

保水剂垫料栽培基质对番茄生理指标及产量的影响

刘丽珠, 卢 信, 范如芹, 罗 佳, 张振华*

(江苏省农业科学院 农业资源与环境研究所, 南京 210014)

摘要:【目的】探讨添加不同种类保水剂(SAP)发酵床秸秆垫料栽培基质(以下简称垫料基质)对番茄生理指标及产量的影响,为蔬菜基质节水栽培提供参考依据。【方法】在垫料基质中添加3种类型(SAP1、SAP2和SAP3)及2个浓度(0.4%和0.8%)的SAP,测定各处理垫料基质的基本理化性状和种植番茄的生长参数、光合参数和保护酶活性等生理指标。【结果】与不添加SAP的对照(CK)相比,在等量浇水的情况下,垫料基质添加0.8% SAP1、SAP2和SAP3的番茄总产量分别提高10.0%、14.5%和26.5%,以添加0.8% SAP3的番茄增产效果最佳;添加3种SAP均有利于提高番茄叶片光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r),且SAP浓度越高,效果越佳;在开花期,添加0.8% SAP1、SAP2和SAP3的番茄叶片超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性均显著高于CK($P<0.05$);在结果期,添加SAP处理的番茄叶片SOD活性降低,而POD活性升高,其中添加高浓度(0.8%)SAP的番茄叶片POD活性比添加低浓度(0.4%)SAP的升幅更明显。【结论】在垫料基质中添加SAP特别是添加淀粉基保水剂(SAP3)可改善番茄的部分生理指标,有利于番茄生长并提高产量,在蔬菜基质栽培中具有较高的推广价值。

关键词: 番茄; 发酵床秸秆垫料栽培基质; 保水剂(SAP); 生理指标; 产量

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2017)07-1242-07

Influence of super absorbent polymer in padding culture substrate on physiological indexes and yield of tomato

LIU Li-zhu, LU Xin, FAN Ru-qin, LUO Jia, ZHANG Zhen-hua*

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract:【Objective】In the present study, effects of straw padding culture substrate for fermentation bed adding different super absorbent polymer(SAP) on physiological indexes and yield were studied to provide reference for vegetable water-saving substrate culture.【Method】Three types of SAP(SAP1, SAP2 and SAP3) in two different concentrations(0.4% and 0.8%) were added in straw padding culture substrate for fermentation bed to plant tomatoes. Physical and chemical properties of padding substrate in each treatment and growth index, photosynthetic parameters and protective enzyme activity of tomato were measured.【Result】Compared with control(CK) adding no SAP, when watering amounts were the same, the tomato yield in 0.8% SAP1, 0.8% SAP2 and 0.8% SAP3 treatments increased by 10.0%, 14.5% and 26.5% respectively. Adding 0.8% SAP3 had the best yield increasing effect. SAP addition increased photosynthetic rate(P_n) and transpiration rate(T_r) of tomato leaf compared with CK. As the concentration of SAP increased, the effects were strengthened. At flowering period, in 0.8% SAP addition treatment, superoxide dismutase(SOD) and peroxidase(POD) activities in tomato leaf were significantly higher than CK($P<0.05$). At fruiting period, in all SAP treatment groups, SOD activity in tomato leaf declined but POD activity increased. The increasing range of POD activity in high concentration treatment(0.8%) group was more obvious than low concentration treatment(0.4%) group.【Conclusion】Adding SAP, especially starch-base SAP(SAP3) in straw padding culture substrate for fermentation bed can improve partial physiological indexes of tomato, thus stimulate plant growth and increase the yield. This technique can be promoted and utilized in vegetable planting.

Key words: tomato; straw padding culture substrate for fermentation bed; super absorbent polymer(SAP); physiological index; yield

收稿日期: 2016-10-19

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目(CX[15]1003-6)

作者简介: * 为通讯作者, 张振华(1962-), 研究员, 主要从事现代农艺与土壤修复研究工作, E-mail: zhenhuaz70@hotmail.com。

