

实验动物学

总 论

祖国庸 主编

中国人民解放军兽医大学

1984年7月



前 言

医学和兽医学及其分科等这些古老的学科，在近代的研究成果中，一些重大的突破都伴随着一定的动物实验。例如细菌、病毒、和血液循环的发现，麻醉术的发明，疫苗的应用等，都显示出动物实验很多里程碑式的贡献。巴甫洛夫曾指出：“没有对活动物进行实验和观察，人们无法认识有机界的各种规律。这是无可争辩的”。随着实验动物科学的进展而加快了医学、兽医学的研究步伐。Himsworth 氏指出：“过去半个世纪的医学和兽医学上的进展，比人类历史上任何时期都要大。疾病的发生率，比过去显著减少。任何有头脑的人都清楚地知道：假如没有使用动物所进行的实验工作，这种进步是不可能的”。反过来，这些学科又促进实验动物科学的形成、完善和发展。

由此可以知道，实验动物科学是有关实验动物和动物实验方法的一门科学。它是用优质的实验动物和精确的实验方法相结合，使实验动物能作为试剂、仪器和模型，从事医学、药学及各种生命科学的研究。因此这门学科是综合性的，它所涉及到的知识面很广泛，它所包括的内容极为丰富。它以普通生物学、医学、兽医学、药理学、畜牧学等为对象；以遗传学、育种学、病理学、生理学、营养学、微生物学为基础；还要引用机械工程、环境卫生、土木建筑等科学，对实验动物和实验方法进行开发和研究。

自从五十年代初“实验动物科学”这个名称诞生以来，经过各个领域的科学家们对实验动物本身和实验过程中的很多重要因素，进行广泛的研究和大量的资料积累，至今已成为一门具有一般理论体系的独立性科学。它的内容包括：①《实验动物育种学》、②《实验动物医学》、③《实验动物生态学》、④《比较医学》、⑤《实验动物技术》。我们所编写的这本《实验动物学》，除比较医学外，其他内容大部已包括。可供初学者及从事实验动物工作者参考。唯因编者的水平有限，不足和错误之处，在所难免，希望读者、用者指正。

编者谨识

1984年6月1日



总 论 目 录

第一篇 实验动物的饲料和饲养基础

祖国庸 田家良

第一章 饲料中的营养物质及其作用

其作用..... 1

第一节 水分..... 1

第二节 粗蛋白质..... 3

第三节 粗脂肪..... 7

第四节 碳水化合物..... 8

第五节 矿物质..... 10

第六节 维生素..... 15

第二章 饲料..... 26

第一节 青饲料..... 26

第二节 粗饲料..... 30

第三节 能量饲料..... 33

第四节 蛋白质补充饲料..... 35

第五节 矿物质补充饲料..... 36

第六节 特种饲料..... 37

第七节 一般饲料的加工和调制..... 39

第八节 实验动物饲料的加工和消毒..... 46

第九节 饲料内有害物质的问题..... 48

第十节 实验动物饲料的质量要求..... 49

第十一节 饲料的保管和收发..... 49

第三章 动物的营养需要及饲养标准

饲养标准..... 80

第一节 维持需要..... 80

第二节 生长需要..... 82

第三节 繁殖需要..... 87

第四节 泌乳需要..... 90

第五节 产蛋的需要..... 93

第六节 饲养标准与日粮配合..... 96

第二篇 实验动物的环境卫生学基础

祖国庸 田家良

绪言..... 104

第一章 气象因素..... 105

第一节 温度和温度环境..... 105

第二节 湿度和相对湿度..... 112

第三节 气压..... 114

第四节 风速和风向..... 116

第二章 物理化学因素..... 118

第一节 照明..... 118

第二节 噪音..... 120

第三节 气味及各种气体..... 123

第四节 空气的清洁度..... 125

第三章 居住因素..... 127

第一节 笼具..... 127

第二节 垫料..... 128

第三节 其他..... 129

第四章 生物因素..... 130

第一节 生物因素的种类..... 130

第二节 生物因素对动物机体的影响..... 135

第五章 实验动物的设施..... 142

第一节 实验动物设施的构成与配置..... 142

第二节 房舍的建筑..... 143

第三节	空气调节	145	第三节	遗传的基本定律 (一)...	180
第四节	特殊动物房的建筑	149	第四节	遗传的基本定律 (二)...	187
第五节	实验动物的各种设备	152	第五节	突变	193
第六章	实验动物的各别饲养管理		第六节	群体遗传的基本规律	196
器具和器材		155	第七节	近交与杂交	198
第一节	小鼠用的器具与器材	155	第二章	实验动物的育种措施	199
第二节	大鼠用的器具与器材	156	第一节	实验动物的选种与选配	199
第三节	金黄地鼠的器具与器材	156	第二节	用之于实验动物的育种方案	206
第四节	豚鼠用的器具与器材	157	第三章	纯系动物的建立	210
第五节	兔用的器具与器材	158	第一节	纯系的概念和重要性	210
第六节	狗用的器具与器材	158	第二节	纯系动物的建立	210
第七节	猫用的器具与器材	159	第三节	纯系动物的管理	213
第八节	猴用的器具与器材	159	第四章	突变系的建立	218
附	一般实验动物饲养管理规程	160	第一节	导言	218
第三篇	实验动物遗传、育种学基础		第二节	育种方法	218
	祖国庸 宋启印		第五章	实验动物封闭群的培育	
第一章	遗传学原理	172		崔秉春	
第一节	绪论	172	第一节	封闭群的定义和应用	222
第二节	遗传的细胞学基础	173	第二节	封闭群的分类	222
			第三节	封闭群的培育方法及 应注意事项	223

