

刘燕,张凯鸣,孙萍,等. 添加矿质营养对蚓粪-蛭石育苗基质培育西红柿幼苗的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):153-159.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.029

添加矿质营养对蚓粪-蛭石育苗基质培育西红柿幼苗的影响

刘燕¹, 张凯鸣³, 孙萍¹, 毛伟^{2,3}, 赵海涛³, 居静³

(1. 江苏省扬州市邗江区农产品质量监督检测中心, 江苏扬州 225009; 2. 江苏省扬州市耕地质量保护站, 江苏扬州 225101;

3. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 蚓粪与蛭石 4:1 (体积比) 混合物中添加氮、磷、钾肥复混成育苗基质, 通过温室大棚培育西红柿幼苗, 探究育苗基质对西红柿幼苗生长的影响。结果表明, 蚓粪蛭石按照 4:1 体积混合育苗基质的容重、总空隙度, 持水空隙度显著小于对照基质, 而通气空隙度和气水比显著大于对照基质。蚓粪-蛭石育苗基质中添加氮磷钾有利于西红柿幼苗生长发育, 加入 0.5 kg/m³ 尿素显著增大展宽、株高、根表面积、根直径、根体积、茎叶干质量、根干质量、总干质量和壮苗指数, 1.0 kg/m³ 尿素处理的西红柿幼苗根干质量和根冠比显著大于 0.5 kg/m³ 尿素处理, 同时添加过磷酸钙 10.0 kg/m³、硫酸钾 1.0 kg/m³ 显著增大株高、根干质量和根体积, 混合添加尿素 1.0 kg/m³、过磷酸钙 10.0 kg/m³ 和硫酸钾 1.0 kg/m³ 显著增大西红柿幼苗茎叶发育、根系发育和物质累积分配等各项指标。育苗后, 添加尿素导致基质 pH 值显著下降, 添加过磷酸钙和硫酸钾导致基质 EC 值显著增大, 混合添加尿素 1.0 kg/m³、过磷酸钙 10.0 kg/m³ 和硫酸钾 1.0 kg/m³ 显著增大了基质有效氮含量、速效磷含量和有效钾含量。总之, 蚓粪蛭石按 4:1 体积比混合基质中添加尿素增大西红柿茎叶和根系各指标的效果优于添加过磷酸钙和硫酸钾, 育苗后混合基质的有效氮含量是反映基质质量优劣的重要指标。添加尿素 1.0 kg/m³、过磷酸钙 10.0 kg/m³ 和硫酸钾 1.0 kg/m³ 到 4:1 体积比的蚓粪蛭石混合物最有利于西红柿幼苗的生长发育。

关键词: 蚓粪; 西红柿幼苗; 氮磷钾; 育苗基质

中图分类号: S641.206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)22-0153-07

设施农业因其高科技、高效益、环境可控性强和土地复种指数高等特点, 倍受生产者和农民的欢迎, 呈现继续发展的良好势头^[1], 育苗移栽是提高

设施农业蔬菜栽培效益的重要手段^[2]。育苗基质是蔬菜育苗体系的关键一环, 传统的育苗基质以泥炭为主, 然而泥炭是不可再生资源, 因此发掘经济环保的泥炭替代物料得到越来越多的关注^[3-5]。蚓粪是蚯蚓腔肠消解有机物料的产物^[6-8], 添加蚓粪能够显著提高土壤可溶性碳、碱解氮和速效磷含量, 提高土壤中微生物碳与氮的含量并降低微生物量 C/N^[9]。蚓粪能够显著影响不同品种西红柿幼苗的成苗率、生长率和根冠比^[10], 提高玉米的叶片数、鲜质量、株高和茎粗^[11]。1:1 体积比蚓粪与猪粪配合堆肥能增加氮素供应, 保证幼苗整个生育期

收稿日期: 2020-07-07

基金项目: 扬州市校企合作专项 (编号: YZ2019136); 扬州大学科技创新培育基金 (编号: 2019CXJ090); 扬州大学乡村振兴研究院科研课题 (编号: XH2018415)。

作者简介: 刘燕 (1974—), 女, 江苏扬州人, 高级农艺师, 主要从事耕地质量建设工作。Tel: (0514) 87866415, E-mail: yzhjtf@163.com。

通信作者: 赵海涛, 博士, 教授, 主要从事固体废弃物资源化利用与利用研究。Tel: (0514) 87979615, E-mail: htzhao@yzu.edu.cn。

[20] 柴文臣, 冯志威. 不同基质配比对番茄幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(16): 55-59.

[21] Warncke D D. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method[J]. Hortscience, 1986, 21(2): 223-225.

[22] Manh V H, Wang C H. Vermicompost as an important component in substrate: effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.) [J]. APCBEE Procedia, 2014, 8: 32-40.

[23] Noguera P, Abad M, Puchades R, et al. Influence of particle size on

physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34(3/4): 593-605.

[24] 沈兵, 郭勤, 杨静. 基质持水量对番茄种子萌发及壮苗指数影响[J]. 北方园艺, 1999(1): 3-5.

