

学 号：20154214

天 津 商 业 大 学 毕 业 设 计 ( 论 文 )

# 不同运输方式对西兰花保鲜效果的影响

## **Effects of Different Transportation Modes on Fresh-keeping of Broccoli**

学 院： 生物技术与食品科学学院

教 学 系： 食品科学与工程系

专业班级： 食品科学与工程 1502 班

学生姓名： 凡可可

指导教师： 关文强 教授

2019 年 6 月 10 日

# 目 录

内容摘要.....	I
Abstract.....	II
1 引言.....	1
1.1 西兰花简介.....	1
1.2 西兰花采后保鲜的方法.....	2
1.3 国内外冷链运输的研究状况.....	3
1.4 西兰花物流保鲜现状.....	4
1.5 课题研究目的与意义.....	4
2 材料与方法.....	5
2.1 材料与试剂.....	5
2.2 仪器与设备.....	5
2.3 西兰花分组与处理.....	6
2.4 测定指标及方法.....	6
3 结果与分析.....	9
3.1 不同运输方式对西兰花颜色的影响.....	9
3.2 不同运输方式对西兰花感官品质的影响.....	13
3.3 不同运输方式对西兰花失重率的影响.....	14
3.4 不同运输方式对西兰花叶绿素含量的影响.....	15
3.5 不同运输方式对西兰花呼吸强度的影响.....	16
3.6 不同运输方式对西兰花相对电导率的影响.....	17
4 结论.....	18
参考文献.....	20
附录：开题报告.....	23
致谢.....	26

**内容摘要：**西兰花采后生理代谢旺盛，不当的运输方式易使商品价值受到损害。本实验研究了泡沫箱加冰常温运输、冷藏车运输对西兰花物流品质的影响，通过测定失重率、叶绿素含量、呼吸强度、相对电导率等指标的变化，以期找出最佳运输条件，为我国西兰花实际运输销售提供理论依据和技术支持。结果表明：泡沫箱加冰组保鲜效果较差，物流寿命分别为 5 d、6 d（低冰、高冰）；冷藏车运输组的效果远优于泡沫箱加冰组，均能在 15 d 内保持西兰花的良好运输品质。其中  $4\pm 1$  °C 效果最好，可有效延缓西兰花失重率上升和叶绿素的下降速度，延长西兰花的物流寿命至 21 d。冷藏车运输是西兰花最好的运输方式，若条件缺乏，泡沫箱高冰包装可为西兰花长途运输提供另一种可能。

**关键词：**西兰花；保鲜效果；运输方式；物流品质

**Abstract:** The physiological metabolism of broccoli is vigorous after harvest, and the improper transportation will easily damage the commodity value. This experiment studied the influence of foam box with ice transportation at normal temperature, and refrigerated truck transportation on the logistics quality of broccoli. By measuring the changes of weight loss rate, chlorophyll content, respiratory intensity, relative electrical conductivity and other indicators, the optimal transportation conditions were found to provide theoretical basis and technical support for the actual transportation and sales of broccoli in China. The results showed that foam box with ice had a poor preservation effect, and the logistics life was 5 d and 6 d (low ice and high ice), respectively. The effect of the refrigerated truck transportation was much better than the foam box with ice. Refrigerated truck transportation could maintain the good transportation quality of broccoli within 15 days.  $4\pm 1$  °C has the best preservation effect, which can effectively delay the increase of weightlessness rate and the decrease rate of chlorophyll of broccoli. Extending the life of the broccoli logistics to 21 d. Refrigerated truck transport is the best way to transport broccoli, if in the absence of refrigerated transport conditions, foam box with high ice can provide another possibility for long-distance transport of broccoli.

**Keywords:** Broccoli; Fresh-keeping effect; mode of Transportation; Logistic quality

# 1 引言

## 1.1 西兰花简介

西兰花又称绿菜花、青花菜，是十字花科芸苔属甘蓝的一个变种。西兰花外形独特，是一种营养物质极为丰富的蔬菜<sup>[1]</sup>。原产地在欧洲的意大利一带，19世纪末光绪年间开始传入中国，最初只种植在上海等地，后来由于培育技术的完善，在全国各地开始广泛种植。西兰花脆而爽口，风味独特，食用方法有很多种。在国外西兰花主要是拌沙拉，或煮后作为西餐的配菜，水煮避免了高温过油造成营养物质的损失，水煮后西兰花的颜色依然为翠绿色，并且口感会更加爽脆。

### 1.1.1 西兰花的营养价值

近些年开始，西兰花开始大量被国内的餐厅使用，西兰花中的营养成分十分全面，主要包括碳水化合物、脂肪、蛋白质、矿物质、多种维生素等。据分析，每100g西兰花含蛋白质4.3g、脂肪0.3g、碳水化合物5.9g、VC 113-153mg、VA 1.2mg、胡萝卜素25mg<sup>[2]</sup>。此外，西兰花中也含有较多的矿物质，每100g含钙103mg、磷78mg、铁1.1mg，钾、锌、锰等含量也比较丰富。西兰花中含有膳食纤维、玉米黄质、叶黄素等，现在的保健品中大多也含有这些成分。

### 1.1.2 西兰花的药用价值

日本国家癌症研究中心公布的抗癌蔬菜排行榜上，西兰花居首位。美国的杂志也刊登了许多关于西兰花能够抗癌的研究成果。西兰花之所以有抗癌的功效，主要归功于其中含有的硫代葡萄糖苷类化合物（GRA）<sup>[3]</sup>。硫苷对肿瘤有明显的抑制作用，西兰花中可以提取出一种名为萝卜子素的酶，这种酶具有一定致癌物解毒的作用。研究发现，西兰花中含有多种吲哚衍生物，这种化合物可以用来降低人体雌性激素的水平，因而减少乳腺癌的发生率<sup>[4]</sup>。除了抗癌以外，西兰花还含有抗坏血酸，可以增强肝脏的解毒能力，提高机体免疫力。同时，西兰花属于高纤维蔬菜，含有较多的花青素，可以抑制肠胃对葡萄糖的吸收，降低血糖，糖尿病患者可以食用。

西兰花中的类黄酮是良好的血管清理剂，能阻止胆固醇氧化、防止血小板凝结，可以有效控制心脏病发生的危险。西兰花是《时代》杂志推荐的十大健康食品中名列第四的蔬菜食品<sup>[5]</sup>。

## 1.2 西兰花采后保鲜的方法

西兰花采后失去了原有的摄取营养物质的管道，只能依靠自身保存的营养物质来维持生理活动。新鲜西兰花含水量较高，组织十分脆弱，新陈代谢过程由光合作用变为呼吸作用；采后花球的持水能力较差、极易发生黄化现象，茎部的切面容易褐变腐烂，因而导致营养成分流失，西兰花的品质下降<sup>[6]</sup>。采摘后的西兰花在 20~25 °C 条件下存放 1~2 d，西兰花的花蕾会由绿色逐渐变黄，从而丧失商品价值<sup>[7]</sup>，因此，西兰花需要良好的采后处理保鲜技术，以延长货架期以及贮藏的时间，减少运输途中造成的不可逆损失。如今应用比较多的保鲜技术主要包括：低温贮藏、气调保鲜、热激处理等。

