

茶鲜叶保鲜运输环境参数优化比较

夏晶晶¹, 王飞仁^{1*}, 刘东峰², 郭嘉明², 陈劲³

(1. 广东机电职业技术学院汽车学院, 广东广州 510550) (2. 华南农业大学工程学院, 广东广州 510642)
(3. 罗定职业技术学院机电工程系, 广东云浮 527220)

摘要: 茶鲜叶在采后的色泽劣变与失水主要与贮青温度、湿度和机械损伤等有关。为了明确这些因素影响采后茶鲜叶外观与相关品质变化的规律, 该文以一芽二叶“英红九号”作为试验材料在可调控环境保鲜实验平台与振动试验台中开展了两组试验, 每个试验组在贮存期间对茶青的质量损失率、含水率、 L^* 、 a^* 、 b^* 色差参数进行收集。第一组试验研究氧气浓度、控湿, 控湿对茶鲜叶品质的影响变化。该实验结果显示不同的低氧范围控制对茶鲜叶质量损失率差异最大为 1.51%。常温组对比控湿组的质量损失率增加了 22.50%。第二组试验探究不同低温范围、振动以及湿度对茶鲜叶品质变化的影响。实验结果表明, 机械振动会显著的加快茶鲜叶外观品质和含水率的变化, 47.67 Hz 振动频率处理的茶鲜叶质量损失速率在 48 h 后可达 71.74%, 含水率降至 8.20%, 同时茶鲜叶的叶色劣变严重。另外, 在 15~18 ℃ 的贮存温度下可以有效的降低茶鲜叶色泽的劣变和失水速率, 更低的贮存温度范围对茶鲜叶外观和含水率变化影响不显著。控湿结果表明, 85%~90% 的控湿范围可以在储运后期显著降低茶鲜叶的质量损失速率和外观劣变。该文的研究结果可为茶鲜叶保鲜环境的精准调控提供参考, 对减少茶鲜叶损耗, 保证制作成茶质量有积极意义。

关键词: 茶鲜叶; 保鲜; 温控; 振动

文章编号: 1673-9078(2024)11-202-209

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.0769

Comparison of Optimized Environmental Parameters for Fresh Tea Leaf Preservation and Transportation

XIA Jingjing¹, WANG Feiren^{1*}, LIU Dongfeng², GUO Jiaming², CHEN Jin³

(1. Automobile Institute, Guangdong Mechanical & Electrical Polytechnic, Guangzhou 510550, China)

(2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(3. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Luoding Polytechnic, Yunfu 527220, China)

Abstract: Post-harvest color deterioration and water loss of fresh tea leaves are mainly associated with the storage temperature and humidity, as well as mechanical damage. To examine how these factors influence the appearance and quality of harvested fresh tea leaves, two sets of experiments were conducted using “Yinghong No. 9” (one bud of which comes with two leaves) with the help of a preservation test platform with controllable environmental parameters and a vibration test

引文格式:

夏晶晶, 王飞仁, 刘东峰, 等. 茶鲜叶保鲜运输环境参数优化比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 202-209.

XIA Jingjing, WANG Feiren, LIU Dongfeng, et al. Comparison of optimized environmental parameters for fresh tea leaf preservation and transportation [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 202-209.

收稿日期: 2024-06-01

基金项目: 提升市县茶叶科技能力促进产业发展项目 (DZ09-21-1-3278); 广东省省级农业科技创新及推广项目 (2023KJ101); 农产品保鲜物流共性关键技术研发创新团队 (2023KJ145); 广东省普通高校重点领域专项 (科技服务乡村振兴) (2023ZDZX4078)

作者简介: 夏晶晶 (1980-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 果蔬冷链物流与装备, E-mail: 23027485@qq.com

通讯作者: 王飞仁 (1990-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬冷链物流与装备, E-mail: 2020010018@gdmec.edu.cn

bench. In each experiment, the mass loss rates, moisture contents, and L^* , a^* , and b^* values of the fresh tea leaves during storage were recorded. In the first set of experiments, the effects of oxygen concentration, relative humidity, and temperature on the quality of fresh tea leaves were studied. The results revealed that different low oxygen concentration ranges gave a maximum difference of 1.51% in the mass loss rate. In addition, the mass loss rate was 22.50% higher at room temperature than at a controlled temperature. The second set of experiments investigated the effects of oxygen concentration range, vibration, and relative humidity on the quality of fresh tea leaves. Mechanical vibration was found to significantly accelerate changes in the appearance and moisture content of fresh tea leaves. Vibrations at 47.67 Hz for 48 h led to a mass loss rate up to 71.74% and decreased the moisture content to 8.20%. Meanwhile, severe color deterioration was also noted. Furthermore, storage at 15~18 °C effectively reduced the color deterioration and water loss. Storage temperatures below this range had no significant effect on the appearance or moisture content of the fresh tea leaves. Humidity control results suggested that a well-maintained relative humidity range of 85%~90% substantially minimized the mass loss rate and appearance deterioration of the leaves in the later stages of storage and transportation. By providing valuable references for the precise control of environmental parameters for preserving fresh tea leaves and reducing post-harvest losses, the findings of this paper provide valuable insights toward ensuring the quality of processed tea.

