

半导体冷藏箱和丙烷冷藏箱在果蔬配送中的冷藏效果

王信康^{1,3}, 尚夔栋^{2,3}, 刘升^{*1,2,3}

(1. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 3. 农业农村部 蔬菜采后加工重点实验室/北京市果蔬贮藏与加工重点实验室/北京市农林科学院 国家蔬菜工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 作者研究了不同配送方法对果蔬营养和品质的影响,以结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果为研究对象,预冷后分别用丙烷冷藏箱和半导体冷藏箱冷藏配送 24 h,无冷链常温配送为对照,进行感官评价和营养成分测定。结果表明:丙烷冷藏箱冷藏配送、半导体冷藏箱冷藏配送、常温配送的果蔬感官评价分别为 8.3~8.7、8.2~8.6、7.1~8.0,失重率分别为 0.23%~2.67%、0.28%~2.21%、0.97%~4.88%;丙烷冷藏箱冷藏配送的果蔬品质最佳,失重率最低,其结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果的 VC 质量分数分别为 1.09、1.48、5.65、5.54 mg/hg,可溶性固形物分别为 3.4、4.17、16.2、15.44 mg/g,可溶性蛋白质分别为 0.021、0.027、0.091、0.11 mg/g,营养成分保持率最高。丙烷冷藏箱和半导体冷藏箱冷藏配送的果蔬单位碳排放分别为 65.4 g/kg 和 300 g/kg,丙烷冷藏箱的碳排放低于半导体冷藏箱。

关键词: 果蔬;丙烷冷藏箱;半导体冷藏箱;冷藏配送;营养品质;碳排放

中图分类号:TB 56

文章编号:1673-1689(2023)10-0024-06

DOI:10.12441/spyswjs.20220319001

Study on Refrigerated Distribution of Fruits and Vegetables by Semiconductor and Propane Refrigerator

WANG Xinkang^{1,3}, SHANG Kuili^{2,3}, LIU Sheng^{*1,2,3}

(1. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Beijing Key Laboratory of Fruit and Vegetable Storage and Processing/National Engineering Research Center for Vegetables, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Fruits and vegetables are perishable at high temperature, making it vital to cool them down rapidly and transport them through the cold chain circulation immediately after harvest. The authors aimed to study the effects of different distribution methods on the nutrition and quality of fruits and vegetables, using lettuce, cucumber, grape, and mango as the research objects. After precooling, the samples were refrigerated and distributed in both semiconductor refrigerated cabinets and propane refrigerated cabinets for 24 hours, and compared with the non-refrigerated samples distributed at normal temperatures. Sensory evaluation and nutrient analysis were conducted. The results showed that the sensory evaluation of fruits and vegetables under propane refrigerator

收稿日期: 2022-03-19 修回日期: 2022-04-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0401305);北京市科技计划项目(Z191100008619004)。

* 通信作者: 刘升(1960—),男,研究员,硕士研究生导师,主要从事果蔬冷链技术装备及制冷工程研究。E-mail:liusheng@nercv.org

distribution, semiconductor refrigerator distribution and normal temperature distribution were 8.3~8.7, 8.2~8.6 and 7.1~8.0 °C, respectively. The rates of weight loss ranged from 0.23% to 2.67%, 0.28% to 2.21% and 0.97% to 4.88%, respectively. Propane refrigerated cabinets provided optimal quality and minimal weight loss in the refrigerated distribution of fruits and vegetables, with lettuce, cucumber, grape, and mango having VC contents of 1.09, 1.48, 5.65, and 5.54 mg/100 g respectively; soluble solids contents of 3.4, 4.17, 16.2, and 15.44 mg/g respectively; soluble protein contents of 0.021, 0.027, 0.091, and 0.11 mg/g respectively; and the highest retention of nutritional components. The carbon emissions per unit mass of fruits and vegetables distributed by propane and semiconductor refrigeration were measured at 65.4 g/kg and 300 g/kg, respectively. The carbon emissions from propane refrigerated cabinets were lower than those from semiconductor refrigerated cabinets.

