

LIANGSHI SHENGWU HUAXUE



粮食生物化学

● 国 娜 主编

● 谭晓燕 副主编



化学工业出版社

2670170

粮食生物化学

国 娜 主 编

谭晓燕 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

元 00.88 : 价 室

0710735

“粮食生物化学”主要研究粮食的成分、性质及其在储藏、加工中的变化，是粮食储检专业、粮食工程专业及粮食食品加工专业的一门重要的基础理论课程。本书共十三章，分别为：水分与矿物质、糖类化学、脂类化学、蛋白质化学、核酸化学、酶化学、维生素、新陈代谢、糖的代谢、脂类代谢、蛋白质代谢、物质代谢的相互关系及对储粮的影响、常用生物化学实验。

本书可作为本、专科院校粮食工程类相关专业的教材，也可供中等职业学校相关专业师生和粮食工程类技术人员参考。

粮食生物化学

主 编 国 娜

副主编 张 彦

图书在版编目 (CIP) 数据

粮食生物化学/国娜主编. —北京: 化学工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-122-14864-3

I. ①粮… II. ①国… III. ①粮食-生物化学
IV. ①TS210.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 160375 号

责任编辑: 张 彦
责任校对: 陈 静

文字编辑: 张 赛
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 390 千字 2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

“粮食生物化学”主要研究粮油种子的成分、性质及其在粮油储藏、加工中的变化，是粮食储检专业、粮食工程专业及粮食食品加工专业的一门重要的基础理论课程。本书共十三章，分别为：水分与矿物质、糖类化学、脂类化学、蛋白质化学、核酸化学、酶化学、维生素、新陈代谢、糖的代谢、脂类代谢、蛋白质代谢、物质代谢的相互关系及对储粮的影响、常用生物化学实验。

本书在编写时，着重体现粮食职业院校人才培养的特点，并结合多年的教学实践，以基本理论知识够用为原则，力求内容精练，做到解释基本概念，讲清基本理论，紧扣专业需求，理论联系实际，突出知识应用，注重职业能力培养，理论知识与技能训练相结合，具有可操作性。本书可作为本、专科院校粮食工程类相关专业的教材，也可供中等职业学校相关专业师生和粮食工程类技术人员参考使用。

本书由黑龙江粮食职业学院国娜教授担任主编、谭晓燕担任副主编。参加编写的有：国娜（绪论、第二章、第三章、第九章）、张林芳（第一章、第七章第一节、第十二章第一节）、朱莹（第四章）、于颖（第五章、第十三章实验一）、张甄（第七章第二节和第三节）、谭晓燕（第六章、第八章、第十章、第十一章、第十二章第二节）、王贺（第十三章实验二至实验十一）。全书由国娜统稿和整理，黑龙江省新良粮油集团有限公司马振山主审。

本书在编写过程中，国家粮食局科学研究院曹阳教授提出很多的修改意见，在此表示衷心的感谢。编者还向有关参考文献的专家和作者表示真挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

2012年10月

目 录

绪 论 /1

第一章 水分与矿物质 /6

- | | | | |
|--------------|---|-------------------|----|
| 第一节 水分 | 6 | 第二节 粮食中的矿物质 | 12 |
|--------------|---|-------------------|----|

第二章 糖类化学 /17

- | | | | |
|--------------|----|---------------|----|
| 第一节 概述 | 17 | 第三节 低聚糖 | 28 |
| 第二节 单糖 | 18 | 第四节 多糖 | 32 |

第三章 脂类化学 /41

- | | | | |
|--------------|----|--------------|----|
| 第一节 概述 | 41 | 第三节 类脂 | 53 |
| 第二节 脂肪 | 43 | | |

第四章 蛋白质化学 /60

- | | | | |
|-----------------|----|-------------------|----|
| 第一节 概述 | 60 | 第四节 蛋白质的性质 | 75 |
| 第二节 氨基酸 | 62 | 第五节 蛋白质的分类 | 80 |
| 第三节 蛋白质结构 | 69 | 第六节 粮食中的蛋白质 | 82 |

第五章 核酸化学 /85

- | | | | |
|-------------------|----|--------------------|----|
| 第一节 概述 | 85 | 第四节 核酸的性质 | 96 |
| 第二节 核酸的化学组成 | 87 | 第五节 核酸的生物学功能 | 98 |
| 第三节 核酸的结构 | 92 | | |

第六章 酶化学 /100

- | | | | |
|---------------------|-----|------------------------|-----|
| 第一节 概述 | 100 | 第五节 影响酶促反应的因素 | 112 |
| 第二节 酶的化学组成与结构 | 104 | 第六节 酶的分离、提纯及活力测定 | 119 |
| 第三节 酶的命名与分类 | 106 | 第七节 粮食中重要的酶 | 122 |
| 第四节 酶催化反应的机理 | 109 | | |

第七章 维生素 /129

- | | | | |
|--------------|-----|------------------|-----|
| 第一节 概述 | 129 | 第二节 脂溶性维生素 | 130 |
|--------------|-----|------------------|-----|

