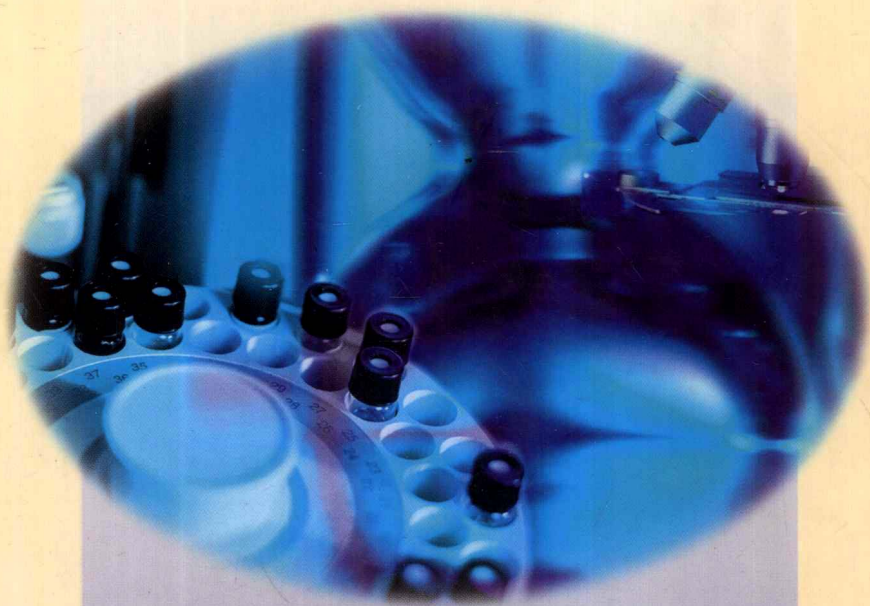


全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

食品生物化学

谢达平 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

食品生物化学

谢达平 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品生物化学 / 谢达平主编. —北京: 中国农业出版社, 2004.6

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-09001-9

I. 食... II. 谢... III. 食品-生物化学-高等学校-教材 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 042699 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 李国忠

北京京科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 23.5

字数: 556 千字

定价: 33.10 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 谢达平

副 主 编 赵国华 陈晓平 林亲录

编写人员 (按姓氏笔画排序)

于国萍 (东北农业大学)

邓林伟 (湖南农业大学)

白卫东 (仲恺农业技术学院)

陈晓平 (吉林农业大学)

林亲录 (湖南农业大学)

赵国华 (西南农业大学)

常 弘 (山西农业大学)

谢达平 (湖南农业大学)

谭敬军 (湖南农业大学)

主 审 刘冠民

前 言

本书是为食品科学和食品工程专业本科学生编写的教科书。本书内容力求反映学科发展的趋势，以培养适应 21 世纪科技发展，具有创新意识、基础扎实、知识面广、综合素质高的人才。考虑到食品加工生物化学、食品添加剂化学中的许多内容已编入食品化学教材，为避免与食品化学课程某些内容重复，我们重在加强食品生物化学的基础理论、基本概念和技能的内容教学，并尽可能结合食品生产实际。

本书共分为 4 篇 15 章。第 1 篇为物质篇，重点讲述生物体内糖类、脂类、蛋白质、核酸和酶的组成、结构和功能。第 2 篇为代谢篇，讲述生物大分子糖类、脂类、蛋白质和核酸的生物合成与降解代谢、能量代谢、基因信息传递及各物质代谢的相互关系与调节控制。第 3 篇为专题篇，讲述植物原料采摘后和动物屠宰后至食品加工前贮藏期间食品原料的生物化学变化以及风味物质的形成和转化。第 4 篇为技术篇，主要介绍与食品物质成分的纯化和检测相关的现代生物化学技术，重点讲述其基本原理和在食品科学上的应用现状与前景。

考虑到教学学时的因素，第 3 篇和第 4 篇编入的内容有所压缩，但随着转基因作物和转基因食品被人们广泛接受，这方面的内容可在以后补充。为使教材便于教与学，编写时力求简明、概念明确、突出重点，每章后面附有复习题，以帮助学生课后复习，掌握要点。

