

# 植物抗氧化性的主要活性成分研究

陶笑<sup>1</sup>, 徐媛<sup>1</sup>, 江解增<sup>2</sup> (1. 张家港市蔬菜办公室, 江苏张家港 215600; 2. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 215600)

**摘要** 介绍了与抗氧化活性相关的植物体内黄酮类及酚类化合物, 并归纳了常见的抗氧化能力测定方法(清除羟自由基能力的测定、抑制超氧阴离子自由基的测定和 FRAP 法), 为植物抗氧化物质的进一步研究提供了参考。

**关键词** 抗氧化; 抗氧化物质; 测定方法

中图分类号 S-3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)25-0008-03

## Study on Main Active Constituents of Plant Antioxidation

TAO Xiao<sup>1</sup>, XU Yuan<sup>1</sup>, JIANG Jie-zeng<sup>2</sup> (1. Zhangjiagang Vegetable Office, Zhangjiagang, Jiangsu 215600; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225600)

**Abstract** In order to provide reference for research on plant antioxidation, we introduced flavonoids and phenolic compounds related to antioxidant activity, and summarized the methods for determination of antioxidant properties, like the determination of the ability of removing hydroxyl radicals, the determination of inhibiting superoxide anion radical and FRAP method.

**Key words** Antioxidant; Antioxidants; Determination method

随着人类生活质量的提高, 追求高质量的饮食已经成为一个趋势。许多研究表明, 药用植物<sup>[1]</sup>、水果<sup>[2]</sup>、蔬菜<sup>[3]</sup>和花卉<sup>[4]</sup>都有抗氧化性。植物体内含有抗氧化物质, 对活性氧自由基具有清除作用<sup>[5]</sup>, 从而能延缓人体衰老, 促进身体健康。植物体内有很多物质具有抗氧化性, 这些物质除了维生素 E (生育酚)、维生素 C (抗坏血酸)、 $\beta$ -胡萝卜素、类胡萝卜素基础物质外, 学者们研究较多的抗氧化物质是黄酮类物质和酚类物质。近几年, 关于各种植物体内的抗氧化物质的研究报道很多, 笔者介绍了植物体内主要抗氧化活性物质的研究现状, 并归纳了常见的抗氧化能力测定方法, 以期能为植物抗氧化物质的研究与应用提供参考。

## 1 黄酮类化合物

黄酮类化合物又名生物类黄酮化合物, 是色原酮或色原烷的衍生物, 黄酮类化合物是自然界中以 C6-C3-C6 的方式构成的三环天然有机物, 其化学结构中 C3 部分可以是脂链, 或与 C6 部分形成六元或五元环, 黄酮类化合物泛指这种 2 个苯环通过中央三碳链相互连接而成的一系列化合物<sup>[6]</sup>。黄酮类化合物主要有黄酮醇、黄酮、黄烷酮、黄烷醇、花色素、异黄酮、二氢黄酮醇和查尔酮 8 类。黄酮类化合物抗氧化活性与其化学结构有内在联系, 它的抗氧化作用是通过酚羟基与自由基反应形成稳定的半醌式自由基结构; 酚羟基是黄酮类化合物抗氧化作用的主要活性基因<sup>[7]</sup>。黄酮类物质的抗氧化性在药用植物和蔬菜上研究较多。

**1.1 药用植物黄酮类物质与抗氧化性关系的研究** 杨利军等<sup>[8]</sup>测定了 11 种中草药的抗氧化活性及总黄酮含量, 并比较了它们之间的相关性。结果表明, 金银花的抗氧化活性最高, 其余依次为银杏叶、葛根、杜仲、野菊花、黄芩、甘草、忍冬藤、鱼腥草、溪黄草; 其抗氧化活性与总黄酮含量的相关系数为 0.608 8。高国粉等<sup>[9]</sup>研究了榛花总黄酮清除超氧阴离子自由基( $O_2^- \cdot$ )和羟基自由基( $\cdot OH$ )的抗氧化活性, 确定了

