

龙须菜多酚提取工艺优化及其体外抗氧化活性
Optimization on extraction of polyphenols and its antioxidant activity
in Vitro from *Gracilaria lemaneiformis*

陈洪彬^{1,2} 杨 敏¹ 宋露露¹ 董 乐^{1,2}

CHEN Hong-bin^{1,2} YANG Min¹ SONG Lu-lu¹ DONG Le^{1,2}

(1. 泉州师范学院海洋与食品学院, 福建 泉州 362002;

2. 福建省海洋藻类活性物质与功能开发重点实验室, 福建 泉州 362002)

(1. College of Oceanology and Food Sciences, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362002, China;

2. Fujian Province Key Laboratory for the Development of Bioactive Material from
Marine Algae, Quanzhou, Fujian 362002, China)

摘要:以龙须菜为原料,研究超声波辅助提取龙须菜多酚的工艺条件及其抗氧化活性。单因素考察液料比、提取温度、超声时间对龙须菜多酚含量的影响,在此基础上,利用响应面分析法优化提取工艺。结果表明,液料比 40:1 (mL/g)、提取温度 60 ℃、超声时间 40 min 为龙须菜多酚提取最佳工艺条件(龙须菜多酚提取量为 1.62 mg GAE/g)。体外抗氧化活性研究表明,龙须菜多酚具有一定清除 DPPH 自由基和羟自由基的能力,其 IC_{50} 值分别为 56.67, 18.78 $\mu\text{g/mL}$, 分别相当于 15.89, 536.4 $\mu\text{g/mL}$ 的抗坏血酸。

关键词:龙须菜;多酚;超声波辅助;抗氧化活性

Abstract: Optimization of the ultrasonic-assisted extraction of polyphenols and its antioxidant activity in Vitro from *Gracilaria lemaneiformis* were studied. The effects of liquid-material ratio, extract temperature, ultrasonic times on the contents of polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis* were investigated. Based on this, the response surface analysis method was applied to determine the optimization of the extraction. Results showed that the optimum condition for the ultrasonic-assisted extraction of polyphenols were as followed: ratio of liquid-material 40:1 (mL/g), extraction temperature 60 ℃, ultrasonic times 40 min. Under the optimum condition, the contents of polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis* was 1.62 mg GAE/g. Research of its antioxidant activity in vitro shows that the polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis* have scavenging capabilities of DPPH free radical and hydroxyl free radical, and their

IC_{50} are 56.67 and 18.78 $\mu\text{g/mL}$, equivalent to 15.89 and 536.4 $\mu\text{g/mL}$ of ascorbic acid.

Keywords: *Gracilaria lemaneiformis*; polyphenols; ultrasonic-assisted; antioxidant activity

龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)属红藻门江蓠属,是中国重要的大型养殖经济海藻,在中国福建、广东、浙江、山东、辽宁等沿海地区大量养殖,其中福建养殖量占全国养殖总量一半以上^[1]。龙须菜含有丰富的蛋白质和碳水化合物,是制备琼胶的重要原料,也是鲍鱼等水产养殖的主要饵料之一^[2-4]。近年来,有关龙须菜的研究大多集中在糖类方面^[5-6],如龙须菜多糖、龙须菜寡糖以及利用龙须菜来制备琼脂等,尤其是对制备琼脂的龙须菜,其加工的副产物有待进一步开发利用,以期实现琼脂清洁生产。海藻多酚是海藻植物中所含多酚类化合物的总称,多为间苯三酚衍生物和聚合物,具有抗氧化、抗病毒、抗肿瘤及调节免疫机能等多种生理活性和药用功能^[7-8]。目前,有关海藻多酚研究主要集中在褐藻多酚,如海带^[9]、羊栖菜^[10]、鼠尾藻^[11]等褐藻中多酚类物质的提取、分离及生物活性研究,而有关红藻多酚的相关研究较少,仅在紫菜多酚的提取及应用方面有初步研究报道^[12-15],在龙须菜多酚的提取工艺优化方面的研究缺乏。裘晨阳等^[15]虽然对龙须菜多酚的抗氧化活性进行测定,但其萃取的多酚未经大孔树脂纯化,杂质相对较多,抗氧化评价也不够深入。福建拥有丰富的龙须菜资源,很有必要对其含有的多酚进行研究,较系统地评价其体外抗氧化活性,以提高龙须菜资源的利用率。提取海藻多酚主要方式有溶剂浸提^[10]、微波辅助^[9,12]、超声波辅助^[11,13-14]等方法,其中超声波辅助法在提取活性物质方面的应用较广泛,能有效提高提取率^[16]。因此,利用超声波辅助提取龙须菜以提高多酚

