

红外干燥技术在果蔬和粮食加工中的应用

Progress of infrared drying technology applied in processing of fruits and vegetables and grain

魏忠彩¹ 孙传祝² 张丽丽¹ 苏国梁² 石东岳²

WEI Zhong-cai¹ SUN Chuan-zhu² ZHANG Li-li¹ SU Guo-liang² SHI Dong-yue²

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255091; 2. 山东理工大学机械工程学院, 山东 淄博 255091)

(1. School Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255091, China;

2. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255091, China)

摘要: 红外辐射干燥技术因具有脱水效率高、环保、可对物料局部加热等优点, 在果蔬和粮食加工中已得到广泛关注。文章从农产品干燥特点入手, 对国内外红外辐射干燥技术在果蔬和粮食干燥方面的应用及研究进展进行阐述与总结, 并分析目前红外干燥存在的一些问题。认为可以通过与其它新兴干燥技术相融合的方式来提升干燥品质, 同时还指出了红外辐射干燥技术在未来果蔬和粮食加工应用中的主要研究方向。

关键词: 红外辐射; 果蔬干燥; 粮食干燥; 研究进展

Abstract: Infrared radiation drying technology has been paid more attention widely with many advantages such as high efficiency, environmental protection. Progress of home and abroad infrared radiation drying technology application research and test of fruits, vegetables and grain were elaborated and summarized, and some existing problems of infrared drying were also analyzed. The integration of infrared drying and other emerging drying technology was come up with to improve the quality of drying. Meanwhile, the main research direction of infrared radiation drying technology of the future application was also pointed out in the processing of fruits and vegetables and grain.

Keywords: infrared radiation; drying of fruits and vegetables; grain drying; research progress

刚刚收获后的各种农产品含水率一般都比较, 在其贮藏、加工及销售过程中, 含水率与产品的质量、外观以及各种组分含量有着密切的关系, 因此干燥是农产品加工处理、控制含水率的一种有效手段。果蔬经过干燥后可用作方便食

品的原料, 并且有延长货架期、便于包装运输等优点^[1]。粮食干燥有利于安全贮藏和颗粒归仓, 且能够减少谷物收获后不必要的损失^[2]。

目前, 常用的农产品干燥方法有红外辐射干燥^[3-4]、太阳能干燥^[5]、热泵干燥^[6]、热风干燥^[7-8]以及真空冷冻干燥^[9]等, 优缺点各异, 一般可根据不同农产品对干燥工艺的要求选用适宜的干燥方法。红外辐射干燥技术最初应用于木材干燥和汽车烤漆^[10]过程中, 由于可对物料内外同时加热, 且具有干燥效率高、清洁无污染等优点, 已逐渐成为国内外农产品干燥技术的主要发展方向之一^[11-12]。文章主要阐述红外干燥技术在国内外果蔬干制和粮食干燥中的研究进展, 分析当前该技术在研究过程中存在的一些问题, 并指出其研究趋势。

1 红外干燥在果蔬和粮食加工中的应用特点

目前, 红外干燥方式分为燃气红外干燥和电热红外干燥两种, 其红外辐射热量可直接抵达果蔬和粮食内部, 不需要传热介质, 且可对物料局部实施加热, 因此脱水效率较高、能耗较低^[13-14]; 红外线是一种波长在 0.75~1 000 μm 的电磁波, 当辐射在果蔬和粮食上的电磁波频率与物料自身分子的振动频率相一致时, 就会产生共振并伴随能量转化, 使得物料内外同时加热, 有利于物料水分的外溢。

果蔬和粮食在红外辐射加热中营养成分变化较小, 因此能够保证干制品具有良好的品质。果蔬和粮食对不同波长的红外线吸收能力不同, 只有果蔬和粮食的吸收光谱与红外元件的辐射光谱匹配得恰到好处, 才能够得到果蔬和粮食最佳的干燥品质, 且最大限度地降低能源消耗。如通过水稻、小麦的红外吸收光谱可以得知, 这两种物料的最佳红外线吸收波长为 6~12 μm ^[15]。

