

稻米中多酚类化合物研究进展

严娜,高雪燕,王汝华,王芳*,华泽田

(天津科技大学食品工程与生物技术学院,天津 300457)

摘要:多酚类化合物因其独特的抗氧化活性受到越来越广泛的关注,稻米作为人类的主食之一,含有大量多酚类化合物。研究表明,谷类食品消费是增加酚类物质来源的一种方式。稻米中多酚类物质具有抗氧化、抑制肿瘤、抑菌、消炎、解毒护肝、提高记忆力、抗糖尿病并发症等功效,并对心血管疾病、机体内分泌和代谢、细胞均有影响。本文对国内外稻米中多酚类物质的研究进行了综述,介绍了多酚类化合物的概念及稻米中多酚类物质的种类、功能及常见的提取方法,包括有机溶剂提取法,超声波提取法和微波辅助提取法等,为稻米多酚类物质的进一步开发利用提供参考。

关键词:稻米,多酚类化合物,功能,提取

Research progress in polyphenol compounds in rice

YAN Na, GAO Xue-yan, WANG Ru-hua, WANG Fang*, HUA Ze-tian

(School of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Polyphenol compounds are getting more and more extensive attention because of its antioxidant activity. Rice as the staple food of human, contains a lot of polyphenol compounds. Studies have shown that cereal consumption is a kind of way to increase the source of polyphenol. Polyphenols in rice has relatively strong and widespread pharmacological actions such as the oxidation resistance, inhibiting tumor, antibacterial, anti-inflammatory, detoxification, liver protection, improving memory, anti-diabetes mellitus complication and other effects. And polyphenol also has effect on cardiovascular disease, the body's endocrine, metabolic and cell. The research progress of the polyphenol compounds of rice in domestic and foreign was reviewed. The conception of polyphenol, varieties, function and common extraction methods including organic solvent extraction, ultrasonic extraction and microwave assisted extraction method of polyphenol in rice were introduced, so as to provide a reference for the further development and utilization of rice polyphenol.

Key words: rice; polyphenol compounds; function; extraction

中图分类号: TS235.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)19-0374-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.068

随着我国经济快速发展和人民生活水平不断提高,人们对谷物的营养保健功能性的要求不断提高。尤其作为人们主食的稻米,因其营养价值高,适口性好,容易消化,是世界上约有一半人口的主要粮食且含有与水果、蔬菜不同的多酚类物质,是增加酚类物质来源的一种方式,无论从营养保健,还是从市场经济价值方面来说,都具有重要意义。

近年来国内外有多项研究发现,稻米中含有大量的多酚类化合物^[1-3]。多酚类化合物属植物次生代谢产物,广泛存在于自然界中,是一类芳香烃中苯环上的氢原子被1个或多个羟基取代所生成的酚羟基结构化合物,它一般由3个环构成:A环、B环(连接有羟)和C环(含氧碳环),如酚酸,类黄酮,缩合丹宁,香豆素和 alkylresorcinols 都属于此类物质^[4]。蔬

菜和水果是人类主要的酚类物质来源,如苹果,葡萄和蔬菜相关方面的研究较常见^[5-7]。然而更有研究表明,谷类食品消费是增加酚类物质来源的一种方式^[8]。谷物食品含有独一无二的酚类也是重要的酚类物质来源^[9],尤其色稻中含量较多。所以,利用稻米提取多酚类物质具有很高的研究价值。

1 稻米多酚的种类

多酚类化合物主要存在于植物源性食品中,同时不同来源的多酚类化合物又表现出不同的生物活性功能,一般都被命名为相应的多酚类化合物,如:茶叶中的多酚被称作茶多酚;荞麦中的多酚称为荞麦多酚^[10];因此,稻米中的多酚称为稻米多酚。

多酚类化合物主要分为2大类:单体多酚和单体多酚。单体多酚包括黄酮类,绿原酸类,没食子

收稿日期:2014-11-26

作者简介:严娜(1989-),女,在读硕士研究生,研究方向:粮油资源与生物技术,E-mail:yanna1225@126.com。

*通讯作者:王芳(1975-),女,博士,副教授,研究方向:功能性谷物,E-mail:wf7599@163.com。

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)(2011AA10A101);天津市教委项目(20130616);天津科技大学自然科学基金(20130101)。

