

在流通配送过程中草莓果实品质变化研究

陈梦含¹, 袁树枝¹, 岳晓珍¹, 王清¹, 王福东², 郑淑芳¹

(1.北京市农林科学院 a.农产品加工与食品营养研究所 b.农业农村部蔬菜产后处理重点实验室
c.果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 北京 100097; 2.北京市农业技术推广站, 北京 100029)

摘要: **目的** 为草莓流通配送提供关键技术参数, 以期助力草莓电商产业高质量发展。**方法** 以草莓为试材, 采用 PET 盒/泡沫内衬托盘包装, 通过在实验条件下模拟直配、商超和电商 3 种流通配送模式分析草莓的生理特性和营养品质特性, 探究不同流通配送模式下品质变化规律。**结果** 草莓在电商流通配送模式下的呼吸强度和乙烯释放速率均高于直配模式, 但与商超无明显差异。除花色苷含量在电商模式下增高外, 其他营养品质, 如可溶性固形物、可溶性蛋白、抗坏血酸、总酚、总抗氧化能力、可滴定酸等在 3 种配送模式下无明显差异。草莓的呼吸强度和乙烯释放量随着配送时间的延长而升高。草莓营养品质在较短配送时长内变化不大。**结论** 在适宜温度 (18~20 °C) 及防震包装的情况下, 电商配送可以很好地维持草莓的营养品质, 配送过程中短时轻微 (15 min, 200 r/min) 的机械振动对草莓的生理特性影响较小。

关键词: 草莓; 流通配送; 电商; 品质

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)05-0098-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.05.013

Quality Characteristics of Strawberries in Circulation and Distribution

CHEN Meng-han¹, YUAN Shu-zhi¹, YUE Xiao-zhen¹, WANG Qing¹,
WANG Fu-dong², ZHENG Shu-fang¹

(1. a. Institute of Agri-food Processing Nutrition, b. Key Laboratory of Vegetable Postproduction Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, c. Beijing Key Laboratory of Fresh Saving and Processing of Fruit and Vegetable Agricultural Products, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;
2. Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China)

ABSTRACT: The work aims to provide key technical parameters for strawberries during circulation and distribution, to contribute to high-quality development of e-commerce on strawberries. The physiological and quality characteristics of strawberries packaged by PET box containing a foam tray were analyzed in direct delivery, super market and e-commerce by laboratory model, respectively. Respiration intensity and ethylene production rate of strawberries in e-commerce were significantly higher than that in direct delivery, but had not obvious difference with that in super market. Except that anthocyanin content of strawberries was the highest in e-commerce, other nutritional qualities including total soluble solid, soluble protein, ascorbic acid, total phenol, total antioxidant capacity and titratable acid had not sig-

收稿日期: 2022-12-29

基金项目: 北京市乡村振兴项目 (20220511-02); 现代农业产业技术体系“北京市设施蔬菜创新团队”项目 (BAIC01-2022-22); 北京市农林科学院青年科研基金 (QNJJ202235); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助项目 (CARS-23)

作者简介: 陈梦含 (1999—), 女, 硕士生, 主攻果蔬采后保鲜。

通信作者: 袁树枝 (1989—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为果蔬采后品质保持与贮运流通。

nificant difference among the three distribution modes. The results showed that respiration intensity and ethylene production rate of strawberries increased with the increase of distribution time. The nutritional quality did not significantly change during the short distribution time. Under the appropriate condition of buffer packaging at 18-20 °C, the nutritional quality of strawberries can be well maintained during e-commerce distribution, where the short and slight mechanical vibration at 200 r/min for 15 min has little influence on the physiological characteristics of strawberries.

KEY WORDS: strawberry; delivery; e-commerce; quality

草莓 (*Fragaria × ananassa*) 果实色泽艳丽、味美多汁, 富含微量营养素、维生素、膳食纤维、有机酸等多种营养物质, 深受消费者喜爱, 已成为国内外水果市场不可或缺的食物^[1]。据农业农村部调查显示, 我国是草莓的第一生产大国, 种植面积超过 12.5 万公顷。然而, 草莓因水分含量高、质地柔软, 采后贮运流通中极易腐烂变质, 严重制约了草莓的供应和消费^[2]。随着人们对便捷、高品质生活追求, 果蔬在城市中的流通配送已形成商超、直配、电商等多种销售模式^[3]。其中, 电商配送在大城市果蔬配送的占比逐渐增加, 发展潜力巨大^[4]。然而, 相较于商超、直配, 生鲜电商配送链路分拣次数多、温度易波动, 操作不当时果蔬极易出现失水萎蔫、品质下降, 甚至腐烂变质^[5]。目前关于生鲜电商的配送研究主要集中在运作模式、规范化操作、政策支持等方面的研究, 而果蔬在电商配送模式下的生理、品质特性等研究还未见相关报道^[6], 因此, 本文以草莓为研究对象, 与基地直配、商超销售模式相比, 探究电商配送模式下草莓的生理特性和营养品质变化, 为草莓产业提供关键技术参数, 以期助力生鲜电商产业的高质量发展。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 草莓 (品种为红颜) 采自北京顺义区采摘园, 采摘后挑选新鲜洁净、色泽匀一、大小一致、无机械伤病虫害的果实, 采用 PET 盒/泡沫内衬托盘方式进行包装 (见图 1), 随后在 2 h 内用金杯车运至实验室。



