

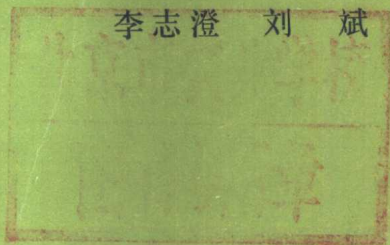
现代蔬菜科学丛书

李曙轩 曹寿椿 主编

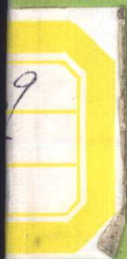


蔬菜现代贮藏技术

李志澄 刘 斌 编著



上海科学技术出版社



现代蔬菜科学丛书

李曙轩 曹寿椿 主编



蔬菜现代贮藏技术

李志澄 刘 斌 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书由蔬菜贮藏的原理、现代技术和研究方法三部分内容组成,共分五章。根据当前的植物生理学和生物化学及其他有关基础学科的现代观点,阐述了蔬菜的采后生理,国内外的贮藏方式,贮藏库的结构、性能、重要设备和管理要点,采前采后的处理技术及其对蔬菜贮藏的影响,蔬菜在贮藏和流通中发生的变化,以及经受各种因素的作用而导致食用品质和商品价值的下降及其预防措施,并对蔬菜贮藏研究的特点和方法作了简要说明。

本书是《现代蔬菜科学丛书》之一,可供从事蔬菜贮藏及供销的科技工作者和教学人员参考。

· 现代蔬菜科学丛书 ·

李曙轩 曹寿椿 主编

蔬 菜 现 代 贮 藏 技 术

李志澄 刘 斌 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 江苏深水印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 11 字数 170,000

1985年2月第1版 1987年1月第2次印刷

印数:14,001—16,300

统一书号: 16119·829 定价: 1.25 元

《现代蔬菜科学丛书》

序 言

蔬菜是人民生活中重要食品之一,含有丰富的维生素、矿物质、碳水化合物、蛋白质、脂肪、有机酸、维生素以及芳香物质等,是农业生产中的一个主要组成部分。

我国是世界上最古老的蔬菜起源中心之一,目前栽培的蔬菜有一百多种,普遍栽培的也有五六十种,每一种又有许多变种,以及成千上万的栽培品种。原产于我国的有白菜、萝卜、冬瓜、越瓜、毛豆、豇豆、葱、韭、芋、山药、草石蚕、百合、金针菜、竹笋,以及许多水生蔬菜和绿叶蔬菜。无论从那一个角度来衡量,我国丰富的蔬菜种类,在世界蔬菜资源宝库中,都占有重要的地位。

此外,在我国与国外交往的漫长历史过程中,也引进了不少世界各地的蔬菜种类。如目前普遍栽培的甘蓝、洋葱、番茄、马铃薯、花椰菜、四季豆等等,栽培历史虽然远不及我国原产的悠久,但更加充实了我国的蔬菜资源,并具有很大的经济意义。

我国不仅有丰富的蔬菜品种资源,而且有宝贵的生产经验。从播种、育苗、施肥、灌溉到间作、套种、植株整理以及保护地栽培、贮藏保鲜技术,都有许多独特之处。

但是,从现代农业科学的标准来看,我国蔬菜的生产力较

低，抵抗自然灾害的能力较弱，品种混杂，商品率低，重数量而轻质量。这些问题，都需要我们通过大量的工作加以解决。

利用现代的自然科学理论，尤其是生理学、遗传学、生物化学，来选育优良品种，改进栽培技术，提高工效，增加产量及改进品质，是我国农业现代化中急待解决的问题。

本着这个目的，我们请国内从事教学及科学研究工作多年的有关专家，编写了这套《现代蔬菜科学丛书》。在编写过程中，既收集了近年来国内外的新颖资料，同时也编入了作者自己多年的研究心得及成果。这套丛书不是生产经验的总结，也不是单纯理论的叙述，而是以现代农业科学的理论及技术为基础，深入浅出，结合我国实际情况，论述我国蔬菜科学中的主要问题，包括遗传育种、栽培技术、贮藏生理、施肥、灌溉新技术、保护地栽培及植物激素应用等。

