

DOI:10.11937/bfyy.201607047

蓝莓花色苷稳定性研究进展

谢国芳, 王 瑞, 周笑犁, 刘志刚

(贵阳学院 食品与制药工程学院, 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550005)

摘 要: 蓝莓花色苷是蓝莓主要的功能因子,是集营养和着色双重功能为一体的功能食品添加剂。但贮藏和加工过程中蓝莓花色苷极易降解,直接影响产品的营养价值和品质。文章综述了贮藏、热处理、非热处理、加工方式、产品类型、环境体系及食品添加剂等对蓝莓花色苷稳定性及其活性影响的最新研究状况,以期合理利用蓝莓花色苷提供理论参考。

关键词: 蓝莓;花色苷;稳定性

中图分类号: TS 225.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)07-0190-05

蓝莓(blueberry)属杜鹃花科越桔属植物,果实呈蓝色,并披一层白色果粉,果肉细腻,果味酸甜,风味独特,被誉为“水果中的皇后”^[1]。蓝莓花色苷是蓝莓果实主要的功能因子,由矢车菊色素、飞燕草色素、芍药色素、牵牛花色素和锦葵色素与葡萄糖、半乳糖或阿拉伯糖各自结合形成的 15 种花色苷和 11 种乙酰化花色苷组成^[2-5],主要是飞燕草色素和锦葵色素,黄酮二聚体含量最多,锦葵定已糖或戊糖苷含量大于占总花色苷的 46%^[6-9]。蓝莓花色苷具有降血脂、改善学习记忆力、抗氧化、增强免疫功能、解除眼睛疲劳、改善视力、延缓脑衰老、增强记忆力、抗癌、预防尿道感染等作用^[10-14]。由于蓝莓花色苷特有的营养功效,已成为国内外学者的研究焦点,消费者则更多关心蓝莓花色苷在食用产品中的状况。现结合国内外蓝莓花色苷稳定性的研究现状,概述了贮藏、热处理、非热处理、加工方式、产品类型、环境体系及食品添加剂对蓝莓花色苷的影响,以期合理利用、高效保留蓝莓花色苷提供理论参考。

1 蓝莓花色苷稳定性

1.1 贮藏期间蓝莓花色苷的变化

鲜果贮藏期间蓝莓花色苷含量呈现出先上升后下

降的趋势,主要与蓝莓果实中酸度、糖类、维生素 C 等成分的变化息息相关^[15]。生长期间喷施有机钙、采前喷施二氧化氯、采后进行 UV-B、UV-C、⁶⁰Co- γ 射线辐照处理等均能一定程度延缓花色苷含量的下降^[16-19]。

室温贮藏期间,过氧化物酶参与花色苷降解,促进褐变、加快降解、形成聚合物,引起蓝莓汁色泽的变化,如杀菌汁比成化汁中含有更多的低分子聚合物,相反,陈化汁中比杀菌汁中含有较多的高分子花色苷聚合物,色泽损失与过氧化物酶脱色系统密切相关^[20-22]。

1.2 贮藏温度对蓝莓花色苷贮藏稳定性的影响

4℃冷藏能较好保留蓝莓汁中的花色苷含量,4℃冷藏 56 d 与 25℃贮藏 7 d 时的花色苷含量相当^[23],说明低温能有效延缓蓝莓汁中花色苷的降解。蓝莓冻干粉中花色苷在 25、60、80℃下 14 d 后损失率分别为 3%、60%和 85%,高温加快蓝莓冻干粉中花色苷的降解^[24]。贮藏 6 个月,蓝莓果酱花色苷和原花青素随着多聚物色值增加损失明显,贮藏于 4℃下果酱的花色苷、原花青素显著高于 25℃^[25]。固体花色苷在 -20℃避光条件下可保存 2 个月左右,4℃避光条件下可保存 50 d 左右,室温避光条件下可保存 16 d,室温自然光条件下仅保存 9 d^[26]。

1.3 热处理对蓝莓花色苷的影响

适宜的热处理既可有效提高出汁率和花色苷溶出率,又可使过氧化物酶失活,降低榨汁过程中花色苷的损失率,显著增加花色苷和肉桂酸含量,果汁中可溶性花色苷含量增加、蓝色较深、红色较浅,自由基清除活力显著增加^[27-28]。过度热处理也会导致产品(糖水罐头、清水罐头、果浆、澄清汁和非澄清汁)中总花色苷显著损

第一作者简介: 谢国芳(1987-),男,硕士,讲师,现主要从事农产品贮藏与加工等研究工作。E-mail: xieguofang616@sina.com.

