

紫斑牡丹花粉破壁工艺优化及其金属元素测定

王新娣¹, 石晓峰^{1*}, 李运², 沈薇¹, 刘东彦¹, 范彬¹, 马趣环¹

(1. 甘肃省医学科学研究院, 甘肃兰州 730050; 2. 兰州市食品药品检验检测研究院, 甘肃兰州 730030)

摘要 [目的]优化紫斑牡丹花粉温差破壁工艺,并分析破壁前后10种金属元素的含量变化。[方法]根据Box-benhnken试验设计原理,以解冻温度、解冻时间、液料比为响应变量,以破壁率为响应值设计紫斑牡丹花粉温差破壁工艺,并采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)对紫斑牡丹花粉破壁前、破壁后10种金属元素的含量变化进行研究。[结果]最优破壁工艺为冷冻温度-150℃、冷冻时间24h、液料比20:1(mL:g)、解冻时间7h、解冻温度20℃,在此最优条件下得到牡丹花粉的平均破壁率为92.82%,经平行验证试验后,优化得到牡丹花粉温差破壁工艺,合理可行。花粉经冷冻破壁后,固体颗粒中的Mn、Zn、Sr、Fe、K、Mg、Ca等金属元素的含量均有所下降,有害元素Pb、As、Cd的含量很低,均低于检出限。[结论]该研究为紫斑牡丹花粉的深度开发和综合利用提供理论依据。

关键词 紫斑牡丹花粉;破壁;工艺优化;微波消解;电感耦合等离子体质谱法;金属元素

中图分类号 TS 207.3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)24-0167-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.24.041

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimization of Wall-breaking Technology and Determination of Metal Elements in *Paeonia rockii* Pollen

WANG Xin-di¹, SHI Xiao-feng¹, LI Yun² et al (1. Gansu Academy of Medical Science, Lanzhou, Gansu 730050; 2. Lanzhou Institute for Food and Drug Control, Lanzhou, Gansu 730030)

Abstract [Objective] To optimize the wall-breaking technology of *Paeonia rockii* pollen by temperature difference, 10 metal elements in *Paeonia rockii* pollen were determined before and after wall-breaking of pollen. [Method] According to the Box benhnken test design principle, taking thawing temperature, thawing time, liquid-material ratio as response variables, and wall-breaking rate as response values, the temperature difference wall-breaking process of *Paeonia rockii* pollen was designed, and the content changes of 10 metal elements in the pollen of *Paeonia rockii* pollen before and after wall-breaking were studied by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). [Result] The optimal wall-breaking process was freezing temperature -150℃, freezing time 24 hours, liquid-material ratio 20:1 (mL:g), thawing time 7 hours, and thawing temperature 20℃. Under this optimal condition, the average wall breaking rate of *Paeonia rockii* pollen was 92.82%; after parallel verification test, the temperature difference wall-breaking process of *Paeonia rockii* pollen was optimized, which was reasonable and feasible. The content of Mn, Zn, Sr, Fe, K, Mg, Ca and other metal elements in the solid particles decreased after the pollen was broken by freezing, and the content of harmful elements Pb, As, Cd was very low, which was lower than the detection limit. [Conclusion] This study provides a theoretical basis for the further development and comprehensive utilization of the pollen of *Paeonia rockii*.

Key words Pollen of *Paeonia rockii*; Wall-breaking; Technology optimization; Microwave digestion; Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); Metal elements

紫斑牡丹(*Paeonia rockii*)是毛茛科芍药属多年生木本植物,因花瓣基部有一个明显的紫斑而得名^[1],其主要分布于四川北部、甘肃南部、陕西秦岭中段以西,是我国中西部地区的特有中药材和花中珍品^[2]。紫斑牡丹花粉中富含有多种营养素、维生素和矿物质,还含有大量天然活性物质,如黄酮类化合物、酶、激素、核酸和有机酸等^[3],由于花粉壁具有异常耐酸耐碱耐腐蚀的坚硬外壁,阻碍了人体对花粉活性成分消化吸收,同时也阻止了花粉的高值化利用。因此,研究紫斑牡丹花粉破壁工艺对紫斑牡丹花粉综合利用开发具有重要的意义。

目前花粉的破壁方法主要有生物法、化学法、物理法和复合法。曹红刚等^[4]用酵母、灵芝、杏鲍菇、羊肚菌4种真菌发酵油菜蜂花粉,其破壁率为66.53%~79.10%。林瑾等^[5]采用NaOH和H₂O₂预处理玫瑰蜂花粉,使其外壁破坏,再使用纤维素酶、黄瓜提取液和稀盐酸溶液处理玫瑰蜂花粉,其破壁率达到99%。余勃^[6]应用微粉碎对茶花粉进行破壁处理,

