

响应面法优化祁门红茶多酚浸提工艺的研究

黄良芳, 张振阳, 潘乐, 柯仲成, 李长江* (黄山学院化学化工学院, 安徽黄山 245041)


摘要 祁门红茶是中国历史名茶,其含有的多酚具有促进健康的作用。采用响应面法优化乙醇浸提祁门红茶多酚的工艺参数。主要考察了乙醇体积分数、浸取温度和浸取时间对祁门红茶多酚提取率的影响,结果表明以 57.83% 乙醇为提取液,在 85.07 °C 下浸提 65.33 min,在此条件下多酚类的提取率最高(130.554 mg/g)。该研究为今后祁门红茶中多酚的提取提供了参考。

关键词 祁门红茶;多酚;响应面法;优化;提取工艺

中图分类号 TSS 272.5⁺2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)12-0186-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.053

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Optimization of Extraction Technology of Polyphenols in Keemun Black Tea by Response Surface Methodology

HUANG Liang-fang, ZHANG Zhen-yang, PAN Le et al (School of Chemistry and Chemical Engineering, Huang-shan University, Huang-shan, Anhui 245041)

Abstract Keemun black tea is a famous tea in Chinese history. It contains polyphenols, which can promote human health. In this paper, response surface methodology was used to optimize the process parameters of ethanol extraction of polyphenols from keemun black tea. The effects of ethanol volume fraction, extraction temperature and extraction time on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea were mainly investigated. The results showed that the optimized conditions were as follows: using 57.83% ethanol as extract for 65.33 minutes at 85.07 °C. Under these conditions, the highest extraction rate of polyphenols was 130.554 mg/g. The research results provided references for the subsequent extraction of polyphenols from keemun black tea.

Key words Keemun black tea; Polyphenols; Response surface methodology; Optimization; Extraction process

茶叶中富含茶多酚、生物碱、氨基酸、维生素、多糖类、酶类、微量元素等多种有利于人体健康的成分^[1]。其中,多酚由于能形成各类自由基,保护人体组织免受氧化作用的损害,从而具有提高机体的免疫功能、抗癌、抗衰老等作用,引起人们的广泛研究^[2]。

祁门红茶因其产地优越的自然条件和优良的茶叶品种而成为极品红茶,一直以来享有盛誉^[3-4]。祁门红茶是完全发酵茶,发酵程度高,其中的多酚类成分通过氧化和聚合作用形成一系列新的具有生物活性的化合物,如茶黄素、茶红素、茶褐素等^[5-6]。因此,祁门红茶中多酚的含量低于绿茶,但其相对生物活性没有降低,仍具有良好的抗氧化活性,甚至还具有一些绿茶所不具有的药理作用,其特有的生物学功能越来越受到人们的关注^[7-9]。

浸提法是目前从茶叶中获取多酚最常用的方法,浸提工艺的研究对于工业化制备多酚具有重要意义^[10]。目前红茶多酚浸提工艺的研究方法主要是单因素筛选和正交试验法,方法简单易行但数据不够全面^[11-12]。响应面法(response surface methodology, RSM)是一种结合数学建模和综合试验来科学设计优化测试的方法,由 Box 等^[13]提出,具有精度高、预测性能好以及能够研究各种因素之间相互作用等优点^[14]。笔者利用响应面法来优化祁红中多酚的浸取工艺^[15-19],旨在为后续开发利用祁门红茶多酚资源提供更多参

考数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料。祁门红茶购于安徽省黄山市祁门县历口茶厂,粉碎后过 200 目筛。

1.1.2 试剂与仪器。没食子酸(gallic acid, GA)和 Folin-Ciocalteu 试剂均购自上海金穗生物科技有限公司;其余试剂(AR)均购于 aladdin 试剂网;试验用水为超纯水。紫外可见分光光度计(UV-2600),苏州岛津;数显恒温水浴锅(HH-6),金坛荣华;中药粉碎机(XFB-1000),吉首中诚;电子分析天平(FA2104B),上海越平。

1.2 试验方法^[20-23]

