

聚己内酯自发气调包装薄膜对菠菜贮藏品质的影响

Effect of poly (ϵ -caprolactone) modified atmosphere packaging film on postharvest quality of spinach

成培芳 董同力嘎 春艳 胡健 云雪艳

CHENG Pei-fang DONG Tungalag CHUN Yan HU Jian YUN Xue-yan

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University,
Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

摘要:为了探究聚己内酯(PCL)自发气调薄膜对菠菜的保鲜效果。以大叶菠菜为研究对象,在4℃贮藏条件下分别研究了无包装、常规低密度聚乙烯(LDPE)薄膜包装(对照组)和聚己内酯(PCL)薄膜包装3种不同贮藏方式对菠菜采后贮藏品质的影响。结果表明,2种包装薄膜均可以改善菠菜的采后贮藏品质,其中聚己内酯(PCL)薄膜可以在包装内部形成更加适合菠菜贮藏保鲜的气氛环境,更好地延缓菠菜采后失重率的上升,并抑制叶绿素的降解,更好地抑制丙二醛含量的积累,延缓采后衰老,较好地保持菠菜的感官品质。

关键词:菠菜;聚己内酯薄膜;感官品质;叶绿素;低温货架期

Abstract: In order to investigate the fresh-keeping effect of PCL modified atmosphere packaging film on spinach. The effects of unpacked, LDPE film(control) and PCL film packaging treatments on postharvest quality of spinach during storage at 4℃ were studied. The results indicated that compared with the control group of unpacked both of the packaging films could improve the postharvest quality of the spinach, and PCL packaging treatment group could be better in the development of initial atmosphere suitable for the storage of spinach. Moreover, PCL film was better in delaying the increase of weight loss ratio and inhibiting the degradation of chlorophyll and reduce its yellowing. In addition, it was found to be effective to inhibit the accumulation of malondialdehyde content and retard the postharvest senescence. Furthermore, it also could help to maintain the better sensory quality of spinach.

Keywords: spinach; PCL film; sensory quality; chlorophyll; low

temperature shelf life

菠菜(*Spinacia oleracea* L.)属于藜科菠菜属,又叫波斯菜、赤根菜,是中国南北方早春普遍栽培的一、两年生耐寒性绿叶类蔬菜之一^[1]。鲜嫩的叶片和叶柄是菠菜的可食用部分,因其富含营养丰富的植物粗纤维、胡萝卜素、V_C和钙、磷、铁等矿物质,备受消费者青睐^[2]。然而,由于菠菜叶片具有较大的比表面积,采后极易失水萎蔫,同时由于旺盛的呼吸代谢作用^[3],使其在采后贮藏过程中极易褪绿黄化以及腐烂,严重影响其食用品质和商品价值。在常温贮藏条件下,未经处理的菠菜贮藏2~4 d就会出现明显的品质劣变现象^[4],尤其表现为采后失水萎蔫,叶片皱缩。

目前关于菠菜保鲜技术的研究主要有主动气调包装法^[5-6]、低温及低温结合气调包装法^[7]、物理保鲜法^[8]、化学保鲜法^[9]、活性包装保鲜法^[10]等。低温冷藏、主动气调包装虽然可以延长菠菜的货架期,但存在设备投资费用高、工艺复杂等缺陷。化学保鲜剂虽然有较好的防腐保鲜作用,但随着人们对安全食品要求和意识的不断提高,化学保鲜剂的使用也开始受到人们的质疑。

自发气调包装,又叫被动气调包装,利用薄膜的透气、透湿及选择透过性,结合果蔬自身的呼吸作用,自发地调节包装袋内气体组分和相对湿度,从而控制包装袋内果蔬的呼吸代谢活动,以达到延长果蔬保鲜期的目的^[11],但是,目前菠菜气调保鲜包装大多采用聚乙烯薄膜(PE)^[12-13],石油基材料的使用给环境带来很大的压力,因此,从环保和安全的角度来看,可生物降解薄膜的自发气调保鲜包装对果蔬的保鲜有着重要的现实意义。

聚己内酯(PCL)是一种以己酸为重复单元的脂肪族聚酯高分子材料^[14],由于其结构中含有酯基,所以具有良好的生物降解性^[15],与其他几种通用的塑料包装材料,如聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)和聚氯乙烯(PVC)等相比,由于其不依赖

