

范如芹, 罗 佳, 张振华. 复合调理剂对栽培基质性能及蔬菜生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 887-896.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.04.025

复合调理剂对栽培基质性能及蔬菜生长的影响

范如芹^{1,2}, 罗 佳^{1,2}, 张振华²

(1. 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以农业废弃物替代珍贵的泥炭资源成为栽培基质的主要原料是设施农业发展的必经之路。但农业废弃物原料基质普遍存在持水性差、养分保蓄能力差、容重大、易板结、孔隙性差等问题, 大大限制了其应用推广。本研究以发酵床废弃垫料(SPLC)为原料的配方基质为研究对象, 通过高吸水树脂(SAP)、生物炭、硅藻土以不同比例混合, 配制不同复合调理剂, 研究调理剂在废弃垫料以不同比例替代泥炭条件下对基质性能的影响, 并进一步验证不同复合调理剂对基质栽培空心菜生长的影响。结果表明, 未添加调理剂情况下, 随 SPLC 比例提高及泥炭比例的降低, 配方基质持水性、总孔隙度、通气孔隙度均明显降低, 而电导率则显著升高; 相应地, 空心菜出苗率及株高、地上和地下生物量等生长指标也逐渐降低。添加复合调理剂后, 各处理基质理化性质及空心菜生长差异明显, 总体而言, 调理剂中 SAP 的添加显著提高了基质持水性, 促进了空心菜出苗及生长; 随生物炭添加比例的增加, 配方基质孔隙度及持水量呈上升趋势, 但电导率也迅速上升; 随硅藻土比例的增加, 基质容重逐渐增加, 但对基质电导率有降低作用。各复合调理剂综合作用结果显示, 0.8 g/L SAP+5%生物炭+5%硅藻土及 0.8 g/L SAP+10%生物炭+10%硅藻土 2 个调理剂配方明显改善了配方基质各项理化性状和空心菜生长, 在 SPLC 比例由 30% 增至 50%, 泥炭比例由 30% 降至 10% 的情况下, 仍然提高了空心菜产量。说明这 2 个复合调理剂可以有效改善配方基质性能, 有助于农业废弃物替代泥炭成为蔬菜栽培基质的原料。

关键词: 生物炭; 保水剂; 硅藻土; 栽培基质; 蔬菜

中图分类号: S317 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)04-0887-10

Effects of composite conditioner on properties of soilless conditioner and vegetable growth

FAN Ru-qin^{1,2}, LUO Jia^{1,2}, ZHANG Zhen-hua²

(1. Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

收稿日期: 2017-10-18

基金项目: 农业部农业环境重点实验室开放基金项目; 江苏省自然科学基金项目(BK20161379); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(17)3019]

作者简介: 范如芹(1984-), 女, 山东沂南人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为无土栽培基质的配方研究。(Tel) 025-84390787; (E-mail) fanruqin2007@126.com。罗佳为共同第一作者。

通讯作者: 张振华, (Tel) 025-84391207; (E-mail) zhenhuaz70@hotmail.com

Abstract: Using agricultural wastes to replace peat as main materials for soilless substrate is the development direction for facility agriculture. However, substrates based on agricultural wastes are known for the weaknesses such as low water and fertility holding capacity, high bulk density and salinity, low air permeable ability, etc. Conditioner addition is an important way to address these problems. In this study, different proportions (30% to 60%) of spent pig litter compost (SPLC) were used to replace peat (30% to 0), and composite conditioners with different

proportions of super absorbent polymer (SAP), biochar, and diatomite were used to regulate physical and chemical properties of the substrates. Emergence rate and grow indicator of water spinach grown in these substrates were also investigated. Results showed that with increasing proportion of SPLC and decreasing proportion of peat in substrate without conditioner, the water holding capacity, total and air porosity decreased and electrical conductivity (*EC*) increased sharply. Germination rate and growth parameters decreased accordingly. Substrate properties and plant growth greatly differed following conditioner addition. Generally, SAP addition increased water holding capacity and water spinach growth; substrate porosity and water holding capacity as well as *EC* increased with increasing biochar addition; bulk density increased gradually while *EC* decreased, with increasing diatomite addition. Physical and chemical properties and water spinach growth were distinctly improved by the addition of two composite conditioners, namely 0.8 g/L SAP+5% biochar+5% diatomite and 0.8 g/L SAP+10% biochar+10% diatomite. Yield of water spinach was still increased even when SPLC proportion was increased from 30% to 50% and peat proportion was decreased from 30% to 10%. The results indicated that these conditioners could effectively improve substrate properties and favored the replacement of peat by agricultural wastes.

Key words: biochar; water absorbent polymers; diatomite; cultivation substrate; vegetable

泥炭是传统的优良基质原料,在国内外基质生产中应用十分广泛。但是泥炭是世界珍贵的短期不可再生资源,随着近几十年来的大规模开采,泥炭资源正面临枯竭,且价格不断升高,导致泥炭原料基质生产成本大大增加,因此,寻求可再生的廉价优质泥炭替代资源成为世界范围内亟待解决的重要课题^[1-4]。到目前为止所选用替代材料中具有一定应用价值的有作物秸秆、畜禽粪便、园艺废弃物、绿肥、菇渣等农业废弃物,发酵床垫料堆肥也是其中之一^[5]。然而,由于农业废弃物来源复杂,前处理技术水平较低,标准化的生产工艺落后等缺陷,目前此类基质普遍存在持水性差、养分保蓄能力差、容重大、易板结、孔隙性差等问题,且原料中含大量畜禽粪尿等成分时,基质电导率往往偏高,易烧苗,不能用于盐分敏感作物的育苗或栽培^[4, 6]。鉴于这种现状,通过基质调理剂的添加改善其性能,成为利用农业废弃物替代泥炭的重要途径之一,也是该领域的一个研究热点。

