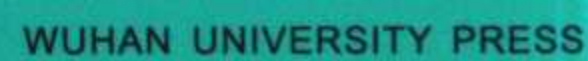


马铃薯淀粉加工技术

主 编 王英

副主编 赵明



武汉大学出版社



马铃薯科学与技术丛书

TS2
1178

马铃薯淀粉加工技术

主 编 王英

副主编 赵明



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

马铃薯科学与技术丛书

总 主 编: 杨 声

副总主编: 韩黎明 刘大江

编委会:

主 任: 杨 声

副主任: 韩黎明 刘大江 屠伯荣

委 员 (排名不分先后):

王 英	车树理	安志刚	刘大江	刘凤霞	刘玲玲
刘淑梅	李润红	杨 声	杨文玺	陈亚兰	陈 鑫
张尚智	贺莉萍	胡朝阳	禹娟红	郑 明	武 睿
赵 明	赵 芳	党雄英	原霁虹	高 娜	屠伯荣
童 丹	韩黎明				

图书在版编目(CIP)数据

马铃薯淀粉加工技术/王英主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2016. 4
马铃薯科学与技术丛书
ISBN 978-7-307-17260-9

I. 马… II. 王… III. 马铃薯—薯类淀粉—食品加工 IV. TS235.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 281233 号

责任编辑: 谢文涛 责任校对: 李孟潇 版式设计: 马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北民政印刷厂

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 15.75 字数: 385 千字 插页: 1

版次: 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-17260-9 定价: 32.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

总 序

马铃薯是全球仅次于小麦、水稻和玉米的第四大主要粮食作物。它的人工栽培历史最早可追溯到公元前 8 世纪到 5 世纪的南美地区。大约在 17 世纪中期引入我国，到 19 世纪已在我国很多地方落地生根，目前全国种植面积约 500 万公顷，总产量 9000 万吨，中国已成为世界上最大的马铃薯生产国之一。中国人对马铃薯具有深厚的感情，在漫长的传统农耕时代，马铃薯作为赖以果腹的主要粮食作物，使无数中国人受益。而今，马铃薯又以其丰富的营养价值，成为中国饮食烹饪文化不可或缺的部分。马铃薯产业已是当今世界最具发展前景的朝阳产业之一。

在中国，一个以“苦瘠甲于天下”的地方与马铃薯结下了无法割舍的机缘，它就是地处黄土高原腹地的甘肃定西。定西市是中国农学会命名的“中国马铃薯之乡”，得天独厚的地理环境和自然条件使其成为中国乃至世界马铃薯最佳适种区，其马铃薯产量和质量在全国均处于一流水平。20 世纪 90 年代，当地政府调整农业产业结构，大力实施“洋芋工程”，扩大马铃薯种植面积，不仅解决了温饱问题，而且增加了农民收入。进入 21 世纪以来，定西市实施打造“中国薯都”战略，加快产业升级，马铃薯产业成为带动经济增长、推动富民强市、影响辐射全国、迈向世界的新兴产业。马铃薯是定西市享誉全国的一张亮丽名片。目前，定西市是全国马铃薯三大主产区之一，建成了全国最大的脱毒种薯繁育基地、全国重要的商品薯生产基地和薯制品加工基地。自 1996 年以来，定西市马铃薯产业已经跨越了自给自足，走过了规模扩张和产业培育两大阶段，目前正在加速向“中国薯都”新阶段迈进。近 20 年来，定西马铃薯种植面积由 100 万亩发展到 300 多万亩，总产量由不足 100 万吨提高到 500 万吨以上；发展过程由“洋芋工程”提升为“产业开发”；地域品牌由“中国马铃薯之乡”正向“中国薯都”嬗变；功能效用由解决农民基本温饱跃升为繁荣城乡经济的特色支柱产业。

2011 年，我受组织委派，有幸来到定西师范高等专科学校任职。定西师范高等专科学校作为一所师范类专科院校，适逢国家提出师范教育由二级（专科、本科）向一级（本科）过渡，这种专科层次的师范学校必将退出历史舞台，学校面临调整转型、谋求生存的巨大挑战。我们在谋划学校未来发展蓝图和方略时清醒地认识到，作为一所地方高校，必须以瞄准当地支柱产业为切入点，从服务区域经济发展的高度科学定位自身的办学方向，为地方社会经济发展积极培养合格人才，主动为地方经济建设服务。学校通过认真研究论证，认为马铃薯作为定西市第一大支柱产业，在产量和数量方面已经奠定了在全国范围内的“薯都”地位，但是科技含量的不足与精深加工的落后必然影响到产业链的升级。而实现马铃薯产业从规模扩张向质量效益提升的转变，从初级加工向精深加工、循环利用转变，必须依赖于科技和人才的支持。基于学校现有的教学资源、师资力量、实验设施和管理水平等优势，不仅在打造“中国薯都”上应该有所作为，而且一定会大有作为。因此提

出了在我校创办“马铃薯生产加工”专业的设想，并获申办成功，在全国高校尚属首创。我校自 2011 年申办成功“马铃薯生产加工”专业以来，已经实现了连续 3 届招生，担任教学任务的教师下田地，进企业，查资料，自编教材、讲义，开展了比较系统的良种繁育、规模化种植、配方施肥、病虫害综合防治、全程机械化作业、精深加工等方面的教学，积累了比较丰富的教学经验，第一届学生已经完成学业走向社会，我校“马铃薯生产加工”专业建设已经趋于完善和成熟。

这套“马铃薯科学与技术丛书”就是我们在开展“马铃薯生产加工”专业建设和教学过程中结出的丰硕成果，它凝聚了老师们四年来的辛勤探索和超群智慧。丛书系统阐述了马铃薯从种植到加工、从产品到产业的基本原理和技术，全面介绍了马铃薯的起源与栽培历史、生物学特性、优良品种和脱毒种薯繁育、栽培育种、病虫害防治、资源化利用、质量检测、仓储运销技术，既有实践经验和实用技术的推广，又有文化传承和理论上的创新。在编写过程中，一是突出实用性，在理论指导的前提下，尽量针对生产需要选择内容，传递信息，讲解方法，突出实用技术的传授；二是突出引导性，尽量选择来自生产一线的成功经验和鲜活案例，引导读者和学生在阅读、分析的过程中获得启迪与发现；三是突出文化传承，将马铃薯文化资源通过应用技术的嫁接和科学方法的渗透为马铃薯产业创新服务，力图以文化的凝聚力、渗透力和辐射力增强马铃薯产业的人文影响力和核心竞争力，以期实现马铃薯产业发展与马铃薯产业文化的良性互动。

