

doi:10.11937/bfyy.20191227

## 川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜对 黄瓜保鲜效果的影响

张 黎<sup>1</sup>, 王 峥 鉴<sup>2</sup>, 张 秀 玲<sup>1</sup>, 张 雪 婷<sup>1</sup>, 高 诗 涵<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学 食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 北京林业大学 生物科学与技术学院, 北京 100083)

**摘 要:**以“绿箭一号”黄瓜为试材,研究了不同质量分数的川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料对黄瓜的保鲜效果,以期在贮藏过程中减少其营养物质的损失。结果表明:与对照(蒸馏水)组相比,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料能有效降低黄瓜的失重率,减慢了黄瓜水分的散失;延缓了黄瓜中叶绿素的分解;减少了黄瓜中维生素 C、可溶性固形物的分解及丙二醛(MDA)的累积,并降低了多酚氧化酶(PPO)活性。当川陈皮素添加量为  $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,黄瓜有较佳的保鲜效果,可将其贮藏期延长至 18 d,该研究可为黄瓜的贮藏保鲜方法提供参考依据。

**关键词:**黄瓜;川陈皮素;羧甲基纤维素钠;涂膜保鲜

**中图分类号:**S 642.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2019)15-0113-07

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)属葫芦科植物,也称胡瓜、吊瓜、唐瓜等,是我国各地夏季主要蔬菜之一,是典型的易腐农产品<sup>[1]</sup>,常温下由于果实呼吸或微生物侵染等原因,容易造成组织破坏、果实萎蔫,最终导致腐败变质或瓜体衰老。在其贮藏过程中,因存在顶端优势使瓜条出现变形、组织变糠、瓜皮退绿变黄等现象,所以其贮藏难度较大<sup>[2]</sup>。

目前,减压贮藏<sup>[3]</sup>、低温冷藏<sup>[4]</sup>、气调保鲜<sup>[5]</sup>和涂膜保鲜等<sup>[6]</sup>是果蔬保鲜领域常用的保鲜方法。其中,涂膜作为一种新型安全便利的保鲜方法在果蔬保鲜领域中引起高度关注。涂膜材料能够隔绝空气,减少水分蒸发,减慢呼吸速率,防止病原微生物侵染,延缓衰老,因此能延长果蔬贮藏期<sup>[7]</sup>。川陈皮素和羧甲基纤维素钠等作为常见的

保鲜剂,在果蔬保鲜中应用最为广泛<sup>[8~9]</sup>。川陈皮素别名川陈皮苷,又称蜜橘黄酮,是一类天然黄酮类化合物<sup>[10]</sup>。川陈皮素对于癌细胞具有抑制作用,能清除自由基,具有抗氧化能力<sup>[11]</sup>。已有试验<sup>[12]</sup>证明川陈皮素对于常见果蔬致病菌和霉菌具有抑制作用,将橙皮提取物喷雾到保鲜纸上包装番茄,可以对番茄进行保鲜贮藏。羧甲基纤维素钠是一种具有良好水溶性、分散稳定性和成膜性亲水性高分子化合物<sup>[13]</sup>,常作为食品添加剂使用,也可作为涂膜材料用于果蔬保鲜贮藏<sup>[14]</sup>。

因此,试验以羧甲基纤维素钠水溶液为载体,以食品级的川陈皮素为原料,制得川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料,研究不同浓度的复合涂膜材料对黄瓜保鲜效果的影响,通过对比贮藏过程中黄瓜的各项生理生化指标的变化,得出较佳质量分数的复合涂膜材料,达到延长黄瓜货架期的效果。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

供试黄瓜“绿箭一号”,购于黑龙江省农业科

**第一作者简介:**张黎(1993-),女,硕士研究生,研究方向为果蔬贮藏加工。E-mail:zhanglibaoxian@163.com.

**责任作者:**张秀玲(1968-),女,博士,教授,博士生导师,研究方向为果蔬贮藏加工。E-mail:1457945201@qq.com.

**基金项目:**黑龙江省蔬菜现代农业产业技术协同创新体系岗位专家资金资助项目;东北农业大学“双一流”学科团队资助项目。

**收稿日期:**2019-04-28

学院园艺分院。选取大小均匀、成熟度一致,无病虫害、无机械伤的黄瓜作为试验材料,采后及时运回实验室备用;川陈皮素:食品级,实验室自提;羧甲基纤维素钠:食品级,购于上海亚什兰化工有限公司;其它试剂均为分析纯,天津光复化学试剂有限公司。

