

5种叶类蔬菜采后生理生化变化及贮藏特性分析

李雪瑞¹, 冯艳芳², 普红梅¹, 李宏¹, 侯朝祥¹, 杨芳¹, 于丽娟^{1*}

(1. 云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南昆明 650205; 2. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665000)

摘要 [目的] 探讨叶类蔬菜在贮藏过程中的生理生化变化和贮藏特性。[方法] 以白菜、瓢儿菜、油麦菜、青菜、生菜5种叶菜类为试验材料, 分析其在常温贮藏条件下电导率、丙二醛(MDA)含量、呼吸速率、失水率、叶绿素含量、亚硝酸盐含量的变化。[结果] 随着贮藏时间的延长, 各种蔬菜的电导率、MDA含量呈上升趋势, 其中白菜和瓢儿菜电导率的上升幅度低于72%, MDA含量上升幅度明显低于青菜和生菜; 白菜和生菜的呼吸速率先降后升, 而瓢儿菜、油麦菜、青菜的呼吸速率则不断上升; 5种蔬菜的失水率呈增长趋势; 5种蔬菜的叶绿素含量均下降; 5种蔬菜的亚硝酸盐含量均有所增加, 但均在安全食用范围内。[结论] 通过分析各种叶类蔬菜的贮藏特性发现, 白菜、瓢儿菜、油麦菜相对耐贮藏, 推测各蔬菜组织结构的不同可能是导致其采后耐贮性不同的主要原因。该研究结果可为进一步利用采后处理技术提高叶类蔬菜的贮藏品质提供理论依据。

关键词 叶类蔬菜; 采后; 生理生化变化; 贮藏特性

中图分类号 TS 255.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)20-0158-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.041



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Physiological and Biochemical Changes and Storage Characteristics Analysis of Five Varieties of Leafy VegetablesLI Xue-rui¹, FENG Yan-fang², PU Hong-mei¹ et al (1. Institute of Agro-products Processing, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205; 2. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, Yunnan 665000)

Abstract [Objective] To investigate the physiological and biochemical changes and storage characteristics of leafy vegetables during the storage. [Method] Taking five varieties of leafy vegetables (Chinese cabbage, pakchoi, leaf lettuce, green vegetables and lettuce) as test materials, the changes of electrical conductivity, malondialdehyde (MDA) content, respiratory rate, water loss rate, chlorophyll content and nitrite content under room temperature conditions were analyzed. [Result] The electrical conductivity and MDA content of leafy vegetables increased with the prolonging the storage time. The increasing amplitude of the electrical conductivity of Chinese cabbage and pakchoi were less than 72%, the increasing amplitude of MDA content was significantly lower than that in green vegetables all and lettuce. The respiration rate of Chinese cabbage and lettuce firstly decreased and then increased, while the respiration rate of the other three varieties of vegetables increased continuously. The water loss rate of 5 varieties of vegetables all showed an increasing trend, their chlorophyll content all reduced. The nitrite content in five varieties of vegetables increased, but they were all within the safe edible range. [Conclusion] Through analyzing the storage characteristics of each variety of vegetables, it was found that Chinese cabbage, pakchoi, leaf lettuce were relatively shelf-stable, it was concluded that the tissue structure difference of different varieties of vegetables might be the main reason. The research results could provide the theoretical basis for improving the storage quality of leafy vegetables by using postharvest technologies.

Key words Leafy vegetables; Postharvest; Physiological and biochemical changes; Storage characteristics

蔬菜是世界上仅次于粮食的第二类农产品, 也是我国农产品主要出口品种之一。据统计, 由于采后保鲜技术落后, 我国蔬菜在采后贮运、销售过程中浪费严重, 损失率是发达国家的4倍左右^[1-2]。叶菜富含维生素、矿物质及生物活性物质, 深受广大消费者的喜爱。但是, 由于叶菜表面积大、含水量高、组织脆嫩、呼吸和蒸腾作用强等, 其在采收、贮运过程中易受机械损伤、品质易劣变, 高产量未必会带来高商品率、高产值^[3]。以青菜为例, 由于保鲜处理不当或未处理, 我国每年损耗约30%^[4]。叶类蔬菜在贮藏、加工、运输、烹饪等过程中容易积累亚硝酸盐, 若摄入过量会对人体造成危害^[5]。合理、科学贮藏有利于保持叶类蔬菜的商品性, 保障其食用安全性。近年来, 已有一些关于叶类蔬菜贮藏特性的研究报道^[6]。Ma等^[7]研究表明, 在不同贮藏温度和贮藏方式下白菜中亚硝酸盐和硝酸盐的含量随着贮藏时间的延长呈现先增加后下降再上升的变化趋势, 亚硝酸盐含量在