Key words: fresh tea leaf; preservation; temperature control; vibration

茶是在世界范围内广受欢迎的饮品，它的种类丰富、口感多样，同时具有降低血糖、减少血脂、抗氧化、抗衰老等^[1]诸多功效。我国是世界上最大的产茶大国，拥有悠久的茶叶种植和茶叶加工历史^[2]。茶叶在我国具有广袤的发展市场，是非常重要的农产品经济作物。成品茶品质与茶鲜叶质量有紧密的关系，如果原料在制品过程中出现劣变都会严重影响最终品质^[3,4]。

茶鲜叶在被采摘之后依旧会存化合物的代谢和呼吸作用，内含物的组成也会随之改变，从而会引起外观、气味等的变化^[5]。茶鲜叶内含物的氧化会加剧茶鲜叶新鲜度的下降，甚至引起茶叶的变质、腐烂和污染。另外，茶鲜叶原料在储运过程中所受到的原料积压也会加快茶鲜叶品质劣变的速度^[6]，包括外观和本身的香气，同时还会增加腐败菌群的生长风险。分析和研究影响茶鲜叶品质变化参数对维持茶鲜叶品质、保证成茶质量、降低流通损耗、构建高效的茶叶保鲜流通体系具有重要的参考意义。

茶鲜叶从采摘到制作为成品茶的过程中有诸多影响茶鲜叶品质变化的外界原因，包括温度、湿度、氧气、机械振动^[7]等。温度被认为是影响农产品呼吸和品质变化的重要原因之一^[8]，低温可以有效降低茶鲜叶内质化合物反应的速度，从而减少因呼吸损耗所带来的劣变和风险^[9]。Katsuno 等^[10]的研究表明，在 15 °C 的低温下贮存 16 h 的茶鲜叶在制作成为成品绿茶后的香气化合物含量会比常温保存的更高，说明低温可以有效的维持香味化合物含量

在茶鲜叶中的稳定。林冬纯等^[11]研究了不同贮青温度对红碎茶品质的影响，研究结果认为 15 °C 的贮青温度得到红碎茶在茶感官品质、香气物质与生化成分上要优于贮青温度为 25 °C 和常温 (22~28 °C) 实验组。另外，张正竹等^[12,13]的研究结果表明经过低温祛湿、真空包装的形式也可以进行茶鲜叶的长时间保存，且对制作成茶的品质无其他影响。廖珺等^[14]的研究结果认为，低温高湿环境可以有效的降低茶鲜叶的失水速率，从而更好的维持茶青品质。

综上，茶青在贮存过程中的品质变化主要会受到温度、湿度和机械损伤等因素的影响，为了明确这些因素对茶青品质变化影响规律，该文将利用自主研发的可调控保鲜试验平台^[15]和振动试验台进行温度、湿度和振动对茶青品质变化影响的研究。研究结果将为茶青保鲜储运与调控提供参考，对减少茶青损耗、保证成茶品质具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

1.1.1 试验材料

以无红变、无焦边的一芽二叶“英红九号”茶鲜叶为试验材料，采于清远英德，采摘后采用普通塑料筐进行储青，开展保鲜存放试验。

1.1.2 环境参数可控试验平台

由华南农业大学自主研发的环境参数可控保鲜试验平台基于压差原理设计^[15]，分为上、下两个相

同的保鲜腔（内部尺寸 650 mm×550 mm×800 mm），可以做两组参数的对比试验。试验平台主要分为控制室、压力室和保鲜室三部分，控制室内主要为控制电路主板、制冷机组的冷凝器和压缩机等室外回路部分；压力室内安装有循环风机、制冷机组的蒸发器、汽化盘管和超声波加湿装置等；保鲜室由均孔板将其与压力室隔开，均孔板上部开孔为回风口，下部开孔为送风口，并安装有温湿度传感器、氧气传感器和二氧化碳传感器（图 1）。另外，通过辅助充氮接口，将汽化盘管和放置在箱体外部的液氮罐连接，可向厢体内充注氮气。试验平台采用聚氨酯不锈钢板作为箱体材料，保温性能好，保鲜室增加透明观察门，气密性高且可观察茶鲜叶的变化（图 2）。

