

蔬菜冷链物流技术研究进展

Research progress on cold chain logistics technique of vegetables

严 灿^{1,2,3} 刘 升^{1,2,3} 贾丽娥^{1,2} 王 达^{1,2,4} 张潇方^{1,2,3}
YAN Can^{1,2,3} LIU Sheng^{1,2,3} JIA Li-e^{1,2} WANG Da^{1,2,4} ZHANG Xiao-fang^{1,2,3}

(1.北京市农林科学院蔬菜研究中心,北京 100097;2.国家蔬菜工程技术研究中心,北京 100097;
3.上海海洋大学食品学院,上海 201306;4.山东建筑大学热能工程学院,山东 济南 250101)

(1. Beijing Vegetable Research Center Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;
2. National Engineering Research Center for Vegetables, Beijing 100097, China;
3. College of Food Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Department of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250101, China)

摘要:蔬菜含水量高,采后呼吸旺盛,高温下极易腐烂变质,因此蔬菜采后预冷至接近适宜的贮藏温度非常重要,然后在该条件下进行贮藏、运输、销售、家庭保鲜。冷链物流是一种物理方法,可保持蔬菜新鲜品质,延长其货架寿命,提供给消费者绿色、安全、营养的新鲜蔬菜。文章介绍国内外蔬菜的预冷、贮藏、运输和销售等冷链物流研究和应用现状,为蔬菜冷链物流研究和应用提供参考。

关键词:蔬菜;冷链物流;预冷;贮藏;冷藏运输

Abstract: The postharvest vegetables have high respiration rate and are easy to perish at high temperature with high moisture. Therefore, it is very important for postharvest vegetables to precool the temperature approach the appropriate storage temperature. Then the vegetables are stored, transported, sold and preserved in fridges in the condition. Cold chain logistic is a physical method, keeping qualities and prolonging the shelf life of vegetables, and then providing customers with fresh, green, safety, nutrition vegetables. In this review, the author described situations and applications of precooling, storage, transportation and marketing of vegetables at home and abroad, which provide a reference for research and application of vegetable cold chain logistics.

Keywords: vegetables; cold chain logistics; precooling; storage; refrigerated transport

中国蔬菜资源丰富,据农业部^[1]统计,2012 年,中国蔬菜面积超过 1 800 万 hm²,年产量超过 7 亿 t,人均占有量约 500 kg,均居世界第一位。新鲜蔬菜产品的含水量高,采后高温下呼吸旺盛,极易腐烂变质。目前,中国蔬菜冷藏运输率为 15%,冷链流通率仅为 5%,大量蔬菜因缺乏冷藏设备和专业技术造成在运输过程中腐烂损失约为 20%~30%。而欧、美、加、日等发达国家蔬菜冷链流通率均达到 95%以上,损耗率仅有 2%~5%^[2,3]。中国的蔬菜冷链物流与国外发达国家仍存在很大差距。由于冷链物流发展相对缓慢,导致了蔬菜的高腐败率和低流通率,严重限制了中国蔬菜工业的发展^[4]。发展蔬菜冷链物流具有广阔的市场前景。

蔬菜冷链物流是指蔬菜从田间到餐桌,即产地商品化处理、预冷、冷藏、运输、销售、消费者家庭保鲜各环节,始终处于规定的低温环境下不断链,在保证蔬菜的质量安全、减小损耗、防止污染的前提下,最大限度地维持蔬菜的新鲜品质,满足消费者的身心需求的特殊供应链系统^[5-7]。蔬菜的冷链物流包括采收、商品化处理、预冷、运输、销售等多个环节,任何一个环节不到位,都会影响到产品的质量^[8]。冷链物流技术相比其它物流技术更为复杂,它需使用制冷技术来预冷和冷藏易腐产品,延长产品的贮藏期和货架期^[9]。目前冷链物流保鲜技术是蔬菜保鲜中使用最普遍最安全的物理技术^[6,10]。

1 蔬菜冷链物流的重要性

温度是影响蔬菜采后寿命最重要的因素。高温会加速蔬菜的成熟、变软,使蔬菜的质地和颜色发生变化,加快微生物和病原菌生长繁殖,引起蔬菜的腐烂,产生异味异臭,风味丧失,营养成分大量损失使蔬菜品质降低。而低温可以抑制蔬菜的呼吸作用和酶的活力、减缓化学反应速率,抑制催熟、

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(编号:2013BAD19B01, 2011BAD24B02);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(编号:KJ CX201102004)