高吸水树脂 (Super absorbent polymer, SAP) 分子本身带有大量强吸水性基团,因而具有高吸水性和保水性,可延缓植株的萎蔫发生时间,提高植株的水分利用率。前期大量研究结果证明,在发酵茶垫料为主料的栽培基质中,0.8 g/L 的 SAP 添加可有效提高基质保水性能且对基质空隙度不产生副作用^[7];生物炭对基质保水保肥、通气透水、作物养分吸收等均具有明显的促进作用,但添加后电导率有上升趋势,因此对盐分敏感的作物易产生盐害^[4, 8-9];硅藻土是一种重要的非金属矿物,主要由地质演化形成的硅藻遗体组成,其独特的物理和化

学性质使得硅藻土在工业上已经得到广泛的应用。硅藻土作为蔬菜及园艺无土栽培基质的应用也引起人们的重视,在澳大利亚和美国已经有园艺工作者将硅藻土粉与硅藻土颗粒作为栽培基质种植花卉和蔬菜,并已取得很好的效果^[10],而国内运用硅藻土作为设施基质栽培的研究极少。硅藻土硬度低,微孔结构发达,使得其有较小的密度和很大的比表面积,具有较强的吸附作用,因而用作基质添加剂吸附养分离子以降低盐害具有一定潜力^[11-12]。可以说,这些材料在基质性能改良及促进作物生长等方面已初步展现可观效果^[13-14]。但是,单一调理剂往往只能针对基质一种理化指标有改善效果,且某些调理剂在改善一个指标的同时会对基质其他指标有负面作用,针对基质存在的多方面的性能缺陷,复合调理剂的研究非常有必要。因此,本研究综合运用 SAP、生物炭、硅藻土等材料组成复合调理剂,研究其对基质理化性状及作物生长的影响具有重要的理论和实际意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用基质配方为发酵床垫料堆肥:蛭石:珍珠岩:泥炭=3:2:3:2(体积比),其总氮、总磷、总钾及速效氮、速效磷、速效钾养分含量分别为 24.2 g/kg、8.62 g/kg、10.1 g/kg、1.94 g/kg、2.41 g/kg 和 5.99 g/kg。蛭石、珍珠岩和泥炭的最大持水量分别为:53.9%、31.4% 和 31.7%。调理剂包括 SAP、生物炭和硅藻土,SAP 来自江苏省农业科学院农业设施与装备研究所,是以改性后的

可溶性玉米淀粉为主要原料,丙烯酸和丙烯酰胺为接枝单体,采用水溶液聚合法制备的耐盐性钾型丙烯酸类高吸水树脂,外观为白色粉末,粒度为60~100目,容质量为0.6~0.8 g/cm³,吸去离子水量为800~1 000 g/g,吸水速率小于30 s,pH值为6.9~7.3,电导率为4.0~5.0 dS/m;生物炭为小麦秸秆在600℃高温下厌氧裂解得到,其容重、持水量、pH和电导率分别为0.31 g/cm³、139%、9.98和1.03 dS/m,颗粒大小均在2 mm以下,碳和氮含量分别为79.3%和0.97%;硅藻土pH、电导率、容重分别为6.29、0.003 dS/m和0.56 g/cm³。

1.2 试验设计

为了研究具有保水、保肥、降盐、增效等功能的基质复合调理剂,确保在尽可能提高发酵床垫料(Spent pig litter compost, SPLC)比例,降低泥炭使用量的前提下,提高基质产品品质。试验设置以下4个基质配方(F1~F4),其中第一个配方F1是经过大量研究结果和实践证明了的成功配方,8个调理剂配方,共32个组合处理,每个处理3个重复。进行基质理化性能调控,同时通过空心菜的育苗和栽培来验证调理剂功效。

基质配方(体积比)如下:F1:发酵床垫料堆肥(SPLC):泥炭:蛭石:珍珠岩=3:3:2:2;F2:发酵床垫料堆肥(SPLC):泥炭:蛭石:珍珠岩=4:2:2:2;F3:发酵床垫料堆肥(SPLC):泥炭:蛭石:珍珠岩=5:1:2:2;F4:发酵床垫料堆肥(SPLC):泥炭:蛭石:珍珠岩=6:0:2:2;调理剂配方(生物炭与硅藻土比例为体积百分比):CK:0 SAP+0 生物炭+0 硅藻土;B10D10:10%生物炭+10%硅藻土;SB0D10:0.8 g/L SAP+10%硅藻土;SB10D0:0.8 g/L SAP+10%生物炭;SB5D5:0.8 g/L SAP+5%生物炭+5%硅藻土;SB5D10:0.8 g/L SAP+5%生物炭+10%硅藻土;SB10D5:0.8 g/L SAP+10%生物炭+5%硅藻土;SB10D10:0.8 g/L SAP+10%生物炭+10%硅藻土。

5月7号开始,上述基质配方添加不同调理剂配方后用于空心菜种植。空心菜用方形塑料盆(60 cm×50 cm×20 cm)种植,每盆种植3行,每行6穴,每穴播洒2粒空心菜种子。每个处理3个重复。塑料盆置于玻璃温室内(日均温26~29℃)随机区组摆放。空心菜种植7 d后测定出苗率。生长40 d左右达到商品空心菜大小时收获,并测定

