

褪黑素处理对小青菜贮藏品质的影响

卢瑞雪, 韩延超, 陈杭君, 房祥军, 吴伟杰, 刘瑞玲, 穆宏磊, 郜海燕*

(浙江省农业科学院食品科学研究所 农业农村部果品产后处理重点实验室)

浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室 中国轻工业果蔬保鲜与加工重点实验室 杭州 310021)

摘要 小青菜是典型的绿叶蔬菜,采后极易衰老黄化。本文以小青菜为试材,研究不同浓度(0.2,0.4,0.6,0.8 mmol/L)褪黑素(MT)对小青菜贮藏品质的影响。结果表明,MT处理可有效延缓小青菜的衰老进程,保持良好色泽,延缓失重率和黄化率的升高,保持较高的叶绿素、维生素C、可溶性固形物和还原糖含量。MT处理还可显著提高过氧化物酶(POD)活性和多酚氧化酶(PPO)活性。在不同褪黑素处理浓度中,0.6 mmol/L褪黑素最适宜小青菜的贮藏保鲜。本研究结果为小青菜采后保鲜提供了一定的理论基础。

关键词 小青菜;褪黑素;保鲜;品质

文章编号 1009-7848(2022)01-0198-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.01.022

小青菜属于白菜的一个亚种,又称小白菜、小油菜等,是易腐性绿叶蔬菜的代表,采后2 d开始变黄,常温贮藏时间极短。目前大多采用低温、气调等方法贮藏,然而设备费用高^[1]。近些年,绿色蔬菜的摄入量与食品安全性越来越受到重视,而褪黑素是所有植物都具有的一种内源吲哚胺,其安全性毋庸置疑。关于小青菜的保鲜,有低温、气调冷库、涂膜保鲜等。徐静等^[2]研究表明,将小青菜于0.1%植酸、20 mg/L细胞分裂素中浸泡,可延长其贮藏时间。袁海娜等^[3]发现热水处理小青菜可延长贮藏时间。沈连清等^[4]研究表明,气调包装可延长小青菜的贮藏期。

褪黑素(Melatonin, MT)是生物体可自身合成的一种化合物,在体内可代谢,因此不会在体内蓄积,褪黑素存在于许多常见的水果和蔬菜中,如番茄、苹果、草莓等^[5-6]。植物的生长^[7]和衰老^[8]等离不开褪黑素,植物的生长调节、自由基清除^[9]等也离不开褪黑素。Tan等^[10]发现MT通过抑制ABFs介导的脱落酸生物合成和叶绿素降解,延缓菜心叶片衰老。1 mmol/L褪黑素可延缓大麦叶片叶绿素降解^[11]。吴燕等^[12]发现外源MT能增强栝楼雌花抗

氧化酶活性等。王蓉等^[13]研究发现MT可延缓茄子叶片衰老。Gao等^[14]研究表明,MT可减慢桃果实采后衰老。高帆等^[15]研究表明,施加MT能有效提高猕猴桃幼苗抗氧化能力。有研究表明从食物中摄入植物中的褪黑素在一定程度上可以预防阿尔茨海默病^[16],由此可见其安全性是毋庸置疑的。将褪黑素用于小青菜保鲜,尚未见报道。因此,本试验拟通过研究不同MT处理对小青菜的色泽、失重率、黄化率以及叶绿素、维生素C、糖酸、抗氧化酶活含量的影响,筛选出保鲜效果较合适的MT处理浓度,为延长小青菜采后贮藏期提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本文选用‘上海青’品种小青菜为试验材料,2019年4月购买自江苏省南通市通州湾蔬菜基地。小青菜按照新鲜、大小均一、无机械损伤、无病虫害^[17]等要求挑选。

试剂:丙酮、三氯乙酸、抗坏血酸、酒石酸钾、氢氧化钠、3,5-二硝基水杨酸、结晶酚、冰醋酸、无水醋酸钠、亚硫酸钠、葡萄糖、聚乙二醇6000、聚乙烯吡咯烷酮、TritonX-100、愈创木酚、无水乙醇、过氧化氢、磷酸、邻苯二酚、褪黑素,上海生工生物工程股份有限公司。

1.2 仪器与设备

R-400手持色差仪,日本SEMSING;5430 R

收稿日期:2021-02-07

基金项目:浙江省重点研发计划项目(2019C02079);国家重点研发计划项目(2018YFD0401304)

作者简介:卢瑞雪(1995—),女,硕士生

通信作者:郜海燕 E-mail: spsghy@163.com

台式高速离心机,德国 Eppendorf 生命科学公司; Spark 多功能酶标仪,瑞士 Tecan 公司; 877 Metrohm 自动电位滴定仪,瑞士万通公司; LB20T 糖度计,广州市速为电子科技有限公司。

