

动物营养研究进展

1994



中国农业科技出版社

动物营养研究进展

1994 年

中国农业科技出版社

京)新登字 061 号

内容提要

现代动物营养学是集约化养殖业与饲料工业的科学支柱。目前在国际上每年公开或内部发的科学专题报道数以万计,目不暇给。为了使广大从事这一行业的专业人员能及时了解当前不同域的国内外科研动态,动物营养学会组织有关单位聘请了我国知名专家就当前我国同领域中,关注的营养代谢、生物学效价、环境与营养、矿物质营养、抗营养因子、饲料添加剂、饲料加工、营养、软件、新技术、国情分析等方面的 26 个专题进行了综述。目的在于为读者在浩若瀚海的资料中检索新信息时提供一个指南。

全书的特点是资料新、评述客观,基本概括了 90 年代以来有关专题方面的研究进展。可供牧、水产、养殖业和饲料工业的科技工作者、大专院校教师、高年级学生、研究生及有关职能部门决策者们参考。

* * *

动物营养研究进展

责任编辑 赵学贤

* * *

中国农业科技出版社出版

北京海淀区白石桥路 30 号 邮政编码 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国农业科学院作物品种资源研究所计算机室印刷

* * *

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:21.5 字数:510 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数:1—1000 册 定价:30.00 元

ISBN 7-80026-654-0/S·443

编著单位:

中国畜牧兽医学会动物营养学分会
动物营养代谢农业部部级重点开放实验室
北京农业大学动物科学技术学院

主 编: 许振英 张子仪

参加编审勘校工作者(按姓氏笔划为序):

王新谋	冯仰廉	卢德勋	任 鹏	朱蓓蕾	许万根
李德发	李莲慧	杜 伦	杜 荣	何 廷	佟建明
杨诗兴	杨嘉实	周毓平	林 海	张宏福	张敏红
顾宪红	莫棣华	莫 放	温书斋	蒋宗勇	潘穗华
蔡辉益	霍启光				

前 言

动物营养学是集约化养殖业与饲料工业的科学支柱。在经济发达国家已设立有上千个动物营养专业研究机构,每年公开或内部发行的科学专题报道数以万计。涉及内容除了动物对能量、蛋白质、矿物质、维生素四大类营养物质的需要量、生物学效价评定、转化效率方面的研究外,当前正朝着与其边缘学科的相互渗透,揭示动物机体内营养物质的代谢规律,调控营养物质间的互补、颀颀关系以及外界环境与体内微生态的平衡等多维机制的研究方面不断拓宽与深入。1992年10月,中国畜牧兽医学会动物营养学分会第六届全国学术讨论会曾就当前有关动物营养与饲料科学中26个众所关注的热点问题进行了专题学术交流,会后不少会员希望能将交流内容编辑成册,以供同行们参考。根据中国畜牧兽医学会动物营养学分会第四届常务理事会议定的编辑方针,组织了国内各领域专家就其中有关营养代谢、生物学效价、环境与营养、矿物质营养、抗营养因子、鱼类营养、软件、新技术、饲料添加剂、饲料加工、国情调研等方面的前沿性问题进行了综述。各专题的撰稿人大都是国内在这一领域的学术带头人或主持有关科研项目的后起之秀。为了达到“全、新、稳、准”的目标,所有作者都能与编者密切配合,有的作者不厌其烦地几易其稿。除了晚到的3篇稿件外,我会名誉会长许振英教授对所有手稿都进行了认真的审核,并提出了修改和补充意见,他前后来信曾说:“……这15年没有白过,下一代基本成熟”,“国内的老、中、青、不下海、不出洋,广读文献,深入探索……,堪称‘后继有人,死可瞑目’”。编者认为,这是对我们这一代人及下一代人工作的肯定与重托。许老原计划给本书作序。遽尔,他竟然在1993年10月25日作古了。他未能见到此书上梓,已成为永远的憾事。许老在昏迷前一天还来信嘱咐说:“打算写 *Repartitions in Animal Production* 方面的稿子……,争取10月底完稿,若交不上,不必等……”,可见老人的用心良苦。他的逝世是我国动物营养学界不可弥补的巨大损失,但愿这本书的问世,能使老一辈科学家辛勤耕耘过的土地更加肥沃起来。

本书由中国畜牧兽医学会动物营养学分会,动物营养代谢农业部部级重点开放实验室与北京农业大学动物科学技术学院共同协作完成。在出版过程中得到了湖南省天心饲料开发总公司、湖南省国营屈原农场饲料厂、香港大方西药饲料公司的赞助,特此致谢。

张子仪

1993年冬腊

目 录

营养代谢

- 近十年国际畜禽能量代谢研究进展…………… (1)
 杨嘉实 (吉林省农业科学院动物营养研究所)
 绵羊能量代谢研究的总结与展望…………… (22)
 杨诗兴 (中国农业科学院兰州畜牧研究所)
 实现羊营养需要量模型化、计算机化——试论我国羊营养需要量研究的新目标 …… (36)
 卢德勋 (内蒙古畜牧科学院)
 多不饱和脂肪酸在家禽营养上的意义及其研究进展…………… (49)
 齐广海 (中国农业科学院畜牧研究所)

生物学效价

- 反刍动物蛋白质营养的新体系…………… (65)
 冯仰廉 莫 放 (北京农业大学动物科学技术学院)
 荷术动物在饲料氨基酸生物学效价评定中的意义及其研究进展…………… (84)
 张宏福 (中国农业科学院畜牧研究所)

环境与营养

- 仔猪早期断奶综合症的研究进展…………… (101)
 蒋宗勇 (广东省农业科学院畜牧研究所)
 畜禽饲养环境与营养的关系…………… (116)
 吴庆鹂 (山东农业大学畜牧系)
 畜禽应激的研究进展…………… (131)
 翟旭久(国家饲料质量监督检验测试中心) 顾宪红(中国农业科学院畜牧研究所)