### 1.2.1 低温贮藏

温度是影响呼吸强度和微生物繁殖的最主要的外界因素，温度的升高会直接导致呼吸速率的上升以及微生物的繁殖<sup>[8]</sup>，控制温度可延缓代谢速率、抑制果实成熟和微生物生长，进而延长西兰花的货架期。张怡等<sup>[9]</sup>通过实验发现，相比于 10 °C 和 20 °C，0 °C 能有效延长西兰花中叶绿素、类胡萝卜素、VC、类黄酮含量的保持时间，贮藏 28 d 时西兰花品质良好。郭香凤等<sup>[10]</sup>研究发现西兰花在低温（4 °C）贮藏可以明显抑制黄化和褐变的速度，减缓组织中抗坏血酸、蛋白质以及可溶性固形物等营养物质的下降，较好的保持了细胞膜的完整性，有效抑制西兰花的衰老和品质劣变。林本芳<sup>[11]</sup>通过低温驯化（-1-1 °C）结合冰温贮藏（-0.7—0.4 °C）处理西兰花，能明显延缓其 VC 和叶绿素含量的下降，降低呼吸速率和乙烯生成速率，提高西兰花过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）的活性，降低多酚氧化酶（PPO）活性，延缓相对电导率的提高。因此，全程冷链物流是一种行之有效的西兰花贮运方式。

### 1.2.2 气调保鲜

气调保鲜广泛运用在果蔬的保鲜中，通过调节 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 的体积分数比来降低果

蔬的生理消耗以延长贮藏时间，保持果蔬产品的新鲜状态<sup>[12]</sup>。KE 等<sup>[13]</sup>通过研究发现，高氧可以减少气调贮藏时 CO<sub>2</sub> 含量过高引起的异味物质累积。目前用到较多的是自发气调 (MA) 和人工气调(CA)，自发气调所使用的包装材料种类较多，张娜等<sup>[14]</sup>发现使用 0.05mmPE 保鲜袋结合低温贮藏的方式能延长西兰花的保鲜贮藏时间至 110 d。相对于自发气调，人工气调的成本较低且保鲜效果较好，实际运用的较多。人工气调通过利用气调设备来人为改变不同果蔬贮藏时 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的比例，来维持果蔬的商品品质。人工调节至 10% CO<sub>2</sub> 和 5%O<sub>2</sub> 的气体比例能有效抑制西兰花蛋白酶的活性，延长西兰花的保鲜贮藏期<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 热激处理

热激处理是指通过热蒸汽或远红外线等处理降低酶活性、抑制果蔬采后的生理活动，实现对果蔬的保鲜效果，西兰花用 47 °C 热水处理，置于 20 °C 下 6 d 后发现花球的黄化程度极低，热处理对花蕾有较好的护绿作用，对西兰花的感官品质有重要影响<sup>[16]</sup>。热处理在对葡萄保鲜中，不仅有杀菌作用、减少腐败率、更在很大程度上提高了贮藏的保鲜期<sup>[17]</sup>。因此，对于果蔬的保鲜，热处理是一种效果较好的方式。

## 1.3 国内外冷链运输的研究状况

随着生鲜易腐产品行业的兴起，保护生鲜产品在运输中商品品质的完整性，减少运输物流中的能源消耗等一系列的问题，学术界对冷链物流的研究也与日俱增。冷链物流在冷冻工艺的基础上，采用制冷方式，使冷链物品从生产、流通、销售到消费者的每个环节一直处于规定的温度下，以保证冷链物品的质量<sup>[18]</sup>。果蔬等生鲜产品，在运输过程中保证新鲜度是极为重要的，温度是影响运输途中商品质量的关键因素，因此对于温度的控制是冷链物流研究的关键点。

欧洲等发达国家已经有比较完善的物流体系，美国针对果蔬、水产品的冷链运输率高达 90 % 以上，日本在运输冷链商品时，选择冷冻车或保冷车进行运输，车内记录器检测温度的变化，保证了商品在运输途中的低温环境<sup>[19]</sup>。我国于上世纪 50 年代开始冷链物流的发展，果蔬生产地较分散的现状衍生出多样的物流方式：如常温运输、错峰供销、长线冷链运输、点对点直接供销模式等<sup>[20]</sup>。截至到 2018 年，我

国冷藏车保有量为 16.42 万辆，增加 2.4 万辆，同比增长 33%，但与发达国家冷藏车数量相差甚多<sup>[21]</sup>。近年来我国冷链物流飞速发展，但在冷藏设备、技术水平、管理体系、信息技术处理等方面仍待提升<sup>[22]</sup>。由于设备不完善、保鲜技术落后、品质监控和评价体系的缺乏，我国物流损耗率高达 25%-30%，年经济损失高达上千亿<sup>[23]</sup>。对比来看，我国在冷链物流的发展上仍有较大的空间。

#### 1.4 西兰花物流保鲜现状

近年来我国西兰花发展迅猛，浙江、江苏、山东等地的西兰花产业带逐渐形成，浙江台州作为我国最大的西兰花出口基地，种植面积已达 1.3 万 hm<sup>2</sup><sup>[24]</sup>。我国西兰花产地分布不均匀，而消费者对西兰花的需求是全年性的，因此形成了夏季由北往南，冬季自南向北的运输特点<sup>[25]</sup>。但西兰花采后呼吸旺盛，常温下贮藏时间短，花球黄化迅速，因此完善健全冷链运输体系对于西兰花的贮藏具有十分重要的意义。

对于西兰花的保鲜运输，温度控制是重要的影响因素。国外主要是利用低温气调结合冷链运输，国内西兰花的销售主要以鲜销和常温销售为主，一般在常温条件采摘，不经过预冷环节，然后直接放入泡沫箱中，往泡沫箱里加入碎冰进行存放和运输，使得西兰花的货架期十分短暂。泡沫箱是一种良好的隔热抗压材料，由于西兰花对温度十分敏感，因此用泡沫箱一方面可以起到减压作用，另一方面也能与外界环境的温度产生隔离，从而起到保温的作用。但碎冰易使西兰花受到切割，引起不可恢复的损伤，从而造成营养物质流失，商品质量下降等。因此，完整高效的冷链物流运输体系，对降低运输过程中的不可逆损耗，延长果蔬的高品质贮藏期，保持良好的物流品质，提高运输行业的经济效益具有十分重要的意义。

#### 1.5 课题研究目的与意义

我国是一个农业大国，果蔬等生鲜农产品的产量较多，越来越成为人们生活消费的必需品，同时消费者对于生鲜产品的质量及新鲜程度有较高的要求。西兰花由于风味独特、营养价值高而逐渐成为餐桌上不可缺少的菜肴，但其生产销售的复杂特殊性、采后易腐性对物流运输提出了较高要求。因此，寻求一种便捷有效、适应西兰花运输需求的方法势在必行。本研究通过模拟西兰花加冰常温运输、冷藏车运

输两种方式，测定其感官评价、色差值、失重率、叶绿素含量、呼吸强度、相对电导率等指标的变化规律，分析西兰花在不同运输方式下的商品品质和保鲜效果，从而找出适合实际运输的最佳条件，为我国西兰花实际运输销售提供理论依据和技术支持。

