

孙 华,张彦昊,张 翔,等. 普鲁兰多糖在食品保鲜和生物医学中的应用综述[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):48-52.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.011

# 普鲁兰多糖在食品保鲜和生物医学中的应用综述

孙 华,张彦昊,张 翔,刘孝永,辛 雪,王军华,杨金玉

(山东省农业科学院农产品研究所/山东省农产品精深加工技术重点实验室/农业农村部新食品资源加工重点实验室,山东济南 250100)

**摘要:**普鲁兰多糖以其优良的水溶性、成膜性、生物可降解性和生物相容性,在食品行业、制药业和生物医学行业越来越受到人们的关注,其中普鲁兰多糖在农产品保鲜和靶向药物治疗方面的应用一直是研究的热点。本文就普鲁兰多糖、普鲁兰多糖复配体系在水果、蔬菜及水产品保鲜中的应用进行阐述;同时概括了近年来普鲁兰多糖在生物医学中的靶向药物治疗、基因药物递送和组织工程方面的应用,并针对当前限制普鲁兰多糖广泛应用的因素提出解决方案。

**关键词:**普鲁兰多糖;农产品保鲜;靶向药物;基因递送;组织工程

**中图分类号:** Q815 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)20-0048-04

普鲁兰多糖是一种由出芽短梗霉(*Aureobasidium pullulans*)分泌的胞外水溶性多糖,在1938年由Bauer首次报道<sup>[1]</sup>。1959年,Bender等通过研究揭示,该多糖是以 $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)糖苷键连接的麦芽三糖单元通过 $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6)糖苷键连接而成的线性多糖<sup>[2]</sup>,其基本结构如图1所示。普鲁兰多糖的 $\alpha$ -1,4-D葡萄糖苷键和 $\alpha$ -1,6-D葡萄糖苷键的傅里叶变换远红外(FTIR)光谱伸缩吸收峰分别位于755、915 cm处,为其特征吸收峰<sup>[3]</sup>。普鲁兰多糖独特的结构,使其具有高水溶性、可降解性、良好的成膜性和阻氧性等特性,能广泛应用于各领域,是一种极具开发价值和应用前景的功能性生物大分子<sup>[4]</sup>,普鲁兰多糖的分子量范围为5~9 000 ku<sup>[5]</sup>。目前普鲁兰多糖在日本、韩国、美国等国家已被批准作为食品、化妆品及医药品成分使用。2006年,我国正式将普鲁兰多糖列为食品添加剂,可在糖果、巧克力包衣、膜片、复合调味料和果蔬汁饮料中用作被膜剂和增稠剂(中华人民共和国卫生部2006年8号公告)。市面上商品化的普鲁兰多糖产品有作为可食用薄膜制成的李施德林薄荷口腔护理片、皮肤护理产品Skin Deep<sup>®</sup>以及植物胶囊等<sup>[6]</sup>。此外,普鲁兰多糖由于具有无毒副作用、无免疫原性、无致突变性及生物相容性等优点,已被应用于不同的生物医学领域,如基因递送、靶标药物治疗、组织工程、创面愈合及临床治疗等<sup>[7-8]</sup>。

## 1 普鲁兰多糖在食品工业中的应用

在食品工业领域,普鲁兰多糖的早期应用涉及将其作为增稠剂、稳定剂和胶凝剂,从而为产品提供良好的感官特性,延长食品的保质期<sup>[9]</sup>。后来,普鲁兰多糖被发现可作为低卡

路里食品和饮料的填充剂<sup>[10]</sup>。也有研究表明,普鲁兰多糖有作为益生元的开发潜力,可以促进益生菌双歧杆菌的生长<sup>[11]</sup>。普鲁兰多糖以其良好的成膜性、生物相容性及可降解等特点,被认为是新一代食品保鲜材料,近年来在食品加工与保鲜领域得到了广泛应用<sup>[12]</sup>,其结构如图1所示。

### 1.1 普鲁兰多糖在水果保鲜方面的应用

普鲁兰多糖、淀粉、藻酸盐、纤维素和壳聚糖等一些生物大分子具有良好的涂层形成性能<sup>[13-14]</sup>。普鲁兰多糖膜透明、高度不透氧并且具有优异的机械性能,可以起到色素、香料和其他营养或抗菌添加剂的载体作用<sup>[15-16]</sup>。普鲁兰膜可以通过抑制微生物菌群的呼吸作用来减少微生物的生长,以起到食品保鲜的作用<sup>[15]</sup>。

