

超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素工艺研究

魏罡, 张欣, 张智*, 王婧, 刘洋, 杨可心, 吕歌, 武天琪, 高群 (东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的]优化超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素的最佳工艺。[方法]以油茶籽壳为原材料,采用超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素,以响应面法优化其提取条件。[结果]最佳提取条件:加酶量为0.8%,液固比20:1(g:mL),超声提取时间15 min,超声提取功率90 W,超声提取温度60 ℃。在此条件下测得的吸光度为2.765。酶辅助超声波法提取油茶籽壳色素较酶法和超声波提取法油茶籽壳色素吸光度提高了1.8、1.5倍。[结论]该研究优化了超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素最佳工艺条件,为油茶籽壳色素的综合开发利用提供科学依据。

关键词 油茶籽壳色素;超声波辅助酶法;响应面法

中图分类号 S-3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)11-0004-06

Optimization of Ultrasonic-assisted Enzymatic Extraction of *Camellia oleifera* Seed Shells Pigment

WEI Gang, ZHANG Xin, ZHANG Zhi et al (Forestry College, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] To optimize ultrasonic-assisted enzymatic extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment. [Method] Using ultrasonic-assisted enzymatic method to extract the pigment from *Camellia oleifera* seed shell, optimization of the extraction conditions by single factor and response surface test were done. [Result] The optimum condition for extraction was that the enzyme dosage was 0.8%, the liquid solid ratio was 20:1 (g:mL), the ultrasonic time of extraction was 15 min, the ultrasonic power of extraction was 90 W, the ultrasonic temperature of extraction was 60 ℃. The absorbance value of *Camellia oleifera* seed shell pigment measured under this circumstance was 2.765. The pigment absorbance of *Camellia oleifera* seed shell was improved 1.8 times and 1.5 times by enzyme-assisted ultrasonic method compared to enzymatic method and ultrasonic extraction method. [Conclusion] The study optimizes ultrasonic-assisted enzymatic extraction condition of *Camellia oleifera* seed shells pigment, and provides scientific basis for the further research and development of the natural pigment of *Camellia oleifera* seed shell.

Key words *Camellia oleifera* seed shells pigment; Ultrasound-assisted enzymatic method; Response surface method

油茶(*Camellia oleifera* Abel)为山茶科山茶属多年生木本油料作物,是我国最重要的食用油料树种之一,与油橄榄、油棕和椰子并称为世界四大木本食用油料树种^[1]。我国是世界上油茶品种最多、茶油籽产量最高的国家。油茶树的种子由油茶籽壳和籽仁组成,为多年生多次收获。油茶栽培在我国已有2 000多年的历史,目前主要分布在湖南、江西、广西、福建、安徽、贵州、云南等省(区),在四川、陕西、江苏和台湾也有少量栽培^[2]。据统计,全国现有油茶栽培面积约300万hm²,年产油茶籽量约100万t,年产茶油约26万t,年产茶粕约68万t,总产值约110亿元^[3]。

油茶果榨油后废弃的籽粕提取的油茶籽壳色素,是具有巧克力样色泽的棕色色素。目前,我国食用棕色色素绝大部分从国外进口,且价格较高,而国内对于油茶籽壳的研究主要表现在制备糠醛、木糖醇和活性炭等方面^[4-5],在油茶籽壳色素方面的研究较少。1993年刘晓庚^[6]分析了油茶副产物的成分及应用;1985年凌诚德^[7]开展了国产食用天然色素油茶果壳棕色色素毒性试验,指出油茶果壳棕色色素是安全性较高的可食用天然色素,但尚未见对该色素的提取及其他功能活性研究的报道。

采用酶提取法和超声波提取法从植物中提取天然色素的研究国内外已有较多报道^[8-12],也有采用超声波辅助酶法从榛子壳、白玉兰、大枣皮、山楂皮等材料中提取天然植物色素,但以此方法提取油茶籽壳色素的研究鲜见报道^[13-14]。

酶解反应具有高效性、专一性的特点,针对植物细胞壁的构成,选择相适应的酶溶解细胞壁,能够显著提高植物中有效成分的萃取^[15];超声波萃取技术是通过快速的机械振动波引起的一系列物理和化学效应加速色素物质的溶出,有利于提高油茶籽壳色素得率^[16]。笔者以油茶籽壳为原材料,采用超声波协同酶法提取油茶籽壳色素,采用单因素和响应面法进行优化得到最佳提取条件,实现工业化生产,旨在为油茶籽壳色素的综合开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料 油茶,重庆秀山县;纤维素酶(8 000 U/g),山东长泰生物科技有限公司;其他化学药品均购置于试剂公司。