20℃下贮藏7d后即超过4mg/kg的安全摄入量。关于贮藏品质方面的研究表明, 生菜、瓢儿菜和油麦菜品质劣变迅速, 瓢儿菜和生菜的失水率高, 瓢儿菜和菜心黄化褐变严重, 此外还发现虽然瓢儿菜叶绿素含量高, 但贮藏末期叶绿素损失也最严重, 可溶性固形物和还原糖也有不同程度的损失^[8]。此外, 生理生化指标也逐渐被用于预测叶类蔬菜的货架期。宋佳玮等^[9]基于颜色、黄化率和V_c含量的变化, 结合动力学分析和主成分分析等方法, 提出了一种预测青菜货架期模型的方法。叶类蔬菜货架期短, 一般不超过3d, 且贮藏期内易失水萎蔫、黄化腐烂, 品质迅速劣变。笔者研究了白菜、瓢儿菜、油麦菜、青菜和生菜5种常见叶类蔬菜在贮藏过程中的电导率、MDA含量、呼吸速率、失水率、叶绿素含量、亚硝酸盐含量的变化, 旨在为利用采后处理技术提高叶类蔬菜的贮藏品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 白菜(又名毛叶小白菜)、瓢儿菜(又名小京白菜、上海青)、油麦菜、青菜(又名小苦菜)、生菜(又名意大利生菜)5种带根活体叶类蔬菜, 购于云南省农业科学院农产品加工研究所农产品展示平台; 剔除有机机械损伤、病虫害的个体, 选择大小一致的个体常温放置; 定期取样, 测定相关指标。

基金项目 云南省李普旺专家工作站项目(202005AF50007); “绿色食品”打造科技支撑行动(精深加工)专项; 农产品加工团队培育项目(202002AE320007-03)。

作者简介 李雪瑞(1990—), 女, 云南曲靖人, 助理研究员, 硕士, 从事农产品初加工及贮藏保鲜研究。*通信作者, 副研究员, 博士, 从事农产品初加工及贮藏保鲜研究。

收稿日期 2021-11-23; **修回日期** 2021-12-17

1.2 试验方法

1.2.1 电导率的测定。用打孔器将样品制成厚薄均匀、大小一致的组织圆片,精确称取 2 g(或取 20 片)放在盛有 20 mL 蒸馏水的烧杯中,振荡后浸泡 1 h,测定提取液电导率 C_1 ;煮沸 5 min,冷却后加蒸馏水补至 20 mL,测定其电导率 C_0 。按照以下公式计算电导率 L_e 。

$$L_e = C_1 / C_0 \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 MDA 含量的测定。称取样品 2 g,加入三氯乙酸 5 mL,冰浴研磨、离心,取上清即为 MDA 提取液。取 2 mL MDA 提取液,加入 2% 硫代巴比妥酸 2 mL,混匀后 100 °C 水浴中保温 30 min,静置冷却后分别于波长 450、532 和 600 nm 下测定吸光值。按照以下公式,计算 MDA 含量。

$$C = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450} \quad (2)$$

1.2.3 呼吸速率的测定。使用 SY-1022 果蔬呼吸测定仪(购自石家庄世亚科技有限公司)测定各蔬菜的呼吸强度,根据果蔬的大小选择不同体积的呼吸室,通过观察前后呼吸室 CO_2 浓度的变化,测定样品呼吸速率。

1.2.4 失水率测定。采用称重法^[10]测定样品失水率。取样后测定样品初始重量,分别贮藏 24、48 h 后测定样品重量。按照以下公式计算失水率。

$$\text{失水率} = (M_0 - M) / M_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中, M_0 为样品贮前的重量(g), M 为样品贮藏后的重量(g)。

1.2.5 叶绿素含量的测定。取 0.5 g 样品,用提取液(丙酮与乙醇体积比为 2:1)研磨提取,过滤、定容至 25 mL。以提取液为对照,测定 663、645、652 nm 处的吸光值。按照以下公式计算叶绿素含量。

$$\text{叶绿素含量} = (20.20 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}) \times V / (1000 \times W) \quad (4)$$