普鲁兰多糖对易受机械损伤的水果的保鲜效果明显,能大大延长其货架期。用普鲁兰多糖水溶液对蓝莓进行涂膜处理,在16℃贮藏14 d后,蓝莓仍然能保持新鲜度;普鲁兰多糖作为良好的阻氧屏障,降低了果实的呼吸速率,延缓了果实的腐败速度,并且很好地控制了微生物的生长,在4℃下,贮藏期可达28 d,果实的感官品质如色泽、果实的饱满度和可溶性固形物含量等指标均高于未涂膜的对照组<sup>[17]</sup>。周文化等采用3%普鲁兰多糖溶液对芒果进行涂膜,贮藏18 d后,芒果仍然能保持新鲜,果实的色泽、口感、饱满度和各项生化指标均高于未涂膜的对照组<sup>[18]</sup>。

有机酸及其盐、酶、挥发性精油、植物提取物或从植物中分离出来的抗微生物活性化合物会结合到普鲁兰多糖涂层中。毫无疑问,这种可食用涂层只会使极少量抗微生物剂转移到食物中,因为它们是从涂层基质中缓慢释放的<sup>[19-23]</sup>。因此,这些化合物主要作用于瓜果蔬菜表面,抗菌涂层可以延长食物的保存期并可保证食物的质量,尤其是可以保证食品在低冷条件下储存或在运输、销售过程中的质量<sup>[24-26]</sup>。马赛箭等以普鲁兰多糖作为主要涂膜液原料,复配羧甲基纤维素钠和蔗糖酯制备成保鲜涂膜液,通过涂膜苹果表面,可有效阻止苹果的腐烂,减少苹果中维生素C和有机酸的损失<sup>[27]</sup>。结合了绣线菊(*Filipendula ulmaria*(L.) Maxim)提取物(EMFs)的普鲁兰多糖涂层可以延长苹果的保质期,含有EMFs的普鲁兰多糖涂层不仅可以防止苹果发生霉变,在储存过程中,也有

收稿日期:2018-06-20

基金项目:山东省自然科学基金(编号:ZR2016YL022);中国博士后基金面上项目(编号:2017M622243);山东省博士后创新项目专项资金(编号:201703052);山东省济南市农业科技创新计划(编号:201610)。

作者简介:孙 华(1987—),男,山东临沂人,研究实习员,主要从事农产品防腐保鲜研究。E-mail:21504429@qq.com。

通信作者:杨金玉,博士,主要从事食品生物技术方面的研究。E-mail:yangjinyu86@163.com。

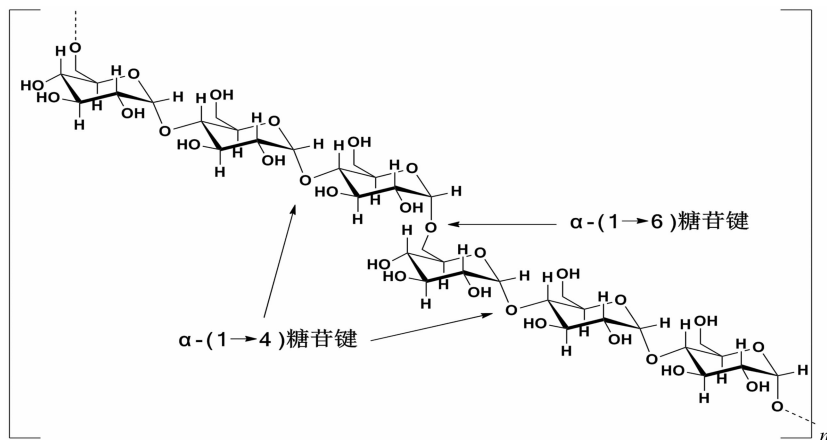


图1 普鲁兰多糖的结构示意

助于减少果实的失水和防止果实变色<sup>[28]</sup>。另外,普鲁兰多糖复合海带源性低聚糖的复合膜可减缓圣女果变软的速度,提高其感观品质,大大延长圣女果的货架期<sup>[29]</sup>。用纳他霉素与1%普鲁兰多糖复合浸润处理鲜食葡萄后,能有效抑制储藏期鲜食葡萄采后灰霉病的发生,同时降低其呼吸强度,延缓果实水分、维生素C含量和可溶性固形物的丧失<sup>[30]</sup>。

