经全国中小学教材审定委员会 2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书 · 通用技术（选修 4）

现代农业技术 · 专题四

营养与饲料

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社 组编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

总 主 编：傅水根
本册主编：王成章　李振田
编写人员：王成章　李振田　姜义宝　李新建　贺　丛　焦喜兰
责任编辑：李义坤
美术编辑：宋贺峰
责任校对：柯　姣

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(选修 4)

现代农业技术·专题四

营养与饲料

河南省基础教育教学研究室
河 南 科 学 技 术 出 版 社　组编

★

河南科学技术出版社出版发行
(郑州市经五路 66 号)
邮政编码：450002　电话：(0371) 65737028
河南省天和彩彩印有限公司印刷
全国新华书店经销

★

开本：890mm×1 240mm　1/16　印张：5.25　字数：123 千字
2005 年 5 月第 1 版　2015 年 8 月第 5 次印刷
ISBN 978-7-5349-3320-2
定价：6.35 元

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

致同学们

作为高中通用技术的选修模块《现代农业技术》的一个专题，这本《营养与饲料》与同学们见面了。

同学们，看到这本书，你们可能要问，饲料是农民用来养猪、养鸡的，和我们有什么关系呢？可是你知道我们餐桌上的牛奶、鸡蛋和各种肉制品是怎么来的吗?我们怎样才能得到优质、安全的肉、蛋、奶产品呢?

畜牧业是农业生产的重要组成部分，目前发达国家的畜牧业产值占整个农业产值的比重都在50%以上，我国经过最近二十几年的发展，畜牧业产值达到农业产值的40%左右。畜牧业生产的实质就是通过动物将各种饲料原料转化为畜产品，因此饲料是发展畜牧业的物质基础。我国的饲料工业从20世纪70年代末开始，经过跨越式的发展，已经成为仅次于美国的饲料生产大国。正是得益于快速发展的饲料工业的有力支撑，畜牧业的大发展才给我们提供了丰富的肉、蛋、奶、毛皮等动物性产品，从而极大地改善了我们的生活，增进了人们的健康。

在畜牧生产中，动物并不能将所有的饲料全部转化为畜产品，其中相当大一部分随着粪便排到环境中，不仅浪费了资源，也对环境造成污染。而我国又是一个饲料资源相对短缺的国家，因此，为了保证畜牧业的持续快速发展，要求我们提高饲料原料的利用效率，降低生产成本和对环境的污染。同时，随着人们生活水平的提高，人们对各种动物性食品的要求也越来越高，不仅要吃得饱，还要吃得好，吃得健康、安全。“营养与饲料”这门课正是为我们解决上述问题提供有关知识和技能而开设的。当然这里介绍的只是动物营养与饲料科学方面的一些基础知识和技能，目的在于引导大家对当前的畜牧业和饲料生产有所了解，全面掌握相关知识还需要到大学继续深造。

“营养与饲料”是一门理论与实践并重的课程，我们不仅要掌握

饲料营养物质的各种功能、消化吸收过程，还要了解各种饲料的基本营养特性和饲料配制的具体方法。为此本教材中特意设计了“学习导航”“现象与问题”“探究尝试”“实践活动”“活动延伸”等栏目，目的在于从身边和生活中的某些现象入手，引导大家去积极思考并尝试解决问题，增强动手能力，加强对所学知识的理解和运用。而“新视窗”“小资料”“方法介绍”和“阅读材料”等栏目，则可以开阔视野，激发兴趣，使同学们对该领域内科研、生产上的一些最新动态有所了解，并引导同学们关注人类生产活动对自然环境的影响，树立可持续发展的科学观念。

附录给出了主要养殖动物的饲养标准，可作为我们在实际中设计动物饲养方案和饲料配方的重要参考资料。同时我们也给出了部分中英文词汇对照表，便于同学们查阅资料，并为其进一步深造创造条件。

编　者

2004 年 11 月

目 录

第一章　动物的营养物质 …… (1)

第一节　蛋白质 …… (2)
一、蛋白质与氨基酸 …… (2)
二、蛋白质的营养功能 …… (3)
三、蛋白质的质量 …… (3)
第二节　糖类、脂类和能量 …… (5)
一、糖类 …… (5)
二、脂肪 …… (7)
三、能量 …… (9)
第三节　水分和矿物质 …… (11)
一、水分 …… (11)
二、矿物质 …… (13)
第四节　维生素 …… (17)
一、脂溶性维生素 …… (18)
二、水溶性维生素 …… (19)
第五节　动物对饲料养分的消化吸收 …… (22)
一、营养物质的消化 …… (22)
二、营养物质的吸收 …… (24)

第二章　常用的饲料原料 …… (26)

第一节　青绿饲料 …… (27)
一、青绿饲料的营养特性 …… (27)
二、常用的青绿饲料 …… (28)
第二节　青贮饲料 …… (30)
一、青贮饲料的原理和营养特点 …… (30)
二、青贮饲料的制作 …… (30)
三、青贮饲料的利用 …… (33)
第三节　粗饲料 …… (34)
一、青干草 …… (34)
二、稿秕、树叶类饲料 …… (36)
第四节　能量饲料 …… (38)
一、玉米 …… (39)
二、小麦及其副产品 …… (40)

三、稻谷及其副产品 …… (41)
四、大麦 …… (42)
五、油脂 …… (42)
第五节　蛋白质饲料 …… (43)
一、大豆籽实 …… (43)
二、饼粕类 …… (44)
三、鱼粉 …… (48)
四、尿素 …… (49)
第六节　矿物质和添加剂饲料 …… (51)
一、矿物质饲料 …… (51)
二、饲料添加剂 …… (53)
第三章　配合饲料的生产 …… (58)
第一节　饲料配合的依据 …… (59)
一、动物的营养需要量 …… (59)
二、主要养殖动物的营养需要特点 …… (59)
三、饲养标准 …… (61)
第二节　配合饲料的种类及配方设计 …… (63)
一、配合饲料的概念和种类 …… (63)
二、饲料配方的设计 …… (65)
第三节　配合饲料生产工艺 …… (69)
第四节　饲料对畜产品和环境的影响 …… (72)
一、饲料对畜产品品质的影响 …… (73)
二、饲料对畜产品安全性的影响 …… (74)
三、饲料对环境的影响 …… (75)
附录　部分中英文词汇对照表 …… (77)

第一章　动物的营养物质

动物的生存离不开食物，我们称动物的食物为饲料。200 多年来，世界动物营养与饲料研究取得了惊人的进展，从原来用残羹剩饭和单一的玉米、小麦作为饲料，到现代讲究营养平衡的全价配合饲料；从原来一头小猪 1 年左右屠宰到现在 5 个月左右出栏，动物营养与饲料研究极大地推进了畜牧业的发展。近些年来，动物营养研究已进入了微观领域，从更深层次的分子水平揭示了动物所需营养物质的奥妙。饲料中对动物的生长发育、繁殖后代、生产产品等活动有益的物质，称为营养物质，简称养分，包括蛋白质、糖类、脂肪、矿物质、维生素、水分等。为了科学地利用饲料，我们对动物生命活动中所需的这些营养物质应有一个基本的了解。

第一节　蛋白质

学习导航

1．为什么动物的生命离不开蛋白质？
2．为什么说蛋白质的营养本质上就是氨基酸的营养？
3．影响饲料蛋白质质量的因素有哪些？

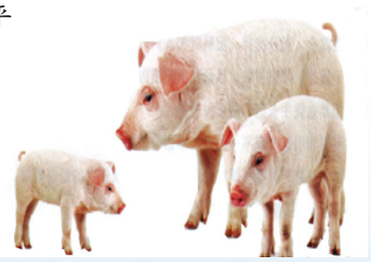
现象与问题

右图中为三个同窝出生的仔猪，分别喂给含不同蛋白质水平的饲料，其生长速度出现了巨大差异。饲料中蛋白质缺乏的仔猪，生长极其缓慢，被毛粗乱，生长速度远低于采食高蛋白饲料的仔猪。

讨论：

1．饲料中蛋白质缺乏为什么会严重影响动物的生长？

2．如果在低蛋白饲料中添加一些氨基酸，会有什么结果？



饲料中蛋白质含量不同的同龄猪

一、蛋白质与氨基酸

蛋白质的基本组成单位是氨基酸，因此可以说，蛋白质的营养就是氨基酸的营养。

动物中的氨基酸有 20 多种，根据其在体内能否合成可分为必需氨基酸和非必需氨基酸。动物自身不能合成或合成的速度不能满足其需要，必须由饲料提供的氨基酸，称为必需氨基酸。非必需氨基酸是指在动物体内合成较多，或者需要较少，不需由饲料提供的氨基酸。事实上，无论是必需氨基酸还是非必需氨基酸，对动物来说都是必不可少的，只是其来源和在饲料中含量不同而已。

在一定条件下能代替部分必需氨基酸的氨基酸称为半必需氨基酸。例如胱氨酸、半胱氨酸可代替 50% 的蛋氨酸，丝氨酸和酪氨酸分别可代替部分的甘氨酸和苯丙氨酸。

小 资 料

猪和家禽的必需氨基酸

猪的必需氨基酸有 10 种：精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸。家禽的必需氨基酸包括精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、甘氨酸和脯氨酸，共 12 种。

二、蛋白质的营养功能

蛋白质是动物所需的主要营养物质之一。如果把动物机体比作一座大厦的话，蛋白质就是构建这座大厦的砖块。没有蛋白质，就没有动物有机体，因此蛋白质是动物最重要的营养物质之一。

蛋白质是构造动物的肌肉、神经、表皮、血液、毛、发、羽、蹄等器官的主要成分。

在动物的新陈代谢活动中起催化作用的酶、起调节作用的激素，以及具有免疫和防御作用的抗体，这些生物活性物质都是以蛋白质为主要成分的。

肉、蛋、奶、毛、皮等的生产都以蛋白质为主要原料，我们生活中的食物如瘦肉、蛋清、豆腐的主要成分都是蛋白质。

三、蛋白质的质量

饲料中蛋白质的质量，是指饲料蛋白质被消化吸收后，能满足动物新陈代谢对氮和氨基酸需要的程度，满足需要的程度愈高，其质量愈高。

由于蛋白质在被动物利用前首先被分解为氨基酸，因此蛋白质的质量实质是氨基酸的组成比例和数量；特别是必需氨基酸的数量和比例与动物所需愈一致，其质量愈高。

新视窗 · 知识外延

氨基酸的构型和营养价值

根据氨基酸的立体构型，可划分为 *D*– 氨基酸和 *L*– 氨基酸两种。天然饲料中仅含 *L*– 氨基酸，微生物能合成 L 型和 D 型两种氨基酸，而人工合成的氨基酸多为二者的混合物。

一般来说，除蛋氨酸外，在畜禽体内，*D*– 氨基酸不如 *L*– 氨基酸易被吸收利用，即使被吸收，如不转化为 *L*– 氨基酸，仍然不能组成蛋白质。

实践活动

羽毛燃烧时会有一种特殊的焦煳味，生活中人们在判断毛线是否含有毛时也常用燃烧的办法，请找几段不同材料的毛线尝试一下，并说明其中的道理。

注意实验时应用镊子夹着毛线，并远离其他易燃物品。

小 资 料

限制性氨基酸和蛋白质组成的木桶理论

各种必需氨基酸对动物的重要性是不同的。饲料中的某些必需氨基酸含量与动物需要的量相比，比值偏低，由于这些氨基酸的不足，限制了动物对其他氨基酸的利用，其中比值最低的称第一限制性氨基酸，以后依次为第二限制性氨基酸、第三限制性氨基酸……对于猪，赖氨酸常常为第一限制性氨基酸；对于家禽，蛋氨酸一般为第一限制性氨基酸。

蛋白质就如一个由木片组成的木桶，每个木片就如组成蛋白质的氨基酸，其质量就如这个桶的容量。只有各个木片长度一致，木桶才能达到最大容量（图 1.1）。同理，各种氨基酸只有比例平衡时，才能最大限度地满足动物的需要，而如果其中一种必需氨基酸（限制性氨基酸）缺乏，就会影响其他氨基酸的利用，进而影响到蛋白质的利用率和动物的生长和生产。

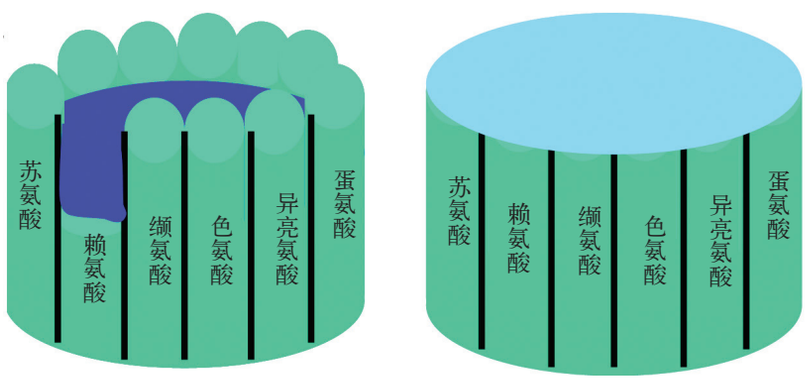


图 1.1　木桶理论示意

活动延伸

蛋白质是动物最重要的营养素，配制饲料最重要的原则就是要保证饲料中蛋白质的适宜水平和氨基酸的合适比例，参观饲料厂或养殖场，了解他们是怎样实现这一点的。

在参观时要戴上口罩，防止粉尘和细菌污染。

第二节　糖类、脂类和能量

学习导航

1．糖类和脂类包括哪些种类，都有什么营养功能？
2．能量在动物体内是怎样代谢的？

现象与问题

鹰击长空，鱼翔海底，马在奔跑，牛在耕地，动物的这些活动需要大量的能量供应。

讨论：

1．动物需要的能量来自饲料中的哪些营养物质？
2．蛋白质可以提供能量吗？

一、糖类

糖类也称碳水化合物，生活中我们经常接触到的糖类有蔗糖、巧克力糖、奶糖等，但糖类远远不止这些被称为“糖”的物质，我们吃的面包、马铃薯，甚至不能食用的牧草，其中的主要成分都是糖类（图 1.2）。

饲料中的单糖、双糖和淀粉等容易消化，称为无氮浸出物，一般饲料的含量都在 50% 以上。而纤维素、半纤维素和果胶，以及一些非

图 1.2　糖类物质示例

探究尝试

你在生活中遇到的还有哪些糖类，它们有什么特点？
我们平常吃的糖类和动物食用的糖类有什么区别？

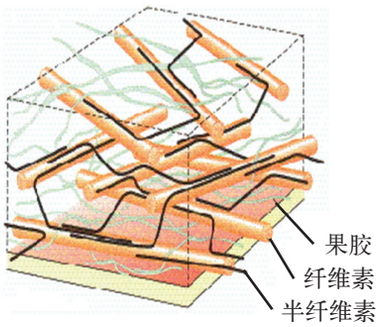


图 1.3　植物细胞壁的结构

糖物质如木质素等常常结合在一起构成植物的细胞壁等结构物质（图 1.3），是饲料中最难消化的营养物质，被称为粗纤维。粗纤维含量越高，饲料的利用价值就越低。

糖类是动物体内主要的能源物质，葡萄糖的分解可以满足动物生命活动所需要的大部分能量；同时，糖类也是动物体内重要的储能物质，例如转化为糖原（肝糖原、肌糖原）而短期存在。

糖类是形成动物产品的重要原料。蛋、肉、奶等动物产品中都含有一定浓度的糖类。对于反刍动物来说，葡萄糖进入乳腺的数量

小 资 料

饲料中的木质素

放牧的牛羊，总是争先恐后地寻找幼嫩的青草，而不喜食枯草（图 1.4），这是什么原因呢？主要是由于枯草中的木质素在作怪。木质素是一种非糖类的聚合物，在植物的老化过程中，木质素的含量不断增加，它通常与细胞壁中的纤维素和半纤维素紧密结合在一起，动物体内的酶也难以将其消化。不仅如此，木质素还影响到纤维素、半纤维素和其他营养物质的利用，这就难怪牛羊喜爱吃嫩草了。

图 1.4　动物与草的质量

实践活动

糖类的水溶性和甜味实验

1．分别取少量葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素样品，品尝其是否有甜味。

2．在不同烧杯中分别放入少量样品，加蒸馏水后搅拌，观察其是否溶解，并把结果填入表 1.1 中。

表 1.1　几种物质可溶性实验

品种	葡萄糖	蔗糖	淀粉	纤维素	甘露寡糖
甜味实验					
水溶性实验					

讨论：是否所有糖类都能溶解？有甜味的物质都是糖类吗？

是限制产奶量的重要因素。

糖类也是构成动物体组织的不可缺少的成分。例如软骨组织中的硫酸软骨素、细胞膜上的糖蛋白、生命遗传物质核酸、虾壳类外壳的几丁质都是糖类。

小 资 料

脂肪肝综合征

脂肪肝综合征又称脂肝病，常见于禽类，其病因是长期饲喂含糖类过高的高能日粮，同时饲料中缺乏蛋氨酸和胆碱，使肝脏中性脂肪合成磷脂发生障碍，导致大量中性脂肪在肝脏中沉积下来。对于鸡群来说，缺乏充分运动也是一个诱因。

二、脂肪

脂肪包括真脂肪和类脂肪。真脂肪是由一分子甘油和三分子脂肪酸构成的，又称甘油三酯或中性脂肪。在常温下，植物油脂多数为液态，称为油；动物油脂一般为固态，称为脂类（图 1.5）。

动物脂肪

植物油

图 1.5　脂类

类脂肪由甘油、脂肪酸和其他含氮或磷的物质构成，包括磷脂、糖脂、脂蛋白、胆固醇、色素及脂溶性维生素等。

粗脂肪是饲料中脂溶性物质的总称。在常规饲料脂肪分析中，用乙醚浸提饲料样品所得的浸出物即为粗脂肪。其中除真脂肪外，还含有脂溶性维生素、叶绿素、有机酸等，因此称为粗脂肪。

$$\text{饲料粗脂肪含量（\%）} = \frac{\text{乙醚浸出物质量（g）}}{\text{饲料样品质量（g）}} \times 100\text{（绝干饲料）}$$

新视窗 · 背景外延

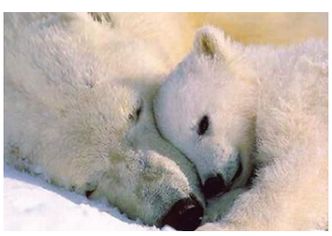
寡糖的特殊营养作用

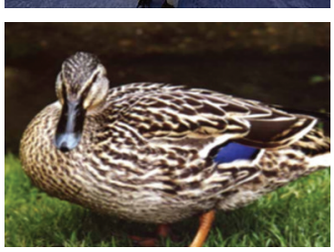
寡糖又称低聚糖，是由 2 ～ 10 个糖单位构成的糖类物质。由于寡糖的特殊结构，在饲料中添加寡糖，动物胃肠道中的致病菌能与添加的寡糖实现特异性结合，使致病原微生物不能在胃肠道上皮细胞上黏附，从而保护了胃肠道免受病原微生物的侵害。目前工业上已用化学合成或微生物发酵的办法生产出一些寡糖产品，应用较多的有甘露寡糖和果寡糖。

小 资 料

饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸

天然油脂中的脂肪酸近百种，可分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸两类。前者碳链中碳原子间全以单键(—C—C—)相连，后者碳原子间有双键(—C ═ C—)或叁键(—C≡C—)存在。含不饱和脂肪酸多的油脂如鱼油、花生油、大豆油，在常温下为液态；含饱和脂肪酸多的油脂如猪油、牛油和羊油等动物油脂，常温下为固态。陆生动物所含饱和脂肪酸的比例高于水生动物和植物。

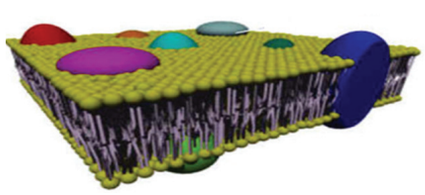




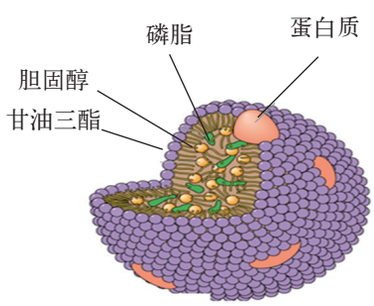
储能

真脂肪是动物体内主要的储能物质和重要的供能物质，而且对动物还有防寒保暖、缓冲器官振荡等保护作用。北极熊和企鹅体内厚厚的脂肪层起到了极好的保温作用，在停止进食期间可以完全靠脂肪维持生命。鸭鹅等动物在尾巴根部有一个能分泌脂肪的腺体，称为尾脂腺。水生动物用嘴将脂肪不停地涂抹到羽毛上，因此能够保持羽毛不被水浸湿。

磷脂是神经、肌肉细胞膜等组织的重要成分和组织再生与修复时不可缺少的物质，而且胆固醇、甘油三酯和脂溶性维生素的吸收也必须借助磷脂形成的乳糜微粒（图 1.6）。



构成细胞的双层膜



组成乳糜微粒

图 1.6　脂肪的主要营养功能

探究尝试

动物肥胖是由于体内脂肪太多造成的，有人说肥胖是由于摄入油脂过多引起的，这种说法正确吗？

小 资 料

必需脂肪酸的生物学作用

某些脂肪酸在动物体内不可缺少但又不能合成，必须由饲料供给，否则就会引起动物生产性能下降、生理机能紊乱，这样的不饱和脂肪酸称为必需脂肪酸。必需脂肪酸通常是含有多个双键的多不饱和脂肪酸，如亚油酸、α－亚麻酸、花生四烯酸等。

必需脂肪酸的生物学作用：①是细胞膜、线粒体膜和质膜等生物膜质的主要成分，在绝大多数膜的特性中起关键作用，也参与磷脂的合成；②是合成类二十烷的前体物质；③维持皮肤和其他组织对水分的不通透性；④降低血液胆固醇水平。此外，二十二碳六烯酸还是构成大脑和视觉组织的重要成分，具有促进神经细胞发育，改善动物免疫功能的作用。