果实硬度计:GY-3型,杭州托普仪器有限公司;手持式糖量折光仪:WYT-32,上海精密仪器仪表有限公司;可见分光光度计:722,上海佑科仪器仪表有限公司;电子天平:YP-20002,上海越平科学仪器有限公司;高速冷冻离心机:5428型,德国艾本德公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 涂膜液的制备

将不同质量的川陈皮素添加于质量分数为1.0%的羧甲基纤维素钠水溶液中,制得川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜液,质量分数依次为1.50、1.75、2.00、2.25 g·L<sup>-1</sup>,并分别记为T1、T2、T3、T4组。

### 1.2.2 黄瓜涂膜处理

将新鲜黄瓜随机分成5组,分别放入已制备好的复合涂膜液中,浸泡1 min后取出,室温条件下晾干后使黄瓜表面覆盖一层透明的薄膜。对照组(CK)浸泡于蒸馏水中,1 min后取出晾干。将处理好的5组黄瓜置于泡沫箱中,贮藏温度(13±2)℃,相对湿度60%。每隔3 d从各组中随机抽取3个试样测定各项指标,每项指标平行测定3次,取平均值。

## 1.3 项目测定

### 1.3.1 失重率测定

随机抽取3个已标记好质量的黄瓜( $M_1$ , g),失重率(%)=( $M_1-M_2$ )/ $M_1$ ×100。式中: $M_1$ 为初始质量,g; $M_2$ 为贮藏一段时间后的质量,g<sup>[15]</sup>。

### 1.3.2 硬度测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,采用GY-3型果实硬度计<sup>[16]</sup>的方法,以kg·cm<sup>-2</sup>为单位。

### 1.3.3 可溶性固形物含量测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,用手持式糖量折光仪<sup>[16]</sup>测定,结果以%为单位。

### 1.3.4 维生素C含量测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,采用2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[17]</sup>的方法,以mg·(100g)<sup>-1</sup>为单

位,以鲜质量计。

### 1.3.5 叶绿素含量测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,采用分光光度法<sup>[16]</sup>的方法,以mg·g<sup>-1</sup>为单位,以鲜质量计。

### 1.3.6 多酚氧化酶(PPO)活性测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,采用邻苯二酚法<sup>[18]</sup>的方法,以每克果蔬样品(鲜质量)每分钟吸光度变化值增加0.01为1个活性单位U,以U·g<sup>-1</sup>为单位。

### 1.3.7 丙二醛(MDA)含量测定

从各组中随机抽取3个黄瓜,采用硫代巴比妥酸显色法<sup>[19]</sup>测定,以μmol·g<sup>-1</sup>为单位,以鲜质量计。

## 1.4 数据分析

采用SPSS Statistics 24.0软件进行数据的统计处理,利用Origin 8.5软件进行数据处理及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 复合涂膜液对黄瓜失重率的影响

失重率是判断果实外观品质的另一重要指标,反映了贮藏期间黄瓜中水分的变化。由图1可以看出,虽然其趋势不断上升,但复合涂膜组处理的黄瓜失重率均低于对照组(CK组),可见复合涂膜材料能显著( $P<0.05$ )降低黄瓜在贮藏过程中的失重率。贮藏至18 d时,CK组黄瓜的失重率高达21.0%,而T1、T2、T3、T4组的失重率分别为18.0%、18.5%、17.0%、18.0%,这说明复合涂膜材料有效地抑制了黄瓜失重率的增长,进而也说明川陈皮素的添加量对复合涂膜材料的成膜性和膜的致密性有较大影响。在整个贮藏期内,与CK组相比,复合涂膜材料处理组的失重率较低,主要是因为复合涂膜材料能在黄瓜表面形成一层致密的保护膜,能够减少黄瓜水分散失,达到抑制失重率增长,降低有机物消耗的作用<sup>[16]</sup>。因此可以看出,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料降低了黄瓜的失重率,并且川陈皮素的添加提高了羧甲基纤维素钠涂膜材料的保鲜效果。当川陈皮素质量分数为2 g·L<sup>-1</sup>时,复合涂膜材料对抑制黄瓜的失重率升高有较好的效果。

