

须文,岑聪,徐彦军.不同基质配方对蔬菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2020,48(9):127-131.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.025

不同基质配方对蔬菜种子萌发及幼苗生长的影响

须文,岑聪,徐彦军

(贵州大学农学院园艺系,贵州贵阳 550025)

摘要:选用废弃物炉渣、菇渣等作为基质原料,通过添加适宜有机肥和化肥,对不同配比基质的理化性质进行测定,比较其对番茄、生菜等蔬菜种子萌发及幼苗生长的影响,为基质在生产上的推广应用提供科学依据。试验结果表明,2个配方基质的容重均在理想范围内,大小孔隙比较大,保水保肥性较差,但通气性较强;2种配方基质电导率(EC值)较大,基质内含养分丰富,配方Ⅰ基质偏碱性,配方Ⅱ基质呈微酸性,属于中性范围;有机质含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高15.13百分点,氮含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高0.61百分点,磷含量配方Ⅱ比配方Ⅰ高0.39百分点,钾含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高0.31百分点;2种配方基质的有机质含量、氮磷钾含量都比较高,基质肥力较好;2种配方基质对蔬菜种子萌发有促进作用,对幼苗生长影响不同;配方Ⅱ较适合做番茄、菜心、芥菜的栽培基质。

关键词:无土栽培;基质配方;理化性质;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S630.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)09-0127-04

贵州省经济相对落后,可溶性碳酸盐岩的出露面积占全省国土面积的73%^[1],独特的气候条件与喀斯特地貌决定了该地区土层形成极困难且极易遭到破坏,属于典型的生态脆弱区^[2]。贵州省人地矛盾突出,全省耕地面积约为 $2.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$,而在耕地土壤资源中坡耕地所占比例高达47.36%^[3]。很多地区土壤贫瘠,土壤肥力下降,不利于很多作物的生长。然而,玉米秸秆、菇渣、药渣、炉渣等工农业生产的废弃物可作为无土栽培的固体基质取代土壤种植蔬菜。

本试验针对贵州省的省情和固体基质无土栽培的发展趋势,选用来源广泛且价格低廉的废弃物如玉米秸秆、炉渣、菇渣、药渣等作为无土栽培基质,通过添加适宜有机肥或化肥,进行不同配比混合基质的理化性质测定,并比较不同配比基质对番茄、生菜、菜心、芥菜4种蔬菜种子萌发和幼苗生长的影响,旨在为无土栽培基质在生产上的推广应用

提供科学依据,为开发出材料来源广泛、制造工艺简单、成本低、价格便宜、性状稳定且能够在农业生产上推广应用的基质配方提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用的无土栽培基质配制材料包括炉渣、菌渣、混合药渣、鸡粪、猪粪、过磷酸钙等,由贵州高斯众合农业生态科技发展有限公司提供,混合基质经过常规堆制发酵处理2个月以充分腐熟,备用。选用4种蔬菜作物种子进行试验,其中番茄品种为韩育新中蔬四号,生菜品种为韩育玻璃生菜,菜心品种为韩育四九菜心,3种蔬菜种子由青县纯丰蔬菜良种繁育场生产;芥菜为上海青,种子由南京金盛达种子有限公司生产。试验于2019年2—5月在贵州大学农学院园艺科学实验室进行。

1.2 试验设计

试验设置2个无土栽培基质配方,试验设计及配方组成见表1。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 基质物理性状测定 本研究采用环刀法^[4]来测量2种配方基质的物理性质,测定指标包括容重、总孔隙度、通气孔隙、持水孔隙、持水能力、大小孔隙比等。

1.3.2 基质化学性状测定 电导率(EC值)采用电导仪测定;pH值采用电位测定法^[5](土与水的体

收稿日期:2019-09-02

基金项目:贵州省科技重大专项(编号:黔科合重大专项字[(2016)3002号];贵州省农业攻关(编号:黔科合支撑[(2019)2394号];贵州大学引进人才项目(编号:贵大人基合字[(2016)48号];贵州省科技计划(编号:黔科合平台人才[(2017)5788号]。

