下，强烈的太阳辐射长时间作用于机体，有可能引起皮肤烧伤、热平衡破坏、甚至于发生日射病死亡。其它如空气、饮水、饲料、畜舍等都是家畜生活不可缺少的资料，它们有时为某些有害物质如病原体、毒物、有害气体、放射性物质等所污染，当污染在一定浓度以下时，可能无害，如果超过一定浓度，就可直接或间接引起毒害或疾病。研究家畜环境卫生学就要充分利用那些有利因素，消除和防止那些有害因素，以保证健康和提高生产性能。

由于科学技术的不断发展，各学科之间的分工愈来愈细，家畜环境卫生学的研究范围也愈有针对性和愈为深化。根据当前国内外畜牧生产的实践证明，无论是集约的或粗放的

经营, 虽都必须重视各种环境因素的研究, 但是在上述各种环境因素中, 水、土两个因素较之空气环境相对稳定, 而且也较易于控制。它们主要通过饮水和饲料作用于家畜, 只要合理组织供水, 可以有效地解决饮水问题; 而饲料的营养和中毒, 以及家畜日常的饲养管理等因素, 已另有饲养、饲料、各论和内科等专门学科。这样一来, 空气环境和为克服空气环境的不良影响而修建的畜舍及其环境, 就成为家畜环境卫生学的主要研究对象, 这对高密度的现代化集约畜牧业更有现实意义。因此本课程所论述的与过去的家畜卫生学截然不同, 不是对所有环境因素面面俱到, 而是以研究空气环境、从而改善和控制空气环境作为基本内容; 一方面阐明在各种空气环境因素作用下, 家畜机体所产生生理反应的基本规律; 另一方面通过人为的改善和控制, 来保持易变的空气环境条件的相对稳定性, 使不会对家畜机体产生应激状态。因此, 目前家畜环境卫生学的主要内容包括下列几方面:

1. 论述太阳辐射、空气温度、空气湿度和气流等温热因素 (thermal factors) 如何单独地或综合地影响机体的生理 (热调节) 过程, 而对家畜的健康和生产力发生影响。

2. 讨论光照和噪声对家畜的作用; 光照如何影响家畜的生理、特别是繁殖机能; 现代养禽业采用那些有效的光照方案。

3. 阐述空气中有害气体、微粒和微生物对家畜的危害性及其控制措施。

4. 研究地形、地势、海拔、土壤、水源等的卫生意义; 土壤和水源的污染来源和自净过程以及防治污染措施; 饮用水的人工净化、消毒方法。

5. 研究畜舍环境的控制措施。如何从畜舍的结构设计和材料选择以及日常的管理上, 达到防寒、隔热、通风换气、采光、排水和防潮等目的。通过设计, 修建理想的畜舍, 以建立最适于家畜生理和生产以及工人劳动的环境, 已成为畜牧生产现代化的标志之一。

6. 研究在兴建畜牧场时, 应如何从场址选择着手, 进行牧场场地和建筑物的合理规划和布局; 注意牧场内的卫生设施, 使整个牧场符合环境卫生的要求。

7. 讨论畜牧场的环境保护, 防止工业三废和农业化肥及农药的污染, 妥善处理和利用家畜粪、尿, 防止畜产公害; 并进行畜牧场的环境卫生监测。

家畜环境卫生学是一门综合性很强的学科, 所涉及的范围非常广泛, 与它有联系的学科也很多。它必须以许多理论科学如物理学、化学、气象学、气候学、微生物学、生理学、生态学、行为学、病理学等为基础; 同时与许多学科如饲养学、繁殖学、育种学、牧场经营管理学、畜牧机械化、农业工程学、临床医学和家畜各论等又有密切联系。