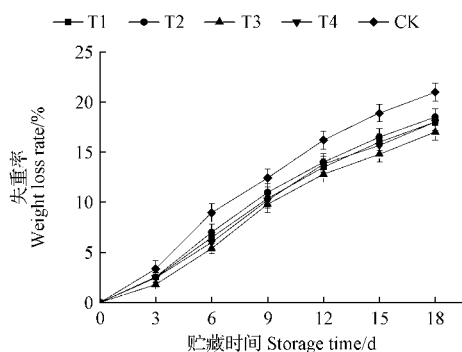


图 1 复合涂膜液对黄瓜失重率的影响

Fig. 1 Effect of composite coating solutions on cucumber weight loss rate

## 2.2 复合涂膜液对黄瓜硬度的影响

果蔬的口感与其硬度密切相关,硬度是衡量果实成熟度和贮藏品质的重要指标之一。由图 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,黄瓜的硬度逐渐下降。在贮藏 9 d 内,T2 组硬度下降逐渐增大接近 T1 组,说明复合涂膜材料中川陈皮素的添加量并不是越大越好;当贮藏 9 d 后,各处理组黄瓜硬度的下降趋势逐渐平缓。在贮藏 18 d 后,CK 组硬度为  $4.6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,T1、T2、T3、T4 组的硬度分别为  $5.6$ 、 $5.2$ 、 $6.0$ 、 $5.0 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,与 CK 组相比,添加川陈皮素后能显著提高涂膜材料对黄瓜硬度下降的抑制作用。这一结果与孟宪琦<sup>[20]</sup>研究的黄瓜采后硬度变化的结果一致。贮藏期间,T3 组显著( $P < 0.05$ )高于其它组,说明在川陈皮素质量分数为  $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,复合涂膜材料对抑制黄瓜的硬度下降有较好的效果。

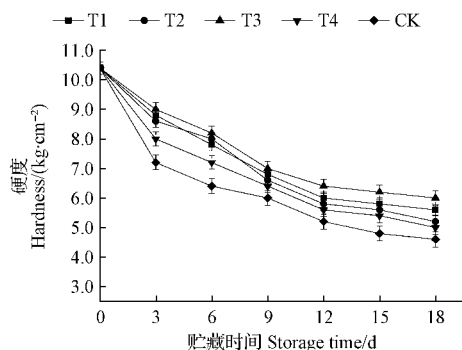


图 2 复合涂膜液对黄瓜硬度的影响

Fig. 2 Effect of composite coating solutions on cucumber hardness

## 2.3 复合涂膜液对黄瓜可溶性固形物含量的影响

果蔬中可溶性物质是反映果蔬成熟度的一项关键指标,糖是黄瓜中可溶性物质的主要成分。由图 3 可以看出,随着贮藏时间的延长,可溶性固形物含量逐渐减少。与 CK 组相比,复合涂膜材料处理的黄瓜可溶性固形物含量下降程度明显较低,说明复合涂膜处理能延缓果实后熟,维持黄瓜中可溶性固形物含量。在 18 d 的贮藏期内,T3 组的黄瓜可溶性固形物含量均明显高于其它组( $P < 0.05$ ),可能是川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料形成的薄膜通过气调作用减少了呼吸底物之一的糖消耗量,从而延缓了黄瓜可溶性固形物含量的下降速率。第 18 天时,在川陈皮素质量分数为  $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,黄瓜中可溶性固形物含量为  $3\%$ ,显著高于 CK 组  $2\%$ 。因此可以看出,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料有效减缓了黄瓜果实可溶性固形物含量的损失,并且川陈皮素能提高羧甲基纤维素钠涂膜材料的保鲜效果。