### 1.2 普鲁兰多糖在蔬菜保鲜方面的应用

普鲁兰多糖除了对水果有良好的保鲜效果外,对蔬菜的保鲜效果也很明显。甜椒(*Capsicum annuum* L.)是一种在世界各地种植的蔬菜,由于它们的颜色鲜艳、口味独特和富含营养,使其成为最受欢迎的蔬菜之一,其市场需求量不断增长。新鲜甜椒的特点是维生素C含量高且是类胡萝卜素的良好来源<sup>[31]</sup>。但是,甜椒收获后,容易迅速失水和老化,易受微生物侵染而导致腐烂,从而造成严重的商业损失<sup>[32-33]</sup>。根霉菌(*Rhizopus* sp.)是引起甜椒肉质组织腐烂的主要病原因子<sup>[34]</sup>,这极大地限制了甜椒远距离运输到遥远的市场<sup>[35]</sup>。用普鲁兰多糖结合抗真菌活性物质——绣线菊的水-乙醇提取物对新鲜采摘的甜椒进行涂膜,在24℃贮藏5d后,发现与不涂膜的对照组相比,由根霉(*Rhizopus arrhizus*)引起的腐烂率降低了80%。在6℃、相对湿度为70%~75%的条件下贮藏30d后,检测涂膜甜椒的表面,可以观察到1层很薄且附着性良好的附加层,这1层覆膜有效地降低了甜椒采后总可溶性固形物含量的流失,也有效减少了失水,并且增强了其光泽,从而大大延长了甜椒的采后贮藏期,这种复合可食用普鲁兰多糖涂膜可以用作控制蔬菜真菌侵染的商业化杀真菌剂的替代品<sup>[36]</sup>。

利用普鲁兰多糖良好的成膜性,将普鲁兰多糖与1.0%牛至精油复配成膜,能使球芽甘蓝在16℃下贮藏14d,并且可以有效抑制黑霉的生长。与不涂膜的球芽甘蓝相比,包被了普鲁兰多糖膜、普鲁兰多糖与牛至精油复合膜的球芽甘蓝的失质量率分别下降了8.04%和9.30%,而且涂抹了复合膜的样品在色泽和外观上都有明显的提高<sup>[37]</sup>。此外,普鲁兰多糖还可以可食性涂层的形式用于白芦笋芽的低温贮藏,可保证白芦笋芽在冷藏过程中的质量不受影响,并通过延缓其水分散失,防止其尖端表面紫色的形成,从而保持白芦笋的质量<sup>[38]</sup>。

### 1.3 普鲁兰多糖在海产品和鸡蛋保鲜方面的应用

由于普鲁兰多糖可以直接食用,因而可将普鲁兰多糖喷

洒在海鱼表面形成1层薄膜,这1层普鲁兰膜可以有效减少海鱼表面水分的蒸发,并能降低营养物质的氧化损耗和抑制挥发性盐基氮的产生,从而保持海鱼的原有风味<sup>[39]</sup>。将普鲁兰多糖混合0.05%还原性谷胱甘肽、0.5%柠檬酸、0.2%山梨酸钾用于海产品蛭的防腐保鲜,在约2℃的冷藏环境下,可以使其货架期延长至10d<sup>[40]</sup>。

用普鲁兰多糖水溶液浸泡或喷雾鸡蛋,能在鸡蛋表面形成涂膜层,从而阻止微生物侵入及空气的流通,使蛋白和蛋黄保鲜,减少失质量,延长鲜鸡蛋的货架期。在4℃贮藏9周后,涂膜了普鲁兰多糖的鸡蛋品质从AA级降到A级,直到第10周,依然能保持在A级<sup>[41]</sup>。