酸、鞣花酸等。其中的黄酮类多酚包括黄酮、黄酮醇、黄烷酮、异黄酮、花色素、黄烷醇、查耳酮、双黄酮等^[11]。另一类则是由单体聚合而成低聚或多聚体,统称单宁类物质,包括缩合型单宁中原花色素和水解型单宁中没食子单宁和鞣花单宁等^[12]。

常见的稻米多酚按照化学结构不同主要分有黄酮类、酚酸类等。杜鹃等人采用高效液相色谱法,分离检测稻米糙米中黄酮类化合物有儿茶素、杨梅素、槲皮素、山奈酚等^[13]。黄酮类是多酚物质中种类最多、存在最广泛的物质,约占酚类化合物数量的一半^[14]。酚酸类是一类含有酚环的有机酸,如肉桂酸衍生物和苯甲酸衍生物,其中肉桂酸衍生物如阿魏酸、咖啡酸、绿原酸、香豆酸,苯甲酸衍生物如丁香酸、香草酸、对羟基苯甲酸等^[15-16]。

2 稻米多酚的生理功能

营养学界将多酚定义为“第7营养素”,“20世纪人类发现的最后一种营养素”,主要以游离态和结合态两种形式存在。游离多酚称为可溶性酚类,多为小分子的单酚类物质,主要存在于植物细胞液泡中^[17]。而结合多酚称为不溶性酚类,以酯键、糖苷键、醚苷键等形式与其他物质(包括蛋白质、单糖、有机酸等)相结合^[18-20]。有研究报道稻米中结合酚占总酚质量的62%^[21]。

食品中酚类化合物的抗氧化活性是判断其是否有益于健康的一项重要指标。很多实验表明稻米中多酚类物质具有抗氧化、抑制肿瘤、抑菌、消炎、解毒护肝、提高记忆力^[22]、抗糖尿病并发症^[23]等功效,并对心血管疾病、机体内分泌和代谢、细胞均有影响。

2.1 清除自由基

自由基是带有未成对电子的分子或离子,生物体内自由基的产生和清除一般是平衡的,一旦失衡就会对机体造成氧化伤害,导致蛋白质变性、酶失活、脂质过氧化等^[24]。人在生命代谢过程中会产生有害自由基,人类心脑血管疾病、肿瘤、老年性痴呆、震颤麻痹症等疾病几乎都与自由基有关。清除体内自由基有利于延缓衰老、预防疾病,已得到越来越多人的认可。自由基的存在,也为其抗氧化机理提供了实验证据^[25]。

多项研究表明稻米黄酮具有强自由基清除作用,减少脂质过氧化的产生,从而达到对肝损伤的保护作用^[26-27]。过渡金属铁是许多自由基产生过程的催化剂。黄酮类化合物是一种强 Fe^{3+} 螯合剂^[28-29]。魏银花等人研究表明当紫米提取物的浓度为0.3 mg/mL时,螯合率为76%,是同浓度下EDTA(0.3 mg/mL)金属螯合能力的1.53倍^[30]。

2.2 抗氧化作用

氧化应激可干扰正常机体内的氧化还原平衡,增加糖尿病、心血管疾病等一些代谢性疾病的发病率^[31]。稻米具有一定的生物抗氧化能力,这与其所含的酚类化合物有关,特别是类黄酮及花色苷。

孙玲等利用黑粘米酶解水提液灌喂小鼠,测定相关的抗衰老指标,结果表明黑米酶解液能明显提高小鼠肝SOD、全血GSH-Px活性,证明了黑米具有

较强的抗氧化性^[32]。已有研究报道利用甲醇萃取稻米中的抗氧化物质,经证实为异牡荆昔(isovitexin),属于类黄酮化合物的衍生物,其抗氧化效果比人工抗氧化剂 α -生育酚还强^[33]。

2.3 抑制肿瘤作用

结合酚及其所含的结合态黄酮以糖苷的形式存在,并且其化学结构中存在的酯键与植物细胞壁相连接形成了高聚合分子,在进入人体后不能被肠道中产生的酶分解,而是通过胃肠完整的抵达结肠,在结肠中被细菌发酵分解后产生抗氧化功效,预防结肠癌^[34]。

结合态中的多酚类物质主要是酚酸类化合物,其中阿魏酸和p-香豆酸是其主要成分^[35-37]。日本从米糠所含的阿魏酸中提取出一种叫EGMP的防癌物质,经动物实验结果表明EGMP有防止大肠癌变的作用^[38]。

