



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

反刍动物 消化生理学

刘敏雄

主编

动物生理生化专业用

北京农业大学出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教材指导委员会审定

反刍动物消化生理学

刘敏雄 主编

动物生理生化专业用

北京农业大学出版社

(京)第164号

全国高等农业院校教材

反刍动物消化生理学

刘敏雄 主编

责任编辑 雷克敬

•

北京农业大学出版社出版

(北京市海淀区圆明园西路2号)

北京外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•

850×1168毫米 7.75印张 185千字

1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷

印数, 1—1500

ISBN 7-81002-219-9/S·220

定价, 2.50元

内 容 提 要

本教材是为高等农业院校动物生理生化专业教学需要编写的，是在家畜生理学教学基础上，着重讨论反刍动物消化、营养物质吸收与转运的特点。鉴于现有家畜生理学和动物生物化学教材中还没有专门章节讨论反刍动物物质代谢和瘤胃微生物能量代谢的内容，本教材特就这些方面的内容分别作了叙述。本书共十章，包括口腔内的消化、消化管的发育及其运动的调控、瘤胃的微生物和原生动物的消化与代谢、蛋白质的消化与代谢、脂类的消化与代谢、能量代谢、无机盐和维生素、吸收以及消化代谢异常。本书可供农业院校畜牧系和兽医系、综合性及师范院校生物系各有关专业的师生以及有关科研单位、农牧场科技人员阅读参考。

前 言

反刍动物是指将食入的食物再呕出重新进行咀嚼的动物。在动物分类学中，反刍动物属哺乳纲的偶蹄目。该目有两个亚目，即反刍亚目和胼足亚目。前者包括鹿、驼鹿、麋、驯鹿、羚羊、长颈鹿、麝牛、犏牛、牛、水牛、绵羊和山羊；后者包括骆驼、美洲驼、羊驼和驼马。

反刍动物以其独特的消化代谢特点，在经济学和生态学方面对于人类社会都具有十分重要的价值。据联合国粮农组织近期公布的有关资料，全世界大型反刍动物（不包括绵羊和山羊）共约有14.6亿头（牛13亿头、水牛1.4亿头和骆驼1.8千万头），年产牛肉5千万t，牛奶5亿t。在世界范围面临紧急灾害的时刻，仅牛奶一项就可以挽救人类免于饥饿。在发展中国家，99%的农业动力是靠反刍动物（主要是牛）的役力。

反刍动物做为高度耐粗饲的草食动物，是自然生态系统中极为重要的一个链节。它们能依靠多纤维食物（如牧草）而生长繁殖，不与人类共同消费相同的生活资料，能在地球上许多不能生长或不宜种植粮食作物的地区生存和发展。

我国年产稻、麦秸秆、甘蔗渣等约5亿t，反刍动物瘤胃微生物能够利用这些副产物转化为宿主动物能够吸收利用的营养物质，从而在土壤—植物—动物—微生物之间，进行有效的营养物质与能量的交换，实现大农业生产的良性循环。

据推测，人类进入21世纪时，对乳品和牛羊肉的需要量将翻一番。因此，重视反刍动物的生产发展，是关系到人类未来的一项战略性任务。我国近年来畜牧生产有了明显的发展。在我国中长期科技规划中，要求发展节省粮食的草食动物，养牛和养羊业

被提到重要地位。按国家规划,到2000年全国每人每年要求达到肉25—29kg,蛋10—15kg,奶15—20kg;食物供应的营养水平,每人每日总热量2700kcal^{*},其中动物性热源要达到376—438kcal^{*},实现这一规划的目标,将深刻地改变中国人民历来的食物构成,这将对提高民族身体素质,促进物质与文明建设,带来深远的影响。

