

猕猴桃果酒风味物质研究进展

张鑫,左勇*,张晶,孙时光,何颂捷,秦世蓉,邵良伟
(四川理工学院生物工程学院,四川自贡 643000)

摘要:猕猴桃果酒中的风味物质主要受猕猴桃品种、成熟度、酵母选择、发酵条件及陈酿条件等因素的影响,风味物质的种类、含量及比例关系决定着猕猴桃果酒的品质以及风味的协调性及典型性。本文结合目前国内外猕猴桃果酒的研究现状,从猕猴桃果酒风味物质的种类、含量、作用以及影响因素进行论述,并对猕猴桃果酒风味物质的后续研究提出展望。

关键词:猕猴桃果酒,风味物质,影响因素,展望

Research Progress of the Flavor Compounds in Kiwifruit Wine

ZHANG Xin, ZUO Yong*, ZHANG Jing, SUN Shi-guang, HE Song-jie, QIN Shi-rong, SHAO Liang-wei

(School of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The flavour substances in kiwifruit wine are mainly affected by kiwifruit varieties, maturity, selection of yeast, fermentation conditions and aging conditions. The quality and typicality of Kiwifruit wine flavour is determined by the type, content and proportion of flavor substances. In this paper, the species, content, effect and influencing factors were reviewed based on the domestic and abroad research data, and put forward expectation of follow up study of kiwifruit wine flavour subatances.

Key words: kiwifruit wine; flavor compounds; influnce factors; expection

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)17-0305-04

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.051

引文格式: 张鑫,左勇,张晶,等.猕猴桃果酒风味物质研究进展[J].食品工业科技,2018,39(17):305-308.

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)属猕猴桃科(*Actinidiaceae*)猕猴桃属(*Actinidia*),又名奇异果、中国醋梨、羊桃等,为浆果类落叶藤本植物,在世界上多个国家均有种植^[1]。猕猴桃富含多种营养物质,如多种氨基酸、矿物质、有机酸、V_C等,有着“V_C之王”的美称^[2]。猕猴桃果酒是以猕猴桃果实为原料,通过酒精发酵酿制而成的一种含有酒精的饮料,因其口感独特、香气怡人、营养丰富而受到广大消费者的青睐。

风味物质是衡量果酒品质的一个重要指标,新鲜的果香和醇厚的酒香能够加深消费者对果酒的认可度,提高产品的竞争力。因此,针对猕猴桃果酒的风味成分,研究其生产工艺和品质调控,有着重要意义。本文通过对猕猴桃果酒风味物质的种类、含量以及影响因素进行分析,并对猕猴桃果酒风味物质的研究做初步归纳总结,以期能为猕猴桃果酒研究提供一定的参考。

1 猕猴桃果酒中主要的风味物质

目前,国内外研究人员经过前期研究已经分析出猕猴桃果酒中含有多种风味物质,根据其化学结构的不同,主要分为醇类、酯类、有机酸类、挥发性

酚,另外还有一些醛酮类、萜烯类物质等^[3-6]。通过分析,每一类化合物对猕猴桃果酒的风味贡献都不一样,风味物质的种类、含量及比例关系决定着猕猴桃果酒的品质以及风味的协调性与典型性^[7]。

1.1 醇类

在猕猴桃果酒的风味物质中,醇类化合物是酵母发酵的主要产物,主要包括乙醇、2-甲基-1-丁醇、2-苯乙醇、2,3-丁二醇、异丁醇和甲醇等^[3]。研究发现,乙醇是果酒中最重要的成分,含量较高且具有甜味,具有挥发性的同时也是许多非挥发性物质的载体^[8];2-甲基-1-丁醇具有水果香和青草的气味,在形成猕猴桃果酒基本香气中有着重要作用;苯乙醇具有玫瑰香、紫罗兰香、茉莉花香等多种风味^[9],可能是构成猕猴桃酒香气的主要成分之一。在醇类物质中,高级醇对酒香的丰富度有着重要的贡献,对猕猴桃果酒香气有着积极的作用,但是过量的高级醇(≥ 0.15 g/100 mL,以乙醇计)则会影响酒的品质,甚至对人体产生危害^[10-11]。