株高、茎粗、叶面积、最大根长、生物量、产量等各项指标。

1.3 测定方法

测定添加不同调理剂的基质理化指标,包括容重、总孔隙度、通气孔隙度、最大持水量、pH、EC、总氮、总磷、总钾及速效氮、速效磷、速效钾含量。基质与去离子水以体积比1:5混合搅拌,静置8 d后用pH计和电导率仪测定pH和EC值;容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度等指标均参照澳大利亚基质测定标准(AS3743-2003)进行测定,具体为:取已知体积和质量的基质浸入去离子水中充分吸水后重力排水,此过程重复3次以确保基质吸水饱和,重力排水30 min,再次测定其体积及质量,然后放入烘箱105℃烘干7 d,再次称质量。用上述质量及体积计算容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度值。

1.4 数据统计分析

采用SPSS 11.5软件进行LSD显著性差异检验,用皮尔森(Pearson)相关系数进行相关关系分析,采用SigmaPlot 12.5软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 复合调理剂对不同配方基质物理性状的影响

由表1可知,不加调理剂情况下,随着基质配方中发酵床垫料堆肥比例的增加和泥炭比例的降低,基质容重逐渐增加,F3配方基质显著高于F1(F1为研究团队经过大量试验验证的优良配方^[15]),尤其发酵床垫料完全替代泥炭的配方基质(F4)容重是F1的1.64倍。添加不同调理剂后,各配方基质容重发生明显变化,其中F1与F2变化趋势一致,即除了SB10D5、SB5D5及SB10D0外,其他调理剂添加显著增加了基质容重,且SB10D0添加后容重最低,说明硅藻土的添加对容重有增大作用,这主要是因为硅藻土本身容重(0.56 g/cm³)较大造成的;SB10D5容重显著低于SB5D5,SB5D10容重也低于SB0D10说明生物炭添加有降低基质容重的作用。这与前人研究报道一致^[16-18]。调理剂添加对F1配方基质容重降低作用最为明显,对其他配方基质容重影响不显著($P>0.05$),其中F3及F4配方基质容重仍高于国际标准基质容重的理想值上限(0.4 g/cm³)^[19]。

表 1 复合调理剂添加下不同基质配方容重

Table 1 Bulk density of substrates amended with composite conditioner

处理	容重 (g/cm ³)			
	F1	F2	F3	F4
CK	0.36bc	0.38b	0.46b	0.59a
SB0D10	0.46a	0.49a	0.45ab	0.61a
SB5D10	0.43ab	0.46ab	0.50ab	0.60a
SB5D5	0.38b	0.41b	0.55a	0.55b
SB10D5	0.33c	0.38bc	0.51ab	0.54b
SB10D0	0.32c	0.35c	0.42b	0.57ab
SB10D10	0.38b	0.40b	0.52a	0.55b
B10D10	0.41b	0.44ab	0.42b	0.60a

F1: 发酵床垫料堆肥 (SPLC): 泥炭: 蛭石: 珍珠岩 = 3: 3: 2: 2 (体积比); F2: 发酵床垫料堆肥 (SPLC): 泥炭: 蛭石: 珍珠岩 = 4: 2: 2: 2 (体积比); F3: 发酵床垫料堆肥 (SPLC): 泥炭: 蛭石: 珍珠岩 = 5: 1: 2: 2 (体积比); F4: 发酵床垫料堆肥 (SPLC): 泥炭: 蛭石: 珍珠岩 = 6: 0: 2: 2 (体积比)。调理剂配方 (生物炭与硅藻土比例为体积百分比), CK: 0 SAP + 0 生物炭 + 0 硅藻土; B10D10: 10% 生物炭 + 10% 硅藻土; SB0D10: 0.8 g/L SAP + 10% 硅藻土; SB10D0: 0.8 g/L SAP + 10% 生物炭; SB5D5: 0.8 g/L SAP + 5% 生物炭 + 5% 硅藻土; SB5D10: 0.8 g/L SAP + 5% 生物炭 + 10% 硅藻土; SB10D5: 0.8 g/L SAP + 10% 生物炭 + 5% 硅藻土; SB10D10: 0.8 g/L SAP + 10% 生物炭 + 10% 硅藻土。同一列数据后不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

未添加调理剂条件下, 基质总孔隙度和通气孔隙度均随 SPLC 比例增加及泥炭比例降低而明显降低 (表 2)。各调理剂对 F1 总孔隙度和通气孔

隙度影响不明显, 但 SB0D10 添加后其他配方基质的总孔隙度和通气孔隙度均有所降低, 说明不添加生物炭情况下添加 10% 硅藻土对基质通气性有负面作用。SB10D0 与 SB10D5 添加后 F2 及 F3 配方基质总孔隙度明显升高, 说明生物炭对基质总孔隙度提高有促进作用, 这与报道结果^[20-21]一致。这与生物炭本身孔隙特征较好有关^[22]。调理剂对 F4 配方基质总孔隙度影响不明显。各配方基质通气孔隙度均低于标准基质理想范围^[19], 且随调理剂添加的变化趋势与总孔隙度类似, 生物炭添加可增大基质孔隙孔隙度, 但硅藻土对此有一定的负面作用。

