

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.05.006

富含多酚高粱茶的工艺研究

闫巧珍¹, 郝旭¹, 王晓闻¹, 柳青山², 朱俊玲¹

(1. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西功能食品研究院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业科学院 高粱研究所, 山西 晋中 030600)

摘要: 研究高粱茶加工过程中各加工单元对高粱中多酚含量的影响。结果表明, 正交实验优化的最佳工艺参数为: 浸泡料液比 1:10, 浸泡温度 100℃, 浸泡时间 4 h, 蒸料时间 45 min, 干燥温度为 100℃, 干燥时间为 1 h, 焙烤温度为 185℃, 焙烤时间为 35 min。高粱茶产品的色泽呈土黄色, 具有焙烤的焦糊香气, 多酚物质保留多, 表现出较强的抗氧化能力。

关键词: 高粱茶; 加工单元; 多酚物质; 抗氧化能力

中图分类号: TS217.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)05-0026-07

Research on process of polyphenol-rich sorghum tea

YAN Qiao-zhen¹, HAO Xu¹, WANG Xiao-wen¹, LIU Qing-shan², ZHU Jun-ling¹

(1. Shanxi Functional Food Research Institute, School of food science and engineering,

Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801; 2. Sorghum Research Institute,

Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong Shanxi 030600)

Abstract: The effects of processing parameters on the content of polyphenols in sorghum during processing were studied. The results showed that the optimum process parameter optimized by orthogonal experiment were: ratio of material to liquid was 1:10, soaking temperature was 100℃ for 4 h, steaming time was 45 min, drying temperature was 100℃ for 1 h, baking temperature was 185℃ for 35 min. The sorghum tea produced under these conditions looks golden, with baking coke cream aroma, contains polyphenol substances as much as possible with strong antioxidant activity.

Key words: sorghum tea; processing unit; polyphenols; antioxidant capability

高粱在生产生活中有很多用途, 食用、饲养、酿造, 还可以入药^[1]。高粱具有养胃、健脾、润肠道等功效, 在中医领域应用广泛。高粱中含有淀粉、蛋白质、多酚类等多种人体需要的营养物质。高粱中含有丰富的多酚类物质, 如类黄酮、原花青素、酚酸、单宁等^[2-3], 对清除人体内自由基有很好的效果, 对氧化酶有很强的抑制作用, 因此具有很强的抗氧化能力^[4]。同时, 多酚类物

质对预防癌症及改善心血管疾病等都有很大的作用^[5-6]。我国的高粱产量大, 性状优良、价格便宜, 是提取抗氧化多酚物质、研究保健功能食品的理想原料^[7]。

目前来看, 市面上并没有完全的纯高粱制品, 无法满足消费者对优质高粱产品的需求。因此, 开发高粱及其制品具有广阔的发展空间。在高粱加工过程中, 不同加工方式和加工单元会使高粱产生不同的风味, 但同时也会使高粱中的很多营养物质受到破坏, 尤其是多酚类物质。所以, 本实验研究优化高粱茶的加工工艺, 使其多酚类物质损失率达到最低, 为高粱制品的发展打开思路。

收稿日期: 2019-03-07

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201703D211001-06-01);

国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-13.5-A30); 山

西省重点研发计划重点项目(201703D211012-2)

作者简介: 闫巧珍, 1992年出生, 女, 硕士。

通讯作者: 朱俊玲, 1978年出生, 女, 硕士, 副教授。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

高粱 (晋杂 22 号): 粗蛋白 9.06%, 粗脂肪 3.93%, 单宁 1.90%, 粗淀粉 72.49%, 多酚含量较其他品种丰富)。

没食子酸: 上海蓝季生物有限公司; 福林酚试剂: 北京市索莱宝科技有限公司; 无水碳酸钠: 天津市恒兴化学试剂制造有限公司; 95%乙醇: 天津市天力化学试剂有限公司; 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH): 上海源叶生物科技有限公司; 铁氰化钾: 成都市科龙化工试剂厂。所有试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