第一篇 实验动物的饲料与饲养学基础

实验动物对外界环境条件的变化极为敏感。其中饲料对动物关系更加密切。动物的生长、发育、繁殖、增强体质和抗御疾病以及一切生命活动无不依赖于饲料和决定于饲养。动物的某些系统和器官，特别是消化系统的机能和形态是随着饲料的品种而变异的。例如肉食动物的猫和狗，都有比较发达的犬齿；而草食动物兔和豚鼠则有比较发达的肠管，以及盲肠较为显著。

动物的优良品种，仅仅建立在一定的饲养和饲料条件之下。这个条件必须充分满足各种动物品种的要求，才能显示它的优越性；相反优良品种在长期不良的饲养条件下就会丧失它的优良性状。

实验动物饲料的原料组成和营养成分应力求稳定。这是对科学工作者在使用实验动物进行实验研究，获得比较一致研究结果的重要保证。但是饲料随着地区和季节的不同而有差异，特别是我国土地辽阔，气候和土壤各地差别甚大，作物的种类繁多。因此，在配制饲料时，配料的统一较难做到。但是饲料配方的营养成分的比例必须力求统一，这项工作急待研究解决。

第一章 饲料中营养物质及其作用

自然界中的各种物质，均由各种元素构成，根据现代分析技术测定，已知道植物体内含有 60 多种元素。其中主要是碳、氢、氧、氮，约占 95%，此外还有硫、磷、铁、钾、钙、镁、氟、碘、钠、氯、锰等元素。这些元素并不是以单独形式存在，而是互相结合成为复杂的无机化合物和有机化合物。家畜摄取饲料中的多种成分后，经体内一系列的同化和异化作用而形成各种复杂的化合物，以满足家畜的营养需要。

第一节 水分及其作用

各种饲料都含有水分。但含量的多少，差异很大，多者可达 95%，少者只有 5%。这在很大程度上取决于它们所处的发育阶段。如幼嫩时含水较多，成熟后较少。由于植株部位的不同，水分含量也有差异。如枝叶中水分较多，茎秆中较少。

饲料含水量的多少，与营养价值有密切关系。含水愈多，则每一单位重量的饲料中的干物质愈少，其营养成分越少，则营养价值越低。饲料中含水量过高，不但贮存和运输困难，并能促使细菌和真菌的繁殖加快，导致饲料腐败变质。

动物体内水分分布很广，各种器官、组织和体液中都含有大量水分。如消化液中约含水 95% 以上，血浆含水 90~92%，肌肉中的水占 72~78%，骨骼中含水 40%，因此，水分是畜体重要的不可缺少的养分。其主要生理功能如下：

1. 水是动物体内最重要的溶剂，动物食入饲料经过消化，各种营养物质必须经水稀释和溶解后，才能吸收和运送到各个需要部位。体内各组织细胞代谢作用的产物也须溶于水后才能经适当器官排出体外。总之，体内一切化学反应都与水密切相关。

2. 水的热容量大，当体内产热过多时，由水吸收不致使体温升高；水的蒸发热很大，天热时，动物可通过喘息，出汗使水分蒸发散热，以保持体温恒定。

3. 水具有润滑作用，如唾液可使饲料湿润，易于吞咽。关节液可润滑关节，减少关节的摩擦。

4. 水在组织细胞中有膨胀作用，有助于保持细胞和动物体格的形状。

动物耐干渴的能力远比耐饥饿差。一般水分不缺，当仅仅由于饥饿的原故使体重减轻 60% 时，动物还能生存。但由于缺水，体重减轻 10% 就可引起机体代谢的严重紊乱，减轻量达原体重的 22% 时，动物即可死亡。所以，在饲养实践中，必须保证供给动物充足的水。

动物需要的水分，来源有三个，一是饮水，一是饲料中含有的水分，一是碳水化合物、脂肪和蛋白质在动物体内的代谢过程中产生的代谢水。但动物正常生理机能所需要的水分，主要是以经常供给充足饮水和含水量多的饲料来满足。

各种动物的需水量因种类、个体、年龄、生产能力、饲料组成和气候条件而不同。

禽类的粪尿混合排出，由消化道排出的水分较哺乳类少，加之体表羽毛密，蒸发少。因此，在同样环境条件下，禽类的需水量较哺乳类少。

生长中的幼小动物、高产奶牛、使役的家畜，随其生产能力的提高而需水量增加。如体重 450 公斤的役马，在休闲时每天饮水不到 30 公斤，但在使役时饮水量增至 50 公斤。

表 1 几类主要饲料的含水量

青饲料	70~80%	糠麸类	10~13%
根茎类	80~90%	籽实类	12~14%
干草秸秆类	15~20%	油饼类	9~11%

表 2 不同种类成年家畜的需水量

类 别	每日需水量 (公斤)
肉牛	26~ 66
乳牛	38~110
马	30~ 45
猪	11~ 19
绵羊与山羊	4 ~ 15
鸡	0.2~0.4

饲料中蛋白质、粗纤维和矿物质含量增多时，需水量增加。据报导，给牛以富含蛋白质和矿物质饲料后，需水量增加 22~100%。

此外，气温高时，动物的需水量增加。

动物需水量一般以饲料的干物质估计。牛和猪采食每公斤饲料干物质约需水3~4公斤，马和羊约需2~3公斤。

第二节 粗蛋白质及其作用

粗蛋白质是饲料中含氮物的总称。主要由C、H、O、N四种元素组成，有的也含有少量的Fe、S、P。这些元素先合成氨基酸，然后再由许多氨基酸联结而成蛋白质。

所有饲料中虽都含蛋白质，但其含量和品质各不相同。豆科植物及油饼类含蛋白质较多，品质也较好；而禾本科植物及糠麸类饲料含蛋白质较少，秸秆饲料含量最少，品质亦差。同一植物因不同生长阶段或植株的不同部位，蛋白质含量也不相同。

