

不同比例生物炭替代泥炭栽培基质对西瓜幼苗生长的影响

戚琳, 马存琛, 谢伟芳, 程婷 (江苏城市职业学院环境与生态学院, 江苏南京 210019)

摘要 [目的]研究得到替代泥炭的最佳生物炭育苗基质配比。[方法]以生物炭、泥炭、椰糠、蛭石和珍珠岩为基质,按照生物炭和泥炭的不同配比,研究基质理化性质差异及其对西瓜幼苗生长的影响。[结果]随着基质中生物炭比例的增加,基质容重和持水孔隙降低,pH、总孔隙度增大,且其值均在育苗基质适宜范围之内;各处理间西瓜幼苗出苗率无显著差异,株高、茎粗、地上部鲜重、壮苗指数和根系活力均呈先增大后减小的趋势,西瓜幼苗各生长指标以 T₂ 处理(生物炭:泥炭=2:3)为最佳,高于纯泥炭基质的 CK。[结论]可用一定比例生物炭替代泥炭,在对基质水分和养分条件起到一定的协调作用的同时促进幼苗生长。

关键词 生物炭;泥炭;基质;西瓜

中图分类号 S156.2;X712 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)25-0055-04

Effect of Different Substitution Ratio of Peat with Biochar as Substrates on Growth of Watermelon Seedlings

QI Lin, MA Cun-chen, XIE Wei-fang et al (College of Environment and Ecology, The City Vocational College of Jiangsu, Nanjing, Jiangsu 210019)

Abstract [Objective] To find the best substitution ratio of peat in substrate formula with biochar. [Method] Biochar, peat, coconut chaff, vermiculite and perlite were used as experimental substrate materials to study the effect of different proportion of biochar and peat on physical and chemical properties of substrate and growth of watermelon seedlings. [Result] With the increasing proportion of biochar, bulk density and water-holding porosity of substrate decreased while pH and total porosity increased. The indicators all reached the requirement of ideal substrate. There was no significant difference in germination rate of different treatments, but the plant height, stem diameter, aboveground fresh weight, healthy seedling index and root activity of watermelon seedlings firstly increased, and then decreased. Index of watermelon seedling of T₂ treatment (biochar:peat = 2:3) was better than other treatments. [Conclusion] Biochar could be recommended as a replacing material of peat which could coordinate substrate water and nutrient condition and promote seedling growth.

Key words Biochar; Peat; Substrates; Watermelon

泥炭是经过几千年形成的天然沼泽地产物,具有较大的孔隙度和比表面积,透气透水性好、阳离子交换能力强^[1],由于其具有优良的理化性状和使用效果,因而被广泛应用于育苗基质中^[2]。然而,泥炭属于不可再生资源,其开采行为对环境破坏很大,在造成环境破坏等生态问题的同时,也面临着资源枯竭和品质下降的问题。因此,在保证育苗基质的性能及育苗效果的前提下,寻求其他可再生材料作为替代基质具有重要的理论和现实意义。

大量研究利用低成本废弃资源如椰糠^[3-4]、腐熟秸秆和牛粪^[5]、蚯蚓堆肥^[6]等作为泥炭替代物,获得了较好的育苗效果。生物炭(Biochar)是由农林废弃物等生物质在缺氧或低氧条件下高温热解形成的富有孔隙结构、含碳量高的固态颗粒物^[7]。生物炭性质稳定,不易被分解和矿化^[8],具有较大的孔隙度、比表面积和阳离子交换量^[9],与泥炭具有相近的理化性质,是替代基质中泥炭的理想材料。生物炭的制备使农林废弃物实现了循环利用,既减轻了对环境的污染,又可作为一种新的可再生能源^[10]。而有关生物炭替代泥炭基质的相关研究很少^[1]。笔者以泥炭、椰糠、蛭石和珍珠岩为基础,将生物炭以不同比例替代泥炭,研究不同替代量的生物炭基质对西瓜幼苗农艺性状与生理指标的影响,从而筛选出最佳的生物炭替代比例,为减少泥炭资源消耗、提高废弃资源合理化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试西瓜品种为苏蜜8号,由江苏省农业科学院蔬菜所提供;试验基质材料为生物炭、泥炭、椰糠、蛭石和珍珠岩。其中,生物炭是以水稻秸秆为原料于500℃马弗炉(Carbolite CWF 12/13,GB)厌氧裂解2h制得,泥炭、椰糠、蛭石和珍珠岩均为市场购买。