该教材由长期担任食品生物化学课程教学的主讲教师编写，谢达平教授任主编。第 1 章和第 2 章由谭敬军编写，第 3 章和第 6 章由陈晓平编写，第 4 章由常弘编写，第 5 章、第 11 章和绪论由谢达平编写，第 7 章由于国萍编写，第 8 章由林亲录编写，第 12 章由常弘和林亲录合编，第 9 章由白卫东编写，第 10 章由邓林伟编写，第 14 章、第 15 章和第 16 章由赵国华编写。刘冠民教授对本教材进行了审阅。

本教材还可供相关专业的科技人员和研究生参考。由于编者水平有限，书中难免存在缺陷或错误之处，诚望读者和同行专家不吝指正。

编 者

2004 年 4 月于长沙

目 录

前言	
绪论	1

第1篇 物质篇

第1章 糖类物质	4
1.1 单糖	4
1.1.1 单糖的分子结构	4
1.1.2 单糖的理化性质	10
1.1.3 重要的单糖及单糖衍生物	13
1.2 寡糖	18
1.2.1 双糖	18
1.2.2 三糖	20
1.3 多糖	21
1.3.1 淀粉	22
1.3.2 糖原	23
1.3.3 纤维素	23
1.3.4 壳多糖	24
1.3.5 糖胺聚糖	24
1.3.6 细菌多糖	26
复习题	28
第2章 脂类物质	29
2.1 脂类	29
2.1.1 简单脂	29
2.1.2 复合脂	35
2.1.3 萜类、类固醇及前列腺素	40
2.2 生物膜	45
2.2.1 生物膜的组成和结构	45
2.2.2 生物膜的物质运送功能	51
复习题	54

第3章 蛋白质	56
3.1 蛋白质的化学组成与分类	56
3.1.1 蛋白质的化学组成	56
3.1.2 蛋白质的分类	56
3.2 氨基酸与肽	58
3.2.1 氨基酸	58
3.2.2 肽	64
3.3 蛋白质的分子结构	68
3.3.1 蛋白质的一级结构	69
3.3.2 蛋白质的空间结构	70
3.3.3 蛋白质分子结构与功能的关系	75
3.4 蛋白质的理化性质	76
3.4.1 分子质量	76
3.4.2 渗透压和透析	76
3.4.3 胶体性质	76
3.4.4 两性解离和等电点	77
3.4.5 蛋白质的电泳	77
3.4.6 蛋白质的沉淀	78
3.4.7 蛋白质的颜色反应	79
3.5 蛋白质的功能性质及其在食品加工中的应用	79
3.5.1 蛋白质的水化性和持水性	80
3.5.2 面团的形成	81
3.5.3 蛋白质的膨润	81
3.5.4 蛋白质的乳化性质	82
3.5.5 蛋白质的发泡性	82
3.5.6 蛋白质与风味物质结合	83
复习题	84
第4章 核酸	85
4.1 核苷酸	85
4.1.1 核苷酸的组成	85
4.1.2 核苷酸的理化性质	88
4.1.3 核苷酸的衍生物	89
4.2 脱氧核糖核酸	91
4.2.1 DNA的碱基组成及一级结构	91
4.2.2 DNA的空间结构	91
4.2.3 DNA的生物学功能	96
4.3 核糖核酸	97

4.3.1 RNA 的结构	97
4.3.2 RNA 的类型	97
4.4 核酸的理化性质及分离提纯	101
4.4.1 核酸的理化性质	101
4.4.2 凝胶电泳	103
4.4.3 核酸的变性、复性与杂交	104
4.4.4 核酸的分离提纯	105
4.4.5 DNA 序列分析	106
复习题	108
第 5 章 酶	109
5.1 酶的一般概念	109
5.1.1 酶的化学本质及组成	110
5.1.2 酶的命名与分类	111
5.1.3 酶催化反应的专一性	112
5.2 酶的催化作用机理	114
5.2.1 酶的活性中心	114
5.2.2 诱导契合学说	114
5.2.3 中间产物学说	115
5.2.4 酶催化高效率作用的机理	116
5.2.5 酶原激活	117
5.3 酶反应的动力学	118
5.3.1 酶反应速度与活力单位	118
5.3.2 底物浓度对酶促反应速度的影响	119
5.3.3 pH 对酶促反应速度的影响	121
5.3.4 温度对酶促反应速度的影响	121
5.3.5 酶浓度对酶促反应速度的影响	122
5.3.6 激活剂对酶促反应速度的影响	122
5.3.7 抑制剂对酶促反应速度的影响	122
5.4 别构酶与同工酶	124
5.4.1 别构酶	125
5.4.2 同工酶	125
5.5 维生素构成的辅因子	125
5.5.1 维生素 PP 与 NAD^+ 、 NADP^+	125
5.5.2 维生素 B_1 与焦磷酸硫胺素	126
5.5.3 维生素 B_2 与 FMN、FAD	127
5.5.4 维生素 B_6 与磷酸吡哆醛	128
5.5.5 泛酸与辅酶 A	128
5.5.6 生物素	129