国际畜牧业发展的经验表明,近20年来,世界范围内牛增长30%、绵羊和山羊增长40%以上,主要是依靠科学饲养管理、正确育肥和挖掘遗传潜力而达到的,并非单纯靠增加能源消耗的结果。因此,需要重视有关反刍动物生理学和生物化学的教学与科研工作,普及并提高对反刍动物消化代谢特点的理论认识,以促进反刍动物饲养管理水平的不断提高。

我国在反刍动物消化代谢这一研究领域的工作,起步较晚,系统的研究工作有待开展,有关教材和参考资料很少,还缺乏全面讨论反刍动物全部消化系统生理和生化机能特点的著作¹。在教学方面,目前国内高等农业院校家畜生理学和动物生物化学教材中,有关反刍动物特点的内容极不充实,授课时数仅2—3学时。为弥补这方面的不足,加强理论教学,需要一本适用的有关教材。我们承担农业部指令编写的这本教材,是在为我校动物生理生化专业开设的《反刍动物消化生理》自编的讲义基础上,主要参考国外近期出版的有关资料编写的。本书编写过程中注意到结合我国实情,在有关章节中参阅并引用了一些我们的以及兄弟院校和科研单位的有关研究材料或信息。

作为一本教材,本书编写的目的在于系统介绍反刍动物消化生理学的基本知识,以及国内、外有关的研究进展情况。

* 千卡(kcal)是测定能量代谢的惯用的热量单位。按国际制热量单位焦耳(J)换算,1cal=4.1864J。

目 录

第一章 口腔内的消化	1
一、采食	1
二、咀嚼	1
三、唾液腺和唾液	2
(一) 唾液腺	2
(二) 唾液的组成	3
(三) 唾液的分泌量	5
(四) 唾液的功能	8
(五) 唾液分泌的反射性调节	9
(六) 反刍幼畜唾液分泌机能的发育	10
四、吞咽	10
第二章 消化管的发育和运动	12
一、反刍胃的生长和发育	12
二、成年反刍胃的结构	14
(一) 瘤胃	14
(二) 网胃	15
(三) 瓣胃	15
(四) 皱胃	16
三、肠管的发育	17
四、反刍胃的运动	18
(一) 网-瘤胃的运动	18

(二) 反刍	24
(三) 嗝气	27
(四) 网胃沟	28
(五) 瓣胃的运动	29
(六) 皱胃的运动	30
五、胃肠道内食糜的运转	31
(一) 研究目的与方法	31
(二) 不同消化段食糜的运转	32
六、反刍胃运动的调控	36
(一) 神经分布	36
(二) 体液调节	38
(三) 前胃运动及其调控	39
(四) 皱胃活动及其调控	40
(五) 肠运动及其调控	43
第三章 瘤胃微生物和原生动物	45
一、瘤胃微生物和原生动物的性质	45
二、瘤胃微生物和原生动物的种类和数量	46
(一) 测定方法与数量	46
(二) 种类	47
三、瘤胃微生物和原生动物的功能	55
(一) 瘤胃细菌的功能	55
(二) 瘤胃原虫的功能	64
四、瘤胃微生物和原生动物的生存条件——瘤胃内环境	65
(一) 瘤胃微生物和原生动物的物质条件	65
(二) 瘤胃内调控环境因素的机制	66
五、瘤胃微生物学的历史与展望	68
(一) 研究的三个阶段	68

(二) 生活于瘤胃内不同生态位点的瘤胃细菌	71
(三) 瘤胃微生物和原生动物的相互作用	74
(四) 瘤胃细菌的培养	75
第四章 糖类消化与代谢	78
一、瘤胃内糖类消化与代谢	78
(一) 糖类的微生物发酵	78
(二) 微生物对单糖的降解	82
(三) 丙酮酸代谢	83
(四) 丁酸和4碳以上脂肪酸的合成	86
(五) 发酵类型	88
(六) 甲烷生成	88
(七) VFA的吸收和代谢	90
二、肠道内糖类的消化	91
(一) 日粮淀粉在全消化道内消化作用的总估计	91
(二) 小肠内糖类的消化	93
(三) 大肠内糖类的消化	94
三、反刍动物对葡萄糖的需要	95
(一) 中枢神经系统	95
(二) 肌肉组织	96
(三) 脂肪组织	96
(四) 胚胎和乳腺	97
四、体内葡萄糖的转化	98
(一) 体内葡萄糖的来源	98
(二) 葡萄糖的更新与去路	108
五、幼年反刍动物的糖类代谢	109
(一) 血糖浓度的日龄性变化	109
(二) 葡萄糖代谢特点	109