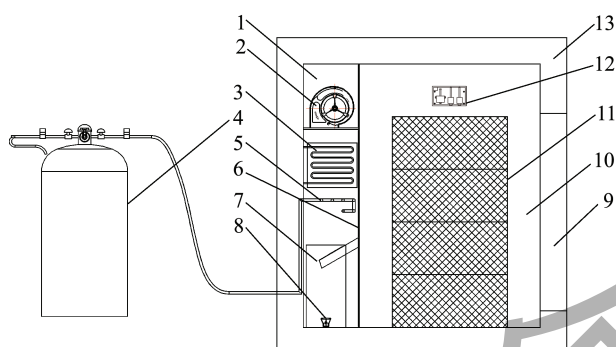


图 1 环境参数可控试验平台结构

Fig.1 Structure of controlled environmental parameters of experimental platform

注：1. 压力室；2. 循环风机；3. 蒸发器；4. 液氮罐；5. 汽化盘管；6. 开孔隔板；7. 加湿水箱；8. 超声波雾化器；9. 观察门；10. 保鲜室；11. 茶鲜叶；12. 传感器盒；13. 箱体。



图 2 环境参数可控试验平台

Fig.2 Controlled environmental parameters of experimental platform

1.1.3 振动实验平台

目前茶鲜叶运输通常采用塑料周转筐盛装，一次性积压运输。塑料周转筐相对硬度大、弹性小，在运输过程中因机械振动产生碰撞，容易对茶鲜叶造成机械损伤。为模拟实际运输过程中的振动状况，根据车身结构振动频带 20~80 Hz 选定振动试验台^[16,17]，研究稳定振动条件下^[18]茶鲜叶品质的变化规律。该研究选用的定频振动试验台（图 3）主要由台架、振动弹簧、电机等组成，振动频率约为 47.67 Hz（2 860 次/min），振幅 0.3~0.6 mm，电机功率为 0.75 kW。



图 3 振动试验平台

Fig.3 Vibration test platform

1.2 试验方法

为研究环境参数对茶鲜叶储运品质的影响，该文设计了温度、相对湿度、氧气体积分数对茶鲜叶储运品质影响的试验，分析不同环境因素对储运品质变化的影响。在此基础上，设计温湿度等参数对茶鲜叶储运品质影响试验，分析不同控温范围、振动等因素对储运品质的影响。

表 1 温度、相对湿度和氧气体积分数的影响对比试验

Table 1 Comparative experiment on the effects of temperature, relative humidity and oxygen concentration

组别	处理	环境因素			试验材料
		温度 /°C	相对湿度 /%RH	氧气体积分数/%	
K1	控氧 1	10~13	85~90	12~15	1 kg/ 筐， 4 筐 / 组， 共 20 kg
K2	控氧 2	10~13	85~90	6~9	
K3	控温控湿	10~13	85~90	—	
K4	仅控温	10~13	—	—	
K5	常温	19.5~20.5	—	—	

控温、控湿以及氧气体积分数对茶鲜叶储运品质影响试验设计情况如表 1 所示，试验时长为 48 h，每隔 6 h 取样一次，以取样点 0 h 的测量值为茶鲜叶品质的初始参考值。K1 组和 K2 组进行不同

氧气体积分数的对比影响, K2 组和 K3 组进行控氧与不控氧的影响探究, K3 组和 K4 组对比控湿度的影响、K4 组和 K5 组对比是否进行控温的影响研究, 该实验组均在环境参数可调试验平台上进行。

以上述试验为基础, 继而针对温控范围和振动对茶鲜叶含水率、色泽与质量变化影响开展第二组试验, 振动和温控等参数对茶鲜叶储运品质影响试验设计情况如表 2 所示。试验时长为 48 h, 每隔 6 h 取样一次, 以取样点 0 h 的测量值为茶鲜叶品质的初始参考值。L1 组和 L3 组进行控湿度影响比较, 温度范围在 10~13 °C, L1 不控湿、L3 控湿范围 85%~90%。L2、L3、L4 组间进行不同控温范围的影响研究, L2 的温控范围取 5~8 °C, L3 的温控范围取 10~13 °C, L4 的温控范围取 15~18 °C。L5 为常温贮存对照组。L6 为添加振动影响的对照组, 振动频率为 47.67 Hz。L1、L2、L3、L4、L5 五组实验在环境参数可控试验平台中进行, L6 组在振动试验台上完成实验。

表 2 温度、相对湿度和振动的影响对比试验

Table 2 Comparative experiment on the effects of temperature, relative humidity and vibration

组别	处理	环境因素			试验材料
		温度 /°C	相对湿度 /%RH	振动频率 /Hz	
L1	控温控湿	10~13	85~90	—	0.5 kg/筐, 6 筐/组, 共 18 kg
L2	控温 1	5~8	—	—	
L3	控温 2	10~13	—	—	
L4	控温 3	15~18	—	—	
L5	常温	22	—	—	
L6	常温振动	22	—	47.67	