作者简介:严灿(1991—),男,上海海洋大学在读硕士研究生。
E-mail: yancan91@126.com

通讯作者:刘升

收稿日期:2015-04-28

软化、组织和色泽的变化引起的蔬菜衰老,抑制微生物和病原菌的生长,防止某些蔬菜的发芽^[11,12]。所以,适温条件下的冷链物流是保持各种蔬菜高新鲜度品质的不可缺少的重要条件之一。

一些蔬菜特别是果菜类蔬菜如黄瓜、茄子、番茄、菜豆、青椒等,对低温比较敏感,在不适温度下(冰点和临界低温之间)贮藏容易造成生理代谢失调和细胞膜结构损伤,即所谓的冷害^[13-15]。冷害导致蔬菜的抗病性和耐藏性下降,造成严重腐烂和品质劣变。同时,大部分冷害症状在低温环境或冷库内不会立即表现出来,而是在产品环境温度升高后才显现。因此,冷害的症状具有潜伏性,所引起的损失往往是不能预料的^[16]。在冷链物流保鲜各环节中,易发生冷害的蔬菜需要在每个环节都控制好它们所处的环境温度,防止冷害的发生。

2 蔬菜的商品化处理

蔬菜的商品化处理主要是指蔬菜的采收、包装等过程。对于蔬菜来说,采收过程中不仅要考虑成熟度、大小、质地、色泽、风味等因素,而且还要注意病虫害、机械损伤、微生物的作用^[17]。蔬菜的商品化处理直接关系到蔬菜货架期的长短,目前北京农林科学院蔬菜研究中心已经提出了芦笋、青花菜、甜玉米、结球生菜、番茄、黄瓜、油菜、甜椒、菜豆、白菜、甘蓝、胡萝卜等蔬菜产地商品化处理质量标准技术及采后分级、冷却、贮藏保鲜、运输和销售等冷链物流操作技术规范。这些技术规范的提出对蔬菜的冷链物流保鲜技术有着非常重要的参考价值。但目前仍有大部分蔬菜仍没有可供参考的产地商品化处理质量标准技术和冷链物流操作技术规范,技术规范的缺乏大大阻碍了蔬菜冷链物流的发展,未来需加快建立各类蔬菜的产地商品化处理质量标准技术和冷链物流操作技术规范。

3 预冷

预冷是将新鲜采收的蔬菜在贮藏、运输之前,尽早除去田间热,冷却到预定温度的过程^[18]。采后迅速预冷可以及时地除去蔬菜的田间热和呼吸热,有效地抑制呼吸作用、蒸腾作用和微生物生长,保持蔬菜的品质。同时扩大其销售范围和地域,提升销售价格,减少了在流通过程中所扔掉的蔬菜垃圾,使消费者可以吃到新鲜、安全、优质的蔬菜。目前最常用的预冷方式有真空预冷、压差预冷、强制通风预冷、冷水预冷、冰预冷等。

3.1 强制通风预冷

强制通风预冷是利用冷风机强制冷空气在蔬菜包装箱之间循环流动,从而对箱内蔬菜进行冷却^[19]。强制通风预冷投资较少,操作简单,适用于各种蔬菜的预冷,但冷却时间较长,易产生冷却不均的现象^[20]。刘凤珍等^[21]研究表明,通过强制通风预冷将甘蓝从室温预冷到 2℃,至少需 24 h 以上,同时预冷不均匀,大大影响甘蓝的贮藏保鲜效果。

3.2 压差预冷

压差通风预冷是对带有通风孔的包装箱进行特殊码垛,

利用压差风机在包装箱的两侧造成压力差,使库内冷空气从包装箱内部通过,以强制对流换热的形式将箱内蔬菜热量带走,以达到冷却的目的^[22]。压差预冷通过加大冷空气流经蔬菜表面的速度,提高蔬菜与冷空气间的热交换来实现快速降温。压差冷却的冷却速度比强制通风冷却快 2~10 倍。压差冷却比较均匀,适宜各种蔬菜的预冷;2002 年,北京三绿公司与北京农林科学院蔬菜研究中心在河北省张北县对结球生菜的全程冷链进行了产业化应用,产地建立了压差预冷库,结球生菜采收后迅速进行压差预冷,4.5 h 预冷 8.8 t 结球生菜,品温均低于预冷终温 3℃,最低 0℃,预冷效果良好^[23]。高恩元等^[24]研究了不同开孔面积和包装方式对甜玉米压差预冷效果的影响,研究表明,开孔面积越大,压差预冷速度越快,但失重率也越大;相同开孔面积的塑料箱包装的甜玉米与纸箱相比,压差预冷速度快,失重率要小。但码垛等略费工时。

3.3 真空预冷

真空预冷是在真空条件下,使水分在低压下蒸发,产品因表面水分的蒸发而达到冷却的目的^[25]。真空预冷能迅速且均匀地除去采后蔬菜的田间热^[26,27]。He Su-yan 等^[28]研究表明,生菜从 18℃预冷到 1℃仅需要 32 min,重量损失仅为 2.97%。