第三节 水溶性维生素	137
------------------	-----

第八章 新陈代谢 /150

第一节 概述	150
--------------	-----

第二节 生物氧化	153
----------------	-----

第九章 糖的代谢 /161

第一节 糖的分解代谢	161
------------------	-----

第二节 糖的合成代谢	178
------------------	-----

第十章 脂类代谢 /184

第一节 脂肪的分解代谢	184
-------------------	-----

第二节 脂肪的合成代谢	189
-------------------	-----

第十一章 蛋白质代谢 /192

第一节 蛋白质的分解代谢	192
--------------------	-----

第二节 蛋白质的合成代谢	200
--------------------	-----

第十二章 物质代谢的相互关系及对储粮的影响 /209

第一节 物质代谢的相互关系	209
---------------------	-----

第二节 粮食在储藏过程中的变化	211
-----------------------	-----

第十三章 常用生物化学实验 /219

实验一 蔗糖和淀粉的水解	219
--------------------	-----

实验二 淀粉碘蓝值的测定	221
--------------------	-----

实验三 脂肪的化学组成	222
-------------------	-----

实验四 动植物油脂中不饱和脂肪酸的 比较实验	224
---------------------------------	-----

实验五 油脂酸值的测定	225
-------------------	-----

实验六 蛋白质的沉淀反应	226
--------------------	-----

实验七 氨基酸的纸色谱	228
-------------------	-----

实验八 酶的底物专一性实验	230
---------------------	-----

实验九 α -淀粉酶活力的测定	232
------------------------------	-----

实验十 温度和 pH 值对酶活性的 影响	234
-------------------------------	-----

实验十一 维生素 B ₁ 的定性试验	237
-------------------------------------	-----

参考文献 /238

绪 论

一、生物化学发展概况

生物化学是一门既古老又年轻的学科。近代生物化学的研究始于 18 世纪。德国药剂师 Karl Scheele 首次从动植物材料中分离出乳酸、柠檬酸、苹果酸、尿酸和甘油；法国化学家 Attoine Lavoisier 的实验证明，有机体的呼吸和蜡烛的燃烧同样都是碳氢化合物的氧化，氧化过程中，氧被消耗而生成水和二氧化碳，同时放出热量，这一发现被视为生物氧化研究的开端。但直到 1903 年德国化学家 Carl Neuberg 提出“生物化学”这个名称，才使生物化学脱离有机化学和生理学成为一门独立的学科。近代生物化学的发展，欧洲处于领先地位，其发展历程大致可分为 3 个阶段：初期阶段、蓬勃发展阶段和分子生物学时期。

生物化学的初期阶段是从 18 世纪中期至 20 世纪初，又称为叙述生物化学阶段。这一阶段主要研究了生物体的化学组成，对糖类、脂类、氨基酸的性质进行了较为系统的研究，证实了肽键的作用并人工合成了简单的多肽化合物；通过对酵母发酵过程的研究，奠定了酶学基础；发现了核酸并确定了嘌呤环和嘧啶环的结构等。

从 20 世纪初期开始，生物化学进入了蓬勃发展阶段，又称为动态生物化学阶段。这一时期，在酶学、营养学、内分泌尤其是在物质代谢等方面的研究取得了巨大成就。德国化学家 E. Fischer 在发现缬氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸之后，又用化学方法合成了 18 个氨基酸的多肽。在酶学方面，1926 年美国人 J. B. Sumner 从刀豆中获得了脲酶结晶，并证实其是蛋白质；在营养学方面，发现了必需氨基酸、必需脂肪酸、多种维生素、微量元素等营养必需物质；在内分泌方面发现了多种激素并能将其分离与合成；在物质代谢方面利用化学分析及同位素示踪技术基本确定了体内主要物质的代谢途径，包括糖酵解、脂肪酸 β 氧化、鸟氨酸循环及三羧酸循环等过程。

20 世纪 50 年代以后，生物化学的发展是以分子生物学的崛起为特征，即分子生物学时期。重点是研究蛋白质与核酸等生物大分子的结构与功能、物质代谢与调节、基因表达与调控，并取得了举世瞩目的成果。1950 年美国人 L. Pauling 提出蛋白质的 α -螺旋二级结构；1953 年 Sanger 完成了牛胰岛素氨基酸序列的分析；特别是以 1953 年 Watson 和 Crick 提出的 DNA 双螺旋结构模型作为现代分子生物学诞生的里程碑，为揭示遗传信息的传递规律奠定了基础。此后，1958 年 Crick 提出了遗传信息传递的中心法则，1966 年破译全部遗传密码。这些成果深化了人们对核酸和蛋白质的关系及其在生命活动中所起作用的认识。20 世纪 70 年代，S. Cohen 等首次获得体外重组 DNA 的分子克隆，1985 年 K. Mullis 发明了 PCR 技术标志着人类进入深入认识生命本质并能主动改造生命的新时代。转基因技术、基因剔除技术及基因芯片技术等出现更大地开阔了人们有关基因研究的视野。基因诊断和基因治疗技术给人类对疾病的认识与根治带来一场新的革命。1990 年正式启动历时 15 年完成的人类基因组计划 (human genome project, HGP) 是生命科学领域有史以来全球性最庞大