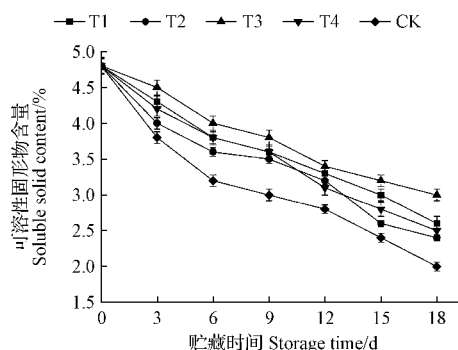


图 3 复合涂膜液对黄瓜可溶性固形物含量的影响

Fig. 3 Effect of composite coating solutions on cucumber soluble solid content

## 2.4 复合涂膜液对黄瓜维生素 C 含量的影响

维生素 C 是一种人体必需的营养素,其含量可以作为果蔬的营养品质和贮藏效果的评价指标之一。但维生素 C 不稳定,极易被氧化,易受 pH、水分活度、酶等因素的影响发生降解<sup>[21]</sup>。由图 4 可以看出,随着贮藏时间的延长,维生素 C 含量均呈现下降的趋势。分析表明,在贮藏 18 d 时,CK、T1、T2、T3、T4 组黄瓜中维生素 C 含量分别损失了  $71.8\%$ 、 $64.7\%$ 、 $60.0\%$ 、 $29.4\%$ 、

52.9%,与其它组相比,T3组的黄瓜维生素C含量损失较低,差异显著( $P<0.05$ )。这是因为涂膜可以防止果实内部与外界环境中的气体进行交换,从而防止维生素C被氧化成脱氢型抗坏血酸,进而被氧化成其它物质。因此可以看出,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料有效维持黄瓜中维生素C含量,当川陈皮素质量分数为 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,复合涂膜材料的保鲜效果较好。

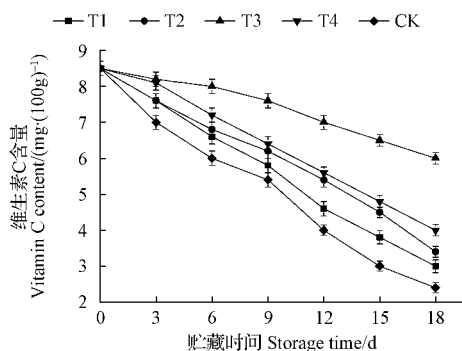


图4 复合涂膜液对黄瓜维生素C含量的影响

Fig. 4 Effect of composite coating solutions on cucumber vitamin C content

## 2.5 复合涂膜液对黄瓜叶绿素含量的影响

黄瓜贮藏过程中由于生理代谢失常或衰老,会导致果实退绿黄化,因此其表皮内所含的叶绿素含量可以反映其在贮藏期间的品质变化,是衡量其贮藏品质的重要指标。由图5可以看出,随着贮藏时间的延长,黄瓜中叶绿素的含量逐渐下降,表现为果实逐渐失去鲜绿色。贮藏期间叶绿素因降解导致其含量下降,主要是由于发生了脱镁反应<sup>[22]</sup>。在贮藏期内,CK组黄瓜叶绿素含量由最初的 $1.25\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 下降至 $0.32\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而复合涂膜T3组黄瓜叶绿素含量下降的最少,下降至 $0.60\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,T1组下降至 $0.37\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,T2组下降至 $0.40\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,T4组下降至 $0.39\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,均显著高于CK组( $P<0.05$ ),即T3组处理的黄瓜叶绿素分解相对缓慢,黄化程度较低。因此可以看出,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料有效延缓了黄瓜内叶绿素的降解速率,并且当川陈皮素质量分数为 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,复合涂膜材料的保鲜效果较好。这与路志芳等<sup>[23]</sup>在壳聚糖涂膜对鲜黄瓜的保鲜作用研究中结果一致。