基金项目:福建省中青年教育科研项目(编号:JA15390);泉州市科技计划项目(编号:2015Z135);福建省大学生创新创业训练计划项目(编号:201510399041)

作者简介:陈洪彬(1989—),男,泉州师范学院讲师,在读博士研究生。E-mail: yummyway@qq.com

收稿日期:2017-02-16

的得率具有可行性。本研究拟以福建莆田沿海养殖的龙须菜为原料,在预试验的基础上,以 70%乙醇为提取溶剂,考察液料比、提取温度、超声时间对龙须菜多酚含量的影响,通过响应面分析法优化超声波辅助提取龙须菜多酚的工艺参数;在最优提取工艺下制备龙须菜粗多酚,再经大孔树脂纯化,以抗坏血酸为阳性对照,用 DPPH 自由基和羟自由基清除率较为系统地评价龙须菜多酚的体外抗氧化能力,旨在为龙须菜高值化利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器与试剂

龙须菜:采自福建省莆田市平海镇某龙须菜养殖厂,烘干粉碎后备用;

紫外可见分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

精密天平:CP213 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

超声波清洗器:KQ-200VDE 型,昆山市超声仪器有限公司;

高速冷冻离心机:GL-20G-II 型,上海安亭科学仪器厂;

恒温水浴锅:HH-4 型,常州国华电器有限公司;

鼓风干燥箱:DHG-9246A 型,上海精宏实验设备有限公司;

万能粉碎机:ZN-02 型,北京兴时利仪器有限公司;

1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH):分析纯,东京化成工业株式会社;

没食子酸、福林酚、抗坏血酸、邻二氮菲、硫酸亚铁等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 龙须菜多酚的提取

龙须菜粉→过 80 目筛→超声辅助提取→离心(4 000 r/min,20 min)→龙须菜多酚提取液

1.2.2 多酚含量的测定 参考李颖畅等^[13]的方法,用福林酚法测定提取液中多酚的含量,以没食子酸计, $y=0.013\ 1x-0.004\ 8(R^2=0.999\ 5)$ 为标准曲线方程,并根据标准曲线计算出多酚的含量,用 mg GAE/g 表示。

1.2.3 龙须菜多酚抗氧化活性的测定

(1) DPPH 自由基清除能力测定:参照文献^[1]。

(2) 羟基自由基清除能力测定:采用邻二氮菲法^[1]。

(3) IC_{50} :指 DPPH 自由基清除率、羟自由基清除率为 50%时所需多酚溶液的浓度。以多酚浓度(mg/mL)为自变量,抗氧化活性指标(%)为因变量进行一次或二次曲线拟合,根据拟合方程计算 IC_{50} 。

1.2.4 单因素试验设计

(1) 液料比:在提取温度 60 ℃,超声时间 40 min 的条件下,分别考察液料比[20:1,30:1,40:1,50:1,60:1 (mL/g)]对龙须菜多酚含量的影响,重复 3 次,取平均值。

(2) 提取温度:在液料比 40:1 (mL/g),超声时间 40 min 的条件下,分别考察提取温度(30,40,50,60,70 ℃)对龙须菜多酚含量的影响,重复 3 次,取平均值。

(3) 超声时间:在液料比 40:1 (mL/g),提取温度 60 ℃的条件下,分别考察超声时间(10,20,30,40,50 min)对龙须菜多酚含量的影响,重复 3 次,取平均值。

1.2.5 龙须菜多酚提取工艺的响应面法优化 采用 Central Composite Design 响应面优化分析法,结合单因素试验的结果,考察液料比、提取温度、超声时间对龙须菜多酚含量的影响,根据试验结果确定最佳提取工艺。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 液料比对龙须菜多酚含量的影响 由图 1 可知,在液料比为 40:1 (mL/g)时,龙须菜多酚的含量达到最大值,为 1.63 mg GAE/g。当液料比超过 40:1 (mL/g)时,龙须菜多酚的含量趋于平稳。说明此时龙须菜多酚的溶出量已基本饱和,再增加溶剂的量,无法增加龙须菜多酚的含量,同时过高的液料比将增加乙醇用量,增加浓缩负荷,成本也大幅度增加。这与李颖畅等^[13]对紫菜多酚提取的研究结果相似。

