



高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI



农产品 贮藏与加工

NONGCHANPIN ZHUCANG YU JIAGONG

董全 闵燕萍 曾凯芳 主编



西南师范大学出版社
全国百佳图书出版单位 国家一级出版社



高等学校规划教材
GAODENG XUOXIAO GUIHUA JIAOCAI



农产品 贮藏与加工

NONGCHANPIN ZHUCANG
YU JIAGONG

董全 闵燕萍 曾凯芳 主编



西南师范大学出版社
全国百佳图书出版单位 国家一级出版社

内容提要

本书主要介绍了农产品贮藏加工基础知识、农产品贮藏保鲜方法、粮油贮藏、果蔬贮藏、稻谷和小麦的加工、焙烤食品加工、淀粉的制取与加工、植物油脂的提取与精炼、果蔬加工(包括罐头、果蔬汁、糖制、腌制、速冻、干制、果酒)等以及粮油及果蔬加工副产品的综合利用。在内容深度上,侧重于基本原理及工艺,重点介绍通用、具有代表性的加工工艺,实用性和可操作性均较强。本书内容丰富、新颖,理论性和实用性兼顾,反映了农产品贮藏与加工的现状与发展动态,本书可作为高等院校种植类专业及相关专业的教材,也可作为有关技术人员的培训教材和农村青年的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

农产品贮藏与加工/董全主编. —重庆:西南师范大学出版社,2010.1
ISBN 978-7-5621-4821-0

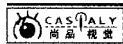
I. 农… II. 董… III. ①农产品—贮藏②农产品—加工
IV. S37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 003356 号

农产品贮藏与加工

董 全 闵燕萍 曾凯芳 主 编

责任编辑:张浩宇

封面设计:周娟 钟琛

出版、发行:西南师范大学出版社

(重庆·北碚 邮编:400715)

网址:www.xscbs.com)

印 刷:重庆东南印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.5

字 数:400 千

版 次:2010 年 6 月第 1 版

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5621-4821-0

定 价:28.00 元

前言 QIAN YAN

农产品贮藏与加工是食品科学技术与食品工业发展的重要组成部分和基础,也是农业科技领域不可分割的重要组成部分,它的发展状况标志着一个国家经济文化发达程度和水平,不但对当前国家经济发展十分重要,而且直接影响未来。特别是在我国主要农产品产量不断提高、供应充足的情况下,农产品贮藏加工和转化对促进农业发展、提高农产品的附加值、振兴农业经济、繁荣市场和提高人民生活水平具有重要意义。全国高等农业院校已陆续开设农产品贮藏与加工或农产品加工学课程。虽然有关粮油、果蔬贮藏加工的书籍很多,但有关农产品贮藏与加工的书籍却很少,而适合高等院校非食品专业的有关农产品贮藏与加工的书籍几乎没有。因此,为了填补该空白,完善教材体系,我们组织具有丰富教学科研和实践经验的专业教师和技术人员共同编写了这本《农产品贮藏与加工》教材。

本书共分十章,主编由董全、闵燕萍和曾凯芳担任,副主编由张宇昊、高金燕和王永霞担任。参加编写的人员分工如下:由董全编写绪论和第九章第一节、第四节至第八节;由闵燕萍编写第五章、第六章;由曾凯芳编写第一章第一节和第四章第二节;由张宇昊编写第三章、第十章;由高金燕编写第七章;由王永霞编写第二章;由黄桂东编写第八章;由罗璠编写第一章第二节;由侯大军编写第一章第三节;由高瑞昌、袁丽编写第九章第二节;由任晓峰编写第九章第三节;由邓雨艳编写第四章第一节。全书由董全、闵燕萍和曾凯芳负责统稿工作。承蒙西南大学食品科学学院曾凡坤教授担任本书审稿,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,得到了西南师范大学出版社、西南大学教务处、西南大学食品科学学院以及有关食品生产、科研单位的支持与帮

助,西南大学食品科学学院研究生黄艳、杜小粉、杨家蕾参与了本书部分资料的收集和整理,数学与统计学院张耿、杨宏霞二位同学参与了本书的部分校对工作,在此一并表示衷心的感谢。

本教材由全国多所院校和单位的作者共同编写完成,是集体智慧的结晶。但是,由于编者水平所限,书中难免有一些不足和疏漏之处,敬请广大读者批评指正,以便我们今后修订、补充和完善。