1.2 仪器 765MC紫外可见分光光度计,上海精密仪器厂;KQ3200DE型超声波数控清洗仪,昆山市超声仪器厂;pH计,奥立龙 Thermo Orion,美国;ALC-110电子天平,上海天平仪器厂;DFT-100多功能粉碎机,大德机械总厂;DFC-6053型真空干燥箱,上海一恒科技有限公司;DK-98-IIA恒温水浴锅,天津泰斯特仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 油茶籽壳色素提取工艺流程。油茶籽壳→干燥→粉碎→称取1 g油茶籽壳粉→加入提取溶剂20 mL→酶解→超声波提取→抽滤→油茶籽壳色素粗提液→定容→稀释→测定吸光度。

1.3.2 油茶籽壳色素最大吸收峰测定。称取1 g油茶籽壳粉末加入20 mL一定浓度的乙醇溶液,超声功率100 W(温度50 ℃)提取10 min,取上清液。稀释10倍后,在250~600 nm处扫描,测定最大吸收波长。

1.3.3 酶法提取油茶籽壳色素单因素试验。取1 g油茶籽壳

作者简介 魏罡(1991—),女,黑龙江牡丹江人,博士研究生,研究方向:植物活性物质与功能食品。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事微生物应用与食品发酵、功能食品、植物产品精深加工研究。

收稿日期 2018-01-15; **修回日期** 2018-02-06

粉,加入提取溶剂,在其他提取条件一致的情况下,根据油茶籽壳色素在最大吸收峰处的吸光度,间接得到油茶籽壳色素的得率。分别考察缓冲溶液的 pH(4.6、5.8、6.4、7.2、8.0)、酶解温度(30、40、50、60、70 ℃)、液固比[10:1、20:1、30:1、40:1、50:1(g:mL),下同]、加酶量(0.2%、0.8%、1.4%、2.0%、6.0%)、酶解时间(30、60、90、120、360 min)5 个单因素对油茶籽壳色素提取效果的影响。

1.3.4 超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素单因素试验。

1.3.4.1 提取溶剂筛选。分别称取油茶籽壳粉末 6 份,每份 1.0 g,置于 6 支三角瓶中,分别加入 20 mL 蒸馏水、石油醚、甲醇、丙酮、40% 乙醇、60% 乙醇;于 60 次/min 往复振荡水浴锅提取 24 h 后,测浸提液颜色,以颜色深者确定为提取溶剂。

1.3.4.2 提取超声功率单因素试验。取 1 g 油茶籽壳粉,在酶解提取因素最优的条件下,考察不同超声功率(70、80、90、100、120 W)、不同超声温度(30、40、50、60、70 ℃)、不同超声时间(5、10、15、20、25 min)3 个单因素对油茶籽壳色素提取效果的影响。

1.3.5 超声波辅助酶法提取色素响应面试验。依据 Box - Behnken 组合试验设计原理,以超声功率、超声温度、加酶量、液固比 4 个指标为考察对象,采用 Design Expert 8.05 响应面软件设计 4 因素 3 水平试验,优化油茶籽壳色素提取最优条件。响应面分析因素和水平见表 1。

表 1 响应面分析因素和水平

Table 1 Factors and levels of response surface analysis

水平 Level	因素 Factors			
	加酶量(A) The amount of enzyme//%	超声温度(B) Ultrasonic temperature ℃	超声功率(C) Ultrasonic power W	液固比(D) Liquid-solid ratio g:mL
-1	0.2	60	80	10:1
0	0.8	70	90	20:1
1	1.4	80	100	30:1

1.3.6 不同方法提取油茶籽壳色素比较。在最优提取条件下,分别采用酶法、超声波法、酶辅助超声提取法提取油茶籽壳色素,在最大吸收峰处测定其吸光度。

2 结果与分析

2.1 油茶籽壳色素最大吸收峰的确定 从图 1 可以看出,在波长 250 ~ 600 nm 对油茶籽壳色素进行扫描,在波长 267 nm 处吸光度最大,为最大吸收波长。因此,后续试验油茶籽壳色素吸光度的测定均在 267 nm 波长下进行。

2.2 酶法提取油茶籽壳色素的单因素试验

2.2.1 pH 对提取效果的影响。由图 2 可知,油茶籽壳色素在 pH 为 4.6 ~ 5.8 时,吸光度呈直线增加;在 pH 5.8 时油茶籽壳色素的吸光度最大,为 1.01;当 pH 继续增加时油茶籽壳色素的吸光度开始下降。这是因为在 pH 5.8 时,酶能够发挥最大活力,超过最适范围后,细胞内化学环境不利于酶解作用,使酶活性降低。

2.2.2 温度对提取效果的影响。由图 3 可知,温度在 30 ~ 60 ℃ 时,酶解温度升高,油茶籽壳色素的吸光度也随之增加;

60 ℃ 时油茶籽壳色素吸光度为 1.23,达到最大;超过 60 ℃ 后吸光度稍有降低。这是因为在酶解反应的适宜温度内,温度升高能够加快酶解速度,使色素快速溶出;超过最适酶解温度,酶活力降低。综合考虑,选择最佳提取温度为 50 ℃。