1.2 酯类

酯类物质是由醇和酸通过酯化反应生成的,主

收稿日期:2017-10-19

作者简介:张鑫(1993-),男,硕士,主要从事发酵食品方面的研究,E-mail:zxin0022@163.com。

*通讯作者:左勇(1972-),男,硕士,教授,主要从事发酵食品方面的研究,E-mail:sgzuoyong@tom.com。

基金项目:四川省科技厅产业链项目(2016FZ0034);四川省企业技术创新项目(2015XM122)。

要包括乙酸乙酯、癸酸乙酯、丙酮酸异戊酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙基酯、月桂酸乙酯、乙酸己酯和乳酸乙酯等^[12]。由于酯类特有的类似水果香味,能够赋予果酒愉悦的芳香味道,因此该类在猕猴桃果酒香气成分中占重要位置。

1.3 有机酸类

有机酸类物质在猕猴桃酒的挥发性成分中仅次于醇类和酯类物质,但是由于闻香阈值很高,所以对猕猴桃果酒的香气贡献并不大^[13]。猕猴桃果酒中的有机酸类主要包括柠檬酸、苹果酸、酒石酸等^[3]。酸类物质对于猕猴桃果酒风味的影响主要体现在口感方面,适量的有机酸使酒体醇厚清爽,带给人清新、愉悦的心情,而有机酸含量过高,会造成酒体尖酸粗糙,使人难以下咽^[14]。

1.4 多酚类

多酚不但是猕猴桃果酒中重要的功能成分之一,同时也对猕猴桃果酒的色泽和风味产生影响^[15]。猕猴桃果酒中的酚类物质根据化学结构的不同可分为黄酮类和非黄酮类^[16-17]。黄酮类主要分为黄酮醇类和黄烷-3-醇类,黄酮醇类包括槲皮素、金丝桃苷和槲皮苷等;黄烷-3-醇类包括原儿茶素、儿茶素和表儿茶素等。非黄酮类物质分为羟基苯甲酸类和羟基肉桂酸类,羟基苯甲酸类包括对羟基苯甲酸、没食子酸等;羟基肉桂酸类包括香草酸、绿原酸、咖啡酸、香豆酸和阿魏酸等^[18-19]。猕猴桃果酒中的多酚类物质具有抗氧化、预防癌症、软化心脑血管等作用,受到研究人员的关注而成为一个研究热点。

1.5 萜烯类

萜类化合物的相对含量和嗅觉阈值都很低,因此其香气阈值很高^[20],且香味十分独特,都极有可能是猕猴桃果酒特征香气成分,在猕猴桃果酒香气形成中有着不可忽视的作用^[5]。猕猴桃果酒中的萜烯类物质主要包括 α -松油醇和里哪醇,其中 α -松油醇具有松木和丁香类香气;里哪醇具有强烈的铃兰香气和木香香调^[5]。

2 猕猴桃果酒中风味物质的来源

猕猴桃果酒风味物质的来源多样,既有直接源于猕猴桃果实的,又有猕猴桃果酒酿造不同工艺阶段产生的,同时陈酿阶段也会对猕猴桃果酒的风味物质有一定贡献。猕猴桃果酒的香气主要由果香和酒香两部分构成。果香又称为品种香气或原始酒香,直接与原料含有的芳香物质的总体香气相关,属于一类香气。酒香又包括发酵香和陈酿香,是二类香气和三类香气的总称;二类香气又称为发酵香,是在果酒发酵过程中形成的所有香气物质的总体香;三类香气又称为醇香,是果酒在陈酿过程中形成的。典型、纯正的果酒香气由一类香气、二类香气和三类香气协调构成^[21]。

2.1 猕猴桃果实的香气物质

猕猴桃果实的风味物质与其质量有着密切的关系^[22-23],研究发现,不同种类的猕猴桃果实风味物质有很大差别。通过溶液萃取法提取到的中华猕猴桃果实风味物质,经GC-MS分,共鉴定出45个香气组

