

红薯干表面白斑形成原因及组成成分分析

Analyses of formation condition and composition of candied sweet potato white spot

陈静萍¹ 王克勤² 武小芬²

CHEN Jing-ping¹ WANG Ke-qin² WU Xiao-fen²

陈亮² 胡蝶² 齐慧²

CHEN Liang² HU Die² QI Hui²

(1. 湖南省农业科学院生物技术研究中心, 湖南 长沙 410125;

2. 湖南省农业科学院核农学与航天育种研究所, 湖南 长沙 410125)

(1. Biotechnology Research Center, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China;

2. Hunan Institute of Nuclear Agricultural Science and Space Breeding, Hunan Academy of
Agricultural Science, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:采用扫描电镜、傅立叶红外光谱及离子色谱对红薯干表面成分进行分析,并对不同储藏条件下红薯干产生白斑情况进行研究。结果表明:红薯干白斑中还还原糖和总糖含量分别为 636.76,961.34 mg/g,主要糖组成为半乳糖、葡萄糖、果糖和半乳糖醛酸。储藏 150 d 后发现,充氮包装最有利于红薯干白斑的生成,其次为真空包装,普通包装最少,25℃条件下储藏,3 种包装红薯干白斑产生率分别为 80.12%,64.38%,26.88%;储藏温度越高,白斑产生率越高,普通包装样品在 4℃、室温和 25℃条件下白斑产生率分别为 10.00%,19.38%,26.88%。

关键词:红薯干;白斑;成分分析;储藏

Abstract: In order to explore chemical composition and the causes of candied sweet potato white spot under different conditions, the composition were analyzed by scanning electron microscopy, fourier transform infrared spectroscopy and ion chromatography, and the case of produced white spot of candied sweet potato in different storage were also studied. The results showed that the reducing sugar and total sugar contents of candied sweet potato white spot were 636.76 mg/g and 961.34 mg/g, respectively. Mainly the sugar composed of galactose, glucose, fructose and galacturonic acid. After storage 150 d at 25℃, it was found that nitrogen packing most conducive of generating white spot from candied sweet potato, followed

by vacuum packaging, common packaging produced minimal, the white spot producing rate of three kinds packaging were 80.12%, 64.38% and 26.88%, respectively. With the storage temperature increased, the white spot producing rates gradually increased and they were found to be 10.00%, 19.38% and 26.88%, respectively, at 4℃, room temperature and 25℃ of common packaging sample.

Keywords: candied sweet potato; white spot; composition analysis; storage

红薯,为旋花科(*Convolvulaceae*)甘薯属一年或多年生草本植物,主产区位于北纬 40°以南的温带南部、亚热带以及热带^[1-3]。红薯营养丰富,每 100 g 红薯约含碳水化合物 29.5 g、蛋白质 1.8 g、脂肪 0.2 g、磷 20.0 mg、钙 18.0 mg、铁 0.4 mg、胡萝卜素 1.1 mg。此外,还含有丰富的维生素和氨基酸,如维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₃、维生素 C 和赖氨酸等,其中,赖氨酸是其他谷物所缺乏的,维生素 B₁ 和维生素 B₂ 分别比大米高 6 倍和 3 倍^[4-6]。随着生活水平的提高和科学技术的发展,红薯丰富的营养价值和良好的保健功能已经越来越受到国内外消费者的青睐。

红薯作为中国主要的粮食作物,国内对其加工利用进行了大量的研究。目前以红薯为原料,生产的产品主要有红薯粉丝、红薯干、红薯淀粉、红薯膳食纤维、红薯饮料以及红薯膨化、油炸食品等^[7-8]。红薯干是红薯深加工系列产品之一,具有甜软韧香、营养丰富的优点,并最大程度地保留了红薯的原有风味,深受消费者喜爱,具有很大的市场开发潜力。但是,在储藏销售过程中,红薯干表面会出现白色斑点(图 1),影响其外观品质。

基金项目:湖南省农业科学院创新项目(编号:2014YB25)

