

*Livestock Environment Control
Ventilation & Cooling*

畜禽养殖环境控制与 通风降温

董红敏 陶秀萍◎编著



中国农业出版社

畜禽养殖环境控制与 通风降温

Livestock Environment Control
Ventilation & Cooling

董红敏 陶秀萍 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

畜禽养殖环境控制与通风降温 / 董红敏, 陶秀萍编著.

北京: 中国农业出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-109-12353-3

I. 畜… II. ①董…②陶… III. ①畜禽-饲养管理-环境控制②畜舍-通风降温 IV. S815

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 164061 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 殷 华 何致莹

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12

字数: 280 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 46.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前言

现代规模化畜牧业的重要标志是采用先进设施和工程技术为畜禽创造适宜的生产和生活环境,在保证饲料营养和兽医防疫的条件下,实现畜禽养殖生态、安全和高效生产。

20世纪50年代以来,世界工业发达国家先后发展规模化畜牧业,扩大畜群数量,提高畜禽生产率。从70年代起先后对规模化畜禽舍建筑和畜禽舍环境控制技术进行研究,以适应不同气候地区和不同规模养殖的需要。我国的规模化养殖始于70年代后期,1975年在首都北京建起了我国第一个规模化养鸡场——存栏20万只蛋鸡的红星鸡场。随着农业部组织“菜篮子工程”的实施,畜牧业生产的商品化、专业化、社会化程度不断提高。改革开放20年来,我国规模化畜牧业持续快速发展,为满足城乡居民的肉蛋奶需求做出了重要贡献。

由于我国畜牧环境工程技术研究起步较晚,我国规模化畜禽养殖场基本照搬国外的饲养工艺和畜禽舍建筑模式,对畜禽舍的环境控制未予以必要的重视,很多畜禽舍都缺乏最基本的通风换气设备,冬季为了保温而门窗紧闭的畜禽舍内环境恶劣,夏季的炎热让畜禽养殖场束手无策,一些南方高温地区的养殖场甚至避免夏季生产,给畜牧养殖带来严重的经济损失。不仅极端气候环境的骤升和骤降会导致畜禽生产性能下降甚至死亡,而且长期的环境应激也影响畜禽的生产率,使畜禽免疫力下降,疫病多发,畜产品质量下降,近年来养殖环境甚至成为我国畜产品出口贸易的障碍。这些在生产中显现且日益突出的养殖环境问题,逐渐引起社会的关注和重视,国家从“九五”开始立项对规模化养殖场的环境工程技术进行研究,笔者有幸成为该项目主要研究内容之一——畜禽养殖环境通风降温技术的主要完成人,参加了自“九五”以来十年的研究工作,在此期间收集了国内外有关畜禽舍通风降温原理及其技术进展方面的资料,为此想借助《畜禽养殖环境控制与通风降温》一书,将文献报道与课题的研究内容结合起来,对畜禽舍通风降温的有关原理和技术现状进行较系统地介绍,让更多的人较全面地认识和了解畜禽舍通风降温,并能在生产中正确选择和应用通风降温技术,以期对现代规模化畜禽养殖有所帮助。

本书论述引证文献较多,旨在使言之有据,为了便于查找,文献分别附

在各章之后。本书共分六章，分别介绍畜禽体热平衡及温热环境需要、畜禽舍通风原理、畜禽舍降温原理、不同通风降温技术的特点及其适用范围、规模化猪场不同猪舍通风降温技术设计和应用、以及我国夏季气候状况与畜禽热应激。由于鸡舍和牛舍的研究数据有限，因此本书只重点介绍了猪场不同猪舍通风降温技术，建议使用者参照通风和降温原理以及第四章的单项技术介绍，选择适合各规模化鸡舍和牛舍的通风降温系统。

我国是畜牧业生产大国，畜禽养殖场分布于全国各地，畜禽养殖场的规模、所处的地理位置、气候特点以及当地的经济状况存在较大的差异，保证这些条件迥异的畜禽养殖场都能进行优质、高效和安全生产，显然，环境工程技术研究仍面临着很大的挑战，任重而道远。

全书计量单位统一采用国际单位，将所有的英制单位（IP）均统一换算成国际单位（IS），所换算而来的数据以小数居多，另外本文中引用了较多的计算公式，为了忠实原文，可能出现相同的参数在不同公式中的表示符号及单位略有不同的情况，在此加以说明，计量单位换算表附后以资参考。由于时间、知识面和能力所限，书中如有疏漏、不当和错误之处，望读者和专家赐正。

本书部分内容为“九五”、“十五”国家科技攻关计划和“十一五”国家科技支撑计划课题的研究内容，在此感谢该课题组的其他主要研究人员，中国农业大学的马承伟教授、刘平博士、曲梅和李保明教授，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所畜牧环境工程研究室的全体人员。本书的出版得到了参加课题所有人员、单位和试验示范点的支持和帮助，在此表示感谢！