我们希望这套丛书的出版，能对我国蔬菜生产的发展及蔬菜科学的现代化，起到积极的促进作用，并为高等农业院校蔬菜专业的教师和高年级学生以及从事蔬菜科学研究和技术工作者提供参考书籍。

在编写过程中，我们对丛书的组织及协调工作做的不够，希望读者对丛书的各个方面，多多提出宝贵意见，以利再版时作出改进。

李曙轩 曹寿椿

1981年5月

前 言

贮藏是实现蔬菜周年均衡供应、调节淡旺季矛盾、丰富蔬菜花色品种的途径之一。我国北方地区冬季半年的蔬菜主要靠贮藏供应，南方地区也要通过贮藏以旺补淡，调剂余缺。运输和销售总有一段周转时间，其实质也是一种短期贮藏。

我国蔬菜贮藏的历史悠久。《诗经》等古籍上就有不少关于蔬菜贮藏的记载，各地的民间贮藏经验丰富多采，其中许多方法迄今仍在应用。但由于历史和科学技术的限制，这些方法，包括通风贮藏库贮藏，都是利用自然气温而创造贮藏所要求的低温，因此在利用上存在着地区和季节的局限性。突破这种局限性，首先要求人工制冷，这是现代贮藏技术的基础。

近代自然科学、特别是植物生理学的发展，为现代贮藏技术奠定了理论基础。关于果蔬采后生理的研究，可以追溯到十九世纪初叶，但实际应用于生产的现代贮藏技术，还是二十世纪的事。二十世纪以来，现代贮藏技术发展很快，集中表现在人工创造低温，并配合相应的建筑工艺和设备。概略地说，二十年代起首先发展了机械冷藏；四十年代起有了气调贮藏，即人工制冷外加上控制气体成分。此后，五十年代将辐射处理引用到果蔬贮藏上，六十年代进一步提出了减压贮藏技术。七十年代苏联在果蔬贮藏保鲜上应用由高压静电放电产生的负离子空气；大约与此同时，美国、日本等也有一些专利提出应用磁场处理。此外，近些年来在果蔬贮藏保鲜上应用种种化学处理，主要是各种化学防腐剂和植物激素。

现代果蔬贮藏的理论和技术的研究，几乎都是从果品开始的，积累的资料很多。相对地说，蔬菜方面的研究时间较短，资料较少。蔬菜不仅种类繁多，且食用部分包括各种不同的植物器官，特性各异，经济价值又比果品低，这些都限制了蔬菜贮藏事业的发展。

但是，近年来，我国在蔬菜贮藏的科学研究，现代化设备和技术的应用方面都有了较快的发展。为了对祖国的蔬菜贮藏事业略尽菲薄之力，我们编写了这本书，向读者简略地介绍蔬菜现代贮藏方面国内外的科研成果和应用技术。其中第一、三、五章李志澄编写，第二、四章刘斌编写。限于作者水平，谬误之处在所难免，敬请读者指正。

李志澄 刘 斌

1983年11月

目 录

序言

前言

第一章 蔬菜采后生理	1
一、呼吸作用	1
二、蒸腾作用	18
三、组织结构与生理	23
四、成熟、衰老生理	29
五、休眠生理	45
第二章 采前采后因素对蔬菜贮藏的影响	50
一、采前因素的影响	50
二、贮前处理	62
三、包装、运输与振动	81
第三章 蔬菜贮藏的现代技术	97
一、机械冷藏	97
二、气调贮藏	123
三、薄膜包装贮藏	148
四、其他贮藏技术	160
第四章 蔬菜采后病害	185
一、生理病害	185
二、侵染性病害	198
第五章 蔬菜贮藏试验方法	219

一、试验设计	220
二、试验操作和调查记载	229
三、试验结果分析	235
主要参考文献	241

第一章 蔬菜采后生理

蔬菜是植物体的一部分或一个器官，采后仍是有生命的机体，在其后的商品处理和运输、贮藏中仍进行着各种生理活动，从而引起质量和数量上的变化。蔬菜采后的种种变化，总的说大都不符合人们的要求，因此需要研究蔬菜的采后生理，以便有效地进行干预和调节。

