

葡萄与葡萄酒中总酚测定方法的研究进展

Research progress on determination of total polyphenols in grape and wine

牛雪 张军翔 徐国前

NIU Xue ZHANG Jun-xiang XU Guo-qian

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

摘要: 酚类物质是葡萄酒的骨架成分,也是葡萄酒保健功能的主要作用物质,所以准确测定酚类物质总量对评判葡萄酒的保健功能和判断葡萄酒品质有重要的意义。文章综述高锰酸钾法、福林酚法、普鲁士蓝法、香草醛—盐酸(硫酸)法、高效液相色谱法、蛋白质沉淀法在酚类物质测定中的应用情况,并分析其优缺点,为筛选和优化葡萄与葡萄酒总酚测定方法的研究工作提供参考。

关键词: 葡萄;葡萄酒;总酚;测定方法

Abstract: Phenols are the main components of wine and important, and are the major function substance on health care. Thus, accurate determination of total content of phenolic compounds in wines has important effect on health care and wine quality judgment. The paper summarizes potassium permanganate method, Folin-Ciocalteu, Prussian Blue assay, vanillin-hydrochloric acid (sulfuric acid), high performance liquid chromatography, and protein precipitation assays, and compares and analyze advantages and disadvantages of above methods to provide a reference for the research of ways in screening and optimizing detection of total phenols contents of wines.

Keywords: grape; wine; total phenols; assay methods

植物多酚是由芳香环和 2 个以上酚羟基组成的单体分子到高聚化合物的一类植物次生代谢产物的统称^[1]。葡萄与葡萄酒中的总酚,是葡萄与葡萄酒中多酚类物质的总量,分为色素类多酚(黄酮、花色素)和无色多酚(酚酸即单体酚、聚合多酚、单宁)^[2]。酚类物质具有弱酸性,体现在其酚羟基电离出的氢离子,所以,酚类物质在水中通常以两种形式存在,既有中性分子,也有带负电荷的酚阴离子。葡萄中大量的酚类物质存在于果皮和果梗中。葡萄酒酿造的浸渍过程可使大量的多酚类物质进入酒^[3]。

葡萄酒品质不同的一个主要原因就是多酚类物质的含量及种类的不同,酚类物质可以影响葡萄酒的涩味、苦味、香气以及色泽。酚类物质的羟基是很好的氢或中子的供应体,能起到很好的抗氧化作用,近年来白藜芦醇成为了葡萄酒研究领域的热点,因其具有松弛血管、调节脂质代谢及保护心脏等效果,同时能够调节体内新陈代谢^[4]。研究^[5]显示酚类化合物对心脏病、肥胖、癌症等一些危害人体健康的慢性疾病都具有一定的预防或治疗作用。

因此,葡萄及葡萄酒中总酚含量的检测是十分必要的,在葡萄酚类物质应用与开发的同时伴随其分析方法的不断提高和完善。近年来,分析检测多酚类物质的方法有很多,按其原理可以分为氧化还原滴定法、色谱分析法和蛋白质沉淀法三大类,均有各自的优缺点。筛选优化适合葡萄及葡萄酒中总多酚的测定方法,使其测定更加准确、快速,对葡萄酒质量的评判、更有效利用酚类物质的功效有着重要的意义。

1 氧化还原滴定法

用于总酚测定的氧化还原滴定方法主要有高锰酸钾法、福林酚法、香草醛法和普鲁士蓝法。

1.1 高锰酸钾法

高锰酸钾法是食品中总酚测定最传统的氧化滴定测定方法,其测定葡萄酒中总酚的原理是:高锰酸钾具有强氧化性,酚羟基具有还原性,两者发生氧化还原反应后,产物可与 0.1% 靛红溶液发生显色反应,使靛红溶液由蓝色变为亮黄色(即:指示终点),记录消耗的高锰酸钾的量,计算酚类物质的含量。此法具有一定的代表性,由于方法简便易行,因此被很多试验者使用^[6]。然而,强氧化性的高锰酸钾能够氧化被测溶液中的还原性物质,所以用该法测定的选择性不高,同时由于葡萄酒本身颜色的干扰,使得高锰酸钾法滴定终点不易观察,测定灵敏度降低,误差偏大,应用范围有限^[7]。张毛莉等^[8]利用高锰酸钾法对石榴皮中总多酚含量进行了测定,所得稳定性 RSD 为 1.48%,精密性 RSD 为 1.78%,重现性 RSD 为 1.26%,平均回收率 99.8%,在选择性和计算方法上都不及福林酚法,验证了上述高锰酸钾法测定总酚的