(三) 糖代谢的调控	111
第五章 蛋白质消化与代谢	112
一、反刍动物消化、利用蛋白质的特点	112
二、瘤胃内蛋白质和氨基酸代谢	113
(一) 瘤胃内蛋白质的降解	113
(二) 瘤胃细菌的蛋白水解酶	115
(三) 影响瘤胃内蛋白质降解的因素	118
(四) 瘤胃细菌对肽的利用	120
(五) 瘤胃内氨基酸的降解与利用	121
(六) 过瘤胃蛋白质	122
(七) 瘤胃细菌和原虫的蛋白质及其营养价值	124
(八) 瘤胃氨和氮的再循环	127
三、瘤胃后含氮化合物的利用	131
(一) 皱胃中含氮化合物的利用	131
(二) 肠管中含氮化合物的利用	132
四、反刍动物氨基酸代谢	135
(一) 氨基酸吸收后的利用	135
(二) 氮素贮存对反刍动物生产性能的影响	137
(三) 反刍动物的必需氨基酸	138
五、反刍动物对非蛋白氮的利用	139
六、蛋白质合成的调节	143
第六章 脂类消化与代谢	145
一、瘤胃内脂类的消化与代谢	145
(一) 脂类的水解	145
(二) 生物氢化作用与脂肪酸异构物	145
(三) 瘤胃内脂肪酸的合成作用	149

二、小肠内脂类的消化	149
(一) 小肠内脂类的理化特性	149
(二) 胰液、胆汁的作用	149
(三) 脂类的吸收	150
三、组织中脂类的合成	151
(一) 脂蛋白的合成与转运	151
(二) 脂肪酸的合成	153
(三) 脂肪酸的酯化——三酰甘油的合成	162
(四) 胆固醇的合成	163
(五) 脂肪酸的改造与必需脂肪酸	163
四、脂类的分解	165
(一) 脂解过程	165
(二) 脂解的调节	167
第七章 能量代谢	169
一、食物能量(总能)的划分	169
(一) 总能	169
(二) 消化能	170
(三) 代谢能	170
(四) 净能	170
二、能量代谢的测定	171
(一) 能量代谢率的测定	171
(二) 反刍动物的测热法	172
三、能量利用率	173
(一) VFA的能量利用率	173
(二) 蛋白质和脂肪合成的能量利用率	174
(三) 胎体生长的能量利用率	174
四、能量代谢的调节	175

(一) 神经和内分泌系统的调节	175
(二) 影响代谢率的因素	176
(三) 能量输入——采食行为的调节	177
五、瘤胃细菌的能量代谢	178
(一) A T P 的合成	178
(二) 影响 A T P 合成的因素	184
第八章 无机盐和维生素	187
一、无机盐	187
(一) 常量元素	187
(二) 常量元素在瘤胃内消化过程中的相互作用	191
(三) 微量元素	192
二、维生素	195
(一) 脂溶性维生素	195
(二) B 族维生素	199
第九章 吸收	200
一、细胞膜及其转运功能	200
(一) 质膜的特征	200
(二) 脂质双层的通透性	200
(三) 转运蛋白	201
(四) 分泌蛋白的转运	206
二、营养物质的吸收	208
(一) 瘤胃内的吸收	209
(二) 皱胃	213
(三) 肠道内的吸收	213
第十章 消化代谢异常	220
一、瘤胃内的有毒产物及其毒性作用	220