花粉破壁率达100%。何余堂等^[7]采用温差法、超声波法、酶法和混合法4种方法对玉米花粉进行破壁处理,其破壁率分别为超声波法31.2%、温差法46.3%、酶法80.4%、混合法98.6%。上述诸多花粉破壁的方法各有优缺点,有的方法设备成本投资较大,花粉破壁率高;有的方法成本低,花粉破壁率也低;有的方法引入其他化学溶剂,使样品污染的可能性增大;有些方法处理周期长,导致花粉容易变质。在诸多的花粉破壁方法中,究竟哪一种更适合紫斑牡丹花粉,且营养成分损失小,破壁率高,还需要进行更多的试验验证。因此,该研究选投资成本低的温差破壁法,响应面试验优化牡丹花粉温差破壁工艺,以破壁率为评价指标对紫斑牡丹花粉进行破壁,并测定和分析牡丹花粉中金属含量变化,为紫斑牡丹花粉的综合利用和开发奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂 紫斑牡丹花粉,兰州新区中川牡丹园提供,储存于冰箱-18℃;99.99%氩气,上海通辉特种气体有限公司;99.99%氦气,上海通辉特种气体有限公司;Mn、Zn、Pb、Cr、Cd、As标准储备液,美国安捷伦科技股份有限公司;浓硝酸,色谱纯,德国默克化工技术有限公司。

1.2 主要仪器与设备 MDF-C2156VAN低温冷冻存储箱,日本三洋公司;BCD-237HF可变温冰箱,青岛Haier集团;

基金项目 兰州市科技发展指导性计划项目(2019-ZD-132);甘肃省医学科学研究院中青年科技人才创新工程项目(ykz-2018-2);兰州市人才创新创业项目(2021-RC-112)。

作者简介 王新娣(1982—),女,甘肃靖远人,助理研究员,硕士,从事中药药效物质基础研究。*通信作者,教授,博士生导师,从事中药药效物质基础及质量控制研究。

收稿日期 2022-07-01

DW-86L626 超低温保存箱,青岛 Haier 集团;BH-2 日本电子显微镜,OLYMPUS 公司;AE260 万分之一电子天平,瑞士 Mettler Toledo 公司;PT-10 pH 计,德国 Sartorius 公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌浴,郑州长城科工贸有限公司;Agilent 7900 型电感耦合等离子体质谱仪,美国安捷伦科技股份有限公司;UltraCLAVELV 微波消解仪,意大利麦尔斯通有限公司;Milli-Q IQ7000 超纯水系统,密理博中国有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 牡丹花粉的预处理。将牡丹花粉均匀铺在白色瓷盘上面,厚度不超过 0.5 cm,盖上一块白布,低温烘干,直至花粉中水分降至 5% 以下,过 7 号筛除杂,得到精选的牡丹花粉。

1.3.2 破壁率的测定。分别精密称取未经破壁处理花粉和破壁后花粉适量,制成相同浓度的混悬液,吸取相同体积混悬液,制片,在 400 倍电子显微镜下进行镜检,以未破壁花粉为对照。每个样品重复制片 3 张,每片 5 个视野,观察视野内的细胞破碎情况,求平均值。根据公式破壁率 = $(1-A/B) \times 100\%$ 计算破壁率,式中, A 为视野中未破壁的细胞数; B 为视野中细胞总数。

1.3.3 温差破壁法的工艺优选。将精选的紫斑牡丹花粉按温差破壁工艺流程(紫斑牡丹花粉—低温冷冻—高温解冻—离心收集—低温干燥—破壁花粉)进行操作,按“1.3.2”方法测定花粉破壁率,采用单因素和响应面试验优选其破壁工艺。

1.3.4 单因素试验。以破壁率为指标,采用控制变量法考察冷冻温度、液料比、冷冻时间、解冻时间、解冻温度对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。

1.3.5 响应面优化试验。以单因素试验数据为基础,以液料比、解冻时间、解冻温度为响应变量,破壁率为响应值,利用 DesignExpert 8.0.6 软件进行 4 因素 3 水平响应面试验优化花粉破壁工艺,试验因素与水平设计见表 1。

1.3.6 紫斑牡丹花粉中金属元素的测定。

1.3.6.1 供试品溶液的制备。取花粉样品于 60 °C 干燥 4 h,取约 0.3 g,精密称定,置于微波消解罐中,加 65% 硝酸 3.0 mL、超纯水 1.0 mL,按表 2 程序进行消解。冷却后取出消解管,将消化液转移至 50 mL 容量瓶中,用少量超纯水洗涤消解管 3 次,合并洗涤液至容量瓶中,用超纯水定容至刻度,

摇匀,作为供试品原液,备用^[8-9]。同时同法制备空白对照及标准参考物质。

表 1 响应面试验因素和水平

Table 1 Element and levels of RSM test

水平 Level	因素 Element		
	液料比 Liquid-material ratio	解冻时间 Thawing time//h	解冻温度 Thawing temperature//°C
-1	15:1	4	18
0	20:1	6	28
1	25:1	8	38

