

植物生理学

全国高等农林专科统编教材

裴保华 主编

中国林业出版社



出版说明

高等农林专科教育是高等农林教育体系中一个相对独立、不可缺少的层次。

我国高等农林专科教育，自进入80年代以来，有了长足发展，在校人数迅速增加，为适应发展的需要，改变教学多年来一直借用本科教材的局面，建设具有农林专科教育特色的教材体系。经国家教委批准，于1986年7月成立全国高等农林专科基础课程教材委员会，并在全国高等农林专科教育研究协作组制定的农林专科生培养基本要求和部分专业教学计划以及课程教学基本要求的基础上，首批组织统编了49门教材。

本批教材力求体现农林专科生培养基本要求，突出应用性，加强实践性，强调针对性，注意灵活性，遵循教学规律，具有科学性、系统性，由浅入深，循序渐进，理论联系实际，既具有广泛的适应性，又具有先进性和时代特征。

这批教材在适用农林专科教育的修业年限上，兼顾了二、三年制的需要，同时可供电大、函授等专科教育和中等专业学校教师，以及有关科技人员参考。

这批教材的编审出版是在国家教委高教司直接领导下进行的，并得到农业出版社、高等教育出版社、中国林业出版社、四川科学技术出版社、广西科学技术出版社、东北林业大学出版社的通力合作与大力支持，在此深致谢意。

本教材的编审出版，不仅是为了解决部分课程教学所用教材的有无问题，而更重要的是在新的历史条件下，为建设具有高等农林专科教育特色的教材体系探索路子，试图提供一些有益的尝试，故缺点错误在所难免，恳望各校在使用过程中提出宝贵意见，以便再版时作进一步修改。

全国高等农林专科基础课程

教材委员会

1990年

前 言

本书是在国家教育委员会领导下，由全国高等农林专科教材委员会组织编写的。编写过程中学习了有关专科生培养目标和基本培养规格，植物生理学课程教学基本要求，林学类专科各专业教学计划等有关文件。根据文件精神，按照总学时70—80，其中讲授50—55学时，实验20—25学时的要求，由主编拟定编写提纲，经编写组讨论修改后，分工编写。

植物生理学是研究植物生命活动规律的基础理论学科，是林学类各专业的专业基础课程。本教材尽力做到联系木本植物阐述植物生理学基本理论，适当反映本学科的发展。考虑到林学类专业不开设生物化学课程，将本书第一章定为植物细胞的生物化学基础，介绍植物细胞的化学成分、酶、植物细胞中主要有机物质的合成和降解、植物细胞的膜系统。把一般植物生理学教材中的有机物的转化和运输，分散到第一章和光合作用章中介绍。其余内容按照代谢生理、生长发育生理和抗逆性生理的体系安排了有关章节。为了便于学习，每章后面有小结和复习思考题。书中选编了14个实验，大部为必做的实验。

本书绪论、第三、四、八章由裴保华编写，第一章由洪铁宝编写，第六、七章由郑均宇编写，第二、五章由陈先声编写，第九章由刘恩举编写。实验部分由裴、陈、郑分工编写。由于我们的水平有限，热诚欢迎教者和读者对本教材中的缺点、错误批评指正。

编 者

1989年12月31日

目 录

绪 论.....	(1)
一、植物生理学的研究对象.....	(1)
二、植物生理学的任务.....	(1)
三、植物生理学的发展.....	(2)
第一章 植物细胞的生物化学基础.....	(4)
第一节 植物细胞的化学成分.....	(4)
一、糖 类.....	(4)
二、蛋白质.....	(7)
三、核 酸.....	(15)
四、脂 类.....	(21)
第二节 酶.....	(26)
一、酶的概念.....	(26)
二、酶的催化性质.....	(31)
三、影响酶催化作用的因素.....	(33)
四、酶的作用机理.....	(35)
第三节 植物细胞中主要有机物质的合成和降解.....	(39)
一、糖类的合成和降解.....	(39)
二、脂类的合成和降解.....	(42)
三、核酸的合成和降解.....	(50)
四、蛋白质的合成和降解.....	(57)
第四节 植物细胞的膜系统.....	(64)
一、生物膜的成分.....	(65)
二、生物膜的结构.....	(65)
第二章 光合作用.....	(74)
第一节 光合作用的一般概念.....	(74)
一、光合作用的定义.....	(74)
二、光合作用的重要性.....	(74)
第二节 叶绿体和叶绿体色素.....	(75)
一、叶绿体的结构和成分.....	(75)
二、叶绿体色素.....	(76)
第三节 光合作用的光反应.....	(80)
一、原初反应.....	(80)
二、电子传递和光合磷酸化.....	(83)
第四节 二氧化碳的固定和还原.....	(86)
一、卡尔文循环.....	(86)
二、C ₄ 途径.....	(91)