矿物质营养

- 金属螯合物的生物利用率及有关应用…………… (141)
 周毓平 (北京农业大学动物科学技术学院)
 微量元素硒的生物功能研究进展…………… (150)
 吕子明 (北京农业大学动物科学技术学院)

抗营养因子

- 抗营养因子研究进展…………… (158)
 汪 徽 (中国农业科学院畜牧研究所) 于炎湖 (华中农业大学畜牧兽医系)

鱼类营养

鱼类营养研究进展·····	(171)
---------------	-------

林 鼎 (中山大学生物系鱼类研究室)

软件、新技术

专家系统在饲养业及优化饲料配方上的应用·····	(194)
--------------------------	-------

许万根 (中国农业科学院畜牧研究所)

同位素稀释技术在动物体成分研究中的应用·····	(206)
--------------------------	-------

徐子伟 (浙江省农业科学院畜牧兽医研究所)

近红外光谱分析技术在饲料成分及营养价值评定上的研究进展·····	(222)
----------------------------------	-------

任 鹏 陈雪秀 (中国农业科学院畜牧研究所)

饲料添加剂

饲用微生物添加剂研究进展与应用·····	(239)
----------------------	-------

蔡辉益 霍启光 (中国农业科学院饲料研究所)

益生菌的研究进展及应用·····	(248)
------------------	-------

顾宏伟 李德发 (北京农业大学动物科学技术学院)

饲用抗生素研究进展·····	(255)
----------------	-------

佟建明 (中国农业科学院畜牧研究所)

β -肾上腺素能兴奋剂的研究进展及其应用·····	(265)
---------------------------------	-------

王若军 (中国农业科学院畜牧研究所)

饲用调味剂、诱食剂的研究进展·····	(276)
---------------------	-------

常碧影 (国家饲料质量监督检验测试中心)

饲料加工

预混合饲料生产中的若干营养问题·····	(288)
----------------------	-------

刘当慧 (无锡轻工业学院食品工程系)

加工工艺对饲料营养价值的影响·····	(298)
---------------------	-------

李德发 (北京农业大学动物科学技术学院)

国情分析

对我国传统农家养猪生产模式的再认识·····	(309)
------------------------	-------

周梅卿 (四川省农业科学院畜牧兽医研究所)

河南省畜禽日粮必需微量元素盈缺分析·····	(321)
------------------------	-------

祁凌云 李绍钰 (河南省农业科学院畜牧研究所)

我国中长期饲料资源供求分析及对策·····	(330)
-----------------------	-------

张子仪 (中国农业科学院畜牧研究所)

近十年国际畜禽能量代谢研究进展^①

杨嘉实

(吉林省农业科学院动物营养研究所)

一、单胃动物的能量代谢研究进展	(2)
(一)猪 (二)鸡	
二、反刍动物的能量代谢研究进展	(6)
(一)牛 (二)羊	
三、其他动物的能量代谢研究进展	(8)
(一)兔 (二)其他	
四、妊娠、泌乳、繁殖生产状态的能量代谢研究进展	(10)
(一)牛 (二)羊 (三)猪	
五、组织、器官、内分泌与能量代谢的关系	(13)
(一)牛、羊 (二)猪 (三)其他	
六、环境因素对畜禽能量代谢的效应	(17)
七、新技术和新方法在能量代谢研究上的应用	(19)

引 言

两百年前,Lavoisier(1743~1794)和 Laplace(1749~1827) 奠定了动物体内氧化还原的理论基础并首创动物的呼吸测热器,而家畜呼吸代谢试验的正式开展,当溯及 19 世纪中叶。Regnault 和 Reist(1849) 曾用封闭型呼吸代谢装置进行狗的能量代谢试验,相继 Pettenkofer(1862) 用开放型呼吸代谢装置进行人的呼吸代谢试验。从 19 世纪 60 年代至 90 年代,Henneberg(1865)、Kühn(1867)、Kellner(1892)等相继在德国 Weende 农业试验场进行过艰苦的创业工作。美国系从德国学习引进,先后有 Armsby(1883~1921)、Zuntz(1917) 等先驱进一步完善了动物体内氧化还原的理论,并在能量代谢研究中加以应用。近 30 年来,各种类型呼吸测热装置不断问世,家畜能量、物质代谢的实验方法、手段日臻完善,动物营养学科有了一系列重大突破。随着畜牧养殖业发展对营养科学的急需,为加强家畜能量代谢专题领域研究的深入和学术交流,由欧洲动物生产协会发起,在丹麦哥本哈根于 1958 年正式组织了国际家畜能量代谢研究专题的第一次学术会议,随后每 3 年举行一次,至 1991 年共召开了 12 次国际会议(1961 在荷兰,1964 在英国,1967 在波兰,1970 在瑞士,1973 在西德,1976 在法国,1979 在英国,1982 在挪威,1985 在美国,1988 在荷兰,1991 在瑞士),取得了丰硕成果,并在动物营养学科的发展以及与其他学科的结合方面常有创新。

本文只就近 10 年间举行的第 9、第 10、第 11、第 12 次会议所发表的全部论文结果,归

① 本文承蒙 [许振英] 教授审阅、校正,特此致谢。

纳简要综述。这 10 年间畜禽能量代谢学术研究的基本特点是:

(一)参与这一专题领域研究与学术活动的国家、地区增多,用于动物能量代谢研究的实验室增加,各类呼吸测热器和各种实验技术不断更新。1985 年只有 20 多个国家拥有专供畜禽能量代谢使用的实验室约 70 处,1990 年则发展为 29 个国家、共建有 101 个能量代谢专用实验室,其中有 80 个实验室重点应用呼吸测热法,有 21 个实验室采用屠宰、重水和其他方法。