作者简介:陈静萍,女,湖南省农业科学院副研究员。

通讯作者:王克勤(1964—),男,湖南省农业科学院研究员。

E-mail:wkq6412@163.com

收稿日期:2016-05-23

目前均未见对红薯干表面出现白色斑点的系统分析,因此,本试验拟从食品安全角度对红薯干表面的白斑物质进行成分分析,并对不同储藏条件下红薯干白斑产生情况进行研究,旨在为探明红薯干白斑产生机理提供理论依据。



图 1 白斑红薯干样品

Figure 1 The sample of candied sweet potato white spot

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红薯干:生产日期为 2013 年 12 月 28 日,外观完好、无霉变、无白斑,水分含量为 20%~22%;

丙三醇、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、浓盐酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

氢氧化钠、乙酸钠:优级纯,上海沃凯试剂有限公司;
葡萄糖、果糖、半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖、木糖、纤维二糖、半乳糖醛酸、葡萄糖醛酸:色谱纯,美国 sigma 公司;

平板计数营养琼脂培养基、孟加拉红培养基:青岛海博生物技术有限公司;

试验用水为超纯水。

1.2 仪器设备

生化培养箱:SPX-250BS-II 型,上海新苗医疗器械制造有限公司;

超净工作台:SW-CJ-1D 型,苏净集团安泰公司;
高压灭菌锅:YXQ-LS-50S11 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

紫外可见分光光度计:UV-2450 型,日本岛津公司;
扫描电镜:JSM-6380LV 型,日本理学株式会社;
傅立叶红外光谱仪:Nicolet 670 FT-IR 型,美国热尼高力公司;

离子色谱仪:ICS-3000 型,美国戴安公司;

⁶⁰Co 辐射源:源强 7.4×10¹⁶ Bq,湖南省农业科学院核农学与航天育种研究所。

1.3 试验方法

1.3.1 红薯干加工工艺 选取无病变、外观完整的新鲜红薯(永吉 1 号),自然条件下放置 15 d 左右;清洗、削皮,放入清水中浸泡(不超过 8 h),然后捞出红薯进行高压蒸汽蒸煮;煮熟后切成约 150 mm(宽)×100 mm(厚)的条状;放入烘干房内烘干(50~80 ℃),烘干后在蒸汽烘房内回润 10 h。

1.3.2 储藏试验分组及处理方法 随机选取红薯干样品,按表 1 进行分组,每组分装红薯干样品 80 个(单个独立包装,每小袋红薯干样品重约 15 g),进行 2 次平行。普通包装充入空气,空气湿度大于 50%;充氮包装,充入高纯氮气,氮气

表 1 红薯干储藏试验分组

Table 1 The grouping for candied sweet potato storage experiments

分组	温度	包装	分组	温度	包装
1	4 ℃	普通包装	6	25 ℃	真空包装
2	室温	普通包装	7	4 ℃	充氮包装
3	25 ℃	普通包装	8	室温	充氮包装
4	4 ℃	真空包装	9	25 ℃	充氮包装
5	室温	真空包装			

纯度为 99.9%。储藏试验中,冷藏组置于 4 ℃冰箱内储存;高温组置于 25 ℃生化培养箱内储存;室温组直接存放于自然状态下,储藏过程中,每天记录储藏室温度的变化。分装后红薯干样品采用辐照杀菌,辐照剂量为 8 kGy。于 2014 年 1 月 1 日进行储藏试验,储藏 150 d,每 30 d 记录样品产生白斑红薯干数量,按式(1)计算红薯干白斑产生率。

白斑产生率= $\frac{\text{白斑红薯干数(个)}}{\text{红薯干总数(80 个)}} \times 100\%$ 。(1)

1.3.3 微生物测定

(1) 菌落总数测定方法:按 GB 4789.2—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》执行。

(2) 霉菌和酵母菌数测定方法:按 GB 4789.15—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》执行。