[25] 宋鹏慧, 权明顺, 王晓燕, 等. 不同有机物料水稻育秧基质的持水性及对水稻秧苗素质的影响[J]. 中国农学通报, 2014(30): 217-221.

的养分供应^[12]。4∶1 体积比的高温处理后蚓粪与蛭石均匀混合后有利于育苗辣椒形成壮苗^[13]。现有研究表明,蚓粪是一种良好的育苗基质材料,可以增加土壤质量和降低养分流失,促进植物生长,是替代泥炭的好材料^[14-16]。在穴盘育苗中,育苗基质不但需要具有适宜的孔性、持水性和缓冲性等性质特征以营造良好的根系生长环境,同时需要持续提供大量矿质营养物质才能有效培育壮苗^[17]。但是基质中添加矿质营养物质会增加可溶性盐含量,常对幼苗生长产生不利影响,严重时导致幼苗死亡,现有研究主要集中在蚓粪与蛭石、珍珠岩等调节理化性质物料的配比上,鲜见蚓粪基质中添加氮磷钾等矿质营养物质对幼苗生长发育的影响研究。本研究通过 4∶1 体积比蚓粪与蛭石混合调节西红柿育苗基质物理性状后,添加不同量矿质营养,分析西红柿幼苗系统发育特征,探究蚓粪基质中有效养分供应的壮苗机制,促进蚓粪资源化利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蚓粪通过“太平二号”蚯蚓消解奶牛粪获取^[18];供试蛭石粒径为 2~3 mm,来自连云港;尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 16%)、硫酸钾(K₂O 60%);供试西红柿品种为“金冠 5 号”。蚓粪和基质性质见表 1。

表 1 蚓粪和普通基质的理化性质

指标	指标值	
	蚓粪	基质
总氮含量(g/kg)	7.24	2.56
总磷含量(g/kg)	15.61	10.05
有效氮含量(g/kg)	3.19	0.66
有效磷含量(g/kg)	2.92	0.46
有效钾含量(g/kg)	0.66	0.49
pH 值	7.02	7.27
EC 值(mS/cm)	0.53	0.42

1.2 试验设计

试验设 6 个处理和 1 个对照,取新鲜蚓粪过 1 cm 筛,与蛭石按照 4∶1 的体积比充分混合作为西红柿育苗基质(F1 处理),其他 5 个处理均在基质中添加不同的矿质养分,以普通基质为对照处理(CK)。各处理见表 2。添加矿质养分充分混匀静置 24 h 使用。育苗试验在扬州市区菜篮子基地进行,2018 年 12 月 25 日催芽,次年 1 月 10 日移植小

苗,采用 50 穴方格穴盘(穴孔的长、宽和高依次为 5.5、8 cm)移栽,每穴移植 1 株西红柿苗。试验每小区含 8 个穴盘,每小区重复 4 次。2 月 20 日西红柿苗符合商品苗要求,采样测定分析。

表 2 育苗基质中矿质养分添加种类与含量

处理	尿素含量 (kg/m ³)	过磷酸钙含量 (kg/m ³)	硫酸钾含量 (kg/m ³)
F1	0	0	0
F2	0.5	0	0
F3	1.0	0	0
F4	0	10.0	1.0
F5	0.5	10.0	1.0
F6	1.0	10.0	1.0