(二)被研究的动物对象扩宽。除原有牛羊猪鸡等家畜(禽)仍继续重点研究外,还增加了鼠、鱼、珍禽、毛皮动物以及人类。研究内容范围也不断增多,逐步深入和创新。如,饲料来源、饲料结构、营养水平等对能量、蛋白质利用的影响以及在动物体内能量物质的分配、利用和效率等规律;与生理学、生物化学相结合,对体组织、器官和体物质的中间代谢等,对有关激素、生长促进剂等,以及对繁殖生产过程中的能量代谢等进行了研究;对于环境温度、光照等因素,以及动物品种的遗传性与能量营养代谢关系、特点等做了研究;开始与动物选种、种质评价相结合等等。

(三)改进、更新实验研究方法,不断将新的技术、设施应用于能量代谢研究工作中。如,应用示踪、核磁共振、光谱等先进仪器技术,以及用新研制的呼吸测热装置、重水技术和屠宰等实验方法相结合进行综合研究,使实验结果得以快速准确估测;总结既有的实验结果和数据,运用计算机加以计量化,把有关生产状态下有关动物的能量代谢试验结果建立数学模型而加以应用等等。

本文涉及的 4 次国际会议的论文共 364 篇。其中第 9 次会议论文 74 篇,第 10 次 86 篇,第 11 次 93 篇,第 12 次 111 篇。按论述的动物类别划分,牛 92 篇,羊 42 篇,猪 94 篇,鸡与禽 50 篇,兔 5 篇,鱼 6 篇,鼠貂 11 篇,马 3 篇,驼 1 篇,人 9 篇;此外还有有关专题的综述性文章共 51 篇。由于这 4 次会议论文的分类与排列方法不尽一致,为了便于归类叙述和查阅,将按重点动物种类或者重要研究专题分类排列,既能突出重点,又能客观介绍一般。但也有少数属内容交叉。各种专题综述性论文,均分别归纳于相同类别之中。文中所列试验结果的计量单位,均按原文,未行换算。共分 7 个专题内容分别简述。

一、单胃动物的能量代谢研究进展

共有 72 篇论文,其中猪 46 篇,鸡 26 篇。凡属饲料、饲粮、营养水平和品种等不同对于猪鸡能量代谢的影响,以及体内沉积能和能量需要解析等内容,均列于本部分。

(一)猪

生长育肥猪的试验报道较多,在维持需要方面较全面配套。Dunkin 等(1982)报道,1.8 至 6.5 公斤体重仔猪食入能量与体物质沉积关系,认为总沉积能(蛋白能、脂肪能)与食入能水平呈直线关系,日粮的蛋白含量较高和缺乏蛋白者,其维持代谢能却分别为 445(较低)和 532(较高)千焦/千克代谢体重。Thorbek(1982)全面系统测试每 20 千克为一直重阶段(20~120 千克)、高低两个饲养水平生长猪的维持代谢能和相应的值(用于生长的代谢能利用分效率)认为,生长猪的维持代谢能值并不与代谢体重呈比例关系,但代谢体重具有一个常数直线作用;各体重阶段的维持代谢能(千焦/千克代谢体重)和代谢能利用效率(在括号中数

字)分别是:534(56.7),599(75.9),534(79.3),499(76.9),461(80.4),439(76.5)。日粮蛋白质水平高低,对沉积蛋白能/沉积能值影响很大,高蛋白者则高,低蛋白者则低;绝食状态下的维持代谢能(千焦/日)=4060+210 千克代谢体重,而生长时的维持代谢能(千焦/日)=3456+347 千克代谢体重,用于维持的代谢能利用分效率为 0.80。Noblet 等(1991)对比 3 个品种(Large white, Pietrain 和中国梅山猪)的维持代谢能值,品种不同有差别(1048、874、899 千焦代谢能/千克体重^{0.60}),平均值为 994 千焦代谢能/千克体重^{0.60};用于体内蛋白质沉积的利用分效率为 60%,用于产脂的代谢能利用分效率为 80%。杨嘉实等(1988)报道了繁殖母猪和哺乳仔猪的绝食代谢、维持能量需要的试验结果;全面测定并得出中国地方良种“东北民猪”生长猪的各不同体重阶段绝食代谢的能量需要量(饥饿产热值)方程如下:

$$\text{绝食产热值 Kcal} = 796.97 + 52.17 \times \text{千克代谢体重}$$

Michelchen 等(1991)研究不同生长体重阶段或年龄的生长猪能量需要相关性认为,年轻猪的维持代谢能比老龄猪高且差异非常显著;食入能与沉积能有高度相关;还提出体重、体蛋白含量、脂肪含量与年龄,日增重与体蛋白、体脂肪、体重,能量需要与生长率、能量转化率等等的相关关系及其相应的十分重要而又实用的各种公式。Laswai 等(1991)研究了生长猪在不同生长阶段的维持能量需要及其与能量分配的关系,认为代谢能中的热产生、热消耗(能量沉积、蛋白沉积和脂肪沉积等)与体重、性别、饲养水平等均有关而且受它们影响;未去势比去势猪的维持能量需要高 0.10;在蛋白质沉积方面有显著差异等。认为产热(H)(沉积热与消耗热)与体重相关, $H = 1130 \text{ 千焦/千克体重}^{0.61}/\text{日}$;维持代谢能与蛋白质沉积关系如下:

$$\text{维持代谢能} = 0.923 \cdot PE^{-0.58}$$

Schneisber 等(1982)也研究了不同饲养水平、不同体重阶段对生长猪能量代谢分配影响的各种结果、有关公式、系数等。Fandrejewski 等(1991)对生长母猪能量代谢做了全面的研究,证实在青春期有性行为的青年母猪每天的维持需要量比成熟的母猪高(571 对 498 千焦)。不同体重、不同饲养水平、不同品系猪的有关活动的产热也有报道。Verstegen 等(1982)将生长猪按体重分为不同阶段,每阶段中又采用不同饲养水平,试验测定了各种条件下的产热量以及在活动情况下的能量变化。据此统计认为,各活动时的产热量,分别可占总产热的 8%、13%(低时),以及 14%、20%(高时)。Susenbeth 等(1991)认为,猪的站立次数和时间的不同,与不同饲养水平、不同猪的品系性能等均有关。每天站立时间的增加,与降低饲养水平有显著相关,在维持饲养水平时,站立的频率就高(为全天总产热的 20%),而在高饲养水平时,其站立的时间就短(为全天总产热的 10%);在 24 小时中每站立 1%的时间需耗能量为 3.4 千焦/千克代谢体重。从猪的品系性能看,体脂含量低的猪的活动量,要比体脂含量高的猪要多。