1.2.1 没食子酸标准曲线的绘制。量取 Folin-Ciocalteu 试剂 20 mL,加水定容于 200 mL 容量瓶中,制得 100 mL/L Folin-Ciocalteu 试剂。用水溶解 37.50 g Na₂CO₃,定容于 500 mL 容量瓶中,制得 75 g/L Na₂CO₃ 溶液。准确称取 0.028 3 g 没食子酸,用无水乙醇溶解并定容于 25 mL 容量瓶中。移取 1.0、2.0、3.0、4.0 和 5.0 mL 上述溶液,各加水定容于 100 mL 容量瓶中,即得没食子酸的标准溶液。

分别移取 1.0 mL 5 种浓度的没食子酸标准溶液,各加入 5.0 mL 配制的 Folin-Ciocalteu 试剂,5 min 后再各加入 4.0 mL Na₂CO₃ 溶液,室温下显色反应 1 h 后,测定波长 765 nm 时的吸光度(A),绘制标准曲线。

1.2.2 多酚含量及提取率的计算。分别移取祁门红茶浸提液,按照“1.2.1”所述方法进行显色,根据测得的吸光度,在标准曲线上查找对应的浓度,并利用公式计算多酚提取率(单位为 mg/g)。

$$Y = \frac{C \times V \times N}{W} \quad (1)$$

基金项目 安徽省大学生创新创业训练计划项目(201710375046);安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2018078);安徽高校省级自然科学基金项目(KJ2012ZD11)。

作者简介 黄良芳(1983—),男,安徽寿县人,讲师,博士,从事功能材料和高分子化合物研究。*通信作者,副教授,从事有机高分子材料和天然产物分离及应用研究。

收稿日期 2020-02-14

式中, C 为茶多酚浓度(单位 mg/mL); V 为浸提液体积(单位 mL); N 为稀释倍数; W 为红茶质量(单位 g)。

1.2.3 单因素试验。

1.2.3.1 乙醇体积分数对祁门红茶多酚提取率的影响。取 5 支比色管, 分别放入 1.0 g 祁门红茶茶粉, 依次加入 50 mL 体积分数分别为 50%、60%、70%、80%、90% 的乙醇溶液, 60 °C 浸提 1 h, 静置后分别移取 1 mL 上清液, 按照“1.2.1”的方法显色, 测定波长 765 nm 时的吸光度 (A), 并计算多酚提取率 (Y)。

1.2.3.2 浸提温度对祁门红茶多酚提取率的影响。取 5 支比色管, 分别放入 1.0 g 祁门红茶茶粉, 依次加入 50 mL 体积分数 60% 的乙醇溶液, 分别在 50、60、70、80 °C 下浸提 1 h, 静置后各移取 1 mL 上清液, 按照“1.2.1”的方法显色, 测定波长 765 nm 时的吸光度 (A), 并计算多酚提取率 (Y)。

1.2.3.3 浸提时间对祁门红茶多酚提取率的影响。取 5 支比色管, 分别放入 1.0 g 祁门红茶茶粉, 依次加入 50 mL 体积分数 60% 的乙醇溶液, 80 °C 下分别浸提 15、30、45、60、75 min, 静置后各移取 1 mL 上清液, 按照“1.2.1”的方法显色, 测定波长 765 nm 时的吸光度 (A), 计算多酚提取率 (Y)。

1.2.4 响应面试验。在单因素试验的基础上, 将乙醇体积分数 (A)、浸提温度 (B)、浸提时间 (C) 依照中心组合设计规律, 确定每个影响因素的最佳反应区间(水平), 将筛选出的 3 个水平编码规定为 +1、0、-1, 分别对应高值、中间值和低值, 设计因子编码及水平表(表 1)。然后, 利用 Design-Expert8 软件的 Box-Behnken 模型设计试验方案, 所得方案如表 2 所示。

表 1 响应面试验因素与水平设计

Table 1 Factors and levels design of response surface test

水平 Level	因素 Factor		
	(A) 浸提时间 Extraction time // min	(B) 浸提温度 Extraction temperature // °C	(C) 乙醇体积分数 Ethanol volume fraction // %
-1	45	70	50
0	60	80	60
1	75	90	70