1.3 测定项目与方法

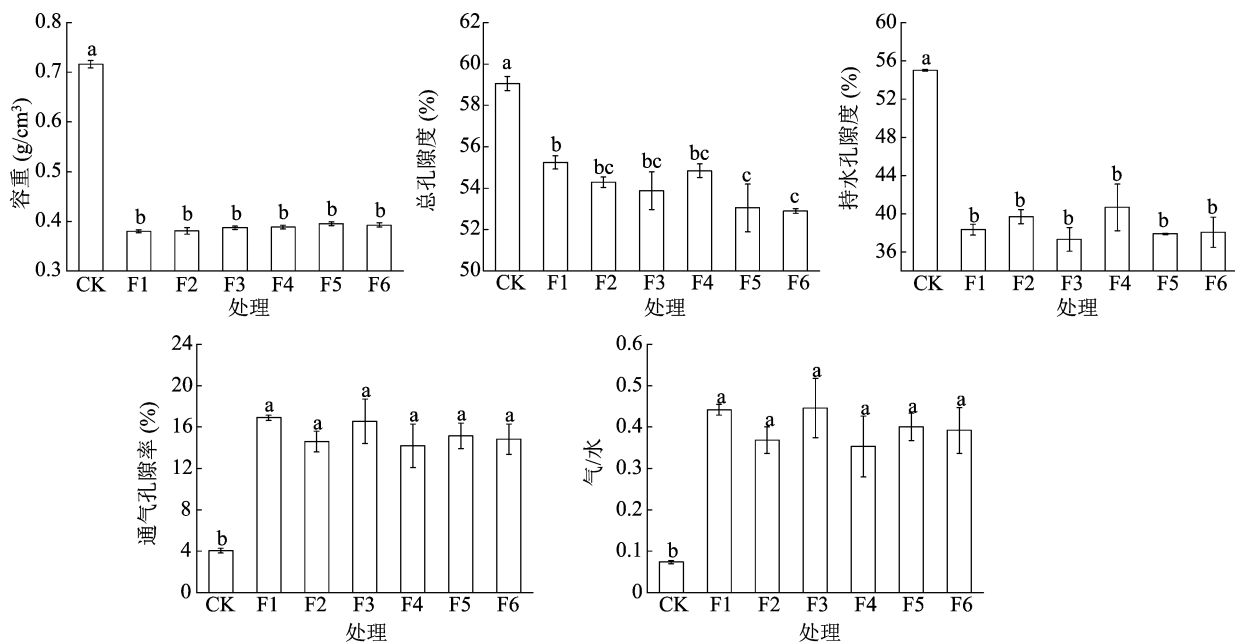
本试验主要测定基质基本理化性质、西红柿苗的茎叶发育特征、幼苗根系发育特征、幼苗物质分配。采用 Gabriels 等提出的方法测定基质的容重、持水孔隙度、通气孔隙率和气水比^[19-20]。采用碱解扩散法测定有效氮含量,醋酸铵溶液浸提火焰光度法测定有效钾含量,碳酸氢钠浸提、钼锑抗比色法测定有效磷含量,氯化钾浸提法、pH 计直接测定 pH 值,纯净水(水土比 1∶5)浸提、电导仪直接测定 EC 值^[21]。幼苗展宽、株高、茎粗、叶片数、叶绿素、根长、根表面积、根直径、根体积、干质量等指标测定,以及根/冠和壮苗指数计算等依照赵海涛等采用的方法^[22]。

数据差异显著性使用 Duncan’s 法检验,相关性分析采用 Person 法。

2 结果与分析

2.1 育苗前基质基本物理性质特征

图 1 表明,4∶1 体积比蚓粪与蛭石混合处理基质 F1 至 F6 的容重、总孔隙度,持水孔隙度显著小于 CK($P<0.05$),而通气孔隙率和气水比显著大于 CK($P<0.05$)。F1 处理至 F6 处理间的容重、持水孔隙度、通气孔隙率和气水比差异不显著,F1 处理的总孔隙度显著大于 F5 处理和 F6 处理($P<0.05$)。可见,4∶1 体积比蚓粪与蛭石混合育苗基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度显著小于对照基质($P<0.05$),而通气孔隙度和气水比显著大于对照基质($P<0.05$)。说明添加尿素 0.5~1.0 kg/m³、过磷酸钙 10.0 kg/m³ 和硫酸钾 1.0 kg/m³ 对混合基质 F2 处理至 F6 处理的容重、持水孔隙度、通气孔隙度



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同

图1 基质基本物理性质特征

和气水比无显著影响,但对总孔隙度有明显影响。

2.2 西红柿幼苗茎叶发育特征

图2表明,F1处理和CK的展宽、茎粗、叶片数和叶绿素含量差异不显著,CK株高显著大于F1处理($P < 0.05$)。F2处理和F6处理的幼苗展宽显著高于其他处理($P < 0.05$),F4处理的幼苗展宽最小;F6处理的幼苗株高最高,F1处理的幼苗株高最小;F2处理、F5处理和F6处理的幼苗茎粗显著大

于F4处理;F6处理的幼苗叶片数最多,CK处理的幼苗叶片数最少;F4处理的幼苗叶绿素含量最高,与F2处理和F6处理差异不显著,F5处理的叶绿素含量最低。F2处理和F3处理间的幼苗株高、茎粗、叶片数和叶绿素含量差异不显著,F2处理的展宽显著高于F1处理($P < 0.05$)。F4处理的幼苗叶片数显著小于F3处理($P < 0.05$),但F4处理的叶绿素含量显著大于F3处理($P < 0.05$)。

