



高职高专教育“十一五”规划教材

动物科学基础

DONGWUKEXUE JICHU

姜凤丽 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

高职高专教育“十一五”规划教材

动物科学基础

姜凤丽 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

动物科学基础/姜凤丽主编. —北京:中国农业大学出版社,2007.9

高职高专教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-81117-313-0

I. 动… II. 姜… III. 动物学-高等学校:技术学校-教材 IV. Q95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 125886 号

书 名 动物科学基础

作 者 姜凤丽 主编

策划编辑 陈巧莲 姚慧敏 丛晓红

责任编辑 田树君

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 100094

电 话 发行部 010-62731190,2620

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 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 25.25 印张 463 千字

印 数 1~1 000

定 价 32.50 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 姜凤丽

副主编 曲 强 宋连喜 刘瑞军

编 委 刘衍芬 赵希彦 于 明 温 萍 田长永
顾洪娟 王艳立 王立阁 周丽荣

出版说明

高等职业教育作为高等教育中的一个类型,肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命。大力提高人才培养的质量,增强人才对于就业岗位的适应性已成为高等职业教育自身发展的迫切需要。教材作为教学和课程建设的重要支撑,对于人才培养质量的影响极为深远。随着高等农业职业教育发展和改革的不断深入,对于教材适用性的要求也越来越高。中国农业大学出版社长期致力于高等农业教育本科教材的出版,在高等农业教育领域发挥着重要的作用,积累了丰富的经验,希望充分利用自身的资源和优势,为我国高等职业教育的改革与发展做出自己的贡献。

经过深入地调研师生的需求和分析以往教材的优点和不足,在教育部高教司高职高专处和全国高职高专农林牧渔类专业教学指导委员会的关心和指导下,在各高职高专院校的大力支持下,中国农业大学出版社组织了全国 50 余所院校的 400 多名骨干教师共同编写了一批以“十一五”国家级规划教材为主体的教材。这批教材于今年 3 月陆续出版,共有 60 多个品种(畜牧兽医类 33 种,种植类 26 种,公共基础课等课程教材若干种),其中普通高等教育“十一五”国家级规划教材 22 种。

这批教材的组织和编写具有以下特点:

精心组织参编院校和作者。本批教材的组织之初共收到全国 60 余所院校的 600 余名老师的申报材料。经过由职业院校和出版社专家组成的选题委员会审议,充分考虑到不同院校的办学特色、专业优势及地域特点,结合教师自身的学习培训背景、教学与科研经验和生产实践经历,最后择优确定了 50 余所院校的 400 多名教师作为主编和编写人员,其中教授和副教授占 73%,硕士以上学历占 38%。特别值得一提的是,有 5% 的作者是来自企业生产第一线的技术人员,这样的作者结构是编写高质量和适用性教材的有力保证。

贴近国家高职教育改革的要求。我国的高等职业教育发展历史不长,很多院校的办学模式和教学理念还在探索之中。为了更好地促进教师了解和领会教育部的教学改革精神,在编写研讨会上邀请了教育部高教司高职高专处、全国高职高专农林牧渔类专业教学指导委员会的领导作教学改革的报告,提升主编和编写人员的理念;多次邀请教育部职业教育研究所的知名专家到会,专门就课程设置的教材的体系建构作报告,使教材的编写视角高、理念新、有前瞻性。

注重反映教学改革的成果。教材应该不断创新,与时俱进。好的教材应该及时体现教学改革的成果,同时也是教育教学改革的重要推进器。本套教材在组织过程中特别注重发掘各校在产学结合、工学交替实践中具有创新性的教材素材,很多教材在围绕就业岗位需要进行知识的整合、与实际生产过程的接轨上具有创新性和非常鲜明的特色,相信对于其他院校的教学改革会有启发和借鉴意义。

瞄准就业岗位群需要,突出职业能力的培养。本批教材的编写指导思想是紧扣培养“高技能人才”的目标,以职业能力培养为本位,以实践技能培养为中心,体现就业和发展需求相结合的理念。

教材体系的构建依照职业教育的“工作过程导向”原则,打破学科的“系统性”和“完整性”。内容根据职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,采用倒推法确定,即剖析职业岗位群对专业能力和技能的需求→关键能力→关键技能→围绕技能的关键基本理论。删除假设推论,减少原理论证,尽可能多地采用生产实际中的案例剖析问题,加强与实际工作的接轨。教材反映行业中正在应用的新技术、新方法,体现实用性与先进性的结合。

