

利用产香酵母发酵技术改善烟叶品质

Study on improvement of tobacco quality by fermentation technology with aroma producing yeast

胡志忠¹ 姜宇² 龙章德¹ 刘鸿¹ 邹克兴¹

HU Zhi-zhong¹ JIANG Yu² LONG Zhang-de¹ LIU Hong¹ ZOU Ke-xing¹

苏赞¹ 孙建生¹ 李季刚¹ 杨龙彦¹ 许春平²

SU Zan¹ SUN Jian-sheng¹ LI Ji-gang¹ YANG Long-yan¹ XU Chun-ping²

(1. 广西中烟工业有限责任公司技术中心, 广西 南宁 530001; 2. 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

(1. Technical Center, China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530001, China;

2. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:以贵州兴义复烤中部烟叶为研究对象,利用产香酵母对其进行固态发酵,研究含水率、接种量、发酵温度、发酵时间对烟叶石油醚提取物含量的影响,并通过正交试验优化发酵条件,然后测定优化前后发酵条件下烟叶的香气物质和常规化学成分。结果表明:①各因素对石油醚提取物含量的影响显著性由大到小为接种量>发酵温度>发酵时间>烟叶含水率,最佳发酵工艺为烟叶含水率30%,接种量5 mL,发酵温度30℃,发酵时间2 d,此时石油醚提取物含量最高为8.45%;②在最佳发酵条件下,烟叶新增多种重要致香物质,如糠醇、金合欢醇、β-环柠檬醛等,并且新植二烯含量较对照增加了78.07 μg/g。

关键词:产香酵母;发酵;石油醚提取物

Abstract: Redried tobacco in Xingyi, Guizhou was used as the material, and the effects of moisture, inoculum amount, fermentation temperature and time on the content of petroleum ether extracts were investigated by using solid fermentation of aroma producing yeast. Then, the fermentation conditions were optimized by using orthogonal test. The aroma and conventional chemical composition in tobacco under the optimal condition were determined. The results showed that ① the effective factors on the content of petroleum ether extracts were the order of inoculation amount > fermentation temperature > fermentation time > tobacco moisture. The optimal fermentation process were tobacco moisture 30% inoculum amount 5 mL, fermentation temperature 30℃, fermentation time 2 d. The

petroleum ether extract content was upto 8.45%. ② Under the optimal fermentation conditions, many kinds of tobacco aroma were newly increased, such as alcohol, farnesol, and β-cyclocitral, and neophytadiene, which of the content was increased upto 78.07 μg/g.

Keywords: aroma producing yeast; fermentation; petroleum ether extract

在烟叶发酵过程中,微生物可以将烟叶中的一些大分子物质如蛋白质、淀粉降解为单糖和氨基酸等一些小分子,然后这些小分子物质经过一系列反应可以生成醇、醛、酸、酯、酮等香味成分,从而提升烟叶的吸食品质^[1]。产香酵母是一类可以产生香味物质的酵母菌,由于其生产的香味物质种类繁多,在食品行业应用十分广泛,如白酒、葡萄酒、果汁、香精香料生产以及烘培面包等^[2]。在烟草行业将产香酵母应用于烟叶的报道并不多见,阮祥隐等^[3]利用筛选出的 Y1022 酵母菌,以豆芽汁培养基对其进行发酵培养,然后测定发酵产物中酯类物质的含量,并将最优产酯发酵条件下的发酵产物添加至卷烟中,与对照相比,添加后的卷烟烟香增加,香气质较好,并且能与烟香协调。陈笃建等^[4]利用从烟叶表面筛选出的产香酵母对低等次烟叶进行发酵,卷烟的吸食舒适性提高,杂气减少,烟气清甜香更加突出。

烟叶石油醚提取物是以石油醚作为溶剂,对烟叶样品进行萃取后得到的混合物,主要包括挥发油、树脂、油脂、脂肪酸、蜡质、类脂物、甾醇、色素等^[5]。这一类物质在烟叶成熟、调制、陈化和燃吸过程中,会经过一系列的分解、转化形成致香物质,所以石油醚提取物含量越高,其香气物质越多。石油醚提取物含量常作为衡量烟叶品质和香气的重要指标^[6]。

在提取植物某些特定成分的研究中,利用石油醚提取物

基金项目:广西中烟对外合作项目(编号:201745000034026)