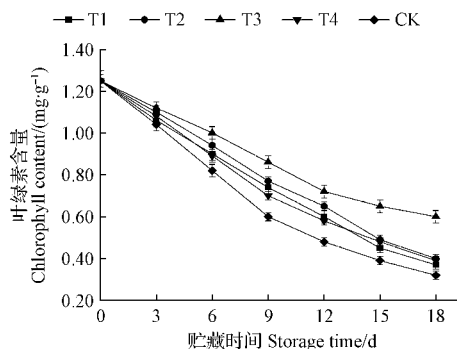


图5 复合涂膜液对黄瓜叶绿素含量的影响

Fig. 5 Effect of composite coating solutions on cucumber chlorophyll content

## 2.6 复合涂膜液对黄瓜多酚氧化酶活性的影响

PPO是酚类物质氧化的关键酶,能够通过分子氧化酚或多酚形成对应的醌后再形成黑色素。由图6可以看出,随着贮藏时间的延长,各组黄瓜中PPO活性均呈现先上升后下降的趋势。因为当黄瓜组织完整性遭到破坏、膜受到伤害时,潜在的PPO被激活,所以在贮藏前12d黄瓜中PPO活性呈上升趋势,随后,多酚类物质被氧化成醌再聚合黑色物质,达到动态平衡,所以在贮藏12d后黄瓜中PPO活性开始下降。当达到贮藏终点时,CK、T1、T2、T3、T4组黄瓜中PPO活性分别为 $0.53$ 、 $0.46$ 、 $0.50$ 、 $0.40$ 、 $0.45\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ ,与其它组相比,T3组PPO活性最低,达到显著( $P<0.05$ )水平。说明在川陈皮素质量分数为 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,涂膜材料对抑制黄瓜PPO的氧化有理想的效果,并且川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合

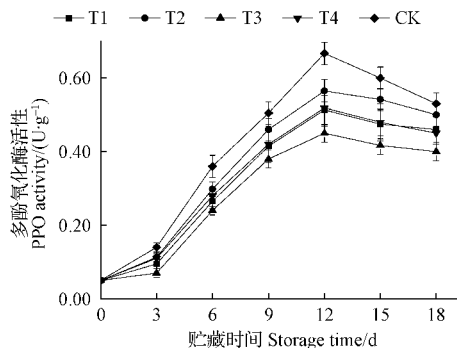


图6 复合涂膜液对黄瓜多酚氧化酶活性的影响

Fig. 6 Effect of composite coating solutions on cucumber PPO activity

涂膜材料能诱导黄瓜自身产生防御反应,延缓衰老,从而提高了黄瓜在贮藏期间的保鲜效果和食用品质。

## 2.7 复合涂膜液对黄瓜丙二醛含量的影响

黄瓜在贮藏过程中会产生脂质自由基。脂质自由基能诱发膜脂的过氧化作用,导致细胞膜透性增加,细胞受到损伤或死亡<sup>[24]</sup>。丙二醛就是膜脂过氧化的终产物,其积累会对果蔬细胞质膜和细胞器造成一定的伤害,最终导致果实的衰老,它的含量能够反映黄瓜在贮藏过程中膜脂的氧化程度,进而反映黄瓜表皮细胞的完整度及新鲜程度。由图7可以看出,各处理组黄瓜中MDA的含量均随着时间延长而呈现增加的趋势,其中CK组的增加量明显高于复合涂膜组。在整个贮藏过程中,T3组黄瓜MDA含量始终低于其它组,差异显著( $P<0.05$ )。贮藏至18d时,复合涂膜T3组MDA含量为 $1.14 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ,显著低于CK组的 $1.40 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。研究结果表明,川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料能有效减少黄瓜在贮藏过程中的膜脂氧化程度。因此可以看出,羧甲基纤维素钠涂膜液能有效地提高黄瓜保鲜效果,在复合涂膜材料中,当川陈皮素的质量分数为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄瓜有较佳的保鲜效果。这与石亚中等<sup>[25]</sup>在怀远石榴皮提取液对黄瓜保鲜效果的影响研究中结果保持一致。