1.3 试验方法

小青菜在处理前在自来水中漂洗,去除杂质等。将小青菜分别用 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 mmol/L 褪黑素浸泡 3 min, 对照组采用同体积清水浸泡, 室温晾干。为模拟小青菜采后贮藏条件, 选择 60 颗小青菜, 用 PE 袋 (0.06 mm) 进行包装, 每袋 4 颗小青菜, 20 °C 恒温箱贮藏, 间隔 2 d 取样, 测定小青菜品质指标。

1.4 品质指标测定

色泽的测定: 采用 CR-400 手持色差仪。

失重率的测定: 采用称重法。

失重率 (%) = (小青菜的初始质量 - 小青菜贮藏一段时间后的质量) / 小青菜的初始质量 × 100

黄化率的测定: 参考徐静等^[2]方法, 根据小青菜叶片黄化面积划分为 5 级。

0 级, 无黄化; 1 级, $S_{\text{黄化}} < 10\%$; 2 级, $10\% < S_{\text{黄化}} < 25\%$; 3 级, $25\% < S_{\text{黄化}} < 40\%$; 4 级, $S_{\text{黄化}} > 40\%$, 公式如下:

黄化指数 = \sum (黄化级别 × 该级别叶片数) / 调查总叶片数

维生素 C 含量的测定: 采用韩延超等^[18]测定方法。

叶绿素含量的测定: 采用曹建康等^[19]测定方法。

可溶性固形物的测定: 采用便携式阿贝折光仪测量。

还原糖含量: 采用 3,5-二硝基水杨酸法^[19]。

过氧化物酶 (POD) 活性测定: 采用愈创木酚法测定^[19]。

多酚氧化酶 (PPO) 活性测定: 采用比色法测定^[19]。

1.5 数据处理

GraphPad Prism 5 进行数据处理和绘图, SPSS 22.0 中的邓肯多重比较进行显著性差异分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 褪黑素对小青菜色泽的影响

L^* 值代表小青菜亮度, L^* 值越大表明颜色越亮。小青菜叶绿素降解导致黄化, 因此小青菜叶片 L^* 值呈不断上升的趋势。由图 1a 可知, 第 6 天开始, 0.2, 0.4, 0.6 mmol/L MT 处理组延缓了 L^* 值上升, 并且与对照组之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

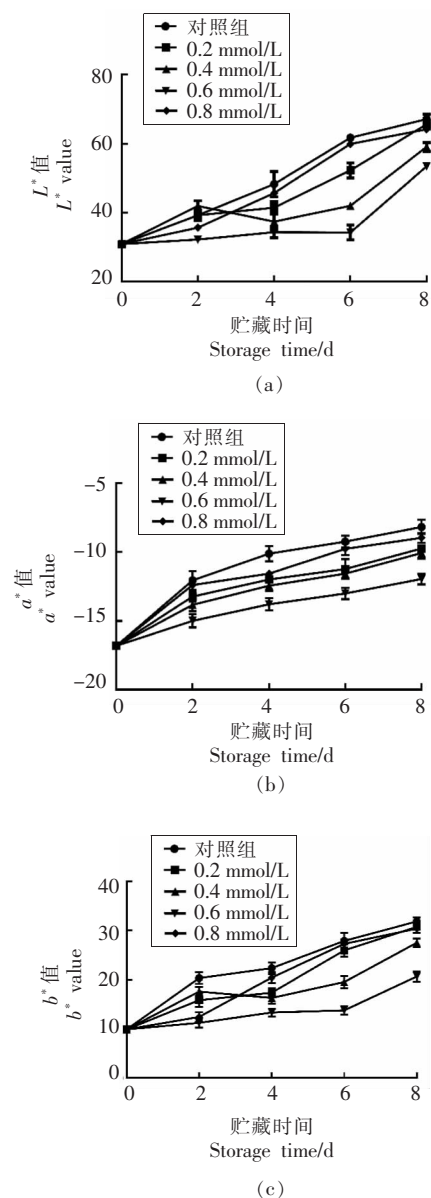


图 1 不同浓度褪黑素对小青菜色泽的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of melatonin on color of *Brassica chinensis* L.