编者

2010年5月



目 录 MU LU

绪 论	001
第一章 农产品贮藏加工基础知识	005
第一节 农产品贮藏生理	005
第二节 农产品的化学组成与贮藏加工特性	018
第三节 农产品的败坏及控制和加工保藏措施	028
第二章 农产品贮藏保鲜方法	031
第一节 常温贮藏	031
第二节 农产品低温保鲜	032
第三节 农产品气调保鲜	041
第四节 农产品物理保鲜	045
第三章 粮油贮藏	047
第一节 粮食贮藏	047
第二节 豆类及油料的贮藏	058
第三节 成品粮的贮藏	060
第四节 油脂的贮藏	063
第四章 果蔬贮藏	066
第一节 果品贮藏	066
第二节 蔬菜贮藏	076
第五章 稻谷和小麦的加工	084
第一节 稻谷的加工	084
第二节 小麦制粉	097
第六章 焙烤食品加工	106
第一节 焙烤食品的主要原辅料	106
第二节 面包生产	114
第三节 饼干生产	124
第四节 方便面生产	131

第七章 淀粉的制取与加工	137
第一节 淀粉的理化性质及生产原料	137
第二节 淀粉的制取	140
第三节 淀粉糖制品	145
第四节 变性淀粉	150
第八章 植物油脂的提取与精炼	154
第一节 植物油料及预处理	154
第二节 植物油脂提取	158
第三节 植物油脂的精炼	164
第四节 食用油脂制品	171
第九章 果蔬加工	173
第一节 果蔬原料的预处理	173
第二节 果蔬罐藏	179
第三节 果蔬制汁	188
第四节 果蔬糖制	197
第五节 果蔬干制	204
第六节 果蔬速冻	210
第七节 蔬菜腌制	216
第八节 果酒和果醋的酿造	223
第十章 副产品的综合利用	233
第一节 粮油副产品的种类、特性及综合利用	233
第二节 果蔬副产品的种类、特性及综合利用	238





绪 论

一、农产品贮藏加工的作用与意义

农产品贮藏与加工是农产品生产与销售、消费之间一个极为重要的环节。水稻、小麦只有经过制米工业和面粉工业的加工处理,才能供食用或工业用,油料不经加工是不能供消费或其他方面用的。所以,农产品加工企业运用现代高新技术将农产品原料加工成各式各样产品,投放市场满足消费者需要,发挥其使用价值,提高其经济效益。

发展农产品贮藏与加工是建设现代农业的重要内容,对于落实中央提出的推进社会主义新农村建设的战略部署,解放和发展农村生产力,促进农村生产发展和农民生活富裕具有重要意义。在繁荣地方经济,促进农民增收和转移农村剩余劳动力等方面的作用日益显现。农产品贮藏与加工在地方经济发展中的地位和作用日益增强,逐步成为地区经济发展的重要力量,并在增加农民收入,转移农村剩余劳动力等方面发挥了重要作用。

农产品贮藏与加工始终是一个战略问题,是保障我国食品安全的现实需要。首先,农产品贮藏与加工和人民生活息息相关。人类活着要吃饭,“民以食为天”。人类食物除少部分由矿物质提供,绝大部分都是由农业的发展而得以丰衣足食、安居乐业、经济繁荣。古今中外任何国家都把食品问题看作国家兴衰存亡的头等大事,都把发展食品工业作为富国强民的决策和部署。随着社会的发展,人们对食品的要求,不仅要吃饱,而且要求吃好,要求食物安全卫生、营养、方便以及多样化,一日三餐,不可缺一。初级的农产品是不能完全满足人们需要的,必须通过加工才能解决,所以农产品贮藏与加工是“永恒的工业”。它既能调节季节性、区域性与单一性,又能提高商品性与适用性。

其次,农产品贮藏与加工是直接关系能否实现高产优质高效农业的主要保证。刚收获的农产品是初级产品,经济价值低,又是易腐性产品,容易腐败变质,失去使用价值。通过贮藏与加工,既能把资源优势变为商品优势,增值再增值,是农产品“收获后的再收获”;又能长期保存,保证做到“丰产丰收,丰收丰食”。

第三,农产品贮藏与加工投资少,见效快。由于农产品原料基地在广大的农村,农产品加工业属于劳动力密集型企业,特别适合农村中小型企业,是农村脱贫致富奔小康的有效途径。世界上发达国家都把农产品初加工安排在农村产地,就地取材,就地加工。能获得新鲜原料,减少原料长途运输,其制品品质好,加工后的废弃物可以进行综合利用,如作饲料或肥料,促进农业良性循环,把农业、工业、商业有机结合起来,形成循环经济。



二、我国农产品贮藏加工的现状与发展

近年来,通过农产品贮藏与保鲜技术的推广应用,我国主要果蔬的贮藏与供应期明显延长,如苹果贮藏期可达6~8个月,柑橘的常规性防腐保鲜问题基本解决,芒果贮藏期可达38d,荔枝冷藏期达34d,常温贮藏期达6~7d。我国的贮粮技术也有了较大的发展,如低温贮粮、气调贮粮和虫害治理技术在生产中得到了广泛的应用,取得了良好的效果。