的研究计划,这一工程的完成为人类破解生命之谜奠定了坚实的基础。随着 HGP 的完成,生命科学又开始了一个新的纪元——后基因组时代。研究重心已逐渐由结构基因组学研究转移到功能基因组学、蛋白质组学、基因表达产物的功能分析以及细胞信号转导机制等方面的研究。相信这些研究成果必将对各种疾病的发生机制做出最终的解释,也将为疾病的诊断和治疗提供新的线索,最终为全人类的健康带来福音。

在生物化学发展的历程中,我国科学家也做出了重大的贡献。早在公元前 21 世纪,我国劳动人民已能酿酒;公元前 12 世纪,已能制醋、制酱,这些足以表明这是酶学的萌芽时期。在医药方面,我国古代医学对某些营养缺乏病也有所认识。如饮食中缺碘所致的地方性甲状腺肿大称“瘰病”;夜盲症古称“雀目”,是一种维生素 A 缺乏的病症,孙思邈用含维生素 A 较丰富的猪肝治疗。20 世纪 20 年代,我国生物化学家吴宪等在营养学、临床生物化学等方面的研究有重大贡献。新中国成立后,我国的生物化学迅速发展。1965 年,我国科学家首先在世界上人工合成具有生物活性的牛胰岛素,1971 年又完成了用 X 线衍射法测定牛胰岛素分子的空间结构,1981 年成功合成了酵母丙氨酸 tRNA。1994 年,我国用导入人凝血因子Ⅲ基因的方法成功治疗了乙型血友病。值得指出的是我国科学家于 1994 年跻身于人类基因组计划,负责并提前完成了人类基因组计划 1% 的测序工作,赢得了国际科学家的高度评价,我国生物化学正迅速向国际先进水平看齐。近年来,我国在基因工程、蛋白质工程、疾病相关基因的定位克隆及其功能研究方面均取得了重要的成果。

二、生物化学及其研究的内容

(一) 生物化学的涵义

生物化学是运用化学的理论和方法研究生物体的化学组成、化学变化(物质代谢)以及其与生理功能之间联系的一门学科。因其是在分子水平上探讨生命现象本质,因此生物化学即是生命的化学。

(二) 生物体的化学组成与结构

组成生物体的主要物质是糖类、脂类、蛋白质、核酸、维生素、矿物质和水等,其中蛋白质和核酸的结构复杂,分子巨大,被称为生物大分子,它们是一切生命现象的物质基础。另外还有一些含量较少但对生命活动极为重要的维生素、激素和微量元素。

(三) 生物化学研究的对象

生物化学研究的对象是生物,研究范围涉及整个生物界。根据研究对象的不同,生物化学可分为微生物生化、粮食生化、食品生化、动物生化和人体生化等。各种生物化学的内容都与人类的生产、生活等相关。本教材着重介绍粮食生物化学方面的知识。

(四) 生物化学研究的内容

在自然界中,包括动物、植物和微生物,都是由糖类、脂类、蛋白质、核酸四大类基本物质和其他小分子物质构成的。虽然这些物质化学性质不同,功能各异,但是它们在生物体内相互协调形成了丰富多彩的生命现象,这些生命物质到底有哪些?它们是怎样产生和消亡?又是怎样相互转变和相互作用的呢?这就是生物化学所要研究的内容。

生物化学的任务是阐述构成生物体的基本物质(生物大分子——糖类、脂类、蛋白质、

核酸等)的结构、性质及其在生命活动(如生长、繁殖、代谢、运动等)过程中的变化规律(物质代谢和能量代谢)以及它们之间的关系。当代生物化学的研究除采用化学的原理和方法外,还运用物理学的技术方法揭示组成生物体的物质,特别是生物大分子的结构规律,并且与细胞生物学、分子遗传学等密切相关,研究和阐明生长、分化、遗传、变异、衰老和死亡等基本生命活动的规律。根据生物化学发展过程,生物化学内容大体可归纳为静态生物化学、动态生物化学和机能生物化学三个方面。

1. 静态生物化学

静态生物化学研究生物体的化学物质组成及它们的结构、性质和功能。生物体的基本化学组成包括糖类、脂类、蛋白质、核酸和维生素等有机化合物,以及水、矿物质等化学成分。这些化学物质有着不同的结构和不同的功能,它们不是杂乱无章地混合在一起,而是以一定的组织形式,构成一定的能够体现各种功能的有序的生物化学结构。如单糖是多糖的基本单位、脂肪酸是脂类化合物的组成成分、氨基酸可以构成多种蛋白质等。

2. 动态生物化学

动态生物化学研究组成生物体的物质不断地进行着多种有规律的化学变化,即新陈代谢。生物体的所有生命现象,包括生长、发育、遗传、变异等都建立在生物不断进行、从不停止的新陈代谢基础之上,新陈代谢是生命的基本特征。生物体一方面需要与外界环境进行物质交换,同时在体内进行各种代谢变化,以维持其内环境的相对稳定;另一方面,通过代谢变化将摄入的营养物质所储存的能量释放出来,供机体活动所需。在这些变化中,生物体内特殊的生物催化剂——酶起着决定性的作用。在生物体内,各类物质都有其各自的分解和合成途径,而且各种途径的速率总是能恰到好处地满足机体的需要,并且各种途径之间互不干扰,相互配合,彼此协调,相互转化,这说明生物体内有高度精密的自动调节控制系统,要维持体内错综复杂的代谢途径有序地进行,需要有严格的调节机制,否则代谢的紊乱可影响正常的生命活动,从而引发疾病。