创新体例,增强启发性。为了强化学习效果,在每章前面提出本章的知识目标和技能目标。每章设有小结和复习思考题。小结采用树状结构,将主要的知识点及其之间的关联直观表达出来,有利于提高学生的学习效果和效率,也方便教师课堂总结。部分内容增编阅读材料。

加强审稿,企业与行业专家相结合,严把质量关。从选题策划阶段就邀请行内专家把关,由来自企业、高职院校或中国农业大学有丰富的生产实践经验的教授审核编写大纲,并对后期书稿进行严格的审定。每一种教材都经过作者与审稿人的多次的交流和修改,从而保证内容的科学性、先进性和对于岗位的适应性。

本批教材的顺利出版,是全国 50 余所高职高专院校共同努力的结果;编写出版过程中所做的很多探索,为进一步进行教材研发提供了宝贵的经验。我们希望以此为基点,进一步加强与各校的交流合作,配合各校教学改革,在教材的推广使用、修订完善、补充扩展进程中,在提高质量和增加品种的过程中,不断拓展教材合作研发的思路,创新教材开发的模式和服务方式。让我们共同努力,携手并进,为深化高职高专教育教学改革和提高人才培养质量,培养国家需要的千百万高素质技能型专门人才,发挥积极的推动作用。

前 言

《动物科学基础》是畜牧兽医类专业的一门专业基础课,主要任务是说明动物的生长基础、动物的基本组织结构和功能、动物生长发育的基本原理及过程的关系,展示的是动物正常的组织结构与生理功能以及体内的代谢过程的一般规律。学习专业基础课的目的就是在遵循动物生长发育自然规律的前提下,通过良好的饲养管理,影响动物的生长状态,让动物更好地为人类服务。

由于长期受学科体制、学科教育的影响,动物类专业的专业基础课仍然以《家畜解剖学》、《家畜生理学》、《动物生物化学》的面目存在,自成体系。即使是有所改革,也只是在内容和授课时间上加以压缩,新的课程结构和内容体系并没有形成,相应的教学材料更没有达到职业教育的标准。

按照职业教育教学改革的要求,我们以《家畜解剖学》、《家畜生理学》、《动物生物化学》为基础,以为专业服务和“必需、够用”为原则,结合专业课教学内容,打破学科体系,进行充分整合,删繁就简,重新形成新的结构体系,在保证教材先进性和科学性的基础上,力求突出教材的适用性,编写新动物类专业基础课教材《动物科学基础》。

全书分 12 章。分别从动物体的基本结构细胞开始,分别介绍了动物体的基本组成与结构、动物体内有机物、无机物的代谢过程,动物体内各系统、器官、组织的生理功能,同时介绍了几种经济动物的解剖特点,拓宽了教材的适用范围。

全书每章前面设有知识目标和技能目标,每章后有课后练习和本章小结,以便于学习者掌握主要内容。在正文中适当穿插了知识链接栏目,作为知识的延伸部分,理论与生产实际结合,旨在增强教材趣味性,加强与专业课程联系。此外,教材内容安排上做到重点突出,详略得当。内容阐述上力图语言简练,条理清晰,深入浅出,通俗易懂,图文并茂,增强教材的直观性和概括性。

参加本教材编写的有:辽宁农业职业技术学院姜凤丽(前言、第一章)、曲强(第四章)、宋连喜(实训指导)、刘瑞军(实训指导)、刘衍芬(第二章)、赵希彦(第三、第七章)、于明(第五、第六章)、温萍(第八、第十一章)、田长永(第九章)、顾洪娟(第十章)、王艳立(第十二章)、王立阁(实训指导)、周丽荣(附录)。初稿完成后经主编姜凤丽、副主编曲强等修改,最后由主编统一定稿。

本书中的插图主要摘自家畜解剖(范作良)、家畜生理(范作良)、动物生物化学

(刘莉)、生物化学(杨志敏、蒋立科)、畜禽解剖学(陈耀星)、动物生物化学(张喜南)、家畜繁殖学(张忠诚)等书籍,在此表示感谢。

在本教材出版之际,仅向为本教材编写工作提供过帮助和支持的所有人士表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,加之时间仓促,教材中难免有疏漏、不足甚至错误之处,恳请同行及专家批评指正。

