

蚯蚓粪基质中添加菌根真菌和混合矿物对西瓜苗期生长的影响

夏思瑶 王冲* 王新宇 薛瑞 刘萌丽

(中国农业大学 资源与环境学院/生物多样性与有机农业北京市重点实验室,北京 100193)

摘要 为探究蚯蚓粪基质中添加菌根真菌和混合矿物对西瓜苗期生长的影响,于2018年10—11月在中国农业大学温室内进行盆栽试验,设置4个处理,分别为:CK(接种灭菌菌根真菌)、AM(接种菌根真菌)、KW(添加混合矿物并接种灭菌菌根真菌)、AM+KW(添加混合矿物并接种菌根真菌),42 d后采样测定基质养分含量、西瓜幼苗生物量、叶绿素含量以及根系生长指标。结果显示:在蚯蚓粪中添加混合矿物可以将基质容重降低42.18%,并显著提高基质的全氮、速效磷的含量($P<0.05$),进而促进西瓜幼苗地下部的养分吸收,其中对Ca、Fe以及Mg的吸收量分别增加了60.97%、21.21%以及84.52%。同时接种菌根真菌和添加混合矿物可以显著增加西瓜幼苗的赤霉素含量($P<0.05$),进而显著提高西瓜幼苗的地下部鲜重和根长($P<0.001$)。综上所述,在蚯蚓粪中添加混合矿物及接种菌根真菌可以改善西瓜幼苗的根系生长和养分吸收,最终促进西瓜幼苗生长。

关键词 养分吸收; 生长激素; 生物量; 微量元素

中图分类号 S899.8

文章编号 1007-4333(2020)02-0044-10

文献标志码 A

Effects of additional mycorrhizal fungi and mixed minerals in vermicompost substrate on the growth of watermelon seedlings

XIA Siyao, WANG Chong*, WANG Xinyu, XUE Rui, LIU Mengli

(China Agricultural University College of Resources and Environmental Science/Beijing Key Laboratory of Biodiversity and Organic Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract A microcosm experiment was conducted to investigate the effects of mycorrhizal fungi and mixed minerals in vermicompost substrate on watermelon seedling growth. Pot experiment was carried out in greenhouse of China Agricultural University from 16 October to 27 November 2018. Four treatments were designed as follows: CK (inoculating sterilized mycorrhizal fungi), AM (inoculating mycorrhizal fungi), KW (adding mixed minerals and inoculating sterilized mycorrhizal fungi), AM + KW (adding mixed minerals and inoculating mycorrhizal fungi). After harvesting, the basal nutrient content, biomass, chlorophyll content and root growth index of watermelon seedlings were determined. The results indicated that the addition of mixed minerals in vermicompost decreased the bulk density by 42.18%, while significantly increased the total nitrogen and available phosphorus ($P<0.05$), which promoted plant's uptake of Ca, Fe and Mg in root by 60.97%, 21.21% and 84.52%, respectively. Adding mycorrhizal fungi and mixed minerals to the vermicompost significantly increased the gibberellin content of watermelon seedlings ($P<0.05$) and improved the root fresh weight ($P<0.001$). In summary, adding mixed minerals and inoculating mycorrhizal fungi to vermicompost could improve the root growth and the nutrient uptake in the watermelon seedlings, thus promoted the biomass of watermelon seedlings.

Keywords nutrient absorption; growth hormone; biomass; trace elements

收稿日期: 2019-04-24

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFE0101100)

第一作者: 夏思瑶, 硕士研究生, E-mail: 1287618116@qq.com

通讯作者: 王冲, 教授, 主要从事土壤生态学研究, E-mail: wangchong@cau.edu.cn

西瓜原产非洲赤道附近和地中海地区^[1],是我国重要的高效园艺作物^[2],也是深受我国消费者喜爱的水果之一,常年种植面积达到130万 hm^2 之多^[3]。科学的施肥以及良好的土壤条件对于植物生长以及品质的提高都有重要的影响^[4]。但是目前大部分农户种植西瓜的过程中为了追求高产量,获得较高的经济收益,出现了许多问题,例如化肥使用量的超标、土壤连作障碍、产量品质下降以及环境遭到破坏等^[5-6]。设施内作物是在人为创造的环境条件下生长的,很难满足作物生长的需要,轮作倒茬也比较困难,造成作物单产低,病虫害发生严重,制约了设施农业的发展和提高^[7]。而轻基质穴盘育苗具备成苗率高、苗齐、节本节种、根系活力强、苗期不易感病、便于操作和运输、产量高等优点,已开始应用于西瓜栽培^[8]。育苗基质不仅是幼苗生存的场所,还具有支撑、营养作物的基本功能。好的基质必须提供安全的锚定,足够的营养物和水,允许氧气分散到根部,并允许根部内外的气体交换^[9-11]。

蚯蚓粪是一种黑色、均一,具有自然泥土味的小颗粒物质,具有很好的孔性、通气性以及排水性,并且能够增加土壤孔隙度,促进土壤中大团聚体的生成^[12]。同时,蚯蚓粪中还含有大量的氮磷钾等养分,在植物的生长发育过程中起着重要的作用^[13]。与普通有机肥相比,蚯蚓粪具有养分吸持能力强,可有效改良土壤结构、抑制土传病虫害等优点。李思童等^[14]研究表明,以蚯蚓粪为主要成分的育苗基质能够增加土壤速效养分及有机质含量,提高土壤酶活性及微生物数量。用6000 kg/hm^2 鸡粪+600 kg/hm^2 化肥+24000 kg/hm^2 蚯蚓粪的复合基质可以提高黄瓜的株高、茎粗和叶片数,且均与产量呈正相关;果实的可溶性固形物含量与可溶性蛋白、维生素C(Vc)和可溶性糖含量均呈极显著正相关($P<0.01$)^[15]。除此之外,添加蚯蚓粪之后的育苗基质对番茄^[16]、烤烟^[17]和苹果^[18]等产量和品质都有一定的促进作用。目前的研究都是将蚯蚓粪与其他肥料进行混合,作为化肥的替代肥料进行使用,但是操作相对较为复杂且对比例的控制较为严格。