农产品加工向深度、精度及专用化方向发展。在“农产品深加工技术与设备研究开发”等重大科技专项等科技计划带动和示范下,突破了一大批前瞻性、战略性、方向性和前沿性的重大产业共性技术,如膜超滤技术、定向吸附和分子修饰技术等苹果汁加工关键技术。全面提升了行业的国内外市场竞争能力和企业的自主研发能力,构筑了技术创新平台,构建并完善了主要农产品深加工的标准与全程质量控制体系,在农产品快速检测技术与设备研究开发和农产品加工业技术创新支撑体系建设等研究领域也取得了突破性进展,为全面提升我国农产品加工产业的技术水平和科技创新能力提供了科技支撑。随着农产品直接消费需求的下降,加工制品的比重上升,农产品加工业的产品结构开始向多样化的方向发展,产品附加值不断提高,主要农产品深加工或二次以上加工的比例达到30%以上。开发出各种等级的专用面粉、变性淀粉、各种专用油、系列植物蛋白,研制成功具有高附加值的低酚棉籽蛋白发泡粉和乳化剂。挤压膨化技术、超微粉碎技术、微胶囊技术、微波技术、速冻技术、真空压力技术、膜分离技术、生物工程、超高温杀菌、冷冻速冻、分子蒸馏等一大批高新技术在农产品加工业中逐步得到应用。

近年来,党中央、国务院非常重视农产品加工业的发展,自2004年以来的6个中央1号文件,十七大报告、十七届三中全会决定,都把农产品加工业作为建设新农村、发展现代农业、提高农业综合生产能力和增加农民收入的重要措施来抓。在国家一系列政策的支持下,农产品加工业迅速发展。“十五”以来,我国农产品加工业产值以年均15%的速度递增,到2008年底,全国规模以上农产品加工企业增加值已达3.13万亿元,有5000万农民在农产品加工企业就业。目前,农产品加工业已成为我国国民经济中发展速度最快、与“三农”关联度最高、对“三农”带动最大的行业。

尽管我国农产品加工业在技术应用上取得了巨大的成绩,但与经济发达国家相比,我国农产品加工业总体水平还有较大的差距。农产品资源有效利用率低,农产品产后损耗严重。我国果蔬产量虽然很高,但主要是以鲜销为主,加工只占很小份额,鲜销又受到贮藏能力、技术水平限制,损耗很大,一般达25%~30%,发达国家损耗为5%,我国粮食产后损耗也高达10%以上,发达国家损耗率为2%。农产品出现贮藏期间损耗大,是由于我国贮藏能力不高、贮藏技术水平低所造成,其根源在于农产品加工业技术水平不高。

农产品初加工产品多、深加工产品少,农副产品综合利用差。我国粮食、水果、蔬菜等主要农产品产量已位居世界首位,但是在加工总量和加工水平方面,与世界先进水平还存在较大差距。农产品的加工程度决定着农产品的增值程度,越是精深加工增值程度越大,土豆加工成淀粉,可增值30%,加工成粉条,可增值80%,加工成法式炸薯条,可增

值 15 倍。目前,发达国家农产品加工率在 90%左右,而我国只有 45%左右(初加工以上);发达国家农产品深加工(二次以上加工)占 80%,我国只有 30%左右;发达国家农产品加工产值与农业产值之比为 2~4:1,我国仅为 1.1:1。大多农产品加工产品只经过简单的加工就投入市场,进行进一步深层次加工的数量所占比重较小,多层次开发更多的产品为数就更少了。如我国专用面粉目前仅 10 余种,而日本有 60 多种,美国达 100 多种。如美国玉米深加工产品达到 4 000 多个品种,而我国只有 100 多个品种;日本食用油脂达 400 多种,我国仅为 20 种左右;世界上利用淀粉已深加工出 2 000 多种产品,而我国仅有 50 多种产品。

农产品加工设备技术水平不能满足农产品加工业发展的需要。先进的加工工艺,必须有先进的技术装备来保证,只有如此,才会生产出高质量、低成本、强竞争力、高附加值的产品,我国农产品加工企业也引进了一些先进的加工设备,但整体水平与国外相比仍存在较大差距。目前我国农产品加工企业的技术装备 80%处于 20 世纪 70~80 年代的世界平均水平,15%左右处于 20 世纪 90 年代水平,只有 5%左右达到国际先进水平。我国的农产品加工机械单件多,成套流水线少。通用机型多,对特殊要求、特殊物料加工和包装缺口多。结构简单、技术含量低的产品多,高技术附加值、高生产率的产品少。主机多、辅机少。发达国家无论简单技术还是高技术附加值的产品门类较为齐全,产品系列依市场需求而生,成型配套。

农产品加工企业规模小、带动能力较差。我国农产品加工企业数量之多,居世界各国之首,绝大部分是中小型企业,加工企业规模过小,无法大规模投入技术改造资金,落后的加工工艺和落后的加工装备,很难生产高质量的产品。农产品资源利用率低,耗水、耗能高,造成加工成本居高不下,无法与国外的大企业竞争。企业管理落后,没有建立现代化的企业管理制度,国内农产品加工企业达到国家二级企业标准的只占全部企业数的 0.3%,在质量管理方面,行业通过 ISO9000 质量认证的企业为数很少,这也是差距形成的重要原因。