蔬菜采后生理学，是一门新的分支学科，与植物生理学的关系特别密切。采收，是一个根本性的转折，从此产品脱离了母体和田间条件，不再能从根系继续获得水和无机物，基本上停止了光合作用，整个代谢平衡发生极大的变化。采后的外界环境条件，包括产品与周围其他生物的关系，也与田间截然不同。

蔬菜采后生理学，涉及的问题比果品采后生理学还要多些。因为后者的研究对象只有一种植物器官——果实，而蔬菜则包括植物的各种器官。众所周知，不同器官在形态、结构、生理、生化等方面都存在不同特点。随着近年来植物生理学的迅速发展，果品采后生理工作者做了大量研究工作，取得很大进展；而蔬菜方面的工作则显得很不适应。由于蔬菜方面的有关资料较少，本章不得不引用一些果品方面的例证。

一、呼吸作用

蔬菜收获后光合作用基本停止，呼吸作用就成为采后生

命活动中的主导过程。在田间生长期，一般总是光合产物补偿呼吸消耗而绰绰有余，因而干物质不断积累。收获后干物质不仅不能再增加，而且不断为呼吸所消耗。因此，从保存物质、减少消耗这个角度来说，蔬菜收获后应尽可能降低其呼吸作用。但不能把呼吸单纯地看作是一个消极的过程。一切生命活动所需要的能量都要依靠呼吸来提供，采后各种合成过程的原材料也是呼吸的分解产物。采后虽然总干物质质量不再增加，但仍有种种合成过程，特别是蛋白质——主要是新的酶类的合成，有时还形成新的细胞和组织。这些过程都只能利用菜体内原有的物质通过分解和再组合而实现。呼吸失调则发生生理障碍，不仅各种过程不能正常进行，还出现病害症状——生理病害，这又会削弱植物原有的抗病性，从而加重侵染性病害。从这个角度来说，则要求尽可能保持呼吸的正常水平。

所以，保持蔬菜产品采后尽可能低的、又是正常的呼吸过程(也就是生命活动过程)，是新鲜蔬菜贮藏、运输的基本原则和要求。

(一)呼吸途径和历程

植物的每个细胞都进行呼吸。呼吸有多条途径，广泛存在的公认的主路是糖酵解——三羧酸循环——电子传递链(细胞色素系统)途径。这条主路的主要功能是提供生命活动所需要的能(产生ATP)和多种物质合成的原料，它与许多物质代谢都有着联系。呼吸的另一条重要途径是磷酸戊糖支路，它主要不是提供能量，而是提供许多氧化合成反应所必需的NADPH(还原型辅酶II)，以及合成核酸、木素、及许多酚类物质及其衍生物的原料，所以这条支路在采后生理上很重要。

1. 糖酵解——三羧酸循环——电子传递链系统 (EMP—TCA—ETC)