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(编号:31260392)

作者简介: 牛雪,女,宁夏大学硕士研究生。

通讯作者: 张军翔(1971—),男,宁夏大学教授,博士研究生。

E-mail: zhangjunxiang@126.com

收稿日期: 2015-09-25

缺陷。

1.2 福林酚法(F-C法)

F-C法测定总酚的原理是:在碱性条件下,多酚类物质可以把Folin-Ciocalteu试剂(F-C试剂)中的磷酸钨和钼酸还原,生成蓝色混合物,在一定范围内,其吸光度与总酚含量呈线性关系。根据原理可知,F-C试剂可以氧化酚中的羟基,被测物质内只要含有酚羟基均可以被检测出,因此该法是现在定量分析植物总酚含量的普遍方法,是中国茶中茶多酚标准检测方法^[9-10],也是国际葡萄与葡萄酒组织(OIV)和美国官方分析化学师协会(AOAC)定量分析葡萄酒或蒸馏酒精内单宁的方法^[11]。

1965年Singleton等^[12]将F-C法用于葡萄与葡萄酒总酚的测定。但是,由于当时条件的限制,测定过程耗时长,所需要的试剂和标准物质量大,且测试过程也非常繁杂。后来Bajaj等^[13]和Ainsworth等^[14]对该法进行改良,将反应液体积由最初的100 mL减少至10 mL,但测定时间并未缩短。Van Alstyne^[15]曾试图通过升高温度加速反应,来缩短反应时间,但在碱性条件下,F-C试剂随着温度升高而迅速分解,使得测试结果很不稳定。徐国前等^[16]运用二次回归正交旋转组合设计方法优化反应条件,以微量移液器为工具,建立一种简化、微量测定葡萄与葡萄酒总酚含量的方法:样品0.5 mL,1 mol/L F-C试剂0.5 mL和52 g/L碳酸钠溶液4.0 mL,在25℃下静置102 min后,于765 nm波长处测吸光度。结果表明,建立的回归模型达显著水平,吸光度和没食子酸浓度有良好的线性关系($R^2=0.9994$)、对酿酒葡萄赤霞珠与王朝干红葡萄酒样的加样回收率分别为98.4%和97.8% ($n=3$),相对标准差(RSD)分别为1.32%和2.01%。

针对常规F-C法测总酚耗时长的缺点,徐国前等^[17]基于Folin-Ciocalteu分光光度法的原理,借助微波处理,通过优化反应条件,建立了一种更加微量、快速测定葡萄与葡萄酒总酚含量的方法。试验得到体系的最佳反应条件为测试样品0.1 mL,浓度为1 mol/L的F-C试剂0.1 mL和60 g/L Na_2CO_3 溶液0.8 mL,在微波炉的中档下处理20 s后测定765 nm波长处的吸光度。该方法达到了微量快速的效果,且操作简便,为葡萄及葡萄酒总酚的测定建立了一个快速精确的新方法。

1.3 普鲁士蓝法(P-B法)

P-B法的原理也是利用了酚羟基可与氧化试剂发生氧化还原反应,生成有色化学物质,在一定范围内,有色物质含量与吸光度成线性关系测定总酚。这种方法在葡萄及葡萄酒中应用不是特别广泛,不能很好地区分样品中多酚和其他易氧化物质,因为蛋白质和游离氨基酸的存在不会对其造成太大干扰,所以测定总酚含量时可以考虑,如果样品中蛋白质含量较高,选择普鲁士蓝染色法较适合。普鲁士蓝染色法有两个相对明显的缺点是:①不够稳定,在短时间内就易形成结合物,使得对反应时间的要求很高;②温度和时间会对其光学密度造成很大影响,如果控制不好,会造成测定结果误差偏大^[18]。