Keywords: fruits and vegetables, propane refrigerator, semiconductor refrigerator, refrigerated distribution, nutritional quality, carbon emission

我国果蔬产量居世界第一,但由于果蔬高温易腐,缺乏冷链每年造成高额经济损失^[1]。目前果蔬大多还是采用泡沫箱+冰瓶、泡沫箱+蓄冷剂的方法进行配送^[2]，“最后一公里”冷链断链、控温不精准等问题亟待解决^[3]，部分采用 R404A 等制冷系统冷藏配送箱进行配送，虽能精准控温但不绿色环保。我国《“十四五”冷链物流发展规划》指出：随着冷链快递、“生鲜电商+冷链宅配”、“中央厨房+食材冷链配送”配送新模式普及，需加快推进数字化、绿色化冷链物流装备研发，加强可再生能源、环保制冷剂应用，聚焦产地“最先一公里”和城市“最后一公里”，补齐两端冷链物流设施短板^[4]。

张秋玉等研究了蓄冷保温箱冷链配送效果，发现果蔬配送效果较好但保温箱缝隙存在漏热问题^[5]，而半导体冷藏箱配送比蓄冷箱营养品质保持更好。

普通制冷包含 R22、R404A、半导体、丙烷等制冷方式，半导体制冷具有体积小、质量轻、绿色环保等优点，可实现快速制冷和精确控温^[6]。丙烷作为天然绿色制冷剂，对环境污染几乎为零，且相同工况下较 R134a、R404A 等 HFCs 制冷剂单位质量制冷量高^[7-8]。作者选用半导体和丙烷冷藏配送箱，符合国家双碳政策和绿色冷链的目标，也是国际冷链物流的发展趋势。半导体冷藏配送箱容积小适用于宅配，丙烷双温区冷藏物流箱容积较大适用于搭配电动三轮车进行城市“最后一公里”配送。

果蔬种类繁多，可分为冷敏性果蔬和非冷敏性果蔬两大类，非冷敏性果蔬适宜温度为 0~4 °C，冷

敏性果蔬适宜温度为 7~15 °C。作者研究了 3 °C 和 7 °C 果蔬压差预冷后丙烷双温区冷藏物流箱和半导体冷藏配送箱冷藏配送的果蔬营养品质变化及碳排放。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果：购于北京市农贸市场；钼酸铵、草酸、浓硫酸、偏磷酸-乙酸、丙酮、乙醇、考马斯亮蓝 G-250：北京澜盛达生物技术有限公司产品。

1.2 仪器与设备

半导体冷藏配送箱、丙烷双温区冷藏物流箱：北京市农林科学院研制；CYYL-36 型压差预冷装备：日本樽崎产业株式会社产品；WZYWM-1 温度自记仪：北京天建华仪科技发展有限公司产品；YDHI91610C 型多点测温仪：北京昆仑通态自动化软件科技有限公司产品；UWA-K-015 型电子天平：北京华瑞京科商贸中心产品；D-37520 台式高速冷冻离心机：德国 Thermo Fisher 公司产品；HWSY11-K 恒温水浴锅：北京市长风仪器仪表公司产品；UV-1800 紫外可见分光光度计：日本岛津公司产品。

1.3 实验方法

半导体制冷芯片的工作原理如下：当一块 N 型半导体和一块 P 型半导体连结成电偶对时，在这个电路中接通直流电流后，会产生能量转移，电流由 N 型元件流向 P 型元件接头处吸收热量，为冷端，由 P 型元件流向 N 型元件接头处释放热量，为热端。半