目前,我国大多数农产品加工企业规模趋小,技术水平偏低,工艺设备陈旧,创新能力不足,生产的产品品味不高,市场覆盖面窄,处于低水平循环。由于目前农业产业化龙头企业规模偏小、辐射范围小,无法带领更大范围农业和更多的农民进入国际国内市场,无法带动农业产业化经营向纵深发展。

原料基地建设不强。建立农产品基地是发展优质农产品原料的先决条件,实行农产品产地贮藏、保鲜和适度加工是保证农产品以最低的产后损耗和优良的品质进入市场的主要手段。不少农产品加工企业产品销路很好,但原料供应不足,直接影响企业发展。主要原因:一是基地建设跟不上;二是本地原料品质不佳,难以达到加工企业的产品质量要求。例如,我国马铃薯年产量约 5 000 万吨,在 100 余个品种中能够加工法式炸薯条的几乎没有。

我国农产品加工标准和质量控制体系尚不完善。普遍存在标准陈旧,体系不健全,不适应行业发展与国际接轨的需要。



三、学习农产品贮藏加工的要求与方法

农产品贮藏与加工是以农产品为研究对象,以生物学和工程学为基础,研究农产品贮藏、加工及加工中副产品的综合利用等工程技术问题,同时提高农产品品质和利用效率并使之增值的重要学科。

农产品贮藏与加工学是一门应用学科,它以植物学、植物生理学、生物化学、微生物学、农产品原料学、农产品化学等作为学科的广泛基础,以多种机械操作和化工单元操作为手段,如:原料粉碎、清选分级、干燥脱水、蒸发浓缩、物料输送、萃取、发酵等,对农产品进行处理和加工。近年来,随着基础科学和综合应用技术的发展,农产品加工的理论和技术发展迅猛,现代高新技术如酶技术、膜分离技术、超临界流体萃取技术等已广泛应用于农产品贮藏加工中,其发展趋势表明,现代先进加工技术的应用、新食品资源的开发利用、食品中功能成分的开发利用、生物工程技术在食品加工中的应用将成为农产品贮藏加工学科发展的巨大推动力和重要组成部分。

农产品贮藏加工研究的范围很广,包括粮食加工及贮藏、焙烤食品加工、植物油脂加工精炼、淀粉的制取与加工以及水果蔬菜的加工和贮藏。

要学好本课程,必须具备相关学科的基本知识,重视最新研究动态和成果的应用,理论联系实际,学会充分利用所学的知识,融会贯通,提高分析和解决实际问题的能力,为农产品贮藏和加工的学习夯实牢固的基础。



第一章 农产品贮藏加工基础知识

第一节 农产品贮藏生理

一、呼吸生理

水果和蔬菜、粮食等农产品采收以后,同化作用基本停止,但仍然是活体,其主要代谢过程是呼吸作用。呼吸作用消耗底物为农产品生命代谢提供能量,与农产品采后品质变化有密切的联系。

(一)呼吸的基本概念

呼吸作用:呼吸底物在一系列酶参与的生物氧化下,经过许多中间环节,将生物体内的复杂有机物分解为简单物质,并释放出化学键能的过程,称作呼吸作用。采后农产品根据呼吸过程是否有氧气的参与,可以将呼吸作用分为有氧呼吸和无氧呼吸两种类型。

有氧呼吸是指细胞在氧的参与下,通过酶的催化作用,把糖类等有机物彻底氧化分解,产生出二氧化碳和水,同时释放出大量能量的过程。有氧呼吸是呼吸作用的主要形式,因此,通常所说的呼吸作用就是指有氧呼吸。细胞进行有氧呼吸的主要场所是线粒体。一般说来,葡萄糖是细胞进行有氧呼吸时最常利用的物质。在生物体内,1mol 的葡萄糖在彻底氧化分解以后,共释放出 2 870kJ 的能量,其中有 1 161kJ 左右的能量储存在 ATP 中,其余的能量都以热能的形式散失了。

无氧呼吸一般是指细胞在无氧条件下,通过酶的催化作用,把葡萄糖等有机物质分解成为不彻底的氧化产物,同时释放出少量能量的过程。无氧呼吸可以产生酒精,也可以产生乳酸。如果用于微生物(如乳酸菌、酵母菌),则习惯上称为发酵。细胞进行无氧呼吸的场所是细胞质基质。农产品在水淹的情况下,可以进行短时间的无氧呼吸,将葡萄糖分解为酒精和二氧化碳,并且释放出少量的能量,以适应缺氧的环境条件。此外,还有一些农产品的某些器官在进行无氧呼吸时也可以产生乳酸,如马铃薯块茎、甜菜块根等。在无氧呼吸中,葡萄糖氧化分解时所释放出的能量比有氧呼吸释放出的要少得多。例如,1mol 的葡萄糖在分解成乳酸以后,共放出 196.65kJ 的能量,其中有 61.08kJ 的能量储存在 ATP 中,其余的能量都以热能的形式散失了。