其中,0.6 mmol/L MT处理组 L^* 值比对照组和0.2,0.4,0.8 mmol/L处理组低, L^* 值最低。

a^* 值表示小青菜红绿水平,负值小表示叶片呈绿色强。由图 1b 可知,小青菜 a^* 值持续上升,说明小青菜叶片绿色在减弱。对照组的 a^* 值一直高于褪黑素处理组,且对照组与0.2,0.4,0.6 mmol/L MT处理组差异显著($P < 0.05$),其中0.6 mmol/L MT处理组 a^* 值上升最为缓慢。说明0.6 mmol/L MT能有效延缓 a^* 值上升。

b^* 值代表小青菜的蓝黄水平,数值大表示小青菜叶片黄化严重。由图 1c 可知, b^* 值总体呈上升趋势。贮藏第4天后,0.4,0.6 mmol/L MT处理组与对照组差异显著($P < 0.05$),延缓了 b^* 值上升,而0.6 mmol/L MT处理组的 b^* 值总体偏低,说明浓度为0.6 mmol/L的褪黑素处理组效果较好,可延缓 b^* 值上升。

2.2 褪黑素对小青菜失重率的影响

叶类蔬菜贮藏品质可体现在失重率的高低。由图 2 可知,失重率总体呈上升状态。其中,0.6 mmol/L MT处理组的失重率显著低于对照组和0.2,0.4,0.8 mmol/L MT处理组,贮藏期间0.6 mmol/L MT处理组的失重率上升最平缓,失重率最低。第8天时,0.2 mmol/L和0.4 mmol/L MT处理组之间差异不显著,而0.2 mmol/L和0.4 mmol/L MT处理组与对照组和0.6,0.8 mmol/L处理组差异显著($P < 0.05$)。说明0.6 mmol/L MT处理能有效控制新鲜小青菜在采后贮藏过程中水分的丧失。

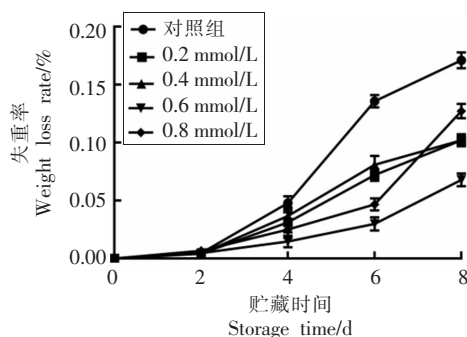


图2 不同浓度褪黑素对小青菜的失重率的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of melatonin on weight loss rate of *Brassica chinensis* L.

2.3 褪黑素对小青菜黄化率和叶绿素的影响

黄化率可以衡量绿色蔬菜品质。由图 3a 可知,贮藏期间,黄化率呈上升趋势,不同浓度褪黑素处理后黄化率变化不同。在这些处理组中,0.6 mmol/L MT处理组黄化率上升最为缓慢,且黄化率最低,显著低于其它处理组。这说明0.6 mmol/L MT处理可有效延缓其黄化速率,延长食用期。

由图 3b 可知,小青菜叶绿素含量不断下降。随着贮藏时间的延长,0.2,0.4,0.6,0.8 mmol/L MT处理组的小青菜叶绿素含量都显著高于对照组($P < 0.05$),贮藏第8天,0.2,0.4,0.6,0.8 mmol/L处理组叶绿素含量分别为0.24953,0.3989,0.56884,0.31264 mg/g,分别下降至初始值的16.64%,26.59%,37.92%,20.84%,说明不同浓度褪黑素处理组均能不同程度抑制叶绿素的降解。其中0.6 mmol/L MT处理组的小青菜叶绿素含量相对较高。

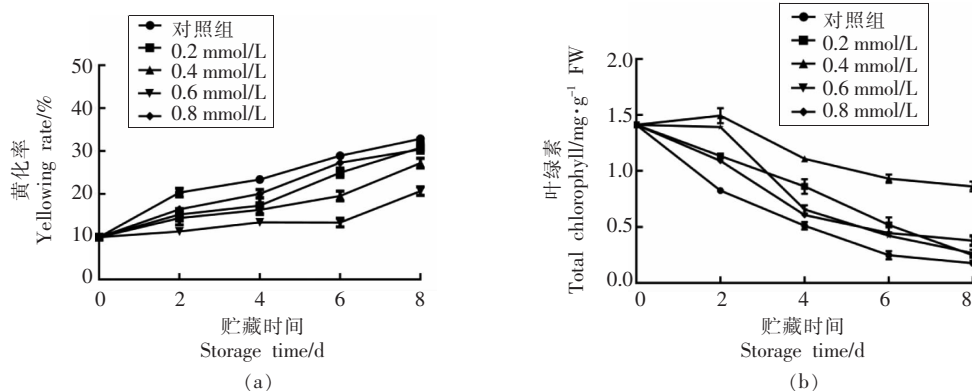


图3 不同浓度褪黑素对小青菜的黄化率和叶绿素的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of melatonin on yellowing rate and chlorophyll content of *Brassica chinensis* L.

