


# 赤潮灾害 风险评估理论与 区划方法

*CHICHAO ZAIHAI FENGXIAN PINGGU LILUN YU  
QUHUA FANGFA*

赵冬至 文世勇 宋琍琍 等 编著

 海洋出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

全国高等院校食品专业规划教材

# 食品生物化学

辛嘉英 主编



科学出版社

## 内 容 简 介

本书以人体和食品体系为中心,以生物化学过程为重点,以食品的化学组成及在人体中代谢和加工贮藏中的变化为主线,对生物化学的基础理论进行了全面系统的介绍,同时还增加了食品原料加工储藏过程中的生物化学和生物化学技术在食品中的应用内容。

为加强对学生的科学素养和能力的培养,使书本知识与科研、生产、生活实际紧密联系,书中穿插有生化技术方法版块和食品与生物化学版块,介绍正文中涉及的生物化学技术方法和食品领域中与该章正文相关的基础理论。

本书可作为食品科学及其相关专业本科学生教材,亦可作为食品领域相关专业的研究生、科研和生产一线科技人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学 / 辛嘉英主编. —北京: 科学出版社, 2013. 7

全国高等院校食品专业规划教材

ISBN 978-7-03-037994-8

I. ①食… II. ①辛… III. ①食品化学-生物化学-高等学校-教材 IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 136219 号

责任编辑: 陈 露 谭宏宇  
责任印制: 刘 学/封面设计: 殷 靓

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 7 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2013 年 7 月第一次印刷 印张: 19 1/2

字数: 607 000

定价: 43.00 元

# 全国高等院校食品专业规划教材

## 《食品生物化学》编辑委员会

主 编

辛嘉英

副主编

陈林林 檀建新 徐德昌 王金玲

编 委

(以姓氏笔画排序)

于宏伟 河北农业大学

王金玲 东北林业大学

亢春雨 河北农业大学

代翠红 哈尔滨工业大学

刘晓飞 哈尔滨商业大学

刘 璘 浙江工业大学

孙记录 河北农业大学

贡汉生 鲁东大学

李海燕 鲁东大学

辛嘉英 哈尔滨商业大学

冷 波 闽南师范大学

张 帅 哈尔滨商业大学

陈林林 哈尔滨商业大学

侯爱菊 哈尔滨工业大学

徐德昌 哈尔滨工业大学

裴家伟 河北农业大学

檀建新 河北农业大学

# 全国高等院校食品专业规划教材 筹备专家组

王锡昌	上海海洋大学	张兰威	哈尔滨工业大学
刘成梅	南昌大学	陆启玉	河南工业大学
叶兴乾	浙江大学	赵国华	西南大学
李和生	宁波大学	王鸿飞	宁波大学
辛嘉英	哈尔滨商业大学	李 燕	上海海洋大学
崔 波	齐鲁工业大学	耿 越	山东师范大学
朱 珠	吉林工商学院	任丹丹	大连海洋大学
刘光明	集美大学	蒋小满	鲁东大学
沈 波	杭州师范大学	郑艺梅	闽南师范大学
白 晨	上海商学院	赵 利	江西科技师范大学
马汉军	河南科技学院	姚兴存	淮海工学院

(以上专家排名不分先后)

# 前 言

《食品生物化学》是为食品类专业本科学学生编写的教材。为了既较全面地介绍生物化学的基础理论知识又尽可能以应用于食品行业为目的,紧扣食品主题,突出食品生物化学有别于生物化学和食品化学的特性,在教材编写内容的取舍上尽量压缩了遗传信息的传递、表达、调控及相关内容,删减了矿物质、水分、食品的色香味化学、食品添加剂及相关内容。本书除绪论外共分14章,前12章重点介绍组成食品的化学成分(如糖、脂类、核酸、蛋白质、酶、维生素和辅酶等)、结构、功能和理化性质,以及这些物质在人体内的化学变化和调节规律,后2章分别介绍食品加工储藏过程中的生物化学和生物化学技术在食品中的应用。

本教材由哈尔滨商业大学、哈尔滨工业大学、东北林业大学、河北农业大学、浙江工业大学、鲁东大学和闽南师范大学生物化学课程组的教师联合编写。他们都是长期从事生物化学教学和科研工作、富有经验的一线教师。在本教材的编写过程中,他们认真工作,付出了大量的劳动。具体编写分工如下:

绪论由哈尔滨商业大学辛嘉英编写;第一章由鲁东大学贡汉生、哈尔滨商业大学刘晓飞编写;第二章由哈尔滨商业大学陈林林、辛嘉英编写;第三章由哈尔滨工业大学代翠红、徐德昌编写;第四章由河北农业大学檀建新、孙记录、亢春雨、于宏伟,闽南师范大学冷波编写;第五章由浙江工业大学刘璘编写;第六章由哈尔滨商业大学张帅编写;第七章由东北林业大学王金玲、哈尔滨商业大学张帅编写;第八章由哈尔滨商业大学辛嘉英、陈林林编写;第九章由哈尔滨商业大学张帅编写;第十章由闽南师范大学冷波编写;第十一章由哈尔滨工业大学侯爱菊、徐德昌编写;第十二章由哈尔滨商业大学刘晓飞编写;第十三章第一节由鲁东大学贡汉生编写;第十三章第二节由河北农业大学裴家伟编写;第十三章第三节由哈尔滨商业大学陈林林编写;第十三章第四节、第五节由东北林业大学王金玲编写;第十四章第一节由哈尔滨工业大学徐德昌编写;第十四章第二节、第三节、第五节由鲁东大学李海燕编写;第十四章第四节由河北农业大学檀建新编写。