LD5-2B 低速离心机: 北京雷勃尔医疗器械有限公司; 101-3A 电热鼓风干燥箱: 北京中兴伟业仪器有限公司; WFJ2011 可见分光光度计: 尤尼柯上海仪器有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅: 常州澳华仪器有限公司; YS-04 小型高速粉碎机: 北京燕山正德机械有限公司等。

1.3 实验方法

1.3.1 总酚标准曲线绘制

没食子酸标准曲线的绘制参照文献[8]的方法。

1.3.2 样品提取液制备

将高粱脱脂粉碎, 过 40 目筛。称取高粱粉 2.0 g, 置于锥形瓶中, 加入乙醇进行提取 (料液比为 1 : 20), 在水浴锅 (40 ℃) 中震荡提取 2 h, 然后离心 30 min (4 000 r/min), 将上清液蒸发至体积低于 25 mL, 用乙醇定容至 25 mL, 即为样品提取液^[9]。

1.3.3 多酚含量测定

多酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 比色法 (FC 法)^[10]。移取 1 mL 提取液于 10 mL 容量瓶中, 加入 1 mL Folin-Ciocalteu 显色剂, 摇匀后加入 2 mL 15% Na₂CO₃ 溶液, 室温下定容并避光反应 2 h, 于 760 nm 处测定其吸光值。将吸光度值代入标准曲线中, 即可计算出样品中多酚含量并用于进一步分析。

1.3.4 高粱茶制作

1.3.4.1 工艺流程 参考苦荞茶、麦芽茶和燕麦茶的加工工艺^[11-13], 确定高粱茶的制作工艺为:

高粱米→挑选→粉碎→浸泡→蒸料→干燥→焙烤→成品。

1.3.4.2 操作要点

挑选: 挑选表面清洁, 杂质较少, 无明显损伤的高粱。

粉碎: 选取不同种类的高粱, 挑选除杂后放入粉碎机中, 粉碎至荞麦大小 (小型高速粉碎机两到三秒即可), 便于后续的各项操作。

浸泡: 将破碎后的高粱加水浸泡, 浸泡能使高粱中的淀粉充分吸水, 软化高粱的组织结构, 在后续蒸煮过程中对淀粉糊化起到促进作用^[14]。

蒸制: 煮的作用是使淀粉糊化并去除高粱的生涩味^[14]。在蒸锅中加水至烧开, 加入浸泡过的高粱颗粒, 蒸制至全熟。

干燥: 对高粱进行干燥的主要作用是对蒸料后的高粱进行初步定型^[14]。将蒸熟后的高粱颗粒平铺在滤纸上, 放入恒温鼓风干燥箱中, 进行干燥。

焙烤: 焙烤的作用是使高粱中发生美拉德反应, 赋予高粱茶良好的色泽及特殊的香气^[15]。此工艺的条件控制尤为重要, 若焙烤温度过低, 时间较短, 则焙烤不充分, 难以获得理想的高粱茶风味, 若温度过高, 时间较长, 则容易使高粱茶产生焦糊味道。把干燥后的高粱颗粒倒入烤盘之中, 放置于烤箱中, 进行焙烤。

1.3.5 不同加工单元对高粱多酚含量影响的单因素实验

1.3.5.1 浸泡对高粱多酚含量的影响 将称好的高粱分别就浸泡时间、温度、料液比进行单因素实验。分别设定浸泡时间梯度为 1、2、3、4、5 h; 温度为 10、20、40、60 ℃; 料液比 1 : 10, 1 : 20, 1 : 30, 1 : 40; 1 : 50。干燥, 提取多酚, 测定含量。

1.3.5.2 蒸煮对高粱多酚含量的影响 称取同等质量高粱, 分别设置时间为 15、25、35、45、55 min。干燥后, 提取多酚, 含量最高的为最佳蒸煮时间。