2.4 褪黑素对小青菜维生素 C 的影响

由图 4 可知,贮藏期间,小青菜 VC 含量不断下降。0.2,0.4,0.6,0.8 mmol/L MT 处理组的小青菜叶绿素含量都显著高于对照组 ($P < 0.05$)。0.4 mmol/L MT 处理组贮藏第 8 天下降至初始值的 72.41%,0.8 mmol/L MT 处理组贮藏第 8 天下降至初始值的 58.62%。相比之下,0.6 mmol/L MT 条件下 VC 含量下降的最缓慢,贮藏第 8 天下降至初始值的 83.45%。可见,褪黑素处理 VC 含量高于对照组,其中褪黑素浓度为 0.6 mmol/L 的处理组效果较明显。

2.5 褪黑素对小青菜可溶性固形物和还原糖的影响

可溶性固形物(Total soluble solid,TSS)主要是糖、矿物盐类、色素等可溶于水的物质,可反映蔬菜采后品质的变化。由图 5a 可知,TSS 连续下降。2~4 d 可溶性固形物下降较明显,第 6 天开始下降相对较缓慢,对照组和 0.8 mmol/L MT 可溶性固形物下降最为迅速,然而褪黑素浓度为 0.6 mmol/L 的处理组变化最迟缓。

由图 5b 可知,贮藏第 2 天还原糖含量均开始

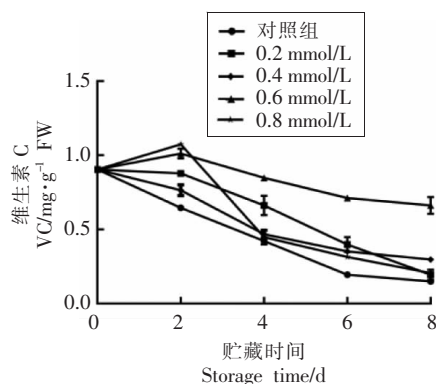


图 4 不同浓度褪黑素对小青菜的维生素 C 的影响
Fig.4 Effects of different concentrations of melatonin on vitamin C content of *Brassica chinensis* L.

降低,这是由于小青菜贮藏期间进行呼吸代谢,消耗糖类物质。对照组还原糖含量由贮藏前的 0.69%降至贮藏结束时的 0.20%,而 0.6 mmol/L MT 处理组则由 0.69%降至贮藏结束时的 0.28%。在整个贮藏过程中,0.6 mmol/L MT 处理组还原糖含量显著高于 0.2,0.4,0.8 mmol/L MT 处理组与对照组 ($P < 0.05$),表明 0.6 mmol/L MT 处理减缓还原糖的降解效果较好。

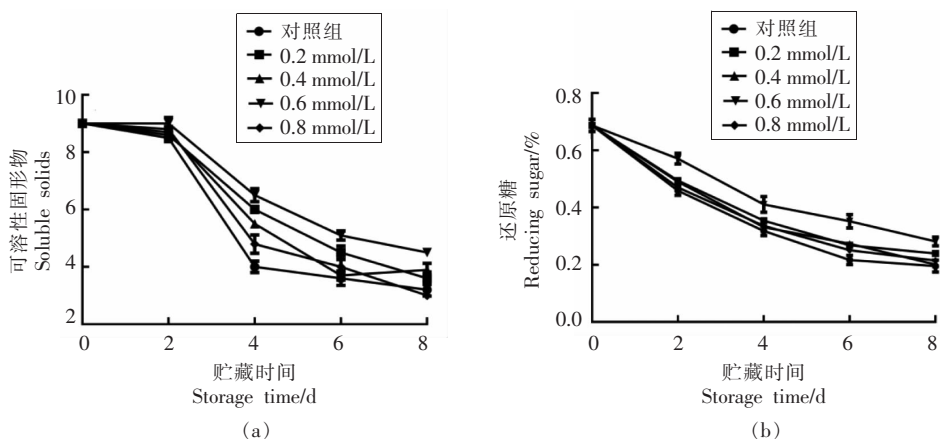


图 5 不同浓度褪黑素对小青菜可溶性固形物和还原糖的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of melatonin on TSS and reducing sugar of *Brassica chinensis* L.