式中, V 为提取液体积, W 为样品鲜重。

1.2.6 亚硝酸盐含量的测定。参照 GB 5009.33—2016 测定样品亚硝酸盐含量^[11]。称取 5 g(精确至 0.001 g)匀浆试样,置于 250 mL 具塞锥形瓶中,加入 50 g/L 饱和硼砂溶液 12.5 mL,加入 70 °C 左右的水约 150 mL,混匀,于沸水中加热 15 min,取出后置于冷水中冷却,并放置至室温。定量转移上述提取液至 200 mL 容量瓶中,加入 106 g/L 亚铁氰化钾溶液 5 mL,摇匀,再加入 220 g/L 乙酸锌溶液 5 mL,以沉淀蛋白质。加水至刻度,摇匀,放置 30 min,除去上层脂肪,上清液用滤纸过滤,弃去初滤液 30 mL,滤液备用。吸取 40.0 mL 上述滤液置于 50 mL 带塞比色管中;另外吸取亚硝酸钠标准使用液 0、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00、1.50、2.00、2.50 mL(相当于亚硝酸钠 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、7.5、10.0、12.5 μg),分别置于 50 mL 带塞比色管中。在标准管与试样管中分别加入 4 g/L 对氨基苯磺酸溶液 2 mL,混匀,静置 3~5 min 后各加入 2 g/L 盐酸萘乙二胺溶液 1 mL,加水至刻度,混匀,静置 15 min,用 1 cm 比色杯,于波长 538 nm 处测定吸光度,绘制标准曲线,同时设置试剂空白。按照以下公式计算亚硝酸盐含量。

$$X_1 = (m_2 \times 1000) / (m_3 \times \frac{V_1}{V_0} \times 1000) \quad (5)$$

式中, X_1 为试样中亚硝酸钠的含量,单位为 mg/kg; m_2 为测定用样液中亚硝酸钠的质量,单位为 μg ;1 000 为转换系数; m_3 为试样质量,单位为 g; V_1 为测定用样液体积,单位为 mL; V_0 为试样处理液总体积,单位为 mL。

1.3 数据统计与分析 每组试验重复 3 次,使用 Excel 2017 软件统计所有数据,计算标准误并绘图;应用 SPSS 10.0 统计软件对试验数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 5 种叶类蔬菜电导率的变化 电导率的变化反映了果蔬贮藏过程中细胞膜透性的变化情况。随着果蔬的衰老和细胞膜结构的破坏,电导率会不断升高^[12]。由图 1 可知,贮藏 1~3 d,5 种叶类蔬菜的电导率均呈上升趋势。第 1 天,生菜、瓢儿菜与其他 3 种蔬菜的电导率有显著差异,但白菜、油麦菜、青菜之间无显著差异;瓢儿菜的电导率最高,为 21.09%;生菜的电导率最低,为 9.01%。第 2 天油麦菜电导率最高,达 34.36%,而生菜电导率最低(15.11%);与第 1 天相比,第 2 天油麦菜电导率上升最快,瓢儿菜电导率上升最慢。贮藏第 3 天,白菜、瓢儿菜、油麦菜、青菜、生菜的电导率比第 1 天分别增加 71.36%、16.19%、149.43%、154.01% 和 206.50%;第 3 天白菜与瓢儿菜电导率无显著差异,均低于其他蔬菜。

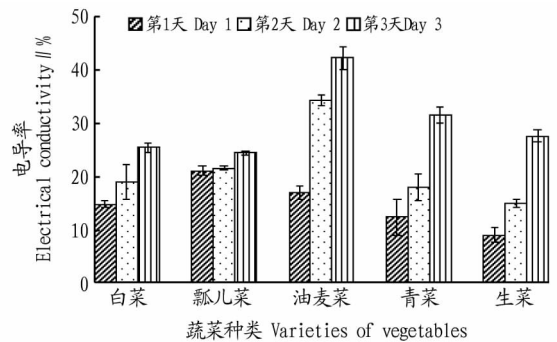


图 1 贮藏过程中 5 种叶类蔬菜电导率的变化

Fig.1 The changes of electrical conductivity of five varieties of leafy vegetables during the storage process

