

EHA/PE高阻隔复合膜对鲜切莴笋保鲜效果的影响

王羽,云雪艳,张晓燕,李见森,胡献泽,梁晓红,呼和,董同力嘎*
(内蒙古农业大学食品科学与工程学院,内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:为了考察EHA/PE高阻隔复合膜对鲜切莴笋的保鲜效果,采用EHA/PE复合膜真空包装鲜切莴笋,以相同条件处理但不加任何包装的鲜切莴笋作为对照,并于(5±2)℃下冷藏,贮藏期间定期测定菌落总数、色差、pH、汁液流失率、V_C、感官评分等指标。结果表明:EHA/PE复合膜包装莴笋的各项指标均显著优于对照组($p<0.05$)。未加包装的莴笋在4 d时感官状态已不能接受,菌落总数达(5.91±0.12) CFU,而EHA/PE组感官状态可保持16 d,且第18 d时菌落总数仅为5.69 CFU,水分流失率在16 d时仍小于1.5%,V_C含量始终大于5 mg/100 g。可见,EHA/PE高阻隔复合膜可明显延长鲜切莴笋的贮藏期。

关键词:高阻隔,EHA/PE,鲜切莴笋

Effect of high barrier EHA/PE membrane on preservation of fresh-cut asparagus lettuce

WANG Yu, YUN Xue-yan, ZHANG Xiao-yan, LI Jian-sen, HU Xian-ze, LIANG Xiao-hong,
HU He, DONG Tungalag*

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

Abstract: In order to explore the effect of the high barrier packaging materials on the fleshing-keeping of fresh-cut lettuce, fresh-cut asparagus lettuce were vacuum packed with EHA/PE composite membrane and refrigerated at (5±2) °C, sample without any packing as control. The total bacterial count, color, pH, drip loss, vitamin C, and sensory quality of fresh cut lettuce were tested during storage. The results showed that during the storage time, the indicators of asparagus lettuce packaged with EHA/PE were better than that of PE films ($p<0.05$). Without the package the sensory of asparagus lettuce were unacceptable and the total bacterial count achieved (5.91±0.12) CFU at 4 days. But samples packaged with EHA/PE multilayer film could achieve 16 days and the total bacterial count only 5.69 CFU at the eighteenth day, the drip loss was inferior to 1.5% at 16 days, and the V_C content more than 5 mg/100 g all the while. The results suggested that EHA/PE film could greatly extend the shelf life.

Key words: high barrier; EHA/PE; fresh-cut asparagus lettuce

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)22-0308-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.22.055

鲜切果蔬由于其独具一格的便利性和营养价值越来越多的走入市场。但鲜切果蔬经过加工处理后加速了贮藏过程中的生理恶化,导致营养价值迅速降低^[1]。其中最易出现的变质现象就是由于酶在氧气存在的条件下催化氧化酚类物质产生的褐变,褐变产生后严重影响鲜切果蔬的商品价值^[2-3]。多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)是引发鲜切果蔬褐变的重要因素^[4],针对其褐变的抑制已有很多相关研究,如次氯酸钠、抗坏血酸、半胱氨酸、柠檬酸、草酸、甲基环丙烯等化学添加剂的应用^[5-6],以及如绿茶提

取物、甘露糖醇等新型提取物也被用作鲜切果蔬的褐变抑制剂^[7-8]。但这些化学褐变抑制剂存在安全隐患或者生产成本高的缺陷,在实际应用中都受到了限制。另外的一些非化学方法,如热烫、气调、辐照等方法虽然安全、成本低,但会影响感官状态及造成营养流失^[9]。莴笋又名千金菜,营养价值高,且有一定的保健功效^[10],安全高效的保藏方法是提高其鲜切制品商品价值的有效手段。通过包装材料抑制鲜切莴笋品质劣变是一种绿色、安全的方法。高阻隔材料包装鲜切莴笋使其与氧气隔绝不仅可以减缓酶促褐