本套丛书在编写过程中得到了甘肃农业大学毕阳教授、甘肃省农科院王一航研究员、甘肃省定西市科技局高占彪研究员、甘肃省定西市农科院杨俊丰研究员等农业专家的指导和帮助，并对最终定稿进行了认真评审论证。定西市安定区马铃薯经销协会、定西农夫薯园马铃薯脱毒快繁有限公司对丛书编写出版给予了大力支持。在丛书付梓出版之际，对他们的鼎力支持和辛勤付出表示衷心感谢。本套丛书的出版，将有助于大专院校、科研单位、生产企业和农业管理部门从事马铃薯研究、生产、开发、推广人员加深对马铃薯科学的认识，提高马铃薯生产加工的技术技能。丛书可作为高职高专院校、中等职业学校相关专业的系列教材，同时也可作为马铃薯生产企业、种植农户、生产职工和农民的培训教材或参考用书。

是为序。



2015 年 3 月于定西

杨声：

“马铃薯科学与技术丛书”总主编

甘肃中医药大学党委副书记

定西师范高等专科学校党委书记 教授

前 言

马铃薯已经成为世界第四大粮食作物。马铃薯营养丰富，含有人体必需的碳水化合物、蛋白质、维生素、膳食纤维等全部七大类营养物质，是现代人的理想食物之一。由于马铃薯淀粉的高白度、高透明度、高黏度、低糊化温度等特殊性能，广泛应用于纺织、石油开采、饲料及食品等行业，尤其是国际国内食品市场的开拓，使高精马铃薯淀粉的需求猛增，销路广阔，市场前景看好。

在参阅大量优秀著作、论文等文献资料和网络信息资料，借鉴众多专家学者研究成果的精华，参考各地的成熟技术和成功经验的基础上，经过两年多辛苦工作，《马铃薯淀粉加工技术》一书终于编著完成。全书主要由两大部分内容组成。第一部分为概述篇，主要介绍了淀粉的结构、性质、分类、应用以及马铃薯淀粉的特性、应用及加工产业；第二部分为技术篇，全面介绍了马铃薯淀粉生产线设计技术、生产过程及工艺技术、品质检验与分析技术、淀粉生产副产物及利用处理技术。

本书内容丰富，语言浅显通俗，图文并茂，工艺方法具体实用，实践性、可操作性强，可作为从事马铃薯淀粉加工的一线操作工人、生产技术管理人员及相关专业大中专院校学生的理论与实践相结合的专业参考书，也可作为马铃薯淀粉生产企业的培训教材以及广大马铃薯爱好者的科普性读物。

本书在编写过程中，得到了定西师范高等专科学校领导和生化系老师们的大力支持和帮助，也参阅了大量文献资料，并引用了其中的一些材料，在此，一并表示深深的感谢。

由于作者能力和经验所限，书中难免有错漏不妥之处，敬请广大读者批评指正。

王 英

2015年3月

目 录

第 1 章 淀粉化学概论	1
1.1 淀粉的生成及结构	1
1.1.1 淀粉的生成	1
1.1.2 淀粉的结构	2
1.2 淀粉颗粒的结构	9
1.2.1 淀粉颗粒的形状与大小	9
1.2.2 淀粉颗粒的轮纹结构	11
1.2.3 淀粉颗粒的偏光十字	11
1.2.4 淀粉颗粒的晶体构造	13
1.3 淀粉的性质	16
1.3.1 淀粉的主要物理性质	16
1.3.2 淀粉的化学性质	21
1.4 淀粉的分类	24
1.4.1 原淀粉的分类	24
1.4.2 变性淀粉分类	25
1.5 淀粉的应用	27
1.5.1 食品工业	27
1.5.2 医药工业	30
1.5.3 纺织工业	31
1.5.4 造纸工业	31
1.5.5 化学工业	32
1.5.6 农业生产	32
1.5.7 其他	33
第 2 章 马铃薯及马铃薯淀粉概述	34
2.1 马铃薯的起源及产地分布	34
2.1.1 马铃薯的起源与传播	34
2.1.2 马铃薯产地分布	35
2.2 马铃薯的营养及药用保健价值	39
2.2.1 马铃薯的营养价值	39
2.2.2 马铃薯的药用保健价值	41
2.3 马铃薯淀粉	43

2.3.1	马铃薯淀粉的特性	43	
2.3.2	马铃薯淀粉的应用	44	
2.4	马铃薯淀粉加工产业	45	
2.4.1	我国马铃薯加工产业发展现状	45	
2.4.2	我国主要的马铃薯加工企业	49	
2.4.3	促进我国马铃薯产业和谐发展	52	
2.4.4	我国马铃薯加工业中期发展规划草案(2010—2020 年)	53	
第 3 章 马铃薯淀粉的生产过程			57
3.1	原料的选择		58
3.1.1	淀粉生产对马铃薯质量的要求		58
3.1.2	马铃薯收购流程与质量控制		59
3.1.3	淀粉生产对马铃薯储存的要求		60
3.2	原料输送		67
3.2.1	马铃薯湿法输送		67
3.2.2	马铃薯干法输送		73
3.2.3	马铃薯输送工段控制参量		75
3.3	除石清洗		75
3.3.1	生产原理		75
3.3.2	生产工艺		76
3.3.3	除石清洗设备		77
3.3.4	安全生产操作		81
3.3.5	除石清洗工段控制参数		82
3.4	铰磨解碎		82
3.4.1	铰磨单元生产工艺		83
3.4.2	铰磨度(磨碎系数)		84
3.4.3	铰磨解碎工段中的褐变及其防止		85
3.4.4	铰磨设备		87
3.4.5	安全生产操作		91
3.4.6	马铃薯铰磨解碎工段控制参量		92
3.5	除铁除沙		92
3.5.1	生产工艺要点		92
3.5.2	生产设备		93
3.6	纤维提取		94
3.6.1	纤维提取工段设备		96
3.6.2	安全生产操作		103
3.6.3	筛分工段控制参量		104
3.7	淀粉乳精制		105
3.7.1	生产工艺要点		105