导体冷藏箱配送箱采用 2 个 TEC1-12703 型号的半导体制冷芯片制冷,位置如图 1 所示。

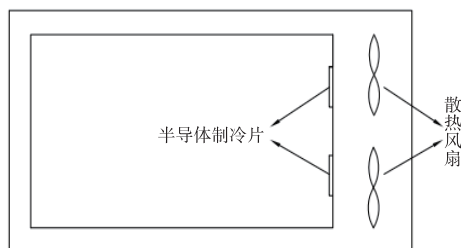


图 1 半导体制冷片位置

Fig. 1 Position of semiconductor refrigeration chips

将结球生菜、葡萄、黄瓜、芒果分别从初温 18.9、19.9、19.1、19.3 °C 压差预冷至 3、3、13、13 °C。丙烷双温区冷藏物流箱组将冷敏性果蔬黄瓜、芒果置入 7 °C 温区,非冷敏性果蔬结球生菜、葡萄置入 3 °C 温区;半导体冷藏配送箱组将冷敏性果蔬黄瓜、芒果和非冷敏性果蔬结球生菜、葡萄分别置入 2 台装备中,设置 7 °C 和 3 °C;常温组不预冷放置于 25 °C 库模拟配送,均配送 24 h,每 8 h 取样做感官评价并测定维生素 C (VC)、叶绿素、可溶性固形物 (TSS) 和可溶性蛋白质含量,配送过程测定果蔬中心温度。

1.3.1 感官评价方法 感官评价标准参考 Cantwell 的评价方法^[9],感官评分为 1~9 分。

1.3.2 失重率测定 失重率用称量法测定,重复 3 次。

1.3.3 维生素 C 质量分数测定 采用钼蓝比色法测定^[10]。

1.3.4 叶绿素质量分数测定 采用丙酮-乙醇法测定^[11]。

1.3.5 可溶性固形物质量分数测定 取少量样品研磨后经纱布过滤取汁采用手持折光仪测定。

1.3.6 可溶性蛋白质质量分数测定 采用考马斯亮蓝法测定^[12]。

1.3.7 碳足迹计算 根据 1 kW·h 的碳排放^[13]计算。

1.3.8 数据分析 采用 Excel 2019 对数据进行处理,Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 果蔬配送温度变化

常温组果蔬温度在 24.6~25.6 °C 范围内波动。

由图 2 和图 3 可得,外界环境温度对箱内果蔬温度影响很小。丙烷双温区冷藏物流箱果蔬温度在 2.7~3.3 °C、7.1~7.9 °C 范围波动,半导体冷藏配送箱

果蔬温度在 2.9~3.1 °C、7.5~8.0 °C 范围波动,因为丙烷双温区冷藏物流箱容积大,且丙烷物流箱采用间歇制冷,即箱内温度达到设定温度值时停止制冷,高于设定值时又开始制冷,更节能。

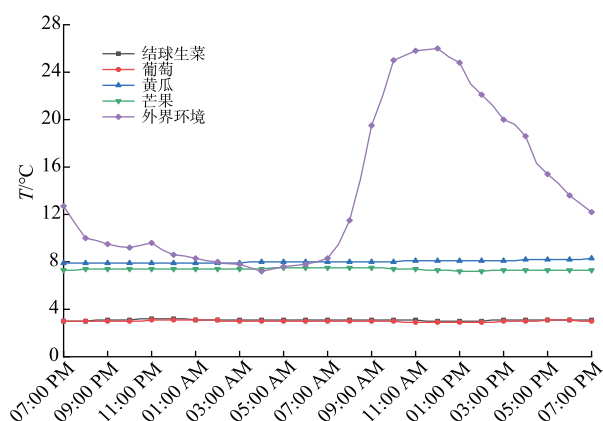


图 2 半导体冷藏配送果蔬温度变化

Fig. 2 Temperature changes of fruits and vegetables distributed in semiconductor refrigerator