基金项目:内蒙古自治区科技创新引导奖励资金(编号:2016);内蒙古草原英才滚动支持项目(编号:2017);国家自然科学基金基金项目(编号:21564012)

作者简介:成培芳,女,内蒙古农业大学讲师,在读博士。

通信作者:董同力嘎(1972—),男,内蒙古农业大学教授,博导,博士。
E-mail: dongtlg@163.com

收稿日期:2017-06-28

石油资源,且降解产生二氧化碳和水等小分子物质,是一种新型的绿色环保高分子材料。

聚己内酯目前主要被应用于如医学支架^[16]、组织工程和药物输送系统^[17]、包装材料粘合剂等领域。但因其熔点较低不利于成型加工,并且原材料成本较高,因此,还未在食品尤其是果蔬的保鲜包装中得到广泛应用。然而,由于聚己内酯薄膜具有较高的水蒸气透过率和良好的选择透过性,已被用于草莓的保鲜包装,在草莓贮藏第 28 天时,仍具有良好的感官品质和风味^[18]。然而,关于采用生物可降解材料用于菠菜采后的自发气调保鲜包装的研究,还鲜有报道。因此,本试验采用聚己内酯自发气调包装,拟研究其对菠菜感官品质的影响,以期开发和研究一种能更好地保持菠菜采后品质的环境友好型的自发气调保鲜包装材料。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜菠菜:当天从呼和浩特市绿联种植专业合作社采收,4℃预冷 4 h,剔除有机械伤的,选择大小、成熟度基本一致且无病害的菠菜作为试验材料;

低密度聚乙烯(LDPE)保鲜袋:30 cm×21 cm,单层膜厚 41.2 μm,义乌市胜昌塑料制品有限公司;

聚己内酯(PCL):数均分子量 $M_n=1.3\times10^6$,深圳光华伟业责任有限公司;

PCL 包装袋:30 cm×21 cm,单层膜厚 39.6 μm,自制;

丙酮:分析纯,南京化学试剂股份有限公司;

三氯乙酸:分析纯,广东光华科技股份有限公司;

硫代巴比妥酸:分析纯,南京奥多福尼生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器与设备

O₂/CO₂精密顶空气体分析仪:6600 型,英国希仕代公司;

紫外分光光度计:UV2450 型,日本岛津公司;

多功能薄膜封口机:DBF-900 型,温州市鼎力包装机械制造有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9053A 型,上海一恒仪器有限公司;

低速离心机:SC3610 型,安徽中科中佳科学仪器有限公司;

高速冷冻离心机:HC-2518R 型,安徽中科中佳科学仪器有限公司;

电子天平:JA-5003B 型,上海精天电子仪器有限公司;

立式冷藏柜:SC300 型,青岛海尔特种电冰柜有限公司。

1.2 薄膜制备及样品处理

1.2.1 聚己内酯(PCL)薄膜的制备 将 PCL 母粒置于温度为 30℃的真空干燥箱中干燥 24 h。将干燥好的 PCL 母粒注入双螺杆挤出流延机组,螺杆组温度依次调整在 100~190℃,挤出温度为 190℃。通过调节移动辊和固定辊转速,在 170℃下得到厚度约 40 μm 的薄膜。

1.2.2 菠菜处理及包装 挑选无机械损伤、大小基本均匀一致的、无病害的菠菜 100 g 分装至已制备好的 PCL 和 LDPE 包装袋内,封口后于 4℃、相对湿度(RH)65%的立式冷藏柜中进行贮藏,同时,设置无包装的菠菜(每组约 100 g)作为对照,标记为 CK。每隔 1 d 进行 1 次感官品质和理化指标的测定,每个处理设 3 个重复。

1.3 试验方法

1.3.1 包装内部气体含量的测定 每隔 1 d 每组包装随机抽取 3 袋,利用 O₂/CO₂精密顶空分析仪进行包装内部 O₂、CO₂含量的测定。调零后,在包装袋外表面粘贴橡胶垫,将针头插入,仪器即可直接显示袋内 O₂和 CO₂含量。

1.3.2 失重率的测定 采用称重法,按式(1)计算:

$$W = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

W——菠菜的失重率,%;

