

荔枝保鲜的研究与发展*

胡新宇 宁正祥

(华南理工大学食品与生物工程学院, 广州, 510640)

摘 要 荔枝是原产于我国华南亚热带的水果。荔枝的收获时间短且耐贮性差,使其在大规模商业化生产、运输与发展上遇到很多问题。本文主要对荔枝的结构、生理特性、生产及保鲜的现状进行了概述,并通过分析总结,提出了荔枝保鲜的发展方向。

关键词 荔枝 保鲜 研究 发展

荔枝属亚热带常绿植物无患子科,是原产于我国华南亚热带的水果^[1-3]。作为一种高价值的亚热带水果,中国是目前栽培荔枝最多的国家,在纬度 $18^{\circ}\sim 31^{\circ}$ 均有种植,分布遍及海南、广西、云南、福建、贵州、四川、广东以及台湾等8省区^[19],主要分布在 $22^{\circ}\sim 24^{\circ}30'$ 地区。据1993年统计数据,全世界荔枝栽培总面积为24万 hm^2 ,我国为22.8万 hm^2 ,占了总面积的95%;世界荔枝总产量为44.1万t,我国为33.6万t,占了总产量的76.2%。在我国,广东荔枝栽培面积最大,1991年为12万 hm^2 ,1997年已达16万 hm^2 ,约占全国栽培面积的70%,其次为广西、福建、台湾、海南^[19]。广东荔枝不仅产量最高(1996年28万t)^[19],而且品种最多,品质最好,例如白糖罂、桂味、糯米糍、挂绿、妃子笑等名优品种早已享誉海内外。古今墨客骚人对岭南佳果荔枝也是情有独钟,如苏东坡的“日啖荔枝三百颗,不辞长作岭南人”、杜甫的“一骑红尘妃子笑,无人知是荔枝来”等留下的千古绝句,至今还脍炙人口。

荔枝可以说是驰名世界的中国特产的亚热带水果之一,它颜色鲜艳,风味独特,营养丰富,为岭南水果中的上品。然而荔枝“一日色变,二日香变,三日味变”的性质会令其新鲜度很快下降,对消费者的吸引力和食用价

值也随之降低。据统计,荔枝每年因腐烂变质而造成的损失约占总产量的20%以上^[19]。鲜荔枝的贮运困难,限制了其远远销,不少消费者至今仍未尝过真正新鲜荔枝的味道。为此,国内外许多科研单位及高等院校都纷纷对荔枝采后生理品质变化规律及贮藏保鲜技术进行研究,并取得了一些进展,在荔枝速冻冷藏保鲜方面,已能保证果品贮存半年或更长时间。然而在出冷库后货架品质的保持及常温保鲜方面,未能取得突破性进展。目前,有效而又低成本的大批量处理荔枝的保鲜技术仍是水果保鲜的一大难题。近几年荔枝产量的不断增加与采后保鲜之间的矛盾愈发突出,从而限制了荔枝的商业化生产与发展。

1 荔枝的结构与采后生理特性

1.1 荔枝的组织结构特性

荔枝果实由果梗、果蒂、果皮、果肉(假种皮)及种子等几个部分组成,果皮由外、中、内3层组成^[6]。内果皮附着在中层(也有称中果皮)内侧,为一层很薄的膜,内、中、外果皮结合十分疏松。外果皮是由含花青素的栅状组织细胞所形成的众多的龟裂片和龟裂小片组成,组织孔隙极多,是荔枝果实水分散失的表面。中层(中果皮)是细胞间隙极大的海绵

* 第一作者:博士研究生。

广东省自然科学基金资助项目(No.980542)资助

收稿时间:2000-10-10, 改回时间:2001-02-25

状组织,占果皮大部分;而最内层则为数层组织较密的薄壁细胞构成。外果皮与中层(中果皮)之间有石细胞,含有褐色物质。荔枝果皮保水力极弱,水分容易蒸发而引起果实干枯萎缩和褐变。荔枝果肉由种柄衍生而来,在结构上与果皮、种子完全分离,只与种柄的维管系统有小面积连接。在果实不保湿的贮藏条件下,尽管果肉含水量高,但由于结构上与果皮分离,基本上不能向果皮输送和补充水分,致使果皮不断失水,正常代谢失活,组织结构受损,直致果皮表现干枯变色。如在采收期遇到强日照和高温天气(荔枝采收期的温度一般较高),采收下来的荔枝不再得到母株水分供应,而果皮又易蒸腾失水,果皮迅速褐变^[10]。

