



研究生用书

反刍动物营养

Ruminant Nutrition

● 赵广永 编著



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

阅 览



研究生用书

反刍动物营养

Ruminant Nutrition

S823.5
2013/



● 赵广永 编著



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了反刍动物幼畜瘤胃发育特点,反刍动物采食、反刍、饮水和唾液分泌规律,瘤胃微生物和瘤胃发酵基本理论,饲料中的碳水化合物、含氮化合物、脂肪及长链脂肪酸在瘤胃中的代谢规律,瘤胃甲烷产生规律及其调控途径,反刍动物饲料能量和蛋白质营养价值评定理论以及反刍动物营养研究技术,包括尼龙袋技术、瘤胃内容物标记物技术、全消化道灌注营养技术、瘤胃微生物标记物技术、人工瘤胃技术以及瘤胃微生物分离培养技术的理论、方法和用途。本教材可作为动物营养和饲料科学专业硕士研究生的参考教材,也可供动物科学专业的本科生和其他从事牛羊生产研究的同行参考。

图书在版编目(CIP)数据

反刍动物营养/赵广永编著. —北京:中国农业大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5655-0546-1

I. ①反… II. ①赵… III. ①反刍动物-动物营养-研究 IV. ①S823.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 112299 号

书 名 反刍动物营养

作 者 赵广永 编著

策划编辑 梁爱荣 席 清

责任编辑 梁爱荣

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 8印张 140千字

定 价 19.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

出版说明

我国的研究生教育正处于迅速发展、深化改革时期,研究生教育要在研究生规模和结构协调发展的同时,加快教学改革步伐,以培养高质量的创新人才。为加强和改进研究生培养工作,改革教学内容和教学方法,充实高层次人才培养的基本条件和手段,建设研究生培养质量基准平台,促进研究生教育整体水平的提高,中国农业大学通过一系列的改革、建设工作,形成了一批特色鲜明的研究生教学用书,本书是其中之一。特别值得提出的是,本书得到了“北京市教育委员会共建项目”专项资助。

建设一批研究生教学用书,是研究生教育教学改革的一次尝试,这批研究生教学用书,以突出研究生能力培养为出发点,引进和补充了最新的学科前沿进展内容,强化了研究生用书在引导学生扩充知识面、采用研究型学习方式、提高综合素质方面的作用,必将对提高研究生教育教学质量产生积极的促进作用。

由于编写时间紧张,本人水平有限,教材中的不足或错误在所难免,敬请大家批评指正。

中国农业大学研究生院
2008年1月

赵广永
2012年4月

前 言

我们工作生活在一个信息时代。信息时代的最大特征是:信息量大,信息传播速度快,信息获取方便。与其他领域一样,反刍动物营养研究进展也极为迅速。借助计算机网络和其他媒介,我们能够快速、方便地获得所需要的信息资料。因此,无论教材的编写速度有多快,作者收集的资料有多全,教材也不可能完全概括最新的研究进展。也就是说,教材内容可能会滞后于学科的最新研究进展,而直接查阅学术期刊上已经发表的论文资料能够更好地跟踪学科发展的最新动向与进展。但是,对于初学者来说,学术期刊上的信息资料相对比较零散、不系统,这对于系统地掌握反刍动物营养理论知识、解决生产实际问题十分不利。从这个角度来讲,编写教材还是非常必要的。出于这样的考虑,作者把近二十年来在反刍动物营养教学中积累的资料、作者的部分研究结果、教学研究体会,以及在生产实践中获得的部分实例加以整理,编辑成册,供大家参考。希望本书能够帮助学生掌握反刍动物营养的基本理论,提高提出问题、分析问题和解决问题的能力。

由于编写时间紧张,本人水平有限,教材中的不足或错误在所难免,敬请大家批评指正。

赵广永

2012年4月

第一节 脂肪的来源及在瘤胃中的转化	54
第二节 脂肪对瘤胃发酵的影响及过瘤胃保护	58
第五章 瘤胃甲烷产生与调控减排	63
第一节 瘤胃甲烷的产生及其影响因素	63
第二节 反刍动物甲烷产量预测模型	73
第六章 反刍动物的能量与蛋白质代谢	76
第一节 反刍动物饲料能量价值评定	76
第二节 反刍动物饲料蛋白质营养价值评定	82
第七章 反刍动物营养研究技术概述	85
第一节 瘤胃内容物标记物技术	85
第二节 尼龙袋技术	91
第三节 反刍动物全消化道灌注营养技术	96

