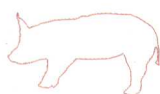
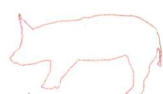
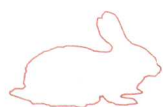
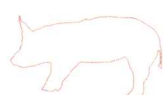
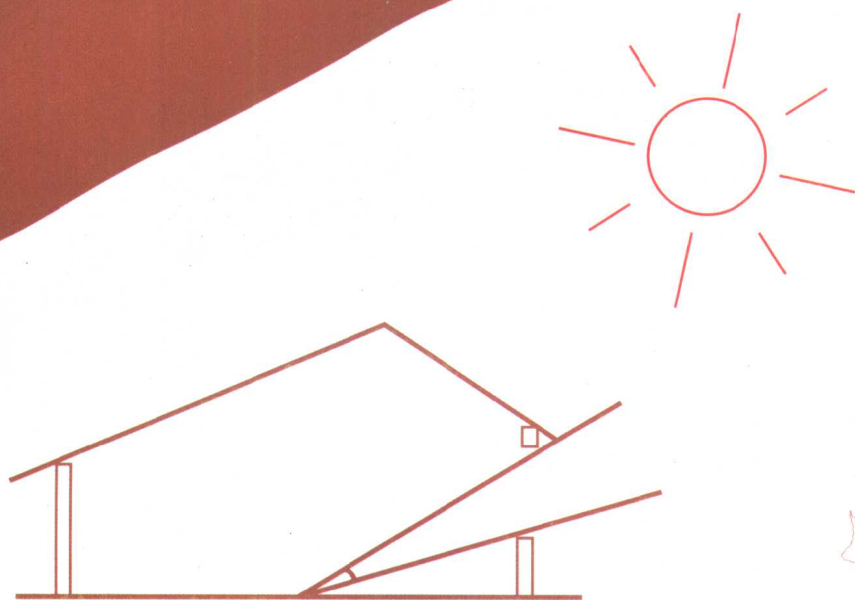


家畜环境卫生学

布仁 王思珍 郭宏 主编



长 春 出 版 社

家畜环境卫生学

布仁 王思珍 郭宏 编著

长春出版社

图书在版编目(CIP)数据

家畜环境卫生学/布仁主编. 长春: 长春出版社, 2002. 12

ISBN7-80664-427-X

I. 家… II. 布… III. 家畜—卫生学 IV. S852.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100314 号

书名: 家畜环境卫生学

编著: 布仁 王思珍 郭宏

出版: 长春出版社

(长春市建设街 43 号)(邮编: 130061)(电话: 8569938)

经销: 长春出版社

印刷: 内蒙古民族大学印刷中心

* * *

开本: 787×1092 毫米 16 开本

印张: 22.5 字数: 518.30 千字

版、印次: 2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1-1000 册 定价: 28.00 元

前 言

我国畜牧业正处于由传统畜牧业向现代化畜牧业,自给经济向商品生产转化的势头,生产结构正在进行合理化的调整阶段,家畜环境与环境管理对畜牧生产的重要性日益显现出来。畜牧生产的成败关键是投入/产出之比,取决于家畜遗传因素和环境条件。

家畜环境科学的迅速发展,对家畜环境卫生学对这门学科提出了更高的要求。为了适应我国高等农业教育深化改革的需要和畜牧生产经营实现两个转变的需要,面向国家现代化建设,面向市场经济发展,科学技术为生产服务。编写组的成员根据多年来教学与科研的实践,并参阅了国内外的有关文献资料,认真学习吸收各家所长,编写成本书。

本书以教科书的方式编写,适用于畜牧、兽医专业的本、专科学生,也可供从事该专业科技人员使用。我们在编写过程中,力求加强理论性,体现应用性,注意实践性;遵循教学规律,具有科学性、系统性,和广泛的适应性,又具有先进性和时代特征。本书对畜牧场环境污染与保护,作了较全面系统的论述,并对畜舍空气环境的改善与调控,温热环境对家畜热调节,生理机能及生产力水平影响等内容作了较详细的介绍。在编写各章节时,尽可能增加新内容,新材料,以适应畜牧业生产可持续发展的要求。