3.7.2	生产设备	110
3.7.3	安全生产操作	114
3.7.4	精制工段的参量控制	115
3.8	淀粉脱水	115
3.8.1	生产工艺要点	115
3.8.2	生产设备	116
3.8.3	脱水工段的参量控制	121
3.9	淀粉干燥	122
3.9.1	生产工艺要点	122
3.9.2	生产设备	122
3.9.3	安全生产操作	124
3.10	淀粉整理	126
3.10.1	淀粉均容	126
3.10.2	淀粉筛理	126
3.10.3	淀粉除铁	127
3.10.4	金属检测	127
3.10.5	质量检测	127
3.11	马铃薯淀粉的传统加工	128
3.11.1	工艺流程	128
3.11.2	操作要点	128
3.11.3	工艺特点	129
3.12	马铃薯淀粉的实验室提取	130
3.12.1	工艺流程	130
3.12.2	操作要点	130
3.12.3	影响因素	131
3.12.4	淀粉品质	131
第4章 马铃薯淀粉生产线设计		147
4.1	设计马铃薯淀粉生产线应遵循的原则	147
4.1.1	厂址选择方便化	147
4.1.2	资金预算超前化	147
4.1.3	生产工艺成熟化	147
4.1.4	设备配置合理化	148
4.2	马铃薯淀粉生产工艺分析	148
4.2.1	马铃薯淀粉生产工艺及特点	148
4.2.2	马铃薯淀粉生产线模拟图	150
4.2.3	典型的马铃薯淀粉生产工艺及方法	151
4.2.4	我国马铃薯淀粉生产工艺发展概况	153
4.2.5	马铃薯淀粉生产线规模的划分	154

4.3 大型精制马铃薯淀粉生产线的设计 155

4.3.1 工艺流程 155

4.3.2 工艺特点 155

4.4 中型精制马铃薯淀粉生产线的设计 156

4.4.1 工艺流程 156

4.4.2 工艺特点 157

4.5 小型马铃薯淀粉生产线的设计 157

4.5.1 小规模生产的必要性 157

4.5.2 工艺流程 157

4.5.3 工艺特点 158

4.5.4 设备配置 158

第5章 马铃薯淀粉品质的检验与分析..... 160

5.1 淀粉品质检验与分析的基础知识 160

5.1.1 样品的采集及处理 160

5.1.2 淀粉检验程序和检验用量 163

5.1.3 检验内容、方法 163

5.1.4 检验结果计算及记录 164

5.2 淀粉检验与分析的基本方法 164

5.2.1 滴定分析法 164

5.2.2 溶液浓度选择 165

5.2.3 溶液浓度的换算及混合稀释方法 166

5.3 淀粉品质检验常用仪器 167

5.3.1 电子天平 167

5.3.2 数字式白度仪 167

5.3.3 蛋白质测定仪(凯氏定氮仪) 168

5.3.4 黏度计 170

5.3.5 圆盘旋光仪 173

5.3.6 波美度计 175

5.3.7 电热干燥箱 176

5.3.8 箱式电阻炉 177

5.4 马铃薯淀粉品质检验与生产质量控制方法 178

5.4.1 原、辅料质量要求与检验 178

5.4.2 中间产品的检验与分析 181

5.4.3 淀粉成品的检验与分析 183

5.4.4 淀粉生产过程中微生物的检验与控制 189

5.4.5 淀粉品质的简易检验方法——感官检验法 195

第 6 章 马铃薯淀粉生产副产物的加工利用..... 198

6.1 马铃薯淀粉生产薯渣及加工利用 198

6.1.1 马铃薯渣的成分和性能 198

6.1.2 马铃薯渣的综合利用 199

6.2 马铃薯淀粉废液及处理技术 203

6.2.1 马铃薯淀粉生产废水的产生 204

6.2.2 马铃薯淀粉生产废水的特点 205

6.2.3 马铃薯淀粉生产废水的主要污染物 205

6.2.4 马铃薯淀粉生产废水的处理方法 206

6.3 经济实用的马铃薯淀粉废弃物处理模式 209

6.3.1 环保排放的实施困难 209

6.3.2 经济实用的处理模式——废液灌溉农田、废渣加工饲料 210

附录..... 233

附录 1 GB/T 8884—2007 食用马铃薯淀粉 233

附录 2 QB 1840—1993 工业薯类淀粉 238

参考文献..... 242

第 1 章 淀粉化学概论

◎ 内容提示

本章主要介绍淀粉的形成、化学组成、分子结构、不同植物中淀粉的含量；不同种类淀粉颗粒的性状大小、淀粉颗粒的结构；淀粉的密度、溶解度、碘吸附、润胀糊化、回生等物理性质，淀粉的水解、氧化、成酯、烷基化等化学性质；原淀粉(生粉)、变性淀粉的主要类型；淀粉在食品工业、医药工业、纺织工业、造纸工业、化学工业、农业生产等领域的应用。

太阳的可见光中所含的电磁波的能量被绿色植物吸收后便在植物体内转变为化学能，植物利用这种化学能固定空气中存在的少量二氧化碳，并利用主要由根部吸收到的水、含氮化合物、无机盐类来合成淀粉、蔗糖、蛋白质、核酸等构成植物体的全部有机化合物。包括我们人类在内的一切动物都是从属营养生物，只有直接或间接地吃绿色植物利用太阳光线的能量而合成的有机化合物才能生存。因此，可以说地球上的一切生物归根到底是依靠太阳的能量而生存的。通过绿色植物的光合作用最直接最大量生成的是以淀粉、蔗糖和纤维素为中心的碳水化合物；而蛋白质、核酸之类则是由碳水化合物被合成或被代谢过程中的中间体衍生而成的。特别是淀粉，它是植物中主要贮藏的碳水化合物，是许多植物的种子、根、块茎等发芽时的主要能源。