1.3.5.3 干燥对高粱多酚含量的影响 以干燥温度, 干燥时间进行单因素实验, 分别设定干燥时间为 0.5、1、1.5、2 h; 干燥温度为 60、80、100、120、140 ℃。提取多酚, 测定含量。

1.3.5.4 焙烤对高粱多酚含量的影响 以焙烤温

度, 焙烤时间两个影响因素进行单因素实验, 分别设置焙烤温度为 155、165、175、185、195 ; 焙烤时间为 15、25、35、45、55 min。提取多酚, 测定含量。

1.3.6 正交实验

在单因素实验结果的基础上, 将八个单因素进行 13 因素 3 水平的正交实验, 确定最佳的高粱茶加工条件。

1.3.7 高粱茶抗氧化性的测定

1.3.7.1 高粱茶还原力的测定 对高粱茶成品进行冲泡, 分别对茶水进行还原力的测定, 同时与市售的大麦茶和苦荞茶进行对比^[16]。

1.3.7.2 高粱茶超氧阴离子自由基清除率的测定

对高粱茶成品进行冲泡, 分别对茶水进行 O_2^- 清除率的测定, 同时与市售的大麦茶和苦荞茶进行对比^[16]。

1.3.7.3 高粱茶羟基自由基清除率的测定 对高粱茶成品进行冲泡, 分别对茶水进行 $\cdot OH$ 清除率的测定, 同时与市售的大麦茶和苦荞茶进行对比^[17]。

1.3.7.4 高粱茶 DPPH 自由基清除率的测定 对高粱茶成品进行冲泡, 分别对茶水进行 DPPH 清除率进行测定, 同时与市售的大麦茶和苦荞茶进行对比^[17]。

1.4 数据分析

所有实验做 3 个平行, 其结果用平均值表示。采用 Origin 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 没食子酸标准曲线

标准曲线如图 1。由图 1 可知, 回归方程为 $y=64.40833x-0.00335$, $R^2=0.9992$ 。

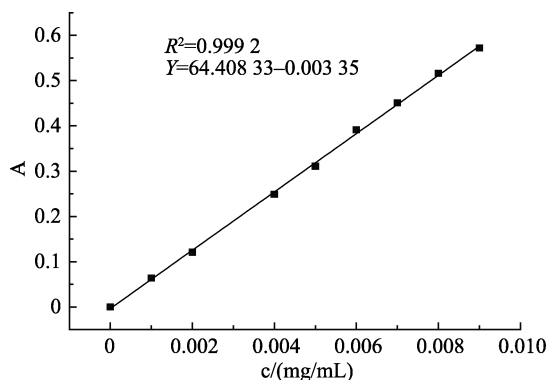


图 1 没食子酸标准曲线

2.2 单因素实验结果

2.2.1 浸泡时间的确定

设定浸泡温度为 10 , 料液比为 1 : 20, 不同浸泡时间下高粱中的多酚含量测定结果如图 2 所示。由图 2 可知, 随着浸泡时间的延长, 高粱中多酚含量先降低后迅速上升, 然后再降低, 在时间为 4 h 时, 多酚含量达到最高, 为 0.81 mg/g。原因可能是随着浸泡时间的逐渐延长, 高粱中含水量增加, 导致自由酚损失, 而后随着含水量的增加结合酚转化为自由酚, 所以多酚含量有所上升, 自由酚又溶解于水中使得多酚含量再度下降。选择最适浸泡时间为 4 h。