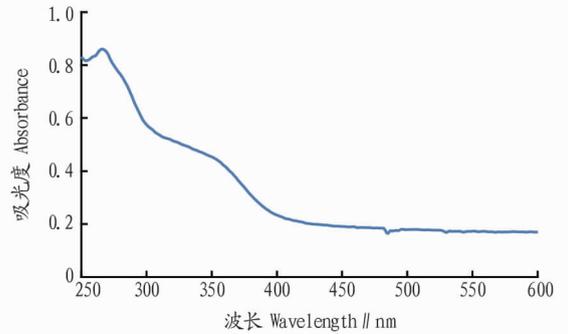


图 1 油茶籽壳色素全波长扫描

Fig. 1 Full wavelength Scan of *Camellia oleifera* seed shells pigment

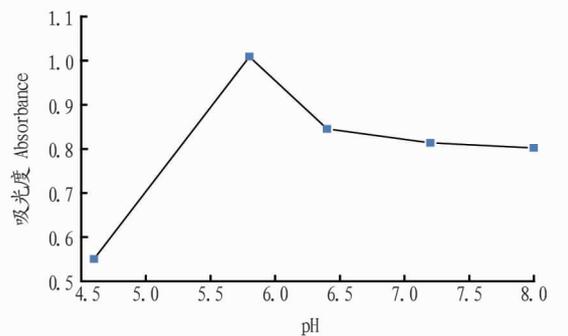


图 2 pH 对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 2 Effect of pH on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

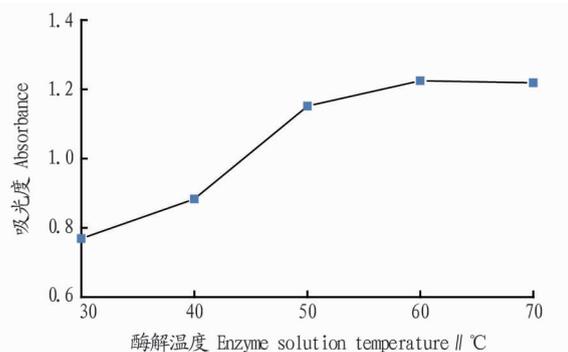


图 3 温度对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 3 Effect of temperature on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.2.3 液固比对提取效果的影响。由图 4 可知,液固比在 20:1 之前,色素吸光度呈线性增加;20:1 时油茶籽壳色素的吸光度达到峰值,为 1.32;超过 20:1 时,油茶籽壳色素的吸光度降低,这是因为当超过最佳比值时,溶液增加酶的浓度降低,达不到最佳酶解效果。因此确定 20:1 为较适宜的酶解液固比。

2.2.4 加酶量对提取效果的影响。由图 5 可知,加酶量为 0.8% 时,油茶籽壳色素的吸光度最大;当酶用量超过 0.8%

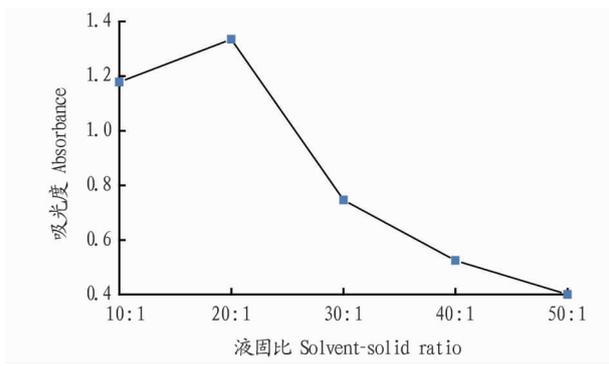


图4 液固比对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 4 Effect of solvent-solid ratio on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

时,油茶籽壳色素的吸光度略有下降。这是因为酶用量在一定范围时,酶解速率与加酶量呈正相关,超过这一范围,油茶籽壳色素吸光度不再增加反而降低。因此,确定0.8%为较适宜的酶用量。

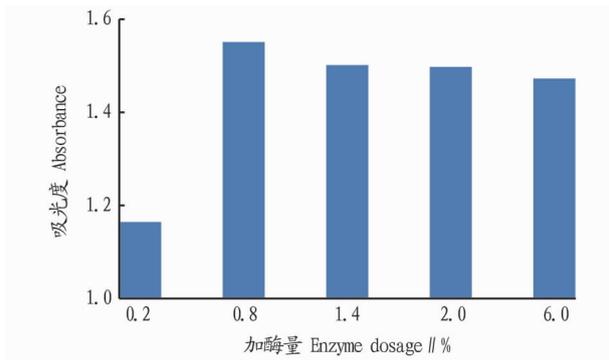


图5 加酶量对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 5 Effect of enzyme dosage on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.2.5 酶解时间对提取效果的影响。由图6可知,酶解时间在30~120 min,油茶籽壳色素的吸光度随酶解时间的增加而升高;酶解时间为120 min时,油茶籽壳色素的吸光度达到最大,为1.06;超过此时间,油茶籽壳色素吸光度降低。因此,选择120 min为较适宜的酶解时间。