5.5.7 叶酸及其辅酶形式	130
5.5.8 维生素 B ₁₂ 与辅酶 B ₁₂	130
5.5.9 硫辛酸	131
5.5.10 维生素 C	132
5.6 食品加工中的常用酶	132
5.6.1 食品工程中的常用酶	132
5.6.2 酶的改造与模拟	135
复习题	136

第 2 篇 代 谢 篇

第 6 章 生物氧化	138
6.1 概述	138
6.1.1 生物氧化的特点	138
6.1.2 生物氧化的方式与 CO ₂ 的生成	138
6.1.3 生物氧化的酶类	140
6.2 呼吸链	141
6.2.1 呼吸链的组成	142
6.2.2 线粒体内两条重要的呼吸链	143
6.2.3 线粒体外 NADH 的氧化	144
6.3 生物氧化中能量的转变	146
6.3.1 ATP 的生成	147
6.3.2 ATP 循环	149
6.3.3 磷酸肌酸和磷酸精氨酸的储能作用	149
6.4 超氧负离子的生成	150
复习题	151
第 7 章 糖类代谢	152
7.1 糖类的消化吸收	152
7.1.1 糖类的消化	152
7.1.2 糖类的吸收	153
7.2 糖的无氧分解	153
7.2.1 糖酵解的反应过程	153
7.2.2 丙酮酸的去路	156
7.2.3 糖酵解的能量核算及生理意义	157
7.2.4 其他单糖的酵解	158
7.2.5 糖酵解的调节	160

7.3 糖的有氧氧化	161
7.3.1 糖有氧氧化的反应过程	161
7.3.2 糖有氧氧化产生的 ATP	164
7.3.3 糖有氧氧化调节	167
7.4 磷酸戊糖途径	168
7.4.1 磷酸戊糖途径的反应过程	168
7.4.2 磷酸戊糖途径的意义	172
7.5 乙醛酸循环	172
7.6 糖醛酸途径	173
7.7 糖异生作用	174
7.7.1 糖异生途径	174
7.7.2 糖异生作用的调节	176
7.8 糖原的分解与合成	177
7.8.1 糖原的分解代谢	178
7.8.2 糖原的合成代谢	179
7.8.3 糖原的代谢调节	180
7.9 其他糖类的合成	182
7.9.1 淀粉的合成	182
7.9.2 蔗糖的合成	182
7.9.3 乳糖的合成	183
7.10 糖代谢各途径之间的关系	183
复习题	185
第 8 章 脂类代谢	186
8.1 食品原料中的脂类物质	186
8.1.1 单纯脂类	186
8.1.2 复合脂类	186
8.1.3 非皂化脂类	187
8.2 脂类的消化、吸收和转运	187
8.2.1 脂类的消化	187
8.2.2 脂类的吸收	188
8.2.3 脂类的转运	188
8.3 脂类的分解代谢	189
8.3.1 三脂酰甘油的水解	189
8.3.2 甘油的转化	189
8.3.3 脂肪酸的分解代谢	190
8.4 脂肪的合成	194
8.4.1 磷酸甘油的生物合成	194
8.4.2 脂肪酸的生物合成	194