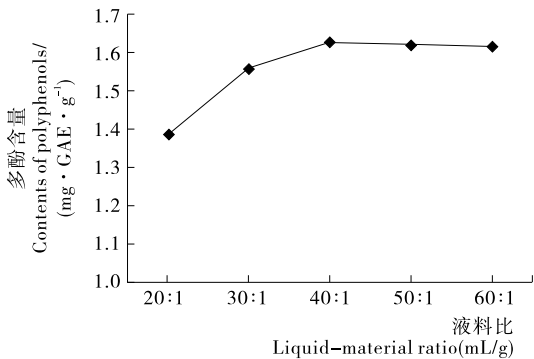


图 1 液料比对龙须菜多酚含量的影响

Figure 1 Effects of liquid-material ratio on the contents of polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis*

2.1.2 提取温度对龙须菜多酚含量的影响 由图 2 可知,在 30~60 ℃时,龙须菜多酚的含量随温度的增加而逐渐升高,到 60 ℃时,龙须菜多酚含量达到最大值(1.51 mg GAE/g),之后龙须菜多酚含量有所下降。随着温度升高,龙须菜多酚提取液黏度下降,分子间运动加剧,氢键更易断裂,溶解、扩散速度更快,龙须菜多酚类物质更易溶出。但温度过高,多

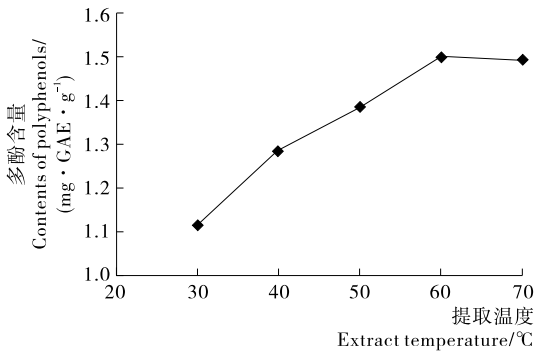


图 2 提取温度对龙须菜多酚含量的影响

Figure 2 Effects of extract temperature on the contents of polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis*

酚易发生氧化或降解等一些不可逆反应,破坏龙须菜多酚的结构,从而降低其提取量。这与吕成林等^[10]对羊栖菜多酚的研究结果相似。

2.1.3 超声时间对龙须菜多酚含量的影响 由图 3 可知,随着超声时间的增加,龙须菜浸出的多酚含量也不断提高,在超声时间为 40 min 时,龙须菜多酚含量达到最大值,为 1.63 mg GAE/g,之后龙须菜多酚含量略有下降。说明超声 40 min 后,龙须菜多酚已基本溶出,再增加超声时间不仅无法增加其含量,还会破坏龙须菜多酚的结构,从而降低其提取量。

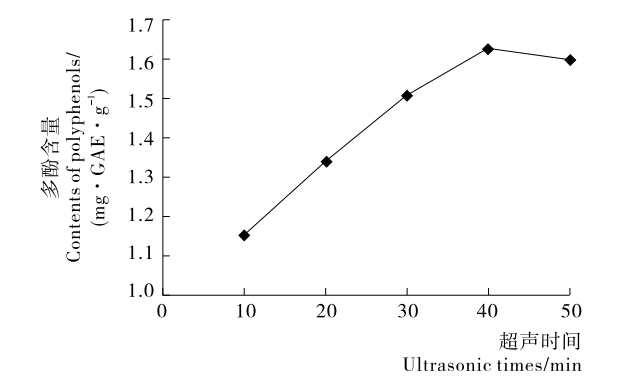


图 3 超声时间对龙须菜多酚含量的影响
Figure 3 Effects of ultrasonic times on the contents of polyphenols from *Gracilaria lemaneiformis*

2.2 响应面法优化结果与分析

2.2.1 响应面试验设计与结果 试验因素水平表见表 1,试验设计与结果见表 2。

对响应面试验的结果进行分析,可得以龙须菜多酚含量(Y)为响应值的回归方程:

$$Y = -3.074\ 03 + 0.125\ 4A + 0.085\ 22B + 0.076\ 52C + 2.883\ 6 \times 10^{-4} AB - 9.994 \times 10^{-5} AC - 2.197\ 2 \times 10^{-4} BC - 2.86 \times 10^{-4} A^2 - 6.808\ 1 \times 10^{-4} B^2 - 6.759\ 5 \times 10^{-4} C^2$$
。(1)