收稿日期: 2015-04-07

作者简介: 王羽(1990-),男,硕士研究生,研究方向:食品包装与储运, E-mail: 472701706@qq.com。

* 通讯作者: 董同力嘎(1972-),男,博士,研究方向:高分子材料,食品包装与储运, E-mail: dongtlg@163.com。

基金项目: 内蒙古草原英才项目(2011); 国家科技支撑计划项目(2012BAD38B00/2012BAD38B01)。

变,也可以一定程度上抑制微生物的繁殖。

EHA/PE复合膜是由EVOH(乙烯-乙醇共聚物)与PA(聚酰胺)共混挤出成膜后,再与PE(聚乙烯)复合而成的一种新型高阻隔薄膜,目前还未有应用于鲜切果蔬包装的报道。EVOH的气体阻隔性较高,可以有效的阻止O₂的渗透^[11],从而延缓鲜切果蔬的褐变速度。EVOH在相对湿度大于30%时,由于水分子与EVOH羟基的作用,吸湿量明显增大,阻隔性会严重下降^[12]。而PA6属于疏水性纤维,其回潮率仅为3.5%~5%,两者共混后阻隔性能在较高相对湿度下明显高于单独的EVOH和PA6。但EVOH和PA6的热封性均较差,故与热封性能较优越的PE复合,充当封合层,使EHA/PE复合膜包装性能更为完善。

本实验基于对鲜切莴笋褐变和微生物繁殖的抑制,采用新型高阻隔EHA/PE复合膜真空包装鲜切莴笋片,并测定贮藏期间的品质变化指标,探讨其对鲜切莴笋的保鲜效果,进而研究高阻隔性包装材料在鲜切莴笋保鲜方面的应用效果。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

莴笋(LactucapsativapL.var.asparaginapBailey,正优三号)购于呼和浩特东瓦窑蔬菜批发市场,成熟度、大小一致、无病虫害的新鲜莴笋;EHA/PE复合膜 厦门长塑实业有限公司提供;化学试剂 均为分析纯。

LDZX-50KA型立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;PHS-2C型pH计 上海三信仪表厂;LRH-70型生化培养箱 上海中友仪器设备有限公司;JA-5003B型电子天平 上海精天电子仪器有限公司;Permatran-w3/61透湿仪 美国MOCON公司;8001型透氧仪 美国Illinois公司;TCP2型色差仪 北京奥依克光电仪器有限公司;UV-2450型紫外分光光度计 日本岛津;DZ-400型单室真空包装机 上海佳诚包装机械设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 薄膜阻氧性测试 实验方法参考GB/T19789-2005。仪器直接输出的氧气透过率(OTR)根据如下公式计算出薄膜的氧气透过系数(OP):

$$OP = \frac{OTR \times D}{\Delta P}$$

式中:OP:氧气透过系数(cm³·m/m²·d·Pa);OTR:氧气透过率(cm³/m²·d);D:薄膜平均厚度(m);ΔP:薄膜两侧氧气压差(Pa)。

1.2.2 水蒸气阻隔性测试方法 测试方法参考GB/T

26253-2010。相对湿度RH为50%,测试温度分别为25℃,预热平衡1h后开始进行透湿性能测定。每组6个平行样,并根据仪器直接输出水蒸汽透过率(WVTR),并根据公式:

$$WVP = \frac{WVTR \times D}{\Delta P} = \frac{WVTR \times D}{S \times (RH_1 - RH_2)}$$

式中:WVP:水蒸气透过系数(g·m/m²·d·Pa);WVTR:水蒸气透过率(g/m²·d);D:薄膜厚度(m);ΔP:薄膜两侧水蒸气压差(Pa);S:测定温度下水的饱和蒸气压(Pa);RH₁:测试腔上部的相对湿度(%);RH₂:测试腔下部的相对湿度(%)。

1.2.3 鲜切莴笋片加工工艺 将新鲜莴笋用自来水清洗干净,然后用灭菌后的刀具将皮削掉。去皮后的莴笋用灭菌后的蒸馏水漂洗3次,室温下沥干30min后在超净台中切分成厚度为5mm的莴笋片。将制好的包装袋(规格15.5mm×10mm)灭菌后真空包装(真空度-0.08)处理好的莴笋片,每包分装量约35g。对照组除不加包装外其他处理完全相同,标记为CK。最后将鲜切莴笋片于(5±2)℃下冷藏。每隔1d测定感官、菌落总数、色差、pH、汁液流失率和V_c等指标。