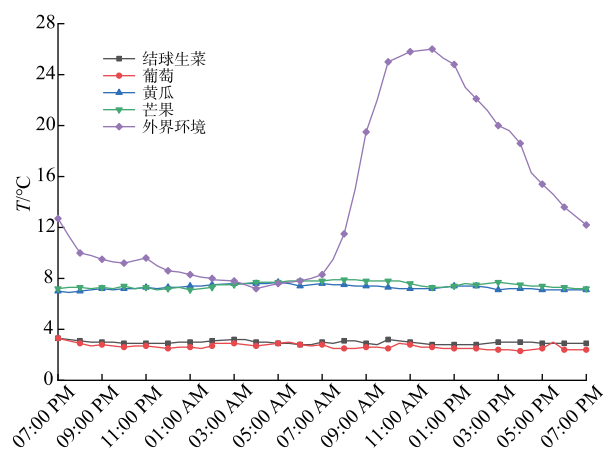


图 3 丙烷冷藏配送果蔬温度变化

Fig. 3 Temperature changes of fruits and vegetables distributed in propane refrigerator

2.2 果蔬感官评价

由图 4 可得丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送 24 h,果蔬感官评价均高于 8.2,而常温配送果蔬感官评价最高才为 8.0。丙烷冷藏、半导体冷藏、常温配送 24 h,结球生菜、黄瓜感官评分分别为 8.3、8.2、7.6、8.5、8.3、7.1。24 h 短时间冷藏配送和常温配送差异较明显,冷藏配送能有效保持果蔬感官品质。

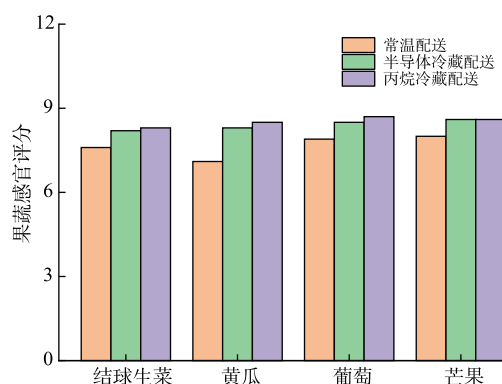


图4 不同配送方式果蔬感官评价

Fig. 4 Sensory evaluation of fruits and vegetables in different distribution methods

2.3 果蔬失重率

失重率作为衡量果蔬新鲜程度的判定依据,超过5%果蔬失鲜严重^[14]。由图5可知经丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送、常温配送24 h,结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果失重率分别为2.22%、2.21%、4.88%,2.1%、1.72%、4.75%,0.42%、0.51%、1.83%、0.22%、0.28%、1.47%。从图5可以看出,冷藏配送失重率显著低于常温配送,常温配送结球生菜、黄瓜失重率已接近商品性界限。丙烷和半导体冷藏配送失重率差异不明显,丙烷冷藏配送青花菜和黄瓜失重率较半导体冷藏配送稍高,因为丙烷冷藏物流箱内设有冷风进口,冷风加剧了果蔬的失水,配送时结合包装能更好地减缓果蔬失重。

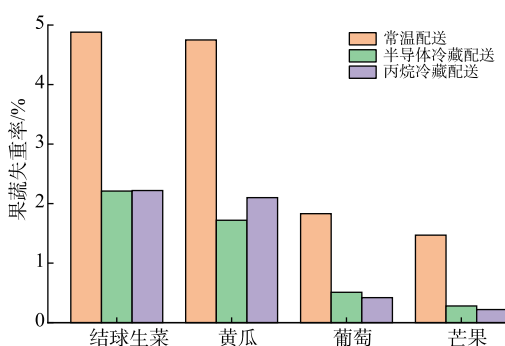


图5 果蔬不同配送方式失重率

Fig. 5 Weight loss rate of fruits and vegetables in different distribution methods

2.4 果蔬VC质量分数变化

VC具有抗氧化作用,是重要的营养指标。由图6知,随着配送时间增加,果蔬VC质量分数呈下降趋势。丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送、常温配送24 h,结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果VC质量分数分别为1.09、1.08、0.95、1.48、1.46、1.21、5.65、5.60、4.90、5.54、5.50、5.10 mg/hg,3种配送方式保留率分别为87%~91%、86%~90%、73%~85%,冷藏配送果蔬VC质量分数高于常温配送,丙烷和半导体冷藏配送VC质量分数差异不显著。冷链配送能有效抑制果蔬VC的降解。