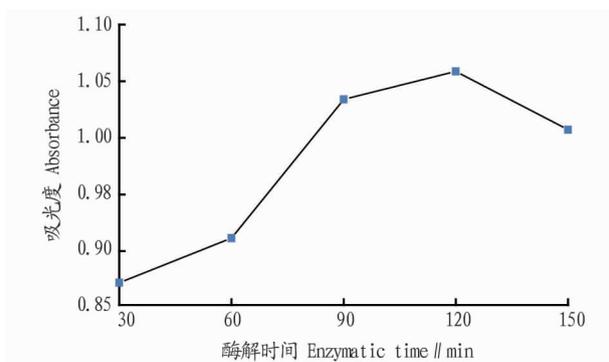


图6 酶解时间对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 6 Effect of enzymatic time on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.3 超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素条件优化

2.3.1 提取溶剂。不同提取溶剂对油茶籽壳色素的提取效

果明显不同。通过浸提液颜色可以看出,油茶籽壳色素可溶于极性较大的溶剂中,不溶或难溶于非极性溶剂中,其中乙醇具有较强提取能力,提取液为深棕色或棕色,丙酮和甲醇有一定提取能力,提取液为浅黄色,非极性或极性较小的试剂如石油醚不能提取色素。通过浸提液颜色判断,60%乙醇提取的油茶籽壳溶液颜色最深,提取效果最好。

2.3.2 提取功率。由图7可知,当提取功率为90 W时,油茶籽壳色素的吸光度达到最大;超声功率超过90 W时,油茶籽壳色素的吸光度随着功率的增加而降低。这里因为在超声功率较小时,组织破碎不完全导致色素未完全释放,功率太大会导致油茶籽壳色素因热量堆积而分解,致使结构破坏,从而使色素吸光度降低,不利于油茶籽壳色素的提取。综合考虑,选择最佳提取功率为90 W。

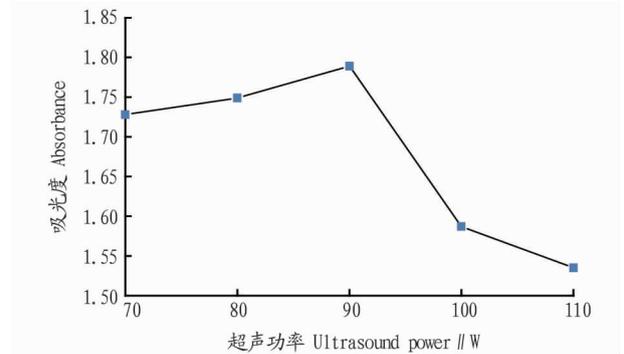


图7 超声功率对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 7 Effect of ultrasound power on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.3.3 提取温度。由图8可知,温度在60℃之前,随着超声温度的升高油茶籽壳色素的吸光度迅速增加,其后随着超声温度的升高,吸光度下降。因此,较适宜的油茶籽壳色素超声提取温度为60℃。

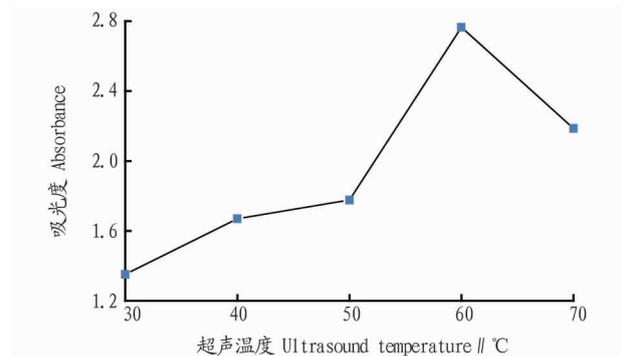


图8 超声温度对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig. 8 Effect of ultrasound temperature on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.3.4 超声时间。由图9可知,超声时间在10 min之前,油茶籽壳色素的吸光度直线增加,超声时间超过10 min后,油茶籽壳色素吸光度下降。超声时间过短,色素未完全溶出;超声时间太长,色素由于长时间超声加热而分解,不利于油茶籽壳色素的提取,导致色素吸光度降低。因此,10 min为色素超声提取的最佳时间。

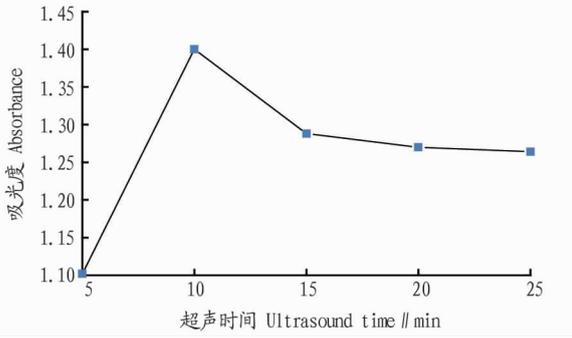


图9 超声时间对油茶籽壳色素提取效果的影响

Fig.9 Effect of ultrasound treatment time on extraction of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.4 超声波辅助乙醇提取色素响应面试验