001	.....	本 书 胃 瘤 工 人	第 四 章
201	.....	本 书 宝 胃 量 组 合 副 白 蛋 白 主 游 胃 瘤	第 五 章
301	.....	本 书 养 猪 已 离 位 的 游 主 游 胃 瘤	第 六 章
401	.....	本 书 胃 瘤 工 人	第 七 章
501	.....	本 书 胃 瘤 工 人	第 八 章

目 录

第一章 瘤胃微生物与瘤胃内容物的特性	1
第一节 反刍动物幼畜瘤胃发育规律.....	3
第二节 瘤胃微生物.....	7
第三节 反刍动物唾液分泌及对瘤胃发酵的影响	18
第四节 瘤胃内容物的特性	21
第二章 碳水化合物在瘤胃中的代谢规律	25
第一节 碳水化合物的组成与分类	25
第二节 碳水化合物在瘤胃中的发酵	27
第三章 含氮化合物在瘤胃中的代谢规律	37
第一节 含氮化合物在瘤胃中的代谢	37
第二节 优质蛋白质饲料的过瘤胃保护	44
第三节 非蛋白氮化合物在瘤胃中的代谢规律	48
第四章 脂肪在瘤胃中的代谢规律	53
第一节 脂肪的来源及在瘤胃中的转化	54
第二节 脂肪对瘤胃发酵的影响及过瘤胃保护	58
第五章 瘤胃甲烷产生与调控减排	63
第一节 瘤胃甲烷的产生及其影响因素	63
第二节 反刍动物甲烷产量预测模型	73
第六章 反刍动物的能量与蛋白质代谢	76
第一节 反刍动物饲料能量价值评定	76
第二节 反刍动物饲料蛋白质营养价值评定	82
第七章 反刍动物营养研究技术概述	85
第一节 瘤胃内容物标记物技术	85
第二节 尼龙袋技术	91
第三节 反刍动物全消化道灌注营养技术	96

第四节	人工瘤胃技术.....	100
第五节	瘤胃微生物蛋白质合成量测定技术.....	105
第六节	瘤胃微生物的分离与培养技术.....	107
第七节	康奈尔净碳水化合物和蛋白质体系饲料分析方法.....	110
参考文献	.....	115

1	.....	章一第
2	.....	章一第
3	.....	章二第
4	.....	章三第
5	.....	章四第
6	.....	章二第
7	.....	章一第
8	.....	章二第
9	.....	章三第
10	.....	章一第
11	.....	章二第
12	.....	章三第
13	.....	章一第
14	.....	章二第
15	.....	章三第
16	.....	章四第
17	.....	章一第
18	.....	章二第
19	.....	章三第
20	.....	章四第
21	.....	章一第
22	.....	章二第
23	.....	章三第
24	.....	章四第
25	.....	章一第
26	.....	章二第
27	.....	章三第
28	.....	章四第
29	.....	章一第
30	.....	章二第
31	.....	章三第
32	.....	章四第
33	.....	章一第
34	.....	章二第
35	.....	章三第
36	.....	章四第
37	.....	章一第
38	.....	章二第
39	.....	章三第
40	.....	章四第

反刍动物可以有效地消化以下所列的饲料。反刍动物瘤胃中产生的挥发性脂肪酸(VFA)是其主要能量来源。反刍动物瘤胃中产生的VFA是其主要能量来源。反刍动物瘤胃中产生的VFA是其主要能量来源。

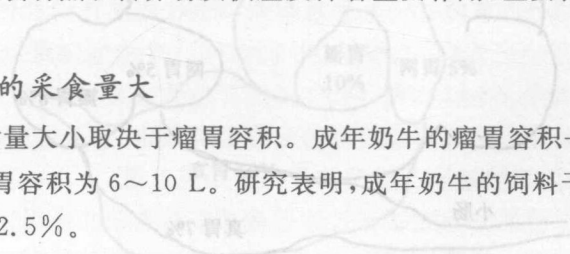
反刍动物瘤胃中产生的VFA是其主要能量来源。反刍动物瘤胃中产生的VFA是其主要能量来源。反刍动物瘤胃中产生的VFA是其主要能量来源。