1.2.4 感官评定 感官评分表参照文献[13-14]修改使用,男女比例相等的10名食品专业研究生依据表1对贮藏期间的鲜切莴笋进行感官评分。

1.2.5 菌落总数测定 参照GB4789.2-2010。取25g样品快速打浆后加入到225mL无菌生理盐水中,充分振荡后,梯度稀释,各梯度分别取1mL稀释液注入平皿中,与营养琼脂培养基混匀后,37℃条件下培养(48±2)h观察菌落总数,每个稀释度3个重复。

1.2.6 色差测定 应用色差仪进行测定;a*代表绿(-)红(+)轴色度,而绿色为新鲜莴笋切片的主色调,故以a*值代表莴笋颜色变化指标。值越小代表鲜切莴笋越鲜绿,值越大表明莴笋色泽变化越大。鲜切莴笋片从冰箱中取出在室温下平衡后1h后在室温条件下进行颜色的测定^[15]。重复取样3次取平均值。

1.2.7 V_c含量测定 紫外分光光度法,参照文献[16]。

1.2.8 pH测定 在无菌环境中,将待测样(约30g)切碎,加无菌生理盐水(300mL),浸泡30min并不时搅拌,过滤,用pH计测定滤液的pH。

1.2.9 汁液流失率 参照文献[17],采用称重法测定,根据以下公式计算出汁液流失率:

$$w(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_1 - m_3} \times 100$$

式中:w:汁液流失率(%);m₁:包装袋和莴笋的质量(g);m₂:含有汁液的包装袋质量(g);m₃:包装袋

表1 感官品质评分标准

Table 1 Standard of the sensory quality evaluation

得分	品质感受	色泽	腐烂情况	商品价值
8.1~10	非常好	新鲜,绿色,无褐变	无	品质完好,可出售
6.1~8.0	很好	切面轻微暗淡,无褐变	无	品质较好,可出售
4.1~6.0	好	切口出现肉眼可见褐变	无	出售受限
2.1~4.0	一般	切口褐变严重	稍有腐烂	食用受限
0~2	差	整体褐变严重	腐烂严重	不可食用

注:感官评分低于3分则认为失去价值。

的质量(g)。

1.2.10 统计方法 采用SAS9.0软件进行数据的统计与分析。

2 结果与分析

2.1 EHA/PE复合膜阻隔性分析

由表2中测试数据可知EHA/PE复合膜其透氧量较低。EVOH链段结构特殊,分子中的羟基与分子间氢键有强键合作用,内聚力较强,分子链段堆积程度高,气体在其中的扩散系数较小。同时由于EVOH的高度结晶性,小分子也不易通过。EVOH分子链具有一定刚性,分子间自由运动形成的空间小,EVOH中的羟基表现一定的极性,而O₂为非极性分子,由相似相容原理可知其也很难穿过树脂。PA6的酰胺基与EVOH的羟基之间具有类似氢键的强作用力,两者具有很好的相容性,形成很好的共混体系,提高了阻隔性^[18-19]。同时PE具有很好的热封性能和阻湿性能,与其复合,作为内封层不仅可以提高包装袋封合牢度,也在一定程度上增加了膜的阻隔性^[20]。

表2 EHA/PE复合膜的水蒸气和氧气透过程率

Table 2 Water vapor and oxygen transmission rate of the film

物理量	数值
厚度(μm)	73.87±0.41
水蒸汽透过量(g/m ² ·d)	3.08±0.47
水蒸汽透过系数(10 ⁻⁷ g·m/m ² ·d·Pa)	1.20±0.19
氧气透过量(cm ³ /m ² ·d)	1.53±0.02
氧气透过系数(10 ⁻⁹ mL·m/m ² ·d·Pa)	1.12±0.02