粗蛋白质：一般分为纯蛋白质（真蛋白质）和氮化物。

一、纯蛋白质（日常所说的蛋白质）。

表3 各类饲料的蛋白质含量(%)

饲 料	蛋 白 质	饲 料	蛋 白 质
豆科植物秸秆	5~8	禾本科植物秸秆	3~7
豆科干草	15~20	禾本科干草	7~14
豆科籽实	22~40	禾本科籽实	8~12
油饼类	30~40	糠麸类	10~17
血粉、鱼粉、肉粉	70~90	根茎类	1~2

表4 几种主要牧草在不同生长阶段的蛋白质含量(占干物质%)

牧 草 种 类	时 期				
	孕蕾	开花	结实	枯干阶段	割后的再生草
豆 科	19.4	18.4	14.6	—	18.9
禾 本 科	14.9	10.4	8.8	5.8	14.8
莎 草 科	17.1	14.5	12.1	7.1	15.9
菊 科	13.6	11.2	10.4	8.0	15.9
藜 科	15.0	13.5	9.8	8.4	20.0

1. 蛋白质是构成动物组织、体细胞的基本原料。如肌肉、神经、结缔组织、皮肤、血液等，都是以蛋白质为主要成分。球蛋白是构成组织的原料，白蛋白构成体液，蛋白质和铁化合成血红蛋白，蛋白质和铜化合成血清蛋白等。蛋白质又是动物体表的各种保护组织如发、毛、羽、蹄、角等，动物体内的酶、激素、抗体、色素以及肉、乳、蛋、毛等畜产品的组成部分。

2. 蛋白质可以代替碳水化合物及脂肪的产热作用，但后二者却不能完全代替蛋白质。当动物摄取的脂肪或碳水化合物不足时，蛋白质可在体内分解，氧化释放热能，多余的蛋白质又可在肝脏、血液、肌肉中贮存一定数量，或经脱氮作用，将不含氮的部分

转化为脂肪，积存起来，以备营养不足时重新分解，供应动物对蛋白质和热能的需要。

3. 蛋白质是修补体组织的必需物质。动物机体各部组织器官的蛋白质，并不是形成后就固定不变，而是通过新陈代谢不断地更新。动物机体的全部蛋白质在6~7个月的时间内，就有半数新的蛋白质所更替。所以对即使在休闲期的动物，也不能忽视蛋白质的供给。

在饲养实践中，如蛋白质供应不足。可使动物体内蛋白质代谢变为负平衡，体重减轻，产生血浆蛋白质过低症、血红蛋白减少的贫血症和球蛋白缺少症。抗病力减弱，代谢机能降低，生产力和繁殖力都降低，甚至可因营养不良而死亡，反之，蛋白质供应过剩，不但会造成浪费，而且还会引起消化和代谢紊乱，使体内积聚一些蛋白质的分解产物而发生蛋白质中毒现象，并使肝脏肾脏受到损害。因此，必须根据动物的生长阶段和生产水平，供给适量的蛋白质，以保证其正常的生命活动、生长发育、机体健康及生产产品的营养需要。

二、氮化物：

粗蛋白质除纯蛋白质外，还含有非蛋白质含氮物，即氮化物，这是植物生长旺盛时期和发酵饲料中含量较多的物质。主要包括①未结合成蛋白质分子的个别氨基酸；②植物体中由无机氮（硝酸盐和氨）合成蛋白质的中间产物；③植物蛋白质经酶类和细菌分解后的产物，如氨基酸、硝酸盐等。

过去长时期认为氮化物没有营养价值，现经试验证明，饲料的氮化物对于一切动物都有营养价值。反刍动物（羊、牛）瘤胃中，有大量的微生物寄生，其中主要是细菌和纤毛虫。据测定，一克牛瘤胃内容物中，约有细菌150~250亿个，纤毛虫60~100万个。瘤胃内细菌，主要有各种球菌、杆菌、弧菌及梭菌等。它们可以利用氮化物中的氮合成菌体蛋白质，当其随同食糜进入皱胃和小肠时，又被分解为氨基酸，由小肠壁吸收，供作动物的营养。纤毛虫需要有多糖、淀粉和纤维素作为C源；富含氮物质作为N源，以供生活和繁殖之用。当C、N丰富时，可将植物性蛋白质转变为菌体蛋白质，在皱胃和小肠被消化、吸收。

一般成年母牛一昼夜内，瘤胃中可合成菌体蛋白质360克，成年公牛可合成450克。绵羊可合成30~100克，试验证明，绵羊瘤胃转移到皱胃的蛋白质，约有82%属于细菌蛋白质。所以国内外广泛利用非蛋白含N物，来代替饲料中的一部分蛋白质。

尿素含N量很高，约为46.67%。100克尿素相当于260克粗蛋白质，是解决当前实验动物业生产中蛋白质饲料不足的一个重要途径。美国一年用尿素作为饲料的数量约为50万吨，相当于320万吨大豆饼，对于解决蛋白质饲料，起到很大作用。随着我国化学工业的发展，尿素、硝酸铵、碳酸氢铵等的产量会日益增多，利用这些人工合成的含N物质作为蛋白质的代用品，来改善牛、羊日粮的营养价值，会有很大发展前途。

在实际应用中，要注意以下几个问题：

1. 日粮中应有一定量的碳水化合物，主要是淀粉和糖，以供给细菌繁殖所必需的能量。

2. 日粮中要有适量的蛋白质，供给细菌生活和繁殖所需。一般认为，日粮中蛋白质的含量以10~12%为宜。

3. 日粮中应有合成氨基酸所需要的微量元素。如 S、Fe、Co 等，特别是 Co 和 S 是瘤胃细菌合成胱氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸等含硫氨基酸所需要的原料。Co 是维生素 B₁₂ 的重要组成部分，如日粮中缺 Co，则维生素 B₁₂ 的合成缓慢。