作者简介:须文(1975—),女,上海人,博士,教授,主要从事蔬菜学教学与研究等工作。E-mail:agr.wenxu@gzu.edu.cn。

通信作者:徐彦军,硕士,教授,主要从事食用菌教学及科研工作。E-mail:gdxyj1996@126.com。

表 1 无土栽培基质配方试验设计

处理	1 m ³ 基质原料及配方组成
配方 I	炉渣 : 菇渣 : 混合药渣 (6 : 3 : 1, 体积比) 、2 kg 过磷酸钙、50 kg 干猪粪、60 kg 干鸡粪
配方 II	炉渣 : 玉米秸秆 : 混合药渣 (6 : 3 : 1, 体积比) 、60 kg 干鸡粪

积比为 1 : 2.5) 测定;有机质含量采用水合热重铬酸钾氧化比色法^[6]测定;全氮含量采用凯氏定氮法^[7]测定;有效磷含量采用碳酸氢钠法 (Olsen 法)^[8]测定;速效钾含量采用醋酸铵浸提火焰光度法^[9]测定。

1.3.3 种子萌发试验 种子萌发试验采用 2 种方法进行。方法 1:将各配方基质与蒸馏水按体积比为 1 : 5 的比例浸提 24 h 后,用定性滤纸过滤。滤液用 HCl 或 KOH 溶液调节 pH 值至 6.4 ~ 6.5,高温消毒后备用。取番茄、生菜、芥菜、菜心 4 种蔬菜种子各 50 粒,分别置于 10 mL 离心管内,分别滴加基质浸提液及对照液 (1/2 浓度 Hoagland 营养液) 1.5 mL,稍微振荡下,使种子与浸泡溶液充分混匀。浸种 24 h 后,将每个离心管中的 50 粒种子整齐地摆放在放有 2 层滤纸的培养皿中,置于温度为 22 ℃ 光照培养箱中连续光照发芽,适时补充相应浸提液。每天统计发芽势和发芽,7 d 后统计发芽率,并测量胚根长度,计算发芽指数^[10]。方法 2:直接将基质置于直径为 18 cm 的培养皿中,分别点播番茄、生菜、芥菜、菜心种子各 50 粒,然后置于温度为 25 ℃ 的恒温光照箱里光照发芽。每天统计发芽势和发芽,7 d 后统计发芽率和测量胚根长度,计算发芽指数。试验设 3 次重复。

发芽率 = 发芽种子粒数 / 供试种子粒数 × 100% ;

发芽势 = 规定时间内发芽种子粒数 / 供试种子粒数 × 100% ;

发芽指数 = $\sum G_i / D_i$ 。
式中: D_i 为发芽日数; G_i 是与 D_i 相对应的每天发芽种子数。

1.3.4 幼苗生长试验 待 4 种蔬菜的种子发芽后,分为 2 组分别移栽到盛有 2 种配方基质的穴盘中,每个配方随机选取 3 株长势一致的幼苗并进行标记,每 7 d 测量 1 次幼苗的株高、茎粗、叶长、叶宽共测量 3 次,取平均值,其中用直尺测量茎基部到生长点的长度作为株高 (cm);用游标卡尺测量子叶处茎粗 (mm);用直尺量取叶片的叶长 (cm) 和最大叶宽 (cm)。

幼苗干鲜质量的测定:在 2 种配方基质处理中分别选 3 株幼苗,测量地上部及地下部的干鲜质量。测定地上部干鲜质量时,先将茎干和叶片剪下装入档案袋中,用电子天平称其鲜质量,然后放入烘箱中在 105 ℃ 下杀青 30 min,再在 75 ℃ 恒温干燥箱内烘干 24 ~ 32 h 后,称其干质量;将根挖出后用清水冲洗干净,然后放入烘箱中在 105 ℃ 下杀青 30 min,再在 75 ℃ 恒温干燥箱内烘干 24 ~ 32 h 后,测其干质量。

根冠比 = 根干质量 / 地上部干质量;

