

玫瑰精油提取副产物应用研究进展

尹向田¹, 马丽娜², 王超萍¹, 杨阳¹, 魏彦锋^{1*}, 姜福明^{3*} (1.山东省葡萄研究院, 山东省葡萄栽培与精深加工工程技术研究中心, 山东济南 250100; 2.蓬莱区葡萄与葡萄酒产业发展服务中心, 山东烟台 265600; 3.蓬莱阁景区管理中心, 山东烟台 265600)

摘要 玫瑰精油是一种从玫瑰花中提取的天然香料, 玫瑰精油制取过程中会产生大量的玫瑰花渣和玫瑰废水等副产物, 其中含有丰富的营养成分和活性物质, 具有很高的利用价值。生产中玫瑰精油提取副产物一般作为废料处理, 造成极大浪费。因此, 研究玫瑰精油提取副产物的综合利用将会提高玫瑰产业的经济效益。综述了近年来玫瑰花渣及玫瑰废水应用的研究进展, 为玫瑰精油提取副产物的研究开发提供参考。

关键词 玫瑰精油; 副产物; 玫瑰花渣; 玫瑰废水; 应用

中图分类号 X70 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)18-0009-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.18.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on the Application of By-products Extraction of Rose Essential Oil

YIN Xiang-tian¹, MA Li-na², WANG Chao-ping¹ et al (1. Shandong Engineering Research Center for Grape Cultivation and Deep-Processing, Shandong Academy of Grape, Jinan, Shandong 250100; 2. Penglai Grape and Wine Industry Development Service Centre, Yantai, Shandong 265600)

Abstract Rose essential oil is a natural spice extracted from the rose, rose essential oil production process will produce a large number of rose residue and rose waste water, which is rich in nutrients and active substances, has a high utilization value. The extraction of by-products of essential rose oil is generally treated as waste material, resulting in great waste. Therefore, studying the comprehensive utilization of extracting by-products of rose essential oil will improve the economic benefits of the rose industry. This paper reviewed the research progress of rose residue and rose waste water in recent years, and provided a reference for the research and development of rose essential oil by-products extraction.

Key words Rose essential oil; By-product; Rose dregs; Rose wastewater; Application

玫瑰原产中国, 栽培历史悠久, 具有强肝养胃、解郁、安神、消炎杀菌、消除疲劳、改善体质等功效^[1-2], 可舒缓情绪、补气血。玫瑰花中的营养成分十分丰富, 有蛋白质、维生素、氨基酸、不饱和脂肪酸和膳食纤维等, 另外还含有多种挥发性成分, 如挥发油、香茅醇、橙花醇等一些具有香味的物质, 还含有氨基酸及多种维生素和微量元素^[3-4], 利用价值极高。

玫瑰精油是一种从玫瑰鲜花中提取的天然香料, 具有美容养颜、抗菌、抗衰老的功效^[5], 可广泛应用于食品、化妆品、医药、保健品等领域^[6-7]。玫瑰精油含量得率非常低, 仅为 0.02%~0.05%。玫瑰精油有多种提取方法, 常用的提取制备方法有水蒸气蒸馏法、溶剂提取法和超临界流体萃取法^[8]。水蒸气蒸馏法作为传统的提取方法为国内外大多数生产厂家所采用, 具有设备简单、操作方便、生产成本低等特点, 但在实际生产过程中, 采用水蒸气蒸馏法提取玫瑰精油提取率低, 只有 0.2%~0.3%, 同时产生大量废水废渣, 不但增加企业经营成本, 还造成环境污染^[9]。溶剂萃取法虽在一定程度上提高了精油得率, 从 0.3%提高至 1.0%, 但溶剂萃取所得浸膏颜色较深, 含有蜡质色素等杂质, 且存在溶剂残留, 天然感较差^[10]。超临界二氧化碳流体萃取法具有介质的传递速度快、萃取时间短、无毒无残留等优点, 且成本低、不污染环境, 所得产品成分稳定、质量较高^[11]。玫瑰精油在提取过程中会产生大量的玫瑰废水和玫瑰花渣, 其中含有丰富的营养成

分和利用价值, 但在实际生产中, 玫瑰精油副产物大多作为废弃物丢掉, 不仅污染了环境, 也造成了资源浪费。因此笔者对近年来玫瑰废水和玫瑰花渣的再利用进行综述, 为玫瑰精油提取副产物的研究开发提供参考。