1.3 指标与检测方法

(1) 质量损失率

采用称量法, 测出试验前后茶鲜叶的质量, 则可求出因蒸腾失水而失重的百分率。

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

P —鲜叶质量损失率, %;

m_1 —鲜叶贮藏前的质量, kg;

m_2 —鲜叶贮藏后的质量, kg。

(2) 含水率

采用烘干法测定不同处理组茶鲜叶的含水率^[19]。每个处理组随机均匀取样, 放置于电子天平上分别称取烘干前后的质量, 平行测定 3 次。按

下式计算茶鲜叶的含水率^[20,21]:

$$M = \frac{m_s}{m_s + m_w} \quad (2)$$

式中:

M —湿基含水率;

m_s —鲜叶所含水分的质量, kg;

m_w —鲜叶所含干物质的质量, kg。

(3) 色差

采用基于 CIE-Lab 空间的叶色分析方法, 使用便携式色差仪对不同处理组的茶鲜叶进行色差测定。每个试验处理组随机均匀取 50 g 样品平铺, 保证平铺后叶片叠盖, 不露出背景色, 取多点进行测量, 平行测定 3 次。

计算色差时, ΔE_{ab}^* 表示总色差, Δh_{ab}^* 表示色调角差^[22,23]。 Δh_{ab}^* 为正值时说明样品位于参照色的逆时针方向, Δh_{ab}^* 为负值时说明样品位于参照色的顺时针方向^[24]。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

$$h_{ab}^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

$$\Delta h_{ab}^* = h_{ab}^* - h_{ab,0}^* \quad (5)$$

式中:

L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 、 $h_{ab,0}^*$ —初始参考值;

L^* 、 a^* 、 b^* 、 h_{ab}^* —运输后鲜品的值;

ΔE_{ab}^* —总色差;

Δh_{ab}^* —色调角差;

h_{ab}^* —色调角 ($h_{ab}^*=0^\circ$ 时表示红色色调, $h_{ab}^*=90^\circ$ 表示黄色, $h_{ab}^*=180^\circ$ 表示绿色。);

L^* —明度 (L^* 值的增加表征该色度由黑到白);

a^* —红度 (a^* 值的增加表征该色度由绿到红);

b^* —黄度, (b^* 值的增加表征该色度由蓝到黄)。

1.4 数据分析与处理

实验结果的数据处理和组间误差限分析在 SPSS Statistics 27 上完成, 数据结果的制表与可视化绘图通过 Microsoft Excel 2019 来实现。

2 结果与分析

2.1 温度、相对湿度和氧气体积分数的影响对比

2.1.1 质量损失率与含水率的变化

从图 4a 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶质量损失率随贮藏时间的变化。常温组茶鲜叶的质量损失

率上升最快, 经过 48 h 的贮藏, 其质量损失率达到了 28.93%, 较高的温度意味着茶鲜叶代谢水平会更高, 结果也表明了贮藏环境温度对茶鲜叶质量损失率的影响较大。其余控温处理组, 其中仅控温组茶鲜叶的质量损失率上升较快。试验结束时, 控氧 1、控氧 2、控温控湿、仅控温组茶鲜叶的质量损失率分别为 2.86%、4.37%、2.74%、6.43%, 其中控氧 2 与控温和控湿度组相差不大且处于同一湿度范围, 说明保鲜环境相对湿度对茶鲜叶质量损失率的有一定的影响, 氧气的浓度影响不大。

从图 4b 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶含水率随贮藏时间的变化。常温组茶鲜叶的含水率下降最快, 温度较高的代谢活动更频繁, 蒸腾作用会失去更多的水份^[25]。结果也表明, 经过 48 h 的贮藏, 其含水率下降到 65.51%, 其余控温的处理组合含水率变化不大, 说明贮藏环境温度对茶鲜叶含水率的影响较大。

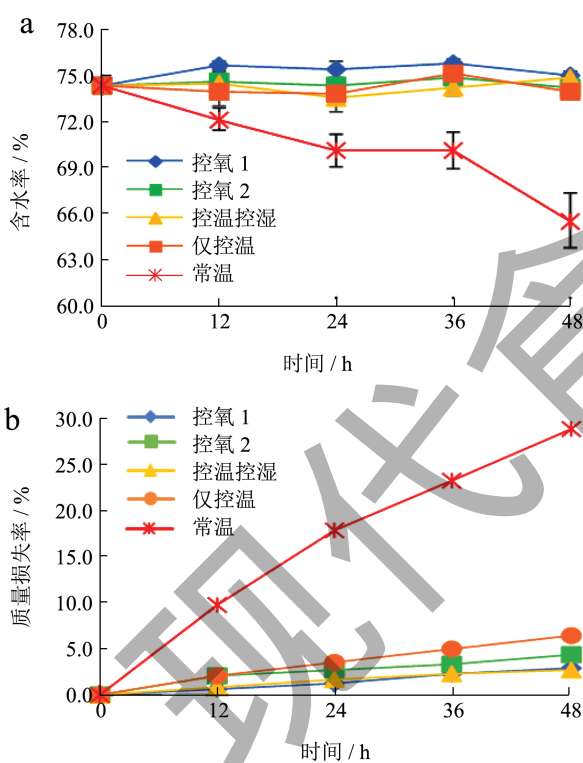


图 4 温度、湿度和氧气体积分数影响对比试验的质量损失率和含水率对比

Fig.4 Comparison of mass loss rate and water content in comparative experiments on the effects of temperature, humidity and oxygen concentration