2.6 褪黑素对小青菜抗氧化酶活性的影响

过氧化物酶(POD)可以反映小青菜组织老化的程度,可减少小青菜中自由基的蓄积^[20]。由图 6a 可知,POD 在贮藏 0~4 d 时上升缓慢,4~8 d 上升明显。0.2,0.4,0.6 mmol/L 褪黑素处理组 POD 活性均高于对照组。其中,0.6 mmol/L MT 处理组与对照组之间始终具有显著性差异 ($P < 0.05$)。贮藏末

期,0.6 mmol/L MT 处理组 POD 活性是初期的 1.34 倍,贮藏末期对照组 POD 活性是初期的 1.59 倍。表明在小青菜贮藏过程中的衰老与 POD 存在一定关系,0.6 mmol/L MT 处理在一定程度上延缓了小青菜的衰老。

多酚氧化酶(PPO)是一种关键的氧化酶^[21],小青菜的黄化与 PPO 有关^[22]。由图 6b 可知,PPO 活

性不断上升。MT处理后PPO活性不高于对照组。对照组的PPO活性在第8天时是贮藏初期的4.10倍;0.6 mmol/L MT处理组在第8天达到活性高峰,贮藏结束时PPO活性是贮藏初期的3.30倍;贮藏8 d时,0.6 mmol/L MT处理组PPO活性

是对照组的1.24倍。0.6 mmol/L MT处理PPO活性最高并且与对照组差异显著($P < 0.05$)。小青菜贮藏过程中的衰老与PPO存在一定关系,通过激活PPO活性,能够在一定程度上延迟小青菜的衰老进程,其中0.6 mmol/L MT效果较好。

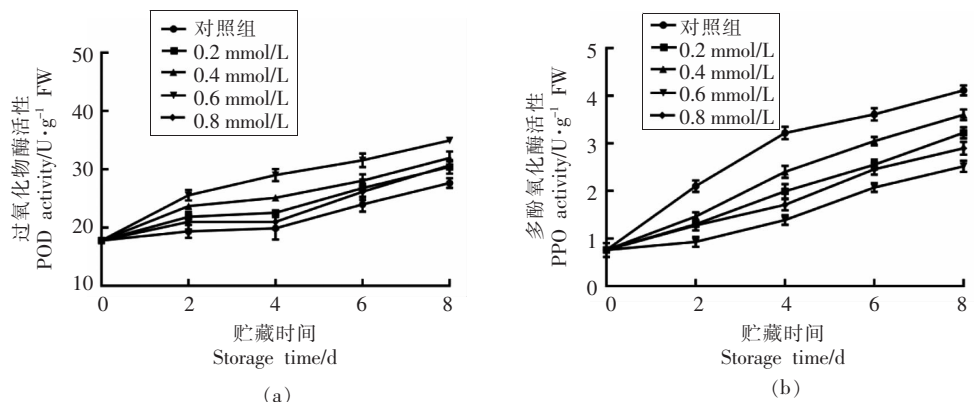


图6 褪黑素对小青菜 POD 和 PPO 的影响

Fig.6 Effects of melatonin on POD and PPO activity of *Brassica chinensis* L.

3 讨论与结论

绿叶蔬菜色泽变化与黄化率和叶绿素含量密切相关。有报道外源 MT 可减慢叶片^[23]、青花菜^[24]、小麦叶片^[25]叶绿素的降解。本研究选用褪黑素浸泡采收小青菜,在室温条件下贮藏。与对照组相比,0.6 mmol/L 的 MT 处理能够保持相对较好的色泽,延缓了黄化的发生以及叶绿素含量的减少,维持小青菜较好的外观品质,显著延缓小青菜的衰老。Tan 等^[26]使用 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MT 浸泡菜心延缓了叶绿素的降解。贾志伟等^[27]采用 100 mg/L 的 MT 处理菜心,第 9 天时处理组叶绿素含量是对照组的 2.08 倍。范海霞等^[28]用 200 $\mu\text{mol/L}$ 的 MT 处理牡丹幼苗叶片发现可提高光合色素含量。Ahmad 等^[29]用 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MT 喷施玉米苗,叶绿素含量提高 80.4%。本研究褪黑素浓度处理稍高于一部分研究,分析可能是因为有些试验材料为水培,叶片较为脆嫩,耐受性较低,所以褪黑素处理浓度低,而本研究的小青菜为土培,耐受性较水培大,所以褪黑素处理浓度稍高一些,然而也有与本研究浓度相似的,蒲玉瑾等^[30]发现 600 $\mu\text{mol/L}$ 外源 MT 处理降香黄檀幼苗总叶绿素含量最高,促进生长效果最佳。综合分析,蔬菜保鲜的褪黑素溶液浓度大致范围为 100~600 $\mu\text{mol/L}$ 。