3. 机能生物化学

机能生物化学研究生命活动(如生长、繁殖、代谢、运动等)过程中的变化规律(物质代谢和能量代谢)以及它们之间的关系。除了物质代谢和能量代谢以外,基因的复制、表达及调控是生物化学研究的核心内容。生命得以延续就在于不断地进行自我复制。一方面生命体可以进行繁殖产生相同的后代,另一方面多细胞生物在细胞分裂过程中也维持了相似的基本组成。生命体可以在细胞间和世代间保证准确的信息复制和信息传递。核酸是遗传信息的携带者,生物体内遗传信息传递主要是由DNA的复制和RNA的转录以及蛋白质的生物合成完成的。

(五) 生物化学与其他学科的关系

生物化学的研究是当代所有的生物研究中非常重要的部分。研究整个生物界的化学组成与性质以及生物体内化学变化的一般规律的科学称为普通生物化学。普通生物化学又可具体细分为植物生物化学、动物生物化学、微生物生物化学等;研究医学、农业、工业过程中的生物体系的化学组成与性质以及化学变化规律的科学称为应用生物化学。目前生物学的发展正日益显示出其带头学科的趋势,有人说,21世纪是生物学世纪。现代生物化学研究进展的一个突出特点是基础与应用的结合,许多学科的发展不断地向生物化学和分子生物学提出

问题和挑战,生物化学的研究对其他许多领域的发展都有深远的影响和意义,如图1所示。

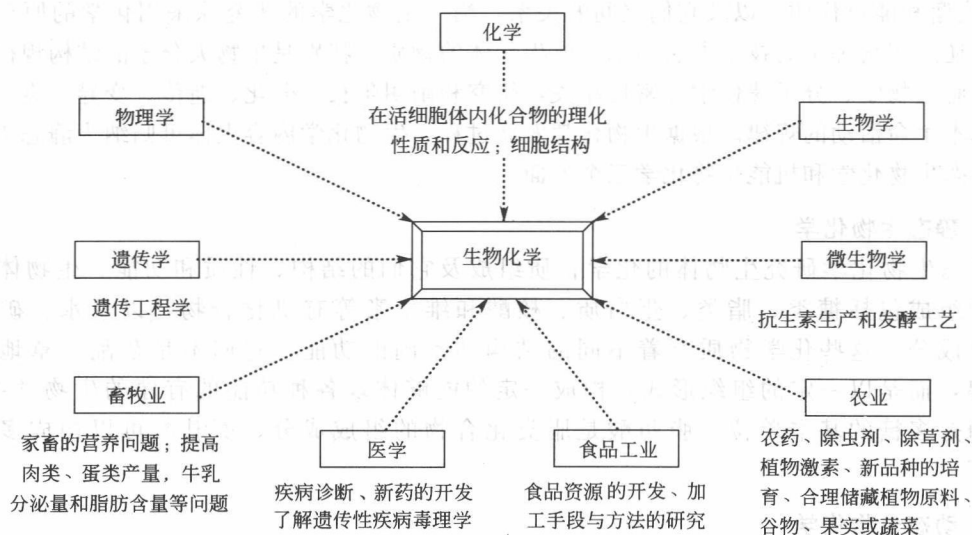


图1 生物化学与其他学科的关系

当前生物化学基础研究成果的转化周期已大大缩短。人们更加认识到研究生物化学的目的并不限于了解其现象和对一定的生理机能给予化学的解释,而是把这些理论基础、原理和方法运用于有关科学领域和生产实践,已达到征服自然、改造自然和为人类造福的目的。

三、粮食生物化学的研究内容与任务

粮食一般来说是指作物的种子或果实。粮食生物化学研究粮食中糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素、水分、矿物质等物质化学组成、结构、性质、生理功能以及它们在粮食储藏、加工过程中的变化规律和它们在生物体内的代谢规律。

粮食是特殊的商品,它在人类社会经济生活中占有极其重要的地位。首先,粮食是人类生存的第一需要。世界上大多数人以粮食为主食,尽管一些发达国家逐步提高了肉、蛋、奶等动物性食品的消费比重,但动物性食品同样是从粮食转化来的。目前,全世界以粮食为主食的人口约占总人口的四分之三。其次,粮食是一种重要的生产资料。它既是牲畜饲料,又是应用很广的工业原材料,如酿酒、制药和加工各种食品等都是以粮食作原料。近年来,高分子合成工业迅速发展,粮食又被用作制造高分子合成材料,如塑料、人造树脂、人造橡胶等。随着科学的进步,粮食的用途将会更加广泛。第三,粮食是世界性战略物资。粮食作为重要的后勤物资,它的供应状况直接关系到战争的胜负。在国际贸易中粮食对市场价格起着举足轻重的影响作用,它同人口、能源、环境保护一样成为举世瞩目的重大政治经济问题。