作者简介:胡志忠,男,广西中烟工业有限责任公司工程师,硕士。

通信作者:许春平(1977-),男,郑州轻工业学院教授,博士。

E-mail: xuchunping05@163.com

收稿日期:2018-06-05

为目标进行条件优化的研究较多^[7-9],但以石油醚提取物的含量为优化目标对烟叶发酵条件进行优化却没有相关报道。本研究拟利用从烟叶表面分离得到的一株产香酵母对烟叶进行发酵,以石油醚提取物的含量为指标进行单因素优化,根据正交试验结果,再结合烟叶香气物质和常规化学成分的对比分析,以期探究出产香酵母对烟叶的最佳发酵工艺。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 材料与试剂

兴义 B₃F 复烤后烟叶:2016 年产,广西中烟工业有限责任公司;

产香酵母 C1:由烟叶表面分离,并保存在本实验室;

石油醚:沸程 30~60 ℃,烟台市双双化工有限公司;

乙酸苯乙酯内标:0.821 1 mg/mL,美国 Sigma-Aldrich 公司;

无水硫酸钠:分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司;

双圈定性滤纸:通用电气生物科技有限公司;

LB 液体培养基:蛋白胨 10 g/L,酵母粉 5 g/L,NaCl 10 g/L,pH 7.0~7.4。

1.1.2 仪器

生化培养箱:BPC-250F 型,上海一恒科学仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-98-II 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

洁净工作台:SW-CJ-2FD 型,苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;

水分测定仪:DSH-50A-1 型,上海佑科仪器仪表有限公司;

紫外分光光度计:Ultra3400 型,北京普源精电科技有限公司;

气质联用仪:Agilent 6890/5973 型,美国 Agilent 公司;

连续流动分析仪:AA3 型,德国 Seal Analytical 公司。

1.2 方 法

1.2.1 烟叶发酵 将试验所用的产香酵母 C1 从培养基接种 2 环到 100 mL LB 液体培养基,在培养温度 30 ℃,摇床转速 150 r/min 培养 48 h。将得到的种子液在 4 ℃、10 000 r/min 离心 10 min,弃上清液收集湿菌体,用无菌去离子水对湿菌体进行重悬,使用分光光度计确定稀释倍数,使菌体浓度稳定在 10⁸ CFU/mL,测得此时 OD₆₀₀ = 1.45。

将烟叶去梗除杂,在(22±2) ℃、相对湿度 60% 条件下平衡 48 h,然后测定含水率。采用固态发酵的方式,准确称取 40 g 湿基(含有水分的烟叶)置入托盘中,喷洒适量的无菌水和菌悬液使烟叶至一定含水率,用保鲜膜封口,于生化培养箱中恒温发酵。

1.2.2 发酵条件优化

(1) 最佳接种量:取 40 g 烟叶,量取 1,2,3,4,5 mL 菌悬液均匀喷洒在烟叶上,补充水分至物料含水率为 40%,40 ℃ 发酵 3 d,发酵结束后测定烟叶石油醚提取物含量。

(2) 最佳发酵温度:取 40 g 烟叶,量取 3 mL 菌悬液均匀喷洒在烟叶上,补充水分至物料含水率为 40%,分别在 25,30,35,40,45 ℃ 下发酵 3 d,发酵结束后测定烟叶石油醚提取物含量。

(3) 最佳发酵时间:取 40 g 烟叶,量取 3 mL 菌悬液均匀喷洒在烟叶上,补充水分至物料含水率为 40%,分别在 40 ℃ 下发酵 1,2,3,4,5 d,发酵结束后测定烟叶石油醚提取物含量。

(4) 最佳含水率:取 40 g 烟叶,量取 3 mL 菌悬液均匀喷洒在烟叶上,补充水分至物料含水率为 20%,30%,40%,50%,60%,40 ℃ 下发酵 3 d,发酵结束后测定烟叶石油醚提取物含量。

1.2.3 正交试验 根据单因素试验结果,以烟叶石油醚提取物含量为考察指标,以发酵温度、发酵时间、烟叶含水率及接种量为考察因素,设计四因素三水平正交试验,筛选影响烟叶石油醚提取物含量的主要因素,以确定最佳发酵条件。

1.2.4 常规化学成分和香味物质测定 确定最佳发酵条件后,另设一组对照试验,由接种产香酵母改为喷洒等量无菌去离子水,其他发酵条件相同,发酵结束后测定常规化学成分和香味成分。

常规化学成分检测采用 YC/T 160—2002《烟草及烟草制品总植物碱的测定 连续流动法》、YC/T 162—2011《烟草及烟草制品氮的测定 连续流动法》和 YC/T 173—2003《烟草机烟草制品中钾的测定法 火焰光度法》测定烟碱、钾和氮,采用文献[10]的方法测定总糖和还原糖,采用文献[11]的方法测定石油醚提取物的含量。

