

全国“星火计划”丛书

水果蔬菜 薄膜气调贮藏

侯东明 江亿



清华大学出版社

水果蔬菜薄膜气调贮藏

侯东明 江 亿

内 容 提 要

本书为作者近年来从事薄膜气调贮藏水果蔬菜方面的研究与实践的总结。书中详细分析了薄膜气调贮藏方式的物理机理,讨论了各种因素对贮藏环境的气体成分及贮藏效果的影响。在此基础上进一步给出了大帐堆藏和小包装这两种薄膜气调贮藏方式的设计方法和管理方法。为了使读者真正能够利用本书实际进行薄膜气调贮藏,在附录中详细给出了与薄膜气调贮藏有关的各种设施的制作方法,气体成分和薄膜透气性的分析测试方法,以及各种有关的数表、曲线。

本书可供地县以上农科所和农业技术推广站的技术人员以及果蔬贮藏加工专业和农业环境工程专业的大专院校师生参考。

(京)新登字 158 号

水果蔬菜薄膜气调贮藏

侯东明 江 亿

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/32 印张: $7\frac{1}{8}$ 字数: 160 千字

1992 年 6 月第 1 版 1992 年 6 月第 1 次印刷

印数: 0001—6000

ISBN 7-302-00995-3/TB·11

定价: 3.40 元

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员（以姓氏笔划为序）

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委 员（以姓氏笔划为序）

王晓方 向华明 米景九 应日珽

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会
1987年4月28日

前 言

水果蔬菜贮藏是实现水果季产年销,保证蔬菜周年均衡供应,调节淡旺季矛盾,促进水果蔬菜生产的重要环节。近二十年来,经过我国水果蔬菜贮藏保鲜领域的科技人员坚持不懈地努力,在深入的科学研究和广泛的贮藏实践的基础上,逐渐发展出一套符合我国国情、适合产地贮藏的新的贮藏技术。这套技术主要包括:依靠土窑洞、简易冷库、或半地下通风库,利用或主要利用自然界冬季或夜间低温作为冷源而形成 $0-10^{\circ}\text{C}$ 的较适宜果蔬贮藏的低温环境;依靠薄膜大帐或小包装技术,利用贮藏物本身的呼吸作用及薄膜的选择性透气作用来控制调节贮藏环境的气体成分,达到气调贮藏的效果;与上述贮藏环境相适应的一套采前管理,采后贮前处理,贮期管理方法与参数指标。这套技术近年来已在山西、河南、山东、陕西、河北等苹果产区广泛推广以贮藏苹果等水果,在山东、河北、河南等地广泛推广,以贮藏蒜苔等蔬菜,都取得了非常好的效果。由于该技术初投资少,运行费低,因而产生了很大的经济效益。

水果蔬菜贮藏是涉及许多学科领域的综合学科。其基础涉及如下两个方面:

采后生理学的研究。在从生物学角度对贮藏机理研究的基础上,确定采前管理及贮前处理方法;制定合理的贮藏环境标准(温度,湿度,各种气体成分等);以及各种抗病,抗腐,抗

其它的处理手段。

贮藏环境工程学。从工程技术的角度,探索怎样根据具体条件,利用有限的投资和能源来实现所要求的各种适宜的贮藏环境,即温度、湿度和气体成分,从而具体实现采后生理学的研究成果,在节省投资及运行能耗的前提下,达到贮藏保鲜目的。

近年来作者与山西省果树研究所、山东省果树研究所的同志合作,从贮藏环境工程学这一角度,对在我国北方地区发展起来的这套产地贮藏新技术进行理论和实践上的深入研究、总结和提高。《水果贮藏用土窑洞技术》总结了利用自然界低温冷源和土壤的储冷作用来实现适宜贮藏的低温环境的理论与实践。本书则从物理机制及工程技术角度总结了利用贮藏物本身的呼吸作用和薄膜的选择性透气来控制调整贮藏环境气体成分的薄膜气调技术。

薄膜气调(又称 MA 贮藏)在国外已有四十多年的历史,在我国也已有近二十年的研究与贮藏实践。然而至今尚无完整的从物理学及工程技术角度全面描述、分析与计算有关物理过程的理论与方法,从而导致在设计和运行管理中往往只能根据实际经验或一些简单公式来进行估算和分析,对许多贮藏中实际出现的问题不能给予正确的解释和处理,影响这一技术的进一步推广和应用。根据这一情况,我们在国家教委青年教师基金的资助下,对薄膜气调的物理过程进行了深入研究,提出集中参数及分布参数的数学模型及各种典型条件下的解。在此基础上又提出一套实用的工程设计与运行分析的方法及相应的图表。