2.2 5 种叶类蔬菜 MDA 含量的变化 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化分解的主要产物。MDA 的增加反映出细胞膜通透率的增大,表明蔬菜在加速衰老^[13]。由图 2 可知,贮藏期内所有蔬菜的 MDA 含量均呈上升趋势。与第 1 天相比,第 3 天白菜、瓢儿菜、油麦菜 MDA 含量的上升幅度分别为 17.58%、51.29% 和 27.14%,而青菜和生菜 MDA 含量的上升幅度分别高达 201.29% 和 387.52%。以上结果与电导率变化趋势相一致,表明青菜和生菜细胞膜透性的增加幅度较大,衰老较快,不耐贮藏。

2.3 5 种叶类蔬菜呼吸速率的变化 呼吸作用的强弱与采后蔬菜品质变化有密切关系。呼吸作用是植物体内物质不断分解的过程,是新陈代谢的异化作用^[14]。植物体呼吸作用强度大,往往容易消耗更多的营养物质,散发出大量的呼吸热,加速衰老劣变^[15]。从图 3 可以看出,随着贮藏时间的延长,白菜和生菜的呼吸速率先降低后升高,而瓢儿菜、油麦菜、青菜的呼吸速率不断升高。贮藏第 1 天,瓢儿菜、

青菜、油麦菜、生菜、白菜的呼吸速率分别为 17.07%、24.99%、36.64%、32.22%和 43.31%；第 2 天，白菜和生菜的呼吸速率分别降至 34.59%和 26.30%；第 3 天，白菜和生菜的呼吸速率又有所上升。

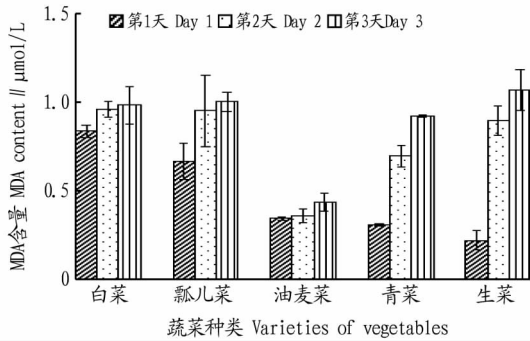


图2 贮藏过程中5种叶类蔬菜MDA含量的变化

Fig.2 The changes of MDA content in five varieties of leafy vegetables during the storage process

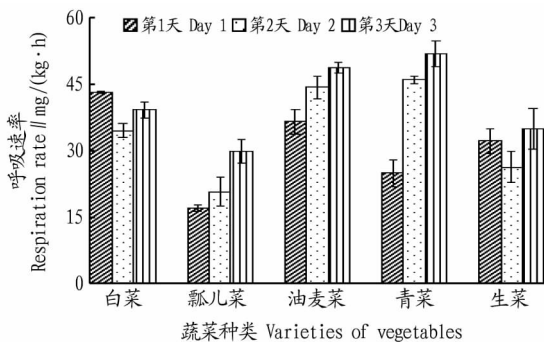


图3 贮藏过程中5种叶类蔬菜呼吸速率的变化

Fig.3 The respiration rate changes of five varieties of leafy vegetables during the storage process

2.4 5种叶类蔬菜失水率的变化 新鲜蔬菜的含水量为60%~96%，在采后运输和贮藏过程中会逐渐失水萎蔫，重量减少且品质下降。蔬菜失水3%~5%就会发生萎蔫和皱缩^[2]。如图4所示，随着贮藏时间的延长，5种叶类蔬菜的失水率均有所增加。贮藏24 h，5种蔬菜已经开始逐渐萎蔫，失水率均超过20.00%，其中油麦菜和青菜的失水率接近40.00%，与其他3种蔬菜的失水率存在显著差异。贮藏48 h，瓢儿菜的失水率为39.47%，白菜、生菜、油麦菜、青菜的失水率均大于45.00%。油麦菜和青菜失水率较高，比其他3种蔬菜更易失水萎蔫。瓢儿菜是这几种蔬菜中最不易萎蔫的蔬菜品种。

2.5 5种叶类蔬菜叶绿素含量的变化 蔬菜富含叶绿素，采后容易褪绿黄化，失去原有的色泽，从而使感官品质下降。如图5所示，随着贮藏时间的延长，所有蔬菜的叶绿素含量都有所降低。贮藏第1天，5种叶类蔬菜叶绿素含量均存在显著差异，其中油麦菜叶绿素含量最高(1.46 mg/g)，生菜叶绿素含量最低(0.76 mg/g)。贮藏第2天，5种叶类蔬菜叶绿素含量较第1天分别降低了35.56%、29.38%、8.15%、13.15%和33.89%，其中油麦菜叶绿素含量下降幅度最小；白菜和生菜之间以及瓢儿菜和青菜之间叶绿素含量无显著