编著者

目 录

前言

第一章 畜禽体热平衡及温热环境需要 1

第一节 畜禽养殖环境及其影响因素 1

一、畜禽养殖环境因素 1

二、影响畜禽养殖的主要物理因素 2

第二节 畜禽的环境温度需要 3

一、畜禽体温 3

二、等热区 3

三、临界温度 4

四、适宜环境温度 6

第三节 畜禽产热和体热调节 7

一、畜禽体内热量的来源 7

二、畜禽体热平衡和体热调节 12

第四节 热环境对畜禽的影响 14

一、热环境对牛的影响 14

二、热环境对羊的影响 16

三、热环境对猪的影响 17

四、热环境对家禽的影响 19

第五节 热环境因素的综合指标 20

一、有效温度 20

二、畜禽有效温度模型 20

参考文献 24

第二章 畜禽舍通风原理 27

第一节 畜禽舍通风系统类型 27

一、自然通风系统 28

二、机械通风系统 29

第二节 畜禽舍通风设计原理 34

一、自然通风设计原理 34

二、机械通风设计原理 35

第三节 畜禽舍通风量设计 43

一、自然通风畜禽舍的通风量计算 43

二、机械通风畜禽舍通风量计算 43

三、通风量分级 46

第四节 进气口的设计	51
一、进气口的结构形式	51
二、进气口控制	55
三、进气口面积	56
四、进入舍内气流分布情况分析	58
五、进气口选择和安装的主要事项	60
第五节 风机选择和通风系统的控制	61
一、选择风机	61
二、通风系统的控制	63
三、通风系统的评价	64
参考文献	65
第三章 畜禽与环境的热交换原理	68
第一节 动物的体表隔热	68
一、动物的热传递过程	68
二、动物体表的隔热层	70
第二节 动物的体表特性	71
一、动物的体表结构	71
二、动物的体表面积	71
三、动物的热阻	74
第三节 热交换量估算	77
一、传导热交换量	78
二、辐射热传递	80
三、对流热交换量	84
四、蒸发热交换量	86
第四节 热交换总量	91
参考文献	92
第四章 不同通风降温技术的特点及其适用范围	94
第一节 传导降温技术	94
栖架、冷枕头	94
第二节 对流降温技术	96
一、通风技术	96
二、地热交换系统(地下自然冷能)降温	99
第三节 辐射降温	104
第四节 蒸发降温	107
一、湿帘/湿墙风机系统	107
二、喷雾降温系统	111
三、体表喷淋降温	114
四、滴水降温系统	117

参考文献	119
第五章 规模化猪场不同猪舍通风降温技术设计和应用	126
第一节 分娩舍全面通风与滴水相结合的综合降温系统	127
一、系统的设计原理	127
二、降温系统设计	127
三、生产应用试验结果	130
四、小结	133
第二节 妊娠猪舍局部环境射流控制喷雾蒸发降温系统	133
一、降温系统设计原理	134
二、降温系统设计	134
三、试验结果	137
四、小结	139
第三节 保育仔猪舍集中雾化降温系统	139
一、集中雾化降温系统原理	139
二、集中雾化降温系统通风系统的设计	139
三、集中雾化降温系统试验结果	142
四、小结	144
第四节 生长育肥猪舍冷风机降温系统	144
一、冷风机扇叶设计	144
二、冷风机喷雾设计	149
三、电机功率确定	151
四、冷风机安装位置确定	152
五、冷风机降温试验结果	153
六、小结	153
参考文献	154
第六章 我国夏季气候状况下的畜禽热应激	155
第一节 夏季最高温度状况图	155
第二节 温湿度指数图	155
参考文献	168
附录	169
一、计量单位换算表	169
二、中英文名词对照	181

第一章

畜禽体热平衡及温热环境需要

第一节 畜禽养殖环境及其影响因素

畜禽养殖环境是影响畜禽进化、生态反应、健康、生产和繁殖性能的所有外界因素的总称。从广义上可将畜禽养殖环境分成两大部分：一是非生物环境，由所有的物理和化学因素组成；二是生物环境，由所有生物体之间的相互作用而形成，如因食物、饮水、捕食、疾病以及社群关系而发生的相互作用（Yousef, 1985）。畜禽养殖环境因素可分为物理因素、化学因素、生物因素和社会因素。

一、畜禽养殖环境因素

1. 物理因素 物理因素主要包括温度、湿度、风、辐射、降雨、光照、噪声、粉尘、地形、地势、海拔、土壤、牧场和畜舍等。在现代畜牧生产中，这些物理因素的允许范围基本是根据大量科学试验结果而确定的，其随着畜禽品种、日龄、生产力水平等的差异而有所不同。