品种、性别对生长猪物质沉积代谢有较大影响。Stebrits 等(1982)认为肥胖型猪的采食量高且多用于脂肪沉积,瘦型猪饲料转化率高,用于沉积蛋白较高。Campbell 等(1985)认为蛋白质沉积随体重增长到 35 千克时则按曲线函数增加,而脂肪沉积几乎呈直线增加。Susenbeth(1985)认为不同品种类型猪体蛋白、体脂肪沉积比例所以不同的原因,是猪体背膘内产生还原型烟酰胺腺嘌呤二核武酸磷酸盐,或者称还原型辅酶 II (NADPH) 酶的系列不

同所致。Hofstetter 等(1985)进一步证实,能量采食量、蛋白质沉积比例以及蛋白沉积最大比例等,受品种类型所制约,可以此做为评定种质的依据。品种内的性别不同体组织沉积及其成分也有差异。Campbell 等和 Fernandez 等(1985) 分别报道,按去势公猪→母猪→公猪的顺序,水分、蛋白、灰分的含量增加而脂肪降低,代谢能沉积利用率则以去势公猪→母猪→公猪顺序显著降低。公猪的饲料转化率好、日增重高,其原因是体脂低而体蛋白质高(体内水分含量高),以补偿其较低的代谢能沉积利用率。McCracken 等、Noblet 等(1988)认为,尽管喂给特瘦肉型公猪以高蛋白质食入量,但其日蛋白质沉积量和体增重中蛋白质能量比例,仍与日粮中蛋白质含量呈线性增加。

饲养水平、饲料采食量对生长猪能量代谢影响有较多研究报道。Borme 等(1982)认为提高日粮能量浓度可相应提高食入代谢能。Dunkin(1985)用蛋白质含量充足的日粮在不同饲养水平研究食入代谢能(千焦/日)与氮平衡(克/日)的关系认为,体重 30~90 千克猪的氮(克)沉积最多,而以 30 千克和 90 千克两时期的代谢能沉积氮的效率最高。Wenk 等和 Fuller 等(1985)对生长猪前期的蛋白水平和饲养水平等研究分别认为:体蛋白质合成时比脂肪合成时的耗能量高,故蛋白质形成与维持代谢能有密切关系,而脂肪形成直接与食入代谢能相关,前期的维持代谢能值为 435 千焦/代谢体重(或 630 千焦/体重^{0.569})。猪的增重率随蛋白质和赖氨酸含量增加而提高,也相应增加氮沉积,但不大影响产热量。认为产热量与体重的 0.62 次方呈比例关系,显著低于 0.75 次方。得知每沉积 1 克蛋白质产热量增加 19.4 千焦。Kirchgeszner 等(1985)认为日粮采食量越高(为维持的 2.5 或 3 倍)其粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪的消化率则显著下降,是因为采食水平越高在消化道内存留时间就越短,消化率就低。它们呈线性关系。

$$Y(\text{存留时间}) = -0.34x + 65.8$$

x(采食水平):(每千克代谢体重的干物质的克数)

Kinyamu 等(1991)研究了中国梅山猪的代谢能采食量对体成分的影响,得到了沉积蛋白的能耗为 67.6 千焦/克,沉积脂肪的能耗为 55.9 千焦/克。

饲料结构、碳水化合物来源、添加物等不同对生长猪能量代谢有重要影响。Jakobsen 等(1991)报道以碳水化合物为基础的饲料加入油脂后可提高体脂肪沉积,并认为在沉积 20~500 克/日时其呼吸商值变异为 1.00~1.35。Shepperson 等(1985)研究认为,等能量、等蛋白质饲料中因碳水化合物组成不同对代谢能利用和在体内沉积比例有显著影响,淀粉含量较多的好,粗纤维含量多的较差,其利用效率仅是淀粉的 67%。Gadeden 等(1985)报道,在粗蛋白质和代谢能的采食量相同条件下改变粗纤维、脂肪含量,显著影响体脂沉积和代谢能的总利用效率和生长分效率;认为以脂肪提高日粮能量浓度每增加 1 兆焦,其代谢能利用效率则提高 1.2%,而以碳水化合物提高日粮浓度时仅提高 0.62%;如过量加油脂反使代谢能利用效率下降。Urquhart 等(1991)对优良遗传性猪进行试验表明,日粮高脂高能(34.1 兆焦/千克消化能)对于提高食入代谢能、体脂和蛋白质等没有明显影响。Vander Honing 等(1985),Jentsch 等,Longland 等和 Bakker 等(1991)都进行了相类似的大量试验,也均取得相同的结果。Schiemann 等(1988)通过对种种不同来源碳水化合物所组成的日粮对成年猪的代谢能利用试验,提出了进一步完善评定饲料能值的建议。Andrea 等(1991)鉴于种种复杂因素,