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制 由图 1 可知, 没食子酸标准曲线方程为 $y=0.0097x+0.0288$ ($R^2=0.9992$), 其中 x 为没食子酸浓度 (mg/mL), y 为 765 nm 波长处的吸光度。

2.2 单因素试验结果

2.2.1 乙醇体积分数对祁门红茶多酚提取率的影响。多酚分子结构中有大量酚羟基, 它们可以与细胞中的蛋白质、纤维素等通过氢键相互结合, 不同体积分数的乙醇极性不同。若乙醇体积分数过低, 说明与氢键的结合能力弱; 若乙醇体积分数过高, 溶剂极性又太小, 均不利于多酚的溶出。从图 2 可以看出, 乙醇体积分数由 50% 升至 60%, 多酚提取率也随之变大, 当乙醇体积分数为 60% 时出现最大值, 此后多酚提取率明显下降。因此, 对于浸提祁门红茶多酚, 最佳的乙醇体积分数为 60%。

表 2 响应面分析试验设计方案

Table 2 The design scheme of response surface experiment

序号 No.	A	B	C
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	1	-1
4	-1	1	0
5	1	1	0
6	1	0	1
7	0	1	1
8	0	-1	-1
9	0	0	0
10	-1	-1	0
11	0	-1	1
12	0	0	0
13	1	-1	0
14	0	0	0
15	-1	0	-1
16	1	0	-1
17	-1	0	1

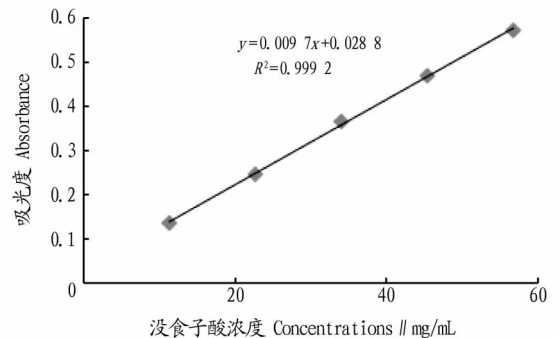


图 1 没食子酸的标准曲线

Fig.1 Standard curve of gallic acid

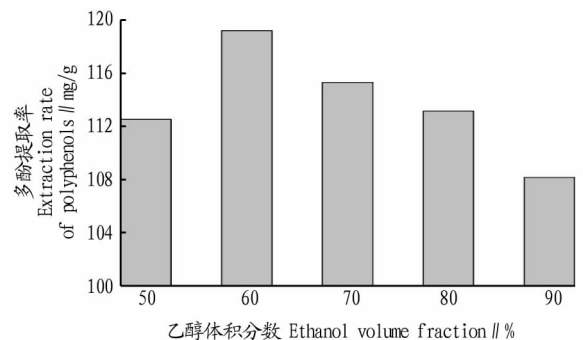


图 2 乙醇体积分数对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.2 The effects of ethanol volume fraction on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

2.2.2 浸提温度对祁门红茶多酚提取率的影响。温度能影响分子的热运动, 升高温度能提高祁红多酚分子的渗透、溶解和扩散速度, 但若温度过高, 多酚的氧化和分解作用也会加剧, 从而导致提取率的降低。从图 3 可以看出, 当浸提温度为 50~80 °C 时, 随着浸提温度的升高, 多酚提取率也逐渐变大; 当浸提温度超过 80 °C 后多酚提取率逐渐下降。因此, 对于浸提祁门红茶多酚, 最佳浸提温度为 80 °C。

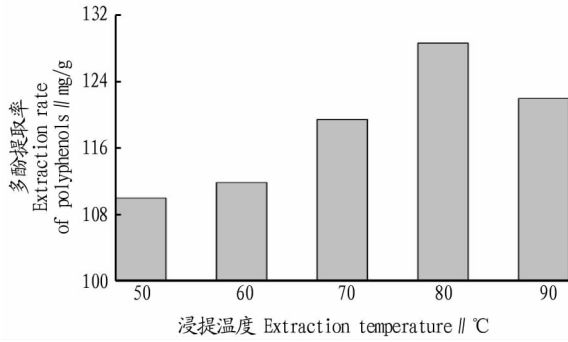


图3 浸提温度对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.3 The effects of extraction temperature on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