1.2 荔枝采后生理特性

从荔枝采后生理特点看,采收后的果实仍延续生长期的各种生理过程,但由于水分和营养不再由树体供应,果实中生理生化过程呈现由合成至分解的互相依存的调整。呼吸作用加强,大量乙烯形成,果实成熟衰老加速。

1.2.1 呼吸作用

果实的呼吸是一个重要的生理代谢过程,它保障了有机体生命过程的基础物质和能量代谢,实质上是光合作用产物的氧化过程^[2]。多数研究结果表明,荔枝属于无呼吸高峰型果实。在采后的1~4 d内,呼吸强度有明显下降并存在一个谷点,且各品种之间没有差异^[2]。在一定的温度范围内,贮温越低则果实的呼吸作用愈低。在常温下,不同荔枝细胞中的呼吸作用的变化趋势是一致的,都随着时间的延长而逐步下降,但当果实的大部分变色腐烂时,呼吸又趋上升,这个过程一般持续5~6 d。通过适当的低温可以控制果实的呼吸作用,但当果实由低温转到常温时,呼吸会在6 h内达到最高值,且随贮藏时间的延长,这个高峰值也会变大^[2]。

1.2.2 乙烯的释放

乙烯已被公认为植物成熟的一种激素。

它的作用在于增加细胞质膜透性,使CO₂进入细胞增加氧化过程,促进鞣质和有机物消失^[2]。在乙烯的影响下,淀粉水解酶的活性上升从而促使果肉变软。荔枝采后乙烯释放量先增加后下降,果实的内源乙烯随着外观色泽和风味的变劣而增加,在乙烯释放达到最高峰时,果实的品质劣变得非常迅速,表现为褐变、流汁并伴随异味的产生。当果实品质进一步败坏时,乙烯释放量又有所下降。一般来说,温度越低,乙烯释放量越小,零度以下几乎不产生乙烯;成熟度过高的荔枝比成熟度适中的荔枝乙烯释放量大且高峰出现较早。另外,荔枝果实不同部位以果皮的乙烯释放量最高,约为果肉和种子的10倍^[2]。

1.2.3 营养成分的变化

荔枝果实的主要成分为糖类(17%~23%)、脂肪(0.6%)、蛋白质(0.7%)、有机酸、氨基酸和维生素等^[17]。在贮藏过程中,由于代谢营养物质会被消耗,果实在采后糖和维生素C的含量下降较快,总酸先下降而后随褐变加重而上升,果皮组织的电导率随贮藏期的延长而有所增加。

2 荔枝果实褐变的原因

诱发荔枝果皮褐变的因素很多,荔枝采摘、贮藏和销售过程中的物理损伤、自然衰老、成熟度及病菌感染等都会引起褐变。依据其果实结构与生理特点,褐变的内在原因主要是由于内水分、酶及花色苷等的变化作用。

2.1 失水对果皮褐变的影响

荔枝果实采收后在常温下放置,如果没有适当包装,果皮在1~2 d内即会失去诱人的鲜红色并表现褐变症状。Sing和Scott等研究指出,果皮褐变与果实失水密切相关,失水褐变主要是果皮中水分的散失。荔枝果皮容易失水的原因主要有两方面:一是果实构造特殊,果皮与果肉在结构上完全分离,两者之间无输导组织相连,故当果皮水分蒸发时,果肉中的水分不能给予有效补充^[10,11]。通

过对荔枝不包装贮藏过程中果实各部位水分动态变化研究,果皮在不断蒸发失水直至变褐的整个过程中,果肉和果核都无水分转入果皮予以补充,表明褐变完全是由于果皮本身失水引起,试验显示当失水率达到果皮含水量的50%左右时即表现褐变症状^[10,11]。二是果皮本身组织结构特殊,果皮组织切片的显微观察显示,果皮角质层较薄,海绵组织疏松,容易失水,同时果皮内输导组织也不发达,果皮不同部位之间的水分难以有效调节输导^[9]。另外,荔枝果皮含水量比一般水果低得多。