## 2 材料与方 法

### 2.1 材料与试剂

#### 2.1.1 材料

实验用品种为“炎秀”的西兰花，购自天津市西青区王顶堤刚荣蔬菜销售有限公司。挑选花球硬实紧密、边缘完整；且花蕾为青绿色、蕾色基本均匀、无枯蕾、成熟度一致；新鲜无异味、无机械损伤、商业成熟度一致的西兰花运送到实验室后，于 0℃下充分预冷 24 h 后将西兰花分别进行分装。

#### 2.1.2 主要试剂

无水乙醇（分析纯，天津市赢达稀贵化学试剂厂）；

丙酮（分析纯，天津市化学试剂供销公司）。

### 2.2 仪器与设备

表 1 仪器设备及厂家

仪器	厂家
Defender <sup>®</sup> 5000 H 型台秤	美国奥豪斯 OHAUS 公司
Evolution201 型紫外分光光度计	美国 Thermo Scientific 公司
3-18k 型离心机	德国西格玛 SIGMA 公司
VA400 型复杂非物质视觉分析仪	法国 Alpha M.O.S 公司
TD2001 型电子天平	天津市天平仪器有限公司
GXH-3051H 型红外 CO <sub>2</sub> 果蔬呼吸测定仪	北京均方理化科技研究所
GQB-700KB 温度梯度箱	天津捷盛东辉保鲜科技有限公司
电热恒温水浴锅	天津市中环实验电炉有限公司
DDS-307A 型电导率仪	上海仪电科学仪器股份有限公司

## 2.3 西兰花分组与处理

预冷结束后进行分装（表 2）并测定各组西兰花实验指标的初值。波动温度实验每 86 颗西兰花为一组，分别装入聚乙烯（PE）保鲜袋中（12 个/袋），折口装筐后分别放入不同的温度梯度箱内，每 3 d 进行一次指标测定；泡沫箱实验每 72 颗为一组，将分堆后的西兰花分别放入泡沫箱中（5 个/箱），按照表 2 的比例加入碎冰，每 1 d 进行一次指标测定。各指标重复三次平行试验。

表 2 西兰花样品处理方法

实验组名称	处理过程及贮藏条件
泡沫箱低冰	预冷（0 °C，24 h）→装箱（西兰花重量：碎冰重量=1:1.5） →20°C放置，每 1 d 测定一次指标
泡沫箱高冰	预冷（0 °C，24 h）→装箱（西兰花重量：碎冰重量=1:2.5） →20 °C放置，每 1 d 测定一次指标
波动温度 4±1 °C	预冷（0 °C，24 h）→PE 保鲜袋包装后装筐→梯度试验箱放置，每 3 d 测定一次指标
波动温度 4±2 °C	预冷（0 °C，24 h）→PE 保鲜袋包装后装筐→梯度试验箱放置，每 3 d 测定一次指标
波动温度 4±3 °C	预冷（0 °C，24 h）→PE 保鲜袋包装后装筐→梯度试验箱放置，每 3 d 测定一次指标

## 2.4 测定指标及方法

### 2.4.1 色差值

采用 VA400 型复杂非均质视觉分析仪来进行色差值的测定。本实验采用顶部照明的方式，连接仪器后利用双光路分光的原理，用标准的黑板和白板进行校准，调节至曝光修正状态，然后将西兰花放置在白板的中间位置进行拍照采集数据，最后将拍摄结果用内部携带软件转化雷达图进行数据分析。

### 2.4.2 感官评价

从色泽、气味、紧实度、商品品质来衡量西兰花的感官品质，采用 5 分制的标准<sup>[26]</sup>，具体评定标准见表 3。

表3 西兰花感官指标评分标准

质量等级	感官指标			
	色泽	气味	紧实度	商品品质
5	无黄化现象	浓郁的清新气味	整体处于非常坚实的状态	花球商品品质非常好
4	10 %表面黄化	有清新气味	10 %出现松散的状态	花球商品品质较好
3	25 %表面黄化	较淡的清新气味	25 %处于松散的状态	花球商品品质有部分折损
2	50 %表面黄化	明显的异味	50 %处于松散的状态	花球商品品质大打折扣
1	100 %表面黄化	有严重的异味	整体处于较为萎蔫的状态	花球不可食用丧失商品价值

### 2.4.3 失重率的测定

为了减少实验误差，本实验采用差量法进行失重率的测定。即在实验方案设定的各个时间点称取样品的重量  $m_t$ ，将 0 d 时各个样品所测定的重量分别作为贮藏前质量  $m_0$ 。西兰花失重率的计算公式如下：

$$W = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100 \% \quad (1)$$

式中：W 为失重率； $m_0$  为贮藏前质量； $m_t$  为贮藏后质量。

### 2.4.4 叶绿素含量的测定

参考冯晓汀方法<sup>[27]</sup>。取待测西兰花样品，从花球中心向边缘部分，将花蕾用干净的剪刀剪下，放置于案板上，用干净的刀具切成碎末。电子天平精确称取 1.0 g 切碎后的样品放入研钵中，加入少量石英砂和  $\text{CaCO}_3$ ，分 3 次加入 10 ml 无水丙酮+ 5 ml 无水乙醇（2:1）研磨成匀浆至样品组织变白，静置 3~5 min，转移至 50 ml 离心管中，并在离心管外包裹一层铝箔锡纸以避光。在转速为 10000 r/min，温度为 4℃ 的离心机中离心 10 min。离心结束后用 1 cm 光径的比色皿在波长 663 nm 和 645 nm 下测定吸光度，其中以 10 ml 无水丙酮+ 5 ml 无水乙醇作为空白对照，分别测定提取液

的吸光度值 A，重复 3 次，记录数据。计算公式如下：

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = \frac{\rho \times V}{m} \quad (2)$$

式中：叶绿素的质量浓度  $\rho = 20.21 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}$ ，mg/L；

V——样品提取液总体积，ml；

m——样品质量，kg。

#### 2.4.5 呼吸强度的测定

参考龙明秀等<sup>[28]</sup>方法，使用 GXH-3051H 型红外 CO<sub>2</sub> 果蔬呼吸测定仪对西兰花进行呼吸强度测定。用台秤称取 0.1 kg 左右西兰花，放入干燥器中，进行密闭后，打开气泵，计时器计时 10 min，记录 10 min 前后各个实验组 CO<sub>2</sub> 浓度的起始值、终止值，重复 3 次，取平均值。呼吸强度的计算公式如下：

$$R = \frac{44 \times \Delta A \% \times V \times 273}{22.4 \times (273 + t) \times W \times h} \quad (3)$$

式中：R 为呼吸强度， $\Delta A \%$  为干燥器中 CO<sub>2</sub> 的浓度变化值，V 为干燥器的体积 ml，t 为测定环境温度 °C，W 为西兰花样品的质量 kg，h 为测定呼吸的时间。