2.1.2 色差值与外观变化

从图 5 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶 L^* 、

a^* 、 b^* 值随贮藏时间的变化。其中常温组茶鲜叶的明度 L^* 值随 0 时间降低, 色度 a^* 值增加, 说明该处理组的茶鲜叶显得更暗 (图 6)。贮藏 24 h 后, 仅控温组和控温控湿组茶鲜叶的明度 L^* 值和色度 b^* 值相对高于其余处理组, 而控温控湿组的色度 a^* 值相对低于其他处理组, 说明贮藏环境的温度和相对湿度对茶鲜叶色差值和外观的影响较大。

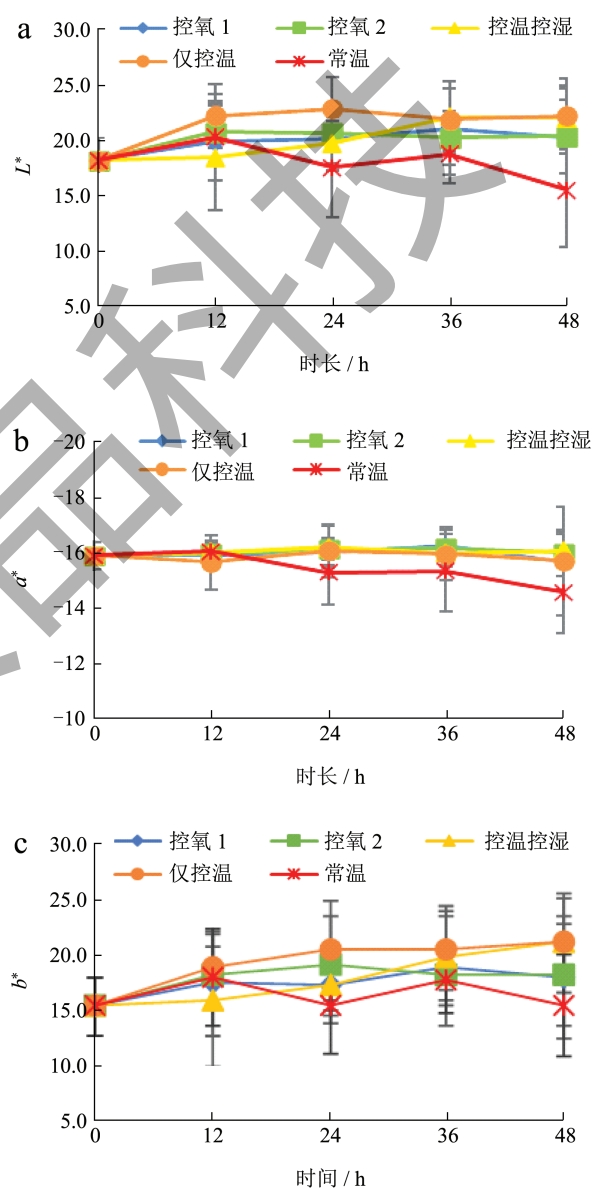


图 5 温度、湿度和氧气体积分数影响对比试验的 L^* 、 a^* 、 b^* 值对比

Fig.5 Comparison of L^* , a^* and b^* values for comparative experiments on the effects of temperature, humidity and oxygen concentration