M₀——菠菜初始质量,kg;

M_t——贮藏第 t 天时菠菜的质量,kg。

1.3.3 叶绿素含量的测定 采用分光光度法^[19]。

1.3.4 丙二醛含量的测定 采用紫外分光光度法^[20]。

1.3.5 菠菜感官评价 根据文献[5],修改如下:由 10 人组成感官评定小组,采用数字化的评分方法(1~5 分),分别对菠菜的外观(包括色泽、形态和包装袋内是否有冷凝水)和质地进行打分,满分 10 分(每项各 5 分),每项打分后计算总分和平均值,具体评分标准见表 1。

表 1 菠菜的感官评分标准[†]

Table 1 Criteria for sensory evaluation of spinach

评分	外观	质地
5 分	鲜绿,色泽正常,叶边平整,没有老化,形态好	硬挺,新鲜,无萎靡、腐烂
4 分	较绿,色泽较好;叶边较平整,叶形态较好	较新鲜,极少出现抽蔫、腐烂
3 分	黄化<10%,色泽较差,叶边卷曲,老化<10%	腐烂、抽蔫<10%
2 分	黄化<30%,色泽很差,叶边卷曲,老化<30%	腐烂、抽蔫<30%
1 分	黄化≥30%,无光泽,叶边卷曲,老化≥30%	腐烂、抽蔫≥30%

[†] 感官评分低于 5.5 分即认为失去商品价值。

1.4 数据处理与统计分析

每组设 3 个重复,利用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据整理,计算平均值和标准偏差;利用 Originpro 8.0 软件绘图,应用 SPSS Statistics 19 进行差异显著性分析(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 对菠菜感官品质的影响

PCL 包装处理组对菠菜感官品质的影响见图 1。由图 1

可知,随着贮藏时间的延长,各处理组样品的感官评分都呈逐渐降低的趋势,其中无包装对照组的感官评分下降的速度最快,在贮藏第 4 天时,总的感官评分为 5.2 分,与另外两处理组差异显著($P<0.05$),菠菜已发生较为严重的失水萎蔫,叶片失去坚挺,有轻微异味,叶片部分黄花,总的感官评分已超过市场接受范围,失去商品价值;LDPE 薄膜包装处理组在贮藏第 8 天后部分叶片表面开始出现轻微水浸状腐烂,袋内出现“结露”现象,贮藏至第 12 天时,叶片开始大面积腐烂变质,达到市场销售极限;PCL 薄膜包装处理组的感官评分最高,贮藏至第 12 天时感官评分为 6.5 分,仍在市场接受范围。这可能是 LDPE 薄膜具有较低的水蒸气透过率,导致袋内水分大量滞留,助长了微生物的繁殖。此结果与 Koide 等^[21]的研究相一致。

2.2 对 O₂ 和 CO₂ 含量的影响

由图 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,包装袋内 O₂ 和 CO₂ 含量分别呈现逐渐降低和增加的变化趋势。贮藏至第 4

天时,两处理组内部的气体达到近似平衡的状态。此时,PCL 包装袋内 O₂ 含量为 6.0%~8.5%,CO₂ 含量为 2.0%~4.5%;而 PE 袋中 O₂ 含量为 15%~17.5%,CO₂ 含量为 1.5%~2%。说明在气体近似达到气调平衡时,PCL 袋中的 O₂ 含量比 PE 保鲜袋内低,CO₂ 含量则比 PE 保鲜袋内高,形成了相对低氧、高二氧化碳的贮藏气体环境。这可能是两组包装材料具有不同的 O₂ 和 CO₂ 气体透过性和选择透过性(见表 2),范新光等^[22]的研究发现,相对低氧、高二氧化碳的贮藏环境能够有效抑制菠菜的呼吸作用,从而降低有机物等营养物质的消耗,也可以延缓后熟作用。从表 2 可以看出,PCL 薄膜对 O₂、CO₂ 的渗透系数均小于 PE,并且有较 PE 高的 CO₂/O₂ 选择透过比,因此,随着贮藏时间的延长,会在包装内部形成一个相对低氧、高二氧化碳的贮藏环境,从而抑制菠菜的采后呼吸和延缓衰老,利于菠菜的贮藏;而 PE 薄膜由于具有较高的 O₂ 和 CO₂ 透过率,所以在菠菜贮藏过程中,外部 O₂ 会不断地透过材料进入包装内部,形成了相对的高氧环境,加速了菠菜叶片的呼吸和衰老,不利于菠菜贮藏。