1 玫瑰精油提取副产物

1.1 玫瑰废水 精油生产过程中, 大部分物质保留在提取液中, 水蒸气蒸馏法存在着玫瑰蒸煮水等大量副产物, 副产物中也包含大量的功能性成分。对于副产物的处理, 目前还没有好的解决方法, 多数厂家直接排放掉, 既污染环境, 又造成了严重浪费^[12]。尉芹等^[13]研究发现, 玫瑰精油提取的废水中含有黄酮、有机酸、酚类、生物碱、糖、氨基酸和蛋白质等物质。王明皓^[14]研究表明, 玫瑰精油提取后的蒸煮水含有较高的营养成分, 总糖含量为 32.9 g/L, 总多酚含量为 16.0 g/L, 总黄酮含量为 5.7 g/L, 总氨基酸含量为 1.6 g/L; 抗氧化能力较强, 具备开发功能性食品的价值。樊筑君^[15]测定了玫瑰花精油提取液中的有效成分, 结果发现, 含有 18.33%葡萄糖、21.76%淀粉, 氨基酸总量高达 10.9%, 不含有任何有害元素, 并且粗脂肪、粗蛋白、胡萝卜素、维生素 C 的含量分别为 3.09%、12.4%、15.96 mg/kg、5 mg/kg。石双妮^[16]采用气质联用仪检测了副产物的挥发性成分, 发现蒸馏液中主要挥发性物质为香茅醇、苯乙醇、甲基丁香酚等 29 种物质; 采用液质联用仪和超高效液相色谱飞行时间质谱仪在提取液中分别检测到了 34 种和 26 种多酚类化合物, 并进行了鉴定; 多酚类化合物主要有槲皮素、芦丁、槲皮苷等物质; 并且含有 Mg、Na、K、Ca 等元素。研究表明, 玫瑰废水中的多酚对酪氨酸酶具有抑制作用, 并且可以明显改变炎症靶基因的表达^[17-18]。

1.2 玫瑰花渣 玫瑰精油提取过程中, 大量的副产物玫瑰花

基金项目 山东省重点研发计划(2019GNC106049)。

作者简介 尹向田(1985—), 女, 山东济南人, 农艺师, 硕士, 从事葡萄病害的生物防治研究。*通信作者: 魏彦锋, 高级工程师, 硕士, 从事葡萄种植加工、葡萄资源综合利用研究; 姜福明, 高级工程师, 从事工程管理及安全生产管理工作。

收稿日期 2021-01-20

渣会随之产生。玫瑰花渣大多直接被废弃掉,只有少部分可以作为饲料使用。花渣中含有大量有机物,排入环境中很容易造成污染^[19]。作为玫瑰精油提取后的副产物,玫瑰花渣含有的营养成分丰富,含有大量的多酚类化合物、多糖、色素、蛋白质、膳食纤维等物质,具有极大的开发价值^[20]。研究表明,玫瑰花渣中含有大量的微生物、氨基酸、可溶性糖、生物碱等物质,其中V_c含量是苹果的700多倍,糖含量为29.5%,可溶性糖为8.8%,此外还含有蛋白质、脂类、碳水化合物和微量元素,其中,蛋白质含量8.5%、脂肪含量4.7%、碳水化合物68%^[21]。刘文亚^[22]从玫瑰花渣中分离纯化11个单体化合物,其中胡萝卜苷、焦性没食子酸、2-Phenylethyl 3, 4,5-trihydroxybenzoate、对羟基苯甲酸、对羟基苯乙醇5种物质为首次分离到。Fazaeli等^[23]研究了大马士革玫瑰提取残渣的青贮特性和营养价值。