2.2.3 浸提时间对祁门红茶多酚提取率的影响。从图4可以看出,在15~60 min内,祁红多酚提取率随浸提时间的延长而升高;当浸提时间继续延长,多酚提取率逐渐降低,当浸提时间为60 min时多酚提取率达到最高值。由此可见,在浸提过程中,由于溶解作用,多酚逐渐溶出,但随着浸提时间的延长,多酚也会逐步氧化和分解,从而使多酚提取率逐渐降低。因此,对于浸提祁门红茶多酚,最佳浸提时间为60 min。

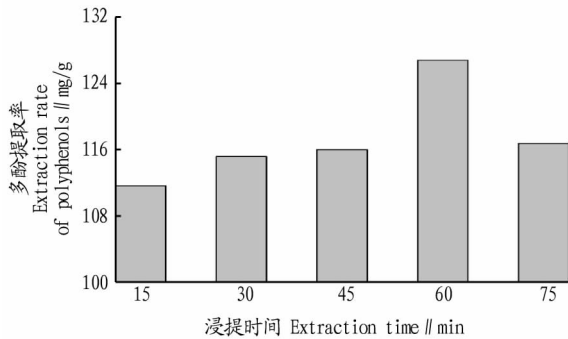


图4 浸提时间对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.4 The effects of extraction time on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

2.3 响应面试验结果 运用 Design-Expert8 软件,对试验数据进行拟合分析,得到此次试验的二次多项回归线性方程: $Y = 128.55 + 2.21A + 5.91B - 1.03C - 0.092AB - 2.60AC - 0.30BC - 3.97A^2 - 5.93B^2 - 4.82C^2$ 。响应面试验结果见表3。

方差分析表明,相关系数 $R^2 = 0.9614$,校正 $R^2 = 0.9118$,表明方程的拟合度较好。变异系数小于10%,表明该试验的可信度和精确度高。响应面回归模型的失拟项显著,只有3.78%可能来源于仪器的噪声,说明模型能对浸提工艺进行较好模拟。 F 值为19.38, $P < 0.001$,表明模型具有很好的显著性。 B 、 B^2 、 C^2 的 P 值均小于0.001,说明其对祁门红茶多酚提取率的影响极显著; A 、 A^2 的 P 值均小于0.05,说明其对祁门红茶多酚提取率有显著影响, C 、 AB 、 AC 、 BC 的 P 值均大于0.05,表明其对祁门红茶多酚提取率的影响不显著。

2.4 等高线图与响应面图分析 图5a中的等高线图呈现椭圆形,表明浸提时间与浸提温度的交互作用比较显著,且温度的影响比时间更大。从三维响应面曲线(图5b)可以看出,在浸提时间(60~70 min)、浸提温度(75~85 °C)范围内,

祁红多酚提取率在适当的温度与时间下最大。

表3 响应面试验结果

Table 3 The results of response surface experiment

序号 No.	(A) 浸 提时间 Extraction time // min	(B) 浸 提温度 Extraction temperature °C	(C) 乙醇体 积分数 Ethanol volume fraction // %	多酚提取率 Extraction rate of poly- phenols mg/g
1	60	80	60	127.299
2	60	80	60	128.577
3	60	90	50	123.474
4	45	80	70	116.742
5	60	80	60	127.835
6	60	70	50	111.928
7	60	80	60	129.794
8	60	90	70	123.062
9	75	90	60	125.062
10	45	80	50	115.856
11	45	90	60	123.949
12	60	80	60	129.247
13	45	70	60	111.422
14	75	80	50	127.959
15	75	80	70	118.485
16	75	70	60	113.186
17	60	70	70	112.722

从图6a可以看出,乙醇体积分数与浸提时间的交互作用较为显著。从图6b可以看出,适当延长浸提时间有助于增大祁红多酚的提取率,祁红多酚提取率有一个极点,该极点出现的范围为乙醇体积分数55%~65%、提取时间57~69 min。

从图7a可以看出,浸提温度和乙醇体积分数的交互作用不显著。从图7b可以看出,乙醇体积分数由50%提高到60%,祁门红茶多酚提取率升高。当乙醇体积分数继续提高时,祁门红茶多酚提取率逐渐下降。这表明祁门红茶多酚提取率存在极大值,且当乙醇体积分数为60%时二者交互作用不显著,因此浸提温度应保持在75~85 °C。