在编写本书过程中,始终得到内蒙古民族大学及教务处领导的重视和支持,得到校内外同仁的热情帮助。本书承蒙华中农业大学于炎湖教授、沈阳农业大学谢明文教授、吉林农业大学娄玉杰教授审阅并提出具体修改意见。对此,编者谨表衷心的感谢。

本书涉及的学科领域较广,编者的学术水平有限,加之编写的时间仓促,不足之处在所难免,恳请专家学者及广大读者批平指正。

2002年7月

主 编:布仁

副主编:王思珍 郭 宏

编写者:(按姓氏笔画排列)王思珍 王 维

布 仁 陈卫红 贾伟星 郭 宏

主 审:于炎湖(华中农业大学)

娄玉杰(吉林农业大学)

谢明文(沈阳农业大学)

目 录

绪 论	(1)
第一章 温热环境对家畜健康和生产力的影响	(3)
第一节 体温和热调节	(4)
第二节 太阳辐射	(10)
第三节 空气温度	(13)
第四节 空气湿度	(39)
第五节 气压和气流	(44)
第六节 温热因素的综合作用	(49)
第七节 气候的适应和驯化	(57)
第二章 光照和噪声	(79)
第一节 光的概念和一般作用	(79)
第二节 光的生物学效应	(83)
第三节 光周期对家畜的影响	(92)
第四节 可见光作用的生理机制	(100)
第五节 噪声	(101)
第三章 空气中的有害气体、微粒和微生物	(107)
第一节 大气中的有害气体	(107)
第二节 畜舍和畜牧场中的有害气体	(111)
第三节 空气中的微粒	(118)
第四节 空气中的微生物	(120)
第四章 畜牧场的设置与环境规划	(124)
第一节 场地选择	(124)
第二节 畜牧场场地规划与建筑物布局	(130)
第三节 场内公共卫生设施	(138)
第四节 畜物场废弃物的处理	(144)
第五节 畜牧场的绿化	(159)
第五章 畜舍环境的改善和控制	(165)
第一节 畜舍的建筑材料和围护结构	(165)
第二节 畜舍的分类与特点	(178)
第三节 畜舍的防寒与供暖	(179)
第四节 畜舍的防暑与降温	(187)
第五节 畜舍的通风换气	(192)

第六节	畜舍的采光	(208)
第七节	畜舍的排水与除粪	(215)
第八节	家畜的饲养密度	(219)
第九节	畜舍的垫料	(231)
第六章	畜物场的环境污染与保护	(234)
第一节	环境概述	(234)
第二节	环境污染	(236)
第三节	大气污染对家畜的危害	(241)
第四节	土壤污染对家畜的危害	(246)
第五节	水体污染对家畜的危害	(250)
第六节	畜牧生产对环境的污染	(259)
第七节	畜牧场环境卫生监测	(262)
实验指导		(266)
实验一	气象因素的测定	(266)
实验二	畜舍采光的测定和计算	(281)
实验三	空气中有害气体的测定	(283)
实验四	畜舍通风量计算	(298)
实验五	畜牧场设计图的识别	(313)
实验六	水质检验	(322)
实验七	饮水氯化消毒有关指标的检验	(343)
实验八	畜牧场环境卫生调查	(348)
附录		(350)
附录一	计量单位换算表	(350)
附录二	国际单位制词冠	(352)

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定利用、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,从而获得更多更优的畜产品。

随着我国畜牧生产规模的不断扩大和集约化程度的迅速提高,畜牧场环境改善和畜产品公害防制问题也日益突出,特别是畜牧业集中的城市及工矿区,更是迫在眉睫。

但是,环境的严格定义是指作用于机体的一切外界因素。家畜的环境大概可分为物理、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,都属于环境因素的范畴。

畜舍环境是家畜及其周围有限空间互作形成的复杂系统,其调控也必须采取综合措施。在调控思路上,一是应综合考虑畜舍环境与生产工艺关系,舍内环境与舍外环境的关系;二是要充分考虑和利用动物的适应机能,而不应单纯依靠工程手段去盲目追求创造符合环境参数标准的环境;三是要着重考虑畜禽周围局部环境的改善,而不以保障整个畜舍空间环境的达标为目的;四是严格的卫生防疫制度必经配合有效的工程手段,方能保障畜群健康和安全。