2 玫瑰花渣的应用

2.1 多糖的提取 多糖作为一种生命活性物质,具有抗氧化、增强机体免疫、清除自由基和抗肿瘤作用^[24]。如枸杞多糖、人參多糖、黄芪多糖均有提高机体免疫力的功能^[25-26]。玫瑰花渣中多糖的含量高达29.5%,其中,可溶性糖占8.8%,目前,玫瑰花渣多糖的提取主要有酸碱提取法、微波辅助提取法、热水浸提法、超声波和酶法提取等。水提法是比较传统的方法,但是提取率较低。马猛华等^[27]采用传统的热热水浸提法,从玫瑰花渣中提取多糖,多糖得率为0.6%,纯度为89.5%。张曰辉等^[28]利用纤维素酶法从玫瑰花渣中提取多糖,提取率为11.1%,可溶性多糖提取率为4.49%。勾明江等^[29]用超声波提取法经响应面法对玫瑰多糖提取工艺进行优化,最佳工艺条件为浸提温度82℃、浸提时间37min、料液比1:26(g:mL),玫瑰花渣多糖得率为1.585%。姜曼等^[30]采用微波协同酶法提取玫瑰花渣多糖,通过单因素、正交试验优化提取工艺,在纤维素酶添加量4.2%、酶解温度50℃、酶解pH4.4、微波功率650W、处理时间4min,多糖得率达到6.53%;较之单一方法提取,得糖率较高。刘红燕^[31]对玫瑰花多糖的提取、分离纯化工艺进行了初步研究,利用苯酚-硫酸法检测玫瑰中多糖的含量,显示葡萄糖和半乳糖为玫瑰花中粗多糖的单糖组成。

2.2 多酚的提取 多酚类化合物除具有抗氧化性、抗菌抗病毒活性、降血糖、免疫作用、抗肿瘤功能活性外^[32-33],还具有缓解忧郁和焦虑情绪等多种积极功效^[34-35]。玫瑰花渣多酚的提取方法有溶剂提取法、超声波提取法、微波提取法、超临界流体萃取法等。陈东明^[36]利用玫瑰花渣为原料,采用超声波提取法提取玫瑰多酚,最佳工艺为乙醇浓度70%、超声功率62.5W、超声温度63℃、超声时间16min、料液比1:62,玫瑰多酚的提取量为2.732mg/g。张娟梅^[37]利用超声波辅助提取玫瑰花渣中的多酚。李涛涛^[38]首次以玫瑰花渣为原料,采用植物乳杆菌B7和纳豆芽孢杆菌发酵提取多酚物质,发现益生菌复合发酵能显著提高多酚类物质含量及抗氧化能力;最优条件下,多酚含量达410.2mg/L,与发酵之前相比增加了246.5mg/L。

2.3 黄酮的提取 黄酮是一种很强的抗氧化剂,可有效清除体内的氧自由基,这种抗氧化作用可以阻止细胞退化、衰老,也可以改善血液循环、降低心脑血管疾病的发病率^[39-40]。玫瑰黄酮具有很好的抗氧化性,参与人体重要的生理活动并对疾病有治疗作用。对羟基自由基、超氧基阴离子有很好的清除作用,玫瑰黄酮对亚硝酸盐也有很强的清除能力,体现出抗氧化、降血糖、抗菌、抗肿瘤等作用。郭英等^[41]利用超声波技术和双水相萃取技术提取玫瑰花渣中的总黄酮,平均得率为3.42%。张佳婵等^[42]对玫瑰花渣中的黄酮类物质进行乙醇提取,提取率为(2.31±0.08)mg/g;并研究表明玫瑰花渣黄酮冻干粉对羟基自由基、ABTS⁺自由基和DPPH自由基均具有清除能力。王刚等^[43]以苦水玫瑰和大马士革玫瑰花渣为研究对象,采用硝酸铝比色法对总黄酮含量进行测定,黄酮含量分别为72.24和43.82mg/g。谢琼等^[44]采用超声辅助法提取玫瑰花渣总黄酮,最佳工艺条件为料液比1:15、超声时间20min、超声4次、乙醇体积分数60%。王方方等^[45]采用UP-LC/Q-TOF-MS技术对玫瑰花渣中的黄酮类成分进行了定性分析,鉴定出11种黄酮类化合物,为玫瑰花渣的回收利用提供了数据支持。

2.4 色素的提取 玫瑰色素是一种天然食用色素,安全、无毒,且具有营养和药理作用^[46-47]。玫瑰精油提取后的废水废渣中含有大量的水溶性色素。周学森^[48]在优化玫瑰精油的水蒸气提取工艺基础上,利用苦水玫瑰残渣提取纯化玫瑰色素,并利用玫瑰花渣采用超声波辅助提取法提取出玫瑰花色素。Eren等^[49]从玫瑰废渣中提取出天然染料花青素,并制备了燃料敏化太阳能电池。肖丽宏等^[50]以新鲜云南墨红玫瑰花色素粗提物为原料,测定总酚含量为5.73mg/mL,并表现出较好的体外抗氧化活性。