香味物质含量采用气相色谱-质谱联用仪测定,分析流程为:称取处理后的样品 30 g 进行粉碎,过 60 目筛,同时蒸馏萃取 2.5 h,萃取剂为 CH₂Cl₂。同蒸结束后,待萃取液冷却至室温后加入 1 mL 内标,然后加入无水硫酸钠静置一晚后进行浓缩,浓缩至 1 mL 至色谱瓶中进行 GC/MS 检测。

色谱条件:HP-5MS(60 m×0.25 mm i.d.×0.25 μm d.f.)色谱柱;载气为高纯氦气;进样口温度 280 ℃;流速 3 mL/min;分流比 5:1。升温程序:起始温度 50 ℃保持 2 min,以 8 ℃/min 升至 200 ℃,再以 2 ℃/min 升至 280 ℃,保持 10 min。

质谱条件:接口温度 270 ℃,离子源温度 230 ℃,四极杆温度 150 ℃,离子化方式 EI,电子能量 70 eV,质量扫描范围 35~550 m/z。

1.2.5 数据处理 烟叶的化学指标均重复测定 3 次,计算其平均值和标准差,并用 Spss 软件采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。利用 Excel 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 最佳发酵条件的探索

2.1.1 接种量 由图 1 可见,石油醚提取物的含量随酵母菌悬液用量的增加而升高,当接种量为 4 mL,即 11.1% 时,石油醚提取物达到最大值,随着接种量继续增加呈下降趋势,可能是接种生物量过多,影响了菌种的生长代谢,从而产物降低。故酵母菌悬液的最佳接种量为 4 mL。

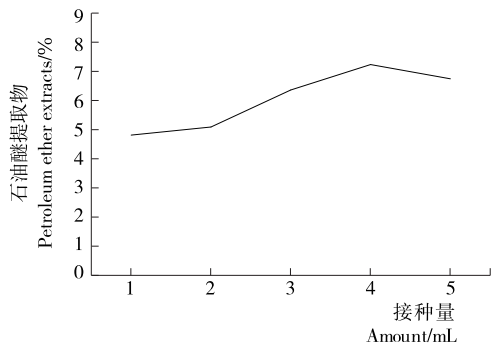


图 1 接种量对烟叶石油醚提取物的影响

Figure 1 Effects of different inoculation amounts on petroleum ether extract of tobacco leaves

2.1.2 发酵温度 发酵温度会影响发酵过程中烟叶微生物和酶的分解作用,适宜的温度会促进微生物和酶分解。由图 2 可知,发酵温度 30 °C 时,石油醚提取物的含量最高,随着温度的继续升高,呈下降趋势,可能是过高温度抑制了菌体的生长和代谢,故最佳发酵温度为 30 °C。

2.1.3 发酵时间 发酵时间对微生物生长及其代谢产物有重要的影响。由图 3 可知,在一定范围内,随着发酵时间的延长,烟叶的石油醚提取物的含量逐渐增加,发酵第 4 天时,石油醚提取物含量的变化不再明显,此时发酵应趋于完全。随着发酵时间的延长,烟叶颜色与外观会发生严重变化,应尽量减少发酵时间,故最佳发酵时间为 3 d。

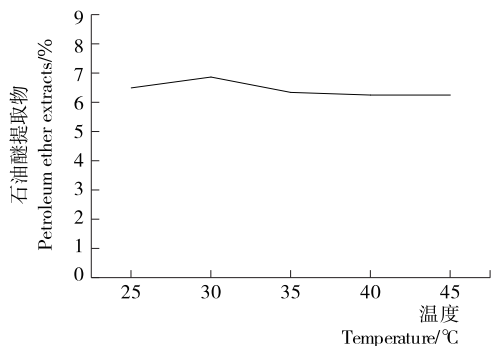


图 2 发酵温度对烟叶石油醚提取物的影响

Figure 2 Effects of different temperature on petroleum ether extract of tobacco leaves