编写过程中进行了参编作者互审和主编复审,最后的全书统稿由辛嘉英完成。在本书的编写过程中,得到了科学出版社的鼓励和支持,在此表示由衷的感谢。

由于编者水平、经验有限,书中难免会有不当甚至错误之处,敬请同行、专家和广大读者批评指正。

辛嘉英

2013年3月于哈尔滨

# 目 录

## 前言

## 绪 论

1

- 一、生物化学的研究进展 /1
- 二、生物化学与食品科学及其他学科的关系 /4
- 三、食品生物化学研究的主要内容 /4
- 四、学习食品生物化学的目的 /5

## 第一章 糖

6

- 第一节 概述 /6
  - 一、糖类化合物的概念及分布 /6
  - 二、糖类化合物的种类 /6
- 第二节 食品中的糖类化合物 /7
  - 一、几种重要的单糖的结构、物理性质和化学性质 /7
  - 二、几种重要的寡糖(低聚糖)的结构、物理性质和化学性质 /16
  - 三、几种重要的多糖的结构、物理性质和化学性质 /19
- 第三节 食品中糖类的功能 /23
  - 一、单糖与低聚糖的食品性质与功能 /23
  - 二、多糖的食品性质与功能 /25
- 第四节 食品中的其他功能性多糖化合物 /25
  - 一、甲壳素和壳聚糖 /25
  - 二、黏多糖类 /26
  - 三、细菌多糖 /26
- 第五节 多糖的分离与纯化 /27
  - 一、多糖的提取与分离 /27
  - 二、多糖的纯化 /27

## 第二章 脂 类

29

- 第一节 概述 /29
  - 一、脂类的种类 /29
  - 二、脂类的理化性质 /30
  - 三、脂类的生物学功能 /31
- 第二节 脂肪 /31
  - 一、脂肪的化学结构与种类 /31
  - 二、脂肪酸及脂肪的性质 /33
- 第三节 类脂类 /36
  - 一、磷脂类 /36
  - 二、糖脂 /39
  - 三、类固醇 /40
  - 四、蜡 /41
  - 五、萜类 /41
- 第四节 脂类的提取、分离与分析 /42
  - 一、脂类的提取与分离 /42
  - 二、脂类的分析 /42

## 第三章 核 酸

44

- 第一节 概述 /44
  - 一、核酸的概念和重要性 /44
  - 二、核酸的元素组成 /44
  - 三、核酸的水解 /44
- 第二节 核苷酸 /45
  - 一、核苷酸的结构 /46

- 二、核苷酸的性质 /49
- 三、核苷酸类物质的制备及应用 /49
- 第三节 核酸的分子结构 /50
  - 一、核酸的一级结构 /50
  - 二、DNA 的空间结构 /51
  - 三、RNA 的结构 /53
- 第四节 核酸的理化性质 /56

- 一、一般物理性质 /56
- 二、核酸的酸碱性质 /57
- 三、核酸的紫外吸收 /57
- 四、核酸的变性、复性及杂交 /57
- 第五节 核酸的分离与含量测定 /59
  - 一、核酸的提取、分离和纯化 /59
  - 二、核酸含量测定的原理 /60

## 第四章 蛋白质

62

- 第一节 概述 /62
  - 一、蛋白质是构成生物体的基本成分 /62
  - 二、蛋白质具有多样性的生物学功能 /62
- 第二节 蛋白质的化学组成与分类 /63
  - 一、蛋白质的化学组成 /63
  - 二、蛋白质的分类 /68
- 第三节 蛋白质的结构 /69
  - 一、蛋白质的一级结构 /69
  - 二、蛋白质的二级结构 /69
  - 三、超二级结构和结构域 /71
  - 四、蛋白质的三级结构 /72
  - 五、蛋白质的四级结构 /72
- 第四节 蛋白质的性质 /73
  - 一、蛋白质的相对分子质量 /73

- 二、蛋白质胶体性质 /73
- 三、蛋白质的两性解离及等电点 /74
- 四、蛋白质的沉淀反应 /74
- 五、蛋白质的变性 /75
- 六、蛋白质的颜色反应 /75
- 七、蛋白质的免疫学性质 /76
- 第五节 蛋白质的分离与纯化 /77
  - 一、根据溶解度不同的分离纯化方法 /77
  - 二、根据分子大小不同的分离纯化方法 /80
  - 三、根据电离性质不同的分离纯化方法 /81
  - 四、根据配基特异性的分离纯化方法 /84
- 第六节 蛋白质的纯度鉴定和含量测定 /87
  - 一、蛋白质的纯度鉴定 /87
  - 二、蛋白质的含量测定 /90

## 第五章 酶

93

- 第一节 概述 /93
- 第二节 酶的催化性质 /93
  - 一、酶和一般催化剂的比较 /93
  - 二、酶作为生物催化剂的特点 /93
  - 三、酶的化学本质及其组成 /94
- 第三节 酶的命名与分类 /96
  - 一、习惯命名法 /96
  - 二、国际系统分类法 /96
  - 三、国际系统命名法 /97
- 第四节 酶催化反应的机理 /98
  - 一、酶的催化作用与活化能 /98
  - 二、中间产物学说 /99
  - 三、酶的活性中心 /99
  - 四、“诱导契合”理论 /100
  - 五、酶原的激活 /100
- 第五节 影响酶促反应速率的因素——酶促反应动