榛花总黄酮的最佳提取工艺, 榛花总黄酮对  $O_2^- \cdot$  和  $\cdot OH$  均有较强的清除能力。李志洲<sup>[10]</sup>对苦瓜中黄酮类化合物的提取及其抗氧化性进行了研究。结果表明, 苦瓜中提取的黄酮类化合物对猪油的氧化有明显的抑制作用, 且随加入量的增多, 抗氧化能力增强。蔡灏等<sup>[11]</sup>研究了 5 种紫珠属药材中总酚、总黄酮与其抗氧化活性的相关性。结果表明, 5 种药材的总酚和总黄酮含量相差较大, 其中, 裸花紫珠含量最大; 各种方法所得抗氧化活性强弱顺序有区别; 除了抗脂质过氧化外, 其他方法所得结果均与总酚和总黄酮含量呈正相关。

人们除了对不同植物进行研究外, 对不同植物不同器官的黄酮含量也有研究。殷日祥等<sup>[12]</sup>研究表明, 艾叶中含有丰富的黄酮类化合物, 具有很强的抗氧化活性, 认为艾叶具有很大的开发应用价值。贾征等<sup>[13]</sup>研究表明, 杜仲叶黄酮对羟自由基、超氧阴离子均有较强的清除作用, 而且随着黄酮添加量的增大而增大, 是一种天然有效的抗氧化剂。曹艳萍<sup>[14]</sup>从苦荞叶中提取抗氧化性物质, 用分光光度法测定提取物中总黄酮的含量及对  $\cdot OH$  和  $O_2^- \cdot$  的清除作用。结果表明, 苦荞叶中总黄酮含量为 57 g/kg, 苦荞叶提取物具有很强的抗氧化活性。廖森泰等<sup>[15]</sup>对广东桑不同品种及不同生长季节桑枝的总黄酮含量、总抗氧化活性  $\cdot OH$  和  $O_2^- \cdot$  清除作用进行了测定。结果表明, 桑枝总黄酮含量与抗氧化活性间呈现显著的正相关关系。枇杷属植物叶片有大量的酚类物质和黄酮类化合物, 并表现出强大的抗氧化活性, 有很好的药用价值<sup>[16]</sup>。蔡建秀<sup>[17]</sup>研究发现, 黄酮类化合物普遍存在于枇杷各器官中, 以枝条居多, 叶片、果实较低, 枇杷总黄酮对猪油具有一定的抗氧化作用, 并与总黄酮浓度具有剂量效应关系。枇杷叶片中叶尖部位的黄酮含量最高, 枇杷叶黄酮有一定的抗氧化作用<sup>[18]</sup>。

综上所述, 药用植物抗氧化活性与其体内的黄酮类物质含量有密切的关系。

**1.2 果蔬中黄酮类物质与抗氧化性关系的研究** 蔬菜中黄酮类物质研究较多。陈玉霞等<sup>[19]</sup>比较了常见的 25 种蔬菜的体外抗氧化活性, 并且分析了抗氧化活性与总类黄酮含量间

的关系,结果发现 25 种蔬菜中,抗氧化活性以藕最强,姜、油菜、大蒜、白洋葱、白萝卜、西兰花等次之,芹菜、黄瓜、南瓜最弱;不同蔬菜总类黄酮含量差异很大,且抗氧化活性与总类黄酮含量之间相关性较大。张强等<sup>[20]</sup>发现洋葱黄酮类化合物具有较强的还原力,对超氧阴离子自由基和羟自由基具有较强的清除能力,即洋葱黄酮类化合物具有较强的体外抗氧化活性。王辰等<sup>[21]</sup>研究了芹菜叶提取液的抗氧化能力。结果表明,芹菜叶提取物具有较强的清除自由基的能力,提取物中的总黄酮含量与提取物的抗氧化能力无正相关。苦苣<sup>[22]</sup>、莴苣<sup>[23]</sup>、苦瓜<sup>[24]</sup>黄酮也具有较好的体外抗氧化活性。