第一章 瘤胃微生物与瘤胃内容物的特性

反刍动物有四个胃，包括瘤胃、网胃、瓣胃和真胃。在消化生理特点方面，反刍动物与非反刍动物存在很大差异。例如，反刍动物能够以粗饲料作为主要饲料；反刍动物的主要能量利用形式是挥发性脂肪酸(volatile fatty acids, VFA)，而非反刍动物的主要能量利用形式是葡萄糖；反刍动物能够利用非蛋白氮化合物(non-protein nitrogen, NPN)作为蛋白质代用品等。反刍动物与非反刍动物之间的差异主要是消化道结构的不同所造成的。具体而言，就是反刍动物具有瘤胃。瘤胃对于反刍动物的采食特点和营养物质供应发挥着重要作用，主要体现在以下四个方面。

1. 反刍动物的采食量大

反刍动物采食量大小取决于瘤胃容积。成年奶牛的瘤胃容积一般为 100 L 左右，成年绵羊的瘤胃容积为 6~10 L。研究表明，成年奶牛的饲料干物质采食量为其体重的 2.0%~2.5%。



2. 反刍动物可以有效消化纤维性饲料

成年反刍动物的瘤胃中生活着大量的瘤胃微生物，瘤胃微生物能够产生纤维水解酶及其他碳水化合物酶类，因此，反刍动物能够采食、消化纤维性饲料。这种消化能力并不是反刍动物本身所具备的，而是瘤胃微生物为反刍动物提供了这种能力。

3. 饲料成分在瘤胃中可在一定程度上被降解转化

反刍动物采食的饲料到达瘤胃以后，部分饲料营养成分能够被瘤胃微生物降解、转化。例如，饲料碳水化合物能够被发酵，产生VFA。VFA被反刍动物用做能量来源。饲料含氮化合物能够被瘤胃微生物降解为肽类、氨基酸和氨。同时瘤胃微生物又能够利用这些降解产物作为原料，合成微生物蛋白质。微生物蛋白质随着瘤胃内容物从瘤胃中流出，流入后部消化道，被反刍动物消化利用，作为蛋白质来源。饲料中的脂肪及长链脂肪酸在瘤胃中也能够被微生物分解或转化，产生一些新的营养成分。例如，不饱和脂肪酸可以被氢化，被转化为饱和脂肪酸。十八碳二烯酸在生物氢化(biohydrogenation)过程中，被转化为共轭亚油酸(conjugated linoleic acids, CLA)。瘤胃微生物还能够合成水溶性维生素。