编 者

2007 年 5 月

目 录

第一章 动物细胞	(1)
第一节 动物细胞的基本结构与功能	(1)
第二节 动物细胞的催化物质——酶	(5)
第三节 细胞内的氧化——生物氧化	(16)
第四节 细胞内的遗传物质——核酸	(22)
第二章 动物基本组织	(37)
第一节 上皮组织	(37)
第二节 结缔组织	(40)
第三节 肌组织	(43)
第四节 神经组织	(43)
第三章 运动与被皮系统	(46)
第一节 骨骼	(46)
第二节 肌肉及其生理	(61)
第三节 皮肤及其衍生物	(72)
第四节 禽运动与被皮系统的特点	(75)
第四章 消化系统	(84)
第一节 概述	(85)
第二节 口腔、咽和食管	(86)
第三节 胃	(92)
第四节 小肠、肝和胰	(104)
第五节 大肠和肛门	(110)
第六节 吸收	(116)
第七节 禽类消化系统的结构与功能	(118)
第五章 呼吸系统	(123)
第一节 呼吸道的结构	(123)
第二节 肺的结构与功能	(125)
第三节 禽呼吸系统的特点	(136)
第四节 呼吸运动的调节	(138)
第六章 心血管系统	(142)
第一节 血液	(143)

第二节	心脏·····	(153)
第三节	血管·····	(162)
第四节	心血管活动的调节·····	(173)
第五节	家禽的循环系统的特点·····	(176)
第七章	免疫系统·····	(179)
第一节	免疫器官·····	(179)
第二节	免疫组织·····	(186)
第三节	免疫细胞·····	(187)
第四节	淋巴和淋巴管·····	(189)
第八章	泌尿系统·····	(193)
第一节	肾·····	(193)
第二节	输尿管、膀胱和尿道·····	(197)
第三节	尿的生成与排出·····	(198)
第四节	动物体内水、无机盐代谢及酸碱平衡·····	(204)
第九章	生殖系统·····	(217)
第一节	家畜生殖系统的结构与功能·····	(217)
第二节	禽的生殖系统特点·····	(228)
第三节	胚外构造·····	(230)
第十章	神经系统·····	(234)
第一节	神经组织·····	(235)
第二节	突触传递·····	(237)
第三节	中枢神经·····	(243)
第四节	外周神经·····	(246)
第五节	神经系统的感觉分析功能·····	(250)
第六节	神经系统对躯体运动的调节·····	(253)
第七节	神经系统对内脏活动的调节·····	(255)
第八节	反射·····	(257)
第十一章	内分泌系统·····	(262)
第一节	概述·····	(262)
第二节	内分泌器官·····	(266)
第十二章	动物体内有机物质的代谢·····	(276)
第一节	糖代谢·····	(276)
第二节	脂类代谢·····	(289)

第三节 蛋白质代谢·····	(300)
附录 主要经济动物的内脏解剖特征·····	(323)
实验实训·····	(334)
实验一 全身骨骼观察·····	(334)
实验二 牛猪消化系统各器官形态构造位置的观察·····	(335)
实验三 肺大体结构辨认·····	(336)
实验四 肾构造和类型的辨认·····	(337)
实验五 生殖器官的观察·····	(337)
实验六 心脏和心包的观察·····	(338)
实验七 主要组织、器官组织学构造观察 ·····	(339)
实验八 经济动物内脏解剖观察·····	(340)
实验九 红细胞的计数·····	(341)
实验十 白细胞计数·····	(343)
实验十一 血红蛋白的测定·····	(343)
实验十二 呼吸运动的调节·····	(344)
实验十三 小肠运动的观察·····	(345)
实验十四 小肠吸收和渗透压的关系·····	(347)
实验十五 胰岛素、肾上腺素对血糖的影响 ·····	(347)
实验十六 血液生化样品的制备·····	(348)
实验十七 肝糖原的提取与鉴定·····	(351)
实验十八 酮体的生成实验·····	(353)
实验十九 唾液淀粉酶的活性观察·····	(356)
实验十九 血糖与尿糖的测定·····	(359)
实验二十 血清钙的测定·····	(362)
实验二十一 血清无机磷的测定·····	(363)
实验二十二 血清蛋白醋酸纤维薄膜电泳·····	(365)
实验二十三 尿素的生成实验·····	(367)
实训一 羊(牛、马)的解剖 ·····	(369)
实训二 犬的解剖·····	(387)
实训三 动物主要结构的体表识别·····	(388)
参考文献·····	(390)