8.4.3 脂肪酸链的延长	198
8.4.4 不饱和脂肪酸的合成	198
8.4.5 三脂酰甘油的生物合成	199
8.5 磷脂代谢	200
8.5.1 磷脂酰胆碱的酶促降解	200
8.5.2 磷脂酰胆碱的生物合成	201
8.6 人体内胆固醇的转变	203
8.7 脂类代谢的调节	203
8.7.1 不同组织器官中的脂肪转运与代谢调节	203
8.7.2 激素对脂类代谢的调节	204
8.7.3 脂肪酸代谢的调节	204
复习题	205
第9章 氨基酸和核苷酸的代谢	206
9.1 氨基酸的分解代谢	206
9.1.1 氨基酸的脱氨基作用	206
9.1.2 氨基酸的脱羧基作用	209
9.1.3 氨的代谢	211
9.1.4 氨基酸碳架 α 酮酸的转化	214
9.1.5 CO_2 的代谢	214
9.1.6 个别氨基酸的代谢	215
9.2 氨基酸的合成代谢	217
9.2.1 谷氨酸族氨基酸的合成	218
9.2.2 天冬氨酸族氨基酸的合成	219
9.2.3 丙氨酸族氨基酸的合成	220
9.2.4 丝氨酸族氨基酸的合成	221
9.2.5 芳香族氨基酸和组氨酸的合成	221
9.3 核苷酸的代谢	222
9.3.1 核酸的降解	222
9.3.2 核苷酸的降解	223
9.3.3 嘌呤碱的分解	223
9.3.4 嘧啶碱的分解	224
9.4 核苷酸的生物合成	225
9.4.1 嘌呤核苷酸的合成	225
9.4.2 嘧啶核苷酸的合成	228
9.4.3 脱氧核糖核苷酸的合成	230
9.4.4 核苷二磷酸和核苷三磷酸的合成	231
复习题	231

第 10 章 核酸及蛋白质的生物合成	233
10.1 DNA 的生物合成	233
10.1.1 DNA 的半保留复制	233
10.1.2 DNA 复制的起点和方式	235
10.1.3 DNA 复制的酶学	236
10.1.4 DNA 生物合成过程	242
10.1.5 真核生物 DNA 的复制	244
10.1.6 DNA 的损伤及其修复	245
10.2 RNA 的生物合成	248
10.2.1 原核生物中的基因转录	248
10.2.2 真核生物中的基因转录	250
10.3 蛋白质的生物合成	250
10.3.1 遗传密码	251
10.3.2 蛋白质合成	253
10.3.3 翻译后加工	258
复习题	259
第 11 章 物质代谢途径的相互关系与调控	260
11.1 物质代谢的相互关系	260
11.1.1 糖类代谢与脂类代谢的相互关系	260
11.1.2 糖类代谢与蛋白质代谢的相互联系	260
11.1.3 脂类代谢与蛋白质代谢的相互关系	260
11.1.4 核酸代谢与糖类代谢、脂肪代谢及蛋白质代谢的相互关系	261
11.2 代谢调节控制	262
11.2.1 酶的区域化定位	262
11.2.2 酶活性的调节	263
11.2.3 基因表达调控	267
11.2.4 激素对代谢的调控	273
复习题	274
第 3 篇 专题篇	
第 12 章 食品加工贮藏中的生物化学	276
12.1 植物性生鲜原料的主要成分	276
12.1.1 水分	276
12.1.2 碳水化合物	276
12.1.3 有机酸	277

12.1.4 色素物质	278
12.1.5 维生素	279
12.1.6 矿物质	280
12.1.7 含氮物质	280
12.1.8 单宁物质	280
12.1.9 糖苷类	281
12.1.10 芳香物质	281
12.1.11 油脂类	282
12.1.12 酶	282
12.2 植物性原料采后代谢活动	282
12.2.1 水果、蔬菜等植物原料采后的呼吸活动	282
12.2.2 水果、蔬菜等植物原料成熟、衰老过程的生物化学变化	284
12.2.3 水果、蔬菜等植物性原料成熟衰老过程中的呼吸作用特征	286
12.3 采后贮藏期间乙烯的影响	287
12.3.1 乙烯的分布和生物合成	287
12.3.2 乙烯与水果、蔬菜成熟衰老的关系	288
12.4 动物死后组织中的生物化学	290
12.4.1 动物死后组织代谢的一般特征	290
12.4.2 动物死后组织呼吸途径的转变	291
12.4.3 动物死后组织中 ATP 含量的变化及影响	291
12.4.4 动物死后组织中 pH 的变化	292
12.4.5 动物死后肌肉中蛋白质的变化	292
12.5 食品的变色作用	293
12.5.1 褐变作用	294
12.5.2 其他变色作用	301
复习题	302
第 13 章 风味物质形成的生物化学	303
13.1 风味	303
13.1.1 风味的概念与分类	303
13.1.2 味感与气味	304
13.1.3 风味物质产生的途径	305
13.2 风味物质形成的生物化学过程	306
13.2.1 风味物质前体的生物转化	306
13.2.2 风味物质的发酵形成	312
13.2.3 利用植物细胞培养生产风味物质	312
复习题	314