2.2 贮藏期间感官的变化

由表3可知,不加包装的鲜切莴笋即使在冷藏条件下,其感官变化也极其迅速。2 d时莴笋的品相已经严重下降,到4 d时彻底失去食用价值。而用EHA/PE复合膜真空包装的莴笋片,在10 d时颜色才略显暗淡。到18 d腐败时仍保持一定的绿色。对照组由于未加任何包装,其变化主要是大量的水分迅速流失和切面的迅速氧化褐变。这主要是因为对照组表面的空气流速及与氧气的接触量都远大于包装组,且鲜切莴笋表面的相对湿度远大于周围环境的湿度。

水分在湿度梯度的作用下迅速散失,且在流动空气的作用下加大了其蒸腾作用,进一步加快了水

分的流失。同时与氧气的充分接触,使其迅速氧化褐变,感官质量迅速下降。而包装组由于复合膜的强阻隔作用,莴笋表面的空气流动甚微,且包装袋内的环境湿度迅速与莴笋平衡,湿度梯度的消除和蒸腾作用的弱化,使莴笋的水分一直保持在较高的状态。再加之EHA/PE优良的阻氧作用,氧化褐变的速度大大减慢,故较长时间保持了较好的感官品相。

2.3 贮藏期间菌落总数的变化

由表4中数据可知,对照组的菌落总数直线上升,在4 d时上升到约10⁶个/g。而包装组的菌落总数在4 d时上升到约10³个/g后,在4~12 d维持在较为平稳的状态,在14 d后菌落总数骤然上升,直到失去食用价值。氧气、湿度、营养成分等是决定微生物生长繁殖的重要因素^[21]。对照组的菌落总数直线上升与其直接暴露在空气中有直接关系,流动的空气给微生物的繁殖提供了源源不断的氧气。再者,鲜切莴笋表面水分不断渗出,其表面生长繁殖的微生物所处环境湿度适宜,同时随着水分的渗出,营养物质也随之流出,提供微生物繁殖所需的营养物质,维持着微生物的生长繁殖。而EHA/PE包装组的菌落总数在开始阶段上升,是因为真空包装后仍有一定量的氧气残留,可供微生物繁殖。而后随着残留氧气的消耗,微生物繁殖受限,但可能是因为薄膜微量的氧气透过维持着一定数量水平的微生物,故而在这段时期内微生物数量较为稳定。后期微生物数量上升,是因为EHA/PE膜中的EVOH阻隔性受湿度影响较大,其单膜随着相对湿度的增大阻隔性能下降^[22-24]。同时经过测试发现,随着湿度的增加EHA/PE复合膜的阻氧性也下降。所以在贮藏期间薄膜与水分较大的莴笋紧贴时间较长,阻隔性越来越差,氧气透过量增大,微生物生长繁殖加快,致使后期菌落总数上升。

2.4 贮藏期间色差的变化

莴笋在贮藏期间的颜色变化主要是由于氧气的作用下,PPO催化的酶促褐变^[25]。如表5所示,对照组a*的上升就是由于其直接暴露在空气中,氧化褐变不受阻碍造成的。再如表3所示EHA/PE包装组的莴笋一直处于绿色状态,a*变化也处于水平波动范围内。这主要是因为EHA/PE的高阻氧性,氧气透过量甚微,氧化褐变作用不明显。而波动则可能是由于样品个体差异的原因。

表3 鲜切莴笋感官品质评分

Table 3 Sensory evaluation of fresh-cut asparagus lettuce

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	9.63±0.31 ^{Aa}	8.73±0.5 ^{Ba}	8.07±0.45 ^{Bca}	7.8±0.56 ^{CD}	7.3±0.36 ^{CD}	7.23±0.38 ^D	6.33±0.55 ^E	5.17±0.45 ^F	4.17±0.4 ^G	1.9±0.36 ^H
CK组	9.67±0.21 ^{Ba}	5.23±0.4 ^{Bb}	2.27±0.66 ^{Ab}							

注:同一行不同大写字母表示差异显著;同一列不同小写字母表示差异显著,(p<0.05);表4~表8同。

表4 鲜切莴笋菌落总数在贮藏期间的变化(lg cfu/g)

Table 4 Changes of microbial counts of fresh-cut asparagus lettuce during storage (lg cfu/g)