学者们除了研究各种蔬菜的黄酮含量与抗氧化性的相关性外,还研究了同一种蔬菜不同部位的黄酮含量与抗氧化性的关系。有学者研究莴笋不同部位(皮、叶和茎质嫩茎)的抗氧化活性,发现莴笋叶中黄酮类物质的含量明显比其他部位高,莴笋叶的抗氧化活性也明显比其他部位高<sup>[25]</sup>。在红薯梗、茎、叶提取物的抗氧化活性研究中,红薯梗、茎、叶提取物均具有较强的抗氧化性,其抗氧化活性与总黄酮含量的相关性不显著<sup>[26]</sup>。随着研究的深入,人们对同一种植物不同部位的黄酮含量与抗氧化性关系的研究将更加深入,而同一种植物不同处理方式下的黄酮含量和抗氧化性关系也将得到研究。王萍等<sup>[27]</sup>研究了不同采收季节对叶用芥菜类黄酮含量和抗氧化活性的影响。结果表明,春季采收的叶用芥菜的槲皮素和山奈素这 2 种类黄酮化合物含量高于冬季采收的叶用芥菜;槲皮素和山奈素的含量与抗氧化活性呈显著正相关。

水果中黄酮类物质研究较少,酚类物质研究较多,这可能和人们日常消费的水果多为浆果有关。赵爱云等<sup>[28]</sup>对山楂黄酮的抗氧化活性进行了初步研究。结果表明,山楂黄酮的抗氧化活性较高。马越等<sup>[29]</sup>研究发现,樱桃番茄中类黄酮物质的含量对番茄的总抗氧化活性有一定影响。

## 2 酚类化合物

酚类物质是芳烃的含羟基衍生物,根据其挥发性分为挥发性酚和不挥发性酚。自然界中存在的酚类化合物大部分是植物生命活动的结果,植物体内所含的酚称内源性酚,其余称外源性酚。酚类化合物都具有特殊的芳香气味,均呈弱酸性,在环境中易被氧化。

除了上述抗氧化性与黄酮类物质有关外,学者们还对酚类物质进行了研究,对水果、蔬菜、谷物和药用植物中的总酚含量进行测定,表明与抗氧化活性之间的相关系数,这具有统计学的意义<sup>[30]</sup>。

**2.1 药用植物酚类物质与抗氧化性的关系** 刘海英等<sup>[1]</sup>对我国 86 种药食两用植物的抗氧化活性及其与总酚的相关性进行了分析。结果表明,86 种药食两用植物材料的总抗氧化能力具有很大差异,其与总酚含量有显著的相关性( $R^2 = 0.9333$ ),说明总酚含量可以作为初步筛选药食两用植物抗氧化能力的一个重要指标。研究者对滋补中药的研究表明,中草药是天然的抗氧化剂,其抗氧化效果和总酚含量之间有明显的关系,说明酚类化合物是抗氧化能力的主要成分<sup>[31]</sup>。

吴青等<sup>[32]</sup>对 15 种中草药提取物抗氧化活性的研究表明,不同中草药显示出不同的抗氧化活性,其中以大花紫薇叶的抗氧化活性最高,其甲醇提取物中酚类物质的含量最高。

**2.2 果蔬中酚类物质与抗氧化性的关系** 田迪英等<sup>[33]</sup>对市场上常见的 41 种果蔬进行了抗氧化活性研究,并测定了其总酚的含量。结果表明,大多数果蔬都具有一定的抗氧化活性,其中香椿、芦蒿、莴笋叶、水芹、茼蒿菜、马齿苋、藕的抗氧化活性较强,其总酚含量也较高,说明果蔬抗氧化活性的强弱与果蔬所含的酚类物质有一定的关联性。