杜鹃等人首次发现稻米糙米中山奈酚的存在,此前国内外尚无报道,这一物质在其他来源的多酚类物质中也罕有报道。山奈酚是一种有效的蛋白激酶CK2的抑制剂,山奈酚对神经细胞有保护作用,对NMDA(N-methyl-D-aspartate)诱导的大鼠皮层细胞损伤有显著的保护作用,可以抑制多类恶性肿瘤细胞的生长^[39]。

2.4 抗炎作用

花色苷是一种广泛分布于自然界的水溶性天然食用色素,属于黄酮多酚类化合物^[40]。色稻中含有大量色素类物质,其中含量最多的是花色苷,已有多项研究证明花色苷具有抗炎功效,慢性肾炎,胃炎均有显著疗效^[41]。

凌文华等人将黑米花色苷物质作用于血脂异常患者,共干预12周,结果显示其能明显抑制患者的炎症因子水平,改善炎症反应^[42]。Wang等给冠心病患者膳食补充黑米皮干预6个月,发现可以显著降低患者血浆可溶性血管细胞粘附因子,可溶性CD40配体和高敏C反应蛋白等炎症因子的水平^[43]。

2.5 调节肠道菌群

科学研究证明,在人体中自由态酚类化合物和结合态酚类化合物所起抗氧化功能的部位不同,自由酚及其所含的自由态黄酮主要在胃和小肠中被消化吸收,在血液中以醛酸化、甲基化、硫酸酯形式出现^[44]。已有研究证实,人体内酶系统不能消化结合酚,食物中的结合酚通过胃和小肠的消化后到达结肠,通过结肠微生物菌群的发酵作用被释放出来可以发挥重要生理活性^[45]。已有研究证实,相对于游离态酚,植物中结合态酚类物质经肠道微生物菌群发酵作用后可能发挥更强的生物活性^[46]。赵兰涛等人以黑米为研究对象,小鼠为研究载体进行实验,结果表明黑米可以促进肠道菌益生菌的生长,调节血清胆固醇组成,并改善肠道环境,控制体重^[47]。

谷物中的多酚类物质抑制了潜在有害肠道菌肠杆菌科和梭状芽孢杆菌的生长,而对肠道有益菌双歧杆菌和乳酸杆菌没有明显的影响^[45]。说明酚类物质通过调节肠道菌群而间接的作用促进人体的

健康。

3 稻米多酚的提取方法

多酚类化合物的提取分离方法多种多样。经典的提取方法主要是有机溶剂提取法,这种提取方法不需要特殊的仪器,应用较为普遍,但存在着产品安全性低、耗时长、提取率低等缺点。随着科学的进步,一些以先进仪器为基础的新型提取方法,以其高效、节能、环保等优点,得到越来越广泛的应用。不同提取方式对稻米多酚类物质的提取效率有所差别,常见的提取方式有有机溶剂浸提法,超声波辅助提取法,微波辅助提取法等。

3.1 有机溶剂浸提法

浸提法是萃取的一种,萃取是利用相似相溶原理,通过不同组分在溶剂中有不同的溶解度来分离混合物的单元操作。根据所提取的组分的不同,可分为浸提法(固-液萃取法)和萃取法(液-液萃取法)。浸提法是将样品浸泡在适当溶剂中,将固体样品中的某些组分浸提出来的方法。

王雪锋等人采用单因素实验法,探讨了乙醇体积分数、浸提温度、浸提时间、料液比及 pH 五个因素对鸭血糯中总黄酮得率的影响。再通过单因素实验所确定的提取条件来设计正交实验,得到鸭血糯黄酮类化合物提取的最佳工艺条件为:浸提温度 60℃,乙醇体积分数 75%、浸提时间 2.5 h, pH 为 2 和料液比 1:100 (g/mL),在此条件下黄酮类化合物的得率为 9.52 mg/g^[48]。

3.2 超声波辅助提取法

超声技术的高频振动及空化效应,可以破坏细胞组织从而强化浸提效果,利用超声的清洗作用加快细胞内含物的释放^[49],具有低温、快速、高效、环保等优点,是超声辅助提取较传统的提取方法的优势所在^[50-51]。国内外目前广泛应用超声辅助提取法提取不同植物中的多酚^[52-54]。