提出了用生长猪的体组成分来做为生长的能量利用效率(Kpf)标准的建议。

Müller 等在 1982、1985、1991 年相继对纤维素较多的粗饲料日粮的消化和能量利用做了全面报道,认为:麦秸消化率为 13%,而纯纤维素则为 30%,粗纤维含量每增 1%则代谢能的利用率下降 0.5%,纤维素的代谢能的沉积能值为 68%;添加苜蓿粉使肠内发酵指标上升,苜蓿粉净能值为 5 千焦/克干物质,认为粗饲料发酵能也是沉积能重要来源之一,发酵粗料能值占十二指肠消化的碳水化合物能值的 2/3,以维持需要为基础可从 20%增至 50%。用大母猪做小麦麸日粮试验结果表明:发酵混合物的乙酸与丙酸比例为 75:25,其利用效率为 69.8%,小麦麸在全部营养性消化道中只有 60%被消化,消化能在前、后肠分配比例为 70:30,小麦麸中纤维的代谢能值为 5 千焦/克。Just 等(1985)对含有定量麦秸粉日粮进行瘦管猪试验认为:添加弗吉尼亚霉素可使粗蛋白质和能量在回肠内消化率分别提高 2.8%和 5.1%,可消化粗蛋白质、代谢能的利用率提高 0.5%和 1.9%,使回结肠内容物和粪中挥发性脂肪酸、乳酸含量降低,证明弗吉尼亚霉素有提高营养物质被小肠吸收和降低发酵进程作用。

(二)鸡

对肉仔鸡的饲料日粮和营养水平等因素的能量代谢研究较多。Scheele 等(1982、1985、1988)相继发表了关于代谢能、维持代谢能及代谢能效率方面较为全面的试验报告和各有相关的回归公式等,以此可以预测出在各种不同因素条件下(饲料能量浓度,碳水化合物和脂肪含量,氨基酸水平,饲养水平等)肉仔鸡体蛋白质、脂肪增长和能量利用效率以及它们间相互关系、作用。Kirchgeszner 等、Maclead 等、Huyghebaert 等(1988)认为:肉仔鸡的能量沉积随着能量采食量和日粮代谢能含量的增加而提高,鸡体组织成分主要受日粮中的蛋白质与能量比例影响而改变;因此采用高蛋白质高能量的日粮效果好;日粮中的蛋白质与脂肪的比例如能调正固定一致,虽日粮组成不同,对肉仔鸡的沉积能无显著影响;能量沉积的绝对量和沉积脂肪的分数量,与日粮真代谢能中粗蛋白质:与真代谢能的比例呈负相关。Kirchgeszner 等认为,维持能量需要为 450 千焦/千克代谢体重,其用于蛋白质沉积的利用分效率和用于脂肪沉积的利用分效率分别为 48%和 82%,用于蛋白质、脂肪沉积的利用效率平均为 62%,但随体脂、体蛋白质沉积比例变化而改变。此外,Furuse(1985)用葡萄糖和淀粉为日粮组成来源,Wenk 等(1991)用纤维素来源不同的高粱壳、大豆皮,Sugahara(1991)以日粮中氨基酸含量高低等对肉仔鸡进行试验,报道了各自试验结果。鸡的品种、类型的遗传性能不同,其能量代谢也有差异。Jørgensen 等(1988)用六世代选育的生长快、饲料利用率高的纯种鸡试验认为:其日增重高 16%,而饲料转化率却低 13%,是因为体脂沉积相对较多。如按高饲料利用率选种,就需考虑能量代谢率和食入氮的利用率。Leclercq 等(1982)对瘦型与肥胖型试验表明,两者体物质沉积的数量与质量(蛋白质、脂肪)和饲料报酬均不相同。

对于产蛋鸡的能量、蛋白质代谢有不少研究。Chwalibog(1982)对白来亨鸡多批次研究结果认为:日粮中蛋白、能量含量平衡时其维持代谢能为 420 千焦/代谢体重,而沉积蛋白质能量系数为 2、沉积脂肪能系数为 1.3,代谢能对蛋能的利用效率为 0.75, Kirchgeszner(1982)对洛岛红蛋鸡做了全面研究并得出较系统的结果。认为日粮蛋白质水平高其沉积能也高,能量水平高其沉积能也高。Grossu 等(1985)报道了添加氨基酸对能量代谢影响。

Chwalibog(1985)对笼养和平养产蛋鸡对比试验认为,因活动量不同,平养比笼养鸡的饲料采食量、代谢能、沉积能、产蛋等均低,只饲料转化率较高。Maclead等(1982)对不同品种鸡的活动与产热关系的研究结果表明:一天当中夜间不活动比白天有活动时的产热显著少;肉鸡在吃食和停食的能耗约占每日总产热的5%;产蛋鸡每天活动的热耗占总产热的15%,而饱食期热耗则占9%。

Peste等(1988),Geraert等和Luiting等(1991),对不同遗传性能的不同品种产蛋鸡能量代谢对比研究认为,采食量有明显差异,而蛋中的能量是对产热影响的显著因素。杨嘉实等(1988)研究了中国三个不同类型品种鸡(蛋用、肉用、兼用型)在绝食状态下的产热量不同。