差异。贮藏第3天，白菜、瓢儿菜、油麦菜、青菜、生菜叶绿素含量相较于第1天分别下降38.04%、25.87%、31.50%、39.65%和48.58%。

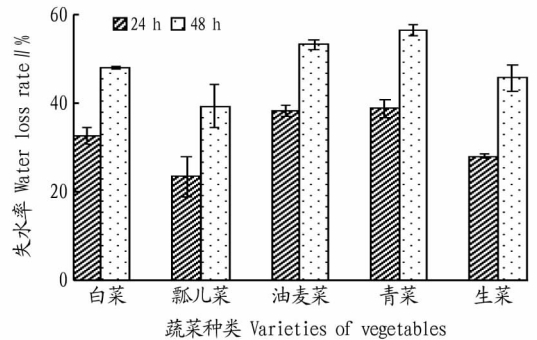


图4 贮藏过程中5种叶类蔬菜失水率的变化

Fig.4 The water loss rate changes of five varieties of leafy vegetables during the storage process

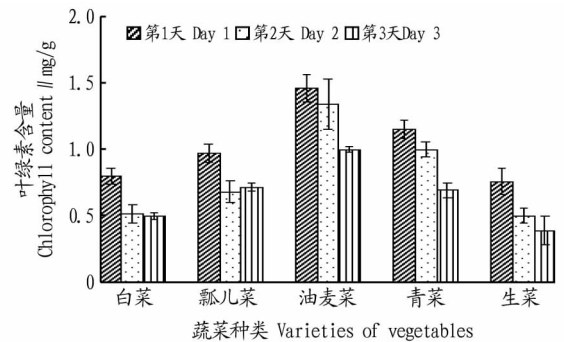


图5 贮藏过程中5种叶类蔬菜叶绿素含量的变化

Fig.5 The chlorophyll content changes of five varieties of leafy vegetables during the storage process

2.6 5种叶类蔬菜亚硝酸盐含量的变化 蔬菜中的硝酸盐可在硝酸还原酶和微生物的作用下转化为亚硝酸^[5]。如图6所示，随着贮藏时间的延长，5种叶类蔬菜中亚硝酸盐的含量均逐渐增加。贮藏第1天，生菜、白菜和油麦菜中亚硝酸盐含量没有显著差异，其中生菜的亚硝酸盐含量较高，为1.74 mg/kg。贮藏第2天，5种蔬菜的亚硝酸含量均无显著差异；贮藏第3天，瓢儿菜与青菜、白菜与油麦菜之间亚硝酸盐含量没有显著差异，与第1天相比白菜的亚硝酸盐含量增加54.36%，瓢儿菜、油麦菜、青菜、生菜的亚硝酸盐含量分别增加53.65%、50.93%、46.60%和58.62%。

3 讨论

贮藏至第3天，生菜、青菜、油麦菜、白菜、瓢儿菜的电导率分别增加206.50%、154.01%、149.43%、71.36%和16.19%。这可能与各蔬菜的结构不同有关。白菜和瓢儿菜结构紧密，容易维持细胞完整性，更能抵御机械损伤及病害侵袭，因此电导率上升相对较慢；油麦菜、青菜、生菜叶面积大，防机械损伤和病害能力弱，细胞结构易遭到破坏，所以电导率上升较快。贮藏第3天，生菜、青菜、瓢儿菜、油麦菜、白菜的MDA含量较第1天分别上升387.52%、201.29%、51.29%、27.14%和17.58%，青菜、瓢儿菜、油麦菜、生菜的呼吸速率较第1天分别上升107.92%、75.71%、33.38%和8.41%，白菜的呼吸速