物理因素看似简单，但对生产的影响较大，尤其是温度、湿度、风、辐射和降雨五种温热环境因素对畜禽养殖生产效率的影响最大。在现代舍饲畜禽养殖中，降雨因素的影响可以忽略不计，辐射因素的影响也降至很小，相比之下，温度、湿度和风三种因素的影响就显得更加突出和重要。

2. 化学因素 化学因素主要包括氧气、二氧化碳、氨气、硫化氢、甲烷、氧化亚氮等气体成分；pH、硬度、溶解氧、化学需氧量、生物需氧量、氯化物、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐等水质特性；硅、铝、钙、磷、钾、钠、镁、硫、碘、氟、钴、钼、锰、锌、铜、硒等土壤化学元素。

一般情况下，空气中氧气和二氧化碳的含量不会有太大的变化，但随海拔升高，氧气的含量和分压力均会迅速减少而危害畜禽健康。畜禽舍中氨和硫化氢主要来源于粪尿和尸体等的分解。除畜禽生产外其他工业生产也排放氮氧化物、硫化物、氟化物，因此在畜禽场选址时应避免这些来自其他产业的气体污染。

土壤中某些化学成分缺乏是许多地方性疾病产生的原因，这些疾病对放牧畜禽尤为明显。如果畜禽因某些元素缺乏而发病则应及时足量补充，如果畜禽因某些元素过多而发病则应予以控制，另外如果种植饲料作物的土壤被有机磷、有机氯、汞等污染，那么这些作物就不宜用作畜禽的饲料原料。

3. 生物学因素 生物学因素是指饲料与牧草的霉变、有毒有害植物、各种内外寄生虫和病原微生物。

4. 社会因素 社会因素包括畜禽群体特征和人为的管理措施,如畜禽单个饲养和群饲,特别是群饲时的群体大小、来源、生活活动、畜禽的强弱等级都是重要的社会环境因素。社会因素与畜禽的行为有关,如拥挤和动物群体中的优势地位。

可见,影响畜禽养殖环境的因素很多,由于本书的内容所限,在此只对畜禽生产有重要影响的主要物理因素进行比较详细的介绍。

二、影响畜禽养殖的主要物理因素

与畜禽生产尤其是现代规模畜禽生产密切相关的物理环境因素主要有温度、湿度、风和辐射 (Yousef, 1985)。

1. 温度 环境温度是用标准单位来表示热强度的一种方法,通常用摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$) 表示。环境温度 (T_a) 指动物体周围气体或液体环境 (通常指大气和水) 的平均温度,在覆盖动物体的热边界层或水边界层以外进行测量。空气温度,也叫干球温度 (T_{db}),是用无辐射影响的温度计所测定的大气或混合气体的温度,干球温度是最常用的热环境特性参数。舍饲畜禽和野生动物所能遭遇的干球温度范围非常宽:北极的温度可低至 -70°C 以下,而沙漠中的温度则高可达 50°C 。

2. 湿度 湿度是指空气中的水汽量。相对湿度 (RH) 是指在相同的温度和压力下,一定体积空气中实际水汽的摩尔数与同体积饱和空气中水汽摩尔数的比值,通常用百分数 (%) 表示。热环境强度取决于 T_{db} 和 RH ,二者缺一不可。湿度影响动物体表和呼吸道的蒸发散热量。

3. 风 风源自大气中悬殊的气压,在一定区域内,越接近地面,风速越小。换言之,当骆驼和山羊一起在大风中站立时,山羊感到的风要比骆驼感觉的小。由于动物体与环境之间的对流和蒸发热传递都受风速的影响,因此畜禽养殖环境中风速的测定应在动物高度进行,这对动物的热环境研究非常重要。

4. 太阳辐射 太阳发辐射能是地球上生命的根本。太阳发出不同波长的辐射波。为了方便起见,将对热生理重要的电磁波谱分成以下几个波段:紫外波段 ($0.25 \sim 0.38\mu\text{m}$)、可见光波段 ($0.38 \sim 0.78\mu\text{m}$) 和红外波段 ($0.78 \sim 100\mu\text{m}$)。红外波是地球上高海拔地区的主要热源,而可见光是地球的主要能源,它传递从太阳到地球的绝大部分热量。影响辐射的物理因素很多,包括:大气和地面温度、地面的自然状态、天空的透明度、尘埃、云、水汽以及 CO_2 浓度等。辐射能,尤其是沙漠中辐射能是总的热环境的重要组成部分,环境的平均辐射可简单用黑球温度 (T_g) 表示,其具体方法是用温度计测定由薄铜制成的、直径为 15cm 的中空黑球的中心温度。