2.3 对失重率的影响

菠菜属于叶菜类,含有占其总质量 90% 以上的水分,并且由于其叶片有较大的比表面积,在采后贮藏过程中极易通过旺盛的呼吸作用和蒸腾作用而快速丧失水分^[23],从而使菠菜出现失水萎蔫现象而失去商品价值。据资料^[24]报道,当生鲜农产品的失水率在 3%~10% 时,仍具有商品价值,超过 10% 即可视为货架期结束。从图 3 可以看出,随着贮藏时间的延长,所有处理组的失重率总体均呈现逐渐上升的趋势。在贮藏第 4 天对照组和处理组差异显著($P<0.05$),失重率达到 12.5%,同时结合图 1 可以看出,对照组在第 4 天叶片即开始失去坚挺质感,叶片严重萎蔫;两处理组失重率从第 2 天开始出现显著差异($P<0.05$),贮藏至第 12 天,LDPE

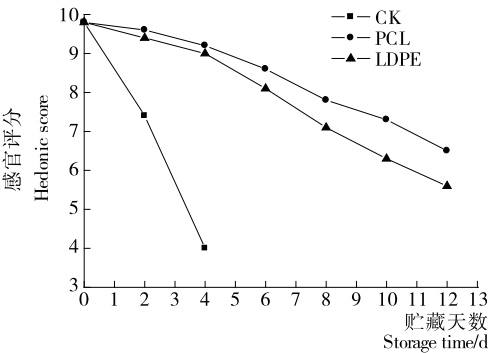


图 1 聚己内酯薄膜包装对菠菜感官品质的影响
Figure 1 Effect of PCL film packaging on the sensory quality score of spinach

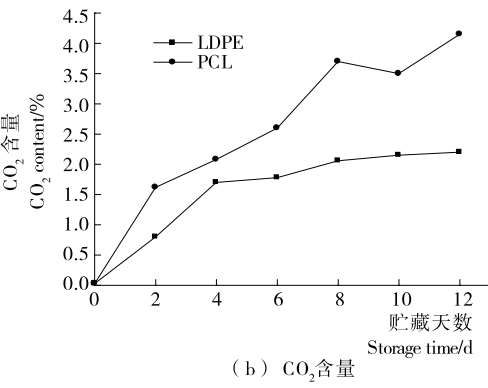
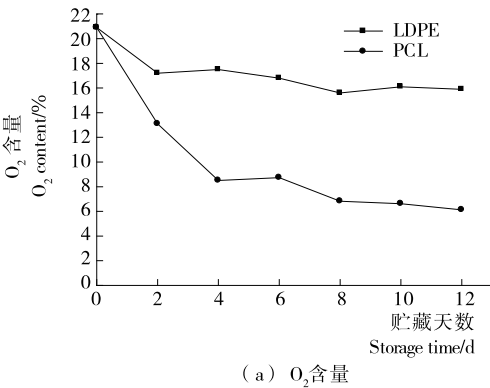


图 2 聚己内酯薄膜包装对菠菜内部 O₂ 和 CO₂ 含量的影响
Figure 2 Effect of PCL film packaging on the level of oxygen & carbon dioxide

表 2 包装材料气体透过性能参数

Table 2 Gas permeability parameters of packaging material					
包装材料	厚度/ μm	O ₂ 透过系数/ (10 ⁻⁹ cm ³ ·m·m ⁻² ·d ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	CO ₂ 透过系数/ (10 ⁻⁹ cm ³ ·m·m ⁻² ·d ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	水蒸气透过系数/ (10 ⁻⁶ g·m·m ⁻² ·d ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	CO ₂ /O ₂ 透过比
PCL	39.6	192.3	1 914.4	15.10	9.9
LDPE	41.2	1 130.9	3 605.8	0.12	3.2