表 2 微波消解程序

Table 2 Procedures of microwave digestion

梯度 Gradient	温度 Temperature//°C	升温时间 Heating time min	保持时间 Retention time min
1	初始温度~110	8	2
2	110~180	6	2
3	180~220	5	2
4	220~240	5	10

1.3.6.2 仪器条件。采用氦气碰撞反应池模式,用调谐液对仪器质量轴、分辨率、灵敏度、双电荷、氧化物进行优化。氦气为载气,氦气为碰撞气体,等离子体气流速 15.0 L/min,载气流速 1.17 L/min,雾化器为 Barbinton,石英双通道雾化室,射频功率 1 300 W,雾化室温度 2 °C,碰撞模式为氦气流量 5.0 mL/min,蠕动泵转速为 30 r/min,采样深度 8.0 mm,测点数 3,分析时间 0.1 s,重复次数 3,全定量分析模式。

1.3.6.3 样品的含量测定。紫斑牡丹花粉破壁前后 10 种金属元素的测定按“1.3.6.1”和“1.3.6.2”方法,采用内标法进行定量测定,每个样品平行测定 3 次,计算各元素的平均含量。

2 结果与分析

2.1 紫斑牡丹花粉破壁前后的显微特征观察 未破壁紫斑牡丹花粉和破壁紫斑牡丹花粉分别置 400 倍电子显微镜下观察,发现破壁前花粉绝大多数为单花粉,少数为复合花粉,均被一层完整的膜包裹;破壁的花粉其包裹的膜层完全破裂、内容物散在(图 1)。

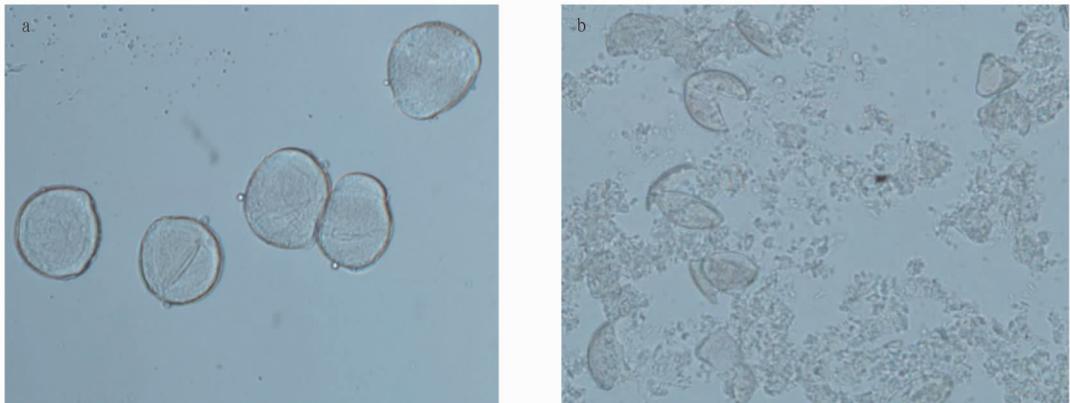


图 1 紫斑牡丹花粉破壁前(a)、后(b)的显微结构

Fig.1 Microstructure of *Paeonia rockii* pollen before (a) and after (b) wall-breaking

2.2 单因素试验

2.2.1 冷冻温度对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。称取精选牡丹花粉适量,4份,分别装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中分别于-10、-20、-75、-150℃冷冻24h,取出,迅速加入20倍的95℃沸水,摇匀,置50℃水浴中中速搅拌6h,得到花粉混合溶液;然后在高速离心机中离心10min,所获固体物质于15~25℃的条件下干燥,即得到破壁牡丹花粉成品,测定其破壁率,结果见图2。由图2可知,随着冷冻温度降低,破壁率在提高,当冷冻温度为-150℃时,破壁率达到了最高值,由此确定冷冻温度为-150℃,亦即温差为245℃。

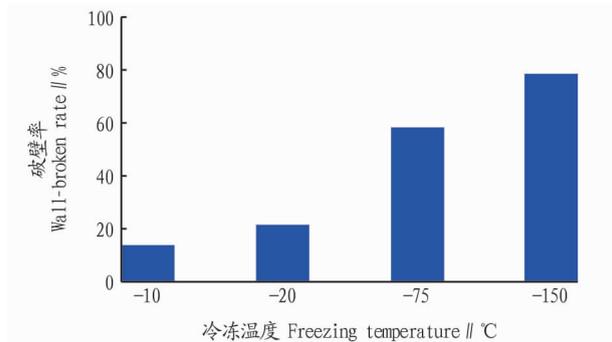


图2 冷冻温度对紫斑牡丹花粉破壁率的影响

Fig.2 Effect of freezing temperature on wall-broken rate of *Paonia rockii* pollen