Graham^[19]对P-B法进行了系统的研究,得到了维持颜

色稳定的解决方案:通过添加磷酸降低pH值,添加1%阿拉伯胶,可以络合过量的铁离子,避免沉淀物的产生。

刘松等^[20]从稳定性、最大吸收波长、线性关系等角度对P-B法进行了方法改进和验证。然后用改进的P-B法检测了胡杨枝中的总酚含量,结果为1.191%,RSD为2.840%。对于此方法应用于检测葡萄与葡萄酒总酚,还有待进一步试验研究。

1.4 香草醛—盐酸(硫酸)法

香草醛—盐酸或硫酸法,即酸化香草醛(vanillin)法,利用盐酸或硫酸为介质,测定多酚。原理^[21-22]是:花青素A环具有很高的化学活性,在盐酸或硫酸作用下,其间苯二酚和间苯三酚与香草醛发生缩合反应,产生红色络合物(正碳离子),在一定吸光度下,可定向监测原花青素含量,测定机理见图1。该方法实施的关键是使用溶剂的种类、酸的性质和浓度、反应温度和时间等。酸化香草醛法最早用于干豆中单宁的测定,后来Bate-Smith等发现香草醛—盐酸法与缩合单宁(即原花青素)可以发生特异反应。李春阳等^[23]发现香草醛—盐酸法只能测定原花青素的总含量,不适合总酚含量的快速测定。

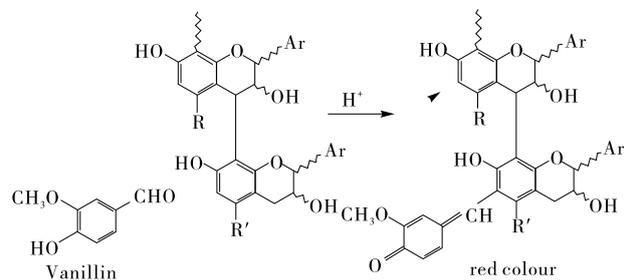


图1 香草醛与缩合单宁作用的化学反应式

Figure 1 Chemistry of the vanillin assay for condensed tannins

2 色谱分析法

2.1 气相色谱法

气相色谱法是英国生物化学家Martin等在1952年创立的一种极为有效的分离方法,可以分离、分析复杂的多组分混合物^[24-25]。近年来,该法在葡萄酒芳香物质的分离测定上发挥着重要的作用^[26-27],已经可以分析400多种挥发性的芳香物质^[28]。刘波平等^[29]建立了顶空毛细管气相色谱法测定茶多酚中正己烷、氯仿、乙酸乙酯和丙酮有机溶剂残留量的方法,该方法对上述4种有机溶剂均达到了完全分离,相关系数为0.994~0.999,检出限范围为0.065~0.268 $\mu\text{g/g}$,测定结果的相对标准偏差为0.39%~2.13%,样品的回收率为90.9%~105.3%。孙仁弟等^[30]利用顶空毛细管气相色谱法对丹参多酚酸盐原料中乙醇残留量进行了测定,结果显示峰面积与乙醇浓度在10.19~509.5 $\mu\text{g/mL}$ 范围内呈良好的线性关系,测得的日间乙醇残留量结果精密度良好,回收率95%~110%。但由于多酚类化合物的极性极强,其样品预处理都比较繁琐,需要用有机溶剂进行萃取分离,萃取率和重现性都较低,因此通常需要衍生生化步骤,其过程也

较复杂^[31],较适合单物质定性分析。

2.2 高效液相色谱法(HPLC)

高效液相色谱法被广泛应用于食品中多酚化合物的分离与测定^[32]。侯冬岩等^[33]采用高效液相色谱法对绿茶中茶多酚含量进行测定。结果表明:方法变异系数小于 3.04%,回收率为 99.16%~100.60%,所测 6 种绿茶样品茶多酚含量为 62.07~110.86 mg/g,方法简便、准确,适合绿茶中茶多酚的定量分析。该法也是葡萄酒酚类物质测定的常用方法,马丽艳等^[34]建立了同时检测葡萄酒中 8 种有机酸的高效液相色谱分析方法,结果显示:8 种有机酸的线性关系良好,相关系数在 0.995 3~0.999 9,精密度、稳定性的 RSD 均低于 5%,平均回收率为 85%~120%,检出限为 0.014 1~1.342 7 mg/L。