基金项目: 贵州省教育厅自然科学研究重点资助项目(黔教合 KY 字[2014]276);贵州省科技厅-贵阳市科技局-贵阳学院联合基金资助项目(黔科合 LH 字[2014]7179 号);贵州省科技创新人才团队建设资助项目(黔科合人才团队(2013)4028)。

收稿日期: 2015-12-23

失,荧光氧化还原能力损失 43%~71%,其中澄清汁的损失最大,非澄清汁的损失最小,25℃贮藏 6 个月总花色苷含量损失 62%(清水罐头)~85%(澄清汁),澄清汁中色泽聚合物显著增加,花色苷降解形成色泽聚合物^[29]。谢国芳等^[30]对比了巴氏、超高温瞬时灭菌、微波灭菌 3 种热处理对蓝莓汁品质的影响,发现 3 种热处理均能达到商业无菌要求,巴氏灭菌能较好保持蓝莓汁中花色苷含量,微波灭菌蓝莓汁则能较好保持 DPPH· 自由基清除力。

1.4 非热处理对蓝莓花色苷的影响

非热加工作为一种新兴技术快速发展,并逐步实现产业化,目前主要有超高压、高压脉冲电场、高压二氧化碳、脉冲磁场等。花色苷随着压力增加降解显著增加,与高温常压相比高温高压处理的灭菌汁花色苷降解显著增快^[31]。在 200 MPa 压力下,所有处理时间的蓝莓汁中总酚含量呈现增加趋势,总花色苷和单体与蓝莓鲜汁中相似,400 MPa 下处理 15 min 增加 16%,200 MPa 处理 5~15 min 与鲜汁抗氧化活力没有显著差异^[32]。不同压力处理对花色苷的变化差异不显著,非热加工果浆中抗坏血酸、花色苷含量显著高于传统热处理,高压处理样品中抗氧化活力、色泽变化显著低于热处理,高压处理能够有效保留果酱的红色^[33]。高压脉冲电场、超高压处理更好地保护了蓝莓汁中花青素等热敏性成分,相比而言,高压比不处理和脉冲电场更能维持抗氧化活力^[34-39]。

1.5 环境体系对蓝莓花色苷稳定性的影响

在溶液中花色苷是 pH 值的指示剂,低 pH 值呈现红色,高 pH 值呈现蓝色,pH 值越高,花色苷降解速率常数越大,半衰期越短,蓝莓花色苷只有在酸性条件下才可稳定存在,而在碱性介质中则相对较不稳定,真空浓缩过程中蓝莓花色苷稳定性高^[40],最适 pH 值为 3.6,在 pH 2.7~5.7 中添加绿原酸能够有效增加花色苷的色泽^[41]。花色苷在 pH 2.0 环境下稳定,但不宜在 40℃ 以上加工。蓝莓花色苷在自然光直射下褪色较快,在避光条件下褪色相对较慢^[42],蓝莓汁中的花色苷在 60℃ 以下的热稳定性较好,加热 4 h 后,其花色苷残留率达 80% 以上^[43]。研究发现,在 pH 1.5、3.5 模拟体系中存在 4 种丙烯酸酯异构体氧化降解物,其途径是过氧化氢亲核攻击然后被其它氧化剂氧化的拜尔-维利格氧化方式进行降解^[44]。

BENER 等^[45]对热酸水解和干热对蓝莓渣中花色苷和酚类物质的溶出和降解进行了研究,酸水解得到 9 种花色苷和 11 种酚类物质,在 pH 1.0 煮沸 15 min 溶出效果最佳,花色苷溶出 4.7 mg/g,煮沸期间果渣中抗氧化