三、能量

能量不是一种有形的营养成分，它蕴藏于蛋白质、糖类和脂肪三大养分的化学键中，通过有机物的分解才能释放出来。

1. 动物的能量来源　对于大部分动物来说，糖类是主要的能量来源。单胃动物可以利用饲料中的单糖、二糖、淀粉，而反刍动物还可以利用纤维素、半纤维素和果胶。当糖类不能满足能量需要时，脂肪可以分解供能，因此脂肪是能量供应的预备力量。蛋白质一般不宜作能源物质，因为蛋白质在供能时效率低，而且蛋白质通常是饲料中容易缺乏的营养素。但是对于鱼类来说，由于对糖类的利用效率较低，其有效的供能物质是蛋白质，其次为脂肪。

2. 能量的代谢　动物摄入的饲料能量伴随着养分的分解代谢过程而发生一系列转化（图 1.7）。

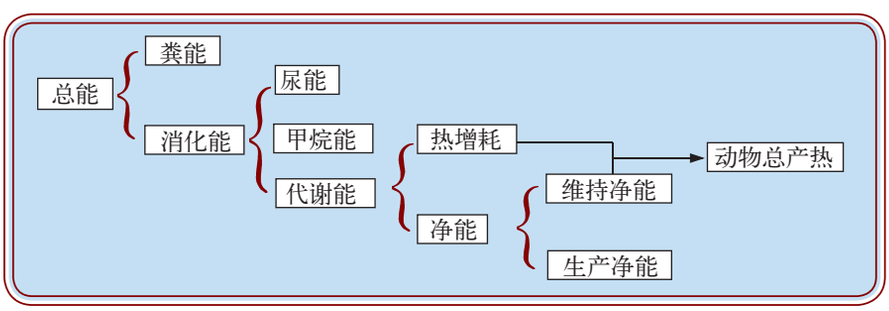


图 1.7　饲料能量在动物体内的分配

探究尝试

对于单胃动物来说，其饲料中用量最大的通常是玉米等谷物，反刍动物饲料中用量最大的是秸秆等粗饲料，而鱼类饲料中则含有大量的鱼粉、豆粕等饲料，试分析其原因。

新视窗 · 知识外延

油脂的额外能量效应

饲料中添加油脂后，可以使整个饲料的能量利用率提高，这种作用称为油脂的额外能量效应。

胆固醇对甲壳类动物的作用

胆固醇是甲壳类动物必需的营养素，有助于甲壳类动物（包括虾）转化合成维生素 D、性激素、胆酸、蜕皮激素和维持细胞膜结构的完整性，能够促进虾的正常蜕皮、消化、生长和繁殖。

（1）总能。它是指饲料中的有机物完全氧化燃烧生成二氧化碳、水和其他氧化产物时释放的全部能量，主要为糖类、蛋白质和脂肪能量的总和，见表 1.2。

表 1.2　有机物质在体外燃烧时放出的热能

有机物	C	H	O	N	其他	燃烧／（kJ·kg^{-1}）
糖类	44	6	50	0	0	17.50
脂肪	77	12	11	0	0	39.54
蛋白质	52	7	22	16	3	23.64

（2）消化能。由于饲料中的有机物质不能被动物完全消化，有一部分随粪便排出体外，这一部分有机物所含的能量称为粪能，而动物摄入饲料的总能与粪能之差称为消化能，也就是已消化养分所含的能量。

（3）代谢能。消化能的一部分在消化过程中以气体（主要是甲烷等）的形式损失掉，还有部分有机物以尿素和尿酸的形式经尿排出而损失，余下的才是参加动物代谢活动的能量，称为代谢能。

（4）净能。代谢能减去体增热和消化道中的微生物活动消耗的部分能量，余下的才是被动物利用的能量，称为净能。净能又分为维持净能和生产净能。

维持净能是维持动物生命活动、适度随意运动和维持体温恒定所耗能量，这部分能量最终以热的形式散失；生产净能指饲料能量用于沉积到产品中的部分，也包括用于劳役做功的部分。

（5）体增热。代谢能不能完全被动物利用，因为动物消化吸收养分的过程中要消耗部分能量，这部分能量以产热使体温增加的形式损失掉，称为体增热。

小 资 料

动物能量的表示体系和单位

消化能体系考虑了粪能损失，猪多采用消化能体系。代谢能体系在消化能的基础上，考虑了尿能和气能的损失，比消化能准确，但测定困难，主要用于家禽。净能体系不但考虑了粪能、尿能、气能的损失，还考虑了热增耗的损失，比消化能和代谢能都准确，但测定难度大，费工费时。反刍动物多采用净能体系。采用净能体系是动物营养学界评定动物能量需要和饲料能量价值的趋势。

能量用焦耳（J）、千焦（kJ）和兆焦（MJ）来表示，1MJ=10^{3}kJ=10^{6}J。

活动延伸

查阅资料，分析影响能量利用的各种因素。并结合当地养殖情况，提出一个提高能量利用效率的饲养方案。

第三节　水分和矿物质

学习导航

1．动物水的供应有哪些来源？　水在动物体内都有哪些重要作用？

2．动物需要的矿物质元素主要有哪些种类？各有什么营养功能？

现象与问题

动物体内的化学成分组成

动物种类	水分 /%	蛋白质 /%	脂肪 /%	灰分 /%
初生犊牛	74	19	2	4.1
阉牛	64	19	12	5.1
猪（30kg）	60	13	24	2.5
猪（100kg）	49	12	36	2.6
绵羊	74	16	5	2.8
鸡	57	21	19	3.2
人	60	18	18	4.3

从上表中给出的动物体化学成分的组成可以看出，其中水分的含量最高。

讨论：

1．水分含量与动物年龄有关吗？

2．表中的灰分与矿物质有什么关系？

水分和矿物质是无机成分，它们不提供能量，但也是动物体内必不可少的营养物质。

一、水分

水在动物体内除了作为动物机体和畜产品的基本组成成分外，还发挥着其他多种重要作用。

水是关节、肌肉和体腔的润滑剂，而且对机体的组织器官还有保护作用。如唾液可使食物易于吞咽，关节滑液可减少关节活动时的摩擦。

水是动物体内的重要溶剂和运输工具。大多数的营养物质必须溶于水后才能被消化吸收，并被运往机体内所需要的部位，产生的废物也必须通过水运送到排泄器官而排出体外。水是营养物质在动物体内消化吸收、降解、代谢得以顺利进行的媒介。

图 1.8　动物通过饮水和饲料获得水分

水还是机体调节体温的主要工具。在炎热环境和激烈活动下，动物通过出汗，利用水分的蒸发带走较多热量，从而使体温保持在适当的范围。动物缺水时，会明显影响采食量和生长、生产性能，致使体重下降，甚至造成脱水以致衰竭而死亡。

动物体内水的来源和排出

饮水是动物获得水分的主要来源。保证足够的饮水是获得良好生产性能的必备条件。由于饲料中水分含量变化很大，动物从饲料中往往不能获得稳定的水分供应。动物体水的运转情况见图 1.8、图 1.9。

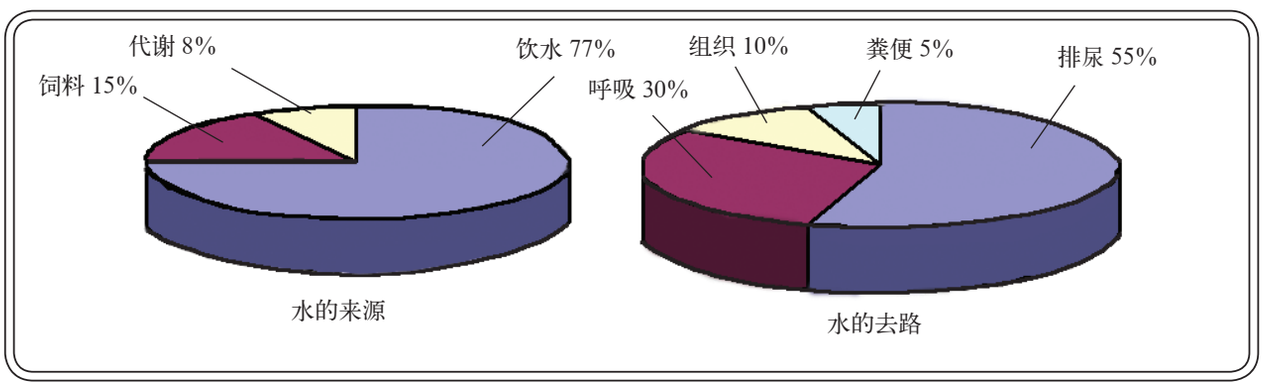


图 1.9　动物体内水的来源和去路

探究尝试

1. 进入冬季，冬眠动物既不采食，也不饮水，请问它是怎样获得水分来维持生命的？

2. 你能举出几个因缺水而影响动物机体功能的例子吗？

小 资 料

水的品质

水的品质直接影响动物的饮水量、饲料消耗、健康和生产性能，饮用不清洁的水是造成动物下痢等疾病的主要原因之一。水的品质主要受三个方面的影响：

1. 有害微生物　包括细菌和病毒，其中以大肠杆菌、沙门杆菌、钩端螺旋体最为常见。美国规定，家畜饮水中大肠杆菌数量应小于 5 000 个 /L。

2. 离子含量　通常以水中总可溶性固形物来表示。水中主要阴离子有 SO_4^{2-}、

Cl^-、 NO^{3-}、CO_3^{2-}，阳离子有 Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^+、Hg^{2+}、Pb^{2+} 等，影响动物体内无机盐的代谢。总可溶性固形物在 1 000mg/L 以下对所有动物都是安全的。

3. 硝酸盐和亚硝酸盐　在水中分布广泛。动物对硝酸盐的承受力为 1 320 mg/L，对亚硝酸盐的承受力为 33mg/L，含量过高会造成动物中毒。

探究尝试

目前淡水资源紧缺是一个全球性的问题，而海水却取之不尽。为什么畜禽和淡水鱼类只能用淡水饲养？

二、矿物质

动物体组织中含有约 45 种矿物元素，目前证明动物必需的有 19 种。根据矿物元素在体内含量的不同，可分为常量元素（高于 0.01%）和微量元素（低于 0.01%）两大类。其组成如下：

常量元素：钙、磷、钠、钾、氯、镁、硫 7 种。

微量元素：铁、铜、锰、锌、碘、硒、钴、钼、氟、铬、硼、硅共 12 种。

探究尝试

动物对微量元素的需要量很小，因此在饲料中不易混合均匀。动动脑筋，该怎样解决这一问题？

实践活动

饲料中粗灰分的测定

饲料中矿物质的测定相对复杂，因此一般用测定粗灰分的方法来表示饲料中总的矿物质含量。其方法是将饲料在 550 ～ 600℃ 高温炉中燃烧，有机物全部氧化后所剩下的残渣，主要是饲料的矿物质或盐类等无机成分，因有时含少量泥沙，所以称为粗灰分。在做这一实验中，应小心烫伤。

测定步骤：

1. 将带盖坩埚放入茂福炉内，在600℃温度下灼烧30min，待炉温降至低于200℃，坩埚移入干燥器中，冷却1h后称质量。

2. 在已知质量的坩埚内，称取风干样品2g。

3. 将盛有样品的坩埚放在电炉上，用小火慢慢炭化样品中的有机物质。

4.待样品炭化至无烟，再将坩埚移入茂福炉中，在600℃温度下灼烧。坩埚盖打开少许，直到样品全部呈白色为止（需2～4h）。

5. 灼烧完毕，待炉温降至低于200℃时将坩埚移入干燥器内冷却。30min后，称坩埚和灰分质量。

6.结果计算：样品中灰分含量 ＝［坩埚和灼烧前样品质量－坩埚和灼烧后样品质量］÷灼烧前样品质量×100%

1．常量元素　这类元素大部分用于构成体组织。钙和磷是动物体内含量最多的矿物元素，约占体重的2%，其中绝大部分钙和磷都存在于骨骼和牙齿中（图1.10），是骨骼和牙齿的主要成分，形成动物体的支架；镁、氟、硅也参与骨骼、牙齿的构成；少部分钙、磷、镁及大部分钠、钾、氯以离子形式存在于体液和软组织中，维持渗透压、酸碱平衡、膜通透性及神经、肌肉兴奋性等；部分常量元素如钠、钾、氯、硫、镁等还是酶、激素等的成分，参与体内糖类及蛋白质等的代谢活动。骨骼中钙约占36%，磷约占17%，钙磷比通常保持在2∶1左右。钙、磷缺乏时，会影响到骨骼的发育和健康。如幼畜表现佝偻病，骨端变得粗大，脊柱和胸骨、股骨弯曲变形；母畜产后瘫痪等。

图 1.10　缺钙、磷时的症状

探究尝试

你见过软壳蛋（图1.11）吗？到了夏季，养鸡场收获的鸡蛋中，有些鸡蛋的壳薄而脆，破蛋的比例很高，有的蛋壳很软。请问：组成蛋壳的主要元素是什么？造成薄壳蛋、软壳蛋的主要因素有哪些？

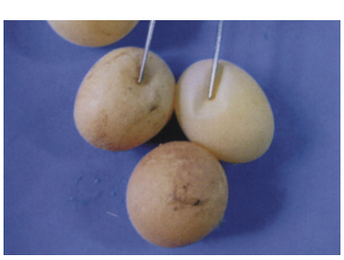
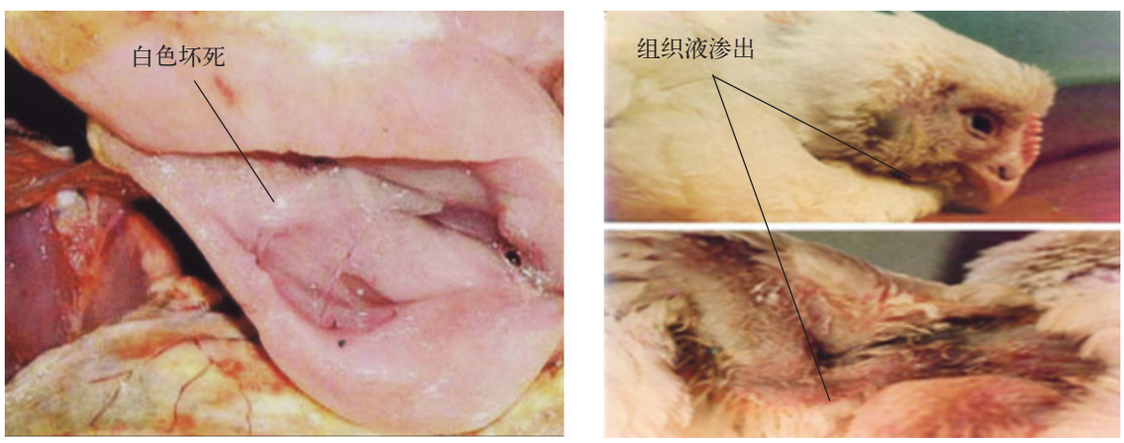


图 1.11　软壳蛋

大部分硫以有机形式存在于肌肉、组织、骨骼和牙齿中。有些蛋白质如毛、羽等含硫量高达4%左右。硫的作用主要是参与合成体蛋白质、羽毛及多种激素，并参与糖类的代谢。

2．微量元素　微量元素主要是参与酶和一些生物活性物质的构成。当饲料中微量元素缺乏时，动物会出现各种缺乏症（图1.12)。碘参与甲状腺激素的形成，缺乏时甲状腺代偿性增大。



硒是谷胱甘肽过氧化物酶的构成成分，保护细胞膜的结构完整和功能，缺乏时胸肌有条纹状灰白色坏死，皮下组织液渗出。

图1.12　硒缺乏症

小 资 料

仔猪的缺铁性贫血症

初生仔猪很容易发生缺铁性贫血，表现为食欲下降、虚弱、皮肤和黏膜苍白、皮毛粗糙、生长慢、血红蛋白低于正常值。这是由于铁不能通过胎盘和乳腺转运，因此母乳中含铁量低，而初生仔猪铁的贮存少（30mg/kg），出生后仔猪生长旺盛，需铁量高。在生产中通常采用口服或注射的形式给新生仔猪补铁，仔猪常在3日龄左右补铁，可用氯化亚铁、硫酸铁、葡聚糖铁。肌内注射150～200mg葡聚糖铁，可满足3周的需要。

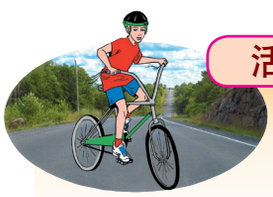
硒缺乏的地域性

微量元素硒缺乏的地域性很强。我国北起黑龙江省，南至云南省，存在着一条斜行的狭长缺硒地带。另外，青海高原、甘肃部分地区、山东、江苏沿海属贫硒和缺硒地带。我国饲料原料整体缺硒，但也散在分布有高硒地区，如湖北恩施、陕西紫阳，这些地区土壤含硒量高，粮食作物中硒含量也高，曾有人和家畜硒中毒的报告。

探究尝试

1．对于舍饲的动物，必须补充一定量的微量元素，但农村散养的畜禽却基本上不用补充，试分析其原因。

2．目前我国要求人和动物必需采用碘化食盐（含碘 0.007%），这是为什么？



活动延伸

调查当地养殖场和养殖专业户所用的动物饮水设备，并从节水和保证水质方面比较其优缺点。深入养殖场和养殖专业户，调查了解畜禽的佝偻病、贫血症的发病情况，并分析具体原因。

阅读材料

我国的水资源状况

我国是世界水资源危机最严峻的国家之一。我国水资源总量超过 28 000 亿 m^3，居世界第 6 位，但人均水资源占有量只有 2 300m^3，约为世界人均水平的 1/4。目前，全国仅灌区每年就缺水 300 亿 m^3 左右，干旱缺水已成为我国农业和畜牧业稳定发展及粮食安全供给的主要制约因素。当前全国农村还有 3 000 多万人和数千万头牲畜吃水困难。全国有 1/4 的人口饮用不符合卫生标准的水，直接影响到人们的身体健康。

我国水资源的污染状况非常严重。江河流域普遍遭到污染，且呈发展趋势。工业废水和生活污水排放量大而处理率和达标率低，水污染防治形势十分严峻。对全国 55 000km 的河段调查表明，水质污染严重而不能用于灌溉的河段约占 23.3%，45% 的河段鱼虾绝迹，85% 的河段不能满足三类水质标准，生态功能严重衰退（图 1.13）。

图 1.13　水污染给水产养殖业造成重大损失

不仅如此，随着我国人口的继续增长和国民经济的持续发展，预计 2030 年全国农业、工业、生活用水将增加 2.65 倍，水的供应更加紧张，水的污染也会更加严重。因此，节约用水、防止水的污染是我国国民经济发展的需要，也是我们民族生存的需要。只有大家共同努力，厉行节约用水，减少水的污染，我国才能最终消除水资源危机。

第四节　维生素

学习导航

1．维生素有哪些种类？各有什么特性？
2．动物缺乏维生素会出现哪些常见症状？

现象与问题

在生活中，除了主食之外，人们还要经常吃一些蔬菜、水果等，这对于保持身体健康非常重要。

讨论：

1．蔬菜、水果主要提供什么营养成分？

2．对动物来说，提供维生素的途径有哪些？

维生素是一类动物代谢所必需而需要量又极少的低分子有机化合物。它在体内一般不能合成，必须由饲料直接提供。它既不供应机体能量，也不构成机体组织，主要以辅酶和催化剂的形式广泛参与体内的化学反应。一旦饲料中缺乏某种维生素，则无一例外地引起相应的代谢障碍，并表现出相对特异的缺乏症状。目前已确定的维生素有14种，按其溶解性可分为脂溶性维生素和水溶性维生素两大类（图1.14）。

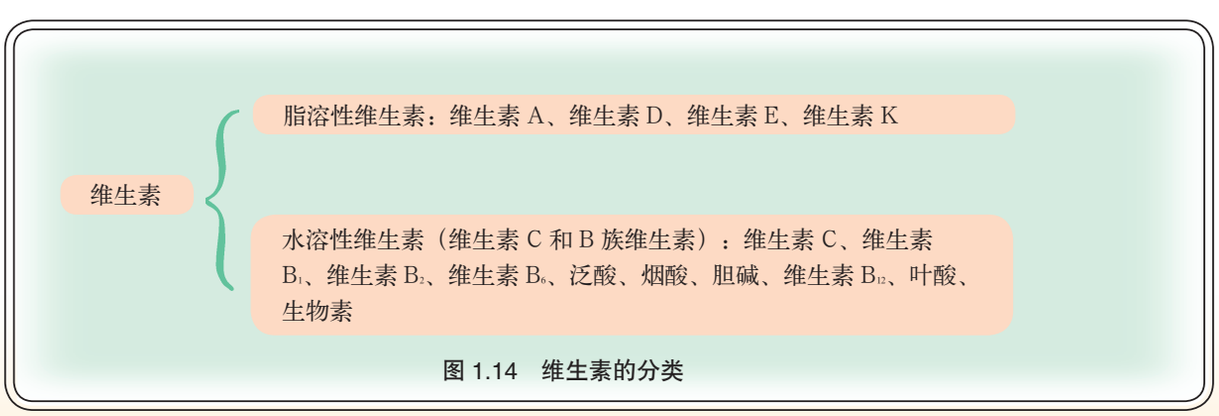


图 1.14　维生素的分类

新视窗 · 知识外延

维生素 A 与胡萝卜素

维生素 A 只存在于动物体中，以肝脏中含量最高。植物体中只含有胡萝卜素，幼嫩青饲料和胡萝卜中含量最多。植物体中含有的胡萝卜素被动物吸收后可转化为维生素 A。

一、脂溶性维生素

脂溶性维生素在机体内主要起调节代谢的作用。它们在消化道内和脂肪一同被吸收，并能像脂肪一样在体内沉积，因此过量的脂溶性维生素（超过推荐量的 500 倍）会产生严重的中毒症状。