2.5 功能性食品的制备 功能性食品是除提供通常的营养之外还具备促进身体健康或降低疾病风险的功能,具有调节机体功能的作用^[51-52],可以增强体质、预防疾病、调节身体节律^[53-54]。玫瑰花渣中含有膳食纤维、多糖、氨基酸等营养素,因此可以作为一种理想的添加剂加至食品中,李婷等^[55]以玫瑰花渣为原料,制成了玫瑰花渣果酱。谢秋涛^[56]将5%的玫瑰花渣添加到饼干配方中,制成一种玫瑰花渣饼干。徐洁等^[57]采用超声波和微波辅助提取花渣中的原花青素,提取量分别可达57.74和58.74mg/g。王泽平等^[58]以花渣与罗汉果汁液为辅料,经乳酸菌发酵制成乳酸菌饮料。樊筑君等^[59]用玫瑰花渣与其他原料混合生产出味道鲜美且具有玫瑰风味的酱油。

2.6 玫瑰花渣精油的提取 郭永来等^[60]采用有机溶剂浸提结合水蒸气蒸馏提取玫瑰精油后的玫瑰花渣,利用分子蒸馏技术进行分离纯化,提取出玫瑰精油,精油得率达0.048%;共检测出101种成分,主要成分为苯乙醇和香叶醇,含量分别为21.82%和7.22%。郭畅畅等^[61]采用有机溶剂萃取玫瑰花渣中的玫瑰精油,玫瑰精油提取率高达0.5714%,结合气质联用分析,产物中存在香茅醇、乙酸香叶酯等精油主要成分。Guo等^[62]利用合成的12种离子液体作为溶剂从玫瑰渣中提

取玫瑰精油。

3 玫瑰蒸煮水的利用

王明皓^[14]通过单因素和响应面试验进行了玫瑰碳酸饮料的配制,并通过单因素和正交试验将玫瑰蒸煮水减压蒸发去水分后研发成玫瑰糖果和果冻。石双妮^[6]将玫瑰蒸煮水提取液经过澄清处理后制成玫瑰花功能性饮料。杨盛鑫^[63]采用高效液相色谱法测定了苦水玫瑰精油加工所得废水中玫瑰红色素的含量。梁文博等^[64]从玫瑰精油产生废水中提取的玫瑰红色素与玫瑰鲜花所提取的色素组成基本相同,并且对光、热、酸、金属离子和氧化剂均有一定的稳定性。陆秀云^[65]以甘肃苦水玫瑰精油废水为原料,研究了玫瑰废水中多酚的纯化工艺条件。

4 展望

在我国玫瑰花渣和玫瑰废水加工行业仍然存在着较多的问题,如生产成本低、规模小、加工方法落后。目前精油生产厂家通常会把玫瑰花渣作为垃圾丢掉,造成环境的污染与资源浪费,废水废渣中含有的多酚、黄酮类等化合物通过回收,可以作为无毒健康的食品添加剂,变废为宝,同时使得废水废渣中的有机物含量降低,改善环境污染。因此,充分利用副产物并使其变废为宝是解决这些问题、促进玫瑰产业发展的有效措施。

参考文献

[1] 李明,李艳芳,孙永超.中药玫瑰花的的研究进展[J].卫生职业教育,2007,25(8):146-148.

[2] 李春雨,赵娅敏,杨军丽.玫瑰花提取工艺、化学成分及其生物活性研究进展[J].分析测试技术与仪器,2020,26(4):249-257.

[3] 解静,李明祥,高建莉,等.玫瑰中化学成分及其美容护肤作用机制[J].天然产物研究与开发,2020,32(2):341-349.

[4] 侯颖辉,李德文,于二汝,等.4个食用玫瑰品种在贵阳地区的生物学性状及其精油成分差异[J].西南农业学报,2019,32(10):2419-2424.

[5] WU Y, HAN X, YUAN W Q, et al. Salt intervention for the diversities of essential oil composition, aroma and antioxidant activities of Kushui rose (*R. setata* × *R. rugosa*) [J/OL]. Industrial crops and products, 2020, 150 [2020-10-21]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112417>.

[6] WEI T T, ZHU M, ZHOU J X, et al. Cytological evidence for the pathway of synthesis, accumulation, and secretion of rose essential oil [J]. Journal of essential oil bearing plants, 2019, 22(2):301-310.