呼吸主路中这三个过程的相互关系如图 1-1 所示。

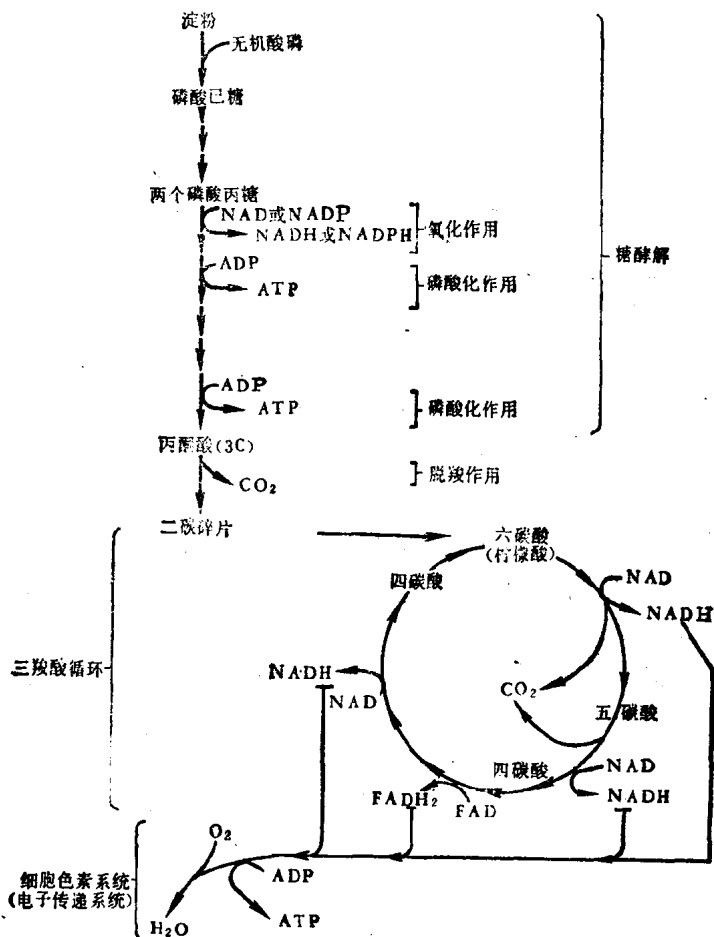


图 1-1 糖酵解——三羧酸循环——电子传递链的相互关系
(F. B. Salisbury 和 C. Ross, 1969)

糖酵解包括从一分子葡萄糖形成二分子丙酮酸的全过程。其间先是糖的磷酸酯化,即糖的活化过程;然后分裂成二个丙糖,再逐渐转变而成丙酮酸。糖酵解是有氧呼吸和无氧呼吸共有的历程。形成丙酮酸后,在缺氧条件下,丙酮酸便脱羧而成乙醛,再还原成酒精;或者丙酮酸直接还原成为乳酸。这就是无(缺)氧呼吸。

在有氧条件下,丙酮酸脱羧、脱氢,并与辅酶A结合成乙酰辅酶A,以后便进入三羧酸循环。在一次循环中经二次脱羧和四次脱氢,完成丙酮酸的彻底氧化分解。历次脱氢作用,每次脱下一对 H^+ ,主要以NAD作为氢受体,形成 $NADH+H^+$;循环中有一次脱氢以FAD作为氢受体而成为 $FADH_2$ 。这些还原态辅酶,又经过细胞色素系统将其接受到的 H^+ 和电子逐步后传,最后使分子态 O_2 活化并还原成 H_2O 。这个途径就是电子传递链或称呼吸链,在此过程中同时进行着氧化作用和磷酸化作用,在正常生活中两者是偶联的,合称为氧化磷酸化。其结果是生成ATP,将从呼吸底物中释放出的能约40%蕴藏在ATP中,供各种生命活动之需。其余的能则转化为呼吸热释放至体外。

值得重视的是氧化磷酸化的解偶联,即在电子传递过程中氧化同磷酸化分开,只进行氧化而不进行磷酸化。因此呼吸底物不断氧化分解但不形成ATP,释放的能全部转化为呼吸热,造成细胞内ATP短缺, P/O 率变为0。这时呼吸就失去自动控制。因为糖酵解中的果糖-6-磷酸激酶和丙酮酸激酶这两种复合的调节酶系统,其活性因ADP和AMP的浓度高而加强,因ATP和柠檬酸浓度高而受抑。因此,ATP的浓度变化就调节了糖酵解——三羧酸循环的速度。氧化磷酸化解偶联造成ATP短缺,调节酶系统活性失去控制,呼吸底物

就无限制地以高速度分解氧化，而能量则大量转化为热排出体外，这就是所谓的无效呼吸。逆境和组织衰老常会出现氧化磷酸化解偶联，所以这时常常呼吸加强，呼吸热增多。

近来查明高等植物中除了由细胞色素系统组成的电子传递链外，还有另外的电子传递途径，其中重要的一条称为抗氰呼吸。这条途径大概是电子传到细胞色素 b 以后，转向另外的方向，不再经过以后的细胞色素系统，因此丢失一或二个产生 ATP 的位点，所以 P/O 只有 2 或 1。已知包括果实的各种植物器官，在成熟衰老过程中抗氰呼吸常占有重要位置，依靠它植物植株还不至象氧化磷酸化解偶联时那样丧失全部能量，但这时的呼吸热仍要比正常呼吸时期高出许多。

