

不同品种梨果实酿制的梨酒中酚类物质 及其抗氧化能力比较

Analysis of phenols in pear wine brewed by different varieties of pear
and comparison of their antioxidant capacity

李丽梅 冯云霄 何近刚 程玉豆 关军锋

LI Li-mei FENG Yun-xiao HE Jin-gang CHENG Yu-dou GUAN Jun-feng

(河北省农林科学院遗传生理研究所, 河北 石家庄 050051)

(Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Science,
Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

摘要:为了探明不同品种梨酿制梨酒的酚类物质构成及其抗氧化能力,以鸭梨、雪花梨、黄冠梨等 11 个品种梨为原料,分别接种酵母 RC212 发酵制成梨酒。采用高效液相色谱法(HPLC)分析了不同品种梨酒的酚类物质种类和含量,以对 DPPH·清除率为指标评价了其抗氧化性能。研究表明,不同品种梨所酿梨酒的酚类物质组成和抗氧化能力存在差异性,其中南果梨酒酚类物质含量最高,抗氧化能力最强,鸭梨酒和红香酥梨酒酚类物质含量最低,抗氧化能力最低。

关键词:梨酒;酚类;抗氧化

Abstract: In order to compare the phenols compounds and antioxidant ability of different pear wines which were brewed by 11 varieties of pear after being respectively inoculated yeast strain RC212, kinds and contents of phenols in these pear wines were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC), and the antioxidant ability was evaluated as well using the assay of scavenging capacities on DPPH· radical. It was concluded that differences existed among different varieties of pear wines in the phenols compounds and antioxidant ability. The highest contents of phenols compounds and the highest antioxidant ability were both found in pear wine brewed by Nanguo pear, while the lowest contents of phenols compounds were found in pear wine brewed by Ya pear, Nansui pear and Hongxiangsu pear. The

lowest antioxidant ability was found in that of Hongxiangsu pear, Ya pear and Zaosuhong pear.

Keywords: pear wine; phenols; antioxidant capacity

酚类物质是果酒的“骨架成分”,是果酒的重要功能性成分,对果酒的口感和收敛性有决定性作用,同时影响着果酒的色泽、香气以及抗氧化性^[1]。梨是中国传统种植水果,品种众多,在大部分省份都有种植。梨酒是近年来梨加工制品的研究热点,以鲜梨为原料,通过酵母菌发酵制成。目前关于梨酒的研究主要集中于生产工艺的优化^[2-3]、酿酒酵母的分离筛选^[4-5]、香气成分的分析^[2,6-7]、理化品质分析^[8-9]等方面,对梨酒中酚类物质的分析研究尚未见到相关报道。梨果实中含有酚类物质,在梨酒酿制过程中被浸渍到酒中,赋予梨酒丰富的口感和营养成分。梨^[10-11]和葡萄^[12]果实所含的酚类物质不同,可能造成梨酒和葡萄酒^[13-14]的酚类组成和含量不同,但目前尚未有关于梨酒中酚类物质的含量和种类报道。

本研究拟以鸭梨、雪梨、黄冠梨等 11 个品种梨为原料酿制梨酒,采用高效液相色谱法(HPLC)分析不同品种梨酒的酚类物质种类和含量,以 DPPH·清除率为指标评价其抗氧化性能,以期能从品种选择、梨酒风味和营养评价等方面对梨酒的研究和开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

新鲜梨:鸭梨、雪花、黄冠、雪青、早酥红、红香酥、南水、晚秀、南果、新高、秋月,于成熟期采摘于河北省赵县范庄梨果种植基地,采收后入 0℃贮藏;

甲醇、乙腈:色谱纯,百灵威科技有限公司;

基金项目:河北省现代农业产业技术体系(编号:HBCT2018100207);河北省现代农业科技创新工程(编号:494-0402-YBN-XNS4)