刘丽珠(1987-), 主要从事现代农艺与土壤修复研究工作, E-mail: liulizhu@jaas.ac.cn

0 引言

【研究意义】我国农业年用水量约4000亿 m^3 , 占总用水量的71%左右(吴普特等, 2003), 灌溉用水平均利用率仅45%左右, 远低于发达国家的70%(Clarke and Phillpot, 2005)。绝大部分蔬菜是高需水量作物, 应用基质栽培技术既可提高农业用水利用率, 缓解水资源供需紧张问题, 又可节省人力成本。近年来, 生态环保发酵床养猪技术的推广应用不仅解决了养猪场周边的环境污染难题, 以粉碎秸秆和菌渣为垫料还开辟了农副产品资源化利用的新途径, 有助于解决环境污染和资源浪费问题(刘振东等, 2012; 范如芹等, 2015a; 刘海琴等, 2015; 刘宇锋等, 2015; 盛清凯等, 2015; Luo et al., 2015)。高吸水性树脂(Super absorbent polymer, SAP)是一种具有超强吸水能力和保水能力的新型高分子材料, 已被广泛应用于农林业、医药业、建筑业和卫生用品产业等多个领域, 在农业生产、水土保持和污染治理中的应用也受到广泛关注(黄占斌等, 2016)。番茄是我国大宗蔬菜, 种植过程中耗水量较大, 但目前有关SAP应用于基质栽培的节水效果、保肥效应、对基质理化性状的影响及对番茄生长的作用等未见报道。因此, 分析添加SAP的发酵床秸秆垫料栽培基质对番茄生理生长及产量的影响, 对蔬菜基质节水栽培具有重要意义。【前人研究进展】李永胜等(2006)的研究结果表明, SAP在基质水分耗竭过程中可延缓番茄和黄瓜等蔬菜萎蔫发生时间, 且随SAP添加量的增加, 萎蔫发生时间延后, 植株叶片量及茎粗等生长指标也相应增加。谢建军等(2010)研究认为, 将SAP作为土壤保水剂用于荒漠化土壤修复和干旱区农业土壤节水取得了良好效果。李晶晶和白岗栓(2012)研究表明, 应用SAP能使土壤具有水肥保持和土壤改良等多重效应。邓琦子和汪天(2013)研究发现, 利用SAP改良基质性能理论上可行, 适量应用SAP可延缓植株萎蔫发生时间, 提高植株的水分利用率。徐磊等(2014)、范如芹等(2015b)研究发现, 聚丙烯酸钠类保水剂吸水速率较高, 但存在反复吸水能力较低、耐盐性及凝胶强度不高等缺点, 淀粉接枝丙烯酸盐共聚交联物保水剂来源丰富且容易降解, 保水性强不易失水, 但易发霉变质, 使用周期差异明显。【本研究切入点】基质与土壤在物理学特性及养分释放等方面存在明显差异, 不同原材料基质在保水保肥性能上也有较大不同, 目前各类SAP在无土栽培基质中的应用技术尚未成熟, 而SAP应用于基质的节水效果、保肥效应、对基质理化性状的影响及对栽培作物的作用等均需进行深入探究。【拟解决的关键问题】在发酵床秸秆垫料栽培基质基础上添加不同类型及不同浓度SAP, 在严格控制浇水条件下探讨SAP对番茄品种金陵秀玉植株生长、产量

及对叶片保护酶和光合作用的影响, 为蔬菜生产中进行基质节水栽培提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

发酵床垫料由江苏省农业科学院六合基地有机肥厂提供, 是由水稻秸秆猪圈发酵床垫料圈内腐解(两年)及出圈后经过再次堆肥(1个月)并作为主要原料制成的基质(以下简称垫料基质), 其配方为: 堆肥: 木薯渣: 蛭石: 泥炭=3:2:3:2(v:v)。基质拌匀后装袋放置1周, 移苗前将SAP与基质拌匀装盆, 每盆10 L。3种SAP中: SAP1以聚丙烯酸钾为主, 购自鼓岭生态有机肥有限公司; SAP2以聚丙烯酸钠为主, 购自山东华迪新型材料有限公司; SAP3是以改性后的可溶性玉米淀粉为主要原料及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, 由江苏省农业科学院农业设施与装备研究所提供。番茄品种为金陵秀玉, 购自江苏明天种业科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验在江苏省农业科学院日光温室进行。设7个处理: 对照(CK), 不添加SAP; 0.4S1处理, 基质添加0.4% SAP1; 0.8S1处理, 基质添加0.8% SAP1; 0.4S2处理, 基质添加0.4% SAP2; 0.8S2处理, 基质添加0.8% SAP2; 0.4S3处理, 基质添加0.4% SAP3; 0.8S3处理, 基质添加0.8% SAP3。番茄种子点播于育苗穴盘中, 培育30 d后选取长势一致的幼苗移栽至盆中, 每盆种植1株, 每处理3次重复。定期浇水(每周每盆浇水总量为2 L, 每周浇2次, 每次浇1 L)。