水果的抗氧化性与酚类物质有显著的相关性。厄瓜多尔科学家使用 3 种不同的方法(DPPH、FRAP 和 ABTS)测定抗氧化能力,用福林酚方法测定总酚含量,结果表明,有高的总酚含量的水果也有高的抗氧化能力<sup>[34]</sup>,研究还发现浆果中含有高的抗氧化活性和高的总酚含量<sup>[35]</sup>。綦菁华等<sup>[36]</sup>对不同品种桃的酚类活性成分及其抗氧化功能进行了研究。结果表明,4 种桃果实酚类提取液均具有很强的抗氧化活性,且对羟自由基、超氧阴离子具有较明显的清除效果。王洋<sup>[37]</sup>比较了红富士苹果和国光苹果中多酚类物质的抗氧化活性。结果表明,2 种苹果果实酚类提取液均具有很强的抗氧化活性。新疆乔<sup>[38]</sup>中各种抗氧化指标与总酚含量呈显著正相关,多酚类物质应该是其抗氧化的主要物质基础。油梨<sup>[39]</sup>果皮、果核、叶子、果肉 4 个部位抗氧化活性与所含的总酚含量存在显著的正相关关系。草莓、黑莓、蓝莓<sup>[40]</sup>总酚含量与总抗氧化能力之间存在显著线性相关。

蔬菜研究中,陈玉霞等<sup>[19]</sup>比较了常见 25 种蔬菜的体外抗氧化活性,并且分析了抗氧化活性与总酚含量间的关系,发现不同蔬菜总酚含量差异很大,且抗氧化活性与总酚含量之间相关性较大。研究者关于蔬菜的研究表明,莴苣<sup>[41]</sup>和食用蘑菇<sup>[42]</sup>可能成为天然酚类抗氧化剂。大蒜提取物<sup>[43]</sup>抗氧化活性与其总酚含量呈明显的量效关系。

## 3 常见的抗氧化能力测定方法

抗氧化能力的测定方法很多,有的繁琐、不方便,该研究介绍了经常使用的方法。这些方法都基于 2 类,一类是通过测定样品抑制脂类物质氧化的能力来评定被测物的抗氧化能力,另一类是用样品对人工合成的自由基的清除能力来反映被测物的抗氧化活性。

**3.1 清除羟自由基能力的测定** 一般采取 Fenton 反应法。原理是  $H_2O_2$  与  $Fe^{2+}$  混合发生 Fenton 反应,生成具有较强活性的羟自由基,羟自由基迅速氧化显色液,有玫瑰桃红  $R^{[44]}$ 、丁基罗丹明 B<sup>[45]</sup>、孔雀绿<sup>[46]</sup>等,使显色液褪色,而植物体内的提取液可清除溶液中的羟自由基,从而使显色液的褪色程度降低。还有一种是 Fenton 反应产生的  $Fe^{2+}$  与邻二氮菲生成红色配合物,加入提取液后,减弱了  $\cdot OH$  对  $Fe^{2+}$ /邻二氮菲的氧化作用,从而引起吸光度变化<sup>[47]</sup>。

**3.2 抑制超氧阴离子自由基的测定** 在碱性条件下( $pH = 8.20$ )邻苯三酚发生自氧化反应,生成  $O_2^{\cdot-}$  和有色中间产物,该有色产物在  $\lambda = 322\text{ nm}$  处有一特征吸收峰。当加入  $O_2^{\cdot-}$  清除剂时, $O_2^{\cdot-}$  的生成受到抑制,邻苯三酚自氧化速率

受阻,溶液在 322 nm 波长处吸收减弱,故通过测定  $A_{322}$  值可以推测提取物对  $O_2^- \cdot$  的清除作用<sup>[48]</sup>。

黄嘌呤氧化酶-NBT法:超氧阴离子自由基可以将氮蓝四唑(NBT)还原为蓝色物质,可在 560 nm 波长处测定吸光度,从而转化为超氧阴离子自由基的生成量<sup>[49]</sup>。

**3.3 FRAP 法** 机体中有许多抗氧化物质,能使  $Fe^{3+}$  还原成  $Fe^{2+}$ ,后者可与菲啉类物质形成稳定的络合物,通过比色可测出其抗氧化能力的高低。FRAP 法就是运用抗氧化物质将  $Fe^{3+}$  还原为  $Fe^{2+}$ , $Fe^{2+}$  与三吡啶三吡嗪(TPTZ)结合生成蓝色络合物,在 593 nm 波长处有最大光吸收。吸光值越大,表明抗氧化剂有越强的还原能力,因而具有越高的抗氧化活性<sup>[50-51]</sup>。