2.2.2 液料比对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。称取精选牡丹花粉适量,6份,分别装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中于-150℃冷冻24h,取出,迅速加入不同液料比(5:1、10:1、15:1、20:1、25:1、30:1)的95℃沸水,其他步骤同“2.2.1”方法操作,结果见图3。由图3可知,随着液料比的增加破壁率不断增加,当液料比为20:1时,破壁率达到最大,之后随液料比增加破壁率下降,究其原因可能是水量的多少会影响搅拌的力度。由此将液料比定为15:1~25:1。

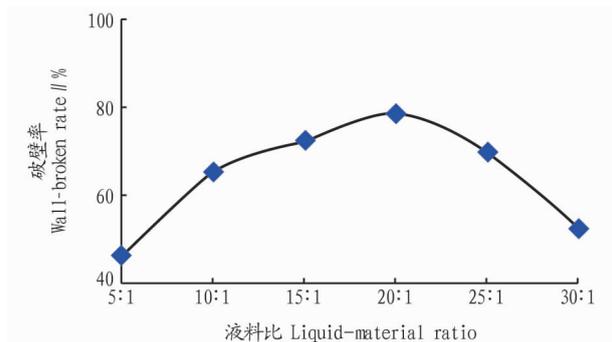


图3 液料比对紫斑牡丹花粉破壁率的影响

Fig.3 Effect of liquid-solid ratio on wall-broken rate of *Paonia rockii* pollen

2.2.3 冷冻时间对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。称取精选牡丹花粉适量,5份,分别装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中于-150℃冷冻不同时间(12、24、48、72、96h),取出,迅速加入20:1的95℃沸水,其他步骤同“2.2.1”方法操作,结果见图4。由图4可知,冷冻12~24h时,破壁率有较为明显的上升趋势,冷冻超过24h后对破壁率影响不大,考

虑到时间和效率的问题,将冷冻时间固定为24h。

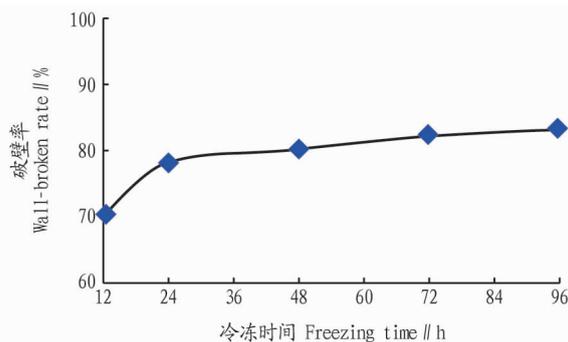


图4 冷冻时间对紫斑牡丹花粉破壁率的影响

Fig.4 Effect of freezing time on wall-broken rate of *Paonia rockii* pollen

2.2.4 解冻时间对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。称取精选牡丹花粉适量,5份,分别装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中于-150℃冷冻24h,取出,迅速加入20倍的95℃沸水,摇匀,置50℃水浴中中速搅拌,分别解冻2、4、6、8、10h,其他步骤同“2.2.1”方法操作,结果见图5。由图5可知,破壁率随着解冻时间的延长而增加,当超过6h时破壁率基本呈平缓趋势,故将解冻时间固定为6h左右。

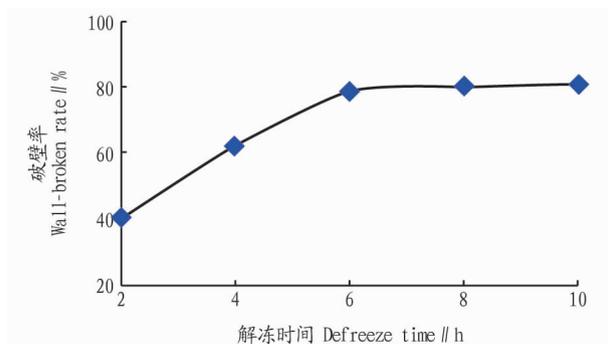


图5 解冻时间对紫斑牡丹花粉破壁率的影响

Fig.5 Effect of defreeze time on the wall-broken rate of *Paonia rockii* pollen

2.2.5 解冻温度对紫斑牡丹花粉破壁率的影响。称取精选牡丹花粉适量,5份,分别装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中于-150℃冷冻24h,取出,迅速加入20倍的95℃沸水,摇匀,分别置不同温度(18、28、38、48、58℃)水浴中中速搅拌,分别解冻6h,其他步骤同“2.2.1”方法操作,结果见图6。由图6可知,解冻时温度在18~28℃,花粉的破壁率较大,当温度大于28℃时花粉破壁率呈明显下降趋势,而18~28℃基本是室温水平,故从降低耗能的角度考虑,解冻温度控制在18~28℃最佳。

2.3 响应面优化试验

2.3.1 试验设计及结果。由单因素试验筛选出的最佳温差破壁工艺条件为冷冻温度-150℃、冷冻时间24h、液料比15:1~25:1、解冻时间6h左右、解冻温度18~28℃。固定冷冻温度和冷冻时间,选择影响温差破壁工艺的因素液料比、解冻时间、解冻温度,以花粉的破壁率(Y)为响应值,根据Box-benhknen试验设计原理,设计3因素3水平试验,然后