1.3.4 红薯干白斑样品的制备 采用刀片轻轻刮取红薯干表面白色斑点物质,于 50 ℃干燥处理 48 h,装入密封袋中,于干燥条件下储存。

1.3.5 扫描电镜 将干燥的白斑样品用导电性良好的粘合剂粘在金属样品台上,置于真空蒸发器中喷镀一层金属膜,置于扫描电子显微镜中观察。

1.3.6 FT-IR 光谱 将白斑样品与干燥的 KBr 固体于玛瑙研钵中研磨混合均匀,压片,光谱扫描范围 4 000~400 cm⁻¹。

1.3.7 总糖与还原糖含量

(1) 还原糖测定:称取样品 0.500 0 g,加蒸馏水定容至 50 mL,配成 0.01 mg/L 的样品溶液。样品稀释至合适浓度,采用 DNS 法测定样品中还原糖的含量^[9]。

(2) 总糖:吸取上述还原糖待测液,置于沸水浴中酸解 0.5 h,调节 pH 至 7.0~7.5,转移到 50 mL 容量瓶并定容,即为水溶性总糖待测液。然后采用 DNS 法测定样品中的总糖的含量^[10]。

1.3.8 离子色谱测定白斑样品中糖组成

(1) 糖标准溶液的配制:准确称取葡萄糖、甘露糖、半乳糖、果糖、阿拉伯糖、木糖、纤维二糖、半乳糖醛酸、葡萄糖醛酸各 0.100 0 g 于 100 mL 容量瓶中,用超纯水定容至刻度,取 1.25 mL 以超纯水稀释至 25 mL,配成 25 mg/L 的混合糖标准溶液。

(2) 样品处理:准确称取样品 0.100 0 g 于 25 mL 比色管中,加入约 10 mL 超纯水,混匀,45 ℃水浴 30 min,冷却,定

容至 25 mL。根据样品浓度稀释成适合离子色谱检测的浓度,过 0.20 μm 纤维膜,备用。离子色谱测定参考文献[11]。

2 结果与分析

2.1 红薯干白斑物质成分分析

2.1.1 表观形貌结构分析 由图 2 可知,白斑物质有类似晶体的结构,但晶粒呈现不规则状。从扫描电镜图可初步判定白斑样品并非霉菌斑。此外,将白斑样品进行霉菌和菌落总数培养,均未有菌落生长。

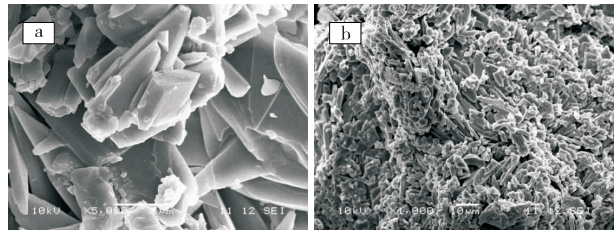


图 2 白斑样品电镜扫描图(a $\times 5\,000$,b $\times 1\,000$)

Figure 2 The SEM for white spot sample

2.1.2 FT-IR 光谱分析 由红外图谱分析可知,3 500~3 200 cm^{-1} 区域内 3 351 cm^{-1} 处的吸收峰为 O—H 伸缩振动,3 000~2 800 cm^{-1} 和 1 400~1 200 cm^{-1} 区域内的两组吸收峰分别为 C—H 的伸缩振动和变形振动,1 200~1 000 cm^{-1} 处的一组吸收峰为 C—O 键的变角振动,通过这 3 组峰可以初步判定该样品是含糖化合物^[12]。1 638 cm^{-1} 处吸收峰判定其含有酮基可溶性糖类;1 000~800 cm^{-1} 出现吸收峰 992,902 cm^{-1} 为六元环和五元环的 C—O 伸缩振动(环状)^[13-14]。因此,从 FT-IR 测定结果可知,红薯干白斑样品为含糖化合物。

2.1.3 糖组成分析 由表 3 红薯干和白斑样品中总糖和还原糖含量分析结果可知,白斑样品中还原糖和总糖含量分别为 6 36.76,961.34 mg/g,说明白斑样品中糖总量高达