- 力学 /100
  - 一、酶促反应速率的测定 /100
  - 二、酶浓度对酶促反应速率的影响 /101
  - 三、底物浓度对酶促反应速率的影响 /101
  - 四、温度对酶促反应速率的影响 /103
  - 五、pH 对酶促反应速率的影响 /104
  - 六、激活剂对酶促反应速率的影响 /105
  - 七、抑制剂对酶促反应速率的影响 /105
- 第六节 酶的调节 /106
  - 一、酶活性的调节 /107
  - 二、酶含量的调节 /107
  - 三、同工酶 /108
- 第七节 酶的分离、纯化与活力测定 /108
  - 一、酶的分离与纯化 /108
  - 二、酶活力的测定 /112



## 第六章 维生素和辅酶(基)

114

- 第一节 概述 /114
- 一、维生素的定义及特点 /114
  - 二、维生素的命名和分类 /114
- 第二节 脂溶性维生素 /115
- 一、维生素 A /115
  - 二、维生素 D /116
  - 三、维生素 E /116
  - 四、维生素 K /117
- 第三节 水溶性维生素 /117
- 一、维生素 B<sub>1</sub>和焦磷酸硫胺素(TPP) /117
  - 二、维生素 B<sub>2</sub>和 FMN、FAD /118
  - 三、维生素 B<sub>3</sub>和 NAD<sup>+</sup>、NADP<sup>+</sup> /119
  - 四、维生素 B<sub>5</sub>和辅酶 A /120
  - 五、维生素 B<sub>6</sub>和磷酸吡哆素 /120
  - 六、维生素 B<sub>7</sub>和生物素 /121
  - 七、维生素 B<sub>9</sub>和四氢叶酸 /121
  - 八、维生素 B<sub>12</sub>和维生素 B<sub>12</sub>辅酶(基) /122
  - 九、维生素 C /122

## 第七章 生物氧化

124

- 第一节 概述 /124
- 一、生物氧化的基本概念 /124
  - 二、生物氧化的特点 /124
- 第二节 线粒体氧化体系 /125
- 一、呼吸链及其组成成分 /125
  - 二、呼吸链的排列顺序 /127
  - 三、呼吸链抑制剂 /129
  - 四、氧化磷酸化作用 /129
  - 五、影响氧化磷酸化的因素 /131
  - 六、线粒体的穿梭系统 /132
  - 七、非线粒体氧化体系 /133
- 第三节 高能磷酸键的储存和利用 /133
- 一、高能磷酸化合物的定义 /133
  - 二、生命体内最常见、最重要的高能磷酸化合物 /134

## 第八章 糖代谢

136

- 第一节 概述 /136
- 一、糖的主要生理功能 /136
  - 二、糖的消化和吸收 /136
  - 三、糖代谢的概况 /138
- 第二节 糖的无氧酵解 /138
- 一、糖酵解途径的反应过程 /138
  - 二、丙酮酸的去路 /143
  - 三、糖酵解的调节 /143
  - 四、糖酵解的生理意义 /145
  - 五、其他六碳糖进入糖酵解的方式 /146
- 第三节 糖的有氧氧化 /146
- 一、有氧氧化的反应过程 /147
  - 二、糖有氧氧化中能量的变化 /152
  - 三、糖有氧氧化的生理意义 /152
  - 四、糖有氧氧化的调节 /153
  - 五、回补途径 /154
- 第四节 磷酸戊糖途径 /155
- 一、磷酸戊糖途径的反应过程 /156
  - 二、磷酸戊糖途径的调节 /158
  - 三、磷酸戊糖途径的生理意义 /158
- 第五节 糖的合成代谢 /160
- 一、糖原的合成与分解 /160
  - 二、糖异生作用 /165
  - 三、淀粉的合成 /171
  - 四、蔗糖的合成 /172
- 第六节 血糖及其调节 /173
- 一、血糖的来源与去路 /173
  - 二、血糖水平的调节 /174
  - 三、血糖浓度异常 /174

## 第九章 脂类代谢

177

- 第一节 脂类在机体内的消化、吸收和贮存 /177
- 一、脂肪在机体内的消化和吸收 /177
  - 二、脂类在体内的贮存形式 /178
- 第二节 脂肪的分解代谢 /178
- 一、脂肪(三酰甘油)的酶促水解 /179
  - 二、甘油的分解代谢 /179
  - 三、脂肪酸的分解代谢 /180
  - 四、酮体的生成与利用 /184
- 第三节 脂肪的合成代谢 /186
- 一、甘油的生物合成 /186
  - 二、脂肪酸的生物合成 /186
  - 三、脂肪的生物合成 /189
- 第四节 类脂代谢 /189
- 一、磷脂代谢 /189
  - 二、胆固醇代谢 /189
- 第五节 血浆脂蛋白代谢 /190
- 一、血浆脂蛋白的分类及组成 /190
  - 二、血浆脂蛋白的代谢 /191
  - 三、脂类代谢紊乱 /191

## 第十章 蛋白质代谢

193

- 第一节 蛋白质的消化、吸收与腐败 /193
- 一、蛋白质的消化 /193
  - 二、氨基酸的吸收 /194
  - 三、蛋白质的腐败作用 /195
- 第二节 氨基酸的分解代谢 /195
- 一、氨基酸的脱氨基作用 /195
  - 二、氨基酸的脱羧基作用 /198
  - 三、氨基酸分解产物的代谢 /200
- 第三节 氨基酸的合成代谢 /204
- 一、氨基酸合成途径 /204
  - 二、氨基酸与一碳基团 /206
  - 三、氨基酸与某些重要生物活性物质的合成 /207