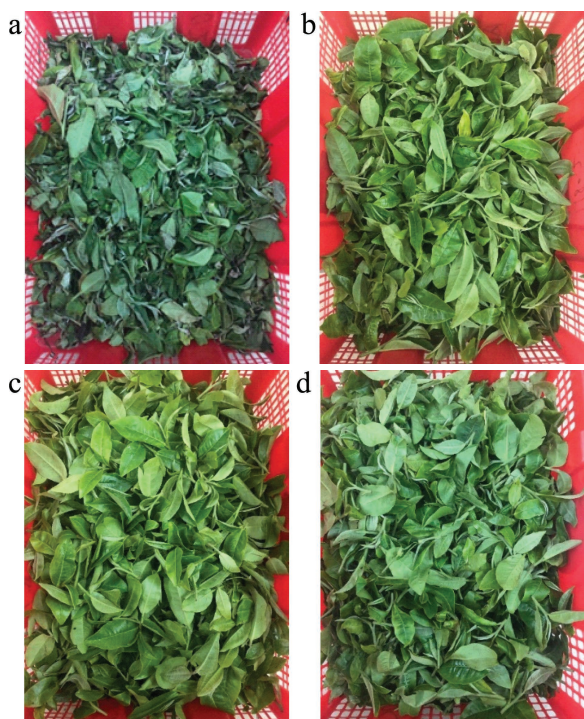


图6 48 h 实验后的鲜叶外观对比

Fig.6 Comparison of the appearance of fresh tea leaves after 48 h

注: a 为控温组, b 为控温控湿组, c 为仅控温组, d 为常温组。

2.2 温控范围以及振动的影响比较

2.2.1 质量损失率的变化

从图 7a 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶质量损失率随贮藏时间的变化。其中常温振动组茶鲜叶经过 48 h 的贮藏后, 其质量损失率迅速上升到了 71.74%, 可见振动所带来的机械损伤会显著的加快茶鲜叶内含物的代谢速度, 从而导致质量损失率的上升。常温组茶鲜叶的质量损失率上升较快, 经 48 h 的贮藏, 其质量损失率达到 28.03%; 控温处理组的茶鲜叶质量损失率变化较缓慢, 低温可以通过延缓茶鲜叶的呼吸代谢速度来维持内含物的稳定并降低质量损失的速度^[14]。其中控温控湿处理组的茶鲜叶质量损失率在贮藏 12 h 后小于其他处理组, 湿度的控制可以降低茶叶含水率的损去, 这也说明贮藏环境相对湿度对茶鲜叶质量损失率的存在一定的影响。

从图 7b 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶含水率随贮藏时间的变化。其中常温振动组茶鲜叶的含水率下降最迅速, 经过 48 h 的贮藏, 其含水率下降到了 8.20%, 这是因为振动带来的机械损伤和高温条件均会加快茶鲜叶的代谢速度, 叶片的蒸腾速率也会增加从而以水蒸气的形式逸散内部的水份, 另

外, 振动会使得叶面和空气之间存在相对速度, 从而增加了表面的水份被微小气流带走的可能; 其余处理组含水率变化较缓慢, 这说明机械损伤因素对茶鲜叶含水率有重要影响。此外, 常温振动组和常温组茶鲜叶的含水率显著低于其他处理组, 较低的温度可以抑制茶鲜叶的代谢强度, 植物的蒸腾需求也会因为低温而降低, 从而减少内部水分的散失。这也说明低温对延缓茶鲜叶失水速率有重要的作用。控温控湿组在 36 h 之后的含水率略高于控温组, 说明湿度对茶鲜叶含水率有一定的影响。

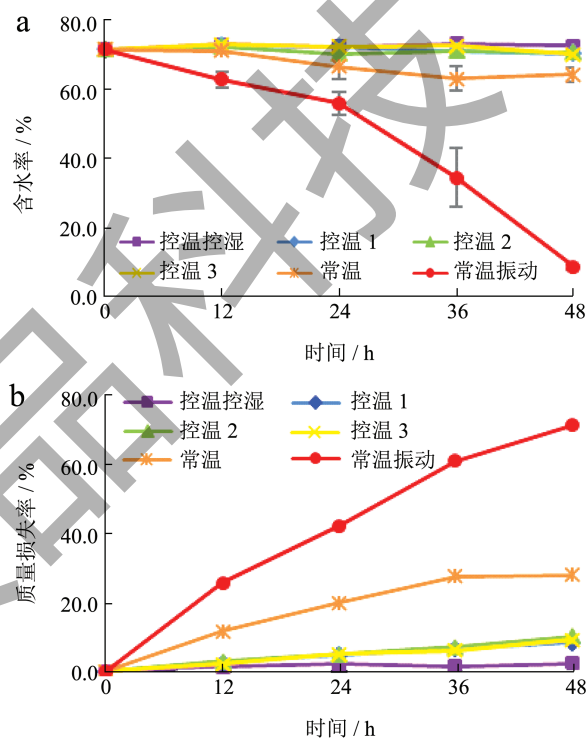


图7 温度、湿度和振动影响对比试验的质量损失率和含水率对比

Fig.7 Comparison of mass loss rate and water content for comparative experiments on the effects of temperature, humidity and vibration

2.2.2 色差值与外观变化

从图 8 可以看出不同贮藏方式的茶鲜叶 L^* 、 a^* 、 b^* 值随贮藏时间的变化。常温振动组茶鲜叶的明度 L^* 值和色度 b^* 值显著比其余处理组茶鲜叶的小, 色度 a^* 值由负值变化为正值, 且色差参数均变化最快, 鲜叶出现红变 (图 9), 振动对茶鲜叶带来的影响更直观的体现在机械损伤上, 茶鲜叶表皮的破损会让内部的组织与空气直接接触, 这也意味着没有了表皮组织的保护, 茶鲜叶被损坏区域的物质将更容易和氧气接触并进行反应和消耗, 而内含物的变化与水份的散失是导致色泽和外观劣变的主要