家畜环境卫生学是畜牧、兽医两专业的基础课, 改善和控制环境条件, 维护家畜的健康和提高生产力, 是两个专业的共同要求。在畜牧专业, 它是制订各种家畜的合理饲养管理和利用措施以及设计不同类型畜舍和牧场的理论基础。在兽医专业, 它是一门预防医学, 应特别注意环境因素中能引起家畜机能失调的因素, 注意环境卫生的防护和监测, 防止气源、水源、土壤等传染疾病。但由于畜牧生产愈来愈集约, 在国外许多畜牧业发达国家, 动物的疾病形式已发生很大的变化, 不是大量发生可用疫苗、血清和抗菌素防治的急性、特异性疾病, 而是出现慢性的、逐渐加剧的综合性病征。这些疾病难于诊断, 常造成很高

的发病率和重大的经济损失。要消除这些疾病，同样需要有畜牧生产实践、畜舍建筑设计和环境控制的知识。

近十余年来，在国际上随着家畜遗传育种、家畜营养与饲养、家畜环境生理、家畜生态、农业工程等学科的进展，饲料工业的建立和发展，以及新技术在畜牧生产中的广泛应用，畜牧生产有了飞跃的发展，家畜生产力和畜产品商品率有了很大提高，饲料消耗明显降低。这些成绩的取得，除了品种、饲料、饲养管理技术、防疫卫生外，家畜环境的改善是一个重要手段，例如目前广泛采用的工厂化饲养方式，不仅要求严格的畜舍环境，而且也为实现家畜环境的控制创造了条件。

由此可见，畜牧生产已从家畜对环境因素的被动防御与适应的时代，而进入可人工控制环境、使之符合家畜生理要求、从而为最有效地发挥家畜生产力、均衡获取优质产品成为可能的时代。

当前，我国社会主义建设已进入新的发展时期，要在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的社会主义强国。《中共中央关于加快农业发展若干问题的决定》中指出，要“大力发展畜牧业，提高畜牧业在农业中的比重。要在我国牧区和大中城市郊区，有计划地兴办一批现代化畜牧场和家禽场”。摆在畜牧兽医工作者面前的任务是光荣而艰巨的。现阶段，家畜环境卫生学在畜牧生产现代化中的任务是：

首先，应吸取国内外有关家畜环境卫生方面的科研成果、先进技术，整理和总结我们祖先的宝贵遗产和广大劳动人民和农牧场职工的实际生产经验，充实家畜环境卫生学的内容，使成为既有理论，又能指导畜牧生产实践的科学。

根据我国各地区的自然气候特点，并在条件可能时，建立人工气候室，研究各项气象因素对家畜健康和生产力的影响规律，结合国内外的研究成果和实践经验，逐步制订各种家畜的空气环境卫生参数。

在家畜环境卫生理论和卫生参数的基础上，按照我国各地的自然条件和经济特点，探索改善和控制畜舍环境的有效措施。并为不同家畜的环境控制畜舍的设计提供理论依据。

各地区在兴建牧场时，必须按照农牧结合、生态平衡的基本原则，进行合理的场址选择。建筑物布局和场内公共卫生设施。在牧区，应考虑自然环境的改善措施，减轻灾害性天气引起的损失。

研究改善饮水、粪便处理和利用以及防止土壤污染等环境保护措施，定期进行卫生监测，以消除可能引起家畜疾病的病原。

调查国内现有现代化畜牧场存在的环境卫生问题，有哪些值得推广的经验，哪些应加以改进的，总结经验教训，以供各地区今后兴建现代化畜牧场时参考。

(王庆儒)

第一章 温热环境

温热环境是指炎热、寒冷或温暖、凉爽的空气环境，是影响家畜健康和生产力的重要环境因素。它是由空气温度、湿度、气流（风）速度或和太阳辐射等温热因素综合而成。在这里必须首先阐明与温热环境有关或者就是温热环境的同义语——气象、天气、气候和小气候几个名词的基本概念。