#### 2.4.6 相对电导率

参考范新光等<sup>[29]</sup>方法，实验开始前，将电导率仪进行预热 1 h。本实验取西兰花的茎部来测定相对电导率，用水果刀除去茎部的外表皮，然后分割为大小均匀的小立方体（边长为 3 mm），用电子天平精确称取 1.0 g 样品，用去离子水清洗 3 次，清洗结束后用滤纸擦干，放入干净的烧杯内，分别加入 50.0 ml 去离子水，在 30 °C 的恒温水浴锅中进行保温 1 h，用电导率仪测定此时的相对电导率为 P<sub>1</sub>。在烧杯外壁用马克笔沿液面划一条细线，放入 100 °C 的恒温水浴锅中加热 15 min，然后迅速冷却至室温，补加去离子水至烧杯外壁的划线处，用电导率仪测定此时的相对电导率为

P<sub>2</sub>。相对电导率的计算公式如下：

$$P = (P_1/P_2) \times 100\% \quad (4)$$

式中：P 为相对电导率；P<sub>1</sub> 为起始电导率；P<sub>2</sub> 为终止电导率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同运输方式对西兰花颜色的影响

表 4 色号与颜色的关系

色号	颜色
1363	适度的橄榄色
1364	浅灰橄榄色
1381	灰绿色
1636	浅灰橄榄色
1637	浅灰橄榄色
1638	深灰色
1652	适度的橄榄绿色
1653	适度的橄榄绿色
1654	灰绿色
1908	适度的橄榄色
1909	浅灰橄榄色
1910	浅灰橄榄色
1925	适度的黄绿色
2181	淡橄榄色

颜色是西兰花等果蔬外观品质及新鲜度的重要评判指标。在运输过程中，西兰花由于温度和运输方式等各种影响，花蕾的颜色会由绿转黄，出现黑斑等现象。表 4 是复杂非均质视觉分析仪中各种色号与颜色的对照关系；图 1 是不同运输方式下西兰花颜色变化的雷达图，半径值代表各个色号所占的比例。

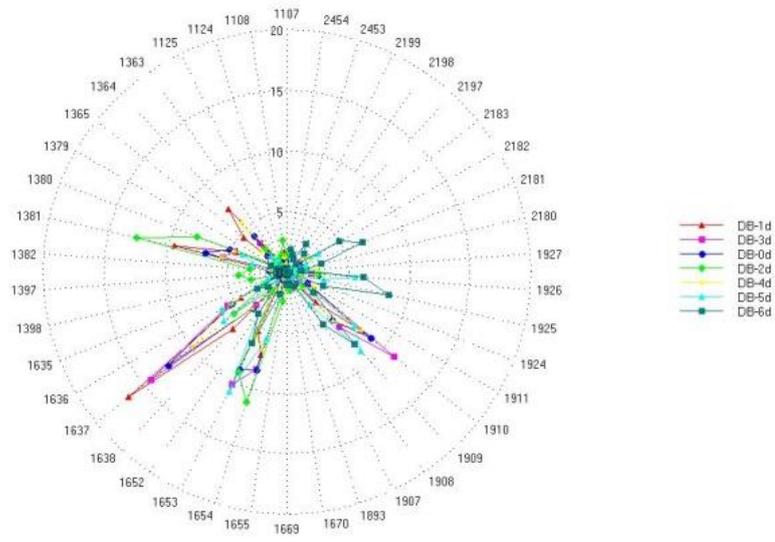


图 1-1 不同运输方式下西兰花颜色的变化

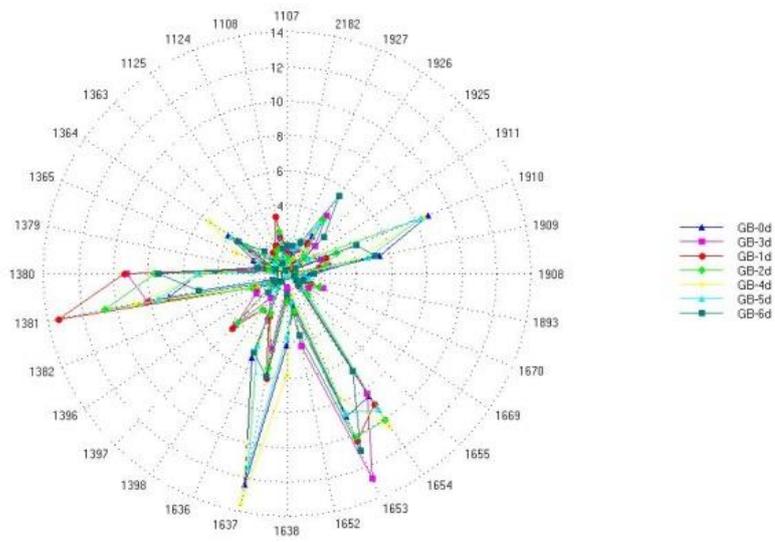


图 1-2 不同运输方式下西兰花颜色的变化

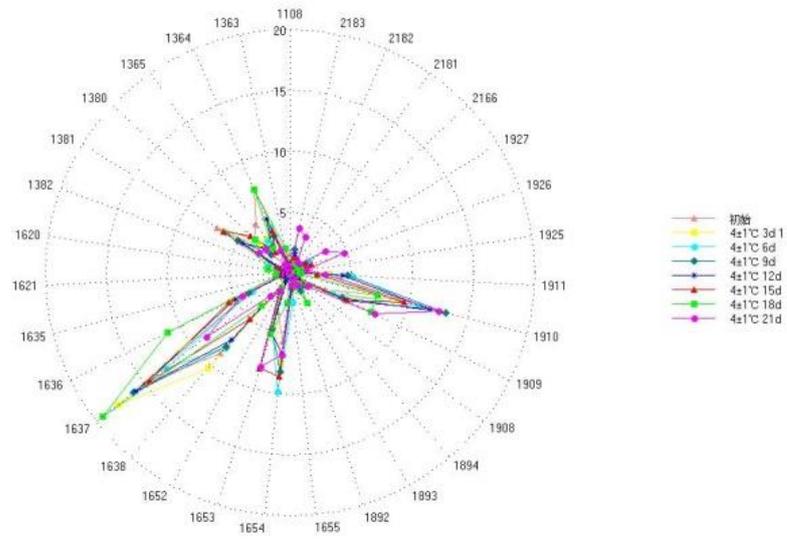


图 1-3 不同运输方式下西兰花颜色的变化

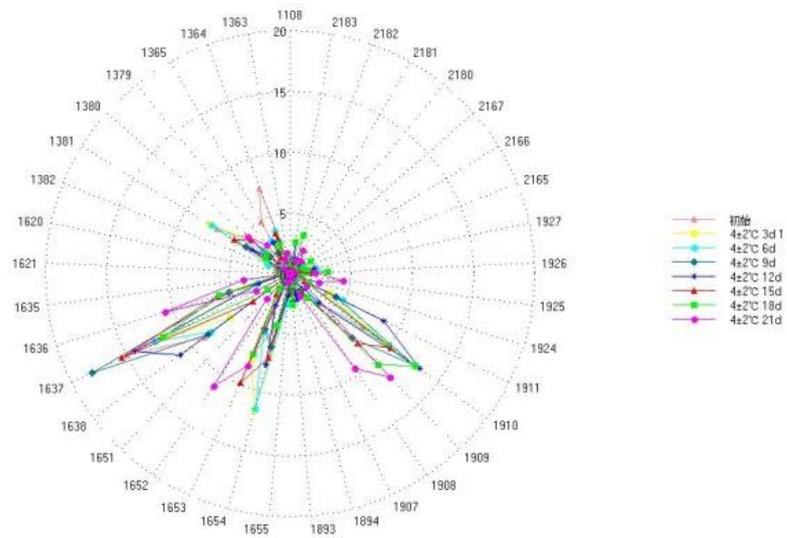


图 1-4 不同运输方式下西兰花颜色的变化



1910,9~18 d 占比较高的是 1637、1910 两种色号,尤其是 1637 色号的峰值为 15 %。

3 组冷藏车运输在 18~21 d 期间,西兰花的各色号主要占比在 5 % 左右。

综合来说,泡沫箱加冰常温运输时,浅灰橄榄色持续的时间较短,相比于冷藏车运输西兰花黄化的速度较快;在  $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  下运输时,18 d 是保证商品品质良好的极限值。3 组冷链运输都能很好地维持西兰花的色泽,很大程度上抑制了西兰花黄化的速度。