原因之一^[26]，这也说明振动因素对茶鲜叶色差值和外观变化有重要的影响。贮藏期 24 h 前，常温组与控温的四个处理组之间的 L^* 、 a^* 、 b^* 值差异较小；而后直至 48 h 内，常温组茶鲜叶的 L^* 、 a^* 、 b^* 值（绝对值）均低于控温处理组，外观出现萎蔫和红变（图 9），贮存温度偏高会加快茶鲜叶内含物的代谢和变化，这也说明贮藏环境温度对茶鲜叶色差值有显著影响，在运输时间长度较长的情况下更应该注意温度的控制。贮藏 24 h 后，控温控湿组茶鲜叶的明度色差 L^* 值和色度 b^* 值均高于其余处理组，贮存控制的湿度水平也会对茶鲜叶内含物和含水率变化产生一定的影响，从而也会关联到茶鲜叶外观品质的变化。

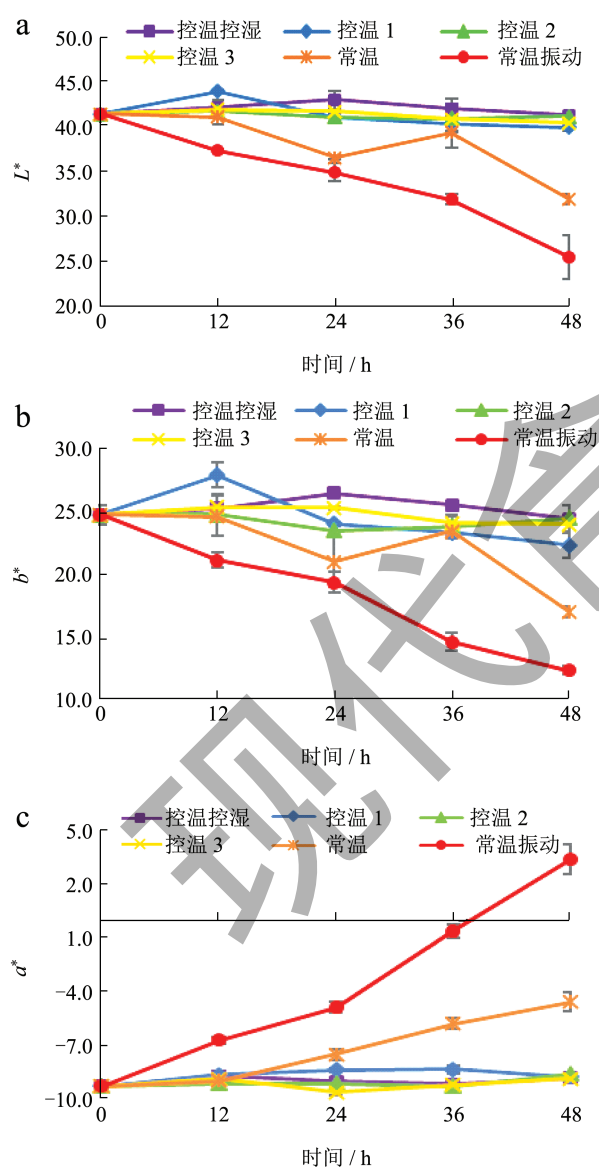


图 8 温度、湿度和振动影响对比试验的 L^* 、 a^* 、 b^* 值对比

Fig.8 Comparison of L^* , a^* , b^* values for comparative experiments on the effects of temperature, humidity and vibration



图 9 48 h 试验后的茶鲜叶外观对比

Fig.9 Comparison of the appearance of fresh tea leaves after 48 h

注：a 为控温控湿组，b 为控温 1 组，c 为控温 2 组，d 为控温 3 组，e 为常温组，f 为常温振动组。

综上所述，振动会加速茶鲜叶劣变，在高温情况下更容易出现红变。此外，贮藏温度和相对湿度对茶鲜叶品质的影响较大。通过低温、减振、控湿这些手段可以有效降低茶鲜叶品质变化的速度。

3 结论

该文设计进行了两组非平行试验，探究温度、湿度、氧气、振动对茶鲜叶贮存过程中茶鲜叶含水率、色泽与质量的变化影响。研究表明，控温 10~13 °C 的实验组较常温实验组的质量损失率减少了 22.50%，控温控湿实验组的质量损失率较常温组的质量损失率降低 26.19%，亮度 L^* 值增加 3.32%，

黄度 b^* 降低 5.71%。控温 10~13 °C 条件下的不控湿与控湿的实验组茶叶含水率相差不大, 低温下的控氧对茶叶品质变化的影响不显著。低温能够在整个贮存周期中有效的维持茶鲜叶的感官和色泽品质, 同时也能降低茶鲜叶含水率和干物质消耗速率。控温 5~8 °C、10~13 °C、15~18 °C 的组间指标变化差异不显著。茶鲜叶运输过程的振动会加快茶鲜叶的含水率下降速度, 增加茶鲜叶的耗重, 明显的加快色泽和感官的劣变。47.67 Hz 振动组实验组的最终含水率为 8.20%, 相较其他组最低。质量损失率为 71.74%, 相较其他组最大。另外, 振动实验组的 L^* 、 a^* 、 b^* 值也在贮存过程中始终保持最大的变化速率, 这也表明振动带来的机械损伤会显著加快茶青外观的劣变。储运过程中的茶青缓振方案将对减少茶鲜叶损失, 保证成茶质量具有重要的意义。