菌根真菌是大多数陆地生态系统中常见的真菌,与大多数植物有着密切的关系^[19],可以为70%~90%的植物物种提供磷和氮^[20],促进植物的生长。有研究表明^[21],菌根真菌能提高番茄幼苗期的生长、果实中所含维生素C及可溶性糖的含量,进而提高番茄产量和品质。吴亚胜等^[22]研究发现,

菌根真菌能显著促进辣椒幼苗的生长,提高辣椒幼苗的菌根侵染率,有利于幼苗根系对矿物元素的吸收。而珍珠岩是良好的栽培基质成分,使用广泛,它不吸水也不持水,混合后用来增强排水性能或增加通气性;蛭石的持水性与通气性强,可主动进行钠、镁和钙离子等养分交换,缓冲能力强,理化性质良好,大多数中性偏碱,混合后可以改善基质的物理结构,增强基质的排水性,促进植物的生长。

菌根真菌可以提高植物幼苗对于营养元素的吸收,增强植物的抗逆性,而混合矿物的添加可以改善基质的物理结构,但在蚯蚓粪中同时添加2种物质对植物苗期的研究目前还较少。本研究通过在蚯蚓粪中接种菌根真菌以及添加混合矿物调控基质的物理结构,以期探究其对西瓜苗期生长的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

供试蚯蚓粪购买自河北众翔蚯蚓养殖合作社,有机质含量为37.3%,N、P和K含量分别为1.9%、1.6%和1.1%。

供试菌种为 *Funneliformis mosseae* (原菌种名 *Glomus mosseae*, 简称 *F. m*) 引自北京市农林科学院植物营养与资源研究所“丛枝菌根真菌种质资源库(BGC)”,基质中菌剂按照每g土含有103个孢子的量加入。

供试植物为西瓜 (*Zea mays* L., 早春红玉), 选择大小均一、无病虫害的种子,用自来水清洗2~3次后在试验前一天放在湿润纱布上催芽,培养室温度始终维持在22~25 $^{\circ}\text{C}$,黑暗培养,种子萌芽露白时播种。

1.2 试验设计

采用双因素完全随机设计,分为接种和不接种菌根真菌及添加和不添加混合矿物(蛭石+珍珠岩),共设计4个处理,具体情况如下:处理一(编号CK):蚯蚓粪中接种灭菌菌根真菌;处理二(编号AM):蚯蚓粪中接种菌根真菌;处理三(编号KW):蚯蚓粪中同时接种灭菌菌根真菌和添加混合矿物;处理四(AM+KW):蚯蚓粪中同时接种菌根真菌和添加混合矿物;保持4个处理的总养分一致。将蚯蚓粪、蛭石与珍珠岩按照4:1:1的比例均匀混匀后作为育苗基质。

试验用规格为底部直径1cm,穴深9.5cm,口径为4.5cm的穴盘作为培养容器,西瓜种子经提前

浸种、催芽后,选取发芽状况一致种子,每穴播种1粒种子,每处理播种1个穴盘,重复4次,后期浇水管理措施一致。试验在中国农业大学日光温室进行,气温条件为22~28℃(晚上/白天),空气相对湿度为50%。

1.3 样品采集

种植日期从2018年10月16日—11月27日。试验结束后,分别收获西瓜幼苗地上部叶片、地下部根系以及基质土。西瓜幼苗收获后,称生物量后将植物地上部分别装入自封袋后用于植物叶绿素含量的测定。地下部用去离子水洗净后放入4℃冰箱保存用于根系扫描,扫描后,按比例取一定量的根系烘干称重,然后用研钵将整个植株研磨,过0.15 mm筛,用于植物养分的测定。收获基质并过2 mm筛混匀,取出一部分作新鲜样品的相关指标测定,剩余样品风干。

1.4 测定方法

试验对幼苗的叶宽、株高、茎粗、叶片叶绿素含量、鲜(干)重、根长、根表面积、根体积、幼苗养分含量以及基质的相关指标进行测定。叶宽用卷尺测量,以靠近生长点最大叶片的最大横向距离为准;株高使用卷尺测量,从西瓜幼苗基部作为起点到植株主茎生长点;幼苗茎粗使用游标卡尺测量,位置以第1节位偏上部1 cm左右为准;幼苗叶片叶绿素含量采用乙醇提取法进行^[23];将样品植株用清水清洗干净用吸水纸擦干表面水分后测量作为鲜重,将样品

放入通风干燥箱中,105℃下杀青30 min,然后于75℃下烘至恒重后称干重。采用WinRHIZ2003b根系分析系统对根系进行扫描测定总根长、根表面积以及根体积。