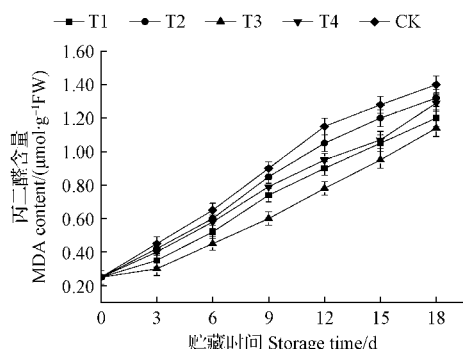


图7 复合涂膜液对黄瓜丙二醛含量的影响

Fig. 7 Effect of composite coating solutions on cucumber MDA content

## 3 讨论与结论

黄瓜属于非跃变型果蔬,采摘后为了维持其正常生命活动,需要不断地消耗自身的营养物质

来获得能量<sup>[26]</sup>。试验证明,用川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料处理后,能有效地保证黄瓜的品质并延长其货架期。肖龙云等<sup>[27]</sup>研究了壳聚糖对黄瓜的保鲜作用,结果表明,在整个贮藏期间,用不同浓度壳聚糖处理后的黄瓜,各个指标的含量均优于CK组,其中,用1.0%壳聚糖溶液对黄瓜进行涂膜后的保鲜效果最好。张雪婷等<sup>[28]</sup>在研究CMC和川陈皮素复合涂膜对青椒保鲜效果时证明,川陈皮素-CMC复合涂膜对青椒的保鲜效果优于单一的川陈皮素涂膜处理,这说明单一的川陈皮素涂膜处理并不能达到理想的保鲜效果。PATEL等<sup>[29]</sup>研究了淀粉葡萄糖(SG)涂层在新鲜黄瓜收获后延长其保质期的潜在影响。根据皮肤颜色和感官评估测试, $1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 淀粉复合 $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D-葡萄糖显示出更好的结果。这种水平的SG涂层使黄瓜的保质期延长至30d,同时减少质量损失,总可溶性糖、蛋白质含量的增加。

试验结果表明,川陈皮素能有效的分散到羧甲基纤维素钠的水溶液中,制得的川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料在黄瓜表面形成的保护膜具有较好的致密性和阻隔性,在一定程度上能抑制果实内部水分的蒸发,从而降低了果实内有机物质的消耗,保持果实原有品质。从贮藏效果看,复合涂膜材料能更好地保持果实水分及维生素C含量,延缓叶绿素降解和黄瓜果实的黄化,抑制丙二醛的积累及多酚氧化酶的氧化,从而延长黄瓜的贮藏期。根据黄瓜在贮藏过程中的品质变化可以看出,在复合涂膜材料中,当川陈皮素的质量分数为 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄瓜有较好的保鲜效果并延长其贮藏期至18d。这说明川陈皮素-羧甲基纤维素钠复合涂膜材料能有效地延长了黄瓜果实的货架期,从而提升其食用品质和商用价值等,具有良好的工业化应用前景。

## 参考文献

- [1] 石亚中,伍亚华,许晖,等.石榴皮与羧甲基壳聚糖复合保鲜液对黄瓜保鲜效果研究[J].食品工业科技,2013,34(10):317-320.
- [2] 吴珊珊,李婷,朱静.茶多酚/海藻酸钠膜对黄瓜保鲜效果的影响研究[J].安徽农学通报,2015(17):118-120.
- [3] 姜文利,王世清,孟娟,等.减压贮藏对黄瓜保鲜效果的影响[J].保鲜与加工,2009,9(4):16-18.
- [4] 刁春英,高秀瑞,李婷.冷激结合壳聚糖涂膜处理对黄瓜低

温保鲜的效果[J]. 食品工业科技, 2013, 34(12): 296-299.

[5] FALAGAN N, TERRY L A. Recent advances in controlled and modified atmosphere of fresh produce[J]. Johnson Matthey Technology Review, 2018, 62(1): 107-117.

[6] FU S, WU C, WU T, et al. Preparation and characterisation of chlorogenic acid-gelatin: A type of biologically active film for coating preservation[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 657-663.

[7] 李娟, 魏春红. 黄瓜涂膜保鲜试验的研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(5): 16-19.

[8] 叶喜德, 黄兆胜, 骆利平, 等. 川陈皮素研究概况[J]. 江西中医药大学学报, 2013, 25(3): 42-45.