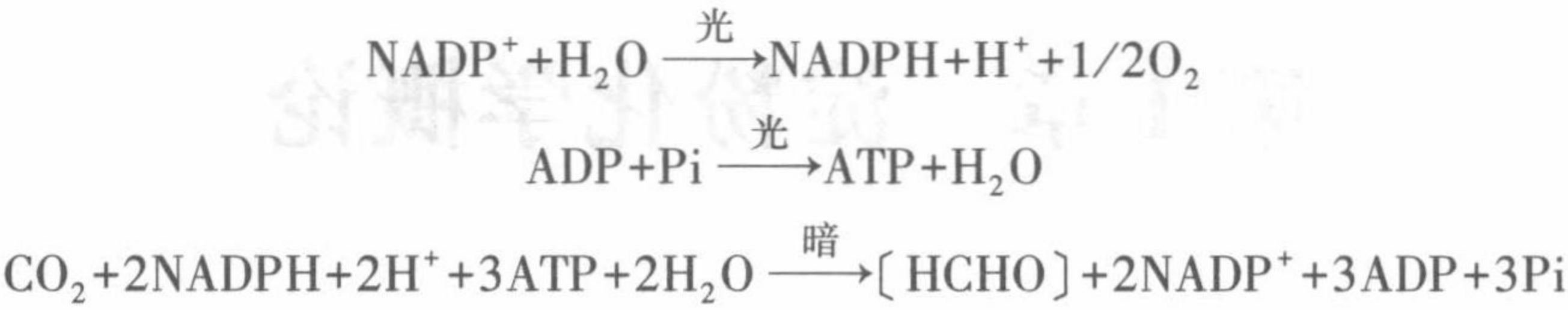
1.1 淀粉的生成及结构

淀粉广泛地分布于植物界，尤其是稻米、小麦、玉米等谷类的种子以及马铃薯、甘薯等薯类的贮藏组织里积聚着大量的淀粉，所以它们早就成为人类和许多动物的粮食而占着重要的位置。另外还以工业规模从这些原料中分离出淀粉，淀粉及淀粉化学品具有毒性低、易生物降解、同环境适应性好等众多优良性能，目前已普遍应用于食品、建材、造纸、纺织、石油、印染、水处理、日用化工等众多领域，具有广阔的发展前景。

1.1.1 淀粉的生成

淀粉是碳水化合物中的一种高分子化合物，组成元素有碳、氢和氧。淀粉的来源依靠植物在体内天然合成。在高等植物的绿色部分(主要是叶，也包括茎等)亦即在具有叶绿体的细胞中，利用太阳可见光线部分的能量，由大气中存在的 0.03% 的二氧化碳和从根部吸收的水进行着固定碳酸而合成糖、放出氧的反应。光合反应的本质就是光合成色素被光激活并使活化的能量向光化学系统中心转移，由光化学系统中心的激发而使电子活化(产生还原能力)和生成失去了电子的活性中心(产生氧化能力)，从而把太阳光线的电磁

波转换为植物能够利用的化学能。然而，由这些光反应(明反应)生成的化学能(APT 和 NADPH)却被与光无关的酶反应(可将此称为暗反应)所利用，进行着碳酸的固定和还原，它们之间的关系可归纳如下。



由光促进的两个反应都是吸能(endergonic)反应，乍一看好像是与热力学定律相违背的，但由于投入了光能才使这两个反应能够进行。在地球上一切生物最终的几乎是唯一的能源是在于通过绿色植物对太阳光能的转换和储备。

在高等植物的叶绿体中，包含有全部的从利用光能直至合成淀粉和蔗糖等的酶(系)和必要的辅助因子。光合成的直接结果之一是在叶绿体合成和积累淀粉，这种淀粉通常称作同化淀粉。到了夜里，光合成作用停止，同化淀粉就被分解，而主要以蔗糖的形式被输送到植物的其他组织。在那里被当做能源用于呼吸，或成为生物合成蛋白质、核酸等成分的素材，或者在种子、根(块)茎等中，重新被合成为淀粉。在非绿色贮藏组织中再次被积储起来的淀粉通常称作贮藏淀粉。因为我们日常利用的淀粉大部分是贮藏淀粉，所以对主要植物的贮藏淀粉曾进行过很多的研究，而对同化淀粉则研究甚少。不过这两种淀粉似乎并无本质上的差别。各种植物所含淀粉的量、颗粒的形态和构造，因品种、气候、土质以及其他生长条件的不同而不同。即使在同一块地里生长的相同植物，其所含淀粉的量也不一定相同。

1.1.2 淀粉的结构

1. 淀粉的化学组成

组成淀粉的化学元素有碳、氢和氧，其百分比为：碳 44.1%、氢 6.2%、氧 49.4%。组成淀粉的分子单位是葡萄糖，植物的种类不同，所生成的淀粉的葡萄糖数目、结构也不一样，其变动范围很大，含量比例也不同。

自然界中的淀粉，是无定型的形体，一般以两种结构类型存在着，一种叫直链淀粉，另一种叫支链淀粉，直链淀粉和支链淀粉分子结构的不同是由淀粉生物合成的复杂性引起的。这两种淀粉由于分子结构不同，在性质的某些方面也有所不同。自然界的淀粉，都是以这两种淀粉混合而成的，其各自的比例，因物种、品种以及同种作物成熟度的不同而有差异。

淀粉颗粒除含有淀粉分子外，还含有 10%~20% 的水分和少量蛋白质、脂肪类物质、磷和微量无机物，见表 1-1。

表 1-1 淀粉的主要组成

组成	玉米淀粉	马铃薯淀粉	小麦淀粉	水薯淀粉	蜡质玉米淀粉
淀粉	85.73	80.29	85.44	86.69	86.44
水分(20℃，RH65%)	13	19	13	13	13

续表

组成	玉米淀粉	马铃薯淀粉	小麦淀粉	水薯淀粉	蜡质玉米淀粉
类脂物(%, 干基)	0.8	0.1	0.9	0.1	0.2
蛋白质(%, 干基)	0.35	0.1	0.4	0.1	0.25
灰分(%, 干基)	0.1	0.35	0.2	0.1	0.1
磷(%, 干基)	0.02	0.08	0.06	0.01	0.01
淀粉结合磷(%, 干基)	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00

淀粉的含水量取决于储存的条件(温度和相对湿度)。淀粉颗粒水分是与周围空气中的水分呈平衡状态存在的，大气相对湿度(RH)降低，空气干燥，淀粉就失水；如果相对湿度增高，空气潮湿，淀粉就吸水。水分吸收和散失是可逆的。淀粉的平衡水分含量也取决于淀粉产品的类型，表 1-1 中的水分含量是在相对湿度 65%、25℃时的数据。在同类条件下，多数天然淀粉含 10%~20%水分。