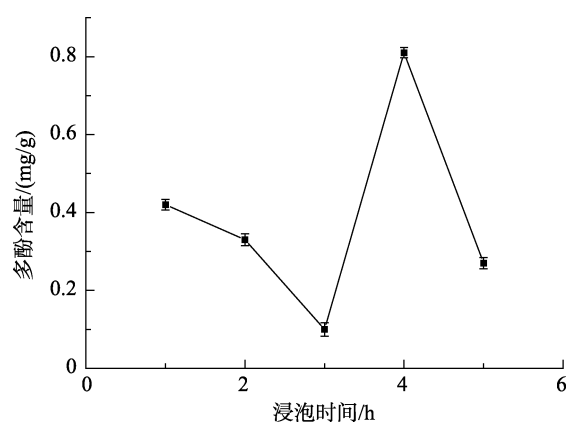


图 2 浸泡时间对高粱多酚含量的影响

2.2.2 浸泡温度的确定

设定浸泡时间为 4 h, 料液比为 1 : 20, 不同浸泡温度下高粱中的多酚含量测定结果如图 3 所示。由图 3 可知, 随着浸泡温度升高, 高粱中多酚含量在不断地降低, 原因可能是温度不断升高, 高粱中的黄酮、花色苷等部分多酚类热敏性物质结构受到破坏, 直接导致高粱总酚含量减少。所以在加工过程中, 尽量选择低温浸泡。

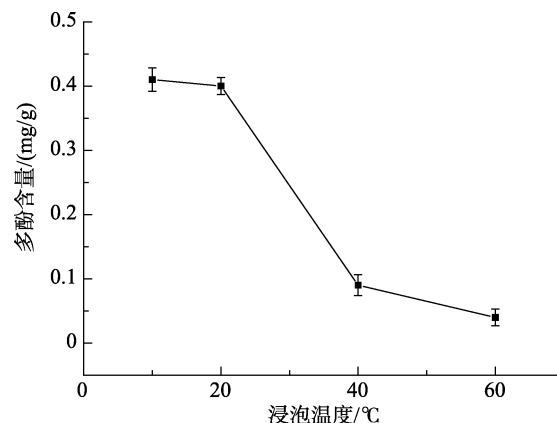


图 3 浸泡温度对高粱多酚含量的影响

2.2.3 浸泡料液比的确定

设定浸泡时间为 4 h，浸泡温度为 100 ℃，不同料液比下高粱中的多酚含量测定结果如图 4 所示。由图 4 可知，当料液比不断增加时，高粱中的多酚含量先上升，达到最大值之后又有所下降，当料液比进一步增大时，高粱米中的多酚含量又上升，之后又降低到最低值，当料液比为 1 : 20 时，高粱米中的多酚含量最高为 0.9 mg/g，故最佳料液为 1 : 20。