图 1 草莓包装

Fig.1 Package of strawberries

主要试剂: 丙酮、没食子酸, 购自天津凯通化学试剂有限公司; 考马斯亮蓝 G-250、酚酞, 购自西宝生物科技 (上海) 股份有限公司; 2,6-二氯酚靛酚盐, 购自洛阳市化学试剂厂; 石英砂、福林酚试剂, 购自天津百伦斯生物技术有限公司; 浓盐酸、甲醇、冰醋酸, 购自天津市光复科技发展有限公司; 牛血清蛋白, 购自天津化学试剂厂; 抗坏血酸、草酸、浓盐酸, 购自北京化学试剂厂; 萘酮、乙酸乙酯、浓硫酸、蔗糖, 购自天津市光复科技发展有限公司; 无水乙醇、氢氧化钠, 购自西陇化工股份有限公司。

主要仪器: WITT 气体分析仪, 德国威特气体技术公司; CR-400 色彩色差仪, 日本柯尼卡-美能达公司; GY-4-J 数显水果硬度计, 浙江托普仪器有限公司; 手持式折光仪, 日本 ATAGO 公司; Agilent 7820A 气相色谱仪, 安捷伦科技 (中国) 有限公司; D-37520 台式冷冻高速离心机, Thermo Fisher Scientific; HW·SY11-K 电热恒温水浴锅, 北京市长风仪器仪表公司; UVmini-1280 紫外可见分光光度计, 岛津仪器 (苏州) 有限公司; GL-6250B 磁力搅拌器, 海门市其林贝尔仪器制造有限公司; BSA223S 分析天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; IKA A11 basic 分析研磨机, 德国 IKA 集团; MB120 水分测定仪, 奥豪斯仪器 (常州) 有限公司; TS-1000 摇床, 其林贝尔仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 果蔬处理

基于草莓流通特性, 在实验室模拟直配、商超、电商 3 种配送模式。直配为从基地采摘后运输至实验室, 立即取样测定; 商超为将运输至实验室的草莓置于室内货架上 (温度为 18~20 °C), 12 h 后取样; 电商配送为先将运输至实验室的果实置于 10 °C 下贮存 12 h, 随后转移至配送箱内 (温度为 18~20 °C), 放置 1.5 h 后取样测定, 期间将配送箱置于水平摇床上震动 15 min (转速为 200 r/min), 用以模拟电商配送的震动现象^[7]。每个处理组共 120 个果实, 包含 3 个生物学重复。

取草莓的果肉组织, 立即用液氮速冻后置于 -40 °C 保存, 用于后续生化测定。

1.2.2 呼吸强度的测定

呼吸强度测定参考 Mazumder 等^[8]的方法并加以

修改。将草莓(约300 g)称量后置于带橡胶塞的密闭容器内,在20℃放置2 h,采用CO₂气体分析仪测定2 h前后CO₂浓度。呼吸强度以1 kg草莓呼吸1 h所释放的CO₂体积表示,单位为mL/(kg·h),每个处理组包含3个生物学重复。

1.2.3 乙烯释放速率的测定

乙烯释放速率采用气相色谱仪进行测定^[9]。样品处理同呼吸强度的测定,从密闭容器中抽取1 mL顶空气体,采用气相色谱仪测定乙烯的浓度。仪器温度设置为柱温50℃,前检测器300℃,后检测器68℃,后进样口250℃,基于乙烯标准曲线计算乙烯浓度。乙烯释放速率以1 kg鲜果1 h的乙烯释放量表示乙烯释放速率,单位为μL/(kg·h),每个处理组包含3个生物学重复。

1.2.4 色差的测定

色差参考Adak等^[10]的测定方法,采用色差仪测定草莓颜色的 L^* (亮度)、 a (红绿)和 b (黄蓝)。每个草莓取中部对称的部位进行测量,每个处理组测定30个果实,包含3个生物学重复。 C (色度)和 h (色度角)的计算式见式(1)~(2)。

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$h = \arctan(b/a) \quad (2)$$