2.4.1 响应面设计结果及回归模型方差分析。综合单因素试验,以加酶量(A)、超声温度(B)、超声功率(C)、液固比(D)为考察对象,采用SPSS 19.0软件优化提取工艺条件。试验设计及结果见表3。以油茶籽壳色素吸光度为响应值,经回归拟合后,得到回归方程:吸光度 = $2.57 + 0.048A + 0.032B - 0.035C + 0.050D - 0.056AB - 0.091AC - 0.200AD + 0.065BC + 0.088BD + 0.056CD - 0.540A^2 - 0.740B^2 - 0.680C^2 - 0.590D^2$ 。当 $P < 0.05$ 时代表参数具有显著影响, $P < 0.01$ 时表示参数具有高度显著影响,在 $P < 0.001$ 表示参数具有极显著影响。该模型 $P < 0.001$ 表示极显著,且失拟项不显著($P > 0.1$),说明该模型构建成功,可以用此模型和方程来推测油茶籽壳色素的得率。

方差分析结果表明,模型中交互项(AD)、(BC)为差异显著影响因素($P < 0.05$)。二次项各因素中 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 为差异极显著影响因素($P < 0.001$)。失拟项($P = 0.19$)较小,表明该方程对试验拟合程度好,误差小,因此该模型成立。各因素对油茶籽壳色素吸光度影响由大到小依次为液固比(D)、加酶量(A)、超声温度(B)、超声功率(C)。

2.4.2 响应面分析及提取工艺优化。图10~14可知,随着加酶量、超声温度、超声功率、液固比的增加,油茶籽壳色素吸光度均先增加达到峰值后下降,其中AD的交互作用最明显,BC的交互作用其次。

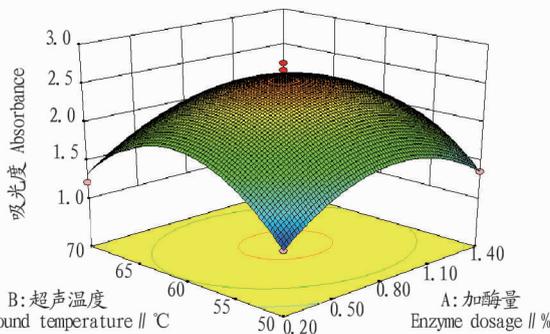


表3 响应面分析试验设计及结果

Table 3 Test design and result of response surface analysis

编号 No.	因素 Factor				吸光度 Absorbency
	A	B	C	D	
1	-1	0	0	1	1.789
2	0	0	-1	-1	1.238
3	-1	1	0	0	1.216
4	-1	0	1	0	1.266
5	1	0	-1	0	1.689
6	0	0	0	0	2.675
7	0	0	0	0	2.556
8	0	1	0	0	1.035
9	1	0	0	-1	1.528
10	0	-1	0	1	1.112
11	1	0	1	0	2.482
12	0	0	0	0	1.387
13	0	0	1	1	1.352
14	-1	-1	0	0	1.146
15	1	-1	0	0	1.357
16	0	-1	0	-1	1.212
17	0	1	-1	0	1.161
18	0	1	0	1	1.521
19	-1	0	0	-1	1.234
20	0	0	0	0	2.765
21	0	0	-1	1	1.206
22	0	-1	-1	0	1.288
23	0	0	1	-1	1.161
24	-1	0	-1	0	1.206
25	0	1	1	0	1.167
26	0	1	0	-1	1.267
27	0	0	0	0	2.381
28	1	1	0	0	1.202
29	1	0	0	1	1.264

油茶籽壳色素的最佳提取条件:加酶量为0.8%,液固比20:1,超声提取时间15 min,超声提取功率90 W,超声提取温度60 °C。油茶籽壳色素吸光度理论值为2.672。根据响应面结果进行验证性试验考察试验结果是否可行,重复5次后,验证油茶籽壳色素吸光度值平均值为2.765,与理论值的相对误差为3.4%,说明验证试验结果与回归方程预测值高度吻合,此提取工艺条件可靠性较高。

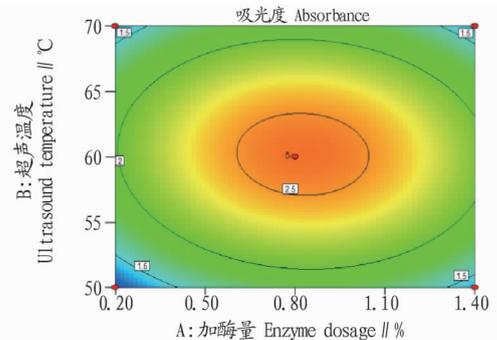


图10 加酶量与超声温度相互作用对油茶籽壳色素吸光度的影响

Fig.10 Effects of the amount of enzyme and ultrasonic temperature interaction effects on absorbance of *Camellia oleifera* seed shells pigment