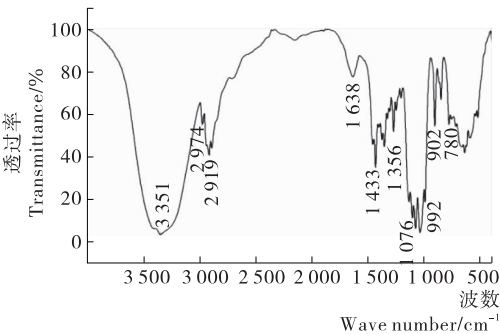


图 3 白斑样品 FT-IR 光谱图

Figure 3 The FT-IR spectrum for white spot sample

表 2 白斑样品各特征吸收峰及归属

Table 2 Infrared absorption bands of white spot sample

波数/ cm^{-1}	归属
3 351	O—H 伸缩振动
2 974	C—H 伸缩振动
2 919	C—H 伸缩振动
2 893	C—H 伸缩振动
1 638	C=O 伸缩振动
1 433	C—O 伸缩振动
1 381	C—H 变形振动
1 356	C—H 变形振动
1 076	C—O 伸缩振动
1 038	O—H 面内弯曲振动
992	C—O 伸缩振动(环状)
902	吡喃糖环振动吸收峰
780	吡喃糖环吸收峰

96.13%。此外,红薯干中还原糖和总糖含量也较高,因此,可推断红薯干表面产生的白斑物质,主要是储藏过程中红薯干表面或渗透到表面的糖溶液形成的糖结晶物。由离子色谱检测分析红薯干白斑物质中主要糖组成为半乳糖、葡萄糖、果糖和半乳糖醛酸。其中葡萄糖和半乳糖醛酸含量较高,分别达 104.37,367.84 mg/g。马齐等^[15]采用高效液相色谱研究柿子霜成分,也检测出柿子霜中糖含量较高,其中葡萄糖、果糖和蔗糖含量分别为 50.57%,13.26%,0.92%。

2.2 红薯干储藏试验

2.2.1 红薯干室温储藏期间温度变化情况 由图 4 可知,红薯干室温储藏期间,第 30~60 天平均温度最低,为 7.61 $^{\circ}\text{C}$,随后储藏温度逐渐增加,第 120~150 天平均温度最高,为 22.44 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 红薯干白斑产生情况分析 图 5 为不同储藏条件下,红薯干样品产生白斑情况分析。从包装类型分析,充氮包装样品白斑产生率最高,其次为真空包装,普通包装相对较低,在 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下储藏 150 d,充氮包装、真空包装和普通包装红薯干样品白斑产生率分别为 80.12%,64.38%,26.88%。从储藏温度分析,随储藏温度的升高,红薯干样品白斑产生率明显升高。普通包装红薯干储藏 150 d 后,4 $^{\circ}\text{C}$ 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下红薯干白斑产生率分别为 10.00% 和 26.88%;普通包装红薯干在室温储藏条件下,前 60 d 未发现红薯干白斑样品;60~90 d(月平均温度 13.9 $^{\circ}\text{C}$),红薯干白斑产生率为 1.88%;90~120 d(月平均温度 19.56 $^{\circ}\text{C}$),红薯干白斑产生率显著上升至 12.50%。通过 9 组试验研究发现,25 $^{\circ}\text{C}$ 充氮包装红薯

表 3 红薯干和白斑样品中糖组成及含量

Table 3 The sugar contents and composition analysis of candied sweet potato and white plot sample mg/g

样品	还原糖	总糖	半乳糖	葡萄糖	果糖	甘露糖	半乳糖醛酸
正常红薯干	157.41 $\pm$ 8.10	311.58 $\pm$ 5.15	5.28 $\pm$ 0.11	78.02 $\pm$ 0.95	33.80 $\pm$ 0.91	4.66 $\pm$ 0.13	7.77 $\pm$ 0.17
白斑样品	636.76 $\pm$ 5.25	961.34 $\pm$ 2.50	8.12 $\pm$ 0.16	104.37 $\pm$ 2.66	19.07 $\pm$ 0.17	未检出	367.84 $\pm$ 3.68