### 3.2 不同运输方式对西兰花感官品质的影响

感官品质是评价西兰花是否可以食用最直接简便的描述,也是评价食品质量好坏的重要评判指标。运输过程中,西兰花的感官品质随运输时间的增加而下降,蔬菜的感官品质约束着消费者的购买力。对西兰花进行感官评价结果如图 2 所示。

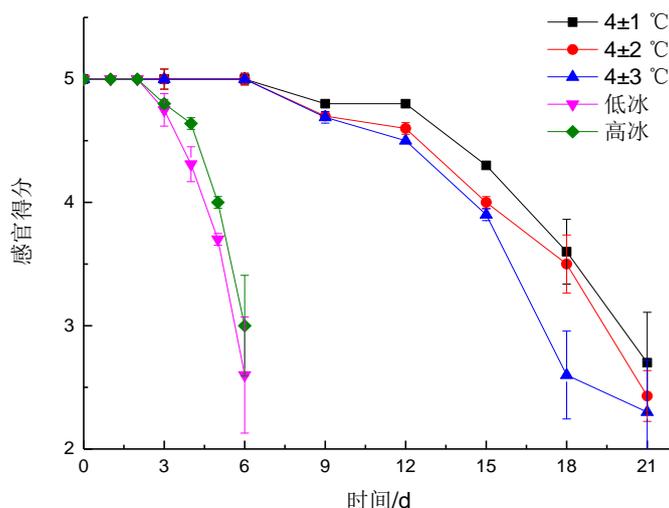


图 2 不同运输方式下西兰花感官品质的变化

由图 2 可以看出,西兰花在运输期间各组的感官得分均呈下降趋势。泡沫箱加冰常温运输时,0~3 d 期间感官评分均在 5 分,西兰花的花球紧实,颜色青绿;3 d 后感官评分急速下降,在第 6 d 时泡沫箱内有明显异味,且花球腐烂严重,茎部的切面褐变严重,低冰组感官得分降至 2.6 分,高冰组降至 3 分,均失去商品价值,但运输期间高冰组的保鲜效果总体优于低冰组。在温度箱模拟的冷藏车运输中, $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  下保鲜效果最好,感官得分下降速度缓慢; $4\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  下保鲜效果最差。12 d 后各组感

官评分呈明显的下降趋势 ( $k_{4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}}=-0.2$ ,  $k_{4\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}}=-0.23$ ,  $k_{4\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}}=-0.26$ ); 在 15 d 内梯度箱各组西兰花色泽青绿鲜亮, 茎部切面无褐变现象, 感官得分均在 4 分以上, 仍能保持较好的运输品质; 在模拟运输 21 d 时, 梯度箱各组西兰花失水严重、有明显的异味、花球边缘腐烂严重, 感官得分降至 2.5 分, 失去商品价值。

综上可得, 泡沫箱加冰运输在第 6 d 商品价值就完全丧失。梯度箱运输时, 第 6 d 各组感官品质仍在 5 分, 说明冷链运输下的保鲜效果明显优于泡沫箱加冰常温运输。 $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  下的冷藏车运输时西兰花的感官评分始终高于其他运输方式下西兰花的感观评分, 且能有效保持西兰花的运输品质和新鲜度, 很大程度上延长了西兰花的货架期。

### 3.3 不同运输方式对西兰花失重率的影响

在运输过程中, 干物质的损耗以及蒸腾失水作用, 会造成西兰花重量的下降。含水量的高低对果蔬口感和品质有很大影响, 西兰花失水过多时, 花球出现松散萎蔫的状态<sup>[30]</sup>。

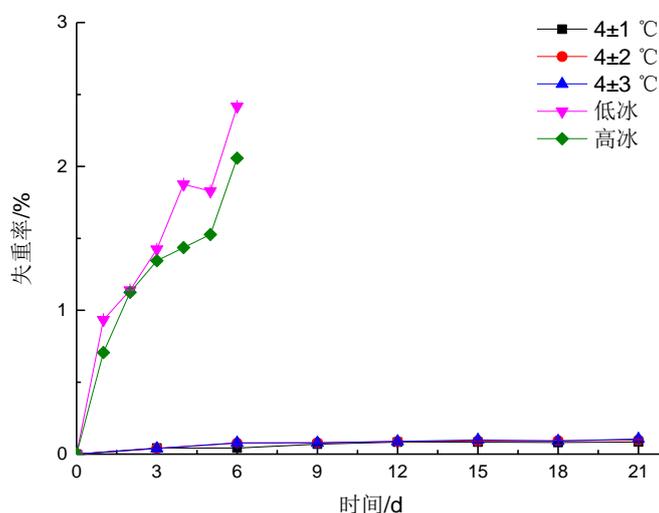


图 3 不同运输方式下西兰花失重率的变化

从图 3 可以看出, 泡沫箱加冰运输组的失重率远远高于冷藏运输组。通常西兰花在室温下放置 1 d 后, 花蕾开始变黄并出现萎蔫状态, 新鲜度变差<sup>[25]</sup>。泡沫箱加冰运输, 西兰花加冰组的失重率均上升较快。其中, 低冰组 1 d 后失重率高达 1.93 %,

原因是冰块融化造成箱内温度升高，花球失水极为严重，失重率上升明显<sup>[31]</sup>；6 d 时低冰组失重率为 2.41 %，高冰组为 2.05 %，由此表明高冰运输在一定程度上减缓了花球中水分降低的趋势。4±1 °C、4±2 °C、4±3 °C 梯度试验箱中西兰花失重率变化几乎完全一致，上升趋势比较不明显，失重率最高在 0.10 %，说明冷链运输下花球的持水能力较高，保鲜效果最佳。

综合来看，泡沫箱加冰运输时的失重率远远高于冷藏车运输的失重率，泡沫箱加冰运输在第 6 d 时失重率较高，商品品质较差；冷藏车运输在第 6 d 时的失重率仅有 0.054 %，花球的含水率高，保持了较好的新鲜度。运输末期冷藏车运输组的失重率仍然很低，说明冷链运输对西兰花的持水能力有较大的保护作用。

### 3.4 不同运输方式对西兰花叶绿素含量的影响

植物进行光合作用必须要有叶绿素的参与，叶绿素在西兰花中的存在形式主要为叶绿素 a 和叶绿素 b<sup>[32]</sup>。西兰花的花球之所以由青绿逐渐变为黄色，与叶绿色不断降解有密切关系。叶绿素的含量可以用来衡量蔬菜的品质，也是蔬菜新鲜度的重要指标。