本书的第一章介绍贮藏及气调的基本知识,第二章给出

薄膜气调的物理模型、数学模型及一些典型工况的解。第三、四章分别讨论了大帐式及小包装薄膜气调的具体设计及运行分析方法。为了便于实际研究及实践中应用,在附录中又给出与薄膜气调有关的一些测试技术,常用数据及贮藏设施的加工制作方法。

本书所涉及的研究工作得到山西省果树研究所祁寿椿研究员,北京农业大学周山涛教授,清华大学彦启森教授的具体指导,并得到山东省果树研究所李震三副研究员的大力协作,在此深表感谢。

本书所涉及内容除来源于作者的研究工作及选自参考文献中列出的资料外,许多内容还取自王四海、李先庭两位同志对浓差作用下气流流动与质交换规律方面的研究工作,在此一并表示感谢。

作 者

1991 年 10 月

符 号 表

A :	等效薄膜面积 m^2
A_1 :	塑料薄膜透气面积 m^2
A_2 :	硅膜透气面积 m^2
A^* :	相对薄膜面积
A_1^* :	相对塑料薄膜面积
A_2^* :	相对硅窗面积
d :	薄膜厚度 m, mm
G :	贮藏空间与外界的气体交换量 m^3/h
G^* :	相对换气量
i :	下标, 分别表示 O_2, CO_2 和 N_2
j :	下标, 表示各部分薄膜
p :	贮藏空间中的气体压力 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$
P_i :	i 组分气体的薄膜材料透气系数 $\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
p_a :	外界大气压力 Pa
p_0 :	标准大气压 Pa
p_i :	i 组分气体的分压力 Pa
Q_i :	薄膜对 i 组分气体的通过量 mol/s
QR :	果蔬呼吸商
$R_{\text{CO}_2}, R_{\text{O}_2}$:	果蔬呼吸强度 $\text{mol}/(\text{kg} \cdot \text{h})$
T :	贮藏空间的温度 K
T_0 :	果蔬的适宜贮藏温度 K

V :	贮藏空间的气体容积 m^3
V_z :	贮藏空间的总容积 m^3
V_0 :	贮藏空间的初始气体容积 m^3
W :	果蔬贮量 kg
X_i :	贮藏空间中的 i 组分气体浓度 %
X_i^* :	果蔬的适宜气调指标 %
Y_i :	硅窗或外挡空间中 i 组分气体的浓度 %
Z_i :	外界大气中 i 组分气体的浓度 %
η :	薄膜的透气效率 %
φ :	果实在贮藏空间中的占空比
θ :	调节系数
τ :	时间 h, s
γ :	果蔬的密度 kg/m^3
ν :	气体的运动粘度 $\text{Pa} \cdot \text{s}$
μ :	孔隙流量系数 $\text{mol}/(\text{Pa} \cdot \text{m})$
ρ :	薄膜等效透气比
ρ_0 :	果蔬品种的适宜薄膜透比
σ_i :	薄膜对 i 组分气体的透气率 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

目 录

前言.....	VI
符 号 表.....	X
第一章 气调贮藏的基本原理和方法	1
§ 1.1 水果和蔬菜的采后生理.....	1
§ 1.2 气调贮藏的原理.....	8
§ 1.3 气调贮藏方法及其分类.....	9
第二章 薄膜气调贮藏基础	22
§ 2.1 薄膜气调贮藏用薄膜材料	22
§ 2.2 薄膜气调贮藏的基本过程	29
§ 2.3 薄膜气调贮藏的数学模型	32
§ 2.4 薄膜气调贮藏的影响因素	51
§ 2.5 各种薄膜气调贮藏方式的分析	65
第三章 薄膜气调帐贮藏	90
§ 3.1 气调帐贮藏设计	90
§ 3.2 气调帐贮藏管理.....	116
第四章 薄膜小包装贮藏	133
§ 4.1 概述.....	133
§ 4.2 小包装对薄膜材料的要求.....	135
§ 4.3 塑料小包装贮藏设计.....	139
§ 4.4 硅窗小包装贮藏设计.....	144
§ 4.5 小包装贮藏的互换性.....	149
§ 4.6 小包装贮藏管理.....	153
附录一 气调帐的制作加工和入贮	155

附录二 薄膜的热合和粘接方法	170
附录三 薄膜的透气性测试方法	174
附录四 气体分析方法及分析仪器	181
附录五 果蔬呼吸强度的测定方法	194
附表 I—1 常见果蔬的最适冷藏条件和贮藏寿命	198
附表 I—2 一些常见水果的气调贮藏条件	200
附表 I—3 几种蔬菜的气调贮藏条件	201
附表 II—1 常见果蔬的呼吸强度	201
附图 1 $\rho-A^*$ 图	203
附图 2 A^*-G^* 图	204
参考文献	213