2 果蔬红外干燥技术研究进展

中国水果及蔬菜种植范围广、资源较为丰富, 果蔬产量

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 31271908/C200206)

作者简介: 魏忠彩(1990—), 男, 山东理工大学在读硕士研究生。

E-mail: weizc2011sdut@163.com

通讯作者: 孙传祝

收稿日期: 2015-10-18

居世界首位,但由于季节性强、含水率高,使得货架期较短。近年来,随着方便食品需求量和干燥果蔬制品出口量的增加,中国果蔬干制品行业发展较为迅速。目前市场上的果蔬干制品大多采用热风干燥方式生产,处理时间较长、能耗大且产品质量一般^[16]。红外辐射果蔬干燥传热效率高、负面影响小、物料不易热分解,主要原因是:红外线具有较强的穿透性,能够对被干燥果蔬内外同时加热^[13,17];果蔬水分迁移方向与温度梯度方向一致,加速了水分的扩散^[18];红外辐射能与果蔬内部分子摩擦振动,有利于水分活化与外迁^[19]。但是,由于红外辐射穿透层含水率与果蔬内部各层的含水率有所差异,故果蔬薄层干燥更易发挥红外干燥优势。另外,果蔬红外辐射传热传质过程极为复杂,一般通过分析试验数据来建立数学模型的方法,研究物料内部的水分迁移规律,深入了解红外干燥机理,以探索各种干燥方式条件下的最佳干燥工艺流程和最优工艺参数,最终达到高效节能、果蔬干制品品质优良的目的。

在国外,Almeida等^[20]通过对马铃薯的红外脱水试验研究,发现含水率变化和切片厚度的差异对马铃薯红外吸收特性有显著的影响。Hasan等^[21-22]利用红外干燥技术分别对苹果切片和胡萝卜切片进行了试验研究,并将分析后的干燥试验数据利用多个干燥模型分别进行了拟合,结果表明modified Page II模型能够较好地反映苹果切片的干燥过程,Midilli模型对胡萝卜的干燥过程有较好的拟合效果。Thanit等^[23]利用红外辐射和真空组合干燥技术对香蕉片进行了干燥,并通过数学模型预测干燥过程中含水率的变化趋势。Kamon等^[24]利用远红外辐射和空气对流组合加热技术对菠萝圈进行了干燥,研究了含水率以及干制品品质的变化规律,并建立了相应的数学模型。Sun Ji-min等^[25]进行了苹果渣的红外干燥试验研究,试验结果表明Logarithmic model和Page model两种模型对苹果渣的干燥过程能够较好地拟合。Pan Zhong-li等^[26]利用红外、冷冻组合干燥技术在不同辐射功率条件下对香蕉片进行了干燥,研究发现干燥速率明显高于热风干燥,其颜色、厚度收缩率、脆度等干燥品质指标也优于热风干燥。

在中国,Xu Cong-cong等^[16]通过核磁共振技术和差示扫描量热法研究了远红外干燥对胡萝卜水分状态和玻璃化转变温度的影响,发现随着干燥用时的增加,胡萝卜液泡中自由水含量随着细胞质和细胞外空间中结合水的下降而急剧增加。Wu Ben-gang等^[19,27]通过改变表面温度、切片厚度和处理时间3个因素,对胡萝卜的催化式红外杀青脱水及红外热风顺序组合干燥进行试验,并研究了酶活性、色泽以及V_C含量的变化规律,认为酶的活性钝化速度在表面温度高或切片薄时比表面温度低或切片厚时更快,而降水速率的变化则恰恰相反。Deng Yun等^[28]对鱿鱼片远红外辅助热泵干燥时的热行为、蛋白质品质以及微观结构变化进行了研究,发现蛋白酶活性随着辐射器功率的增加而显著降低。王俊^[29]利用红外干燥机对香菇进行了干燥试验研究,建立了物料失水方程及辐射换热方程组,且计算结果与实测数据相一致。张丽平等^[30]研究了红外辐射条件下茄子的干燥特性,并通过多元线性回归方法建立了方程,拟合效果较好。