以上研究结果说明,不管是在生鲜水果还是生鲜食材的防腐保鲜上,普鲁兰多糖都有显著的效果,开展普鲁兰多糖对食品的防腐保鲜研究具有重要的理论和应用价值。

## 2 普鲁兰多糖在生物医学中的应用

普鲁兰多糖在制药行业中的应用主要涉及硬胶囊和软胶囊的制造。普鲁兰多糖可以替代明胶制造胶囊以满足各种文化和饮食需求者的需要,包括素食主义者、糖尿病患者和饮食限制的患者等<sup>[42]</sup>。近期,普鲁兰多糖在制药领域的应用已经涉及微球体作为药物递送载体的开发。研究指出,普鲁兰多糖可赋予微球体稳定性、生物相容性和生物可降解性<sup>[43-44]</sup>。

普鲁兰多糖在麦芽三糖重复单元的吡喃葡萄糖环上的9个羟基赋予了其独特的性质,可以通过取代这些羟基来增强普鲁兰多糖在生物医学各方面的应用<sup>[45]</sup>。在生物医学领域,普鲁兰多糖已经被证实基因递送、靶向药物治疗、组织工程、伤口愈合以及诸如血管隔室成像、受体和淋巴结靶向特异性成像等诊断应用中有极大的开发潜能。此外,普鲁兰多糖也被用作一种潜在的可替代葡聚糖的血浆扩张剂<sup>[46]</sup>。

### 2.1 普鲁兰多糖在靶向药物方面的应用

普鲁兰多糖极容易被化学修饰形成衍生物,如酯化、羧甲基化、阳离子化等<sup>[5]</sup>。此外,普鲁兰多糖可以与肝脏细胞表面的去唾液酸糖蛋白特异性结合,使得普鲁兰多糖易于在肝脏聚集。利用这一特性,将阿霉素与普鲁兰多糖结合,能够形成以阿霉素为核、普鲁兰多糖为包被的靶向给药纳米颗粒,这种纳米给药颗粒被认为是一种很有前景的肝脏抗肿瘤免疫疗法的靶向给药体系<sup>[47]</sup>。包含电荷可逆的普鲁兰多糖外壳装

配聚- $\beta$ -氨基酯/聚-乳酸-乙醇酸共聚物的纳米颗粒可作为紫杉醇和考布他汀 A4 的药物载体,用于肝癌的治疗<sup>[48]</sup>。

## 2.2 普鲁兰多糖在基因递送方面的应用

普鲁兰多糖和普鲁兰糖衍生物可以作为基因或蛋白质的潜在载体<sup>[49]</sup>。具有亲水核的普鲁兰多糖纳米颗粒有助于靶向基因的递送,而不会对正常细胞有任何细胞毒性<sup>[50]</sup>。普鲁兰多糖纳米颗粒可以将靶向基因结合在其表面并保护它们免受 DNA 酶的降解。普鲁兰多糖作为基因药物的给药载体,阳离子化普鲁兰多糖纳米转运系统可以保持较高的转染效率,基因药物的生物利用度因此大大提高<sup>[51]</sup>。叶酸-低分子量聚乙烯亚胺修饰的普鲁兰多糖可将叶酸受体(FR)介导的基因/短干扰 RNA(siRNA)输送到特定的 FR 过表达癌细胞中,用于沉默基因的表达,被用于肝脏细胞靶向基因传递治疗肝癌。此外,叶酸的羧基与聚乙烯亚胺共轭普鲁兰多糖上的氨基缩合能进一步加强基因的转染和沉默效应<sup>[52]</sup>。

## 2.3 普鲁兰多糖在组织工程方面的应用

组织工程是通过使用合适的人造三维(3D)支架,创建一个适于增强受损组织或器官自愈能力的细胞环境的过程<sup>[53-54]</sup>。普鲁兰多糖复合物支架可以有效地增进细胞的分化和增殖,以促进组织再生<sup>[54]</sup>。

许多具有与天然组织相同性质的生物聚合物可以被模制成不同的形式应用于组织工程,如支架、水凝胶、微成型基质、微珠和纳米颗粒等<sup>[55]</sup>。这些生物聚合物在组织工程中的应用主要涉及表面改性等。普鲁兰多糖的表面性质能够通过在其羟基上进行所需化学基团的取代容易地得到增强<sup>[56]</sup>。三维普鲁兰醋酸纤维素支架具有细胞相容性,可以缓解皮肤组织工程中的细胞附着、扩散和增殖<sup>[57]</sup>。羧甲基普鲁兰多糖-硫酸软骨素水凝胶可充当软骨组织再生的支架<sup>[58]</sup>。新型普鲁兰生物缀合物可以用于选择性乳腺癌骨骼转移治疗<sup>[59]</sup>。新型两亲性普鲁兰多糖纳米凝胶交联水凝胶具有较强的机械性能和较好的生物降解性,可作为组织工程的通用支架<sup>[60]</sup>。即使没有任何生长因子,水凝胶也可以正常工作,以改善受损组织的细胞浸润和再生。