学习粮食生物化学的目的是使从事粮食与饲料加工和粮食储藏与检验工作的高端技能型人才和中、初级专门人才具备粮食生物化学的基本知识、基本理论和基本实验技能,能够用粮食生物化学知识分析粮食在储藏、加工过程中营养物质的变化规律和生物体内的代谢规律,能够把自己所从事的相关工作做好,为进一步学习和掌握相关专业知识、提高自身的科学文化素养、培养职业能力和适应继续学习的需要奠定必要的基础。

四、本教材的内容和学习方法

(一) 本教材的内容

本教材包括静态生物化学、动态生物化学和机能生物化学,共十三章,全书内容分三部分。第一部分介绍粮食中的营养成分;第二部分讨论物质的代谢、物质代谢的相互关系及对储粮的影响;第三部分是常用的生物化学实验。

(二) 学习粮食生物化学应注意的几个问题

粮食生物化学理论性和实践性很强,内容比较复杂、抽象,初学者会感到有一定的难度。根据多年的教学实践,我们认为在学习粮食生物化学过程中,要处理好以下几个问题。

1. 抓住特点,记住要点

粮食生物化学反应过程十分复杂,学习中应注意反应性质、条件及生理意义,不要把精力用于死记结构式,否则将事倍功半。

2. 纲目清楚,才能多而不乱

学习时应先抓住各章框架,然后补充内容,否则就可能张冠李戴。

3. 循序渐进,前后联系

教材前面介绍的内容,在后续章节经常应用,因此应注意复习,这样既有利于原有知识的加深与巩固,又有利于新内容的理解与记忆。

4. 适当归纳对比

难记是学生学习粮食生物化学普遍遇到的问题,要解决好这个难题,首先要在理解的基础上记忆,同时还要善于归纳总结和对比,如来源去路可采用图表式归纳;一些相似易混淆的内容,采用对比归纳。有比较才有鉴别,有鉴别才能分辨事物,经对比、分辨,知识点便容易记住。

第一章

水分与矿物质

【本章主要内容】

▲ 水分

▲ 粮食中的矿物质

【学习目标】

- ▲ 了解水分在生物体内的功能；
- ▲ 掌握粮食中水分的存在状态；
- ▲ 掌握粮食平衡水分、安全水分和水分活度的概念；
- ▲ 掌握粮食含水量对粮食储藏和粮食加工的影响。

水分是生物体中的重要组成成分，在生物体的各种物质组成中，水的含量最大。植物中水分含量在很大程度上取决于植物所处的生长阶段和植株部位，多者可达 95%；动物体中水分含量约达体重的一半；血液中水分含量最高达 80%，肌肉次之，占 72%~78%。水是生物体内营养物质的溶剂，是机体内物质代谢的原料和产物，还是废物携带者，并参与体温调节，因此水在生物体中起着非常重要的作用。同时，水也是大多数粮食和食品的主要成分。水分的含量、分布及结合状态对粮食和食品的结构、外观、加工性质、储藏特性等都产生极大的影响。因此，了解水的理化特性、分布及存在状态，对于粮食储藏有重要意义。

矿物质普遍存在于动植物体中，种类较多但含量不高。主要有钾、钠、钙、磷、锰、硫、氯、镁等。它们虽然不能为机体提供能量，但在生物体中起着重要的作用。

第一节 水 分

一、水的生物功能

水在生物体内大量存在，具有重要生理作用，主要体现在以下方面。

（一）水是生物体细胞原生质的重要成分

原生质的主要成分是蛋白质。蛋白质与水之间的亲和力是维持原生质胶体状态的主要因素，只有保持原生质呈溶胶状态才能进行正常代谢。如果含水量减少使原生质失水皱缩，引起结构破坏，原生质便由溶胶状态变成凝胶状态，生理活性显著下降。

（二）水是生物体内的溶剂

水的溶解能力很强，各种无机物质及有机物质都很容易溶于水，即使不溶于水的物质如脂肪和部分蛋白质，也能在适当的条件下分散于水中成为乳浊液或胶体溶液。水的介电常数很大，能促进电解质的电离。生物体中的一切生化反应都在水的参与下进行。水即是生化反应的介质，又是生化反应的原料和产物。

（三）水是生物体内物质运输的载体

生物体内组织和细胞所需的营养和代谢物在体内的运转，都要靠水作为载体来实现。如植物光合作用的产物——糖类的转运，根部吸收土壤溶液中的矿物质元素，人体吸收经酶分解的各种营养成分等都依靠水的输送。缺少水，生物体所需的营养和代谢物就停止转运，使机体丧失正常的生理机能。

（四）水是促进酶活性的重要物质

生物体中的催化剂——酶的活性强弱与水分含量有密切的关系。在一定条件下，水分含量高，酶的活性强；水分含量低，酶的活性弱。粮食种子在潮湿的条件下易发芽就是因为水分含量的增加提高了酶的活性。

（五）水是生物体内摩擦的润滑剂

水的黏度小，可使摩擦面滑润，减少损伤。体内的关节、韧带、肌肉、膜等处均有滑润液体，都是水溶液。食物吞咽也需要水的帮助。

二、水分的存在状态

虽然新鲜的动、植物组织中含有大量的水分，但是在切开时一般不会流出水来，这是因为水分被不同的作用力系着的缘故。根据作用力的不同，一般认为水分在生物体内的存在形态有两种，即自由水和结合水。