4. 初生犊牛和羔羊的瘤胃内微生物区系尚未形成，待采食植物性饲料后，瘤胃机能达到一定程度时才有利用非蛋白含 N 物质的能力。

5. 尿素喂量以占日粮中可消化蛋白质总需要量的 25~30%，或占日粮中干物质的 1% 为宜，喂量过多，会产生大量氨气，超过肝脏将氨转变为尿素的能力范围，致使血液中氨含量增加，造成中毒现象。

尿素一定要与饲料混合均匀喂饲，切忌用粉剂或水溶液直接喂给，以免尿素在瘤胃中分解为氨的速度，超过微生物用来合成氨基酸和蛋白质的速度，使过剩的大量氨气进入血液而造成中毒。目前国外采用的尿素与淀粉、糖蜜混合饲喂，或用尿素做成砖舐剂。尿素青贮，尿素精料饼等，也是行之有效的。

三、蛋白质的生物学价值

蛋白质是高分子、结构复杂的有机化合物，虽然各种简单蛋白质和结合蛋白质在化学成分、物理特性、形态、溶解度及生物功能方面差别很大，但共同的特点是，氨基酸是其基本组成单位。构成动植物体蛋白质的氨基酸有 20 余种。就动物营养需要来说，有的氨基酸在动物体内不能合成，必需由饲料供给；有的氨基酸在动物体内能够合成，不需由饲料供给。因此，饲料中的蛋白质由那些氨基酸组成，在营养上就具有重要意义。

1. 必需氨基酸与非必需氨基酸：所谓必需氨基酸是指非反刍动物体内不能合成，或是合成的速度和数量不能满足动物的需要，必需由饲料供给的那些氨基酸，反之则是非必需氨基酸。

必需氨基酸共十种，有赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸、精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸。对于雏鸡，还有甘氨酸，共十一种。其中赖氨酸、蛋氨酸和色氨酸一般认为是主要的氨基酸，动物利用其它各种氨基酸合成蛋白质时，要受它们的限制，所以又称为限制性氨基酸。

非必需氨基酸共九种，有甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、天门冬氨酸、胱氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸、谷氨酸和酪氨酸。

需要指出的是，非必需氨基酸对动物机体的重要性并不亚于必需氨基酸，就畜体组织进行化学分析，几乎所有的非必需氨基酸都同时存在。这说明非必需氨基酸对机体也是必需的。某些氨基酸虽不是日粮中所必需，但可由必需氨基酸所合成。如蛋氨酸能供给肌酸和胆碱以及甲基，再合成胱氨酸和半胱氨酸，苯丙氨酸可生成酪氨酸，相反，非必需氨基酸被合成后，又可代替饲料中的必需氨基酸，如胱氨酸可以代替饲料中蛋氨酸的一半，酪氨酸可代替日粮中苯丙氨酸的三分之一。因此，非必需氨基酸有节省必需氨基酸的作用。

由于动植物体中各种蛋白的成分不同，即所具有的氨基酸的种类及含量各不相同。动物体各组织、器官都依其需要，按照一定比数吸取各种氨基酸以构成体蛋白。如果植物中蛋白质所含氨基酸不尽与之相合时，则氨基酸的利用常受某一含量最少的氨基酸所限制，其它氨基酸即使含量较多也将无用。因而饲料蛋白质在家畜体内营养价值的高

表 5

必需氨基酸的主要生理作用及其缺乏时表现的症状

氨基酸	生 理 作 用	缺 乏 时 的 症 状
赖氨酸	合成血红蛋白, 保证生长, 母畜泌乳及形成骨骼的需要, 精液的蛋白质组成部分	肌肉变性、骨骼生长失调、贫血、生长停滞, 泌乳力下降, 母猪性周期失调
蛋氨酸	合成营养物质吸收所必需的胆汁酸, 参与甲基移换过程, 合成胆硷肾上腺素及烟酸, 调节肝脏中脂肪和磷脂的代谢	发育不良, 体重减轻, 肝、肾机能破坏, 肌肉萎缩, 贫血、被毛变粗
色氨酸	参与血浆蛋白质的更新, 与血红素及烟酸合成有关, 促进幼年动物生长, 为繁殖机能及泌乳所必需	生长停滞, 体重下降贫血、种公动物睾丸萎缩
精氨酸	合成尿素的催化剂, 参与合成血红素、红血球及某些肌肉化合物	生长停滞、饲料报酬降低, 公猪最明显
组氨酸	参与机体能量代谢, 合成血红素, 红血球及某些肌肉化合物	食欲下降, 代谢紊乱, 生长停滞
亮氨酸	组成血浆蛋白、组织蛋白、能促进小鸡的食欲, 增加体重	引起氮的负平衡, 体重减轻
异亮氨酸	与亮氨酸共同参与体蛋白的合成	体重下降
苯丙氨酸	为合成甲状腺素, 肾上腺素所必需, 参与色素形成, 为造血作用所必需	色素沉着异常, 甲状腺、肾上腺分泌失调
苏氨酸	利用食物氨基酸所必需的物质, 同亮氨酸的代谢有关	消瘦, 体重减轻
缬氨酸	保持神经系统的正常机能	食欲丧失、感觉过敏, 肌肉共济运动失调
甘氨酸	参与肌肉中肌酸形成	家禽机体虚弱

低, 就主要决定于所含必需氨基酸的种类和数量。就是说, 必需氨基酸的种类和数量越多, 其营养价值就越高。评定的指标以生物学价值表示之。

评定蛋白质的生物学价值的方法有蛋白质生物学价值、N 的利用率和蛋白质效价等。通常以 N 的利用率来表示蛋白质生物学价值的高低。

$$N \text{ 的利用率} = \frac{\text{采食 N} - (\text{粪中 N} + \text{尿中 N})}{\text{采食 N} - \text{粪中 N}} \times 100$$