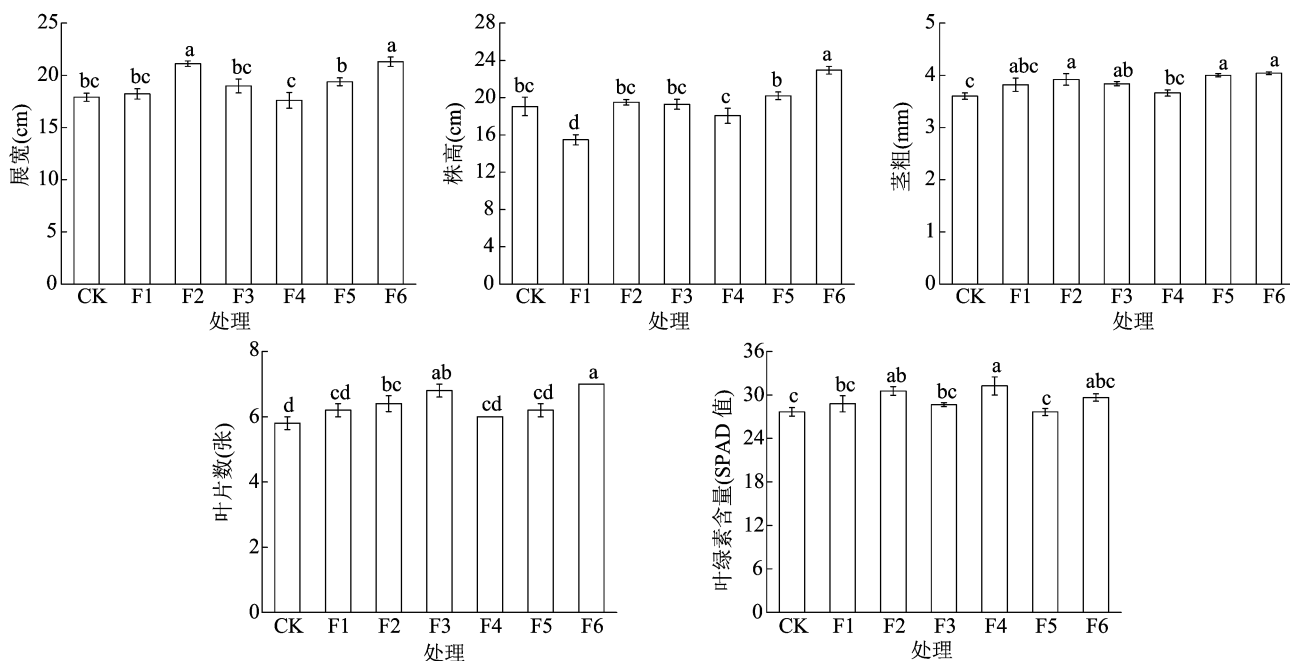


图2 西红柿幼苗茎叶发育特征

2.3 西红柿幼苗根系发育特征

由图 3 可知,F1 处理的根系各评价指标与 CK 间差异不显著。F6 处理的根长、根表面积和根体积最高,F3 处理的根粗最大。F3 处理根表面积和根

体积显著大于 F2 处理($P<0.05$),F4 处理的根长、根表面积、根粗和根体积都显著小于 F3 处理($P<0.05$),根体积显著高于 F1 处理($P<0.05$)。

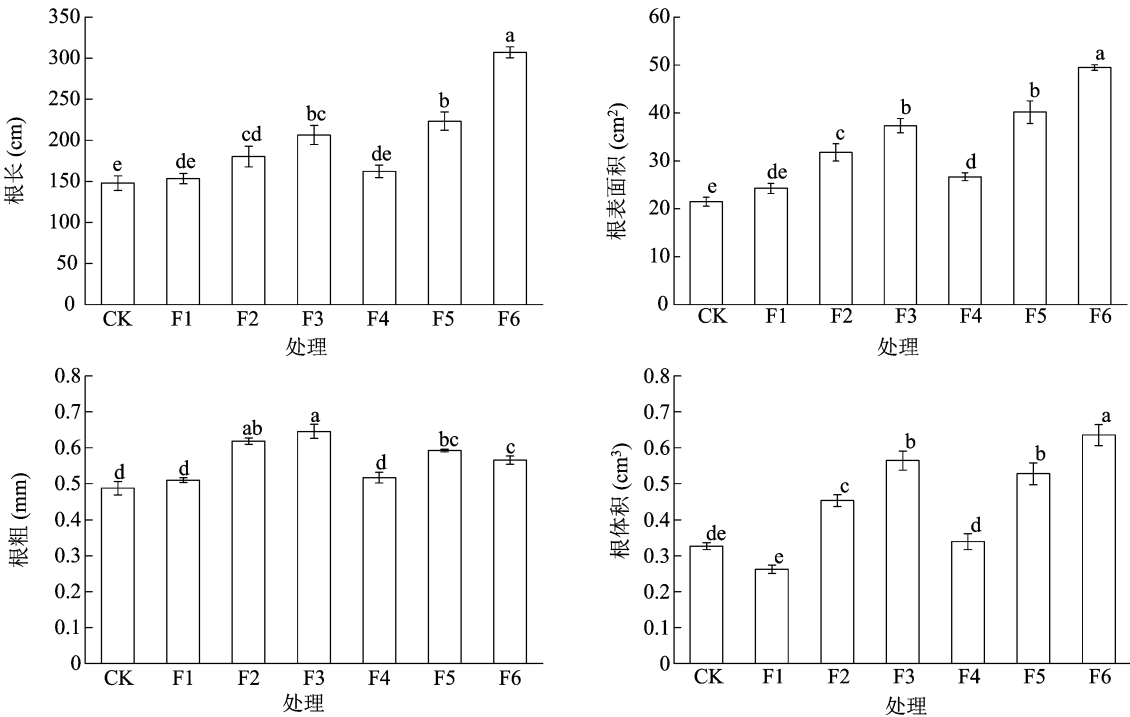


图3 西红柿幼苗根系发育特征

2.4 西红柿幼苗物质代谢与分配特征

图 4 表明,F1 处理的总干质量、茎叶干质量和根干质量显著小于 CK($P<0.05$),而 F1 处理与 CK 根冠比无显著差异。在各蚓粪-蛭石育苗基质 F1 处理至 F6 处理中,F6 处理的幼苗各器官干质量显著高于其他处理,F4 处理和 F1 处理的总干质量和茎叶干质量最小,F1 处理的根干质量最小,F1 处理和 F2 处理的根冠比最小。F2 处理的茎叶干质量显著高于 F3 处理($P<0.05$),F3 处理的根干质量和根冠比显著高于 F2 处理($P<0.05$)。F3 处理的茎叶干质量、根干质量、总干质量和根冠比都显著高于 F4 处理($P<0.05$)。