[7] YI F P, SUN J, BAO X L, et al. Influence of molecular distillation on antioxidant and antimicrobial activities of rose essential oils [J]. LWT, 2019, 102:310-316.

[8] 张棋.玫瑰精油的提取工艺及应用研究进展[J].当代化工研究,2018(10):153-154.

[9] 王虎虎,徐翠香,高强.水蒸气蒸馏法提取玫瑰精油的影响因素研究[J].云南化工,2020,47(11):69-70.

[10] 金伟,李倩茹,宁晶晶,等.基于红外光谱的混合溶剂提取玫瑰精油研究[J].安徽农业科学,2018,46(6):164-166.

[11] 戴琳,单银花,王志祥,等.超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的工艺优化[J].食品工业科技,2015,36(3):266-269,274.

[12] 高玲美,李志香,王春玲,等.玫瑰精油生产废弃物再利用研究[J].资源节约与环保,2014(11):47,57.

[13] 尉芹,王永红,胡亚云,等.玫瑰花渣化学成分与营养成分研究[J].西北林学院学报,2005,20(3):140-141,168.

[14] 王明皓.玫瑰精油提取副产物玫瑰蒸煮水的资源化利用[D].济南:山东师范大学,2016.

[15] 樊筑君.玫瑰渣废水的分析与综合利用[D].兰州:兰州铁道学院,2003.

[16] 石双妮.玫瑰精油提取后副产物的功效成分分析及利用[D].杭州:浙江工商大学,2012.

[17] SOLIMINE J, GARO E, WEDLER J, et al. Tyrosinase inhibitory constituents from a polyphenol enriched fraction of rose oil distillation wastewater [J]. Fitoterapia, 2016, 108:13-19.

[18] WEDLER J, WESTON A, RAUSENBERGER J, et al. *In vitro* modulation

of inflammatory target gene expression by a polyphenol-enriched fraction of rose oil distillation waste water [J]. Fitoterapia, 2016, 114:56-62.

[19] 张雪喜,孙迪,田鑫,等.玫瑰花渣的再利用研究进展[J].农产品加工,2016(4):64-66.

[20] 刘言,曾宪坤,张晓雨,等.基于新一代测序技术分析不同杀菌方式对玫瑰花渣饮料的影响[J].饮料工业,2020,23(2):16-21.

[21] 冯作山,谢琼,余永婷,等.玫瑰花渣中抗氧化成分提取工艺研究[J].食品工业科技,2007,28(8):143-145.

[22] 刘文亚.玫瑰花渣化学成分及抗氧化、抑制酪氨酸酶活性研究[D].郑州:郑州大学,2018.

[23] FAZAEI H, ZAHEDIFAR M. Nutritive value of Damascus rose extraction residue ensiled with different effluent absorbents [J]. Turkish journal of veterinary and animal sciences, 2014, 33(4):265-272.

[24] NIU W, CHEN X Y, XU R L, et al. Polysaccharides from natural resources exhibit great potential in the treatment of ulcerative colitis: A review [J]. Carbohydrate polymers, 2021, 254:1-12.

[25] 宁娜,韩建军,郁建生.枸杞多糖提取工艺研究进展[J].山东化工,2020,49(17):79-80.

[26] XIE Y Q, LIU J, WANG H, et al. Effects of fermented feeds and ginseng polysaccharides on the intestinal morphology and microbiota composition of Xuefeng black-bone chicken [J]. PLoS One, 2020, 15(8):1-16.

[27] 马猛华,于海峰,崔波,等.玫瑰花渣中多糖的提取研究[J].食品工业科技,2009,30(11):218-220.

[28] 张曰辉,马耀宏,史建国,等.纤维素酶法提取玫瑰花渣多糖工艺研究[J].山东科学,2012,25(3):71-74.

[29] 勾明江,许子竞,刘茜.响应面优化法提取玫瑰花渣多糖的工艺研究[J].梧州学院学报,2016,26(6):37-44.

[30] 姜曼,张伟.微波协同酶法提取玫瑰花渣多糖工艺优化[J].中国果菜,2020,40(5):36-39,70.

[31] 刘虹燕.玫瑰花多糖的提取纯化工艺研究[J].海峡药学,2012,24(5):14-15.

[32] LÓPEZ M, MARTÍNEZ F, DEL VALLE C, et al. Study of phenolic compounds as natural antioxidants by a fluorescence method [J]. Talanta, 2003, 60(2/3):609-616.