1.2 试验设计 试验于2016年9—10月在江苏城市职业学院屋顶花园进行,共设置6个处理,分别按不同体积比例复配成育苗基质,具体配比见表1。

表1 不同处理育苗基质体积比

Table 1 The volumetric ratio of different substrate treatments

处理 Treatment	基质组成 Substrate composition	复配比例 The mixed proportion(V/V)
CK	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	0:5:1:2:2
T ₁	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	1:4:1:2:2
T ₂	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	2:3:1:2:2
T ₃	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	3:2:1:2:2
T ₄	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	4:1:1:2:2
T ₅	生物炭:泥炭:椰糠:蛭石:珍珠岩	5:0:1:2:2

试验采用黑色塑料50孔穴盘,西瓜种子浸种催芽后播种,每穴播种1粒,每个处理播种1盘,3次重复。播种结束后置于大棚内,育苗周期为35d,整个苗期只浇清水。

1.3 分析方法 不同配比基质的容重、总孔隙度、持水孔隙、pH、EC等指标参照《土壤农化分析》^[11]方法进行测定。西瓜幼苗生长指标:测定每盘的出苗率;分别于播种后第20、25、30和35天用直尺测量株高、游标卡尺测量茎粗;培养周期结束后,从各处理每盘随机选取长势一致的幼苗10株,清水洗净、吸水纸吸干表面水分后用万分之一天平分别称量地

基金项目 江苏省大学生创新创业训练指导项目(20150000014X);江苏省环境工程重点实验室开放课题(KF2015012)。

作者简介 戚琳(1987—),女,山西临汾人,助理实验师,硕士研究生,从事环境生态学及土壤修复相关研究。

收稿日期 2017-06-23

上部和地下部鲜重;在烘箱 105 °C 下杀青 30 min,然后在 80 °C 下烘至恒重后称量地上部和地下部干重;通过以上指标计算根冠比和壮苗指数^[12],根冠比 = 地下部干重/地上部干重,壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干重/地上部干重) × 全株干重。叶绿素含量 (SPAD) 采用 SPAD—502 Plus (Konica Minolta) 叶绿素仪测定,选取由上数第 3 片展开叶测定,每片叶测定 5 次并取其平均值;根系活力采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法测定^[13]。

1.4 数据分析 采用 Excel 2010 软件对数据进行整理和图表绘制,SPSS19.0 统计软件进行单因素方差分析 (One - Way ANOVA) 和最小显著极差法 (LSD) 进行各处理间差异显著性分析,显著性水平设 $\alpha = 0.05$ 。

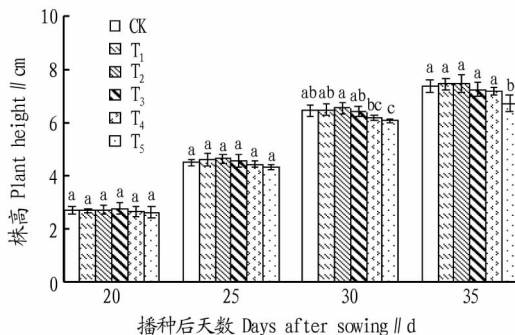
表 2 不同配比基质的理化性状

Table 2 Physical and chemical characters of different substrate formula

处理 Treatment	容重 Bulk density g/cm ³	总孔隙度 Total porosity %	持水孔隙 Water holding pore//%	pH	EC mS/cm	全氮 Total nitrogen g/kg	全磷 Total phosphorus g/kg	全钾 Total potassium g/kg
CK	0.33	64.00	55.45	6.63	0.92	10.31	5.32	14.85
T ₁	0.30	64.82	53.56	6.94	1.04	9.54	5.37	15.93
T ₂	0.28	65.02	50.02	7.08	1.32	9.69	5.40	17.29
T ₃	0.27	65.73	48.82	7.21	1.65	8.04	5.29	18.06
T ₄	0.27	65.90	48.36	7.35	1.87	7.83	5.12	18.44
T ₅	0.24	66.22	47.79	7.37	1.95	7.30	5.16	19.21
理想范围 Ideal range	0.10 ~ 0.80 ^[14]	60.00 ~ 90.00 ^[15]	40.00 ~ 70.00 ^[15]	6.00 ~ 7.50 ^[16]	0.70 ~ 3.00 ^[17]	—	—	—

2.2 生物炭基质对西瓜幼苗出苗率的影响 处理 T₁ ~ T₅ 出苗率分别为 91.33%、92.67%、93.33%、92.00%、91.33%,各处理间幼苗出苗率无显著差异 ($P > 0.05$),与 CK (92.67%) 差异不显著。其中, T₃ 处理西瓜幼苗出苗率最高 (93.33%), T₁ 和 T₅ 处理西瓜出苗率最低,均为 91.33%。

2.3 生物炭基质对西瓜幼苗株高和茎粗的影响 由图 1 可知,各时期 T₄ 和 T₅ 处理西瓜幼苗株高均低于 CK,且在播种后第 30 和 35 天 T₅ 处理与 CK 差异达到显著水平 ($P < 0.05$),各时期 T₂ 处理株高比 CK 大,但均未达到显著水平 ($P > 0.05$)。