三、景天酸代谢途径(CAM途径).....	(94)
四、光呼吸.....	(94)
第五节 同化物的运输和分配.....	(97)
一、同化物运输的途径.....	(97)
二、同化物运输的机理.....	(99)
三、植物体内同化物的分配.....	(101)
第六节 影响光合作用的因素.....	(103)
一、植物的光合速率.....	(103)
二、影响光合作用的外界条件.....	(103)
三、影响光合作用的内部条件.....	(109)
第三章 植物的呼吸作用.....	(111)
第一节 呼吸作用的类型和意义.....	(111)
一、呼吸作用的类型.....	(111)
二、呼吸作用的生理意义.....	(111)
三、呼吸作用的指标.....	(112)
第二节 呼吸作用中糖的分解途径.....	(113)
一、糖酵解(简称EMP).....	(113)
二、三羧酸循环(简称TCA).....	(115)
三、戊糖磷酸途径(简称PPP).....	(117)
第三节 电子传递链和氧化磷酸化.....	(119)
一、电子传递链(呼吸链).....	(119)
二、氧化磷酸化作用.....	(120)
三、有氧呼吸的能量转化.....	(122)
四、呼吸酶在细胞中的位置.....	(123)
五、呼吸过程中的末端氧化酶.....	(123)
第四节 影响呼吸作用的因素.....	(125)
一、内部因素.....	(125)
二、外界条件.....	(126)
第四章 植物的水分代谢.....	(128)
第一节 水在植物生活中的重要性.....	(128)
一、植物体内的水分.....	(128)
二、水的生理生态作用.....	(129)
第二节 植物细胞对水分的吸收.....	(129)
一、水势.....	(129)
二、植物细胞的渗透作用.....	(131)
三、植物细胞的水势.....	(132)
四、植物细胞间的水分移动.....	(134)
第三节 植物根系对水分的吸收.....	(135)
一、根系吸水的区域.....	(135)
二、根吸水的机理.....	(135)
三、影响根系吸水的土壤条件.....	(137)
第四节 植物的蒸腾作用.....	(138)
一、蒸腾作用的部位和指标.....	(138)

二、气孔蒸腾.....	(139)
三、影响蒸腾作用的因子.....	(141)
第五节 植物体内水分的运输.....	(142)
一、水分运输的途径和速率.....	(142)
二、水沿导管上升的动力.....	(143)
第五章 植物的矿质和氮素营养.....	(146)
第一节 植物的必需元素及其生理作用.....	(146)
一、植物体内的元素.....	(146)
二、植物必需元素的生理作用.....	(148)
第二节 植物对矿质元素的吸收和运输.....	(153)
一、植物细胞对矿质元素的吸收.....	(153)
二、植物根系对矿质元素的吸收.....	(156)
三、影响根系吸收矿质元素的因素.....	(158)
四、植物地上部对矿质元素的吸收.....	(160)
五、矿质元素在植物体内的运输和再利用.....	(160)
第三节 植物的氮素营养.....	(162)
一、硝酸盐的还原.....	(163)
二、氮的同化.....	(164)
三、生物固氮——游离氮素同化.....	(164)
第六章 植物激素和植物生长调节剂.....	(168)
第一节 生长素类.....	(168)
一、生长素的发现.....	(168)
二、生长素在植物体内的分布与运输.....	(170)
三、生长素的生物合成钝化与降解.....	(171)
四、生长素对生长的促进与抑制作用.....	(172)
五、人工合成类似生长素及其应用.....	(173)
第二节 赤霉素类.....	(174)
一、赤霉素的结构、分布及运输.....	(175)
二、赤霉素的生理效应及其应用.....	(176)
第三节 细胞分裂素类.....	(177)
一、细胞分裂素的存在及运输.....	(177)
二、细胞分裂素的生理效应.....	(179)
第四节 脱落酸.....	(180)
一、脱落酸的结构及其在植物体内的分布.....	(181)
二、脱落酸的生理效应.....	(181)
第五节 乙烯.....	(182)
一、乙烯成为公认的植物激素的历史.....	(182)
二、乙烯的生理效应及应用.....	(183)
第六节 植物激素作用的基本特点.....	(184)
一、植物激素与植物的表现行为.....	(184)
二、植物激素的信使作用及其对基本生理过程的影响.....	(186)
三、植物激素的相互作用.....	(188)
四、关于植物激素受体.....	(191)