2.5 育苗后基质基本性质特征

图 5 表明,育苗后 F1 处理的 pH 值显著小于 CK($P<0.05$),而 EC 值、有效氮含量、速效磷含量和有效钾含量显著大于 CK($P<0.05$)。在各蚓粪-蛭石育苗基质 F1 处理至 F6 处理中,F1 处理的 pH 值,F4 处理的 EC 值,F3 处理和 F6 处理的有效氮含量,F4 处理、F5 处理和 F6 处理的有效磷含量,F5 处理和 F6 处理的有效钾含量显著高于其他处理

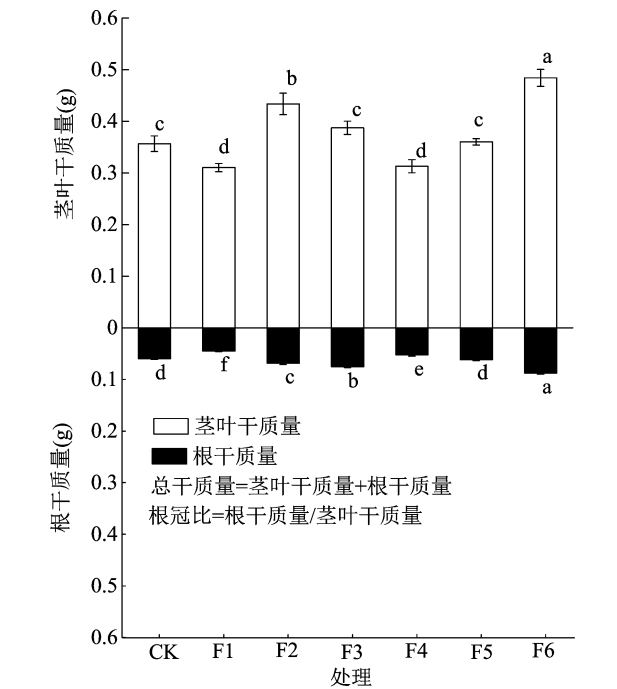


图4 西红柿幼苗物质代谢与分配特征

($P<0.05$)。F2 处理的 pH 值和有效磷含量显著大于 F3 处理($P<0.05$),而 F3 处理的有效氮含量显

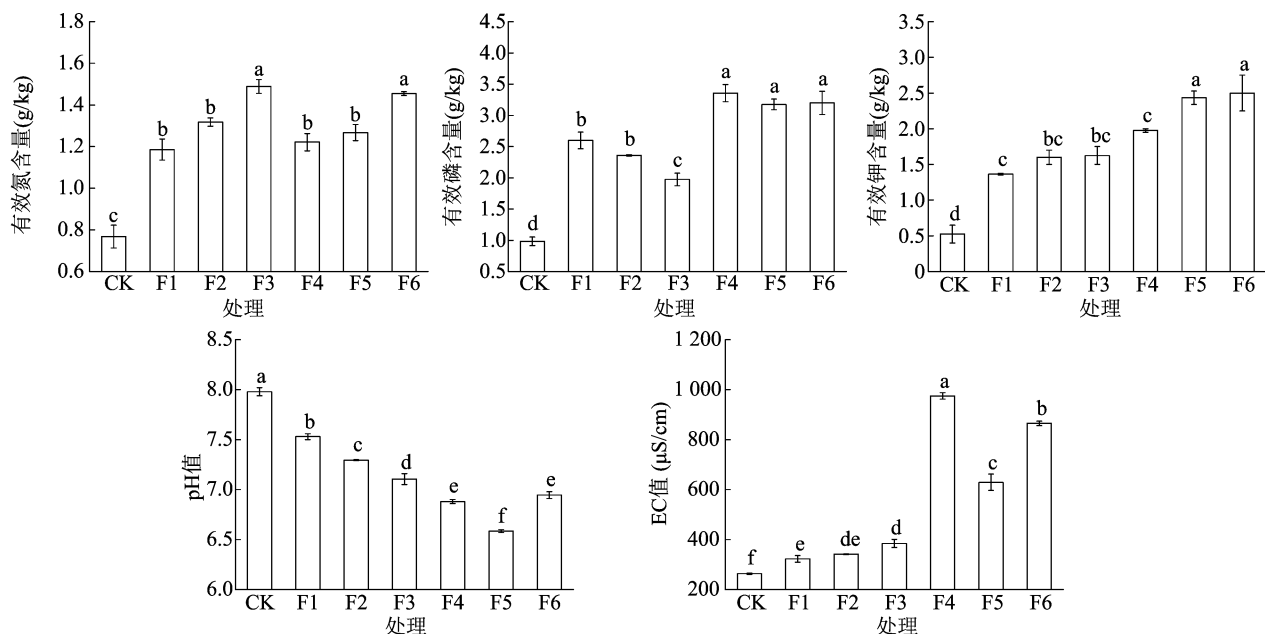


图5 育苗后蚓粪-蛭石育苗基质 pH 值、EC 值和有效氮磷钾含量变化特征

著大于 F2 处理 ($P < 0.05$)。F4 处理的 pH 值和有效氮含量显著小于 F3 处理 ($P < 0.05$), 而 EC 值和有效磷含量显著大于 F3 处理 ($P < 0.05$)。

2.6 西红柿幼苗壮苗指数特征

图 6 表明, F1 处理的壮苗指数与 CK 无显著差异, F6 处理的壮苗指数最高。由表 3 可知, 壮苗指数能够更加科学地评价蚓粪-蛭石育苗基质育苗中西红柿幼苗的发育特征, 壮苗指数与幼苗的展宽、株高、茎粗、叶片数、茎叶干质量、根干质量、根冠比、根长、根表面积、根粗、根体积呈极显著正相关, 与叶绿素含量呈显著正相关。图 6 还表明, 育苗后基质的 pH 值、EC 值, 以及有效氮、磷、钾含量与西红柿幼苗的壮苗指数呈二元相关关系。其中, pH 值与壮苗指数呈二元负相关, R^2 为 0.480; EC 值、有效氮含量、有效磷含量和有效钾含量与西红柿幼苗的壮苗系数呈二元正相关, R^2 为分别为 0.056、0.833、0.236 和 0.595, 育苗后基质的有效氮含量与西红柿幼苗的壮苗指数相关性最大。