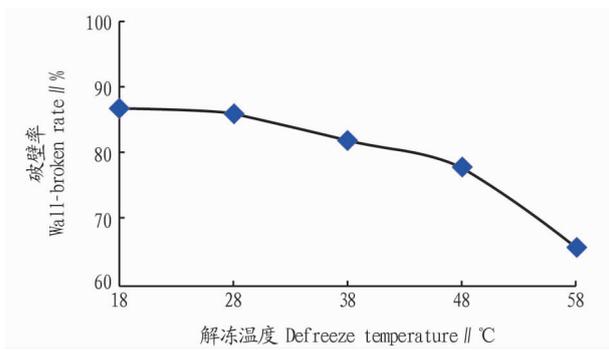


图6 解冻温度对紫斑牡丹花粉破壁率的影响

Fig.6 Effect of defreeze temperature on the wall-broken rate of *Paeonia rockii* pollen

按表1设计进行试验,结果见表3。

表3 Box-Behnken 试验设计及试验结果

Table 3 Design and results of Box-Behnken experiments

编号 No.	A	B	C	破壁率 Wall-broken rate//%
1	1	0	-1	79.73
2	0	0	0	85.08
3	-1	-1	0	50.42
4	-1	0	-1	83.32
5	-1	1	0	81.63
6	0	0	0	82.05
7	0	1	-1	88.17
8	0	0	0	85.15
9	1	-1	0	49.55
10	-1	0	1	72.07
11	1	0	1	71.14
12	0	0	0	85.08
13	0	1	1	79.24
14	0	0	0	85.31
15	0	-1	1	55.12
16	1	1	0	76.78
17	0	-1	-1	70.18

2.3.2 模型的建立及显著性检验。利用 DesignExpert 8.0.6 软件对表3数据进行回归分析,得到花粉的破壁率(Y)对液料比(A)、解冻时间(B)、解冻温度(C)的二元多项回归模型为 $Y = -159.30708 + 13.2098A + 41.111863B - 1.44540C - 0.0995AB + 0.0133AC + 0.0766BC - 0.33103A^2 - 2.91581B^2 + 3.0675C^2$ 。通过对回归模型进行方差分析(表4),可以看出模型的 $F = 43.74 (P < 0.0001)$,模型方程具有极显著性;失拟项 $P = 0.0560$,说明未知因素对试验结果影响不显著;回归决定系数(R^2)为0.9825,说明98.25%的响应值变化来源于所选因素;修正回归决定系数(R_{adj})为0.9601,说明该模型能解释96.01%的响应值变化;预测值与试验值具有高度相关性,说明该回归方程对试验拟合度较好,试验结果可靠。由回归方程和方差分析还可看出,一次项中B、C对破壁率具有极显著影响,A对破壁率影响不显著,交互项中AB、BC、AC对破壁率影响不显著;二次项中 A^2 、 B^2 对破壁率有极显著影响,而 C^2 对破壁率影响不显著,说明所得回归方程能够很好地预测

花粉破壁率随各响应因子的变化而变化。

表4 方差分析
Table 4 Analysis of variances

变异来源 Source of variation	平方 和 SS	自由 度 DF	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value
模型	2 441.29	9	271.25	43.74	<0.0001
A	13.11	1	13.11	2.11	0.1893
B	1 263.79	1	1 263.79	203.77	<0.0001
C	240.13	1	240.13	38.72	0.0004
AB	3.96	1	3.96	0.64	0.4505
AC	1.77	1	1.77	0.29	0.6098
BC	9.39	1	9.39	1.51	0.2582
A^2	288.37	1	288.37	46.50	0.0002
B^2	572.76	1	572.76	92.35	<0.0001
C^2	0.40	1	0.40	0.06	0.8077
残差	43.41	7	6.20		
失拟	35.67	3	11.89	6.14	0.0560
误差	7.75	4	1.94		
总变异	2 484.71	16			

2.3.3 响应面分析。依回归模型作出各因素对花粉破壁率影响的响应面图,考察响应面的形状,分析温差破壁各因素对花粉破壁率的影响,结果见图7。

交互作用的大小可由等高线的形状来反映,若呈椭圆形,说明两因素的交互作用显著,若呈圆形则相反,而响应面曲线较陡也说明两因素交互作用显著。由图7可知,BC有一定的交互作用。

2.3.4 最佳破壁工艺条件的确定和验证试验。通过 DesignExpert 8.0.6 软件对回归方程进行求解,得到牡丹花粉温差破壁的最佳工艺条件:冷冻温度 $-150\text{ }^\circ\text{C}$ 、冷冻时间24 h、液料比19.27:1、解冻时间6.96 h、解冻温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$,其理论破壁率为93.11%。考虑到实际操作的简便性和可操作性,调整工艺条件为冷冻温度 $-150\text{ }^\circ\text{C}$ 、冷冻时间24 h、液料比20:1、解冻时间7 h、解冻温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 。在此最优破壁条件下进行3次平行验证试验,得到牡丹花粉的平均破壁率为92.82%,与理论值间误差较小,说明利用响应面优化得到的条件准确、可行。