（一）自由水

自由水又称为游离水。它存在于粮食籽粒的细胞间隙与毛细管中，具有普通水的性质，即0℃结冰，受热易蒸发，100℃沸腾，可作溶剂，参与一切生物体的生理生化反应，可以自由出入于粮食籽粒内外，并随温湿度的变化而变化。粮食在储藏期间水分的变化主要是自由水的变化。

（二）结合水

结合水也称束缚水，它存在于植物细胞内，与粮食内部的亲水胶体物质以氢键的形式结合，因此性质稳定，不具有一般水的性质，0℃时不结冰，甚至温度低到-25℃时还保持液态；受热时不易蒸发；几乎不能成为溶剂，一般不为生物所利用。粮食籽粒中的亲水胶体物质对结合水的吸引力，随着距离增加而逐渐减弱。当吸引力小于水分子的扩散力时，这些水分子就成为自由水。

自由水和结合水没有严格的界线，但是可以根据其理化性质作定性的区分。首先，结合

水的量与有机大分子的极性基团的数量有固定的比例关系,如在新鲜食品中,每克蛋白质可结合 0.3~0.5g 的水,每克淀粉能结合 0.3~0.4g 的水。其次,结合水的蒸气压比自由水低得多,所以在低于 100℃ 的条件下,结合水不能被分离出来。而且结合水的沸点高,冰点低,一般在 -40℃ 以上不结冰。

由于自由水和结合水的特性差异,使得两者在粮食籽粒生命活动中的意义和重要性不同,对粮食储藏和粮食加工以及粮食的品质的影响也不尽相同。自由水能被微生物利用而结合水不能,自由水能作为溶剂参与生理生化反应而结合水不能,所以自由水在粮食籽粒中的含量对粮食储藏的稳定性起着重要的作用。自由水/结合水比例的大小,决定着细胞或生物体的代谢强度:比值越大,自由水的含量越多,代谢越强;反之,代谢越弱。因此,自由水含量高,粮食耐藏性差;自由水含量低,甚至几乎接近结合水时,粮食的耐藏性大为提高。为了提高粮食储藏稳定性,可通过晾晒、烘干等方法降低粮食中的自由水,保持结合水的存在,使粮食籽粒中的亲水凝胶颗粒空间结构不被破坏,维持粮食籽粒处于低强度的生理活动状态或休眠状态。

三、粮食的平衡水分

(一) 粮食平衡水分的概念

粮食在贮藏期间的水分是随着空气中温湿度的变化而变化。粮食籽粒在相对湿度大的环境中能吸收水汽而增加本身的水分;相反,在相对湿度小的环境中又能散失水汽而使自身的水分减少,这就是粮食的吸湿与散湿性能。粮食籽粒吸收湿气的多少与快慢,一方面取决于粮食本身的化学成分和籽粒的细胞结构,另一方面又以当时当地的气温和空气的相对湿度为转移。它随储粮环境的温湿度的变化而变化,经常不断地进行着水分的吸湿与散湿。在一定温度和空气相对湿度的条件下,当粮食从周围环境中吸收水分的速率与粮食从周围环境中散失水分的速率相等时,则粮食籽粒湿度与外界空气湿度处于动态平衡,这时粮食所含的水分(%)叫做粮食平衡水分。与粮食周围空气相平衡的相对湿度叫做平衡相对湿度。

(二) 粮食平衡水分的影响因素

粮食平衡水分的高低与大气相对湿度、温度有关,也与粮食的种类有关。在相同的温度下,空气相对湿度越大,则粮食的平衡水分越高。一般相对湿度为 70% 时,粮食的平衡水分可达 15% 左右,开始有毛细管水分;相对湿度 80% 时,平衡水分为 17% 左右。在同一相对湿度条件下,粮食的平衡水分随温度的升高而降低。另外粮食的平衡水分与粮食的种类有关,如大豆含脂肪较高,故平衡水分较低。未熟粒、破碎粒、不健全粒的平衡水分往往高于正常粮粒。粮食平衡水分与大气相对湿度、温度的关系见表 1-1。

四、粮食的安全水分

(一) 粮食安全水分的概念

粮食安全水分是指在常规储藏条件下,粮食能够在当地安全度夏而不发热、霉变的水分值(%).通常长期储藏或安全度夏的粮食在实际可控最高粮温条件下,以粮堆平衡相对湿度为 65% 所对应的水分含量作为确定粮食安全水分的参考指标。