除了上述 3 种方法外,还有常用的清除 1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH)能力的测定<sup>[52-53]</sup>、抗油脂过氧化力测定<sup>[23,54-55]</sup>、 $\beta$ -胡萝卜素漂白法<sup>[56]</sup>等。

#### 4 展望

已有研究表明,植物体内黄酮类物质和酚类物质与抗氧化活性有一定的相关性,不同植物体内抗氧化活性成分有所不同,有的植物体内黄酮类物质与抗氧化活性相关性强,有的植物体内酚类物质与抗氧化活性相关性强,还有些植物抗氧化活性物质有待进一步研究。目前,对于如何提取这些植物体内的抗氧化成分并将其利用到生活、生产中还需要进行深入研发。

#### 参考文献

[1] 刘海英,仇农学,姚瑞祺,等.我国 86 种药食两用植物的抗氧化活性及其与总酚的相关性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(2):173-180.

[2] 陈冠林,陈松根,赵颖莹,等.33 种水果的总酚含量及其抗氧化能力研究[J].食品工业,2014,35(9):264-268.

[3] 周佳,阮征,江波,等.蔬菜抗氧化能力与酚酸和总黄酮相关性研究[J].食品与机械,2012,28(3):139-143.

[4] 李凤英,李润丰,赵希艳,等.60 种花卉多酚、黄酮含量及其抗氧化活性[J].经济林研究,2011,29(3):59-63.

[5] 李思义.蔬菜生理功能与功能性成分[J].中国蔬菜,2000(5):54-55.

[6] 郑裕国,王远山,薛亚平.抗氧化剂的生产及应用[M].北京:化学工业出版社,2003.

[7] 潘国庆,梁永欣.黄酮类化合物结构与抗氧化活性关系研究[J].青海科技,2005,12(3):28-30.

[8] 杨利军,田迪英.11 种中草药抗氧化性与黄酮含量相关性研究[J].食品工业科技,2008,29(1):119-120,123.

[9] 高国粉,南劲松,田晓东,等.榛花总黄酮的提取及抗氧化活性的研究[J].中华中医药杂志,2007,22(8):547-549.

[10] 李志洲.苦瓜中黄酮类化合物的提取及抗氧化性研究[J].中国生化药物杂志,2007,28(4):264-266.

[11] 蔡灏,吴翠萍,孙秀漫,等.5 种紫珠属药材中总酚、总黄酮与其抗氧化活性的相关性研究[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(20):55-60.

[12] 殷日祥,袁慧慧,陆冬英,等.艾叶中总黄酮和总多糖提取工艺及抗氧化活性的研究[J].天然产物研究与开发,2005,17(S1):32-34.

[13] 贾征,黄文,薛安.杜仲叶黄酮的超声提取及其抗氧化性研究[J].安徽农业科学,2008,36(4):1286-1288.

[14] 曹艳萍.苦荞叶提取物抗氧化性及其协同效应的研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(8):144-148.

[15] 廖森森,何雪梅,邹宇晓,等.广东桑枝总黄酮含量测定及与体外抗氧化活性的相关性研究[J].蚕业科学,2007,33(3):345-349.

[16] HONG Y P, LIN S Q, JIANG Y M, et al. Variation in contents of total phenolics and flavonoids and antioxidant activities in the leaves of 11 *Eriobotrya* species[J]. Plant Foods Hum Nutr, 2008, 63(4):200-204.

[17] 蔡建秀.枇杷叶、枝条及果实总黄酮含量比较及抗氧化分析[J].泉州师范学院学报,2010,28(4):55-59.

[18] 付晓丹,汤春丰,刘壤莲,等.枇杷叶黄酮提取物的抗氧化作用研究[J].食品工业科技,2015,36(1):135-139.