1.2.2 测定项目及方法 添加不同浓度SAP的基质与去离子水以1:5混合搅拌, 静置后用pH计测定pH; 容重、总孔隙度及通气孔隙度等指标参照Jayasinghe等(2010)、Farrell等(2013)的方法进行测定, 并计算垫料基质每次称重时的水分含量。

分别于番茄开花期、结果期和成熟期测定株高、直径、叶片叶绿素含量及光合作用参数, 不定期采摘成熟番茄记录产量。试验结束后测定植株地上部和地下部生物量, 植株烘干粉碎后测量氮、磷和钾含量。植株经硫酸和过氧化氢消煮后, 全氮含量采用凯氏定氮仪测定; 全磷含量采用钼锑抗比色法测定; 全钾含量采用火焰光度计测定。叶绿素含量采用叶绿素仪(SPAD-502Plus, 日本)测定。光合作用参数的测定: 在晴朗天气选取植株从上往下数第3~4片功能叶, 用LI-6400XT型便携光合仪测定光合速率(P_n)、气孔导度(C_o)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)。叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法测定; 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定, 以

每分钟OD值变化(升高)0.01为1个酶活力单位(U);丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥(TBA)显色法测定。

1.3 统计分析

试验数据采用SPSS 13.0进行单因素方差分析,并以LSD法对垫料基质基本性状、番茄生长、生物量、养分积累、叶片光合作用、保护酶活性和产量等指标进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同SAP处理对垫料基质基本性状的影响

由表1可知,0.4S2和0.8S2处理垫料基质的pH显著

降低($P<0.05$,下同),且0.8S2处理的pH显著低于0.4S2处理;0.4S1、0.8S1、0.4S3和0.8S3处理垫料基质的pH显著高于CK。添加3种SAP垫料基质的电导率(EC)均升高,且随SAP浓度的增加而上升,除0.4S1和0.4S3处理外,其余处理的EC均显著高于CK,且0.4S2和0.8S2处理的EC显著高于0.4S1、0.8S1、0.4S3和0.8S3处理。7个处理垫料基质的容重为0.28~0.33 g/cm³,相互间差异不显著($P>0.05$,下同);总孔隙度为71.4%~74.2%,相互间差异不显著;0.4S1、0.8S1、0.4S2和0.8S2处理垫料基质的通气孔隙度大于CK,说明垫料基质添加SAP1和SAP2有利于番茄根系生长。

表 1 不同SAP处理对垫料基质基本性状的影响

Table 1 Effects of different SAP treatments on basic properties of padding substrate

处理 Treatment	pH	电导率 EC	容重(g/cm ³) Bulk density	总孔隙度(%) Total porosity	通气孔隙度(%) Air porosity
CK	6.66±0.05d	5.77±0.16e	0.31±0.04	71.5±3.6	8.9±0.58
0.4S1	6.73±0.02c	5.93±0.07de	0.28±0.02	74.2±1.3	10.0±0.58
0.8S1	6.93±0.03a	6.37±0.06c	0.29±0.02	72.5±2.5	9.4±0.85
0.4S2	6.03±0.02e	6.87±0.09b	0.33±0.03	73.5±1.6	9.9±0.72
0.8S2	5.57±0.03f	8.03±0.10a	0.28±0.00	72.8±2.8	9.2±0.64
0.4S3	6.72±0.02c	5.84±0.03de	0.31±0.04	71.4±3.4	8.9±0.79
0.8S3	6.85±0.05b	5.99±0.05d	0.29±0.01	73.1±1.6	8.7±0.77

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表3同

Different lowercase letters in the same column represented significant difference($P<0.05$). The same was applied in Table 3