二、反刍动物的能量代谢研究进展

本节共收录41篇论文,牛30篇、羊11篇。研究内容多系有关品种和类型等不同,以及饲料来源、营养水平等不同对维持或生长等能量代谢的影响。

(一)牛

对有关肉牛品种的生长公牛(阉牛)的研究结果有不少报道,既提供了各本品种的基础资料,又明确各品种间的异同。Stetter等(1988)全面系统地对西门达尔牛的研究结果表明,三个不同体重阶段的维持代谢能(千焦/千克代谢体重)十分一致(562,544,562),用于蛋白脂肪沉积的利用总效率值,前期为0.41、中后期为0.61等。Gill等(1988)对弗来逊品种试验测定,绝食产热量为0.353兆焦/千克代谢体重;因饲养水平不同能量沉积有很大差别,并得出食入代谢能与沉积能的线性回归关系。Webster(1982)在标准饲料的多种饲养水平处理条件下作能量平衡试验,测定了Angus, Friesian, Hereford, Chianina等四个肉用品种大量生长阉牛(其中的后两个品种牛,还有公牛)的估测基本代谢值(predicted basal metabolism, PBM),结果表明:品种和性别类型不同其PBM值有显著差异(由362至546千焦/千克代谢体重),去势牛偏低(平均为356、367千焦/千克代谢体重),而公牛高(平均为415千焦/千克代谢体重)。随季节变化PBM值也有较大差异,以9~12月份为最低(330~370千焦/千克代谢体重)。Meissner(1982)对三个肉牛品种生长公牛生长全程用精料型和粗料型饲料进行全面研究表明,在食入代谢能、日增重、能量沉积(脂肪沉积能和蛋白质沉积能)等方面,品种间有很大差别,而且粗料型比精料型差。Vermorel(1982)用两个品种生长肉牛分不同体重阶段两个饲养水平试验认为:品种和饲养水平不同,代谢能用于生长的利用效率(MEG)无显著不同;但同样的代谢能,其沉积能和沉积能中蛋白质量,因品种不同都有高低的差别。Garrett(1985)用两个品种生长肉牛研究了体物质代谢、沉积规律,利用无脂空体的组成成分相应恒定而水分与脂肪之间的高度相关等资料,提出了脂肪与蛋白质沉积也是一个高度相关的原理,以及用增加日粮能量含量来测出增重的体组成成分和体蛋白质与脂肪间的线性关系。Carstens等(1988)对两个不同品种类型杂交的生长肉牛(从幼龄开始至20个月龄)在相同环境条件下对比试验结果表明:不同遗传基因型的牛在出生后20个月龄时的绝食代谢产热量和维持代谢能的利用效率显著不同。

Würgler等(1985)对早熟杂交肉牛、纯种肉牛和奶用型品种等的去势阉牛进行全面试验研究认为:在低饲养水平的能量消化率均高于高饲养水平的能量消化率,代谢能不因品种类

型不同而有差异。经各种数据估测认为各品种的代谢体重共同用 0.64 幂值为好;早熟种以 0.53、纯种以 0.56、奶用型以 0.69 等幂值为最适。Byers(1991)用 5 个品种成年牛及其各自产生第一代杂种牛在维持饲养水平以下和以上进行试验证明:其维持代谢能随季节环境变化而有不同,春夏提高(由 102~244 千卡/千克代谢体重),秋冬降低(由 147~81 千卡/千克代谢体重);但品种间差异很大,维持代谢能最低者,春夏为 90~134 千卡/千克代谢体重,秋冬为 131~80 千卡/千克代谢体重)。Goodrich 等(1985)用不同类型品种牛及其杂种共 7 个类型牛试验研究表明:纯种牛与杂种牛之间的体组成成分和体组织增减的交换效率(注:“交换”系指体组织增加与体组织消耗之间的动态变化)是有差异的;奶牛和奶牛杂种牛的体组织贮存较大的比例乃是蛋白质;纯肉牛的体组成成分和体组织增减的交换最大比例趋向于脂肪;而且肉牛比纯奶牛和奶肉杂种牛的能量交换效率要大。Birkelo 等(1991)报道了断奶后肉用母牛的“生产效能(Production efficiency=小牛控制在 12 个月的断奶重+小牛食入代谢能)”与维持代谢能及其利用效率的关系,认为生产效能与用于维持的代谢能利用分效率值(维持代谢能的利用效率)无显著关系;其杂交一代母牛的维持代谢能为 104.9~100.5 千卡/千克代谢体重,绝食产热为 76.3~76.7 千卡/千克代谢体重,用于维持的代谢能利用分效率值为 0.73 和 0.76。McCracken 等(1991)用育肥阶段肉牛的不同采食水平(均为全价日粮)对体成分和能量利用的研究结果认为:提高饲养水平可提高体脂肪沉积率,但在空体重中增加脂肪含量和能值时,并不影响蛋白质的沉积,其蛋白质:EBW(空腹体重)的比例为 0.140,较为稳定,用于增重的代谢能利用效率只为 0.75。Rompala 等(1985)对两个肉牛品种生长后期以不同营养水平饲粮饲养用空体重来估测体蛋白质、体脂肪的试验结果认为:食入代谢能与沉积量和脂肪沉积速率有关,而食入代谢能用于沉积蛋白、脂肪的效率不受空体重的影响;其关系式为:

$$\text{食入代谢能} = 5.40 \text{ 沉积蛋白能} + 1.34 \text{ 沉积脂肪能} + 0.115$$

食入代谢能有 75%和 19%分别用于脂肪沉积和蛋白质合成。Carstens 等(1988)用杂种阉牛全面进行正常生长和补偿生长(先限制饲养,后又重新正常饲养)试验结果认为:补偿重新饲养的生长牛的增重速度比正常饲养生长牛提高明显(37%),胴体蛋白质、脂肪对空体重的异速生长系数并不受补偿处理的影响,但非胴体蛋白质与空体蛋白质的生长系数补偿组大于正常组,最终补偿组牛的空体脂肪较低而蛋白质却高于正常组牛。Schnyder 等(1982)报道了在维持饲养水平条件下生长停滞的补偿代谢认为,初期的产热显著上升后又恢复平稳,对体组成的改变有影响。

饲料来源和日粮结构对牛体能量代谢影响有不少报道。Neergaard 等(1985)用精料和粗料的混合饲粮喂生长阉牛,麦秸(粗料)用碱处理(5%NaOH 和 10%NaOH)后又酸中和或不中和等处理,试验结果认为,碱处理后以酸中和的麦秸的代谢能利用率明显提高。李安康等(1991)喂小阉公牛以各种粗料(中等质量干草,低质干草,稻草,尿素并钙化处理稻草等,结果认为,氮沉积的不同结果与食入氮量有密切关系。Varga 等(1985)用生长阉牛在采食量相同条件比较苜蓿和鸭茅草两种青贮饲料效果认为,两者的维持代谢能相似,但沉积体组织能量和氮量以苜蓿青贮饲料多。Beyer(1991)报道了用不同种类来源淀粉配制成三个蛋白质水平的多种类型日粮对牛能量代谢试验结果认为:淀粉和水溶性碳水化物的消化率极高,但