张志辉等人在乙醇提取的基础上,用超声波辅助提取黑米中的抗氧化物质。在超声波辅助提取作用下,对各因素进行了优化,经过综合分析每个因素三个指标的数值得到了最优的单因素指标为超声功率 280 W,提取时间 20 min,乙醇浓度 70%,液固比 (mL/mg) 20:1,提取温度 50℃^[55]。与张名位^[56]采用的传统方法(浸提式提取黑米花色苷花费 4 h)相比较,缩短了提取时间,耗能少,因此采用超声波提取具有十分重要的意义。

3.3 微波辅助提取法

微波提取技术是利用微波能来提高提取率的一种新技术。微波提取过程中,微波辐射导致植物细胞内的极性物质吸收微波能,产生大量热量,使细胞内温度迅速上升,液态水汽化所产生的压力在细胞膜和细胞壁上形成微小孔洞,使胞外溶剂容易进入细胞内,溶解并释放出胞内物质^[57-59]。

张羽男等人研究稻壳中总黄酮的最佳提取工艺及其抗氧化作用^[60]。采用微波法,以总黄酮提取率为考察指标,结果表明最佳的提取条件为乙醇浓度 70%,提取时间 120 s,固液比 1:10 (g/mL),微波功率

700 W,提取率可达 0.313%^[60]。

4 结语

稻米中多酚物质因有多种生理功能,在很多方面有广泛应用,如医学、食品以及化妆品方面等。但作用机理研究还不够深入,这方面的研究将成为今后研究的难点、热点。另外目前稻米多酚提取方法的优化及其成分分析方面研究较多,但由于稻米中结合酚占的比例较大,如何提高其利用率将是今后应用研究的重点。

参考文献

- [1] 张海晖,段玉清,倪燕,等.谷物中多酚类化合物提取方法及抗氧化效果研究[J].中国粮油学报,2008,11(6):107-110.
- [2] Huang SH, Ng LT. Quantification of polyphenolic content and bioactive constituents of some commercial rice varieties in Taiwan [J]. J Food Compos Anal, 2012; 122-127.
- [3] Zhou ZK, Robards K, Halliwell S, et al. The distribution of phenolic acids in rice [J]. Food Chem, 2004, 87(03): 401-406.
- [4] 沈芸. 稻米抗氧化特性的遗传多样性及 NIRS 测定方法的建立[D]. 杭州: 浙江大学农业与生物技术学院, 2008.
- [5] 左玉. 多酚类化合物研究进展[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(4): 6-10.
- [6] 王忠和, 初莉娅, 宋世庆. 水果中多酚类的生物学作用[J]. 中国园艺文摘, 2011(5): 37-39.
- [7] Suarez B, Alvarez AL, Garciaetal YD. Garciaetal. Phenolic profiles antioxidant activity and *in vitro* antiviral properties of apple pomace [J]. Food Chem, 2010, 12(01): 339-342.
- [8] Scalbert A, Williamson G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols [J]. J Nutr, 2000, 130(8S Suppl): 2073S-2085S.
- [9] Miller HE, Rigelhof F, Marquart L, et al. Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables [J]. J Am Coll Nutr, 2000, 19(3 Suppl): 312S-319S.
- [10] 雷昌贵, 孟宇竹, 刘蒙佳, 等. 食品中多酚类化合物测定方法研究进展[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(4): 61-63.
- [11] 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.
- [12] 左丽丽, 王振宇, 樊梓鸾, 等. 植物多酚类物质及其功能研究进展[J]. 中国林副特产, 2012, (5): 39-43.
- [13] 杜娟, 杨涛, 曾亚文, 等. 利用 HPLC 法测定水稻子粒主要黄酮类化合物[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 896-900.
- [14] 唐传核. 植物功能性食品[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 73-83.
- [15] 张文昊, 邓媛元, 魏振承. 几种糙米的营养成分及抗氧化活性对比[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1119-1122.
- [16] 张晖. 不同谷物的体内抗氧化活性研究进展[C]. Book of Abstracts of 14th ICC Cereal and Bread Congress and Forum on Fats and Oils. 无锡: 2012. 27-29.
- [17] Jung MY, Jeon BS, Bock JY. Free esterified and insoluble-bound phenolic acids in white and red Korean ginsengs [J]. Food Chem, 2002, 79(1): 105-111.
- [18] 陆健, 樊伟, 孔维宝, 等. 大麦总多酚不同溶剂提取物对 DPPH 自由基清除能力的影响[J]. 食品与生物技术学报,

2008, 27(1): 57-61.