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	1.60±0.24 ^{Aa}	2.33±0.19 ^{Ga}	3.18±0.03 ^{Bb}	2.85±0.06 ^F	3.27±0.03 ^E	4.72±0.04 ^D	3.24±0.01 ^E	5.66±0.04 ^C	6.11±0.06 ^A	5.69±0.00 ^{Bc}
CK组	1.60±0.24 ^{Ga}	3.76±0.32 ^{Ba}	5.91±0.12 ^{Aa}							

2.5 贮藏期间维生素C含量的变化

贮藏期间无包装的对照组与高阻隔膜包装组莴笋的 V_C 含量变化趋势明显不同。对照组的 V_C 含量随贮藏时间的延长而下降,包装组 V_C 的含量总体则是呈先下降后上升再下降的趋势。第2 d时包装组的 V_C 含量已经下降50%以上,在2~10 d间 V_C 含量因个体差异在小范围内波动,12 d时含量上升到最高值后开始下降,直到腐烂。果蔬中 V_C 含量主要是因为氧化而下降。对照组直接暴露于氧气充足的空气中,故 V_C 含量迅速下降。包装组采用高阻隔的EHA/PE真空包装,初始阶段袋内仍有一定的氧气残留,导致 V_C 含量因氧化而下降。贮藏期间 V_C 含量回升主要可能是因为莴笋的后熟作用。果蔬的呼吸作用持续进行,呼吸产热,使周围温度升高。温度的升高会促使乙烯的产生,乙烯对果蔬有催熟作用,随着果蔬的进一步成熟 V_C 含量上升^[26]。后期 V_C 下降主要原因还是氧气的氧化,因为薄膜在潮湿环境下阻隔性下降,氧气透过量增加,进而加速了莴笋的 V_C 含量下降与褐变。这种变化趋势与文献^[27]中果蔬 V_C 含量的变化相似。

2.6 贮藏期间pH的变化

鲜切果蔬pH的变化可在一定程度上反应其生理活动的变化,果蔬呼吸作用的同时会产生一些呈酸性或碱性的物质,通过pH的变化可以判断其生理活动的变化。果蔬采后最活跃的生理活动就是其呼吸作用,几乎存在于生鲜果蔬整个贮藏期。在氧气存在的情况下,果蔬进行有氧呼吸,产生 CO_2 , CO_2 溶于水形成碳酸,pH下降,如表7所示的对照组变化趋势。EHA/PE包装组pH变化呈先下降后上升的趋势,下降是因为在最初袋内有 O_2 残留,莴笋进行有氧呼吸产生 CO_2 ,导致pH下降。后来上升是因为袋中残留 O_2 耗尽,莴笋

由有氧呼吸转变为无氧呼吸,无氧呼吸产物由 CO_2 转变为酒精。酒精呈中性偏弱碱性,故而pH上升。

2.7 贮藏期间汁液流失率的变化

汁液流失率主要反应鲜切果蔬水分流失的情况,从而反应果蔬的品质。不加包装的对照组暴露在空气中,空气的流动加速蒸腾作用,水分迅速流失,汁液流失率明显上升($p < 0.01$)。而包装组在最初阶段由于膜的强阻隔作用,水分不易流失,流失率保持在初始状态。后期由于膜在潮湿环境下贮藏时间的延长,阻隔性受水分影响逐渐变差,水分蒸发加快,汁液流失率变大。

3 结论

鲜切莴笋在EHA/PE高阻隔薄膜的包装下,不仅氧气无法进入,鲜切蔬菜自身的水分也不易散失。鲜切莴笋易氧化褐变的问题得到改善, V_C 氧化流失的速度变缓,微生物的繁殖也受到抑制,较长时间的保持了鲜切莴笋的品质。可见,通过高阻隔包装材料限制 O_2 和 H_2O 的通透来延缓鲜切果蔬的贮藏期是一种绿色、高效的方法。

参考文献

- [1] Martín-Diana A B, Rico D, Barry-Ryan C. Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4):593-603.
- [2] Roura S I, Pereyra L, Del Valle C E. Phenylalanine ammonia lyase activity in fresh cut lettuce subjected to the combined action of heat mild shocks and chemical additives[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(5):919-924.
- [3] Altunkaya A, Gkmen V. Effect of various anti-browning