对式(1)中回归方程进行方差分析,结果见表 3。由表 3 可知,回归模型 $P < 0.000\ 1$,极显著,失拟项 $P = 0.294\ 5 > 0.05$,不显著,说明该回归方程有效,可以利用该模型来预测超声辅助提取龙须菜多酚的含量;变异系数 $C.V.\% = 1.73 < 10$,精密密度为 $16.583 > 4$,说明试验重复性较好;相关系数 $R^2 = 0.999\ 5$,校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.947\ 7$,说明该方程拟合度较高。因此,利用该模型分析和预测超声辅助提取龙须菜多酚是可行的。

进一步分析可知,A、B、C、 A^2 、 B^2 和 C^2 项对龙须菜多酚

表 1 因素和水平表

水平	A 液料比 (mL/g)	B 提取温度/ ℃	C 超声时间/ min
—1	30 : 1	50	30
0	40 : 1	60	40
1	50 : 1	70	50

表 2 龙须菜多酚提取响应面试验设计及结果

序号	A	B	C	多酚含量/ (mg GAE · g ⁻¹)
1	0	0	0	1.58
2	—1	1	1	1.49
3	1	—1	—1	1.34
4	0	0	0	1.64
5	0	—1.682	0	1.31
6	0	0	0	1.63
7	0	0	0	1.62
8	1.682	0	0	1.57
9	—1.682	0	0	1.49
10	—1	—1	1	1.46
11	0	0	1.682	1.54
12	1	1	1	1.58
13	0	0	—1.682	1.30
14	—1	—1	—1	1.32
15	0	1.682	0	1.52
16	1	1	—1	1.58
17	—1	1	—1	1.42
18	1	—1	1	1.46
19	0	0	0	1.62

表 3 方差分析[†]

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.226 12	9	0.025 12	37.270 18	< 0.000 1	* *
A	0.012 00	1	0.012 00	17.807 49	0.002 2	* *
B	0.053 66	1	0.053 66	79.604 35	< 0.000 1	* *
C	0.037 80	1	0.037 80	56.074 52	< 0.000 1	* *
AB	0.006 65	1	0.006 65	9.868 02	0.011 9	*
AC	0.000 80	1	0.000 80	1.185 32	0.304 6	
BC	0.003 86	1	0.003 86	5.729 26	0.040 3	*
A ²	0.011 17	1	0.011 17	16.563 04	0.002 8	* *
B ²	0.063 27	1	0.063 27	93.855 27	< 0.000 1	* *
C ²	0.062 37	1	0.062 37	92.521 65	< 0.000 1	* *
残差	0.006 07	9	0.000 67			
失拟项	0.004 20	5	0.000 84	1.799 74	0.294 5	不显著
纯误差	0.001 87	4	0.000 47			
总和	0.232 18	18				

[†] * 表示差异显著, $P < 0.05$; * * 表示极差异显著, $P < 0.01$ 。
 $R^2 = 0.999\ 5$, $R_{adj}^2 = 0.947\ 7$, $C.V.\% = 1.73$,精密密度为 16.583。

含量的影响极显著($P < 0.01$),AB 和 BC 项对龙须菜多酚的影响显著($P < 0.05$),AC 项对龙须菜多酚的影响不显著($P > 0.05$)。

2.2.2 响应面试验因素间的相互影响 进一步分析表 3 可知,液料比与提取温度的交互项和提取温度与超声时间的交互项对龙须菜多酚浸出的含量影响显著($P<0.05$),并对其作响应曲面图和等高线图(图 4,5)。响应曲面的平缓 and 陡峭程度可以反映因素值变化对响应值的影响大小,若曲面坡度平缓,则因素值的变化对响应值影响较小;反之,则影响较

大。等高线的形状可以反映出两因素间交互作用的强弱,椭圆扁平程度表示两因素的交互作用强弱,越扁平说明相互作用越强。由图 4 可知,液料比和提取温度之间的等高线形状呈椭圆形,响应曲面坡度非常陡峭,等高线图也较扁平,说明液料比和提取温度间的交互作用较强,对龙须菜多酚含量的影响大。