从图1可看出,各垫料基质的初始持水量均明显高于CK;CK基质的水分损失最快,添加同种SAP条件下,垫料基质水分损失量随SAP浓度的增加而降低。其中,在处理前4 h,CK基质的水分损失达17.8%,而0.8S1、0.8S2和0.8S3处理垫料基质的水分仅损失11.5%、14.8%和14.4%。处理至52 h时,0.4S1、0.8S1、0.4S2、0.8S2、0.4S3和0.8S3处理垫料基质的水含量分别是CK的1.6、1.8、1.4、1.6、1.1和1.1倍。说明添加SAP的垫料基质能较长时间保持相对湿润状态,且随着SAP浓度的增加,保持相对湿润效果更明显。

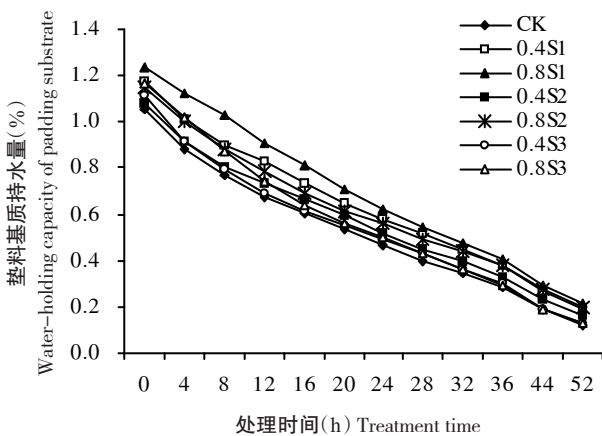


图 1 不同SAP处理对垫料基质持水特征的影响

Fig.1 Effects of different SAP treatments on water retention characteristics of padding substrate

2.2 不同SAP处理对番茄生长的影响

由表2可知,开花期各SAP处理番茄的株高与CK差异不显著,结果期和收获期0.8S2处理番茄的株高显著低于CK,其余处理与CK均无显著差异;在开花期和结果期,0.8S1、0.4S3和0.8S3处理番茄的株高均显著高于0.8S2处理,但进入收获期后株高间的差异日趋减小,除0.4S3处理仍显著高于0.8S2处理外,其余均降至同一水平;同种SAP不同浓度处理番茄的株高无显著差异。各SAP处理番茄的直径在开花期和结果期与CK均无显著差异;收获时CK和0.8S1处理番茄的直径显著大于0.8S2处理,且随SAP1浓度的升高,番茄的直径也显著增加,0.8S2处理番茄直径的变化则与CK和0.8S1处理相反,说明SAP2浓度过高不利于番茄生长。0.4S1处理番茄开花期叶片的叶绿素含量最高,显著高于除0.8S2处理外的其余处理;各处理番茄结果期和收获期的叶绿素含量无显著差异。

2.3 不同SAP处理对番茄植株生物量和养分积累的影响

由表3可知,除0.8S2处理番茄的地上部鲜重和干重显著低于CK外,其余SAP处理地上部鲜重和干重均与CK相当;0.8S3处理番茄地上部的磷含量显著低于CK,0.4S2和0.8S2处理番茄地下部的磷含量显著高于CK;除0.4S1和0.8S2处理外,添加SAP对番茄植株地上

表 2 不同SAP处理对番茄生长的影响

Table 2 Effects of different SAP treatments on tomato growth

指标 Index	生育期 Growth period	CK	SAP处理 SAP treatment					
			0.4S1	0.8S1	0.4S2	0.8S2	0.4S3	0.8S3
株高(cm) Plant height	开花期	106.0±10.0ab	102.0±11.0ab	107.0±7.0a	94.3±8.5ab	88.3±12.0b	110.0±8.3a	107.0±7.0a
	结果期	124.0±3.0ab	115.0±7.2bc	121.0±2.6abc	119.0±3.6abc	111.0±4.6c	129.0±8.1a	122.0±7.2ab
	收获期	136.0±1.2a	126.0±5.6ab	130.0±2.0ab	131.0±7.5ab	121.0±9.5b	137.0±9.8a	128.0±8.7ab
直径(mm) Diameter	开花期	6.99±0.61ab	7.03±0.99ab	7.04±0.90ab	6.83±0.74ab	5.88±0.62b	6.86±0.83ab	7.35±0.88a
	结果期	7.45±1.01	7.38±0.17	7.45±1.07	7.82±0.13	6.43±0.42	7.69±0.99	7.63±0.91
	收获期	7.77±0.14b	7.68±0.23b	8.27±0.36a	8.34±0.53a	7.31±0.46b	7.94±0.80ab	8.18±0.31a
叶绿素含量(SPAD) Chlorophyll content	开花期	67.90±3.47b	74.20±4.80a	66.60±0.65b	67.70±1.32b	71.00±2.05ab	67.60±4.19b	66.70±4.72b
	结果期	64.60±6.22	64.70±1.99	64.70±6.04	72.10±3.59	71.70±8.02	66.90±9.08	63.30±2.26
	收获期	61.90±5.28	65.50±2.65	60.60±1.53	67.10±4.59	64.00±0.25	62.40±6.82	63.20±4.94