电镜观察结果表明,失水果皮的超微结构被破坏。刚采收的果实,其果皮生活细胞仍具有比较完整的超微结构,在电镜下可见到细胞核、线粒体、衰老的叶绿体、液泡及细胞壁等。采收后由于表皮蒸发脱水,即可观察到果皮表面有微裂,随着果皮绽裂,脱水加剧,裂缝通过亚表皮厚壁组织层延伸到果皮而继续脱水。果皮褐变出现先从果皮龟裂片突起部分开始,该部位的微管细胞与皮孔相通,极易失水;当贮藏后期果皮有1/3~1/2已变褐时,栅状组织细胞表现严重萎缩,部分破裂,贮藏最后至果皮大部分变褐时,海绵组织表现大量失水收缩,细胞相互挤压变形破裂,细胞层次界限不明显。全部褐变的果皮电镜下可看到细胞之间形成通道,细胞超微结构已完全降解破坏。膜透性测定则表明,褐变果皮的电导率显著提高,细胞质膜透性明显增加,细胞内物质大量向外泄漏^[9]。

2.2 浸水对褐变的影响

为了减少荔枝果皮水分的蒸散与损失,人们通常采用塑料薄膜袋保湿包装,可在一定程度上延缓褐变的发生,但贮藏一段时间后也出现有局部褐变的现象。据研究表明,在薄膜袋密封包装下果皮的褐变与不包装贮藏时表现的失水褐变不同,用密封包装的果实不论置于室温还是低温下贮藏,果皮中的水分含量在贮藏期间变化均很小。其褐变原因不是由于果皮失水,而是由于呼吸代谢作

用形成的凝结水浸渍果皮,一定时间后引起生理失调,细胞超微结构破坏所致。测定显示,在密封包装下果皮的电导率变化与不包装的相似,褐变过程中电导率均呈不断升高的趋势。电导率的升高,意味着细胞质膜选择性被破坏,胞内物质泄漏^[11]。

2.3 酶对果皮褐变的影响

2.3.1 多酚氧化酶(PPO)的影响

对苹果、香蕉、鳄梨、马铃薯等果实褐变的研究结果均表明,褐变的内因是PPO的酶促褐变。对荔枝的研究也表明褐变与PPO的作用有关。李明启等(1963年)指出荔枝果皮内有PPO存在。广东荔枝贮藏协作组(1975年)在荔枝的速冻贮藏中,用抑制PPO的方法延迟了果皮的褐变,指出果皮褐变与PPO有关。谭兴杰等(1987年)从荔枝果皮提取的酚类物质中分离出PPO的天然底物,而且将部分纯化的荔枝果皮中的PPO作用此底物时,发现有褐色产物生成,证明荔枝果皮中有PPO的底物存在,PPO酶促褐变是荔枝褐变的内因。Zam(1991年)和 Underhill(1993年)分别研究了用SO₂熏蒸和热处理对PPO活性和褐变的影响,测得PPO活性高低与褐变程度的变化基本一致。上述研究结果表明,PPO是参与荔枝褐变过程的重要酶^[7,8,11,13]。

2.3.2 过氧化物酶(POD)的影响

采后鲜红荔枝果皮中部分厚壁细胞的细胞质有POD活性反应。通过对荔枝POD活性的测定,果皮的POD活性要高于果肉的POD活性,但品种之间的差异很小。从糯米糍、桂味、淮枝和黑叶等品种的组织化学定位,可认定它们的POD变化规律相同,但其中糯米糍的活性最高^[2,16]。晚熟种采后7d果皮中的POD活性相当于采收当天的7~8倍^[2,16]。POD可能参与催化酚类物质的氧化,使果皮褐变。同时催化谷胱甘肽、抗坏血酸的氧化,减少了内源的活性氧化清除剂。