表 1-1 不同温度、湿度下粮食的平衡水分

温度 种类	平衡水分 /%	相对 湿度	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
30℃	小麦、大麦		7.50	8.90	10.30	12.50	14.10	16.10	16.30	20.00
	稻谷		7.13	8.51	10.00	10.88	11.93	13.12	14.66	17.13
	玉米		7.85	9.00	11.13	11.24	12.39	13.90	15.85	18.30
	黍		7.21	8.66	10.15	11.00	12.06	13.60	15.32	17.72
	黄豆		5.00	5.72	6.40	7.17	8.86	10.63	14.51	20.15
20℃	小麦、大麦		8.10	9.20	10.80	12.00	13.20	14.80	16.90	20.19
	稻谷		7.54	9.10	10.35	11.35	12.50	13.70	16.23	17.83
	玉米		8.23	9.40	10.70	11.90	13.19	14.90	16.92	19.20
	黍		7.75	9.05	10.50	11.56	12.70	14.30	15.90	18.25
	黄豆		5.40	6.45	7.10	8.00	9.50	11.50	15.25	20.28
0℃	小麦、大麦		8.30	9.65	10.85	12.00	13.20	14.60	16.40	20.50
	稻谷		7.90	9.50	10.70	11.80	12.85	14.10	16.75	18.40
	玉米		8.80	10.00	11.10	12.25	13.50	15.40	17.20	19.60
	黍		8.20	9.60	11.00	12.00	13.15	14.80	16.50	18.90
	黄豆		7.20	8.70	9.90	11.30	12.40	14.80	17.30	20.20

(二) 粮食安全水分的影响因素

我国各地区气候、仓房设施、储藏技术、粮食品种等储粮环境条件存在着很大差异，因此，各地区粮食安全水分也不尽相同。以黑龙江为例，水稻安全水分为 14.5%，玉米安全水分为 14.0%，小麦安全水分为 12.5%。一般来说，禾谷类作物粮食水分达到 13%~15% 以上，自由水逐渐出现；油料作物籽粒的水分达到 8%~10% 以上时，也逐渐出现自由水。

禾谷类粮食含亲水胶体物质多，结合水含量一般比油料种子多。相反，油料种子疏水基团较多，结合水的含量比禾谷类少，所以禾谷类的安全水分比油料种子高。粮食的安全水分不仅与粮食的种类有关，同时也受温度的影响。因地区气温的差异，粮食安全水分也各异，南方地区气温高于北方地区，故储粮安全水分一般低于北方。

五、水分活度

(一) 水分活度的概念

水分活度是指粮食或食品的水蒸气分压 (P) 与同温度纯水的饱和蒸气压 (P_0) 之比，其数值为 0~1。水分活度用 A_w 表示，即：

$$A_w = \frac{P}{P_0}$$

对纯水来说，因 P 和 P_0 相等，则 $P = P_0$ 即 $A_w = 1$ 。若粮食或食品为完全无水，则粮食的蒸气压 $P = 0$ ，即水分活度 $A_w = 0$ 。

水分活度也可以用平衡相对湿度 (ERH) 来表示：

$$A_w = \frac{P}{P_0} = \text{ERH}$$

即粮食、食品的水分活度在数值上等于平衡相对湿度除以 100。平衡相对湿度是指物料吸湿与散失达到平衡时的大气相对湿度。如果在密闭容器内相对湿度为 85%，则水分活度

为 0.85。

水分活度表示粮食或食品中水分存在的状态,即水分与粮食或食品的结合程度或游离程度。结合程度越低,水分活度值越高;结合程度越高,水分活度值越低。粮食中的水总会与含有如糖、氨基酸、无机盐及一些可溶性的高分子化合物等结合,因此总会有一部分水是以结合水的形式存在,而结合水的蒸气压远比纯水的蒸气压低,因此粮食的 A_w 总是小于 1。在粮食中含水量较高的是薯类,其水分活度可达 0.98,大米及黄豆等水分活度为 0.60~0.64。

(二) 含水量与水分活度之间的关系

含水量与水分活度是两种不同的概念。在一般情况下,同种类粮食的含水量与水分活度之间成正比关系,即含水量越高,水分活度越高,此时自由水增高,粮食耐藏性差。但不同种类的粮食之间水分含量的高低并不能表明粮食或食品是否能安全储藏,因为不同种类的粮食中各种化学成分的含量不同。例如,玉米和花生在水分含量相同的条件下,玉米的水分活度低于花生,玉米的耐藏性高于花生,这是由于玉米的可溶性物质和亲水胶体含量高,结合水分高,因此可利用自由水相对少,水分活度也随之降低。而花生的疏水胶体含量高,结合水分低,因此可利用自由水相对多,水分活度也随之升高。所以粮食或食品的水分含量多少不能正确表示出粮食储藏的安全性,必须用“水分活度”来衡量粮食或食品中自由水的含量,以便正确表示粮食或食品能否安全储藏。

(三) 水分活度与酶促反应及微生物生长繁殖的关系

水分活度对食品化学变化和微生物的生长繁殖均有较大的影响。

1. 酶促反应

粮食或食品的水分活度高,酶促反应速率快,反之则慢,甚至停止。水在酶促反应中起着溶解底物和增加底物流动性的作用。如卵磷脂酶在 30℃ 条件下,水分活度为 0.7 时,12h 开始水解,水分活度降至 0.25~0.35,卵磷脂水解反应几乎没有发生。这是因为含水量大,水分活度高,酶由吸附状态进入溶解状态,酶活性增强,反之含水量少,水分活度低,酶由溶解状态进入吸附状态,酶活性降低。