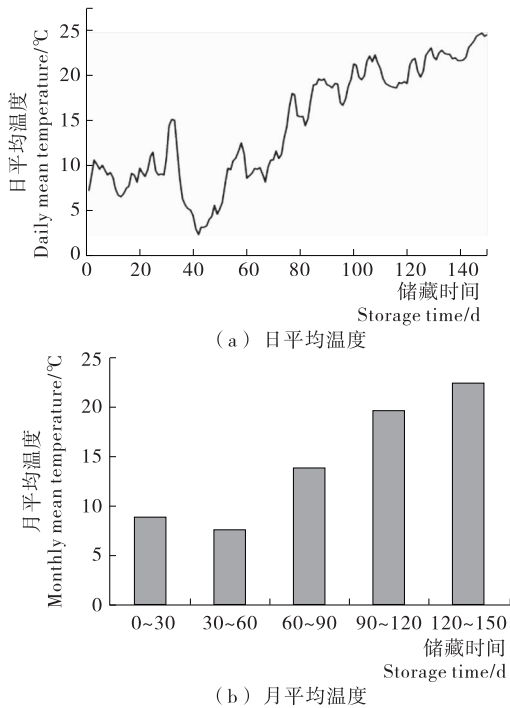


图4 红薯干室温储藏期间温度变化情况
Figure 4 The temperature changes during room temperature storage for sweet potato stem

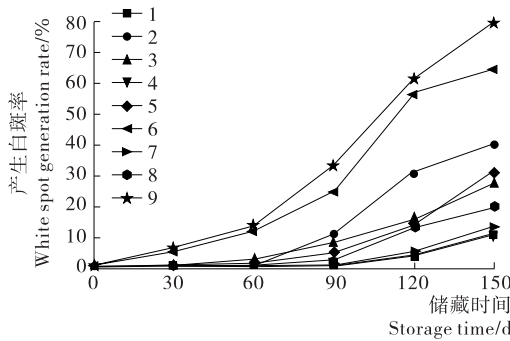


图5 储藏期间红薯干样品白斑产生情况
Figure 5 The white spot Samples produced from Sweet potato stem spot during storage

干样品白斑产生率最高为80.12%，4℃普通包装样品白斑产生率最低为10.00%。

因此,可以得出不同包装及储藏温度红薯干样品中,产生白斑的容易程度分别为:充氮包装>真空包装>普通包装;25℃>4℃。由于充氮包装样品,是对包装袋先抽真空,再充入高纯氮气,因此充氮后包装袋气体组分中水分含量极低,会加速红薯干表面水分向氮气中迁移,从而使红薯干表面水分流失^[16],致使其表面的糖发生结晶产生白色斑点;真空包装红薯干处于真空环境中,表面压力小于内部压力,使得红薯干内部的糖液和水分慢慢渗出,增加红薯干产生白斑的可能。不同储藏温度条件下,由于低温水分的渗透作用较慢,高温利于红薯干表面水分的散发,促进表面糖液的结晶,同时由于浓度差使红薯干内部糖分向外渗透,导致红薯干白斑产生率较高。

2.2.3 红薯干微生物分析 由表4可知,储藏前(0 d)经8 kGy

表4 微生物试验结果				
Table 4 The results for microbiological test CFU/g				
组别	储藏前(0 d)		储藏后(150 d)	
	菌落总数	霉菌和酵母菌数	菌落总数	霉菌和酵母菌数
1	<10	<10	20	10
2	<10	<10	840	580
3	<10	<10	1 000	300
4	<10	<10	<10	<10
5	<10	<10	260	120
6	<10	<10	200	80
7	<10	<10	<10	<10
8	<10	<10	20	20
9	<10	<10	150	80

照杀菌后的9组红薯干样品中菌落总数和霉菌酵母菌数均未检出,储藏150 d后,所有样品中菌落总数和霉菌酵母菌数均未超过10³ CFU/g,说明辐照杀菌能够有效杀灭红薯干中的微生物,延长其保质期。