曾目成等^[31-32]在不同温度条件下对猕猴桃切片进行中短波红外辐射试验,利用Weibull分布函数得到了该干燥试验的最佳模型,并指出温度是影响其干燥速率的关键因素。徐凤英^[33]对荔枝进行了真空条件下的红外干燥试验研究,并建立了其传热传质数学模型。孙传祝等^[13]利用红外辐射与热风组合加热技术研制了一种红外蔬菜脱水机,并用胡萝卜、甘蓝作为试验物料进行试验,认为红外、热风组合加热比单独红外加热具有更好的干燥效果。林亚玲^[34]利用自制试验装置进行了苹果片的红外杀青脱水研究,认为其能量利用率远高于传统加热方式。

果蔬类农产品往往由于自身含水率较高等原因导致各部分干燥不均匀,从而影响了产品的干燥品质。因此,一般采用将果蔬切片等形式进行干燥试验。纵观国内外关于果蔬红外干燥的研究现状可以看出,当前研究人员大多是通过测定物料的表面温度等信息进行数学建模,倘若能获知其内部准确的温度、含水率等信息,将会得到更为精确的数学模型。因此,采用与其他技术相结合的方法,来解决果蔬干燥的不均匀问题显得十分重要,这既能加快果蔬干制的产业化进程,也是未来红外果蔬干燥技术的重要研究方向之一。

3 粮食红外干燥技术研究进展

粮食收获后一般因含水率较高不可直接贮藏,传统的干燥方式是晾晒,如山东等地收获期玉米的含水率一般为35%~40%,部分地区为倒茬播种小麦,含水率甚至超过40%。传统的粮食干燥方式是道路及地面晾晒,增加了杂质,降低了粮食品质,且处理能力有限。据调查^[2, 35-36]测算,每年因晾晒不及时或晾晒、贮藏不当等因素,造成粮食霉变、发芽、虫害、鼠害等损失为5%左右,仅山东省每年损失就达225万t之多。目前,发达国家大部分粮食收获后直接进行烘干贮藏入仓,中国一些专家也在粮食烘干机方面做了大量研究工作。

在国外,Khir等^[37-38]设计了红外稻谷烘干机,用来研究稻谷在红外辐射加热和冷却条件下的水分扩散系数,认为初始含水率、加热温度、料层厚度、回火和冷却方式是影响水分扩散系数的主要因素,试验表明:温度和回火处理对稻谷的水分扩散系数有着显著影响,采用红外加热、冷却干燥水稻,且经过回火处理时的水分扩散系数比对流干燥条件下要高一些,说明红外干燥比对流干燥的干燥速率高,因此认为运用红外干燥方法将稻谷加热至60℃,然后再逐渐冷却能够得到较佳的干燥品质。Pan Zhong-li等^[39]利用催化红外发射器对稻谷进行干燥试验研究,认为快速红外加热有利于提高稻谷干燥品质,任何含水率的大米在红外辐射条件下加热60s就可以使温度升高至60℃。有学者^[40]采用分波段红外加热法对大豆蛋白质、淀粉和葡萄糖3种组分进行了选择性加热,发现大豆不同组分在各波段对红外辐射光的吸收率不同,当过滤器5min内加热温度增加6℃时,蛋白质的最佳吸收波长在6~11μm。Afzal等^[41]利用自行研制的试验装置进行不同辐射强度条件下大麦的薄层红外脱水试验,用计算机在线测量其含水率的变化,试验数据可由得到的多元线性回归方程进行模拟,认为用Page模型进行拟合能够得到