真空预冷对于单位质量表面积较大的蔬菜特别有效,冷却速度远大于其他预冷方法。陶非等^[29]研究表明,白蘑菇通过真空预冷从 25℃下降到 5℃仅需 6.5 min。但对于果菜类蔬菜和根菜类蔬菜来说,若勉强用普通真空预冷方法冷却,必将造成冷却速度不高、干耗增加、蔬菜质量严重降低的后果。丁伟华^[30]研究表明,叶菜类蔬菜从 16℃左右冷却到 8℃左右需 30 min,表面部分与内部的终温相差较小。而土豆、萝卜真空预冷处理 30 min 后,温度仅下降至 12℃,且表面与中心的终温温差较大,失重率高。

3.4 冷水预冷

冷水冷却是将冷水作为冷媒的一种预冷方式,该方法是将产品浸入冷水中,或将冷水喷在产品上的冷却方法。相比于空气预冷,冷水预冷具有对流换热系数大的优势,因此预冷速度快,效率至少是空气预冷的 2 倍^[31]。同时还防止在冷却过程中水分流失。Gillies 等^[32]研究了冷水预冷、冷库预冷和冰预冷对花椰菜品质的影响,结果表明:冷水预冷的速度最快;多孔膜包装的花椰菜采用冷水预冷后比冷库预冷和冰预冷失重率低,颜色保持更好。但冷水预冷的产品需要被打湿,在浸入水和消毒剂中不能出现损伤,只适合于根菜类产品和需要清洗的农产品;不适合叶菜类的预冷,因为叶片残留的水分很难去除,会导致微生物的生长繁殖和变色,从而腐败^[33]。冷水预冷比空气预冷速度快,对根菜类兼有清洗功能,是一种有待普及的预冷方法。

3.5 冰预冷

冰预冷是一种利用冰或冰与水的混合物直接接触蔬菜降低温度的措施。在相对现代的预冷技术出现之前,冰被广

泛地应用于产品的预冷和在运输的过程中维持产品的温度。与其他的预冷方法不同,冰不仅可以迅速地去除产品的热量,同时可以熔化继续吸收热量来维持产品的温度^[33]。简单的冰预冷是直接将碎冰、薄片冰等直接置于蔬菜包装箱中,通过冰融化吸热,带走蔬菜田间热,但蔬菜预冷不均匀。冰水预冷方法简易、成本较低,但易发生蔬菜局部冻害。因此只适宜于耐寒、耐水性蔬菜,如西兰花、甜玉米和青花菜等^[34]。

4 低温贮藏

4.1 冷藏

冷藏是在低于常温但不低于 0℃ 的温度条件下的一种贮藏方法,该技术是以控制温度来抑制蔬菜生理生化活性的一种贮藏方法。目前,冷藏是蔬菜冷链物流中应用最广泛的一种低温贮藏方法。通过冷藏可以使蔬菜在运输和销售前具有良好的品质。

叶菜采后呼吸旺盛,水分蒸发快,失水率达到 5% 即失去其商品价值,同时极易受机械损伤。叶菜的质量主要受内外两个因素影响,外观质量主要受叶绿素的影响,内部质量主要受抗坏血酸、类胡萝卜素和酚类物质的影响^[35]。目前,低温贮藏是叶类蔬菜保鲜较为有效的方法之一。Tian Wei-na 等^[36]研究表明,相比于 20℃,生菜在 0℃ 贮藏能显著保存其品质,0℃ 能显著抑制生菜的可溶性蛋白和糖含量的减少、多酚氧化酶和过氧化物酶活性的降低和游离氨基酸的积聚。朱军伟等^[37]对菠菜和芹菜的研究表明,4℃ 环境下叶绿素、Vc 的分解速率慢于 9℃。同时,在 4℃ 条件下,可以有效抑制亚硝酸盐的累积。

根菜类蔬菜表皮缺乏角质、蜡质等保护层,保水能力差,贮藏温度高会出现糠心,同时增大自然损耗;若贮藏温度过低,肉质根易受冻害。所以根菜类蔬菜的贮藏环境必须为低温高湿^[38]。胡萝卜放在 0℃,相对湿度为 98%~100% 的储藏库中储藏,适当通风,保持一定湿度,可储藏 4~5 个月,甚至 9 个月^[39]。