[33] 梁进欣,白卫东,杨娟,等.植物多酚的研究进展[J].农产品加工,2020(21):85-91.

[34] COSTA C, TSATSAKIS A, MAMOULAKIS C, et al. Current evidence on the effect of dietary polyphenols intake on chronic diseases [J]. Food chemistry toxicology, 2017, 110:286-299.

[35] LÜ Z, ZHANG Z, WU H M, et al. Phenolic composition and antioxidant capacities of Chinese local pummelo cultivars' peel [J]. Horticultural plant journal, 2016, 2(3):133-140.

[36] 陈东明.超声提取玫瑰花渣中多酚、多糖的工艺研究[D].郑州:郑州大学,2014.

[37] 张娟梅.玫瑰花渣中多酚的超声辅助提取制备、组分分析及其生物活性研究[D].南京:南京农业大学,2014.

[38] 李涛涛.益生菌复合发酵促进玫瑰花渣多酚含量及生物活性研究[D].北京:北京林业大学,2019:1-67.

[39] ZENG G X, OU H Y, WEI Q Y, et al. The antioxidative activity and the fingerprint by HPLC of the flavonoids of *Astragalus mongholicus* [J]. Advanced materials research, 2012, 550/551/552/553:1637-1642.

[40] SUN Y L, ZHOU W M, HUANG Y G. Encapsulation of tartary buckwheat flavonoids and application to yoghurt [J]. Journal of microencapsulation, 2020, 37(6):445-456.

[41] 郭英,高云海.双水相与超声耦合提取玫瑰花渣中的总黄酮[J].云南化工,2014,41(2):25-28.

[42] 张佳婵,谢娅菲,虞旦,等.玫瑰花及花渣中黄酮类物质的提取及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2014,35(22):226-230.

[43] 王刚,姚雷,李正娟.利用苦水玫瑰渣提取总黄酮可行性分析[J].上海农业科技,2019(2):35-37,45.

[44] 谢琼,胡爽.超声提取玫瑰花渣中的总黄酮[J].农产品加工,2018(6):18-19,22.

[45] 王方方,康莹,张权,等.北京妙峰山玫瑰花渣中黄酮类成分的 UPLC/Q-TOF-MS 分析[J].中国现代中药,2017,19(11):1550-1554.

[46] SHEKARBEGYI Z, FARHADIAN N, KHANI S, et al. The effects of rose pigments extracted by different methods on the optical properties of carbon quantum dots and its efficacy in the determination of Diazinon [J/OL]. Microchemical journal, 2020, 158 [2020-09-21]. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105232>.

[47] ZOU X B, WANG S, SHI J Y, et al. Preparation and characterization of chitosan/gelatin composite films incorporated with four natural pigments [J]. 农业工程学报, 2016, 32(17):294-300.