作者简介:李丽梅,女,河北省农林科学院遗传生理研究所副研究员,硕士。

通信作者:关军锋(1965—),男,河北省农林科学院遗传生理研究所研究员,博士。E-mail:junfeng-guan@263.net

收稿日期:2018-09-17

熊果苷、没食子酸、绿原酸、(+)-儿茶素、槲皮素、原儿茶酸标准品:纯度 $\geq 98\%$,北京索莱宝科技有限公司;

咖啡酸、表儿茶素、芦丁标准品:纯度 $\geq 98\%$,北京世纪奥科生物技术有限公司;

3,4-二羟基苯丙氨酸标准品:纯度 $\geq 97.5\%$,北京世纪奥科生物技术有限公司;

商品化酵母菌株 RC212:法国 LAFFORT 公司;

固相萃取小柱:Cleanert C_{18} -SPE 型,美国 Agela Technologies 公司;

高效液相色谱仪:HITACHI L-2000 型,日本日立公司。

1.2 方法

1.2.1 梨酒酿制 取贮藏 1 个月的果实为材料进行试验,将梨果实去皮切分榨取果汁,加入蔗糖调整果汁糖度至 22°Brix ,接种市售商品化酵母菌株 RC212,接种量为 0.02% ,进行酒精发酵,发酵温度 22°C ,待糖度不再下降时发酵结束,一般发酵 10 d 倒罐,静置,自然澄清,得到不同品种梨酿制的梨酒。

1.2.2 酚类物质分析 参照文献[10]。

1.2.3 抗氧化性能评价 参照文献[15],DPPH·清除率按式(1)计算:

$$S = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——DPPH·清除率, %;

A_0 ——DPPH·甲醇溶液的吸光度;

A_i ——样品溶液的吸光度。

1.3 数据分析

采用统计分析软件 JMP11.0(美国 SAS 公司)对数据进行显著性检验和相关性分析。

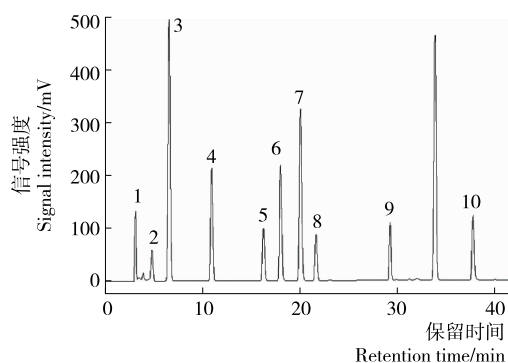
2 结果分析与讨论

2.1 不同品种梨酒的酚类物质种类和含量

参照酚类物质混合标准品色谱图(图 1)的出峰时间,在 11 个品种梨酿制的梨酒中共分离鉴定出 10 种酚类物质,出峰时间依次是 3,4-二羟基苯丙氨酸、熊果苷、没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素、芦丁和槲皮素。图 2 为酚类物质含量适中、具有代表性的雪花梨酒的色谱图。

由表 1 可知:

(1) 南果梨酒酚类物质总量最高,为 $316.35 \mu\text{g/mL}$,早酥红、新高、雪青梨酒次之,分别为 92.07 , 88.67 , $85.37 \mu\text{g/mL}$,晚秀和雪花梨酒接近,分别是 78.02 , $76.86 \mu\text{g/mL}$,秋月和黄冠梨酒接近,分别是 60.58 , $59.77 \mu\text{g/mL}$,鸭梨、南水和红香酥梨酒最低,分别为 44.37 , 40.91 , $37.70 \mu\text{g/mL}$ 。南果梨酒比较特别,不但其酚类物质的总量最高,并且熊果苷、绿原酸、儿茶素、表儿