2.4 紫斑牡丹花粉样品中金属元素测定 取紫斑牡丹花粉按“1.3.6.1”方法制备供试品溶液,依法测定,计算出供试品溶液质量浓度,即得各元素的具体含量,结果见表5。从表5可以看出,紫斑牡丹花粉中金属元素 Zn、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Sr 含量较高,参考《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》及《中华人民共和国药典》中对中药材(饮片)中重金属及砷盐限量指标($Pb \leq 5.0\text{ mg/kg}$ 、 $Cd \leq 0.3\text{ mg/kg}$ 、 $As \leq 2.0\text{ mg/kg}$),紫斑牡丹花粉中有毒金属元素 Pb、Cd、As 含量低于检出限。

3 讨论与结论

花粉的细胞壁由内壁和外壁组成,外壁主要成分是孢粉素,是一种高分子氧化聚合物,使得花粉外壁非常坚硬,即使人体在消化过程中未能完全破坏外壁。花粉破壁不可避免地破

坏了其营养成分,特别是酶类物质,而且花粉破壁后不易保

存^[10]。紫斑牡丹花粉是否应该破壁将在后续的试验中求证。

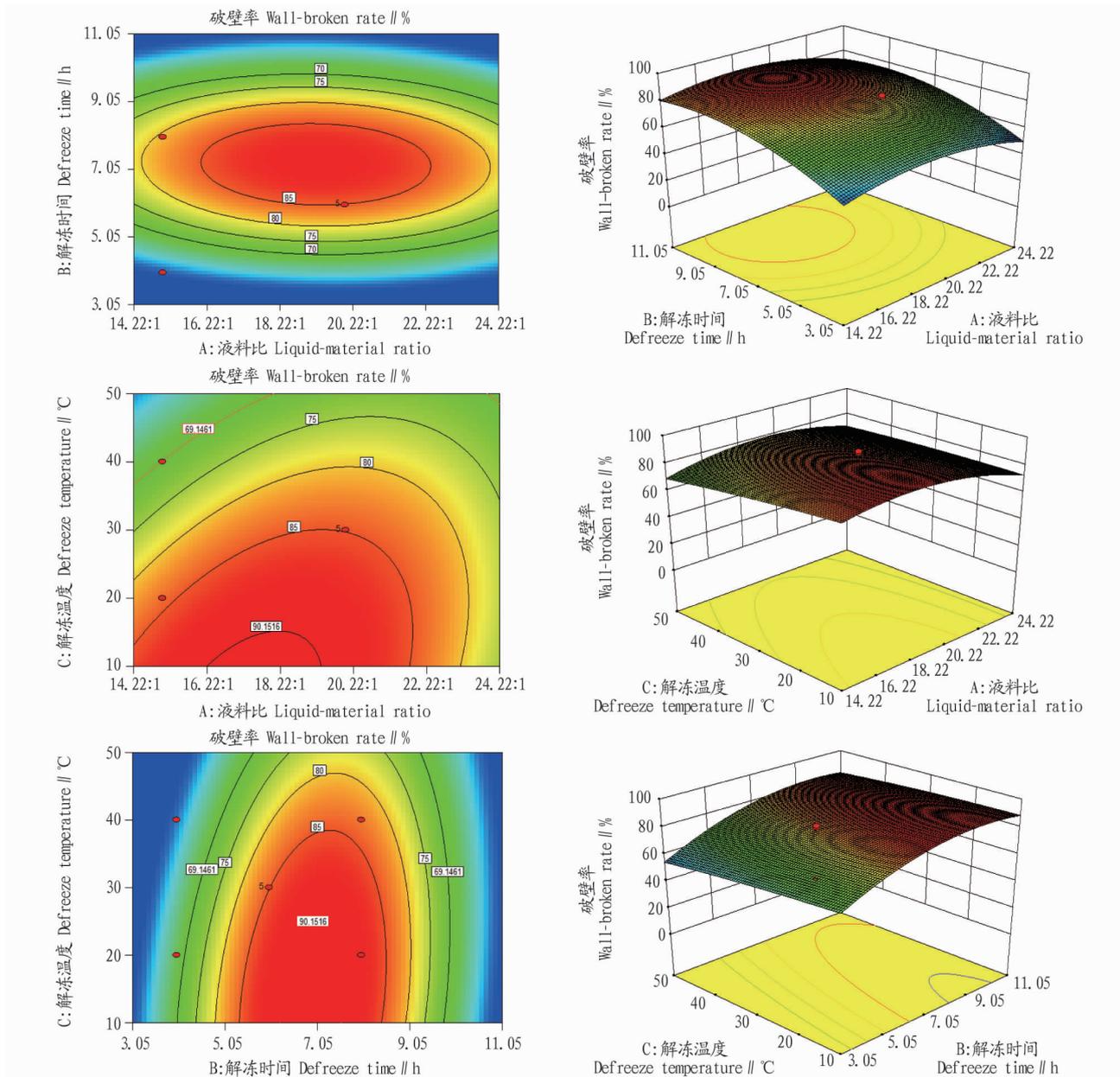


图 7 液料比、解冻时间、解冻温度对花粉破壁率的等高线和响应面

Fig.7 Contour line and surface plot of liquid-solid ratio,defreeze time and defreeze temperature on the wall-broken rate of *Paonia rockii* pollen