- Cells, 2006, 11(2):153-162.
- [45] PLETT J M, MATHUR J, REGAN S. Ethylene receptor ETR2 controls trichome branching by regulating microtubule assembly in *Arabidopsis thaliana* [J]. *J Exp Bot*, 2009, 60(13):3923-3933.
- [46] HENNIG L, BOUVERET R, GRUISSEM W. MSI1-like proteins: An escort service for chromatin assembly and remodeling complexes [J]. *Trends Cell Biol*, 2005, 15(6):295-302.
- [47] MEHDI S, DERKACHEVA M, RAMSTRÖM M, et al. The WD40 domain protein MSI1 functions in a histone deacetylase complex to fine-tune abscisic acid signaling [J]. *Plant Cell*, 2016, 28(1):42-54.
- [48] DERKACHEVA M, STEINBACH Y, WILDHABER T, et al. *Arabidopsis* MSI1 connects LHP1 to PRC2 complexes [J]. *EMBO J*, 2013, 32(14):2073-2085.
- [49] KÖHLER C, HENNIG L, BOUVERET R, et al. *Arabidopsis* MSI1 is a component of the MEA/FIE Polycomb group complex and required for seed development [J]. *EMBO J*, 2003, 22(18):4804-4814.
- [50] STEINBACH Y, HENNIG L. *Arabidopsis* MSI1 functions in photoperiodic flowering time control [J]. *Front Plant Sci*, 2014, 5:77-85.
- [51] BIEDERMANN S, MOONEY S, HELLMANN H. Recognition and repair pathways of damaged DNA in higher plants [M]//Selected Topics in DNA Repair. [s.l.]: InTech, 2011:201-236.
- [52] TUTEJA N, AHMAD P, PANDA B B, et al. Genotoxic stress in plants: Shedding light on DNA damage, repair and DNA repair helicases [J]. *Mutat Res*, 2009, 681(2/3):134-149.
- [53] SINHA R P, HÄDER D P. UV-induced DNA damage and repair: A review [J]. *Photochem Photobiol Sci*, 2002, 1(4):225-236.
- [54] RASTOGI R P, RICHA, KUMAR A, et al. Molecular mechanisms of ultraviolet radiation-induced DNA damage and repair [J]. *J Nucleic Acids*, 2010, 2010:1-32.
- [55] GILL S S, ANJUM N A, GILL R, et al. DNA damage and repair in plants under ultraviolet and ionizing radiations [J]. *Sci World J*, 2015, 2015:1-11.
- [56] MANOVA V, GRUSZKA D. DNA damage and repair in plants - from models to crops [J]. *Front Plant Sci*, 2015, 6:885-911.
- [57] LYAMICHEV V. Unusual conformation of (dA)_n · (dT)_n-tracts as revealed by cyclobutane thymine-thymine dimer formation [J]. *Nucleic Acids Res*, 1991, 19(16):4491-4496.
- [58] ABOUSSEKHRA A, THOMA F. TATA-binding protein promotes the selective formation of UV-induced (6-4)-photoproducts and modulates DNA repair in the TATA box [J]. *EMBO J*, 1999, 18(2):433-443.
- [59] GALLEGO F, FLECK O, LI A, et al. AtRAD1, a plant homologue of human and yeast nucleotide excision repair endonucleases, is involved in dark repair of UV damages and recombination [J]. *Plant J*, 2000, 21(6):507-518.
- [60] PANG Q S, HAYS J B. UV-B-Inducible and temperature-sensitive photo-reactivation of cyclobutane pyrimidine dimers in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Plant Physiol*, 1991, 95(2):536-543.
- [61] TAKEUCHI Y, MURAKAMI M, NAKAJIMA N, et al. The photorepair and photoisomerization of DNA lesions in etiolated cucumber cotyledons after irradiation by UV-B depends on wavelength [J]. *Plant Cell Physiol*, 1998, 39(7):745-750.
- [62] TERANISHI M, TAGUCHI T, ONO T, et al. Augmentation of CPD photolyase activity in japonica and indica rice increases their UVB resistance but still leaves the difference in their sensitivities [J]. *Photochem Photobiol*, 2012, 11(5):812-820.
- [63] KUMAGAI T, SATO T. Inhibitory effects of increase in near-UV radiation on the growth of Japanese rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in a phytotron and recovery by exposure to visible radiation [J]. *Ikushugaku zasshi*, 1992, 42(3):545-552.
- [64] 李韶山, 王艳, LARS OLOF BJÖRN. 温度对 UV-B 诱导的烟草叶圆片 DNA 损伤的影响 [J]. *生态科学*, 2002, 21(2):115-117.
- [65] BRAY C M, WEST C E. DNA repair mechanisms in plants: Crucial sensors and effectors for the maintenance of genome integrity [J]. *New Phytol*, 2005, 168(3):511-528.
- [66] HANAWALT P C, SPIVAK G. Transcription-coupled DNA repair: Two decades of progress and surprises [J]. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 2008, 9(12):958-970.
- [67] LEONARD J M, BOLLMANN S R, HAYS J B. Reduction of stability of *Arabidopsis* genomic and transgenic DNA-repeat sequences (microsatellites) by inactivation of AtMSH2 mismatch-repair function [J]. *Plant Physiol*, 2003, 133(1):328-338.
- [68] DANTUMA N P, VAN ATTIKUM H. Spatiotemporal regulation of post-translational modifications in the DNA damage response [J]. *EMBO J*, 2016, 35(1):6-23.
- [69] DONÀ M, MITTELSTEN SCHEID O. DNA damage repair in the context of plant chromatin [J]. *Plant Physiol*, 2015, 168(4):1206-1218.
- [70] JIAO R, HARRIGAN J A, SHEVELEV I, et al. The Werner syndrome protein is required for recruitment of chromatin assembly factor 1 following DNA damage [J]. *Oncogene*, 2007, 26(26):3811-3822.
- [71] GAILLARD P H L, MARTINI E M, KAUFMAN P D, et al. Chromatin assembly coupled to DNA repair: A new role for chromatin assembly factor 1 [J]. *Cell*, 1996, 86(6):887-896.
- [72] MOGGS J G, GRANDI P, QUIVY J P, et al. A CAF-1-PCNA-mediated chromatin assembly pathway triggered by sensing DNA damage [J]. *Mol Cell Biol*, 2000, 20(4):1206-1218.
- [73] ZHANG W, TYL M, WARD R, et al. Structural plasticity of histones H3-H4 facilitates their allosteric exchange between RbAp48 and ASF1 [J]. *Mol Biol*, 2013, 20(1):29-35.
- [74] NABATIYAN A, SZÜTS D, KRUDE T. Induction of CAF-1 expression in response to DNA strand breaks in quiescent human cells [J]. *Mol Cell Biol*, 2006, 26(5):1839-1849.