第一章 动物细胞



知识目标

- 掌握细胞内的催化物质——酶的组成、特点及其影响酶促反应速度的因素。
- 掌握生物氧化的特点及能量的生成方式、部位。
- 掌握细胞内的遗传物质——核酸的组成、分类及其生物学功能。

技能目标

- 能描述骨的一般构造和关节的基本构造。
- 能认识皮肤的组织构造及常见皮肤衍生物的形态和构造。

第一节 动物细胞的基本结构与功能

细胞是生物有机体形态结构、生理功能和遗传发育的基本单位。单个细胞具有新陈代谢、生长发育、繁殖、遗传和变异等全部生命过程,但不能单独实现多细胞机体的完整生命过程。

一、细胞的形态和大小

构成动物机体的细胞形态多种多样,有圆形、扁平形、多边形、梭形或长圆柱

形、星形等。细胞的大小相差悬殊,细胞的形态和大小与其执行的功能和所处的部位密切相关。

二、细胞的构造与功能

动物细胞由细胞膜、细胞质和细胞核三部分组成。

(一)细胞膜

细胞膜是细胞表面一层连续而封闭的界膜,亦称原生质膜或细胞质膜。它起着维持细胞内环境相对稳定的作用,同时完成调节细胞的物质交换、代谢活动、信息传递和细胞识别等功能。

生物膜是细胞膜、核被膜及构成各种膜性细胞器(如线粒体、内质网、高尔基复合体、溶酶体等)膜的统称,都具有基本相同的结构和组成,但又各具特点。

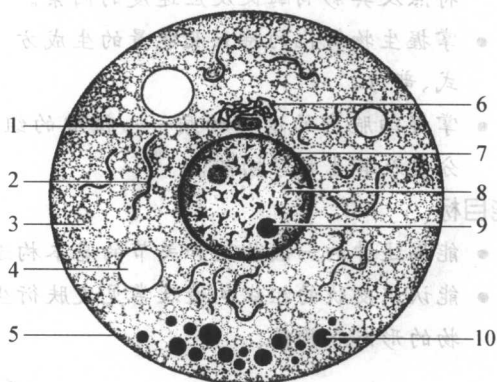


图 1-1 细胞结构模式图

1. 中心体 2. 线粒体 3. 细胞质 4. 液泡 5. 细胞膜
6. 内质网 7. 核膜 8. 核质 9. 核仁 10. 内含物

1. 细胞膜的结构

细胞膜的是由脂质双层镶嵌球蛋白构成,此外还有少量多糖。这些多糖与膜脂、膜蛋白结合,形成糖脂和糖蛋白,并从细胞膜外表面伸出覆盖在细胞外表面形成外膜。这些糖类在细胞膜上不是杂乱无章地随意分布,而是细胞行为的表面标志,它们与细胞的抗原结构、受体、细胞免疫、细胞识别和细胞癌变均有密切关系。

2. 细胞膜的功能

(1)物质运输 细胞内液和细胞外液间的物质交换均需通过细胞膜。

①扩散作用:物质从高浓度区通过细胞膜运送到低浓度区的不耗能过程。物质扩散速度不仅取决于浓度梯度、物质粒子大小和电荷,脂溶度也起一定的决定作用。

②主动运输:某些物质可以逆浓度梯度进入或移出细胞。必须依靠细胞膜上的“泵”,并需 ATP 为载体蛋白直接提供能量。

知识链接

如转运 Na^+ 、 K^+ 的钠钾泵等,实际上就是 Na^+-K^+ ATP 酶,是膜中的内在蛋白,可以把细胞内的 Na^+ 泵出细胞外,同时把 K^+ 泵入细胞内。另一种对细胞基本功能有重要作用的是钙泵,即 Ca^{2+} ATP 酶。

