

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201603028

引文格式: 冯学珍, 伍善广, 韦啟球, 等. 网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的动力学研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(5):647-652
FENG XZ, WU SG, WEI QQ, et al. Kinetics of DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyota dichotoma* polysaccharides [J]. *Guihaia*, 2017, 37(5):647-652

网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的动力学研究

冯学珍, 伍善广*, 韦啟球, 陆苑, 裴世成

(广西科技大学, 广西柳州 545006)

摘要: 该研究通过超声辅助并采用醇沉、脱蛋白、脱色、干燥的方法, 分别检测低(0.1 mg·mL⁻¹)、中(0.25 mg·mL⁻¹)、高(0.5 mg·mL⁻¹)三种浓度下的网地藻多糖对DPPH·自由基的清除能力, 探讨质量浓度和反应时间对网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的变化规律。按照一级反应动力学方程和二级反应动力学方程分别建立反应动力学模型。结果表明: 不同的质量浓度和反应时间对网地藻多糖清除DPPH·自由基活性均有影响, 网地藻多糖质量浓度提高, 其清除DPPH·自由基的能力逐渐加强, 当网地藻多糖浓度为0.5 mg·mL⁻¹时, 反应20 min, 网地藻多糖清除DPPH·自由基的清除率最高为86.06%, 其清除DPPH·自由基活性半数清除率(IC₅₀)为0.25 mg·mL⁻¹。准一级动力学模型拟合的线性相关性较差, 相关系数R²的范围分别为0.848~0.891; 准二级动力学模型拟合的相关系数R²的范围为0.902~0.967, 因此采用二级动力学拟合方程能较好地描述网地藻多糖对DPPH·自由基的清除能力。网地藻多糖在低(0.1 mg·mL⁻¹)、中(0.25 mg·mL⁻¹)、高(0.5 mg·mL⁻¹)三种浓度时对DPPH·的二级反应的清除速率常数(k₂)分别为0.011、0.054、0.421。这说明网地藻多糖随着反应浓度逐渐升高其清除DPPH·自由基的速度越来越快, 清除自由基能力也越来越强, 结合IC₅₀值来共同评价抗氧化能力, IC₅₀值越小, 反应速率值越大, 表明其抗氧化活性越好, 这与实验得出的数据一致。

关键词: 网地藻, DPPH·自由基, 抗氧化, 反应动力学

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)05-0647-06

Kinetics of DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyota dichotoma* polysaccharides

FENG Xue-Zhen, WU Shan-Guang*, WEI Qi-Qiu, LU Yuan, PEI Shi-Cheng

(Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

Abstract: In order to study the kinetics of DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyota dichotoma* polysaccharides, the polysaccharide was prepared which was extracted from *Dictyotadichotoma* by ultrasonic-assisted technology, ethanol precipitation, deproteinization, decolorization and desiccation, and the effects of mass concentration and reaction time on DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyotadichotoma* polysaccharides, low (0.1 mg·mL⁻¹), medium (0.25 mg·mL⁻¹) and high (0.5 mg·mL⁻¹) concentrations were investigated. And the reaction kinetic model was established based on first-order and second-order reaction kinetic equation, respectively. The mass concentration and reaction time significantly affected the DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyotadichotoma* polysaccharides. *Dictyotadichotoma* polysaccharides of high concentration scavenged DPPH· was more quickly than that of lower concentration. The highest DPPH· scavenging rate of *Dictyota dichotoma* polysaccharides was 86.06% when the mass concentration was 0.5 mg·mL⁻¹ and the reac-

收稿日期: 2016-03-30 修回日期: 2016-07-19

基金项目: 广西植物功能物质研究与利用重点实验室开放基金(FPRU2016-2, FPRU2013-8) [Supported by Open Foundation of Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization(FPRU2016-2, FPRU2013-8)].