4. 瘤胃上皮能够吸收VFA等营养成分

研究表明，碳水化合物在瘤胃中发酵产生的大部分VFA可通过瘤胃上皮被吸收。瘤胃上皮的健康状况对于VFA的吸收非常重要。

总之，瘤胃功能对于反刍动物的采食量、饲料营养成分消化以及营养物质供应均非常重要。成年反刍动物复胃的外形见图1.1。

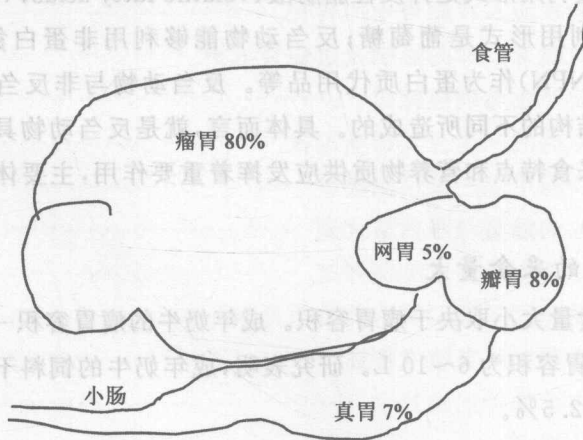


图 1.1 成年反刍动物复胃的外形

第一节 反刍动物幼畜瘤胃发育规律

一、反刍动物幼畜复胃的特点

与成年反刍动物相比,反刍动物幼畜的瘤胃、网胃、瓣胃和真胃容积要小得多,并且瘤胃、网胃、瓣胃和真胃容积的相对百分比也与成年反刍动物存在很大差别。

据报道,初生犊牛瘤胃、网胃、瓣胃和真胃的体积分别占四个胃总体积的百分比分别为 25%、5%、10% 和 60%,犊牛达到 3~4 月龄时,分别为 65%、5%、10% 和 20%,而成年牛分别为 80%、5%、7%~8%、7%~8%。由此可以看出,初生犊牛的瘤胃相对容积很小,而成年牛的瘤胃相对容积很大。初生犊牛的真胃相对容积很大,而成年牛的真胃相对容积较小。这说明三个问题:①反刍动物的瘤胃、网胃、瓣胃和真胃的容积是随着年龄的增长而逐渐发生变化的;②反刍动物幼畜对营养物质的消化主要是依靠真胃进行的,而瘤胃的作用相对并不重要;③随着反刍动物年龄的增长,瘤胃功能的重要性逐渐提高,而真胃功能的重要性则相对下降。实际上,哺乳期反刍动物主要采食牛奶或代乳料,这些液体饲料被采食后通过食管沟直接到达真胃进行消化,并不需要经过瘤胃。因此,反刍动物幼畜主要依靠真胃进行消化,瘤胃并不发挥主要作用。随着年龄的增长,反刍动物幼畜逐渐采食少量干草或精料混合料。这些饲料到达瘤胃,同时带入微生物,这些微生物在瘤胃中存活下来,逐渐形成了稳定的瘤胃微生物区系,饲料营养成分开始被发酵,反刍动物也开始出现反刍活动。反刍动物幼畜复胃的外形如图 1.2 所示。

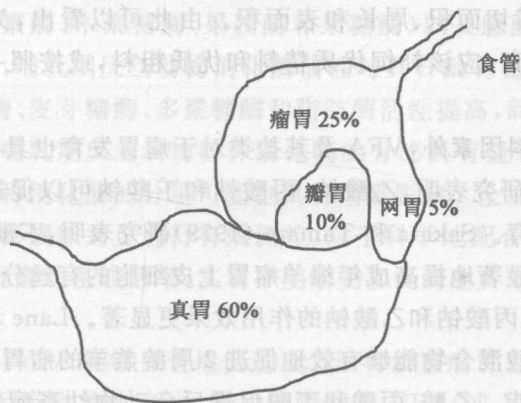


图 1.2 反刍动物幼畜复胃的外形

二、影响瘤胃发育的因素

瘤胃是反刍动物的重要消化器官,使反刍动物幼畜的瘤胃尽早地、充分地发育是反刍动物生产的重要目标之一。瘤胃容积大小对成年反刍动物的采食量具有重要影响,瘤胃上皮的健康状况对于 VFA 及其他营养物质的吸收也具有重要作用。优质高产的反刍动物,其瘤胃必定发育良好。研究表明,精料可促进瘤胃上皮乳头状结构的生长。干草促进瘤胃容积增加和瘤胃肌肉的生长。只饲喂牛奶的犊牛瘤胃发育比既喂牛奶又补充饲料的犊牛瘤胃发育要差。不同饲料及年龄对犊牛瘤胃上皮发育的影响结果见表 1.1。

表 1.1 饲料类型对犊牛瘤胃黏膜乳头状结构形态学指标的影响

处理	长度 /mm	单位面积内 的数量/mm ²	横切面积 /mm ²	周长 /mm	表面积 /(mm ² /cm ²)
6 周龄,大麦/豆粕	1.44	180	0.61	4.2	217
6 周龄,苜蓿	1.58	191	0.52	3.6	198
9 周龄,大麦/豆粕	1.96	106	1.36	9.3	286
9 周龄,苜蓿	2.37	136	0.91	6.3	245

来源: Zitnan 等, 1998。

从表 1.1 可以看出,9 周龄犊牛的瘤胃黏膜乳头状结构的长度、密度、横切面积、周长和表面积均高于 6 周龄的犊牛。对于 6 周龄的犊牛来说,补饲大麦/豆粕或苜蓿对于上述指标没有显著影响,而对于 9 周龄的犊牛来说,补饲苜蓿显著提高了瘤胃黏膜乳头状结构的长度,而补饲大麦/豆粕显著提高了瘤胃黏膜乳头状结构的密度、横切面积、周长和表面积。由此可以看出,为了促进反刍动物幼畜瘤胃上皮的发育,应该补饲优质精料和优质粗料,或按照一定的精粗比例补饲混合饲料。