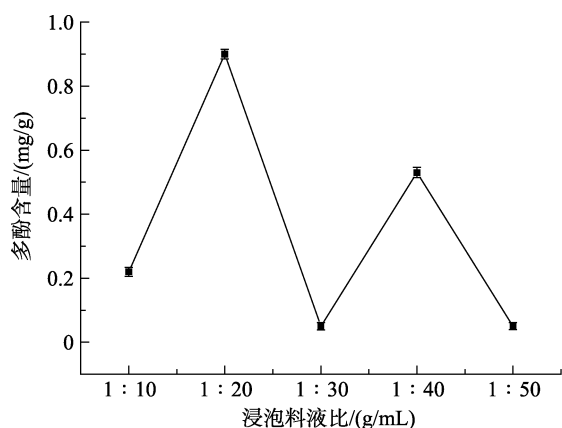


图 4 浸泡料液比对高粱中多酚含量的影响

2.2.4 蒸料时间的确定

对同等质量粉碎后的高粱进行蒸制，不同蒸制时间下高粱中多酚含量测定结果如图 5 所示。

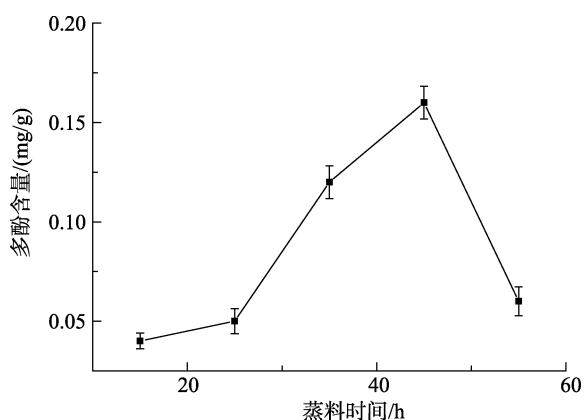


图 5 蒸料时间对高粱多酚含量的影响

由图 5 可知，随着蒸料时间延长，高粱中多酚含量先上升，达到最大值后又下降，在 45 min 时多酚含量达到最高，为 0.16 mg/g。原因可能是高粱中的游离酚在蒸制开始时很短一段时间是先用损失的，随着蒸制时间的延长，高粱中的结合酚类转化为游离酚，使测定的高粱中多酚含量反

而增加^[18]。

2.2.5 干燥时间的确定

设置干燥温度为 100 ℃，不同干燥时间下高粱中的多酚含量测定结果如图 6 所示。由图 6 可知，当干燥时间延长时，高粱米中的多酚含量先上升到最大值后下降，这可能是因为较长时间的干燥中水分被蒸干，导致有些水溶性酚类物质结合于高粱内部不被释放出来，在干燥时间为 1 h 时，含量达到最高为 0.53 mg/g。

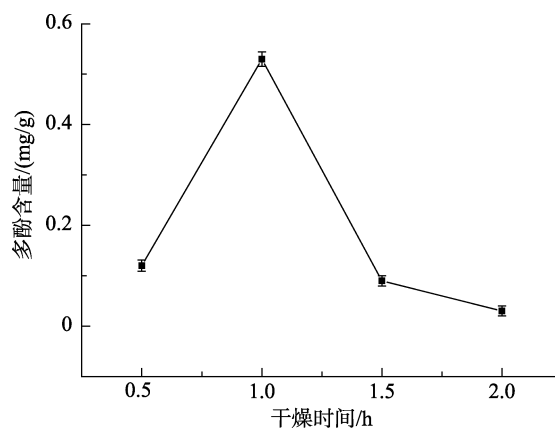


图 6 干燥时间对高粱多酚含量的影响

2.2.6 干燥温度的确定

设置干燥时间为 1 h，不同干燥温度下高粱中的多酚含量测定结果如图 7 所示。由图 7 可知，随着干燥温度的升高，高粱多酚含量先升高再降低，在温度为 100 ℃ 时多酚含量最高，为 0.72 mg/g，原因可能是由于在干燥期间，蛋白质、肽以及游离氨基通过美拉德反应与还原糖或其它成分发生羰基反应^[19]，导致游离性结合酚在 100 ℃ 得以释放，所以最适干燥温度为 100 ℃。

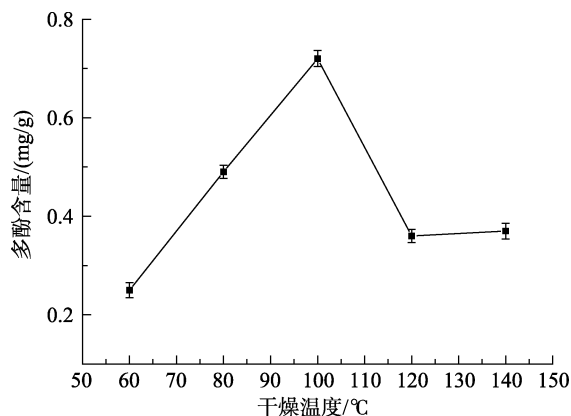


图 7 干燥温度对高粱多酚含量的影响

2.2.7 焙烤时间的确定

设置焙烤温度为 185 °C，不同焙烤时间下高粱中的多酚含量测定结果如图 8 所示。由图 8 可知，随着焙烤时间的延长多酚含量先上升，当焙烤时间为 35 min 时，含量最高，为 0.92 mg/g，之后多酚含量开始下降。可能的原因是随着时间的延长，热稳定性物质先转化为酚类物质，之后随着时间的进一步延长，在高温条件下使得多酚类物质发生聚合或氧化，形成鞣质类物质，使得多酚含量下降^[20]。