[9] DONG F, WANG X. Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic essential oil composite coatings for improving quality of strawberries[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 104: 821-826.

[10] SUN Y, WANG J, GU S, et al. Simultaneous determination of flavonoids in different parts of *Citrus reticulata* Chachi fruit by high performance liquid chromatography-photodiode array detection[J]. Molecules, 2010, 15(8): 5378-5388.

[11] LI S, WANG H, GUO L, et al. Chemistry and bioactivity of nobiletin and its metabolites[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 6(1): 2-10.

[12] 陈少华. 川陈皮素的提取及其复合保鲜剂应用研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.

[13] 张云. 海藻酸钠-羧甲基纤维素钠-刺槐豆胶三元共混膜的制备及性能研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.

[14] 陈学玲, 杨晓庆, 范传会, 等. 海藻酸钠和羧甲基纤维素钠涂膜改善鲜切豇豆贮藏特性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(7): 181-186.

[15] ARIFIN H R, SETIASIH I S, HAMDANI J S. Shelf life and characteristics of strawberry (*Fragaria nilgerensis* L.) coated by aloe vera-glycerol and packed with perforated plastic film[J]. Asia Pacific Symposium on Postharvest Research Education & Extension, 2013, 1011(1): 307-311.

[16] 孟令伟, 王启利, 胡亚光. 壳聚糖/琼脂涂膜处理对圣女果贮藏品质的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2014(4): 61-65.

[17] POVERENOV E, ZAITSEV Y, ARNON H, et al. Effects of

a composite chitosan-gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell peppers[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014(5): 106-109.

[18] XING Y, LI X, XU Q, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684-689.

[19] SILVA J K D, CAZARIN C B B, BATISTA A G, et al. Effects of passion fruit (*Passiflora edulis*) byproduct intake in antioxidant status of wistar rats tissues[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 2014, 59(2): 1213-1219.

[20] 孟宪琦. 壳聚糖复合剂对黄瓜保鲜效果分析[J]. 食品安全导刊, 2016(27): 143-145.

[21] ZHANG L P, XIE J, WANG T, et al. Study of physicochemical properties of Chinese small cabbage (*Brassica Chinese* L.) stored at four temperatures[J]. Advanced Materials Research, 2013, 693: 1275-1281.

[22] MARTINS R C, LOPES I C, SILVA C L M. Accelerated life testing of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) quality loss kinetics: colour and starch[J]. Journal of Food Engineering, 2005(67): 339-346.

[23] 路志芳, 陈现臣, 袁超, 等. 壳聚糖涂膜对鲜黄瓜的保鲜作用[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(14): 177-180.

[24] 周巧丽, 陈丹妮, 叶笑, 等. 海藻酸钠/纳米 TiO<sub>2</sub> 复合涂膜对香菇采后品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 198-203.

[25] 石亚中, 伍亚华, 许晖, 等. 怀远石榴皮提取液对黄瓜保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 335-338.

[26] 任邦来, 高桃. 赤霉素对黄瓜保鲜效果的研究[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(4): 55-57.

[27] 肖龙云, 程嘉翎, 徐非霞. 壳聚糖对黄瓜保鲜作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13829-13831.

[28] 张雪婷, 张秀玲, 柳晓晨, 等. CMC 和川陈皮素复合涂膜对青椒保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 70-75.

[29] PATEL C, PANIGRAHI J. Starch glucose coating-induced postharvest shelf-life extension of cucumber[J]. Food Chemistry, 2019, 288: 208-214.