除了年龄和饲料因素外,VFA 及其盐类对于瘤胃发育也具有促进作用。早在 1962 年, Tamate 等研究表明,乙酸钠、丙酸钠和丁酸钠可以促进犊牛瘤胃上皮乳头状结构的生长发育。Sakata 和 Tamate (1979) 研究表明,丁酸钠、丙酸钠和乙酸钠的混合物均能够显著地提高成年绵羊瘤胃上皮细胞的有丝分裂指数(mitotic index),并且丁酸钠比丙酸钠和乙酸钠的作用效果更显著。Lane 和 Jesse (1997) 发现,乙酸、丙酸和丁酸混合物能够有效地促进 2 周龄羔羊的瘤胃上皮乳头生长和瘤胃上皮细胞代谢功能。乙酸、丙酸和丁酸促进反刍动物幼畜瘤胃上皮细胞分化的机理可能是,VFA(丁酸等)促进了动物胰岛素生长因子-I (insulin-like growth

factor-I, IGF-I)、表皮生长因子(epidermal growth factor, EGF)和胰岛素(insulin)的分泌,而这些激素促进了瘤胃上皮细胞的增殖。即VFA很可能是通过IGF-I等激素的介导而促进瘤胃上皮细胞增殖的。

三、促进反刍动物幼畜瘤胃发育的措施

不同奶牛个体的生产性能存在很大差异。培育优质奶牛的主要指标包括:初产年龄为24月龄,体重为570 kg,从出生到生产第一头犊牛的死亡率应小于10%,初产的流产率小于4%,10月龄前奶牛的日增重为800 g,10月龄后为825 g。为了达到这些生产指标,在犊牛生产阶段可采取以下措施:①在犊牛出生后1周左右开始让其自由采食优质干草;②出生后10 d左右开始补喂精料。最初每天10~20 g,以后增加到每天100 g左右;③出生后20 d开始补喂青绿饲料,最初每天10~20 g,2月龄可达到每天1~1.5 kg;④出生后60 d开始饲喂青贮饲料。最初每天100 g,3月龄时增加至每天1.5~2 kg。

根据以色列奶牛生产的经验,配制犊牛开食料的要求包括:①蛋白质质量好,最好用大豆饼作为蛋白质来源;②非蛋白氮不超过1%;③优质饲草最多占8%~12%;④开食料中棉籽可占10%~15%,以提高犊牛的食欲。总之,让犊牛尽早地接触、采食容易消化的优质精料和粗料,对于瘤胃发育非常有利。

四、哺乳期反刍动物的消化功能依赖于消化酶的分泌

对于哺乳期反刍动物来说,瘤胃尚未发育完善,对于食物的消化主要依赖于真胃和小肠的消化功能,而真胃和小肠对食物的消化取决于各种消化酶的活性。哺乳期反刍动物的消化酶主要包括:二糖水解酶(乳糖酶、麦芽糖酶、蔗糖酶)、多糖水解酶(淀粉酶、纤维素酶、木聚糖酶、果胶酶和果糖酶)以及脲酶、蛋白酶和脂肪酶等。一些研究表明,哺乳期反刍动物消化酶活性与其日龄有密切关系。随着出生日龄的增加,淀粉酶、麦芽糖酶、多聚糖酶和脂肪酶活性提高,而乳糖酶的活性显著下降。除了日龄对哺乳期反刍动物各种消化酶的分泌具有显著影响以外,食物成分及其添加剂对各种消化酶的分泌可能也具有重要影响。全面认识哺乳期反刍动物各种消化酶的分泌规律并且进行有效调控,对于科学地配合哺乳期反刍动物的开食料和代乳料,提高幼畜成活率,实现早期断奶和提高生产效率具有非常重要的意义。

很多研究表明,VFA能够显著地促进反刍动物幼畜瘤胃上皮和后部消化道上皮的发育,并且在反刍动物生产中,通过饲喂幼畜VFA(或VFA钠盐)促进瘤胃发育是一项重要生产措施,但是,VFA(或VFA钠盐)对消化酶分泌及其活性是

否也有影响,并不十分清楚。丁希宏和赵广永(2012)研究了向羔羊代乳料中添加混合 VFA 钠盐(按照乙酸、丙酸和丁酸 65:25:10 的摩尔比例配制)对小肠食糜中 α -淀粉酶、胰蛋白酶、脂肪酶、糜蛋白酶和乳糖酶的影响。研究结果见表 1.2 和图 1.3。