无论添加调理剂与否, 4 个配方基质最大持水量随 SPLC 比例增加和泥炭比例降低而逐渐降低 (表 3)。通过添加调理剂后各配方基质数值变化可知, SAP 添加对基质持水量增加最为明显, 且 F1 ~ F4 配方基质均显著增加; 添加 SAP 调理剂的配方基质均显著高于未添加 SAP 的 CK 及 B10D10 处理的配方基质, 也充分说明了 SAP 在增大基质持水量方面的重要贡献。这与前人研究结果^[23-25]一致。4 个配方基质的最大持水量中均表现为 10% 生物炭添加处理高于 5% 及无生物炭添加处理, 说明了生物炭对增加基质水分保持也有一定作用, 这可能与生物炭本身多孔结构及吸水性有关, 这与前人报道结果^[17-18, 26]一致。

表 2 复合调理剂添加下不同配方基质总孔隙度与通气孔隙度

Table 2 Total and air porosity of substrates amended with composite conditioner

处理	总孔隙度 (%)				通气孔隙度 (%)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
CK	64.67a	61.17b	54.16b	49.62b	8.19a	8.65a	7.36b	7.39b
SB0D10	62.36a	59.84b	51.80b	46.13b	7.36a	7.16b	7.08b	6.40b
SB5D10	63.21a	61.17b	55.41ab	50.14b	9.00a	8.27ab	7.74b	6.97b
SB5D5	62.60a	61.54b	58.20ab	52.86ab	9.56a	8.16ab	8.00ab	7.85ab
SB10D5	66.17a	63.76ab	60.01a	54.31a	9.92a	9.22a	8.04ab	7.74b
SB10D0	68.57a	65.19a	59.90a	56.59a	10.13a	9.99a	8.77a	8.65a
SB10D10	66.29a	65.12a	59.28ab	52.79ab	9.89a	8.32b	7.55b	7.81ab
B10D10	65.83a	64.81a	57.17ab	49.93b	8.01a	6.70b	7.54b	7.43ab

F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。同一列数据后不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

表3 复合调理剂添加下不同配方基质最大持水量

Table 3 Water holding capacity of substrates amended with composite conditioner

处理	最大持水量 (%)			
	F1	F2	F3	F4
CK	65.49b	64.18b	60.90b	58.94b
SB0D10	73.89ab	73.41ab	68.72ab	66.50ab
SB5D10	77.31ab	75.77ab	71.90ab	69.58a
SB5D5	75.75ab	73.23ab	72.44a	68.17ab
SB10D5	81.61a	79.98a	75.90a	73.45a
SB10D0	83.65a	81.98a	77.80a	75.29a
SB10D10	84.58a	81.89a	74.66a	73.12a
B10D10	68.98b	67.60b	63.15b	62.08b

F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表1注。同一列数据后不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

2.2 复合调理剂对不同配方基质化学性状的影响

研究结果^[27]表明,从植株利用微量元素的角度

来说,基质 pH 范围在 5.0~6.5 对根系吸收微量元素有促进作用,蔬菜幼苗对基质的 pH 反应比较敏感,且不同的作物幼苗对基质最适的 pH 要求有所不同,综合国内外诸多研究结果可知,基质的 pH 范围应控制在 5.8~7.0。本研究中各基质配方在使用之前 pH 均在此范围之内(表4),符合作物生长要求^[19],且表现为添加 10% 生物炭调理剂处理(SB10D0、SB10D5、SB10D10)显著高于不添加生物炭的处理(SB0D10)。这是因为生物炭本身 pH (8.5) 较高造成的。对于生物炭的石灰效应大量文献已有报道^[28-30]。对生物炭生产工艺进行优化,生产适中 pH 值生物炭是解决这一问题的方法之一。有文献报道种植蔬菜后土壤 pH 因根系释放有机酸等而有所降低,但是本研究中结果与之相反,空心菜种植后 pH 上升的原因仍需进一步研究。硅藻土对各处理 pH 影响不明显,这是因为硅藻土本身 pH 与基质较为接近。

表4 复合调理剂添加下不同配方基质种植空心菜前后的 pH 值

Table 4 The pH of substrates amended with composite conditioner before and after cultivation of water spinach

处理	pH 值							
	F1		F2		F3		F4	
	种植前	种植后	种植前	种植后	种植前	种植后	种植前	种植后
CK	6.29b	7.05a	6.37b	7.11a	6.44b	7.05a	6.69b	7.17a
SB0D10	6.26b	7.00a	6.36b	7.15a	6.48b	7.13a	6.71b	7.24a
SB5D10	6.54ab	7.03a	6.62ab	7.06a	6.73ab	7.22a	6.91ab	7.26a
SB5D5	6.61ab	7.05a	6.70ab	7.06a	6.62ab	7.19a	6.83ab	7.26a
SB10D5	6.80a	7.05a	6.78a	7.06a	6.76a	7.23a	7.04a	7.29a
SB10D0	7.00a	6.96a	6.70a	7.09a	6.81a	7.19a	7.01a	7.19a
SB10D10	6.78a	7.09a	6.93a	7.15a	6.93a	7.22a	7.04a	7.30a
B10D10	6.77a	6.99a	7.03a	7.10a	6.79a	7.15a	7.02a	7.26a

F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表1注。同一列数据后不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

由表5可知,基础配方基质中,随 SPLC 比例增加和泥炭比例降低,基质电导率迅速上升,由 F1 的 3.76 升至 F4 的 5.44。根据 Abad 等^[19]关于标准基质的电导率范围可知,4 个配方电导率均偏高,尤其 F2~F4(>4.4)可能会对盐分敏感植物生长产生较为严重的影响。种植空心菜后各配方基质电导率均明显下降,这与作物吸收养分及养分随浇水淋失有关。添加调理剂 SB0D10 后明显降低了 4 个配方基质的电导率,调理剂