气象是指大气下层（对流层，在该层内每上升100m，气温下降0.6℃。一切天气现象都在这一层发生，参见第三章。）所发生的冷、热、干、湿、风、云、雨、雪、霜、雾、雷、电等各种物理现象。而决定这些物理状态和物理现象的因素称为“气象因素”，包括气温、气湿、气压、气流、云量和降水等。这些因素之间存在极其密切的关系，并且复杂地相互结合和相互影响。气象因素在一定时间和空间内变化的结果所决定的大气物理状态如阴、晴、风、雨等称为“天气”。气候是指某地区多年所特有的天气情况。

所谓“小气候”是由于地表性质不同，或人类和生物的活动所造成的小范围内的特殊气候。例如农田、牧场、温室、车间、住房、畜舍的小气候。畜舍中小气候的形成除受舍外气象因素的影响外，与舍内的家畜种类、密度、垫草使用、外围护结构的保温隔热性能、通风换气、排水防涝，以及日常的饲养管理措施等因素有关。畜牧场的小气候除与所处的地势、地形、场区规划、建筑物布局等有关外，牧场的绿化程度亦起很大的作用。

决定环境温热程度的主要因素是气温，在自然界中，气温主要来源于太阳辐射。太阳辐射是造成温热环境变化的根本原因，太阳辐射的光和热也直接对家畜发生作用。

温热环境主要通过热调节对家畜发生影响。因为家畜是恒温动物，体内代谢产热必须及时排出体外，才能维持体温的恒定。畜体代谢产热是通过组织传导和血液循环的对流作用带到皮肤和呼吸道表面，然后以辐射、传导、对流和蒸发四种方式散失于周围环境中，而散热的难易以及产热和散热能否达到平衡，主要决定于环境的温热条件，特别是气温。

在炎热或严寒的天气条件下，动物体所发生的许多生理机能的改变，大多与热调节有关，或者为热调节生理过程中的一个组成部分，例如代谢率（产热量）、心肺活动、血液成分、内分泌机能、采食量、耗水量以及行为等的变化，都是为了维持体温正常，甚至有认为生产力如生长、肥育速率、产乳量、产蛋量等的下降，也都是以热调节为目的，而不是其后果。

自然界的温热条件还可通过饲料植物的生长、化学组成和季节性供应，以及寄生虫和其它疾病的发生和传播，间接对动物的健康和生产力发生作用。例如在热带和亚热带炎热多雨地区，是植物生长的适宜条件，草料供应四时不绝，但这些地区家畜的健康和生产力，

并不优于温带家畜，畜牧业并不发达，除高温、高湿和强烈太阳辐射直接威胁机体外，饲料植物的组成也有很大关系。在炎热多雨地区，植物生长较快，粗纤维含量较多，可消化物质或净能含量相对较少。多雨地区土壤中的矿物质和含氮物易被淋洗，饲料植物中的矿物质和粗蛋白质含量亦较少。吃含粗纤维较多的饲料，将更加重反刍动物的热负担；矿物质和蛋白质较少，对生长发育当然不利。因此同品种的家畜在热带地区体型往往变小，生产力下降。

温热环境对家畜健康和生产力的影响，因动物种类、品种、个体、年龄、性别、被毛状态，以及对气候的适应性和不良气象因素的严酷程度及持续时间而不同。

第一节 体温和热调节

一、体温、皮温和平均体温

体温是指身体深部的温度，是衡量恒温动物热平衡唯一可靠的指标。要测量深部的温度比较困难，而且深部的温度也不完全相同。一般以直肠温度作为深部体温的代表。在适温和不太热的情况下，直肠温度较颈动脉血液温度高 $0.1-0.3^{\circ}\text{C}$ ；在严重的热应激下，两者的温度相同。除直肠温度对环境条件迅速变化的反应稍迟外，直肠温度的变化能表示深部温度的相应变化。反刍动物的瘤胃由于微生物发酵产生大量的热，其温度高于直肠 2.2°C ；但在瘤胃排空时，瘤胃与直肠温度之差下降为 0.8°C 。饮冷水亦可使瘤胃温度下降。由于直肠温度能代表体温，又易于测量，故长期以来均以直肠温度表示体温。测量时应使温度表的感应部位伸入直肠深部，例如成年牛、马等大家畜为 15cm ，羊、猪等为 10cm ，小家畜和家禽为 5cm 。伸入过浅，温度较低，不能代表身体深部的温度。