表 1.2 混合 VFA 钠盐对羔羊小肠消化酶活性的影响

指标	每只羊每天混合 VFA 钠盐添加量/g				
	0	5	15	30	60
食糜 pH	7.17	7.24	7.16	7.21	7.13
α -淀粉酶/(U/L)	3 713.17	3 026.17	3 288	1 748.17	2 041.17
胰蛋白酶/(U/mL)	259.78	527.22	447.41	296.63	265.99
脂肪酶/(U/L)	53.06	60.71	97.97	74.95	97.01
糜蛋白酶/(U/L)	15.91	19.22	26.06	28.19	26.84
乳糖酶/(U/L)	26.32	31.18	38.07	33.62	31.41

来源:丁希宏,赵广永(2012)。

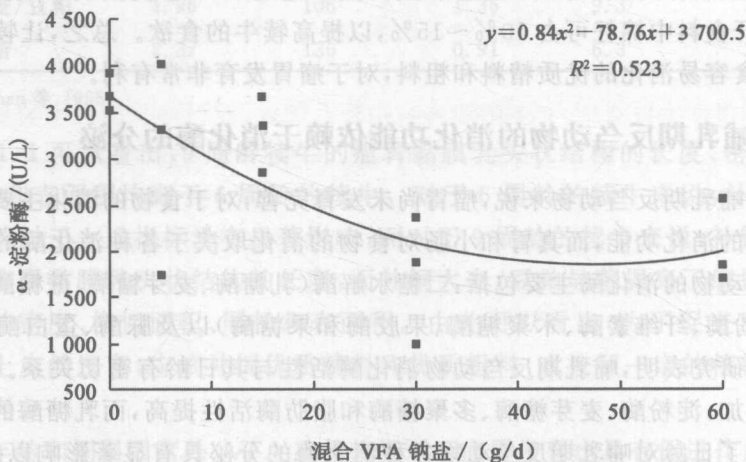


图 1.3 混合 VFA 钠盐饲喂量与小肠 α -淀粉酶之间的关系

(丁希宏,赵广永,2012)

从上述研究结果可以看出,向代乳料中添加 60 g/d VFA 钠盐,对小肠食糜的 pH 值、胰蛋白酶、脂肪酶、糜蛋白酶和乳糖酶的活性没有显著性影响。但是,向代乳料中添加混合 VFA 钠盐降低了羔羊小肠 α -淀粉酶的活性,使氮沉积有增加的趋势。因此,在生产中向羔羊代乳料中添加适量的 VFA 钠盐是可行的。

第二节 瘤胃微生物

反刍动物的瘤胃中生活着大量的瘤胃微生物,包括细菌、原虫和厌氧真菌三大类。在长期的生物进化过程中,各种瘤胃微生物在瘤胃中建立了相对稳定的生态系统,反刍动物与瘤胃微生物之间形成了非常牢固的共生关系。这种共生关系反映在几个方面:一是反刍动物为瘤胃微生物提供了适宜的生长繁殖环境;二是瘤胃微生物在生长繁殖的过程中可以产生很多消化酶类,帮助反刍动物消化饲料的营养成分;三是瘤胃微生物随着瘤胃内容物的外流,流入真胃和小肠,作为蛋白质和其他营养物质的来源为反刍动物提供营养。因此,认识瘤胃微生物的特点及其对反刍动物营养的影响,非常重要。

一、瘤胃细菌的分类

瘤胃细菌的个体很小,只有借助高倍显微镜才能看见。瘤胃细菌的数量很多。每毫升瘤胃液中细菌可达1亿~10亿个。瘤胃细菌对于帮助反刍动物消化饲料具有重要作用。对细菌进行分类的方法很多,例如,根据细菌的染色特性进行分类;根据细菌的形状进行分类;根据细菌的代谢产物进行分类等。根据细菌代谢特点分类,可把细菌分为22个属63种。但是,从反刍动物营养的角度来看,这些分类方法并不能充分地反映瘤胃细菌与反刍动物之间的关系。因此,根据细菌对饲料营养成分的利用特点进行分类更有价值。

(一)根据细菌对饲料成分利用的特点分类

1. 纤维分解菌

反刍动物本身并不具备有效消化粗饲料的能力,其消化纤维性饲料的能力主要得益于瘤胃微生物的帮助,特别是瘤胃中纤维分解菌的作用。纤维分解菌具有两个特性:一是以饲料中的纤维素、半纤维素作为发酵基质;二是纤维分解菌的生长、繁殖及活性受瘤胃内环境的影响,特别是瘤胃pH值的影响。在正常瘤胃pH值范围内,随着瘤胃pH值的升高,纤维分解菌的活性也升高;随着瘤胃pH值的下降,纤维分解菌的活性也下降。一般情况下,当瘤胃pH值低于6.2时,纤维分解菌的活性就会下降。保持瘤胃中纤维分解菌的活性对于提高反刍动物对粗饲料的消化率和利用率、降低饲料成本非常重要。因此,在生产实践中,应该采取措施提高纤维分解菌的活性。影响瘤胃pH值的因素均能够影