一般说来, 凡蛋白质生物学价值较高的饲料, 所含各种氨基酸较完全, 品质也较好, 因之利用率也较高, 反之则低。

饲料蛋白质的生物学价值, 随动物的种类、年龄等而有所不同, 但一般为:

青饲料和青贮料	75~80%
良质草地干草和人工栽培豆科、禾本科干草	80%
禾本科籽实及油饼类	60~70%
由粗料和多汁料、根茎类组成的日粮	60~70%

2. 提高蛋白质利用率的方法

(1) 合理搭配日粮: 某一种饲料中, 所含蛋白质往往缺少某一种或多种氨基酸, 单

单独喂动物时，蛋白质的利用率不高。如多种饲料配合，氨基酸可以有互补作用，即互相取长补短，提高蛋白质的利用率。例如，玉米蛋白质缺乏色氨酸和赖氨酸，单独用玉米喂猪（或喂小鼠时），N的利用率为51%，而以2份玉米和1份肉骨粉配合喂时，N的利用率提高到61%。实践证明，小麦和豌豆，青草或干草与禾本科籽实的粗蛋白质中氨基酸的互补作用也很好。

(2) 蛋白质补充饲料要与其它饲料混合使用：对氨基酸的互补作用，在同时饲喂效果最好。虽然各次食入的蛋白质之间也有互补作用，但随着相距时间的加长，互补作用随之降低。所以，蛋白质补充饲料应与其它饲料混合搭配饲喂。

(3) 注意饲料的加工调制：饲料蛋白质受物理化学因子的作用常发生变性。如加热可使蛋白质凝固。禾本科籽实，动物性饲料和酿造工业副产品不宜高温处理。但豆科籽实中含有抗酶，能抑制胰蛋白酶的活性，豆类经加热处理后，可以破坏这种抗酶，提高N的利用率，但温度不宜过高，时间不宜过长。

(4) 补加维生素、抗菌素、氨基酸也可提高蛋白质的营养价值。

第三节 粗脂肪及其作用

脂肪由碳、氢、氧三种元素组成。按结构分成真脂肪与类脂肪两大类。真脂肪由脂肪酸与甘油结合而成，类脂肪（固醇、蜡质等）由脂肪酸、甘油及其它含氮物质如磷脂、糖脂等结合而成。在测定植物中脂肪含量时，是用乙醚浸泡饲料，所得乙醚浸出液中除真脂肪外，还有其它溶于乙醚的有机物，如叶绿素、胡萝卜素、有机酸、树脂及其它化合物，因此总称为粗脂肪。

饲料中的脂肪含量变动范围较大，高的可达10%以上，低者不及1%。一般植物的籽实中含量较高，茎叶中次之，根部含量最少。

在实际饲养中，一般不喂脂肪含量丰富的饲料。日粮中含有适量的脂肪，不仅可以提高适口性，促进消化，而且对于脂溶性维生素的吸收具有重要作用。当前国外有向高能日粮发展的趋势，即日粮中加入含脂肪或淀粉较多的饲料，或直接加入油脂。如肉用仔鸡日粮中加入5~8%的油脂，使一公斤日粮所含代谢能达到3200大卡，结果饲养期缩短，节省饲料。卵用鸡日粮中加入油脂后，体重增加，产蛋能力提高。

饲料脂肪被动物采食后，在体内被消化、吸收、利用，对家畜产生一系列营养作用，有以下几方面：

1. 脂肪是构成畜体组织的重要成分：畜体各组织，如神经、肌肉、骨骼、血液均含有脂肪，主要为卵磷脂、脑磷脂、脑糖脂和胆固醇。各组织的细胞膜、原生质都由蛋白质和脂肪按一定比例所构成。

2. 脂肪是体内能量的重要来源，也是贮存能量的最好形式：脂肪含碳、氢较多，含氧较少，因此，在体内氧化时，放出的热能是等量碳水化合物或蛋白质氧化放出的热能的2.25倍。脂肪体积小而含能量高，所以，贮存脂肪是动物体贮存能量以便冬季草枯或饲养管理条件恶劣时动用的最好形式。

动物体内脂肪的贮存处，为皮下，肠膜、肾的周围和肌肉间。

3. 脂肪是脂溶性维生素的溶剂；饲料中的脂溶性维生素，如维生素A、D、E、K，被家畜采食后，必须溶解于脂肪后，才能被畜体消化吸收、利用，否则会引起这些维生素的代谢障碍，发生维生素缺乏症。

表 6 各类饲料中脂肪含量 (%)

饲料种类	脂肪含量
禾本科籽实	1~5
豆科籽实	1.5~13
油饼类	3.5~6
秸秆类	1~4
糠麸类	3.7~12
多汁饲料	1以下

4. 脂肪可供给幼龄动物必需脂肪酸：脂肪酸由其所含氢原子的多少而分为饱和脂肪酸及不饱和脂肪酸。不饱和脂肪酸中的十八碳二烯酸（亚麻油酸）、十八碳三烯酸（次亚麻油酸）、二十碳四烯酸（花生油酸）在幼畜体内不能合成，必需由饲料中供给，故称为必需脂肪酸。如用不含脂肪的饲料喂饲幼龄鸡、猪、大鼠时，发生皮肤鳞片化，尾部坏死，生长停止、繁殖性能降低、水肿及皮下出血等症状。