3 讨论与结论

基质的理化性质好坏是育苗基质能否培育壮苗的基础, 育苗基质的容重在 $0.2 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$, 总孔隙度在 54% 以上, 气水比为 1 : (3~4) 为宜^[23]。本研究表明, 对照基质的容重显著高于蚓粪-蛭石育苗基质, 但容重值都在适宜值范围内; 对照基质的总孔隙度为 59%, 蚓粪-蛭石育苗基质的孔隙度为

55%, 都在适宜孔隙度范围内。虽然同时添加矿质营养物质导致基质总孔隙度降低, 但效果不显著; 对照基质的气水比为 0.074, 低于适宜范围, 而蚓粪-蛭石育苗基质的气水比为 0.442, 高于适宜范围, 表明蚓粪-蛭石育苗基质的通气性显著优于对照基质。蚓粪-蛭石育苗基质持水孔隙度显著低于对照基质, 但蛭石和蚓粪本身能够含蓄大量的水分, 可以部分弥补蚓粪-蛭石育苗基质持水孔隙度较低的缺点。在后续研究中可以通过改变蚓粪和蛭石粒径, 添加其他物料等方式进一步探讨调整混合基质的气水比。

国内外学者开展了大量研究探讨蚓粪作为育苗基质原料进行资源利用的可行性, 认为蚓粪与其他物料混合后更有利于幼苗发育。在温室育苗中, 添加 25% ~ 50% 体积比蚓粪可以显著提高西红柿苗的生长量^[24-25]。本研究将蚓粪与蛭石按照 4 : 1 体积比混合后用于西红柿育苗, 发现蚓粪-蛭石育苗基质中西红柿幼苗的展宽、茎粗、叶片数、叶绿素含量、根长、根冠比等大部分幼苗生长发育评价指标, 以及壮苗指数与对照基质均无显著差异。

在穴盘育苗中, 幼苗出现缺素症表明幼苗的生长发育已经受到严重抑制, 对壮苗形成明显不利, 因此基质中矿质营养物质丰富性和持续性显著影响幼苗的生长发育。但是过多的肥料混入经常会导致种子不萌发或幼苗大量死亡, 影响幼苗培育。蚓粪性质优良^[16], 向蚓粪中添加适量矿质营养物质