外界温度一般较体温为低，且体温主要由皮肤发散，所以愈向身体外部，温度愈低（图1-1）。在皮肤表面的温度称为“皮温”。因为皮肤和被毛介于身体和外界之间，它受身体本身和外界温热条件的双重影响，因此常随外界条件的变化而变化。同时，身体各部的皮温也不相同，凡距离身体内部较远，被毛保温性能较差，散热面积较大，血管分布较少和皮下脂肪较厚的部位，皮温较低，受外界的影响也较大。所以四肢下部、耳部和尾部在低温时皮温显著下降，例如据测定，犍牛在 35°C 的高温环境中，直肠温度为 39.8°C ，身体各部位的皮温没有很大的差异，范围在 $36.5-38.5^{\circ}\text{C}$ 之间；可是在 5°C 的低温中，直肠温度为 39.5°C ，胸部皮温为 31.2°C ，耳部仅 7°C ，相差20余度。

体温既然从内部向外部递降，而外部温度、特别是皮温，每随气温变化而变化，因之整个动物身体的平均温度（平均体温）和蓄热量亦相随变化，平均体温可按下列公式估计之：

$$\text{平均体温} = 0.7 \text{ 直肠温度} + 0.3 \text{ 平均皮肤温度}$$

由于皮温随部位而不同，所以应据不同部位面积大小计算平均皮温。通常测定若干点，以测定点部位占全身面积的百分数计算之。例如计算牛平均皮温的公式为：

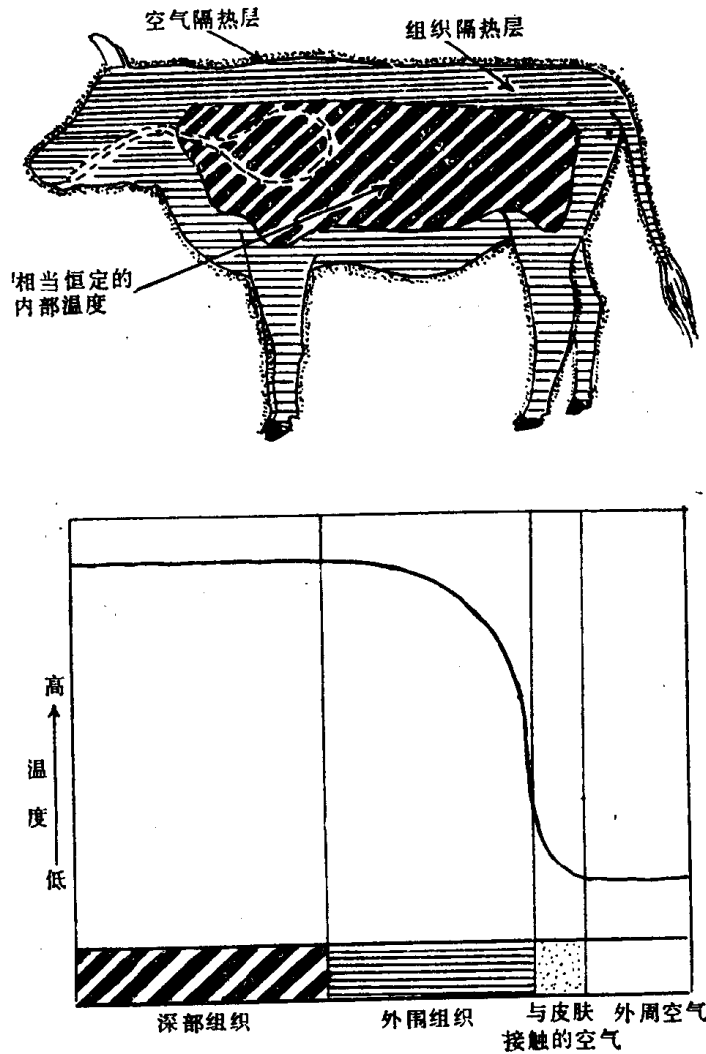


图 1—1

上 动物的体温分布 下 从动物体内部到大气的温度梯度(阴影表示与图上的相应部位)
(据Lee等, J.Animal Sci., 7:391,1948)

$$\text{平均皮温} = 0.25T_{\text{躯干上部}} + 0.25T_{\text{躯干下部}} + 0.32T_{\text{四肢上部}} + 0.12T_{\text{四肢下部}} \\ + 0.02T_{\text{垂皮}} + 0.04T_{\text{耳}}$$

式中 T 为该部位的皮温, 系数为所占全身皮肤面积的百分数。躯干上部和躯干下部各测前后左右 4 点; 四肢上部前肢测肘部外侧 2 点; 后肢测股部和胫部外侧各 2 点; 四肢下部测管部外侧 4 点; 垂皮测下部左右 2 点; 耳测右耳上部 1 点。同部位 2 点以上均取其平均数。猪的平均皮温亦可按如下的经验公式约略推算之;

$$\text{躯体皮温} = 0.007T + 28.9$$

式中 T 为气温(°C)。