第 4 篇 技 术 篇

第 14 章 现代食品生物化学分离技术	316
14.1 超临界流体萃取技术	316
14.1.1 超临界流体的性质	316
14.1.2 超临界流体萃取的原理	318
14.1.3 超临界流体萃取的设备与流程	318
14.1.4 超临界流体萃取的特点	319
14.1.5 超临界流体萃取应用实例	320
14.2 膜分离技术	320
14.2.1 超滤膜分离技术	320
14.2.2 反渗透膜分离技术	322
14.2.3 电渗析分析技术	323
14.2.4 膜分离技术应用实例	324
14.3 分子蒸馏技术	324
14.3.1 分子蒸馏的原理	325
14.3.2 分子蒸馏的特点	325
14.3.3 分子蒸馏的设备	326
14.3.4 分子蒸馏应用实例	327
14.4 结晶技术	328
14.4.1 晶体的性质	328
14.4.2 结晶的条件与过程	328
14.4.3 结晶方法及设备	330
14.4.4 结晶技术应用实例	330
复习题	331
第 15 章 现代食品生物化学分析技术	332
15.1 免疫分析技术	332
15.1.1 抗原与抗体	332
15.1.2 免疫分析的方法与原理	337
15.1.3 免疫分析在食品中的应用	341
15.2 生物传感器分析技术	342
15.2.1 生物传感器的概念、组成及分类	342
15.2.2 生物传感器的原理	344
15.2.3 生物传感器在食品工业中的应用	345
15.3 DNA 芯片分析技术	347
15.3.1 DNA 芯片的基本原理	347

15.3.2 DNA 芯片的工作流程·····	347
15.3.3 DNA 芯片在食品工业中的应用·····	350
15.4 PCR 分析技术·····	351
15.4.1 PCR 的原理及基本过程·····	351
15.4.2 PCR 的反应体系·····	352
15.4.3 PCR 的分类·····	353
15.4.4 PCR 在食品工业中的应用·····	354
复习题·····	355
附录 书中部分英文缩写·····	356
主要参考文献·····	357

绪 论

生物化学 (biochemistry) 是研究生命现象的化学本质的科学, 它的宗旨是在分子水平上探讨生命的本质, 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规律与特点。食品一般都是来源于生物体, 只有深入了解其本质, 才能加工出适合于人体需要的、高质量的产品。实践中, 我国劳动人民很早就利用生物反应加工出了不同类型的产品。如相传公元前 21 世纪的夏人仪狄作酒醪, 禹尝之而美, 说明酒的起源比这时还早。《尚书》还有“若作酒醴, 尔惟曲蘖”的记载, 是说酿酒要用曲。《周礼》中有制酱的记载; 《礼·内则》有“枣栗饴蜜以甘之”的记载, 饴即指麦芽糖; 《论语·公冶长》有“或乞醯焉”的记载, 醯即是醋。可见, 我国古代, 人们就已经掌握了酿酒、制醋、制酱和制麦芽糖的技术了。此外北宋寇宗奭的《本草衍义》中有关于制豆腐的记载, 说明当时就已经认识了一些沉淀分离蛋白质的方法。我国古代劳动人民不仅有许多制作食品的经验, 而且还认识到食物的营养价值, 在《黄帝内经素问》中记载‘五谷为养, 五米为助, 五畜为益, 五菜为充’, 将食物分为 4 大类, 并说明了其营养价值。《食疗本草》等还记载了祖国古代医学运用营养知识治疗疾病的原理。