5. 动物的热环境 Gates 根据辐射、空气温度、风速和水汽压的状态将动物的热环境分成:(1) 热、干、晴,静止;(2) 热、干、晴朗,有风;(3) 热、干、多云,静止;(4) 热、干、多云,有风;(5) 热、干、阴,静止;(6) 热、干、阴,有风;(7) 热、湿、晴,静止。总之,热环境是动物占据很小位置的四维空间,动物之所以能在逆境中生存和繁衍,是因为动物自身通过生理和行为调节机制能有效维持机体与环境之间的热平衡。

第二节 畜禽的环境温度需要

一、畜禽体温

哺乳动物和鸟类都是恒温动物，当外界环境温度在动物的适宜温度范围之内变化时，动物的体温不随外界环境温度而变化，始终保持在相对稳定范围之内。通常家畜的体温大约为 39°C ，而家禽的体温约为 41°C 。但恒温动物的体温并不是绝对不变的，昼夜间有小幅波动，午后和清晨的体温比上午的体温高。母牛的体温随发情周期、有时也随季节发生变化。

虽然恒温动物的体温是相对恒定的，但身体各部分的温度却有所不同。一般情况下，动物体内器官的代谢速率高于体表骨骼肌（动物运动、剪毛和高温环境除外），由于体温源自于代谢过程产热，因此动物体内的温度往往比体表高，换言之，动物体从内到外（体表和四肢）往往存在一定的温度差。另外，动物体表的隔热性能也影响体表温度，隔热较差部位的体表温度容易受外界环境的影响而发生变化。

主动脉中汇集了全身的血液，主动脉血液温度能最准确地反应动物的平均体温。但是由于主动脉血液温度难以测定，因此实际生产和研究中通常将直肠温度代替动物的体温，主要是直肠温度测定起来简单易行，然而直肠温度的变化比平均体温慢得多，因此用直肠温度替代体温存在一定的误差，表 1-1 所列部分畜禽的直肠温度。

表 1-1 动物直肠温度

动物种类	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	范围 ($^{\circ}\text{C}$)
奶牛	38.6	38.0~39.3
肉牛	38.3	36.7~39.1
猪	39.2	38.7~39.8
羊	39.1	38.3~39.9
鸡	41.7	40.6~43.0

资料来源：MWPS, 1983

二、等热区

恒温动物具有维持自身体温稳定的能力，即恒温性。恒温性具有理论、农业和工程三方面含义：在理论方面涉及恒温机制，在农业方面涉及热环境对畜禽生产力和能量利用效率的影响，在工程方面则涉及畜禽舍建筑的通风降温。恒温性的三方面含义使对等温区的描述和定义产生了分歧。在环境生理学领域，国际上公认的定义为“动物的代谢率最低和通过非蒸发性物理调节即可维持体温恒定的环境温度范围”（Bligh 和 Johnson, 1973），其中的非蒸发性物理调节指外周血管舒缩及行为反应。

环境温度（等热区包括在内）与动物体内产热关系简图如图 1-1 所示。

图中 $B-B'$ 常被称为“等热区”（thermoneutral zone, TNZ），当环境温度在这一区域时，恒温动物依靠物理和行为调节即可使体内保持热平衡状态。 $A-A'$ 被称为“舒适

区”(comfort zone),在这一区域内,动物感觉最为舒服,既不感到冷,也不感到热,动物体内的产热正好与散热相等,甚至连物理和行为调节都不需要,即可维持体温正常,此时动物的生产性能和生产效率都最高。

许多哺乳动物的等热区范围都已通过短期的实验室测热试验进行了研究,部分畜禽的等热区范围见表1-2。

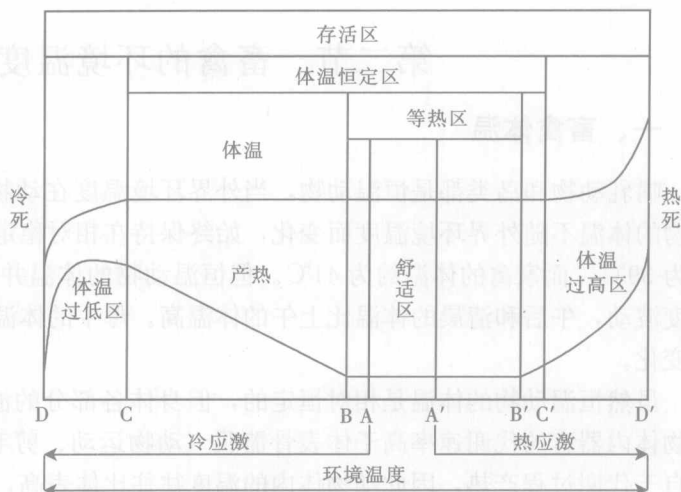


图 1-1 环境温度与动物体内产热关系简图

表 1-2 以环境温度表示的家畜等热区

动物种类	等热区 (°C)
牛	牛犊 13~25
	母牛 0~16
猪	仔猪 32~33
	母猪 0~15
绵羊	新生羔羊 29~30
	母羊 -2~20
山羊	埃及沙漠地区,成羊 20~30
	埃及尼罗河三角洲,成羊 10~25