1. 3,4-二羟基苯丙氨酸 2. 熊果苷 3. 没食子酸 4. 原儿茶酸
5. 儿茶素 6. 绿原酸 7. 咖啡酸 8. 表儿茶素 9. 芦丁 10. 槲皮素

图 1 10 种酚类物质混合标准品的 HPLC 色谱图

Figure 1 HPLC chromatogram of 10 kinds of phenolic standards

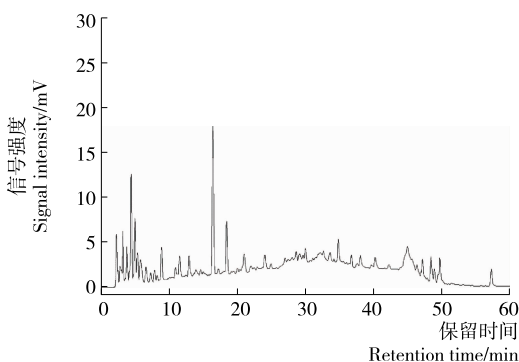


图 2 雪花梨酒酚类物质 HPLC 色谱图

Figure 2 HPLC chromatograms of phenolic compounds in 'Xuehua' pear wine

茶素含量在 11 个品种梨酒中均最高。

(2) 熊果苷在 11 个品种梨酒中含量均最高,占酚类物质总量的 $37\% \sim 68\%$,变异系数为 97.92% ,其中在南果梨酒中含量最高,达到 $188.765 \mu\text{g/mL}$,但所占比例并非最高。在南水梨酒中含量最低,仅为 $16.694 \mu\text{g/mL}$,但所占比例并非最低。

(3) 儿茶素在鸭梨、雪梨、雪青、早酥红和黄冠梨酒中含量排第二,在其他品种梨酒中含量排第三,其变异系数为 71.18% ,在南果梨酒中含量最高,为 $30.34 \mu\text{g/mL}$,在红香酥梨酒中含量最低,为 $1.14 \mu\text{g/mL}$ 。

(4) 3,4-二羟基苯丙氨酸在南果梨、红香酥、晚秀、南水和高梨酒中含量排名第二,在其他品种梨酒中含量排第三。其变异系数为 32.33% ,在秋月梨酒中含量最高,为 $15.70 \mu\text{g/mL}$,鸭梨酒中含量最低,为 $5.07 \mu\text{g/mL}$ 。

(5) 绿原酸的变异系数最大为 264.70% ,仅在南果梨酒中含量高达 $66.17 \mu\text{g/mL}$,仅次于熊果苷,排名第二;在雪梨酒中含量为 $5.61 \mu\text{g/mL}$,在其他品种梨酒中则含量

表 1 不同品种梨酒的酚类物质组成

Table 1 Phenols in different pear wine

μg/mL

梨酒名称	3,4-二羟基 苯丙氨酸	熊果苷	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	绿原酸	咖啡酸	表儿茶素	芦丁	槲皮素	总量
鸭梨	5.07	22.61	1.38	0.36	10.66	1.55	0.28	1.65	0.19	0.299	44.37
雪梨	7.38	40.50	1.82	0.81	15.20	5.61	0.07	1.52	3.44	0.123	76.86
南果梨	7.85	188.77	2.15	3.37	30.34	66.17	1.05	14.56	1.73	0.350	316.35
红香酥	8.85	22.02	1.82	0.31	1.14	0.43	0.32	0.93	0.60	1.012	37.70
雪青	8.60	57.47	3.39	1.49	9.12	0.53	0.25	1.58	1.55	0.992	85.37
晚秀	13.50	46.11	2.75	3.58	8.52	0.52	0.39	1.29	0.70	0.156	78.02
南水	14.67	16.69	2.16	0.89	2.96	1.42	0.16	0.66	0.94	0.150	40.91
新高	10.65	52.99	4.11	2.10	8.83	0.67	1.25	4.99	1.67	0.981	88.67
秋月	15.70	23.63	2.47	4.01	6.06	2.23	0.86	3.99	1.04	0.122	60.58
早酥红	10.48	51.45	1.50	3.49	20.58	1.70	0.22	0.95	0.60	0.607	92.07
黄冠	8.78	22.54	2.36	3.55	17.46	0.43	0.62	1.72	0.96	0.502	59.77
变异系数/%	32.33	97.92	34.61	66.77	71.18	264.70	79.25	131.31	72.28	75.81	87.82