1. 维生素 A　维生素 A 对于维持动物视觉功能的正常具有重要意义，这是因为它参与对弱光敏感的感光物质的合成，缺乏时对弱光的敏感度降低，动物会产生夜盲症。

维生素 A 另一个重要功能是维持上皮组织正常功能，缺乏时上皮组织细胞生长和分化受损，泪腺分泌停止，产生干眼病，严重时失明、腹泻（图 1.15）。

此外，维生素 A 对于促进钙、磷吸收，维持骨骼正常生长发育促进动物的生长，促进免疫细胞的分化，维持动物的免疫功能，参与性激素的形成，维持正常繁殖功能都有重要作用。

维生素 A 缺乏导致失明　　流泪

图 1.15　鸡维生素 A 缺乏症示例

2. 维生素 D　维生素 D 有维生素 D_2 和维生素 D_3 两种活性形式。维生素 D_2 存在于植物体内，维生素 D_3 存在于动物体内。对动物来说，维生素 D_3 的活性远高于维生素 D_2，维生素 D_3 是由人工合成的。维生素 D 的基本功能是调节动物体内钙磷代谢、促进骨骼的正常钙化、防治佝偻病（图 1.16）。

鸡腿变形

图 1.16　动物维生素 D 缺乏症示例

3. 维生素 E　最初的研究发现维生素 E 与生育能力有关，故又称生育酚，其中活性最强的是 *d*–*α*– 生育酚。维生素 E 的主要功能是防止过氧化物形成，保护细胞膜，维持细胞结构的完整。青绿饲料、叶类、优质干草、豆油、花生油是维生素 E 很好的来源。饲料中添加的维生素 E 多为人工合成的 *dl*–*α*– 生育酚乙酸酯。

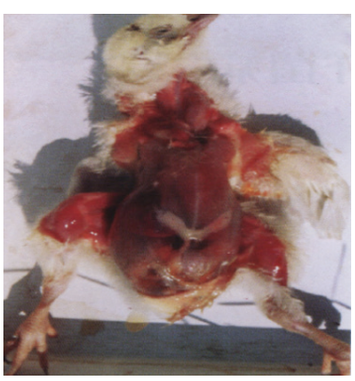
维生素 E 不足时，由于动物体内过氧化物的破坏作用，造成各种细胞的结构破坏，从而能引起动物的肌肉营养不良、皮下水肿、血肿，并出现繁殖功能紊乱等症状（图 1.17）。

小脑软化

小脑出血（左为健康对照）

图 1.17　维生素 E 缺乏症示例

4. 维生素 K　天然存在的维生素 K 活性物质有叶绿醌（维生素 K_1）和甲萘醌（维生素 K_2）。青绿饲料是维生素 K 的丰富来源，饲料中常添加的是人工合成的维生素 K_3。维生素 K 的主要作用是参与凝血活动，催化凝血酶原的合成，为许多凝血因子的激活所必需，缺乏时凝血时间延长（图 1.18）。


皮下组织出血

鸡的贫血

图 1.18　动物维生素 K 缺乏症示例

二、水溶性维生素

B 族维生素主要作为各种酶的辅助成分，催化糖类、脂肪和蛋白质代谢中的各种反应。除维生素 B_{12} 外，水溶性维生素几乎不能在体内贮存，因此毒性较小。反刍动物能由其瘤胃微生物区系合成 B 族维生素，故不需由饲料供给，而大部分单胃动物均需由饲料供给。由于大部分饲料所含维生素不能满足动物需要，所以必须在饲料中添加人工合成的 B 族维生素。在正常环境条件下，畜体自身能合成足够的维生素 C。

维生素 B_1 又称硫胺素，主要功能是参与糖类代谢，对神经系统的能量供应有重要影响。维生素 B_1 不足时，动物的神经组织功能将受到严重影响。雏鸡可能出现多发性神经炎：病鸡头向后仰，羽毛蓬乱，运动器官和肌胃肌肉衰弱变性（图 1.19）。其他几种水溶性维生素的作用及其缺乏症示例见图 1.20。

新视窗 · 知识外延

维生素 E 与肉的品质

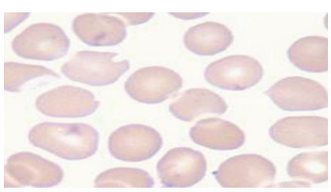
由于维生素 E 具有抗氧化作用，在饲料中添加高剂量的维生素 E，可以使肉中维生素 E 水平提高，从而提高肉的品质和贮藏时间。

图 1.19　维生素 B_1 缺乏

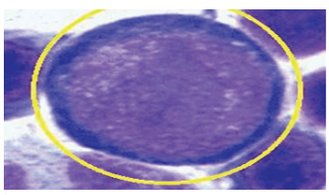
维生素 B_2 缺乏时，足爪向内弯曲，用跗关节行走。

禽的生物素缺乏时出现关节肿大、胫骨粗短等症状，猪则造成蹄裂。

泛酸缺乏症表现——鹅步症。

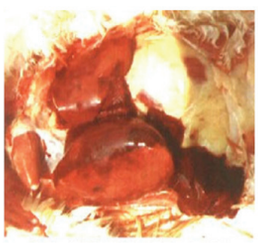


正常红细胞



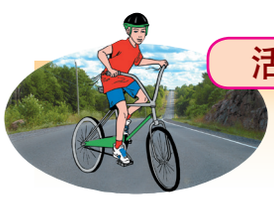
巨红细胞

叶酸对红细胞形成有促进作用。叶酸缺乏时，合成核酸的原料嘌呤和嘧啶合成受阻，核酸形成不足，使红细胞不能正常分裂，红细胞的生长停留在巨红细胞阶段，称为巨红细胞性贫血。



胆碱是动物需要量最大的维生素，参与脂肪代谢及神经冲动的传导。胆碱不足时，能引起笼养产蛋母鸡患脂肪肝病，肝脏内脂肪渗入，影响肝脏功能，甚至造成肝的破裂出血。

图 1.20　部分水溶性维生素缺乏症示例



活动延伸

深入养殖场和养殖专业户，了解猪、鸡饲料维生素的使用情况，并探讨各种维生素的具体添加量。

阅读材料

维生素的发现过程

维生素也称维他命，是动物和人体不可缺少的一种营养素，它是由波兰科学家丰克（Casimir Funk）命名的，称为“维持生命的营养素”。动物和人体中如果缺少维生素，就会患各种疾病。那么维生素是怎么被人们发现的呢？

人类对维生素的认识始于 3 000 多年前。当时古埃及人发现夜盲症可以被一些食物治愈。中国唐代医学家孙思邈（581—682）也曾经指出，用动物肝可以防治夜盲症，用谷皮熬粥可以防治脚气病，实际起作用的因素正是维生素。动物肝中多含丰富的维生素 A，而谷皮中多含维生素 B_1，分别是夜盲症和脚气的对症良药。虽然他们并不清楚食物中什么物质起了医疗作用，但这是人类对维生素最朦胧的认识。

1519 年，葡萄牙航海家麦哲伦率领的远洋船队从南美洲东岸向太平洋进发。三个月后，有的船员牙床破了，有的船员流鼻血，有的船员浑身无力，待船到达目的地时，原来的 200 多人，活下来的只有 35 人，人们对此找不出原因。1734 年，在开往格陵兰的海船上，有一个船员得了严重的坏血病，当时这种病无法医治，其他船员只好把他抛弃在一个荒岛上。待他苏醒过来，用野草充饥，几天后他的坏血病竟不治而愈了。诸如此类的坏血病，曾夺去了几十万英国水手的生命。1747 年英国海军军医林德总结了前人的经验，建议海军和远征船队的船员在远航时要多吃些柠檬，他的建议被采纳，从此船员中再未发生过坏血病。但那时还不知柠檬中的什么物质对坏血病有抵抗作用。

1886 年，年轻的荷兰军医艾克曼在荷属东印度研究亚洲普遍流行的脚气病，最初企图找出引起该病的细菌，但是没有成功——本来不是细菌引起的疾病，又怎么可能成功呢？ 1890 年，在他的实验鸡群中暴发了神经性皮炎，表现与脚气病极为类似。直到 1907 年，艾克曼经过专心研究，才终于查明，脚气病起因于白米。鸡吃白米得了脚气病，将丢弃的米糠放回饲料中即可治愈。他自己也开始改吃糙米，于是感染的脚气病随后也好了。艾克曼于是推测白米中含有一种毒素，而米糠中则含有一种解毒的物质。荷兰的格林却不这样认为，而是从另一个角度推测：白米中缺少一种关键的成分，而这种成分就在米糠里。事实证明，格林的推测是正确的，白米中缺少的正是维生素。

1906 年，英国生物化学家霍普金斯用试验证明，食物中除了蛋白质、糖类、脂类、微量元素和水等营养物质外，还存在一种必需的“辅助因子”。

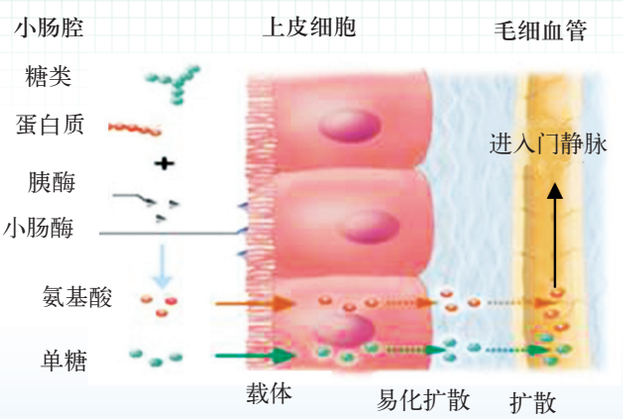
1911 年，波兰化学家丰克经过千百次试验，终于从米糠中提取出一种能够治疗脚气病的白色物质，并发现这种物质（维生素 B_1）是一种胺（一类含氮化合物）。因此丰克提议将这种化合物叫作 Vitamine，中文意思就是“致命的胺”，极言它的重要性。这个名词被迅速普遍应用于所有的这种“辅助因子”。然而随后发现，许多其他的维生素并不含有“胺”结构，但是由于丰克的叫法已经广泛采用，所以这种叫法并没有废弃，而仅仅将 vitamine 的最后一个“e”去掉，成为了“vitamin”（维生素，音译为“维他命”）。1912 年，霍普金斯和丰克提出维生素缺乏假说，推测人体系统中如果缺乏特定的足够量的维生素，将会引起特定的疾病。在 20 世纪初，通过提供缺乏特定成分的食物给实验动物食用的方法，科学家们成功地将各种如今大家熟知的维生素分离并且鉴别了出来。人们把它们排列起来以便于记忆，维生素按 A、B、C 一直排列到 L、P、U 等几十种，成了一个大家族。艾克曼医生因其发现维生素的作用而于 1929 年荣获了诺贝尔医学或生理学奖。

第五节　动物对饲料养分的消化吸收

学习导航

1. 营养物质是怎样被消化吸收的?
2. 不同动物的消化吸收方式有何不同?

现象与问题



动物消化吸收的基本模式

饲料中的大部分养分如蛋白质、糖类和脂肪都是复杂的大分子有机物，必须在小肠腔内经过一系列消化过程，才能被小肠上皮层吸收，然后进入动物体内并被动物利用。左图表示动物消化、吸收营养物质的基本模式。

讨论

1. 饲料中营养物质在这一过程中发生了什么变化?

2. 饲料在进入小肠前发生了什么变化?

一、营养物质的消化

所谓消化是指饲料在动物消化道内，将大分子有机物分解为简单的、可以溶解的小分子物质的一系列过程。动物种类不同，消化的方式也不同。不同动物由于消化道的结构不同，形成了各自不同的消化特点。

动物消化道一般都由口腔、食管、胃、肠道和肛门五部分组成，但不同动物这五个部分的构成不同。饲料在消化道内的消化包括物理消化、化学（酶）消化和微生物消化三种。物理消化主要靠牙齿和消化道管壁的肌肉运动把饲料磨烂，并和口腔分泌的消化液混合，形成食团。化学消化（即酶的消化）是动物对饲料的主要消化方式，胃、胰腺和小肠是主要的化学消化器官。通过化学消化，蛋白质逐步分解为肽，并最终分解为氨基酸；淀粉逐步分解为糊精、麦芽糖，最终分解为葡萄糖等单糖；脂肪则分解为脂肪酸和甘油。微生物消化是消化道中存在的微生物对饲料养分进行的消化。从本质上说，微生物消化也是酶的消化，只是这些酶是由微生物分泌的，而且能分泌动物本身

不具备的消化粗纤维的酶类。微生物消化的最大特点是可将大量不能被动物消化吸收的低质量的物质转化为能被动物吸收利用的高质量的营养素。

实践活动

观察饲料的化学性消化

在试管中加入少量胰蛋白酶，用 37℃左右的蒸馏水溶解，然后加入少量鱼粉样品，轻轻摇动试管，20min 后观察饲料样品的消化情况。

根据观察结果，分析鱼粉中的蛋白质能被胰蛋白酶完全消化吗？为什么？

猪的消化主要靠胃和小肠的酶的消化，其大肠微生物也能发酵分解部分粗纤维，但能力较弱。猪的物理消化主要在口腔进行。

禽的消化和猪类似，主要是酶的消化。家禽的胃分为腺胃和肌胃两部分。食物在腺胃停留时间很短，消化作用主要在肌胃内进行。禽类的肠道较短，饲料在肠道中停留时间不长，所以酶的消化和微生物的发酵消化都比猪的弱。而家禽的物理消化主要在肌胃中进行。

反刍动物的主要消化特点是前胃（瘤胃、网胃、瓣胃）以微生物消化为主，饲料中 70% ～ 80% 的养分和 50% 的粗纤维在瘤胃中消化，是养分消化的主要场所。反刍动物通过瘤胃微生物间接利用了粗纤维，同时还通过微生物合成了机体所需要的某些养分。皱胃和小肠主要是酶的消化，消化过程与非反刍家畜相似。牛、羊等的物理消化主要在口腔进行。

小 资 料

反刍动物及其瘤胃的功能

所谓反刍是指吐出和再咀嚼先前吞下的食物，具有这种特性的动物称为反刍动物。如骆驼、鹿、羊驼、羚羊、牛、羊等。反刍是动物为了适应自然界而长期进化的结果。早期的反刍动物为了逃避敌害，将食物先吞进胃内，进入安全环境后，再吐到口腔重新咀嚼和消化。反刍动物都具有复杂的反刍胃，它包括瘤胃、网胃、瓣胃和皱胃四个胃，称为复胃（图1.21）。瘤胃体积最大，其中生长着大量的微生物。瘤胃微生物主要包括细菌、真菌和原生动物。这些微生物相互依存，保持着数量上的平衡关系。它们不停地分解饲料中的有机物质，如将蛋白质分解为氨，将糖类分解为脂肪酸，并利用这些分解产物合成自身的组成成分。这些微生物又会随着饲料转移到小肠，被动物消化、吸收

利用。因此对反刍动物来说，饲料中的营养成分，要经过微生物的改造后才被动物吸收利用，其中的积极意义在于可以把纤维素、氨等动物本身不能利用的物质转化为可以利用的营养素，因此反刍动物可以依靠采食含粗纤维高的饲料来维持生产。反刍动物对脂肪的消化是在瘤胃开始的。脂肪在瘤胃内被微生物水解成甘油和脂肪酸，而且经微生物的作用可使不饱和脂肪酸转变成饱和脂肪酸。

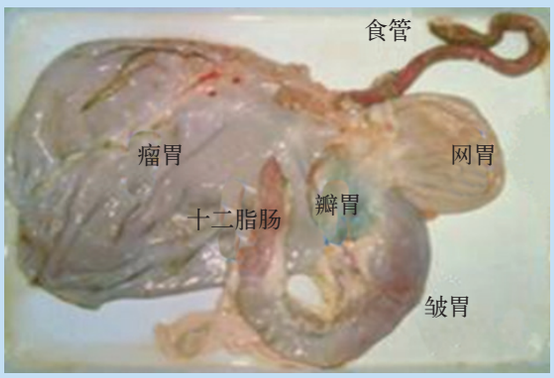


图 1.21　反刍动物的胃

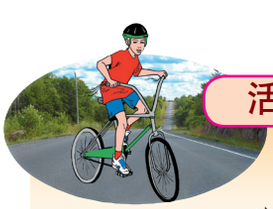
探究尝试

1. 家禽的饲料中，经常要添加一些沙粒，这些沙粒对家禽的消化有什么作用？

2. 单胃草食动物如马和兔等，没有反刍动物那样的复胃，却能消化粗饲料，试分析其原因。

二、营养物质的吸收

饲料中营养物质消化后经消化道上皮进入血液或淋巴的过程称为吸收。非反刍动物的胃可以吸收少量的葡萄糖、寡肽和水，各种营养物质的主要吸收场所在小肠。反刍动物的瘤胃可以吸收氨和挥发性脂肪酸，其余三个胃主要是吸收水分和无机盐。



活动延伸

鱼类对食物的消化吸收和高等脊椎动物相似，但也具有明显差异。查阅资料，分析鱼类的消化吸收特点及其与陆生动物的区别。

本　章　小　结

动物的生存离不开饲料，饲料中对动物的生长发育、繁殖后代、生产产品等活动有益的物质，称为营养物质。主要包括蛋白质、糖类、脂肪、矿物质、维生素、水分等。

蛋白质是动物所需的主要营养物质之一，动物的肌肉、神经、表皮、血液、毛、羽以及畜产品肉、蛋、奶等都是以蛋白质为主要成分。蛋白质基本组成单位是氨基酸，包括必需氨基酸和非必需氨基酸。

糖类是动物体内主要的能源物质，也是形成动物产品的重要原料，主要包括单糖、二糖、低聚糖、多糖。饲料中单糖、二糖和淀粉等又称无氮浸出物，易消化。而粗纤维较难消化，利用率低。

脂类包括真脂和类脂。真脂由一分子甘油和三分子脂肪酸构成，又称甘油三酯或中性脂肪；类脂由甘油、脂肪酸和其他含氮或磷的物质构成。脂肪不仅是动物机体组成的重要成分，而且还是主要的储能物质。另外，还在防寒保暖、作为溶剂、保护各部分器官、运输营养物质等方面起重要作用。

水和矿物质是动物体内的无机成分。水不仅是动物体的组成成分，还具有营养物质的运输、调节体温、体内化学反应的媒介、润滑等作用。机体内水的来源一般包括饮水、饲料水和代谢水三种形式。目前已经证明动物体组织中含有约 19 种必需矿物质元素。在动物体内含量高于 0.01% 的称常量元素，包括钙、磷、钠、钾、氯、镁、硫 7 种。这类元素大部分用于构成体组织，形成动物体的支架，维持渗透压、酸碱平衡、膜通透性和神经、肌肉兴奋性等。在动物体内含量低于 0.01% 的称微量元素，包括铁、铜、锰、锌、碘、硒、钴、钼、氟、铬、硼、硅 12 种，主要是参与酶和一些生物活性物质的构成。

维生素是一类动物代谢所必需而需要量极少的低分子有机化合物。可分为脂溶性维生素和水溶性维生素两大类。脂溶性维生素包括维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K，在机体内主要起调节代谢的作用。水溶性维生素包括 B 族维生素和维生素 C。B 族维生素主要作为各种酶的辅助成分，催化糖类、脂肪和蛋白质代谢中的各种反应。

饲料中的大部分营养物质不能被动物直接利用，必须经过消化和吸收才能被动物利用。消化方式主要有物理消化、化学消化、微生物消化三种方式。动物种类不同、消化器官不同，其消化方式也不相同。

第二章　常用的饲料原料

生活中我们常说“巧妇难为无米之炊”。对于饲料配制来说，没有合格的饲料原料，也难以配制出营养丰富、适合动物口味的美餐。根据各种饲料原料的营养物质组成的特点，可以将饲料原料分为青绿饲料、青贮饲料、粗饲料、能量饲料、蛋白质饲料、矿物质、维生素、饲料添加剂八大类。由于维生素和微量元素的添加量较小，一般生产上常和饲料添加剂归为一类。本章重点介绍常用的各种饲料原料的营养特性，为饲料配制打下基础。

第一节　青绿饲料

学习导航

1. 青绿饲料主要包括哪些种类？
2. 青绿饲料有哪些营养特点？

现象与问题

“天苍苍，野茫茫，风吹草低见牛羊。”这句诗描述了古代草原放牧的美景，大草原滋养了草原牧民和他们的牲畜。

讨论：

1．为什么牛羊仅靠牧草就能长得膘肥体壮？猪和禽类能这样饲养吗？

2．你所知道的青绿饲料有哪些？

青绿饲料是指天然水分含量在60%以上、富含叶绿素而呈青绿色的饲料。这类饲料的种类极其繁多，主要包括天然牧草、人工栽培牧草、青饲农作物、叶菜类、根茎瓜果类、水生植物及树叶类等。

一、青绿饲料的营养特性

青绿饲料水分含量高，为60% ~ 95%；蛋白质含量高，必需氨基酸（特别是赖氨酸和色氨酸）较多，品质较好；维生素含量较丰富，特别是胡萝卜素含量较高。此外，B族维生素含量也很丰富，钙磷比例较平衡。青绿饲料的营养价值受土壤与肥料、生长阶段和部位、气候条件、管理水平的影响较大。此外，青绿饲料幼嫩、柔软和多汁，适口性好，还含有各种酶、激素和有机酸，易于消化。

探究尝试

在我国农村，农民习惯将叶菜等青绿饲料煮熟后喂给畜禽，这样做合适吗？根据青绿饲料的特点，该怎样合理利用？

新视窗·背景外延

饲用玉米新品种

近年来，我国育成了一些饲料专用饲用玉米新品种，如“龙牧3号”“新多2号”等，均适合于青饲或青贮，属于多茎多穗型，即使果实成熟后茎叶仍保持鲜绿，草质优良，每公顷鲜草产量可达75～135t。

青绿饲料是草食动物饲料的重要组成部分。但对猪、禽来说，由于青绿饲料干物质中含有较多数量的粗纤维，且容积较大，而动物采食量、胃肠的容积有限，因此在猪禽饲粮中不能大量加入青绿饲料，但可以作为一种蛋白质与维生素的良好来源适量搭配于饲粮中，以补充其饲料营养的不足。