2.4 花色苷对褐变的影响

目前人们仍无法通过用酶抑制剂来较好

地控制荔枝的褐变,说明控制荔枝褐变的内因还有其它作用因子。Proctor 的研究表明,花色苷变化是引起花和果实外观颜色变化的重要因素。据 Prasad 等对荔枝果实的研究指出,荔枝成熟果皮的颜色是由花色苷形成的,花色苷是果皮的主要色素,果皮褐变可能与花色苷有关。林植芳等对褐变前后果皮的花色苷含量进行测定的结果显示,褐变后果皮的花色苷含量没有明显减少。Underhill 的研究则发现,荔枝果实在常温干燥失水过程中,果皮花色苷由红色逐渐变成无色,同时果皮组织也开始逐渐褐变,进一步用酸处理,果皮花色苷可增加果皮红色,而用碱处理会导致褪色,2 种处理的颜色变化是可逆的,且均与花色苷的合成或降解无关。因此,认为荔枝褐变过程中花色苷不仅存在不可逆的酶降解,还存在结构的可逆性转化,这种转化不会降低花色苷含量,但会引起色变。研究表明,荔枝果皮中有花色苷共着色系统,果皮褐变是花色苷色变并伴随发生组织褐变共同作用的结果^[11,13]。

除上述原因之外,荔枝果皮的细胞液泡和质体膜结构的解体也是荔枝褐变的一个原因。另外,荔枝采收的成熟度与其保鲜效果也有很大关系,且不同品种对采摘成熟度要求也不尽相同,一般以 8 到 8 成半熟时采摘为佳^[12]。

2.5 荔枝腐烂变质的原因

荔枝腐烂变质的原因很多,主要由腐烂病菌引起,包括黑曲霉、黄曲霉、两型壳曲霉、四脊曲霉、无冠构巢曲霉、柱胞属、可可球二孢属、青霉属、盘长孢状刺盘孢和盘多毛孢属等 14 种真菌^[2]。此外,夏威夷长蠕孢亦是引起荔枝腐烂的一种真菌,我国某些荔枝品种对此菌特别敏感。上述腐烂病菌引起的荔枝腐烂有 9 种类型,包括曲霉腐烂 1~5 号、柱胞属腐烂、可可球二孢腐烂、刺盘孢属腐烂和盘多毛孢属腐烂等^[2]。它们在果实发育过程中或采收前后潜伏在果皮表面,或从虫孔、伤口侵入,伤害果实。此外,一些酵母菌、细

菌也会在果皮表面繁殖并深入果内,使果肉变酸腐烂。

3 我国荔枝保鲜发展现状

我国早在明朝就有了荔枝保鲜方法,其做法是,选择巨竹,开隙,放入荔枝再密封。后来又采用把荔枝吊入井水之中进行短期贮藏。目前,我国荔枝贮藏保鲜主要是采用化学药剂浸果和低温运输相结合的方法:荔枝鲜果用保鲜化学药剂浸洗、包装,然后低温运输。其它的荔枝保鲜方法还很多,归纳起来主要有如下几种。

(1) 泡沫箱加冰。荔枝成熟期较集中,又极不耐贮运。目前发达国家普遍采用的冷链运输在我国还难以普及,因此近年来荔枝产区开始采用一种泡沫箱加冰的荔枝贮运保鲜技术,一般经 3 昼夜运输后,荔枝仍保持原来的鲜红色,风味不变,好果率达 93% 以上,水分损失不超过 3%。材料一般有泡沫箱、冰块、旧棉絮、大水缸、圆竹筐以及封口胶等。选出破烂果、褐变果和病虫果等,并对果穗进行适当整理及修剪;先用清水及碎冰块调制水温为 4~8℃,加入苯来特或噻苯咪唑(涕必灵)配成浓度为体积分数 1×10^{-3} 的防腐液,用竹筐装满选好的荔枝鲜果在防腐液中浸泡 4~5 min,拿出沥 10~15 min。经常补充药液和冰块,以保持药液浓度及水温;在泡沫箱的对角各竖放一个冰瓶,将沥干的鲜荔枝放入泡沫箱内,最后盖好箱盖,用封口胶密封;运输时,在车厢底部垫一层旧棉絮。将泡沫箱与车厢长边平行紧靠排列,盖口朝上,然后在车厢四周及箱顶填铺旧棉絮。整个过程要求操作仔细,动作迅速,轻拿轻放,从采果至装车要求在 4~6 h 内完成^[14,15]。

(2) 气调贮藏保鲜法。采用改变贮藏库的气体成分,在特定的相对低温下,适当降低 O_2 含量和提高 CO_2 含量的空气环境,抑制荔枝果实呼吸作用并降低酶的活性,以达到贮藏保鲜效果。研究结果表明,在贮藏温度 3~5℃,相对湿度 90%,贮藏库的 CO_2 体积分