表5 鲜切莴笋的 a^* 值变化

Table 5 a^* value of fresh-cut asparagus lettuce

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	-0.39±3.21 ^{Aa}	-4.33±2.86 ^{CDb}	-2.12±0.92 ^{ABD}	-5.6±3.42 ^{DE}	-4.88±0.76 ^{DCE}	-5.04±0.83 ^{DE}	-3.19±0.95 ^{BCD}	-6.17±2.72 ^E	-1.45±2.22 ^{AB}	-3.7±1.13 ^{BCDE}
CK组	-0.39±3.21 ^{Ba}	-0.96±1.28 ^{Ba}	5.28±2.2 ^{Aa}							

表6 鲜切莴笋的 V_C 含量变化

Table 6 The V_C content of fresh-cut asparagus lettuce

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	21.97±1.67 ^{Ba}	8.77±1.78 ^{Ea}	11.11±0.99 ^{Da}	10.64±0.61 ^{DE}	13.45±1.13 ^C	8.07±1.14 ^F	24.4±1.36 ^A	21.86±0.31 ^B	5.29±1.07 ^G	4.11±1.02 ^G
CK组	21.97±1.67 ^{Aa}	9.99±0.58 ^{Ba}	0.90±0.46 ^{Ch}							

表7 鲜切莴笋的pH变化

Table 7 The pH of fresh-cut asparagus lettuce

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	6.51±0.11 ^{Aa}	5.89±0.04 ^{Ea}	5.82±0.02 ^{Fab}	5.7±0.04 ^C	5.67±0.02 ^C	6.33±0.03 ^B	6.23±0.01 ^{CD}	6.19±0.02 ^D	6.29±0.03 ^{BC}	6.35±0.06 ^B
CK组	6.51±0.11 ^{Aa}	5.89±0.01 ^{Ba}	5.24±0.02 ^{Ca}							

表8 鲜切莴笋的汁液流失率

Table 8 The change of drip loss of fresh-cut asparagus lettuce

时间(d)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
EHA/PE组	0 ^{Da}	0.14±0.04 ^{CDb}	0.29±0.03 ^{CDb}	0.14±0.08 ^{CD}	0.44±0.09 ^C	0.11±0.04 ^{CD}	0.07±0.03 ^{CD}	1.25±0.1 ^B	0.96±0.24 ^B	3.88±0.57 ^A
CK组	0 ^{Ca}	1.72±0.09 ^{Ba}	2.44±0.4 ^{Aa}							

- agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*) [J]. Food chemistry, 2009, 117(1): 122-126.
- [4] Degl'Innocenti E, Pardossi A, Tognoni F, et al. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in 'lettuce', 'escarole' and 'rocket salad' when stored as fresh-cut products [J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 209-215.
- [5] Saltveit M E. Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut 'iceberg' lettuce [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34(1): 75-80.
- [6] Lu S, Luo Y, Turner E, et al. Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices [J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 824-829.
- [7] Kang H M, Saltveit M E. Wound-induced increases in phenolic content of fresh-cut lettuce is reduced by a short immersion in aqueous hypertonic solutions [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(3): 271-277.
- [8] Martín-Diana A B, Rico D, Barry-Ryan C. Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4): 593-603.
- [9] Chen Z, Zhu C, Zhang Y, et al. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(3): 232-238.
- [10] 戴国辉, 孙志栋, 吴海军, 等. 莴笋的营养保健价值及其加工开发 [J]. 农产品加工·学刊, 2008, 154(11): 43-46.
- [11] 崔小明. EVOH树脂的市场应用状况 [J]. 国外塑料, 2013, 31(2): 34-38.
- [12] 杨玉新, 李丹. EVOH高阻隔食品包装瓶的开发与应用 [J]. 塑料包装, 2011, 21(3): 31-35, 25.
- [13] 高愿军, 吴炜炜, 孟楠, 等. 包装薄膜对鲜切莴笋品质的影响 [J]. 食品科技, 2011, 36(3): 42-45.
- [14] 高愿军, 樊振江, 路源, 等. 清洗方式对鲜切莴笋品质和农残去除的影响 [J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 159-162.
- [15] D M H olcroft. Controlled atmosphere induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit [J]. Postharvest Biol Technol, 1999(17): 19-32.
- [16] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素C的含量 [J]. 化学与生物工程, 2012, 29(8): 92-94.
- [17] 张晓燕, 云雪艳, 梁敏, 等. 含有海藻糖的生物可降解薄膜对冷鲜肉的保鲜与护色作用 [J]. 食品工业科技, 2015, 8(36): 298-303.
- [18] Cerruti P, Laurienzo P, Malinconico M, et al. Thermal oxidative stability and effect of water on gas transport and mechanical properties in PA6-EVOH films [J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2007(7): 840-849.
- [19] 王启飞, 戚嵘嵘, 周持兴. 聚酰胺6/乙烯-乙烯醇无规共聚物共混体系的相容性及性能研究 [J]. 中国塑料, 2005, 19(9): 35-38.
- [20] 任发政. 食品包装学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [21] 何国庆. 食品微生物 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [22] Amparo Lopez-Rubio, Jose M Lagaron, Pilar Hernandez-Munoz, et al. Effect of high pressure treatments on the properties of EVOH-based food packaging materials [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 6(1): 51-58.
- [23] Zhang Z, Britt I J, Tung M A. Water absorption in EVOH films and its influence on glass transition temperature [J]. Journal of Polymer Science Part B, 1999, 37(7): 691-699.
- [24] Aucejo V S, Catala R, Gavara R. Interactions between water and EVOH food packaging films [J]. Food Science and Technology International, 2000, 6(2): 159-164.
- [25] Marco Chisari, Aldo Todaro, Riccardo N Barbagallo. Salinity effects on enzymatic browning and antioxidant capacity of fresh-cut baby romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Duende) [J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1502-1506.
- [26] 郑永华. 食品贮藏保鲜 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2013: 31-58.
- [27] Gil M I, Aguayo E, Kader A A. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage [J]. Journal of Agricultural and Food chemistry, 2006, 54(12): 4284-4296.
- (上接第297页)
- Carbohydrate Polymers, 2014, 101(3): 837-845.
- [9] 虎玉森, 蒲陆梅, 张红利, 等. 辛烯基琥珀酸马铃薯淀粉酯的制备及结构表征 [J]. 食品科学, 2010, 31(2): 22-24.
- [10] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.
- [11] 刘玉梅, 刘奎纺. 番茄红素油树脂中番茄红素的分析方法的的研究 [J]. 食品工业科技, 2004, 25(12): 127-130.
- [12] 徐忠, 王鹏, 缪铭. 玉米多孔淀粉吸附性能研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(7): 581-585.
- [13] 苏东明, 金华丽, 任顺成, 等. 微孔变性淀粉吸附性质研究 [J]. 郑州粮食学院学报, 2000, 21(2): 24-27.
- [14] Glauca Aguiar Rocha, Carmen Sílvia Fávoro-Trindade, Carlos Raimundo Ferreira Grosso. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules [J]. Food and Bioproducts Processing, 2012, 90(1): 37-42.
- [15] Sindhu Mathew, T Emilia Abraham. Physico-chemical characterization of starch ferulates of different degrees of substitution [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 579-589.
- [16] Fang J M, Fowler P A, Sayers C, et al. The chemical modification of a range of starches under aqueous reaction conditions [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 55(3): 283-289.
- [17] 胡爱军, 张志华, 郑捷, 等. 大米纳米淀粉的超声法制备及载药性研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2011, 34(8): 32-35.
- [18] 张甲奇, 张燕萍. 大米多孔淀粉基大米多孔酯化淀粉吸附特性的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 108-111.
- [19] 宁青, 蒋艳荣, 张振海, 等. 多孔淀粉固化肉桂挥发油的考察 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(3): 29-32.
- [20] 冯晓梅, 韩玉谦, 隋晓, 等. 番茄红素稳定性的研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(6): 875-880.