一般控制粮食的水分活度在 0.25~0.35,此时粮食中的淀粉酶、酚氧化酶、过氧化氢酶等受到极大地抑制。

降低食品的 A_w ,可以延缓褐变,减少食品营养成分的破坏,防止水溶性色素的分解。但 A_w 过低,则会加速脂肪的氧化酸败,又能引起非酶褐变。因此,要使食品具有最高的稳定性所必需的水分含量,最好将 A_w 保持在结合水范围内。这样,使化学变化难于发生,同时又不会使食品丧失吸水性和复水性。

2. 水分活度与微生物生长繁殖的关系

微生物的生长繁殖对水分活度有一定要求,不同的微生物在粮食中繁殖时,都有它最适宜的水分活度范围,细菌最敏感,其次是酵母菌和霉菌。一般情况下 $A_w < 0.90$ 时,细菌不能生长繁殖; $A_w < 0.87$ 时,大多数酵母菌生长繁殖受到抑制; $A_w < 0.8$ 时,大多数霉菌不能生长(表 1-2)。水分活度低于 0.50 时,一切微生物都不能生长繁殖。所以,在一般情况下如果知道粮食的水分活度,就可了解和推断微生物的种类和感染程度。因此,控制粮食的水分活度对于防止粮食霉变,保持粮食储藏稳定性有很大意义。

表 1-2 微生物生长繁殖的最低水分活度 (A_w)

微生物种类	生长繁殖最低水分活度(A_w)	微生物种类	生长繁殖最低水分活度(A_w)
一部分细菌孢子,某些酵母菌	1.00~0.95	大多数耐盐细菌	0.80~0.75
多数球菌、乳杆菌,某些霉菌	0.95~0.91	耐干燥霉菌	0.75~0.65
大多数酵母菌	0.91~0.87	耐高渗透压酵母菌	0.65~0.60
大多数霉菌、金黄色葡萄球菌	0.87~0.80	微生物不生长	<0.50

注:引自 Mossel (1971) 的资料。

不同的粮食有一定的水分活度 (A_w) 值。根据微生物与生物化学反应所需水分活度要求,我们可以预测粮食的耐藏性。由于粮食本身所含化学成分和组织结构的不同,水的束缚程度也不同,因而水分活度亦是不同的。所以,同样含水量的各种粮食在储藏期间的稳定性也常有差异。目前,在粮食储藏上亦有把水分活度 (A_w) 值作为衡量粮食耐藏性的一项重要指标。

六、水分对粮食储藏和加工的影响

(一) 水分对粮食储藏的影响

酶的活性、微生物的生长繁殖都与粮食的水分含量有密切的关系。一般来说,同种粮食水分含量越高,粮食的新陈代谢越快,呼吸作用就旺盛,其结果是消耗了干物质,产生大量热量,也给霉菌、细菌和昆虫的生长繁殖提供了条件。菌类活动分解粮食中的糖类、脂类、蛋白质,一方面降低了粮食的营养价值,另一方面散发出大量的热量使粮温急剧上升,导致粮食发热霉变,甚至失去食用价值,而造成巨大的经济损失。粮食中的水分太低(低于安全水分甚至更低),也会影响粮食的品质,主要表现在色泽和食味品质方面。因为水分过低,籽粒中蛋白质由凝胶状态转为干凝胶状态,凝胶的空间结构遭到破坏,失去粮食固有的光泽和食味。如烘干玉米,应控制好温度和烘干时间,避免水分降到“安全水分”以下,使玉米既失去自由水,又失去了结合水,破坏了玉米中糖、脂肪、蛋白质等营养成分。因此,粮食在入库前和储藏过程中必须经常测定其含水量,同时采取妥善的办法控制粮食的含水量,使之保持在适宜范围内,确保储粮安全。

(二) 水分对粮食加工的影响

粮食的物理性质可随着含水量的变化而变化,在一般情况下,其密度、容重、散落性、硬度等均因含水量增高而降低;而籽粒的色泽、果皮、种皮的韧性随含水量增高而增强。

粮食含水量的多少,不仅会影响粮食的储藏安全和粮食的品质,也会影响加工的工艺品质,故粮食加工时,要求原粮含有适当的水分,水分过高或过低都会对加工产生不利影响。在大米加工中,如果水分过高,籽粒硬度降低,容易碾碎,使碎米增多,因而出米率降低,导致筛理困难,增加动力消耗,增加加工成本。如水分过低,籽粒发脆,也容易产生碎米。为提高出米率,并保证成品质量,稻谷的含水量应符合加工的标准,一般以 13.5%~16% 为宜。在制粉生产中,要使皮不磨碎,而胚乳磨碎成粉,因此要求皮和胚乳有不同的含水量。一般可以通过水分调节、润麦等措施来解决。如果小麦原始水分较低,可以着水,使入磨麦的水分适度,由于胚部吸水最快,皮层次之,胚乳最慢,尤其是胚乳的中心部分更慢,因此可以通过润麦使水分在各部分的分布有所差异。润麦可以增加皮层的韧性,避免麦皮破碎而混入粉中,再通过风筛可以使麸皮和面粉分离,从而保证小麦的出粉率和面粉质量。如果水分含量过高,胚乳难以从麸皮上刮净,影响出粉率,还易堵塞筛眼,影响筛理效果,且