作者简介: 冯学珍(1981-), 女, 山东济南人, 硕士, 讲师, 研究方向为海洋生物活性物质的研究与开发, (E-mail)413920906@qq.com。

*通信作者: 伍善广, 博士, 副教授, 研究方向为药剂学, (E-mail)510242227@qq.com。

tion time was 20 minutes which half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) was $0.25 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$. The fitting correlation coefficient (R^2) of first-order and second-order reaction kinetics equation were 0.848–0.891 and 0.902–0.967, respectively, indicating that second-order was better than first-order model in representing DPPH· free radical scavenging activity of *Dictyotadichotoma* polysaccharides. The second-order elimination rate constants (k_2) for three different concentrations ($0.1, 0.25$ and $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) of *Dictyotadichotoma* polysaccharides were 0.011, 0.054, 0.421, respectively. In conclusion, the scavenging ability of *Dictyotadichotoma* polysaccharides to DPPH· was stronger when its concentration was higher, and the scavenging ability of *Dictyotadichotoma* polysaccharides to DPPH· was evaluated by elimination rate constants (k_2) and half maximal inhibitory concentration (IC_{50}). The activity of antioxidative was better and better when k_2 was bigger and bigger and IC_{50} was smaller and smaller, which conformed the results of experiments.

Key words: *Dictyota dichotoma*, DPPH·, antioxidation, reaction kinetics

网地藻 (*Dictyota dichotoma*) 是褐藻门、褐藻纲、网地藻目、网地藻科、网地藻属的一种海洋藻类。主要生长在热带、亚热带的海洋中,温带海岸低潮带也有,我国各沿海均有分布。广西北部湾海域地处热带和亚热带,资源环境较好,所盛产的海洋藻类有十几种,网地藻为其一(邓家刚等,2008)。海藻多糖是一类多组分的海洋多糖类物质,因其来源于海洋,加之海藻多糖具有抗炎、抑菌、抗氧化等药理活性,成为目前海洋药物研究的热点之一(韩玲等,2012;周庆峰等,2009;吴淳涛等,2011)。关于网地藻的研究主要集中于对其化学成分(宋福行等,2006)和抑菌药理活性(郑怡等,2004)的研究,其它领域相对较少。本研究在课题组前期研究的基础上(冯学珍等,2014,2013),对网地藻多糖的抗氧化活性进行了初步研究,为开发天然抗氧化剂奠定基础。

抗氧化活性的测定方法较多(穆楠等,2010;赵慧芳等,2011),其中DPPH·是一种相对较稳定的以氮原子为中心的自由基,具有较强还原能力,可与抗氧化剂反应以检测其抗氧化能力,因其测定方法简便易行、灵敏度高、重现性好,成为目前常用的抗氧化活性检测方法之一(赵慧芳等,2011;Zhang et al, 2016)。DPPH·自由基在乙醇溶液中显紫色,当与抗氧化剂反应时其颜色会减退,褪色程度与抗氧化剂的抗氧化能力及数量呈定量关系,且不同抗氧化剂对DPPH·自由基反应的速率存在差异(Zhang et al, 2016;Grajeda-Iglesias et al, 2016)。本研究采用DPPH·自由基检测网地藻多糖的抗氧化能力,并对其清除DPPH·自由基的反应动力学进行了探讨。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料 供试的网地藻于2013年采自广西北部

湾海域,经中国科学院南海海洋研究所雷新明博士鉴定为鹿角网地藻 (*Dictyota cervicornis*),经水洗、干燥后备用;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH·)(分析纯, Sigma 公司);其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器 1901型双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);DL-180J智能超声波清洗器(上海之信仪器有限公司);RE-52AA旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);台式离心机TDL-5-A(飞鸽);AL104电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司)等。