(二)呼吸强度及呼吸商

呼吸强度是衡量呼吸作用强弱的一个指标,在一定的温度下,用单位时间内单位重量产品吸收的 O_2 或放出的 CO_2 的量表示,常用单位为 CO_2 或 O_2 mg(mL)/kg·h,以 CO_2 或 O_2 的容积(mL)计时,可称为呼吸速率。呼吸强度是表示组织新陈代谢的一个重



要指标,是我们估计产品贮藏潜力的依据,呼吸强度越大说明呼吸作用越旺盛,营养物质消耗得越快,加速产品衰老,缩短贮藏寿命。

呼吸商:又称呼吸系数。在呼吸作用中,释放的二氧化碳与吸入的氧气的容量之比称为呼吸商,通常表示为 RQ (Respiratory Quotient)。通常,碳水化合物是主要的呼吸底物,脂肪、蛋白质以及有机酸等也可作为呼吸底物。底物种类不同,呼吸商也不同。如以葡萄糖作为呼吸底物,且完全氧化时,呼吸商是1。以富含氢的物质如脂肪、蛋白质或其他高度还原的化合物为呼吸底物,则在氧化过程中脱下的氢相对较多,形成水时消耗的氧气多,呼吸商就小,如以棕榈酸作为呼吸底物,并彻底氧化时,其呼吸商小于1。相反,以含氧比碳水化合物多的有机酸作为呼吸底物时,呼吸商则大于1,如柠檬酸的呼吸商为1.33。可见呼吸商的大小和呼吸底物的性质关系密切,故可根据呼吸商的大小大致推测呼吸作用的底物及其性质的改变。当然,氧气供应状况对呼吸商影响也很大,在无氧条件下发生酒精发酵,只有二氧化碳释放,无氧气的吸收,则 $RQ=\infty$ 。然而,呼吸是一个很复杂的过程,它可以同时有几种氧化程度不同的底物参与反应,并且可以同时几种不同方式的氧化代谢,因而测得的呼吸强度和呼吸商只能综合反映出呼吸的总趋势,不可能准确表明呼吸的底物种类或无氧呼吸的程度。

(三)呼吸温度系数和呼吸高峰

呼吸温度系数:在生理温度范围内,温度升高 10°C 时呼吸速率与原来温度下呼吸速率的比值即温度系数,通常表示为 Q_{10} ;它能反映呼吸速率随温度而变化的程度,该值越高,说明产品呼吸受温度影响越大。农产品因不同种类、品种,其 Q_{10} 的差异较大,同一农产品,在不同的温度范围内 Q_{10} 也有变化,通常是在较低的温度范围内的 Q_{10} 值大于较高温度范围内的 Q_{10} 值。

呼吸高峰:在果实发育过程中,呼吸作用的强弱不是始终如一的,根据呼吸曲线的变化模式不同,可以将果实分为两类,一类叫做跃变型果实,其幼嫩果实的呼吸旺盛,随着果实细胞的膨大,呼吸强度逐渐下降,开始成熟时呼吸强度突然上升,果实成熟时达到呼吸高峰,此时果实的风味品质最佳,然后呼吸强度下降,果实衰老死亡。呼吸跃变型果实主要有苹果、杏、猕猴桃、芒果、番茄、西洋梨、西瓜、香蕉、桃、李、柿子等。另一类叫做非跃变型果实,无呼吸速度突然上升的现象,生长及发育的过程较长,且只能在树上或植株上成熟。非呼吸跃变型果实主要有:葡萄、柑橘、草莓、菠萝、樱桃、黄瓜等。

(四)呼吸基质及呼吸热

呼吸基质:呼吸基质是指呼吸作用消耗的底物,包括糖、蛋白质、脂肪和有机酸,农产品的呼吸基质大部分是糖。呼吸基质的消耗是农产品在贮藏中发生失重(自然损耗)和变味的重要原因之一。

呼吸热:采后农产品在进行呼吸作用过程中,消耗呼吸基质,产生能量。产生的能量一部分用于合成能量供组织维持代谢活动,另一部分以热量的形式释放出来,这部分热量称呼吸热(Respiratory Heat)。呼吸热的积累是农产品贮运环境温度升高的原因所在。