表 5 紫斑牡丹花粉破壁前后 10 种金属元素的含量比较 (n=3)

Table 5 Comparison of 10 kinds metal element content in *Paonia rockii* pollen before and after wall-breaking

项目 Item	Zn	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Sr	Pb	Cd	As
破壁前 Before wall-breaking	114.29	2 441.3	13 649.5	743.7	66.79	73.34	13.060	0.672 2	0.184 20	0.345 1
破壁后 After wall-breaking	89.88	2 294.6	10 916.5	459.4	57.30	65.73	5.027	0.623 7	0.081 62	1.521 0

该试验以牡丹花粉破壁率为指标,采用单因素试验对影响温差破壁的因素(冷冻温度、冷冻时间、液料比、解冻时间、解冻温度)进行了筛选,在此基础上通过固定冷冻温度和冷冻时间,选择影响温差破壁工艺的因素(液料比、解冻时间、解冻温度),根据 Box-benhnken 试验设计原理,优化得到牡丹花粉温差破壁的最佳工艺,即精选牡丹花粉装入塑料容器中,加盖密封,置于冷冻装置中于-150 ℃冷冻 24 h,取出,迅

速加入 20 倍的 95 ℃沸水,摇匀,置 20 ℃水浴中中速搅拌 7 h,得到花粉混合溶液;然后在高速离心机中离心 10 min,所获固体物质于 15~25 ℃的条件下干燥,即得到破壁牡丹花粉成品,经验证该工艺的平均破壁率为 92.82%,说明工艺合理可行。

该试验利用 ICP-MS 法对产自甘肃兰州的紫斑牡丹花粉中 10 种元素进行了定量分析,结果显示,紫斑牡丹花粉中 (下转第 213 页)

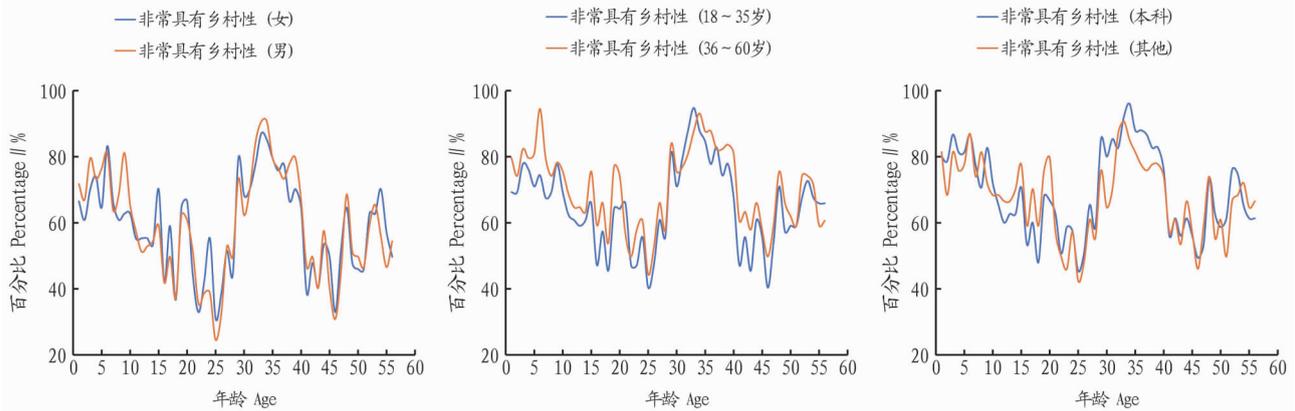


图5 不同性别、不同年龄、不同学历对非常具有乡村性的景观元素感知比较

Fig.5 Comparison of perception of rural landscape elements by gender, age and education

乡村性更加认可,可能是因为这个年龄段对农村更加熟悉和亲切。

3.4 视觉感知分析方法的有效性 利用照片引导访谈的视觉感知分析方法存在照片拍摄视角、技术、取景等多种因素影响受访游客的感知,笔者尽可能保持拍摄标准一致及每种景观元素提供2张不同照片,但也还是可能会因为各种原因造成视觉感知存在偏差,同时,受访游客对照片的视觉感知和在现场的视觉感知是否存在很大差异,这些都值得探讨。