2.5 最佳提取工艺参数的确定 利用 Design-Expert 软件中的 Optimization 的 Numerical 功能进行优化,得到乙醇浸提祁红多酚最佳工艺参数:乙醇体积分数为57.83%、浸提温度为85.07 °C、浸提时间为65.33 min,此条件下得到的祁门红茶多酚提取率为130.554 mg/g。为验证响应面法的可行性,采用修正的最佳提取工艺:用58%乙醇提取液、在85 °C下浸提65 min,在此优化条件下进行3次平行试验,结果表明多酚提取率为130.007 mg/g,相对标准偏差为0.005329,与理论值的标准偏差为0.00419,说明该响应面设计的试验值与理论值的拟合性较好。

3 结论

笔者探讨了乙醇浸提黄山祁门红茶中多酚的工艺参数,在单因素试验结果的基础上,确定了3个变量因素(乙醇体积分数、浸提温度和浸提时间)的最佳反应区间,然后采用响应面法来设计优化试验。结果表明,用57.83%的乙醇、在

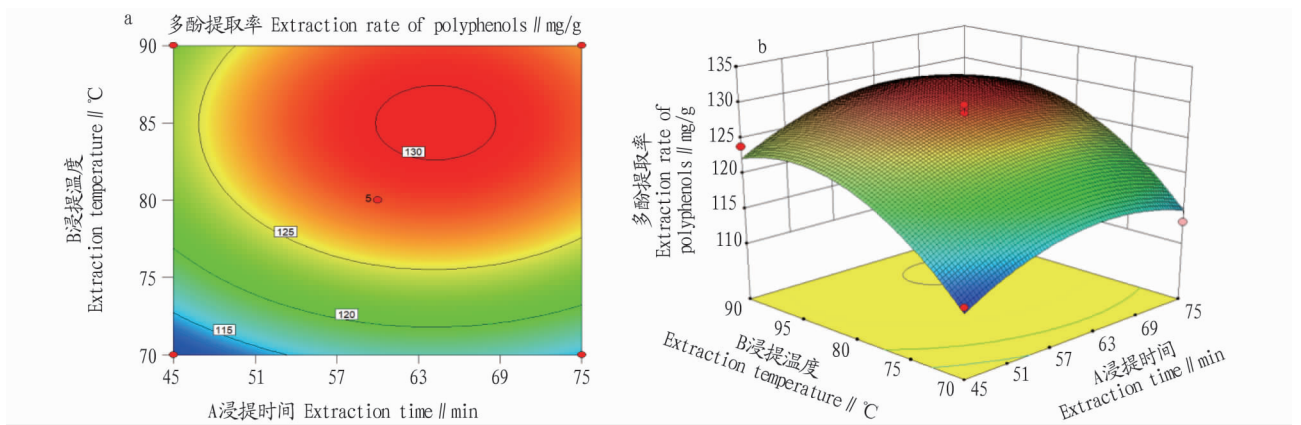


图5 浸提时间和浸提温度交互作用对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.5 Effects of extraction time and extraction temperature's interaction on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