响纤维分解菌的活性,而影响瘤胃 pH 值的因素很多,包括日粮精粗比例、日粮物理结构(颗粒大小)、饲喂方式(精料、粗料分开饲喂或采用全混合日粮技术)以及饲料添加剂(例如碳酸氢钠)等。一般情况下,随着日粮精料/粗料比例的提高,瘤胃 pH 值下降,这样会导致纤维分解菌活性的下降。这是因为,精料中的淀粉容易被快速发酵,产生大量 VFA。在生产实践中,为了提高反刍动物对秸秆饲料的消化率和采食量,通常对秸秆饲料进行氨化处理。但是,在使用氨化秸秆饲喂反刍动物时,如果同时使用大量精料、特别是玉米等淀粉含量较高的饲料,粗饲料的氨化效果会被相应抵消。这是因为,饲喂大量玉米时,瘤胃内产生大量 VFA,瘤胃 pH 值下降,进而影响瘤胃中纤维分解菌的活性,导致粗饲料消化率下降。因此,在生产实践中,使用提高日粮精料/粗料的比例,不仅导致饲料成本上升,同时还很可能造成粗料消化率下降。纤维分解菌对纤维性饲料的发酵产物主要是乙酸。

2. 淀粉分解菌

淀粉分解菌是瘤胃中的另一类重要细菌。这类细菌具有两个特点:①以饲料中的淀粉作为主要发酵基质;②淀粉分解菌的活性也受瘤胃 pH 值的影响。这一特点与纤维分解菌正好相反。在正常瘤胃 pH 值范围内,随着瘤胃 pH 值的升高,淀粉分解菌的活性下降;反过来,随着瘤胃 pH 值的下降,淀粉分解菌的活性升高。淀粉分解菌对淀粉的发酵产物主要是丙酸。

瘤胃 pH 值与纤维分解菌和淀粉分解菌相对活性之间的关系见图 1.4。

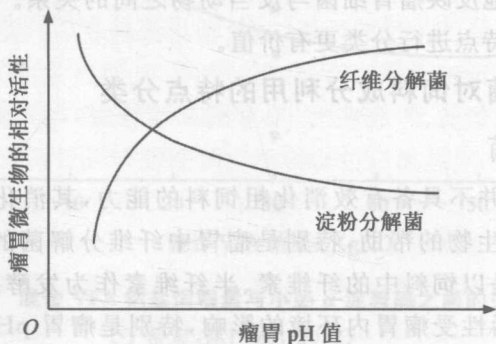


图 1.4 瘤胃 pH 值对纤维分解菌和淀粉分解菌的影响

3. 蛋白质分解菌

蛋白质分解菌能够产生蛋白质水解酶,把反刍动物采食的饲料蛋白质在一定

程度上降解为肽类、氨基酸和氨。对于不同来源的饲料蛋白质,蛋白质分解菌的降解能力不同。对于植物性饲料蛋白质,降解能力较强。而对于动物性来源的蛋白质,降解能力较差。例如,豆饼蛋白质在瘤胃中的降解率可高达80%,而鱼粉蛋白质在瘤胃中的降解率只有20%左右。一般情况下,蛋白质分解菌对饲料蛋白质的降解率不会达到100%。在蛋白质分解菌对饲料蛋白质进行降解,产生肽类、氨基酸和氨的同时,瘤胃微生物能够利用这些降解产物作为原料,合成微生物蛋白质。随着瘤胃内容物的外流,饲料的非降解蛋白和微生物蛋白一起流入真胃和小肠,被反刍动物作为蛋白质来源消化利用。由于瘤胃中蛋白质分解菌的作用,使得反刍动物对蛋白质的消化特点与单胃动物之间存在很大差异。