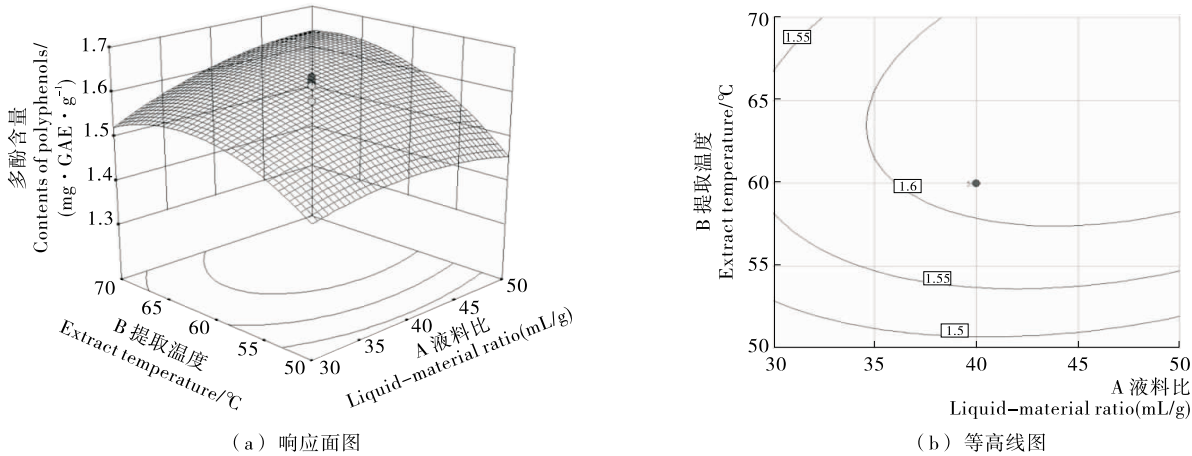


图 4 液料比和提取温度对龙须菜多酚含量的交互作用

Figure 4 Interaction effects of liquid-material ratio and extract temperature on the contents of polyphenols

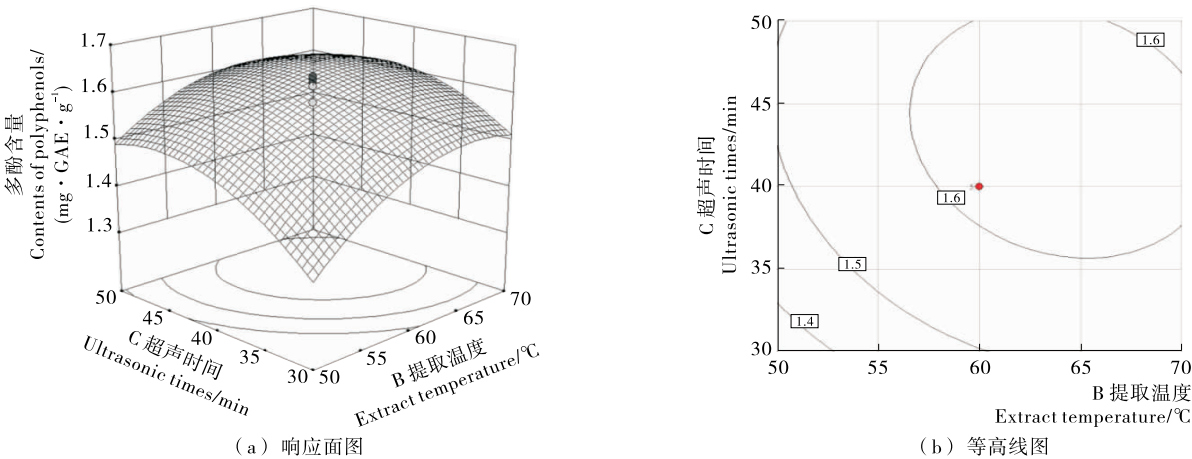


图 5 提取温度和超声时间对龙须菜多酚含量的交互作用

Figure 5 Interaction effects of extract temperature and ultrasonic times on the contents of polyphenols

2.2.3 最佳工艺参数的确定及验证性试验 对式(1)进一步分析可知,理论超声辅助提取龙须菜多酚的最佳参数条件为:液料比 47.72 : 1 (mL/g)、提取温度 65.86 ℃、超声时间 42.37 min。根据实际可操作情况,修正最佳提取工艺条件为:液料比 48 : 1 (mL/g)、提取温度 66 ℃、超声时间 42 min,并进行验证性实验($n=3$),得到龙须菜多酚含量为 (1.58 ± 0.07) mg GAE/g,与中心试验组条件下获得的龙须菜多酚含量 (1.62 ± 0.02) mg GAE/g 相比较,其理论最佳参数并非提取的最优条件。因此,在本试验中,超声辅助提取龙须菜多酚的最优工艺条件为:液料比 40 : 1 (mL/g)、提取温度 60 ℃、超声时间 40 min。