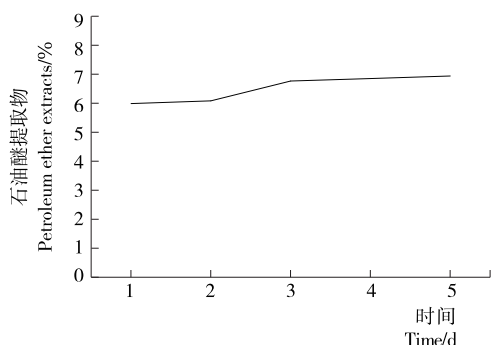


图 3 发酵时间对烟叶石油醚提取物的影响

Figure 3 Effects of different time on petroleum ether extract of tobacco leaves

2.1.4 含水率 发酵烟叶中水分过低,会影响微生物的生长和酶的活性。水分过高,则发酵烟叶易结块,影响其散热及通气性。由图 4 可知,烟叶含水率为 30% 时,石油醚提取物的含量达到最大值,随着含水率的继续增加,石油醚提取物的含量呈逐渐下降的趋势,可能是水分超过 30% 后,不利于酵母生长,影响了菌种的代谢,故最佳发酵含水率为 30%。

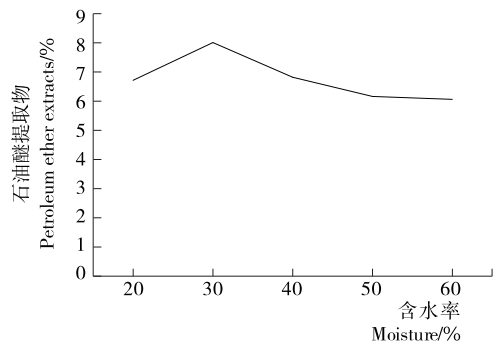


图 4 含水率对烟叶石油醚提取物的影响

Figure 4 Effects of different moisture on petroleum ether extract of tobacco leaves

2.1.5 正交试验 根据单因素试验结果,选取烟叶含水率、接种量、发酵时间、发酵温度 4 因素,各因素选 3 水平进行正交试验,以石油醚提取物含量为指标,设计试验方案见表 1,结果见表 2。

表 1 正交试验因素与水平表

Table 1 Factors and levels of solid-state fermentation conditions of tobacco leaves by aroma producing yeast

水平	A 含水率/%	B 接种量/mL	C 时间/d	D 温度/°C
1	20	3	2	25
2	30	4	3	30
3	40	5	4	35

表 2 产香酵母固态发酵条件优化正交试验结果与分析

Table 2 Orthogonal test on the content of petroleum ether extract from tobacco leaves by solid-state fermentation with aroma producing yeast

序号	A	B	C	D	石油醚提取物/%
1	1	1	1	1	6.14
2	1	2	2	2	6.29
3	1	3	3	3	7.20
4	2	1	2	3	6.36
5	2	2	3	1	5.73
6	2	3	1	2	8.45
7	3	1	3	2	6.44
8	3	2	1	3	6.51
9	3	3	2	1	6.60
<hr/>					
k_1	6.54	6.31	7.03	6.16	
k_2	6.85	6.77	6.42	7.06	
k_3	6.52	7.42	6.46	6.69	
R	0.33	1.11	0.61	0.90	

从正交结果可知(表2),产香酵母发酵烟叶时,发酵条件为烟叶含水率30%、接种量5 mL、发酵时间2 d、发酵温度30 ℃,此时石油醚提取物含量最高为8.45%。由极差分析可得,各因素对石油醚提取物含量的影响显著性由大到小为B>D>C>A,最优组合为A₂B₃C₁D₂,即烟叶含水率30%、接种量5 mL、发酵时间2 d、发酵温度30 ℃,且与试验最优值结果相符。由此确定产香酵母发酵烟叶的最佳条件是:烟叶含水率30%、接种量5 mL、发酵时间2 d、发酵温度30 ℃。

2.2 常规化学成分检测结果

本试验分别对发酵前后烟叶中总糖、还原糖、烟碱、钾和氯的含量进行测定,结果见表3,对照组总糖与还原糖含量高于试验组,可能是在发酵过程中接种的产香酵母以烟叶中的糖作为碳源进行生长繁殖;2组的烟碱含量并没有发现明显变化;试验组钾氯比增加,烟叶的燃烧性增强;试验组的糖碱比略低于对照组,为8.31。

表3 产香酵母对烟叶常规化学成分含量的影响

Table 3 Effects of aroma producing yeast on the content of conventional chemical components in tobacco leaves

处理	总糖/%	还原糖/%	烟碱/%	钾/%	氯/%	钾氯比	糖碱比
对照组	26.09	22.15	2.89	1.71	0.61	2.80	9.03
试验组	24.02	19.62	2.89	1.79	0.59	3.03	8.31