③胞吞作用与胞吐作用:大分子物质不能以渗透方式跨越细胞膜,而是通过细胞膜本身的运动,以形成小泡的方式将细胞外物质摄入细胞内,即胞吞作用;而胞吐作用则是把胞质小泡内的大分子物质排出细胞外。胞吞作用和胞吐作用需能量供应,也需肌动蛋白和肌球蛋白的参与。

(2)构成受体 细胞膜上有的蛋白质可作为受体,能接受外界化学信号,如激素、神经递质、药物等的作用。信号与细胞膜的受体相结合,引起受体蛋白发生构型变化,导致细胞内部继发一系列生理效应。

知识链接

细胞膜上的受体种类很多,如激素受体、神经递质受体、抗原受体等。不同的受体接受不同的信号,引起细胞内不同的生理反应。

(3)细胞膜抗原 细胞膜上有些蛋白质和糖标记着种、属、个体以及各型细胞的特征,它们对另一种动物或个体可作为抗原,使其产生相应的抗体,从而引起免疫反应。此外,细胞膜还参与细胞的运动、细胞分化和保护等作用。

知识链接

存在于各种细胞和血小板膜上的组织相容性抗原以及红细胞膜上与血型有关的血型抗原等。同型细胞借此相互识别,对异物组织或器官产生排斥;输血时要求血型相同。

(二)细胞质

细胞质是细胞内进行代谢作用和执行各种机能活动的场所,包括细胞质基质、细胞器和细胞内含物。

(1) 基质 是半透明胶状物质, 含较多蛋白质, 占细胞蛋白质总量的 20%~25%, 由水、糖类、脂类、无机盐和酶类等组成。

(2) 细胞器 是细胞质内具有一定形态结构和化学组成、执行一定生理功能的结构。动物细胞中具备界膜的细胞器包括线粒体、内质网、高尔基复合体、溶酶体和过氧化物酶体, 其中线粒体具有由双层单位膜组成的界膜, 并独立存在于细胞质中。

细胞质内非膜性细胞器主要有核糖体、微管和微丝等。

(3) 内含物 是细胞质内具有一定形态的营养物质或代谢产物, 包括脂肪、糖原、蛋白质、分泌颗粒及色素颗粒等。

(三) 细胞核

细胞核是细胞遗传物质的储存场所和细胞机能的控制中心, 哺乳动物体内除成熟红细胞没有核外, 其余细胞均有细胞核。

一个细胞通常含一个细胞核, 但骨骼肌细胞可有数百个核。核通常位于细胞中央, 但也有位于细胞基部或偏于一侧。细胞核的体积随细胞周期而变化, 准备分裂的间期细胞核比刚分裂后的细胞核要大些; 代谢活性高的细胞, 其核略大于生理活性低的细胞。

1. 细胞核的构造

细胞核由核膜、核基质、核仁和染色质构成。

(1) 核膜 是细胞核表面由两层单位膜组成的被膜, 它将核物质与细胞质隔开。核膜最重要的功能是调节细胞核与细胞质间的物质交换, 核膜外层附有核糖体, 说明它有合成蛋白质的功能。

(2) 核基质 除去核膜、核仁和染色质以外, 存在于细胞核内的物质称核基质, 含有水、无机盐和多种酶类, 如 DNA 聚合酶、核糖核酸酶等。核基质为核内代谢提供稳定的良好环境, 也为核内物质运输和可溶性代谢产物提供必要的介质。

(3) 核仁 核仁是球形的致密体, 直径 2~5 μm , 一个细胞核内常有 1 或 2 个核仁, 也有 3~5 个的。核仁无界膜包裹, 主要由纤维成分、颗粒成分和核仁基质组成。核仁与细胞内蛋白质合成有密切关系。

(4) 染色质 染色质是遗传物质的一种存在形式, 是由脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)、组蛋白和非组蛋白组成的纤维状复合物。染色质分散存在于核内, 当细胞进行有丝分裂时, 染色质高度螺旋化, 卷曲成染色体, 并在核膜消失后, 散布于细胞质中。因此, 染色质和染色体的组成成分相同, 但构型各异, 相间地出现于细胞周期中的不同功能阶段。

染色体的数目和形状随动物种类而异, 但各种动物染色体的数目和构型是恒定的。

 知识链接

不同动物的染色体数:马 64 条,牛 60 条,猪 38 条,绵羊 54 条,山羊 60 条,驴 62 条,鸡 78 条,鸭 80 条。染色体在体细胞内的数目是二倍体,即双倍体,而在成熟的性细胞(如精子中),其数目只有体细胞的一半,为单倍体。在体细胞的染色体中,每两个同源染色体相互配对。