壮苗指数 = (茎粗 / 株高 + 根干质量 / 地上部干质量) × 全株干质量。

1.4 数据分析

利用 Excel 2010、DPS 软件进行试验数据的统计、整理、分析。

2 结果与分析

2.1 不同配方无土栽培基质的物理性状

郭世荣认为,通常情况下,当基质容重为 0.1 ~ 0.8 g/cm³、总孔隙度为 54% ~ 96%、pH 值为 6.5 ~ 7.0、电导率 > 1 mS/cm 时比较适宜栽培蔬菜作物^[11-12]。容重是指单位体积的固体基质质量,可以反映基质的疏松、紧实程度。从表 2 可以看出,配方 I 容重 < 0.25 g/cm³,属于低容重基质,配方 II 容重在 0.25 ~ 0.75 g/cm³ 之间,属于中容重基质,2 种配方基质的容重均在理想范围内。配方 I 的总孔隙度为 60.8%,在理想范围值内,而配方 II 总孔隙度为 44.5%,低于理想范围,表明基质相对质量大,容纳的空气、水量小,不利于植株的根系伸展;通气孔隙体现了基质流通空气的能力,基质配方 I 的通气孔隙为 52.3%,基质配方 II 的为 37.2%,2 种配方相差 15.1%;持水孔隙度体现基质的保水能力,2 种配方的基质持水孔隙都小于 10%,远远低于理想范围 (40% ~ 70%)。持水能力表示基质对水分保持能力的大小,混合基质配方 I 比配方 II 的持水能力高 20.98 百分点;通气孔隙可衡量基质与空气交换的能力,混合基质配方 I 比配方 II 高 15.1 百分点;持水孔隙指基质总容积中水占有的孔隙容积,混合

基质配方Ⅰ的持水孔隙大于配方Ⅱ。大小孔隙比与总孔隙度合在一起可全面反映基质中气和水的状态。基质配方Ⅰ大小孔隙比为 5.10。基质配方Ⅱ大小孔隙比为 6.15,比理想值(0.25~0.50)要大很多,表明 2 种配方基质过粗,通气性强但贮水力弱,通气孔隙要比正常值(5%~30%)大。

表 2 不同配方无土栽培基质的物理性状

处理	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙 (%)	持水孔隙 (%)	大小孔隙比	持水能力 (%)
配方Ⅰ	0.177	60.8	52.3	8.5	5.10	148.02
配方Ⅱ	0.270	44.5	37.2	7.3	6.15	127.04

2.2 不同配方无土栽培基质的化学性状

从表 3 可以看出,2 种配方 EC 值都较大,说明 2 种基质内部的盐类含量高,营养物质多,而配方Ⅱ相比配方Ⅰ要大。配方Ⅰ呈偏碱性,配方Ⅱ呈微酸性,属于中性范围。有机质含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高

15.13 百分点。全氮含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高 0.61 百分点,全磷含量配方Ⅱ比配方Ⅰ高 0.39 百分点;全钾含量配方Ⅰ比配方Ⅱ高 0.31 百分点。总体上 2 种配方基质的有机质含量、氮磷钾含量都比较高。

表 3 不同配方无土栽培基质的化学性状

处理	EC 值 (mS/cm)	pH 值	有机质含量 (%)	全氮含量 (%)	全磷含量 (%)	全钾含量 (%)
配方Ⅰ	1.74	7.80	48.35	1.91	0.61	1.13
配方Ⅱ	3.12	6.73	33.22	1.30	1.00	0.82

2.3 不同配方无土栽培基质浸提液对蔬菜种子萌发的影响

从表 4 可以看出,不同蔬菜种子在 2 种基质浸提液处理下发芽率不同。番茄种子经配方Ⅰ基质浸提液处理后发芽率为 90%,高于配方Ⅱ基质浸提液处理下的发芽率 86%,但番茄种子在配方Ⅰ基质浸提液处理下发芽势为 16%,小于在配方Ⅱ基质浸提液处理下的发芽势 30%;生菜种子在配方Ⅰ基质浸提液和配方Ⅱ基质浸提液处理下发芽势和发芽率相差不大,而且发芽率都达 90% 以上;菜心的种子在配方Ⅰ基质浸提液处理下的发芽率为 96%,高