2.3 香味物质检测结果

为了进一步分析产香酵母对烟叶品质的影响,对处理后的复烤烟叶进行GC/MS分析,然后利用Nist11谱库进行检索,结果见表4,在对照组中,共检测出醇类化合物5种、羰基类化合物16种、酸类化合物5种、酯类和内酯13种、烃类化合物12种、杂环类化合物5种、酚类1种、酰胺和亚胺类化合物2种。

接种产香酵母进行固态发酵后,醇类化合物新增糠醇和

表4 产香酵母对烟叶香味物质的影响[†]

Table 4 Effects of aroma producing yeast on aroma components of tobacco leaves

类型	香味物质名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		类型	香味物质名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	
		对照组	试验组			对照组	试验组
酯类和内酯	棕榈酸甲酯	21.94	20.55	羰基类	十五烷醛	—	3.44
	硬脂酸甲酯	2.52	1.91		螺岩兰草酮	6.32	6.21
	亚油酸甲酯	8.82	—		庚二烯醛	0.12	—
	亚麻酸甲酯	19.14	14.94		反-2,6-壬二醛	0.26	—
	十四酸甲酯	—	0.74		反式-5-甲基-2-(1-甲基乙烯基)环己烷-1-酮	—	—
	三甲基硅烷基棕榈酸酯	26.96	19.49		苯乙醛	5.63	5.32
	三甲基硅烷基十五烷酸酯	11.19	6.60		β -环柠檬醛	—	0.10
	三甲基硅烷基肉豆蔻酸酯	10.58	9.53		β -大马酮	15.31	15.13
	邻苯二甲酸二乙酯	1.94	1.47		α -大马酮	1.49	1.29
	甲基反亚油酸酯	—	—		2-(4-甲基-3-环己烯基)丙醛	0.15	0.15
	己二酸二异辛酯	0.98	1.45		2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-甲醛	0.28	0.34
	二氢猕猴桃内酯	5.07	4.75		2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	0.16	—
	γ -十一烷酸内酯	3.58	—		2-吡啶甲醛	0.39	0.46
	(7E,10E,13E)-7,10,13-十六碳三烯酸甲酯/	2.36	2.49		4,7,9-巨豆三烯-3-酮	42.65	42.16
	12-甲基十三烷酸甲酯	0.71	—		4-羟基- β -二氢大马酮	3.41	3.19
	(6E,10E)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-1,6,10,14-十六碳四烯	11.77	—		5-甲基糠醛	1.06	1.06
	(E)-4-六癸烯-6-炔	—	0.62		6-甲基-5-庚烯-2-酮	—	—
	(Z)-4-六癸烯-6-炔	2.51	—		3-吡啶甲醛	0.33	—
1,2,3,4-四甲基萘	2.36	—	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	3.60	4.32		
1,5,8-三甲基-1,2,3,4-四氢萘	0.85	—	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	2.24	2.59		
1-氯十八烷	0.50	0.26	香叶基香叶醇	1.14	0.26		
紫罗烯	4.85	4.55	糠醇	—	0.19		
α -芹子烯	—	1.18	金合欢醇	—	0.53		
二十烷	0.49	1.26	醇类	芳樟醇	1.88	1.57	
十八烷	1.33	—	苯乙醇	4.03	3.81		
十六烷	0.81	0.92	苯甲醇	7.26	6.73		
十七烷	0.84	1.05	(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	0.16	—		
十四烷	0.38	0.14	酚类	4-乙烯基愈创木酚	5.69	5.60	
十五烷	0.69	0.87					

续表 4

类型	香味物质名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		类型	香味物质名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	
		对照组	试验组			对照组	试验组
	吡啶	1.07	1.43		棕榈酸	93.04	79.75
	烟碱	0.36	0.30		硬脂酸	4.70	2.72
杂环类	2-乙酰基吡咯	2.42	2.15	酸类	亚油酸	8.76	6.71
	2-乙酰基呋喃	0.44	0.50		辛酸	—	0.28
	2-正戊基呋喃	0.34	0.31		壬酸	0.48	—
酰胺和 油酰胺	11.47	4.40	α -亚麻酸		30.61	18.89	
亚胺类	N-(2-三氟甲基苯)-3-吡啶甲酰胺脒	0.47	0.16		其他	新植二烯	880.42