活力的变化与花色苷含量变化的相关性不显著,花色苷的降解率高于果渣中溶出率,干热导致果渣中花色苷和酚类物质连续降解,且其抗氧化活力与花色苷含量密切相关。

2 减缓花色苷稳定性的方法

2.1 适当的处理可有效减缓蓝莓花色苷的降解

解冻、破碎和脱果胶过程中蓝莓果实中酚类物质损失极大,处理后的蓝莓汁中花色苷含量高于对照组^[46]。GUSTAFSON 等^[47]对野生蓝莓采后进行快速冷冻、烘烤、蒸煮、微波等加工进行研究,快速冷冻后温度波动比恒温贮藏的蓝莓中花色苷、原花青素含量分别下降 8% 和 43%,烘烤速冻蓝莓花色苷和原花青素含量分别下降 11.2% 和 14.6%,蒸煮速冻蓝莓分别下降 7.4% 和 14.4%,微波干燥速冻蓝莓 1 min,其花色苷和原花青素含量分别下降 12.9% 和 14.3%,但处理 3、5 min 分别显著下降 29.8%、81.6% 和 5.4%、87.1%。蓝莓在 60~70℃ 时脱水较敏感,导致产品酚类成分损失和质构的改变,在 30℃ 条件下,果胶酶和脂肪酶浸泡 1 h,干物质含量增加 26%,酚类成分仅损失 4%,且脱水期间最大限度的保留了花色苷含量^[48]。

2.2 适宜加工可有效保留蓝莓花色苷及其活性

SCHMIDT 等^[49]研究了 4 种益生菌制备蓝莓酸奶中花色苷稳定性的影响,锦葵色素衍生物是酸奶中最多的花色苷成分,乳酸菌发酵或代谢产物能够有效提高酸奶花色苷的稳定性。含糖和无糖蓝莓果酱加工过程中花色苷和原花青素均呈现不同程度的损失^[26]。使用麦芽糖糊精作为辅料,采用喷雾干燥进行蓝莓果粉加工,果粉中功效成分保留率随着麦芽糖糊精增加显著升高,即麦芽糖糊精能够有效保护喷雾干燥加工过程中功效成分的损失,喷雾干燥出口温度对功效成分的降解影响不显著,出口温度为 80℃ 和 90℃ 时花色苷保留率为 50% 和 70%^[50]。

2.3 适宜的食品添加剂可提高蓝莓花色苷的稳定性

低浓度抗坏血酸、异抗坏血酸和 L-赖氨酸对蓝莓色素具有一定的保护作用,且异抗坏血酸的效果要好于抗坏血酸和 L-赖氨酸;但在高浓度下,异抗坏血酸、抗坏血酸与和 L-赖氨酸对蓝莓色素都能加速色素褪色,主要是由于抗坏血酸和 L-赖氨酸能破坏花色苷结构,降低蓝莓汁花色苷的热稳定性,使反应体系中花色苷的相对含量下降,加速其降解,且浓度越高影响越大,醋酸、柠檬酸、苹果酸可增加花色苷稳定性。相反,低浓度的茶多酚、异抗坏血酸可使反应体系中花色苷的相对含量比对照组升高,分解指数下降;但在高浓度时,仍可使反应体系

中花色苷的含量降低,分解指数增加^[51-53]。碳水化合物对花色苷不显著^[54]。

Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 具有增色作用,对花色苷的稳定性无显著影响;高浓度 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 具有增色作用,而且能够增强花色苷的稳定性; Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 对花色苷具有破坏作用,使花色苷的稳定性下降,含 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 的花色苷溶液中有沉淀生成。苯钾酸钠对蓝莓花色苷稳定性良好。抗坏血酸和过氧化氢使花色苷的稳定性下降。蔗糖对蓝莓花色苷的稳定性无不良影响,高浓度的蔗糖对其有不同程度的护色效果^[55]。

3 展望

蓝莓花色苷是蓝莓主要的功能因子,是集营养和着色双重功能的食品添加剂,具有安全、来源广泛和药理等优点,可被广泛用于食品、保健品等领域,具有广阔的市场前景。近年来,蓝莓的生产规模呈现快速增长的趋势,种植面积快速递增。由于蓝莓贮藏期短,蓝莓精深加工技术是解决限制蓝莓产业发展的唯一出路,蓝莓加工产品中花色苷保留率及其活性直接影响其营养和商品价值。因此,须将引起蓝莓花色苷降解的影响降至最低。目前,市场上蓝莓产品品质参差不齐,低品质产品不能适应营养意识日益增强的消费者需求,如何提高产品品质成为制约蓝莓产业发展及资源利用的关键难题。为减少蓝莓加工及加工产品中营养成分损失,国内外学者及加工企业应客观而充分考虑加工条件对蓝莓花色苷含量及其活性的影响,开发适宜的加工工艺及新设备,为蓝莓色苷精深加工提供科学依据,从而实现提高蓝莓的附加值。