SB5D10 添加后与对照相当,上述结果说明硅藻土对降低基质电导率具有重要作用。当生物炭添加比例增至 10% 后,各配方基质电导率均高于对照,尤其 SB10D0 配方,更是显著高于对照,充分证明了生物炭提高基质电导率及硅藻土降低电导率的作用。生物炭提高电导率与其自身较高的比表面积和高电荷密度有关^[28-30],硅藻土降低电导率的功能可能与其自身低电导率以及较强的吸附能力有关^[11-12]。

表 5 复合调理剂添加下不同配方基质种植空心菜前后电导率

Table 5 Electrical conductivity of substrates amended with composite conditioner before and after cultivation of water spinach

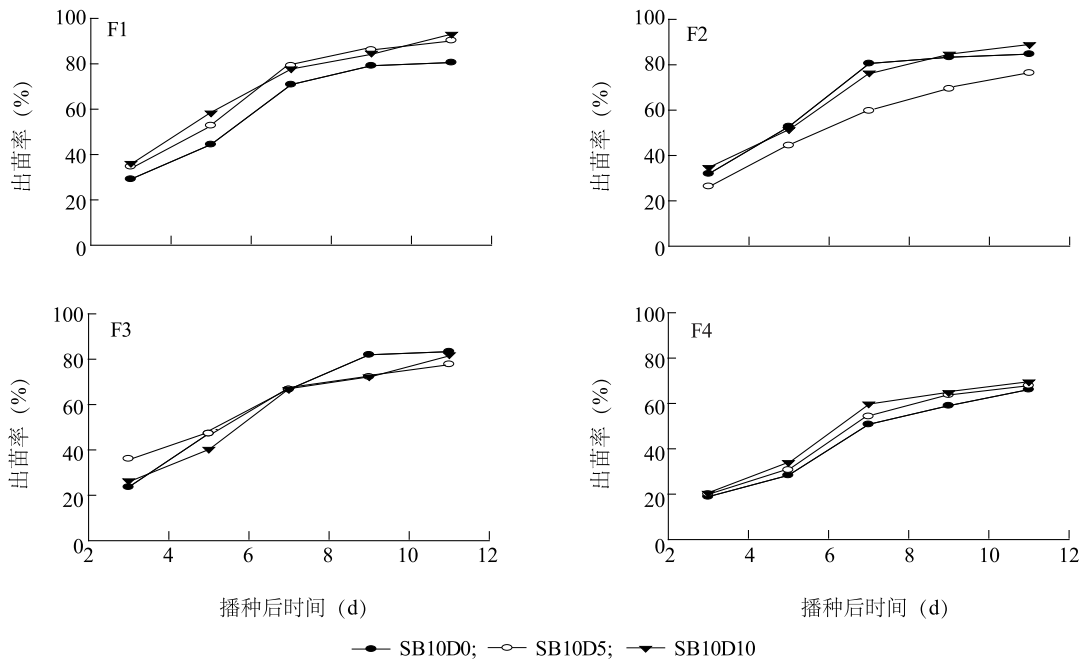
处理	电导率(dS/m)							
	F1		F2		F3		F4	
	种植前	种植后	种植前	种植后	种植前	种植后	种植前	种植后
CK	3.76b	3.25bc	4.41bc	3.87bc	6.01ab	4.05c	7.10b	5.44bc
SB0D10	3.17c	2.88c	4.08c	3.37c	5.65b	3.86c	6.16c	4.71c
SB5D10	3.65b	3.48bc	5.07b	3.25c	5.73b	4.42bc	6.40bc	6.04b
SB5D5	4.27ab	3.29bc	5.23b	4.73ab	5.98b	4.53b	7.03b	6.41b
SB10D5	4.45ab	3.69b	5.68a	4.52b	6.21ab	5.10a	7.58ab	6.57ab
SB10D0	5.08a	4.95a	5.77a	5.48a	7.10a	5.79a	8.07a	7.71a
SB10D10	4.09ab	3.36bc	5.40ab	4.58b	6.17ab	5.02ab	7.34ab	6.23b
B10D10	4.61ab	3.72b	5.32ab	4.51b	6.15ab	4.92ab	7.38ab	6.21b

F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。同一列数据后不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

2.3 复合调理剂对不同配方基质栽培空心菜出苗率的影响

由图 1 可知,4 个配方基质中空心菜出苗率随 SPLC 比例的增加及泥炭比例的降低而降低,且受调理剂中硅藻土添加比例的影响十分明显,整体表现为随硅藻土比例的增加而增加,尤其是在 SPLC 比例最高的 F4 配方基质中这种趋势更为明显。这主要是因为 SPLC 本身电导率较高,添加 10%生物炭

而不添加硅藻土情况下,基质高电导率阻碍了空心菜出苗。已有研究者指出,作物种子萌发及早期发展更适宜在较低电导率的环境中进行^[2]。上述结果也证明了硅藻土对降低基质电导率有显著的效果。这可能是硅藻土本身的吸附性能造成的,硅藻土将基质中无机盐离子吸附,可使得基质电导率降低。对于硅藻土吸附性能及对作物生长的促进作用,岳天敬^[31]已有报道。