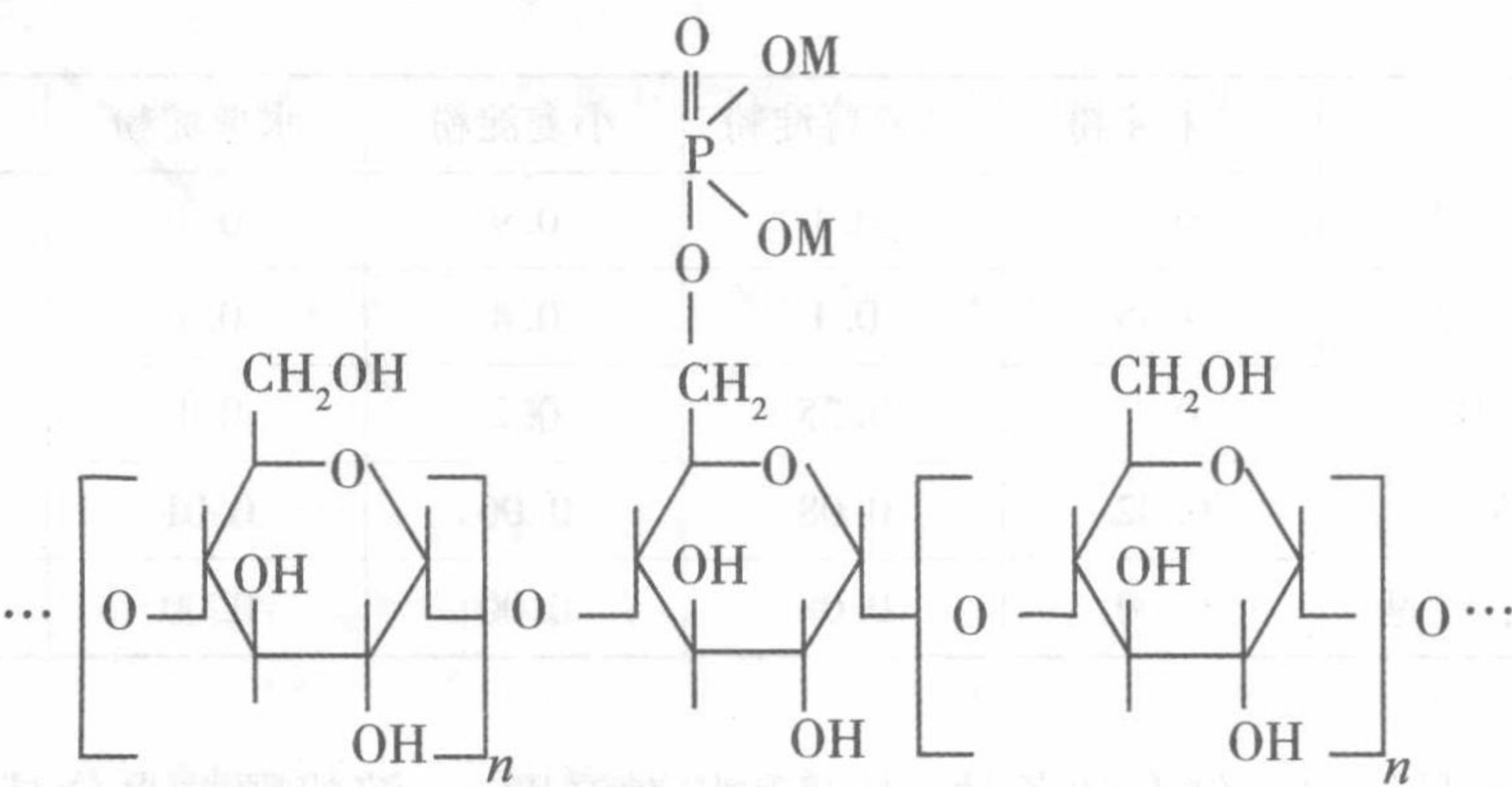
谷类淀粉的脂类化合物含量较高(FFA)，达 0.8%~0.9%。马铃薯淀粉和木薯淀粉的脂类化合物含量则低得多(≤0.1%)，见表 1-2。淀粉中含有的脂类化合物对淀粉物理性质有影响，脂类化合物与直链淀粉分子结合成络合结构，对淀粉颗粒的糊化、膨胀和溶解有较强的抑制作用。不饱和脂类化合物的氧化产物会产生令人讨厌的气味。薯类淀粉一般只含有少量的脂类化合物，因而受到上述不利影响较小。

表 1-2 淀粉中的脂类化合物

脂类化合物	玉米淀粉	小麦淀粉
总脂类化合物含量(干基,%)	0.8	0.9
游离脂肪酸(FFA)(干基,%)	0.5	0.05
溶血磷脂(干基,%)	0.3	0.8
饱和脂类化合物含量(%, 占总脂类化合物质量)	40	40
不饱和脂类化合物含量(%, 占总脂类化合物质量)	60	60

含氮物质包括蛋白质、缩氨酸、酰胺、氨基酸、核酸和酶。因蛋白质含量最高，所以通常把氮物质含量习惯说成蛋白质的含量，其含量是通过实测含氮量乘以 6.25 来计算的。马铃薯、木薯淀粉仅含少量蛋白质(0.1%)，谷类淀粉蛋白质含量相对较高，为 0.35%~0.45%。蛋白质含量高会带来许多不利的影响，如使用时会产生臭味或其他气味，蒸煮时易产生泡沫，水解时易变色等。

淀粉分子中还含有一定量的磷，淀粉中的磷主要以磷酸酯的形式存在，马铃薯淀粉含磷量最高，它以共价键结合存在于淀粉中，与构成淀粉的葡萄糖的 C₆结合成酯结构存在，200~400 个葡萄糖单位就有一个磷酸酯基，相应的磷酸基取代度约 0.003。马铃薯淀粉上磷酸酯的平衡离子主要是钾、钠、钙、镁离子，其分布取决于马铃薯淀粉生产过程中所使用的水的成分。这些离子对马铃薯淀粉的糊化过程起重要作用。带负电荷的磷酸基赋予马