## 第十一章 核酸代谢

210

- 第一节 核酸的消化与吸收 /210
- 一、核酸的消化 /210
  - 二、核酸的吸收 /210
- 第二节 核苷酸的分解代谢 /210
- 一、核苷酸的分解代谢 /210
  - 二、嘌呤碱的分解代谢 /210
  - 三、嘧啶碱的分解代谢 /212
- 第三节 核苷酸的合成代谢 /212
- 一、嘌呤核苷酸的合成代谢 /212
  - 二、嘧啶核苷酸的合成代谢 /216
  - 三、脱氧核糖核苷酸的合成代谢 /216
- 第四节 核酸的生物合成 /219
- 一、DNA 的生物合成 /219
  - 二、RNA 的生物合成 /223
- 第五节 遗传密码与蛋白质的生物合成 /227
- 一、遗传密码 /227
  - 二、核糖体 /228
  - 三、转移 RNA 的功能 /229
  - 四、DNA 重组技术 /229

## 第十二章 物质代谢的相互关系和调节控制

232

- 第一节 物质代谢的相互关系 /232
- 一、糖代谢与脂肪代谢的相互关系 /232
  - 二、蛋白质与糖代谢的相互关系 /233
  - 三、蛋白质代谢与脂类代谢的相互关系 /233
  - 四、核酸与糖、脂类和蛋白质代谢的相互关系 /233
- 第二节 物质代谢的调节和控制 /234
- 一、细胞或酶水平的调节 /234
  - 二、激素水平的代谢调节 /244
- 第三节 整体水平的代谢调节 /246

一、整体水平代谢调节的机制 /246

二、应激状态下的代谢调节 /246

三、饥饿状态下的代谢途径 /247

### 第十三章 食品加工储藏中的生物化学

248

第一节 糖类与食品加工储藏 /248

一、食品加工中糖类功能性质的应用 /248

二、食品加工贮藏对糖类功能与营养价值的影响 /250

第二节 蛋白质与食品加工储藏 /251

一、食品中的蛋白质 /251

二、食品加工中蛋白质功能性质的应用 /253

三、食品加工贮藏对蛋白质功能与营养价值的影响 /253

第三节 油脂的加工与储藏 /255

一、食用油脂的生产与加工 /255

二、食用油脂在加工和贮存过程中的变化 /257

第四节 维生素在食品储藏和加工过程中的变化 /259

一、加工过程中维生素的变化 /260

二、储藏过程中维生素的变化 /263

第五节 食品加工储藏过程中产生的毒素 /264

一、环境污染造成的食品中的毒素 /264

二、食品添加剂造成的食品中的毒素 /267

三、食品加工、储藏过程中造成的食品中的毒素 /268

### 第十四章 生物化学技术在食品中的应用

270

第一节 基因工程技术在食品资源改造中的应用 /270

一、改善食品原料品质与加工性能 /271

二、改良食品工业用菌种 /273

三、研制特种保健品的有效成分 /274

第二节 生物化学技术改进食品生产工艺流程 /274

一、发酵工程技术代替单纯化学合成 /274

二、基因工程菌的获得提高了发酵水平 /276

三、下游工程技术的应用 /277

第三节 生物化学技术对新产品开发的作用 /279

一、新的酶种的开发 /279

二、新的食品添加剂的开发 /280

三、新的功能性食品的开发 /281

第四节 生物化学技术在食品分析检测上的应用 /283

一、PCR 基因扩增技术的应用 /283

二、核酸探针检测技术在食品微生物检测中的应用 /284

三、生物芯片技术在食品安全检测中的应用 /285

四、免疫学检测技术在食品检测中的应用 /286

第五节 酶制剂与酶工程技术在食品工业中的应用 /287

一、酶工程基本技术 /287

二、酶对食品感观质量的影响 /288

三、酶对食品营养价值的影响 /289

四、酶促致毒与解毒作用 /289

五、酶活性的调节在食品加工中的应用 /290

六、酶在食品分析和加工中的应用 /290

参考文献 /293

常用中英文术语对照 /296

生物化学(biochemistry)就是生命的化学,是运用化学的原理、技术和方法来研究生物体的化学组成及其化学变化规律,进而深入揭示生命活动的化学本质的一门学科。生物化学介于化学、生物学及物理学之间,其特点是在分子水平上探讨生命的化学本质,研究生物体的分子结构与功能、物质代谢与调节及其在生命活动中的化学变化规律。食物是被人体摄取的含有供给人体营养成分和能量的物料。食品是指经过加工后的食物。相对而言,食品生物化学是一门研究人与食品化学变化关系的科学,其任务是从分子水平来阐明食品成分的组成、结构、性质、功能及其在人体内代谢和储藏加工过程中的化学变化规律。食品生物化学是食品科学的一个重要分支,属于应用生物化学。食品生物化学的发展是以生物化学为基础,沿着生物化学的演进历程不断发展完善的。

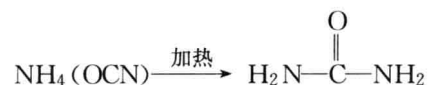
## 一、生物化学的研究进展

生物化学是在 18 世纪 70 年代以后,伴随着近代化学和生理学的发展逐步兴起的一门年轻的学科,尽管最早出现“biochemistry”(生物化学)一词是在 1882 年,但人们普遍认为“生物化学”是由德国化学家纽伯格(Carl Neuberg)于 1903 年正式提出并成为一门独立学科。纵观生物化学的发展史,可粗略地划分为叙述生物化学、动态生物化学与机能生物化学三个阶段。