2. 磷酸戊糖途径(PPP)

亦称磷酸己糖途径。它与糖酵解有一个共同的开端，但从葡萄糖-6-磷酸起两者就分开。在磷酸戊糖途径，葡萄糖-6-磷酸一开始便脱氢氧化成 6-磷酸葡糖酸，随即又进一步脱氢并脱羧成为 5-磷酸核酮糖。这是磷酸戊糖途径中仅有的脱氢和脱羧作用，此后则是在三、四、五、六、七碳糖间发生各式各样的互变，最后又回到葡萄糖-6-磷酸。在每次循环中，从 6 分子葡萄糖-6-磷酸开始，被氧化成 6 分子 5-磷酸核酮糖及 6 分子 CO_2 ，脱除 12 对 H^+ ，这里以 NADP 作氢受体，生成 12 (NADPH + H^+)。6 分子 5-磷酸核酮糖经一系列中间过程最后形成 5 分子葡萄糖-6-磷酸，即有 1 分子葡萄糖-6-磷酸在循环中被氧化分解。

这样，在细胞内葡萄糖-6-磷酸有两条变化途径，一为糖酵解，一为磷酸戊糖途径。究竟向哪个方向发展，一个很重要的因素是细胞内 NAD 和 NADP 浓度的比例。因为糖酵解和三羧酸循环主要利用 NAD，磷酸戊糖途径则需要 NADP。如

细胞内 NADP 多于 NAD, 磷酸戊糖途径便占优势, 反之则向糖酵解方向发展。NAD 和 NADP 的比例又受多种因素的影响, 其一是 O_2 的浓度。 O_2 浓度高, NADH 氧化成 NAD 的速度快, 就使糖酵解加速进行。NADPH 不易被细胞色素所氧化, 而为多种氧化合成反应所必需, 这些合成反应加速则使 NADP 浓度增高, 磷酸戊糖途径因而加强。

磷酸戊糖途径除提供 NADPH 外, 还提供多种重要的合成原料, 如 5-磷酸核糖是合成核糖、核酸、腺苷等的原料, 经赤藓糖合成木质素和许多芳香族化合物。据现有资料, 叶、茎、各种地下贮藏器官所释放的 CO_2 中约有 $1/4 \sim 1/2$ 来自该途径。在胚胎组织(幼苗)及某些果实内所占的比重较小。另外, 在逆境中或遭受伤害、病虫害时, 常可见到磷酸戊糖途径有明显的加强。

(二)呼吸与贮藏运输的关系

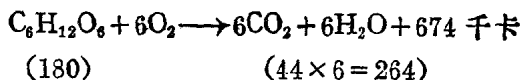
作为蔬菜(及果品)采后的主导生理过程, 呼吸作用同贮藏和运输有着极其密切的关系。所以生产实践上人们首先着眼于产品的呼吸动态并尽力设法予以控制。

1. 呼吸消耗与呼吸热

- 前已指出, 呼吸要消耗呼吸底物并放出呼吸热。蔬菜采后的呼吸消耗是干物质的净消耗, 无疑这种消耗应该越少越好。呼吸热的释放则使环境温度升高。所以贮、运中应该尽可能减低产品的呼吸速度。

据计算, 1 克分子葡萄糖彻底氧化将释放 674 千卡能(曹宗巽、吴相钰作 686 千卡)。在 EMP-TCA-ETC 过程中, 1 克分子葡萄糖最多可生成 38 克分子 ATP, 每克分子 ATP 约贮能 8 千卡(曹、吴作 7.3 千卡), 38 克分子 ATP 共贮能 304 千卡, 约占糖总化学能的 45%。这是极高的能量利用率, 但仍