根据平均体温和身体的比热可以算出全身的蓄热量。各种物质的比热以水为最大, 肥胖动物含脂肪较多, 含水相应较少, 其比热亦较小。一般含脂肪不过多的动物的比热以 3.5 (J/°C·g) 计(脂肪比热为 1.88, 血液 3.77, 肌肉 3.45, 骨骼 1.26—2.93, 水 4.184)。

体重500 kg 动物的蓄热量相当于 $500 \times 3.5/4.184 = 418$ kg 的水，如果该动物平均体温升高 1°C ，等于增加1749kJ的蓄热。

二、体温的来源——产热

体温来自体内营养物质的氧化。动物的能量代谢不断进行，则不断有热产生。能量代谢的强度或速度称为“代谢率”，代谢率愈高，则产热愈多，因此产热量是衡量代谢率的重要指标。测定动物产热量有直接测热法和间接测热法两种：前者是利用测热室测定动物体发散的辐射、传导和对流的非蒸发散热以及水分蒸发的潜热；后者是利用呼吸商或氮、碳平衡试验估计产热量。这些内容在生理学和饲养学中都有详细的介绍。动物基本由下列四种代谢活动产热。

(一) 基础代谢产热 基础代谢在动物常称为“饥饿代谢”。指饥饿、休息、温度适宜和消化道没有养分可吸收的情况下的产热量。也是动物的最低产热量。唯动物在上述条件下睡眠时的产热量还要降低10%。体型愈大的动物，以绝对值计，产热量愈多。例如体重441 kg 的马，每天产热20849kJ，体重2 kg 的鸡为594kJ，体重0.018 kg 的小白鼠为16kJ；但如果以每单位体重(kg)计，分别为47.28、297.00和888.89kJ，亦即体重愈小的动物每单位体重的产热量愈多；如果以每单位体表面积(m^2)计，分别为3966、3946和4971kJ，亦即每平方米体表面积的产热量很相似，均在4200kJ左右。因此动物的产热量是比例于体表面积而不是比例于体重（但在生命早期如人在1岁以内是比例于体重，生长迅速的动物则较短），这就是所谓“鲁伯纳体表面积定律”（Rubner's Surface-Area Law, 1902）。因为体表面积较难测量，因而设计仍用体重估计的方法，其原理是根据形态相同、密度相等的物体表面积比例于重量(W)的 $2/3$ 次方($W^{0.67}$)，但经基础代谢与体重关系的实际测量，发现两者的关系以 $W^{0.75}$ 较为密切。目前估计代谢体重是用 $W^{0.75}$ 。成年动物不论体重大小，基础代谢产热量均可以下式估计之：