较低,不足 3 μg/mL。

(6) 表儿茶素的变异系数为 131.31%,在南果梨酒中依然表现突出,含量高达 14.557 μg/mL,在新高和秋月梨酒中含量分别为 4.99,3.99 μg/mL;在其他品种梨酒中含量不足 2 μg/mL。

(7) 没食子酸、原儿茶酸、芦丁的含量在 11 个品种梨酒中均不足 5 μg/mL,咖啡酸和槲皮素含量甚至不足 2 μg/mL。原儿茶酸、儿茶素、咖啡酸和芦丁、槲皮素的变异系数为60%~80%,品种间差异明显。3,4-二羟基苯丙氨酸和没食子酸的变异系数分别是 32.33%和 34.61%,品种间有一定差异。

2.2 不同品种梨酒对 DPPH·清除能力的比较

清除 DPPH·是最为常见的体外检测抗氧化剂清除自由基的方法^[15]。不同品种梨酿制梨酒对 DPPH·的清除能力不同(图 3),按清除率大小依次是南果梨酒>新高梨酒>秋月梨酒>南水梨酒、雪青梨酒、晚秀梨酒、黄冠梨酒、雪梨梨酒>鸭梨梨酒、红香酥梨酒、早酥红梨酒。

酚类物质是葡萄酒中的主要抗氧化成分^[16]。为了研究酚类物质和 DPPH·清除率的关系,对不同品种梨酒中这 11 个变量进行偏最小二乘回归分析(PLS),建立如下方程:

$$S = 26.6251 + 0.0136 \times X_1 + 0.0428 \times X_2 + 8.6957 \times X_3 + 0.5060 \times X_4, \quad (2)$$

式中:

S——梨酒对 DPPH·清除率,%;

X₁——熊果苷,μg/mL;

X₂——绿原酸,μg/mL;

X₃——咖啡酸,μg/mL;

X₄——表儿茶素,μg/mL。

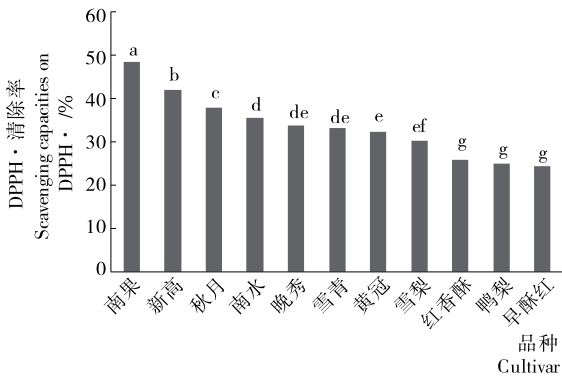


图 3 不同品种梨酒对 DPPH·的清除能力比较

Figure 3 Comparison of scarving capacity of DPPH radicals of different pear wine

由方程可知,对清除 DPPH·有贡献的酚类物质有熊果苷、绿原酸、咖啡酸和表儿茶素[VIP>0.8(VIP, variable importance for projection, 变量对于结果的重要性)]。

酚酸具有良好的抗氧化活性,特别是具有邻位羟基结构的酚酸^[17]如咖啡酸,在本研究中由于其在 PLS 方程中系数最大,因此认为它对 DPPH·清除率贡献最大。

酚类物质的抗氧化性与其结构有关^[18]。它特有的酚羟基结构,具有供电子作用,通过提供活泼的氢捕捉机体内活性氧等自由基,阻断了自由基对机体的损伤。一般认为具有如下结构的酚类物质清除自由基能力强:① 不饱和 C 环上有 3-羟基基团;② C 环有 2,3-双键、3-羟基基团和 4-酮基基团;③ B 环有邻位羟基基团,并且羟基没有被糖化。表儿茶素满足第一和第三个结构条件,所以具有强抗氧化性,在方程中显示出对清除 DPPH·具有重要贡献。绿原酸是由咖啡酸和奎宁酸缩合而成的酯,属