并不影响被消化部分的能量利用率;被测各种日粮均有各自的代谢能利用率,并与日粮能量浓度有关;减少日粮中淀粉的比例可提高氮和蛋白质氮的采食量,通过十二指肠的微生物氮为 70~98 克/日,这与淀粉来源的比例无关。此外 Ortigues 等(1988)报道了在基础日粮为稻草添加鱼粉提高肠氨基酸供应却又不改变瘤胃发酵类型时,均可增加生长牛的生长速率的结果。Kirchyebner 等(1985)试验证明,对奶牛日粮中的蛋白质供应不足(减少 25%)或过量供应(多 25%),均可使产奶量降低,因体内氮代谢发生变化,即使恢复正常供应,短时期内仍不可逆转。

(二)羊

Voicu 等(1991)全面报道了从出生至 240 日龄青年母山羊的能量代谢。80 日龄前喂以羊奶和混合料,随后各有变化。30 日龄至 240 日龄的干物质采食量自 282 克到 803 克,其食入代谢能为 4.72~8.44 兆焦/日;还得到每日沉积蛋白质、脂肪和日增重结果,并依此的维持代谢能值为 0.450 兆焦/千克代谢体重,净效率为 0.462,可消化蛋白质需要为 2.31 克/千克代谢体重,蛋白质沉积效率为 0.501。Terada 等(1985)对去势绵羊、去势山羊和水母牛的等能不同蛋白质水平和等蛋白质不同能量水平等多种日粮的代谢能、代谢率进行比较试验认为:三种动物均有一定差异,在日粮总能一致蛋白质水平不同时,绵羊的能量消化率低于牛和山羊;在日粮蛋白质相同总能不同时,在维持水平以上饲养时三者的能量消化率无显著差异,而代谢能值不受精粗料比例影响;当绵、山羊日粮蛋白质含量接近维持需要量(13%),其代谢能值与牛相同。Unsworth(1982)、Harris 等(1988)和 Aguilera 等(1991)对绵羊、山羊不同活动方式的能耗测定结果认为:在每日正常活动量以外,每增加一个小时站立(绵羊)可多耗能 3 千焦/千克代谢体重;行走时能量消耗与地面斜度是线性回归关系,垂直上坡的能耗与垂直下来恢复的能量,经多元回归计算则是 30.5 和 14.7 焦耳/千克⁻¹·米⁻¹。此外 Manik 等(1988)报道喂泌乳和不泌乳山羊以尿素补充料(用热、湿处理的木薯)用示踪标记物研究证明:因改变含尿素精料的发酵有利于糖元前体的形成,改进了糖元的异生、葡萄糖大量流动,从而促进代谢能有效供给体组织代谢过程。Sumdston 等和 Waiman(1982)分别报道了对营养不良绵羊给蛋白质饲料和挥发性脂肪酸和日粮中添加油脂等试验结果。McRae(1982)和 Verstegen 等(1985)报道,内外寄生虫使犊牛、羔羊采食量下降,虽影响增重,但不影响消化和代谢能的利用。

三、其他动物的能量代谢研究进展

本节包括除猪鸡牛羊以外的各种动物,还有综合性报告等,也是近十年间的较大变化。共有 31 篇论文。

(一)兔

Parigi-Bini 等(1985、1991)对兔的各生理状态的能量需要和不同营养水平的体物质沉积等试验结果认为:非妊娠母兔主要是提高空体重和体脂能量以备妊娠,其维持消化能为 398 千焦/千克代谢体重;妊娠母兔在妊娠后 21~30 天发生变化,空体重损失,能量用于胎儿发育,其维持消化能为 431 千焦/千克代谢体重;初产母兔分娩泌乳,则体重应上升而空体下降,其维持消化能应为 432 千焦/千克代谢体重;而泌乳又同时妊娠者,其空体损失更大,

其维持消化能应为 468 千焦/千克代谢体重。用新西兰大白兔研究后,对消化能采食水平与空体增加、干物质增加、蛋白质增加、脂肪增加、灰分增加等提出了较完整的相关回归方程,以及维持消化能和蛋白质、脂肪的沉积效率等相关系数值。

(二)其他

Bayley 等(1982)对鸭和鹅的代谢实验结果表明:维持能量需要分别为 711~738 千焦/千克·日和 630 千焦/千克·日,自由采食的食入代谢能为 1500 千焦/千克·日,其中约 1/2 能量用于维持需要;食入代谢能(MEI)与空体能(EB 千焦/千克·日)的回归方程为以下公式:

$$\text{鸭 } EB = -545 + 0.77MEI$$

$$\text{鹅 } EB = -534 + 0.85MEI$$

代谢能沉积效率鹅高于鸭。Farrell 等(1982)研究了日本鹌鹑的饥饿产热值(绝食产热)(高 826 和低 738,千焦/千克·日)和食入代谢能(千焦/日)与蛋白质沉积能、脂肪沉积能、维持能的相关以及氮沉积(y —克/千克体重·日)与食入氮(x —克/千克体重·日)的关系($y = 0.607x - 2.14$)。Wachter—Varmann 等(1982)研究表明:成年鸚鵡的维持能量需要或体内沉积能量随季节变化而异;一般的饲料食入量平均为 5.7 克,随蛋白质含量提高而增加。

Cho 等(1988,1991)报道了 0~64 周龄虹鳟鱼生长全程实验结果:其最佳的增重和氮沉积的最低能量需要为 15 兆焦消化能/千克,可消化蛋白质/可消化能之比为 22~24 克/兆焦消化能;生长全程消化能需要量为 8~15 兆焦消化能/千克,而 24~32 周龄时每天至少需 17 兆焦消化能/千克,饲料净效率为 1.0~1.5。Hogendoorn(1982)报道了非洲鲇鱼的代谢率和能量沉积等结果,认为在正常养殖条件下,其用于增重的代谢能利用效率值为 80%;在给予能量比维持需要高 6 倍的情况下,代谢能吸收最多,饲料的利用率也最高。