率比第 1 天降低 9.26%,且白菜和生菜的呼吸速率先降低后增加,这与侯建设等^[16]的研究结果相一致。究其原因,白菜采后初始新陈代谢旺盛,物质快速分解,植株迅速衰亡,所以呼吸速率迅速下降,但随着贮藏时间的延长,植物体细胞结构被破坏,病原微生物的侵染和增殖导致呼吸速率上升。总体来看,第 3 天瓢儿菜的呼吸速率较第 1 天升高了 75.71%,但仍最低;第 3 天瓢儿菜、青菜的呼吸速率较第 1 天大幅度升高,均大于 75%;贮藏 48 h,青菜、油麦菜、白菜、生菜和瓢儿菜的失水率分别为 56.75%、53.48%、48.15%、45.97%、39.47%。这可能与各蔬菜的组织结构有关,油麦菜和青菜叶表面积大,且叶面水分充沛,组织坚硬脆嫩,采后贮藏期间呼吸、蒸腾等生理活动仍然旺盛,水分大量蒸发^[17];白菜和生菜气孔较少,而瓢儿菜不仅叶片小而且具有较大比例的茎组织、表皮细胞角质层厚^[18],所以失水速度相对较慢。贮藏第 3 天生菜、青菜、白菜、油麦菜、瓢儿菜叶绿素含量较第 1 天分别下降 48.58%、39.65%、38.04%、31.50%和 25.87%。徐冬颖等^[19]对菠菜采后贮藏品质的研究也得出了相似结果。蔬菜在采后贮藏过程中叶绿素合成活动停止,但代谢作用仍然旺盛。随着贮藏时间的延长,通过叶绿素酶和脱镁叶绿素螯合酶主导的代谢途径叶绿素逐渐被分解,从而使绿色消退并逐渐黄化^[20-21]。生菜与瓢儿菜叶绿素含量降低程度的差异,可能与这 2 种蔬菜的叶绿素含量基数及其类囊体膜上多肽组分及其稳定性等有关^[22]。贮藏第 3 天,生菜、白菜、瓢儿菜、油麦菜和青菜的亚硝酸盐含量较第 1 天分别增加 58.62%、54.36%、53.65%、50.93%和 46.60%。叶类蔬菜属于硝酸盐富集型蔬菜,曹晓倩等的研究也有相同结果^[23]。生菜较易累积亚硝酸盐,Hao 等^[24]利用适当的 ClO₂ 水溶液处理来降低新鲜生菜贮藏期间的亚硝酸盐水平或延缓其峰值出现。常温贮存 3 d 后,叶菜类蔬菜中亚硝酸盐含量虽然有所增加,但仍在可食用标准范围内。白菜、瓢儿菜、油麦菜相对较耐贮藏,推测组织结构和呼吸代谢特性的差异是导致各蔬菜采后耐贮性不同的主要原因,具体机理有待进一步研究。

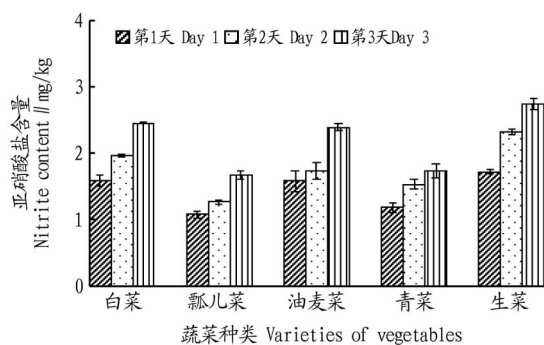


图 6 贮藏过程中 5 种叶类蔬菜亚硝酸盐含量的变化

Fig.6 The changes of nitrite content in five varieties of leafy vegetables during the storage process

4 结论

通过测定 5 种叶类蔬菜电导率、MDA 含量、呼吸速率、失水率、叶绿素含量和亚硝酸盐含量的变化,比较白菜、瓢儿

菜、油麦菜、青菜和生菜这 5 种叶类蔬菜的贮藏特性。随着贮藏时间的延长,各类蔬菜的电导率、MDA 含量、呼吸速率、失水率、亚硝酸盐含量总体上呈上升趋势,叶绿素含量呈下降趋势,5 种叶类蔬菜中白菜、瓢儿菜、油麦菜相对更耐贮藏。与第 1 天相比,贮藏第 3 天白菜和瓢儿菜电导率的上升幅度低于 72%,MDA 含量的上升幅度也明显低于青菜和生菜;白菜的呼吸速率先降后升,贮藏第 3 天白菜的呼吸速率相较于第 1 天降低了 9.26%;5 类蔬菜的失水率呈增长趋势,贮藏 48 h 白菜、瓢儿菜、油麦菜的失水率分别为 48.15%、39.47%和 53.48%;贮藏第 3 天亚硝酸盐含量较第 1 天均有所增加,但均在安全食用范围内。此研究结果可为利用采后处理技术提高各类叶类蔬菜贮藏品质,结合组织结构特征分析、叶绿素降解、硝酸还原酶活性变化等探讨叶类蔬菜采后衰老机制提供参考依据。