高效液相色谱法测定速度快、灵敏度高。但前处理繁琐^[35]、仪器和日常维护费用较高,分析成本高^[36]。如果要分析总酚含量,必须备齐所有种类的多酚标样,而葡萄和葡萄酒中都含有大量的酚类物质,因此使用高效液相色谱法测定总酚含量难度较大。此外,高效液相色谱法需先提取样品再进行分析,由于植物中多酚可与其它成分共价结合,或吸附在植物的固体基质上,用通常的试剂提取方法不能将酚类物质完全提取出来,且残留量较大,使得测量结果显著偏低。因此,高效液相色谱法适于葡萄酒中单体酚的分析,不适合葡萄酒总酚的测定。

3 蛋白质沉淀法

蛋白质沉淀法是以单宁可与蛋白质形成不溶性复合物为依据。Harbertson 等^[37]据此发现了用于分析葡萄酒中总酚的一个简单方法:BSA(牛血清白蛋白)可与单宁发生反应生成沉淀,用配制的再悬缓冲液将生成的沉淀物再次溶解后,与显色剂 FeCl₃ 反应,生成有色物质,在 510 nm 处测定其吸光度,即可定量得出单宁含量,再通过单宁与多酚的关系,得到总酚含量。但 Brooks 等^[38]认为蛋白质沉淀法葡萄酒丹宁分析法准确度低。中国利用蛋白质沉淀法测定总酚含量的研究很少,张振文等^[39]通过对甲基纤维素沉淀法(MCP 法)和蛋白质沉淀法(A-H 法)测定葡萄酒中缩合单宁的对比发现:蛋白质沉淀法只适用于红葡萄酒缩合单宁的测定,且与总酚无显著线性关系($R^2=0.287\ 2$);胡立志等^[40]采用蛋白沉淀法测定葡萄籽超微粉中的单宁含量,结果表明:方法检出限 0.339 $\mu\text{g}/\text{mL}$,平行性精密度 0.245 4%,重复性精密度 0.215 9%,加标回收率为 97.47%~101.49%,该方法可用于葡萄籽超微粉中单宁含量的测定,但未进行总酚含量相关性的研究。所以判断蛋白质沉淀法在总酚检测上的可行性还需要进一步研究。

4 展望

高锰酸钾法、普鲁士蓝法、香草醛法、高效液相色谱法分别因选择性低、不稳定误差大、只适合部分多酚测定或单体酚测定的缺点,不适合总酚测定。从理论来讲较适合总酚测定的方法主要有福林酚法、微波快速福林酚法、蛋白质沉淀法,其中前者已经实践应用较多,蛋白质沉淀法还需进一步

实践应用研究。

在中国葡萄酒学科飞速发展,以及由于生产应用需求而对科研水平要求越加严格的今天,对评价总酚的测定应提出更高的要求。对葡萄酒总酚指标的测定不应只停留在学术水平,而应拓展到葡萄酒品质和鉴别葡萄酒真伪的实际应用中来。尝试进行不同品种不同产地的葡萄酒总酚含量测定,进行具有品种和地域特性的总酚含量“普查”,通过增加总酚含量这一指标提高鉴别葡萄酒真伪葡萄酒品质的准确性。

福林酚法作为定量分析植物总酚含量的普遍方法,是国际包括中国茶中茶多酚标准检测方法,也是国际葡萄与葡萄酒组织(OIV)和美国官方分析化学师协会(AOAC)定量分析葡萄酒或蒸馏酒精内丹宁的方法。笔者认为在现阶段对福林酚法不断优化更新的今天,应尝试通过多种而非单一的方法去测定葡萄及葡萄酒中总酚,从而提高检测的准确性。建议:①从简便、微量的角度出发,在原 F-C 法的基础上用移液器代替吸管和容量瓶,简化反应体系,在单因素的基础上,利用 CCD 响应面设计对反应条件进行优化;②从快速测定的目的出发,在简化微量福林酚法的基础上,采用新型变频微波技术,利用响应面 CCD 设计进行优化,获取最佳测定条件;③对上述两种方法进行对比试验,筛选最优方法。配置模拟酒样,利用最优方法对影响微波快速福林酚法测定总酚的物质进行测定,消除影响因子对总酚测定的干扰。