牧场生产工艺(饲养方式和饲养密度,饲喂方式、饮水方式,清粪方式及卫生防疫制度等)与畜舍内、外环境有密切关系,如清粪方式(水冲或水泡粪,高床或厚垫草定期清粪,粪尿能分离的干清粪等)不仅关系到舍内空气卫生状况,也关系到粪污处理利用的难易及其对环境的污染,因此,采用有利于环境改善的科学工艺,将大大降低环境调控的难度和相应的投资和能耗。

舍外环境直接或间接地影响舍内环境,而舍外环境取决于当地气候和其它自然条件,来自场外和牧场自身的污染等,因此,合理地选址和规划、布局牧场建筑,绿化牧场,搞好粪便污水处理,严格卫生防疫制度等都将改善场区环境并有利于舍内环境调控。

近年来,发达国家规定牧场建设必须有与规模相适应的土地面积(如每饲养 30 头存栏猪必有 1hm² 土地)一是为就地消纳牧场的粪污,二是保障实施不同畜群专业场(如蛋鸡生产种鸡场,孵化场、育雏场、育成场和蛋鸡场等),场间保持一定卫生间距的措施,做到专业场的全场“全进全出”,从根本上杜绝了疫病的交叉感染和传播。

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是愈有针对性和愈为深化,因此本课程所论述的主要内容是阐述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。

当前,我国已加入 WTO,对畜产品标准要求越来越高,畜牧业的发展除了饲养技术和饲料水平的提高外,家畜环境已成为畜牧业发展的主要因素,能否有效的控制家畜环境,生产“绿

色”畜产品是摆在畜牧业工作者面前的主要课题。目前,在家畜环境方面,在我国表现突现的问题是:一是畜舍的环境功能意识模糊,许多猪、鸡舍几乎完全搬用发达国家大型全封闭式畜舍,并且其中相当一部分畜舍设备直接购自外国。通过使用,在许多方面发现这种畜舍形式不适合当地气候,不能形成理想环境,最终不得不再大量投资进行改建。二是在生产工艺上忽视国情,比如猪舍用水冲清粪,片面追求节省人工等,结果是人工管理被淡化,舍内外环境质量恶化,资源消耗增加,三是全盘引进发达国家大型畜牧场整套技术设备时忽略了发达国家因粪便污染环境所制定的有关保护环境的法律法规和采取的有关粪便及生产污水处理,利用的措施和设施。由此可见,改善家畜环境,树立“现代畜牧学观”走畜牧业持续发展的路子,以保证人民生命健康为前提,是家畜环境工作者的主要任务。

现阶段,家畜环境卫生学在畜牧业现代化中的任务是:积极吸取国内外有关家畜环境卫生学方面的科研成果、先进技术,根据我国各地区的气候条件、生产特点,切合实际地研究各项气候因素对家畜健康和生产力的影响规律,制定家畜环境卫生参数,制定环境保护的措施,消除环境引起疾病的病原,从而使畜牧业健康有序的发展。

第一章 温热环境对家畜健康和生产力的影响

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、密度、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°C 。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、排水防潮,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和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,运行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,甚至有人认为生产力如生长、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、品字、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 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$,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,犊牛在 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 $36.5\sim 38.5^{\circ}\text{C}$ 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,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:

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

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(℃)。

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 $3.5(\text{J}/\text{℃}\cdot\text{g})$ 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 500kg 动物的蓄热量相当于 $500 \times 3.5/4.184 = 418\text{kg}$ 的水,如果该动物平均体温升高 1℃ ,等于增加 1749KJ 的蓄热。