处理组的失重率为 2.34%，而 PCL 处理组为 9.89%。这可能是 LDPE 薄膜对水蒸气有较高的阻隔性(见表 2)，包装内部水蒸气不易散失，而 PCL 薄膜有较高的水蒸气透过性，从而导致其失重率增加。虽然 LDPE 包装降低了菠菜的失重率，但是由于其较低的水蒸气透过率，导致其内部凝结成水珠，结合图 1 可知，菠菜部分叶片出现水浸状腐烂现象。PCL 处理组虽然在保持菠菜水分方面的能力稍有不足，但却减缓了菠菜因包装内部的高湿度引起的腐败变化，从而延长了其货架期。

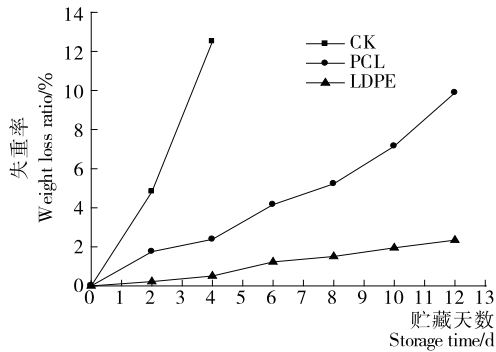


图 3 聚己内酯薄膜包装对菠菜失重率的影响

Figure 3 Effect of PCL film packaging on the weight loss ratio of spinach

2.4 对叶绿素含量的影响

生鲜叶菜中所含的叶绿素在采后贮藏过程中不稳定易被氧化降解，从而使生鲜蔬菜无法进行正常的光合作用，造成叶菜脱绿黄化，影响其感官，从而影响其商品价值^[25]。从图 4 可知，新鲜菠菜初始的叶绿素含量为 92.3 mg/100 g，随着贮藏时间的延长，各处理组菠菜的叶绿素含量整体均呈现下降的趋势，其中对照组的叶绿素含量下降最快，到第 4 天对对照组的叶绿素含量下降了 40.3%，与其它处理组差异显著($P < 0.05$)；在贮藏前 8 d，PCL 处理组的叶绿素下降最为缓慢，而 LDPE 处理组部分叶片颜色开始由原来的深绿色变为黄色，并伴有水浸状烂叶出现，两组间叶绿素含量存在显著性差异($P < 0.05$)。其原因可能是 PCL 处理组在贮藏过程中形成相对低氧、高二氧化碳的气体组分条件，而低氧环境能够抑制叶绿素酶的活性^[26-27]，从而延缓了叶绿素的降解，

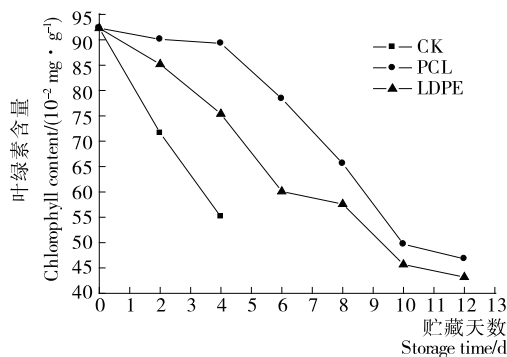


图 4 聚己内酯薄膜包装对菠菜叶绿素含量的影响

Figure 4 Effect of PCL film packaging on chlorophyll content of spinach

使其具有较好的保绿作用，而 LDPE 处理组由于包装内部相对较高的 O_2 浓度，导致叶绿素被氧化分解，从而造成褪绿黄化。

2.5 对丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产物，是反应细胞膜脂过氧化程度和衰老进程的一个重要指标^[28]。由图 5 可知，随着贮藏时间的延长，各处理组菠菜的 MDA 均呈现逐渐上升的趋势，其中对照组菠菜的 MDA 含量上升最快，说明其细胞膜结构的完整性被破坏得最快，衰老也最严重。在贮藏前 6 d，PCL 和 LDPE 包装组菠菜叶片的 MDA 含量变化差异不显著($P > 0.05$)，从第 8 天开始，随着贮藏时间的延长，LDPE 包装组菠菜叶片的 MDA 含量开始持续上升。其原因可能是 LDPE 包装膜内部较高的氧气浓度，加速了叶片的呼吸和氧化衰老，而 PCL 包装处理组由于其低氧的气氛环境，抑制了菠菜的呼吸强度，从而延缓了衰老，延长了货架期。