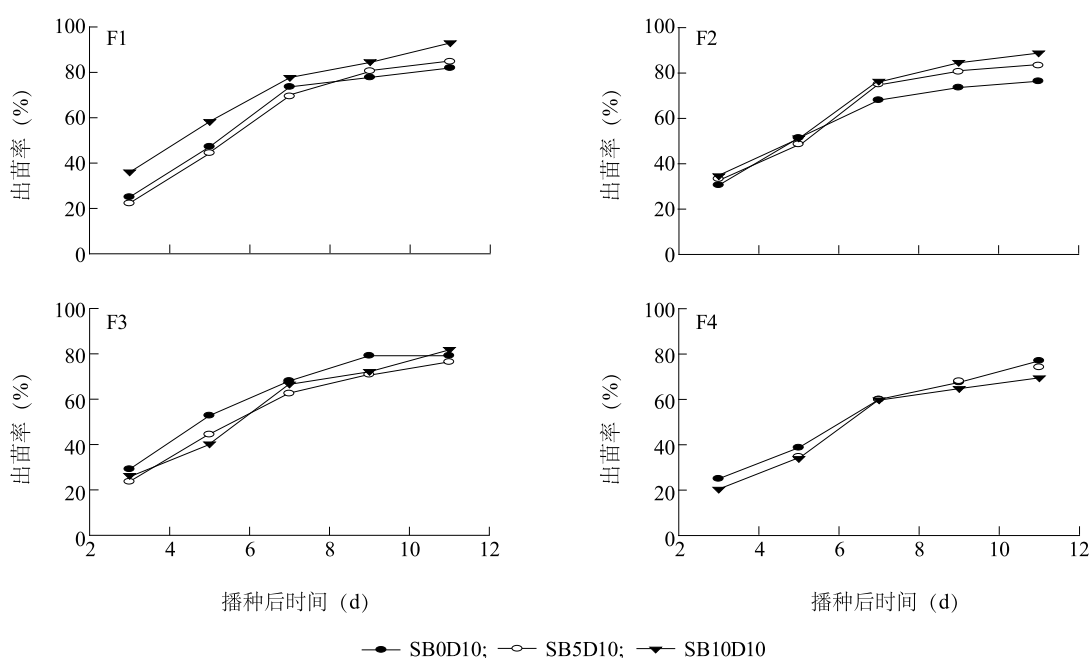
F1、F2、F3、F4、SB10D0、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。

图 1 不同硅藻土添加比例下基质栽培空心菜出苗率

Fig.1 Emergence rate of water spinach grown in substrate amended with different proportions of diatomite

由图2可知,在固定调理剂中硅藻土10%比例的情况下,调理剂中生物炭添加比例对空心菜出苗率的影响也十分明显。SPLC比例较低的F1和F2配方表现为SB10D10处理出苗率显著高于生物炭比例较低的2个处理,F3受调理剂中生物炭比例影响不明显,但在SPLC比例最高的F4配方中SB0D10处理出苗率最高,SB10D10处理表现较差。这主要是因为SPLC比例相对较低的F1和F2 2个

配方中,生物炭对基质孔隙度和持水性等性状的改性功能超过了对电导率的负面效应,但是随着SPCL比例及电导率值的升高,高电导率的危害成为主导作用,因此在F4中添加10%生物炭的处理空心菜出苗率最低。上述结果说明,生物炭及硅藻土等调理剂对基质的调控不只是对基质单一性状的改变,其综合作用决定了对作物的综合影响。



F1、F2、F3、F4、SB0D10、SB5D10、SB10D10 见表1注。

图2 不同生物炭添加比例下基质栽培空心菜出苗率

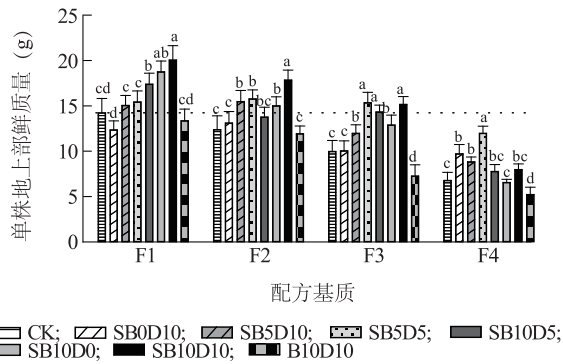
Fig.2 Emergence rate of water spinach grown in substrate amended with different proportions of biochar

2.4 复合调理剂对不同配方基质栽培空心菜生物量的影响

不添加任何调理剂情况下,4个基础配方基质中空心菜鲜质量随基质SPCL比例增加和泥炭比例降低而显著降低(图3)。F1配方基质中,除处理SB0D10与处理B10D10外,其他调理剂添加均增加了空心菜茎叶鲜质量,且SB10D10、SB10D5及SB10D0处理均显著高于对照,其中SB10D10处理表现最佳。F2配方中各调理剂对空心菜茎叶鲜质量的影响规律与F1配方基质中类似,SB10D10处理仍为最佳。这些结果说明生物炭在调节基质孔隙度、持水量等方面的重要作用。这与前人研究结果一致^[16-18,32]。在SPLC添加比例高达50%、泥炭比例降至10%的F3配方中,SB5D5及SB10D10处理

仍然能够使空心菜茎叶鲜质量高于对照水平,且SB5D5处理显著高于SB10D10处理,充分说明了SAP、生物炭、硅藻土以合适比例调配后对基质性能和空心菜产量具有有效的提升作用。所有配方基质中B10D10处理空心菜茎叶鲜质量均明显低于SB10D10处理,验证了SAP在增加基质水分保持及作物生长中的重要作用^[23-24,26,33]。