有一半以上的能转化为呼吸热而被浪费掉；当发生氧化磷酸化解偶联或抗氰呼吸加强时，浪费的能将更多。关于蔬菜呼吸热的理论计算和实测(经验)资料，在第三章第一节中有详细叙述，这里试作如下的简单计算：设甘蓝含糖量为 2.5%，贮藏中呼吸强度为 10 毫克 CO_2 /公斤/小时，计算每吨每 24 小时消耗的糖量及放出的热量。按以葡萄糖为底物的有氧呼吸方程：



即 264 毫克 $\text{CO}_2 \approx 180$ 毫克糖，1 毫克 $\text{CO}_2 \approx 0.682$ 毫克糖。则该甘蓝消耗的糖 = $(0.682 \times 10 \times 1000 \times 24) \div 1000 = 163.68$ 克/吨/24 小时，占其含糖量的 0.655%。又，按上式 264 毫克 $\text{CO}_2 \approx 674$ 卡，1 毫克 $\text{CO}_2 \approx 2.553$ 卡。通常呼吸热可按呼吸释放的总能量计算，即呼吸强度每 1 毫克 CO_2 /公斤/小时，每吨产品每 24 小时释放的呼吸热 = $(2.553 \text{ 卡} \times 24 \times 1000) \div 1000 = 61.27$ 千卡。则上述甘蓝的呼吸热为 $61.27 \times 10 = 612.7$ 千卡/吨/24 小时。甘蓝的比热按 0.9 计，并设全部呼吸热郁积不散失，则该甘蓝每日温度上升 $612.7 \div 0.9 \div 1000 = 0.68^\circ\text{C}$ 。

从上列计算，可以看到呼吸消耗和呼吸热都是相当可观的，而呼吸热如积聚不散影响将更为严重。

2. 有氧呼吸和无氧呼吸

碳水化合物经糖酵解形成丙酮酸，以后究竟是进入三羧酸循环——有氧呼吸，抑或进入发酵——无氧呼吸，关键的影响因子是环境中 O_2 的浓度。如图 1-2 所示，环境 O_2 浓度从正常空气水平下降时，植物组织的 CO_2 释放量随同减少。实际上呼吸的吸 O_2 量也相应减少，表明呼吸速度因环境中 O_2

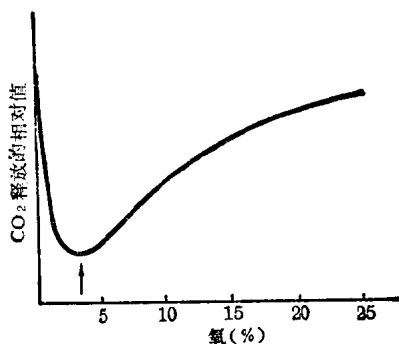


图 1-2 植物组织在不同氧水平中释放 CO_2 的动态模式
(箭头示无氧呼吸的消失点)

水平下降而受到抑制。但在 O_2 降至某一转折点之前,呼吸的质并无实质性的改变。过了这个转折点,即图中箭头所示处,则 CO_2 不是继续下降而是相反地急速上升,以迄 O_2 水平降至 0。此时 CO_2 释放量的增加是无氧呼吸(发酵)的结果。所以这个转折点是有氧呼吸和无氧呼吸的交界,称为无氧呼吸的消失(灭)点,意思是 O_2 水平高于这个点无氧呼吸就消失了。消失点的 O_2 浓度一般约在 1~5% 间,因作物器官种类和生理状态而异。这里可以看到,在消失点之前,供给 O_2 可以避免出现无氧呼吸,亦即提高 O_2 水平反而可使碳水化合物的分解速度减慢,从而节约了物质消耗和减少无氧呼吸产物,这就是所谓巴斯德效应。巴斯德效应对果蔬贮藏有重要意义,它告诉人们必须精心地维持这样的 O_2 水平(一般为 3~5%),使有氧呼吸减至最低限度,但不激发无氧呼吸。

3. 呼吸失调与生理障碍

无氧呼吸不仅增加底物的消耗,还积累乙醛、酒精等有害物质,使细胞中毒受害甚至死亡。但即使在正常生活条件下,