于在配方Ⅱ基质浸提液处理下的发芽率 88%,而且在 2 种配方基质浸提液处理下菜心种子的发芽势都很高;芥菜的种子在 2 种配方基质浸提液处理下发芽率相差不大,而在配方Ⅱ基质浸提液处理下发芽势要高于配方Ⅰ,相差 12 百分点。发芽指数是种子的活力指标,发芽指数越高,种子活力越高。经配方Ⅰ基质浸提液处理后的番茄种子发芽指数略低于配方Ⅱ,但是生菜、菜心和芥菜的种子发芽指数则高于配方Ⅱ。配方Ⅰ基质浸提液对番茄种子胚根长的影响大于配方Ⅱ。

表 4 不同配方基质浸提液对 4 种蔬菜种子萌发的影响

处理	发芽率(%)				发芽势(%)				发芽指数				胚根长度(mm)			
	番茄	生菜	菜心	芥菜	番茄	生菜	菜心	芥菜	番茄	生菜	菜心	芥菜	番茄	生菜	菜心	芥菜
配方Ⅰ	90	92	96	94	16	58	88	84	10.52	21.12	30.83	28.92	31.6	12.0	14.0	24.8
配方Ⅱ	86	96	88	96	30	60	80	96	11.70	17.00	22.67	24.50	26.8	13.2	19.8	19.6

注:发芽势为处理 3 d 后测定结果,胚根长度为处理 7 d 后测定结果。表 5 同。

2.4 不同配方无土栽培基质对蔬菜种子萌发的影响

从表 5 可以看出。番茄种子在配方Ⅰ的基质中发芽率为 76%,低于该品种的理想发芽率的 85%,在配方Ⅱ的基质中发芽率为 80%,2 种基质中种子发芽率相差不大,但是番茄种子在配方Ⅰ的基质中

发芽势要高于在配方Ⅱ中的发芽势,二者相差 46 百分点;生菜种子在配方Ⅰ基质中的发芽率要低于在配方Ⅱ基质中的发芽率,二者相差 8%;而在配方Ⅰ基质中的发芽势要远远大于配方Ⅱ基质,二者相差 48%;芥菜种子在配方Ⅰ基质中和配方Ⅱ基质中发芽率、发芽势相差不大。虽然配方Ⅱ基质中的 4 种

表 5 不同配方基质对 4 种蔬菜种子萌发的影响

处理	发芽率(%)				发芽势(%)				发芽指数			
	番茄	生菜	菜心	芥菜	番茄	生菜	菜心	芥菜	番茄	生菜	菜心	芥菜
配方 I	76	84	96	90	68	74	92	90	14.58	29.48	37.83	31.67
配方 II	80	92	96	92	22	26	96	88	10.33	13.23	34.67	27.17

蔬菜的种子发芽率大多高于配方 I ,但是配方 I 基质中几种蔬菜种子的发芽指数均大于配方 II 。

2.5 不同配方无土栽培基质对蔬菜幼苗生长的影响

2.5.1 对番茄幼苗生长的影响 从表 6 可以看出,番茄株高、茎粗、地上部干质量、地下部干质量、壮苗指数、根冠比在 2 种基质条件下差异显著,地上部和地下部鲜质量差异不显著。番茄幼苗在配方 II 基质中生长较好,说明配方 II 基质更适合做番茄栽培基质。

2.5.2 对生菜幼苗生长的影响 在 2 种基质条件下,生菜幼苗的株高、茎粗、地下部鲜质量、地下部干质量、壮苗指数差异不显著,地上部鲜质量、地上

部干质量、根冠比差异显著(表 6)。生菜在配方 I 基质中地上部比地下部生长较好,表明配方 I 基质适合栽培生菜幼苗。

2.5.3 对菜心幼苗生长的影响 在 2 种基质条件下,菜心幼苗的株高、茎粗、地上部和地下部鲜质量、地上部干质量、根冠比差异不显著,地下部干质量和壮苗指数差异显著(表 6)。由于配方 I 基质 pH 值偏碱性,不利于菜心幼苗根系生长,导致全株鲜质量偏小。