3 结论

(1) 红薯干样品表面白斑主要为半乳糖、葡萄糖、果糖和半乳糖醛酸等组成的糖类化合物,其中葡萄糖和半乳糖醛酸含量较高,分别达104.37,367.84 mg/g,还原糖和总糖含量分别为636.76,961.34 mg/g。

(2) 不同储藏条件和不同包装红薯干样品中,产生白斑红薯干的容易程度分别为:充氮包装>真空包装>普通包装;25℃>4℃。其中,25℃充氮包装红薯干样品白斑产生率最高为80.12%,4℃普通包装样品白斑产生率最低为10.00%。8 kGy辐照处理后的红薯干样品储藏150 d后,微生物指标均符合要求,说明红薯干采用辐照杀菌效果明显。

(3) 通过系统研究,得出红薯干白斑主要为含糖化合物,且发现采用低温储藏,或普通充气包装的红薯干样品白斑产生率较低。因此,在红薯干加工过程中,尽量采用普通充气包装;销售过程中,为防止产生白斑,需要控制红薯干储藏环境的温度。通过研究发现,红薯干表面白斑的产生可能与红薯干中糖分的迁移具有一定的关系,因此,为阐明红薯干白斑的产生机理,还需进一步研究不同水分含量的红薯干样品白斑产生率。

参考文献

[1] 刘伟明. 中国甘薯研究开发利用的现状与对策探讨[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 484-488.
[2] 李林静, 唐汉军, 李高阳, 等. 甘薯营养成分及淀粉理化特性研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 55-58.
[3] 陕建伟. 甘薯优质高产栽培技术概述[J]. 北京农业科技论文, 2007(27): 13-14.
[4] 周曾学. 红薯的营养价值与保健功能[J]. 食品与药品, 2006, 8(8): 75-76.

[6] 王燕, 陈学森, 刘大亮, 等. ‘紫红 1 号’红肉苹果果肉抗氧化性及花色苷分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(10): 1 991- 1 998.

[7] 王延玲. 新疆红肉苹果红色发育机理的初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011: 29-31.

[8] 汪晓谦. 红肉苹果酚类代谢及其对逆境响应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.

[9] 玉江山·艾尼, 刘龙昌, 李文胜. 新疆古老栽培果树红肉苹果的分类、生物学特性与应用价值[J]. 林业实用技术, 2011(6): 63-64.

[10] LIU Qin, QIU Yang, BETA T. Comparison of antioxidant activities of different colored wheat grains and analysis of phenolic compounds[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2010, 58(16): 9 235-9 241.

[11] LI Fu-hua, ZHANG Xiao-li, ZHENG Shao-jie, et al. The composition, antioxidant and antiproliferative capacities of phenolic compounds extracted from tartary buckwheat bran [Fagopyrum tartaricum (L.) Gaerth][J]. Journal of Functional Foods, 2016, 22: 145-155.

[12] 赵二劳, 史淑美, 王迎进, 等. 黄芩多酚超声提取工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2012, 33(5): 30-33.

[13] 李珍, 哈益明, 李安, 等. 响应面优化苹果皮渣多酚超声提取工艺研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4 569-4 577.

[14] 吴添文. 响应面分析优化临界 CO₂萃取红枣多酚及其在卷烟中的应用[J]. 食品工业, 2015, 36(8): 131-136.

[15] 杜若源, 谢晶, 王婷, 等. 超声波辅助提取银杏叶中总黄酮的工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 31(1):167-170.

[16] 张小燕, 陈学森, 彭勇, 等. 新疆野苹果多酚物质的遗传多样性[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1 351-1 356.

[17] WANG Xiao-qian, WEI Zhi-wei, MA Feng-wang. The effects of fruit bagging on levels of phenolic compounds and expression by anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in red-fleshed apples[J]. Process Biochemistry, 2015, 50(11): 1 774-1 782.

[18] WANG Xiao-qian, LI Cui-ying, LIANG Dong, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red-fleshed apples[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 1 086-1 094.