第七节 人工合成的生长抑制剂	(192)
一、生长抑制剂	(192)
二、生长延缓剂	(194)
第七章 植物营养生长与营养繁殖生理	(197)
第一节 种子休眠与萌发	(197)
一、种子的休眠	(197)
二、种子的萌发	(201)
第二节 植物的生长	(206)
一、芽的休眠与解除	(206)
二、植物生长发育的概念和生长分析	(207)
三、植物生长的季节和昼夜周期	(210)
四、近似昼夜节律——生物钟	(211)
五、植物生长的相关和极性	(212)
六、外界条件对生长的影响	(214)
第三节 植物营养繁殖生理	(217)
一、插条繁殖生理	(218)
二、嫁接生理	(220)
三、组织培养	(223)
第八章 植物的生殖、衰老和脱落	(229)
第一节 外界条件对花的诱导	(228)
一、花前成熟	(228)
二、低温和花的发端	(228)
三、光周期和花的发端	(231)
四、关于木本植物的成花问题	(236)
第二节 授粉和受精	(237)
一、花粉生活力和花粉萌发	(237)
二、受精作用	(238)
三、单性结实	(239)
第三节 种子和果实的生长发育	(240)
一、种子发育过程中的生理生化变化	(240)
二、果实的生长发育	(242)
第四节 衰老和脱落	(245)
一、植物的衰老	(245)
二、器官的脱落	(246)
第九章 植物的抗逆性生理	(250)
第一节 植物的抗寒性	(250)
一、冷害	(250)
二、冻害	(251)
第二节 植物的抗旱性和抗涝性	(253)
一、植物的抗旱性	(253)
二、植物的抗涝性	(258)
第三节 植物的盐害及抗盐性	(258)

一、盐分过多对植物的危害	(258)
二、提高植物的抗盐性	(259)
第四节 植物对大气污染的抗性	(260)
一、大气污染对植物的危害	(261)
二、提高植物抗大气污染的途径	(263)
实 验	(266)
实验一 温度、pH 对淀粉酶活性的影响	(266)
实验二 叶绿体色素的提取、分离、理化性质和含量测定	(267)
实验三 改良半叶法测定光合速率	(269)
实验四 植物呼吸速率测定	(270)
实验五 小液流法测定植物组织的水势	(273)
实验六 蒸腾速率测定	(274)
实验七 气孔运动的观察	(274)
实验八 质壁分离法测定细胞渗透势	(275)
实验九 植物溶液培养和缺乏必需元素的症状(示范)	(278)
实验十 植物根系体积及活力测定	(278)
实验十一 植物组织中还原糖的测定(索姆基法)	(280)
实验十二 氨基酸的分离、鉴定(纸层析法)	(281)
实验十三 生长素对根、茎生长的不同影响	(282)
实验十四 用电导仪测定逆境对植物细胞透性的影响	(283)

绪 论

一、植物生理学的研究对象

植物生理学是研究植物生命活动规律的基础理论学科，它的主要研究对象是与人类关系最密切的高等植物。

具体说，植物生理学研究的对象是植物体内进行的各种生理过程，研究生理过程运转的生物物理和生物化学变化，研究这些变化与环境条件的关系以及与植物自身生长发育的关系。

一粒种子在适宜的土壤、气候条件下开始萌发，长成植株，开花结实，最后衰老死亡。在这一系列的生长发育过程中，植物与环境建立起密切的联系，并在体内进行着复杂的代谢变化。植物通过根系吸收水分，通过叶子等绿色组织吸收光能和 CO_2 ，在叶内把这些简单的无机物合成有机物，这就是光合作用。这些光合产物在呼吸作用的推动下，运输到各个器官，与根系吸收的氮素和矿质元素进一步转化、合成蛋白质、核酸等复杂有机物，用于根茎叶的生长，供应开花结实，完成生命周期。由此可见，植物的生命活动表现在水分代谢、氮素和矿质营养、光合作用、呼吸作用和物质转化与运输等过程中，表现在与这些代谢作用协调的生长发育过程中。这些代谢过程是植物生长发育的基础，而生长发育则是各种代谢过程的综合表现。