2.5.3 对芥菜幼苗生长的影响 芥菜在 2 种基质条件下各项生长指标都差异不显著(表 6)。说明 2 种配方基质都适合栽培芥菜。

表 6 不同配方无土栽培基质对 4 种蔬菜幼苗生长的影响

蔬菜种类	基质	株高 (cm)	茎粗 (mm)	地上部鲜质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部干质量 (g)	壮苗指数	根冠比
番茄	配方 I	15.100±0.78b	3.047±0.25b	1.667±0.66a	0.367±0.25a	0.124±0.02b	0.020±0.00b	0.058±0.01b	0.189±0.02b
	配方 II	21.500±1.32a	4.577±0.67a	2.267±0.30a	1.167±0.29a	0.358±0.07a	0.139±0.01a	0.203±0.02a	0.392±0.04a
生菜	配方 I	16.233±0.74a	3.013±0.09a	0.867±0.32b	0.200±0.17a	0.057±0.01b	0.020±0.00a	0.029±0.00a	0.159±0.05b
	配方 II	16.500±0.30a	3.670±0.49a	2.267±0.30a	0.300±0.10a	0.132±0.02a	0.021±0.00a	0.027±0.00a	0.356±0.03a
菜心	配方 I	14.500±0.70a	3.367±0.48a	1.567±0.55a	0.567±0.50a	0.088±0.04a	0.013±0.01b	0.018±0.01b	0.140±0.06a
	配方 II	17.567±0.25a	3.497±0.14a	2.833±0.85a	0.600±0.10a	0.281±0.09a	0.044±0.01a	0.060±0.02a	0.171±0.09a
芥菜	配方 I	15.100±0.78a	3.047±0.25a	1.433±0.25a	0.367±0.25a	0.124±0.02a	0.019±0.01a	0.058±0.01a	0.099±0.02a
	配方 II	15.900±1.18a	3.383±0.23a	1.667±0.66a	0.433±0.15a	0.171±0.06a	0.024±0.01a	0.061±0.03a	0.189±0.06a

注:不同小写字母表示不同配方间差异显著(P<0.05)。

3 讨论与结论

通过试验研究 2 种配方基质对 4 种蔬菜种子萌发和幼苗生长的影响,得出以下结论。

配方 I 的混合基质由炉渣、菇渣、混合药渣、鸡粪、猪粪、磷肥组成(按炉渣:菇渣:混合药渣体积比 6:3:1 比例混合,添加 2 kg/m³ 过磷酸钙、50 kg/m³ 干猪粪、60 kg/m³ 干鸡粪);该配方基质容重在理想范围内,但大小孔隙比偏大,基质材料团粒结构过粗,需要适当进行加工使基质更细一些,才更有利于作物根系的生长。EC 值高,说明基质内含养分丰富;基质 pH 值在 7.3~7.8 范围内,偏碱

性,能明显提高种子发芽率,对蔬菜幼苗生长也有促进作用,适宜作为生菜和芥菜的栽培基质。

配方 II 的混合基质由炉渣、菇渣、玉米秸秆、鸡粪、磷肥(按炉渣:菇渣:混合药渣体积比 6:3:1 比例混合,添加 60 kg/m³ 干鸡粪),该配方基质容重在理想范围内,总孔隙度大,疏松多孔,但大小孔隙比偏大,基质材料团粒结构过粗,需要适当进行加工使基质变细一些。EC 值高,表明基质内含养分丰富,基质 pH 值在 6.7~7.2 范围内,酸碱度适中,能明显提高种子发芽率,对蔬菜幼苗生长都有促进作用,比较适合作为番茄、菜心、芥菜的栽培基质。

刘红芳,陈发波,李文博,等. 胭脂萝卜肉质根生长动态分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):131-136.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.026

胭脂萝卜肉质根生长动态分析

刘红芳^{1,2}, 陈发波^{1,2}, 李文博¹, 向明芳³

(1. 长江师范学院现代农业与生物工程学院,重庆 408100;2. 长江师范学院绿色智慧环境学院,重庆 408100;

3. 重庆市涪陵区江北街道农业服务中心/重庆市涪陵区江北街道办事处,重庆 408000)