M 为 H、K、Na、Ca 或 Mg，n 约为 300 个葡萄糖单位
淀粉中磷酸酯基团的分子结构

铃薯淀粉一些聚电解质的性质，磷酸酯基间电荷存在的排斥作用，使淀粉颗粒易于糊化、膨胀，所形成淀粉糊的黏度高、透明度好。

淀粉的灰分组成主要为钾、钠、钙和镁的无机化合物。天然马铃薯淀粉含有磷酸基，因此其灰分含量相对较高，而其他品种淀粉的灰分含量就相对较低。

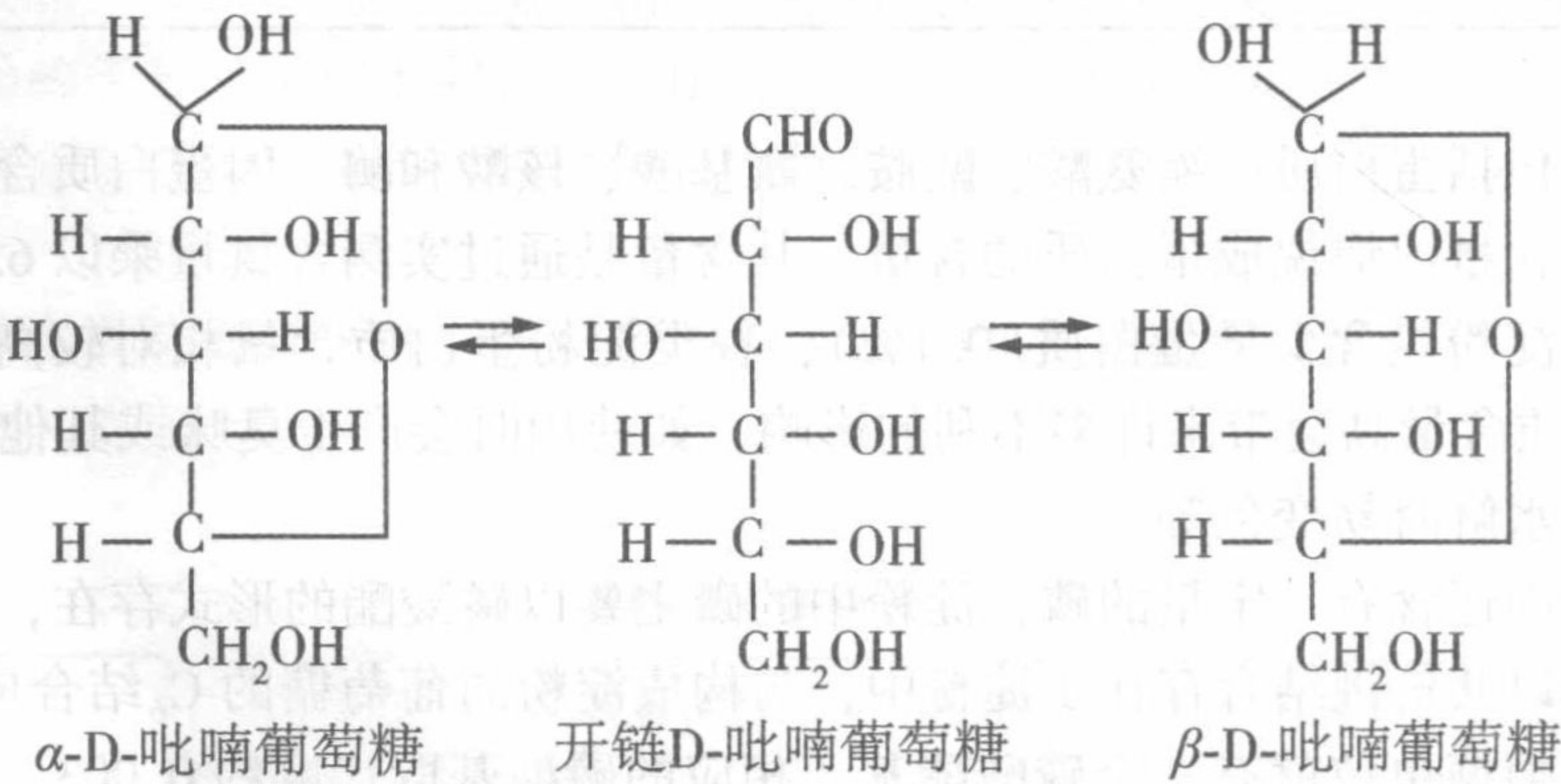
2. 淀粉分子的基本构成单位

淀粉是高分子碳水化合物，是由单一类型的葡萄糖单元组成的多糖，其基本构成单位为 α-D-吡喃葡萄糖，分子式为 C₆H₁₂O₆，相邻葡萄糖分子之间脱去一个水分子后形成糖苷键，将葡萄糖单元连接在一起即形成淀粉分子。

(1) α-D-吡喃葡萄糖。

α-D-吡喃葡萄糖的构型分 D 型和 L 型，D 型与 L 型相对应。与—CH₂OH 相邻的 C₅上的羟基在碳原子右边者称为 D 型，在左边者为 L 型。天然产物中的葡萄糖都为 D 型。

葡萄糖的链状结构不稳定，实际上在晶体状态或水溶液中的葡萄糖多数是以环状结构存在的。葡萄糖链上的 C₄或 C₅上的羟基可与醛基形成环状半缩醛结构，分别形成五元环或六元环。C₁与 C₅成环为六元环，称为吡喃环；C₁与 C₄成环为五元环，称为呋喃环。淀粉中的葡萄糖单位是以吡喃环存在的。