## 3 结论与展望

普鲁兰多糖以 $\alpha$ -(1→4)糖苷键连接的麦芽三糖单元,通过 $\alpha$ -(1→6)糖苷键连接而成线性多糖的独特结构,使其具有高水溶性、成膜性及可生物降解等特性,能广泛应用于食品、医药及化妆品等各个领域;普鲁兰多糖的麦芽三糖重复单元的羟基使其易被特定基团替换而产生多种多样的衍生物,适于在生物医学的靶向药物治疗、基因药物递送及组织工程中使用,是一种极具开发价值和应用前景的功能性生物大分子。然而,目前国内普鲁兰多糖产量低,价格较高,一直维持在 25 美元/kg 的售价,使其应用受到了限制,因此,筛选高产普鲁兰多糖的出芽短梗霉菌株和优化发酵条件是降低普鲁兰多糖生产成本的一个重要途径。另外,对普鲁兰多糖生物合成机制进行深入研究,解析其生物合成机制,通过分子遗传手段改造现有菌株,提高普鲁兰多糖产量和分子量,也是一个降低其生产成本的有效途径。随着近年来基因组学和转录组学在生物研究中的广泛应用,利用组学和分子遗传学相结合的研究方法将加快普鲁兰多糖生产和生物合成机制的研究进

程,为进一步扩大普鲁兰多糖的应用领域和开发其利用价值提供广阔的前景。

## 参考文献:

- [1] Bauer R. Physiology of *Dematiium pullulans* de Bary [J]. Zentralbl Bacteriol Parasitenkd Infektionskr Hyg Abt 2, 1938, 2 (98): 133 - 167.
- [2] Bender H, Lehmann J, Wallenfels K. Pullulan, an extracellular glucan from *Pullularia pullulans* [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1959, 36: 309 - 316.
- [3] Yang J, Zhang Y, Zhao S, et al. Statistical optimization of the medium components for pullulan production by *Aureobasidium pullulans* NCPS2016 using fructose and soybean meal hydrolysate [J]. Molecules, 2018, 23 (6): 1334.
- [4] Ates O. Systems biology of microbial exopolysaccharides production [J]. Frontiers in Bioengineering & Biotechnology, 2015, 3 (18): 200.
- [5] Prajapati V D, Jani G K, Khanda S M. Pullulan; an exopolysaccharide and its various applications [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95 (1): 540 - 549.
- [6] Prasongsuk S, Lotrakul P, Ali I A, et al. The current status of *Aureobasidium pullulans* in biotechnology [J]. Folia Microbiologica, 2018, 63 (2): 129 - 140.
- [7] Li X, Xue W, Liu Y, et al. HLC/pullulan and pullulan hydrogels: their microstructure, engineering process and biocompatibility [J]. Materials Science and Engineering C, 2016, 58: 1046 - 1057.
- [8] Singh R S, Kaur N, Kennedy J F. Pullulan and pullulan derivatives as promising biomolecules for drug and gene targeting [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 123: 190 - 207.
- [9] Williams P A. Handbook of industrial water soluble polymers [M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2007: 10.
- [10] Choudhury A R, Bhattacharyya M S, Prasad G S. Application of response surface methodology to understand the interaction of media components during pullulan production by *Aureobasidium pullulans* RBF - 4A3 [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2012, 1 (3): 232 - 237.
- [11] Leathers T D. Biotechnological production and applications of pullulan [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2003, 62 (5/6): 468 - 473.
- [12] Joerger R D. Antimicrobial films for food applications; a quantitative analysis of their effectiveness [J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20 (4): 231 - 273.
- [13] Campos C A, Gerschenson L N, Flores S K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity [J]. Food & Bioprocess Technology, 2011, 4 (6): 849 - 875.
- [14] Kraśniewska K, Gniewosz M. Substances with antibacterial activity in edible films - a review [J]. Polish Journal of Food & Nutrition Science, 2012, 62 (4): 199 - 206.
- [15] Farris S, Unalan I U, Introzzi L, et al. Pullulan - based films and coatings for food packaging: present applications, emerging opportunities, and future challenges [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131 (13): 40539 - 40551.
- [16] Cheng K C, Demirci A, Catchmark J M. Pullulan: biosynthesis, production, and applications [J]. Applied Microbiology and