$$\text{基础代谢} = 293W^{0.75} \text{ (kJ/日)}$$

式中W为体重公斤数，系数293代表每公斤代谢体重的平均产热量(kJ/日)。

同一种动物的基础代谢率因性别、年龄、个体、营养状态、神经类型和内分泌机能等而不同。公畜高于母畜，阉畜与母畜相似；代谢率随年龄增长而下降；神经敏感、甲状腺活动较强的代谢率较高；营养良好，较肥胖的动物，代谢率亦较高。

(二) 消耗饲料产热 当动物休息于舒适的环境中，产热量决定于采食量。饥饿动物因采食而增加的产热量称为“体增热”(heat increment, 亦译作“热增耗”、“增生热”、“食后增热”)或“特种动力作用”(specific dynamic action, SDA)。因为动物在生活过程中，体内每个细胞都在不断地进行化学反应，其中有些化学能以热的形式散失，这种反应在基础代谢的条件下，下降到最低值。随着采食和饲料的消化吸收，各种细胞的反应加强，同时也伴随有较多的热能丧失，这是体增热的主要来源。其次，采食、消化和瘤胃微生物发酵，也是体增热的部分来源。采食量愈大，体增热愈多。体增热的产量相当大，

反刍动物对精料的体增热约占饲料总能量的15—20%，占代谢能的25—40%；对粗料约占总能量的20%，代谢能的40—80%。例如1kg玉米的总能为18.83MJ，代谢能为13.39MJ，体增热为5.37MJ；每公斤小麦秆的总能、代谢能和体增热分别为18.58、5.77和4.85kJ。以纯养分而论，蛋白质的体增热最大，约占代谢能的30%；脂肪最少，约占代谢能的5—10%；碳水化合物居中，约占代谢能的10—15%。

(三) 肌肉活动产热 动物因起卧、站立、步行、运动、觅食、争斗和劳役等肌肉活动，都增加产热量。除马属动物外，各种动物站立时的能量消耗较躺卧时增加15%。体重450kg的牛每步行1.6km，产热量增加1381kJ。役畜工作时所消耗的能量仅有20%转变为机械能，其余80%直接转变为热能。强烈的肌肉劳动可使产热量增加10倍以上，例如一匹重型挽马，站立时每小时消耗能量2.80MJ，如以180kg的挽力曳挽车辆或农具，每小时行走3.5km，则能量消耗增加到26.51MJ。

(四) 生产过程产热 动物的生殖、生长和生产乳、肉、蛋等产品，都在维持的基础上增加产热量，除因消耗较多的饲料增加体增热外，体内各器官、组织亦因生产而加强代谢活动，增加产热量。例如，妊娠后期的母畜，产热量较空怀母畜提高20—30%；一头日泌乳20kg的奶牛，产热量较干奶期增加50%。

体内不同器官、组织的产热量不同，在休息时，消化道产热约占25%，肝脏占10—15%，肌肉占20%，其余为心脏、肾脏、神经系统和皮肤。某部位的产热量与该部位的蛋白质合成代谢具有高度的相关性。

三、体温的去路——散热

如前所述，体内无论产热多少，必须及时排出体外，才能维持体温的恒定。康隆(Cannon, 1932)比如说，急剧的肌肉劳动连续20min，其产生的热如不及时排出，可使体内白蛋白类物质凝固像一个熟鸡蛋。机体是通过下列四条途径散热的。