**1. 静态生物化学时期(1770~1903 年)** 静态生物化学时期是生物化学发展的准备和酝酿阶段。其主要的工作是分析和研究生命物质的化学组成与理化性质,又称为叙述生物化学阶段。

生物化学发展的萌芽时期可以追溯到 18 世纪的欧洲,1775 年前后,瑞典化学家舍勒(Carl Wilhelm Scheele)研究生物体各种组织的化学组成,分析出酒石酸、尿酸、柠檬酸、苹果酸、没食子酸和甘油等,奠定了生物化学的基础。1785 年,法国的拉瓦锡(Antoine Laurent Lavoisier)第一次提出动物身体的发热是由于体内物质氧化所致。这种观点引发了人们对动物呼吸和生物体能量代谢的关注,是生物化学中生物氧化与能量代谢的开端。

19 世纪,生物化学现象已成为有机化学、生理学、营养学的研究重点,生物化学的发展也多依附于有机化学。1828 年,德国化学家维勒(Friedrich Wohler)在实验室中用化学方法将无机化合物氰酸铵合成了有机物尿素。



人工合成尿素的成功,彻底地推翻了有机化合物只能在生物体内合成的错误观点,也为生物化学的进一步发展开辟了广阔的道路。很多科学家把人工合成尿素作为生物化学学科诞生的标志,这比大学中开始设立第一个生物化学专业足足早了 75 年。

1840 年,德国科学家李比西(J. Von Liebig)提出了食物中主要营养物质——糖、蛋白质、脂类及其新陈代谢(metabolism)的概念。1857 年和 1860 年,法国著名科学家巴斯德(Louis Pasteur)对乳酸和酒精发酵进行了深入的研究,发现发酵是由微生物细胞中的活力成分“酵素”(ferment)引起的,并认为这种活力成分只有在细胞中才能发挥作用。

1897 年,德国的化学家毕希纳(Eduard Buchner)发现磨碎的酵母细胞的提取液仍能使糖发酵,否定了巴斯德等人认为只有完整的微生物细胞所含的“活体酶”(vitalistic enzyme)才可以引起发酵作用的错误推断,

开辟了离体方法进行生化研究的道路。毕希纳为此获得了1907年的诺贝尔化学奖。生物催化剂概念的引进,成为酶学研究的开始,酶独立催化作用的发现打开了通向现代生物化学的大门。这是近代生物化学产生的标志和第一个里程碑。1903年德国化学家纽伯格(Carl Neuberg)正式提出了“生物化学”概念。所有这一切,都可以视为叙述生物化学阶段。

**2. 动态生物化学时期(1903~1953年)** 动态生物化学时期是生物化学从建立到蓬勃发展的阶段,就在这一时期,人们发现了一些重要的分子并基本上弄清了生物体内各种主要化学物质的代谢途径。

从20世纪初到20世纪40年代,生物化学进入到了迅速发展阶段,现代生物化学的基本框架已基本确立。伴随着分析鉴定技术的进步,特别是微量分析技术和放射性核素示踪技术(radioisotopic labeling)的应用,生化营养学、生物体的分子组成、物质代谢与能量代谢和代谢调节等均取得了显著成果,酶、人类必需氨基酸、必需脂肪酸、维生素和激素相继被发现。1902年,美国生物化学家及药学家阿贝尔(John Jacob Abel)分离出了肾上腺素并制成结晶。1905年英国生理学家斯塔林(Ernest H. Starling)提出hormone(激素)一词。1911年波兰科学家丰克(Casimir Funk)在结晶出治疗“脚气病”的抗神经炎维生素(实际上是复合维生素B)后,首次提出了vitamine一词(意为生命之胺);后来发现许多维生素并非胺类,又改为vitamin(维生素)。1924年瑞典化学家斯韦德里里(Theodor Svedberg)制成了第一台超速离心机,开创了生化物质离心分离的先河,并准确测定了血红蛋白等复杂蛋白质的相对分子质量,获得了1926年的诺贝尔化学奖。1926年,美国科学家萨姆纳(James Batcheller Sumner)首次制备出了尿酶(urease)结晶,1937年又制备出了过氧化氢酶(catalase)结晶,证明了酶的化学本质是蛋白质。萨姆纳因此与另外两位科学家共同获得了1946年诺贝尔化学奖。

在以往研究的基础上,许多科学工作者运用多种实验方法进一步研究生物体内各种组成物质的代谢变化及相互转换。从营养的角度研究了生物对蛋白质的需要,又深入地研究出酶、维生素、激素等生物活性物质在代谢中的作用。酶促反应动力学、糖代谢的各条反应途径、脂肪酸的 $\beta$ -氧化分解、氨基酸的分解代谢与鸟氨酸循环、三羧酸循环等均是这一时期的突出成果。1932年,英国科学家克雷布斯(Hans Krebs)在前人工作的基础上,用组织切片实验证明了尿素合成反应,提出了鸟氨酸循环(也称尿素循环,urea cycle)。1937年克雷布斯又提出了各种化学物质代谢的中心环节——三羧酸循环(citric acid cycle)途径。1940年埃姆登(Gustave Embden)、迈耶霍夫(Otto Fritz Meyerhof)和帕那斯(Jakub Karol Parnas)提出了糖酵解代谢途径[又称为埃姆登-迈耶霍夫-帕那斯途径(Embden-Meyerhof-Parnas pathway),简称为EMP途径]。1949年,美国生物化学家肯尼迪(Eugene Kennedy)和勒宁格尔(Albert Lehninger)等发现脂肪酸 $\beta$ -氧化过程是在线粒体中进行的,并指出氧化的产物是乙酰CoA。至此,对糖、脂肪、蛋白质及其代谢中间产物在体内代谢的变化研究以及它们之间的相互联系和转换的研究,已经构成一幅较为完整的代谢图。可以看出,这一时期的生物化学主要是研究物质的代谢变化,所以被视为动态生物化学阶段。生物体内主要物质代谢途径与调控机理的阐明是生物化学的第二个里程碑。