1.2.5 硬度的测定

采用果实硬度计测定草莓的硬度^[11],探头型号GY-4,测定深度10 mm,以峰值力(F_{\max})作为硬度指标,单位为N。取草莓中部测量,每个处理组测定30个果实,包含3个生物学重复。

1.2.6 可溶性固形物的测定

可溶性固形物(SSC)的测定参考李冬冬等^[12]的测定方法,采用手持式折光仪,将样品用研钵研磨出汁液,滴于折射镜上,读取SSC值(%)。每个处理组测定30个果实,包含3个生物学重复。

1.2.7 质量损失率的测定

测定处理前后草莓的质量,基于质量差值计算质量损失率(%)。每个处理组测定60个果实,包含3个生物学重复。

1.2.8 可溶性蛋白质含量的测定

采用考马斯亮蓝法^[13]测定可溶性蛋白含量。称取2.0 g样品,加入5 mL蒸馏水冰浴研磨,在4℃,10 000g下离心15 min后取上清液备用。取1 mL上清液,加入5 mL考马斯亮蓝G-250,混匀后静置,在595 nm处测吸光度值。根据牛血清蛋白标准曲线计算可溶性蛋白质含量,单位为mg/g。每处理组重复测定3次。

1.2.9 水分含量的测定

取1.5 g冷冻磨碎的样品粉末,采用水分测定仪进行测定。每组包含3个生物学重复。

1.2.10 抗坏血酸含量的测定

采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸的含量^[13]。称取1.0 g样品,加入10 mL质量浓度为20 g/mL的草酸溶液进行冰浴研磨,在4℃,10 000g下离心10 min后取上清液备用。取5 mL上清液,使用2,6-二氯酚靛酚溶液进行滴定,至微红色且15 s不褪色时为滴定终点。以1 g鲜样中含有抗坏血酸质量表示抗坏血酸含量,单位为mg/g,每处理组重复测定3次。

1.2.11 总酚含量

总酚物质含量的测定参考曹建康等^[13]的方法。称取0.5 g样品,用5 mL预冷的体积分数为1%的盐酸-甲醇溶液进行冰浴研磨,在4℃避光提取1 h,然后于4℃,10 000g下离心10 min,取上清液备用。取0.15 mL上清液,加入1.5 mL福林酚试剂搅拌均匀,静置5 min后加入1.5 mL质量分数为6%碳酸钠溶液,在75℃下水浴10 min后立即冰浴,于4℃,10 000g下离心10 min,在725 nm处测量吸光度值。根据没食子酸标曲计算总酚物质含量,单位为mg/g,每处理组重复测定3次。

1.2.12 总抗氧化能力

称取0.5 g样品,用5 mL预冷的体积分数为1%的盐酸-甲醇溶液进行冰浴研磨,在4℃避光提取1 h,然后于4℃,10 000g下离心10 min,取上清液备用。取0.1 mL上清液,利用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定,以没食子酸当量表示总抗氧化能力,单位为mg/g,每处理组重复测定3次。

1.2.13 可滴定酸含量的测定

称取1.0 g样品,加入10 mL蒸馏水冰浴研磨,静置0.5 h,随后在4℃,10 000g下离心10 min,取上清液备用。参照张晓娜等^[14]的方法并加以修改,取5 mL上清液,再加入酚酞试剂,用4 g/L的NaOH溶液滴定,至微红色且15 s不褪色时为滴定终点。计算时以0.070作为折算系数,结果以1 g样品中柠檬酸的百分比表示,每处理组重复测定3次。

1.2.14 花色苷含量的测定

参照pH示差法^[15],称取0.5 g样品,加入5 mL提取液(丙酮、甲醇、水、冰醋酸体积比为4:4:2:1)进行冰浴研磨,在100 r/min振荡条件下黑暗提取4 h。然后在4℃,8 000g下离心20 min,取上清液备用。取1 mL上清液,各取5 mL浓度为0.25 mol/L的KCl缓冲溶液(pH=1.0)和0.4 mol/L的NaAc缓冲溶液(pH=4.5),静置20 min后,分别在波长为496 nm和700 nm下测量吸光度值。结果以1 g样品含有花色苷的质量来表示,单位为μg/g,每处理组重复测定3次。

1.2.15 数据分析

数据用WPS Office 2022软件进行处理并作图,使用IBM SPSS Statistics 26软件进行单因素方差分析

(ANOVA) 处理, 设定 $P \leq 0.05$ 为显著水平, 以最低显著差异 (LSD) 检测不同配送模式间的显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同配送模式下草莓的呼吸强度和乙烯释放速率