小青菜含有 70%~90% 的水分,鲜嫩可口,含多种营养素,如维生素 C、矿物质、糖、有机酸、粗纤维等,其中蔬菜供应人体摄入维生素 C 的 90%。Zahed 等^[31]每周喷施褪黑素对草莓果实的可溶性固形物、总酸度、维生素 C 和糖类都有较好的影响;Miao 等^[32]采用褪黑素处理西兰花,维持了较高的维生素 C 含量。新鲜切好的西兰花用褪黑素溶液浸泡也显著提高了抗坏血酸含量^[33]。本研究也得到了相似的结果,褪黑素处理使其保持了较高水平的 TSS、还原糖和 VC 含量,使小青菜营养品质较好。

除此之外,MT 激活了 POD 和 PPO,这与 Li 等^[34]采用 MT 处理茶树叶片时,发现 MT 处理也显著提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶的活性来提高其抗氧化能力的研究结果相类似。张俊康等^[35]喷施外源 MT 可显著提高软枣猕猴桃的抗氧化酶活性与本研究得到了相似结果。Liang 等^[36]采用褪黑素处理猕猴桃,发现 MT 在保护猕猴桃的抗氧化系统方面效果显著。Shang 等^[37]发现褪黑素处理还可显著促进蓝莓中抗氧化酶的活性。贾乐等^[38]发现褪黑素处理可保持香菇较好的贮藏品质,降低活性氧代谢产物生成速率,提高机体的抗氧化能力。对于常温贮藏小青菜叶绿素

降解途径中的一些酶及其代谢产物还未探索,有待深入研究。本研究结果为今后在小青菜采后贮藏保鲜过程中褪黑素浓度的选择与设计提供了参考。

参 考 文 献

- [1] 郭鑫. 青菜动态气调保鲜的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
GUO X. Study on dynamic controlled atmosphere storage of *Brassica chinensis* L[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [2] 徐静, 王小燕, 邹剑锋, 等. 各种保鲜膜与保鲜剂对青菜短期贮藏的影响[J]. 保鲜与加工, 2007, 7(3): 22-24.
XU J, WANG X Y, ZOU J F, et al. Effects of different packaged films and fresh-keeping agents on short-term storage of greengrocery[J]. Storage and Process, 2007, 7(3): 22-24.
- [3] 袁海娜, 沈莲清. 热水处理对青菜采后生理生化的影响[J]. 浙江农业学报, 2005(1): 3-8.
YUAN H N, SHEN L Q. The physiological and biochemical changes of postharvest *Brassica chinensis* L. after hot water treatment[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2005(1): 3-8.
- [4] 沈莲清, 王向阳, 黄光荣. 气调包装和烫漂处理对青菜货架期的影响[J]. 浙江农业学报, 1999(5): 33-36.
SHEN L Q, WANG X Y, HUANG G R. Effects of modified atmosphere packaging and blanching on quality of *Brassica chinensis* L. during storage[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1999(5): 33-36.
- [5] RUSSEL R, TAN D X, ZHOU Z, et al. Phyto-melatonin: Assisting plants to survive and thrive[J]. Molecules, 2015, 20(4): 7396-7437.
- [6] 王成, 刘兴艳, 孙翔宇, 等. 天然褪黑素及其同分异构体在食品领域的研究进展[J]. 中国食品学报, 2016, 16(7): 192-200.
WANG C, LIU X Y, SUN X Y, et al. Research process of nature melatonin and its isomers in food field[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(7): 192-200.
- [7] WANG P, SUN X, CHANG C, et al. Delay in leaf senescence of *Malus hupehensis* by long-term melatonin application is associated with its regulation of metabolic status and protein degradation[J]. Journal of Pineal Research, 2013, 55(4): 424-434.
- [8] BYEON Y, BACK K. An increase in melatonin in transgenic rice causes pleiotropic phenotypes, including enhanced seedling growth, delayed flowering, and low grain yield[J]. Journal of Pineal Research, 2014, 56(4): 408-414.
- [9] 赵燕, 王东华, 赵曦阳. 植物中褪黑素的研究进展[J]. 西北植物学报, 2014, 34(1): 196-205.
ZHAO Y, WANG D H, ZHAO X Y, et al. Recent advance on the melatonin in plant[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(1): 196-205.
- [10] TAN X L, FAN Z Q, KUANG J F, et al. Melatonin delays leaf senescence of Chinese flowering cabbage by suppressing ABFs-mediated abscisic acid biosynthesis and chlorophyll degradation[J]. Journal of Pineal Research, 2019, 67(1): 12570.
- [11] ARNAO M B, HERNÁNDEZ-RUIZ J. Protective effect of melatonin against chlorophyll degradation during the senescence of barley leaves[J]. Journal of Pineal Research, 2009, 46(1): 58-63.
- [12] 吴燕, 乔晓燕, 葛伟强, 等. 高温强光下外源褪黑素对栝楼雌花生理生化特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(3): 421-429.
WU Y, QIAO X Y, GE W Q, et al. Effects of exogenous melatonin on physiological and biochemical characteristics in female flowers of *Trichosanthes kirilowii* under high temperature and strong light[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(3): 421-429.
- [13] 王荣, 成梦琳, 刘慧娜, 等. 黑暗条件下褪黑素对栀子叶片类黄酮含量及相关基因表达水平的影响[J]. 植物研究, 2018, 38(4): 559-567.
WANG R, CHENG M L, LIU H N, et al. Effects of melatonin on flavonoids content and related gene expression levels of gardenia under dark conditions[J]. Bulletin of Botanical Research, 2018, 38(4): 559-567.
- [14] GAO H, ZHANG Z K, CHAI H K, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit[J]. Postharvest Biology Technology, 2016, 118: 103-110.
- [15] 高帆, 夏惠, 袁雪侦, 等. 外源褪黑素对盐胁迫下猕猴桃幼苗酚类物质含量和抗氧化能力的影响[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(7): 1144-1150.
GAO F, XIA H, YUAN X Z, et al. Effects of ex-