二、常用的青绿饲料

我国西北、东北、西南地区均有大面积的优良草原、草山和草坡，农区还分散有许多小面积的草地，合理利用这些牧草资源发展畜牧生产有很大的潜力。草地牧草的利用方式主要是放牧，或有计划地在生长适宜时期刈割，晒制成青干草或制成青贮饲料。

草场

草坡

紫花苜蓿

高丹草

黑麦草

胡萝卜

青刈玉米

图 2.1　青绿饲料

栽培牧草主要有紫花苜蓿、黑麦草、高丹草等（图 2.1）。其中紫花苜蓿产量高、品质好、适应性强，是最经济的栽培牧草，被冠以“牧草之王”，在世界各地广泛种植。

青刈玉米是最常用的青饲作物。其植株高大，生长迅速，产量高，茎中糖分含量高，胡萝卜素及其他维生素丰富，饲用价值高。味甜多汁，动物喜欢采食，消化率高，营养价值远远高于收获籽实后剩余的秸秆，是牛、羊、猪的优质青绿饲料。一般青刈作物用于直接饲喂，也可以调制成青干草或做青贮。

胡萝卜粗纤维较低而无氮浸出物较高，胡萝卜素尤其丰富，是家畜冬季的优质青绿多汁饲料。乳牛饲料中若有胡萝卜作为多汁饲料，则有利于提高产奶量和乳的品质，因此是奶牛必备的饲料。

小 资 料

苜蓿的合理利用

紫花苜蓿茎叶中含有一种被称为皂角素的物质，有抑制消化酶的作用。牛羊大量采食鲜嫩苜蓿后，可在瘤胃内形成大量泡沫样物质，引起臌胀病，使产奶量下降甚至死亡，故饲喂鲜草时应控制鲜苜蓿在日粮的三分之一以下，放牧地最好采取豆科和禾本科牧草混播。

实践活动

常用栽培牧草的识别

采用参观牧草地、制作标本和利用多媒体等形式，识别紫花苜蓿、紫云英、红豆草、三叶草、柱花草、羊草和黑麦草等牧草。

活动延伸

组织学生到郊外采集野菜或到菜市场收集废弃叶菜，并参加畜禽饲喂活动；组织学生深入畜牧场及养殖专业户跟班劳动，以调查青饲料采集和利用的经验和存在的问题，并写出调查报告。

第二节　青贮饲料

学习导航

1．青贮饲料的营养特点有哪些？
2．如何制作和利用青贮饲料？

现象与问题

“离离原上草，一岁一枯荣。”青绿饲料虽然营养价值丰富，但对于我国大部分地区来说，只有夏秋季节才有足够的青绿饲料来源。一到冬春季节，草木枯萎，怎样才能保证牲畜吃到营养丰富的青绿多汁饲料呢？

讨论：

1．保存青绿饲料的方式有哪些？

2．为什么说青贮是青绿植物性饲料长期保存的最好方法？

一、青贮饲料的原理和营养特点

青贮饲料指以天然新鲜青绿植物性饲料为原料，在密闭、无氧条件下，饲料中的糖分经过以乳酸菌为主的微生物发酵后调制成的青绿多汁饲料。

青贮饲料乳酸含量较高，pH 值在 4.2 以下，酸性环境中腐败菌、霉菌等有害微生物死亡，因此得以长期保存；青贮饲料本质上是青绿饲料的一种保存形式，具有青绿饲料的大部分营养特性；具有特殊的酸香气味，柔软多汁，容易消化；贮存量大，每立方米贮存带穗玉米 700 ～ 800kg，是草食动物的优良饲料来源。

二、青贮饲料的制作

1.青贮饲料制作的容器与设备　青贮容器的种类很多，常用的有青贮窖和青贮塔。青贮的场址应选择土质坚硬、地势高、地下水位低、靠近畜舍、远离水源和粪坑的地方。其次，青贮饲料制作的容器与设备要坚固结实，不透气，不漏水。

青贮塔是地上的圆筒形建筑，一般用砖和混凝土修建而成，防气性能好。提取青贮饲料可以从塔顶或塔底用旋转机械进行。青贮的饲

小 资 料

制作优良青贮饲料应具备的条件

1. 制作良好的青贮饲料，必须为乳酸菌快速生长和繁殖创造良好的条件，因此青贮原料应有适当的含糖量。玉米、高粱、高丹草、黑麦草等高糖分原料是容易青贮的原料，豆科牧草由于含糖量低，不易青贮。

2. 青贮原料应有适宜的含水量。最适宜的含水量为 65% ～ 75%。

3. 创造厌氧环境。为了给乳酸菌创造良好的厌氧生长繁殖条件，须做到原料切短、装实压紧、青贮窖密封良好。

方法介绍

判断青贮原料水分含量的简单方法

1. 扭折法　青贮原料在切碎前用手扭折茎秆不折断，且其柔软的叶子也无干燥迹象，表明原料的含水量适当。

2. 攥握法　抓一把切碎的饲料用力攥握半分钟，然后将手慢慢放开，观察汁液和团块变化情况。如图 2.2 所示，如果手指间有汁液流出，表明原料水分含量高于 75%（a）；如果团块不散开，且手掌有水迹，表明原料水分在 69% ～ 75%（b）；如果团块慢慢散开，手掌潮湿，表明水分含量在 60% ～ 68%，属制作青贮的最佳含水量（c）；如果原料不成团块，而是像海绵一样突然散开，表明其水分含量低于 60%（d）。

(a)　(b)　(c)　(d)

图 2.2　攥握法判断青贮原料水分

实践活动

取奶牛场准备制作青贮的原料，用攥握法判断原料水分是否适当。

料品质优良，但成本较高，只能依赖机械装填。

青贮窖有地下式及地上式两种。地下式青贮窖适于地下水位较低、土质较好的地区，地上式青贮窖适于地下水位较高或土质较差的地区。

选用厚实的塑料膜做成圆筒形，可以作为青贮容器进行少量青贮。

青贮塔

青贮窖

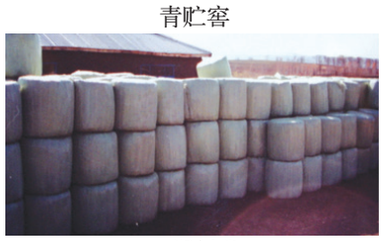

塑料袋

图 2.3　青贮设备

这种方法制作方便、成本低，适用于农村散养户使用（图 2.3）。

2. 青贮的步骤和方法

（1）原料的适时收割。良质青贮原料是调制优良青贮料的物质基础，而原料的品质与刈割期密切相关。玉米的收割时期在蜡熟中期，苜蓿青贮以初花期收割为宜。

（2）适度切短。少量青贮原料的切短可用人工铡草机，大规模青贮可用青贮切碎机。

（3）装填压紧。装填青贮料时应逐层装入，每层装 15 ～ 20cm 厚，即应踩实，然后再继续装填。长形窖或地面青贮时，可用拖拉机进行碾压，小型窖可人工踏实。

（4）密封。填满窖后，先在上面盖一层切短秸秆或软草（厚 20 ～ 30cm）或铺塑料膜，然后再用土覆盖拍实，厚 30 ～ 50cm，并做成馒头形，以利于排水。

青贮的操作要点概括起来是 “六随三要”，即随割、随运、随切、随装、随踩、随封连续进行，一次完成；原料要切短、装填要踩实、窖顶要封严。

探究尝试

为什么说青贮饲料紧实程度是青贮成败的关键条件之一？怎样保证原料装填紧实？

实践活动

塑料袋青贮方法

1. 青贮原料及设备　蜡熟期全株玉米，小型切碎机，无毒聚乙烯塑料薄膜，蜡，锯条。

2. 操作步骤

（1）塑料袋的制作：将塑料薄膜蜡封做成袋状，直径 0.5m，袋高 1m，要求无破损，无砂眼，厚度均匀。

（2）原料准备：青贮原料必须保持清洁干净，并切至 2 ～ 3cm 长（切短时严格按粉碎机操作规程进行，小心伤着手），水分调节至 65% ～ 75%。

（3）装袋：将切短的青饲料装入塑料袋，边装边压实，小心不要压破青贮袋。装袋要填满填实，特别是塑料袋的底部两角，以免残留空气。

（4）保管：装好的塑料袋放在安全地方，防止鼠咬和损坏，以免进入空气，造成青贮饲料变质霉烂。

小 资 料

青贮饲料的感官评定标准

表 2.1　青贮饲料的分级

等级	颜色	酸味	气味	质地
优等	绿色或黄绿色	浓	芳香酸味	柔软湿润，茎叶结构良好
良好	绿色	较浓	芳香略带酒精味	柔软，水分稍多或稍少
中等	褐色或墨绿色	中等	浓郁酒精味	稍干或稍黏，结构变形
低劣	黑色或褐色	淡	刺鼻腐臭味	干燥或黏结成块

三、青贮饲料的利用

含糖量高的青贮饲料，一般经 17 ~ 21d 的乳酸发酵，即可开窖取用。

对于直径较小的圆形窖，应由上到下逐层取用，保持表面平整。对于长方形窖，自一端开始分段取用，不要挖窝掏取。取后最好覆盖，以尽量减少与空气的接触面（图 2.4）。

青贮饲料可以作为草食家畜牛羊主要的粗饲料，但应将其与干草等粗饲料搭配饲喂（图2.5）。刚开始喂时家畜不喜食，喂量应由少到多，使其逐渐适应。由于青贮饲料含有大量有机酸，具有轻泻作用，因此母畜妊娠后期不宜多喂，产前15d停喂。

图 2.4　青贮饲料的取用

图 2.5　青贮饲料的饲喂

活动延伸

到养殖场，亲自参加青贮饲料的制作过程，并检验品质的好坏，填写表 2.2。

表 2.2　青贮饲料的制作及品质鉴定

项目		内容
青贮原料及收割期		
机械设备		
制作步骤		
品质鉴定	气味	
	颜色及结构	
	pH 值	

第三节　粗饲料

学习导航

1．粗饲料主要有哪些种类？

2．怎样对粗饲料进行加工处理？

现象与问题

夏秋季牧草旺盛生长时期，牛、羊等草食动物总是膘肥体壮；而冬春季节，草原上的牛羊只能以枯草为食，造成牲畜消瘦掉膘，甚至死亡。

讨论：

1．青绿牧草和枯草的营养价值有何区别？

2．怎样提高枯草的营养价值？

青干草捆

田间晒制青干草

机器烘干制作青干草

图 2.6　青干草的调制方法

粗饲料是指自然状态下水分在 45%以下，饲料干物质中粗纤维含量不低于 18%，能量价值低的一类饲料，主要包括干草类、农副产品类（壳、荚、秸、秧、藤）、树叶、糟渣类等。粗饲料的特点是粗纤维含量高，可达 25%～45%，可以消化吸收的营养成分含量较低，质地较粗硬，适口性差。

一、青干草

青干草是将牧草及禾谷类作物在质量和产量最好的时期刈割，经自然或人工干燥调制成长期保存的饲草（图 2.6）。

1．青干草的营养特点　颜色青绿，气味芳香，质地柔松，叶片不脱落，绝大部分的蛋白质和脂肪、矿物质、维生素被保存下来，是家畜冬季和早春不可缺少的饲料。

2．青干草的调制方法

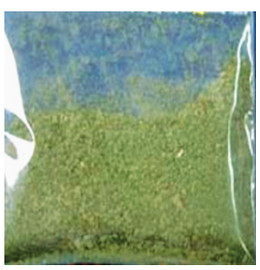
（1）自然干燥法：青草刈割后在原地或另选一地势较高处将青草摊开暴晒半天至一天，水分降至 40%～50% 时搂成小堆干燥，每隔 3～5h 翻草一次，以加速水分蒸发。

（2）人工干燥法：通过烘干机械设备使饲料在高温下脱水。这

种方法要求原料粗细均匀。高温干燥的最大优点是时间短，营养物质损失小，能很好地保留原料本色。

3. 青干草的利用　猪禽等只宜采用高质量或粗纤维含量较低的某些干草，且应限量使用，粉碎拌以精饲料饲喂。牛羊利用干草可不受限制，但要注意采食过程中的浪费。最好适当切短，高、低质量干草搭配饲喂，用饲槽让牛羊随意采食较好。有条件的情况下，干草制成颗粒饲用，可明显提高利用率。粗蛋白含量低的干草可配合尿素使用，有利于补充牛羊粗蛋白质摄入不足。不同的青干草产品如图 2.7 所示。

草颗粒


草粉

草块

图 2.7　不同的青干草产品

探究尝试

你能再想出几种加快牧草干燥的方法吗？比较青草田间干燥时平铺与小堆晒草法、机械化烘干法在干燥速度和经济效益上有何不同？

实践活动

采取新鲜牧草样品，利用实验室烘箱调制青干草，并记录结果。

表 2.3　青干草烘干时间及干草质量

原料	烘干时间	干草质量描述

新视窗 · 方法外延

草架干燥法

草架干燥法是湿润地区或多雨季节晒草采用的一种方法。青草先在地面干燥 4 ～ 10h，含水量降到 40% ～ 50% 时，自下而上逐渐将草堆放到草架上。此法能减少雨淋的损失，通风好，干燥快。

二、稿秕、树叶类饲料

稿秕饲料即农作物秸秆和秕壳。这类饲料主要有稻草、玉米秸、麦秸、豆秸、谷草、大豆荚、豌豆荚、蚕豆荚、稻壳、小麦壳、大麦壳、花生壳、玉米芯和玉米苞叶等（图 2.8）。树叶类主要指青干叶粉、青落叶、枯黄干叶等。

1. 稿秕、树叶类饲料的营养特点　这类饲料的共同特点是粗纤维含量高（一般都在 30% 以上），质地坚硬，粗蛋白质含量很低（一般不超过 10%），粗灰分含量高，有机物质的消化率一般不超过 60%。

花生秧

玉米秸秆

稻草

图 2.8　常用的秸秆类饲料示例

探究尝试

我国农村有大量的农作物秸秆，一般都被作为燃料利用，有的被废弃，很少作为动物的饲料原料被利用。

请结合所学知识并查阅资料，综合分析一下应如何处理并合理利用农作物秸秆并使其作为动物饲料原料。

2. 稿秕、树叶类饲料的加工调制　粗饲料经过适当加工处理，可明显提高其营养价值。目前，粗饲料加工调制途径很多，实际应用中，往往是多种方法结合使用。如秸秆饲料粉碎或切碎后，进行青贮、碱化或氨化处理，如有必要，可再加工成颗粒饲料、草砖或草饼。　稻草、砻糠等粗饲料，由于木质素含量过高，目前的加工方法（包括发酵、膨化等）均不能提高其营养价值，因此不能喂猪和家禽。

方法介绍

粗饲料的加工

1. 机械加工　机械加工是指利用机械将粗饲料铡碎、粉碎或揉碎，这是粗饲料利用最简便而又常用的方法。加工后便于咀嚼，减少能耗，提高采食量，并可减少饲喂过程中的饲料浪费。

2. 盐化　盐化是指铡碎或粉碎的秸秆饲料，用 1% 的食盐水与等质量的秸秆充分搅拌后，放入容器内或在水泥地面堆放，用塑料薄膜覆盖，放置 12 ～ 24h，使其自然软化，可明显提高适口性和采食量。

3. 氨化处理　将秸秆等用氨、氨盐或尿素等处理（图 2.9），其有机物与氨发生氨解反应，破坏木质素与多糖（纤维素、半纤维素）链间的酯键，并形成铵盐，成为牛、羊瘤胃内微生物的氮源。同时，氨溶于水形成氢氧化铵，对粗饲料有碱化作用。秸秆经氨化处理后，粗蛋白质含量可提高 100% ～ 150%，纤维素含量降低 10%，有机物消化率提高 20% 以上。氨化后的秸秆，气味糊香，颜色棕黄，提高了饲料的适口性，是牛、羊等反刍家畜的良好饲料。

氨化池

氨化的秸秆

图 2.9　氨化池及氨化秸秆

表 2.4　氨化处理粗饲料的方法

氨源	处理方法	条件
氨水或无水氨	(1) 将原料垛成方形或圆形垛，用聚乙烯薄膜盖严，注入氨。 (2) 草捆装入聚乙烯塑料袋中，注入氨	按干物质计，加入 3% ～ 5% 氨，原料水分为 15% ～ 20%，在温度 5 ～ 15℃下处理 1 ～ 8 周
尿素	(1) 将原料青贮在土坑、青贮窖或成堆青贮。 (2) 将原料切短或磨细，加入尿素后制粒	5% 尿素水溶液与原料按 1 ∶ 1 混合。大于 20℃温度下青贮 1 周以上 2% ～ 3% 的尿素液，温度不低于 33℃，原料水分为 15% ～ 20%

活动延伸

设计一个对麦秸和玉米秸秆进行氨化处理的方案。

表 2.5　麦秸、玉米秸秆氨化处理

原料	粉碎长度	氨化液种类	浓度	时间
麦秸				
玉米秸秆				

注：浓度为氨化液饲料质量浓度比。

第四节　能量饲料

学习导航

1．常用能量饲料有哪些种类？

2．能量饲料的营养特点和使用方法是什么？

现象与问题

30 ～ 90kg 生长猪的饲料配方

饲料组成	百分比 /%
玉米	69.50
豆粕	16.10
小麦麸	10.50
鱼粉	1.50
磷酸氢钙	0.90
石粉	1.00
食盐	0.20
赖氨酸	0.10
预混料	0.20

在生产中动物饲粮由多种饲料原料组成，左表内容表示生长猪（体重为 30 ～ 90kg）的饲料配方。

讨论：

1．根据左表列出的原料指出哪种原料是能量饲料？

2．在农村养殖户中经常用小麦麸代替玉米饲喂动物，请问这种饲喂方法科学吗？

能量饲料是干物质中粗纤维含量小于 18%，同时粗蛋白质含量小于 20%的饲料。能量饲料在动物饲粮中所占比例最大，一般为 50% ～ 70%，对动物主要起着供能作用。能量饲料的分类如图 2.10 所示。

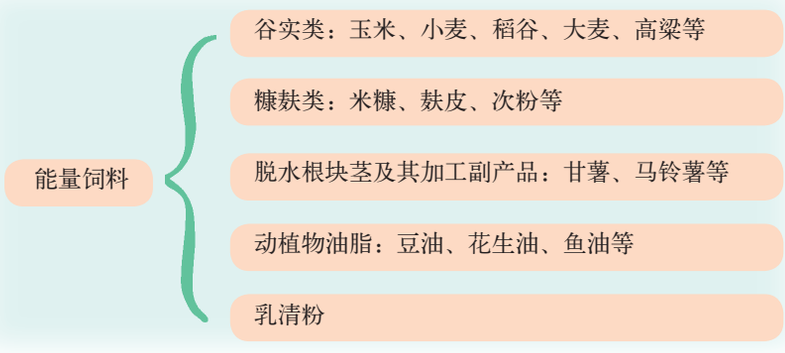


图 2.10　能量饲料的分类

一、玉米

玉米的产量高，有效能量高，是最常用而且用量最大的一种能量饲料，故有“饲料之王”的美称（图 2.11）。

玉米中糖类含量在 70% 以上，为高能量饲料。玉米中蛋白质含量一般为 7% ~ 9%，其品质较差，主要是因为赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸等必需氨基酸含量贫乏。

玉米对大部分动物来说，饲用价值很高。黄玉米由于富含色素，对鸡的皮肤、脚、喙以及蛋黄的着色有良好的效果。但用玉米作为鱼类等水生动物的饲料，效果却不佳。原因之一是鱼类对糖类物质消化吸收和利用能力较低；其二是多数品种的玉米淀粉颗粒较硬，不易被鱼类消化。

图 2.11　玉米生长植株、穗和籽实

小 资 料

高油玉米

高油玉米是用现代高科技手段培育出的玉米新品种，育成的高油玉米籽粒含油量（7%～10%）比普通玉米高 50%以上，总能水平、粗蛋白质含量均高于常规玉米，还含有较多的维生素 E、胡萝卜素，而其单产已达到常规玉米的水平，是饲料、油脂工业的良好原料（图 2.12）。此外，高油玉米籽实成熟时，茎叶仍碧绿多汁，含较多的蛋白质和其他养分，是草食动物的良好饲料。

图 2.12　高油玉米

探究尝试

对育肥猪应避免过多饲喂玉米，否则猪背膘增厚，瘦肉率下降，甚至产生“黄膘肉”。试分析其原因。

二、小麦及其副产品

小麦一般很少被用作畜禽的饲料，但常用作水生动物的饲料。

小麦中脂肪含量低，有效能值低于玉米，但小麦的粗蛋白质含量居谷实类首位，达 12% 以上。此外小麦中非淀粉多糖含量较多，可达小麦干重 6% 以上，其中主要是阿拉伯木聚糖。

小麦作猪、鸡的能量饲料，但在鸡饲粮中只能替代 30% ~ 50% 的玉米，在育肥猪饲料中可替代 70% 的玉米，但要在饲料中补充用于消化非淀粉多糖的外源酶。由于小麦所含淀粉具有黏性，故小麦及其次粉用作鱼类饲料的效果优于其他任何谷实。小麦及其副产品如图 2.13 所示。

小麦次粉和小麦麸是以小麦为原料磨制各种面粉后获得的副产品。由于制粉工艺的不同，次粉和小麦麸的成分差异较大。

小麦麸中粗蛋白质含量较多，高于原粮，一般为 12% ~ 17%，但其品质较差；与原粮相比，小麦麸中无氮浸出物（60% 左右）较少，但粗纤维含量高，多达 10%，甚至更高，但有效能较低，因此在肉鸡和仔猪饲料中较少使用。小麦麸密度较小，结构疏松，每升质量为 225g 左右，这种特点对于调节鱼饵料的相对密度起着很重要的作用。它还具有轻泻性，可通便润肠，是母畜饲粮的良好原料。