摘要: 为了解胭脂萝卜不同生长时期主要形态性状的动态变化过程,测定不同生长时期的肉质根根长、肉质根根粗、肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根含水量、叶鲜质量、色素含量及色素总量等性状。结果表明,8 个性状在不同生长时期均差异极显著,除肉质根含水量外,其余性状生长均呈上升趋势。多数性状在膨大初期至膨大后期增长较快。膨大初期肉质根含水量最高,为 93.28%;抽薹期肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根根粗、肉质根色素总量均达到最大值,分别为 321.166 g、23.616 g、17.567 cm、4.051 g/株;开花期肉质根根长和叶鲜质量达到最大值,分别为 26.051 cm、252.452 g。因此,在膨大初期至膨大后期可以适当施用肥料,以促进胭脂萝卜的生长。抽薹前期多数性状测定值较高,为最适宜的采收期。

关键词: 胭脂萝卜;形态性状;生长动态;肉质根;色素含量

中图分类号: S631.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)09-0131-06

胭脂萝卜 (*Raphanus* L.), 别称红心萝卜,属于十字花科 (Cruciferae) 一年生或二年生根菜类蔬菜,是重庆市涪陵区三大特产之一^[1]。胭脂萝卜质地脆嫩,心皮全红,花青素含量高、易溶于水,适合提

取色素。胭脂萝卜对种植环境条件要求较高,仅分布于涪陵区及邻近县(市)^[2],具有良好的发展前景^[3-4]。近年来,我国学者相继对胭脂萝卜开展研究。在提取萝卜红色素工艺方面,刘海军等研究表明,萝卜红色素提取的最佳条件:料液比为 1 g:1 mL,乙酸浓度为 30%,温度为 40℃,浸提时间为 20 min,需超声波辅助提取^[5]。在遗传育种方面,吕发生等对胭脂萝卜高产制种和亲本繁育进行了研究^[6-8];吴照云等研究了四倍体胭脂萝卜的诱导^[2];陈发波等分析了不同施肥处理对胭脂萝卜主要性状的影响^[1]。在核型方面,沙玉辉等对胭脂萝卜的染色体数目和核型进行了系统的研究分析^[9]。许江等分析了绿皮红心、红皮白心、红皮红心和白

收稿日期:2019-04-22

基金项目:重庆市科委基础与前沿研究项目(编号: cstc2016jcyjA0136);重庆市教委科学技术研究项目(编号: KJ1712302);重庆市科委社会民生项目(编号: cstc2017shms-xdny80074)。

作者简介:刘红芳(1978—),女,甘肃武威人,硕士,讲师,主要从事萝卜遗传育种研究。E-mail:lhongfang@163.com。

通信作者:陈发波,博士,教授,主要从事萝卜遗传育种研究。E-mail:chenfabo963@126.com。

参考文献:

- [1] 苏维词,张中可,滕建珍,等. 发展生态农业是贵州喀斯特(石漠化)山区退耕还林的基本途径[J]. 贵州科学,2003,21(1): 123-127.
- [2] 邸欣月,安显金,董慧,等. 贵州喀斯特区域土壤有机质的分布与演化特征[J]. 地球与环境,2015,43(6):697-708.
- [3] 秦松,范成五,孙锐锋. 贵州土壤资源的特点、问题及利用对策[J]. 贵州农业科学,2009,37(5):94-98.
- [4] 王艳丽. 环刀法测定土壤田间持水量实验结果分析[J]. 地下水,2016,38(2):55-57.
- [5] 李海玲. 土壤 pH 值的测定——电位法[J]. 农业科技与信息,2011(13):47-48.

- [6] 马熠翌,任收讲,高翔宇,等. 快速加热容量法测定土壤有机质含量[J]. 化学分析计量,2018,27(6):110-112.
- [7] 许超. 杜马斯燃烧定氮法快速测定土壤中全氮的方法研究[J]. 现代农业科技,2018(1):187,190.
- [8] 张飞龙. Olsen 法测定土壤中有效磷的方法优化及检测研究[J]. 西藏农业科技,2016,38(4):33-37.
- [9] 孙兰香. 乙酸铵浸提——火焰光度计法测定土壤速效钾[J]. 现代农业科技,2008(17):199-199.
- [10] 孟自力,贾斌,尹海燕,等. 镉胁迫对小麦生长发育的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(23):26-32.
- [11] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [12] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊2):1-4.