2. 细胞核的功能

细胞核一方面通过储存在 DNA 上亲代的遗传物质的复制和传递,于细胞分裂时传给子代,并影响子代的性状;另一方面在分裂间期通过 DNA 上遗传信息的转录和翻译,合成各种蛋白质(包括酶)。

三、细胞的生命现象

(一)细胞繁殖

细胞以分裂的方式进行繁殖。细胞分裂是细胞一分为二的增殖过程,从而产生新细胞,借以促进机体的生长、发育及补充衰老死亡的细胞。细胞分裂包含细胞核和细胞质的分裂,主要有三种形式:无丝分裂、有丝分裂和减数分裂。

(二)细胞分化、衰老和死亡

细胞分化是指在个体发育进程中,细胞发生化学组成、形态结构和功能彼此互异逐步改变的现象。如动物由一个简单的受精卵转变成具有高度复杂性和结构性的胚胎,而后又发育成具有多种复杂生理功能的完整的个体。

衰老和死亡。细胞分化存在于生物体的整个生命过程之中,在胚胎期表现明显。

 知识链接

不同类型细胞的寿命差异很大,一般说来,高度分化的神经元和肌细胞在出生后停止分裂,其寿命可与个体寿命等长;红细胞在血液循环中存留约 120 天;中性粒细胞在正常情况下仅活 8 天。

第二节 动物细胞的催化物质——酶

一、酶的概念

动物细胞的新陈代谢是通过许多化学反应完成的。酶是由活细胞产生的,在

细胞内外起催化作用的蛋白质,又称为生物催化剂。而动物体内所有由酶催化的反应则称为酶促反应。

二、酶的化学组成

酶的化学本质是蛋白质。近年来人们已搞清了几十种酶的氨基酸排列顺序,而且还人工合成了核糖核酸酶等。

(一) 酶的分类

1. 根据酶分子的组成,可将酶分为两大类

(1) 单纯蛋白质酶类 单纯蛋白质酶类完全由氨基酸所组成,酶分子中不含非蛋白质物质。如淀粉酶、蛋白酶、核糖核酸酶等。

(2) 结合蛋白酶类 这类酶分子中除蛋白质部分外,还含有非蛋白质部分,蛋白质部分称为酶蛋白,决定酶的专一性。非蛋白质部分称为辅助因子,酶蛋白与辅助因子单独存在时,均无活力,二者结合后才有活力称为全酶。

$$\text{全酶} = \text{酶蛋白} + \text{辅助因子}$$

辅助因子包括金属离子和小分子的有机化合物。金属离子可以参加酶的活性中心,传递电子或在底物与酶之间起桥梁作用。有机物中有些与酶蛋白结合牢固的称为辅基,有些与酶蛋白结合疏松的,可用透析法除去的称为辅酶。但二者之间无严格界限,主要是由维生素和核苷酸构成的。

(3) 常见的辅酶和辅基

① 维生素 PP 和 NAD^+ 和 NADP^+

NAD^+ : 尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸,也称辅酶 I。

NADP^+ : 尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸,也称辅酶 II。

NAD^+ 和 NADP^+ 是脱氢酶的辅酶,是由维生素 PP 形成的,在生物体内起到传递氢的作用, NAD^+ 和 NADP^+ 接受氢形成 NADH 和 NADPH (图 1-2)。

② 维生素 B_2 和 FMN 和 FAD

FMN: 黄素单核苷酸。FAD: 黄素腺嘌呤二核苷酸。

FMN 和 FAD 是黄素脱氢酶的辅酶,是由核黄素形成的,亦起到传递氢的作用,FMN 和 FAD 接受氢后形成 FMNH_2 和 FADH_2 (图 1-3)。

③ 泛酸和辅酶 A(图 1-4) 辅酶 A($\text{CoA} \sim \text{SH}$) 是传递酰基的。

④ 维生素 B_6 和磷酸吡哆醛、磷酸吡哆胺: 磷酸吡哆醛和磷酸吡哆胺是转氨酶的辅酶,是由维生素 B_6 中的吡哆醛和吡哆胺形成的。