(五)影响果蔬呼吸强度的因素及其调控

1. 内部因素对呼吸强度的影响

不同的农产品种类和品种、同一器官的不同部位、不同的发育阶段与成熟度,组织含



水量等对呼吸强度的影响各有所不同。

在相同的温度条件下,不同种类、品种的农产品呼吸强度差异很大,这是由它们本身的特性所决定的。一般来说,晚熟品种的呼吸强度大于早熟品种,南方的比北方的大,夏季成熟的比秋季成熟的大,浆果类的呼吸强度最大,其次是柑橘类,苹果、梨的呼吸强度最小。蔬菜中叶菜类呼吸强度最大,花菜类呼吸强度也很大,叶球类较之散叶类小,直根类更小,一些具有休眠的鳞茎、块茎蔬菜及老熟瓜果的呼吸强度就更小了。

同一农产品的不同器官或组织,呼吸强度也有明显的差异。例如,生殖器官的呼吸较营养器官强;同一花内又以雌蕊最高,雄蕊次之,花萼最低;生长旺盛的、幼嫩的器官的呼吸,较生长缓慢的、年老的器官为强;茎顶端的呼吸比基部强;种子内胚的呼吸比胚乳强。这些差异主要是不同部位组织内原生质含量、线粒体数目、酶的活性等情况不同造成的。

在农产品的个体发育和器官发育过程中,随着年龄的增长,呼吸强度逐渐下降。跃变型果实的幼果呼吸旺盛,随果实的增大,呼吸强度下降,果实成熟时呼吸强度增大,高峰过后呼吸强度又下降。不同采收成熟度的农产品,呼吸强度也有较大差异。在生长期采收的蔬菜,呼吸强度很高,此时生长旺盛,是很不耐贮的。而老熟瓜果,在充分成熟时采收,代谢活动大大下降,呼吸强度很低,表面又形成良好的保护结构,为贮藏创造了极为有利的条件。水果情况不同,在生长期采收的果实,一般风味较差,同时呼吸强度很高,无论鲜食还是贮藏都是很不适宜的,所以掌握适当的采收期很重要,既保证果实风味最佳,果实又比较耐贮。

农产品组织的含水量与呼吸作用有密切的关系。在一定范围内,呼吸速率随组织含水量的增加而升高。干燥种子的呼吸作用很微弱,当种子吸水后,呼吸速率迅速增加。因此,种子含水量是制约种子呼吸作用强弱的重要因素。对于整体农产品来说,接近萎蔫时,呼吸速率有所增加,如萎蔫时间较长,细胞含水量则成为呼吸作用的限制因素。

2. 外界条件对呼吸强度的影响

(1)温度对呼吸强度的影响是非常重要的。在一定范围内,温度升高,酶活性增强,呼吸强度因之增大。通常在 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间,温度每上升 10°C ,呼吸强度增大 $1\sim 1.5$ 倍。呼吸强度达到最高值后,继续增高温度,呼吸强度反而下降。在贮藏中,过高过低的温度都会给农产品带来伤害。如温度超过正常的范围继续上升,可引起农产品组织中酶活的丧失,从而降低呼吸强度,甚至急剧下降直至零。适宜的低温可降低呼吸作用,并推迟呼吸跃变型农产品的呼吸高峰的出现,甚至不表现跃变。但是,不是温度越低越好,不适宜的低温会造成农产品低温伤害或冷害,冷害反而会刺激呼吸强度的反常上升。

(2)贮藏环境的空气湿度也会影响农产品的呼吸强度。虽然就目前来看,湿度对呼吸的影响还缺乏系统深入的研究,但这种影响在贮藏实例中确有反应。大白菜、菠菜、甜橙、红橘等农产品采收后进行预贮,蒸发掉一小部分水分,有利于降低呼吸强度,增强贮藏性。洋葱贮藏要求低湿,可抑制呼吸,保持休眠状态,有利于贮藏。薯类蔬菜要求高湿,干燥反而会促进呼吸,产生生理病害。

(3)空气中氧气和二氧化碳的含量影响呼吸作用。氧是进行有氧呼吸的必要条件,当氧浓度下降到 20% 以下时,农产品呼吸速率便开始下降;氧浓度低于 10% 时,有氧呼吸迅速下降,但氧浓度过低时,会发生无氧呼吸增强现象,从而过多消耗体内养料,甚至产生酒精中毒,原生质蛋白变性而导致农产品受伤死亡。过高的氧浓度($70\%\sim 100\%$)



对农产品有毒,这可能与活性氧代谢形成自由基有关。然而,目前也有研究发现,超大气高氧处理反而会降低果实的呼吸作用,如80%和100%的氧处理能够降低绿熟番茄的呼吸作用。

二氧化碳是呼吸作用的最终产物,当外界环境中二氧化碳浓度增高时,脱羧反应减慢,呼吸作用受到抑制。实验证明,二氧化碳浓度高于5%时,有明显抑制呼吸作用的效应,这可在果蔬、种子贮藏中加以利用。

适当地降低氧气浓度,升高二氧化碳浓度,既可以抑制呼吸,又不会干扰正常代谢,这就是当今气调贮藏的理论依据。氧气的浓度调节原则是不可导致缺氧呼吸,二氧化碳的浓度一般不超过2%~4%为宜。