次粉比小麦麸营养价值高，有效能低于小麦，但蛋白质略高于小麦，常用于颗粒饲料中，起到黏结作用。

小麦

次粉

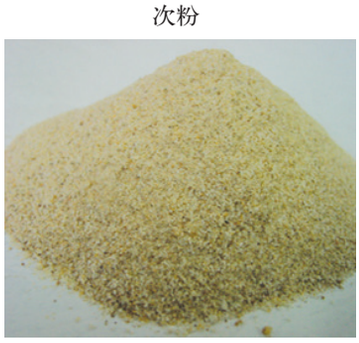


图 2.13　小麦及其副产品小麦麸

实践活动

在家畜生产中，一般都是用玉米作为能量饲料，但在价格合适的情况下，也可以用小麦代替玉米。查阅资料，举出几个用小麦代替玉米的方案。

表 2.6　小麦替代玉米方案

动物种类	替代方法
鸡	
猪	
其他	

三、稻谷及其副产品

稻谷中粗蛋白质含量为 7% ~ 8%，粗蛋白质中必需氨基酸如赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸等较少。稻壳是稻谷饲用价值的限制成分，粗纤维高，且半数以上为木质素等。稻谷因含稻壳，有效能值比玉米低得多。

由于稻谷壳中含有大量粗纤维、木质素，因此在生产上一般不提倡直接用稻谷喂猪、鸡等单胃动物。对中猪、育肥猪、母猪，可使用稻谷，但须严格控制用量。用稻谷作为牛、羊、兔等的饲料，效果良好，但应粉碎后饲用。

米糠是由除壳稻（糙米）加工的副产品。其蛋白质含量较高，约为 13%，其中赖氨酸、蛋氨酸等含量较多，氨基酸组成较合理。全脂米糠中脂肪含量高达 15% ~ 17%，脂肪酸组成中多为不饱和脂肪酸，易氧化酸败，所以常对其脱脂，生产米糠饼或米糠粕。未脱脂米糠中有效能较高，但脱脂米糠能值下降。米糠中粗纤维含量较多，质地疏松，密度较小。米糠中无氮浸出物含量不高，一般在 50% 以下。米糠在生长猪饲粮中用量不宜超过 20%。对育肥猪长期饲用米糠，可使其脂质变软，肉质下降。对于仔猪，宜少用或不用米糠。全脂米糠是鱼类尤其是草食性鱼类饲粮的重要原料，可提供鱼类所需的必需脂肪酸和维生素（米糠中肌醇丰富，肌醇是鱼类的重要维生素）等。米糠在鱼类饲粮中用量一般控制在 15% 以下。

图 2.14　稻谷及米糠

小 资 料

饲料稻

所谓饲料稻，就是在生育期适宜、抗性强的品种基础上，采取优化栽培培植出来的产量高（8 250kg/hm^2 以上）、糙米粗蛋白质含量高（≥ 12%）、出糙米率高（≥ 80%）、适合饲用的水稻品种（组合）。一般水稻品种粗蛋白质含量只有 7% ~ 8%，不能称为饲料稻；有的品种产量能达 8 250kg/hm^2 以上，但糙米粗蛋白质含量低，仍不算饲料稻；还有的品种糙米粗蛋白质高达 13% ~ 18%，但产量只有 3 000 ~ 5 250kg/hm^2，也不能视为饲料稻。只有同时具备上述“三高”标准的水稻，才能称为饲料稻。

四、大麦

图 2.15　大麦

我国较少用大麦作饲料，但个别地区也有利用大麦作动物饲料的（图 2.15）。

大麦中粗蛋白质含量一般为 11% ～ 13%，其蛋白质品质稍优于玉米。但是，大麦中非淀粉多糖含量较高，达 10% 以上，其中主要由阿拉伯木聚糖（76g/kg 干物质）和 β－葡聚糖（33g/kg 干物质）组成。单胃动物消化液中不含消化非淀粉多糖的酶，不能消化这些成分，因而用大量大麦喂鸡、仔猪，会引起腹泻。大麦不含色素，因此对鸡产品（鸡肉、鸡蛋黄）无着色效果。大麦是牛、羊、兔、马等草食动物的良好能量饲料。用大麦作为鱼类饲料优于玉米，但逊于小麦。将经蒸汽处理的大麦粉加入饲粮中，能增强其黏结性，有助于饲粮成型。鱼类采食含大麦的饲粮后，肉质有变硬趋势。

新视窗 · 知识外延

大麦饲料

大麦作为育肥猪的饲料，不仅饲养效果好，且能生产优质硬脂猪肉。金华火腿闻名于世，其原因之一就是用大麦作育肥猪的能量饲料。

五、油脂

油脂的能值高，其总能和有效能远比一般的能量饲料高。例如，猪脂总能为玉米总能的 2.14 倍，大豆油代谢能为玉米代谢能的 2.87 倍。因此，油脂是配制高能量饲粮的首选原料。饲料中添加油脂，除了增加能量外，还有增强饲粮风味、改善饲粮外观等其他作用。

油脂容易氧化变质，因此应贮存于密闭容器中。贮存期间应防止水分混入和气温过高。可向油脂中加占油脂质量 0.01% 的抗氧化剂（乙氧基喹啉）。

活动延伸

参观当地的面粉或大米加工厂，了解面粉、次粉或糙米、精米是如何生产的，了解小麦麸皮、全脂米糠和脱脂米糠的生产工艺。

第五节　蛋白质饲料

学习导航

1．蛋白质饲料有哪些种类？

2．常用蛋白质饲料的营养特点和使用方法是什么？

现象与问题

从右表中可以看出，玉米和豆粕提供的能量和粗蛋白质是不同的，前者提供了较多的能量，后者提供了较多的蛋白质。两者分属于畜牧生产的主要能量饲料和蛋白质饲料。

玉米、豆粕的能量、蛋白质含量

种类	代谢能 /(MJ · kg^{-1})	粗蛋白 /%
玉米	13.56	8.7
豆粕	9.62	43

讨论：

1．怎样划分蛋白质饲料和能量饲料？

2．除了豆粕外，你还知道哪些常用的蛋白质饲料？

蛋白质饲料是指干物质中粗纤维含量小于 18%，粗蛋白质含量大于或等于 20% 的饲料。根据来源，其分类如图 2.16 所示。

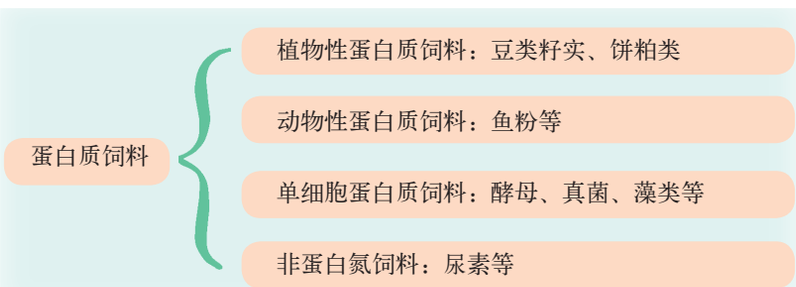


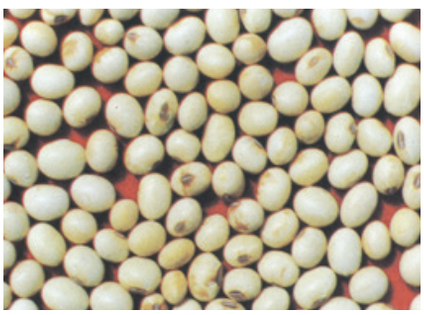
图 2.16　蛋白质饲料的分类

一、大豆籽实

大豆是应用最广、最重要的豆类，将大豆按种皮颜色分为黄大豆、青大豆、黑大豆、其他大豆和饲用豆（秣食豆）五类，其中黄豆最多，其次为黑豆（图 2.17）。

大豆蛋白质含量为 32% ～ 40%，氨基酸组成良好，植物蛋白中普遍缺乏的赖氨酸含量较高，但蛋氨酸、硫氨基酸含量不足。大豆脂肪

含量高，为 17% ～ 20%，其中必需不饱和脂肪酸——亚油酸和亚麻酸可占 55%。脂肪的代谢能约比牛油高出 29%。


黄大豆

黑大豆

豌豆

图 2.17　大豆类籽实

小 资 料

大豆中的抗营养因子及处理方法

生大豆中存在胰蛋白酶抑制因子、血细胞凝集素、胃肠胀气因子、脲酶、大豆抗原等多种抗营养因子，能降低动物对营养物质的消化能力，如果直接饲喂给动物尤其是单胃动物会造成动物腹泻、生长抑制等现象。

采用蒸煮、焙炒和膨化等加热方法可以破坏大豆中对热敏感的胰蛋白酶抑制因子、血细胞凝集素和脲酶等，但对热不敏感的胃肠胀气因子、大豆抗原等抗营养因子仍大部分保存下来，对动物还有一定的抗营养作用。

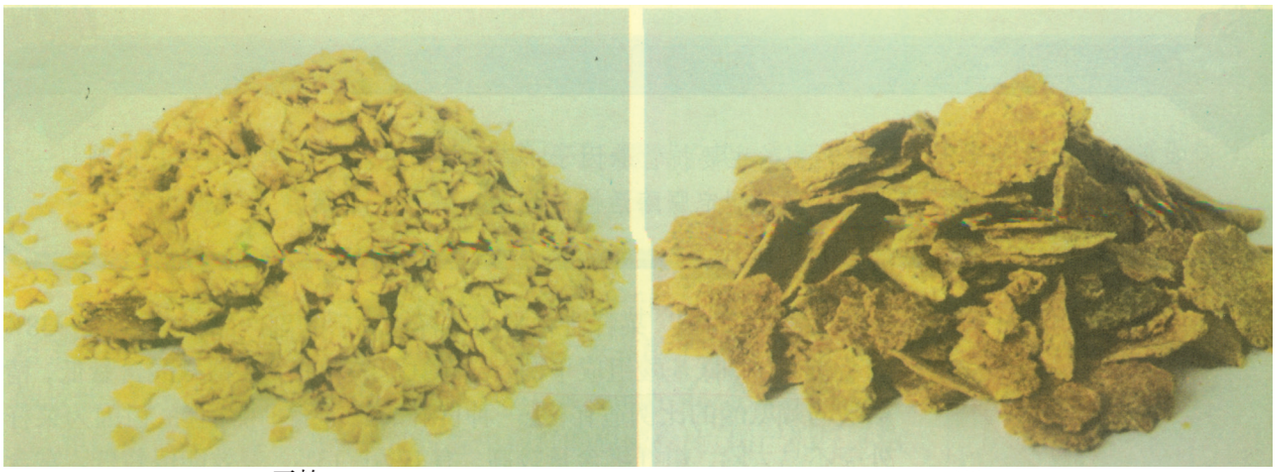
探究尝试

经过适宜加工的全脂大豆营养价值很高，是畜禽和鱼类的高能、高蛋白饲料，但对断奶仔猪来说，不宜用作唯一的蛋白质来源。试分析其原因。

二、饼粕类

1. 大豆饼粕　大豆饼粕是大豆取油后的副产物（图 2.18）。由于取油工艺不同，通常将压榨法取油后的产品称为大豆饼，而将浸出法取油后的产品称为大豆粕。大豆饼粕是目前使用最广泛、用量最多的植物性蛋白质原料，世界各国普遍使用。

大豆饼粕粗蛋白质含量高，一般在 40% ～ 50%，必需氨基酸（赖氨酸、色氨酸、苏氨酸）含量高，组成合理。加工适当的大豆饼粕抗营养因子含量大大降低，不易变质，可作为畜禽的主要蛋白质来源。



豆粕　　豆饼

图 2.18　大豆饼粕

实践活动

豆粕中脲酶活性的测定

测定脲酶活性可以表示大豆粕的熟化程度。

脲酶活性简易判定法（表 2.7）：取 0.2g 粉末样品（避免粉碎时发热）置于 25mL 比色管中，加 0.02g 尿素，加酚红指示剂 2 滴，再加水 20mL，充分摇匀 15s，记录粉红色出现时间，并根据时间判断脲酶活性，颜色出现时间应少于 15min。

表 2.7　脲酶活性简易判定法

颜色出现时间	脲酶活性
1min	极强
1 ～ 5min	强
5 ～ 15min	稍有
超过 15min	无

通常，10min 以上不显粉红色或红色的大豆制品，其脲酶活性在正常范围内，表示产品已达标。

方法介绍

大豆饼粕加热程度的颜色判别法

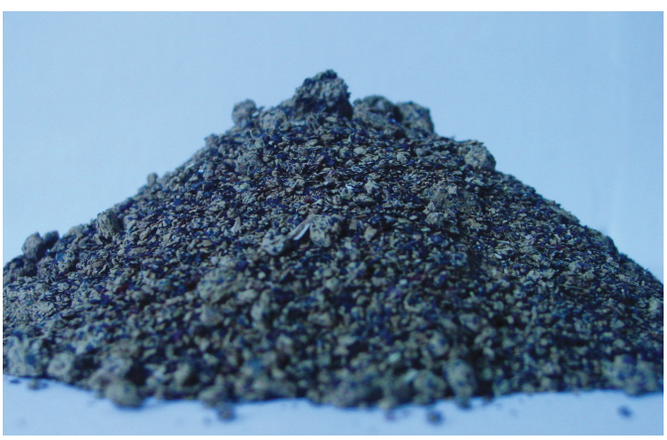
对大豆饼粕加热程度是否适宜，也可通过饼粕的颜色来判定：加热正常时为黄褐色；加热不足或未加热时，颜色较浅或呈灰白色；加热过度呈暗褐色。

探究尝试

胰蛋白酶抑制因子是豆粕中的主要抗营养因子，其含量与豆粕的生熟度有关，但判断大豆饼粕加热是否熟化时常采用测定脲酶活性的办法，试分析其原因。

2. 菜籽饼粕　菜籽饼粕是油菜籽榨油后的副产品，含有 34% ~ 38% 的粗蛋白质，氨基酸组成平衡，含硫氨基酸较多，且精氨酸含量低，精氨酸与赖氨酸的比例适宜，是一种良好的氨基酸平衡饲料（图 2.19）。但因为菜籽外壳不易去除，粗纤维含量较高，占 12% ~ 13%，有效能值较低，富含铁、锰、锌、硒，尤其是硒含量远高于豆饼。

菜籽



菜籽粕

图 2.19　菜籽、菜籽粕

小 资 料

菜籽饼粕中的抗营养因子

菜籽饼粕含有硫葡萄糖苷、芥子碱、植酸、单宁等多种抗营养因子。硫葡萄糖苷可分解为噁唑烷硫酮、异硫氰酸酯、腈等。噁唑烷硫酮是菜籽饼粕中的主要有毒成分，可导致甲状腺肿大。异硫氰酸酯有辛辣味，严重影响菜籽饼粕的适口性。芥子碱味苦，影响适口性，而且在动物体内可产生三甲胺而转移到畜产品中，可使牛奶、鸡蛋产生鱼腥味。植酸含量为 3% ~ 5.2%，是一种很强的金属螯合剂，可与钙、镁、锌等螯合，形成难溶的螯合物而影响其利用，同时阻止蛋白质酶解，降低蛋白质消化率。单宁含量为 1.5% ~ 3.5%，具有苦涩味，使菜籽饼粕颜色变黑，有不良气味，同时它还会干扰蛋白质的消化利用。由于上述抗营养因子的存在，菜籽饼粕一般不宜作为母猪、仔猪和幼龄家禽的饲料，对弱猪的用量也要严格控制。

探究尝试

由于菜籽饼粕含有多种抗营养因子，限制了其在饲料中的应用。查阅资料，分析如何对菜籽饼粕进行脱毒处理。

3.棉籽饼粕　棉籽饼粕是棉籽经脱壳取油后的副产品（图2.20）。棉籽饼粕粗蛋白质含量在34%以上，可达41%～44%；氨基酸不平衡，其中赖氨酸较低，仅相当于大豆饼粕的50%～60%，蛋氨酸亦低，精氨酸含量较高。粗纤维含量主要取决于制油过程中棉籽的脱壳程度。国产棉籽饼粕粗纤维含量较高，达13%以上，有效能值低于大豆饼粕。棉仁饼粕粗纤维含量约12%，代谢能水平较高。

棉籽

棉籽粕

图 2.20　棉籽、棉籽粕

小资料

棉籽饼粕中的抗营养因子

棉籽饼粕中的抗营养因子包括棉酚、环丙烯脂肪酸、单宁和植酸等。棉酚分游离和结合两种状态，游离棉酚具有毒性，可引起生产力、繁殖力下降，甚至造成动物死亡。环丙烯脂肪酸对鸡蛋品质产生不良影响，形成“桃红蛋”和“海绵蛋”，这两种效应会降低鸡蛋商品价值，严重者可降低产蛋率和孵化率。因此棉籽饼粕一般不宜作为种用畜禽的饲料，对幼龄动物也应严格限量饲喂。

方法介绍

棉籽饼粕的化学脱毒方法

其原理是利用某些化学制剂和游离棉酚、环丙烯脂肪酸结合，使其破坏而失去毒害作用。最常用的是硫酸亚铁溶液法，适用于对饼粕的直接处理。具体方法是：用 0.2% ～ 0.5% 的硫酸亚铁水溶液，按饼、水比例 1 ∶ 2.5 浸泡 24h 或水煮 30min 即可，脱毒率可达 81%。能够作为脱毒试剂的还有尿素、氢氧化钠、芳香胺、石灰水等。

4. 花生仁饼粕　花生仁饼蛋白质含量约 44%，花生仁粕蛋白质含量约 47%，蛋白质含量高于普通豆粕，但氨基酸组成不平衡，赖氨酸、蛋氨酸含量偏低，精氨酸含量在所有植物性饲料中最高（图 2.21）。花生仁饼粕的有效能值在饼粕类饲料中最高，有利于配制能量较高的日粮。这种饼粕含有胰蛋白酶抑制因子，经加热可被破坏。

花生仁粕

花生仁饼

图 2.21　花生仁饼粕

探究尝试

1. 花生仁饼粕有效能值高，适口性极好，但在幼龄畜禽中应避免使用，试分析其原因。

2. 花生仁饼粕是猪的优良蛋白质饲料，但氨基酸组成不合理，其饲喂价值不及大豆饼粕，想一想，应当怎样合理使用花生仁饼粕。

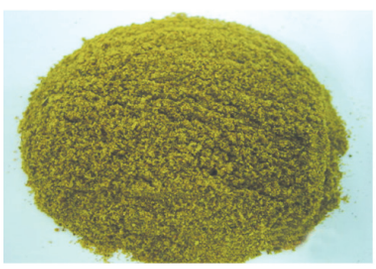


图 2.22　鱼粉

三、鱼粉

鱼粉是应用最为广泛的动物性蛋白质饲料，主要生产国有智利、秘鲁，近年来我国鱼粉产量和生产规模大幅度增加，质量大有提高（图 2.22）。

鱼粉的主要营养特点是蛋白质含量高，进口鱼粉在 60% ~ 72%，国产鱼粉为 45% ~ 60%，氨基酸组成齐全、平衡，各种必需氨基酸含量高，尤其是各主要氨基酸含量在组成上与猪、鸡体组织氨基酸组成基本一致。钙、磷含量高，比例适宜。富含维生素 B_{12} 和可刺激动物生长发育的未知因子。

探究尝试

鱼粉是一种优质的蛋白质饲料，但在饲料中并不是越多越好，试分析一下限制鱼粉在饲料中使用的因素。

小 资 料

鱼粉的品质鉴别

1. 辨别色泽与气味　不同种类的鱼粉色泽存在差异：正常鲱鱼粉呈淡黄或淡褐色，沙丁鱼粉呈红褐色，鳕鱼等白鱼粉呈淡黄色或灰白色。蒸煮不透、压榨不完全、含脂较高的鱼粉颜色较深。各种鱼粉均具鱼腥味。如果具有酸、臭及焦灼腐败味，则品质欠佳。

2. 定量检测　鱼粉中水分含量一般为 10% 左右。水分过高不宜储藏，过低可能是加热过度，会导致氨基酸利用率降低。粗蛋白质含量一般应在 60% 左右。粗脂肪含量一般不应超过 12%，大于 12% 可能是加工不良或原料不新鲜，这样的鱼粉储藏时易发生酸败，出现异味，并影响其他营养物质的消化利用。

四、尿素

尿素是简单的含氮化合物，含氮量为 44% ~ 46%。尿素只能用于反刍动物，不能用于单胃动物（如猪、禽等）。尿素不提供能量，只是供给瘤胃微生物合成蛋白质所需的氮源，从而起到补充蛋白质营养的作用。其用量一般不超过日粮总氮量的 1/3，或占日粮干物质的 1%，或为混合精料的 2% ~ 3%。

尿素是最常用的非蛋白氮饲料，其饲喂形式有浸泡粗饲料、拌入精料混合料、制作尿素青贮料、制成糖蜜尿素复合舔块（图 2.23）、糊化淀粉尿素、包被尿素等，以免尿素被迅速分解，产生大量氨，造成氨中毒。

图 2.23　尿素舔砖的利用

小 资 料

影响尿素利用的主要因素

1. 日粮蛋白质水平和氨浓度　一般认为，日粮蛋白质水平在 9% ~ 12% 时，添加尿素最为有效。

2. 糖类的种类与数量　只有提供足量的能源与碳链，瘤胃微生物才能利用尿素合成菌体蛋白。因此，日粮中应有一定数量的可溶性糖类，其中以淀粉的效果最好，熟淀粉又比生淀粉好。

3. 矿物元素与维生素　供给适量钙、磷、硫、钴、锌、铜、锰、硫胺素、生物素、维生素 A、维生素 D 等，有利于尿素的利用。

4. 尿素在瘤胃中分解的速度　瘤胃微生物合成蛋白质的速度比非蛋白氮分解速度慢。因此，必须抑制脲酶，使尿素分解缓慢或加速微生物合成。

5. 饲喂动物的年龄　饲喂动物年龄一般要在 6 个月以上。

活动延伸

参观当地养殖场或饲料厂，了解各种蛋白质饲料的使用情况。查阅资料，结合当地饲料资源，制订一个菜籽粕或棉籽粕的饲用方案。

表 2.8　菜籽粕或棉籽粕饲用方案

动物种类	饲料种类	使用比例	原料质量

第六节　矿物质和添加剂饲料

学习导航

1. 矿物质饲料有哪些种类？怎样合理使用矿物质饲料？
2. 添加剂饲料有哪些种类？各有什么功能？

现象与问题

在我国农村养殖生产中还普遍存在着散养模式，在饲喂过程中仅少量补充一些谷物或农副产品等，很少专门给动物补充矿物质和维生素饲料，但动物也能保持健康并较好地发挥生长潜力。