鳞茎、块茎、根茎等类蔬菜的休眠,对贮藏来说是个有利的生理阶段。冷藏是最有效、方便、安全的抑制其发芽的措施,同时对强制休眠效应尤其明显。因此,洋葱、大蒜等贮藏需要低湿,低湿可抑制呼吸作用,保持休眠状态,延迟休眠状态^[40]。对于嫩茎蔬菜则需要贮藏在低温高湿的条件下。嫩茎蔬菜含水量较高,采收后呼吸旺盛,营养物质大量消耗,粗纤维增加,嫩茎品质变劣,商品价值降低,甚至失去食用价值^[41]。竹笋在贮藏期间,由于自身旺盛的呼吸作用和蒸腾作用,失水比较严重,在常温贮藏中,带壳竹笋在 1 个月内失水量可达 21.4%,4℃ 下 30 d 失水率仅为 5.82%^[42]。A. Simón 等^[43]研究表明,芦笋贮藏 5℃ 下的货架期为 11~14 d,而在 10℃ 时贮藏 6 d 即失去新鲜度。

花菜采后呼吸代谢旺盛,贮藏中极易衰老,出现萎蔫、黄化、霉变和开花,采后保鲜难度较大。青花菜室温裸放至第 5 天时,其失重率和黄化率就分别高达 23.1% 和 98.0%,Vc

的损失则高达 42.9%。而在 0℃ 条件下可以有效减缓青花菜采后衰老的速度和程度,贮藏 41 d 后,青花菜的失重率低于 4%,没有出现黄化,Vc 的损失低于 17%^[44]。

4.2 气调贮藏

气调保鲜技术是在机械冷藏的基础上,进一步提高贮藏环境的相对湿度,调控贮藏环境中的 O₂、CO₂ 等气体的成分比例,限制乙烯等有害气体的积累,有效抑制呼吸、蒸发、激素及微生物的作用,从而有效减少贮藏损失、延长保鲜期,使蔬菜长久地保持新鲜的品质^[45]。由于气体成分和低温的共同作用,气调保鲜对蔬菜的呼吸代谢、后熟衰老进程、颜色质地和风味变化等都产生了显著的影响。Yoo K S 等^[46]采用气调保鲜或不同温度对洋葱进行贮藏 5 个月的研究表明,进行气调贮藏的洋葱所保持的品质是最好的,贮藏在 5℃ 条件下的洋葱刺激性气味较大,储藏在 24℃ 和 30℃ 条件的洋葱已经变质。目前,某些发达国家已经基本上普及气调冷藏库,在冷藏库中气调库所占比例为:美国达 75%,法国 40%,英国约 30%^[47]。气调保鲜库虽然造价高,但其对蔬菜保鲜效果好,前景广阔,在今后将会得到广泛应用。

4.3 减压贮藏

减压贮藏原理是在低温的基础上将蔬菜放置于密闭容器内,抽出容器内的部分空气,使内部气压下降到一定程度,同时经压力调节器输送进新鲜高湿空气,使整个系统不断地进行气体交换,以维持贮藏容器内压力的动态恒定和一定的湿度环境,由于降低了内部空气的压力,蔬菜表面的水分蒸发到环境中并带走大量热量,使蔬菜的温度迅速降低^[48]。减压贮藏具有许多优点,可以阻止乙烯的生成,抑制低 O₂ 和高 CO₂ 伤害,抑制细菌和真菌的生长^[49]。LI Wen-xiang 等^[50]研究表明减压贮藏可以显著地抑制芦笋的呼吸作用,降低 Vc 和叶绿素的分解速率,减少丙二醛的积累,控制可溶性固形物和总酸含量的下降,相对于室温贮藏和冷藏只能贮藏 6 d 和 25 d,减压贮藏的芦笋贮藏 50 d 仍具有较好的营养和商品价值。但减压贮藏库的建造要求高,因此建造费用也很高,阻碍了减压贮藏技术的发展。

4.4 冰温贮藏

冰温贮藏是指在 0℃ 以下、冰点以上温度区域的贮藏^[51]。冰温贮藏不破坏蔬菜的细胞组织,可以有效抑制微生物的活动和各种酶的活性,延长蔬菜的货架期,同时提高蔬菜的品质^[52]。Li Guo 等^[53]研究表明相比于贮藏在 8℃ 和室温(25℃),青豆在冰温贮藏条件下有更好的生理和商业品质,在冰温贮藏可以有效提高青豆的品质和货架期。林本芳^[54]研究表明,冰温贮藏明显提高了西兰花 POD、SOD 和 CAT 等的活性,降低了 PPO 的活性,延缓了西兰花的衰老,且冰温贮藏的效果优于普通冷藏的效果。冰温贮藏虽然贮藏效果很好,但不同蔬菜的冰温带不同,冰温带范围较窄,要求温度控制精准,而在贮藏过程中,蔬菜的码垛进出库也会影响冰温库的温度。因此,建立冰温库的技术要求很高,同时投资较大,这些都限制了其在蔬菜冷链物流中的发展。