2.5 不同方法提取油茶籽壳色素比较 由图15可知,在最优条件下,纤维素酶法提取油茶籽壳色素吸光度为1.538,超

声波提取油茶籽壳色素的吸光度为1.789,超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素吸光度为2.765。由此可知,超声辅助酶

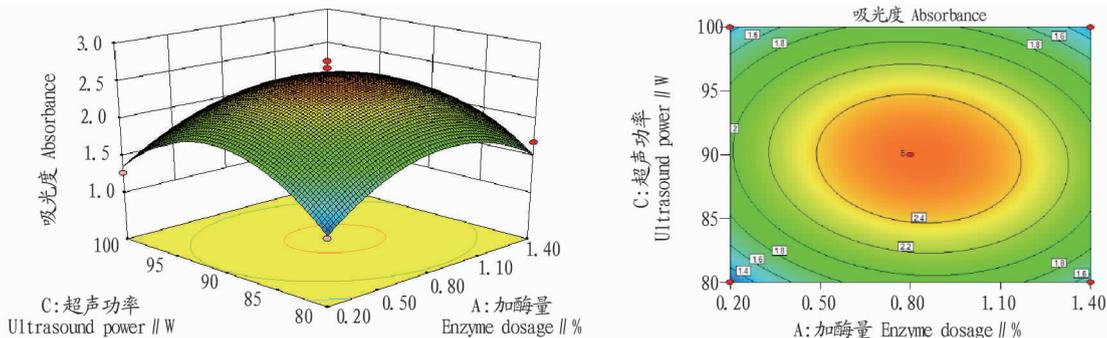


图 11 加酶量与超声功率相互作用对油茶籽壳色素吸光度的影响

Fig. 11 Effects of the amount of enzyme and ultrasonic power interaction effects on absorbance of *Camellia oleifera* seed shells pigment

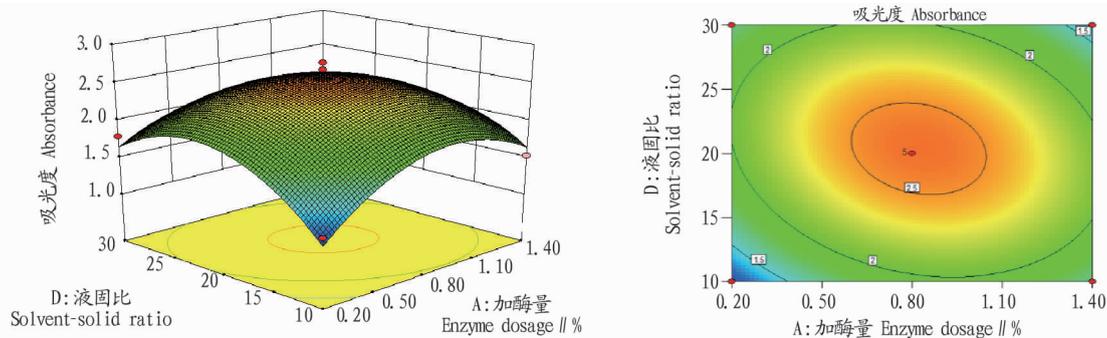


图 12 加酶量与液固比相互作用对油茶籽壳色素吸光度的影响

Fig. 12 Effects of the amount of enzyme and liquid-solid ratio interaction effects on absorbance of *Camellia oleifera* seed shells pigment

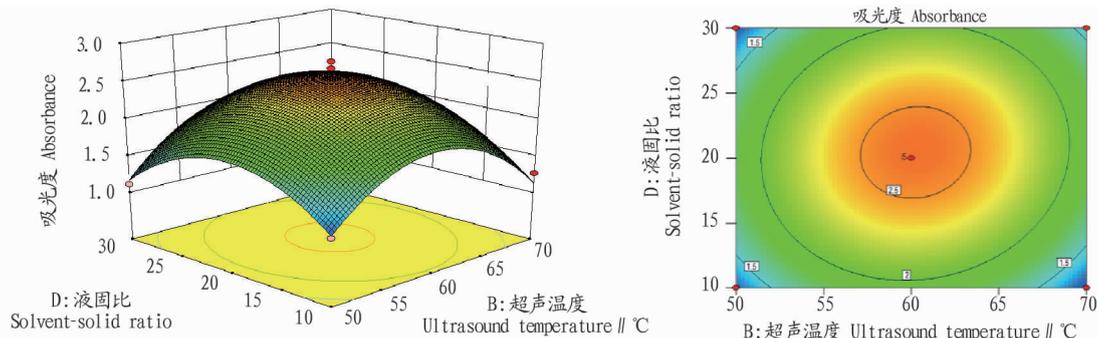


图 13 超声温度与液固比相互作用对油茶籽壳色素吸光度的影响

Fig. 13 Effects of ultrasonic temperature and liquid-solid ratio interaction effects on absorbance of *Camellia oleifera* seed shells pigment