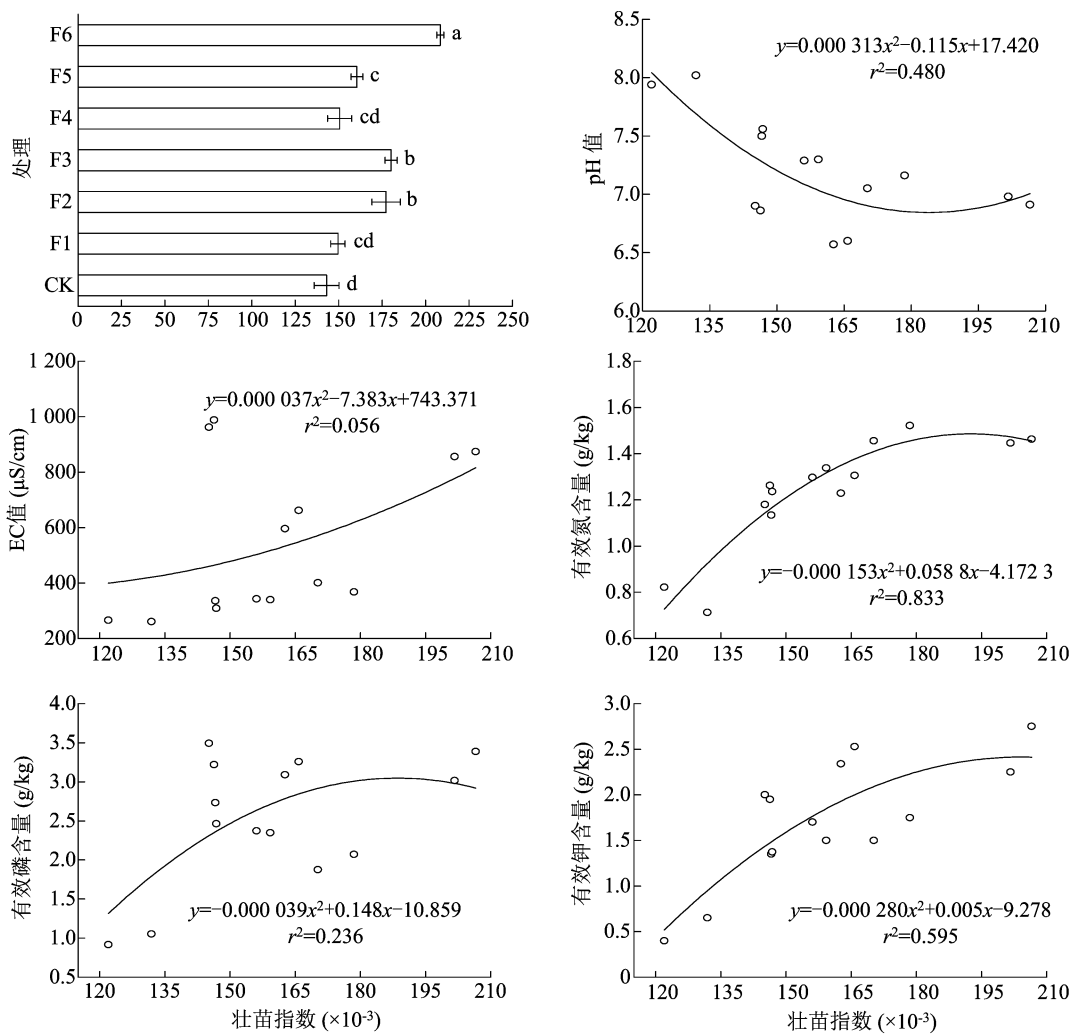


图6 西红柿幼苗壮苗指数特征及壮苗指数与育苗后基质基本性质指标的相关性分析

表3 壮苗指数与幼苗发育评价指标相关性分析

指标	与壮苗指数的相关系数
展宽 (cm)	0.773 **
株高 (cm)	0.757 **
茎粗 (mm)	0.700 **
叶片数 (No.)	0.760 **
叶绿素含量 (SPAD)	0.367 *
茎叶干质量 (g)	0.812 **
总干质量 (g)	0.824 **
根干质量 (g)	0.862 **
根冠比	0.442 **
根长 (cm)	0.868 **
根表面积 (cm^2)	0.848 **
根粗 (mm)	0.561 **
根体积 (cm^3)	0.857 **

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平双侧检测显著相关。

既可以提供充足持续的养分供应,也不会对幼苗生长产生不利影响。育苗基质的 pH 值以 5.8 ~ 7.0 为宜^[23],本研究表明,育苗后添加氮磷钾肥料的蚓粪-蛭石育苗基质的 pH 值偏中性,可以促进幼苗的生长发育。添加 1.0 kg/m³ 尿素显著增加了育苗后蚓粪-蛭石育苗基质的 EC 值,而所有添加过磷酸钙 10.0 kg/m³ 和硫酸钾 1.0 kg/m³ 处理的 EC 值显著高于添加 1.0 kg/m³ 尿素。可见,添加过磷酸钙和硫酸钾增加基质 EC 值的效果显著优于添加尿素。基质的 EC 值较大表明基质中营养盐含量丰富,这一方面有利于植物吸收矿质营养,但另一方面过高的 EC 值会对植物根系产生盐胁迫,严重时抑制根系生长,继而影响幼苗发育。本研究中, F4 处理的根冠比和壮苗指数显著小于 F3 处理,可见,添加磷钾肥和氮肥虽然都能提供矿质营养,但是过量添加磷钾肥导致育苗基质的 EC 值过高,对幼苗根系产生胁迫,影响幼苗根系发育,继而影响幼苗