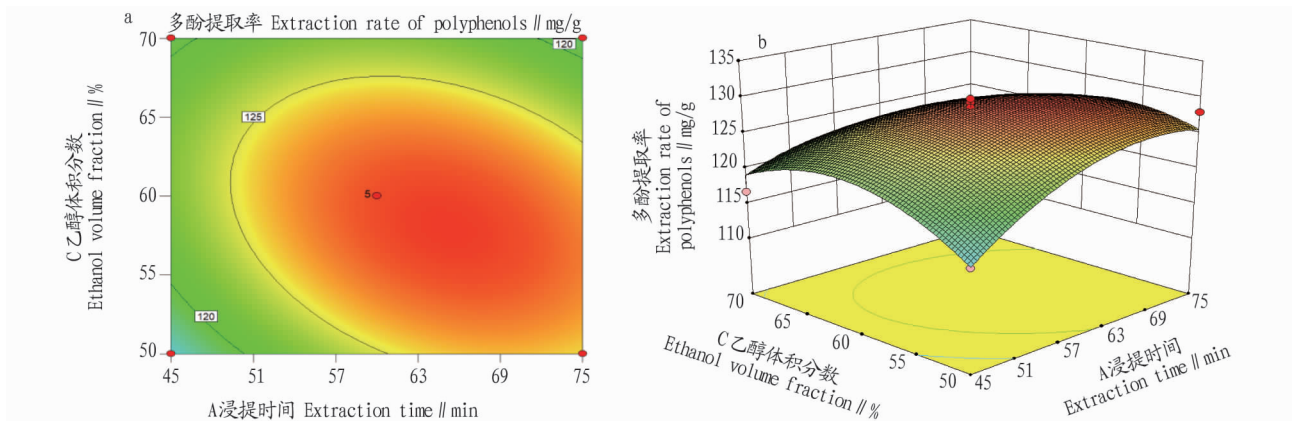


图6 乙醇体积分数和浸提时间交互作用对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.6 Effects of ethanol volume fraction and extraction time's interaction on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

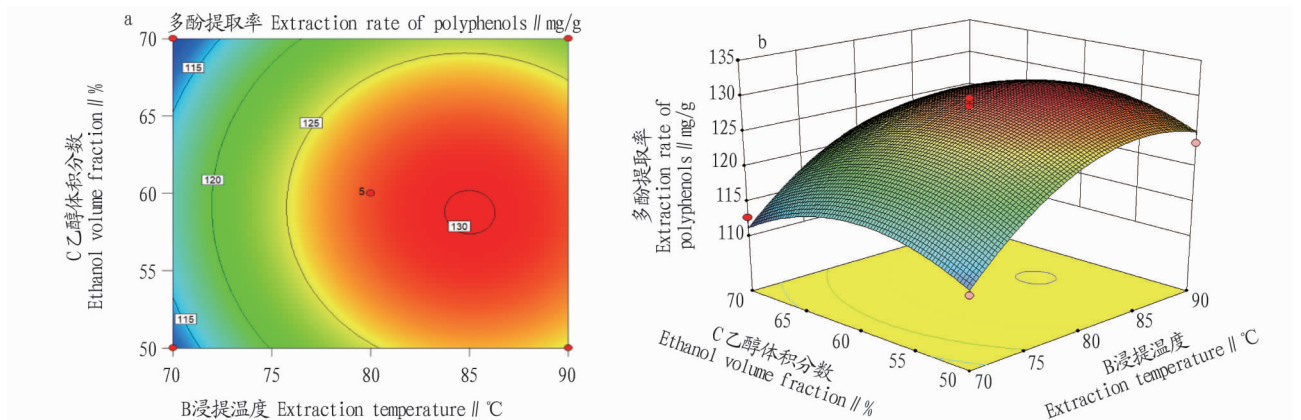


图7 浸提温度和乙醇体积分数交互作用对祁门红茶多酚提取率的影响

Fig.7 Effect of extraction temperature and ethanol volume fraction's interaction on the extraction rate of polyphenols from keemun black tea

85.07 °C 下提取 65.33 min, 祁门红茶多酚提取率最高, 为 130.554 mg/g。该试验通过响应面试验, 有效控制了浸提的工艺条件, 为今后祁门红茶的提取工业化及精深加工提供了理论数据支持。

参考文献

- [1] 梁月荣. 茶资源综合利用[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2013.
- [2] 左小博, 孔俊豪, 杨秀芳, 等. 茶多酚产业现状与发展展望[J]. 中国茶叶加工, 2019(4): 14-20.
- [3] 朱云. 祁门红茶的传承与发展[J]. 中国茶叶加工, 2018(4): 77-79.
- [4] 陈明. 近代祁门红茶兴衰及改良运动[D]. 合肥: 安徽大学, 2017.