根据林学类专科培养目标和教学计划的要求，本书的基本内容可概括为四部分：细胞的生物化学基础、代谢生理、生长发育和逆境生理。

二、植物生理学的任务

植物生理学是一门重要的基础理论学科，在生物科学发展中，它的任务是利用现代的技术方法，吸收有关学科的理论成果，研究和揭示植物生命活动的规律，为进一步控制植物生长发育和品种改良提供理论和技术。从农林生产考虑，植物生理学应面向农林业生产，面向生态环境治理事业，充分利用并发展现有的理论和技术，与其它有关学科配合，为解决粮食、能源和生态环境治理等重大的世界性问题发挥作用，把对生命活动规律的认识变为改造客观世界的有力武器。

提高农林产品产量，改善产品质量需要从栽培措施、良种选育等几方面入手。在森林营造、农林间作、规范化栽培和设施农业等研究中，都必然涉及到植物的新陈代谢、生长发育与环境条件和栽培措施的关系。所以，植物生理学是发展与完善栽培技术的理论基础。品种改良和良种繁育是农林科学中倍受重视，发展迅速，成绩卓著的领域，植物生理学的理论和技术已经融合到这个综合性的研究中，在亲本选择、育种技术、子代鉴定、种质保存、无性系林业等许多方面承担重任。从理论上讲，根据绿色植物光合作用原理，模拟生物放 H_2 是一项具有吸引力的开发新能源的重要研究课题。

由此可见,作为一个林学类专业技术人员,应当掌握植物生理学理论和实验技术,并在专业学习和实践中应用和发展它。

三、植物生理学的发展

(一)植物生理学的诞生 植物生理学是随着生产力的发展和基础学科的发展而诞生并发展起来的。我国古代劳动人民在农业生产中总结出许多与植物生理学有关的经验,例如豆类植物与禾谷类植物的轮作法、粪种法(用粪水浸泡种子)、七九闷麦法(即春化法)等。古罗马人已使用动物粪便和石灰、石膏等作肥料,也知道绿肥的作用。植物生理学研究揭示了这些生产经验的理论依据。

科学的植物生理研究始于16—17世纪,当时受文艺复兴哲学思想的影响,使人们从神学观念的束缚中解放出来,开始重视物质世界的研究。这时自然科学和应用技术都有了一定的进步,农业的发展,要求回答许多植物生理问题。例如,植物的营养问题,即建造植物躯体的物质来源问题,成为许多科学家探讨的中心。1629年荷兰人凡·海尔蒙特(Van Helmont)把一根重2.3kg的柳树枝条扦插在盛有136.1kg土壤的桶里,只给它浇雨水。5年后,柳树增长到169kg,而土壤重量只减轻不到76g。因此他认为构成植物体的物质不是来源于土壤,而是来源于水。虽然他的结论不完全正确,但他是第一个用实验方法来研究植物营养物质来源的人。1699年,英国的伍德沃特(J. Woodward)用雨水、河水、山泉水、混有花园泥土的水培养薄荷,结果在混有泥土的水中生长的植株最好。因此,他认为构成植物体的营养物质,不仅有水而且还有土壤中的一些物质。

18世纪英国化学家普利斯特利(J. Priestley)发现了氧气,1779年他观察到老鼠在密闭的玻璃钟罩内不久就会死亡,如果在钟罩内同时放入绿色植物(薄荷),就可以延长老鼠的生命。因此,他提出绿色植物能净化被动物“污染”的空气。同时,荷兰科学家英根浩兹(J. Ingenhousz)进一步发现,植物只有在日光下才能净化空气,而且局限于绿色部分。他们的工作不仅证实了光合作用的存在,而且也发现了呼吸作用,但这些问题当时并未得到正确的认识。

19世纪随着物理学和化学理论和技术的发展,促进了植物生理学研究工作。1804年德·索苏尔(de Saussure)在《对植物的化学分析》一书中,根据精密设计的定量分析,正确指出水参与光合作用,植物不能利用空气中的氮素,必须供给植物硝酸盐作为氮源。1840年德国化学家李比希(J. Von Liebig)在它的《有机化学在农业和生理学上的应用》一书中,根据植物灰分析的结果,认为植物体内的碳素是从大气中获得的,提出要向土壤中归还营养元素,为施用化肥提供了理论依据。1859年克诺普(Knop)和费弗尔(Pfeffer)成功地使植物在已知的溶液中生长期,并且开花结实,为植物矿质营养理论研究做出重大贡献。