(一) 乳酸	220
(二) 亚硝酸盐	222
(三) 草酸	222
(四) 色氨酸代谢产物与牛急性肺气肿	223
二、若干病理生理学资料	223
(一) 创伤性网胃炎	223
(二) 低血钙症	224
(三) 绵羊瘤胃的不全角化症	224
(四) 瘤胃炎	225
(五) 急性胀气	225
(六) 抗生素对反刍动物消化的影响	225
(七) 皱胃捻转或变位	226
(八) 牛的瘤胃、网胃活动亢进	226

第一章 口腔内的消化

一、采 食

反刍动物的唇、齿和舌是主要的摄食器官。然而因动物的种类、年龄，和食物类型的不同，每个器官的相对重要性也有所不同。

反刍动物没有上切齿，上切齿的功能被坚韧的齿板所代替，为下切齿提供了相对的压力面。

牛的舌长而灵活，可将牧草送入口中，牛舌的尖端有大量坚硬的角质化乳头，这些坚硬的乳头起收集细小的食物颗粒的作用。切齿和齿板的咬合动作可以配合舌的运动攫取食物。

牛的唇相对来说不很灵活，然而当采食鲜嫩的青草或小颗粒食物（如谷粒、面粉、颗粒饲料等）时，唇就成为重要的采食器官。绵羊和山羊的上唇有裂隙，它们的唇比牛灵活得多，适合于啃食生长密集的牧草，在采食中切齿和齿板起的作用比牛更为重要，可以咬啃较矮小的草茎或草茬。

二、咀 嚼

非草食动物的咀嚼主要是靠下颌骨沿垂直方向上下移动来完成，而草食动物则是通过下颌骨的横向运动，将植物纤维磨压成一定大小并形成食团后进行吞咽。另外，反刍动物上颌比下颌宽，因此反刍动物只使用一侧臼齿轮换磨碎饲料，而不能两侧同时咀嚼。由于颌的横向运动，臼齿发育成凿形的磨灭面。下臼齿内侧边缘很锋利，而上臼齿的外缘最锋利（这些锋利的边缘有时

甚至会伤害舌或颊部)。此外，齿牙是由硬度不同因而抗磨损的程度也不不同的多层物质所构成，这就形成了凹凸不平的粗糙表面，有利于磨碎纤维性食物。由于白齿的磨灭面不是平整的表面，因此可使咀嚼的效率大为提高。

反刍动物采食时，一般咀嚼很不充分，只是将食物与唾液混合成大小和密度适宜的食团后便匆匆咽下，经过一段时间后再反复进行仔细的咀嚼。许多野生反刍动物由于害怕强敌的袭击，很少有时间专心采食，往往是尽可能又多又快地将找到的食物后离开，然后在安全的地方仔细地反刍已经吞咽下去的食物。反刍家畜虽然已经驯养，但仍保留野生原种的这一习性。

三、唾液腺和唾液

(一) 唾液腺

反刍家畜有五个成对的腺体和三个单一(不成对)的腺体。成对的腺体有：腮腺(从耳根延伸到下颌骨的后端)；颌下腺

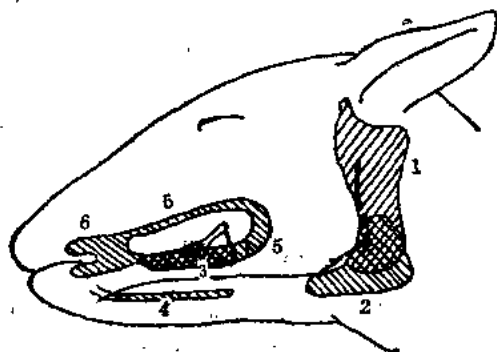


图1-1 绵羊的主要唾液腺

- | | |
|---------|--------------|
| 1. 腮腺; | 5. 颊腺; |
| 2. 颌下腺; | 6. 唇腺。 |
| 3. 臼齿腺; | (咽腺和腮腺未画出) |
| 4. 舌下腺; | (据Kay, 1960) |