参考文献

- [1] 徐国前,张振文,郭安鹤,等.植物多酚抗逆生态作用研究进展[J].西北植物学报,2011,31(2):423-430.
- [2] 李华.葡萄酒化学[M].北京:科学出版社,2005:106-123.
- [3] 高尧来,温其标,张福艳.葡萄酒中的多酚类物质及其保健功能[J].食品与发酵工业,2002,28(8):68-72.
- [4] 李光宇,彭丽萍.葡萄酒中主要的多酚类化合物及其作用[J].酿酒,2007,34(4):60-61.
- [5] 孙传范.原花青素的研究进展[J].食品与机械,2010,26(4):146-148,152.
- [6] 汤章城,魏家绵,陈因.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999:223-225.
- [7] 雷昌贵,陈锦屏,卢大新,等.食品中多酚类化合物的测定方法及其研究进展[J].食品与发酵工业,2007,33(1):100-104.
- [8] 张毛莉,罗仓学.石榴皮中总酚含量测定方法的比较[J].食品工业科技,2011(5):383-384.
- [9] International Organization for Standardization. ISO 14502-1 Determination of substances characteristic of green and black tea—Part 1: Content of total polyphenols in tea—Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2005.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 8313—2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [11] Tarascou I, Souquet J M, Mazauric J P, et al. The hidden face of food phenolic composition[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2010, 501(1): 16-22.
- [12] Singleton V L, Rossi J A. Colorimetry of total phenolics with

- phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1965, 16(3): 144-158.
- [13] Bajaj K L, Kaur G. Colorimetric determination of capsaicin in capsicum fruits with the Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Microchimica Acta*, 1979, 71(1): 81-86.
- [14] Ainsworth E A, Gillespie K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent [J]. *Nat. Protocols*, 2007, 2(4): 875-877.
- [15] Van Alstyne K. Comparison of three methods for quantifying brown algal polyphenolic compounds[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21(1): 45-58.
- [16] 徐国前, 栾丽英, 焦旭亮, 等. 测定葡萄与葡萄酒总酚的二次回归正交旋转优化设计[J]. *果树学报*, 2011(3): 531-535.
- [17] 徐国前, 张振文, 郭安鹊, 等. 微量, 快速测定葡萄与葡萄酒总酚[J]. *食品科学*, 2010, 31(18): 268-270.
- [18] Schofield P, Mbugua D M, Pell A N. Analysis of condensed tannins: a review[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2001, 91(1): 21-40.
- [19] Graham H D. Stabilization of the Prussian blue color in the determination of polyphenols [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(5): 801-805.
- [20] 刘松, 李俊清, 廖蓉苏. 普鲁士兰法测定胡杨中植物多酚含量[J]. *林业科技开发*, 2007, 21(2): 42-44.
- [21] 蒋晓岚, 孟菲, 刘亚军, 等. 茶树根原花青素提取工艺及检测方法的优化[J]. *安徽农业大学学报*, 2013, 40(6): 891-898.
- [22] 赵平, 刘俊英, 张月萍. 香草醛法测定原花青素物质的量浓度[J]. *中国食品添加剂*, 2011(3): 219-224.
- [23] 李春阳, 许时婴, 王璋. 低浓度香草醛-盐酸法测定葡萄籽, 梗中原花青素含量的研究[J]. *食品工业科技*, 2004, 25(6): 128-130.
- [24] 叶卉. 酸枣皮中多酚类物质的提取分离及其活性的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009: 11-12.
- [25] 王凤霞. 气相色谱在食品分析中的应用[D]. 烟台: 烟台大学, 2013: 3-4.
- [26] 廖立敏. 红葡萄酒香气成分色谱保留时间模拟[J]. *分析科学学报*, 2015, 31(5): 622-626.
- [27] 王华, 宋建强, 梁艳英, 等. 搅拌棒萃取—气相色谱—质谱联用法分析‘媚丽’桃红葡萄酒中的香气成分[J]. *食品科学*, 2014, 35(2): 177-181.
- [28] 张予林, 魏冬梅, 袁春龙, 等. 色谱分析在葡萄酒分析中的应用[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2003(2): 52-54.
- [29] 刘波平, 周妍, 罗香, 等. 顶空毛细管气相色谱法测定茶多酚中有机溶剂的残留量[J]. *分析实验室*, 2007, 26(4): 44-44.
- [30] 孙仁弟, 杨瑞花. 顶空毛细管气相色谱法测定丹参多酚酸盐原料中乙醇残留量[J]. *中国药师*, 2013, 16(8): 1 127-1 128.
- [31] 奕天罡, 李攻科. 固相微萃取—衍生化法与气相色谱—质谱联用分析葡萄酒中多酚类化合物[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2001, 40(1): 54-57.
- [32] 胡滨, 陈一资, 胡惠民. 高效液相色谱法在食品快速检测中的应用[J]. *农产品加工*, 2007(2): 33-35.
- [33] 侯冬岩, 回瑞华, 李铁纯, 等. 高效液相色谱法对绿茶中茶多酚含量的测定[J]. *食品科学*, 2010, 31(24): 305-307.
- [34] 马丽艳, 李丽, 孙爱东, 等. 高效液相色谱法同时测定葡萄酒中八种有机酸的研究[J]. *酿酒*, 2010, 37(4): 62-65.
- [35] 成宇峰. 葡萄与葡萄酒单体酚分析测定方法的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008: 10-20.
- [36] 张贵娟, 杨涛, 罗非君, 等. 白藜芦醇的提取与检测方法研究进展[J]. *食品与机械*, 2013, 29(2): 234-237.
- [37] Harbertson J F. Tannin in Skins and Seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, and Pinot noir Berries during Ripening[J]. *American Journal of Enology & Viticulture*, 2002, 53(1): 54-59.
- [38] Brooks L, McClskey L, Mckesson D, et al. Adams-harbertson protein precipitation-based wine tannin method found invalid[J]. *Food Composition and Additives*, 2008, 91(5): 1 090-1 094.
- [39] 张振文, 宁鹏飞, 张军贤, 等. 葡萄酒缩合单宁测定方法的比较研究[J]. *食品科学*, 2012(20): 233-237.
- [40] 胡立志, 袁春龙, 袁琳. 蛋白—单宁沉淀法测定葡萄籽中单宁含量[J]. *北方园艺*, 2012(14): 23-26.