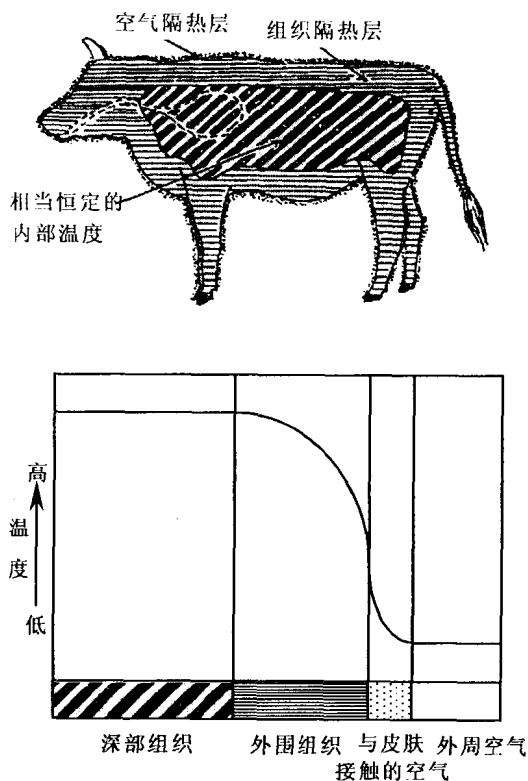


图 1-1

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)

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 441kg 的马,

每天产热 20849KJ, 体重 2kg 的鸡为 594KJ, 体重 0.018kg 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“鲁伯纳体表面定律”(Rubner's Surface - Area Law, 1902)。因为体表面积较难测量, 因而设计用体重估计的方法, 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%, 对粗料约占总能的 20%, 代谢能的 40~80%。例如 1kg 玉米的总能为 18.83MJ, 代谢能为 13.59MJ, 体增热为 5.37MJ, 每公斤小麦秸秆的总能量、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, 产奶量较干奶期增加 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 $2897/T_{um}$, T 为绝对温度。当皮肤平均温度为 30℃ 时,其最强辐射波长为 $2897/(30 + 273) = 9.6um$ 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 $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$, 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:

$$H_R = A_s (\epsilon_1 T_a^4 - \epsilon_2 T_s^4)$$

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 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,把大量的热传给水。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方式主要是对流,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的,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 ($1J/g \cdot ^\circ C$) 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:

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

式中 H_{cv} 为对流散热量, A_{sa} 为动物可供对流的体表面积 (m^2), h 为对流系数 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), T_s 和 T_a 分别为气温和皮温 ($^\circ C$)。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 60kg 的猪,在 0.2m/s 风速中的强制对流系数为 $3W/m^2 \cdot ^\circ C$,而 4kg 的猪为 $5W/m^2 \cdot ^\circ C$;当风速增加到 0.5m/s 时,强制对流系数分别为 5 和 $8W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。在环境温度 20~30 $^\circ C$ 间,自然对流系数约为 3~4 $W/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

(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 2.43KJ 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—800ml,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:

$$H_e = K A_e V^n (P_s - P_a)$$

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体直径的缩小而增大,水平面的蒸发率又显著低于圆柱面; A_e 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估计全身、呼吸道或局部皮肤的蒸发量,而后换算为热量。

上述四条散热途径中的辐射、传导和对流合称为“非蒸发散热”、“可感散热”或“显热发散”(sensible heat loss)。这部分热能可使畜舍温度升高;在寒冷时,家畜之间亦有互相温暖作用。蒸发散热亦称“潜热发散”(latent heat loss),只能使畜舍的温度升高。此外,加温饲料和饮水亦可消耗部分体热,但不属于正常的生理热调节范围,至于粪、尿排出,表面上似乎也损失少量的热,但已算在加温饲料和饮水内,不应再予估计。通过辐射、传导机对流热只有环境温度高于皮温或直接曝晒于太阳辐射下,用下列热平衡方程式(这是 Blaxter 提出的)

$$H_p = H_L \pm H_S$$

式是 H_p 为单位时间内的代谢产热量; H_L 为单位时间内散热量; H_S 为单位时间内的蓄热量。如果 H_L 是正值,可使体温升高;负值则体温下降; H_S 等于零则体温正常。所以体温为测定机体热平衡的唯一指标。该式可更完全地以下式表示之:

$$H_p \pm H_S = H_L = H_n + H_e$$

式中 H_n 为非蒸发散热量,大部分取决于环境条件。 H_e 为蒸发散热量, H_S 同上式,动物尽可能使 H_S 等于零。温暖饲料和饮水的失热虽然不高,但在严寒季节也不能忽视。