1.2 试验方法

1.2.1 DPPH·标准曲线绘制 准确配制质量浓度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的DPPH·标准母液,无水乙醇稀释倍数为 $1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6$ 的DPPH·溶液,于517 nm处测定其吸光度。以浓度(x)为横坐标,吸光度 $A(y)$ 为纵坐标绘制标准曲线(赵慧芳等,2011;Zhang et al, 2016;Grajeda-Iglesias et al, 2016)。

1.2.2 网地藻多糖样品的制备 将干燥后的网地藻粉末称重,乙醇浸泡过夜挥干,加30倍蒸馏水,75℃,pH 7.0超声(功率200 W)提取30 min,离心,浓缩,80%乙醇沉淀,静置过夜,沉淀干燥称重。Sevage法脱蛋白(潘雪丰,2015),活性炭脱色,乙醇沉淀,无水乙醇、丙酮、无水乙醚反复洗涤,干燥即得网地藻多糖的样品粉末(冯学珍等,2014)。

1.2.3 网地藻多糖清除DPPH·自由基清除曲线的绘制 将样品粉末用无水乙醇配制成高($0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、中($0.25 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、低($0.1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)三个质量浓度的样品液,每个质量浓度配制三份样品液,离心后取样品液2 mL,加入 $0.025 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的DPPH·溶液2 mL,混匀后在30℃反应20 min,采用动力学监测法于517 nm处测定不同时间的吸光度 A (赵慧芳等,2011;Zhang et al, 2016;Grajeda-Iglesias et al,

2016),直至吸光度基本不变为止。同时用无水乙醇作参比测定吸光度,按照以下公式计算清除率(冯学珍等,2013; Zhang et al,2016),以反应时间为横坐标,DPPH·自由基清除率(%)为纵坐标绘制不同质量浓度的样品溶液的清除率与时间反应的曲线。

$$\text{清除率}(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100 \quad (\text{式} 1)$$

式 1 中, A_i : 2 mL 样品液+2 mL DPPH·的吸光度; A_j : 2 mL 样品液+2 mL 无水乙醇的吸光度; A_0 : 2 mL 无水乙醇+2 mL DPPH·的吸光度。

1.2.4 网地藻多糖清除DPPH·自由基活性半数清除率(IC_{50})的测定 配制系列浓度的网地藻多糖溶液作为样品液,按照 1.2.3 的测定方法计算清除率,以网地藻多糖的质量浓度为横坐标,清除率为纵坐标绘图,以测定网地藻多糖清除DPPH·自由基活性半数抑制率(IC_{50})(Zhang et al,2016)。

1.2.5 网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的反应动力学研究 根据 1.2.3 的DPPH·自由基的清除曲线,按照以下反应动力学方程建立反应动力学模型(Simonin,2016)。

一级反应动力学方程式:

$$\ln C_t / C_0 = -k_1 t \quad (\text{式} 2)$$

式 2 中,DPPH·剩余率= $C_t / C_0 \times 100\%$;清除率 $a = 1 - \text{DPPH} \cdot \text{剩余率} = (1 - C_t / C_0) \times 100\%$ 。

因此, $C_t / C_0 = 1 - a$,代入式(2),则有一级反应动力学方程式:

$$\ln(1-a) = -k_1 t$$

二级反应动力学方程式:

$$1/C_t = k_2 t + 1/C_0 \quad (\text{式} 3)$$

将 $C_t = C_0 * (1-a)$, 代入上式(3),则有二级反应动力学方程式:

$$1/1 - a = k_2 C_0 t + 1$$

式中, C_0 表示DPPH·自由基在 $t=0$ 时的浓度($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$); C_t 表示DPPH·自由基在 t min 时的浓度($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$); a 表示DPPH·自由基清除率; k_1 表示拟一级反应速率常数(min^{-1}); k_2 表示拟二级反应速率常数($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)。