基质有机质含量使用碳氮分析仪进行测定;电导率采用电导率仪测定;pH使用pH计测定;有效磷含量及速效钾含量根据《土壤农化分析》进行测定^[24]。

1.5 数据分析

采用Excel 2010软件对试验数据进行前期处理分析,用SPSS(Statistical program for social sciences)19.0统计分析软件进行双因素方差分析(ANOVA),比较处理间的差异性,置信度在95%水平下,用最小显著差数法(LSD)比较各处理之间的差异显著程度,用多因素方差分析2个因素间的交互效应,用Canoca for Windows 4.5 link对数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓粪中接种菌根真菌及添加混合矿物对西瓜幼苗根系生长和养分吸收的影响

2.1.1 对西瓜幼苗根系生长的影响

由表1数据可知,在蚯蚓粪中添加混合矿物、接种菌根真菌能够显著的促进西瓜幼苗的根系生长。单独添加混合矿物的处理(KW),西瓜幼苗的地下部鲜重和干重的增幅分别为60.19%和60.53%,有显著影响($P < 0.001$)。同时添加混合矿物并接种

表1 不同处理对西瓜幼苗根系生长的影响

Table 1 Effects of different treatments on the root growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	地下部鲜重/g Root biomass	地下部干重/g Root biomass	根长/cm Root length	根表面积/cm ² Root surface area	根体积/cm ³ Root volume
CK	8.24±0.56 c	1.14±0.11 b	246.81±19.81 c	16.59±1.05 c	0.09±0 b
AM	8.82±0.31 bc*	1.05±0.07 b*	285.31±21.70 bc	18.90±1.20 bc	0.10±0.01 b
KW	13.20±0.44 a***	1.83±0.16 a	472.80±73.64 a	31.46±4.82 a	0.17±0.03 a
AM+KW	10.01±0.51 b**	1.21±0.07 b***	408.57±45.81 ab***	26.84±2.54 ab	0.15±0.01 a

注:同列不同字母表示处理间差异显著性,差异水平为0.05。CK 蚯蚓粪中接种灭菌菌根真菌,AM 表示蚯蚓粪中接种菌根真菌,KW 表示蚯蚓粪中同时接种灭菌菌根真菌及添加混合矿物,AM+KW 表示在蚯蚓粪中同时接种菌根真菌及添加混合矿物。差异显著水平分别为:*** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。下同。

Note: In each column, values followed by different small letters indicated significant difference at 0.05 levels. CK represents the vermicompost inoculated with sterilized mycorrhizal fungi; AM represents vermicompost inoculated with mycorrhizal fungi; KW represents vermicompost inoculated with sterilized mycorrhizal fungi and mixed minerals; AM+KW represents sterilized inoculated with mycorrhizal fungi and mixed minerals. Significant levels are: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$. The same below.

菌根真菌的处理(AM+KW),地下部鲜重、根长、根表面积及根体积的增幅分别为 21.48%、65.54%、61.78%和 66.67%。双因素方差的结果表明,在蚯蚓粪中同时添加混合矿物及菌根真菌对于西瓜幼苗的地下部总鲜重、干重以及根长的影响表现出显著的交互作用($P<0.001$)。由此可见,基质中添加混合矿物、接种菌根真菌能够显著的促进植物根系的生长($P<0.05$),增加植物的根长、根表面积以及根体积,扩大了根系的吸收范围,提高了植物地下部生物量。

2.1.2 对西瓜幼苗根系养分吸收含量的影响

试验表明,在蚯蚓粪中添加混合矿物可以促进西瓜幼苗根系对 Ca、Fe 和 Mg 等营养元素的吸收,相比单独施用蚯蚓粪的处理增加了 60.97%、21.21%以及 84.52%。接种菌根真菌的处理(AM),植物根系对 P 的吸收显著影响($P<0.05$)。同时添加混合矿物并接种菌根真菌的处理(AM+KW)可以促进西瓜幼苗的养分吸收,但菌根真菌与混合矿物之间没有产生交互作用(表 2)。

表 2 不同处理对西瓜幼苗根系养分吸收的影响

Table 2 Effects of different treatments on nutrient absorption in roots of watermelon seedlings mg/plant

处理 Treatment	Ca	Fe	K	Mg
CK	15.45±0.89 b	0.66±0.08 ab	14.48±0.33 a	3.23±0.13 b
AM	14.44±1.61 b	0.43±0.14 b	18.76±4.75 a	2.71±0.33 b
KW	24.87±1.46 a**	0.80±0.10 a*	21.10±6.38 a	5.96±1.40 a*
AM+KW	16.44±1.42 b	0.86±0.04 a	14.19±0.46 a	3.34±0.07 b

处理 Treatment	Na	P	Zn
CK	0.52±0.09 a	4.64±0.13 b	1.00±0.14 a
AM	0.37±0.05 a	4.11±0.61 b*	0.90±0.07 a
KW	2.16±1.37 a	7.34±1.13 a	1.00±0.36 a
AM+KW	0.61±0.19 a	4.33±0.33 b	0.90±0.18 a

2.2 蚯蚓粪中接种菌根真菌及添加混合矿物对西瓜幼苗地上部生长和激素含量的影响

2.2.1 对西瓜幼苗地上部生长的影响

种菌根真菌能显著提高西瓜幼苗的发芽率,改善西瓜幼苗的株高以及茎粗($P<0.05$),显著的提高西瓜幼苗的地上部的生物量($P<0.001$),促进西瓜幼苗的生长。