- ogenous melatonin on phenolic substance content and antioxidant ability of kiwifruit seedlings under salt stress[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2017, 29(7): 1144–1150.
- [16] AHLBERG M K. A profound explanation of why eating green (wild) edible plants promote health and longevity[J]. *Food Frontiers*, 2021, 2(3): 240–267.
- [17] 周文利. 硫酸亚铁对小青菜生物量与硝酸盐含量的影响[J]. *北方园艺*, 2010(2): 34–35.
- ZHOU W L. Effects of spraying ferrous sulfate on yield and nitrate content of green grocery[J]. *Northern Horticulture*, 2010(2): 34–35.
- [18] 韩延超, 陈杭君, 郜海燕, 等. 冲泡条件对西湖龙井抗氧化特性的影响及相关性分析[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(10): 128–136.
- HAN Y C, CHEN H J, GAO H Y, et al. Effect of the brewing conditions on antioxidant characteristics of Xihu Longjing tea and correlation analysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(10): 128–136.
- [19] 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: 38–103.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 38–103.
- [20] 杨莹, 韩延超, 吴伟杰, 等. 肉桂精油对救心菜贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(12): 2376–2383.
- YANG Y, HAN Y C, WU W J, et al. Effects of cinnamon essential oil on storage quality of coral dealbatus[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(12): 2376–2383.
- [21] UNDERHILL S, CRITCHLEY C. Cellular localisation of polyphenol oxidase and peroxidase activity in *Litchi chinensis* Sonn. pericarp[J]. *Functional Plant Biology*, 1995, 22(4): 627–632.
- [22] 吴倩, 余元善, 刘淑媚, 等. 橄榄多酚氧化酶和过氧化物酶的抑制剂筛选及其热失活动力学[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(2): 157–162.
- WU Q, YU Y S, LIU S M, et al. Inhibitors of polyphenol oxidase and peroxidase in olive and their thermal inactivation kinetics[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(2): 157–162.
- [23] WANG P, YIN L H, LIANG D, et al. Delayed senescence of apple leaves by exogenous melatonin treatment: toward regulating the ascorbate–glutathione cycle[J]. *Journal of Pineal Research*, 2012, 53(1): 424–434.
- [24] 朱玲玲, 胡花丽, 罗淑芬, 等. 褪黑素调控呼吸代谢及抗氧化活性延缓采后青花菜衰老[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(3): 300–308.
- ZHU L L, HU H L, LUO S F, et al. Study on the regulation mechanism of melatonin treatment on postharvest senescence of fresh-cut broccoli [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(3): 300–308.
- [25] 叶君, 邓西平, 王仕稳, 等. 干旱胁迫下褪黑素对小麦幼苗生长、光合和抗氧化特性的影响[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(9): 1275–1283.
- YE J, DENG X P, WANG S W, et al. Effects of melatonin on growth, photosynthetic characteristics and antioxidant system in seedling of wheat under drought stress[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(9): 1275–1283.
- [26] TAN X L, ZHAO Y T, SHAN W, et al. Melatonin delays leaf senescence of postharvest Chinese flowering cabbage through ROS homeostasis[J]. *Food Research International*, 2020, 138: 109790.
- [27] 贾志伟, 孙曼丽, 常金梅, 等. 菜心采后褪黑素处理的低温保鲜效果分析[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(7): 1413–1420.
- JIA Z W, SUN M L, CHANG J M, et al. Effect of melatonin treatment on the preservation of the flower stalk of *Brassica campestris* L. ssp. *chinesis* var. *utilis* Tsen et Lee after harvest under low temperature[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(7): 1413–1420.
- [28] 范海霞, 赵飒, 辛国奇, 等. 菜外源褪黑素对干旱胁迫下牡丹幼苗生理特性的影响[J]. *生物技术通报*, 2020, 36(6): 63–72.
- FAN H X, ZHAO S, XIN G Q, et al. Effects of exogenous melatonin on the physiological characteristics of peony seedlings under drought stress[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2020, 36(6): 63–72.
- [29] AHMAD S. 外源褪黑素对玉米苗期盐旱胁迫下抗逆生理及灌浆期抗衰老能力与激素应答的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- AHMAD S. Effects of melatonin application on physiological characteristics under salt and drought stress condition, anti-aging and hormonal response of summer maize in grain filling stage[D]. Yang-