表1-1 绵羊的唾液腺

(据Church, 1976)

腺体	重量		唾液特性	分泌量 (L/24h)	分泌特点
	平均 (g)	相对于 腮腺 (%)			
腮腺	3.5	100	浆液性, 液状, 等渗, 缓冲作用强	3—8	切断神经后仍继续分泌, 对口腔、食道和网—瘤胃的刺激有反应。
臼齿腺	5.9	25	浆液性, 液状, 等渗或接近等渗, 缓冲作用强	0.7—2.0	切断神经后仍继续分泌, 对口腔、食道和网—瘤胃的刺激有反应。
腭腺, 颊腺和咽腺	20.7	88	粘液性, 很粘稠, 等渗或近等渗, 缓冲作用强	2—6	无刺激时连续分泌极慢, 对口腔、食道和网—瘤胃刺激有反应。
颌下腺	18.2	77	混合性, 或稀或稠, 低渗, 缓冲作用弱	0.4—0.8	切断神经无分泌, 采食活动是强刺激, 对食道或网—瘤胃刺激反应弱或无反应
舌下腺	1.3	6	混合性, 极粘稠, 低渗, 缓冲作用弱	0.1	无刺激时仍继续分泌, 食道的刺激引起中等程度反应, 其它反射未研究。
唇腺	10.9	46	混合性, 极粘稠, 低渗, 缓冲作用弱		无刺激时分泌少量或无分泌, 对食道或网—瘤胃刺激反应弱或无反应, 其它反射未研究。

(在上颌骨和下颌骨的基部); 臼齿腺(位于颊部); 舌下腺(位于舌下); 颊腺(在颊部)。单一的腺体包括: 腭腺(在软、硬腭内); 咽腺(靠近咽部); 唇腺(在口角附近)。如图1—1所示。

(二) 唾液的组成

唾液是各个唾液腺分泌的混合液体。唾液按物理性状可分为三种: 浆液性唾液、粘液性唾液和混合性唾液, 如表1—1所示。

腮腺和白齿腺产生稀薄的、含有蛋白质但不粘稠的水样唾液；脾腺、颊腺和咽腺产生含有糖蛋白的粘稠唾液；而颌下腺、舌下腺和唇腺则产生混合性唾液。

黄牛和水牛这一类反刍动物还具有鼻唇腺，这是位于鼻镜部真皮内的一些小腺体，其水样分泌物可保持鼻镜部的湿润。大部分的分泌物被舌带进口腔，很少一部分可起到蒸发冷却的作用。许多疾病可使鼻唇腺停止分泌，因此常把鼻镜部的干燥、发热作为诊断疾病的依据之一。

表1-2 唾液的成分 (据kay等,1960)

腺体	唾液来源	离子含量						
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ HPO ₄ ⁻
		mg%						
混合的	由口腔收集	370/462	16/46	1.6/3.0	0.6/1.0	37/72	25/43	
腮腺	由腮腺接管	352/447	12/45	0.1/0.2	0.4/1.1	19/129	19/238	
		mEq/L						
腮腺	由麻醉的绵羊	182/189	5				9/16	91/99 71/79
臼齿腺	由麻醉的绵羊	175	7/10				7/12	97/110 44/51
脾腺	由麻醉的绵牛	179	4				25	109 25
颌下腺	由麻醉的绵羊	3/66	15/51				2/9	1/9 14/175
舌下腺	由麻醉的绵羊	16/47	6/25				16/40	8/18 0.3/2.0
唇腺	由麻醉的绵羊	29/47	3/9				34	2/4 2/10

反刍动物唾液中含有大量碱贮物质，主要包括碳酸氢盐和磷酸盐类缓冲物质(表1—2)。此外还含有一定数量的氮。混合唾液