**3. 机能或分子生物化学时期(1953年~)** 机能或分子生物化学时期又称现代生物化学时期或分子生物学阶段,这一阶段的主要研究工作就是探讨各种生物大分子的结构与其功能之间的关系。

从20世纪50年代开始,生物化学迅猛发展,跨入了在分子水平上探讨生物分子的结构与功能之间关系的时期。在这期间,许多生物化学技术都得到了极大改进。如20世纪30年代在糖类及类脂物质的中间代谢研究中建立起来的放射性核素示踪技术在50年代有了大的发展,为各种生物化学代谢过程的阐明起了决定性的作用;分离与鉴定各种化合物时使用的各种敏感而特异的层析(chromatography)、电泳和超速离心技术已发展成为分离生化物质的关键技术;氨基酸全自动分析仪在蛋白质测序中的使用,大大加快了蛋白质的分析工作。一些近代的物理方法和分析仪器,如:红外、紫外、荧光、X线(X-ray)、磁共振(MRI)等已应用于测定生物分子的结构和功能。生物化学分子的分离、纯化和鉴定的方法已向微量、快速、精确、简便和自动化的方向发展。借助于这些手段,将蛋白质、核酸、胆固醇、某些固醇类激素、血红素等的生物合成和分解过程研究得更加清楚;不但测出了某些有生物化学活性的重要蛋白质结构,包括一级结构和高级结构,而且还测出了一些DNA和RNA的结构,从而确定其在蛋白质生物合成以及DNA在遗传中的作用。

这一时期的主要标志是1953年沃森(James D. Watson)和克里克(Francis H. C. Crick)的DNA双螺旋

结构模型的建立。这是 20 世纪自然科学中的重大突破之一,为进一步阐明遗传信息的贮存、传递和表达,揭开生命的奥秘奠定了结构基础。接下来 1955 年英国生物化学家桑格(Frederick Sanger)完成了结晶牛胰岛素一级结构的测定。从此开始了以核酸和蛋白质等生物大分子的结构与功能为研究焦点的阶段。生物化学在这一阶段的发展,以及物理学、微生物学、遗传学、细胞学等其他学科的渗透,产生了分子生物学,并成为生物化学的主体,它全面地推动了生命科学的发展。克里克(Francis H. C. Crick)于 1958 年提出分子遗传的中心法则(central dogma),从而揭示了核酸和蛋白质之间的信息传递关系。又于 1961 年证明了遗传密码的通用性。1966 年美国生化遗传学家尼伦伯格(Marshall Nirenberg)、分子生物学家霍利(Robert Holly)和生物化学家科拉纳(Har Gobind Khorana)合作破译了遗传密码,三人共获 1969 年诺贝尔生理学或医学奖。至此遗传信息在生物体内由 DNA 到蛋白质的传递过程已经阐明。对基因传递与表达的调控也取得了可喜的成果。1961 年法国生物学家雅各布(François Jacob)和莫诺(Jacques Lucien Monod)阐明了基因通过控制酶的生物合成来调节细胞代谢的模式,提出了操纵子学说(operon theory)。布伦纳(Sydney Brenner)获得信使 RNA(mRNA)存在的证据,阐明其碱基序列与染色体中 DNA 互补,并假定 mRNA 将编码在碱基序列上的遗传信息带到蛋白质的合成场所——核糖体,在此翻译成氨基酸序列。以上三人获得 1965 年诺贝尔生理学或医学奖。1962 年,瑞士生物学家阿尔伯(Werner Arber)提出限制性核酸内切酶存在的第一个实验证据;1967 年,美国国立卫生研究所的盖勒特(Martin Gellert)从大肠杆菌中发现了 DNA 连接酶,1973 年美国斯坦福大学伯格(Paul Berg)和美国旧金山加州大学博耶(Herbert Boyer)等创建了 DNA 重组技术(基因克隆技术),使分子遗传学与蛋白质化学紧密地结合起来,开辟了基因工程这个崭新的领域。它打破了种属的界限,使人们改造生物物种和使用微生物生产人类所需的蛋白质成为可能。在此基础上衍化出了转基因技术、基因剔除技术及基因芯片技术等,大大地开阔了人们有关基因研究的视野。

近二三十年来,生物化学研究成果日新月异,几乎每年都有从事生物化学和分子生物学的科学家获得诺贝尔生理学或医学奖以及一些诺贝尔化学奖。生化科学家对生物大分子的分解代谢、生物合成途径以及相互之间的关系了解得更加清楚。科学家在 DNA 分子的双螺旋结构假说被证实的基础上完善了 DNA、RNA 和蛋白质三者之间关系的“中心法则”;发现了在 DNA 特定位点上能够进行切割的限制性内切酶;由 DNA 链中的核苷酸顺序所决定的遗传密码的破译及多种酶结构的发现催生了生物工程的诞生和迅速发展。科学家还测定了许多蛋白质中的氨基酸的排列顺序并且以此为基础测定数以百计的蛋白质的空间结构和一些酶活性部位的结构;测定了许多核酸分子的结构,人工合成了多种具有生物化学活性的蛋白质和基因。2000 年,美国总统和人类基因组的科学家宣布人类基因草图绘制完毕,这表明从 1990 年开始的人类基因组计划(human genome project, HGP)已完成了对人类基因组的测序工作,标志着人类生命科学的发展进入了一个新纪元。继之而来的后基因组计划,将在基因组多样性、遗传疾病产生的原因、基因表达调控的协调作用及蛋白质产物的功能方面进行深入研究。这些庞大工程的完成将对生命的本质、生命的进化、遗传、变异,疾病的发病机制,疾病的预防、治疗,延缓衰老和新药的开发,以及整个生命科学产生深远的影响。同时,随着结构基因组学、功能基因组学、蛋白组学、转录组学、糖组学、脂组学、代谢组学等新兴学科的不断涌现,其发展前景相当广阔。