表 3 结果表明,在蚯蚓粪中添加混合矿物和接

表 3 不同处理对于西瓜幼苗地上部生长的影响

Table 3 Effects of different treatments on shoot growth of watermelon seedlings

处理 Treatment	发芽率/% Germination percentage	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	地上部鲜重/g Shoot biomass	地上部干重/g Shoot biomass
CK	69.50±2.36 a	11.47±0.46 a	0.09±0 a	29.27±2.24 c	2.63±0.17 c
AM	68.50±3.20 a	11.11±0.68 a	0.15±0.05 a	28.66±3.17 c	2.50±0.28 c
KW	71.50±2.87a	12.27±0.36 a	0.12±0 a	49.49±1.80 a***	4.82±0.31 a***
AM+KW	68.50±3.20 a	11.93±0.56 a*	0.13±0.02 a	41.08±2.41 b	3.95±0.22 b

2.2.2 对西瓜幼苗地上部激素含量的影响

由表4可以看出,在蚯蚓粪中添加混合矿物以及接种菌根真菌可以显著提高西瓜幼苗中赤霉素

($P < 0.01$)、脱落酸($P < 0.001$)的含量。对于西瓜幼苗的赤霉素含量,添加混合矿物并接种菌根真菌之间存在交互作用。

表4 不同处理对西瓜幼苗地上部激素水平的影响

Table 4 Effects of different treatments on hormone levels in shoot of watermelon seedlings ng/g

处理 Treatment	赤霉素 GA3	吲哚乙酸 IAA	脱落酸 ABA	玉米素 ZR
CK	5.21±0.12 b	27.37±0.75 b	81.14±2.31 c	8.04±0.23 c
AM	4.96±0.07 b	28.10±1.07 b	87.70±2.64 bc*	8.97±0.23 b**
KW	5.30±0.10 b**	35.32±1.01 a***	92.81±2.64 ab***	9.45±0.23 b***
AM+KW	6.01±0.22 a**	34.37±0.92 a	97.93±1.88 a	10.35±0.37 a

2.3 接种菌根真菌和添加混合矿物对蚯蚓粪基质的影响

2.3.1 对基质化学性质的影响

与单独施用蚯蚓粪相比,在蚯蚓粪中添加混合矿物的处理可以显著提高基质中有机质含量

($P < 0.001$)、全氮($P < 0.01$)以及有效磷($P < 0.01$)的含量,分别提高了1.5%、2.9%和1.5%,存在显著性差异。而只在蚯蚓粪中接种菌根真菌可以提高基质的有效磷以及速效钾含量,但差异不显著(表5)。

表5 不同处理对于基质的化学性质的影响

Table 5 Effects of different treatments on chemical properties of matrix

处理 Treatment	pH	电导率/(μ S/cm) EC	有机质/(g/kg) Organic matter	全N/(g/kg) Total nitrogen	有效磷含量/ (mg/kg) Available phosphorus	速效钾含量/ (mg/kg) Exchangeable potassium
CK	7.40±0.02 b	165.80±1.66 a	111.11±2.92 a	10.72±0.34 a	252.67±2.28 ab	8.32±0.42 ab
AM	7.44±0.05 b	162.28±1.14 ab	108.31±3.41 a	10.37±0.39 ab	257.75±1.48 a	9.67±1.07 a
KW	7.44±0.02 b	159.50±1.84 b	96.43±2.09 b***	9.10±0.29 c**	238.16±6.64 b**	6.99±0.06 bc***
AM+KW	7.47±0.01 b	161.85±1.22 ab	97.88±3.21 b	9.36±0.34 bc	241.62±7.04 ab	5.79±0.43 c

2.3.2 对基质物理结构的影响

试验结果表明,在蚯蚓粪中添加混合矿物以及接种菌根真菌可以降低基质的容重,说明基质比较疏松,通气性比较好,与单独施用蚯蚓粪相比

有显著性差异($P < 0.001$),降低了42.18%。并且在蚯蚓粪中添加混合矿物以及接种菌根真菌还可以增强基质的孔隙度以及持水性,但差异不显著(表6)。

表6 不同处理对基质物理结构的影响

Table 6 Effects of different treatments on the physical structure of matrix

处理 Treatment	容重/(g/cm ³) Bulk densit	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙/% Ventilation porosity	持水孔隙/% Water-holding porosity
CK	0.64±0.02 a	61.39±1.30 a	2.65±0.56 b	58.75±0.99 a
AM	0.61±0.02 a	62.86±0.66 a	4.71±1.40 ab	58.14±1.73 a
KW	0.37±0.03 b***	62.89±3.62 a	8.74±1.76 a	54.15±2.80 a
AM+KW	0.37±0.02 b	64.67±1.94 a	6.09±2.65 ab	58.58±2.39 a

2.4 基质理化性质对西瓜幼苗生长的影响

通过计算基质理化指标对西瓜幼苗生物量及根系生长的影响发现,对于西瓜幼苗的生物量而言,基质有机质含量>西瓜幼苗 ABA 含量>基质 P 含量>基质总孔隙度>基质 pH>基质通气孔隙度>基

质全 N 含量>基质容重>基质持水孔隙度>基质 K 含量;对于西瓜幼苗的根系生长,基质 P 含量>基质总孔隙度>西瓜幼苗 ABA 含量>基质有机质含量>基质全 N 含量>基质容重>持水孔隙度>基质 K 含量>基质 pH>基质通气孔隙度(表 7)。

表 7 基质理化性质对幼苗生物量和根系生长的影响

Table 7 Effects of matrix physicochemical properties on seedling biomass and root growth