参考文献

- [1] 贺强,吴立仁. 蓝莓果实中营养成分的生物学功能[J]. 北方园艺, 2010(24):222-224.
- [2] STEVENSON D, SCALZO J. Anthocyanin composition and content of blueberries from around the world[J]. Journal of Berry Research, 2012, 2(4): 179-189.
- [3] VRHOVSEK U, MASUERO D, PALMIERI L, et al. Identification and quantification of flavonol glycosides in cultivated blueberry cultivars[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2012, 25(1):9-16.
- [4] WANG S Y, CAMP M J, EHLENFELDT M K. Antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity in peel and flesh of blueberry (*Vaccinium* spp.) cultivars[J]. Food Chemistry, 2012, 132(4):1759-1768.
- [5] PERTUZATTI B, BARCIA P T, JACQUES A, et al. Quantification of several bioactive compounds and antioxidant activities of six cultivars of Brazilian blueberry[J]. The Natural Products Journal, 2012, 2(3):188-195.
- [6] LIU Y, SONG X, HAN Y, et al. Identification of anthocyanin components of wild Chinese blueberries and amelioration of light-induced retinal damage in pigmented rabbit using whole berries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 59(1):356-363.
- [7] RODRIGUEZ-MATEOS A, CIFUENTES-GOMEZ T, TABATABAEE S, et al. Procyanidin, anthocyanin, and chlorogenic acid contents of highbush and lowbush blueberries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(23):5772-5778.
- [8] KOCA I, KARADENIZ B. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 121(4):447-450.
- [9] DASTMALCHI K, FLORES G, PETROVA V, et al. Edible neotropical blueberries: antioxidant and compositional fingerprint analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(7):3020-3026.
- [10] LI Y W, WANG D, LI X G, et al. Anthocyanins extracted from Chinese blueberry and its anticancer effects on HepG2 cells[J]. Advanced Materials Research, 2014, 887:592-595.
- [11] CHEN J, ZHAO Y, TAO X, et al. Protective effect of blueberry anthocyanins in a CCL4-induced liver cell model[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2):1105-1112.
- [12] 李颖畅, 马春颖, 孟宪军, 等. 蓝莓花色苷提取物抗油脂氧化能力的研究[J]. 中国粮油学报, 2010(2):92-95.
- [13] 李颖畅, 孟宪军. 蓝莓花色苷抗氧化活性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 33(9):61-64.
- [14] 李颖畅, 孟宪军, 孙靖靖, 等. 蓝莓花色苷的降血脂和抗氧化作用[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(10):44-48.
- [15] 刘萌, 范新光, 王美兰, 等. 不同包装方法对蓝莓采后生理及贮藏效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(14):346-350.
- [16] 谢国芳, 王瑞, 刘晓燕. 采前喷施二氧化氯处理对蓝莓保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6):207-213.
- [17] 陈梦玉, 林平, 程转红, 等. ^{60}Co - γ 辐照技术在蓝莓贮藏保鲜上的应用[J]. 西南农业学报, 2014, 27(1):285-290.
- [18] NGUYEN C T T, KIM J, YOO K S, et al. Effect of prestorage UV-A, -B, and -C radiation on fruit quality and anthocyanin of 'Duke' blueberries during cold storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(50):12144-12151.
- [19] 王瑞, 胡旭林, 谢国芳, 等. 生长期喷施有机钙对蓝莓鲜果保鲜效果研究[J]. 现代食品科技, 2015, 32(6):211-218.
- [20] MOZE S, POLAK T, GASPERLIN, et al. Phenolics in Slovenian bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(13):6998-7004.
- [21] CASATI C B, SANCHEZ V, BAEZA R, et al. Relationships between colour parameters, phenolic content and sensory changes of processed blueberry, elderberry and blackcurrant commercial juices[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(8):1728-1736.
- [22] HOWARD L R, PRIOR R L, LIYANAGE R, et al. Processing and storage effect on berry polyphenols: challenges and implications for bioactive properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(27):6678-6693.
- [23] BARBA F J, ESTEVE M J, FRIGOLA A. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing[J]. Food Research International, 2013, 50(2):545-549.
- [24] FRACASSETTI D, DEL B C, SIMONETTI P, et al. Effect of time and storage temperature on anthocyanin decay and antioxidant activity in wild