较好的结果,通过 72 次干燥试验发现, R^2 的值均在 0.98 以上。

在中国,汪喜波^[42]用小麦、水稻、小豆 3 种农产品物料的干燥试验结果来研究红外辐射波段与吸收特性之间的关系,认为 3 种物料的红外吸收能力均具有选择性。董宏宇^[43]在红外辐射涂层材料方面做了大量研究,并将自行研制的红外辐射元件应用在谷物干燥试验装置中,基于水势理论研究了玉米籽粒的红外干燥机理,并建立了与之相应的数学模型。王相等^[44]指出必须从光谱发射率、吸收率和反射率 3 个方面进行考虑,来精确设计红外辐射加热过程。夏朝勇等^[45]利用强红外辐射与低热风温度组合方案对稻谷进行干燥试验,认为此方案在提高降水率的同时,还能减少谷物的爆腰率。孙传祝等^[46]将红外辐射加热技术应用于收获期玉米穗的干燥过程中,并根据玉米穗的自身特点设计一种干燥设备,以确保玉米穗各处的籽粒干燥均匀。朱文学等^[47]研究了玉米的红外吸收光谱,认为影响玉米红外吸收特性的主要因素是含水率,而不是品种差异。

粮食干燥有别于果蔬脱水干燥的一个主要原因就是易产生“爆腰”现象,从而影响产品的干燥品质。纵观国内外关于红外粮食干燥研究现状可以看出,国外红外粮食干燥机已得到广泛应用,而中国尚处于研究阶段。研究人员应在深入进行理论研究的同时,注重借鉴其它相关学科的研究成果来进行红外粮食干燥试验研究与设备研发,以尽快解决粮食依靠自然晾晒而产生的不必要损失问题。因此,为了保证中国粮食增产增收,适应当前玉米等作物机械化联合收获的要求,对机收后的粮食实施机械化干燥,是未来中国粮食加工处理的一个关键环节,也是重要的研究方向之一。

4 展望

利用红外辐射加热技术干燥果蔬、粮食的过程中,常常会因农产品自身特性而无法保证各部分的干燥均匀性问题,如干燥过程中存在“未干透”、焦糊、色变等现象,甚至还会产生“爆腰”现象等,因此严重影响了农产品的干燥品质。

随着生活水平的提高,人们也越来越关注食品安全问题,研究人员无论从设备研发还是制定干燥工艺流程等方面进行考虑,都必须把保证干燥后果蔬、粮食等产品的食用安全作为首要前提。

在红外干燥理论研究及数学建模过程中,只有获知物料内部精确的温度、含水率等信息,才会得到更为精确的数学模型,如核磁共振技术等一些较先进的技术手段已在果蔬和粮食红外干燥过程的含水率测定中得到应用。因此,利用前沿技术来精确控制干燥温度和含水率等参数,也是今后红外干燥技术应用于果蔬和粮食加工的主要研究方向之一。

近年来,一些专家进行了气体射流冲击干燥以及热泵干燥等技术在果蔬和粮食加工方面的试验与研究,倘若能够将红外辐射加热技术与这些新兴干燥技术进行融合,或许能够充分发挥各自优势解决干燥的不均匀问题,从而得到最优的干燥品质,这既能加快果蔬干制的产业化和粮食干燥的机械化进程,也能推进红外干燥技术的研究与应用。