基质理化性质 Physical-chemical properties	幼苗生物量 Seedling biomass		地上部 Shoot				地下部 Root			
	Pillai	Pr(>F)	鲜重 Shoot biomass (Weight)		干重 Shoot biomass (Dry)		鲜重 Root biomass (Weight)		干重 Root Biomass (Dry)	
			AIC	Pr(>F)	AIC	Pr(>F)	AIC	Pr(>F)	AIC	Pr(>F)
ABA	0.872 45	0.238 8	55.559	0.146 6	-26.599	0.141 36	10.445 4	0.825 2	-41.262	0.434 0
SOM	0.898 47	0.192 8	38.398	0.546 3	-34.288	0.240 57	9.998 3	0.944 3	-47.377	0.936 6
TN	0.618 57	0.617 4	42.388	0.386 2	-29.076	0.167 38	9.961 7	0.971 3	-46.974	0.830 3
P	0.865 98	0.250 1	39.100	0.510 2	-38.808	0.339 34	9.972 5	0.961 4	-46.332	0.741 2
K	0.147 13	0.978 4	52.306	0.183 3	-15.891	0.069 70	9.951 9	0.985 5	-46.995	0.834 1
容重	0.493 79	0.756 2	58.758	0.118 2	-18.687	0.083 62	12.254 5	0.633 6	-45.731	0.681 6
pH	0.773 51	0.401 7	52.092	0.186 0	-17.018	0.075 00	10.042 1	0.923 7	-45.537	0.665 1
总孔隙	0.798 16	0.362 9	49.758	0.219 3	-18.248	0.081 25	10.545 8	0.808 6	-47.354	0.926 4
通气孔隙	0.746 15	0.443 3	49.757	0.219 3	-18.249	0.081 26	10.545 7	0.808 6	-47.354	0.926 4
持水孔隙	0.447 50	0.799 7	49.757	0.219 3	-18.248	0.081 25	10.545 8	0.808 6	-47.354	0.926 4

基质理化性质 Physical-chemical properties	根系生长 Root growth		根系形态 Root morphology					
	Pillai	Pr(>F)	根长 Root length		根表面积 Root Surface Area		根体积 Root Volume	
			AIC	Pr(>F)	AIC	Pr(>F)	AIC	Pr(>F)
ABA	0.585 00	0.392 3	146.46	0.419 5	-108.24	0.295 0	58.580	0.376 5
SOM	0.560 85	0.422 7	142.35	0.621 9	-115.92	0.567 4	53.040	0.634 1
TN	0.521 65	0.472 4	143.68	0.540 6	-114.40	0.489 3	54.351	0.548 5
P	0.674 28	0.282 7	152.31	0.265 0	-111.37	0.376 8	60.334	0.327 5
K	0.235 16	0.820 7	142.72	0.597 2	-115.86	0.564 0	53.233	0.617 7
容重	0.502 56	0.496 7	140.55	0.797 6	-118.62	0.805 7	51.217	0.822 4
pH	0.184 70	0.873 0	143.83	0.532 4	-114.91	0.513 6	54.143	0.560 3
总孔隙	0.659 65	0.300 2	141.10	0.729 0	-117.89	0.716 6	51.649	0.760 5
通气孔隙	0.090 63	0.955 0	141.10	0.729 0	-117.89	0.716 6	51.649	0.760 5

注:经 bartlett 检验分析,差异显著水平分别为:*** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05;“·”P>0.05。

Note: By bartlett test analysis, the significant levels of the differences were as follows: *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05;“·”P>0.05.

3 讨论

3.1 矿物质以及菌根真菌的添加对于植物根系生长的影响

本研究表明,在蚯蚓粪中添加混合矿物以及接种菌根真菌可以促进西瓜幼苗地下部的生长(表1)。土壤紧实度对作物生长的影响始于根部对不同容重土壤的反应,容重越大,土壤中氧气含量越低,土壤孔隙越小,根系需要克服土壤阻力而消耗的能量越多,因此土壤容重不同,对根系生长的影响程度不同^[25],试验表明在蚯蚓粪中添加混合矿物以及菌根真菌降低了基质的容重,增加了基质的总孔隙度以及通气孔隙度,促进了根系的生长,这是由于菌根真菌能够与植物根系建立互惠共生体系,可以从宿主植物获取碳水化合物,同时向植物提供土壤中的矿质营养,尤其是磷素^[26]。菌丝穿插进入土壤小孔隙中,显著增加了土壤水稳性,改良了土壤结构^[27],使土壤孔隙溶液中保存更多养分和水分,增加菌根植物从土壤中获取养分潜力^[28]。并且添加菌根真菌的处理降低了基质的持水孔隙度,这是由于菌根真菌可以促进植物养分吸收,改善植物水分代谢,增强植物抗逆性^[29]。有研究表明^[22],在蚯蚓