4. 产甲烷菌

随着饲料中碳水化合物在瘤胃中被瘤胃微生物发酵,瘤胃中产生大量二氧化碳和氢。瘤胃产甲烷菌(methanogenic bacteria)能够利用二氧化碳和氢作为原料,合成甲烷(methane)。甲烷可以通过反刍动物的暖气,释放到大气中。产甲烷菌的活动导致反刍动物产生大量甲烷。这一过程会造成两个方面的问题:一是饲料能量损失。甲烷本身含有能量。甲烷释放本身就是能量浪费。甲烷产量受很多因素的影响,包括饲料成分、饲料采食量、饲料的加工处理方式、反刍动物的饲喂方式以及饲料添加剂等。饲料采食量越高、消化率越高,甲烷产量就越多。二是反刍动物释放的甲烷加重地球的温室效应(greenhouse effect)。甲烷是重要的温室气体,反刍动物产生的甲烷可占地球甲烷产量的18%左右。因此,反刍动物释放的甲烷对于地球温室效应的影响不可忽视。早期对反刍动物甲烷产生的研究主要是针对提高饲料能量的利用率。近年来,由于地球温室效应的加剧,对于反刍动物产生甲烷研究的主要目标是减轻地球的温室效应。

(二) 根据细菌在瘤胃中的位置分类

瘤胃内容物可以被简单地分为液体、固体两部分。其中固体又可以分为饲料颗粒和细胞(包括原虫和瘤胃上皮细胞)。因此,可以根据瘤胃细菌在瘤胃中的位置进行分类。

1. 游离于瘤胃液中的细菌

这类细菌主要以可溶性营养物质为食物,包括糖、淀粉和氨基酸等。

2. 附着于饲料颗粒上的细菌

这类细菌主要以纤维素和半纤维素等为主要食物。

3. 附着于细胞上的细菌

包括附着于瘤胃上皮细胞和原虫细胞上的细菌。实际上,这三类微生物之间并没有严格的界限。动物采食后,瘤胃中可溶性营养物质较多,这时微生物主要在瘤胃液中活动,首先利用容易利用的营养物质。当瘤胃液中的营养物质消耗完后,微生物又会转移到饲料颗粒或细胞表面上。生物总是趋于利用容易利用的营养物质。

(三) 净碳水化合物—蛋白质体系的分类方法

净碳水化合物—蛋白质体系(Cornell Net Carbohydrate and Protein System, CNCPS)是美国康奈尔大学提出的对反刍动物饲料营养成分分类的方法。这一体系将瘤胃细菌分为两大类:一类是在瘤胃中发酵结构性碳水化合物(structural carbohydrates, SC)(纤维素、半纤维素)的细菌。这类细菌只发酵细胞壁的碳水化合物,仅用氨作为氮源,利用肽类和氨基酸。另一类是在瘤胃中发酵非结构性碳水化合物(non-structural carbohydrates, NSC)(淀粉、果胶、糖)的细菌。这类细菌发酵非结构性的碳水化合物,如淀粉、果胶和糖等,以氨、肽类和氨基酸作为氮源,能产生氨。这种分类方法反映了瘤胃细菌对能量物质、氮素利用的特点,对瘤胃细菌分类进行了简化。

二、瘤胃细菌消化饲料的方式

反刍动物采食的饲料到达瘤胃以后,很快被大量瘤胃微生物包围,并且附着在饲料颗粒上。然后,瘤胃微生物从植物性饲料的气孔或缝隙进入到饲料颗粒的内部,开始对饲料颗粒进行消化。从里到外,逐步进行。这是瘤胃微生物消化饲料的一般过程。在这一过程中,微生物对饲料的附着过程是必不可少的。如果由于某种原因导致微生物与饲料颗粒不能接触和附着,则饲料不能够被微生物有效地消化降解。例如,反刍动物日粮中添加大量脂肪,会隔断微生物与饲料颗粒之间的接触。这样就容易造成饲料消化率下降,严重时,可造成瘤胃发酵异常。由此可见,为了提高饲料的消化率,特别是粗饲料的消化率,提高瘤胃微生物与饲料颗粒的接触面积、加强瘤胃微生物对饲料颗粒的附着以及帮助微生物进入饲料颗粒内部,均是必要的。在生产实践中,对粗饲料进行粉碎、压扁或揉搓均能够达到上述目的。但是,需要注意的是,对粗饲料的过度加工处理,如粉碎过细,并不能够有效地提高粗饲料的消化率,这是由几个方面的因素决定的:①粉碎过细虽然能够提高瘤胃微生物与饲料颗粒的接触面积,加强微生物对饲料颗粒的附着,但是会导致反刍动物