(上接第 11 页)

- [48] 周学森. 苦水玫瑰精油及花渣中色素的提取纯化 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [49] EREN E, GOK E C, SEYHAN B N, et al. Evaluation of anthocyanin, a rose residue extract, for use in dye-sensitized solar cell [J]. *Asian journal of chemistry*, 2015, 27(10):3745-3748.
- [50] 肖丽宏, 李子兰, 李建宾, 等. 云南墨红玫瑰花色素粗提物的体外抗氧化活性研究 [J]. *食品科技*, 2019, 44(7):291-296.
- [51] USMAN M, ZHANG C N, PATIL P J, et al. Potential applications of hydrophobically modified inulin as an active ingredient in functional foods and drugs-A review [J]. *Carbohydrate polymers*, 2021, 252:1-25.
- [52] NYSTRAND B T, OLSEN S O, TUDORAN A A. Individual differences in functional food consumption: The role of time perspective and the Big Five personality traits [J]. *Appetite*, 2021, 156:1-11.
- [53] OLIVEIRA S M, GRUPPI A, VIEIRA M V, et al. How additive manufacturing can boost the bioactivity of baked functional foods [J/OL]. *Journal of food engineering*, 2021, 294[2020-09-21]. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110394>.
- [54] GHATTAMANENI N K R, BROWN L. Functional foods from the tropics to relieve chronic normobaric hypoxia [J]. *Respiratory physiology & neurobiology*, 2020, 286:103599-103599.
- [55] 李婷, 梁琪, 蒋玉梅, 等. 苦水玫瑰花渣果酱的研制 [J]. *食品科技*, 2011, 36(5):135-138.
- [56] 谢秋涛. 超临界 CO₂ 提取玫瑰精油工艺优化及副产物综合利用研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [57] 徐洁, 李霁昕, 毕阳, 等. 超声波和微波辅助提取苦水玫瑰鲜花和花渣中原花青素的工艺优化及其比较 [J]. *食品科学*, 2018, 39(12):268-275.
- [58] 王泽平, 樊继强, 王彦人, 等. 玫瑰花渣乳酸菌发酵低糖饮料的研制 [J]. *饮料工业*, 2019, 22(2):31-37.
- [59] 樊筑君, 王琼芳, 金学敏. 玫瑰酱油研制报告初探 [J]. *天然产物研究与开发*, 1990, 2(4):71-73.
- [60] 郭永来, 张静菊, 郭锋, 等. 格拉斯玫瑰花渣精油的成分分析 [J]. *香料香精化妆品*, 2012(4):17-21.
- [61] 郭畅, 张娟, 刘朝政, 等. 在玫瑰花渣中提取玫瑰精油及抗氧化性研究 [J]. *应用化工*, 2020, 49(8):1930-1932, 1937.
- [62] GUO C C, ZHANG J, LIU C Z, et al. Extracting rose essential oil from rose slag with ionic liquid [J]. *Biomass conversion and biorefinery*, 2020, 2:1-8.
- [63] 杨盛鑫. 中国苦水玫瑰精油加工过程废水中玫瑰红色素的回收工艺研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- [64] 梁文博, 胡亚云. 蔚芹. 法国玫瑰精油加工废水中色素的提取及稳定性研究 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(5):128-131.
- [65] 陆秀云. 苦水玫瑰精油提取后废水中多酚类化合物研究-分离与抗氧化性 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2018.