资料来源:Yousef, 1985

动物的等热区范围受年龄、种类及品种、营养水平、以前温度习服状况、生产力水平、畜禽舍及栏(笼)条件、隔热性能(包括脂肪和皮肤等组织隔热和外部被毛隔热)以及行为等因素影响。即使是同年龄的同种动物,其等热区也可能不尽波动,也就是说上限和下限临界温度可能受以上因素影响而升高或降低。

三、临界温度

畜禽临界温度的高低,取决于产热的多少和散热的难易,所以凡能影响家畜产热和散热的一切内、外界因素,都可以影响到家畜的等热区、下限临界温度和上限临界温度。

1. 下限临界温度 是指“处于休息状态的体温调节动物开始借用颤抖和/或非颤抖产热增加产热量以维持体内热平衡时的环境温度”。当环境温度降到等热区以下时,动物的散热增加,物理和行为调节无法使动物保持体温正常,必须借助化学调节提高代谢率以增加产热量。使代谢率开始提高的环境温度(B点温度),称为“下限临界温度”(lower critical temperature, LCT),有时也称“临界温度”,当环境温度低于下限临界温度时,由于动物体与环境之间的温度差增大,畜禽必须不断增加产热量才能保持体内热平衡。当环境温度从B降

低到C时,动物的产热量逐渐增加并达到极大值,而与此同时用于生产的能量却逐渐减少为零,C点的温度为无畜产品温度(T_{NG})。当环境温度低于 T_{NG} 时,即使环境温度继续下降,动物的产热量也不再增加,动物体内热平衡遭到破坏,产热和体温都下降,最终导致畜禽死亡。

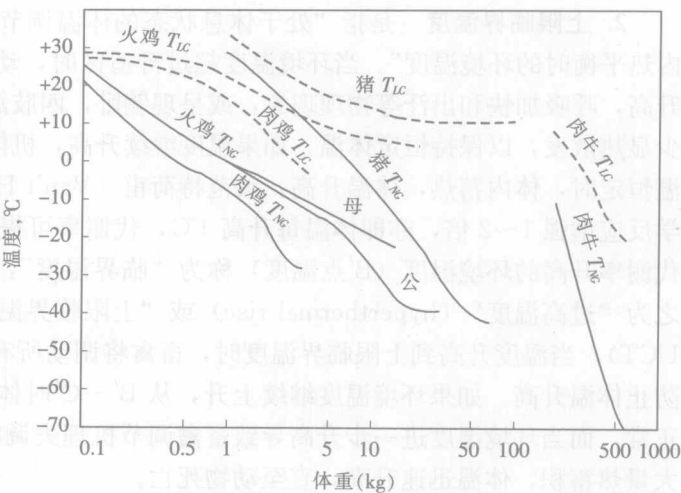


图 1-2 部分畜禽的下限临界温度 (T_{LC}) 和无畜产品温度 (T_{NG})
资料来源:《农业生物环境工程》,1990

小动物的下限临界温度比大动物高,青年动物的下限临界温度比老龄动物高。雏鸡的下限临界温度为 34℃、仔猪的为 33℃、羔羊为 29℃、犊牛的为 12℃,都高于同品种成年动物的下限临界温度。

营养水平低的动物,合成代谢低,因而下限临界温度较高。阉割公牛饲喂维持水平日粮时的下限临界温度为 5~10℃;如果饲喂中等增重日粮时,则下限临界温度大约为 0。同时奶牛的下限临界温度与产奶量成反比,日产含脂率 4%奶量为 0kg、10kg、和 20kg 的奶牛,其下限临界温度分别为 2℃、-4℃和 -10℃。

被毛少的动物其下限临界温度较高,无被毛成年绵羊的下限临界温度为 25℃,而有 10cm 厚被毛绵羊的下限临界温度则在 0℃ 以下。冷习服使动物的下限临界温度降低,适应冬季环境的犊牛的下限临界温度可降至 -20℃,较大个体牛在饲料充足的情况下的下限临界温度甚至可降低到 -40℃。

Seedorf 等 (1998a) 引用的一些畜禽的下限临界温度见表 1-3。

表 1-3 不同品种动物的下限临界温度 (T_{LC})

动物品种	体重 (kg)	T_{LC} (°C)
奶牛 ¹	600	-22
肉牛	400	-9
犊牛	100	-14
	20	21
	40	19
生长育肥猪 ²	60	1
	80	16
	100	16
母猪 ³	200	18
肉鸡	2	12
蛋鸡	1	18