呼吸是果蔬采后主要的生理活动, 呼吸强度的强弱反应果蔬代谢的快慢。在电商配送模式下草莓的呼吸强度比直配模式下的高 30%, 与商超无显著差异 (图 2a)。乙烯作为内源激素, 控制果蔬的成熟衰老进程, 影响果蔬的生理和品质变化。在电商配送模式下, 草莓的乙烯释放速率比直配模式下的高 23%, 与商超模式下的无显著性不同 (图 2b)。草莓的呼吸强

度与乙烯释放速率随贮藏时间的增加而缓慢增加, 在商超和电商模式下草莓的呼吸强度和乙烯释放高于直配模式下的, 这可能是受配送时间的影响^[16]。

2.2 不同配送模式下草莓的色泽

色差值可以直观地反映出草莓流通中颜色的变化, L^* 值代表亮度, 草莓的新鲜程度与亮度成正比。不同配送模式下草莓的 L^* 值无显著差异 (图 3a)。 a 值正值越大表示草莓越红, 则草莓成熟度越高。不同配送模式下草莓的 a 值无明显变化 (图 3b)。 C 值代表草莓果实色彩的饱和程度。与电商模式相比, 草莓在直配和商超模式下变化不显著 (图 3c)。 h 代表色调角度值, 电商模式的 h 比直配高的 10%, 与商超无显著性差异 (图 3d)。

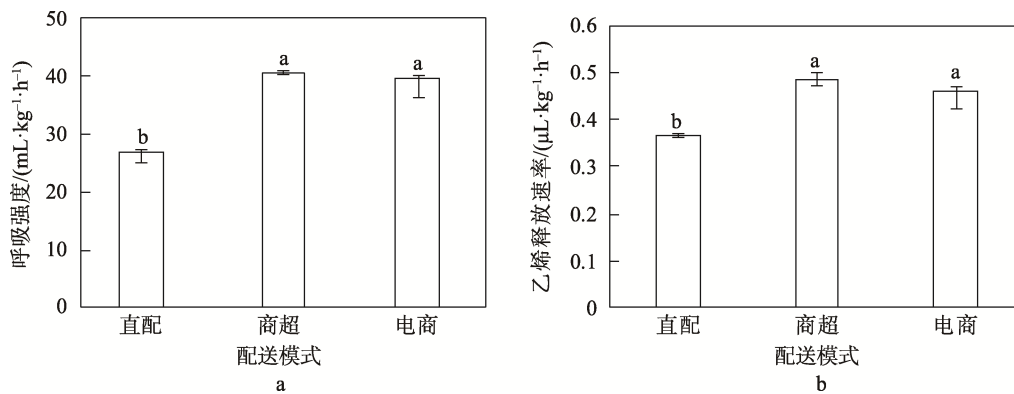


图 2 不同配送模式下草莓的呼吸强度和乙烯释放速率
Fig.2 Respiration intensity and ethylene production rate of strawberries under different distribution modes

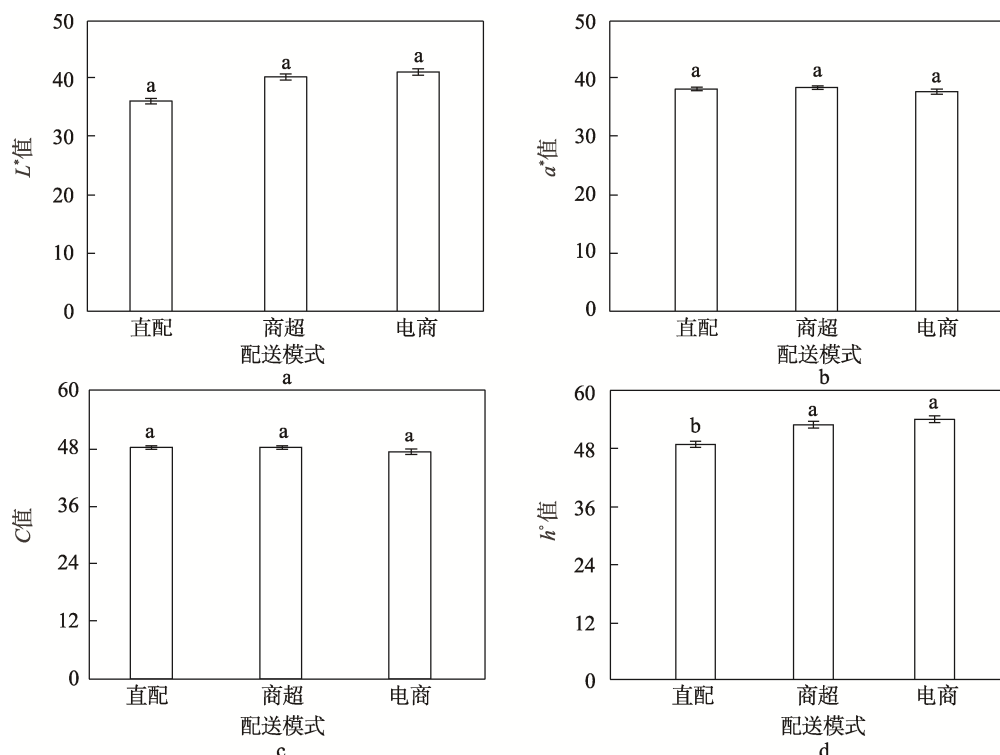


图 3 不同配送模式下草莓的色泽
Fig.3 Color parameters of strawberries under different distribution modes