2.2.4 抗氧化活性评价 制备一定量的龙须菜多酚提取液,用大孔树脂初步纯化,得龙须菜粗多酚,浓度为 0.104 mg/mL。由

图 6 可知,经初步纯化后的龙须菜多酚具有一定的抗氧化活性。随着多酚浓度的增加,其 DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率均增大,并且呈现明显的剂量效应关系。对其效应关系进行回归拟合,根据拟合方程计算 IC_{50} 值,以抗坏血酸为阳性对照(图 7),结果见表 4。由表 4 可知,龙须菜多酚的 DPPH 自由基清除率 IC_{50} 为 56.67 μ g/mL,相当于 15.89 μ g/mL 的抗坏血酸;龙须菜多酚的羟自由基清除率 IC_{50} 为 18.78 μ g/mL,相当于 536.4 μ g/mL 的抗坏血酸。因此,该试验制备的龙须菜粗多酚清除 DPPH 自由基能力略弱于同浓度下的抗坏血酸,而清除羟自由基的能力强于同浓度下的抗坏血酸。

3 结论

(1) 龙须菜多酚提取的最佳工艺条件为:液料比 40 : 1

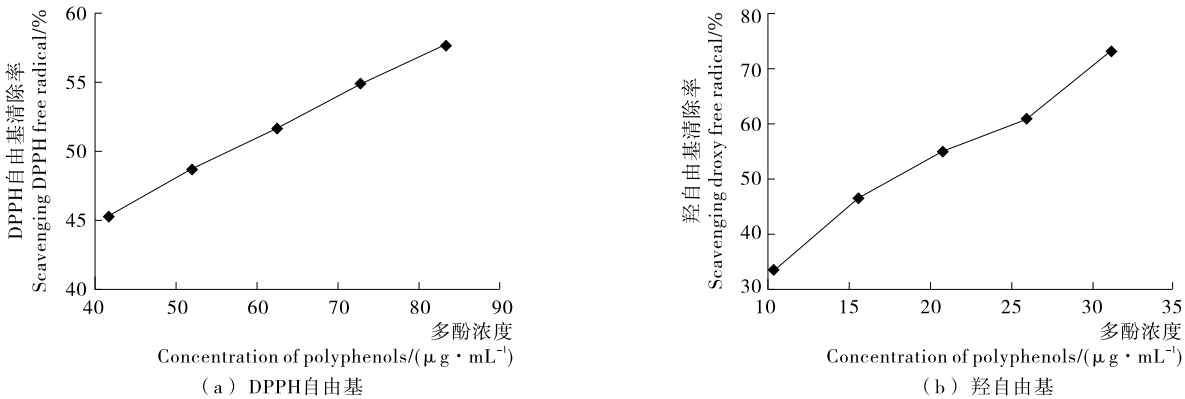


图 6 多酚浓度对 DPPH 自由基和羟自由基的影响

Figure 6 Effects of scavenging DPPH free radical and hydroxy free radical on the concentration of polyphenols preparing by *Gracilaria lemaneiformis*