19世纪后半期是植物生理学飞速发展的时期。能量守恒和转换定律的发表,细胞学说的建立以及达尔文(Darwin)《物种起源》一书的出版,为植物生理学发展奠定了基础。费弗尔和范特·霍夫(Van't Hoff)研究了细胞渗透现象,提出了关于渗透的理论。1845年,罗伯特·迈尔(Robert Meyer)确定了光合作用服从能量守恒与转换定律。19世纪60年代俄国植物生理学家季米里亚捷夫(Timiriazev)设计了精密仪器,研究叶绿素吸收光谱,证明光合作用利用的光能正是叶绿素吸收的光能,他用实验证明了光合作用遵从能量守恒与转换定律。俄国科学家巴赫(Bach)、巴拉琴(Palladin)和科斯梯切夫(Kostychev)对呼吸作用的研究,确认

呼吸作用所释放的能量来自呼吸底物所贮藏的能量,呼吸作用是一种“生物燃烧”。

总之,19世纪后半期,人们对植物生命活动中的物质转化、能量转化和形态建成等方面的研究都取得了重要成果。1882年萨克斯(Sachs)著的《植物生理学讲义》和随后费弗尔著的《植物生理学》相继问世,这时,植物生理学已成为一门独立的学科。

(二)植物生理学的发展 20世纪初期,随着科学的发展,一些原属植物生理学的内容,逐渐成为独立的新学科。如植物营养与土壤营养和施肥相结合,形成农业化学;菌根、生物固氮等成为微生物学的研究对象。特别是30年代以后,生物化学得到突飞猛进的发展,植物生理学的核心部分——代谢生理,成为植物生物化学的重要研究内容。这一阶段植物生理学偏重于个体生理与环境关系的研究,在基础理论研究上处于低潮。

20世纪50年代以来,生物化学、生物物理学、分子生物学等新兴学科的理论成果和研究技术促使植物生理学取得惊人的进步。例如,用 ^{14}C 示踪和层析技术揭开了光合作用中 CO_2 固定和还原之谜; C_3 、 C_4 、CAM途径与光呼吸的发现以及光合作用原初反应的研究等,把光合作用的研究推向崭新阶段。细胞结构与功能,细胞内部代谢反应的分工,植物细胞的全能性,离子吸收与运输,同化物的运输与分配,土壤——植物——大气连续体系概念的建立等方面的研究修正和发展了早期植物生理学的理论结论,使植物生理学步入现代科学水平。70年代植物生态生理学的发展,使植物生理学又走向宏观世界。因此,现代植物生理学的研究范围是从微观到宏观,在分子、细胞、器官和整体、群体四个不同水平上发展着。

第一章 植物细胞的生物化学基础

第一节 植物细胞的化学成分

一、糖 类

几乎所有的糖类其基本组成元素C、H、O的比值符合 $C_6H_{12}O_6$ 之比，所以，糖类通常也称为碳水化合物。但严格来讲，将二者等同起来是不恰当的，因为，鼠李糖($C_6H_{12}O_5$)、脱氧核糖($C_5H_{10}O_4$)等糖类，并不符合 $C_6H_{12}O_6$ 之比，而甲醛($HCHO$)、醋酸(CH_3COOH)等非糖类有机化合物却符合 $C_6H_{12}O_6$ 之比。

(一)植物体中糖的种类 从化学结构看，糖是一类多羟醛或多羟酮。按其结构特点，植物体中的糖有三大类。

1.单糖 简单的多羟醛或多羟酮，水解后不能产生更小的糖单位。

2.聚糖 由两个或两个以上相同或不同的单糖分子缩合去水形成的糖类。聚糖可分为低聚糖(寡糖)和高聚糖(多糖)两类。

3.糖的衍生物 糖的氧化产物(糖醛酸)、还原产物(糖醇)、氨基化产物(氨基糖)、磷酸化产物(糖的磷酸酯)、糖苷和脱氧(单)糖。

(二)糖在植物体中的作用 从细菌到高等植物的体内都含有糖类物质，以高等植物体中糖的含量最丰富，约占干重的85—90%，是光合作用的直接、间接产物。糖在植物体内的作用可以概括成以下四个方面。

1.糖类是合成植物体内各种重要物质的原料 蛋白质、核酸、脂类分子的碳架都是由糖类转化而来的。

2.糖类可以供作能源 呼吸作用的直接底物为糖，经过氧化磷酸化作用，为生命活动提供了能源。蛋白质、脂类也可以转化成糖，再做为呼吸底物氧化降解得到能量。

3.糖类可以充当结构物质 植物细胞壁的主要成分纤维素、半纤维素、果胶物质，都属于多糖。细菌的外壁主要是由胞壁质和磷壁质组成，是一类氨基多糖。

4.糖类是生物膜的组成部分 糖蛋白、糖脂具有特异的“识别”功能。如花粉的外壁存在着“识别”蛋白，是一种糖蛋白。细菌的外壁在其肽聚糖长链的末端带有不同种类的糖单位，是细菌表现出抗原性的功能基因。