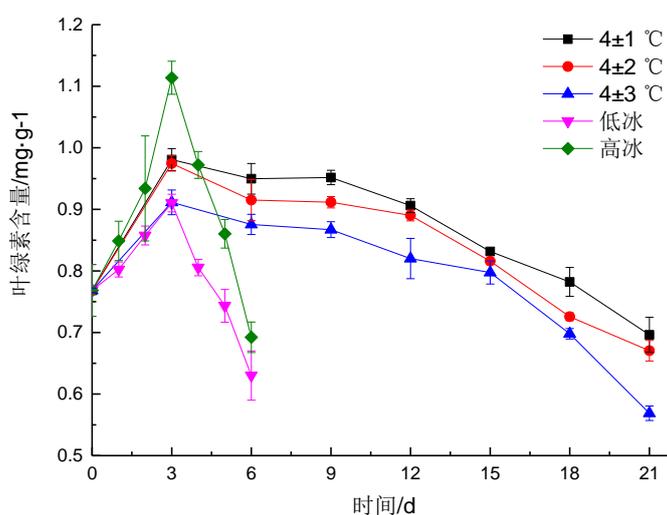


图 4 不同运输方式下西兰花中叶绿素含量的变化

如图 4 所示，不同运输方式下叶绿素含量均呈现先增加后下降的变化趋势，各实验组在 0~3 d 内叶绿素含量均呈不断上升趋势，在第 3 d 时叶绿素含量达到峰值，

西兰花出现十分短暂的返绿现象。可能是由于实验测定前西兰花暴露在光照下过久引起的，光照能够抑制与叶绿素分解有关的酶的活性，未受破坏的组织会继续进行光合作用，导致叶绿素的合成速率高于分解速率，叶绿素的含量会短暂上升<sup>[33-34]</sup>。这种叶绿素含量短暂上升的现象，这与黄宇裴等<sup>[35]</sup>研究现象一致。第3 d时，泡沫箱高冰组的叶绿素含量为  $1.13 \text{ mg g}^{-1}$ ，高于其他运输方式下的叶绿素含量；3 d后各个实验组的叶绿素含量开始下降，泡沫箱加冰组下降的趋势十分剧烈。 $4\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 运输组叶绿素的含量总是高于 $4\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $4\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 运输组的叶绿素含量。 $4\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 梯度组从第9 d开始叶绿素含量下降增快，第21 d时叶绿素含量仍然保持在  $0.74 \text{ mg g}^{-1}$ ，与起始叶绿素含量相差不大。 $4\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 运输组在0~3 d与 $4\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下叶绿素含量的变化完全一致，说明这两种方式在短时间运输中对叶绿素含量变化无差异。 $4\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 运输组叶绿素含量最高值为  $0.91 \text{ mg g}^{-1}$ ，21 d时叶绿素含量降至  $0.57 \text{ mg g}^{-1}$ ，表明此时西兰花的花蕾黄化面积较大。

综上所述，泡沫箱加冰运输时，叶绿素含量下降最快。低冰组运输3 d、高冰组运输4 d时叶绿素能保持较优含量；冷藏车运输比泡沫箱加冰运输时西兰花中叶绿素的整体水平高， $4\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 冷藏车运输，叶绿素的降解速度最慢，花球黄化速度慢，西兰花的新鲜度最高。

### 3.5 不同运输方式对西兰花呼吸强度的影响

西兰花在采摘后的呼吸作用是维持生命活动的重要方式，旺盛的呼吸作用会加速消耗自身的营养物质，导致西兰花的品质下降。不同运输方式对西兰花呼吸强度的影响如图5所示。

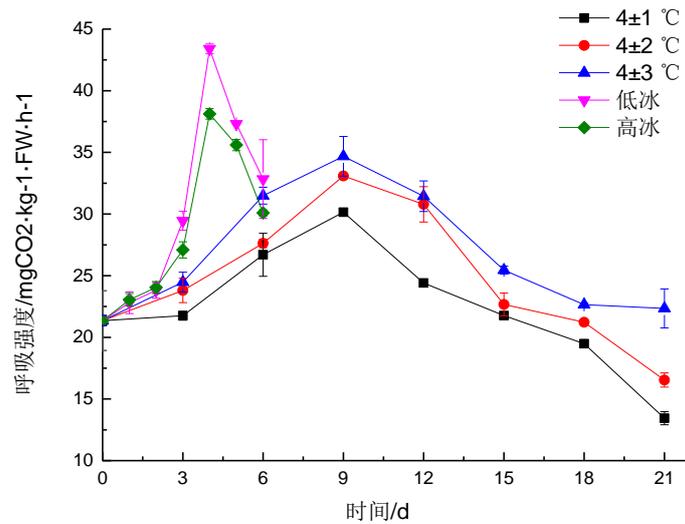


图5 不同运输方式下西兰花呼吸强度的变化

由图5可知,各实验组呼吸强度均先剧烈上升,到达呼吸高峰后开始迅速下降,这与尚海涛等<sup>[32]</sup>的研究结果类似。泡沫箱加冰运输时的呼吸强度整体高于冷藏车运输时的呼吸强度。泡沫箱加冰运输时,第3d便出现很强的呼吸峰,之后又迅速下降,总体表现出跃变型果蔬的呼吸特点<sup>[36]</sup>。泡沫箱加冰组在实验末期时呼吸强度高于初始值,说明西兰花在运输时呼吸较旺盛,商品品质降低的较快。冷藏运输组在实验初期呼吸强度上升的趋势比较缓慢,4±1 °C条件下呼吸强度最低,新鲜度保持最好;4±3 °C运输组呼吸强度最高,新鲜度最差。3个冷藏组均在第9d出现呼吸高峰,4±1 °C下的呼吸峰最低,4±3 °C下的呼吸峰最高。

综合可知,冷藏运输能推迟呼吸峰高峰出现的时间,且峰值明显低于泡沫箱加冰组。由此可知,温度对西兰花的呼吸强度的变化影响较大,低温可显著的延缓西兰花呼吸高峰出现的时间并降低呼吸峰的高度,4±1 °C冷藏车运输能显著降低呼吸强度,减少西兰花在运输过程中自身物质的消耗,更利于西兰花运输时的保鲜。

### 3.6 不同运输方式对西兰花相对电导率的影响

相对电导率又称膜透率,能有效反映细胞膜受损害程度以及果蔬的衰老程度<sup>[37]</sup>。西兰花组织细胞膜的通透性可以用茎部组织的相对电导率来衡量,不同运输方式对西兰花相对电导率的影响如图6所示。