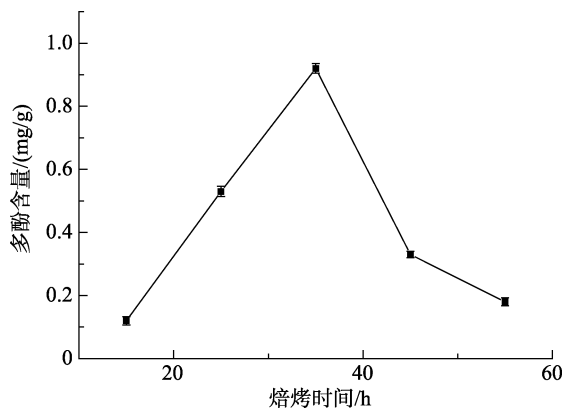


图 8 焙烤时间对高粱多酚含量的影响

2.2.8 焙烤温度的确定

设置焙烤时间为 35 min，不同焙烤温度下高粱中的多酚含量测定结果如图 9 所示。由图 9 可

知，随着焙烤温度的上升，高粱中的多酚含量的总体趋势是上升的，当焙烤温度为 185 °C 时多酚含量达到最高，为 0.53 mg/g，当温度进一步升高时，多酚含量下降到最低值，原因可能是高温造成了更多热稳定性酚类物质的释放^[20]，从而直接导致多酚含量迅速降低。

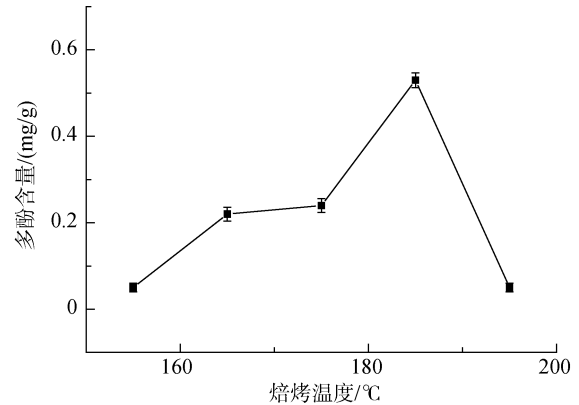


图 9 焙烤温度对高粱多酚含量的影响

2.3 正交实验结果

由表 1 可知，27 个处理中最优水平组合为： $A_1B_2C_1D_2E_2F_2G_2H_2$ ，多酚含量为 0.35 mg/g。通过直观分析进行验证，极差分析的最佳工艺条件为 $A_1B_1C_1D_1E_3F_2G_3H_3$ 。

这八个因素的主次关系为：

主 次
A D F C 和 G E B 和 H

表 1 正交实验结果

试样号	因素								多酚含量/ (mg/g)	
	A 浸泡温度/ °C	B 浸泡时间/h	C 浸泡料液比	D 蒸料时间/min	E 干燥时间/h	F 干燥温度/ °C	G 焙烤时间/min	H 焙烤温度/ °C		
1	10	3	1	10	35	0.5	80	25	175	0.17
2	10	4	1	10	45	1	100	35	185	0.35
3	10	5	1	10	55	1.5	120	45	195	0.34
4	10	3	1	20	35	1	100	45	195	0.25
5	10	4	1	20	45	1.5	120	25	175	0.13
6	10	5	1	20	55	0.5	80	35	185	0.18
7	10	3	1	30	35	1.5	120	35	185	0.03
8	10	4	1	30	45	0.5	80	45	195	0.13
9	10	5	1	30	55	1	100	25	175	0.07
10	20	3	1	20	35	1.5	80	45	175	0.23
11	20	4	1	20	35	0.5	100	25	185	0.19
12	20	5	1	20	45	1	120	35	195	0.10