生物化学的研究始于 18 世纪, 作为一门独立的学科形成于 20 世纪初期。18 世纪中叶至 20 世纪初是生物化学的初级阶段, 主要研究生物体的化学组成, 如对脂类、糖类及氨基酸进行了系统研究, 发现了核酸, 化学合成了简单多肽, 发现酵母的无细胞抽提液仍能使糖发酵, 奠定了酶学研究的基础。从 20 世纪初期开始, 生物化学进入快速发展阶段, 取得了突出成就, 如人类必需氨基酸的确定, 必需脂肪酸及多种维生素的发现, 酶结晶的获得, 生物体内糖、脂、尿素等主要物质的代谢途径的基本确定。20 世纪后半叶, 分子生物学的崛起, 代谢调节与合成代谢的研究快速发展, 如发现蛋白质 α 螺旋的二级结构形式、完成胰岛素氨基酸全序列分析、1953 年 Watson 和 Crick 提出 DNA 双螺旋结构模型, 极大地促进了生物化学的发展。此后, 对 DNA 复制、各种 RNA 在蛋白质合成过程中的作用所进行的深入研究, 提出了遗传信息传递的中心法则, 破译了遗传密码等。20 世纪 70 年代后, 重组 DNA 技术的建立不仅促进了对基因表达调控机制的研究, 而且使人们能主动改造生物体并相继获得了多种转基因的动物品种和植物品种。我国对生物化学的发展也做出了重大贡献, 特别是新中国成立后。1965 年, 我国首先人工合成胰岛素; 1981 年, 又成功合成酵母丙氨酸 tRNA。近年来, 在基因工程、蛋白质工程、人类基因组计划、水稻基因组全序列测定及新基因克隆与功能研究正迈进国际先进行列。

生物化学研究的内容十分广泛, 当代生物化学的研究主要集中在以下几个方面。

1. 生物分子的结构与功能研究 研究重点为生物大分子, 如蛋白质、核酸、聚糖, 这些分子除具有生理功能外, 还具有信息功能。因此, 除确定其一级结构外, 更重要的是研究其空间结构及其与功能的关系。生物大分子的功能是通过分子之间的相互识别和相互作用而实现的, 因此, 分子结构、分子识别和分子的相互作用是这一领域的主要研究内容。

2. 物质代谢及调节研究 研究生物体通过与外界不断的物质交换, 以维持正常的生命活动。据估算, 一个人从出生至 60 年的时间里, 与外界进行物质交换, 约相当于 60 000 kg 水、10 000 kg 糖类、600 kg 蛋白质以及 1 000 kg 脂类, 这些物质在生物体内的主要代谢途径已基本清楚, 但代谢网络中各物质均衡代谢的调节机制尚需阐明。细胞信息对物质代谢、细胞的生长、增殖、分化等生命过程的调节、信息传递的机制及网络、动植物品种差异的形成等亦是近代生物化学研究的重要课题。

3. 基因信息传递及调控研究 基因信息指挥着细胞的遗传、变异、生长、分化等各种生命过程, 也与动植物的某些疾病、产量和品质的形成有关。因而, 研究基因信息传递和作用规律成了当代生物化学的热点。于是, 进一步研究 DNA 的结构与功能、DNA 的复制、RNA 转录、蛋白质生物合成的机制和调控规律、DNA 的重组、转基因、基因剔除、新基因克隆、功能基因组学和蛋白质组学的研究等成为最吸引人的研究课题, 将使人们对基因有更深入的了解。

食品是人类为维持正常生理功能而食用的含有营养素的物质。绝大多数食物都是经过加工以后才食用的, 经加工以后的食物称食品, 但人们习惯上称一切食物为食品。食品生物化学是研究食品成分的组成、结构、性质、形成、食品贮藏和加工及在人体内代谢过程中化学变化规律的一门科学。食品生物化学是食品科学的重要组成部分, 也是食品科学发展的重要理论依据和技术基础, 它对开发食品资源、研究食品工艺、完善食品质量管理和贮藏技术具有重要作用。随着生物化学的发展及其不断地影响食品科学, 使得食品的概念从农业食品、工业食品发展至转基因食品 (gene modified food), 转基因食品又有增产型、控熟型、高营养型、保健型、新品种型、加工型等不同功能类型的食品。据统计, 2000 年底, 全球转基因作物种植面积达 $44.2 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 世界各国批准商业化的转基因作物有 100 多个品种, 生产的转基因食品达 4 000 余种。这些食品满足人类的营养需要、适应不同人的生理特点, 对提高人们的生活质量发挥着各自不同的作用。

21 世纪的食品生物化学, 其任务除研究食品成分的结构、性质、营养价值以及食品在贮藏加工中的化学变化及其被人体消化吸收后参与人体代谢的规律外, 还应研究基因的作用以及遗传信息对食品原料采摘前或屠宰前品质形成的规律、最终对食品质量和营养价值的影响。