参考文献

- [1] 赵肖肖,王丹,马越,等. 脱水蔬菜研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2013(12): 39-41.
- [2] 黄妍. 谷物干燥机械化技术的应用[J]. 农业科技与装备, 2014(1): 42-43, 46.
- [3] 徐凤英,陈霞,李长友,等. 荔枝红外干燥均匀性与果壳空隙分形色变研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 222-227, 235.
- [4] 张秦权,文怀兴,袁越锦. 远红外联合低温真空干燥设备研究与设计[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 157-160.
- [5] 张锋伟,戴飞,张克平,等. 基于两级干燥工艺的玉米果穗太阳能集热通风干燥系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 338-342.
- [6] 李丽,孙健,盛金凤,等. 山药热泵干燥特性及数学模型的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 212-217.
- [7] Jyoti Hundal, Pawan Singh Takhar. Experimental study on the effect of glass transition on moisture profiles and stress-crack formation during continuous and time-varying drying of maize kernels[J]. Biosystems engineering, 2010, 106(2): 156-165.
- [8] 高鹤,易建勇,刘璇,等. 番木瓜热风干燥特性分析[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 38-42.
- [9] 赵庆亮. 微波真空冷冻干燥苹果片及对比试验研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2009: 1.
- [10] 焦士龙,褚治德,杨俊红. 汽车钢圈丙烯酸罩光漆的干燥实验研究与理论分析[J]. 红外技术, 2001, 23(4): 36-39, 46.
- [11] 高扬,解铁民,李哲滨,等. 红外加热技术在食品加工中的应用及研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 218-222.
- [12] 李树君,林亚玲,潘忠礼. 红外技术用于农产品灭酶和脱水干燥的研究综述[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 109-112.
- [13] 孙传祝,王相友,郭超,等. 5HY 型远红外蔬菜脱水机的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 85-88.
- [14] 李素云,夏朝勇. 红外干燥粮食机理浅析[J]. 粮食与食品工业, 2007, 14(4): 43-45.
- [15] 李红涛,李剑锋. 远红外谷物干燥陶瓷辐射器的研究[J]. 中国陶瓷工业, 2009, 16(4): 7-9.
- [16] Xu Cong-cong, Li Yun-fei, Yu Hua-ning. Effect of far-infrared drying on the water state and glass transition temperature in carrots[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 136(9): 42-47.
- [17] 陈文敏,彭星星,孙田奎,等. 红外温度对超声处理红枣的干燥特性及品质影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(1): 224-229, 235.
- [18] Kathiravan K, Harpreet K K, Soojin J, et al. Infrared heating in food processing: an overview[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7(1): 2-13.
- [19] Wu Ben-gang, Pan Zhong-li, Qu Wen-juan, et al. Effect of simultaneous infrared dry-blanching and dehydration on quality characteristics of carrot slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 90-98.
- [20] Almeida M, Torrance K E, Datta A K. Measurement of optical properties of foods in near-and mid-infrared radiation[J]. International Journal of Food Properties, 2006, 9(4): 651-664.
- [21] Hasan T. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 71(3): 311-323.

- [22] Hasan T. Suitable drying model for infrared drying of carrot [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77(3): 610-619.
- [23] Thanit S, Sakamon D, Poomjai S, et al. Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 92(1): 100-106.
- [24] Kamon P, Naret M, Somchart S, et al. Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2012, 90(2): 155-164.
- [25] Sun Ji-min, Hu Xiao, Zhao Guo-zhong, et al. Characteristics of thin-layer infrared drying of apple pomace with and without hot Air pre-drying[J]. *Food Science and Technology International*, 2007, 13(2): 91-97.
- [26] Pan Zhong-li, Connie Shih, Tara H McHugh, et al. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(10): 1 944-1 951.
- [27] 吴本刚, 胡萝卜催化式红外干法杀青—红外热风顺序联合干燥技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014: 11.
- [28] Deng Yun, Wang Yue-gang, Yun Jin, et al. Thermal behavior, microstructure and protein quality of squid fillets dried by far-infrared assisted heat pump drying [J]. *Food Control*, 2014, 36(1): 102-110.
- [29] 王俊. 远红外干燥机内物料传热传质的计算分析[J]. *农业机械学报*, 1999, 30(4): 36-38.
- [30] 张丽丽, 王相友, 遇龙, 等. 茄子红外辐射干燥特性及色泽变化[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(增刊2): 291-296.
- [31] 曾目成, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 猕猴桃切片中短波红外干燥特性及动力学模型[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(1): 153-159, 199.
- [32] 曾目成, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 基于 Weibull 分布函数对猕猴桃切片中短波红外干燥过程模拟及应用[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(6): 146-151, 201.
- [33] 徐凤英. 荔枝真空红外热辐射干燥传热传质机理研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2007: 1.
- [34] 林亚玲. 红外杀青脱水苹果片传热传质模拟与装置研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2006: 3.
- [35] 王新蕾, 赵洪杰, 张学东. 3亩水水泥地, 晒70万斤小麦? [N]. *大众日报*, 2014-07-26(01).
- [36] 叶为标. 谷物干燥方法的研究[J]. *粮食加工*, 2009, 34(1): 69-71.
- [37] Ragab Khir, Pan Zhong-li, Adel Salim, et al. Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(4): 1 126-1 132.
- [38] Pan Zhong-li, Ragab Khir, Larry D Godfrey, et al. Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfestations by infrared radiation heating and rice milling quality[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84(3): 469-479.
- [39] 潘忠礼, Atungulu G G, 马海乐. 食品和农产品干燥的一种有效方法—红外加热法[J]. *干燥技术与设备*, 2013, 11(1): 61-66.
- [40] Soojin J, Joseph I. Selective far infrared heating system-design and evaluation. I[J]. *Drying Technology*, 2003, 21(1): 51-67.
- [41] Afzal T M, Abe T. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 26(2): 137-145.
- [42] 汪喜波. 红外辐射与对流联合干燥的理论分析及试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003: 55-56.
- [43] 董宏宇. 谷物干燥的红外辐射陶瓷材料及红外干燥机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 60-64.
- [44] 王相友, 操瑞兵, 孙传祝. 红外加热技术在农业物料加工中的应用[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(7): 177-182.
- [45] 夏朝勇, 朱文学, 张仲欣, 等. 红外对流组合干燥稻谷试验[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(8): 235-238.
- [46] 孙传祝, 王相友. 红外玉米穗干燥机设计[J]. *农机化研究*, 2014, 36(3): 137-140.
- [47] 朱文学, 张仲欣, 刘建学, 等. 玉米红外吸收光谱试验研究[J]. *干燥技术与设备*, 2004, 2(4): 16-19.