分,以棕榈酸、辛酸、油酸、2-己烯醛等为主^[24]。秦美和海沃德猕猴桃主要香气物质构成种类基本相同,其含量分布存在差异。其中,乙酸乙酯、乙醇、丁酸甲酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、正己醇、(E)-2-己烯-1-醇等8种化合物是猕猴桃中的主要香气物质,对猕猴桃特征风味的形成具有重要作用^[25]。

2.2 猕猴桃果酒发酵过程形成的香气物质

猕猴桃果酒在发酵过程中,酵母将糖转化为酒精同时产生出许多果实中不存在的香气物质,主要物质是高级醇、脂肪酸及其酯类等^[3],这些物质对于猕猴桃果酒质量有着重要影响。在研究秦美猕猴桃果酒发酵前后的风味物质变化规律时发现,发酵后酯类风味物质由17种增加至36种,醇类物质由发酵前的17种增加至22种,一些重要的醇类风味物质如丙醇、丁二醇、苯乙醇等在发酵过程中生成,而醛酮类物质由11种减少为9种,猕猴桃果实的部分特征风味物质如己烯醛类、丁酸乙酯等减少或消失,发酵前后酸的种类变化较大,因此猕猴桃果酒的香气物质主要是在发酵过程中产生的^[26]。

2.3 猕猴桃果酒陈酿过程形成的香气物质

陈酿的本质是酒中相关微量成分在物理上的分子重排与化学上的氧化和合成的过程^[27]。陈酿后的香气又称为醇香,在陈酿过程中,猕猴桃果酒内的各种风味物质逐渐趋于平衡、稳定,对于猕猴桃果酒整体香气感官质量的形成有着不可忽视的重要作用,因此,猕猴桃果酒的陈酿是猕猴桃果酒酿造工艺中的重要环节。研究表明,陈酿前后猕猴桃果酒中含量较高的风味物质变化不大,而微量特征风味物质变化较大^[28]。

3 影响猕猴桃果酒风味物质组成的因素

影响猕猴桃果酒风味物质的因素有很多,主要包括猕猴桃果实的品种和成熟度、猕猴桃果酒发酵菌种的选择及发酵参数控制、后期陈酿条件等。

3.1 猕猴桃品种对果酒风味物质的影响

目前,国内用于酿酒的猕猴桃原料大体分为野生猕猴桃和种植猕猴桃两类。不同猕猴桃品种营养成分存在着较大的差异,野生猕猴桃酸度更高,但是糖度和出汁率略低于种植猕猴桃,这些因素的不同导致酿造出的猕猴桃果酒风味成分存在较大的差异。用野生猕猴桃作为原料酿造的猕猴桃干酒,在主要的香气物质含量及比例方面与种植猕猴桃为原料酿造的果酒有着较大的区别^[29]。通过香气成分测定与感官品评相结合,对秦美、金香、海沃德不同品种猕猴桃果酒风味物质分析,酿造酒用的这三种猕猴桃优劣顺序为:秦美>金香>海沃德^[26]。总体而言,出汁率高、糖度高、总酸含量适中、果香浓郁的品种作为原料酿造的果酒,风味物质更加丰富。

3.2 猕猴桃成熟度对果酒风味物质的影响

猕猴桃的成熟度是影响猕猴桃果实风味物质含量和种类的重要因素,猕猴桃果实中的风味物质随着果实的发育而产生。研究表明,海沃德和美味猕猴桃在果实发育的初期,香气成分以醇类、杂环类、烃类物质为主,酯类和醛类物质含量很低;从硬果期

到食用期,挥发性酯类、3-戊酮和乙烯会逐渐增加, C_6 醛类、 C_6 醇类和乙醇的含量则很少变化;在新鲜成熟的采后果实中,乙酯是整体挥发物质中的主要成分^[30-31]。此外,成熟度还会影响猕猴桃果实中糖度和酸度的比值,这个比值会影响果酒中的风味物质含量,一般来说最适宜的比值在 7.4~11 左右^[3]。因此,不同阶段的猕猴桃,其风味物质的差别较大,将影响果酒风味物质的组成。