为1.09、1.08、0.95、1.48、1.46、1.21、5.65、5.60、4.90、5.54、5.50、5.10 mg/hg,3种配送方式保留率分别为87%~91%、86%~90%、73%~85%,冷藏配送果蔬VC质量分数高于常温配送,丙烷和半导体冷藏配送VC质量分数差异不显著。冷链配送能有效抑制果蔬VC的降解。

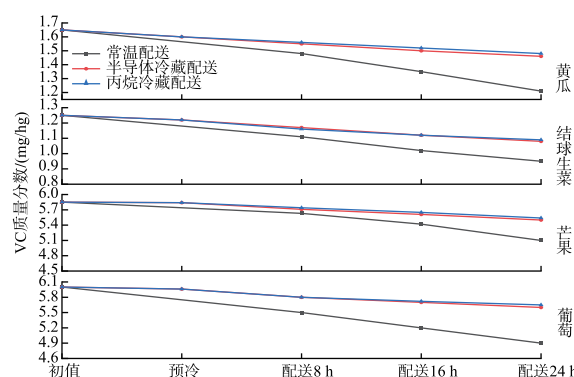


图6 果蔬不同配送方式VC质量分数变化

Fig. 6 Changes of VC content of fruits and vegetables in different distribution methods

2.5 果蔬可溶性蛋白质质量分数变化

可溶性蛋白质是判定植物组织衰老程度的重要指标,由图7可知,随着配送时间的增加,果蔬可溶性蛋白质质量分数呈下降趋势。丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送、常温配送24 h,结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果可溶性蛋白质质量分数分别为0.021、0.020、0.019、0.027、0.0265、0.023、0.091、0.090、0.080、0.110、0.100、0.098 mg/g,保留率分别为87%~92%、87%~90%、74%~80%,冷藏配送中,果蔬可溶性蛋白质质量分数明显高于常温配送,而丙烷和半导体冷藏配送中可溶性蛋白质质量分数差异不明显。

2.6 果蔬TSS质量分数变化

可溶性固形物包含可溶性糖类、氨基酸、矿物质等,是评价果蔬品质的重要指标,由图8可知,随配送时间增加,果蔬TSS质量分数呈下降趋势。丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送、常温配送24 h,结球生菜、黄瓜、葡萄、芒果TSS质量分数分别为3.40、3.36、3.01、4.17、4.10、3.60、16.20、16.00、14.30、15.44、15.41、14.83 mg/g,保留率分别为87%~95%、86%~93%、76%~88%,冷藏配送果蔬TSS质量分数明显高于常温配送,丙烷和半导体冷藏配送果蔬TSS质量分数差异不明显。冷链流通能抑制果蔬可溶性固形物的流失,保持果蔬品质。

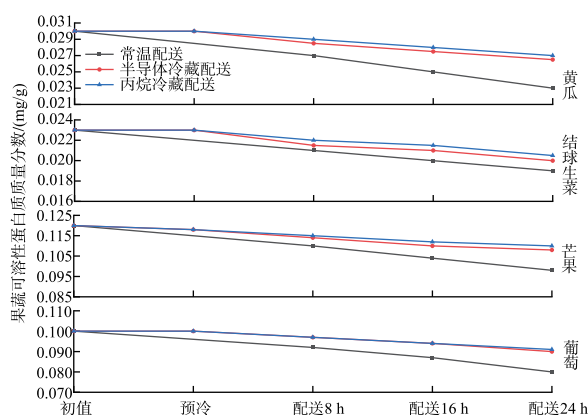


图7 果蔬不同配送方式可溶性蛋白质质量分数变化

Fig. 7 Changes of soluble protein content of fruits and vegetables in different distribution methods