- [5] 安晓婷, 陈静, 谢小花, 等. 祁门红茶多酚提取工艺优化及其组成鉴定[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 231-235.
- [6] 沈晓宝, 谢继奎, 张敬彬. 祁门红茶中茶多酚的提取和稳定性探究[J]. 科学技术创新, 2019(35): 7-9.
- [7] 李占霞, 赵杰荣. 论红茶的保健医疗作用[J]. 福建茶叶, 2018, 40(7): 26.
- [8] 崔燕芒. 黄山毛峰和祁门红茶中多酚类成分分析及其抗肝损伤作用研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2014.
- [9] DU Y T, WANG X, WU X D, et al. Keemun black tea extract contains potent fatty acid synthase inhibitors and reduces food intake and body weight of rats via oral administration[J]. Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry, 2005, 20(4): 349-356.

(下转第 223 页)

日地面最低温度 $-9.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,日最低气温 $-7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,2001年晚霜冻次数多且强度大,当年核桃大减产,产量仅为4 t。1995年3月平均气温 $2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,较历年同期正常略低 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,1995年4月1日到5月份共出现晚霜冻22 d;最强一次晚霜冻出现在4月9日,地面最低温度 $-5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,日最低气温 $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。所以3月气温特高,核桃芽提早发芽,4月份遇强霜冻危害,当年核桃大面积减产甚至绝收。

表8 华亭市核桃气候产量-晚霜冻相关系数 R_{xy}

Table 8 Correlation coefficient R_{xy} of walnut climate yield and late frost in Huating City

因子 Factor	指标 Index	核桃气候产量 Walnut climate yield
X1	4月轻霜冻日数	-0.121
X2	4月中霜冻日数	-0.072
X3	4月强霜冻日数	-0.097
X4	4月霜冻日数	-0.146
X5	5月霜冻日数	0.132
X6	4—5月霜冻日数	-0.054
X7	最强霜冻TD ₀	0.369
X8	晚霜冻结束日期	0.162

6 华亭市核桃种植气候适宜性总体评价

华亭市种植核桃气候条件比较适宜,核桃喜温、喜雨、喜光照,干旱、连阴雨危害轻^[5],有些年份冰雹天气较多,但冰雹是小范围的、局地性的,危害也不是很大,华亭市核桃气候产量主要与晚霜冻危害有关^[6,9],当整个生育期气温偏高时华亭核桃一般是丰产年,在1990—2018年的29年中,2018年由于霜杀坏核桃幼芽,当年核桃绝收。2001年由于霜杀坏核桃幼芽,当年核桃仅有4 t,大面积减产,但这种情况仅占总年数的6.9%。所以华亭市种植核桃气候条件比较适宜。华亭市中东部适宜大面积种植,已成为农民增收的主要渠道。

据调查,核桃老品种15年挂果,20年以后出现盛果期,生产周期太长,影响农民种植的积极性,最近3年采用嫁接新技术,核桃3~5年开始挂果,6~8年出现盛果期,出果期大大减小,群众种植的积极性很高,在神峪乡袁庄建立了嫁接核桃新种植基地。这种新嫁接的核桃树在10年后出现盛果期,可创造15万元/hm²以上收入。在核桃未达盛果期,可以间作套种玉米、马铃薯、蔬菜等作物,加大经济收入。所以新兴种植业核桃在华亭市东南部上关、神峪、安口、石堡子、东华、砚峡已大面积种植,已成为农民增收的主要渠道^[10-11]。

(上接第189页)

[10] 殷硕,王田园,崔柏宇,等.双水相体系协同超声法提取绿茶中的茶多酚[J].中国医院药学杂志,2019,39(16):1625-1628,16380.

[11] 高海荣,赵爱娟,陈秀丽,等.从茶叶中提取茶多酚工艺的对比研究[J].中国食品添加剂,2017(3):133-137.

[12] 李林刚,周威,郑诗成,等.正交法优选六安瓜片中茶多酚的提取工艺[J].皖西学院学报,2019,35(5):16-19,23.

[13] BOX G E P, WILSON K B. On the experimental attainment of optimum conditions[J]. Journal of the royal statistical society series B: Statistical methodology, 1951, 15(1): 1-45.

[14] 李莉,张赛,何强,等.响应面法在试验设计与优化中的应用[J].实验室研究与探索,2015,34(8):41-45.

[15] 冯进,曾晓雄,李春阳.响应面法优化蓝莓叶多酚提取工艺[J].食品科学,2013,34(4):59-64.