3.3 发酵菌种对猕猴桃果酒风味物质的影响

猕猴桃通过酵母菌发酵生成香气怡人、质地清爽的果酒,但由于不同酵母的特性不同,代谢产物也不同,产生的香气种类和含量也各异^[32]。多数猕猴桃果酒发酵采用传统的葡萄酒酿造酵母或商业酵母发酵,但由于猕猴桃具有酸度高、含糖量低等特点,因此很多菌种都不适合猕猴桃果酒的酿造,难以发挥出猕猴桃果酒自身的独特风味^[33]。

目前,国内对猕猴桃果酒发酵菌种的研究主要集中在优良传统酿酒酵母的自然筛选以及通过育种技术育种,以期得到发酵性能明显提高的菌株^[34-35]。除此之外,在发酵过程中,非酿酒酵母的代谢与发酵作用也会影响着果酒的成分与风味品质。非酿酒酵母除参与代谢果汁生成甘油、高级醇、各种挥发性化合物外,还能产生多种胞外酶,如 β -葡萄糖苷酶、 β -葡聚糖酶、纤维素酶、木聚糖酶、果胶酶、多糖酶、淀粉酶等^[36]。这些酶类作用于发酵醪液中的相关底物,对果酒的组分和风味产生影响^[37]。研究发现,在猕猴桃果酒发酵过程加入植物乳杆菌和酒球菌,猕猴桃果酒中的挥发性物质的种类和含量都会有明显的增加,尤其是其中醇类和酯类的增加会使猕猴桃果酒的香气更加丰富,同时能够降低苹果酸、柠檬酸等有机酸的含量^[38-39],丰富猕猴桃果酒的风味物质。

3.4 发酵条件对猕猴桃果酒风味物质的影响

在猕猴桃果酒生产过程中,发酵参数控制的不同,也将引起风味物质的不同。研究表明,发酵温度、发酵液初始 pH、接种量、 SO_2 添加量等因素是影响猕猴桃果酒风味物质的主要因素,其中温度和初始 pH 分别是影响醇类和酯类物质含量的主要因素; SO_2 添加量和发酵温度是影响多酚含量的主要因素^[7,40]。在研究中,通过带皮渣发酵、浑浊汁发酵、清汁发酵三种不同方式发酵生产猕猴桃果酒,其中,带皮渣发酵的猕猴桃果酒风味物质最为丰富,这可能是由于皮渣中的黄酮类物质进入了猕猴桃果酒当中^[29],故风味物质更多。在猕猴桃果酒发酵过程中添加适量 SO_2 ,不但能够让猕猴桃果酒具有浓郁葡萄果味的典型特征风格,而且可以延长果酒成品的货架期^[41]。

3.5 陈酿条件对猕猴桃果酒风味物质的影响

在猕猴桃果酒陈酿期间,温度和氧气是影响陈酿质量的主要因素,温度过高会加速酒的老化缩短酒的储藏期,温度过低则会减缓陈酿的过程;微量的氧气会使酒的风味发生变化,适量的氧气能够改善酒的质感、色泽和香气,而过量的氧气则会给不良菌的生长提供条件,引起果酒早熟甚至导致果酒变

质^[42]。此外,在猕猴桃果酒陈酿期间,为了保证风味物质的含量,可通过添加谷胱甘肽,可以有效减少醇类、酯类、酸类以及萜烯类和 C_{13} -降异戊二烯衍生物的逸散^[43]。为了提高猕猴桃果酒的陈酿效果,还可利用低频、高功率、较高温度的超声处理,能提高果酒陈酿过程中总酸和总酚的含量^[44]。