同行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表4~表6同

Different lowercase letters in the same row represented significant difference ($P<0.05$). The same was applied in Table 4-Table 6

部氮含量无明显影响;0.8S2处理番茄地下部的氮含量显著高于CK和其他SAP处理;0.8S2处理番茄地上部

的钾含量显著低于CK和其他SAP处理,CK番茄地下部的钾含量明显高于添加SAP处理。

表 3 不同SAP处理对番茄植株生物量和养分含量的影响

Table 3 Effects of different SAP treatments on plant biomass and nutrient content of tomato

处理 Treatment	地上部鲜重 (g/株) Shoot fresh weight (g/plant)		地上部干重 (g/株) Shoot dry weight (g/plant)		地上部养分含量(g/kg) Nutrient content of shoot			地下部鲜重 (g/株) Root fresh weight (g/plant)		地下部干重 (g/株) Root dry weight (g/plant)		地下部养分含量(g/kg) Nutrient content of root		
	总磷 Total P	总氮 Total N	总钾 Total K	总磷 Total P	总氮 Total N	总钾 Total K	总磷 Total P	总氮 Total N	总钾 Total K	总磷 Total P	总氮 Total N	总钾 Total K		
CK	243.0±28.4a	37.8±5.5a	1.09±0.06abc	2.61±0.30ab	3.13±0.10a	31.2±4.0b	2.8±0.4b	0.96±0.06b	2.00±0.17bc	2.70±0.07a				
0.4S1	257.0±10.4a	40.1±2.4a	1.02±0.04cd	2.31±0.37b	3.26±0.06a	32.4±6.9b	3.1±0.5ab	0.97±0.03b	1.82±0.07bc	2.28±0.10b				
0.8S1	262.0±18.9a	40.9±4.2a	1.04±0.02abcd	2.40±0.12ab	3.22±0.15a	35.5±7.3ab	3.2±0.5ab	0.96±0.06b	1.88±0.08bc	2.34±0.27b				
0.4S2	237.0±38.0a	38.9±6.7a	1.02±0.04cd	2.72±0.27ab	3.05±0.29a	42.0±4.8a	3.6±0.3a	1.35±0.18a	1.81±0.11bc	2.42±0.29ab				
0.8S2	192.0±11.5b	30.0±2.0b	1.13±0.07ab	2.38±0.38b	2.78±0.10b	30.0±3.2b	2.7±0.2b	1.26±0.05a	2.39±0.16a	2.36±0.11ab				
0.4S3	262.0±2.9a	41.9±0.6a	1.14±0.09a	2.96±0.14a	3.35±0.18a	35.2±4.1ab	3.5±0.3a	0.98±0.07b	2.08±0.07b	2.44±0.15ab				
0.8S3	262.0±24.7a	41.0±3.7a	0.97±0.06d	2.65±0.38ab	3.23±0.08a	31.2±3.2b	3.1±0.2ab	0.98±0.19b	1.77±0.25c	2.32±0.17b				

2.4 不同SAP处理对番茄叶片光合作用的影响

从表4可看出,开花期各处理番茄叶片的 C_o 无显著差异,但CK的 C_o 最低,结果期0.4S2和0.4S3处理的 C_o 均高于CK,但差异不显著,其余SAP处理番茄叶片的 C_o 均显著高于CK;开花期和结果期各SAP处理番茄叶片均 C_i 均明显高于CK,与 C_o 的变化规律一致,说明 C_o