(三)单糖

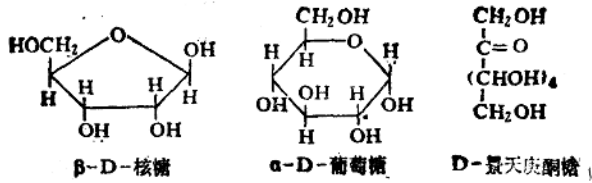
1.植物体中的主要单糖 植物体中单糖的种类很多，从丙糖至庚糖在体内都有发现。其中主要单糖有三类，即戊糖、己糖和庚糖，它们的磷酸酯是糖代谢的重要中间产物。现分别举例如下：

(1)戊糖 高等植物体中有三种重要的戊糖，即D-核糖、D-木糖和L-阿拉伯糖。

(2)己糖 高等植物体中最普遍存在的己糖有四种，即D-葡萄糖、D-果糖、D-半乳糖

和D-甘露糖。

(3) 庚糖 常见的是D-景天庚酮糖和D-甘露庚酮糖。



2. 单糖的衍生物 植物体中单糖的衍生物主要有五类。

(1) 单糖的氧化产物 糖醛酸是糖代谢中戊糖支路的中间产物，如葡萄糖酸-6-磷酸。

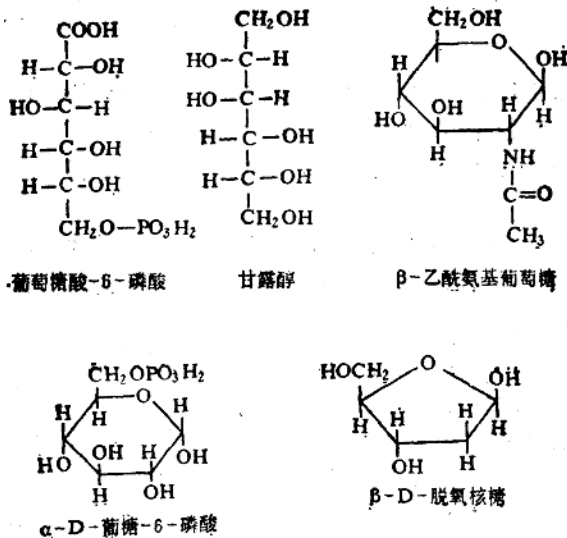
(2) 单糖的还原产物 主要有甘露醇和山梨醇。

(3) 单糖的氨基化产物 乙酰氨基葡萄糖和乙酰氨基半乳糖是肽聚糖及糖蛋白的基本成分。

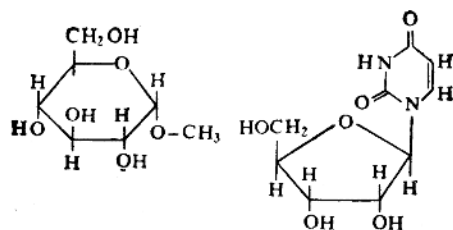
(4) 单糖的磷酸化产物 植物体内的单糖多以其磷酸酯的形式参加代谢，常见的有葡萄糖-1-磷酸、葡萄糖-6-磷酸、果糖-6-磷酸、果糖-1, 6-二磷酸、核酮糖-5-磷酸、核酮糖-1, 5-二磷酸等，此外，还有甘油醛-3-磷酸、羟基丙酮磷酸、赤藓糖-4-磷酸及景天庚糖-7-磷酸、景天庚酮糖-1, 7-二磷酸等，它们都是呼吸作用及光合作用的重要中间产物。

(5) 脱氧单糖 2-脱氧核糖是DNA的基本组成成分。

单糖衍生物的分子结构举例如下：

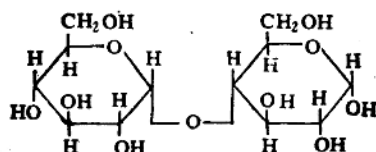


3. 糖苷 糖苷是单糖的半缩醛羟基与糖或非糖物质结合形成的化合物。自然界的糖苷有两类，即O-糖苷及N-糖苷，其结构举例如下：



α -甲基葡萄糖 (O-糖苷) 尿嘧啶核苷 (N-糖苷)

(四)低聚糖(寡糖) 指的是由2—10个单糖单位缩合去水形成的糖。植物体内的低聚糖主要是二糖、三糖和四糖。常见的二糖有蔗糖、麦芽糖、乳糖、纤维二糖、龙胆二糖、蜜二糖和海藻二糖。三糖有棉籽糖。四糖有水苏糖。低聚糖结构的描述方式有两种,一种是结构式,一种是简化式或表达式。分别举例如下:如麦芽糖,其结构式为