7 小结

(1)核桃喜温、喜雨、喜光照。华亭市东南部气候温暖湿润,光照充足,适宜核桃生长,所以在华亭市东南部神峪、上关、安口、石堡子、东华、砚峡应大力种植核桃。

(2)核桃种植中主要气象灾害是风雹和晚霜冻危害。华亭市核桃气候产量主要与晚霜冻危害有关,当整个生育期气温偏高时华亭核桃一般是丰产年,在1990—2018年的29年中,2018年由于核桃幼芽被霜杀坏,当年核桃绝收。2001年由于霜杀坏核桃幼芽,当年核桃仅有4 t,大面积减产,但这种情况仅占总年数的6.9%。所以华亭气候适宜核桃生长,气象灾害相对较少。

(3)10年树龄的核桃,可收入15万元/(hm²·a),经济效益显著,应大力倡导农民种植核桃,成为提高农民收入的主要渠道。

(4)2017年华亭市核桃种植面积5 619.67 hm²,占耕地面积的20.33%,相对较少,应将种植面积提高到耕地面积35%以上。

(5)由于核桃种植要求土壤条件比较低,可以利用退耕还林的山荒地栽植核桃,增加农民收入。

(6)华亭市发展现代农业,开发局地小气候资源,应以增加农民收入为主导,抛弃以前的种粮为主的老思路,大力发展核桃种植业,为华亭市农业发展绘成美丽的蓝图。

参考文献

[1] 杨宁波.华亭市城区空气质量现状分析及防治对策[J].环境研究与监测,2019,32(2):20-23.

[2] 平凉市华亭县统计局.平凉市华亭县2010年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].[2019-10-25].http://www.tjcn.org/tjgh/28gs/19109_2.html.

[3] 《华亭县志》编委会.华亭县志[M].兰州:甘肃人民出版社,1993.

[4] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,1990.

[5] 曹天堂,周志鹏,张亚刚.平凉市崆峒区冬小麦产量与气候条件分析[J].甘肃农业,2003(11):48-49.

[6] 周志鹏,张亚刚,曹天堂,等.华亭县冰雹的天气气候特征分析及预报[J].甘肃农业,2004(5):46-48.

[7] 鲍文中,周广胜.甘肃农业对气候变化的适应与风险评估报告(No.1)[M].北京:社会科学文献出版社,2017:56-90.

[8] 邓振镛,仇化民,李怀德.陇东气候与农业开发[M].北京:气象出版社,2000:112-131.

[9] 孙旭映,庞朝云,李宝梓,等.甘肃冰雹灾害对农业的影响及其防御对策研究[J].干旱区资源与环境,2003(15):34-37.

[10] 曹天堂,张亚刚,周志鹏,等.平凉市崆峒区玉米产量与气候条件分析[J].甘肃农业,2004(8):58.

[11] 赵志斌.间作套种是提高核桃幼园效益的有效措施[J].北京农业,2013(30):48.

[16] 黄壹杨,刘琨毅,王琪,等.基于响应面法优化红豆米酒发酵工艺的研究[J].食品与发酵工业,2018,44(5):130-134.

[17] 宋海燕,何文辉,张泽华,等.响应面法优化鹿角菜中岩藻多糖的超声波辅助提取工艺[J].食品与发酵工业,2015,41(12):212-218.

[18] 张庆,袁源,邓扬龙,等.运用Box-Behnken设计优化核桃多肽制备工艺[J].食品与发酵工业,2019,45(21):180-186.

[19] 李磊磊,周子维,游芳宇,等.响应面法优化不同花色白茶浸提工艺[J].食品工业科技,2017,38(23):129-136.

[20] 周卫龙,徐建峰,许凌.茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.

[21] 黄海燕,彭飞燕.紫外分光光度法测定减肥茶中茶多酚的含量[J].西北药学杂志,2010,25(6):410-411.

[22] 耿志华.制醇酒中茶多酚的含量测定[J].安徽医药,1999,3(2):28.

[23] 李慧,李溪,胡捷,等.绿茶中茶多酚的超声波法提取工艺及HPLC法测定[J].安徽农业科学,2016,44(13):80-82,109.