Eggum 等(1982)测定生长豚鼠的维持代谢能(千焦)= $32.5 + 251$ 千克代谢体重。Wallis 等(1988,1991)研究了对鼠袋鼠家族中三个品种在喂精料条件下测定其绝食的产热量,因夜间活动、白天不活动,其饥饿产热值与真兽亚纲动物有差别;红棕袋鼠的维持需要比蓬松尾短鼻袋鼠、小长鼻袋鼠等低;明确了非妊娠母袋鼠与袋养小袋鼠的代谢率与产热变化规律,青年袋鼠的维持代谢能值为 0.83 兆焦/日或 0.36 兆焦/千克代谢体重。Petry(1985)报道了野生鼠和狨在静止、自由活动两种状态的基础代谢率,分别为 285.7 千焦/千克代谢体重和 204.8 千焦/千克代谢体重,狨显著低于鼠(28.5%);提出与绝食时间、活动、基础代谢水平有关的估测总代谢率的相关方程。Farrell 等(1988,1991)研究了生长鼠在不同生长阶段采用三次减重和三次增重的持续相互交替实验结果认为,其维持代谢能在减重时为 594 千焦/千克体重、在增重时为 667 千焦/千克体重,其代谢能净效率分别为 0.604 和 0.907。

Charlet—Lery 等(1982)研究成年公水貂的饲料 GE 与 DE 或代谢能之间有高度相关,沉积能(千卡/千克代谢体重)等于 0.972 代谢能,且与食入氮或消化氮也有相关关系;维持代谢能在舍内时为 155.9 千卡代谢能/千克代谢体重。全年季节(温度)不同、体重不同,其基础代谢产热量也有差别。貂的能量、蛋白质的消化率均为 75%,而能量代谢率为 92.9%。

Vermorel 等(1988)研究了在接近维持能量水平时鞍马的维持代谢能需要为 462 千焦/千克代谢体重,因日粮结构不同,其马力(用于产脂的代谢能)和维持代谢能值也稍有变化。

对小型马喂饲不同饲料时的能量消耗试验结果表明,提高的产热量亦异(长干草为 75%~98%,颗粒干草为 50%,颗粒精料为 35%),表明粗料的耗能高。Carmean 等(1991)用 94 千克体重马试验认为,其绝食产热为 59.3 千卡/代谢体重,维持代谢能为 84.5 千卡/代谢体重。

近 10 年又开展了应用呼吸测热器及其测试方法对人的各种状态的能量研究,是一个新的动态方向。Rumpler 等(1988)研究短期和长期限食以及重新恢复食量,Jias 等、Wenk 等(1991)分别研究非肥胖型人、食量调节以及长跑运动员饮料中添加碳水化合物增加耐力等的体能量代谢。Wenke(1982)还就各种实验动物的能量代谢的比较研究方面的问题提出评述性意见。

此外,Vos(1988)就荷兰国的农业、牧业和饲料等各有关方面的能量之间的转换和利用,进行了综合性调查总结和论述。Breirem(1982)就挪威国的农业中的能量组成和利用,用大量数据论述了它们的相互关系,提出物质、生物循环等有益建议、观点。

四、妊娠、泌乳、繁殖生产状态的能量代谢研究进展

本节包括牛羊猪的妊娠、泌(哺)乳等繁殖生产状态的能量代谢,独有特点。共有 67 篇论文。按动物类别分述。

(一)牛

Ferrell 等(1985)在妊娠乳牛的子宫动静脉、胎儿股动静脉、脐静脉和胎盘动静脉等处安装导管并用重水(D_2O)扩散平衡法等对子宫组织氧化代谢做了全面研究,结果表明:妊娠期子宫血流量增加 4.5 倍、脐带血流增加 21 倍,与妊娠不同日期相关;脐带血流量虽较少,但流速很快,为子宫血流的两倍,证明胎儿生长速率快于子宫等组织;妊娠期脐静脉与子宫动脉血中的氧、葡萄糖、乳糖等浓度恒定,子宫动静脉、脐静动脉血中浓度差也恒定(妊娠后期除外),但子宫胎盘组织摄氧量(460 摩尔/千克/分)高于胎儿的两倍;子宫组织的产热量是整个妊娠期增热的 40%。Terad 等和 Unsworth 等(1991)分别报道怀有单犊和双犊的妊娠母牛能量代谢结果:妊娠母牛维持代谢能值约为 487 千焦/千克体重,用于胎儿生长的代谢能利用效率为 13%,母体产热随妊娠期(210、240、270 天)进展而增长;在妊娠最后的 113 天,怀双犊母牛体能量沉积降低 54%,而食入代谢能、HP、体重等均增加,双犊牛的体脂含量比单犊牛的体脂含量要少 14%。Jenkins 等(1991)在四年期间持续对海福特、西门塔尔两肉牛品种成年母牛的妊娠(非泌乳)、非妊娠(泌乳)、泌乳(妊娠)、非泌乳(非妊娠)等四种状态产热情况进行比较试验,认为:日产热量海福特比西门塔尔牛高,但绝食产热却相反(按单位体重);全面总结出各种生理状态或期间的牛体每天产热量,与干物质采食量/千克体重·日、预计乳产量(千克)、绝食和生产时的产热量指数等一系列的相关公式模式。Iwasaki(1982)报道了日本黑母牛在妊娠期和非妊娠期的绝食产热的结果。分别为 313 千焦/千克代谢体重·日和 281 千焦/千克代谢体重·日。Vermorel 等(1985)发现难产犊牛血液代谢因缺氧而引起体物质变异伴有酸中毒活力降低容易死亡。Schrama 等(1991)用干乳粉等原料配制的两种水平饲料(高、低)对 6~14 日龄犊牛研究表明:HP(千焦/千克代谢体重·日)= $382+0.32$ 代谢能,基础代谢率(BMR)和代谢能的利用率随日龄增长有规律地下降,但维