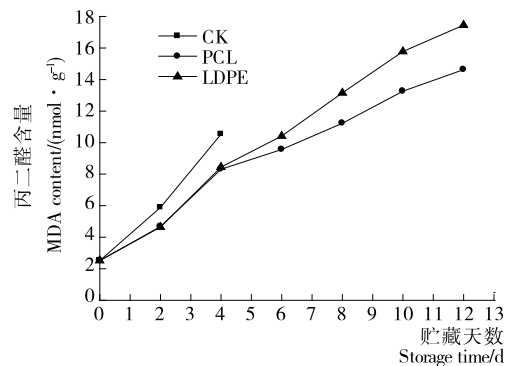


图 5 聚己内酯薄膜包装对菠菜丙二醛含量的影响

Figure 5 Effect of PCL film packaging on the MDA content of spinach

3 结论

从感官评分、气体含量、失重率、叶绿素和丙二醛含量等指标的变化看，在 4 °C 的低温贮藏条件下，PCL 包装处理组可形成相对低 O_2 和高 CO_2 的自发气调贮藏环境，贮藏第 12 天，仍可使菠菜保持较好的感官质量，失重率低于 10%，具有食用价值和商品价值，且 PCL 包装处理组菠菜的叶绿素含量明显高于其它 2 个处理组，说明 PCL 包装处理组可以较好地保留菠菜中的叶绿素含量，延缓叶绿素的降解；同时，PCL 包装处理可以延缓丙二醛(MDA)含量的上升，较好地保持细胞膜结构的完整性，延缓菠菜衰老。因此，生物可降解 PCL 包装薄膜能更有效地保持菠菜采后的贮藏品质和感官质量，较传统的 LDPE 包装膜有更好的保鲜效果，而且制备工艺简单，是一种环境友好型自发气调包装材料。

参考文献

- [1] 徐文达, 程裕东, 岑伟平, 等. 食品软包装材料与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 171-172.
- [2] 葛林梅, 毛金林, 陈杭君, 等. 不同薄膜处理对菠菜低温贮藏效果的影响[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(3): 274-277.
- [3] 万森, 李喜宏, 薛婷, 等. 温度对菠菜呼吸特性的影响[J]. 农业

- 机械, 2012(4): 133-135.
- [4] 杜传来, 许天亮. 不同贮藏条件和包装方式对几种叶菜保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2009(2): 30-34.
- [5] 李方, 卢立新. 菠菜微孔膜气调保鲜包装的试验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 22-24.
- [6] 韩春阳, 王建清. 菠菜常温气调包装研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 49-52.
- [7] 侯建设, 李中华, 莫文贵, 等. 菠菜的薄膜包装冷藏效果研究[J]. 食品科技, 2003(5): 94-96.
- [8] 潘燕, 陈义伦, 张培正, 等. ClO_2 杀菌剂在菠菜保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(12): 123-125.
- [9] 孙树杰, 韩晓洁, 李文香, 等. 甘草、高良姜及其复合提取液对菠菜保鲜效果的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(5): 537-542.
- [10] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 新鲜菠菜的纳米活性气调包装研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 167-170.
- [11] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, DEBEVERE J. Predictive modelling for packaging design: Equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 73(2/3): 331.
- [12] 郭玉花, 滕立军, 张志玲, 等. PE 保鲜膜的研制及其对菠菜保鲜的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 22-24.
- [13] 郭玉花, 滕立军, 黄震, 等. PE/ CaCO_3 功能性保鲜膜研制及其在菠菜保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2007(8): 245-247.
- [14] LABET M, THIELEMANS W. Synthesis of polycaprolactone: A review[J]. Chemical Society Reviews, 2009, 38(12): 3 484.
- [15] TOKIWA Y, CALABIA B P, UGWU C U, et al. Biodegradability of plastics[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2009, 10(9): 3 722-3 742.
- [16] LI Li, RUAN Wen-hong, ZHANG Ming-qiu, et al. Studies on the selective localization of multi-walled carbon nanotubes in blends of poly(vinylidene fluoride) and polycaprolactone[J]. Express Polymer Letters, 2015, 9(1): 77-83.
- [17] SHAO Zhen-xing, ZHANG Xin, PI Yan-bin, et al. Surface modification on polycaprolactone electrospun mesh and human decalcified bone scaffold with synovium-derived mesenchymal stem cells-affinity peptide for tissue engineering[J]. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 2015, 103(1): 318-329.
- [18] YUN Xue-yan, WANG Yu, LI Meng-ting, et al. Application of permselective poly(ϵ -caprolactone) film for equilibrium-modified atmosphere packaging of strawberry in cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41: 13 247-13 258.
- [19] INSKEEP W P, BLOOM P R. Influence of the degree of solvent impurity on the spectrophotometric determination of chlorophylls in 80% aqueous acetone and dimethyl formamide: Application to non-abrasive extraction of leaves of citrus aurantium[J]. Photosynthetica, 1998, 35(4): 545-550.
- [20] 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: 154-155.
- [21] KOIDE S, SHI J. Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging[J]. Food Control, 2007, 18(7): 1 121-1 125.
- [22] 范新光, 肖璐, 张振富, 等. 减压冷藏和气调冷藏对鲜切西兰花保鲜效果的比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 277-281.
- [23] 李娟, 陶乐仁, 董小亮, 等. 菠菜贮藏过程中水分蒸发损失[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 285-288.
- [24] GARRIDO Y, TUDELA J A, HERNÁNDEZ J A, et al. Modified atmosphere generated during storage under light conditions is the main factor responsible for the quality changes of baby spinach[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 114: 45-53.
- [25] EVA A, HAYATI S, RAFAEL A, et al. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 120-127.
- [26] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 691-696.
- [27] 贾夏, 李栋, 魏阿宝. 温度和水分对存储菠菜叶绿素 a, b 含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(13): 106-109.
- [28] 黄新红, 李喜宏, 冯建华, 等. 油菜不同保鲜膜保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 315-318.