于酚类化合物。由于分子具有邻二酚羟基,因此具有强还原性而易被自由基氧化^[19],从而表现出很好的自由基清除能力。

在苹果的酚类物质中,表儿茶素抗氧化能力最强^[20],卢娟芳等^[21]报道在其研究的多个桃品种中,早露蟠桃含有的表儿茶素含量极高(238.79 $\mu\text{g/g} \cdot \text{FW}$),绿原酸含量一般(42.69 $\mu\text{g/g} \cdot \text{FW}$),但抗氧化能力最强,也说明了表儿茶素的抗氧化能力高于绿原酸。在本研究的 PLS 方程中,表儿茶素的系数远大于绿原酸,印证了这一观点。

除了羟基位置,羟基数目也影响抗氧化活性。羟基数目越多,可提供的氢原子越多,抗氧化活性越强^[22]。熊果苷分子具有 4 个酚羟基基团,在本试验中对 DPPH·清除率具有一定贡献。没食子酸和原儿茶酸分别具有 3 个和 2 个酚羟基基团,对 DPPH·清除率的贡献均小于熊果苷(VIP<0.8),因此未能进入方程。

3 结论

(1) 在 11 个品种梨酿制的梨酒中共分离鉴定出 10 种酚类物质。熊果苷在 11 个品种梨酒中含量均最高,其次是儿茶素和 3,4-二羟基苯丙氨酸。绿原酸、表儿茶素仅在南果梨酒中含量较高,在其他品种梨酒中含量均较低。没食子酸、原儿茶酸、芦丁的含量在 11 个品种梨酒中均不足 5 $\mu\text{g/mL}$,咖啡酸和槲皮素含量甚至不足 2 $\mu\text{g/mL}$ 。南果梨酒酚类物质总量最高,为 316.35 $\mu\text{g/mL}$,鸭梨、南水和红香酥梨酒最低,分别为 44.37, 40.91, 37.70 $\mu\text{g/mL}$ 。

(2) 目前关于葡萄酒酚类物质的报道^[23-25]大多是红葡萄酒,而对白葡萄酒的酚类物质研究则少有文献报道。研究者^[18]在“西拉”“蛇龙珠”“赤霞珠”所酿制的新鲜干红葡萄酒中,分离检测出了 28 种酚类物质,其中含量较高的酚类物质有龙胆酸、没食子酸、*p*-羟基苯甲酸、儿茶素、表儿茶素、杨梅素、槲皮甙等。由于红葡萄酒采用带皮发酵工艺,葡萄皮中富含的酚类物质,赋予了其丰富的多酚。而本研究所用梨酒为了保持梨酒的色泽和口感,参照了白葡萄酒去皮发酵的酿造工艺,因此梨酒的酚类物质组成和含量与红葡萄酒相差很多,期望后续有白葡萄酒的酚类物质研究报道和梨酒做此方面的比较。

(3) 不同品种梨酒对 DPPH·的清除能力不同,依次是南果梨酒>新高梨酒>秋月梨酒>南水梨酒、雪青梨酒、晚秀梨酒、黄冠梨酒、雪梨梨酒>鸭梨梨酒、红香酥梨酒、早酥红梨酒。通过 PLS 分析得知,对清除 DPPH·有贡献的酚类物质有熊果苷、绿原酸、咖啡酸和表儿茶素。

本试验仅就梨酒对 DPPH·清除能力进行了测定,为了更好地评价梨酒的抗氧化能力还需要从清除羟自由基、超氧自由基等方面进行测定。同时本研究采用软件分析得出对清除 DPPH·有贡献的酚类物质,未来随