- ling; Northwest A&F University, 2020.
- [30] 蒲玉瑾, 张一璇, 苗灵凤, 等. 常温和低温条件下不同浓度褪黑素对降香黄檀幼苗的生理生态影响[J/OL]. 1-18 [2021-08-10] 广西植物. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20200807.1108.006.html>.
- PU Y J, ZHANG Y X, MIAO L F, et al. Effects of exogenous melatonin on the eco-physiological characteristics of *Dalbergia odorifera* seedlings under ambient and low temperatures[J/OL]. 1-18[2021-08-10] Guihaia. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20200807.1108.006.html>.
- [31] ZAHEDI S M, HOSSEINI M S, ABADÍA J, et al. Melatonin foliar sprays elicit salinity stress tolerance and enhance fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.)[J]. *Plant Physiology Biochemistry*, 2020, 149: 313-323.
- [32] MIAO H, ZENG W, ZHAO M, et al. Effect of melatonin treatment on visual quality and health-promoting properties of broccoli florets under room temperature[J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126498.
- [33] WEI L Y, LIU C H, WANG J J, et al. Melatonin immersion affects the quality of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* L.) during cold storage: Focus on the antioxidant system[J]. *Journal of Food Processing Preservation*, 2020, 44(9): e14691.
- [34] LI J H, ARKORFUL E, CHENG S Y, et al. Alleviation of cold damage by exogenous application of melatonin in vegetatively propagated tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 238: 356-362.
- [35] 张俊康, 马丽, 吴姝青, 等. 外源褪黑素对软枣猕猴桃低温伤害的缓解效应[J]. *植物生理学报*, 2020, 56(5): 1081-1087.
- ZHANG J K, MA L, WU S Q, et al. Alleviation effect of exogenous melatonin on low temperature injury of *Actinidia arguta*[J]. *Plant Physiology Journal*, 2020, 56(5): 1081-1087.
- [36] LIANG D, SHEN Y, WANG Q, et al. The effect of exogenous melatonin on kiwifruit antioxidant system under low light environment [C]//2018 7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2018). France: Atlantis Press, 2018: 1995-1998.
- [37] SHANG F, LIU R, WU W, et al. Effects of melatonin on the components, quality and antioxidant activities of blueberry fruits[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 147: 111582.
- [38] 贾乐, 韩延超, 房祥军, 等. 褪黑素处理对香菇采后品质及活性氧代谢的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-12 [2021-12-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210524.1651.090.html>.
- JIA L, HAN Y C, FANG X J, et al. Effects of melatonin treatment on postharvest quality and active oxygen metabolism of *Lentinus edodes*[J/OL]. *Food Science*: 1-12[2021-12-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210524.1651.090.html>.

Effect of Melatonin Treatment on Storage Quality of *Brassica chinensis* L.

Lu Ruixue, Han Yanchao, Chen Hangjun, Fang Xiangjun, Wu Weijie, Liu Ruiling, Mu Honglei, Gao Haiyan* (*Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Post-Harvest Handling of Fruits, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Fruits and Vegetables, China National Light Industry, Hangzhou 310021*)

Abstract *Brassica chinensis* L. is a typical green leafy vegetable which is easy to senesce and yellow after harvest. The effects of different concentrations of melatonin (MT) (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 mmol/L) on the storage quality of *Brassica chinensis* L. were studied. The results showed that MT treatment could effectively delay the senescence, keep the good color, delay the increase of weight loss rate and yellowing rate, and keep the higher contents of chlorophyll, vitamin C, soluble solids and reduce sugar. In addition, MT treatment also significantly increased the activities of peroxidase and polyphenol oxidase. Among the four different melatonin concentrations, 0.6 mmol/L melatonin was the most suitable for the storage and preservation of *Brassica chinensis* L. The results provided theoretical basis and technical support for the storage and preservation of *Brassica chinensis* L.

Keywords *Brassica chinensis* L.; melatonin; freshness; quality