[19] Usha T, Heiko S. Antioxidative effect of the main sinapic acid derivatives from rapeseed and mustard oil by-products [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2006, 108: 239-248.

[20] 翟玮玮, 侯会线, 孙兆远. 四种谷物中多酚含量的测定及抗氧化特性研究 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(24): 150-153.

[21] 翟玮玮. 萌发谷物中多酚类物质与苯丙氨酸解氨酶的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2010, 31(8): 370-372.

[22] 何容飞, 梅雪婷, 许东晖, 等. 水稻总黄酮对小鼠学习记忆的促进作用 [J]. *中药材*, 2002, 2(25): 108-111.

[23] Yawadio R, Tanimori S, Morita N. Identification of Phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities [J]. *Food Chem*, 2007, 101: 1644-165.

[24] 孙涛, 孙斐, 巢骏, 等. 不同加成数 C60- β -丙氨酸衍生物的还原能力及金属螯合能力 [J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(8): 21-24.

[25] 胡敏, 袁津玮, 张声华. 银杏叶提取物的抗氧化性能研究 [J]. *华中农业大学学报*, 1998, 8(17): 409-412.

[26] 高芄. 水稻总黄酮对四氯化碳肝损伤的保护作用 [C]. 第四届第二次中国毒理学会食品毒理专业委员会学术会议论文集. 浙江杭州, 2006, 261-264.

[27] 许东晖, 陈颖, 梅雪婷, 等. 水稻黄酮对大鼠实验性肝纤维化的作用 [J]. *中国药科大学学报*, 2002, 33(3): 234-237.

[28] Sungur S, Uzar A. Investigation of complexes tannic acid and myricetin with Fe (III) [J]. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2008, 69(1): 225-229.

[29] Botelho FV, Alvarez - Leite J I, Lemos VS, et al. Physicochemical study of fl oranol, its copper (II) and iron (III) complexes, and their inhibitory effect on LDL oxidation [J]. *J Inorg Biochem*, 2007, 101(6): 935-943.

[30] 魏银花, 申迎宾, 王立, 等. 紫米多酚提取工艺及其抗氧化活性研究 [J]. *食品与机械*, 2013, 3: 111-115.

[31] 周园媛, 王战建. 晚期糖基化终末产物氧化应激与糖尿病心血管并发症 [J]. *中华临床医师杂志*, 2013, 7(12): 5488-5491.

[32] 孙玲, 张名位, 池建伟, 等. 黑米的抗氧化性及其与黄酮和种皮色素的关系 [J]. *营养学报*, 2000, 22: 246-249.

[33] 杨龙江. 食品中的天然酚类抗氧化剂 [J]. *中国食品添加剂*, 2001, 2: 27-30.

[34] de la Parra C, Saldivar SO, Liu RH. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas and tortilla chips [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(10): 4177-4183.

[35] 杨凌霄, 程李琳, 张晖, 等. 不同挤压温度对糙米体外抗氧化活性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35(8): 135-141.

[36] Renger A, Steinhart H. Ferulic acid dehydromers as structural elements in cereal dietary fibre [J]. *Eur Food Res Technol*, 2000, 211: 422-428.

[37] Li W, Friel J, Beta T. An evaluation of the antioxidant properties and aroma quality of infant cereals [J]. *Food Chem*, 2010, 121: 1095-1102.

[38] Li Y, Skouroumounis GK, Elsey GM, et al. Microwave -

assistance provides very rapid and efficient extraction of grape seed polyphenols [J]. *Food Chem*, 2011, 129: 570-576.

[39] 林小聪, 刘新光, 陈小文, 等. 山奈酚抑制蛋白激酶 CK2 活性 [J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2006, 22(11): 894-90.

[40] 王锋, 邓洁红, 谭兴和, 等. 花色苷及其共色作用研究进展 [J]. *食品科学*, 2008, 29(02): 472-476.

[41] Hu C, Zawistowski J, Ling W, et al. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51: 5271-5277.