4 结语

我国乡村传统工艺有着技术、历史、文化、经济、学术、美学等多重价值,蕴含着中华民族数千年的思想智慧、精神品格、文化素养,其具有鲜明的民族风格和地方特色,是凸显民族性、地域性、乡村性的重要景观资源,更是我国传统村落不可或缺的景观元素。该研究通过调查我国历史文化名村中的传统工艺景观资源和提取出景观元素,利用视觉感知分析方法获得10种类型56种景观元素的乡村性视觉感知有效筛选排序,挖掘出工具器械制作、编织扎制等非常具有乡村性的景观元素类

型,这对于在美丽乡村建设、乡村风貌保护、城乡园林绿化、旅游景观建设中营造非常具有乡村性的景观具有一定借鉴作用。

参考文献

(上接第171页)

宏量元素K、Mg、Ca的含量分别为13 649.5、2 441.3、743.7 $\mu\text{g/g}$;其他微量金属元素中含量较高的为Zn、Fe、Mn,其含量分别为114.29、73.34、66.79 $\mu\text{g/g}$;紫斑牡丹花粉中有毒金属元素Pb、Cd、As含量低于检出限,符合行业标准及药典的要求。故紫斑牡丹花粉是一种无污染天然的保健食品。

通过对紫斑牡丹花粉破壁前后金属元素的对比分析,发现固体颗粒中的Mn、Zn、Sr、Fe、K、Mg、Ca等金属元素的含量均有所下降,这可能是紫斑牡丹花粉破壁后有大量的金属元素从细胞壁内释放出来,一部分溶解于溶液中,从而造成破壁后固体颗粒中金属元素含量减少,破壁后有利于微量元素和营养物质的释放。

参考文献

[1] 闫中园,金铭铭.不同品种紫斑牡丹的抗寒性研究与比较[J].安徽农业

- [1] 姜小渊,吴海广.民族传统手工艺与当代工业技术教学[J].艺术探索,2011,25(5):89-91.
- [2] 唐常春,吕昀.基于历史文化谱系的传统村镇风貌保护研究[J].现代城市研究,2008(9):35-41.
- [3] 李振鹏,刘黎明,谢花林.乡村景观分类的方法探析:以北京市海淀区白家疃村为例[J].资源科学,2005,27(2):167-173.
- [4] 李成,徐晓云,刘瑶瑶,等.乡村景观分类与评价方法研究[J].安徽农业科学,2018,46(25):41-43,70.
- [5] 张益宾,郝晋珉,黄安,等.感知要素与遥感数据结合的乡村景观分类研究[J].农业工程学报,2019,35(16):297-308.
- [6] 何超,白新祥.基于五行文化的乡土景观元素分类及应用[J].山西建筑,2018,44(3):213-214.
- [7] 许可,钱翔,曾卫.德国历史文化景观要素体系构建对中国的启示:以德国萨克森州为例[J].中国园林,2021,37(2):94-99.
- [8] 邵钰涵,刘滨谊.乡村景观的视觉感知分析[J].中国园林,2016,32(9):5-10.
- [9] 王蕊,李鹏程,耿舒畅,等.辽宁新宾满族自治县乡村景观的视觉感知评价[J].大连民族大学学报,2018,20(4):377-380.
- [10] 罗文斌,雷洁琼.基于IPA方法的乡村旅游景观质量评价研究:以长沙市为例[J].湖南社会科学,2020(4):91-98.

- [1] 科学,2009,37(24):11511-11513.
- [2] 李子璇,秦公伟,何建华,等.紫斑牡丹种仁种皮中脂肪酸组成比较分析[J].种子,2010,29(1):34-36.
- [3] 刘娟,李楠,王昌涛.牡丹花粉黄酮的提取及抗氧化性研究[J].食品研究与开发,2012,33(10):39-44.
- [4] 曹红刚,张政,木华芬,等.油菜蜂花粉的4种真菌发酵破壁酶活变化及营养分析[J].中国食品学报,2016,16(1):258-263.
- [5] 林瑾,余少文,王娟.不同试剂对玫瑰花粉破壁的影响[J].食品研究与开发,2008,29(5):53-56.
- [6] 余勃,陆隼,郑颖洁.茶花粉超微粉碎破壁工艺优化[J].食品科学,2009,30(22):88-91.
- [7] 何余堂,王婷,于洋,等.玉米花粉混合破壁法的研究[J].食品科学,2006,27(10):282-284.
- [8] 陈宏靖,杨艳.电感耦合等离子体发射光谱法测定花粉中多种金属元素含量[J].海峡预防医学杂志,2018,24(5):58-60.
- [9] 肖江雨,邹海民,宋少杰,等.微波消解-电感耦合等离子体串联质谱法测定野生食用菌中14种金属元素[J].现代预防医学,2020,47(8):1484-1488.
- [10] 沈世敏.蜂花粉破壁问题探讨[J].中国养蜂,1986(2):25.