讨论：

1. 散养与舍饲在饲料方面的基本差别是什么？

2. 为什么在散养条件下不需要专门给动物补充矿物质和饲料添加剂？

一、矿物质饲料

矿物质饲料是补充动物矿物质需要的饲料。在生产中一般指常量矿物质饲料，主要包括钙源性矿物质饲料、磷源性矿物质饲料、钠源性矿物质饲料等。

1. 石灰石粉　石灰石粉又称石粉（图 2.24），为天然的碳酸钙（$CaCO_3$）经过粉碎加工而成，一般含钙 35% 以上，是补充动物钙的最廉价、最方便的矿物质原料。天然的石灰石，只要铅、汞、砷、氟的含量不超过卫生指标，都可用作饲料。

2. 贝壳粉　贝壳粉是各种贝类外壳（蚌壳、牡蛎壳、蛤蜊壳、螺蛳壳等）经加工粉碎而成的粉状或粒状产品（图 2.25），多呈灰白色、灰色、灰褐色。主要成分也为碳酸钙，含钙量应不低于 33%。品质好的贝壳粉杂质少，含钙量高，呈白色粉状或片状。钙的利用率要高于石粉，用于蛋鸡或种鸡的饲料中，蛋壳的强度较高，破蛋软蛋少，尤其片状贝壳粉效果更佳。

3. 磷酸氢钙　磷酸氢钙又称磷酸二钙，为白色或灰白色的粉末或粒状，又分为无水盐（$CaHPO_4$）和二水盐（$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$）两种，后者的钙、磷利用率较高。无水磷酸钙含磷 18% 以上，含钙 21% 以上。

粒状石粉

粉状石粉

图 2.24　石粉

贝壳

贝壳粉

图 2.25　贝壳和贝壳粉

实践活动

查阅资料，了解各种畜禽对钙粉的粒度要求有何区别，将查得数据填入表 2.9 中。

表 2.9　不同畜禽对石粉的粒度要求和需要量

项目	雏鸡	育成鸡	产蛋鸡	鹌鹑	仔猪	育肥猪
粒度 /mm						
需要量 /%						

探究尝试

产蛋禽类对钙的需要量比一般畜禽高，而鱼类饲料中不需要单独添加含钙的饲料，试分析一下其原因何在。

饲料级磷酸氢钙应注意做脱氟处理，含氟量不得超过 0.18%。

磷酸氢钙是一种使用最广的磷源饲料，但在水产饲料中一般使用磷酸二氢钙。

4. 氯化钠　氯化钠一般称为食盐。精制食盐含氯化钠 99% 以上，粗盐含氯化钠 95%。纯净的食盐含氯 60.3%，含钠 39.7%。目前生产使用的食盐都是加碘盐。

食盐的供给量要根据家畜的种类、体重、生产能力、季节和日粮组成等来考虑。一般食盐在风干日粮中的用量，牛、羊、马等草食家畜约需 1%，猪和家禽一般以 0.25% ~ 0.5% 为宜。

5. 碳酸氢钠　碳酸氢钠又名小苏打，分子式为 $NaHCO_3$，为无色结晶粉末，无味，其水溶液因水解而呈微碱性，受热易分解放出二

小 资 料

植酸磷

植酸是饲料中一种重要的抗营养成分，主要存在于植物的种子和块茎中，它以植酸盐的形式结合了植物中多数的磷和钙，而动物难以吸收其中的磷和钙，因此这种磷称为无效磷。植酸磷对于植物来说是必需的，其主要作用是贮存植物发芽生长时所需要的磷，因为植物发芽时能产生可分解植酸磷的酶类。研究表明，植酸磷占许多谷物和油料籽实总重的 1% ～ 2%，有 60% ～ 90% 的磷是以植酸磷的形式存在的。在配制饲料时，应把饲料中的植酸磷排除在外。

食盐中毒

猪和家禽，尤其是家禽，因日粮中食盐添加过多，或混合不匀，易引起食盐中毒。雏鸡饲料中若配合 0.7% 以上的食盐，则会出现生长受阻，甚至死亡现象。产蛋鸡饲料中含盐超过 1% 时，会引起饮水增多，粪便变稀，产蛋率下降。草食家畜需要的钠和氯较多，对食盐的耐受量较大，很少发生食盐中毒。

氧化碳。碳酸氢钠含钠 27% 以上，生物利用率高，是优质的钠源性矿物质饲料之一。

碳酸氢钠不仅可以补充钠，更重要的是具有缓冲作用，能够调节饲粮电解质平衡和胃肠道 pH 值。一般添加量为 0.5% ～ 2%，与氧化镁配合使用效果更佳。夏季，在肉鸡和蛋鸡饲粮中添加碳酸氢钠可减缓热应激，防止生产性能的下降，添加量一般为 0.5%。

二、饲料添加剂

饲料添加剂是指在天然饲料的加工、调剂、贮存或饲喂等过程中，人工另外加入的各种微量物质的总称。根据是否给畜禽提供营养成分，可分为营养性添加剂和非营养性添加剂两大类。前者主要是氨基酸、微量元素与维生素；后者种类很杂，包括各种药物性添加剂、各种激素和酶制剂、饲料加工及贮存剂等。

营养性添加剂

1．微量元素添加剂　为动物提供微量元素的矿物质饲料叫微量元素添加剂。在饲料添加剂中应用最多的微量元素是铁、铜、锌、钴、锰、碘、硒。

我国当前生产和使用的微量元素添加剂品种大部分为硫酸盐，添加硒元素用硒酸钠或亚硒酸钠，常用的含碘化合物有碘酸钾、碘酸钠和碘酸钙等。碳酸盐、氯化物及氧化物较少。硫酸盐的生物利用率较高，但因其含有结晶水，易腐蚀添加剂加工设备。

新视窗·知识外延

电解多维

电解多维是由多种维生素和电解质按照一定比例制成的水溶性制剂，含有大量的维生素A、维生素D_3、维生素E、维生素K、维生素B_2、维生素C、氯化钾和氯化钠等，防止鸡在酷暑严寒、接种疫苗、断喙、转群、疫病状态下引起的应激反应。在产蛋高峰期使用可延长高峰时间、提高雏鸡成活率，家禽发病时作为辅助药物，有利于疾病的康复。

小资料

有机微量元素

有机微量元素又称螯合矿物元素或螯合金属，是微量元素金属离子与氧、氮、氨基或羟基配位体以共价键结合形成的微量元素复合物。研究开发有机微量元素的目的是提高微量元素的利用率，降低粪中排泄的微量元素对环境的污染。目前商业应用的有机微量元素的主要形式多为氨基酸螯合微量元素，如赖氨酸铁、蛋氨酸锌、甘氨酸铁等，但价格要比相应的无机微量元素高。

探究尝试

生产中普遍使用高铜制剂，在发挥促生长作用的同时，会在动物体内蓄积，作为食物会影响人类的健康。请查阅资料，分析以下问题：

1. 动物机体哪些部位容易蓄积铜？
2. 铜过量对人类的健康有何影响？

2. 维生素添加剂　维生素是最常用也是最重要的一类饲料添加剂。其种类很多，按其溶解性可分为脂溶性维生素制剂和水溶性维生素制剂。维生素添加剂主要用于对天然饲料中某种维生素的营养补充，提高动物抗病或抗应激能力，促进生长以及改善畜产品的产量和质量等。

由于大多数维生素都有不稳定、易氧化或被其他物质破坏等特点，几乎所有维生素添加剂都经过特殊加工处理和包装。为满足不同使用的要求，在剂型上有粉剂、油剂、水溶性制剂等，在利用上可分为复合型维生素和单项维生素，复合型维生素是根据畜禽的营养需要，将各种单项维生素按一定比例和含量复配在一起的制剂。

探究尝试

为了使用方便，在生产中经常将各种维生素制成复合制剂，但在复合维生素制剂中，一般不包括胆碱，而是将其单独存放，为什么？

实践活动

分别取少量市场上销售的维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K 样品，观察其在水中和油脂（大豆油）中的溶解情况，并对结果进行分析。

3. 氨基酸添加剂　目前人工合成并作为添加剂使用的氨基酸，主要有赖氨酸、蛋氨酸以及苏氨酸、色氨酸、甘氨酸、精氨酸等，前两种在生产上使用最多。合成氨基酸的利用率较高，可以认为能被全部吸收利用。

饲料中使用的赖氨酸添加剂一般为 *L*− 赖氨酸的盐酸盐，一般产品中含有的 *L*− 赖氨酸为 78.8%。

小 资 料

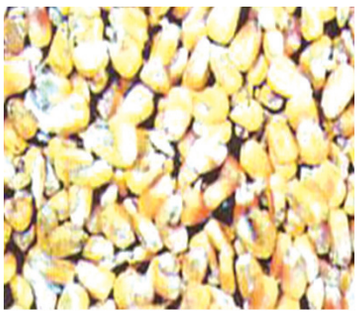
抗生素的药物残留和细菌耐药性

在饲料中长期大量或违规使用抗生素添加剂，会使药物原形、代谢产物和药物杂质蓄积在细胞、组织和器官内，甚至在生态环境中和动物性食品中残留。尽管残留量一般很低，但蓄积对人体健康的潜在危害严重，影响深远。人经常食用有兽药残留的畜产品会产生过敏反应，发生致畸、致突变、致癌作用。

抗生素在兽药和饲料中的长期应用，对于感染性疾病的治疗和提高动物生长性能取得了很好的效果，但也使某些细菌由于对药物产生适应或基因发生突变而产生耐药性，并且不断出现新的耐药菌株。细菌耐药性的出现在兽医临床上是一个极大的问题，它可以使许多常用抗菌药物的疗效降低或失效，造成治疗上的极度困难。细菌的耐药性一方面通过遗传基因可传给子代，另一方面可传给敏感菌，使敏感菌不断成为耐药菌株。所以在兽医临床上和饲料中应用抗生素时，必须严格掌握抗生素的适用范围和剂量，避免滥用，防止耐药菌引起的交叉感染。

探究尝试

抗菌促生长剂的作用特别是在卫生条件较差、日粮营养不完善时更为显著，其原因是什么？



霉玉米

正常玉米

图 2.26　玉米

非营养性添加剂

1. 抗菌促生长剂　包括抗生素和抗菌剂等。主要功能是抑制与宿主争夺营养成分的微生物；促进消化道的吸收能力，提高动物对饲料的消化率；抑制病原微生物的繁殖，增进畜体健康。

2. 抗氧化剂　主要有乙氧基喹啉、二丁基羟基甲苯和丁基羟基茴香醚等。在油脂类饲料中一般要添加高剂量的抗氧化剂。

3. 防霉剂　饲料防霉剂主要有丙酸、丙酸钠、丙酸钙、山梨酸及其盐类、苯甲酸及其盐类等。防霉剂能抑制霉菌的生长，从而减少饲料营养物质的损失。

探究尝试

饲料中添加防霉剂是防止饲料发霉的重要措施，但不能完全杜绝发霉，你认为还应该从哪些方面着手来减少饲料的发霉？

4. 酸化剂　酸化剂是一类作为饲料添加剂的有机酸的统称。常用的有机酸包括乳酸、富马酸、丙酸、柠檬酸、甲酸、山梨酸等。

酸化剂的主要功能是补充幼年动物胃酸的分泌不足，提高营养物质的消化率。

5. 酶制剂　饲用酶制剂按其特性及作用主要分为两大类：一类是外源性消化酶，包括蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶等，其主要功能是补充幼年动物如仔猪、犊牛、雏禽、幼鱼等体内消化酶的分泌不足，促进饲料中营养物质的消化与吸收。另一类是外源性降解酶，包括纤维素酶、半纤维素酶、β– 葡聚糖酶、木聚糖酶和植酸酶等。这些酶，动物组织细胞不能合成与分泌，但饲料中又有相应的纤维素和半纤维素等抗营养因子存在，所以添加相应的酶之后可以提高饲料中营养物质的效率。

由于饲用酶制剂无毒害、无残留、可降解，使用酶制剂不但可提高畜禽的生产性能，充分挖掘现有饲料资源的利用率，而且还可降低畜禽粪便中有机物、氮和磷等的排放量，缓解发展畜牧业与保护生态环境间的矛盾。

6. 益生素　益生素是一类有益的活菌制剂，主要有乳酸杆菌制剂、枯草杆菌制剂、双歧杆菌制剂、链球菌制剂和曲霉菌类制剂等。活菌制剂可维持动物肠道正常微生物区系的平衡，抑制肠道有害微生物繁殖。除了对有害微生物的拮抗和竞争性排斥作用外，活菌体还含有多种酶及维生素，对刺激动物生长、降低仔畜下痢等均有一定作用。

活动延伸

炎夏季节，可参观附近养殖场，了解他们在防止或减缓动物热应激方面采取了哪些措施？并利用所学知识制订一套减缓热应激的饲养方案。

本　章　小　结

动物的饲料原料可分为八大类，包括青绿饲料、青贮饲料、粗饲料、能量饲料、蛋白质饲料、矿物质、维生素和饲料添加剂，其中矿物质中的微量元素以及维生素往往又归入饲料添加剂。

不同种类的饲料，其饲喂的对象也有差异。例如青绿饲料、青贮饲料和粗饲料多适用于马、牛、羊等草食动物；而猪和禽由于对粗纤维的利用能力差，胃肠容积有限，适于饲喂玉米、小麦、豆类籽实及饼粕等饲料，青绿多汁饲料只能限量饲喂。因此，在饲喂动物之前了解不同种类饲料的营养特点，以便选择适于该类动物消化特点和营养需要的饲料。

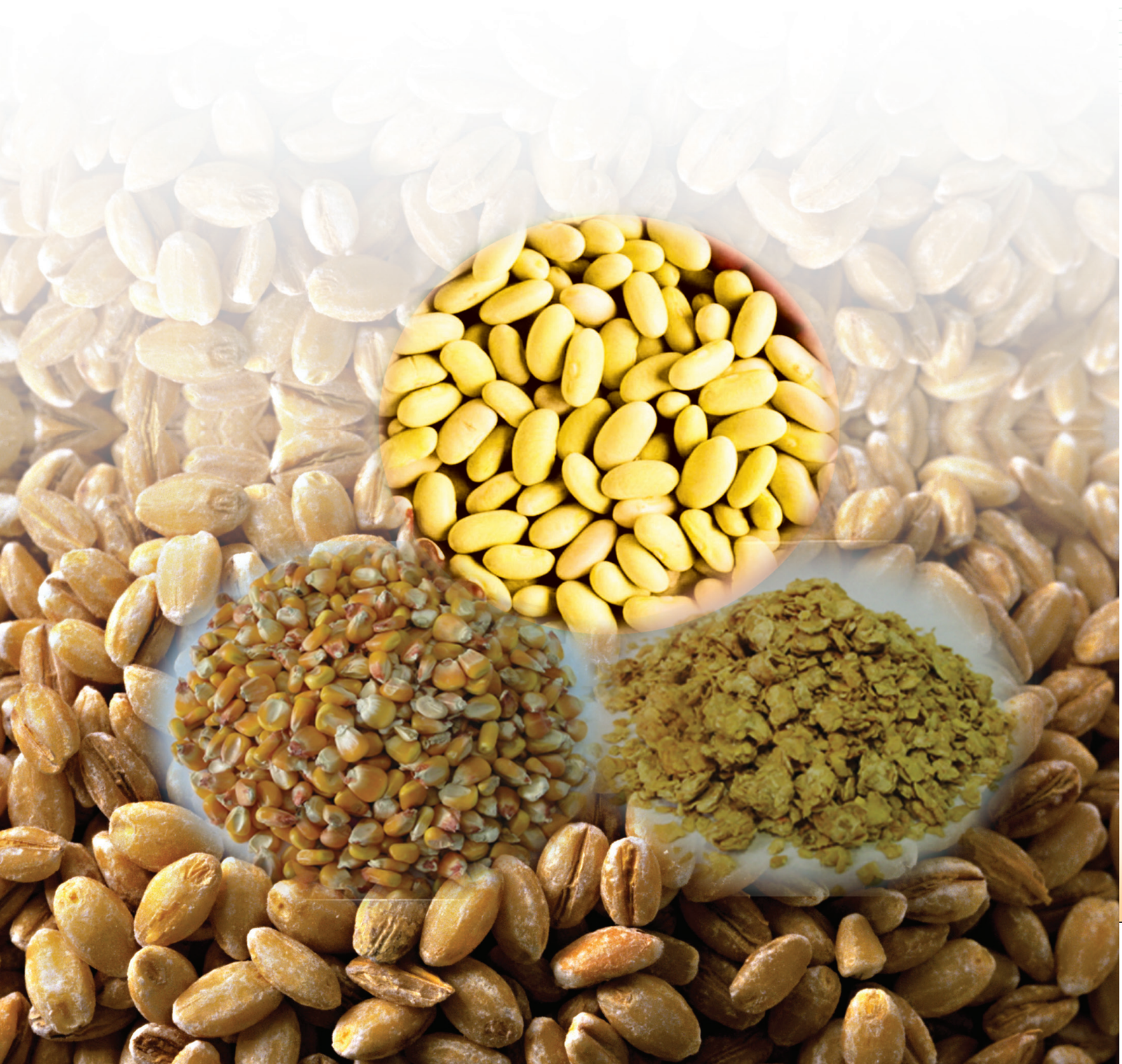
同一类饲料的营养也有很大的差别，玉米、小麦、大麦同属于谷物类能量饲料，但玉米的有效能值高于小麦和大麦，后者的蛋白质含量及氨基酸质量则好于玉米；豆饼粕、棉饼粕同属于蛋白质饲料，豆饼粕的蛋白质和氨基酸质量均优于棉籽饼粕。此外，同类但不同种的饲料营养成分可起到互补作用，如豆饼粕唯一缺乏蛋氨酸，芝麻饼粕的蛋氨酸含量高，在设计饲料配方时二者可搭配使用，从而实现日粮氨基酸平衡。

矿物质饲料主要补充钙、磷、钠、氯等常量矿物元素，其中最常用的是石粉、磷酸氢钙、食盐等。添加剂是配合饲料的核心，根据用途可分为营养性添加剂和非营养性添加剂，前者包括维生素、微量元素和合成氨基酸等；后者包括抗菌促生长剂、酶制剂、酸化剂、防霉剂、抗氧化剂等。

饲料中常含有一些抗营养因子，如大豆中含有胰蛋白酶抑制因子和脲酶，棉饼粕中含有较多的游离棉酚，小麦中阿拉伯木聚糖含量高，高粱籽实中有较多的单宁，这些抗营养因子或对动物有毒害作用，或影响动物消化，适当的加工方法或脱毒方法可减轻其毒害作用或抗营养作用，提高饲料的利用率。全脂大豆的加热处理，硫酸亚铁脱去棉籽饼粕中的游离棉酚，木聚糖酶添加到小麦饲粮中，都能起到减弱毒性、提高饲料利用率的效果。

第三章　配合饲料的生产

动物生长需要各种营养物质，而饲料原料种类繁多，质量千差万别，我们常见的任何一种单一的饲料原料都无法完全满足动物对所有营养物质的需求。那么怎样对它们进行合理的搭配与加工，才能够得到符合动物需要的饲料，从而更大限度地发挥动物的生长和生产潜力呢？这便是本章需要回答的问题。



第一节　饲料配合的依据

学习导航

1．什么是动物的营养需要量?
2．几种主要畜禽的营养需要有什么特点?
3．饲养标准的含义是什么？它有什么作用?

现象与问题

每百克去壳鸡蛋的营养物质含量

蛋白质 /g	14.7
脂肪 /g	11.6
矿物质 /g	1.6
钙 /mg	55
水分 /g	71
磷 /mg	210
铁 /mg	2.7

左表是每 100g 去壳鸡蛋中的营养物质含量。

讨论：

1．从表中可得出一些什么结论?

2．鸡蛋的营养物质含量与蛋鸡的营养需要量有什么关系?