(一) 辐射散热 辐射是指物体表面连续放射能量。辐射能能穿透真空，当辐射能照射在物体上不能穿透时，则部分被吸收变为热能，部分被反射。高于绝对零度(0K或-273℃)的任何物体都能放出辐射能，并随辐射体温度的升高，最强辐射波长逐渐变短。动物皮肤的辐射波长在5000—20000nm之间，大部分为9000nm。据维恩位移定律(Wien's Displacement Law)，某一物体表面的最强辐射波长为 $2897/T\mu\text{m}$ ，T为绝对温度。当皮肤平均温度为30℃时，其最强辐射波长为 $2897/(30+273)=9.6\mu\text{m}$ 或9600nm，与黑体的最强辐射波长9660nm相类似。黑体辐射的总能量比例于绝对温度的4次方(史蒂芬-玻尔兹曼定律, Stefan-Boltzmann Law)，即：

$$H_R = \sigma T^4$$

式中 H_R 为辐射散热量， σ 为史蒂芬-玻尔兹曼常数，等于 $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ，T为绝对温度。动物一方面通过长波辐射散热，同时又从环境辐射得热，动物的辐射散热减去环境辐射得热，才是净辐射散热。因此动物的净辐射散热量可以下式表示之：

$$H_R = A_s \sigma (\epsilon_1 T_{a,s}^4 - \epsilon_2 T_s^4)$$

式中 A_s 为动物可发生辐射热交换的体表面积, ϵ_1 为动物体表的发射率(emissivity), ϵ_2 为环境的发射率, $T_{a,s}$ 为动物体表面的绝对温度, T_s 为环境的绝对温度。所谓“发射率”是指某种物体表面放射或吸收辐射能的能力。黑体能吸收全部外来的辐射能, 一个完全的反射体则完全反射外来的辐射能。一个善于吸收辐射能的物体, 亦必是一个善于放射的物体。发射率的大小自完全反射的零到完全吸收的1。除光亮的金属外, 一切物体的红外线的发射率与黑体相似(表1—1)。

表 1—1 各种表面对红外线的发射率

	颜 色	发 射 率
美洲驯鹿	棕	1.00
雪 兔	白	0.99
灰 狼	浅 灰	0.99
人的皮肤	粉 红	0.99
白 漆 面	白	0.95
光亮的铜		0.15
光亮的银		0.02
青 草	绿	0.99

(据 Blaxter, The Energy Metabolism of Ruminants, p.156, 1962)

无论动物被毛和周围物体的颜色如何, 对红外线的辐射率均可以1表示。如果知道动物被毛表面的温度和有效的辐射面积及环境的平均辐射温度*, 在没有太阳辐射的影响下, 即有可能推算动物的净辐射散热量。

(二) 传导散热 热传导是通过分子或原子的振动而传递, 分子本身仍保留其原来的位置。动物体皮肤和呼吸道都有传导散热作用。呼吸道是将热传给较冷的吸入空气, 而皮肤可通过空气或与地面的接触而传导。但空气为热的不良导体, 传导散热作用有限, 靠空气传热的主要是对流。如果家畜躺卧在导热性大、温度低的地面上, 将使大量的热传给地面。水的导热性为空气的24倍, 家畜在野外遭雨淋, 或在冷水中沐浴, 大量的热传给水。虽然这些都不是家畜的正常散热过程, 但在家畜管理上或加以利用或避免之。传导散热可以粗略地以下式表示之:

$$H_{cd} = A_s K (T_s - T_m)$$

式中 H_{cd} 为传导散热量, A_s 为动物体表与地面接触的有效面积 (m^2), K 为地面的传热系数 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), T_s 和 T_m 分别为动物体表和地面的温度 ($^\circ C$)。