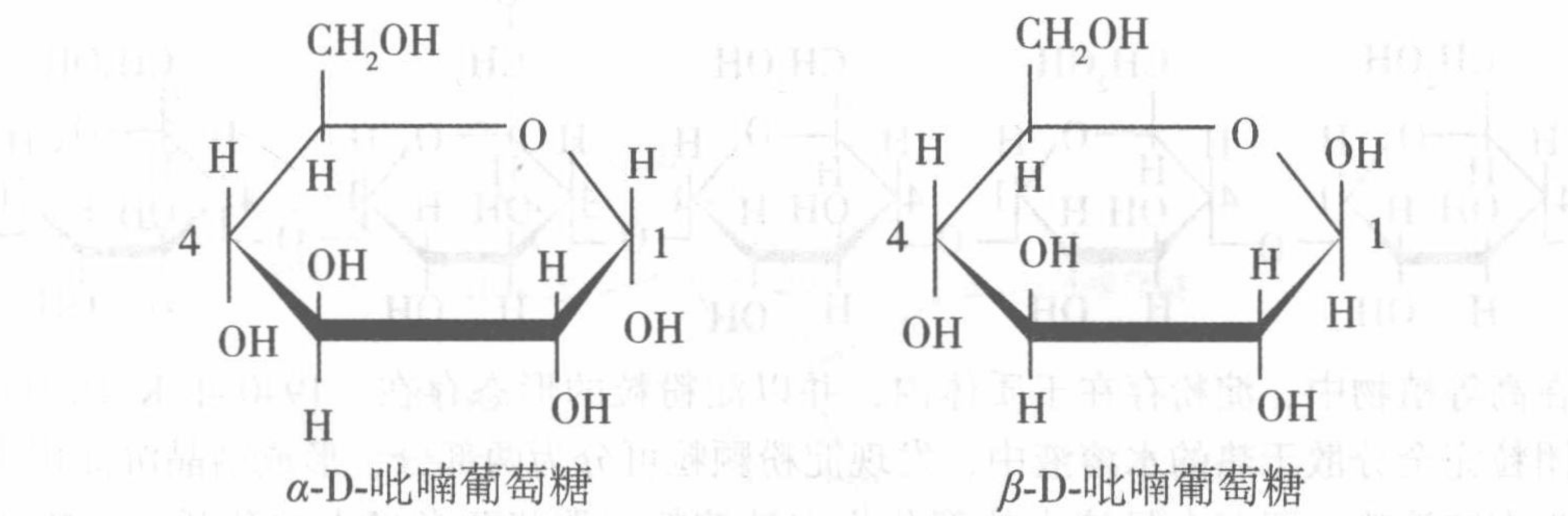


环状结构的形成使醛基碳原子 C₁成为手性碳原子，C₁上的羟基可有两种不同的构型。在 D 型结构中，C₁上的一OH 在右边的为 α 型，在左边的为 β 型。因此环状结构的 D 葡

萄糖就有 α-D 和 β-D 两种异构体存在。

上述葡萄糖环状结构是采用 Fischer 式表示法表示的。更准确地反映糖分子立体构型的 Haworth 式将葡萄糖写成六角平面的环状结构，称为吡喃糖。葡萄糖写成五角平面形的环状结构，称为呋喃糖，此法可以更清晰准确地表示出各碳原子和基团之间的相对位置。

葡萄糖在水溶液中，链式和环式、吡喃型和呋喃型、α 型和 β 型可以互相转变同时存在，但以吡喃环状结构为主。



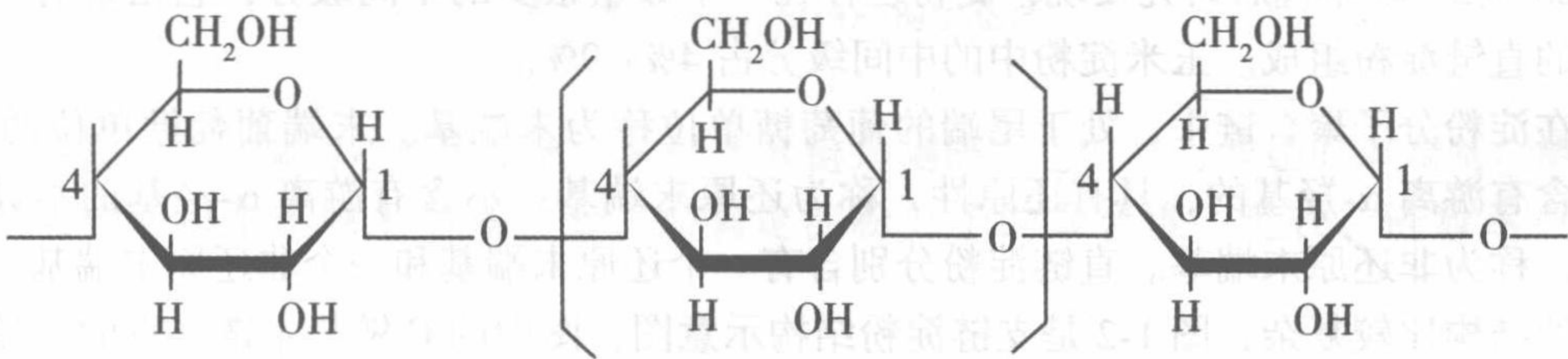
(2) 淀粉分子的构成。

对淀粉分子链构成的研究表明，淀粉分子分为直链分子和支链分子，分别称为直链淀粉和支链淀粉。常见淀粉的直、支链淀粉的含量见表 1-3。

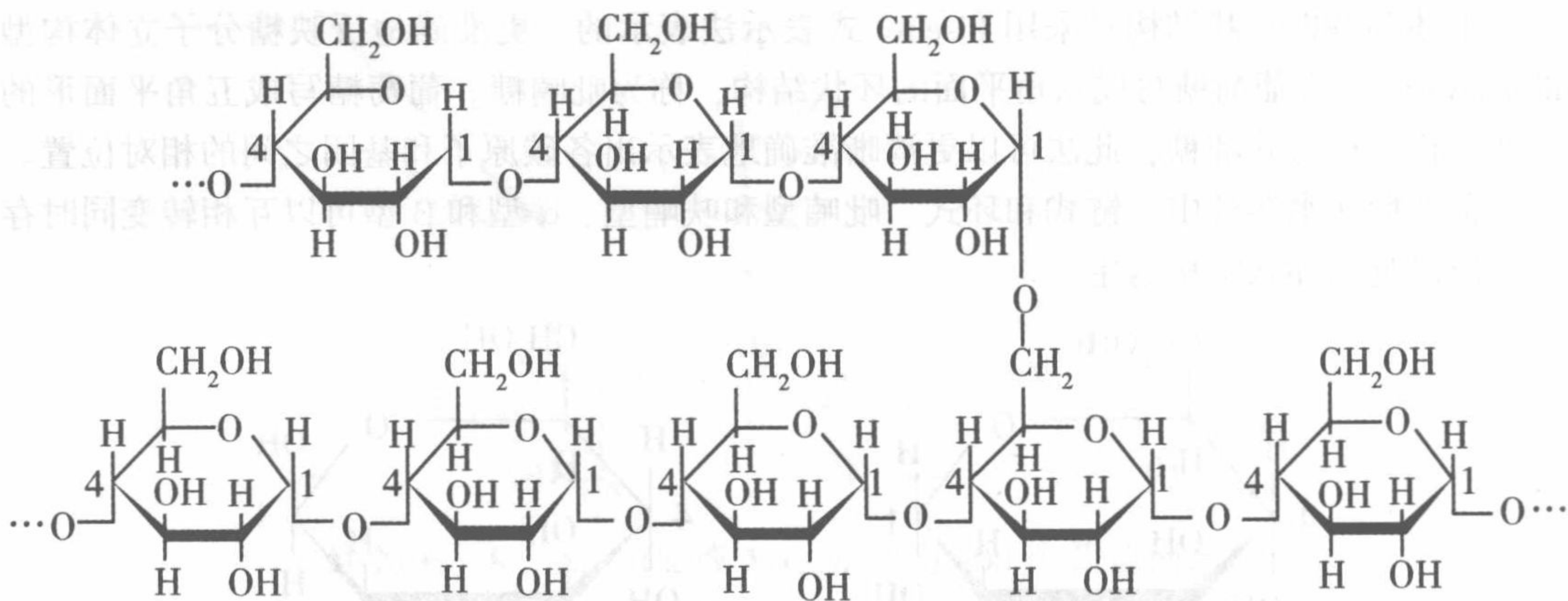
表 1-3 常见淀粉的直、支链淀粉含量(%)