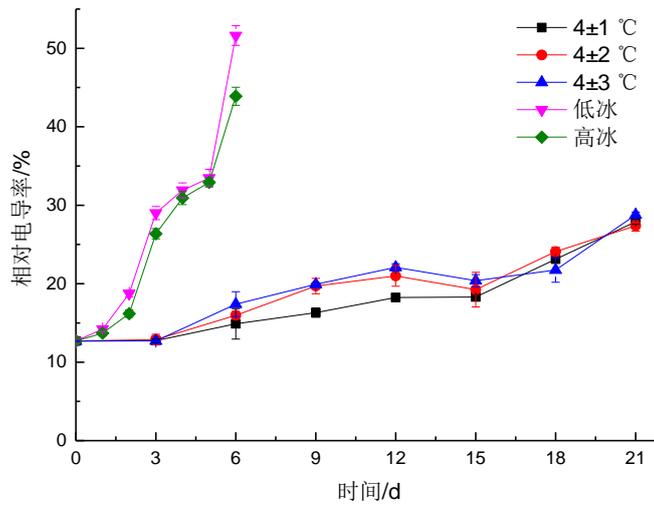


图 6 不同运输方式下西兰花相对电导率的变化

由图 6 可知，各组相对电导率均呈上升的趋势。相比于冷藏车运输组，泡沫箱加冰组在实验初期相对电导率上升趋势便十分明显。6 d 时高冰组的相对电导率为 44.3 %，低冰组为 53.7 %，细胞膜的通透性极大，细胞膜破坏较为严重；冷藏车运输组在 0~3 d 相对电导率未发生变化，3~15 d 上升趋势不明显，细胞膜损坏较少。

综上所述，相比于泡沫箱加冰常温运输，冷藏车运输能明显保护西兰花组织细胞膜的完整性，有效减缓花球的衰老进程。其中  $4\pm 1$  °C 条件下的相对电导率上升幅度最小，这与冯晓汀等<sup>[27]</sup>的研究结果一致。

## 4 结论

(1) 泡沫箱高冰常温运输能维持西兰花物流品质至 4 d，泡沫箱低冰运输仅 3 d 商品价值就明显下降，冷藏运输能在 12 d 内仍能维持西兰花的最佳的新鲜度。实际运输西兰花时，冷藏车运输是西兰花最好的运输方式，若条件缺乏，泡沫箱高冰包装为西兰花长途运输提供了另一种可能。

(2) 泡沫箱加冰常温运输 3 d 内西兰花色泽保持青绿，能保持较好新鲜品质。

4±1 °C、4±2 °C、4±3 °C模拟运输条件下的西兰花物流品质差异并不明显，运输 15 d 西兰花的色泽仍为青绿色，表明可以低温运输在一定程度上有延缓果蔬表面色泽劣变的效果。综合测定指标及成本考虑，建议以 4±2 °C 作为实际运输条件。

## 参考文献

- [1]于皎雪.鲜切西兰花保鲜技术研究进展[A].中国食品科学技术学会（Chinese Institute of Food Science and Technology）.中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集[C].中国食品科学技术学会（Chinese Institute of Food Science and Technology）:中国食品科学技术学会,2018:2.
- [2]李向果.西兰花叶中硫代葡萄糖苷和原花青素的生物学效价评定[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
- [3]修丽丽,钮昆亮.十字花科植物中的硫代葡萄糖苷及其降解产物[J].浙江科技学院学报,2004,16(3):187-189.
- [4]于天颖.我国西兰花物流现状与发展[J].农业经济,2016(09):135.
- [5]Rod B Jones, John D Faragher, Sonja Winkler. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) heads[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 41(1): 1-8
- [6]伍新龄,张娜,张晓洁等.LED 红蓝复合光间歇照射对西兰花贮藏品质的影响[J].保鲜与加工.2015,15（5）:6-10.
- [7]KU V V V, WILLS R B H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 17: 127-132.
- [8]陈功,余文华,徐德琼,李洁芝.净菜加工关键技术研究[J].四川食品与发酵,2004(01):19-22.
- [9]张怡,关文强等.温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响[J].食品研究与开发.2011,32(8):156-161.
- [10]郭香凤,向进乐,李秀珍,张国海,史国安.贮藏温度对西兰花净菜品质的影响[J].农业机械学报,2008(02):201-204.
- [11]林本芳,鲁晓翔,李江阔,陈绍慧.低温驯化结合冰温[J].贮藏对西兰花品质的影响[J].食品科学,2012,33（20）:299-303.
- [12]罗海波,姜丽,余坚勇,周雪婷,宋留丽,傅淋然,郁志芳.鲜切果蔬的品质及贮藏保鲜技术研究进展

[J].食品科学,2010,31(03):307-311.

[13]KE D,KADER A A.Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes[J].Journal of American Society for Horticultural Science,1990,115(5):779-783.

[14]张娜,关文强,张怡.冰温结合气调保鲜膜对西兰花保鲜效果的影响[J].食品科技,2012,37(01):42-44+49.

[15]Ke D, Van Gorsel H, Kader A A. Physiological and quality responses of 'Bartlett' pears to reduced O<sub>2</sub> and enhanced CO<sub>2</sub> levels and storage temperature[J]. J.amer.soc.hort.sci, 1990, 115(3):435-439.

[16]张海芳,赵丽芹,韩育梅.热处理在果蔬贮藏保鲜上的应用[J].农产品加工,2007(1):34-35.

[17]寇莉萍,刘兴华,任亚梅,罗安伟.采后热处理技术在果蔬贮藏保鲜上的应用[J].中国农学通报,2005(11):67-70.

[18]王炳.冷链物流技术应用研究[J].经营与管理,2019(05):137-139.

[19]张传会,张晓东,王爱国.美国农产品冷链物流的现状与分析[J].中国果菜,2015(4):7-11.

[20]张虎.面向品质的葡萄冷链物流技术效率评价系统研究[D].北京:中国农业大学,2017.

[21]崔忠付. 2018 年中国冷链物流回顾与 2019 年趋势展望[J].物流技术与应用,2019,24(S1):14-16.

[22]孙明燕,兰洪杰,黄锋权.冷链定义浅析[J].物流技术,2007,26(10):29-31.

[23]张平,张鹤,陈绍慧等.我国果蔬物流保鲜产业的现状与发展战略思考[J].保鲜与加工,2013,13(4):1-5.

[24]关文强,阎瑞香,陈绍慧等.果蔬物流保鲜技术[M].北京:中国轻工业出版社,2008.

[25]陈观文.西兰花全程冷链物流技术及其关键工艺研究[D].福建农林大学,2018.

[26]张丽,薛妍君,邓金花,杨代凤,董明辉,郁志芳.真空干燥对野生荠菜品质的影响[J].江苏农业科学,2015,43(11):337-339.

[27]冯晓汀.鲜切西兰花保鲜及机理研究[D].华中农业大学,2016.

[28]龙明秀,孙小岚,谭书明.固载 ClO<sub>2</sub> 保鲜剂对米良和贵长猕猴桃的保鲜效果[J].食品工业科技,2015,36(21):327-331.

[29]范新光.鲜切西兰花减压冷藏保鲜技术与货架期预测模型的研究[D].烟台大学,2014.