- Biotechnology, 2011, 92(1): 29–44.
- [17] Krasniewska K, Scibisz I, Gniewosz M A, et al. Effect of pullulan coating on postharvest quality and shelf – life of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. Materials, 2017, 10(8): 1–17.
  - [18] 周文化, 钟秋平, 周晓媛. 苗霉多糖在芒果常温保鲜中的应用 [J]. 中南林学院学报, 2005, 25(3): 63–67.
  - [19] Quintavalla S, Vicini L. Antimicrobial food packaging in meat industry [J]. Meat Science, 2002, 62(3): 373–380.
  - [20] Weng Y M, Chen M J. Sorbic anhydride as antimycotic additive in polyethylene food packaging films [J]. Lebensmittel – Wissenschaft und – Technologie, 1997, 30(5): 485–487.
  - [21] Mecitoğlu Ç, Yemenicioğlu A, Arslanoğlu A, et al. Incorporation of partially purified hen egg white lysozyme into zein films for antimicrobial food packaging [J]. Food Research International, 2006, 39(1): 12–21.
  - [22] Pranoto Y, Rakshit S K, Salokhe V M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin [J]. LWT – Food Science and Technology, 2005, 38(8): 859–865.
  - [23] Suppakul P, Sonneveld K, Bigger S W, et al. Efficacy of polyethylene – based antimicrobial films containing principal constituents of basil [J]. LWT – Food Science and Technology, 2008, 41(5): 779–788.
  - [24] Conforti F D, Totty J A. Effect of three lipid/hydrocolloid coatings on shelf Life stability of Golden Delicious apples [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42(9): 1101–1106.
  - [25] Jy L, Park H J, Lee C Y, et al. Extending shelf – life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents [J]. LWT – Food Science and Technology, 2003, 36(3): 323–329.
  - [26] Rojas – Graü M A, Tapia M S, Martiín – Belloso O. Using polysaccharide – based edible coatings to maintain quality of fresh – cut Fuji apples [J]. LWT – Food Science and Technology, 2008, 41(1): 139–147.
  - [27] 马赛箭, 安 超. 普鲁兰多糖涂膜对苹果的保鲜研究 [J]. 陕西农业科学, 2011, 57(4): 11–13, 26.
  - [28] Gniewosz M, Synowiec A, Krasniewska K A, et al. The antimicrobial activity of pullulan film incorporated with meadowsweet flower extracts (*Filipendulae ulmariae flos*) on postharvest quality of apples [J]. Food Control, 2014, 37(37): 351–361.
  - [29] Wu S, Lu M, Wang S. Effect of oligosaccharides derived from *Laminaria japonica* – incorporated pullulan coatings on preservation of cherry tomatoes [J]. Food Chemistry, 2016, 199: 296–300.
  - [30] 杨建华, 马 瑜, 柯 杨, 等. 纳他霉素与普鲁兰糖复合处理对鲜食葡萄采后灰霉病的防治 [J]. 陕西农业科学, 2015, 61(3): 41–45.
  - [31] Pérez – López A J, del Amor F M, Serrano – Martínez A, et al. Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(11): 2075–2080.
  - [32] Maalekuu K, Elkind Y, Leikin – Frenkel A, et al. The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2006, 42(3): 248–255.
  - [33] Jin – Hua D U, Mao – Run F U, Miao – Miao L I, et al. Effects of Chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. *longrum*) [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(2): 214–219.
  - [34] Kwon J H, Kang S W, Kim J S, et al. Rhizopus soft rot on cherry tomato caused by *Rhizopus stolonifer* in Korea [J]. Mycobiology, 2001, 29: 176–178.
  - [35] Watada A, Kim S D, Kim K S, et al. Quality of green beans, bell peppers and spinach stored in polyethylene bags [J]. Journal of Food Science, 2010, 52(6): 1637–1641.
  - [36] Synowiec A, Gniewosz M, Krasniewska K A, et al. Effect of meadowsweet flower extract – pullulan coatings on rhizopus rot development and postharvest quality of cold – stored red peppers [J]. Molecules, 2014, 19(9): 12925–12939.
  - [37] Krasniewska K, Gniewosz M, Kosakowska O A. Preservation of Brussels sprouts by pullulan coating containing oregano essential oil [J]. Journal of Food Protection, 2016, 79(3): 493–500.
  - [38] Mariav T, Costas B, Miltiadis V. Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during cold storage [J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 55–63.
  - [39] 王长海, 李焰红, 鞠 宝, 等. 短梗霉多糖在海产品保鲜方面的应用研究 [J]. 烟台大学学报 (自然科学与工程版), 1999(2): 72–76.
  - [40] Jiang L F. Pullulan – based coatings for preservation of razor clam *Sinonovacula constricta* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 134–137.
  - [41] Morsy M K, Sharoba A M, Khalaf H H, et al. Efficacy of antimicrobial pullulan – based coating to improve internal quality and shelf – life of chicken eggs during storage [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(5): M1066–M1074.
  - [42] Popa V. Polysaccharides in medicinal and pharmaceutical application [M]. iSmithers Rapra Publishing, 2011: 145.
  - [43] Fundueanu G, Constantin M, Mihai D, et al. Pullulan – cyclodextrin microspheres: a chromatographic approach for the evaluation of the drug – cyclodextrin interactions and the determination of the drug release profiles [J]. Journal of Chromatography B, 2003, 791(1): 407–419.
  - [44] Mocanu G, Mihai D, Lecerf D, et al. Synthesis of new associative gel microspheres from carboxymethyl pullulan and their interactions with lysozyme [J]. European Polymer Journal, 2004, 40(2): 283–289.
  - [45] Singh R S, Kaur N, Rana V, et al. Pullulan: a novel molecule for biomedical applications [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 171: 102–121.
  - [46] Wm K, Heinze T. Improvements in polysaccharides for use as blood plasma expanders [J]. Macromolecular Symposia, 2010, 231(1): 47–59.
  - [47] Li H A, Bian S Q, Huang Y H, et al. High drug loading pH – sensitive pullulan – DOX conjugate nanoparticles for hepatic targeting [J]. Journal of Biomedical Materials Research Part a, 2014, 102(1): 150–159.
  - [48] Zhang C, An T, Wang D, et al. Stepwise pH – responsive nanoparticles containing charge – reversible pullulan – based shells and poly( $\beta$  – amino ester)/poly(lactic – co – glycolic acid) cores as carriers of anticancer drugs for combination therapy on hepatocellular carcinoma [J]. Journal of Controlled Release: Official Journal of the Controlled Release Society, 2016, 226: 193–204.