5. 脂肪能保护家畜的体温和器官：脂肪在动物体内是绝缘物质，不易传热，因此皮下脂层能防止热的散失。具有保蓄体温的功能。脂肪沉积在器官周围，具有保护作用。

此外，家畜畜产品也含有一定量脂肪。有些固醇如麦角固醇是维生素D₂的先成物（脱氢胆固醇），受紫外线作用后可变为维生素D₃。

第四节 碳水化合物及其作用

碳水化合物是碳、氢、氧，一类有机化合物的总称，由碳、氢、氧三元素组成，因其中绝大多数氢和氧原子的比是2:1，与水相同，故得名。碳水化合物占植物中总干物质质量的3/4，在植物中的分布，以多糖（淀粉、纤维素、半纤维素、多缩戊糖）占主要地位，双糖（蔗糖）占次要地位，单糖含量很少。家畜体内，碳水化合物的主要存在形式是血液中的葡萄糖，肝与肌肉的糖元和乳中的乳糖。血液中的葡萄糖仅占体重的十万分之5~6。肝糖元虽较多，但最高也不过体重的2%。高产乳牛每日可由乳中分泌乳糖1.5~2公斤，也不过为其体重0.2~0.3%。

一、碳水化合物的营养作用

植物性饲料中含有丰富的碳水化合物，被动物采食后，在体内产生一系列的变化，参与代谢，为动物利用。其主要营养作用是：

1. 为动物能量的主要来源：蛋白质、脂肪、碳水化合物在体内氧化后，均能供给动物热能。但因实际饲养中，很少以富含脂肪的饲料饲喂动物；蛋白质由于来源缺乏，而且价格贵，作为能量饲料来饲喂动物很不经济。因此，作为动物能量主要来源的是碳水化合物。

碳水化合物在代谢过程中，经过生理氧化，产生热能，以保持体温，供应生命活动

中进行的一系列运动和劳役。据研究，家畜体内有一半热能由碳水化合物直接供应。

2. 是形成体脂肪的重要原料：碳水化合物除维持糖元恒定、供给活动所需要的能量外，多余的可转变为脂肪贮存于结缔组织细胞中，提高增重，并能改善肉的品质。

3. 少量碳水化合物及其衍生物是细胞的组成部分；如五碳糖是细胞核酸的成分，半乳糖和类脂质形成神经组织。

4. 是泌乳动物合成乳糖和脂肪的原料。

在饲养实践中，如碳水化合物供给不足，动物为了保持正常的生命活动，就首先动用体内的糖元和体脂肪，以维持其生活需要。如仍感不足，则挪用蛋白质来代替碳水化合物，以解决热能或机械能的需要。结果家畜消瘦，体重减轻，工作效率降低。所以，在役用和肥育用动物的饲养中更应注意碳水化合物的供给。

二、碳水化合物的分类

1. 粗纤维：由纤维素、半纤维素、多缩戊糖及镶嵌物质（木质素、角质等）组成。是植物细胞壁的主要成分，也是饲料中最难消化的物质。

纤维素在纤维素酶、纤维式糖酶等作用下，可分解成葡萄糖。但高等动物的消化系统不分泌这类酶。它们是靠细菌来消化的。如细菌分泌的酶，可使纤维素分解而生成低级脂肪酸和乳酸，甚至分解为简单的终产物，如甲烷、氢和二氧化碳。有些纤毛虫能将纤维素消化供本身营养，或直接被动物消化利用。

半纤维素的理化化学性质比纤维素的稳定性稍差，虽不溶于水，但可溶于硷性溶液中。在酸溶液中可水解成各种单糖。多缩戊糖能溶于稀硷，与酸作用能分解为甘露糖或半乳糖。镶嵌物质，几乎完全不能消化，不能为动物所利用。所以，饲料中粗纤维的含量愈高，营养价值愈低。

饲料中粗纤维的含量，随植物的种类、成熟阶段、植株的部位而有很大差异。一般以秸秆类含量最高，糠麸类次之，籽实类较少，根茎类最少。动物在生活过程中，都必然从饲料中摄取一定量的粗纤维，而它们对粗纤维的消化利用，则随动物种类、品质，日粮结构，饲料的加工调制技术，动物生理状态、饲养类型和培育条件等而有很大差异。如下表所示：

表 7 各类饲料中粗纤维的含量%

饲料种类	粗纤维含量
秸秆类	26~48
青干草类	23~36
糠麸类	10~29
籽实类	2~9
多汁饲料	1~2

实验证明，饲料中粗纤维含量愈多，其消化率越低，而且对于其它营养物质的消化率也有不良影响。这主要是因为粗纤维质地粗硬，需要在消化过程中消耗较多的工作热能，以致降低可利用热能中用于生产的比例，使其它营养物质的消化率降低。如下表。

虽然饲料中的粗纤维营养价值不高，而且含量多时，影响饲料的消化性。但粗纤维也有两重性。在实际饲养中，粗纤维对任何实验动物仍是不可缺少的，特别是草食动

表 8

畜禽对粗纤维的消化 (%)

畜 别	微 生 物 消 化 处 所	粗纤维可被消化的%
牛、羊	瘤 胃	50~90
马	盲 肠	13~40
猪	盲 肠	3~25
兔	盲 肠	65~78
鸡	盲 肠	20~30

表 9

饲料中粗纤维含量对消化率的影响

饲料中干物质 中粗纤维含量	消 化 率 %				
	有 机 物	粗 蛋 白 质	脂 肪	粗 纤 维	无 N 浸出物
10~20	72.2	76.3	59.8	65.9	76.2
20~25	69.7	72.9	59.4	64.9	72.9
25~30	69.3	71.7	54.6	65.1	72.3
30~35	64.6	64.4	53.4	60.3	68.5
35~40	61.4	62.4	52.8	54.4	65.7
40~45	54.4	58.9	44.9	44.8	63.3

物。这是因为粗纤维吸水量大，进入胃肠后，容积变大，起到填充作用，给家畜以饱的感觉。粗纤维对家畜肠粘膜有刺激作用，促进胃肠蠕动和粪便的排泄。粗纤维在反刍动物的瘤胃和兔的盲肠内，经微生物的发酵作用，使一部分变为 CO_2 和 CH_4 排出体外，另一部分变为挥发性脂肪酸被胃壁吸收，为动物利用。所以，在实际饲养中，必须喂给动物适当的粗纤维，决不可只喂精料。