参考文献

- [1] 李卫芬,董延伟,万红,等.云南蔬菜资源调查和分析研究[J].西南农业学报,2020,33(1):140-145.
- [2] 郑雯.生菜的净化处理及品质控制研究[D].广州:华南理工大学,2013:11-13.
- [3] 林旭东,凌建刚,康孟利,等.鲜切叶菜贮藏保鲜技术研究进展[J].农产品加工(学刊),2014(14):68-70.
- [4] 陶佳佳,谢晶.蔬菜采后保鲜技术的研究进展[J].湖南农业科学,2015(2):143-146.
- [5] 千春录,王毓业,李虹,等.臭氧对大白菜低温贮藏品质和硝酸盐、亚硝酸盐的影响[J].安徽农业大学学报,2019,46(2):350-354.
- [6] MANOLOPOULOU H, LAMBRINOS G, CHATZIS E, et al. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on storage quality of fresh-cut romaine lettuce [J]. J Food Qual, 2010, 33(S1): 317-336.
- [7] MA G, ZHANG L C, SETIAWAN C K, et al. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli [J]. Postharvest Biol Technol, 2014, 94(7): 97-103.
- [8] 周伟.低温下单色 LED 和短波 UV 照射对上海青贮藏品质调控的研究[D].广州:华南理工大学,2016:28-30.
- [9] 宋佳玮,巩建华,罗嗣育,等.宅配小青菜贮藏期间货架期预测模型的建立[J].核农学报,2019,33(9):1806-1817.
- [10] 史萌,郑秋丽,高丽朴,等.1-MCP 处理对韭菜采后贮藏生理和品质的影响[J].保鲜与加工,2019,19(3):58-63.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定:GB 5009.33—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [12] 千春录,林晨,殷健东,等.1-MCP 和自发气调对猕猴桃果实贮藏品质和色素的影响[J].江苏农业科学,2018,46(13):189-192.
- [13] 邵婷婷,张敏,刘威,等.采后热水处理对青椒果实低温贮藏期间活性氧代谢及抗氧化物质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(12):133-139.
- [14] 高佳,唐月明,朱永清,等.MAP 保鲜技术对采后干蒜贮藏品质的影响[J].西南农业学报,2020,33(7):1573-1579.
- [15] 丁艳.预冷时间对生鲜农产品贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(5):131-136,243.
- [16] 侯建设,席玛芳,余挺.白菜采后衰老生理的研究[J].园艺学报,2003,30(3):335-337.
- [17] 董小亮,陶乐仁,谭万利,等.低温条件下蔬菜水分蒸发强度的研究[J].食品科学,2013,34(13):136-139.
- [18] DUTTA K, SEN S, VEERANKI V D. Production, characterization and applications of microbial cutinases [J]. Process Biochem, 2009, 44(2): 127-134.
- [19] 徐冬颖,史君彦,郑秋丽,等.臭氧处理对菠菜采后保鲜效果的影响[J].北方园艺,2018(12):125-130.
- [20] 乔勇进,张辉,唐坚,等.采后小白菜叶绿体色素含量变化及其叶绿素降解动力学的研究[J].食品安全质量检测学通讯,2013,4(6):1692-1698.

表 4 测试集数据及中片率预测值

Table 4 The testing set data and predicted value of the percentage of medium-sized strips

序号 No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	IX	X	中片率预测值 Percentage of medium-sized strips predicted//%
1	32	32	32	32	30	30	34	35	35	40.21
2	34	34	34	34	31	31	34	34	35	40.57
3	32	32	32	32	30	30	32	35	35	41.61
4	31	31	31	31	30	30	29	33	35	35.12
5	29	29	29	29	29	29	29	32	35	38.50
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
84	29	29	29	29	28	28	28	31	35	34.47
85	31	31	31	31	30	30	30	34	39	36.87
86	35	35	35	35	31	31	34	34	35	37.80
87	31	31	31	31	32	32	28	33	35	35.65

注:I,II,III,IV,V,VI,VII,IX,X分别为—联打辊转速(—打)、二联打辊转速(—打)、三联打辊转速(—打)、四联打辊转速(—打)、—联打辊转速(二打)、二联打辊转速(二打)、打辊转速(三打)、打辊转速(四打)、打辊转速(五打)