[19] 陈玉霞,郭长江,杨继军,等.常见 25 种蔬菜抗氧化活性的比较研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2007,28(5):37-41.

[20] 张强,孙玉军,储俊,等.洋葱中黄酮类化合物的提取及其体外抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2009(3):74-79.

[21] 王辰,张金木.芹菜叶提取物抗氧化性的研究[J].安徽农业科学,2006,34(13):3174-3175,3177.

[22] 葛红娟,杜鹏.苦苣中黄酮类化合物的抗氧化活性研究[J].吉林医药学院学报,2016,37(6):425-427.

[23] 罗开梅,黄秋群,曹芳,等.苜蓿总黄酮抗氧化活性研究[J].江苏农业科学,2011,39(6):507-509.

[24] 张宏梅,昌盛,崔佰吉,等.苦瓜总黄酮的提取及其体外抗氧化活性分析[J].食品研究与开发,2016,37(23):61-64.

[25] 陈静波,田迪英.莴笋不同部位抗氧化活性的研究[J].食品研究与开发,2006,27(9):54-57.

[26] 田迪英.红薯梗、茎、叶提取物抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2006,27(6):143-144,161.

[27] 王萍,朱祝军.不同采收季节对叶用芥菜类黄酮物质含量和抗氧化活性的影响[J].园艺学报,2006,33(4):745-750.

[28] 赵爱云,杨宏,周德芳.山楂水溶性黄酮的制取及抗氧化活性研究[J].青岛大学学报(工程技术版),2007,22(4):50-54.

[29] 马越,李远新,赵晓燕.樱桃番茄的营养品质及其抗氧化活性的研究[J].食品研究与开发,2007,28(7):133-136.

[30] VELIOGLU Y S, MAZZA G, GAO L, et al. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(10):4113-4117.

[31] GUO D J, CHENG H L, CHAN S W, et al. Antioxidative activities and the total phenolic contents of tonic Chinese medicinal herbs[J]. Inflammopharmacology, 2008, 16(5):201-207.

[32] 吴青,黄娟,罗兰欣,等.15 种中草药提取物抗氧化活性的研究[J].中国食品学报,2006,6(1):284-289.

[33] 田迪英,杨荣华.果蔬抗氧化活性与总酚含量相关性研究[J].化学世界,2004(2):70-73,112.

[34] VASCO C, RUALES J, KAMAL-ELDIN A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador[J]. Food chemistry, 2008, 111(4):816-823.

[35] KÄHKÖNEN M P, HOPIA A I, VUORELA H J, et al. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(10):3954-3962.

[36] 葛菁华,王有年,于同泉,等.不同品种桃的酚类活性成分及其抗氧化功能研究[J].食品与发酵工业,2006,32(1):103-106.

[37] 王洋.苹果多酚抗氧化活性的研究[J].中国食品添加剂,2005(5):9-13.

[38] 王华磊,冯建荣,樊新民,等.新疆 17 个杏品种的抗氧化指标与总酚含量的测定[J].果树学报,2008,25(6):828-831.

[39] 黄思思,宁德生,夏雯雯,等.油梨不同部位总酚含量、抗氧化及抗菌活性[J].广西科学院学报,2016,32(2):151-155.

[40] 刘文旭,黄午阳,曾晓雄,等.草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J].食品科学,2011,32(23):130-133.

[41] LIU X F, ARDO S, BUNNING M, et al. Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado[J]. LWT, 2007, 40:552-557.

[42] CHEUNG L M, CHEUNG P C K, OOI V E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts[J]. Food chemistry, 2003, 81(2):249-255.

[43] 武宇芳,乔丽钧,赵二芳.大蒜提取物中总酚含量及其抗氧化活性研究[J].江西师范大学学报(自然科学版),2011,35(6):570-573.

[44] 张东,刘志江,高俊杰,等.褪色光度法测定羟自由基及常见食物的抗氧化活性[J].理化检验-化学分册,2007,43(10):852-854,857.