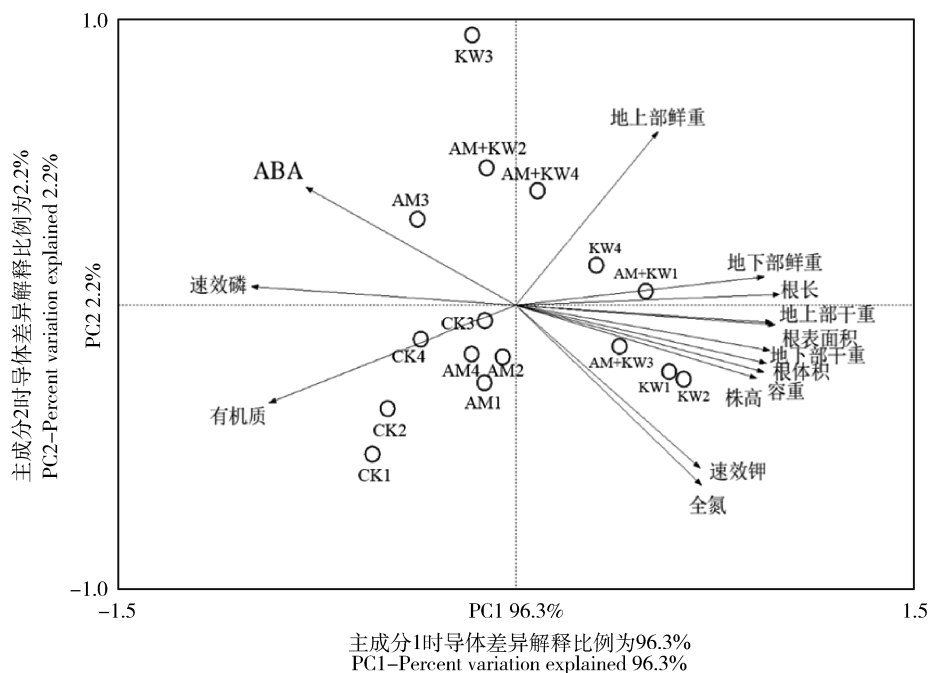
粪中添加菌根真菌可以显著促进植物幼苗的生长,促进幼苗根系对矿物元素的吸收,这与本研究的结果相一致。

3.2 矿物质以及菌根真菌的添加对于植物地上部生长的影响

在蚯蚓粪中添加混合矿物或接种菌根真菌可以提高西瓜幼苗的发芽率,株高以及茎粗,显著增加了西瓜幼苗的生物量(表3)。这是由于接种菌根真菌可以促进植物的养分吸收,提高植物的微量元素含量^[30-31],提高植物的生物量^[32]。蚯蚓粪的添加提高了植物根系总根长、根系表面积和根系体积,扩大了根系的总吸收面积和活跃吸收面积,进一步增强了植株对氮素营养的吸收能力^[33],促进了植物的生长。接种菌根真菌可以促进植物对土壤养分的吸收,提高其生物量^[34]。前人的研究表明接种菌根真菌可以提高玉米、小麦(*Triticum aestivum*)、大豆(*Glycine max*)等主要粮食作物的产量,改善作物营养状况,增强作物对干旱、盐碱等逆境胁迫的抗性^[35-36]。

3.3 蚯蚓粪育苗基质与西瓜幼苗生物量及根系生长的相关关系

如图1所示,西瓜幼苗的地上部生物量以及地



CK、AM、KW、AM+KW 为 4 个处理

CK, AM, KW and AM+KW are the treatments in experiment

图1 不同处理对西瓜幼苗生长指标和基质养分指标影响的PCA分析

Fig. 1 Correlation analysis of effects of different treatments on growth and matrix index of watermelon seedlings

下部生物量与根长、根体积以及根表面积呈显著正相关($P < 0.05$),说明西瓜幼苗根系对于养分吸收含量的提高促进了西瓜幼苗的地上部以及地下部的生长。同时,地上鲜重以及地上干重与有机质含量、全 N 以及容重呈显著负相关($P < 0.05$)。此外,地上部鲜重与有效磷以及速效钾含量呈显著负相关($P < 0.05$)。良好的物理性状是理想基质的必备条件,容重 $0.2 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 、总孔隙度 $55\% \sim 96\%$ 内比较合适。容重过大,说明栽培基质过于紧实,不够疏松,虽然持水性较好,但通气性较差;容重过小,说明栽培基质过于疏松,虽然通气性较好,有利于根系延伸生长,但持水性较差,固定植株的效果较差,浇水时根系易漂浮^[37]。说明西瓜幼苗在有机质、全 N 含量高,容重适合的基质中生长较为适宜。

4 结 论

试验结果表明,在蚯蚓粪基质中添加菌根真菌和混合矿物后,通过降低基质的容重,增强基质的孔隙度和持水性,提高基质中的有机质、全 N 的含量,显著改善了基质的物理结构;而基质物理结构的改善促进了西瓜幼苗的根系生长,提高了植物根系对矿质元素的吸收,最终提高了西瓜幼苗的生物量。因此,本研究结果对蚯蚓粪育苗基质的研究和生产应用具有一定的指导意义。

参考文献 References

- [1] 吴洪生. 西瓜连作土传枯萎病微生物生态学机理及其生物防治[D]. 南京: 南京农业大学, 2008
Wu H S. Microbial ecological mechanism and biological control of soil-borne wilt disease in watermelon continuous cropping [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008 (in Chinese)
- [2] 赵姜. 中国西瓜产业发展的经济学分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013
Zhao J. Economic analysis of watermelon industry development in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013 (in Chinese)
- [3] 朱军, 徐小军, 张桂兰, 牛彤彤, 李梦辉, 王生瑞, 黄家权. 不同化感物质对西瓜幼苗生长的影响, 基因组学与应用生物学, 2018, 37(1): 400-407
Zhu J, Xu X J, Zhang G L, Niu T T, Li M H, Wang S R, Huang J Q. Effects of different allelochemicals on the growth of watermelon seedlings[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2018, 37(1): 400-407 (in Chinese)
- [4] 曹云娥, 李建设, 高艳明, 张雪艳, 陈青云. 不同有机物料对

设施土壤环境和西瓜生长的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(9): 47-51

Cao Y E, Li J S, Gao Y M, Zhang X Y, Chen Q Y. Effects of different organic materials on soil environment and watermelon growth in facilities[J]. *Chinese Vegetables*, 2016(9): 47-51 (in Chinese)