4 展望

目前,通过对猕猴桃果酒中的主要风味物质种类、风味物质的来源,以及影响猕猴桃果酒风味物质组成因素的研究,丰富了猕猴桃果酒的酿造工艺与理论,为提高猕猴桃果酒的果香质量奠定了基础,但是,在猕猴桃果酒风味物质研究中,哪些是风味物质的前体物质,前体物质如何转换,风味物质间的相关性,以及与猕猴桃果酒的特征风味物质关联情况,是猕猴桃果酒生产中遇到的新课题,今后有待进一步研究。

参考文献

- [1] 刘世珍. 中华猕猴桃的营养价值[J]. 中国食物与营养, 2003(5): 47-48.
- [2] 王栋, 刘中申, 肖盈. 国内外猕猴桃的研究及应用进展[J]. 中医药信息, 1995(4): 29-31.
- [3] Soufleros E H, Pissa I, Petridis D, et al. Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition [J]. Food Chemistry, 2001, 75(4): 487-500.
- [4] Heatherbell D A. Identification and quantitative analysis of sugars and non-volatile organic acids in Chinese gooseberry fruit (*Actinidia chinensis* planch.) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 26(6): 815-820.
- [5] 郭静, 岳田利, 袁亚宏, 等. 基于 SPME-GC/MS 的猕猴桃酒香气成分研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 89-93.
- [6] 黎星辰, 马力, 曹琳, 等. 不同酿酒酵母发酵猕猴桃酒香气成分研究[J]. 食品科技, 2016(7): 72-82.
- [7] 彭帮柱, 岳田利, 袁亚宏, 等. 猕猴桃酒酿造工艺参数优化及其香气成分分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 229-232.
- [8] Bakker J, Clarke R J. Wine flavour chemistry [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2004, 40(5): 574-576.
- [9] 李华, 陶永胜, 康文怀, 等. 葡萄酒香气成分的气相色谱分析研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(1): 99-104.
- [10] 魏运平. 低产高级醇猕猴桃酒酵母菌株的筛选[D]. 无锡: 江南大学, 2004.
- [11] 裴婷婷, 兰彦平, 周连第, 等. 果酒中高级醇形成及其控制[J]. 酿酒科技, 2011(3): 24-26.
- [12] 陈亮, 危晴, 辛秀兰, 等. 不同酵母发酵对猕猴桃果酒香气成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2015(5): 100-106.
- [13] 王淋靓, 艾静汶, 刘功德, 等. 朗姆酒风味物质的研究进展[J]. 中国酿造, 2014, 33(9): 9-12.
- [14] 康孟利, 凌建刚, 林旭东. 果酒降酸方法的应用研究进展[J]. 现代农业科技, 2008(24): 25-26.
- [15] Bursal E, Gulcin I. Polyphenol contents and *in vitro* antioxidant activities of lyophilised aqueous extract of kiwifruit

(*Actinidia deliciosa*) [J]. Food Research International, 2011, 44 (5): 1482-1489.

[16] 黄佳. 猕猴桃酒发酵及陈酿过程中多酚及多糖的变化规律[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.

[17] 苟毓皎, 卫俊男, 王颖. 猕猴桃黄酮类物质的研究进展[J]. 现代园艺, 2017(4): 5-6.

[18] Yıldırım H K, Altındışlı A. Changes of phenolic acids during aging of organic wines [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(5): 1038-1045.

[19] 杜丽娟, 薛洁, 王异静. 反相高效液相色谱法测定猕猴桃酒中的多酚物质[J]. 酿酒, 2008, 35(1): 72-74.

[20] 文瑞明. 香料香精手册[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2000.

[21] 李华. 现代葡萄酒工艺学[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.

[22] Bartley J P, Schwede A M. Production of volatile compounds in ripening kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1989, 37(4): 1023-1025.

[23] Esti m, Messia M C, Bertocchi P, et al. Chemical compounds and sensory assessment of kiwifruit (*Actinidia chinensis* (Planch.) var. *chinensis*): electrochemical and multivariate analyses [J]. Food Chemistry, 1998, 61(3): 293-300.

[24] 李华, 李可昌. 中华猕猴桃果实香气成分的 GC-MS 分析[J]. 分析测试学报, 2002, 21(2): 58-60.