[45] 秦延河,张爱梅.光度法测定常见蔬菜的抗氧化活性[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2005,18(4):439-441.

[46] 丁宗庆.孔雀绿光度法测定蔬菜的抗氧化活性[J].食品科技,2007,32(11):169-171.

[47] 金鸣,蔡亚欣,李金荣,等.邻二氮菲- $Fe^{2+}$ 氧化法检测  $H_2O_2/Fe^{2+}$  产生的羟自由基[J].生物化学与生物物理进展,1996,23(6):553-555.

[48] ITO N, FUKUSHIMA S, HAGIWARA A, et al. Carcinogenicity of butylated hydroxyanisole in F344 rats[J]. J Natl Cancer Inst, 1983, 70(2):343-352.

基饱和度,改善 pH<sup>[22]</sup>;与之相似的,生物炭可增加基质有机碳含量,提高有效养分含量<sup>[23-24]</sup>,因其富含多种官能团、有机碳和矿质养分,进而可促进作物生长、提高产量和品质。陈庆飞等<sup>[1]</sup>基于株高、茎粗、产量、节间距等指标研究不同替代量的生物炭基质对铁皮石斛生长发育的影响,认为可利用 3% 生物炭替代泥炭混合基质生产种植铁皮石斛。张丹丹等<sup>[25]</sup>利用多种材料复配栽培基质发现,复配比例为蛭石:硅藻土:咖啡渣:秸秆:生物炭 = 1:2:1:3:2 时可实现生菜生物量最大,同时亚硝酸盐含量较低。该研究中,随着生物炭比例的增加,西瓜幼苗生长指标呈先增大后减小的趋势,这与孙正国<sup>[26]</sup>研究结果相同;其中,株高、茎粗、地上部鲜重、壮苗指数、根系活力、叶绿素含量等指标均在 T<sub>2</sub> 处理(生物炭:泥炭 = 2:3)时为最佳,且根系活力显著高于 CK。这可能是由于生物炭具有发达的孔隙结构,过多生物炭反而对基质养分起到吸附和固持作用,产生缓释养分的效果,导致幼苗生长所需养分不足。朱奕豪等<sup>[27]</sup>以草炭土为基质,研究施用生物炭后的百合植株生理特性,发现随着生物炭施用量的增加,叶片叶绿素含量呈先升高后下降的趋势,认为可能是过多生物炭用量导致基质中用于叶绿素合成的某些关键元素(如 N、Mg 等)被固定,从而限制了叶绿素的合成。

综上所述,生物炭以 2:3 比例替代泥炭时,复配基质的理化指标均符合理想基质的要求,且西瓜幼苗长势最好,甚至优于不添加生物炭的纯泥炭基质。说明一定替代量的生物炭可以促进西瓜幼苗生长、增加幼苗植株生物量和干物质积累,促进根系活力和叶片叶绿素生成。生物炭对基质的水、肥、气、热条件可起到一定的协调作用,在促进农林业废弃物资源化利用的同时,可减少泥炭等不可再生资源的消耗,有利于湿地生态系统平衡。

#### 参考文献

- [1] 陈庆飞,石岩,刘玉学,等. 生物炭替代泥炭栽培基质对铁皮石斛生长的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(13):30-35.
- [2] 何圣米,陈新娟,徐明飞,等. 辣椒秸秆有机基质对辣椒育苗的影响[J]. 浙江农业科学,2009(3):457-459.
- [3] 代惠洁,纪祥龙,杜迎刚. 椰糠替代草炭作番茄穴盘育苗基质的研究[J]. 北方园艺,2015(9):46-48.
- [4] 赵瑞,张玉龙,陈俊琴,等. 椰糠对黄瓜穴盘苗生长发育的影响[J]. 中国蔬菜,2005(12):22-23.
- [5] 李婧,郁继华,颜建明,等. 不同配比基质对番茄穴盘苗品质的影响