麦芽糖 (葡萄糖- α -1,4-葡萄糖苷)

其简化式为: α -葡萄糖(1,4)- α -葡萄糖。

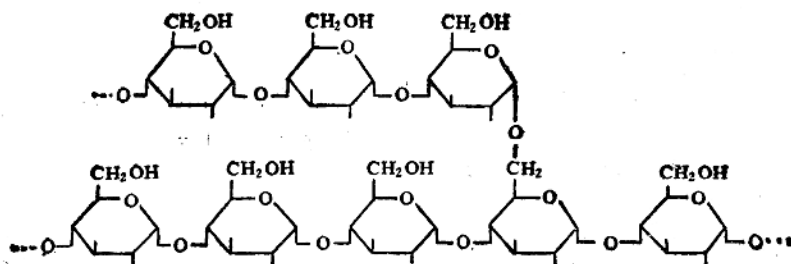
(五)高聚糖(多糖) 指的是由10个以上单糖单位缩合去水形成的糖。植物体中的多糖有两大类:一类是由相同的单糖分子形成的多糖,叫纯多糖;一类是由两种或两种以上单糖分子形成的多糖,叫杂多糖。杂多糖常和蛋白质、脂类结合,也称结合糖。

1. 纯多糖

(1)淀粉 大多数植物贮藏淀粉。淀粉有两种类型——直链淀粉和支链淀粉。

直链淀粉是由许多 α -葡萄糖缩合去水,以1,4-糖苷键连成的直链,通常由200个以上的葡萄糖单位组成。糖分子呈螺旋状排列,每6个葡萄糖单位为一周期。溶于热水,以碘液处理产生蓝色。

支链淀粉也是由许多 α -葡萄糖单位组成,但除1,4-糖苷键连成的直链外,还有以1,6-糖苷键连成的分枝。通常有1000个以上的葡萄糖单位。支链长度约20个葡萄糖单位。不溶于水,以碘液处理产生紫色。



支链淀粉

(2) 纤维素 是构成植物骨架的多糖, 细胞壁中纤维素约占一半。是由 β -葡萄糖以1, 4-糖苷键连成的长链, 无分枝。

2. 杂多糖

(1) 半纤维素 是植物细胞初生壁的主要结构物质, 也可以做为贮藏物质存在于根中及某些种子的胚乳细胞中, 水解后可以得到许多己糖和戊糖, 所以, 半纤维素是多缩己糖和多缩戊糖的杂多糖。半纤维素有三种, 即木聚糖、葡萄糖-甘露糖聚糖和半乳糖聚糖。

木聚糖是由许多 β -木糖以1, 4-糖苷键连成的长链, 也称多缩木糖。在木聚糖的主链上往往有阿拉伯糖、葡萄糖酸、半乳糖等以1, 2或1, 3-糖苷键连成的分枝。

葡萄糖-甘露糖聚糖是由许多 β -葡萄糖和 β -甘露糖以1, 4-糖苷键连成的长链, 在其主链上有半乳糖以1, 6-糖苷键连成的分枝。

半乳糖聚糖是由许多 β -半乳糖以1, 3-糖苷键连成的长链, 也称多缩半乳糖。在其主链上有阿拉伯糖或其它单糖以1, 6-糖苷键连成的分枝。

(2) 菊糖 是菊科植物及某些禾本科牧草的贮藏物质, 是由许多 β -果糖以1, 2-糖苷键连成的长链, 在其末端或链中还有以1, 2-糖苷键连接的葡萄糖。由于菊糖的聚合程度较低, 一般只有35个左右的果糖单位, 所以, 易溶于水。

(3) 果胶物质 是植物细胞初生壁及胞间层的主要结构物质, 是糖醛酸的聚合物。果胶物质有三种, 即果胶酸、果胶酯酸及原果胶。

果胶酸 是由许多 α -半乳糖醛酸以1, 4-糖苷键连成的长链。易溶于水。与 Ca^{++} 、 Mg^{++} 形成不溶于水的果胶酸复盐, 组成了细胞的胞间层。它是细胞与细胞间的粘合物, 某些微生物如白菜软腐病菌能分泌分解果胶酸盐的酶, 使细胞与细胞分开。植物器官的脱落也是由于胞间层中果胶酸的分解。