的增加对提高 C_i 有一定作用;同一生育期 P_n 和 T_r 的变化趋势基本一致,各SAP处理均有利于番茄叶片提高 P_n 和 T_r ,同种SAP浓度越高,提高 P_n 和 T_r 的效果越明显;与开花期相比,结果期 P_n 下降, T_r 升高。说明垫料基质添加SAP有利于提高番茄的 P_n 和 T_r ,增加 C_o ,促进 C_i 升高。

表 4 不同SAP处理对番茄叶片光合气体交换参数的影响

Table 4 Effects of different SAP treatments on photosynthetic gas exchange parameters of tomato leaves

光合参数 Photosynthetic parameter	生育期 Growth period	CK	SAP处理 SAP treatment					
			0.4S1	0.8S1	0.4S2	0.8S2	0.4S3	0.8S3
P_n ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	开花期	2.76±0.75c	4.51±0.73b	5.91±0.25a	4.45±0.44b	5.60±0.21a	3.70±0.51bc	4.10±0.61b
	结果期	1.94±0.30c	2.39±0.36c	3.48±0.77a	2.61±0.28bc	3.87±0.10a	3.29±0.27ab	3.29±0.07ab
C_o ($\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	开花期	0.018±0.002	0.021±0.005	0.024±0.004	0.023±0.004	0.024±0.003	0.025±0.004	0.024±0.007
	结果期	0.021±0.002c	0.027±0.003b	0.027±0.004b	0.024±0.002bc	0.027±0.001b	0.025±0.002bc	0.032±0.002a
C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) _i	开花期	39.8±4.8c	72.4±10.9b	102.0±5.4a	100.0±8.4a	107.0±13.3a	72.0±4.5b	103.0±2.1a
	结果期	138.0±7.0c	200.0±12.5a	172.0±3.5b	211.0±6.2a	178.0±10.5b	203.0±3.5a	179.0±3.5b
T_r ($\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	开花期	0.66±0.01e	1.01±0.04bc	1.09±0.13b	0.86±0.02cd	1.38±0.20a	0.71±0.06de	0.74±0.08de
	结果期	0.79±0.06d	0.94±0.01cd	1.07±0.25bcd	1.14±0.03abc	1.42±0.19a	1.27±0.17ab	1.32±0.27ab

2.5 不同SAP处理对番茄叶片保护酶活性的影响

由表5可知,添加高浓度(0.8%)SAP番茄开花期叶片的SOD活性显著高于CK,结果期各处理SOD活性无显著差异;各SAP处理番茄开花期叶片的POD活

性均显著高于CK;结果期除0.4S1处理外番茄叶片的POD活性均明显升高,尤其以添加高浓度(0.8%)SAP番茄叶片的POD活性升幅更大,且显著高于CK。说明基质中添加SAP可通过提高番茄开花期叶片的SOD活

性来抵抗轻度缺水,降低结果期叶片SOD活性而升高POD活性以提高番茄的抗氧化能力。

MDA是直接反映膜脂过氧化的指标之一,其含量可反映细胞氧化损伤程度。各SAP处理番茄开花期叶片MDA含量差异不显著,但结果期各处理叶片MDA

含量大幅上升,CK叶片的MDA含量显著高于各SAP处理。说明结果期番茄需水量有所增加,垫料基质容易缺水,基质中添加SAP有助于缓解该时期轻度缺水对叶片造成的损伤。

表 5 不同SAP处理对番茄叶片保护酶活性及MDA含量的影响

Table 5 Effects of different SAP treatments on protective enzyme activity of tomato leaves and MDA content

保护酶 Protective enzyme	生育期 Growth period	CK	SAP处理 SAP treatment					
			0.4S1	0.8S1	0.4S2	0.8S2	0.4S3	0.8S3
SOD活性(U/gFW)	开花期	503.00±46.00c	520.00±5.60c	571.00±27.00ab	517.00±13.00c	580.00±23.00a	535.00±22.00bc	565.00±9.20ab
SOD activity	结果期	285.00±71.00	310.00±19.00	314.00±9.20	326.00±10.00	324.00±2.00	281.00±6.10	310.00±17.00
POD活性(U/g)	开花期	178.00±77.00d	422.00±38.00a	288.00±38.00bc	422.00±38.00a	222.00±38.00cd	289.00±38.00bc	333.00±0b
POD activity	结果期	422.00±38.90c	422.00±38.00c	644.00±38.900a	556.00±38.00ab	600.00±67.00ab	511.00±77.40bc	600.00±67.00ab
MDA含量(μmol/gFW)	开花期	8.83±1.11	10.60±1.24	10.10±0.87	11.10±2.16	9.89±0.27	11.00±1.40	9.92±0.83
MDA content	结果期	20.30±3.00a	14.40±1.18ab	12.90±0.39b	13.30±0.89b	15.40±1.60ab	16.10±1.67ab	17.00±2.33a