第一章 气调贮藏的基本原理和方法

§ 1.1 水果和蔬菜的采后生理

水果和蔬菜的贮藏是与果蔬的采后生理过程紧密相关的。果蔬的采后生理主要包括果蔬的呼吸生理,水分蒸腾生理,生长和休眠生理以及后熟生理。

一、呼吸生理

1. 果蔬的呼吸作用及其与贮藏的关系

呼吸作用是有机体维持正常生命活动的重要过程,呼吸作用贯穿于果蔬的一生,其实质是在一系列酶的参与下,经多步中间反应所进行的一个缓慢的生物氧化-还原过程,呼吸作用的外部特征是果蔬吸入周围空气中的氧气并释放出二氧化碳、水和一部分能量。呼吸时所消耗的主要物质是果蔬体内所积累的单糖、二糖、淀粉、有机酸等物质。如以己糖为呼吸底物的呼吸过程,其反应式为



这种有氧呼吸是果蔬新陈代谢的重要表现,所产生的能量用以维持自身的生命活动,并以呼吸热的形式散发出来。

一般情况下,果蔬在进行有氧呼吸的同时,也往往进行部分无氧呼吸,特别是体积较大的个体中,其内层组织所处的位置气体交换比较困难,经常处在缺氧的条件下,进行部分无氧呼吸,正是植物对环境适应性的表现。以己糖为呼吸底物时,

这种无氧呼吸的化学反应式为



无氧呼吸释放的能量很少,如果靠无氧呼吸得到同样的能量来维持生命活动,那么果蔬本身必须消耗更多的养分。只是在正常的呼吸作用中,无氧呼吸在整个呼吸中所占的比重不大。但是在果蔬贮藏中,不论由何种因素引起的无氧呼吸的加强,都被看作是对正常代谢的干扰和破坏,都是有害的。

果蔬在采收之后,光合作用停止,呼吸作用意味着纯粹的消耗。从消耗呼吸底物的角度来看,呼吸作用是消极的,所以贮藏过程中要求尽量降低果蔬的呼吸作用。但就果蔬贮藏的最终目的而言,呼吸作用又不仅仅是消极的,它是果蔬赖以维持正常生命活动的重要过程。因此,果蔬贮藏过程中对呼吸作用的抑制原则应当是:在保持正常呼吸代谢的前提下,尽量降低其呼吸水平。

果蔬的呼吸水平通常以呼吸强度来衡量。呼吸强度是指1千克果蔬在1小时内所释放出的二氧化碳毫克数或毫升数,单位是 $\text{mg}(\text{ml})/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。如图1-1所示,在果蔬的整个生长过程中,其呼吸强度一直在有规律地变化着。从总的趋势来看在生长初期由于细胞分裂和长大,生命活动旺盛,呼吸作用也相应较强,以后逐渐由强转弱,当生长发育到一定程度,呼吸作用就比较稳定。这一阶段由强至弱最后趋于稳定的变化过程,对各类果蔬几乎都一样。接着果蔬进入成熟阶段,这时各类果蔬表现出不同的呼吸变化规律。我们习惯上把开始成熟时出现呼吸强度上升的果蔬称为跃变型,如苹果、梨、香蕉、芒果、番木瓜、番茄等;把采收后呼吸强度持续缓慢下降而不表现有暂时上升的果蔬称为非跃变型,以柑桔、葡萄为代表。