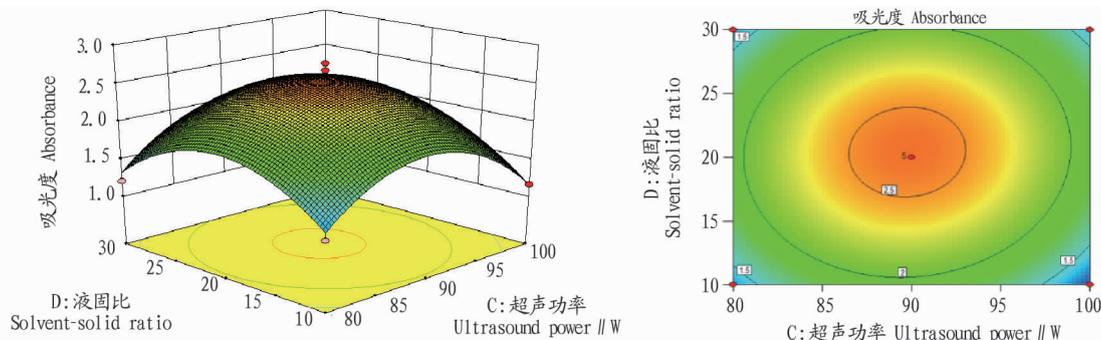


图 14 超声功率与液固比相互作用对油茶籽壳色素吸光度的影响

Fig. 14 Effects of ultrasonic power and liquid-solid ratio interaction effects on absorbance of *Camellia oleifera* seed shells pigment

法在最优条件下油茶籽壳色素提取效果优于酶法和超声波提取法。

3 结论

(1) 超声波辅助酶法提取方法可以显著提高油茶籽壳色

素吸光度,在此最优条件下油茶籽壳色素吸光度为 2.765,分别是单独酶法提取、超声波提取的 1.8、1.5 倍。

(2) 超声波辅助酶法提取油茶籽壳色素最佳条件:加酶量为 0.8%,液固比 20:1,超声提取时间 15 min,超声提取功

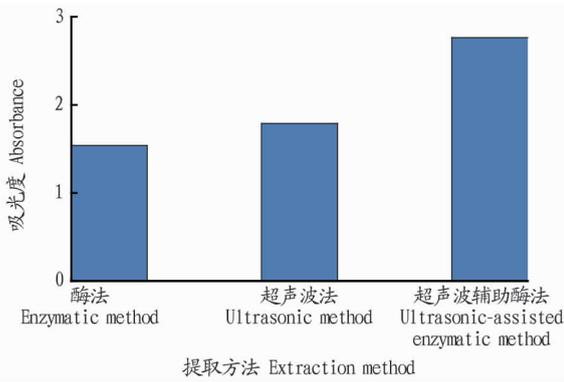


图 15 不同方法提取油茶籽壳色素比较

Fig. 15 Comparison of different methods for extracting pigment from *Camellia oleifera* seed shell

率 90 W, 超声提取温度 60 ℃。在此条件下测得的油茶籽壳色素的吸光度为 2.765, 与理论值的相对误差为 3.4%。

参考文献

- [1] 易灵伟. 江西省油茶花期冷害指标及风险等级区划研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [2] 路放, 傅军. 油茶栽培研究的现状与我省油茶发展对策[J]. 安徽林业科技, 2007(3): 11-13.
- [3] 袁德志. 重庆生态油茶产业化现状及发展策略[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(1): 188-191.

(上接第 3 页)

参蛋白质含量最高。

参考文献

- [1] 王月, 翟华强, 鲁利娜, 等. 人参的本草考证及现代研究综述[J]. 世界中医药, 2017, 12(2): 470-473.
- [2] 严弋敬, 孙海燕, 刘冬, 等. 不同生理状态下人参总皂苷对 HepG2 细胞 CYP2B6 mRNA 和蛋白表达的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 39-44.
- [3] LIN T, LIU Y E, SHI M, et al. Promotive effect of ginsenoside Rd on proliferation of neural stem cells *in vivo* and *in vitro* [J]. Journal of ethnopharmacology, 2012, 142(3): 754-761.
- [4] 雷秀娟, 冯凯, 孙立伟, 等. 人参皂苷抗衰老机制的研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2010, 32(1): 44-47, 78.
- [5] HWANG J W, OH J H, YOO H S, et al. Mountain ginseng extract exhibits anti-lung cancer activity by inhibiting the nuclear translocation of NF- κ B [J]. American journal of Chinese medicine, 2012, 40(1): 187-202.
- [6] HUANG C W, LEE T T, SHIH Y C, et al. Effects of dietary supplementation of Chinese medicinal herbs on polymorphonuclear neutrophil immune activity and small intestinal morphology in weanling pigs [J]. Journal of animal physiology and animal nutrition, 2012, 96(2): 285-294.
- [7] CHEUNG L W T, LEUNG K W, WONG C K C, et al. Ginsenoside-Rg1 induces angiogenesis via non-genomic crosstalk of glucocorticoid receptor and fibroblast growth factor receptor-1 [J]. Cardiovascular research, 2011, 89(2): 419-425.