† “—”表示未检出。

金合欢醇 2 种,糠醇具有谷香、油香并且可以增加烟气浓度,金合欢醇具有特有青香韵的铃兰花香,并有青香和木香韵;羰基类化合物新增十五烷醛和 β -环柠檬醛 2 种, β -环柠檬醛具有甜香可以增加烟气浓度和刺激性;酸类化合物新增辛酸 1 种,辛酸有甜香味,具有醇和烟气的作用;酯类和内酯新增十四酸甲酯 1 种,十四酸甲酯具有醇和烟气的作用。

3 结论

本研究利用单因素和正交试验设计,确定了产香酵母发酵烟叶的最佳条件,在最佳条件下发酵后的烟叶,醇类、羰基类、酸类、酯类和内酯等香气物质种类增加,新植二烯含量增加。研究表明产香酵母通过代谢作用,促进了烟叶的醇化。

据报道^[12-13]烤烟烟叶石油醚提取物含量高时,其香气物质较多,化学成分含量比例协调,烟草综合质量较好。本研究也证明了以石油醚提取物含量为优化目标对烟叶发酵条件进行优化的可行性,下一步将针对石油醚提取物中的具体成分进行检测分析,阐明其与烟草质量的关系。

参考文献

[1] 颜克亮,武怡,曾晓鹰,等.基于提质减害的烟叶醇化技术研究进展[J].湖北农业科学,2011,50(3):450-453.
 [2] 王国良,宋俊梅,曲静然.生香酵母及其应用[J].食品工业,2004(3):16-17,29.

[3] 阮祥稳,任平,陈卫峰,等.烟用生香酵母的研究及其应用[J].生物技术,2006(1):57-59.
 [4] 陈笃建.产香酵母对低次烟叶吸食品质的影响[J].贵州农业科学,2013,41(4):44-47.
 [5] 陈海生,刘国顺.豫中烤烟种植区烟叶石油醚提取物含量与土壤养分的空间变异性分析[J].核农学报,2013,27(1):108-117.
 [6] 简永兴,杨磊,谢龙杰,等.种植海拔对烤烟石油醚提取物及常规化学成分的影响[J].烟草科技,2005(7):3-6.
 [7] 杨海涛.桐油提取工艺条件的优化[J].湖北农业科学,2012,51(19):4340-4341,4347.
 [8] 龚煥.不同产地白补药的成分对比研究[D].武汉:武汉工程大学,2016:41-53.
 [9] 李梁.槟榔花茶饮料工艺技术研究[D].海口:海南大学,2015:18-20.
 [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(6):829-833,838.
 [11] 邵金良,黎其万,刘宏程,等.烟草中石油醚提取物测定方法改进[J].中国烟草科学,2010,31(1):41-43.
 [12] 祁林,陈伟,王政,等.浓香型烟叶不同分切区石油醚提取物的含量[J].烟草科技,2014(1):53-55,76.
 [13] 何永秋,刘国顺,杨永锋,等.不同钾肥施对烤烟石油醚提取物和中性致香物质的影响[J].中国烟草学报,2013,19(1):10-14,20.

(上接第 192 页)

[10] KAUSHAL Pragati, SHARMA H K. Convective dehydration kinetics of noodles prepared from taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) and pigeonpea (*Cajanus cajan*) flours[J]. Agricultural Engineering International; CIGR Journal, 2013, 15(4): 202-212.
 [11] RHIM J W. Drying characteristics of Korean-type Rehmannia (*Jiwhang*) noodle[J]. Food Science and Biotechnology, 2009, 18(1): 202-206.
 [12] YALCIN S, BASMAN A. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43: 1637-1644.
 [13] MAN Li, JING Peng, ZHU Ke-xue, et al. Delineating the microbial and physical-chemical changes during storage of ozone treated wheat flour[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 20: 223-229.

[14] 朱科学,李洁,郭晓娜,等.干燥方式对半干面保鲜和品质影响的研究[J].粮食加工,2015,40(6):37-41.
 [15] RATTI C. Hot air and freezing-drying of high-value foods: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49: 311-319.
 [16] 王灵昭,陆启玉,袁传光.用质构仪评价面条质地的研究[J].郑州工程学院学报,2003,24(3):29-33.
 [17] PETITOT M, BOYER L, MINIER C, et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 634-641.
 [18] LI Man, ZHU Ke-xue, SUN Qing-jie, et al. Quality characteristics, structural changes, and storage stability of semi-dried noodles induced by moderate dehydration Understanding the quality changes in semi-dried noodles [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 797-804.
 [19] 祝红,王芳,易翠平.贮藏温度和时间对鲜湿米粉品质的影响[J].食品与机械,2018,34(3):132-136.