1.2.6 数据处理方法 采用 Origin 8.0 进行数据的统计、计算和分析。

2 结果与分析

2.1 DPPH·标准曲线的绘制

按照 1.2.1 的方法绘制标准曲线,结果见图 1,

其回归方程 $y = 43.79x, R^2 = 0.999$ (极显著相关),在 $0.008 \sim 0.025 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内DPPH·自由基浓度与吸光度之间有较好的线性关系。

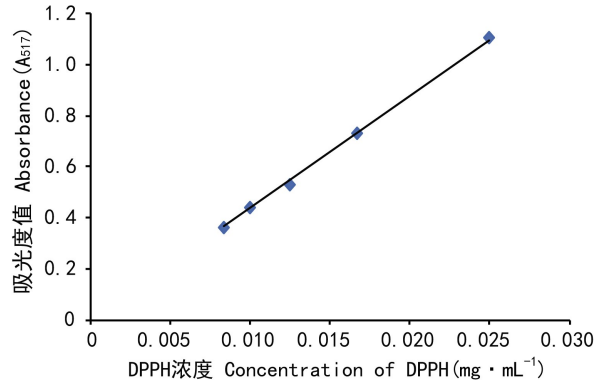


图 1 DPPH·的标准曲线

Fig. 1 Standard curve of DPPH·

2.2 网地藻多糖对DPPH·自由基的反应动力学曲线

高、中、低三个不同质量浓度的样品溶液清除DPPH·自由基的活性曲线见图 2。由图 2 可见,随着网地藻多糖质量浓度的不断提高,其清除DPPH·自由基的能力逐渐加强,表明在一定范围内网地藻多糖清除DPPH·自由基的能力与其浓度呈明显的量效关系,高浓度情况下网地藻多糖清除DPPH·自由基的清除率最高,为 86.06%,低浓度情况下网地藻多糖清除 DPPH·自由基的清除率最高为 24.01%,这是由于高浓度的网地藻多糖含有的抗氧化功能集团(羟基、酚羟基)多于低浓度的网地藻多糖,能更有效地清除自由基。

由图 2 还可见,不同质量浓度的样品溶液清除DPPH·自由基的反应达到平衡的时间也不相同,高、中、低三种浓度下反应达到平衡的时间为 12.4、14.2、17.4 min,高浓度条件下反应清除速度比低浓度下快,因此要探讨质量浓度和反应时间对网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的变化规律。

2.3 网地藻多糖清除DPPH·自由基活性半数清除率(IC_{50})的测定

由图 3 可见,清除率随网地藻多糖质量浓度的增加逐渐增高,当网地藻多糖浓度为 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,清除率可达到 88%,之后随着网地藻多糖质量浓度的增加,清除率缓慢增加,之后基本保持不变,由图 3 可推测网地藻多糖清除DPPH·自由基活性半数清除率(IC_{50})为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

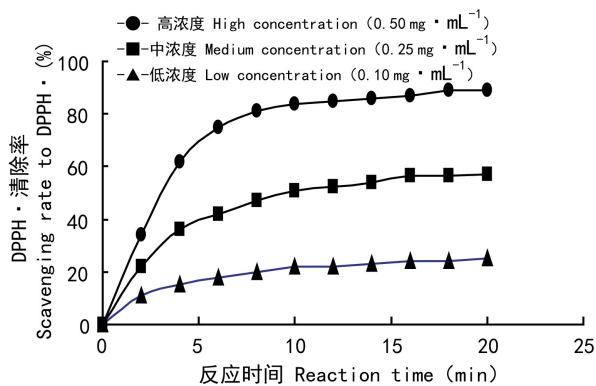


图2 不同质量浓度网地藻多糖溶液在30℃时对DPPH·自由基的反应动力学曲线

Fig. 2 Reaction kinetic curves of different concentrations of *Dictyota dichotoma* to DPPH· at 30°C