数为3%, O_2 体积分数为5%的条件下,“糯米糍”、“淮枝”等品种的荔枝经贮藏30 d时,其一级和二级果的好果率高达92%,但不同品种,对贮藏库的 CO_2 和 O_2 浓度要求略有差异^[2,5,17]。应该注意的是, CO_2 浓度过高会对果实产生生理伤害,当其体积分数达8%时,果肉有轻微异味产生,超过10%时,不但褐变果多,而且坏果都有浓烈酒味。其中褐变加重是因为过高的 CO_2 破坏了液泡膜,使液泡内的酚类物质外溢与酶接触,加剧了酶促褐变;高 CO_2 使细胞死亡,多元酚自发氧化褐变^[20]。

近来有人采用快速充氮法进行荔枝贮藏。首先把荔枝密封在大帐中,用真空泵将大帐抽成真空,再将氮气瓶与大帐相连,向帐内充入氮气。由于在贮藏过程中需要定期抽取部分气体进行成分检测,会损失少量气体,所以每次检测后,应向帐内补充少量氮气。贮藏40 d后,好果率为70%,风味尚佳,而对对照组的样品在第13 d时已经丧失商品价值。整个贮藏过程糖度下降为2%~4%,贮藏期间Vc含量由33~37 mg/100 g降至22~26 mg/100 g^[3,4]。

(3)化学药剂保鲜法。其基本原理是药品作用于荔枝,起到防腐、杀菌作用。有的则能在荔枝表面迅速形成一种不可见的透明膜,有效封闭果实气孔,从而降低呼吸强度,延缓果实衰老。可使用的药物有施保克、特克多以及一些国产水果保鲜剂。

(4)低温贮藏保鲜法。其原理是依靠低温的作用,抑制微生物的繁殖,并减缓果实的呼吸作用。荔枝低温贮藏保鲜期约30 d,果实外观新鲜,风味正常,但其出库后的常温下货架寿命比未经冷藏的鲜果短,从而给远运远销带来较大困难。其低温要求10℃以下(3~5℃较佳),相对湿度90%~95%,且温度、湿度相对稳定,不宜多变或骤变^[2,3,5,6,17]。但经此种方式保存的荔枝一旦进入常温环境,往往褐变速率更快。

(5)速冻贮藏保鲜法。荔枝褐变主要因

素之一是荔枝果皮存在氧化邻苯二酚的多酚氧化酶,温度越低,其活性越弱。速冻过程应保持在-23℃至-196℃;贮藏温度应在-18℃以下,相对湿度为90%。包装等工作应在-5℃低温环境中进行。荔枝速冻贮藏保鲜期可达1a以上,但经解冻后,果壳更易褐变,失去原有诱人的天然色泽,风味也差,裂果率高。为了降低裂果率,可在冻结前把果实预冷到0℃再冻结。对于果壳褐变,一般采用沸水烫漂→柠檬酸→食盐护色法控制^[18]。

4 贮藏保鲜存在问题

我国近年来荔枝贮藏保鲜技术有较大的提高,但仍存在不少问题。如采收前管理粗放,没有严格的病虫害控制措施,自然落果多,且有些果实往往在生长期就被病虫害侵染,不利于采收后贮藏保鲜;采收和贮运时,由于采收时期和操作不当以及包装不善,容易导致果实机械、人为损伤;荔枝多数种植在边远山区,受投资环境的限制,产地缺乏预冷处理设施,贮藏能力不足;目前,我国荔枝贮藏保鲜的研究很多仍处在试验阶段,均未取得重大突破;贮藏保鲜技术难于推广等。我国尚未建立科学合理的流通管理体系,荔枝果品市场流通主要是靠个体商贩,不可能有计划地进行市场的合理安排,所有这些都直接或间接影响了荔枝贮藏保鲜技术的推广与应用。

5 荔枝保鲜的发展方向及对策

鉴于我国的经济水平以及荔枝产地的条件与环境,今后荔枝保鲜应该向常温保鲜方向发展,其保鲜的实质是要保持果实细胞在常温下处于鲜活的状态,若细胞在果实采摘后很快死亡,则无法实现保鲜。因此建议,在荔枝成熟前两个星期左右,就应该运用天然或由天然物质合成的保鲜剂对其进行喷施处理,使保鲜成分进入荔枝并逐渐积累。保鲜成分在荔枝体内的存在可有效降低生理