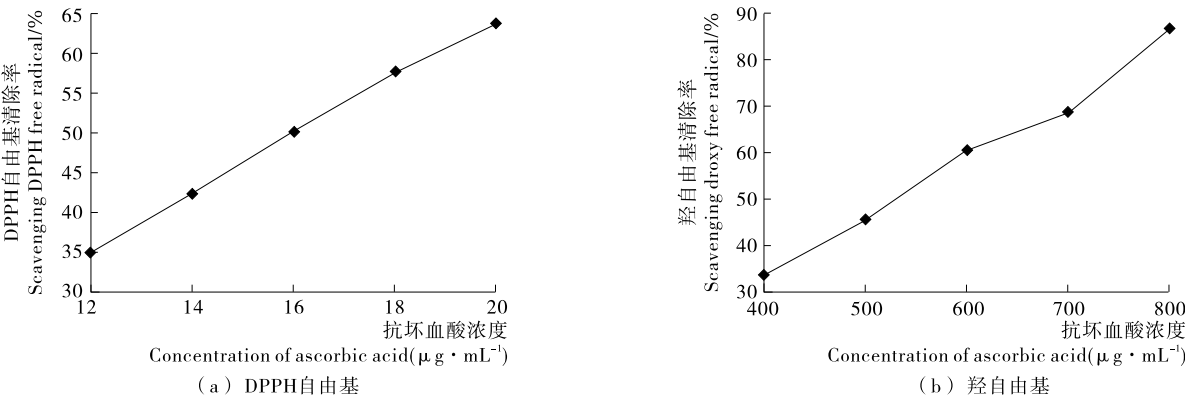


图 7 抗坏血酸浓度对 DPPH 自由基和羟自由基的影响

Figure 7 Effects of scavenging DPPH free radical and hydroxy free radical on the concentration of ascorbic acid

表 4 龙须菜多酚和抗坏血酸对 DPPH 自由基、羟自由基的 IC_{50} 值				
Table 4 IC_{50} values of polyphenols from <i>Gracilaria lemaneiformis</i> and ascorbic acid for DPPH free radical, hydroxy free radical				
评价指标	抗氧化剂	回归方程	R^2	$IC_{50}/(\mu g \cdot mL^{-1})$
DPPH 自由基	龙须菜多酚	$y=0.003x+0.327$	0.999	56.67
	抗坏血酸	$y=-0.059x^2+5.547x-23.26$	0.999	15.89
羟自由基	龙须菜多酚	$y=0.018x+0.162$	0.983	18.78
	抗坏血酸	$y=0.000\ 038x^2+0.083\ 5x-5.637\ 9$	0.991	536.40

(mL/g)、提取温度 60 ℃、超声时间 40 min,在此条件下提取的龙须菜多酚含量为(1.62±0.02) mg GAE/g。

(2) 体外抗氧化活性研究表明,龙须菜多酚具有一定抗氧化活性,能有效清除 DPPH 自由基和羟自由基,其 IC_{50} 值分别为 56.67,18.78 μg/mL,分别相当于 15.89,536.4 μg/mL 的抗坏血酸。

(3) 本研究不足之处在于对龙须菜多酚的抗氧化评价为体外化学抗氧化,下一步需采用细胞抗氧化试验和体内小鼠试验对龙须菜多酚进行抗氧化评价。

参考文献

[1] 陈洪彬,鄂昱瑾,温美钦,等. 龙须菜抗氧化肽的制备及其体外抗氧化活性[J]. 泉州师范学院学报, 2015, 33(2): 43-47.

[2] 余杰,王欣,陈美珍,等. 潮汕沿海龙须菜的营养成分和多糖组成分析[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 93-97.

[3] GALAN A, 张威,苏秀榕,等. 浒苔和龙须菜营养成分的研究[J]. 水产科学, 2010, 29(6): 392-333.

[4] 李雅婷,陈明,曾帅霖,等. 饲料中添加龙须菜对眼斑拟石首鱼生长、脂肪酸组成、免疫及肠道的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(1): 85-93.

[5] 史晨杉,孙桂清,武瑞霞,等. 龙须菜非琼胶多糖初级结构及细胞免疫调节活性的研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 12-17.

[6] 万玮,高超,产竹华,等. 深海细菌 *Flammeovirga pacifica* 降解龙须菜寡糖反应条件的优化[J]. 应用海洋学报, 2013, 32(4): 584-590.

品均质化评价要求,说明高温环境配送烟丝对卷烟质量影响较大。

3 结论

(1) 常温环境对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于低温和高温条件。低温和高温环境下配送烟丝表面和中心温度差较为明显,烟丝平衡时间较长;低温环境下碎丝率增加较为明显,高温环境下配送烟丝卷烟感官质量变化较为明显。

(2) 潮湿环境对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于干燥环境。干燥条件下随着配送烟丝含水率下降,整丝率下降较为明显,碎丝率明显增加,配送烟丝卷烟的吸阻标偏、端部落丝量、含末率等指标较差。

(3) 密封包装对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于非密封包装。非密封包装配送烟丝质量受配送环境湿度的影响程度较大,配送后烟丝的平衡时间较长。

(4) 烟丝异地配送时,应采用密封包装方式,配送过程温度控制在 15~30 ℃,在温度(25±3) ℃、湿度(65±5)%环境下平衡 8 h,烟丝质量变化较小,卷烟综合质量的一致性较好。