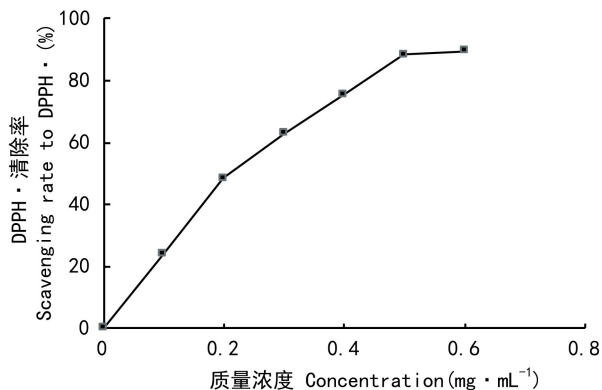


图3 网地藻多糖溶液对DPPH·自由基的清除曲线

Fig. 3 Scavenging curves of *Dictyota dichotoma* polysaccharides to DPPH·

2.4 网地藻多糖清除DPPH·自由基活性的反应动力学研究

由图2可知,在一定时间内,测试液中网地藻多糖清除DPPH·自由基清除率与其反应时间呈正相关,因此可用DPPH·清除率随时间 t 的变化规律来表示网地藻多糖的抗氧化活性随时间 t 的变化规律。假定网地藻清除DPPH·自由基的清除率对时间的变化规律符合准一级反应动力学方程式。以 $\ln(1-a)(y)$ 为纵坐标,以时间 $t(x)$ 为横坐标,绘制标准曲线,即得出准一级反应动力学方程式,低浓度下的准一级反应动力学方程式为 $y = -0.009x - 0.128, R^2 = 0.891$;中浓度下的准一级反应动力学方程式为 $y = -0.029x - 0.328, R^2 = 0.872$;高浓度下的准一级反

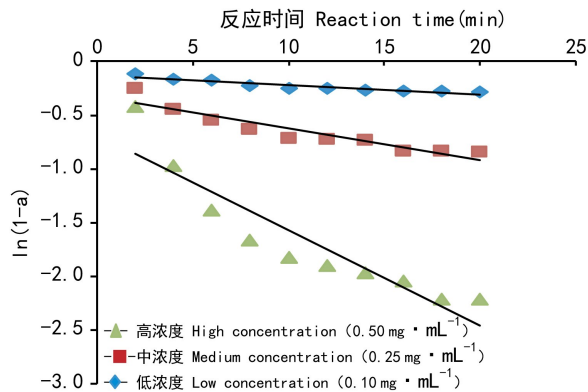


图4 准一级反应动力学方程拟合结果

Fig. 4 First-order reaction kinetic result of *Dictyota dichotoma* to DPPH·

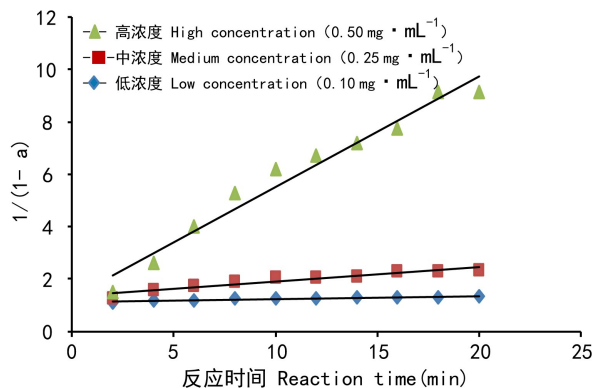


图5 准二级反应动力学方程拟合结果

Fig. 5 Second-order reaction kinetic result of *Dictyota dichotoma* to DPPH·

应动力学方程式为 $y = -0.088x - 0.686, R^2 = 0.848$,见图4所示,相应的动力学参数见表1。

假设网地藻清除DPPH·自由基的清除率对时间的变化规律符合准二级反应动力学方程式。以 $1/(1-a)(y)$ 为纵坐标,以时间 $t(x)$ 为横坐标,绘制标准曲线,即得出准二级反应动力学方程式,低浓度下的准二级反应动力学方程式为 $y = 0.011x + 1.135, R^2 = 0.902$;中浓度下的准二级反应动力学方程式为 $y = 0.054x + 1.355, R^2 = 0.918$;高浓度下的准二级反应动力学方程式为 $y = 0.054x + 1.355, R^2 = 0.918$,见图5所示,相应的动力学参数见表1。