2.3 不同配送模式下草莓的硬度与可溶性固形物

硬度能够直接反映出果实的软化程度。在电商配送模式下草莓的硬度与直配、商超模式下草莓的硬度无显著差异(图4a)。SSC是果实中糖、酸、维生素等可溶性物含量的总和,是评价草莓果实品质的重要指标^[17]。不同配送模式下,草莓的SSC值均无显著性差异(图4b)。这表明,电商配送对草莓果实的硬度和SSC无影响,可以保持草莓的品质。

2.4 不同配送模式下草莓的水分含量与质量损失率

水分是维持果实生命活动的基石,其含量可以反映果蔬的口感、新鲜状态等^[18]。在直配、商超和电商配送模式下,草莓的水分含量均高于85%,3种配送模式间无显著差异(图5a)。果实的质量损失与呼吸、蒸腾等密切相关^[19]。在商超、电商模式下,草莓质量损失率均低于0.8%,且2种配送模式间无显著差异(图5b)。由此可见,不同配送模式下,草莓均可以维持很好的水分和质量。

2.5 不同配送模式下草莓的可溶性蛋白质与抗坏血酸含量

大多数可溶性蛋白质参与果蔬的新陈代谢,含量的高低反应总代谢活动的强弱^[20]。在电商配送模式下草莓的可溶性蛋白含量与直配、商超模式下草莓的可溶性蛋白含量无显著差异(图6a)。抗坏血酸是果蔬的重要营养

物质之一,具有抗氧化、抗癌、抗衰老等作用^[21]。电商配送模式下草莓的抗坏血酸含量与直配、商超模式下的相比,略有下降但不显著(图6b)。由此可见,电商配送模式可以很好地维持草莓的可溶性蛋白和抗坏血酸含量。

2.6 不同配送模式下草莓的总酚与总抗氧化能力

酚类物质是果实重要的抗氧化物质^[22]。草莓的总酚含量在电商配送模式下与商超、直配模式下无显著差别(图7a)。总抗氧化能力是果实中所有抗氧化物质抗氧化能力的总和,是评价果实营养价值的重要指标^[23]。电商配送模式下草莓的总抗氧化能力与直配、商超模式下的无显著差异(图7b)。这表明,电商配送模式可以很好地保持草莓的总酚含量、总抗氧化能力。

2.7 不同配送模式下草莓的可滴定酸与花色苷含量

草莓果实中的可滴定酸主要为柠檬酸和苹果酸等有机酸,其含量影响草莓的口感^[24]。电商配送模式下草莓的可滴定酸含量与直配和商超模式下草莓的可滴定酸含量无显著差异(图8a)。花色苷赋予果实多彩颜色,而草莓中含有丰富的花色苷^[25]。电商配送模式下草莓的花色苷含量分别比直配、商超模式下的高12%、10%(图8b)。这可能是电商配送中低温条件诱导了草莓花色苷的合成。张云婷^[15]研究发现,花色苷含量与温度密切相关,高温加速花色苷的降解,低温诱导花色苷的积累。