[42] 凌文华, 刘静. 黑米花色苷提取物对血脂异常患者血脂和炎症因子的影响 [C]. 中国营养学会第十次全国营养学术会议. 北京: 2008. 307.

[43] Wang Q, Han P, Zhang M, et al. Supplementation of black rice pigment fraction improves antioxidant and anti-inflammatory status in patients with coronary heart disease [J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2007, 16(1): 295-301.

[44] 徐元元, 国旭丹, 贺丽霞, 等. 常见 6 种杂粮与 2 种主粮的抗氧化活性比较研究 [J]. *食品科学*, 2012, 33(7): 20-25.

[45] Liu R H. Whole grain phytochemicals and health [J]. *J Cereal Sci*, 2007, 46: 207-219.

[46] 李青, 张名位, 张瑞芬, 等. 5 种杂粮品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及其抗氧化活性比较 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45(6): 1150-1158.

[47] 赵兰涛. 全谷物对肠道菌群益生作用的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.

[48] 王雪锋, 单美娟, 韩曜平, 等. 鸭血糯中黄酮类化合物提取工艺的研究 [J]. *食品工业科技*, 2010, 12: 284-286.

[49] Vilkhuk K, Mawson R, Simons L, et al. Applications and opportunities for ultrasound - assisted extraction in the food industry - a review [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2008, 9: 161-169.

[50] Japon - Lujan R, Luque - R JM, Luque de C MD, et al. Dynamic ultrasound-assisted extraction of oleuropein and related biophenols from olive leaves [J]. *Chromatography*, 2006, 1108: 76-82.

[51] 杨志刚, 张燕萍, 杨海定. 超声波辅助提取常熟黑米类黄酮及其抗氧化活性分析 [J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 118-122.

[52] 贤景春, 傅彩红. 水蜈蚣总多酚提取工艺及其提取物的抗氧化性研究 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(33): 18763-18764.

[53] 陈根洪. 藤茶总多酚的提取及其抗氧化活性研究 [J]. *食品科学*, 2011, 32(6): 127-130.

[54] Setyaningsih W, Saputrob IE, Palma M, et al. Optimisation and validation of the microwave - assisted extraction of phenolic compounds from rice grains [J]. *Food Chem*, 2015, 169: 141-149.

[55] 张志辉, 于国萍. 超声波辅助提取黑米中抗氧化物质 [J]. *食品工业科技*, 2011, 32(12): 338-340.

[56] 张名位. 黑米抗氧化与降血脂的活性成分及其作用机理 [D]. 华南师范大学, 2003.

[57] 任虹, 朱晚霞, 韩东桓, 等. 微波辅助提取花生红衣多酚及其抗氧化活性研究 [J]. *中国食品学报*, 2013, 07: 25-33.

[58] 文春鹏, 陈祥贵, 饶夙, 等. 微波辅助提取石榴皮多酚工艺研究[J]. 食品与机械, 2011, 6: 103-106.

[59] Cui HC, Zhang JY, Yu JZ, et al. Study on the Retention Rate of Green Tea Catechins Components and Tea Polyphenol by

Different Processing Technology[J]. J Tea, 2013, 4: 356-361.

[60] 张羽男, 苏宏宏, 江惠, 等. 稻壳中黄酮类化合物的微波提取及其抗氧化活性研究[J]. 黑龙江医药科学, 2011, 34(6): 83-84.

(上接第 311 页)

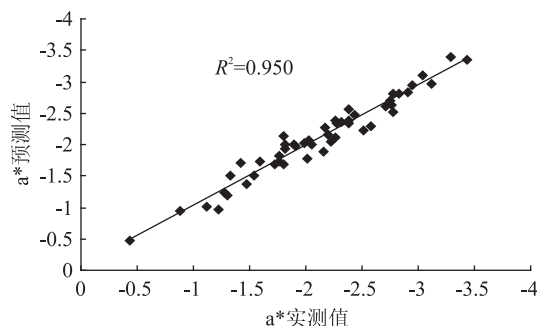


图4 a*值实测值与预测值的相关性

Fig.4 Correlation between predicted values of model optimized and actual values of a*