由表1可知,准一级动力学模型拟合的线性相关性较差,相关系数 R^2 为0.848~0.891。而用准二级动力学模型进行拟合,其相关系数 R^2 为0.902~

表 1 动力学模型拟合参数

Table 1 Kinetic parameters for *Dictyota dichotoma* to DPPH·

藻多糖始浓度 C_0 ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	准一级动力学模型 First-order reaction kinetics equation		准二级动力学模型 Second-order reaction kinetics equation	
	k_1	R^2	k_2	R^2
0.1	0.009	0.891	0.011	0.902
0.25	0.029	0.872	0.054	0.918
0.5	0.088	0.848	0.421	0.967

0.967,网地藻多糖对DPPH· 的清除作用说明符合准二级动力学方程。通过准二级动力学拟合方程计算出在实验条件下,网地藻多糖初始浓度分别为0.1、0.25、0.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,网地藻多糖对DPPH· 的清除作用二级动力学速率常数分别为0.011、0.054、0.421。二级反应速率常数通常被认为与抗氧化物质的自由基清除能力有关,速率常数越大,即清除反应的速率越快,因此网地藻多糖随着浓度的逐渐升高清除DPPH· 自由基的速度越来越快,其清除自由基能力也越来越强,这与实验所得的数据一致。

3 讨论与结论

海藻多糖清除DPPH· 自由基活性的研究报道有草叶马尾藻多糖(张朝燕,2012)、羽藻和刺松藻多糖(宋厚芳,2010)等,也有研究者报道了多种天然药物中多糖类物质清除DPPH· 自由基活性的研究,如刺五加多糖(孟繁磊等,2010)、青钱柳多糖(葛霞等,2011)、荷叶多糖(涂宗财等,2013)等,多糖清除DPPH· 自由基活性的研究大多是对DPPH· 自由基活性半数清除率(IC_{50})的测定,没有进行清除动力学的研究,本研究采用 IC_{50} 值结合反应速率来共同评价多糖清除DPPH· 自由基活性的能力,为开发天然抗氧化剂提供数据支持。

本研究采用超声辅助提取网地藻多糖,采用醇沉,脱蛋白,脱色,干燥的方法制备网地藻多糖的样品粉末。分别检测了低(0.1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、中(0.25 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、高(0.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)三种浓度下的网地藻多糖对DPPH· 自由基的清除能力,当网地藻多糖浓度为0.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,反应20 min,网地藻多糖清除DPPH· 自由基的清除率最高为86.06%,因此网地藻多糖具有一定的抗氧化能力,其清除DPPH· 自由

基活性半数清除率(IC_{50})为0.25 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。按照反应动力学方程建立反应动力学模型,结果表明二级动力学拟合方程能较好地描述网地藻多糖对DPPH· 自由基的清除能力,其相关系数 R^2 的范围为0.902~0.967。网地藻多糖在低(0.1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、中(0.25 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、高(0.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)三种浓度时,对DPPH· 的清除速率常数分别为0.011、0.054、0.421。说明网地藻多糖随着浓度的逐渐升高其清除DPPH· 自由基的速度越来越快,其清除自由基能力也越来越强。 IC_{50} 值越小,反应速率值越大,说明其抗氧化活性越好,因此网地藻多糖比草叶马尾藻多糖、羽藻和刺松藻多糖具有更好的抗氧化活性(张朝燕,2012;宋厚芳,2010),有望将其开发为一种天然的抗氧化剂。

参考文献:

- DENG JG, YANG K, SHI XL, et al, 2008. The investigation of marine medicinal resources and folk application in Guangxi [J]. *J Guangxi Coll Trad Chin Med*, 11(4): 34-36. [邓家刚, 杨柯, 施学丽, 等, 2008. 广西海洋药用资源及民间应用的调查 [J]. *广西中医学院学报*, 11(4): 34-36.]
- FENG XZ, WU SG, KONG J, et al, 2013. Study on ultrasonic extraction and DPPH· free radical scavenging activity of polysaccharide from *Ulva lactuca* L. [J]. *J Chin Med Mat*, 36(11): 1870-1872. [冯学珍, 伍善广, 孔靖, 等, 2013. 超声辅助提取石莼多糖工艺优化及其清除DPPH· 自由基活性研究 [J]. *中药材*, 36(11): 1870-1872.]
- FENG XZ, WU SG, LU Y, 2014. Analysis of monosaccharide compositions in *Dictyota dichotoma* polysaccharides by precolumn derivatization on HPLC [J]. *Food Sci Technol*, 39(05): 256-259. [冯学珍, 伍善广, 陆苑, 2014. 柱前衍生 HPLC 法分析网地藻多糖的单糖组成 [J]. *食品科技*, 39(05): 256-259.]
- GE XIA, CHEN TT, CAI JY et al, 2011. Studies on the anti-oxidant activity of polysaccharide from *Cyclocarya paliurus* (Batal.) *Ijinsk* [J]. *J Chin Instit Food Sci Technol*, 31(5): 59-64. [葛霞, 陈婷婷, 蔡教英, 等, 2011. 青钱柳多糖抗氧化活性的研究 [J]. *中国食品学报*, 31(5): 59-64.]
- GRAJEDA-IGLESIASA C, SALASB E, BAROUHC N, et al, 2016. Antioxidant activity of protocatechuates evaluated by DPPH·, ORAC, and CAT methods [J]. *Food Chem*, 194: 749-757.
- HAN L, ZHANG SP, LIU XH, et al, 2012. Research on bioactive substances in algae [J]. *Chem Ind Engin Progr*, 31(8): 1794-1800. [韩玲, 张淑平, 刘晓慧, 2012. 海藻生物活性物质应用研究进展 [J]. *化工进展*, 31(8): 1794-1800.]
- MENG FL, CHEN RZ, ZHANG M, et al, 2010. Extraction and antioxidant activity of polysaccharides from *Acanthopanax senticosi* leaves [J]. *Food Sci*, 31(10): 168-174. [孟繁磊, 陈瑞斌, 张敏, 等, 2010. 刺五加多糖的提取工艺及抗氧化活性研究 [J]. *食品科学*, 31(10): 168-174.]
- MU N, DU Z, SUI YX, et al, 2010. Antioxidant activity of polysaccharide from the Laminiae of *Elaeagnus mollis* Diels [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*, 21(11): 2769-2771. [穆楠, 杜贞, 睢玉祥, 等, 2010. 翅果油树叶片多糖抗氧化活性研究 [J]. 时