- [4] 余红军. 油茶籽壳多糖、原花青素的综合提取及其分离纯化[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
- [5] 叶展, 胡传荣, 何东平. 响应面法优化油茶籽壳制备糠醛的工艺研究[J]. 食品科技, 2015(2): 218-223.
- [6] 刘晓庚. 油茶副产品的成分分析与利用研究[J]. 粮食与饲料工业, 1993(4): 47-51.
- [7] 凌诚德. 国产食用天然色素油茶果壳棕色素毒性试验(文摘)[J]. 浙江医科大学学报, 1985, 19(1): 16.
- [8] 李红姣, 李巨秀, 赵忠. 酶法辅助提取山杏种皮黑色素工艺优化及其稳定性[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 69-75.
- [9] 张良晨, 王波, 石太湖, 等. 超声波辅助提取高粱壳黄酮色素工艺的研究[J]. 食品工业, 2016(12): 5-8.
- [10] NGUYEN H P T, MORANÇAIS M, FLEURENCE J, et al. Enhancement of R-phycoerythrin extraction from *Mastocarpus stellatus* by the use of enzymatic hydrolysis [R]. Oceanext, At Nantes, France, 2016.
- [11] MARAN J P, PRIYA B. Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from *Amaranthus tricolor* L leaves [J]. Journal of food processing & preservation, 2015, 39(6): 2314-2321.
- [12] 张孜群, 杨亦灏, 韩晓, 等. 超声波辅助提取花生粕中花生衣红色素[J]. 山东化工, 2017, 46(1): 11-14.
- [13] 孙萍, 王凤舞, 王成荣. 紫玉兰色素超声组合酶法提取工艺及其稳定性研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2014, 31(1): 54-58.
- [14] 张康逸, 范运乾, 康志敏, 等. 超声波辅助纤维素酶法提取紫玉米芯色素工艺研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(6): 152-155.
- [15] 王忠雷, 杨丽燕, 曾祥伟, 等. 酶反应提取技术在中药化学成分提取中的应用[J]. 世界中医药, 2013, 8(1): 104-106.
- [16] 于云虎. 超声强化提取中草药的优化研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.

(2): 419-425.

- [8] 张翼轸, 张文驹, 穆青, 等. 人参化学成分的药理活性及其含量积累的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12158-12160, 12163.
- [9] 卢聪, 鲍勇刚, 赵树民, 等. 不同产地人参蛋白差异研究[J]. 中国现代中药, 2015, 17(1): 6-10.
- [10] 李霞, 孙立伟, 申野. 人参水溶性蛋白活性研究进展[J]. 中国实用医药, 2010, 5(27): 243-244.
- [11] 王伟楠, 赵雨, 李红艳, 等. 人参蛋白四种提取方法的比较研究[J]. 食品工业科技, 2010(5): 280-281.
- [12] 汪树理, 李晓红, 张秋, 等. 利用快速溶剂萃取方法提取人参蛋白的研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(6): 1318-1319.
- [13] 郭广芳, 董坤, 高利艳, 等. 小麦根蛋白提取与双向电泳方法的优化与应用[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 244-248.
- [14] KIRKLAND P A, BUSBY J, STEVENTS S JR, et al. Trizol-based method for sample preparation and isoelectric focusing of halophilic proteins [J]. Analytical biochemistry, 2006, 351(2): 254-259.
- [15] 贾青慧, 沈奇, 陈莉. 紫苏籽蛋白质与氨基酸的含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 6-9.
- [16] 刘爽, 袁芳, 高彦祥. 植物蛋白乳液稳定性研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(8): 165-171.
- [17] 么宝金, 赵雨, 杨士慧, 等. 人参总蛋白的提取工艺研究[J]. 中药材, 2009, 32(2): 293-295.
- [18] 王逸, 鲍勇刚, 贾卫国, 等. 人参蛋白研究进展[J]. 中草药, 2013, 44(19): 2782-2786.

科技论文写作规范——缩略语

采用国际上惯用的缩略语。如名词术语 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)、ATP(三磷酸腺苷)、ABA(脱落酸)、ADP(二磷酸腺苷)、CK(对照)、CV(变异系数)、CMS(细胞质雄性不育性)、IAA(吲哚乙酸)、LD(致死剂量)、NAR(净同化率)、PMC(花粉母细胞)、LAI(叶面积指数)、LSD(最小显著差)、RGR(相对增长率)、单位名缩略语 IRRI(国际水稻研究所)、FAO(联合国粮农组织)等。对于文中有些需要临时写成缩写的词(如表及图中由于篇幅关系以及文中经常出现的词而写起来又很长时),则可取各主要词首字母写成缩写,但需在第一次出现处写出全称,表及图中则用注解形式在下方注明,以便读者理解。