5 冷藏运输

冷藏运输是蔬菜冷链流通中连接蔬菜产销和推动冷链畅通的重要工作环节。蔬菜是易腐农产品,在运输途中易受各种外界环境因素的影响,若管理不善就会造成极大的损失。低温可以较好地保持运输过程中蔬菜的品质。Victor Rodov 等^[55]对甜玉米冷藏运输的研究表明,甜玉米在 2℃条件下运输 14 d,其感官评分仍在商品界限以上。颜丽萍等^[56]采用聚苯乙烯泡沫箱加冰 0℃冷藏运输青花菜 1 d 后,其感官评分为 4.7,失重率为 1.44%。因此,冷藏运输对保持蔬菜品质、减少营养成分损失和流通安全具有极其重要的意义。

蔬菜在运输时是运动的状态,相比于贮藏,运输过程中更易受到外界因素的影响。由于运输条件的限制,在蔬菜冷链运输过程中,蔬菜会受到振动、温度、湿度和空气成分的影响,这些因素都会对蔬菜的货架期产生很大的影响。目前,申江等对果菜类^[57]和叶菜类^[58]进行了公路冷藏运输模拟的试验,研究表明,运输过程中的振动变化和运输温度对蔬菜影响显著,相对湿度对蔬菜的水分含量影响较大,较小的振动、适宜的温度和相对高的湿度对蔬菜在运输过程中的保鲜是有利的;同时也得出了白菜、青花菜、油菜、胡萝卜、黄瓜、番茄和甜椒在沥青路面上运输振幅为 2.8 cm 和在沙石路面上振幅为 5.6 cm 时的最佳运输温度和相对湿度。

根据运输路线的不同,蔬菜的运输又分为航空运输、陆路运输和水路运输,陆路运输又分为公路运输和铁路运输。运输装备有隔热保温车、蓄冷板冷藏车、机械冷藏车和冷藏集装箱等。隔热保温车只有隔热车厢而无制冷装置,仅适用于短途运输;冷藏车适于长距离、环境温度变化范围比较大、适温范围较窄的易腐货物的冷藏运输^[59]。颜丽萍^[60]和聂建波^[61]对青花菜和芦笋进行模拟冷藏运输研究都表明,低温运输的效果要比常温运输的好,泡沫箱加冰和纸箱加膜冷藏运输要比模拟保温车运输的好,0℃套膜运输是最好的运输方法。

蔬菜从生产地到消费地的冷链运输是一个系统工程。有些只需要一种运输方式即可,而更多的是需要几种运输方式联合完成。因此,蔬菜在冷链运输过程中,需要发挥各种运输方式的长处,使蔬菜以最短的路程、最合理的路线、最快的时间、经历最少的环节,完成从生产地到消费地的冷链运输^[62]。

6 冷链销售

销售和消费是蔬菜冷链流通中最能体现蔬菜商品价值的一个环节^[63]。这一环节的好坏直接关系到生产者、经营者和消费者的利益。蔬菜的冷链销售主要是采用冷藏柜和冷藏货架,并按照各类蔬菜所规定的货架期进行销售^[64]。目前销售蔬菜的货柜有常温柜、常温加湿柜、果蔬保鲜柜,通过控温、加湿、薄膜包装等保鲜方法来保持蔬菜的品质。Fernando Vallejo 等^[65]采用 11 μm 的低密度聚乙烯膜对青花菜包装,在 1℃条件下贮藏 7 d 后在 15℃销售 3 d,青花菜中

化合物的浓度只有轻微的变化,Vc 含量的变化也较小。Y. Aharoni 等^[66]对甜玉米采用 PVC 和两种聚烯烃膜 AM、K-400T 包装后进行销售,在 1℃下贮藏 12 d 后再在 20℃条件下销售 2 d,聚烯烃膜 AM、K-400T 包装比 PVC 包装的玉米更能维持玉米的品质。聂建波等^[67]对青椒在不同温度的流通研究得出,青椒在 9℃下贮藏 16 d 品质仍较好,感官评价为 4.1,失重率 1.79%;而在 9℃下贮藏 16 d 后再在 20℃下销售 1 d 的青椒感官评价为 3.3,失重率为 3.87%。因此,在冷藏销售过程,控制好蔬菜的温度和湿度,或使用薄膜进行包装,可以有效延长蔬菜的货架期。