(上接第216页)

- [26] 易宇文, 范文教, 贾洪峰, 等. 基于电子舌的微冻鲢鱼新鲜度识别研究[J]. *食品与机械*, 2014, 30(2): 142-145.
- [27] 李学林, 李慧玲, 刘瑞新, 等. 电子舌用于药物掩味效果评价的研究[J]. *世界科学技术: 中医药现代化*, 2013, 15(7): 1 532-1 537.
- [28] 陈大志, 叶春, 李萍. 味觉受体分子机制[J]. *生命的化学*, 2010(8): 810-814.
- [29] Navratilova I, Pancera M, Wyatt R T, et al. A biosensor-based approach toward purification and crystallization of G protein-coupled receptors[J]. *Analytical Biochemistry*, 2006, 353(2): 278-283.
- [30] Wu Chun-sheng, Du Li-ping, Wang Di, et al. A novel surface acoustic wave-based biosensor for highly sensitive functional assays of olfactory receptors[J]. *Biochemical and biophysical research communications*, 2011, 407(1): 18-22.
- [31] Wang Ping, Xu Gai-xia, Qin Li-feng, et al. Cell-based biosensors and its application in biomedicine[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2005, 108(1): 576-584.
- [32] 张宇斌. 基于仿生膜的谷氨酸受体电化学学生物传感技术研究[D]. 福州: 福州大学, 2006: 82-84.
- [33] 边肇琪, 张学工. 模式识别[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2000: 1-2.
- [34] Chen Quan-sheng, Zhao Jie-wen, Vittayapadung Saritporn. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. *Food Research International*, 2008, 41(5): 500-504.
- [35] 薛绍伟. 不同状态下脑功能网络特性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013: 4-5.
- [36] Park H J, Friston K. Structural and functional brain networks: from connections to cognition [J]. *Science*, 2013, 342(6 158): 579.
- [37] 苏灿. 品酒师其实不饮酒[J]. *新前程*, 2008(11): 36-38.
- [38] 卢圣楼, 刘红, 贾桂云. 神秘果功能成分及开发利用研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(5): 256-260.
- [39] 冯妍. 谈谈食品味觉的各种现象[J]. *食品科技*, 1996(1): 8-9.