参考文献

[1] 吴文强,刘斌,毛伟俊,等. 压实法与抽空法装箱方式对烟丝质量的影响比较[J]. 烟草科技, 2014(3): 14-16.
[2] 陈家东,张晓纲,王洪权. 膨胀烟丝的包装和运输优化[J]. 烟草

科技, 2003(10): 13-16.
[3] 康金岭,范燕玲. 干冰膨胀工艺参数对膨胀烟丝整丝率的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 246-249.
[4] 国家烟草专卖局. YC/T 31—1996 烟草及烟草制品 试样的制备和水分的测定 烘箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
[5] 国家烟草专卖局. YC/T 178—2003 烟丝整丝率、碎丝率的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
[6] 国家烟草专卖局. YC/T 152—2001 卷烟 烟丝填充值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22838—2009 卷烟和滤棒物理性能的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
[8] 国家烟草专卖局. YC/T 151.2—2001 卷烟端部掉落烟丝的测定 第二部分 旋转箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19609—2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23355—2009 卷烟 总粒相物中烟碱的测定 气相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23356—2009 卷烟 烟香气相中一氧化碳的测定 非散射红外法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
[12] 国家烟草专卖局. YC/T 138—1998 烟草及烟草制品 感官评价法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(上接第 143 页)

[7] EOM S H, KIM Y M, KIM S K. Antimicrobial effect of phlorotannins from marine brown algae[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(9): 3 251-3 255.
[8] KANNAN R R R, ADEROGBA M A, NDHLALA A R, et al. Acetylcholinesterase inhibitory activity of phlorotannins isolated from the brown alga, Ecklonia maxima (Osbeck) Papenfuss[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 1 250-1 254.
[9] 杨会成,曾名勇,刘尊英,等. 超声波、微波复合提取海带多酚的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(11): 132-135.
[10] 吕成林,汪秋宽,宋悦凡,等. 羊栖菜多酚的提取及纯化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 231-240.

(上接第 170 页)

[19] 魏晓明,郭晓娜,朱科学,等. 谷氨酰胺转氨酶对荞麦面条品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 188-192.
[20] 刘颖,刘丽宅,于晓红,等. 马铃薯全粉对小麦粉及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37 (24): 163-167.
[21] 倪文霞,王尚玉,王宏勋,等. 红薯渣面条的制备工艺研究[J]. 武汉工业学院学报, 2011, 30(3): 18-21.
[22] 谢玉锋,葛英亮,郑茂波,等. 龙麦 26 面条预混粉配方优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 231-234.
[23] 周明,黎冬明,郑国栋. 黑麦面条工艺优化及质构特性的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(1): 121-124.
[24] 肖东,周文化,邓航,等. 3 种食品添加剂对鲜湿面抗老化作用研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 142-145, 189.
[25] 许先猛,张增帅,宋武明,等. 富纤高钙面条加工工艺的优化[J].

[11] 林超,于曙光,郭道森,等. 鼠尾藻中褐藻多酚化化合物的抑菌活性研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(3): 94-97.
[12] 钟明杰,王阳光. 微波辅助提取紫菜多酚及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 204-207.
[13] 李颖畅,张笑,吕艳芳,等. 响应面优化超声波辅助提取紫菜多酚[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 82-89.
[14] 蔡建秀,曾炜,陈姗龙,等. 紫菜多酚的超声波辅助提取工艺及其抗氧化作用[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 54-60.
[15] 裘晨阳,吴祥庭. 龙须菜多酚类物质的双水相系统纯化及抗氧化研究[J]. 食品工业, 2015, 36(8): 122-126.
[16] 金寒冰,方丽,赖蓓蕾,等. 苦苣多酚超声辅助提取及抗氧化研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 211-215.

粮食与油脂, 2015, 28(8): 52-55.
[26] HANG J J, TZENG G H, ONG C S. A novel algorithm for uncertainty in portfolio selection[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 173: 350-359.
[27] ENRIQUETA V, JOSE D B, JOSE V S, et al. Fuzzy portfolio optimization under downside risk measures[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007, 158: 769- 782.
[28] YE Yi-li, ZHANG Yong, YAN Jun, et al. Effects of flour extraction rate, added water and salt on color and texture of Chinese white noodles[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(4): 477-485.
[29] 郑子懿,陆启玉,章绍兵. 冷冻面条品质影响因素的研究进展[J]. 现代食品科技, 2013, 29(2): 434-447.
[30] 李玲玲,贾春利,黄卫宁,等. 冰结构蛋白对湿面筋蛋白冻藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 26-27.