活动强度、减缓水分散失、降低 pH 的波动和抑制有害微生物生长,从而延长荔枝在常温条件下的保鲜时间;应通过对荔枝的病理研究与防治减轻荔枝在采摘之前所受到的伤害,为保鲜作好准备;根据以往经验,荔枝防褐变及抗病菌的能力随品种的不同差异很大,因此,今后应加强对抗病耐贮藏的优良荔枝品种的筛选研究,并通过生物工程技术进行抗病防虫基因的植入研究,提高果实的耐贮性;应建立健全荔枝的综合保鲜体系,即从荔枝种苗选育、种植技术、栽培管理、采摘技术等各方面进行综合考虑,对荔枝采收前后的防病、防腐、分级、预处理、贮存、运输、销售等可能出现的问题作进一步研究,确保每一环节都能将对荔枝的损害降低到最低点。

应加快建立符合国际市场要求的标准和处理程序,延长鲜果供应期,强化商品竞争意识,提高果品的包装水平,进一步开拓国内外潜在的市场,以适应当前荔枝业迅猛发展的需要;开展荔枝鲜果加工与开发利用的研究,充分发挥荔枝采收后的经济效益和社会效益。世界果品加工业发展很快,美国用于加工的水果已占总产量的 60% 以上,而我国荔枝用于加工的还不到总产量的 10%^[6]。因此,应及早开展对荔枝鲜果加工与开发利用的研究,尤其是荔枝果肉提取工艺及其设备的研究,以彻底改变传统落后的加工技术,开拓市场容量大、科技含量高的加工产品,促进荔枝加工产品日趋标准化、优质化和多样化,满足国内外市场尤其是出口市场的需求;建

立荔枝行业生产协会,进一步完善其流通体系。最大限度的减少原料的浪费、能源的消耗和对土地的占用,促进荔枝产业的发展。

参 考 文 献

- 1 梁立峰. 广东农业科学, 1994(4):22~24
- 2 赖巧云, 敖宁建. 云南热作科技, 1998(3):27~31
- 3 孙希生, 田勇, 冯小元. 中国果品研究, 1997(1):1~3
- 4 张育, 徐世琼. 冷藏技术, 1992(2):7~9
- 5 袁艳春. 中国南方果树, 1992(3):30~31
- 6 彭永宏. 中国农业科学, 1996(6):42~43
- 7 刘光东, 蒋世云, 师玉忠. 广西热作科技, 1992(2):1~4
- 8 蒋世云, 宁正祥, 师玉忠. 食品科学, 1999(4):18~21
- 9 潘洵操, 谢宝贵. 园艺学报, 1996(3):227~230
- 10 邓义才, 朱慧英, 李安妮等. 广东农业科学, 1994(5):17~19
- 11 邓义才. 广东农业科学, 1997(1):21~22
- 12 黄锡琨, 宋春华. 中国南方果树, 1996(2):38~39
- 13 蒋世云, 宁正祥, 师玉忠. 广西工学院学报, 1999(6):85~88
- 14 李新明. 中国南方果树, 1999(1):21
- 15 陈怡泽, 郑宝盛, 华冠则等. 广西农业科学, 1999(2):80~81
- 16 吴振先, 陈维信等. 华南农业大学学报, 1998(1):12~15
- 17 范镇基. 广州食品工业科技, 1990(2):8~11
- 18 张懋平. 食品科学, 1995(1):17~19
- 19 宋光泉, 柳建良, 古练权. 中山大学学报论丛, 1999(4):35~43
- 20 陈维信, 苏美霞, 李沛文. 荔枝科研论文选编. 华南农业大学园艺系, 1986. 87~88

The Study and Development of the Fresh-keeping of Litchi

Hu Xinyu Ning Zhengxiang

(College of Food Science and Bioengineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510640)

ABSTRACT Lichi is a kind of semi-tropic fruits which originally comes from south China. The harvest period of lichi is short and it is very difficult to keep the quality of lichi under normal condition. All these factors will block the big scale commercial production, transportation and development of lichi. This paper is mainly concerned about the tissue structure, physiological characters, production and fresh-keeping status of lichi. The fresh-keeping development orientation was proposed after analysis and summarization.

Key words litchi, fresh-keeping, study, development