消费者从市场或超市购买蔬菜到家庭冰箱这段过程,对蔬菜的温度不能进行较好地控制,蔬菜的品温就会上升很快,并有可能产生冷害,对蔬菜的品质造成不良的影响。近年来,生鲜电商销售和城市配送作为一种新型销售模式得到了很大的发展,与传统的冷藏销售相比,通过冷链物流可以直接将新鲜的产品送到消费者的家庭冰箱中,解决了新鲜蔬菜从市场或超市陈列柜到家庭冰箱这段时间对温度的失控,使蔬菜产品从田间采收后到消费者手里处于完整的冷链中。目前,蓄冷型运输保温箱^[68]、移动式无线数显蓄冷制冷多功能冷藏箱^[69]、标准托盘式可折叠保温物流箱^[70]等实用新型专利发明可以有效解决这一过程的低温,更好地保证蔬菜的全程冷链。

7 家庭冰箱保鲜

目前,大多数对蔬菜全程冷链的研究到销售即研究结束,忽略了家庭保鲜这一环节。大多数消费者也缺乏相应的保鲜知识,蔬菜购买后,温度没有得到较好的控制,不同蔬菜的生理特性及最适贮藏温度不同,盲目地放入冰箱,蔬菜会发生串味、冷害等一系列的问题,失去良好的品质,以致前面各个环节的工作前功尽弃。因此,这一环节需要得到重视,作为生产者,应该在生产过程中增加标签,标明蔬菜的适宜贮藏温度和其保质期;同时,销售过程,也应宣传蔬菜的保鲜知识,提高消费者的保鲜意识。

8 展望

目前,相对西方发达国家完善的冷链物流体系,中国仍存在巨大的差距。专业冷链设备的缺乏仍是中国存在的主要问题。“十二五”期间,中国对冷链物流投入较大,但主要集中于冷库的投入,而产地预冷设备、冷藏运输设备等投入较少;蔬菜冷链流通过程中,每个环节都需重视,缺一不可。因此针对中国冷链流通的薄弱环节,国家需加大投入,积极研发生产并推广现代化的冷藏链设备,提高蔬菜冷链物流从事人员的技术水平,完善蔬菜冷链物流体系。

参考文献

- 雷刘功,袁惠民. 中国农业年鉴[Z]. 北京:中国农业出版社, 2013.
- 周家华,常虹,赵毅,等. 中国果蔬冷链物流的发展现状及建议[J]. 食品工业科技,2012(6): 8~10.