- [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(11):165-171.
- [6] 杨巍,胡锋,王东升,等. 不同比例茶渣蚓粪基质对番茄幼苗生长的影响[J]. 农业资源与环境学报,2015,32(4):395-400.
- [7] 刘玉学,刘徽,吴伟祥,等. 土壤生物炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报,2009,20(4):977-982.
- [8] GLASER B, LEHMANN J, ZECH W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review [J]. *Biology and fertility of soils*, 2002, 35(4): 219-230.
- [9] 翁福军,卢树昌. 生物炭在农业领域应用的研究进展与前景[J]. 北方园艺,2015(8):199-203.
- [10] 王晓燕,方玉凤,庞荔丹,等. 生物炭配合有机物料对水稻秧基质的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(36):188-191.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:30-165.
- [12] 聂书明,郁继华,颜建明,等. 有机生态型无土栽培对茄子幼苗生长及光合特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(5):76-79.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2007:119-120.
- [14] 程斐,孙朝晖,赵玉国,等. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J]. 南京农业大学学报,2001,24(3):19-22.
- [15] 田吉林,奚振邦,陈春宏. 无土栽培基质的质量参数(孔隙性)的研究[J]. 上海农业学报,2003,19(1):46-49.
- [16] 张秀丽. 秸秆型育苗基质理化性质的研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(19):8967-8968.
- [17] GARCIA-GOMEZ A, BERNAL M P, ROIG A. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes [J]. *Biore-source technology*, 2002, 83(2):81-87.
- [18] 王薇,宋廷宇,王艳,等. 番茄叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析[J]. 北方园艺,2013(23):12-15.
- [19] VAUGHN S F, KENAR J A, THOMPSON A R, et al. Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates [J]. *Industrial crops & products*, 2013, 51(6):437-443.
- [20] 陈慧玲,林向阳,罗登来,等. 生物炭作为无土栽培基质的初步探究[J]. 福州大学学报(自然科学版),2017,45(2):280-284.
- [21] 何绪生,张树清,余隼,等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报,2011,27(15):16-25.
- [22] 黄德荣,衡德茂,倪宏章,等. 施用生物炭对土壤和作物的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(2):130-132.
- [23] OGUNTUNDE P G, FOSU M, AJAYI A E, et al. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil [J]. *Biology and fertility of soils*, 2004, 39(4):295-299.
- [24] VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. *Plant and soil*, 2010, 327(1/2):235-246.
- [25] 张丹丹,包立,张乃明,等. 不同设施栽培基质对生菜生长与品质的影响[J]. 北方园艺,2015(8):173-176.
- [26] 孙正国. 生物炭对西瓜植株生长性质及品质的影响[J]. 北方园艺,2015(24):157-163.
- [27] 朱奕豪,朱彦霖,曹兴,等. 生物炭对百合生理特性的影响[J]. 北方园艺,2017(7):92-98.

(上接第 10 页)

- [49] 刘方,武子斌,牛淑敏,等. 中药材抗氧化及自由基清除活性的研究[J]. 中国药学杂志,2001,36(7):442-445.
- [50] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay [J]. *Anal Biochem*, 1996, 239(1):70-76.
- [51] GRIFFIN S P, BHAGOOL R. Measuring antioxidant potential in corals using the FRAP assay [J]. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 2004, 302(2):201-211.
- [52] LARRAURI J A, SÁNCHEZ-MORENO C, SAURA-CALIXTO F. Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels [J]. *J Agric Food Chem*, 1998, 46(7):2694

-2697.

- [53] YOKOZAWA T, DONG E, NAKAGAWA T, et al. *In vitro* and *in vivo* studies on the radical-scavenging activity of tea [J]. *J Agric Food Chem*, 1998, 46(6):2143-2150.
- [54] 苏锐,张红. 马齿苋黄酮抗氧化活性研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(8):4068-4070.
- [55] OTTOLENGHI A. Interaction of ascorbic acid and mitochondrial lipides [J]. *Arch Biochem Biophys*, 1959, 79:355-363.
- [56] KULISIC T, RADONIC A, KATALINIC V, et al. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil [J]. *Food Chem*, 2004, 85(4):633-640.