(上接第 57 页)

- [10] ADLOF R O, COPES L C, EMKEN E A. Analysis of monoenoic fatty acid distribution in Hydrogenated vegetable oils by silver-ion high performance liquid chromatography[J]. J. Am. Oil Chem. Soc., 1995, 72(5): 571-574.
- [11] 李蕊, 徐小民, 李亚利, 等. 银离子固相萃取-气相色谱法检测乳脂肪中的反式脂肪酸[J]. 色谱, 2010, 28(12): 1 168-1 172.
- [12] RATNAYAKE W M. Overview of methods for the determination of trans fatty acids by GC, Silver-ion TLC, silver-ion LC, and GC/MS[J]. J AAC Int, 2004, 87: 523-529.
- [13] 袁慧君, 傅红, 饶平凡, 等. 反脂肪酸红光谱和气相色谱分析[J]. 粮食与油脂, 2007(2): 40-42.
- [14] 张琳, 杨圣崇, 吴海成, 等. 反式脂肪酸的危害及其检测方法的研究现状[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(20): 10 612-10 614.
- [15] 祝伟霞, 杨冀州, 王彩娟, 等. 毛细管气相色谱法测定食用油中 15 种反式脂肪酸的含量[J]. 理化检验: 化学分册, 2015, 51(3): 375-380.
- [16] OLIVERIRA M A, SOLIS V E, GIOLELLI L A, et al. Method development for the analysis of trans-fatty acids in hydrogenated oils by capillary electrophoresis[J]. Electrophoresis, 2003, 24: 1 641-1 647.
- [17] 林麒, 李国波, 葛品, 等. 气相色谱-质谱联用法检测母乳脂肪中反式脂肪酸[J]. 色谱, 2016, 34(5): 520-527.
- [18] 郑爱榕, 郑雪红, 李文权, 等. 螺旋藻脂肪酸随培养时间、温度和营养盐变化的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 106-115.
- [19] 宋立华, 李云飞, 汤楠. 食品中反式脂肪酸的分析方法研究进展[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2007, 25(1): 81-84.
- [20] 林旭彬. 谈一谈“婴幼儿谷类辅助食品”风险监测项目“反式脂肪酸/总脂肪酸比值”的参考值[J]. 科技视界, 2015(36): 326.
- [21] 王邱. 国内外对膳食反式脂肪酸的研究概况[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(9): 217-221.