一、动物的营养需要量

动物在适宜的环境条件下，维持正常生命活动、健康生长和达到理想的生产成绩（如产乳、产蛋、产肉、产毛以及繁殖后代等活动），对饲料中能量、蛋白质、必需氨基酸、维生素或微量元素等营养物质的种类和数量的最低要求，称为动物的营养需要量。

根据营养物质的用途，可以将动物的营养需要划分为维持需要和生产需要。维持需要指满足动物有机体正常的体温、血液循环、呼吸、消化、分泌、组织更新等生命活动的营养物质需要量。生产需要是指动物用于生长、繁殖、产蛋、产毛、泌乳和使役的营养需要量。动物从饲料中所获得的营养物质首先用于满足维持需要，剩余部分才用于生产需要。

二、主要养殖动物的营养需要特点

各类畜禽在不同的生长、生理阶段、不同生产水平和不同的环境条件下，其营养需要量是不同的。

1．猪　猪在生长前期，生长速度快，蛋白质沉积多，因此对蛋

仔猪

生长猪

育肥猪

哺乳期的母猪

图 3.1　猪的不同生理阶段

白质和氨基酸的要求较高，特别是赖氨酸的供给。育肥期猪的脂肪沉积较多，因此需要饲料有较高的能量／蛋白质比例。哺乳期的母猪由于要负担仔猪的营养发育，因此饲料中营养物质浓度要高于妊娠母猪。

断奶仔猪由于消化器官和消化酶发育不完善，生长速度又相对较快，因此必须配制能量、蛋白质等营养物质浓度较高且易消化的饲料。猪的不同生理阶段如图 3.1 所示。

探究尝试

在妊娠母猪的饲养中，一般来说前期的日粮营养水平较低，通常含有较高的粗纤维，而后期则要增加能量、蛋白质等营养物质的浓度，为什么？

2．鸡　雏鸡阶段生长迅速，对营养物质的要求较高。青年蛋鸡营养水平要适当降低，否则开产时过肥，不利于产蛋。产蛋鸡对于饲料蛋白质水平和必需氨基酸特别是蛋氨酸的水平非常敏感，因此要保持稳定平衡的饲料营养水平，且饲料钙含量非常高，一般在 3.0% ～ 3.5%。白羽肉鸡由于生长速度快，因此要求饲料有较高的蛋白质、能量及钙磷水平，而且要增加维生素和微量元素的用量。黄羽肉鸡可适当降低饲料营养物质含量。为了保证种蛋的质量，种鸡对营养物质的需要高于商品蛋鸡。鸡的不生同生理段和种类如图 3.2 所示。

雏鸡

青年鸡

产蛋鸡

肉鸡

种鸡

图 3.2　鸡的不同生理阶段和种类

3．牛、羊　反刍动物由于瘤胃微生物可以合成部分维生素、必需氨基酸，因此，对饲料营养物质浓度要求不是很严格。高产奶牛对饲料营养物质浓度非常敏感，必须保证足量的能量、粗蛋白质、维生素

和各种矿物质。肉牛、肉羊对饲料要求相对较粗放，可以提供较多的非蛋白氮来满足对蛋白质的要求。不同生产用途的牛、羊如图3.3所示。

奶牛

肉牛

肉羊

图3.3　不同生产用途的牛、羊

4.鱼类　由于鱼类利用糖类的能力有限，因此主要能量来源是蛋白质和脂肪，这与畜禽有很大不同。鱼类对蛋白质的需要量因鱼的种类和成长阶段的不同而不同。一般来说，肉食性鱼类和以动物为主食的杂食性鱼类，对饲料蛋白质的要求较高，草食性鱼类要求较低；幼鱼对蛋白质要求较高，成鱼要求低。鱼对精氨酸的要求较高，这与畜禽有较大区别。鱼对脂肪的利用率高，对脂肪的消化率可达90%以上。养殖鱼类饲料脂肪含量一般在10%～15%。鱼类可直接从水中吸收钙，因此饵料中钙、磷的比例较低，一般为1∶1或更少一些。

新视窗·知识外延

“为能而食”

所有动物都具有“为能而食”的生理现象。也就是说，动物采食饲料，首先是为了满足对能量的需要，能量是影响动物采食量的重要因素。成年动物可以随着饲料能量浓度调节自身的采食量，最终达到一定水平的能量摄入。因此能量是饲料配制的基础。

实践活动

鱼类与其他畜禽在营养需要和饲料原料利用方面有所不同。请根据鱼类的营养需要和生理特点以及原料的营养价值，从以下原料中选择适合鱼类利用的饲料原料：

玉米　次粉　豆粕　棉籽粕　菜籽粕　鱼粉　骨粉　磷酸氢钙　磷酸二氢钙　石粉　麸皮　小麦　大麦　花生饼

三、饲养标准

饲养标准是在测定动物营养需要量的基础上，结合各国饲料条件和养殖水平、消费习惯、环境条件等，制定出的各类畜禽实际饲喂环境条件下对各种营养物质的需要量，避免动物在饲养中发生营养不足或营养过度。饲养标准所规定的动物对营养物质的定额具有广泛的应用意义，世界各国可相互借鉴；但是在实际生产中，饲养标准很难完全适合各种条件下的动物营养需要，要根据具体情况进行调整。

饲养标准的数值一般以每头动物每天需要量表示或按单位饲粮中营养物质浓度（%）表示。根据猪的营养需要和生理特点把猪分为五个生长阶段。预期日增重是根据试验、生产实践和猪的遗传潜能设定的生长速度，是制定猪的采食量和各种营养物质浓度的基础。日采食量是一个阶段的平均值，可在一定范围内浮动，但营养物质含量也要相应增减。

粗蛋白、钙磷等矿物质和氨基酸是用饲料中的百分含量表示。而能量则用每千克饲料的能值来表示，维生素则用每千克饲料中的IU（主要是对脂溶性维生素）或mg表示。

活动延伸

根据当地具体情况，并查阅饲养标准，制订一个肉鸡各个生长阶段的营养需要方案。

表3.1　肉鸡生长阶段营养需要方案

项目	能量	蛋白质	赖氨酸	蛋氨酸	钙	磷	食盐
0～3周							
4～7周							

阅读材料

各个国家的饲养标准

目前世界上最有影响的饲养标准是美国的NRC标准和英国的ARC标准。NRC是美国国家科学研究委员会的缩写，该委员会包括各个研究领域的分委员会，在畜牧方面有猪营养委员会、家禽营养委员会等，分别负责对该领域内近年的研究结果进行总结，并制定出相关的标准，作为对相关行业生产的指导性文件。例如NRC（1998）猪的营养需要、NRC（1994）家禽的营养需要、NRC（1993）鱼的营养需要等。其中猪的营养需要推荐量每10年左右更新一次，家禽的营养需要推荐量每7年左右更新一次。这些文件对世界范围内的畜禽生产都有很强的指导意义和价值，但这些推荐值都是动物维持正常生长的最低水平，在实践中还要做相应调整。ARC是英国农业研究委员会的缩写，ARC标准是该机构制定的有关农业方面的标准，如ARC（1981）　猪的饲养标准等。ARC标准的更新速度不如NRC的相关标准。

我国从20世纪80年代开始，也制定了我国主要养殖动物猪、鸡、牛等的饲养标准，成为指导我国畜牧业发展的重要理论依据。进入21世纪，我国科技界又相继完成了新版的奶牛、肉牛、猪和禽的饲养标准的制定工作。我国新版猪的饲养标准采用了国际上通用的建模方法，并将模型建立在我国各地饲养的主要猪种的基础上。该标准系统研究了30～90kg猪对能量、粗蛋白质、总氨基酸和部分可消化氨基酸、钙、磷、有效磷和电解质的营养需要，建立了我国第一个猪营养需要动态模型，推动了动物营养学从静态向动态的发展，对我国的养猪生产具有重要的指导意义。

第二节　配合饲料的种类及配方设计

学习导航

1. 配合饲料有哪些种类?
2. 饲料配方设计的基本步骤是什么?
3. 饲料配方的设计方法有哪些? 各有什么特点?

现象与问题

雏鸡饲料配方

原料	雏鸡全价料 /%
玉米	65.9
豆粕	24.6
麦麸	3.0
鱼粉	2.0
骨粉	2.4
食盐	0.3
石粉	0.8
预混料	1.0
合计	100

左表中是生产中一个典型的雏鸡饲料的原料组成，其中玉米、麦麸为能量饲料，豆粕、鱼粉为蛋白质饲料，骨粉和食盐、石粉为矿物质饲料。

讨论：

1. 这种饲料和单一的饲料原料玉米和豆粕相比，在营养组成上有什么特点？

2. 根据动物对营养物质的需要，预混料的主要成分应是什么？

为了合理利用各种饲料原料、提高饲料的利用效率和营养价值、提高饲料产品的综合性能、饲料的加工性能和保存时间等，有必要将各种饲料进行合理搭配，以便充分发挥各种单一饲料的优点，弥补其缺点。

一、配合饲料的概念和种类

配合饲料是根据动物的不同生长阶段、不同生理要求、不同生产用途的营养需要，并以饲料营养价值评定的实验和研究为基础，按科学的方法把不同来源的饲料，依一定比例均匀混合，并按规定的工艺流程生产以满足各种实际需求的饲料。各种配合饲料的关系和构成如图 3.4 所示。

配合饲料按其营养成分和用途可分为全价配合饲料、浓缩饲料和预混合饲料以及混合饲料和精料补充料；按其外形可以分为粉料、颗粒料、液体饲料等。

全价配合饲料可以全面满足饲喂对象的营养需要，不必另外添加任

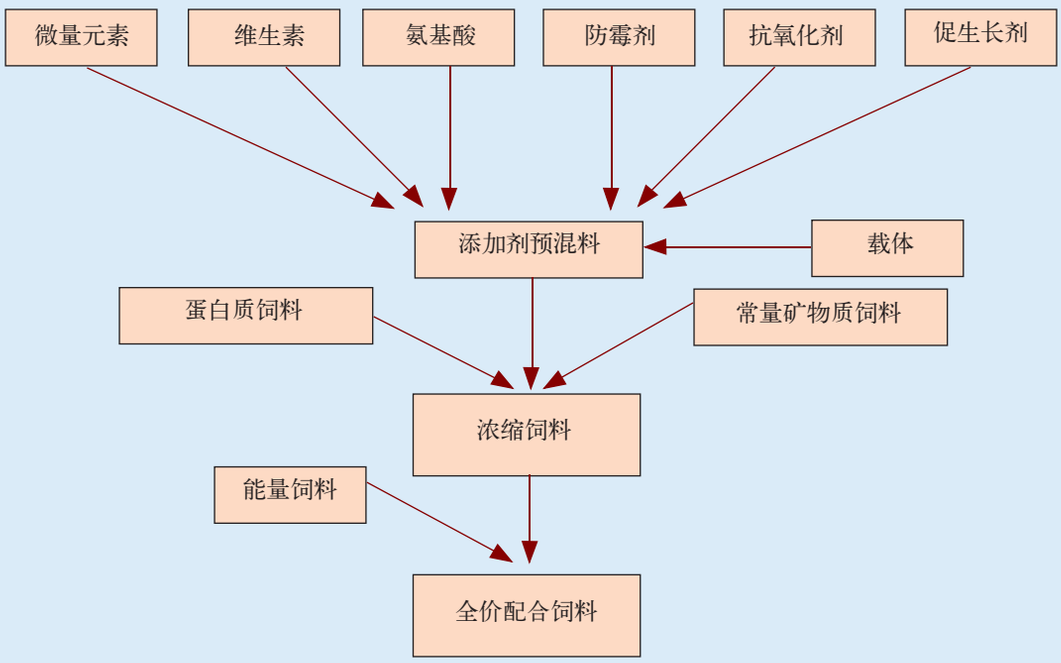


图 3.4　各种配合饲料的关系和构成

何营养性饲用物质而直接饲喂动物。浓缩饲料使用时必需补充能量饲料。

预混合饲料指由一种或多种的添加剂原料与载体或稀释剂搅拌均匀的混合物，又称添加剂预混料，目的是有利于微量的原料均匀分布于大量的配合饲料中。

混合饲料是由某些饲料原料经过简单加工混合而成，主要考虑能量、蛋白质、钙、磷等营养指标。

精料补充料由能量饲料、蛋白质饲料、矿物质饲料及添加剂组成，这是为草食动物牛、羊配制生产的，主要是用以补充采食饲草不足的那一部分营养。

全价混合日粮就是将切割成一定长度的粗饲料和一定粒度的精饲料按一定比例混合成的营养全面且均衡的混合日粮。如不同生长阶段的奶牛，其饲料的精粗比例不同。这里提到的“精”是指奶牛日粮中除了粗饲料以外的所有精饲料和饲料添加剂的总称。

探究尝试

在生产预混合饲料时，一般需要加入一定量的载体物质，根据所学知识，你认为这类物质应有什么特点？哪些物质可以作为载体？

小 资 料

液体饲料

液体饲料是一种针对性极强的改良型饲料产品，它的出现打破了传统饲料观念。液体饲料一般是以糖蜜为载体，加入尿素（反刍动物专用）、脂肪、维生素、微量元素以及其他天然原料精制而成，可以针对不同动物需要设计配方或集中补充一般饲料所缺乏的养分，其产品主要有高蛋白、高脂肪等不同类型，适用于饲喂各种动物。据介绍，液体饲料具有以下特点：

1. 生产中应用“定时释放”制造工艺，饲喂反刍动物时具有缓释功能，可避免引起中毒。

2. 混合均匀度高，避免动物挑食，消化吸收快。

3. 产品便于运输保管，使用更方便，可添加在配合饲料中制粒，也可加入到青草或干草中青贮，可与氨化饲料或农户家中谷物类及饲草混合饲喂。

4. 效益高。用液体饲料育肥肉牛，其生产性能比固体饲料提高 50% ～ 80%；饲喂奶牛，奶牛日产奶量增加 4kg 左右。我国有丰富的糖蜜资源，加之用糖蜜做饲料比用其他工业原料（酒精、酵母等）效率更高，且能减少环境污染，所以在大力发展草食动物的情况下，研究开发液体饲料有着广阔的前景。

二、饲料配方的设计

1. 饲料配方设计的基本原则　饲料配方的设计应遵循科学性、经济适用性和安全合法性等原则。

配方设计首先应满足动物的营养需要，必须使配制的饲料营养平衡，为此必须依据适当的饲养标准进行设计。饲料的适口性直接影响采食量，应选择适口性好、无异味的饲料，特别是为幼龄动物和妊娠动物设计饲料配方时更应注意。此外应注意使饲料的剂型尽量与动物的生理、消化特点相适应。

饲料成本在畜牧业生产中占 70% 左右的比例，在追求高质量的同时，应注意因地制宜和因时制宜，在选用饲料原料的种类、质量、价格及数量上都应与市场情况及企业条件相配套。

饲料产品的营养指标、感观指标、卫生指标、包装等应严格符合国家法律法规。另外要综合考虑产品对环境生态的影响，减少动物废弃物中氮、磷、药物及其他物质对人类、生态系统的不利影响。

2. 饲料配方设计的基本步骤

（1）根据生产目标和动物种类及生产实际等确定饲养标准。

（2）选择饲料原料。原料的选择应适合动物的习性并考虑其生物学效价（或有效率）；营养成分要互补，要多样化，避免所选原料单一。

（3）设计配方。将以上所获取信息综合处理，可用手工计算，也可用计算机优化配方软件设计配方。

（4）质量评定。饲料配方设计完成后可按照规定生产工艺生产部分

样品，送往实验室进行质量评定，或通过实际饲养效果进行评定。

配方产品的实际饲养效果是评价配制质量的最好尺度，应当经常比较配方与实际饲养效果的差异。

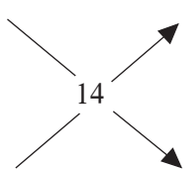
3. 饲料配方设计方法　饲料配方设计就是计算各种饲料原料的用量比例。设计配方时采用的计算方法分手工计算和计算机规划（配方软件）两大类。手工计算法有方形法、联立方程法和试差法等，可以借助计算器计算；计算机规划法主要是采用专门的配方软件进行饲料配方的优化设计。

（1）方形法。方形法又称四角法、交叉法、对角线法或图解法。在饲料种类不多（如两种饲料配合）及营养指标少的情况下，采用此法较为简便。

例如，用以玉米、豆粕为主给体重 35 ～ 60kg 的生长育肥猪配制饲料。步骤如下：

第一步，查饲养标准或根据实际经验及质量要求确定营养需要量，35 ～ 60kg 生长肉猪要求饲料的粗蛋白质水平为 14%。经取样分析或查饲料营养成分表可知，玉米含粗蛋白质为 8%、豆粕含粗蛋白质为 45%。

第二步，作十字交叉图。把所需混合饲料达到的粗蛋白质含量 14% 放在交叉处，玉米和豆粕的粗蛋白质含量分别放在左上角和左下角，然后以左方上、下角为出发点，各通过中心向对角作交叉，大数减小数，所得的数分别记在右下角和右上角。



第三步，上面所计算的各差数，分别除以这两差数的和，即得两种饲料混合的百分比。

玉米应占比例 $=\frac{31}{31+6}\times 100\% = 83.78\%$　　检验：$8\% \times 83.78\% = 6.7\%$

豆粕应占比例 $=\frac{6}{31+6}\times 100\% = 16.22\%$　　检验：$45\% \times 16.22\% = 7.3\%$

$6.7\% + 7.3\% = 14\%$

因此，体重为 35 ～ 60kg 生长猪的混合饲料，由 83.78% 的玉米与 16.22% 的豆粕组成。

用此法时，两种饲料的养分含量必须分别高于和低于所要达到的养分含量的数值。

（2）联立方程法。此法是利用数学上的联立方程求解法来计算饲料配方。优点是条理清晰，方法简单。缺点是饲料种类多时，计算较复杂。

例如某猪场要配制含 15% 粗蛋白质的混合饲料，现有含粗蛋白质 9% 的能量饲料（其中玉米占 80%，大麦占 20%）和含粗蛋白质 40% 的蛋白质补充料，计算方法如下：

第一步　混合饲料中能量饲料占 x%，蛋白质补充料占 y%，得

$$x + y = 100$$

第二步　能量混合料的粗蛋白质含量为 9%，补充料的粗蛋白质含量为 40%，要求配合饲料含粗蛋白质为 15%，得

$$0.09x + 0.40y = 15$$

第三步　列联立方程：

$$\begin{cases} x + y = 100 \\ 0.09x + 0.40y = 15 \end{cases}$$

第四步　解方程，得

$$x = 80.65$$

$$y = 19.35$$

第五步　求能量饲料中玉米、大麦在配合饲料中所占的比例：

玉米所占比例 $= 80.65\% \times 80\% = 64.52\%$

大麦所占比例 $= 80.65\% \times 20\% = 16.13\%$

因此，配合饲料中玉米、大麦和蛋白质补充料各占 64.52%、16.13% 和 19.35%。

实践活动

应用联立方程法、方形法和试差法设计一个生长蛋鸡的配合饲料。

1. 选择适当的原料。

2. 从饲养标准库中选择蛋鸡生长期饲养标准，修改和完善营养需要量数据。

3. 设置原料的用量限制和营养需要量的上下限，制定设计配方的专用表格，最后完善相应的数据。

（3）试差法。试差法又称为凑数法。这种方法首先根据经验初步拟出各种饲料原料的大致比例，然后用各自的比例去乘该原料所含的各种养分的百分含量，再将各种原料的同种养分相加，即得到该配方的每种养分的总量。将所得结果与饲养标准进行对照，若有任一养分超过或不足时，可通过增加或减少相应的原料比例进行调整和重新计算，直至所有的营养指标都基本上满足要求为止。此方法简单，可用于各种配料技术，应用面广。缺点是计算量大，十分烦琐，盲目性较大，不易筛选出最佳配方，相对成本可能较高。

（4）计算机线性规划法。又称配方软件法，是最便捷、准确的方法，同时也可以达到最低成本配方或最大收益配方的目的，这是手工方法

所不及的。目前市场上已有多种饲料配方软件，可以根据自己的需要选择适当的版本。其基本过程如图 3.5 所示。

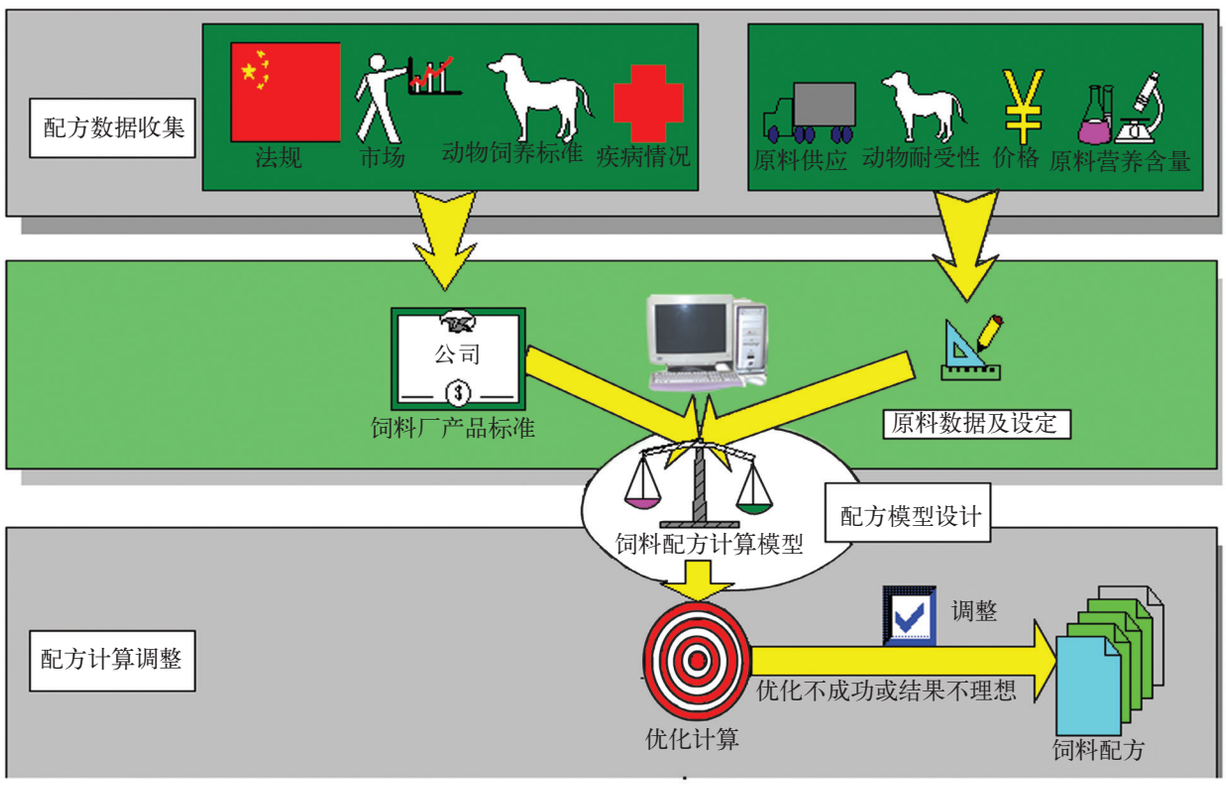


图 3.5　采用计算机进行配方设计

活动延伸

参观养殖场，了解生产中当前饲料原料利用和饲料配方设计情况，根据所学营养学知识，利用计算机线性规划法对其进行改进，并筛选出最佳方案。

第三节　配合饲料生产工艺

学习导航

1．配合饲料的生产包括哪些基本程序？
2．在配合饲料生产中应注意哪些问题？

现象与问题

右图中是某地农民正在用简单方法配制饲料。

讨论：

1．用这种方法生产饲料有哪些优缺点？

2．配合饲料的加工过程对饲料质量有什么影响？

现代饲料加工已实现了工业化生产，其基本的生产工艺流程如图 3.6 所示。

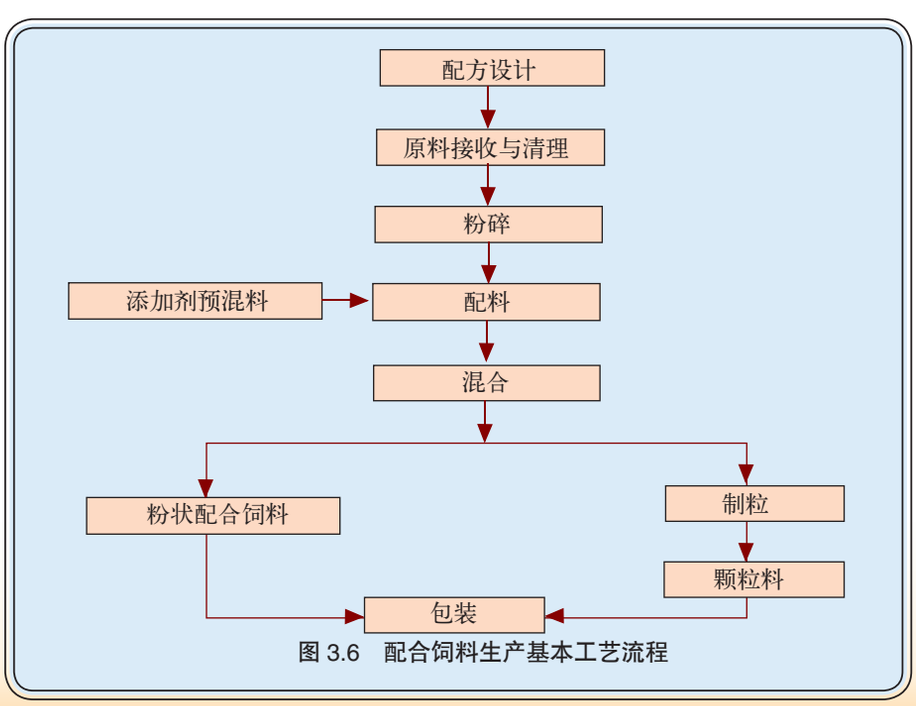


图 3.6　配合饲料生产基本工艺流程

1. 原料的接收与贮存　原料接收的任务是通过运输设备，将饲料加工中所需的各种原料运至厂内，经过质检、称重等过程，将符合质量要求的原料入库保存或直接使用。

原料接收

房式仓

筒仓

图 3.7　原料的接收与贮存

图 3.8　饲料粉碎机

料仓是饲料加工厂中不可缺少的贮存设备，有筒仓和房式仓两种。

2. 粉碎　粉碎是饲料厂最重要的工序之一，粉碎效果的好坏直接影响到饲料质量、产量和成本等。

3. 配料　配料就是指采用特定的配料装置，按照畜禽饲料配方的要求，对多种饲料原料进行准确称量的过程。

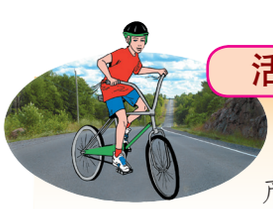
4. 混合　混合就是在机械作用下，使各种物料组分相互掺合并均匀分布。混合是确保饲料产品质量和提高饲料利用率的重要环节。