[19] 李倩, 李俦, 徐金龙, 等. 响应面法优化南酸枣皮中多酚提取工艺[J].食品工业科技, 2012, 33(20): 251-254.

[20] 刘婷, 欧阳梦云, 王燕, 等. 刺葡萄酒渣中白藜芦醇的超声辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 160-164.

[21] 王贤萍, 张倩茹, 尹蓉, 等. 超声波辅助提取苹果多酚优化条件的研究[J]. 农产品加工, 2014(7): 12-15.

[22] 李晓军, 潘宏利, 陈花, 等. 响应曲面法优化超声辅助提取金银花总黄酮[J]. 陕西师范大学学报, 2009, 37(2): 81-90.

[23] 许先猛, 卢军, 宋武明. 苹果渣多酚超声提取工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 36-38 .

[24] 任文霞, 李建科, 仇农学, 等. 超声波辅助提取苹果渣多酚工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 20-23.

[25] 贺金娜. 苹果多酚的制备、成分鉴定及其抗氧化性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 52.

(上接第 87 页)

术,结合 PLC、RFID 及 OPC 技术,利用现有的工厂自动化网络,实现了滤棒应用的全过程实时防差错,差错截止率 100%,报警敏感度小于 2 s,对于提高企业的精益管理水平起到了很好的示范作用,具有较高的推广应用价值。也能为采用流程制造工艺的食品工业提供较好的借鉴。

参考文献

[1] 浙江中烟工业有限责任公司, 张思荣. 现代卷烟工厂建设创新与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

[2] 谭鹏飞. 用于卷烟滤棒交换站的电信号自动交换系统: 中国, 200820202532.3[P]. 2008-10-29.

(上接第 120 页)

[5] 邓学良, 周文化, 付希. 甘薯食品产业发展概况与前景分析[J]. 粮食与饲料工业, 2009(1): 15-16.

[6] 王新龙, 罗红霞, 王福海, 等. 甘薯酶解工艺条件优化研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 228-231.

[7] 吴广辉, 毕韬韬. 红薯营养价值及综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 189-192.

[8] 王丽娟, 王琴, 温其标. 我国甘薯产业的发展现状[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 12-14.

[9] 赵凯, 许鹏举, 谷广烨. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.

[10] 尹建雄, 卢红, 谢强, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法快速测定烟草水溶性总糖、还原糖及淀粉的探讨[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(6): 829-833, 838.

[3] 李哲. 烟草行业滤棒设备数据采集方式初探[J]. 中国高新技术企业, 2011, 21(7): 135-136.

[4] 王文, 刘剑锋, 张志远, 等. 基于 RFID 技术的滤棒输送环节纠错防错系统的设计与应用[J]. 自动化应用, 2013(10): 40-43.

[5] 任毅, 东童童. “智能制造”对中国食品工业的影响及发展预判[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 32-36.

[6] 钱杰, 金振训, 朱立明, 等. 滤棒交换中心的数据分析与利用[J]. 科技通报, 2015, 3(11): 210-212.

[7] 向晓波. 西门子 WINCC V7 从入门到提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 52-59.

[8] 崔坚, 李佳, 杨光. 西门子工业网络通讯指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 117-119.

[11] HU Qiu-long, TAN Lin, HENG Zhou, et al. Quantification of sugar compounds and uronic acids in enzymatic hydrolysates of lignocellulose using high-Performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. Energy Fuels, 2012, 26(5): 2 942-2 947.

[12] 孟庆勇, 王亚飞, 揭新明, 等. 粗江蓠多糖的提取及光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(10): 1 903-1 906.

[13] 柳建良, 黄桂颖, 舒永培, 等. 贡柑不同采收期果实可溶性糖红外光谱学研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 234-237.

[14] 邓一清, 童银洪, 陈小丽, 等. 翡翠贻贝多糖的分离纯化及单糖组成[J]. 农业研究与应用, 2013(2): 1-8.

[15] 马齐, 秦涛, 张强. 柿子霜成份检测分析[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 143-145.

[16] 夏延斌. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 28-29.