注:小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

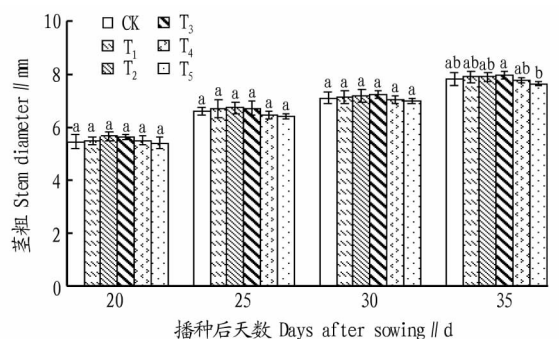
图 1 生物炭基质对西瓜幼苗株高的影响

Fig. 1 Effect of biochar substrate on plant height of watermelon seedling

2 结果与分析

2.1 不同育苗基质的理化性状 由表 2 可知,随着生物炭比例的增加,基质容重和持水孔隙降低,总孔隙度增大,说明生物炭比泥炭持水孔隙少,但通气性好、孔隙较发达;各处理物理性状均在育苗基质适宜范围之内。T₁ ~ T₅ 处理 EC 在 1.04 ~ 1.95 mS/cm,符合安全 EC 的要求;T₁ ~ T₅ 处理 pH 在 6.94 ~ 7.37,均高于 CK,但均在适宜 pH 范围内;T₁ ~ T₅ 处理含氮量在 7.30 ~ 9.69 g/kg,均低于 CK;T₁ ~ T₅ 处理磷含量在 5.12 ~ 5.40 g/kg, T₁ 和 T₂ 处理高于 CK, T₃、T₄ 和 T₅ 处理低于 CK;T₁ ~ T₅ 处理钾含量在 15.93 ~ 19.21 g/kg,均高于 CK。可见,由生物炭复配的育苗基质可为西瓜幼苗提供生长所需的水、肥、气、热条件。

由图 2 可知,各时期 T₂ 和 T₃ 处理西瓜幼苗茎粗均大于 CK,播种后第 20、25 和 30 天,各处理间西瓜幼苗茎粗差异不显著 ($P > 0.05$);在播种后第 35 天, T₃ 处理茎粗最大,达 2.78 mm, T₅ 处理茎粗最小,为 2.67 mm,两处理间差异显著 ($P < 0.05$)。



注:小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图 2 生物炭基质对西瓜幼苗茎粗的影响

Fig. 2 Effect of biochar substrate on stem diameter of watermelon seedling

2.4 生物炭基质对西瓜幼苗生物量的影响 由表 3 可知,随着基质中生物炭含量的增加,西瓜幼苗地上部鲜重呈先增大后减小的趋势。幼苗地上部和地下部鲜重的最大值分别出现在 T₂ 处理和 CK,分别为 5.139 和 0.678 g/株,最小值均出现在 T₅ 处理,分别为 4.713 和 0.618 g/株,其中, T₅ 处理的地下部鲜重显著低于 CK ($P < 0.05$)。

表 3 生物炭基质对西瓜幼苗生物量的影响

Table 3 Effect of biochar substrate on biomass of watermelon seedling

g/株

处理 Treatment	地上部鲜重 Aboveground fresh weight	地下部鲜重 Underground fresh weight	地上部干重 Aboveground dry weight	地下部干重 Underground dry weight
CK	4.916 ± 0.150 abc	0.678 ± 0.024 a	0.587 ± 0.018 ab	0.112 ± 0.005 a
T ₁	4.942 ± 0.095 abc	0.663 ± 0.018 a	0.609 ± 0.038 a	0.111 ± 0.003 a
T ₂	5.139 ± 0.188 a	0.669 ± 0.022 a	0.626 ± 0.034 a	0.112 ± 0.005 a
T ₃	5.018 ± 0.064 ab	0.644 ± 0.009 ab	0.596 ± 0.026 a	0.108 ± 0.004 a
T ₄	4.817 ± 0.171 bc	0.641 ± 0.009 ab	0.580 ± 0.016 ab	0.107 ± 0.002 a
T ₅	4.713 ± 0.167 c	0.618 ± 0.020 b	0.538 ± 0.032 b	0.105 ± 0.002 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

2.5 生物炭基质对西瓜幼苗根冠比和壮苗指数的影响 根冠比可反映植株生长协调性,是衡量植株生长发育平衡的重要指标之一^[3],壮苗指数则反映了幼苗质量的综合指标。由表 4 可知,随着基质中生物炭含量的提高,西瓜幼苗根冠比呈先降低后升高的趋势,T₅ 处理最大,说明生物炭基质有利于根系生长;而壮苗指数趋势为随着基质中生物炭含量提高先增大后减小,最大值出现在 T₂ 处理,达 0.404。各处理与 CK 相比,根冠比和壮苗指数均无显著差异,T₂ 处理壮苗指数显著高于 T₅ 处理($P < 0.05$)。