- 珍国医国药, 21(11):2769-2771.]
- PAN XF, 2015. Efficiency of protein removal from the polysaccharide extract of *Dendrobium candidum* Wall.ex Lindll using deproteinization Sevage method [J]. Subtrop Agric Res, 11(4):258-261. [潘雪丰, 2015. 铁皮石斛多糖 Sevage 法脱蛋白效果分析 [J]. 亚热带农业研究, 11(4):258-261.]
- SONG FH, FAN X, XU XL, et al, 2006. Studies on chemical constituents of the brown alga *Dictyopteris divaricata* [J]. Chin J Chin Mat Med, 31(2): 125-128. [宋福行, 范晓, 徐秀丽, 等, 2006. 褐藻叉开网翼藻化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 31(2):125-128.]
- SONG HF, 2010. Investigation of chemical composition and biological activities of polysaccharides from *Bryopsidales* [M]. Graduate Univ Chin Acad Sci: 50-52. [宋厚芳, 2010. 两种羽藻目绿藻化学组分及其多糖活性研究 [M]. 中国科学院研究生院: 50-52.]
- SIMONIN JP, 2016. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order ratelaws in the modeling of adsorption kinetics [J]. Chem Engin J, 300: 254-263.
- TU ZC, KOU Y, WANG H, et al, 2013. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant activity of polysaccharides from lotus leaves [J]. Food Sci, 34(15):108-112. [涂宗财, 寇玉, 王辉, 等, 2013. 青钱柳多糖抗氧化活性的研究 [J]. 食品科学, 34(15): 108-112.]
- WU CT, TONG GZ, ZHANG LC, 2011. Study of antioxidant and antibacterial activities of *Ulva lactuca* extract [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 20(6): 33-35. [吴淳涛, 童国忠, 章卢超, 2011. 石莼提取物抗氧化及抗菌活性研究 [J]. 中国民族民间医药杂志, 20(6):33-35.]
- ZHANG ZL, KONG FS, NI H, et al, 2016. Structural characterization, -glucosidase inhibitory and DPPH· scavenging activities of polysaccharides from guava [J]. Carbohydrate Polymers, 144: 106-114.
- ZHANG ZY, 2012. Preparation of polysaccharide the brown seaweed *Sargassum graminifolium*, and its inhibition effects on calcium oxalate stones [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology: 47-49. [张朝燕, 2012. 草叶马尾藻多糖的制备及其抗草酸钙结石作用研究 [D]. 上海: 华东理工大学: 47-49.]
- ZHAO HF, FANG L, WU WL, et al, 2011. Study on reaction kinetic property and scavenging ability of aqueous extracts and pigment from blackberry cultivar 'Boysen' fruit to DPPH· [J]. J Plant Resour Environ, 20(1): 10-16. [赵慧芳, 方亮, 吴文龙, 等, 2011. 黑莓品种 Boysen 果实水提物和色素对 DPPH· 的反应动力学特性及清除能力研究 [J]. 植物资源与环境学报, 20(1): 10-16.]
- ZHENG Y, JIANG HX, LIN XP, 2004. Chemical analysis of lipid compound and its antibacterial and antifungal activities in *Pachydictyon coriaceum* [J]. Mar Sci, 28(10): 42-44. [郑怡, 江红霞, 林雄平, 2004. 厚网藻脂类化合物的化学分析及抑菌作用 [J]. 海洋科学, 28(10):42-44.]
- ZHOU QF, LI MY, NA GS, et al, 2009. Progress in research of antitumor or mechanisms of marine polysaccharides [J]. Chin Pharmac Bull, 25(8): 995-996. [周庆峰, 李明月, 那广水, 等, 2009. 海洋生物多糖抗肿瘤作用机制的研究进展 [J]. 中国药理学通报, 25(8):995-996.]

更正说明

尊敬的《广西植物》编辑部:

您好!

本人是贵刊已刊登文章《顽拗性三七种子后熟过程超微结构和抗氧化酶变化》(DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201510018)的作者杨凯, 经过仔细阅读、推敲前人文献, 发现三七种子的休眠类型划分存在一定分歧(形态休眠或形态生理休眠), 因此发现文中存在一个科学概念错误, 即三七种子属于形态休眠而非生理休眠类型。由于个人疏忽造成错误, 作者对此深表歉意! 希望贵刊给予修正。

作者: 杨凯 通讯作者: 陈军文 (云南农业大学)

2017年4月21日

本刊同意作者的申请并进行如下更正: 在《广西植物》2016, 36(12): 1519-1525 上刊登的《顽拗性三七种子后熟过程超微结构和抗氧化酶变化》(DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201510018)一文中, 三七种子属于形态休眠而非生理休眠类型。

特此说明!

广西植物编辑部