着分离浓缩技术的进步,有望实现对低含量酚类物质的提取分离,从而验证其对自由基的清除能力,为开发保健品或药品提供新的原材料。

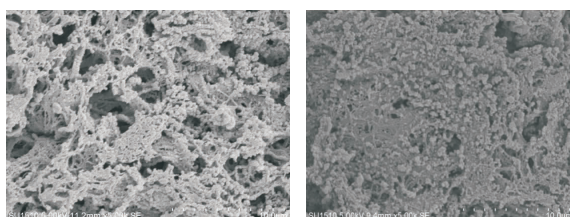
参考文献

- [1] 杜金华,夏秀梅. 酚类物质在红葡萄酒中的作用[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2001(2): 48-50.
- [2] 李莉峰,叶春苗,韩艳秋. 南果梨酒发酵工艺优化及其主要香气成分变化分析[J]. 保鲜与加工, 2018(1): 64-70.
- [3] 吴姗,张亚南,王小标,等. 响应面法优化乳清梨酒发酵工艺的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 108-111.
- [4] 赵国群,关军锋. 高产 γ -氨基丁酸酿酒酵母的筛选及其在梨酒酿制中的应用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 173-176.
- [5] 赵国群,张晓腾,赵一凡,等. 冰梨酒酿酒酵母的筛选[J]. 中国酿造, 2017, 36(6): 76-80.
- [6] 李丽梅,郑振山,何近刚,等. 不同品种梨酒挥发性成分的 SPME-GC-MS 结果比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 314-317.
- [7] 周文杰,王鹏,詹萍,等. 香气活度值法结合 PLSR 用于梨酒特征香气物质筛选与鉴定[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 138-143.
- [8] 王景涛,李雪梅,李丽梅. 不同品种梨所酿梨酒的品质比较[J]. 河北农业科学, 2015(6): 87-91.
- [9] 赵国群,赵一凡,张晓腾,等. 基于主成分与聚类分析的梨酒品质分析与综合评价[J]. 中国酿造, 2018(2): 111-116.
- [10] 李丽梅,赵哲,何近刚,等. 不同品种梨果实酚类物质和抗氧化性能分析[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 83-88.
- [11] 曾少敏,杨健,王龙,等. 梨果实酚类物质含量及抗氧化能力[J]. 果树学报, 2014, 31(1): 39-44.
- [12] 蒋宝,罗美娟,张振文. 黄土高原地区酿酒葡萄果实多酚物质及抗氧化活性分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(3): 163-168.
- [13] 孟江飞,杨学威,房玉林,等. 不同采收期对梅尔诺葡萄和葡萄酒酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(10): 155-162.
- [14] 孙翔宇,杜国荣,马婷婷,等. 陕西省售国产葡萄酒中多酚类物质的特征与抗氧化能力分析[J]. 现代食品科技, 2014(8): 242-250.
- [15] TAKAKO Yokozawa, ERBO Dong, TAKAKO Nakagawa, et al. In vitro and in vivo studies on the radical-scavenging activity of tea[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1998, 46(6): 2 143-2 150.
- [16] 房玉林,孟江飞,张昂,等. 罐储时间对赤霞珠葡萄酒中酚类化合物及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 14-20.
- [17] 陈莹,徐抗震,宋纪蓉,等. 酚酸抗氧化活性的理论计算[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 36-39.

(下转第 172 页)

因此该处理方式下的鸭血豆腐的品质优于其他组。

(3) 微观结构: 较强凝胶强度形成的原因是存在规则的结构。由图 2 可以观察到天然状态下形成的鸭血凝胶体系是由纤维蛋白形成的错综复杂的网状结构, 孔径较大、杂乱无章, 水分容易渗漏。这种粗糙、不规则的网状结构会导致不理想的硬度、口感。加入 0.25% TG、40℃ 下保温 30 min 的鸭血凝胶中蛋白质交联、堆积在自身凝胶体系中, 形成更均一、紧密的网络结构, 该凝胶结构网孔变小, 能够有效包合水分, 防止鸭血豆腐脱水皱缩^[12], 也赋予产品较好的可塑性。



(a) 空白组 (b) 0.25% TG+40℃保温30 min
图 2 鸭血豆腐的扫描电镜图

Figure 2 Scanning electron micrographs of duck blood curd by different methods ($\times 5\ 000$)