四、热平衡及其控制

在炎热或寒冷环境中,家畜首先借皮肤血管的舒缩,增减皮肤的血流量和皮肤温度,其次通过加强或减弱汗腺和呼吸活动,寻找较舒适的小气候环境和改变姿势等,以增加或减少热的放散来维持正常的体温,这称之为“散热调节”或“物理调节”。在较严重的热或冷应激下,散热调节已不足以维持体温恒定时,则必须减少或增加体内营养物质的氧化,以减少或增加热的产生。这种调节,称之为“产热调节”或“化学调节”。当产热和散热、亦即热的收支达到平衡时,可以下式表示之:

$$M - E \pm F \pm C_d \pm C_c \pm R = 0$$

式中 M 为代谢产热量, E 为皮肤和呼吸道的蒸发散热量, F 为使饲料和饮水加温或冷却至体温的失热或得热量, C_d 为传导的散热或得热量, C_c 为对流的散热或得热量, R 为辐射的散

热或得热量。在一般天气条件下, C_d 、 C_v 和 R 都是负值, 如果家畜在强烈的阳光下或外界温度高于皮肤温度时, 则为正值。

当物理和化学调节同时进行还不能维持热平衡时, 可使上式为正值或负值, 表现为体温的升高或下降, 说明热平衡破坏。这时往往引起生理机能失常, 严重威胁健康和生产力, 甚至危及生命。

恒温动物的热平衡, 有赖于神经系统的控制, 但尚未完全明了。外周感受器主要分布于皮肤, 也分布在粘膜或内脏器官中; 中枢感受器主要在下丘脑, 大脑的其它部位和脊髓亦有分布。外周感受器可分为冷感受器和热感受器两种, 分别在寒冷和炎热时引起神经冲动。外周感受器和中枢感受器的讯息, 通过下丘脑支配体温的调节。

过去一般认为外周热感受器和冷感受器的传入冲动分别在下丘脑的前侧和后侧产生散热和产热反应; 另外, 对下丘脑前侧和后侧的直接刺激也能产生反应, 因而分别称为散热和产热中枢。例如用电刺激山羊下丘脑前侧, 能引起皮肤血管扩张、喘息和出汗。这种反应即使动物在严寒季节里, 并正在颤抖中亦可发生。对犬的下丘脑后侧进行降温刺激, 则能引起颤抖、竖毛等产热保温反应。但下丘脑前侧和前视区均密布热感神经元和少数冷感神经元, 这与刺激下丘脑前侧既可引起散热反应又可引起产热反应的观察是一致的, 故不能把下丘脑前侧视作散热中枢。目前倾向于认为, 下丘脑前侧不是散热中枢, 而是中枢温度感受器的存在部位; 下丘脑后侧可能是对温热信息进行综合处理的部位, 即由中枢感受器发出的神经冲动和外周感受器输入的神经冲动统一起来, 并根据机体当时体温的具体情况, 对体温进行统一调节。

下丘脑可能由本身感受器对某一定点温度(set-point temperature)发生反应, 来自身体其它深部和皮肤的信息亦参与该反应。当超过定点温度时, 则产生保温和产热调节作用。

第二节 太阳辐射

一、太阳辐射的概念

太阳辐射是地球表面上热能的主要来源, 大气中所发生的各种物理过程都是直接或间接由太阳辐射引起。因此, 太阳辐射可以说是产生各种极其复杂的天气现象的根本原因。

根据现代核物理的研究, 太阳是一个巨大的核反应器, 其直径近 140 万公里, 表面温度 6000℃, 中心约 1500 万度, 在氢原子核聚变为氦原子核的过程中, 产生大量的辐射能, 以 $33.5 \times 10^{25} \text{W}$ 的能量放射于宇宙中, 但到达地球大气外层的仅其中的 22 亿分之一。太阳辐射是一种电磁波, 其光谱组成, 按人类的视觉可分为紫外线、可见光和红外线三大部分。太阳辐射通过大气时, 经大气的反射、散射和吸收而减弱(详见第二章)。到达地面的辐射能, 一部分被地面吸收, 转变为热能, 一部分反射回大气。地面的反射率取决于地表的物理状态: 刚下的雪的反射率最大, 可达 80~90%, 其它如黄砂为 34.6%, 绿色草地为 25.7%, 枯草地为 19%, 黑湿土壤为 7%。

太阳辐射的光和热对家畜生理机能、健康和生产力产生很大的直接和间接影响, 除光照部分将详述于第二章外, 这里只讨论太阳辐射热的作用。