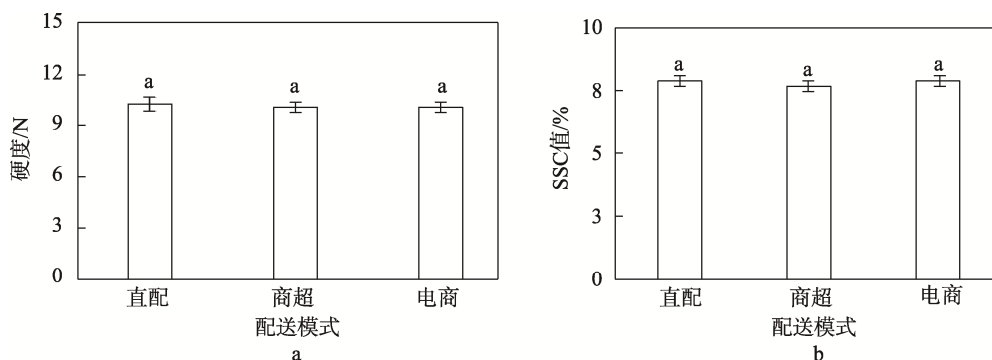


图4 不同配送模式下草莓的硬度与SSC

Fig.4 Hardness and SSC of strawberries under different distribution modes

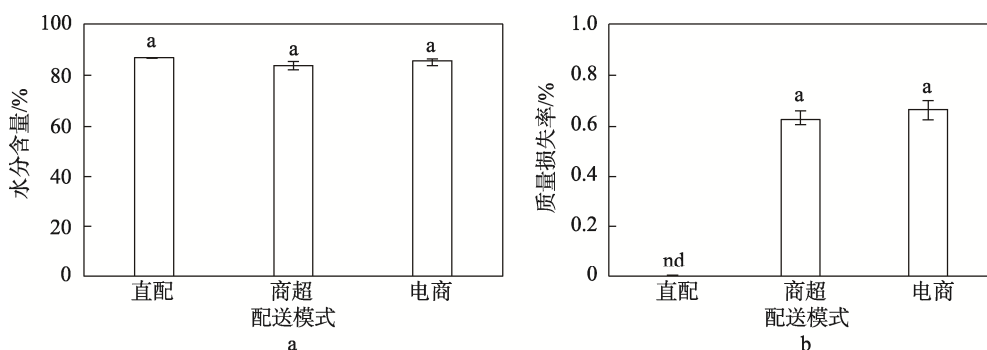


图5 不同配送模式下草莓的水分含量与质量损失率

Fig.5 Water content and weight loss of strawberries under different distribution modes

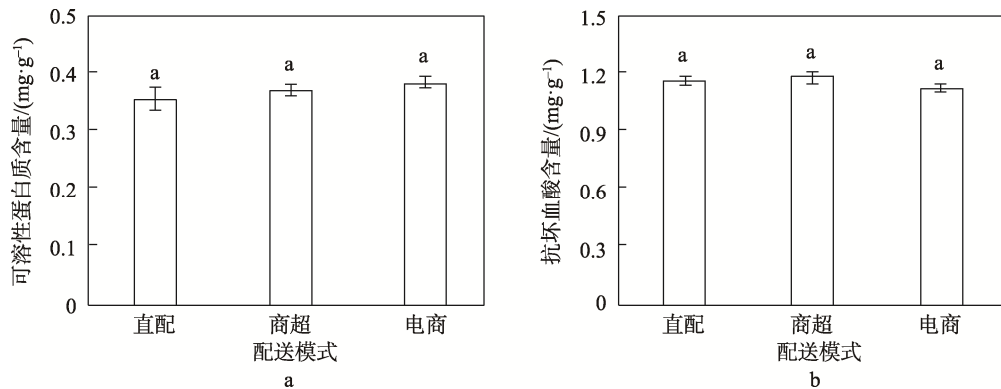


图 6 不同配送模式下草莓的可溶性蛋白质和抗坏血酸含量
Fig.6 Contents of soluble protein and ascorbic acid of strawberries under different distribution modes

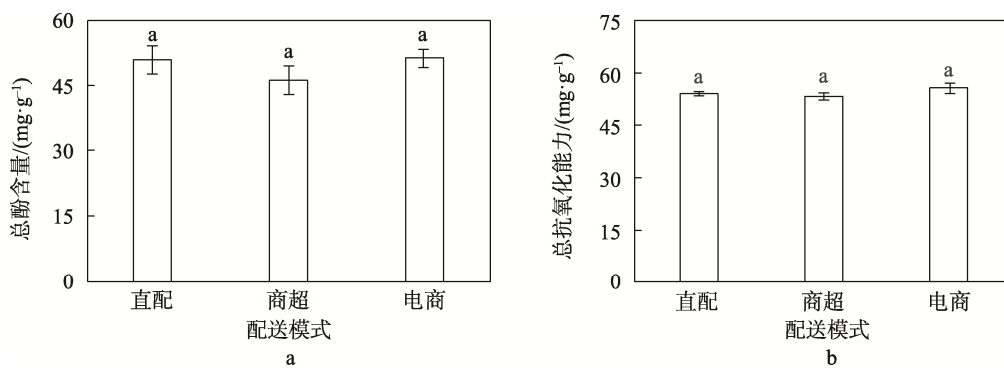


图 7 不同配送模式下草莓的总酚含量和总抗氧化能力
Fig.7 Total phenol content and total antioxidant capacity of strawberries under different distribution modes