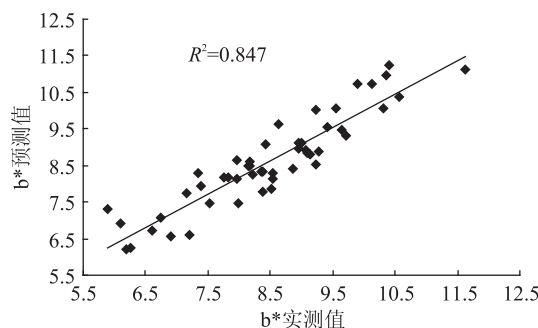


图5 b*值实测值与预测值的相关性

Fig.5 Correlation between predicted values of model optimized and actual values of b*

行检测, 确定了建立模型的最适宜化学计量学方法为 PLS 法, 光谱预处理方法 L* 值适用于二阶导数结合去散射处理, a*、b* 值适用于一阶导数结合加权多元离散校正处理, 在全波长范围内建模效果优于其他波长的分段模型。最优模型的验证结果显示 b* 模型仍需改进, L*、a* 模型性能较好, 相关性高, 预测标准差低。因此, 建立马奶葡萄果实表皮色泽的近红外检测模型是可行的, 将大大提高葡萄颜色检测、判别的准确性, 拓展了近红外技术的功能和应用领域。

参考文献

[1] 李宁, 关文强, 段双科. 葡萄采后致腐病原菌鉴定及侵染规律[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(3): 37-39.

[2] 金长江. 基于近红外光谱与机器视觉技术的浆果品质检测研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011: 11-12.

[3] 王敏, 付蓉, 赵秋菊, 等. 近红外光谱技术在果蔬品质无损检测中的应用[J]. 中国农学通报, 2010, 26(5): 174-178.

[4] Alamar M C, Bobelyn E, Lammertyn J, et al. Calibration transfer between NIR diode array and FT-NIR spectrophotometers for measuring soluble solids contents of apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(1): 38-45.

[5] Kawano S. Present condition of nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables in Japan[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 1992, 28: 212-216.

[6] 吴桂芳, 黄凌霞, 何勇. 葡萄浆果糖度可见/近红外光谱检测的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(9): 2090-2093.

[7] 刘燕德, 陈兴苗, 欧阳爱国. 梨表面色泽的可见/近红外漫反射光谱无损检测研究[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(4): 266-268.

[8] 文建萍, 陈兴苗, 孙旭东, 等. 可见/近红外漫反射光谱法测定赣南脐橙的表面色泽[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(36): 11805-11806.

[9] 张鹏, 李江阔, 冯晓元, 等. 可见/近红外漫反射光谱预测磨盘柿成熟度[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(11): 91-94.

[10] Fernando A. Mendoza, Karen Cichy, Renfu Lu, James D. Kelly. Evaluation of Canning Quality Traits in Black Beans (Phaseolus vulgaris L.) by Visible/Near-Infrared Spectroscopy[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(9): 2666-2678.

[11] 祝诗平, 王一鸣, 张小超, 等. 近红外光谱建模异常样品剔除准则与方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 115-119.

[12] Abdullah Iqbal, Da-Wen Sun, Paul Allen. Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(1): 42.

[13] 王丹, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 近红外光谱检测不同贮藏期磨盘柿的内部品质[J]. 光谱实验室, 2013, 30(6): 2769-2774.

[14] 庞滂. 近红外定性定量模型的建立与应用[D]. 西安: 西北大学, 2008: 15-17.

[15] 李振庆, 黄梅珍, 倪一, 等. 改进偏最小二乘法在近红外牛奶成分测量中的应用[J]. 光学技术, 2009, 35(1): 70-73.

[16] Dolores Pérez - Marína, María - Teresa Sánchezb, Patricia Paz, et al. Postharvest shelf - life discrimination of nectarines produced under different irrigation strategies using NIR - spectroscopy[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(6): 1405-1414.

(上接第 373 页)

[16] 黄光菊, 俞颂东. 维生素 E 调控肉品质的研究进展[J]. 饲料工业, 2005, 26(19): 27-30.

[17] 毕彩虹. 夏秋绿茶的发展及前景探讨[J]. 茶叶通报, 2007, 29(3): 109-111.

[18] 刘淑娟, 杨拥军, 钟兴刚, 等. 降低夏秋茶苦涩味的加工技术研究进展. 茶叶科学技术, 2014, (2): 1-3.

[19] 刘跃云, 叶阳, 杨坚, 等. 夏秋绿茶的品质特征及其提升技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2007, 01: 342-346.