Note:I,II,III,IV,V,VI,VII,IX,X were the rotational speed of one-roll threshing drum(threshing 1),the rotational speed of two-roll threshing drum(threshing 1),the rotational speed of three-roll threshing drum(threshing 1),the rotational speed of four-roll threshing drum(threshing 1),the rotational speed of one-roll threshing drum(threshing 2),the rotational speed of two-roll threshing drum(threshing 2),the rotational speed of threshing drum(threshing 3),the rotational speed of threshing drum(threshing 4),and the rotational speed of threshing drum(threshing 5) respectively

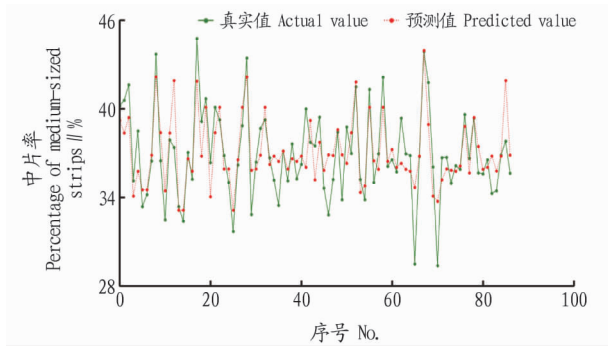


图 4 中片率预测值与实际值的比较

Fig.4 The predicted value and actual value comparison of the percentage of medium-sized strips

片率的重要特征参数,模型回归评分达到 0.622,回归模型预测效果较好。该方法可为打叶复烤打叶工艺参数的调控优化提供技术支持。

随着烟草行业数字化转型的逐步推进,在未来还需要进一步打通工商业相关业务的数据链条,获取更多高质量的业务数据,通过包括随机森林算法在内的大数据分析和机器学习

习算法,建立更加准确、适用的预测模型,实现烟叶复烤的数字化和智能化,支撑行业高质量发展。

参考文献

- [1] 谢剑平.形势与未来:烟草科技发展展望[J].中国烟草学报,2017,23(3):1-7.
- [2] 杨凯,陈清,徐其敏,等.打叶复烤配方均匀性控制模式的研究[C]//中国烟草学会.中国烟草 2013 年学术年会论文集.北京:中国烟草学会,2013:7-12.
- [3] 皮亮,刘威,万明宇,等.基于参数标准化的片烟叶片结构管控[J].浙江农业科学,2021,62(6):1188-1191,1217.
- [4] 杨洋,杨雨波,吴昊,等.烟草加工中打叶复烤工艺参数优化[J].农业工程,2018,8(8):83-85.
- [5] 黄小艳,赵广仁,黄晶,等.基于决策树和正交试验设计的打叶复烤工艺参数优化[J].天津农业科学,2020,26(9):69-72.
- [6] BREIMAN L.Random forests[J].Machine learning,2001,45(1):5-32.
- [7] GENUER R,POGGI J M,TULEAU-MALOT C,et al.Random forests for big data[J].Big data research,2017,9:28-46.
- [8] 成浩科,沈菲.基于随机森林的河流总磷预测模型及影响因素分析[J].环境保护科学,2021,47(3):62-67,117.
- [9] 苏志同,汪武瑶.基于随机森林的煨烧工艺参数的研究和分析[J].软件,2018,39(4):148-150.
- [10] 张莉,纪铭阳,胡宗玉,等.基于随机森林和逻辑回归分类模型的烟叶精选品控指标筛选[J].江苏农业科学,2020,48(3):214-217.

(上接第 161 页)

- [21] 田凤霞,惠振,王国坤,等.植物体内的叶绿素降解与滞绿突变体[J].植物生理学通讯,2010,46(5):505-511.
- [22] 樊昶昶,熊新星,邹亚红,等.热处理对菠菜和上海青类囊体膜及叶绿素稳定性的影响[J].中国食物与营养,2017,23(4):30-34.

- [23] 曹晓倩,孙涛,帕尔哈提,等.不同处理条件对叶菜类蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J].中国食物与营养,2018,24(2):33-36.
- [24] HAO J X,LI H Y,WAN Y F,et al.Reduction of nitrite levels in fresh lettuces with aqueous chlorine dioxide treatment[J].Int J Food Sci Technol,2015,50(3):652-659.