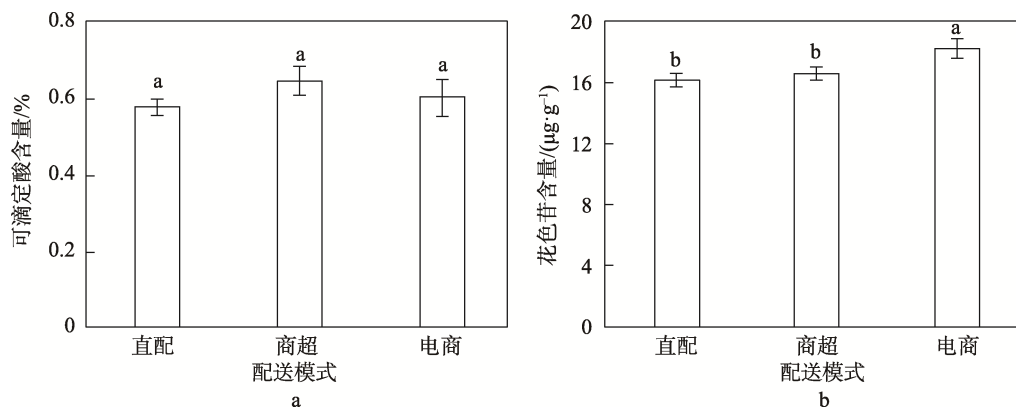


图 8 不同配送模式下草莓的可滴定酸与花色苷含量
Fig.8 Contents of titratable acid and anthocyanin of strawberries under different distribution modes

3 结语

实验结合北京草莓产业流通现状,以当地自产且在本市流通销售的草莓为研究对象,在实验室模拟直配、商超、电商的流通模式。其中,模拟配送路径为:直配是从基地直接配送至餐厅或食堂等消费终端;商超是从基地配送至超市后进行 12 h 的货架销售;电商是从基地运输至配送中心,在配送中心暂存 12 h

后转移至配送箱内,在 1.5 h 内送配送至消费者手中。测试发现,在电商流通配送模式下草莓的呼吸强度和乙烯释放速率均高于直配模式下的,但与商超模式下的无明显差异。在果实营养品质特性分析时发现,电商模式下草莓的花色苷含量最高,而其他营养品质,如色泽、硬度、SSC、可溶性蛋白、抗坏血酸、总酚、总抗氧化能力、可滴定酸等,与商超、直配的相比无显著差异。这表明草莓的呼吸强度和乙烯释放量随着

配送时间的延长而升高;草莓营养品质在较短配送时长内变化不大;在适宜温度(18~20℃)及防震包装的情况下,电商配送可以很好地维持草莓的营养品质,配送过程中短时轻微(15 min, 200 r/min)的机械震动对草莓的生理特性影响较小。研究结果对草莓的电商配送具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] GIAMPIERI F, TULIPANI S, ALVAREZ-SUAREZ J M, et al. The Strawberry: Composition, Nutritional Quality, and Impact on Human Health[J]. *Nutrition* (Burbank, Los Angeles County, Calif), 2012, 28(1): 9-19.
- [2] 秦彦强, 李昂, 刘瑞涵. 基于CMS分解的中国草莓出口阶段特征分析[J]. *北方园艺*, 2021(15): 162-168.
QIN Yan-qiang, LI Ang, LIU Rui-han. Analysis on Characteristics of Strawberry Export Stage in China Based on CMS Decomposition[J]. *Northern Horticulture*, 2021(15): 162-168.
- [3] DHAOUI O, NIKOLAOU K, MATTAS K, et al. Consumers' Attitude Towards Alternative Distribution Channels of Fresh Fruits and Vegetables in Crete[J]. *British Food Journal*, 2020, 122(9): 2823-2840.
- [4] 霍亚平, 穆慧萍. 农产品电子商务模式的发展研究[C]// MATEC会议网络, 2017.
HUO Ya-ping, MU Hui-ping. Research on the Development of E-commerce Model of Agricultural Products[C]// MATEC Web of Conferences, 2017.
- [5] 赵爽, 杨海波. 北京市生鲜农产品流通及城市配送模式分析[J]. *全国流通经济*, 2020(11): 25-26.
ZHAO Shuang, YANG Hai-bo. Analysis on the Circulation and Urban Distribution Mode of Fresh Agricultural Products in Beijing[J]. *China Circulation Economy*, 2020(11): 25-26.
- [6] 张佳鹏, 李思佳. 基于资源依赖理论的互联网时代—国内电子商务物流现状及对策分析[C]// MATEC会议网络, 2017.
ZHANG Jia-peng, Li Si-jia. Analysis on Current Situation and Countermeasure of Domestic Electronic Commerce Logistics in the Internet Age—Based on Resource Dependence Theory[C]// MATEC Web of Conferences, 2017.
- [7] 柏鑫艳. 北京地区生鲜果蔬电商物流模式演进研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018: 14-16.
BAI Xin-yan. Study on the Evolution of E-Commerce Logistics Mode of Fresh Fruits and Vegetables in Beijing[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018: 14-16.
- [8] MAZUMDER M N N, MISRAN A, DING P B, et al. Effect of Harvesting Stages and Calcium Chloride Application on Postharvest Quality of Tomato Fruits[J]. *Coatings*, 2021, 11(12): 1445-1445.
- [9] KHOSROSHAHI M R Z, ESNA-ASHARI M, ERSHADI A. Effect of Exogenous Putrescine on Post-harvest Life of Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) Fruit, Cultivar Selva[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 114: 27-32.
- [10] ADAK N, HEYBELI N, ERTEKIN C. Infrared Drying of Strawberry[J]. *Food Chemistry*, 2017, 219: 109-116.
- [11] 张壹钦, 郜海燕, 韩延超, 等. 振动胁迫下PVA基微孔减振包装对草莓品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(11): 215-222.
ZHANG Yi-qin, GAO Hai-yan, HAN Yan-chao, et al. Effect of PVA-Based Microporous Vibration-Damping Packaging on Strawberry Quality under Vibration Stress[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(11): 215-222.
- [12] 李冬冬, 贾柳君, 张海红, 等. 草莓介电特性和内在品质的关系[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(2): 120-123.
LI Dong-dong, JIA Liu-jun, ZHANG Hai-hong, et al. Relationship between Dielectric Properties and Internal Quality of Strawberry[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(2): 120-123.
- [13] 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: 28-68.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 28-68.
- [14] 张晓娜, 张子德, 王磊, 等. 臭氧对草莓冷藏期间品质的影响[J]. *中国农业前沿报*, 2011, 5(3): 356.
ZHANG Xiao-na, ZHANG Zi-de, WANG Lei, et al. Impact of Ozone on Quality of Strawberry During Cold Storage[J]. *Frontiers of Agriculture in China*, 2011, 5(3): 356.
- [15] 张云婷. 光质和低温对草莓果实花青素合成的影响及其分子机制[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019: 15-16.
ZHANG Yun-ting. Effects of Light Quality and Low Temperature on Anthocyanin Synthesis in Strawberry Fruit and Its Molecular Mechanism[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2019: 15-16.
- [16] 阎根柱, 赵迎丽, 施俊凤, 等. 不同品种草莓采后生理及贮藏特性研究[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(4): 34-38.
YAN Gen-zhu, ZHAO Ying-li, SHI Jun-feng, et al. Study on Postharvest Physiological and Storage Characteristic of Different Varieties of Strawberry[J]. *Sto-*