淀粉种类	直链淀粉含量	支链淀粉含量
玉米	26	74
蜡质玉米	<1	>99
马铃薯	20	80
木薯	17	83
高直链玉米	50~80	20~50
小麦	25	75
大米	19	81
大麦	22	78
高粱	27	73
甘薯	18	82
糯米	0	100
豌豆(光滑)	35	65

直链淀粉分子结构：



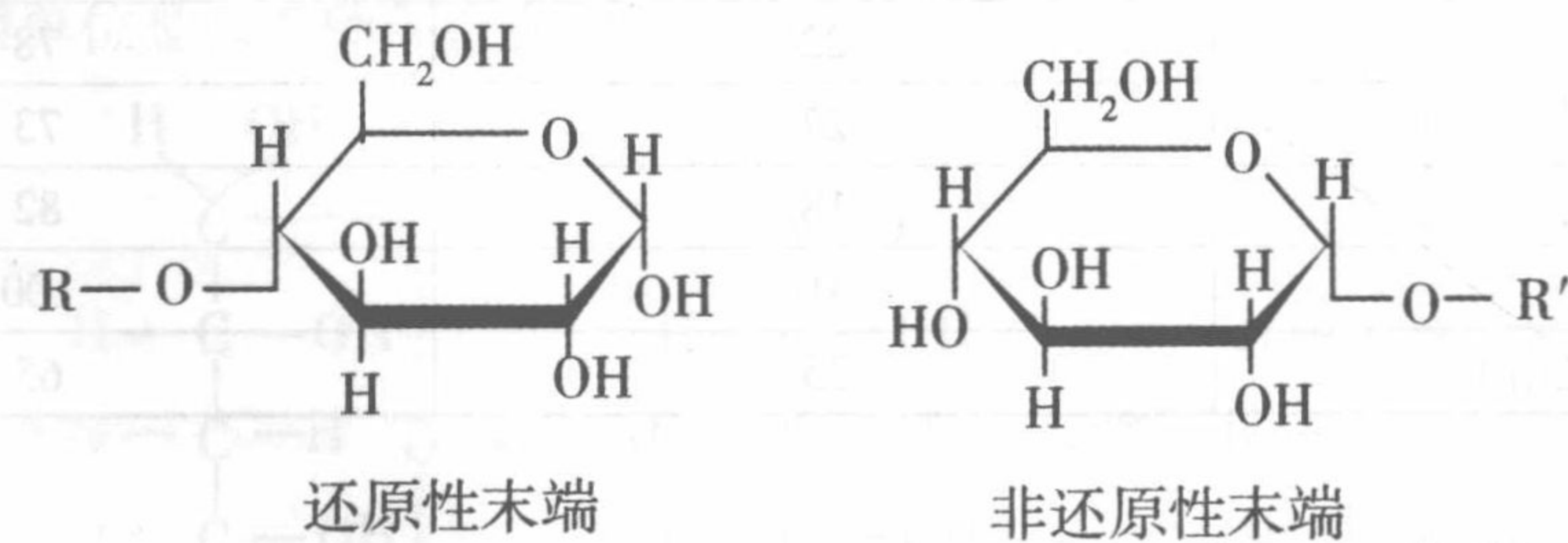
支链淀粉分子结构：



在高等植物中，淀粉存在于质体内，并以淀粉粒的形态存在。1940 年 K. H. Meyer 将淀粉团粒完全分散于热的水溶液中，发现淀粉颗粒可分为两部分，形成结晶沉淀析出的部分称为直链淀粉，留存在母液中的部分为支链淀粉。那些两者尚未被分开的淀粉通常以“全淀粉”相称。淀粉颗粒一般都由直链淀粉和支链淀粉组成，在淀粉颗粒中直链淀粉分子和支链淀粉分子不是机械地混合在一起的，支链淀粉量多分子又大，构成淀粉颗粒的骨架，支链淀粉分子的侧链与直链淀粉分子间可通过氢键结合，在某些区域形成排列具有一定规律的“束网”结构，有些区域分子排列杂乱，成“无定形”结构，每个直链淀粉分子和支链淀粉分子都可能穿过几个不同区域的“束网”结构和“无定形”结构。

直链淀粉在淀粉中的含量占 10%~30%，它是一种线形多聚物，是由 D-葡萄糖通过 α -1, 4 糖苷键连接而成，每个分子中有 200~980 个葡萄糖残基。天然直链淀粉分子是卷曲成螺旋形状态，每一圈含有 6 个葡萄糖残基。

支链淀粉在淀粉中的含量占 70%~90%，是一种高度分枝的大分子，主链上分出支链，各葡萄糖单位之间以 α -1, 4 糖苷键构成主链，卷曲成螺旋，支链通过 α -1, 6 糖苷键与主链相连，分支与分支之间的间距为 11~12 个葡萄糖残基。支链淀粉分子比直链淀粉大，每个分子有 600~6000 个葡萄糖残基。



20 世纪 50 年代后研究发现，淀粉还存在一个数量很少的中间级分，它由带有少量短支链的直链淀粉组成。玉米淀粉中的中间级分占 4%~9%。

在淀粉分子聚合链中，处于尾端的葡萄糖单位称为末端基。末端葡萄糖单位的 C_1 碳原子含有游离 α -羟基的，具有还原性，称为还原末端基；不含有游离 α -羟基的不具有还原性，称为非还原末端基。直链淀粉分别含有一个还原末端基和一个非还原末端基。支链淀粉的结构比较复杂，图 1-2 是支链淀粉结构示意图，图中的 C 链是主链，它的一端为非