- 3 詹帅, 霍红. 农产品冷藏链国内外研究现状分析[J]. 物流技术, 2013, 32(4): 54~56.
- 4 Yang Song-xia, Lu Hua-zhong, Lv En-li, et al. Strategies on fruits and vegetables cold chain logistics in China[C]//World Automation Congress Proceedings. Beijing: 2012 World Automation Congress, 2012:1~4.
- 5 苏国贤, 李富忠. 中国蔬菜冷链物流的现状, 问题与建议[J]. 中国流通经济, 2012, 26(1): 39~42.
- 6 刘升. 果蔬产地预冷一流通过程中的关键, 品质与营养的根本保证[J]. 冷藏技术, 2013(2): 31~35.
- 7 周然, 闫丽萍, 谢晶. 中国水果冷链物流的发展对策[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 152~154.
- 8 韩喜艳. 农产品流通组织化研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- 9 Dodd M C, Bouwer J J. The supply value chain of fresh produce from field to home: refrigeration and other supporting technologies[M]. San Diego: Academic Press, 2014: 449~483.
- 10 Zhu Xiao-ming, Zhang Rui-tong. A flexsim-based optimization for the operation process of cold-chain logistics distribution centre[J]. J. Appl Res Technol, 2014, 12(2): 270~278.
- 11 刘升, 张宏力. 蔬菜预冷及低温冷链流通保鲜技术[C]//2000 年中国食品冷藏链大会暨冷藏链配套装备展示会论文集. 北京: 中国制冷学会, 2000: 91~95.
- 12 Myo Min Aung, Yoon Seok Chang. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain[J]. Food Control, 2014, 40: 198~207.
- 13 韩聪, 高丽朴, 王兆升. 蔬菜冷害控制的研究进展[J]. 中国蔬菜, 2013(12): 1~8.
- 14 王艳琼, 胡文忠, 刘程惠. 低温贮藏引起果蔬冷害的研究进展[J]. 食品科技, 2010(1): 72~75.
- 15 James S J, James C. Encyclopedia of food safety [M]. Waltham: Academic Press, 2014.
- 16 程秀玮, 赵毅. 热带水果的冷害及其控制[J]. 农产品加工学刊(下), 2013(6): 54~56.
- 17 沈红然. 上海市蔬菜商品化处理现状与发展对策[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- 18 刘升, 冯双庆. 果蔬预冷贮藏保鲜技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2001.
- 19 王强, 刘晓东. 实施蔬菜产地预冷, 完善低温冷藏链[J]. 制冷, 2001, 20(1): 40~44.
- 20 Agar T, Paydas S, Buyukalaca O, et al. Effect of harvest dates and forced-air cooling on postharvest quality of apricot cv. Precoce de Tyrinthe[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2006, 4(2): 107~108.
- 21 刘凤珍, 刘晓东. 甘蓝通风预冷实验研究[J]. 制冷, 2001, 20(1): 6~9.
- 22 Albayati O A Z, Kumar R, Chauhan G. Forced air precooling studies of perishable food products [J]. International Journal of Food Engineering, 2007, 3(6): 1 556~3 758
- 23 刘升. 结球生菜差压预冷及冷链技术的研究[C]//中国制冷学会第十七次团体会员大会暨第五届全国食品冷藏链大会论文集. 长沙: 中国制冷学会, 2004: 4.
- 24 高恩元, 刘升, 李晓燕. 开孔面积和包装方式对甜玉米压差预冷效果的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 179~181.
- 25 Sun Da-wen, Zheng Li-yun. Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 203~214.
- 26 Yu Kang-cheng, Chang Hung-sheng, Lai shyi-ming. Discussion on the vacuum pre-cooling rate of vegetables[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 44(1): 633~640.
- 27 Drummond L, Zheng Li-yun, Sun Da-wen. Emerging technologies for food processing[M]. Second Edition. San Diego: Academic Press, 2014: 477~494.
- 28 He Su-yan, Li Yun-fei. Experimental study and process parameters analysis on the vacuum cooling of iceberg lettuce[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49(10): 2 720~2 726.
- 29 陶菲, 邵海燕, 张慙. 白蘑菇真空预冷工艺的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 41~44.
- 30 丁伟华. 蔬菜真空预冷理论与试验研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2007.
- 31 Lambrinos G, Assimaki H, Manolopoulou H. Air precooling and hydrocooling of Hayward kiwifruit[J]. Acta Hort, 1997, 444: 561~566.
- 32 Gillies S L, Toivonen P M A. Cooling method influences the postharvest quality of broccoli[J]. Hortscience, 1995, 30(2): 313~315.
- 33 Brosnan T, Sun Da-wen. Precooling techniques and applications for horticultural products—a review[J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24(2): 154~170.
- 34 吕盛坪, 吕恩利, 陆华忠. 果蔬预冷技术研究现状与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2013(8): 101~104.
- 35 Spinardi A, Cocetta G, Baldassarre V, et al. Quality changes during storage of spinach and lettuce baby leaf[J]. Vi International Postharvest Symposium, 2010, 877: 571~576.
- 36 Tian Wei-na, Lv Yan-chun, Cao Jian-kang, et al. Retention of iceberg lettuce quality by low temperature storage and postharvest application of 1-methylcyclopropene or gibberellic acid[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 51(5): 1~7.
- 37 朱军伟, 谢晶, 林永艳. 贮藏温度和包装方法对两种叶菜采后品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 175~178.
- 38 冯峰. 胡萝卜的贮藏保鲜技术[J]. 蔬菜, 2007(1): 30~31.
- 39 谢梦纯. 胡萝卜的几种保鲜储藏方法[J]. 科学种养, 2014(3): 57~58.
- 40 Miguel A C A, Durigan J F. Quality of minimally processed onions stored under refrigeration [J]. Horticultura Brasileira, 2007, 25(3): 437~441.
- 41 李志澄, 刘斌. 蔬菜现代贮藏技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- 42 杨清培, 杨光耀, 刘骏. 竹笋保鲜贮藏技术研究综述[J]. 江西林业科技, 2011(2): 20~23.
- 43 Sim N A, Gonzalez-fandos E. Influence of modified atmosphere packaging and storage temperature on the sensory and microbio-

logical quality of fresh peeled white asparagus[J]. Food Control, 2011, 22(3): 369~374.

44 饶先军. 结球生菜冷链物流保鲜技术研究[D]. 福州:福建农林大学, 2011.

45 苏大庆, 王则金. 我国果蔬气调冷藏保鲜的现状 & 展望[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009(1): 704~708.

46 Yoo K S, Lee E J, Patil B S. Changes in flavor precursors, pungency, and sugar content in short-day onion bulbs during 5-month storage at various temperatures or in controlled atmosphere[J]. J. Food Sci., 2012, 77(2): C216~C221.

47 李耕, 张宇航. 我国食品冷藏链存在的问题及对策[J]. 信阳农业高等专科学校学报, 2006, 3(6): 23~44.

48 康明丽, 张平. 减压贮藏理论及技术研究进展[J]. 食品与机械, 2001(2): 9~10.