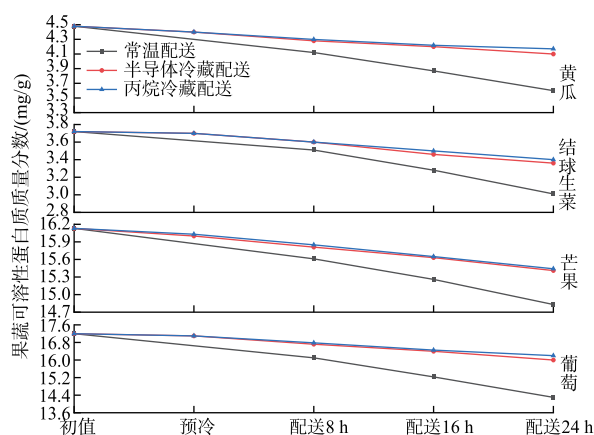


图8 果蔬不同配送方式 TSS 质量分数变化

Fig. 8 Changes of TSS content of fruits and vegetables in different distribution methods

2.7 果蔬叶绿素质量分数变化

叶绿素是衡量绿色果蔬品质的最重要指标之一。由图9可知,随配送时间增加,果蔬叶绿素质量分数呈下降趋势。丙烷冷藏配送、半导体冷藏配送、常温配送24 h,结球生菜、黄瓜叶绿素质量分数分别为0.027、0.026、0.023、0.061、0.060、0.051 mg/g,保留率分别为84%~87%、83%~87%、73%~83%,冷藏配送果蔬叶绿素质量分数高于常温配送,丙烷和半导体冷藏配送叶绿素质量分数差异不明显。冷链流通能抑制结球生菜和黄瓜的叶绿素分解。

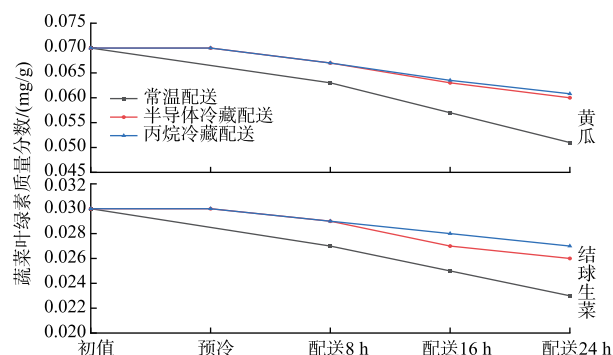


图9 蔬菜不同配送方式叶绿素质量分数变化

Fig. 9 Changes of chlorophyll content of vegetables in different distribution methods

2.8 碳足迹计算

丙烷双温区冷藏物流箱载重36 kg配送24 h用电量3 kW·h,两台半导体冷藏配送箱满载共15.7 kg配送24 h总用电量6 kW·h,配送1 kg果蔬耗能分别为0.083、0.38 kW·h。丙烷双温区冷藏物流箱和半导体冷藏配送箱单位配送碳排放为65.4、300 g/kg,常温流通虽然没耗能,但果蔬品质降低,营养流失,商品价值降低。丙烷双温区冷藏物流箱若满载可载重100 kg果蔬,1 kg果蔬冷藏配送碳排放仅23.55 g。

3 结语

半导体冷藏箱和丙烷冷藏箱用于果蔬冷藏配送,不仅作为绿色制冷方式对环境无破坏,同时解决了果蔬控温不精准和冷链“断链”问题。用半导体和丙烷冷藏配送比常温配送的果蔬感官品质更好,营养物质保持更高,具有很高的商品价值。因此,半导体冷藏箱和丙烷冷藏箱是非常理想的果蔬冷链物流配送装备。采用丙烷双温区冷藏物流箱冷藏配送果蔬感官评价最高,营养损失最少,配送时结合包装配送效果更佳;同时解决了冷敏性和非冷敏性果蔬的配送问题;配送1 kg果蔬能耗0.083 kW·h,碳排放65.4 g,实现了冷藏配送绿色低碳“双碳”的目标。

参考文献:

[1] 邵海燕,杨海龙,陈杭君,等.生鲜果蔬物流及包装技术与展望[J].食品与生物技术学报,2020,39(8):1-9.