- rage and Process, 2018, 18(4): 34-38.
- [17] 徐玉婷, 张丽芬, 钟建军, 等. 功率超声波用于保存采后果蔬的研究[J]. 国际农业与生物工程杂志, 2013, 6(2): 116-125.
- XU Yu-ting, ZHANG Li-fen, ZHONG Jian-jun, et al. Power Ultrasound for the Preservation of Postharvest Fruits and Vegetables[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2013, 6(2): 116-125.
- [18] RAJ R, COSGUN A, KULIC D. Strawberry Water Content Estimation and Ripeness Classification Using Hyperspectral Sensing[J]. Agronomy, 2022, 12(2): 425.
- [19] CHONG L, GHATE V, ZHOU Wei-biao, et al. Developing an LED Preservation Technology to Minimize Strawberry Quality Deterioration during Distribution[J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130566.
- [20] REBUCCI B, PONI S, INTRIER C, et al. Effects of Manipulated Grape Berry Transpiration on Post-veraison Sugar Accumulation[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1997, 3(2): 57-65.
- [21] SHIN Y, LIU R H, NOCK J F, et al. Temperature and Relative Humidity Effects on Quality, Total Ascorbic Acid, Phenolics and Flavonoid Concentrations, and Antioxidant Activity of Strawberry[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(3): 349-357.
- [22] FECKA I, NOWICKA A, KUCHARSKA A Z, et al. The Effect of Strawberry Ripeness on the Content of Polyphenols, Cinnamates, L-Ascorbic and Carboxylic Acids[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 95: 103669.
- [23] PISOSCHI A M, NEGULESCUE G P. Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review[J]. Biochemistry and Analytical Biochemistry, 2011, 1(1): 106.
- [24] TODESCHINI V, AITLAHMIDI N, MAZZUCCO E, et al. Impact of Beneficial Microorganisms on Strawberry Growth, Fruit Production, Nutritional Quality, and Volatilome[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 1611.
- [25] CONTESSA C, MELLANO M G, BECCARO G L, et al. Total Antioxidant Capacity and Total Phenolic and Anthocyanin Contents in Fruit Species Grown in Northwest Italy[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 160: 351-357.

责任编辑: 曾钰婵