(三) 对流散热 由于空气导热性不良, 以空气为介质进行散热的主要是对流, 皮肤和呼吸道表面均可发生对流散热作用。所谓“对流”是受热物质本身的实际运动, 将热自

* 平均辐射温度 (mean radiant temperature, MRT) 指环境辐射热的平均强度, 因为动物周围各种物体的辐射强度不同。某一环境的 MRT 可根据黑球温度及其周围的气流速度按下式估计之。由于黑球温度的高低受黑球对流散热的影响, 故用风速校正之。

$$MRT = t_g + 2.4v^{0.16}(t_g - t_a)$$

式中 t_g 和 t_a 分别为黑球和空气温度 ($^\circ C$), v 为风速 (m/s)。

一处移至另一处。对流的形式有两种：一种由外力作用发生的称为“强制对流”（forced convection），一种是由物质密度变化引起，称为“自然（或自由）对流”（natural or free convection）。强制对流为空气流动或动物活动时所产生；而自然对流在空气或动物静止时产生，由于空气比热很小（ $1\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ），与体表接触的一薄层空气，受热温度迅速上升，为周围较冷较干燥的空气所代替，而形成自然对流散热作用。对流散热量可简略地以下式表示之：

$$H_{cv} = A_{sh}(T_a - T_s)$$

式中 H_{cv} 为对流散热量， A_{sh} 为动物可供对流的体表面积（ m^2 ）， h 为对流系数（ $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ）， T_a 和 T_s 分别为气温和皮温（ $^{\circ}\text{C}$ ）。对流系数较难估计，受许多因素的影响，如动物体的大小、形态、气流的朝向、风速的大小等。据估计体重 60 kg 的猪，在 0.2 m/s 风速中的强制对流系数为 $3\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ，而 4 kg 的猪为 $5\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ；当风速增加到 0.5 m/s 时，强制对流系数分别为 5 和 $8\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 。在环境温度 20—30 $^{\circ}\text{C}$ 间，自然对流系数约为 3—4 $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

（四）蒸发散热 通过皮肤和呼吸道表面水分蒸发的散热作用。每克水蒸发能吸收 2.43 kJ 的汽化热（潜热）。

1. 皮肤蒸发 皮肤的蒸发机制有二：一为渗透蒸发，即皮肤组织水分通过上皮向外渗透，在皮肤表面蒸发，当皮肤血管扩张、血液含水量增加时，渗透作用也大为加强。因为渗透蒸发不见有水滴，常称为“隐汗蒸发”。在一般天气条件下，人每天的隐汗蒸发量达 600—800 ml，为呼吸蒸发的二倍。另一种为出汗蒸发，即通过汗腺分泌，使汗液在皮肤表面蒸发。出汗多时，每见皮肤表面有水滴残留，故又称为“显汗蒸发”。除马属动物外，家畜的汗腺机能都不发达或无汗腺。家畜大多全身有毛，毛层湿度高，对流作用弱或无；当处于高温汗腺分泌多时，汗液很难在皮肤表面蒸发，每沿毛纤维向外渗透，最后在被毛表面或毛尖蒸发，这时所吸收的汽化热大多来自大气，故对机体的散热作用不大。所以在高温时必须同时增加渗透蒸发和呼吸道蒸发。

2. 呼吸道蒸发 呼吸道粘膜经常保持潮湿，水汽压大，温度也高。动物在吸气时，水汽压低的空气通过呼吸道（或和口腔），这时呼吸道粘膜的水分子很容易逸入该空气中而发生蒸发作用；此外吸入气的温度通常低于体温，因经呼吸道的传导、对流的传热作用，温度升高，饱和压（参见第四节）亦随之提高，从而能容纳更多的水汽。呼吸道蒸发散热，特别是高温喘息的蒸发散热是发生于上呼吸道，而不是在肺部。

估计蒸发散热量的理论公式为：

$$H_e = KA_n V^n (P_s - P_a)$$

式中 H_e 为蒸发散热量； K 为蒸发常数，它与蒸发面的几何形状有关，例如圆柱形物体的蒸发率随圆柱直径的缩小而增大，水平面的蒸发率又显著低于圆柱面； A_n 为动物体的有效蒸发面积； V 为气流速度， n 为风速指数； P_s 为畜体蒸发面的水汽压， P_a 为空气水汽压。

在实践中常用体重减差法、呼吸面罩法、皮肤覆皿法和氯化物沉积法等来直接或间接