2. 无氮浸出物：饲料中有机物质的无氮物质，除去脂肪及粗纤维后，总称为无氮浸出物，或称可溶性碳水化合物。包括单糖、双糖及多糖类（淀粉）等物质。在消化道中可以分解为单糖而被吸收。

植物性饲料中分布最广的是单糖类（主要在植物果实中），双糖类（甜菜和玉米秆中较多）。淀粉是植物体内的贮备物质，大量存在于籽实和块根茎中，占干物质的 60~70%，少量存在于茎叶中，一般仅为 2%，禾本科植物的籽实和根茎类饲料含无氮浸出物最多。它们在动物内是供给热能及积贮脂肪的重要物质。

第五节 矿 物 质

饲料在 550~600℃ 高温下灼烧后，剩下的灰粉即称矿物质或粗灰分。

表10

动植物体内矿物质含量（占干物质%）

动 物 体 的 组 成 部 分		饲	料
脂肪组织	0 ~ 5	禾本科和豆科籽实	1.5 ~ 4.5
血液	4 ~ 5	秸秆	2.5 ~ 7.5
骨骼	45 ~ 70	块根块茎类	2 ~ 6
肉（瘦肉）	4 ~ 6	叶菜类	9 ~ 12

植物性饲料中矿物质含量平均为4%，家畜体内各器官和体组织都含有矿物质。

一般情况下，随着植物的生长，矿物质的含量逐渐减少，其中Ca、P、K、Mg、Cl也逐渐减少，但Na和Si的含量增多。因此，植物最好在开花前至开花期收割。

矿物质在动物体内含量约为体重的3~4%。它不提供能量，但除了形成体组织，特别是骨骼和牙齿外，还对物质代谢过程发生重要影响。在所有的生理活动中，都有重要作用。当机体完全缺乏生命必需的某种元素时，可招致死亡，而一种元素的过量又可使机体代谢紊乱。

一般将对动物生命所必需的矿物质，按其在动物体内的含量分为常量元素和微量元素两大类。常量元素有Ca、P、Na、Cl、K、S；微量元素有Fe、Cu、Co、I、Zn、Mn、Se、Mo、F等。

一、常量元素

1. 钙、磷：动物体内钙磷化合物占矿物质总量的65~70%主要构成骨骼。其中Ca占体内总Ca量90%以上，P占总P的85%。其余的Ca存在于血液、淋巴及其它组织内。P主要与有机物结合成磷蛋白、核蛋白、磷脂、磷酸肌酐等贮存于细胞内。

在植物性饲料中，Ca与蛋白质结合成复杂的有机物质，但在植物浆汁中，则以碳酸钙、草酸钙、柠檬酸钙等盐类形式出现。豆科植物茎叶中含Ca量可占干物质总量的1~1.5%，块根类及禾本科秸秆含Ca都不多，仅占干物质总量的0.2~0.3%，谷实类更少，仅为0.05~0.15%。干燥盐碱土壤中的Ca，植物难于利用，故这类土壤中生长的植物含Ca量低，高温多雨地区的土壤中含Ca亦低。

磷在植物中有一部分以无机盐形式存在，一部分为有机磷。动物利用时是先将有机磷经磷酸酶分解为无机磷才能吸收。按干物质计算，籽实类饲料中约含P0.3~0.4%，麸皮中为0.6~1.2%，青草、干草和秸秆中为0.1~0.3%，动物性饲料中较多，如血粉中含P2.55%。

Ca、P在家畜体内的生理功能非常重要。二者是构成骨骼的主要原料（以三磷酸盐形式存在），同时骨骼又是Ca、P的贮存库，当饲料中缺乏Ca或P时，骨骼中的Ca、P通过代谢作用进入血液，供机体利用。

Ca维持神经和肌肉组织的正常功能，参与正常血液凝固。

P主要以磷酸根形式参与许多物质代谢过程，与合成RNA、DNA和许多辅酶有关，参与糖代谢并作为血液中的缓冲物质。

Ca、P的吸收取决于吸收时的溶解度，凡是有利于其溶解的因素，如酸性环境、

适量脂肪、Ca、P 比例适当 (1:1~2:1) 和有维生素 D 的存在时, 都是有利于它们吸收的因素。相反, 如果饲料中 Ca、P 比例失调时, 如 Ca 过多, 则与磷酸根生成磷酸三钙而沉淀, 妨碍 P 的吸收; 而磷酸根过多时, 又将 Ca 结合成难于吸收的沉淀。日粮中含有过量的脂肪时, 则脂肪酸与 Ca 结合成不溶解的钙肥皂, 降低了 Ca 的吸收。草酸和可溶性草酸盐吸入血液后, 可与 Ca 离子结合成不溶解的草酸钙。如短时间大量食入含草酸多的饲料 (如甜菜叶), 即可引起血钙过低的中毒症状。饲料及饮水中含有大量 Fe、Mg 等金属离子时, 可与磷酸根结合成不溶解性盐, 妨碍 P 的吸收。

动物对 Ca、P 的需要量, 因动物种类、年龄及生产性能而不同。如日粮中供给的 Ca、P 不足或存在某种不利于其吸收的条件时, 动物会发生缺乏症, 表现有异嗜、食欲不振, 生产力和繁殖力降低。缺 Ca 的明显症状是骨骼病变。在幼年动物则表现为佝偻病, 骨端和关节变大, 骨骼变形, 如脊柱或胸骨弯曲。成年动物表现为骨软症, 骨骼变得多孔而脆弱, 易骨折, 或因脊椎或脊髓受挤压而使后躯瘫痪。高产乳牛、产后母马缺 Ca 时, 发生产后瘫痪。产蛋禽类的蛋壳薄而粗糙, 或生软壳蛋。