攸学松,朱 莉,曾剑波,等. 西甜瓜砧木育种研究进展[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):52-56.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.012

# 西甜瓜砧木育种研究进展

攸学松,朱 莉,曾剑波,陈艳利,李云飞,马 超,李 婷,张 莹  
(北京市农业技术推广站,北京 100029)

**摘要:**西甜瓜是一种重要的经济作物。我国是西甜瓜生产大国,面积和产量均位居世界首位。近年来,随着西甜瓜的周年生产,连作障碍、土传病害加剧,限制了西甜瓜的优质生产,采用嫁接育苗是目前克服西甜瓜连作障碍最简单有效的措施,因此西甜瓜砧木育种越来越受到国内外科研单位的重视。本文就近年来国内外西甜瓜砧木发展与现状、主要育种目标、遗传性状以及新型种质资源与育种方法进行了总结和展望,旨在为今后的西甜瓜砧木选育工作提供一些参考。

**关键词:**西瓜;甜瓜;砧木育种;南瓜;葫芦;研究进展

**中图分类号:**S650.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)20-0052-05

西甜瓜是世界上广泛栽培的一种经济作物,原产于非洲,被称为夏季水果之王,在全世界范围内均有种植。我国是西甜瓜大国,产量和面积居世界首位。近年来,北京地区西甜瓜种植面积逐年下降,2017 年种植面积约为 4 000 hm<sup>2</sup>,但仍然是北京的优势产业之一。大兴庞各庄、魏善庄等是传统的西瓜优势产区,由于常年周年生产,连作障碍,土传病害加剧,西甜瓜嫁接已成为主流,甚至达到了 90% 以上<sup>[1]</sup>。目前北京地区小型西瓜主要选择京欣 4 号作为砧木,其次是散装南瓜籽;中型西瓜及薄皮甜瓜砧木均以散装南瓜籽为主;厚皮甜瓜砧木则全部选择散装南瓜籽<sup>[2]</sup>。市场上适用于不同类型西甜瓜的专用砧木以及专用抗病砧木还比较少,迫切需要开发选