5. 制粒　制粒就是将粉状饲料通过制粒设备压制成颗粒。制粒的关键设备是调质器和压模。在调质器内，粉料与蒸汽（或冷水、糖蜜）等进行混合，并进行强烈搅拌，使物料水分达到15%～17%。在压粒器内，物料在强烈的挤压下，不断从压模孔中成条的挤出，被装在压模外的切刀切成长度适宜的颗粒。制粒后需经过冷却才能包装入仓。

图 3.9　混合机

探究尝试

矿物质、维生素、微量元素、氨基酸、药物等添加剂使用量很少，在饲料混合过程中，很难均匀分布。请想一想在生产中怎样解决这个问题？



活动延伸

参观现代化饲料生产车间，比较粉状饲料、颗粒饲料和预混合饲料的生产工艺流程有何不同？

阅读材料

蓬勃发展的中国饲料工业

我国的饲料工业起步于20世纪70年代中后期，兴起于80年代，经过30多年的建设，已经建成了集饲料加工工业、饲料添加剂工业、饲料原料工业，以及饲料教育、推广、培训、标准、监督检测等为一体的完整的饲料工业体系。从我国第一台饲料加工机组于1981年研制成功，1987年第一套饲料加工微机控制系统研制完成，到目前我国已可以自行设计、制造和安装30t以上的大型饲料加工成套设备和微机控制系统，标志着我国已基本建立起自己的饲料机械制造工业。饲料机械制造企业已发展到270多家，涌现出一批大型龙头企业。我国饲料工业开始起步时，除部分微量元素添加剂能自行生产外，维生素、抗生素、氨基酸等饲料添加剂基本上依赖进口。30多年的发展，我国饲料添加剂工业已初具雏形，除某些饲料添加剂仍需进口外，绝大多数的维生素、酶制剂、微量元素等营养性添加剂已能自行生产，有些产品已具备国际竞争优势。近几年来，为了生产出有利于人类健康的绿色食品，一些无污染、无公害、无药物残留的绿色饲料添加剂如益生素、寡糖等抗生素替代品成为研究的热点。现有饲料原料中，除大豆、鱼粉有较大量进口外，大部分实现了自给。

我国饲料工业的规模不断壮大。1978年我国配合饲料仅几十万吨，1983年发展到800万t，2001年达到7 807万t，其中配合饲料产量6 087万t，浓缩饲料1 419万t，添加剂预混料301万t，饲料工业产值1 644亿元，稳居我国工业第15位，在世界配合饲料中排行第2位。饲料工业的不断进步，强有力地支持了畜牧业的发展，提高了我国人民营养膳食水平。改革开放初期，我国人均占有肉、奶、蛋量分别为10kg、2kg、1kg，1999年增长到47.3kg、17kg、6.4kg，分别增长了4.7倍、8.5倍和6倍。但是，目前我国配合饲料还局限于规模化养殖企业和规模养殖户使用，普通养殖户使用配合饲料的比例还很低，如果配合饲料的入户率能达到80%，将需要配合饲料2亿多t。1999年美国人均占有配合饲料510kg，欧盟310kg，世界平均水平98kg，我国仅为45kg，还不及世界平均水平的一半，只有欧盟的15%、美国的9%。如果能达到世界平均水平，我国配合饲料还有7 000万～8 000万t的增长空间。

第四节　饲料对畜产品和环境的影响

学习导航

1．饲料中影响畜产品质量的因素有哪些？
2．饲料对环境有何影响？
3．如何正确合理地利用饲料来提高畜产品质量？

现象与问题

饲料质量直接影响到畜产品的品质和安全性，被污染或不安全的饲料不仅对动物的健康危害严重，而且会损害人类健康和生态环境。

讨论：

1．在日常生活中，畜产品被污染而危害人类的现象很多，举例说明有哪些现象是饲料原因引起的？

2．饲料是怎样影响食品和环境安全的？

饲料是养殖业的物质基础，动物生产的本质就是将饲料中的营养物质转化为自身的组成成分，并将其中一部分形成畜产品。因此饲料本身的营养组成、卫生状况等对畜产品的品质（图 3.10）具有重要影响。

畜产品品质
- 卫生质量：食品的安全特性，即食品中有害微生物和有毒有害物质的残留情况。
- 感官品质：畜产品对人的视觉、嗅觉、味觉和触觉等器官的刺激， 即给人的综合感受。
- 深加工品质：畜产品是否适合进一步加工的品质。
- 营养价值：畜产品的养分含量和保健功能。

图 3.10　畜产品品质

一、饲料对畜产品品质的影响

1．饲料对肉类品质的影响

（1）能量。饲料中能量水平的提高可增加胴体脂肪量，从而改善肉嫩度和风味，对胴体蛋白质数量无影响，但瘦肉率下降。

（2）脂类。饲料脂类的水平和饲料脂肪酸组成对非反刍动物体脂的含量有重要影响，并影响到肉的风味。猪肉中饱和脂肪酸和一元不饱和脂肪酸含量高，猪肉嫩度、多汁性、香味及总可接受程度的评分值则高；如果多不饱和脂肪酸含量高，上述评分值则低。多不饱和脂肪酸具有特殊的味道，随着肉中多不饱和脂肪酸的增多，肉异味增加，当猪肉脂肪中多不饱和脂肪酸含量超过 0.5% 时就会产生鱼腥味。反刍动物体脂受饲料脂肪酸影响很小，其原因在于采食的不饱和脂肪酸容易在瘤胃发生氢化而成为饱和脂肪酸。而非反刍动物可将吸收的饲料脂肪酸直接用于合成体脂肪，因此，改变饲粮脂肪种类和数量便可改变胴体脂肪酸组成。

（3）蛋白质和氨基酸。高蛋白质饲料可提高猪瘦肉率，降低肌肉内脂肪水平，使肉嫩度下降；低蛋白质饲料则可提高猪肉品质，改善肉嫩度。饲料氨基酸组成不平衡时，导致脂肪沉积量增加。

（4）矿物质元素和维生素。高铜饲料可增加不饱和脂肪酸含量，导致猪体脂变软。日粮添加镁或提高锌、锰的含量可降低水猪肉的发生率，改善猪肉品质。添加有机铬（酵母铬、吡啶羧酸铬）、甜菜碱等可以改善瘦肉率和肉色。

维生素 E 对肉质有显著改善作用，延长鲜肉理想肉色的保存时间，减少滴水损失。

2．饲料对蛋品质的影响　蛋品质主要包括蛋重、蛋壳质量、蛋黄颜色和功能特性等指标。

饲料中能量、蛋白质和氨基酸是控制蛋重的主要营养因素，对蛋重影响最大的氨基酸是蛋氨酸。此外，提高亚油酸水平也可提高蛋重。

影响蛋壳质量的主要因素是饲料中的钙、磷含量及二者的比例，饲料中维生素 D 和锌、铜、锰等对蛋壳质量也有重要影响。

蛋黄着色取决于饲料中的胡萝卜素的含量。提高蛋黄着色的方法有两种，一是添加人工合成色素或天然色素提取物；二是使用富含叶黄素的饲料原料，如黄玉米、玉米蛋白粉、草粉和苜蓿粉。

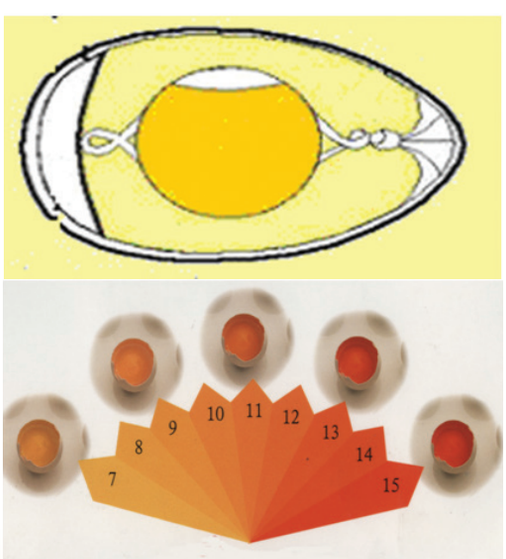


图 3.11　蛋的结构及蛋黄颜色

禽蛋中蛋白质、脂肪和水分等的含量受饲料影响很小，而维生素、微量元素、脂肪酸受饲料影响较大，通过饲料调控可生产出高营养鸡蛋如高脂肪酸、高维生素、高微量元素（高碘、高硒、高锌、高铁等）和低胆固醇的鸡蛋。

蛋的风味很大程度上受饲料中风味物质的影响，饲料中的菜籽粕、

鱼粉过量也会导致腥味蛋的产生。

3．饲料对牛乳品质的影响　乳的品质包括乳成分和乳风味，二者均受饲料的影响。

在乳成分中，乳脂的含量及脂肪酸组成受饲料粗纤维水平影响较大，其次为乳蛋白，乳糖则很少受饲料的影响。饲料中添加饱和脂肪酸，可提高乳脂含量。

饲料可改变牛乳的味道，如芜菁、甘蓝、油菜等十字花科植物，鲜苜蓿和豆科牧草青贮等，均可影响乳的味道。饲喂羽扁豆或采食苦艾时，牛乳带有苦味。

探究尝试

1. 目前在养鸡生产中常在饲料中添加人工合成的色素，用于提高蛋黄着色，这种做法对鸡蛋的营养价值有何影响？对人类健康有无不利影响？

2. 畜产品品质对人类的健康有重要影响，在生活中越来越受到重视。饲料的质量与畜产品品质的关系密切。根据所学知识，探讨在动物饲养过程中如何控制饲料质量，满足生产绿色畜产品的需要。

新视窗·知识外延

转基因饲料对畜产品安全性的影响

随着生物技术的发展及其在农业中的应用，转基因作物及其副产物用作饲料的比例越来越高。如转基因大豆、玉米等都是常用的饲料原料。这些转基因饲料对动物健康及畜产品安全性的影响也是人们关心的问题。目前尚难对这一问题做出回答，需进一步从社会、环境、卫生等方面进行全面评估。

二、饲料对畜产品安全性的影响

有毒化学物质、微生物的污染及饲料添加剂的不合理使用都会影响到畜产品的安全性。

1．化学污染　饲料在加工、生产、运输、储存过程中，很容易受到环境中某些化学物质的污染。如植物饲料在生长过程中，可富集土壤和水中的铅、汞等重金属元素和砷、氟化物等有毒元素，并残留一定量的农药；油脂类饲料原料在加工过程可能会受到多环芳烃、多氯联苯、二噁英等化学物质的污染，这类物质化学性质很稳定，不易分解，可通过畜禽产品进入人体，当蓄积到一定浓度时会造成多种人体病变。

2．微生物污染　如果饲料含水分过高，或储藏方法不当，会发生霉变。饲料霉变不仅会降低其营养价值，同时霉菌的代谢产物，如黄曲霉毒素 B_1、赤霉毒素等对人和动物都有很强的致病性。

此外，沙门杆菌、大肠杆菌、葡萄球菌、肉毒梭菌等致病微生物也可通过饲料使畜禽致病并严重威胁人类的健康。

3．饲料添加剂的不合理使用　非法使用某些违禁临床药物（如催眠镇静剂）、激素或激素类物质（克伦特罗、睾酮、孕酮、雌二醇、玉米赤霉醇和甲状腺类激素如碘化酪蛋白）作为饲料添加剂，虽然也可促进动物生长，提高动物瘦肉率，改善饲料利用率，但该类药物会在畜禽产品中发生残留，并严重损害人体健康，国家已明令禁止使用。

抗生素类被动物吸收后，可以分布全身，也可通过泌乳和产蛋过程而残留在乳、蛋中。抗生素的残留不仅影响畜产品的质量和风味，

也被认为是动物细菌耐药性向人类传递的重要途径，给人类健康带来了巨大威胁。某些生长促进剂，如砷制剂大量使用，可导致砷在动物肝、肾、脾、骨骼、皮肤、毛发中蓄积，最终危害人类健康。

大剂量使用铜直接影响动物健康和畜产品的食用安全。随着铜添加量的提高，锌、铁等元素的添加量也相应增加，高锌、高铁的使用同样会产生类似高铜的中毒后果。

小 资 料

“瘦肉精”中毒

据新华社报道，1999 年 11 月 7 日，广东省河源市先后有四五百人吃过猪肉后感到全身乏力、四肢颤抖、恶心、心跳加快。是什么原因造成的呢？经调查，这些人是吃了一种含“瘦肉精”的猪肉而发病的。

“瘦肉精”是一种叫作克伦特罗的化学合成的 β– 兴奋剂，在临床上可用于治疗哮喘。克伦特罗作为饲料添加剂可提高动物瘦肉率，降低脂肪沉积，改善饲料利用率，因而俗称“瘦肉精”。但由于克伦特罗性质稳定，在体内的蓄积性强，在动物组织和畜产品中易残留，吃了含有残留克伦特罗的动物食品易出现中毒，表现为头晕、恶心、呕吐、血压升高、心跳加速、体温升高、寒战等症状。国外在 1990 年左右普遍使用克伦特罗作为增肉添加剂，其后曾多次发生因食用含克伦特罗的肉食品而集体中毒事件。

三、饲料对环境的影响

1. 氮、磷的污染　饲料中的氮、磷不能被完全利用，其中一部分随动物粪便排出体外。按我国存栏 4.5 亿头猪计算，每年氮、磷排出量分别为 48 亿 kg 和 14 亿 kg。氮、磷的循环对环境造成污染（图 3.12）

2. 饲料添加剂对环境的污染　饲料中过量添加锌、铁等矿物质元素，会导致环境污染，破坏土壤质地和微生物结构，影响作物产量和养分含量。大量使用砷制剂也可导致环境砷污染，危害人类健康。畜牧业大量应用砷制剂将会显著提高土壤含砷量。据估计，若饲料中添加阿散酸 100mg/kg，一个万头猪场每年可向环境中排放 125kg 砷，若将这些排泄物施用在 130hm^2 的土地上，则 8 年可使土壤含砷量人为增加 4.6mg／kg，地下水的含砷量也会增加。不到 10 年上述土壤所产红薯的含砷量就会超过国家食品卫生标准，这片土地只能废弃。

图 3.12　氮、磷的循环

探究尝试

大量氮、磷元素从动物体排出到环境中，不仅造成饲料资源的浪费，也对环境造成污染。讨论怎样利用所学知识，降低饲料中氮和磷所造成的污染。

活动延伸

参观一个农业生态园，了解其运行和管理特点，并利用所学知识，按照生态畜牧业的要求，设计一个资源再生和利用的动物饲养方案，并进行养殖对比试验。

本　章　小　结

常见的任何一种单一的饲料原料都无法完全满足动物对所有营养物质的需求，必须根据各种饲料的营养特点，对它们进行合理的搭配与加工，才能够得到符合动物需要的饲料，从而更大限度地发挥动物的生长和生产潜力。

配合饲料是根据动物的不同生长阶段、不同生理要求、不同生产用途的营养需要以及以饲料营养价值评定的实验和研究为基础，按科学配方把不同来源的饲料，依一定比例均匀混合，并按规定的工艺流程生产以满足各种实际需求的饲料。配合饲料按照营养成分和用途可分为全价配合饲料、混合饲料、浓缩饲料、精料补充料和预混合饲料。全价配合饲料可以全面满足饲喂对象的营养需要，不必另外添加任何营养性饲用物质而直接饲喂动物。浓缩饲料使用时必须补充能量饲料。预混合饲料指由一种或多种添加剂原料与载体或稀释剂搅拌均匀的混合物，又称添加剂预混料。预混合饲料不可直接饲喂动物。

动物的营养需要和饲养标准是饲料配合的依据。营养需要中规定的营养物质的定额没有考虑实际生产条件下各种影响因素，一般不适宜在生产中直接使用；饲养标准是在测定动物营养需要量的基础上，结合各国饲料条件和养殖水平、消费习惯、环境条件等，制定出的各类畜禽在实际饲喂的环境条件下对各种营养物质的需要量。其规定的动物对营养物质的定额具有广泛的应用意义，世界各国可相互借鉴，但是在实际生产中，要根据具体情况进行调整。

饲料配方的设计涉及许多因素，配方设计应遵循科学性、经济适用性和安全合法性等基本原则。

配方设计就是计算各种饲料原料的用量比例。配方设计的方法包括方形法、联立方程法、试差法和计算机线性规划法。

配合饲料的生产包括原料的接收与贮存、粉碎、配料、混合和制粒等程序。

随着生活水平的提高和对膳食与健康关系的意识增强，人们愈来愈重视畜产品的品质问题。卫生质量是畜产品品质的基本要求，一般所说的畜产品品质主要是指营养价值、感官品质、深加工品质。饲料本身的营养组成、卫生状况等对畜产品的品质具有重要影响。

总之，饲料的质量对于畜产品的品质、人和动物的健康以及环境都有重要影响，因此饲料生产者不仅要使饲料营养平衡，使动物达到最大的生产水平，还要注重饲料的安全性，既不会危害动物和人体健康，也不会对人类的生存环境产生负面影响。

附录　部分中英文词汇对照表

蛋白质	protein
定粉酶	amylase
碳水化合物	carbohydrate
多糖	polysaccharide
淀粉	starch
纤维素	cellulose
脂肪	fat
脂类	lipids
必需脂肪酸	essential fatty acid, EFA
脂肪酸	fatty acid, FA
饱和脂肪酸	saturated fatty acid, SFA
不饱和脂肪酸	unsaturated fatty acid, USFA
磷脂	phospholipid
亚油酸	linoleic acid
叶酸	folic acid
总能	gross energy, GE
消化能	digestible energy, ADE
代谢能	metabolizable energy, AME
尿能	urine energy, UE
粪能	fecal energy, FE
矿物质元素	mineral element
必需矿物质元素	essential mineral element
微量元素	microelement,trace element
β- 胡萝卜素	β-carotene
类胡萝卜素	carotenoid
非蛋白氮	non-protein nitrogen, NPN
非淀粉多糖	non-starch polysaccharide, NSP
青绿饲料	pasture range plants and forages fed fresh
青贮饲料	silage
粗饲料	roughage
青干草	green hay
草粉	grass powder
氨化作用	ammonification
碱化作用	alkalization
人工干燥法	artificial hay drying

生物学处理	biological treatment
油脂类饲料	oil,fat for feed
玉米	maize ,corn
小麦麸	wheat bran
小麦	wheat
糖麸类饲料	milling byproduct
稻谷	paddy
蛋白质饲料	protein feed
大豆粕	soybean cake/ soybean meal
大豆	soybean
棉籽饼 / 棉籽粕	cotton seed cake/cotton seed meal
菜籽饼 / 菜籽粕	rape seed cake/rape seed meal
花生饼 / 花生粕	peanut cake /peanut meal
微量元素添加剂	microelement additive
微生素饲料	vitamin supplement
非营养性饲料添加剂	nonnutritional feed additive
氯化钠	sodium chloride
微生态制剂	probiotics
抗营养因子	antinutritional factors, ANFs
骨粉	bone meal
磷酸氢钙	calcium phosphate dibasic
磷酸二氢钙	calcium phosphate monobasic
胴体	carcass
畜产品	animal product
营养需要量	nutrient requirement
配合饲料	formula feed
预混料	premix feed