[25] 史亚歌, 岳田利, 刘拉平, 等. 猕猴桃果汁香气物质的固相微萃取 GC/MS 分析[J]. 咸阳: 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(9): 189-194.

[26] 郭静. 猕猴桃果实及果酒香气成分研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2007.

[27] 胡昌泉, 林晓姿, 何志刚, 等. 果酒香味形成与陈酿工艺[J]. 东南园艺, 2001(4): 12-14.

[28] 刘树文, 涂正顺, 李华, 等. 猕猴桃果酒陈酿期间香气成分的变化[J]. 咸阳: 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(11): 34-38.

[29] 王励治. 野生猕猴桃干酒酿造工艺及其香气成分研究

[D]. 重庆: 西南大学, 2011.

[30] 涂正顺, 李华, 王华, 等. 猕猴桃果实采后香气成分的变化[J]. 园艺学报, 2001, 28(6): 512-516.

[31] 谭皓. 猕猴桃发育过程中香气成分变化规律研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006.

[32] Antonelli A, Castellari L, Zambonelli C, et al. Yeast influence on volatile composition of wines [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(3): 1139-1144.

[33] 王中兴. 浅谈我国猕猴桃产品的开发应用[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(17): 151-152.

[34] 周元, 贵浩, 傅虹飞. 酵母菌株对猕猴桃果酒香气成分的影响[J]. 现代食品科技, 2014(12): 263-270.

[35] 罗安伟. 猕猴桃酒生香嗜杀酵母的选育[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.

[36] 朱一松, 赵光整, 帅桂兰. *Debaryomyces vanriji* 和 *Saccharomyces cerevisiae* 的混合培养及其对葡萄酒风味的影响[J]. 酿酒科技, 2003(4): 70-72.

[37] 张春晖, 李华. 葡萄酒微生物学[M]. 陕西人民出版社, 2003.

[38] 李静, 樊明涛, 孙慧辉. 植物乳杆菌对猕猴桃酒降酸效果的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 165-169.

[39] 何佳, 赵启美, 原江锋, 等. 一种利用酒球菌降低野生猕猴桃酒酸度的方法[P]. 2013.

[40] 张晶, 左勇, 谢光杰, 等. 发酵条件对猕猴桃果酒中多酚含量的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 163-167.

[41] Heatherbell D A, Struebi P, Eschenbruch R, et al. A new fruit wine from kiwifruit: a wine of unusual composition and Riesling Sylvaner character [J]. American Journal of Enology & Viticulture, 1980, 31(2): 114-121.

[42] 康文怀, 李华, 杨雪峰, 等. 微氧技术在葡萄酒陈酿中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(5): 77-81.

[43] 戚一曼, 程拯良, 樊明涛. 谷胱甘肽添加对贮藏猕猴桃香气成分的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 183-188.

[44] 叶萌祺. 苹果酒酿造过程香气物质调控及 FT-NIRS 分析方法研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.

(上接第 304 页)

源技术研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014.

[45] Kropf U, Korošec M, Bertoncelj J, et al. Determination of the geographical origin of Slovenian black locust, lime and chestnut honey [J]. Food Chemistry, 2010, 121(3): 839-846.

[46] Karabagias I K, Casiello G, Kontakos S. Investigating the impact of botanical origin and harvesting period on carbon stable isotope ratio values ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) and different parameter analysis of Greek unifloral honeys: A chemometric approach for correct botanical discrimination [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(11): 2460-2467.

[47] Wu Z, Chen L, Wu L, et al. Classification of Chinese honeys according to their floral origins using elemental and stable isotopic compositions [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(22): 5388.

[48] 胡柳花, 李沈轶, 李玉伟, 等. 利用稳定碳同位素的 EA-IRMS 分析法研究植物糖浆对蜂蜜的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 239-242.

[49] Anderson L M, Dynes T M, Berry J A, et al. Distinguishing feral and managed honeybees (*Apis mellifera*) using stable carbon isotopes [J]. Apidologie, 2014, 45(6): 653-663.

《食品工业科技》
愿为企业铺路、搭桥！