- blueberry (*Vaccinium angustifolium*) powder[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(12): 2999-3005.
- [25] HOWARD L R, CASTRODALE C, BROWNMILLER C, et al. Jam processing and storage effects on blueberry polyphenolics and antioxidant capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(7): 4022-4029.
- [26] 石光, 张春枝, 陈莉, 等. 蓝莓花色苷稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(2): 97-99.
- [27] KADER F, IRMOULI M, NICOLAS J P, et al. Involvement of blueberry peroxidase in the mechanisms of anthocyanin degradation in blueberry juice[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(3): 910-915.
- [28] ROSSI M, GIUSSANI E, MORELLI R, et al. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice[J]. Food Research International, 2003, 36(9): 999-1005.
- [29] SKREDE G, WROLSTAD R E, DURST R W. Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 357-364.
- [30] 谢国芳, 王瑞, 周笑犁, 等. 不同灭菌处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 205-210.
- [31] BROWNMILLER C, HOWARD L R, PRIOR R L. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): H72-H79.
- [32] BUCKOW R, KASTELL A, TEREFE N S, et al. Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(18): 10076-10084.
- [33] PATRAS A, BRUNTON N P, DA P S, et al. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 308-313.
- [34] 房子舒, 易俊洁, 张雅洁, 等. 超高压和高温瞬时杀菌对蓝莓汁品质影响的比较[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12): 7-10.
- [35] 陶晓赞, 王寅, 张蒙, 等. 超高压和热处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(9): 59-63.
- [36] BARBA F J, JAGER H, MENESES N, et al. Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012(14): 18-24.
- [37] 陶晓赞, 王寅, 陈健, 等. 高压脉冲电场对蓝莓汁杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(7): 94-97.
- [38] 王寅, 陶晓赞, 陈健, 等. 超高压处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 49-51.
- [39] 王寅, 陶晓赞, 陈健, 等. 高压脉冲电场和热处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 68-71.
- [40] 陈姗姗, 张晖, 张超, 等. 真空浓缩对蓝莓花色苷降解的影响[J]. 食品科技, 2012(9): 270-274.
- [41] 田密霞, 胡文忠, 李亚东, 等. 不同品种蓝莓花色苷稳定性的比较研究[J]. 食品工业科技, 2015(13): 60-65, 71.
- [42] 马立志, 谢国芳, 王瑞, 等. 蓝莓清汁饮料加工工艺[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 192-195.
- [43] 陆卿卿, 张丽霞, 刘小莉, 等. 温度, pH值和光照对蓝莓汁花色苷稳定性的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(12): 131-133.
- [44] SUN J, BAI W, ZHANG Y, et al. Identification of degradation pathways and products of cyanidin-3-sophoroside exposed to pulsed electric field[J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 1203-1210.
- [45] BENER M, SHEN Y X, APAK R, et al. Release and degradation of anthocyanins and phenolics from blueberry pomace during thermal acid hydrolysis and dry heating[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(21): 6643-6649.
- [46] LEE J, DURST R W, WROLSTAD R E. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics; comparison of two pretreatments[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(5): 1660-1667.
- [47] GUSTAFSON S J, YOUSEF G G, GRUSAK M A, et al. Effect of postharvest handling practices on phytochemical concentrations and bioactive potential in wild blueberry fruit[J]. Journal of Berry Research, 2012, 2(4): 215-227.
- [48] KUCNER A, KLEWICKI R, SOJKA M. The influence of selected osmotic dehydration and pretreatment parameters on dry matter and polyphenol content in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits[J]. Food Bioprocess Technol, 2013(6): 2031-2047.
- [49] SCHMIDT B M, ERDMAN J W, LILA M A. Effects of food processing on blueberry antiproliferation and antioxidant activity[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(6): s389-s394.
- [50] LIM K, MA M, DOLAN K D. Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(7): H156-H164.
- [51] 曹雪丹, 方修贵, 赵凯, 等. 蓝莓汁花色苷热降解动力学及抗坏血酸对其热稳定性的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 47-54.
- [52] 陈伟平, 陈华江, 曹雪丹, 等. 抗坏血酸和异抗坏血酸对蓝莓花色苷稳定性的影响[J]. 浙江农业科学, 2013(9): 1145-1148.
- [53] 谢国芳, 马立志, 王瑞, 等. 蓝莓果汁饮料护色工艺[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(11): 114-117.
- [54] RIZZOLO A, NANI R C, VISCARDI D, et al. Modification of glass transition temperature through carbohydrates addition and anthocyanin and soluble phenol stability of frozen blueberry juices[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56: 229-231.
- [55] 李颖畅, 孟宪军, 周艳, 等. 金属离子和食品添加剂对蓝莓花色苷稳定性的影响[J]. 食品科学, 2009(9): 80-84.