果胶酯酸 是由许多 α -半乳糖醛酸甲酯以1, 4-糖苷键连成的长链。易溶于水。一般把酯化程度低(约5%以下)的仍称为果胶酸, 酯化程度高的才称为果胶酯酸。果胶酯酸(酯化程度在45%左右)在饱和糖溶液中及酸性条件下(pH3.1—3.5)形成凝胶, 为制糖果、果酱等重要物质的原料。

原果胶 不溶于水, 主要存在于薄壁细胞及分生组织细胞的细胞壁中, 苹果和柑桔皮最富含原果胶, 其结构尚不清楚。在水果成熟过程中, 原果胶和果胶酸盐在酶的作用下使两者由不溶态变成可溶态, 从而使水果由硬变软。

二、蛋白质

蛋白质是生物体的重要组成物质, 在生命活动中占有特殊的地位, 是生命现象的物质基础。近年来由于各种分析技术的发展, 对蛋白质结构与功能的研究已深入到分子水平, 成为分子生物学的重要内容。

(一) 蛋白质的元素组成和结构组成

1. 蛋白质的元素组成 C、H、O、N是蛋白质的基本组成元素, 是任何种类蛋白质所共有的。有些蛋白质还含有其它元素, 如P、Fe、Mg、Zn等。在其基本的组成元素中, N的含量比较稳定, 约占蛋白质总量的16%, 人们可以通过测定N的含量来计算蛋白质的含量。

$$\text{蛋白质含量} = \text{蛋白-N含量} \times 6.25$$

2. 蛋白质的结构组成 蛋白质可被酸、碱或酶水解, 在水解过程中蛋白质逐渐降解成短

链的肽，再逐渐降解成三肽、二肽等越来越小的碎片，最后形成各种氨基酸。所以，氨基酸是构成蛋白质的最小结构单位。

(二)氨基酸 从氨基酸的结构看，除脯氨酸外，在其 α -碳原子上都有一个自由的羧基、一个自由的氨基和一个特殊的R基团。它们都属于 α -氨基酸。通式为



1. 氨基酸的种类 水解天然蛋白质共得到20种氨基酸。根据其R基团结构和性质的不同分成四类，见表1—1至表1—4。

除表中20种氨基酸外，还从一些蛋白质中分离出几种氨基酸，如从胶原蛋白中分离出的4-(OH)-脯氨酸、5-(OH)-赖氨酸；从纤维蛋白、烟草细胞壁的糖蛋白中分离出的4-(OH)-脯氨酸，称为稀有氨基酸。从遗传学的观点看，蛋白质中稀有氨基酸的种类不会很多。因为，这些稀有氨基酸没有相应的DNA为它们编码，它们都是正常氨基酸(脯氨酸、赖氨酸)的衍生物。此外，在细胞或组织中还发现很多游离态的氨基酸，它们有些不是蛋白质的组成成分，称为非蛋白氨基酸。目前，在植物体中已发现这类氨基酸有200多种。

2. 氨基酸的性质

(1) 氨基酸的旋光性 从氨基酸的通式结构 $\text{R}-\text{CH}-\text{COOH}$ 看，除甘氨酸外都具有不对称碳原子，故都具有立体异构体和旋光性。从蛋白质水解得到的天然氨基酸几乎都是L的。氨基酸的旋光方向及旋光度的大小，取决于其R基团的性质和所处的介质pH值。

表1—1 R基团不具有极性的氨基酸

种类	结构	种类	结构
丙氨酸 (Ala)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	脯氨酸 (Pro)	$\begin{array}{c} \text{H}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{N}-\text{H} \end{array}$
缬氨酸 (Val)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	苯丙氨酸 (Phe)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
亮氨酸 (Leu)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	色氨酸 (Try)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{N}-\text{H} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
异亮氨酸 (Ile)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	蛋氨酸 (Met) (甲硫氨酸)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$

表 1-2 R基团具有极性, 不带电荷的氨基酸

种类	结构	种类	结构
甘氨酸 (Gly)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	酪氨酸 (Tyr)	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
丝氨酸 (Ser)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	天冬酰胺 (Asn)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
苏氨酸 (Thr)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	谷氨酰胺 (Gln)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
半胱氨酸 (Cys)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HS}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$		

表 1-3 R基团带正电荷的氨基酸

种类	结构	种类	结构
赖氨酸 (Lys)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	组氨酸 (His)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{H} \end{array}$
精氨酸 (Arg)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{NH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$		

表 1-4 R基团带负电荷的氨基酸

种类	结构	种类	结构
天门冬氨酸 (Asp)	$\begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	谷氨酸 (Glu)	$\begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$