表 4 生物炭基质对西瓜幼苗根冠比和壮苗指数的影响

Table 4 Effect of biochar substrate on root-canopy ratio and healthy seedling index of watermelon seedling

处理 Treatment	根冠比 Root-canopy ratio	壮苗指数 Healthy seedling index
CK	0.191 ± 0.006 a	0.393 ± 0.013 ab
T ₁	0.183 ± 0.010 a	0.398 ± 0.015 ab
T ₂	0.179 ± 0.015 a	0.404 ± 0.012 a
T ₃	0.182 ± 0.002 a	0.398 ± 0.005 ab
T ₄	0.185 ± 0.007 a	0.387 ± 0.004 ab
T ₅	0.196 ± 0.011 a	0.381 ± 0.008 b

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

2.6 生物炭基质对西瓜幼苗根系活力和 SPAD 的影响 由图 3 可知,T₂ 处理根系活力最高且显著高于 CK、T₄ 和 T₅ 处理($P < 0.05$),达 127.18 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$,表明施用一定量的生物炭能够提高西瓜幼苗根系活力,促使根系生长,但完全使用生物炭替代泥炭对根系活力具有抑制作用。

叶绿素相对含量 (SPAD) 可反映植物叶片光合能力及植株健康状况^[18]。由图 4 可知,除 T₅ 处理外,其他各处理叶片 SPAD 均高于 CK,但差异不显著($P > 0.05$),其中,T₂ 处理 SPAD 最大,说明施用含一定比例生物炭的基质有利于西瓜叶片早期光合作用。

3 讨论与结论

良好的育苗基质应既保证一定的水气比例,又具备合理的理化性质。生物炭具有低容重、多孔隙和高比表面积的特性,泥炭基质中添加生物炭可有效降低容重、改善通气孔隙,增强基质对水分和养分的吸持能力^[19]。然而,完全使用生物炭替代泥炭,会导致基质持水孔隙降低、保水性变差,幼苗易发生缺水而影响生长。陈慧玲等^[20]以纯草炭为对照,将

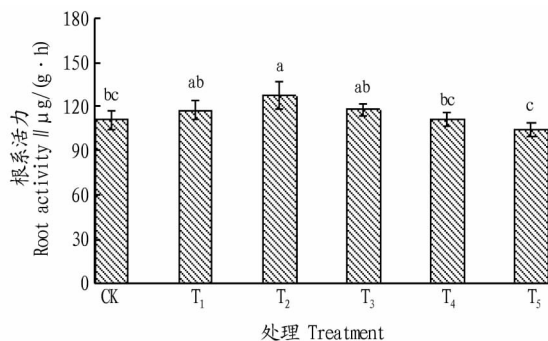
注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图 3 生物炭基质对西瓜幼苗根系活力的影响

Fig. 3 Effect of biochar substrate on root activity of watermelon seedling

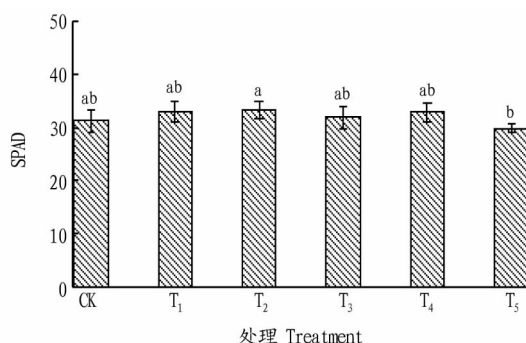
注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图 4 生物炭基质对西瓜幼苗 SPAD 的影响

Fig. 4 Effect of biochar substrate on SPAD of watermelon seedling

柠条生物炭按不同比例与草炭复配,发现柠条炭的加入可增大基质的总孔隙度和通气孔隙,但过多的柠条炭会导致基质失水过多和过快,柠条炭:草炭=2:4为最佳配比,此时基质各项理化指标符合理想基质的要求,且小白菜的发芽率最高、生长状况最好。该研究中,随着生物炭比例的增加,基质容重和持水孔隙减小,总孔隙度和通气孔隙增大,虽然各处理基质的物理性状均在理想范围内,但当生物炭完全替代泥炭基质时,西瓜幼苗生长受到轻微的抑制作用。综合幼苗各项指标以 T₂ 处理(生物炭:泥炭=2:3)为最佳。

生物炭含有多种碱性物质^[21],施入土壤后可以提高盐

基饱和度,改善 pH^[22];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^[23-24],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^[1]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^[25]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^[26]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 T₂ 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^[27]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)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.