## Effect of Nobiletin-Carboxymethyl Cellulose Composite Coating on Fresh Preservation of Cucumber

ZHANG Li<sup>1</sup>, WANG Zhengjian<sup>2</sup>, ZHANG Xiuling<sup>1</sup>, ZHANG Xueting<sup>1</sup>, GAO Shihan<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

**Abstract:** 'Lyu Jian No. 1' cucumber was used as test material to study the fresh-keeping effect of different mass fractions of nobiletin-sodium carboxymethyl cellulose composite coating material on cucumber, in order to reduce the loss of nutrients during storage. The results showed that compared with the control group (distilled water), the compound coating material of nobiletin-sodium

doi:10.11937/bfyy.20184075

## 基于气生根的雷公藤植株的快速繁殖技术

姜良珍<sup>1</sup>, 马建华<sup>2</sup>, 黄 鹏<sup>1</sup>, 王跃华<sup>1</sup>, 李 锐<sup>1</sup>, 赵 琦<sup>1</sup>

(1. 成都大学 药学与生物工程学院, 四川 成都 610106; 2. 四川七彩林业开发有限公司, 四川 巴中 635600)

**摘 要:**以雷公藤幼嫩茎段为外植体材料,研究雷公藤无菌体系的建立,植物生长调节剂以及培养方式对诱导腋芽萌发和茎段快速生根的影响,以期获得雷公藤植株的快速繁殖技术。结果表明:雷公藤外植体的最佳消毒方式是75%酒精30 s+0.1%升汞10 min;腋芽萌发的最佳培养基为MS+1.5 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA+0.2 mg·L<sup>-1</sup> NAA,最佳培养条件为温度(23±1)℃,湿度70%±5%,光/暗培养12 h/12 h,腋芽的萌发率为98.3%;生根的最佳培养基为1/2 MS+0.2 mg·L<sup>-1</sup> NAA+0.1 mg·L<sup>-1</sup> IAA+0.03%活性炭,最佳培养条件为叶片支撑的带芽茎段空气悬浮培养,温度为(23±1)℃,湿度为70%±5%,光/暗培养12 h/12 h,不定根的萌发率达到91.5%。该空气生根的雷公藤体外培养体系方法简单,月增殖系数可达到3.8,可同时快速实现雷公藤植株的增殖培养和生根培养。

**关键词:**雷公藤;组织培养;快速繁殖;空气生根;植物激素

**中图分类号:** S 567.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2019)15-0119-07

雷公藤(*Tripterygium wilfordii* Hook. f.)系卫矛科雷公藤属植物,属多年生藤本落叶灌木,多生于背阴多湿稍肥的山谷、山坡、次生杂木林和溪边灌木林中,喜湿润、温暖、避风的环境(图1)。

**第一作者简介:**姜良珍(1987-),女,山东临沂人,博士,讲师,研究方向为药用植物分子生物学。E-mail: lzjiang1987@sina.com.

**责任作者:**赵琦(1981-),男,河北满城人,博士,副教授,研究方向为药用植物分子生物学。E-mail: zhaoqi@cdu.edu.cn.

**基金项目:**成都大学人才工程基金资助项目(2081918009);成都大学青年基金资助项目(2080518011)。

**收稿日期:**2019-03-06

雷公藤为我国道地中药材,主要分布在长江以南的云南、四川、贵州、湖北、浙江、福建、湖南等地<sup>[1]</sup>。

前期研究表明雷公藤显示出抗肿瘤、抗自身免疫等多方临床治疗效果,其药理学作用机制也成为近年来的研究热点<sup>[2-5]</sup>。通过分离提取、成分鉴定和活性验证等研究发现雷公藤含有多种具有生物学活性的化合物,如雷公藤红素、雷公藤甲素、雷公藤次碱等<sup>[5]</sup>。其中,雷公藤红素(Celastrol)和雷公藤甲素(Triptolide)是雷公藤重要的药用活性成分,也是目前研究比较深入且具备较好成药性的天然化合物<sup>[6-10]</sup>。

从研究进展来看,雷公藤红素和雷公藤甲素

carboxymethyl cellulose could effectively reduce the weight loss rate of cucumber, low the loss of moisture in cucumber, delay the decomposition of chlorophyll in cucumber, reduce the decomposition of vitamin C, soluble solids and the accumulation of malondialdehyde (MDA) and reduce the activity of polyphenol oxidase (PPO). The cucumber had better fresh-keeping effect when the content of nobiletin was 2 g·L<sup>-1</sup>. The storage period of cucumber could be extended to 18 days, which could provide a reference for cucumber fresh-keeping methods.

**Keywords:** cucumber; nobiletin; sodium carboxymethyl cellulose; film preservation