- [5] 李若楠, 张彦, 黄绍文. 节水控肥下有机无机肥配施对日光温室黄瓜-番茄轮作体系土壤氮素供应及迁移影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 119(3): 677-688
Li R N, Zhang Y, Huang S W. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers under water saving and fertilizer control on soil nitrogen supply and transport in cucumber-tomato rotation system in solar greenhouse[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 119(3): 677-688 (in Chinese)
- [6] 郑健, 蔡焕杰, 王燕. 不同供水条件对温室小型西瓜苗期根区土壤水分、温度及生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 35-41
Zheng J, Cai H J, Wang Y. Effects of different water supply conditions on soil moisture, temperature and physiological indexes in root zone of greenhouse small watermelon seedlings [J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2011, 29(3): 35-41 (in Chinese)
- [7] 吕华. 西瓜育苗方法[J]. 农民致富之友, 2014(3): 39-39
Lv H. Watermelon seedling-raising method[J]. *Friends of the Farmers*, 2014(3): 39-39 (in Chinese)
- [8] 毛久庚, 唐懋华, 张燕燕, 王东升, 常义军. 蚯蚓粪在西瓜育苗及栽培上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 145-146
Mao J G, Tang M H, Zhang Y Y, Wang D S, Chang Y J[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2012, 40(2): 145-146 (in Chinese)
- [9] 刘超杰, 郝敬虹, 韩莹琰, 易欣欣, 范双喜. 蔬菜穴盘育苗基质选择及配制[J]. 蔬菜, 2016(8): 50-53
Liu C J, Hao J H, Han Y Y, Yi X X, Fan S X. Selection and formulation of vegetable seedling medium in pot tray [J]. *Vegetables*, 2016(8): 50-53 (in Chinese)
- [10] 刘连明. 浅析容器育苗基质[J]. 南方农业, 2015, 9(24): 68-69
Liu L M. Brief analysis of container seedling matrix [J]. *Southern Agriculture*, 2015, 9(24): 68-69 (in Chinese)
- [11] 刘帅成, 何洪城, 曾琴. 国内外育苗基质研究进展[J]. 北方园艺, 2014(15): 205-208
Liu S C, He H C, Zeng Q. Research progress of seedling-raising substrates at home and abroad[J]. *Northern Horticulture*, 2014(15): 205-208 (in Chinese)
- [12] 胡艳霞, 孙振钧, 程文玲. 蚯蚓养殖及蚓粪对植物土传病害抑制作用的研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 296-300
Hu Y X, Sun Z J, Cheng W L. Research progress on the inhibition of earthworm culture and earthworm manure on plant soil-borne diseases [J]. *Journal of Applied Ecology*,