各处理中空心菜根部鲜质量随配方基质及调理剂的变化规律与空心菜茎叶鲜质量类似,不添加任何调理剂情况下,4个基础配方基质中空心菜根部鲜质量随基质SPCL比例增加和泥炭比例降低而显著降低(图4)。F1配方基质中,添加所有调理剂均增加了空心菜茎叶鲜质量,且SB5D5、SB10D10、SB10D5及SB10D0处理均显著高于对照,其中

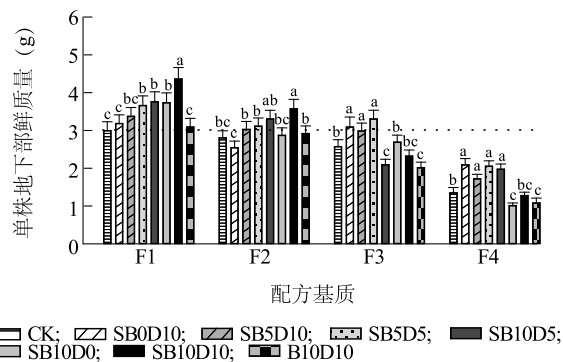


F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

图 3 不同调理剂添加比例下基质栽培空心菜茎叶鲜质量

Fig.3 Fresh shoot weight of water spinach grown in substrate amended with different composite conditioner

SB10D10 处理表现最佳。F2 配方中各调理剂对空心菜根部鲜质量的影响规律与 F1 配方基质中类似, SB10D10 处理仍为最佳。在 SPLC 添加比例高达 50%、泥炭比例降至 10% 的 F3 配方中, SB5D5 及 SB0D10 处理添加仍然能够使空心菜根部鲜质量高于对照水平。



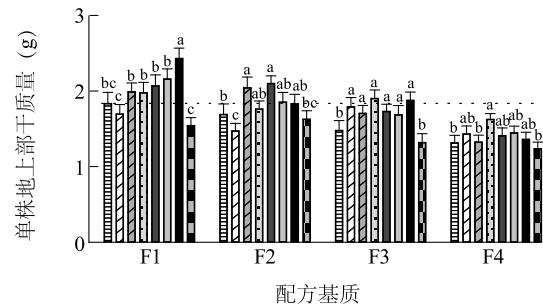
F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

图 4 不同调理剂添加比例下基质栽培空心菜根部鲜质量

Fig.4 Fresh root weight of water spinach grown in substrate amended with different composite conditioner

由图 5、图 6 可知,空心菜茎叶及根部干质量随配方基质及调理剂的变化规律与其鲜质量大体一致,均表现为随 SPLC 比例增加及泥炭比例降低而降低,前 2 个 SPLC 相对较低的配方基质中,生物炭添加比例较高的调理剂对空心菜生长促进作用十分

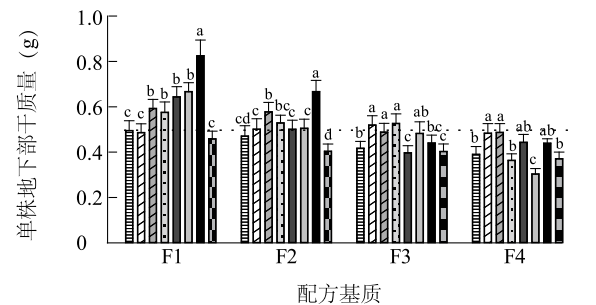
明显,但是随 SPLC 比例及基质电导率值的升高,高生物炭比例调理剂的效果逐渐消失,而高硅藻土比例调理剂的效果较为明显。整体而言,空心菜茎叶干质量受调理剂的影响程度低于鲜质量,这可能与调理剂添加后基质水分可利用性及空心菜含水量有关。空心菜根干质量受基质配方及调理剂的影响程度大于茎叶干质量。



F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

图 5 不同调理剂添加比例下基质栽培空心菜茎叶干质量

Fig.5 Dry shoot weight of water spinach grown in substrate amended with different composite conditioner



F1、F2、F3、F4、CK、B10D10、SB0D10、SB10D0、SB5D5、SB5D10、SB10D5、SB10D10 见表 1 注。不同小写字母表示不同调理剂之间在 0.05 水平上有显著差异。

图 6 不同调理剂添加比例下基质栽培空心菜根干质量

Fig.6 Dry root weight of water spinach grown in substrate amended with different composite conditioner

3 讨论

未添加复合调理剂条件下,随发酵床垫料 (SPLC) 比例增加及泥炭比例降低,基质持水性、总

孔隙度、通气孔隙度均明显降低,而电导率则显著升高。相应地,空心菜出苗率及生长状况(包括茎叶及根部的鲜质量及干质量)也逐渐降低。添加复合调理剂之后,各配方基质理化性质及空心菜生长差异明显,总体而言,调理剂中 SAP 的添加增加了基质持水性,促进了空心菜出苗及生长。随生物炭添加比例的增加,基质孔隙度及持水量呈上升趋势,但电导率也迅速上升,尤其在电导率本身较高的 F4 配方基质中。随硅藻土比例的增加,基质容重逐渐增加,但对基质电导率有降低作用。在 SPLC 比例相对较低的 F1 和 F2 2 个配方基质中,生物炭对基质孔隙度和持水性等性状的改善功能超过了对电导率的负面效应,因此空心菜出苗及后期生长均有明显提高,SB10D10 处理表现最佳。但是随着 SPCL 比例及电导率值的升高,高电导率的危害成为主导作用,因此在 F4 中生物炭添加 10% 比例的处理空心菜出苗率最低。各种调理剂综合作用结果表明,SB5D5 及 SB10D10 调理剂添加后,配方基质中 SPLC 比例增至 50%,泥炭比例降至 10% 的情况下,空心菜产量仍然高于不加调理剂的 F1 (SPLC 比例 30%、泥炭比例 30%) 对照。