乙烯是一种成熟衰老的植物激素,它可以增强呼吸强度。农产品采后,由于自身代谢可释放乙烯并积累,对于乙烯敏感型农产品的呼吸作用有较大的影响。

(4)其他因素。影响呼吸作用的外界因素除了温度、湿度、气体成分、组织水分之外,机械损伤、一些物质(如矿质元素、青鲜素、矮壮素、赤霉素、一氧化碳等)对呼吸也有显著影响。任何机械伤都会导致农产品采后呼吸强度不同程度的增加。一般认为,伤口和创面破坏了细胞结构,加速了气体的扩散,也增加了酶与底物接触的机会,必然会加强呼吸作用。机械伤对农产品呼吸强度的影响因品种、种类以及受损伤的程度而不同。在农产品采收后商品化及贮藏运输过程中,使用一些涂膜产品,对美化产品,抑制呼吸,保持营养成分,降低腐烂率,延长贮藏期均有一定效果。

二、农产品的蒸腾生理

新鲜农产品组织一般含有很高的水分(60%~95%),由于细胞汁液充足,细胞膨压大,从而使组织器官呈现坚挺、饱满状态,脆嫩的质地,具有光泽和弹性,表现出新鲜健壮的优良品质。采收后,果蔬等农产品失去了母体和土壤供给的水分和营养,而且还不断地蒸腾失水,逐渐失去新鲜度,并产生一系列不良反应,因而采后的蒸腾作用是果蔬等农产品采后生理的一大特征。

蒸腾作用:是水分从活的植物体(采后果实、蔬菜和花卉)表面以水蒸气状态散失到大气中的过程,与物理学的蒸发过程不同,蒸腾作用不仅受外界环境条件的影响,而且还受植物本身的调节和控制,因此它是一种复杂的生理过程。植物幼小时,暴露在空气中的全部表面都能蒸腾。

(一)蒸腾失水对农产品品质和贮藏效果的影响

1. 失重和萎蔫

失重又称自然损耗,是指贮藏过程器官的蒸腾失水和干物质损耗所造成重量的减少,称为失重。采后农产品的蒸腾失水,在重量上造成失重,在品质上造成失鲜。一般农产品失水达5%时,即表现出疲软、皱缩、萎蔫、光泽消退等品质劣变现象。苹果失重失鲜时,果肉变沙,失去脆度。柑橘果实贮藏期间的失重有四分之三是由于蒸腾失重所致。萝卜等根茎类蔬菜失鲜会老化糠心,长根长芽,降低食用价值。

2. 影响正常的代谢机能

水是生物体内最重要的物质之一,它在代谢过程中发挥着特殊的生理作用。失水后,细胞膨压降低,气孔关闭,因而对正常的代谢产生不利影响。如造成原生质脱水,会



促使水解酶活性的加强,加快水解进程,高分子物质的降解反过来又会促进呼吸作用,由于养分消耗过快,代谢失调,使农产品迅速衰老变质。另一方面,当细胞失水达一定程度时,细胞液浓度增加,使 H^+ 、 NH_4^+ 和其他一些物质积累到有害程度而使细胞中毒。水分状况异常还会改变农产品体内的激素平衡,使脱落酸和乙烯等与成熟衰老有关的激素增加,促进衰老。

3. 降低耐贮性和抗病性

蒸腾失水引起正常的代谢被破坏,水解过程加强,由于细胞膨压降低造成的结构改变都会影响到农产品的耐贮性和抗病性。

4. 发汗和帐壁凝水

果蔬发汗是指在果蔬等农产品贮藏时表面出现水珠凝结的现象,特别是用塑料薄膜帐或袋贮藏产品时,帐或袋壁上的结露现象更严重。这种情况是因为当空气温度下降到露点以下,过多的水汽从空气中析出,并在农产品表面上凝成水滴所致。堆藏的农产品,由于呼吸的进行,在通风散热情况不好时,堆内湿度和温度高于堆外,因此当堆内湿空气转移到堆外时,与冷空气接触,温度下降,部分水汽就凝结成水珠,出现发汗现象。贮藏库内温度波动也可造成凝水现象。这种凝结水本身是微酸性的,附着或滴落到果蔬等农产品表面时,有利于病原菌孢子的传播、萌芽和浸染,导致腐烂,所以在贮藏中应尽量避免凝结水的出现,通常可以采用通风散热或开窗散气等方法,以排除湿热气体。