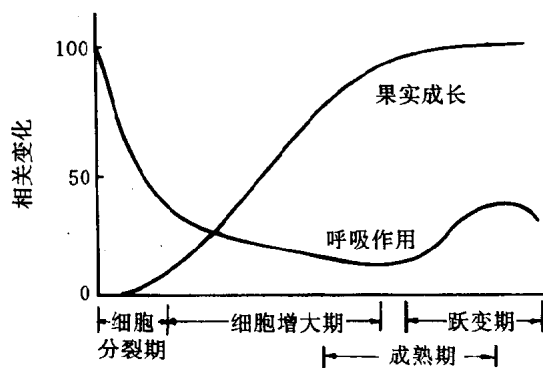


图 1-1 果实(跃变型)的生长情况

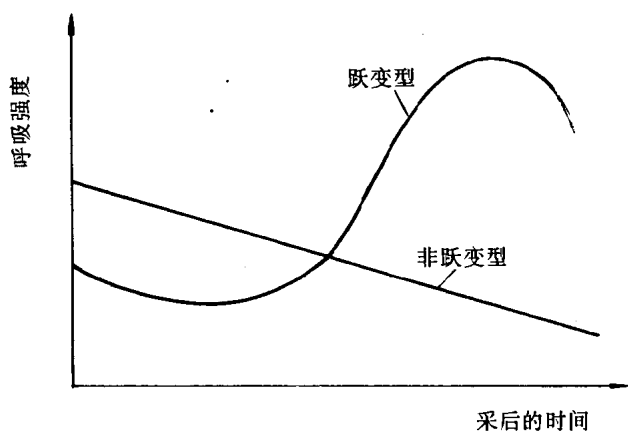


图 1-2 呼吸类型

如图 1-2 所示。果蔬的呼吸变化规律,对贮藏工作有十分重要的指导意义。对于呼吸跃变型果蔬品种,呼吸高峰的出现即意味着后熟衰老作用的加剧,并且是不可逆的。所以要延长这一类果蔬的贮藏期,就应当严格把握采收期,在呼吸跃变之前采摘入贮,在贮藏过程中则应千方百计控制呼吸的跃变。

2. 呼吸作用的影响因素

果蔬的呼吸作用因种类、品种不同而不同,同一品种的呼吸水平也与采前、采后诸多因素有关。就果蔬的贮藏过程而言,影响呼吸的因素主要是贮藏环境的温度和气体成分。

(1) 温度

温度是影响果蔬呼吸作用的最重要环境因素。在一定范围内,温度升高,酶活性增强,呼吸作用也随之增大。温度变化与果蔬呼吸作用之间的关系,可以用温度系数 Q_{10} 来表示。温度系数是指温度每升高 10°C ,呼吸强度所增加的倍数。一般情况下,果蔬的呼吸系数为 2—3,这一系数充分反映了环境温度对贮藏的重要性。

为了达到长期贮藏的目的,就必须维持较低的贮藏温度,以抑制果蔬的呼吸作用,但并不能认为贮藏温度越低越好。控制贮藏温度的原则,应该在保证果蔬正常代谢不受干扰破坏的前提下,尽量降低贮藏温度,使各种代谢过程降低到最低水平,这是最合理的贮藏状态,这时的贮藏温度即为果蔬的最适贮藏温度。实践证明,各种不同的果蔬种类和品种,甚至同一品种在不同成熟度下,其最适贮藏温度也各不相同。附表 I-1 中给出了一些常见果蔬的最适贮藏温度的推荐值。

(2) 气体成分

(i) O_2 浓度的影响 低浓度的 O_2 可以使跃变型果实

的呼吸高峰延迟出现并降低其呼吸强度,甚至不出现呼吸高峰。果蔬的呼吸强度随贮藏环境中 O_2 浓度的降低而减小;但达到一个最低点后,如 O_2 浓度持续下降,呼吸强度则因发酵作用(无氧呼吸)反而增大,这个 O_2 的临界浓度对于不同的果蔬种类和不同的品种也各不相同,而且对于同一品种在不同的贮藏温度和 CO_2 浓度下也不尽相同,对组织、细胞和整个器官所进行的 O_2 浓度对植物呼吸作用影响的研究表明,呼吸作用与 O_2 浓度之间的关系,可以用下述方程式表示。

$$R = \frac{R_m \cdot X_{O_2}}{K_m + X_{O_2}}$$

式中, R —— O_2 浓度为 X_{O_2} 时的呼吸强度,

R_m ——一般空气状态下的呼吸强度,

K_m ——呼吸酶的常数,

X_{O_2} —— O_2 的浓度。

(ii) CO_2 浓度的影响 提高贮藏环境的 CO_2 浓度,果蔬的呼吸作用也会受到抑制,但如果超过某一临界浓度,又会抑制呼吸酶活性,从而引起代谢失调,导致所谓的 CO_2 中毒。这一临界浓度也因果蔬种类、品种不同而有很大差异。

(iii) O_2 和 CO_2 的综合影响 研究表明, O_2 浓度和 CO_2 浓度对果蔬呼吸作用的影响有拮抗作用。当没有 CO_2 时, O_2 对抑制果蔬后熟衰老的阈值为 7% 左右,高于这个阈值基本上就不起作用。但随 CO_2 浓度的升高 O_2 的阈值逐渐增大。另一方面, CO_2 对果蔬的毒害作用可因 O_2 浓度的增加而有所减轻,在低 O_2 气氛中则高 CO_2 的毒害更甚。这种拮抗作用还与环境温度有关并因果蔬的种类和品种不同而不同。