续表 1

试样号	因素									多酚含量/ (mg/g)
	A 浸泡温度/	B 浸泡时间/h	C 浸泡料液比	D 蒸料时间/min	E 干燥时间/h	F 干燥温度/	G 焙烤时间/min	H 焙烤温度/		
13	20	3	1 30	55	0.5	100	35	195	0.24	
14	20	4	1 30	35	1	120	45	175	0.13	
15	20	5	1 30	45	1.5	80	25	185	0.08	
16	20	3	1 10	55	1	120	25	185	0.21	
17	20	4	1 10	35	1.5	80	35	195	0.09	
18	20	5	1 10	45	0.5	100	45	175	0.09	
19	30	3	1 30	45	1	80	35	175	0.14	
20	30	4	1 30	55	1.5	100	45	185	0.23	
21	30	5	1 30	35	0.5	120	25	195	0.11	
22	30	3	1 10	45	1.5	100	25	195	0.08	
23	30	4	1 10	55	0.5	120	35	175	0.09	
24	30	3	1 20	45	0.5	120	45	185	0.07	
25	30	3	1 20	45	0.5	120	45	185	0.06	
26	30	4	1 20	35	1	80	25	195	0.07	
27	30	5	1 20	35	1.5	100	35	175	0.14	
K1j	1.65	1.48	1.42	1.41	1.33	1.09	1.11	1.19		
K2j	1.36	1.41	1.42	1.23	1.32	1.64	1.36	1.40		
K3j	0.99	1.11	1.16	1.36	1.35	1.27	1.53	1.41		
K1j	0.20	0.14	0.17	0.14	0.13	0.13	0.12	0.13		
K2j	0.15	0.15	0.14	0.12	0.16	0.18	0.15	0.15		
K3j	0.09	0.13	0.12	0.19	0.15	0.12	0.17	0.15		
Rj	0.11	0.02	0.05	0.07	0.03	0.06	0.05	0.02		

浸泡温度 (A) > 蒸料时间 (D) > 干燥温度 (F) > 浸泡料液比 (C) > 焙烤时间 (G) > 干燥时间 (E) > 浸泡时间 (B) > 焙烤温度 (H)

在实验中，各空列对应的 R_e 值分别为 0.03、0.05、0.05、0.01、0.05，需将其 R_j 值与 R_e 值相比较，其中 A、D、F 三个因素的 R_j 值是大于 R_e 值的，说明 A、D、F 三个因素的水平效应的差异是存在的，而其他五个因素的水平效应差异是可以忽略的。

通过极差分析的最佳工艺条件为 $A_1B_1C_1D_1E_3F_2G_3H_3$ 。此结果并未在 27 个处理中，因此进行验证实验， $A_1B_1C_1D_1E_3F_2G_3H_3$ 条件制作的高粱茶，最终多酚含量为 0.27 mg/g。故高粱茶的最佳加工工艺为 $A_1B_2C_1D_2E_2F_2G_2H_2$ ，即浸泡温度为 10，浸泡时间为 4 h，浸泡料液比为 1 10，蒸料时间为 45 min，干燥时间为 1 h，干燥

温度为 100，焙烤温度为 185，时间为 35 min。

2.4 高粱茶抗氧化性的测定结果

高粱茶与大麦茶和苦荞茶抗氧化能力对比结果如表 2。与大麦茶相比，高粱茶表现出更强的抗氧化能力，还原力、·OH 清除率，DPPH·清除率均高于大麦茶。虽然整体抗氧化能力弱于苦荞茶，但高粱产量大且价格便宜，所以具有一定的发展前景。

表 2 高粱茶与大麦茶和苦荞茶抗氧化能力对比

产品	抗氧化能力			
	还原力	O_2^- 清除率/%	·OH 清除率/%	DPPH·清除率/%
高粱茶	0.213	9.60	10.80	33.1
大麦茶	0.194	11.00	8.20	31.3
苦荞茶	0.238	10.20	11.30	42.1