- 2003, 14(2): 296-300 (in Chinese)
- [13] 陈宝书, 陈本建. 蚯蚓粪营养成分的研究[J]. 草业与畜牧, 1998(3): 22-24
Chen B S, Chen B J. Study on the nutritional composition of earthworm manure [J]. *Grassland and Animal Husbandry*, 1998(3): 22-24 (in Chinese)
- [14] 李司童, 毛凯伦, 韦成才, 袁帅, 穆耀辉, 王平平, 张立新. 蚯蚓粪肥替代部分化肥对连作烟田土壤肥力的影响及评价[J]. 华北农学报, 2018, 33(增刊): 238-245
Li S T, Mao K L, Wei C C, Yuan S, Mu Y H, Wang P P, Zhang L X. Effects and evaluation of earthworm manure replacing part of chemical fertilizer on soil fertility of continuous cropping tobacco fields[J]. *Journal of North China Agriculture*, 2018, 33(S): 238-245 (in Chinese)
- [15] 冯腾腾, 黄怀成, 陈飞, 樊继德, 魏猛. 不同蚯蚓粪施用量对连作黄瓜农艺性状、产量和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(8): 1575-1580
Feng T T, Huang H C, Chen F, Fan J D, Wei M. Effects of different amount of earthworm manure application on agronomic traits, yield and quality of continuous cropping cucumber[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(8): 1575-1580 (in Chinese)
- [16] 吴珏, 李建勇, 刘娜. 蚯蚓粪有机肥对番茄产量、品质和土壤化学性质的影响[J]. 上海农业学报, 2018, 34(4): 16-19
Wu J, Li J Y, Liu N. Effects of earthworm manure organic fertilizer on tomato yield, quality and soil chemical properties [J]. *Shanghai Journal of Agriculture*, 2018, 34(4): 16-19 (in Chinese)
- [17] 李司童. 蚯蚓粪替代部分化肥对土壤性状及烤烟生长与品质的影响[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2018
Li S T. The effect of replacing part of chemical fertilizer with earthworm manure on soil properties and growth and quality of flue-cured tobacco [D]. Yangling: Northwest University of Agriculture and Forestry, 2018 (in Chinese)
- [18] 蔺浩然, 张立新. 不同比例蚯蚓粪配施腐殖酸对土壤酶活性及苹果品质的影响[J]. 西部大开发: 土地开发工程研究, 2017, 2(9): 19-23
Lin H R, Zhang L X. Effects of different proportion of earthworm manure combined with humic acid on soil enzyme activity and apple quality [J]. *Western Development: Land Development Engineering Research*, 2017, 2(9): 19-23 (in Chinese)
- [19] 邹慧, 王春胜, 曾杰. 西南桦幼苗接种丛枝菌根真菌的生长与光合生理响应[J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(4): 383-390
Zou H, Wang C S, Zeng J. Southwest Birch seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2018, 26(4): 383-390 (in Chinese)
- [20] Gao C, Montoya L, Xu L, Madera M, Hollingsworth J, Purdom E, Hutmacher R B, Dahlberg J A, Coleman-Derr D, Lemaux P G, Taylor J W. Strong succession in arbuscular mycorrhizal fungal communities[J]. *Isme Journal*, 2019(13): 214-226
- [21] 孙景梅, 郭子昂. 接种丛枝菌根真菌对番茄生长及果实品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2018(12): 188-191
Sun J M, Guo Z A. Effects of inoculating arbuscular mycorrhizal fungi on tomato growth and fruit quality [J]. *Agricultural Science and Technology Newsletter*, 2018(12): 188-191 (in Chinese)
- [22] 吴亚胜, 王其传, 祁红英, 赵政, 张帅. 育苗基质中添加丛枝菌根真菌菌剂对辣椒幼苗生长和光合参数的影响[J]. 蔬菜, 2018(7): 12-16
Wu Y S, Wang Q C, Qi H Y, Zhao Z, Zhang S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and photosynthetic parameters of pepper seedlings[J]. *Vegetables*, 2018(7): 12-16 (in Chinese)
- [23] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998(10): 68-72
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. *Instruction for Plant Physiology Experiments*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998(10): 68-72 (in Chinese)
- [24] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1980
Bao S D. *Soil Agrochemical Analysis*[M]. 3rd Ed. Beijing: China Agricultural Press, 1980 (in Chinese)
- [25] 刘兆娜, 田树飞, 邹晓霞, 张晓军, 王铭伦, 王月福. 土壤紧实度对花生干物质积累和产量的影响[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2019, 36(1): 34-40
Liu Z N, Tian S F, Zou X X, Zhang X J, Wang M L, Wang Y F. Effects of soil compactness on dry matter accumulation and yield of peanut[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science Edition*, 2019, 36(1): 34-40 (in Chinese)
- [26] Grace E J, Cotsaftis O, Tester M, Smith, F A, Smith, S E. Arbuscular mycorrhizal inhibition of growth in barley cannot be attributed to extent of colonization, fungal phosphorus uptake or effects on expression of plant phosphate transporter genes[J]. *New Phytologist*, 2009, 181(4): 938-949
- [27] 罗珍, 朱敏, 线岩相挂, 张宇亭, 郭涛. 丛枝菌根真菌侵染对紫色土水稳性团聚体特征的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(2): 310-314
Luo Z, Zhu M, Xian Y X W, Zhang Y T, Guo T. Effects of supplementing arbuscular mycorrhizal fungi infection on water-stable aggregates in purple soil[J]. *Soil Bulletin*, 2012, 43(2): 310-314 (in Chinese)
- [28] 屈明华, 俞元春, 李生, 张金池. 丛枝菌根真菌对矿质养分活化作用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 394-405
Qu M H, Yu Y C, Li S, Zhang J C. Research progress of arbuscular mycorrhizal fungi on mineral nutrient activation[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University*,

- 2019, 36(2): 394-405 (in Chinese)
- [29] 张中峰, 张金池, 黄玉清, 杨慧, 罗亚进, 罗艾滢. 丛枝菌根真菌对植物耐旱性的影响研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1607-1612
- Zhang Z F, Zhang J C, Huang Y Q, Yang H, Luo Y J, Luo A Y. Advances in research on effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant drought tolerance [J]. *Journal of Ecology*, 2013, 32(6): 1607-1612 (in Chinese)
- [30] Lehmann A, Veresoglou S D, Rillig M C, Leifheit E F. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in croplands: A meta-analysis[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 69: 123-131
- [31] Lehmann A, Rillig M C. Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops: A meta-analysis[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 81: 147-158
- [32] Ziane H, Meddad-Hamza A, Beddiar A, Gianinazzi S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization levels on industrial tomato growth and production [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2017(19): 341-347
- [33] 肖勇强, 井大炜, 邢尚军, 马海林, 杜振宇, 刘方春. 蚯蚓粪对杨树幼苗根系特性及氮素利用率的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 262-266
- Xiao Y G, Jing D W, Xing S J, Ma H L, Du Z Y, Liu F C. Effects of earthworm manure on root characteristics and nitrogen use efficiency of poplar seedlings[J]. *Soil and Water Conservation Bulletin*, 2014, 34(3): 262-266 (in Chinese)
- [34] 陈保冬, 于萌, 郝志鹏, 谢伟, 张莘. 丛枝菌根真菌应用技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(3): 1035-1046
- Chen B D, Yu M, Hao Z P, Xie W, Zhang X. Advances in Applied Technology of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(3): 1035-1046 (in Chinese)
- [35] Selvakumar G, Shagol C C, Kim K, Han S, Sa T M. Spores associated bacteria regulates maize root K^+/Na^+ ion homeostasis to promote salinity tolerance during arbuscular mycorrhizal symbiosis[J]. *BMC Plant Biology*, 2018(18): 109-112
- [36] Tian H, Drijber R A, Zhang J L, Li X L. Impact of longterm nitrogen fertilization and rotation with soybean on the diversity and phosphorus metabolism of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi within the roots of maize (*Zea mays* L)[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, 164: 53-61
- [37] 陈元镇. 花卉无土栽培的基质与营养液[J]. 福建农业学报, 2002, 17(2): 128-131
- Chen Y Z. Matrix and nutrient solution for soilless cultivation of flowers[J]. *Fujian Journal of Agriculture*, 2002, 17(2): 128-131 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华