数据来源: Seedorf 等: 1998a; ¹产奶量为 25L/d; ²金属网面群养 (15 头) 和 2 倍维持能量; ³日产奶 7kg。

2. 上限临界温度 是指“处于休息状态的体温调节动物开始借用蒸发散热以维持体内热平衡时的环境温度”。当环境温度超过舒适区时，动物首先表现皮肤血管扩张、皮温升高，呼吸加快和出汗等物理现象，或呈现躺卧，四肢舒展，寻觅阴凉处所等行为现象减少显热散发，以保持恒定体温。如果温度继续升高，机体散热受阻，物理调节不能维持体温恒定时，体内蓄热，体温升高，按范特荷甫 (Van't Hoff) 定律，温度每升高 10°C ，化学反应增强 $1\sim 2$ 倍，亦即体温每升高 1°C ，代谢率可提高 $10\%\sim 20\%$ ，这种因高温引起代谢率升高的环境温度 (B' 点温度) 称为“临界温度”，为了区别于下限临界温度，特称之为“过高温度” (hyperthermal rise) 或“上限临界温度” (upper critical temperature, UCT)，当温度升高到上限临界温度时，畜禽将调动所有散热方式，包括蒸发散热方式来防止体温升高。如果环境温度继续上升，从 $B'\sim C'$ 时体内产热稍有增加但体温仍然保持正常，而当环境温度进一步升高导致畜禽调节机理失调时，动物体内的产热量迅速升高，大量热蓄积，体温迅速升高，直至动物死亡。

四、适宜环境温度

从理论上讲，当环境温度在等热区时，畜禽的健康状况最佳，从事畜牧生产的效率也最高，但却不一定是经济。需要特别指出的是，无论在饲养管理措施上或在畜禽舍设计上，要使畜禽完全在等热区内生活是不可能的，或者说是做不到的；如果能做到，在经济上也可能得不偿失 (黄昌澍, 1989)。在实际生产中，畜禽的饲养环境温度范围往往比等热区宽，只要环境温度对畜禽生产的影响不大，这样的温度范围也是可以接受的，称为适宜温度。

畜禽体内的生理和生化反应率在一定程度上受温度的影响，当动物体温升高，体内化学反应加强，产热量增加。根据 Van't Hoff 效应原理，当动物体内温度每升高 1°C 时，体组织的代谢率提高 $10\%\sim 20\%$ 。只有当动物体组织中的温度保持不变，才能维持组织功能稳定。

小鸡和仔猪要求的适宜温度范围很窄，即使是相同品种的不同窝小鸡，要求的环境温度也有差别，可能是疾病和生理活动不同所致，因此很难准确预测单个或一窝小鸡的适宜环境温度。小鸡适宜环境温度需要与年龄之间的关系可表示为：

$$\text{适宜环境温度} = 26.5 - 0.6 \times \text{周龄} \quad (1-1)$$

$$\text{适宜环境温度} = 32.2 - 1.9 \times \text{周龄} \quad (1-2)$$

虽然适宜温度对动物的生产性能不会产生重大的影响，但要特别注意动物的防寒和防暑降温，及时采取适当的措施，使畜禽养殖经营获得更大的经济效益。畜禽的适宜温度范围见表 1-4。

表 1-4 畜禽的适宜温度范围

动物种类	适宜温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	资料来源
泌乳或分娩两周内的奶牛	4~24	1
牛犊	10~26	1
肉牛	4~26	1
绵羊	4~24	1
大于 10 日龄肉鸡	13~27	1
蛋鸡	7~21	1

(续)

动物种类	适宜温度范围 (°C)	资料来源
1~2 日哺乳仔猪	32~36°C	2
第 1 周哺乳仔猪	30~32°C	2
第 2 周哺乳仔猪	28~30°C	2
第 3 周哺乳/断奶仔猪	26~28°C	2
第 4 周哺乳/断奶仔猪	24~26°C	2
8 周龄仔猪	22~24°C	2
生长/育肥猪	16~26°C (20~24°C 最佳)	2
非哺乳母猪	15~26°C (18~24°C 最佳)	2
哺乳母猪	12~24°C (18~22°C 最佳)	2

资料来源: ¹ Yousef, 1985;² Cargil 和 Banhazil, 1997

第三节 畜禽产热和体热调节

恒温动物的最大特点是其体温能保持在相对稳定范围之内。动物体内热平衡取决于体内产热和散热量, 为了更好理解动物体内热平衡, 本节将介绍畜禽体内热量的来源和去向。

一、畜禽体内热量的来源

在理想环境和营养状况下, 动物仅摄取维持和生产所需要的能量和蛋白就能维持体热平衡; 如果动物处于非理想环境条件下, 动物的能量和蛋白需要以及代谢将发生变化, 部分能量将以粪、尿和气体等排泄物或热量形式损失掉。

1. 饲料能量的分配 动物摄入的饲料能量伴随着养分的消化代谢过程, 发生一系列转化, 但是动物摄取的饲料能量并不都能被动物所利用, 未被利用的那部分能量将导致饲养养分的浪费。图 1-3 所示为动物摄食日粮在代谢过程中的养分分配和能量去路漏斗模型示意图。