(上接第 197 页)

- [29] Polpuech C, Chavasit V, Srichakwal P, et al. Effects of fortified lysine on the amino acid profile and sensory qualities of deep-fried and dried noodles [J]. *Malaysian journal of nutrition*, 2011, 17(2): 237-248.
- [30] 欧阳一非, 薛丹, 高海燕, 等. 基于决策树方法的油炸型方便面品质评价研究[J]. *食品科学*, 2009(5): 27-32.
- [31] Wu J, Aluko R E, Corke H. Partial least-squares regression study of the effects of wheat flour composition, protein and starch quality characteristics on oil content of steamed-and-fried instant noodles [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44(2): 117-126.
- [32] 郝春明. 全麦粉的制备及其品质特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 20-25.
- [33] Barros F, Alviola J N, Rooney L W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas [J]. *Journal of cereal science*, 2010, 51(1): 50-56.
- [34] Sudha M L, Rajeswari G, Venkateswara Rao G. Effect of wheat and oat brans on the dough rheological and quality characteristics of instant vermicelli [J]. *Journal of Texture Studies*, 2012, 43(3): 195-202.
- [35] Moreno M C, Brown C A, Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 101(2): 179-186.
- [36] Gulia N, Khatkar B S. Relationship of dough thermomechanical properties with oil uptake, cooking and textural properties of instant fried noodles [J]. *Food Science and Technology International*, 2014, 20(3): 171-182.
- [37] 钱银川. 面粉特性与方便面品质[J]. *食品科技*, 2000(4): 52-54.
- [38] Choy A L, May B K, Small D M. The effects of acetylated potato starch and sodium carboxymethyl cellulose on the quality of instant fried noodles [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(1): 2-8.
- [39] Gulia N, Khatkar B S. Effect of processing variables on the oil uptake, textural properties and cooking quality of instant fried noodles [J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(3): 181-189.