近代生化的研究在我国起步较晚。我国生物化学的主要先驱是吴宪教授(1893~1959),他早年留学美国哈佛大学,回国后于 1924~1942 年担任私立北京协和医学院生物化学教授,兼生物化学系主任教授,在国际上负有盛名。他在血液分析方面,创立了血滤液制备与血糖测定等方法;1936 年提出了蛋白质的变性理论;在免疫化学上,首先采用定量分析方法,研究出抗原抗体反应的机制等,这些成果为当时的生物化学界所赏识。

我国在生物化学研究中最突出的成就是王应睐和邹承鲁等于 1965 年首次人工合成了具有生物活性的结晶牛胰岛素,接下来在 1983 年又用有机合成和酶促反应相结合的方法人工合成了酵母丙氨酸转移核糖核酸,这标志着我国在多肽和核酸的人工合成方面已居于世界先进行列。此外我国在酶的作用机理、血红蛋白变异、生物膜结构与功能等方面都获得了国际先进水平的研究成果。

进入 21 世纪以后,我国生物化学工作者出色地完成了人类基因组计划中 1% 的测序工作,为世界人类基因组计划的完成贡献了力量;率先完成了水稻的基因组精细图,为水稻的育种和防病研究奠定了基因基础。

我国在生物化学的许多领域均已达到了国际先进水平,与全世界的科技工作者一道,冲击生命科学的顶峰。

## 二、生物化学与食品科学及其他学科的关系

生物化学是介于生物学与化学之间的一门交叉学科,它与生物学和化学的许多分支学科有密切的关系。有机化学、分析化学、无机化学及物理化学的基本原理、方法在生物化学中都得到了广泛的应用。例如,生物体的基本组成可以用有机化学和分析化学的有关理论、方法得到解决;生物分子的反应服从于非生命界的化学定律,生物分子间的相互作用、结构与其功能间的关系、酶促反应的机理及反应过程中的能量变化关系等可以利用物理化学的相关理论和方法进行研究和阐明,而生物化学的发展也必将进一步丰富物理化学的研究内容。

生物化学的研究对象是生物体,它是在分子水平上对生物学的各个领域进行探索,属于生物学的分支学科,同时也是生物学各分支学科的基础和领头学科。生物化学的理论与技术已渗透到生物学的各个领域,与生物学的其他学科如细胞学、微生物学、遗传学、生理学等领域有着密切联系,如生物化学在研究生命物质的化学组成、结构及生命活动过程中各种化学变化时,常采用微生物作为研究对象,微生物的代谢、遗传变异等都是生物化学讨论的焦点,而微生物学在研究微生物的种类、结构、功能、分类、代谢及生理时也无时无刻都渗透着生物化学的理论和技术方法。生物化学作为生物学和物理学之间的桥梁,将生物学领域所提出的重大而复杂的问题展示在物理学面前,产生了生物物理学、量子生物化学等交叉学科,从而丰富了物理学的研究内容,促进了物理学和生物学的发展。

生物化学同样是食品科学的重要基础学科,是食品科学发展的重要理论依据和技术基础,它使人们对食品的化学组成、食品在人体中代谢及加工贮藏中变化的认识提高到了分子水平,奠定了包括食品资源开发、食品营养、食品加工工艺研究、食品贮藏技术完善等方面的分子基础。尤其是食品的概念由农业食品、工业食品发展到转基因食品,必将为本世纪食品科学的发展带来新的突破。

## 三、食品生物化学研究的主要内容

食品生物化学(food biochemistry)不同于以研究生物体的化学组成、生命物质的结构与功能、生命过程中物质变化和能量变化的规律、一切生命现象的化学原理为基本内容的普通生物化学,它不涉及基因的贮存、传递、表达及其调控的生命自我复制部分,也不涉及调节机体的生长、增殖、分化、衰老等生命过程的细胞内信号转导部分。同时,食品生物化学也不同于以研究食品的组成特性及其产生的化学变化为基本内容的食品化学,它注重于食品成分在人体内的变化规律以及转化过程中的能量转换问题研究。食品生物化学是将生物化学和食品化学的基本原理有机地结合起来,应用于食品科学的研究中所产生的一门交叉学科。作为生物化学一门应用性分支学科,其内容还包括和食品贮藏加工有关的生物化学原理和技术应用。食品生物化学研究的主要内容包括:

① 研究生物体和食品成分的化学组成、结构、理化性质及生理功能。

简单元素构成各种含碳有机化合物等生物小分子,组成基本生物分子,再合成生物大分子。研究生物大分子、基本生物分子和生物小分子的结构、性质和功能,也称为静态生物化学。

② 以代谢途径为中心,研究食品在人体内的变化规律及伴随其发生的能量代谢与代谢调节。

研究食品的动态生化过程,糖、脂类、蛋白质、核酸等生物分子在体内的分解、合成、转化以及转化过程中的能量转换问题,也称为动态生物化学。

③ 运用生物化学原理和方法,研究作为食品成分的相关物质在加工、贮存等条件下的变化,研究食品贮藏、加工新技术。

④ 开发新产品和新的食物资源。

现代生物化学技术,特别是基因工程技术的出现,从本质上改变了食品的性能,越来越受到食品科学领域的重视,并使得食品的概念从农业食品、工业食品发展到了基因工程或生物技术食品。以基因工程为核心的生物技术在 21 世纪必将给食品工业带来一场革命。例如:通过基因工程技术,将谷类植物基因导入豆类植物,开发甲硫氨酸含量较高的转基因大豆,可以解决豆类植物中甲硫氨酸的含量低的难题。美国 DuPont

公司通过反义抑制油酸酯脱氢酶,成功开发了适合做煎炸油的具有良好的氧化稳定性的高油酸大豆油。随着生物化学和分子生物学的进一步发展,新产品和新的食物资源将不断被开发,这将大大促进食品工业的发展,也为人类最终解决粮食短缺、消除饥饿带来了希望。

#### 四、学习食品生物化学的目的

食品生物化学是生物化学的分支学科,它主要研究食品的化学组成及结构,新鲜天然食品的代谢变化,食品在人体中的代谢及营养功能,以及加工过程对食品的影响。食品生物化学也是将生物化学基本理论应用于食品加工、保藏技术的重要基础课程,是食品科学与工程、食品加工、食品质量与安全、酿酒等专业必修的一门重要专业基础课,是各专业的主干课之一。通过食品生物化学的学习,我们能够充分掌握生命活动中重要组成成分——糖、脂类、蛋白质、酶、核酸的结构和性质,了解维生素、辅酶的结构和功能,对于生物体内分子水平上所发生的重要代谢反应原理、基本过程以及部位等有较深入的认识,熟悉其中重要的生物化学反应过程以及与代谢相关的基本概念;了解各种代谢反应与生产及生活的关系,从而进一步领会各种代谢反应;系统地掌握作为食品成分的这些物质在加工、贮存等条件下的变化,为从事食品科学与工程的研究和生产奠定良好的科学思维和解决实际问题的技能基础。



# 第一章

## 糖

糖是自然界中数量最多的有机化合物,约占自然界生物物质的 3/4。糖在生物体内有以下几个方面的作用:

- (1) 氧化供能,人体所需能量的 70%来自糖的氧化。
- (2) 提供合成体内其他物质的原料,如糖可提供合成某些氨基酸和脂肪等物质的原料。
- (3) 作为生物体细胞组织的组成成分,如纤维素是植物组织中起支持作用的结构物质;糖脂和糖蛋白在生物膜中担负着细胞和生物分子相互识别的作用;此外,糖还是构成核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)的主要物质。

### 第一节 概 述

#### 一、糖类化合物的概念及分布

糖是多羟醛或多羟酮及其缩聚物和衍生物的总称。主要由 C、H、O 组成,分子式常用  $C_n(H_2O)_n$  来表示,其中氢和氧的原子比例是 2:1,又称为碳水化合物。后来人们发现符合通式的不一定是糖,如  $CH_3COOH$ (乙酸), $CH_2O$ (甲醛), $C_3H_6O_3$ (乳酸);是糖的也不一定都符合通式,如  $C_5H_{10}O_4$ (脱氧核糖), $C_6H_{12}O_5$ (鼠李糖),而且有些糖还含有氮、硫、磷等成分。所以碳水化合物这个名称并不确切,但因沿用已久,所以至今在西文中仍广泛使用。

糖在自然界中分布广泛,微生物、植物和高等动物体内都含有糖,其中植物体内含量最为丰富,占植物干重的 85%~90%。植物细胞壁、木质部等主要由纤维素构成,我们生活中应用的竹、木、棉、麻制品,也都是由纤维素构成的。甘蔗中含有蔗糖,水果中含有果糖、葡萄糖和果胶,谷物中含有大量的淀粉,这些纤维素、蔗糖、果糖、葡萄糖、果胶和淀粉等都属于糖类。微生物中糖含量占菌体干重的 10%~30%,人体和动物中糖含量较少,不超过干重的 2%。人体中,糖主要有以下存在形式:①以糖原形式贮藏在肝脏和肌肉中,糖原代谢速度很快,对维持血糖浓度恒定,满足机体对糖的需求有重要意义。②以葡萄糖形式存在于体液中。细胞外液中的葡萄糖是糖的运输形式,它作为细胞的内环境条件之一,浓度相当恒定。③存在于多种含糖生物分子中,糖作为组成成分直接参与多种生物分子的构成。

#### 二、糖类化合物的种类

根据能否被水解以及其水解产物的情况,糖主要可分为以下几类:

(1) 单糖:一类结构最简单的糖,是不能用水解方法再降解的糖及其衍生物,根据其所含碳原子的数目可分为丙糖、丁糖、戊糖和己糖,根据官能团的特点分为醛糖和酮糖。

(2) 寡糖:也称低聚糖,指能水解生成 2~10 个单糖分子的糖,各单糖之间借脱水缩合的糖苷键相连。以双糖存在最为广泛,蔗糖、麦芽糖和乳糖是其重要代表。

(3) 多糖:能水解为多个单糖分子的糖称为多糖,是聚合度很大的高分子物质,以淀粉、糖原、纤维素等最为重要。由相同的单糖基组成的多糖称为同聚多糖,不相同的单糖基组成的称为杂聚多糖。

(4) 复合糖:糖与蛋白质、脂质等分子聚合而成的化合物称为复合糖或糖复合物,如糖蛋白和糖脂等。