3 结论

通过对高粱茶不同加工单元的研究, 确定最佳工艺为: 浸泡料液比 1:10, 浸泡温度 100℃, 浸泡时间 4 h, 蒸料时间 45 min, 干燥温度为 100℃, 干燥时间为 1 h, 焙烤温度为 185℃, 焙烤时间为 35 min。流程简单易操作, 可行性高, 且经过粉碎、浸泡、蒸料、干燥、焙烤的高粱茶色泽金黄, 具有谷物经焙烤后特有的焦糊气味。所制成的高粱茶与市售的大麦茶和苦荞茶相比, 抗氧化能力高于大麦茶, 弱于苦荞茶。由于高粱价格便宜, 因此, 高粱茶具有很广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 寇兴凯, 徐同成, 宗爱珍, 等. 高粱营养及其制品研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(11): 45-48.
- [2] 田森林. 山西省特用高粱发展简述[J]. 农业技术与装备, 2010(17): 23-25.
- [3] DYKES L, ROONEY L W. Sorghum and millet phenols and antioxidants[J]. Journal of Cereal Science, 2006, 44: 236-251.
- [4] 刘敏轩, 王贇文, 韩建国. 高粱籽粒中多酚类物质的傅立叶变换近红外光谱分析[J]. 分析化学, 2009, 37(9): 1275-1280.
- [5] 朱育菁. 多酚氧化酶抑制剂对菜青虫的防效及其毒理学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2011: 92-98.
- [6] NORATTO G, PORTER W, BYRNE D, et al. Identifying peach and plum polyphenols with chemopreventive potential against estrogen-independent breast cancer cells[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5119-5126.
- [7] LINDA D, LOYD W R. Sorghum and millet phenols and antioxidants[J]. J Cereal Sci, 2006, 44(3): 236-251.
- [8] 王华斌, 王珊, 傅力. 酶法提取石榴皮多酚工艺研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 56-57.
- [9] 刘禹, 段江莲, 李为琴, 等. 高粱米不同溶剂提取物的抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2013(6): 36-39.
- [10] 吕俊丽, 游新勇, 任志龙, 等. 酶解水溶剂法提取莜麦多酚的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 123-124.
- [11] MUREKATETR NICOLE. 高粱、大豆、玉米混合粉的营养、功能性质的改善及其作为营养食品的应用[D]. 江苏: 江南大学, 2010.
- [12] SIKANDRA AND P BOORA. Nutritional evaluation of sorghum and chickpea incorporated value added products [J]. J. Dairying, Foods & H.S., 2009(28): 181-185.
- [13] 焦维娜, 刘树兴. 高营养荞麦茶的研究[D]. 陕西: 陕西科技大学, 2013.
- [14] 吴丽. 加工过程对高粱功效成分与功能活性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [15] 蔡亭, 汪丽萍, 刘明, 等. 谷物加工方式对其生理活性物质影响研究进展[J]. 粮油食品科技, 2015(2): 1-5.
- [16] 朱小芳, 杨凯, 赵玉红. 平欧榛子活性成分含量及抗氧化性比较[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 131-133.
- [17] 杨巧, 刘燕, 李靖. 响应面法优化微波辅助提取雪莲果粗多糖工艺条件及体外抗氧化性测定[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 199-200.
- [18] 隋秀芳, 李祥, 秦礼康, 等. 蒸煮和焙炒整米苦荞茶香气成分分析及生产过程中主要化学成分的去向[J]. 食品科学, 2012(22): 269-273.
- [19] Bhosale S, Vijayalakshmi D. Processing and nutritional composition of rice bran[J]. Current Research in Nutrition and Food Science, 2015, 3(1): 74-80.
- [20] 蔡亭, 汪丽萍, 刘明, 等. 挤压加工对小米多酚及抗氧化活性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2014(20): 102-106. 