以上研究结果对于保障茶鲜叶贮存质量和减少流通损失有一定的参考价值。值得讨论的是, 茶鲜叶的品种、嫩度等因素可能会对研究结果产生一定的影响, 课题组将在后续工作中深入研究。

参考文献

- [1] SHANG A, LI J, ZHOU D D, et al. Molecular mechanisms underlying health benefits of tea compounds [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2021, 172: 181-200.
- [2] MENG X H, LI N, ZHU H T, et al. Plant resources, chemical constituents and bioactivities of tea plants from the genus *Camellia* section *thea* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67 (19): 5318-5349.
- [3] YU X, HU S, HE C, et al. Chlorophyll metabolism in postharvest tea (*Camellia sinensis* L.) leaves: variations in color values, chlorophyll derivatives, and gene expression levels under different withering treatments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(38): 10624-10636.
- [4] HUANG F F, YANG P D, BAI S L, et al. Lipids: A noteworthy role in better tea quality [J]. *Food Chemistry*, 2024, 431: 137071.
- [5] DUSENGE M, DUARTE A, WAY D. Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration [J]. *New Phytologist*, 2019, 221(1): 32-49.
- [6] 胡蝶,陈维,马成英,等.不同保鲜处理过程中茶青品质成分含量的变化[J].*现代食品科技*,2021,37(4):110-115,95.
- [7] AI-DAIRI M, PATHARE P, AI-YAHYAI R, et al. Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: current status and future prospects [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 124: 195-207.
- [8] 袁越,王一钰,马杨欣,等.果蔬贮藏保鲜技术研究现状综述[J].*农业科技与装备*,2023,5:56-59.
- [9] 高健健,陈丹,彭佳堃,等.茶叶贮藏化学与贮藏技术研究进展[J].*中国茶叶*,2021,43(12):1-10.
- [10] KATSUNO T, KASUAG H, KUSANO Y, et al. Characterisation of odorant compounds and their biochemical formation in green tea with a low temperature storage process [J]. *Food Chemistry*, 2014, 148: 388-395.
- [11] 林冬纯,胡蝶,陈维,等.不同贮青温度及方式对红碎茶品质的影响[J].*食品科学*,2024,45(9):212-218.
- [12] 张正竹,童宗寿,邓娅莉.绿茶原料保鲜技术研究[J].*安徽农业大学学报*,2000,27(2):161-163.
- [13] 张正竹,童宗寿.绿茶原料低温保鲜技术研究[J].*保鲜与加工*,2002,2(1):16-18.
- [14] 廖珺,方洪生,苏有健,等.不同堆放环境下茶鲜叶失水的变化规律[J].*中国农学通报*,2023,39(4):160-164.
- [15] 许锦锋,陆华忠,吕恩利,等.液氮充气调保鲜运输试验平台的设计[J].*安徽农业科学*,2012,40(4):2318-2320.
- [16] 凌霄鹏.关于车身振动及激励源的分析[C]//2012年LMS中国用户大会,桂林,2012.
- [17] 彭涛.车身结构振动噪声特性分析与优化[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [18] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. Effect of mechanical vibration on postharvest quality and volatile compounds of blueberry fruit [J]. *Food Chemistry*, 2021, 349: 129216.
- [19] FANG F, LIU B, FU L Y, et al. Water supply via pedicel reduces postharvest pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) fruit [J]. *Foods*, 2024, 13(5): 814.
- [20] 侯伟华.茶叶烘干机理与烘干机的节能改进[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [21] 闫建伟,牛素贞,尹杰,等.茶叶介电特性的研究[J].*浙江农业学报*,2012,24(3):514-516.
- [22] 黄金盟,江一红,郭小强,等.不同砧木对“阳丰”甜柿树体生长及果实品质的影响[J].*中国南方果树*,2024,53(1): 192-196.
- [23] GNANASEKHARAN V, SHEWFELT R L, CHINNAN M S. Detection of color changes in green vegetables [J]. *Journal of Food Science*, 1992, 57(1): 149-154.
- [24] 魏斌,陈启鑫.运用色度学理论提高地图颜色视觉感受的方法[J].*解放军测绘学院学报*,1996,13(1):50-54.
- [25] 陈欢,吴娟.5种常绿阔叶果树叶含水率对饱和水汽压差与湿度的响应研究[J].*现代园艺*,2024,47(5):85-88.
- [26] LIU B, XUE W W, GUO Z I, et al. Water loss and pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruit maintain seed vigor [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 290: 110519.