49 Burg S P. Hypobaric storage in food industry [M]. San Diego: Academic Press, 2014: 159~160.

50 Li Wen-xiang, Zhang Min, Yu Han-qing. Study on hypobaric storage of green asparagus [J]. Journal of food engineering, 2006, 73(3): 225~230.

51 Zhang Juan, Lou Yong-jiang. Controlled freezing-point technique and its applications in food fresh-keeping[J]. Food Research and Development, 2006, 8:40~46.

52 Leng Ping. Controlled freezing-point storage-a new approach for fresh-keeping fruits and vegetables[J]. Journal of China Agricultural University, 1997(3):10~16.

53 Guo Li, Ma Ying, Sun Da-wen, et al. Effects of controlled freezing-point storage at 0 degrees C on quality of green bean as compared with cold and room-temperature storages[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 25~29.

54 林本芳, 鲁晓翔. 冰温贮藏对西兰花保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19):312~316.

55 Rodov V, Copel A, Aharoni N, et al. Nested modified-atmosphere packages maintain quality of trimmed sweet corn during cold storage and the shelf life period[J]. Postharvest biology and technology, 2000, 18(3): 259~266.

56 颜丽萍, 刘升, 饶先军. 预冷、冷藏运输和销售方法对青花菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 174~176.

57 申江, 李超, 和晓楠. 果菜类蔬菜公路冷藏运输模拟试验研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1 510~1 513.

58 申江, 李超, 和晓楠. 叶菜类蔬菜公路冷藏运输模拟实验研究[J]. 食品科技, 2011, 36(5): 70~73.

59 冯愿军. 我国冷藏汽车技术现状及发展方向研究[D]. 南京:南京理工大学, 2002.

60 颜丽萍. 青花菜采后冷链物流保鲜技术研究[D]. 福州:福建农林大学, 2011.

61 聂建波. 绿芦笋的采后冷链保鲜技术研究[D]. 厦门:集美大学, 2012.

62 景萍, 饶. 园艺产品贮运学[M]. 北京:科学出版社, 2009.

63 李江华, 李少敏. 蔬菜冷链流通技术规范操作规程[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(6): 9~10.

64 金盛楠, 肖更生, 张友胜. 冷链物流分析及其在食品中的应用现状[J]. 现代食品科技, 2008, 24(10): 1 031~1 035.

65 Vallejo F, Tom S-barber N F, Garc A-Viguera C. Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, 51(10): 3 029~3 034.

66 Aharoni Y, Copel A, Gil M, et al. Polyolefin stretch films maintain the quality of sweet corn during storage and shelf-life [J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7 (1): 171~176.

67 聂建波, 陈发河, 刘升. 不同温度对青椒流通过程中微生物及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(6): 3 591~3 593.

68 刘升, 张建一, 庄友明. 一种蓄冷型运输保温箱: 中国, CN102285495A[P]. 2011—12—21.

69 刘升. 移动式无线数显蓄冷、制冷多功能冷藏箱: 中国, CN203298550U[P]. 2013—11—20.

70 刘升, 贾丽娥, 刘玲. 标准托盘式可折叠保温物流箱: 中国, CN203294457U[P]. 2013—11—20.

(上接第 247 页)

13 Mitchell V W, Harris G. The importance of consumers' perceived risk in retail strategy [J]. European Journal of Marketing, 2005, 39(7/8): 821~837.

14 Acebrón B L, Mangin J P L, Dopico D C. A proposal of the buying model for fresh food products: the case of fresh mussels [J]. Journal of International Food & Agribusiness Marketing, 2000, 11(3): 75~95.

15 Beaudoin CE, Hong T. Healthinformation seeking, diet and physical activity: an empirical assessment by medium and critical demographics [J]. International Journal of Medical Informatics, 2011, 80(8): 586~595.

16 乌家培, 谢康. 信息经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 205~206.

17 Kass K P. Consumer habit forming, information acquisition, and buying behavior [J]. Journal of Business Research, 1982 (3): 3~15.

18 Manafo E, Sharon W. Exploring older adults' health information seeking behaviors [J]. Journal of Nutrition Education and Behavior, 2012, 44(1): 85~89.

19 吴林海, 张秋琴, 山丽杰, 等. 影响企业食品添加剂使用行为关键因素的识别研究: 基于模糊集理论的 DEMATEL 方法[J]. 系统工程, 2012, 30(7): 48~54.

20 Von Altrock C. Fuzzy logic and neurofuzzy application in business and finance [M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995: 244~246.

21 Opricovic S, Tzeng G H. Defuzzification within a multicriteria decision model [J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, 2003, 11(5): 635~652.

22 刘继萍. 食品企业的管理困境与解决路径[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 274~276.