育一批西甜瓜专用砧木。

因此,西甜瓜砧木材料的搜集、研究和开发利用,越来越受到各科研单位的重视,目前已投入大量人力、物力从事砧木新品种的选育。根据国家现代种业自主创新试验示范区的定位,北京农业即将走到升级转型的关头,为保障北京市西甜瓜产业的持续发展,明确当前国内外砧木育种现状,提出今后砧木选育的方向与技术需求,搜集、研究和开发西甜瓜砧木材料,进而研发各类西瓜、甜瓜专用砧木,将会是北京市西甜瓜创新团队今后的重要工作方向之一<sup>[3]</sup>。

## 1 西甜瓜砧木的发展与现状

### 1.1 西甜瓜砧木的发展

农业上利用砧木嫁接的历史非常悠久,在古代欧洲,亚里士多德和古罗马学者普利尼都曾提到过嫁接。5 世纪在地中海地区,枝接和芽接技术的应用渐多。我国关于嫁接的早期记载见于西汉晚期的《汜胜之书》,内有有用 10 株瓠苗嫁接成

收稿日期:2018-07-20

基金项目:北京市农业局科技项目(编号:201801003)。

作者简介:攸学松(1992—),男,河北邢台人,助理农艺师,主要从事西甜瓜砧木研究工作。E-mail:xsyou\_simon@163.com。

- [49] Grenha A, Rodrigues S. Pullulan - based nanoparticles; future therapeutic applications in transmucosal protein delivery [J]. Therapeutic Delivery, 2013, 4(11):1339-1341.
- [50] Gupta M, Gupta A K. Hydrogel pullulan nanoparticles encapsulating pBUDLacZ plasmid as an efficient gene delivery carrier[J]. Journal of Controlled Release; Official Journal of the Controlled Release Society, 2004, 99(1):157-166.
- [51] 梁劲康,吴志玲,张桂君. 阳离子纳米系统作为非病毒载体递送基因药物的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2016(22):2562-2568.
- [52] Wang J, Dou B, Bao Y. Efficient targeted pDNA/siRNA delivery with folate - low - molecular - weight polyethyleneimine - modified pullulan as non - viral carrier[J]. Materials Science & Engineering C, 2014, 34(1):98-109.
- [53] Tabata Y. Tissue regeneration based on drug delivery technology [M]//Ashammakhi N, Ferretti P. Topics in tissue engineering, Vcytokines. 2003:1-32.
- [54] Singh R S, Kaur N, Rana V, et al. Recent insights on applications of pullulan in tissue engineering[J]. Carbohydrate Polymers, 2016,

153;455-462

- [55] Mallick K K, Cox S C. Biomaterial scaffolds for tissue engineering [J]. Frontiers in Bioscience, 2013, 5(1):341-360.
- [56] Kumar D, Saini N, Pandit V, et al. An insight to pullulan: a biopolymer in pharmaceutical approaches[J]. International Journal of Basic & Applied Sciences, 2012, 1(3):202-219.
- [57] Atila D, Keskin D, Tezcaner A. Cellulose acetate based 3 - dimensional electrospun scaffolds for skin tissue engineering applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 133:251-261.
- [58] Chen F, Yu S, Liu B, et al. An injectable enzymatically crosslinked carboxymethylated pullulan/chondroitin sulfate hydrogel for cartilage tissue engineering[J]. Scientific Reports, 2016, 6:20014.
- [59] Bonzi G, Salmaso S, Scamporrin A A, et al. Novel pullulan bioconjugate for selective breast cancer bone metastases treatment [J]. Bioconjugate Chemistry, 2015, 26(3):489-501.
- [60] Hashimoto Y, Mukai S A, Sawada S, et al. Nanogel tectonic porous gel loading biologics, nanocarriers, and cells for advanced scaffold [J]. Biomaterials, 2015, 37:107-115.