(二)影响蒸腾失水的因素及其调控

1. 影响蒸腾作用的内部因素

(1) 表面组织结构

蒸腾是指植物体内的水分通过植物体表面的气孔、皮孔或角质层而散失到大气中的过程,所以蒸腾与植物的表面结构有密切关系。气孔是植物蒸腾的主要通道,气孔多分布在叶面上,主要由周围的保卫细胞和薄壁细胞的含水程度来调节其开闭,许多因素如水、温度、光和二氧化碳等,影响气孔开闭,从而决定蒸腾作用的强弱。气孔直径较大,内部阻力小,蒸腾快。气孔下腔容积大,叶内外蒸气压差大,蒸腾快。气孔开度大,蒸腾快;反之,则慢。当温度过低或者二氧化碳增多时,气孔不易开张,光刺激气孔的开放,缺水导致气孔关闭,减少蒸腾,起保水作用。皮孔多分布在根茎上,不能自由开闭,而经常处于开放状态。皮孔把较内层组织的胞间隙与外界直接相通,从而能加速水分和气体交换,但是皮孔的蒸腾量很小。一般角质层不易透过水,但由于其上夹杂有裂缝及吸水物质,因而植物体内的水分可通过角质层散失到大气中。不同蔬菜表面组织结构不同,蒸腾作用差异很大,通常是叶菜类蒸腾最强,果菜类次之,根菜类最弱。

(2) 细胞持水力

一般原生质内亲水性胶体含量高,可溶性固形物含量高,细胞就具有较高的渗透压,因此有利于细胞保水,阻止水分蒸腾。另外,细胞间隙的大小可影响水分移动的速度,细胞间隙大,水分移动阻力小,移动速度快,有利于细胞失水。

(3) 比表面积

比表面积是指单位重量的器官所具有的表面积(cm^2/g)。农产品的蒸腾作用是在表面进行的,所以比表面积大,相同重量的农产品所具有的蒸腾面积就大,因而失水也较多。



2. 影响蒸腾作用的外部因素

(1) 空气湿度

影响农产品采后蒸腾作用的关键性环境因素是空气相对湿度,相对湿度是指空气中实际所含的水蒸气量(绝对湿度)与当时温度下空气所含饱和水蒸气量(饱和湿度)之比。在一定的温度下,空气的饱和蒸气压大于实际蒸气压时(即存在饱和差时),水分便开始蒸发,因此空气从含水物体中吸取水分的能力决定于饱和差的大小。农产品组织中充满水,蒸气压一般是接近饱和的,只要组织中蒸气压高于周围空气的蒸气压,组织内的水分便外溢,其快慢程度与两者之差成正比。

(2) 温度

温度增高可加速水蒸气分子的运动,减低细胞胶体的黏性,从而促进蒸腾作用。当气温过高时,叶片过度失水,气孔关闭,蒸腾减弱。

(3) 空气流速

空气流速也会改变空气的绝对湿度,从而影响蒸腾作用。风速较大,可将叶面气孔外水蒸气扩散层吹散,而代之以相对湿度较低的空气,既减少了扩散阻力,又增加了叶内外蒸气压差,可以加速蒸腾。强风可能会引起气孔关闭,内部阻力增大,蒸腾减弱。

(4) 其他因素

蒸腾速率取决于叶内外蒸气压差和扩散阻力的大小。所以凡是影响叶内外蒸气压差和扩散阻力的外部因素,都会影响蒸腾速率。在采用真空冷却、真空干燥、真空浓缩等技术时都需要改变气压,气压越低,沸点就越低,越易蒸发,所以气压也是影响蒸腾的因素之一。另外光照也对蒸腾作用有一定影响。光对蒸腾作用的影响首先是引起气孔的开放,减少气孔阻力,从而增强蒸腾作用。其次,光可以提高大气与叶子的温度,增加叶内外蒸气压差,加快蒸腾速率。

三、农产品的休眠生理

(一) 休眠的基本概念

1. 休眠的定义

植物在生长发育过程中遇到与自身不适宜的环境条件时,为了适应环境,有的器官会产生暂时停止生长的现象,称作“休眠”(Dormancy)。一些块茎、球茎、鳞茎、根茎类蔬菜、花卉,木本植物的芽、种子,坚果类果实(如板栗)都有休眠现象。

2. 休眠的分类和阶段

根据引起休眠的原因,将休眠分为两种类型。一种是器官内在因素引起的,即农产品在环境条件适合生长的情况也不会发芽,这种休眠称为“自发”休眠(Rest Period),也称为生理休眠;另一种是由于外界环境条件中的不适因素所造成的,如低温、干燥所引起的,一旦遇到适宜的条件即可发芽,称为“被动”休眠(Dormancy)或他发性休眠。

通常,农产品的休眠可分为以下三个生理阶段:(1)休眠前期,也可以叫作准备阶段。此阶段是从生长向休眠的过渡阶段,产品刚刚收获,代谢旺盛,呼吸强度大,体内的物质由小分子向大分子转化,同时伴随着伤口的愈合,木栓层形成,表皮和角质层加厚,或形成膜质鳞片,使水分蒸发减少。在此期间,如果条件适宜可诱发芽子生长,延迟休眠。

(2)生理休眠期,也可称深休眠或真休眠,在此阶段产品新陈代谢下降到最低水平,产品