动物摄取的饲料中有机物质完全燃烧释放的全部能量为摄食总能 (GE), 反刍动物所摄食粗饲料总能中约有一半以粪便的形式排出, 单胃动物浓缩料总能约有 20% 未被

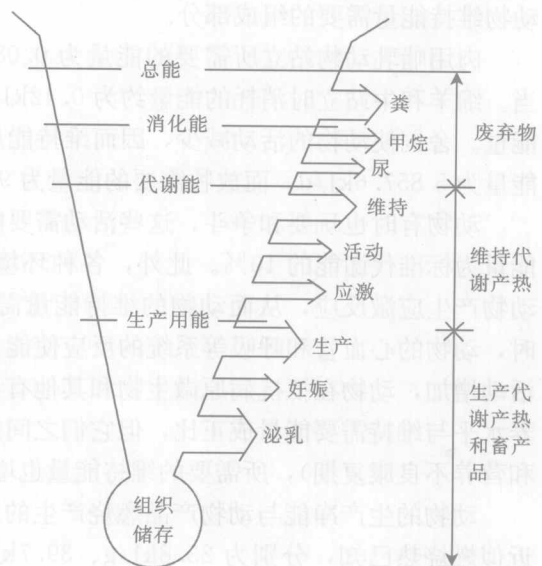


图 1-3 动物体内能量分配漏斗模型示意图

资料来源: Young 等, 1997

利用而直接排泄到粪便中, 粪便中未被消化的饲料、代谢产物和微生物产物所含能量总和为粪能 (FE); 动物摄食总能减去粪能, 即饲料可消化养分所含的能量为表观消化能

(DE), 表观消化率可通过 $(GE - FE) / GE$ 进行计算, 饲料能量的表观消化率主要取决于日粮的组成, 也与采食量有关, 通常采食量越大, 表观消化率越低 (Curtis, 1983)。

表观消化能减去气体代谢产物所含的能量 (主要为甲烷) 和尿能 (主要为未被利用的养分和体组织分解产物) 为代谢能 (ME)。反刍动物的气体代谢产物能量约为摄食总能的 6%, 而在单胃动物中所占的比例往往小于 1%, 反刍动物和单胃动物的尿能损失均不足消化能的 10%, 因此, 反刍动物日粮代谢能约为表观消化能的 82%, 单胃动物约为 94%。由于摄入饲料总能的代谢率取决于表观消化率, 因此能量的代谢率也可将摄食能量的表观消化能乘以表观消化能的代谢率进行计算, 动物代谢率的变化范围较大, 反刍动物摄食粗饲料的代谢率约为 40%, 而单胃动物对精饲料的代谢率可达 70% (Curtis, 1983)。

当养分在动物的肠道中被吸收后, 代谢能的去向包括: 动物维持和生产 (包括动物生长、产奶、产蛋、产毛以及繁殖等) 以及在维持和生产过程中产生热增耗。代谢能减去热增耗后剩余的能量为净能 (NE), 因此, 当代谢能水平一定时, 热增耗越多, 则动物的可利用净能就越少。

净能由维持净能和生产净能两部分组成。生产净能也就是动物产品的总能。在实际生产中, 动物的维持需要对能量的使用具有优先权, 只有当动物的所有维持需要都得到满足后剩余的能量才能被动物用于生产, 因此, 如果动物的维持消耗增加, 动物产品或动物的生产效率就会降低。在非应激环境条件下, 体内重要功能活动如心血管系统、呼吸系统、神经系统、分泌系统、免疫系统的正常活动以及最少的身体活动等消耗的能量约为维持净能的 1/4。动物自身的活动, 如采食、站立、行走、玩耍、肌肉紧绷等所消耗的能量也是动物维持能量需要的组成部分。

肉用哺乳动物站立所需要的能量为 $0.08 \sim 0.12 \text{ kJ/kg}$ 体重, 躺下需要的能量与之相当。绵羊和牛站立时消耗的能量约为 0.42 kJ/hr/kg 体重, 猪由于好动, 站立需要 10 倍的能量。舍饲使动物的活动减少, 因而维持能量需要相应减少, 如舍饲绵羊的维持需要代谢能为 $5\,857.6 \text{ kJ/d}$, 而放牧需要的能量为 $9\,624.2 \text{ kJ/d}$ 。