物质累积分配和茎叶生长。本研究发现,添加尿素增大西红柿茎叶和根系各指标的效果优于添加过磷酸钙和硫酸钾。同时加入尿素、过磷酸钙和硫酸钾(F6 处理)最有利于西红柿幼苗各评价指标的增大,其原因是矿质营养均衡供应有利于作物生长。

西红柿幼苗的壮苗指数与茎叶发育、根系发育和物质累积分配等指标都呈显著正相关。育苗后蚓粪-蛭石育苗基质的有效氮、有效磷和有效钾含量对比对照基质有明显提高,大量持续的有效氮磷钾供应是蚓粪-蛭石育苗基质促进西红柿幼苗生长的重要原因。相关分析表明,育苗后蚓粪-蛭石育苗基质的有效氮含量、有效磷含量和有效钾含量和西红柿幼苗的壮苗指数呈正相关,有效氮含量的 R^2 为 0.833,明显大于有效钾和有效磷,基质的有效氮含量是反映基质质量优劣的重要指标。

蚓粪-蛭石育苗基质中添加尿素增大西红柿茎叶和根系各指标的效果优于添加过磷酸钙和硫酸钾。壮苗指数能够较好地评价蚓粪-蛭石育苗基质育苗中西红柿幼苗的发育特征,使用后混合基质的有效氮含量是反映基质质量优劣的重要指标。添加尿素 1.0 kg/m^3 、过磷酸钙 10.0 kg/m^3 和硫酸钾 1.0 kg/m^3 到 4:1 体积比的蚓粪蛭石混合物中(F6 处理)显著降低了混合基质的总孔隙度,最有利于西红柿幼苗生长发育。

参考文献:

- [1]郭世荣,孙 锦,束 胜,等. 我国设施园艺概况及发展趋势[J]. 中国蔬菜,2012(18):1-14.
- [2]陈殿奎. 我国蔬菜育苗的现状问题及发展趋势[J]. 中国蔬菜,2000(6):1-3.
- [3]Shober A L, Wiese C, Denny G C, et al. Plant performance and nutrient losses during containerized landscape shrub production using composted dairy manure solids as a peat substitute in substrate[J]. HortTechnology, 2011, 21(2):240-245.
- [4]Ekland Y, Rämert B, Wivstad M. Evaluation of growing media containing farmyard manure compost, household waste compost or chicken manure for the propagation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) transplants[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 2001, 19(2):157-181.
- [5]Hashemimajd K, Kalbasi M, Golchin A, et al. Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27(6):1107-1123.
- [6]Suthar S. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(5):914-920.
- [7]Doninguez J, Edwards C A, Subler S. Comparison of vermicomposting and composting[J]. BioCycle, 1997, 38(4):57-59.
- [8]Subler S, Edwards C A, Metzger J D. Comparing vermicomposts and composts[J]. BioCycle, 1998, 39(7):63-66.
- [9]张 池,陈旭飞,周 波,等. 不同比例蚓粪对旱地土壤微生物学特性以及酶活性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(1):118-124.
- [10]Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112(2):191-199.
- [11]Gutiérrez - Miceli F A, Moguel - Zamudio B, Abud - Archila M, et al. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(15):7020-7026.
- [12]陈毛华,韦 中,徐阳春. 蚓粪配合不同堆肥对不结球白菜育苗及生长的影响[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(2):73-78.
- [13]赵海涛,车 玲,姜 薇,等. 高温处理与添加物料对蚓粪基质培育辣椒壮苗的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2):380-388.
- [14]Jouquet E P, Bloquel E, Doan T T, et al. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? [J]. Compost Science & Utilization, 2011, 19(1):15-24.
- [15]Bachman G R, Metzger J D. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(8):3155-3161.
- [16]Edwards C A, Burrows I. The potential of earthworm compost as plant growth media[M]//Edward C A, Neuhauser E F. Earthworms in Waste and Environmental Management, The Hague: SPB Academic Publishing, 1988:211-220.
- [17]唐玉新,曲 萍,陆岱鹏,等. 适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6):1342-1348.
- [18]赵海涛,狄 霖,刘 平,等. 蚯蚓生物床工程处理对牛粪性质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9):255-259.
- [19]Gabriels R, Keirsbulck W, Engels H. A rapid method for the determination of physical properties of growing media[J]. Acta Hort, 1992, 342:243-248.
- [20]Inbar Y, Hadar Y, Chen Y. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity[J]. Journal of Environmental Quality, 1993, 22(4):31-46.
- [21]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [22]赵海涛,李天鹏,姚 旭,等. 堆置与添加蛭石对污泥蚓粪培育茄子幼苗的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(23):4638-4649.
- [23]崔秀敏,王秀峰. 蔬菜育苗基质及其研究进展[J]. 天津农业科学, 2001, 7(1):37-42.
- [24]Atiyeh R M, Edwards C A, Subler S, et al. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth[J]. Bioresource Technology, 2001, 78(1):11-20.
- [25]齐露露,姚 旭,李季蔓,等. 添加蚓粪和蛭石对菇渣育苗基质培育番茄幼苗的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(18):54-58.