GAO H Y, YANG H L, CHEN H J, et al. Progress and prospect of logistics and preservation technology on fresh fruit and vegetables[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2020, 39(8): 1-9. (in Chinese)

- [2] 赵晓晓,夏铭,管维良,等.蓄冷技术在生鲜果蔬贮藏和运输中的研究与应用[J].保鲜与加工,2020,20(1):217-225.
ZHAO X X,XIA M,GUAN W L,et al. Research and application of cool storage technology in storage and transportation of fresh fruits and vegetables[J]. **Storage and Process**,2020,20(1):217-225. (in Chinese)
- [3] 王雪松,谢晶.蓄冷保温箱的研究进展[J].食品与机械,2019,35(8):232-236.
WANG X S,XIE J. Research progress of cold storage type incubator[J]. **Food & Machinery**,2019,35(8):232-236. (in Chinese)
- [4] 国务院办公厅.国务院办公厅关于印发“十四五”冷链物流发展规划的通知[J].中华人民共和国国务院公报,2022(1):15-32.
Circular of the general office of the state council on printing and issuing the development plan for cold chain logistics during the 14th five-year plan period[J]. **Gazette of the State Council of the People's Republic of China**,2022(1):15-32. (in Chinese)
- [5] 张秋玉,臧润清,刘升,等.可装卸式蓄冷保温箱冷链运输效果[J].制冷学报,2017,38(6):105-110.
ZHANG Q Y,ZANG R Q,LIU S,et al. Effect of cold chain transportation on assemble-able cold-storage incubator[J]. **Journal of Refrigeration**,2017,38(6):105-110. (in Chinese)
- [6] TASSOU S A,LEWIS J S,GE Y T,et al. A review of emerging technologies for food refrigeration applications[J]. **Applied Thermal Engineering**,2010,30(4):263-276.
- [7] 刘英志,刘业凤,卞伟,等.R290 制冷剂在商用冷柜上的应用研究[J].制冷技术,2012,32(1):58-60.
LIU Y Z,LIU Y F,BIAN W,et al. Refrigerant performance study on R290 used in commercial refrigerators[J]. **Chinese Journal of Refrigeration Technology**,2012,32(1):58-60. (in Chinese)
- [8] 邱飞,马超.R290 制冷剂在商用冷柜上的应用研究[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2015(10):198.
QIU F,MA C. Study on application of R290 refrigerant in commercial refrigerator[J]. **Management & Technology of SME**,2015(10):198. (in Chinese)
- [9] CANTWELL M I,THANGAIAH A. Acceptable cooling delays for selected warm season vegetables and melons[J]. **Acta Horticulturae**,2012(934):77-84.
- [10] 李军.钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J].食品科学,2000,21(8):42-45.
LI J. Study on molybdenum blue method of L-VC test by spectrometry[J]. **Food Science**,2000,21(8):42-45. (in Chinese)
- [11] SHI J Y,GAO L P,ZUO J H,et al. Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life,enhances antioxidant enzyme activity,and inhibits chlorophyll-degradation[J]. **Postharvest Biology and Technology**,2016,116:98-104.
- [12] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [13] 李斌,刘斌,陈爱强,等.基于冷链模式的某果蔬碳足迹计算[J].制冷学报,2021,42(2):158-166.
LI B,LIU B,CHEN A Q,et al. Calculation of carbon footprint of fruits and vegetables based on cold chain model[J]. **Journal of Refrigeration**,2021,42(2):158-166. (in Chinese)
- [14] 饶先军,刘升,颜丽萍.聚乙烯袋包装和 0℃冷藏对结球生菜品质的影响[J].食品与机械,2012,28(2):177-179.
RAO X J,LIU S,YAN L P. Effect of polyethylene bag package and cold storage at 0℃ on the quality of lettuce[J]. **Food & Machinery**,2012,28(2):177-179. (in Chinese)