参考文献:

- [1] OSTOS J C, LÓPEZ-GARRIDO R, MURILLO J M. Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99: 1793-1800.
- [2] MEDINA E, PAREDES C, PÉREZ-MURCIA M D. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 4227-4232.
- [3] TIAN Y, SUN X Y, LI S Y, et al. Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. Fasciata [J]. *Scientia Horticultura*, 2012, 143: 15-18.
- [4] FAN R Q, LUO J, YAN S H, et al. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth [J]. *Pedosphere*, 2015, 25(5): 737-748.
- [5] 范如芹,罗 佳,高 岩,等. 农业废弃物的基质化利用研究进展[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(2): 442-448.
- [6] 刘超杰,郭世荣,王长义,等. 混配醋糟复合基质对辣椒幼苗生长的影响[J]. *园艺学报*, 2010, 37(4): 559-566.
- [7] 范如芹,罗 佳,刘海琴,等. 淀粉基高吸水性树脂对基质理化性质及小青菜生长的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2015, 38(4): 617-623.
- [8] DEENIK J L, MCCLELLAN T, UEHARA G, et al. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74: 1259-1270.
- [9] 高敬尧,王宏燕,许毛毛,等. 生物炭施入对农田土壤及作物生长影响的研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(10): 10-15.
- [10] WANG Y T, BLANCHARD M, LOPEZ R. Greenhouse grower [J]. *Willoughby*, 2005, 23: 70.
- [11] 苏育炜,杨志军,周永章. 硅藻土对重金属离子的吸附作用及其用于环境重金属污染修复的研究评述[J]. *中山大学研究生学刊*, 2007, 28(1): 94-101.
- [12] 李 邵,薛绪掌,郭文善,等. 硅藻土基质配方对盆栽观赏辣椒生长的影响[J]. *北方园艺*, 2008(11): 1-4.
- [13] STEINER C, BLUM W E H, ZECH W. Long term effects of manure, charcoal, and mineral; fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central amazonian upland soil [J]. *Plant Soil*, 2007, 291: 275-290.
- [14] 张伟明,孟 军,王嘉宇,等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(8): 1445-1451.
- [15] LUO J, FAN R Q, WANG T, et al. Evaluation of spent pig litter compost as a peat substitute in soilless growth media [J]. *Biological Agriculture and Horticulture*, 2015, 31(4): 219-229.
- [16] BUSSCHER W J, NOVAK J M, EVANS D E, et al. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand [J]. *Soil Science*, 2010, 175: 10-14.
- [17] NOVAK J M, BUSSCHER W J, WATTS D W. Biochars impact on soil-moisture storage in an Ultisol and two Aridisols [J]. *Soil Science*, 2012, 177: 310-320.
- [18] ROGOVSKA N, LAIRD D A, RATHKE S J. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability [J]. *Geoderma*, 2014, 230: 340-347.
- [19] ABAD M, NOGUERA P, BURÉS S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 77: 197-200.
- [20] BELYAIEVA O N, HAYNES R J. Comparison of the effects of conventional organic amendments and biochar on the chemical, physical and microbial properties of coal fly ash as a plant growth medium [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 66: 1987-1997.
- [21] ATKINSON C J, FITZGERALD J D, HIPPS N A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review [J]. *Plant and Soil*, 2010, 337: 1-18.
- [22] PETERSON S C, JACKSON M A. Simplifying pyrolysis: using gasification to produce corn stover and wheat straw biochar for sorptive and horticultural media [J]. *Industrial Crops and Products*, 2014, 53: 228-235.
- [23] YAMATO M, OKIMORI Y, WIBOWO I F, et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2006,

- 52: 489-495.
- [24] EL-HADY O A, EL-KADER A A A, SHAFI A M. Physico-bio-chemical properties of sandy soil conditioned with acrylamide hydrogels after cucumber plantation [J]. Australian Journal Basic Applied Science, 2009,3: 3145-3151.
- [25] LIU F C, MA H L, XING S J, et al. Effects of super-absorbent polymer on dry matter accumulation and nutrient uptake of Pinus pinaster container seedlings [J]. Journal of Forest Research, 2013,18: 220-227.
- [26] FAN R Q, LUO J, YAN S H, et al. Use of Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) compost as a peat substitute in soilless growth media[J]. Compost Science and Utilization, 2015,23: 237-247.
- [27] JAYASINGHE G Y, ARACHCHI D L, TOKASHIKI Y. Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010,54: 1412-1418.
- [28] LIANG B, LEHMANN J, SOLOMON D. Black carbon increases cation exchange capacity in soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2006,70: 1719-1730.
- [29] RONDON M A, LEHMANN J, RAMIREZ J. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions [J]. Biology and Fertility of Soils, 2007,43: 699-708.
- [30] ZHU Q H, PENG X H, HUANG T Q. Effect of biochar addition on maize growth and nitrogen use efficiency in acidic red soils [J]. Pedosphere, 2014,24: 699-708.
- [31] 岳天敬.茄子穴盘育苗基质及其育苗效果的研究[D].长春:吉林农业大学,2005.
- [32] VACCARI F P, BARONTI S, LUGATO E. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat [J]. European Journal of Agronomy, 2011,34: 231-238.
- [33] ABEDI-KOUPAI J, SOHRAB F, SWARBRICK G. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics [J]. Journal of Plant Nutrition, 2008,31: 317-331.

(责任编辑:陈海霞)