- [30]宋晨,刘宝林,王欣,等.西兰花在不同贮藏温度下的品质变化及货架期预测[J].食品与发酵工业,2009,11:168-171.
- [31]崔勤,李新丽,翟淑芝.小麦叶片叶绿素含量测定的分光光度计法[J].安徽农业科学,2006,34(10):20-63.
- [32]尚海涛,林旭东,俞静芬,俞越,陈曙颖,凌建刚.不同运输方式对西兰花物流品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(20):322-324+330.
- [33]贾金匣,张蕾.超市蔬菜用阻光包装膜的研究[J].包装工程,2011,32(1):54-59.
- [34]王丹,李雪,马越,赵晓燕.不同清洗剂对鲜切西兰花贮藏期间品质的影响[J].食品与机械,2013,29(05):190-193+240.
- [35]黄宇斐,乔勇进,刘晨霞,朱忠南.气调对西兰花贮藏效果与品质的影响[J].食品与机械,2017,33(06):114-118+200.
- [36]林本芳,鲁晓翔,李江阔,等.低温驯化结合冰温贮藏对西兰花品质的影响[J].食品科学,2012,33(20): 299-303.
- [37] 徐榕,李娜.果实采后生理研究进展[J].中国园艺文摘,2012(2):38-40.

## 不同运输方式对西兰花保鲜效果的影响

### 1 课题的背景与研究现状

#### 1.1 西兰花的研究背景

西兰花又称绿菜花、青花菜，是十字花科芸苔属甘蓝的一个变种。西兰花外形独特，是一种营养物质极为丰富的蔬菜。西兰花中的营养成分十分全面，主要包括碳水化合物、脂肪、蛋白质、矿物质、多种维生素等。据分析，每 100 g 西兰花含蛋白质 4.3 g、脂肪 0.3 g、碳水化合物 5.9 g、VC 113-153 mg、VA 1.2 mg、胡萝卜素 25 mg。研究发现，西兰花具有抗癌作用，主要归功于其中含有的硫代葡萄糖苷类化合物（GRA），硫苷混合物具有更强的抗肿瘤活性，能够诱导人体内生成一种具有解毒作用的酶，能使癌基因失去活性。

采摘后西兰花的主要新陈代谢过程由光合作用变为呼吸作用，使得西兰花在常温下放置时，短时间内很容易失水、花球黄化且紧实度差、出现萎蔫甚至腐烂现象、导致营养成分的流失，使得西兰花的品质丧失。因此，西兰花需要良好的采后处理保鲜技术，以延长货架期以及贮藏的时间，减少运输途中造成的不可逆损失。如今应用比较多的保鲜技术主要包括：低温贮藏、气调保鲜、热激处理等。

#### 1.2 国内外研究状况

冷链物流在冷冻工艺的基础上，采用制冷方式，使冷链物品从生产、流通、销售到消费者的每个环节一直处于规定的温度下，以保证冷链物品的质量。果蔬等生鲜产品，在运输过程中保证新鲜度是极为重要的，温度是影响运输途中商品质量的关键因素，因此对于温度的控制是冷链物流研究的关键点。欧洲等发达国家已经有比较完善的物流体系，美国针对果蔬、水产品的冷链运输率高达 90 %以上，日本在运输冷链商品时，选择冷冻车或保冷车进行运输，车内记录器检测温度的变化，保证了商品在运输途中的低温环境，近年来我国冷链物流飞速发展，但在冷藏设备、技术水平、管理体系、信息技术处理等方面仍待提升。由于设备不完善、保鲜技术落后、品质监控和评价体系的缺乏，我国物流损耗率高达 25%-30%，年经济损失高达上千亿。对比来看，我国在冷链物流的发展上仍有较大的空间。

### 1.3 课题研究目的与意义

我国是农业大国，果蔬等生鲜农产品的产量较多，越来越成为人们生活消费的必需品，消费者对生鲜产品的质量及新鲜程度有更高的要求。西兰花由于风味独特、营养价值高而逐渐成为餐桌上不可缺少的菜肴，但其生产销售的复杂特殊性、采后易腐性对物流运输提出了较高要求。因此，寻求一种便捷有效、适应西兰花运输需求的方法势在必行。本研究通过模拟西兰花加冰常温运输、冷藏车运输两种方式，测定其感官评价、色差值、失重率、叶绿素含量、呼吸强度、相对电导率等指标的变化规律，分析西兰花在不同运输方式下的商品品质和保鲜效果，从而找出运输的最佳条件，为我国西兰花实际运输销售提供理论依据和技术支持。

## 2 研究内容和研究方法

### 2.1 研究内容

将大小均匀且花球紧密的西兰花作为实验材料，0℃充分预冷 24 h，预冷结束后进行分装（表 3）并测定各组西兰花实验指标的初值。波动温度实验每 86 颗西兰花为一组，将整理后西兰花分别装入聚乙烯（PE）保鲜袋中（12 个/袋），折口装筐后分别放入不同的温度梯度箱内，每 3 d 进行一次指标测定；泡沫箱实验每 72 颗为一组，将分堆后的西兰花分别放入泡沫箱中（5 个/箱），加入碎冰，每 1 d 进行一次指标测定。

### 2.2 研究方法

具体指标的测定：参考张丽等方法，建立感官评价表；采用 VA400 型复杂非均质视觉分析仪进行色差值测定；失重率、叶绿素含量（参考曹建康、冯晓汀的方法）；呼吸强度（参考龙明秀等方法）；相对电导率（参照范新光等方法）。

## 3 预计可获得的成果

- （1）泡沫箱加高冰常温运输比泡沫箱加低冰常温运输的商品品质好
- （2）温控箱中西兰花的保鲜效果优于泡沫箱加冰常温运输，西兰花的品质保持较好，变质和腐败率较低

## 4 工作进度计划

2018 年 11 月-2018 年 12 月：查阅国内外文献以及课题相关书籍、资料，熟悉课题研究背景。

2019 年 1 月-2019 年 3 月：撰写开题报告，进行毕业论文开题。

2019 年 3 月-2019 年 4 月中下旬：制定毕业论文实验计划，按照毕业论文实验计划开始实验

工作，并定期进行实验汇报。

2019年4月中下旬-2019年5月：整理实验数据、实验结果，提交毕业论文提纲，撰写毕业论文，准备毕业论文答辩。

## 致谢

大学四年对食品专业的学习让我受益颇多，学习了各种食品的性质及功效，也培养了自己对食品研发行业的热爱。毕业论文的实验部分，培养了我动手操作的能力，也让我懂得了做学术必须要有严谨的态度。

在我完成论文的整个过程，首先感恩学院能提供较多的仪器与设备，使我的实验部分能顺利进行。还要对我论文的指导老师关文强教授表示衷心的感谢，论文的选题、实验方案的确定、实验进度指导、论文的撰写，每个环节关老师都给予了指导与建议。关老师对待科研的严谨态度，渊博的学识，以及对学生的关爱都深深影响着我。

其次，感谢实验室里的学姐们耐心地教我使用不熟悉的仪器。感谢史萌学姐对我的耐心指导，在预实验部分帮助我反复确定了实验的流程与步骤，预实验部分的成功帮我提高了正式实验的效率。包括实验的数据处理方式，以及论文的修改部分，史萌学姐给了我巨大的帮助。另外，对天津商业大学生物技术与食品科学学院各实验室仪器保管人表示感谢，为我使用各种仪器提供了重要支持。感谢帮助我修改格式、相互激励督促的同学们，感谢我的家人对我学业上的支持。

最后，感谢所有给予引用权的资料、文献的所有者，并对参加本论文评审、答辩的所有老师表示衷心的感谢。

本论文完成于天津商业大学生物技术与食品科学学院。