动物有时也玩耍和争斗, 这些活动需要能量使总的维持能量需要增加。玩耍所消耗的能量为标准代谢能的 10%。此外, 各种环境应激, 如温热、社群、和病原等等, 都会使动物产生应激反应, 从而动物的维持能量需要增加, 热增耗也相应增加: 温热环境应激时, 动物的心血管和呼吸等系统的反应使能量需要增加; 动物对群体应激主要体现在身体活动增加, 动物在抵抗病原微生物和其他有毒物质的过程中需要能量, 同时产生热量。营养水平与维持需要能量成正比, 但它们之间的关系还不清楚; 动物在应激恢复阶段 (疾病和营养不良康复期), 所需要的维持能量也增加。

动物的生产净能与动物产品燃烧产生的总能相同。由于蛋白质、脂肪和碳水化合物的近似燃烧热已知, 分别为 23.8 kJ/g 、 39.7 kJ/g 、 17.6 kJ/g , 因此可根据动物产品的有机组成估算生产净能。

当总代谢能 (ME)、维持代谢能需要 (ME_m) 以及代谢能高出维持净能部分 (ME - ME_m) 的转化效率 (pe) 已知, 则动物的产热量 (H) 可通过下式近似估算:

$$H = ME_m + [(1 - pe)(ME - ME_m)] = [(1 - pe)(ME)] + [(pe)(ME_m)] \quad (1-3)$$

不同动物的维持代谢能需要和生产净能利用效率见表 1-5。

表 1-5 不同动物的维持代谢能 (ME_m) 需要和用于生产的代谢能的利用效率

	ME _m 需要 (kJ/(kg) ^{3/4} -d)	ME 的净利用效率 (%)	
		生长	产奶或产蛋
猪	355.6~502.1	75~85	75~85
鸡	355.6~502.1	75~85	80~85
牛犊 (喂奶)	606.7	85	
兔子	355.6~418.4	60~70	70~75
马	355.6~460.2	60~70	70~75
育肥绵羊	313.8~418.4	30~65	30~70
育肥牛	418.4~125	30~65	
产奶牛	523.0	30~75	30~70
干乳牛	418.4	30~65	

资料来源: Curtis, 1983

2. 动物体内产热途径 动物采食后, 食物在动物的胃肠道中发酵、养分的处理和利用过程中所产生的热量, 为采食热增耗, 这部分能量损失是无法避免的, 但在寒冷季节这部分能量有利于动物保暖。

动物对养分的加工处理工程, 包括摄食、咀嚼、吞咽、反刍 (反刍动物)、消化、吸收、食物在胃肠道的移动、尿酸和尿素的形成和分泌、将结构简单且可被吸收化合物合成动物体利用的化合物等过程中都需要能量。消化道加工处理饲料所需要的能量受日粮组成和动物采食数量影响: 当采食能量水平低于维持能量需要时, 如果绵羊以干紫花苜蓿为食则肠道代谢需要能量为 0.09kJ/kJ 摄食总能, 如果以大麦为食则需要能量为 0.05kJ/kJ 摄食总能, 如果日粮的能量水平高于动物的维持能量需要, 动物以此两种日粮为食时肠道代谢需要的能量分别为 0.13kJ/kJ 摄食总能和 0.16kJ/kJ 摄食总能; 如果绵羊进食精料则动物平均消化 1kg 日粮所需要的能量约为 2.09kJ/kg 体重, 肠道消化 1kg 粗糠所需要的能量为 48.12kJ/kg 体重。体重 2kg 蛋鸡进食活动消耗的能量为 2.51kJ/min (Curtis, 1983)。养分的新陈代谢以及肠道吸收过程中都会释放出热量, 它们是动物体内的产热途径之一。

动物在生产和繁殖过程中的化学反应都会产生一定的热量, 也是重要的热增耗产生途径。动物的代谢能并不能全部转化成生产净能, 动物在利用代谢能生产畜产品的过程中伴生热量, 且生产过程中的产热量与动物产品数量成正比。不同品种动物利用代谢能生产畜产品时的转化效率也有所差别, 未被利用的代谢能则以热量形式损失掉。代谢能转化成牛奶的效率为 60%~70%, 即每合成 29.29kJ 的奶能, 就会有 12.55~16.74kJ 的代谢能在牛奶的生产过程中以热量的形式损失掉; 哺乳动物利用代谢能生长时的效率为 40%~70%, 鸡的生产效率为 85%, 妊娠哺乳动物体内胎儿生长效率仅 10%~25%, 蛋品生产效率为 85%。代谢能转化成维持净能的效率比其转化成生产净能的效率要高: 哺乳动物维持净能转化效率为 75%, 鸡维持净能转化效率 80%~90%, 日粮发酵产热量不同是导致转化效率差异的主要原因。奶牛在泌乳期的某些阶段主要利用体内的能量储备生成牛奶, 动物体能量转化成牛奶能量的转化率在 80%以上 (Curtis, 1983)。

各种动物利用配合饲料时的热增耗见表 1-6。饲料的热增耗受品种、日粮质量、能量水平以及动物的生产性能等多方面因素的影响, 反刍动物的热增耗比单胃动物高, 这也