相反, 动物过多采食含 Ca 丰富的饲料或 Ca 过多也有害。如单胃动物过量供给 Ca 之后, 使脂肪的消化率降低, 并可使机体内 P、Mg、Mn、Fe、I 紊乱。

2. 钠和氯

Na 可维持畜体内环境的酸碱平衡, 保持细胞内液、淋巴与血液间渗透压的平衡, 使体组织保存一定量的水分, 同时对心脏肌肉的活动也有调节作用。

Cl 是制造胃内盐酸的原料, 畜体及乳中均含有一定数量的 Cl。因此, 必须供给充分的 Na 和 Cl, 来满足家畜的生理需要。

植物饲料中, Na、Cl 的含量很少, 而食盐中含 Na 约 36.7%, 动物对 Cl 的需要量很小, 所以, 实践中常以食盐作为 Na、Cl 的主要来源。

食盐能调味, 刺激唾液分泌, 促进淀粉酶的活性。

但应注意, 食盐用量过大, 也会引起中毒。牛的食盐致死量 1500~3000 克, 猪 130~250 克、马 900~1400 克。雏鸡和产蛋鸡对食盐的耐受力很差, 日粮中食盐占 5% 时, 雏鸡则大批死亡, 母鸡产蛋力下降。

常量元素中还有 K、Mg、S, 但因植物性饲料中含量都较多, 动物一般不致缺乏。

二、微量元素

动物体所含元素占其体重 0.01% 以下者, 称为微量元素, 它们作为活化剂或触媒剂 (如参与激素、维生素、酶或辅酶的作用) 影响生理过程, 其量虽微, 但对机体的生命活动有巨大意义。

1. 碘:

碘是家畜重要激素——甲状腺素的组成成分。在胃、小肠、唾液腺、乳腺、卵巢和胚盘中, 也含有 I, 含量因动物种类而异。动物摄入大量 I 后, 血液中的 I 含量可提高 100 倍, 奶中提高 10 倍。

植物性饲料中, 一般沿海地区植物含 I 量高于内陆地区植物, 植物根、叶含 I 量高于茎秆。我国湘、桂、川、陕、内蒙、黔、滇及辽东等黑土少的地区, 皆为缺 I 区, 当然, 这些地区的植物也缺 I。故常见人患甲状腺肿大。

家畜缺 I 时，甲状腺增生肥大，基础代谢率下降，幼龄动物因生长迟缓而个体矮小，成年家畜发生粘液性水肿，病畜皮肤、被毛及性腺发育不良。胚胎发育期缺 I 时，胚胎将早期死亡、吸收、流产或仔畜弱小。多胎动物比单胎动物更易缺 I。乳牛缺 I，产乳量下降，繁殖机能降低。

对缺 I 动物可补饲含 0.01~0.02% 碘化钾的食盐（食盐 1000 份，碘化钾 1 份）。

2. 铁：

虽然动物对 Fe 的需要量很少，但它是生命所必需的。体内约 50% 以上的 Fe 存在于血红蛋白中，20% 的 Fe 以铁蛋白形式存在于肝、脾、肾和骨骼中，以备形成血红蛋白。

大多数的动物，每公斤日粮中含有 80 毫克的 Fe 就能满足需要。一般饲料中含 Fe 量都在 80 毫克以上，故成年家畜很少发生缺铁症。

乳中含 Fe 量低，特别是母猪乳，每公斤乳中干物质仅含 Fe 20~50 毫克，而仔猪每日每头需 Fe 7 毫克。所以，仔猪在生后 2~3 周内仅以母乳为食，不补充其他饲料，加之当前又多是集约化饲养，无机会啃食泥土，仔猪常易发生缺 Fe 症。表现为血红蛋白量降低，眼、耳、鼻苍白、皮肤发皱、精神沉郁、悸动、软弱、头和肩部水肿、严重时死亡。

防治方法是喂给硫酸铁、氧化铁等，如与补铜（喂硫酸铜液）同时进行，效果更佳。

3. 铜：

大多数动物体内，肝、脑、肾、心、眼和毛发中铜的贮存量最多。幼年动物体组织中的含 Cu 量较成年动物高。

Cu 是形成血红蛋白的催化剂，是某些酶的组成成分或激活剂。日粮中缺 Cu 时，使 Fe 的吸收不能正常进行，故动物贫血。缺 Cu 地区的部分牛羊常患骨质疏松，关节肿大和跛行。因角蛋白合成受阻而使羊毛生长速度下降，毛质脆弱，羔羊共济运动失调。因参与色素形成的含铜酪氨酸酶活性降低，而使动物被毛褪色。

家畜对 Cu 的需要量很少，过多喂给 Cu，会发生中毒现象尤其羔羊和犊牛，对过量 Cu 更为敏感。

4. 钴：

主要存在于动物的肝、脾、肾、胰脏中。Co 是维生素 B₁₂ 的主要组成成分，Co 活化磷酸葡萄糖变位酶，同碳水化合物及蛋白质代谢有关。

反刍家畜缺 Co 的主要症状是体重下降，食欲不振，被毛粗硬，毛的生长缓慢，泌乳量下降、贫血等。

大多数饲料都含有微量的 Co，除非在土壤严重缺 Co 的地区，一般缺 Co 症少见。补喂氯化钴或硫酸钴，可预防缺 Co 症。

5. 硒：

过去认为硒属于有毒的微量元素，近十多年来发现，它对动物营养有重要作用。它具有某些与维生素 E 相似的作用，故动物缺硒的症状中，某些与维生素 E 缺乏症的症状相同。

我国东北和西北某些地区，因土壤缺硒而引起动物的多种疾病。如羔羊和犊牛发生营养性肌肉萎缩，心力衰竭，瘫痪，生长迟缓，肝坏死等。如日粮中含硒水平更低时，