3 结论

利用单因素试验研究了加酶量、保温时间对鸭血豆腐的质构、颜色、持水性等指标的影响, 通过两因素三水平正交试验对条件进行优化, 确定最佳的酶处理方式: 添加 0.25% TG 并在 40℃ 下保温 30 min。利用此优化条件进行实验验证, 最终所得鸭血豆腐的持水性提高、胶着性、内聚性等质构特性得到明显改善。食用胶具有改善蛋白热诱导凝胶的特性, 后续可进一步探究谷氨酰胺转氨酶与食用胶复配对鸭血豆腐品质的影响。

参考文献

- [1] 李鹏, 王宝维, 孙京新. 超声波处理对鸭血豆腐品质的影响[J]. 肉类工业, 2017(6): 30-33.
- [2] 郑亚美, 王宇, 尚永彪. 酶法制备猪血热诱导凝胶的配方优化[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 322-326.
- [3] LI Qing-chen, GUI Ping, HUANG Zhan, et al. Effect of transglutaminase on quality and gel properties of pork and fish mince mixtures[J]. Journal of Texture Studies, 2018, 49(1): 56-64.
- [4] 陈菲. 鸭血豆腐加工工艺优化及品质改善技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [5] 王芳, 贾万利, 李会珍. 谷氨酰胺转氨酶对猪血浆蛋白凝胶特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2013(8): 52-56.
- [6] ROHRER G A, NONNEMAN D J, MILLER R K, et al. Association of single nucleotide polymorphism (SNP)

markers in candidates genes and QTL regions with pork quality traits in commercial pigs[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 511-518.

- [7] 杨明, 文勇立, 王建文, 等. 牦牛与黄牛背长肌与肱二头肌宰后色差变化及差异性分析[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 104-108.
- [8] WANG Peng, XU Xing-lian, HUANG Ming, et al. Effect of pH on heat-induced gelation of duck blood plasma protein[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35(1): 324-331.
- [9] MAJUMDAR R K, SAHA A, DHAR B, et al. Effect of garlic extract on physical, oxidative and microbial changes during refrigerated storage of restructured product from Thai pangas (pangasianodon hypophthalmus) surimi[J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(12): 7 994-8 003.
- [10] HAN Min-yi, ZHANG Ying-jun, FEI Ying, et al. Effect of microbial transglutaminase on NMR relaxometry and microstructure of pork myofibrillar protein gel[J]. European Food Research & Technology, 2009, 228(4): 665-670.
- [11] 李银, 李侠, 张春晖, 等. 利用低场核磁共振技术测定肌原纤维蛋白凝胶的保水性及其水分含量[J]. 现代食品科技, 2013(11): 2 777-2 781.
- [12] 杨雪松, 孙杨赢, 潘道东, 等. 阿拉伯胶、瓜尔豆胶复配对鸭血凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 26-32.

(上接第 156 页)

- [18] 孙庆雷, 王晓, 刘建华, 等. 黄酮类化合物抗氧化反应性的构效关系[J]. 食品科学, 2005, 26(4): 69-73.
- [19] 李会军, 李萍, 张重义, 等. 金银花中药提取物清除自由基的作用[J]. 中国药科大学学报, 2002, 33(6): 496-498.
- [20] RYSMAN T, UTRERA M, MORCUENDE D. Apple phenolics as inhibitors of the carbonylation pathway during in vitro metalcatalyzed oxidation of myofibrillar proteins[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 784-790.
- [21] 卢娟芳, 刘盛雨, 芦旺, 等. 不同类型桃果肉酚类物质及抗氧化活性分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(16): 3 205-3 214.
- [22] 孙建平, 张文娜, 段长青. 葡萄酒中酚类物质抗氧化活性及构效关系[J]. 中国食品工业, 2005(10): 54-55.
- [23] 孟江飞, 杨学威, 房玉林, 等. 不同采收期对梅尔诺葡萄和葡萄酒酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(10): 155-162.
- [24] 张国栋, 胡博然. 不同发酵工艺对红葡萄酒酚类物质和抗氧化性的影响[J]. 食品科技, 2015(2): 56-60.
- [25] 宋建强, 梁海忠, 姜文广, 等. 果穗日光暴露对葡萄酒酚类物质和感官品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 137-141.