Research Progress on the Stability of Blueberry Anthocyanins

XIE Guofang, WANG Rui, ZHOU Xiaoli, LIU Zhigang

(Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University/Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang, Guizhou 550005)

DOI:10.11937/bfyy.201607048

肉果发育和成熟的转录调控机制

周 峰

(南京晓庄学院 食品科学学院,江苏 南京 211171)

摘 要:肉果是人类饮食中必不可少的一部分,研究肉果成熟和发育的转录调控机制具有重要意义,将为果实品质改良奠定基础。文章首先介绍了肉果早期发育阶段和成熟过程的转录调控,以及乙烯作为一种重要激素在肉果成熟转录调控中的作用。番茄作为研究肉果成熟转录调控的模式植物具有很多优点,重点概述了番茄成熟的转录调控网络和转录因子的作用目标分子,指出 MADS(MCM1 AGAMOUS DEFICIENS SRF)域蛋白 FUL(FRUITFULL)、RIN(RIPENING INHIBITOR)、AP2a(APETALA2a)和 TAGL1(TOMATO AGAMOUS-LIKE1)等转录因子在番茄果实发育和成熟转录调控中的重要作用。

关键词:肉果;发育;成熟;转录调控

中图分类号:S 603.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)07-0194-04

肉果在生物进化中更能吸引食果动物,从而促进种子的传播。它也是人类饮食中必不可少的一部分,研究肉果成熟和发育的转录调控机制具有重要意义。目前,关于果实发育和成熟的研究主要集中在某些基因的功能或某些激素的作用方面。该研究对肉果早期发育阶段和成熟过程的转录调控,以及乙烯作为一种重要激素在肉果成熟转录调控中的作用进行了概述。番茄(*Solanum lycopersicum*)作为研究肉果成熟转录调控的模式植物具有很多优点。文章重点讨论了番茄成熟的转录调控网络、番茄品质的转录调控及转录因子的作用目标分子,这将为果实品质改良奠定基础^[1]。

作者简介:周峰(1978-),男,山东淄博人,博士,副教授,现主要从事植物生理生化等研究工作。E-mail:zfbcas@163.com.

基金项目:国家高技术研究发展 863 计划资助项目(2012AA021701);江苏省自然科学基金青年基金资助项目(BK2012073);江苏省生态学重点学科建设资助项目(2012);南京晓庄学院农产品质量与安全重点实验室资助项目(2015)。

收稿日期:2016-01-04

1 肉果早期发育的转录调控

子房的特性和大小与早期发育阶段的转录因子调控密切相关,而这又决定了最终果实的大小及发育后期和果实成熟的调控。番茄驯化中决定果实大小的主要途径就是增加子房室的数量,驯化使得番茄从野生型的 2~4 个子房室到栽培品种的 8 个或更多子房室。有 2 个基因相关数量性状位点(quantitative trait loci, QTLs)编码转录因子,这些转录因子通过增加心皮的数量形成子房,从而增加子房室的数量。效果最强的基因是在心皮原基中表达的 FAS(FASCIATED)基因,编码 YABBY 转录因子。YABBY 转录因子的主要功能是通过 CRC(CRABS CLAW)基因完成,它参与心皮和蜜腺的发育。另一个 QTL 是室数(*locule number, lc*)基因,由 2 个单核苷酸多态性共同决定^[2]。

花器官特性是由 MADS-box (MCM1 AGAMOUS DEFICIENS SRF)基因转录因子决定的。花器官形成中四轮的特性由 MADS-box 基因协同表达及它们产物的相互作用共同决定。番茄果实的图案、特性和早期发育是由 SQUAMOSA 启动子结合蛋白基因家族

Abstract: Blueberry anthocyanins is the main function factors of blueberry, and it also is a functional food additive in nutrition and coloring. However, the blueberry anthocyanins extremely easily degraded during storage and processing, directly influenced the nutritional value and quality of the products. To provide reference for rational utilization of blueberry anthocyanins, the effects of blueberry processing toward product, including storage, heat treatment, heat treatment, machining method, product type, environment system and food additives, on the stability of blueberry anthocyanins were reviewed from the perspective of the most recent advances on storage and processing.

Keywords: blueberry; anthocyanins; stability