2.6 不同SAP处理对番茄产量的影响

由表6可知,除0.4S2处理外,各SAP处理均可提高番茄坐果个数和总产量,其中0.8S3处理的坐果数与CK差异显著;0.8S1、0.8S2和0.8S3处理的总产量分别比CK提高10.0%、14.5%和26.5%;同种SAP处理基质中SAP含量越高番茄的坐果数及产量也越高,说明0.8% SAP处理的基质能储藏更多水分供番茄后期生长利

用,有利于促进植株坐果和膨大;相同浓度、不同类型SAP处理番茄坐果数及产量间均无显著差异;各SAP处理的单果重与CK无显著差异;在同种SAP处理中,0.8% SAP处理番茄的单果重均高于0.4% SAP处理,与坐果数变化的表现相反,说明高浓度(0.8%)SAP能促进番茄果实膨大,但坐果个数相对减少。

表 6 不同SAP处理对番茄产量的影响

Table 6 Effects of different SAP treatments on tomato yield

指标 Index	CK	SAP处理 SAP treatment					
		0.4S1	0.8S1	0.4S2	0.8S2	0.4S3	0.8S3
坐果数(个)	30±4b	32±11b	38±12ab	28±10b	38±10ab	35±6ab	50±7a
Number of fruitlet(fruitlet)							
单果重(g) Weight of single fruit	5.00±0.07ab	5.10±0.40ab	4.50±0.60ab	5.30±1.50a	4.60±0.40ab	4.30±0.40ab	3.80±0.30b
总产量(g) Total output	151.00±18.00ab	157.00±45.00ab	166.00±28.00ab	136.00±10.00b	173.00±33.00ab	152.00±16.00ab	191.00±13.00a

3 讨论

Abad等(2001)研究认为,栽培基质理想的pH为5.3~6.5。Jayasinghe等(2010)研究发现,大部分温室栽培作物更适应含有多种有效性养分的微酸性基质环境。本研究中添加SAP基质的pH为5.57~6.93,虽与CK差异显著,但仍在偏酸性范围内,对番茄生长无不良影响;添加SAP1和SAP2具有提高通气孔隙度的趋势,基质变得膨胀疏松,增加的孔隙主要是持水孔隙,基质的液相比增加,通气孔隙变化不明显,与李永胜等(2006)对番茄的研究结果一致。

当基质中SAP添加量过高时,基质的水分含量虽得到一定程度的保证,但孔隙度过低及EC过高会导致作物出苗率降低(Bustamante et al., 2008)。本研究的基质中添加3种SAP均能提高其EC,且除0.4S1和0.4S3处理外,其余处理的EC均显著高于CK,尤其是添加SAP2的基质,其EC显著高于添加另两种SAP的基质,

可能是导致番茄直径生长相对较细的原因之一。

范如芹等(2015b)、Fan等(2015)研究表明,不同种类SAP对水的吸力不同,在基质含水量相同条件下添加SAP比例越高,其吸水力越大。本研究中,0.8S2处理的番茄在收获期生长较差,株高、直径、地上部鲜重及干重均显著低于CK,也差于其他两种SAP处理,说明SAP2在水含量较高条件下自身对水分吸持能力可能过强,无法将所储存水分输送给番茄根系,反而与番茄根系竞争水分,也说明当基质中水含量达到作物对水分利用的临界值时,作物对基质中水分的利用率较低。

在本研究中,0.4S2和0.8S2处理番茄地下部的磷含量显著高于CK,地下部的氮含量显著高于CK和其他SAP处理,但地上部的钾含量显著低于CK和其他SAP处理,说明SAP2可一定程度抑制番茄对钾的吸收。植物在氮、磷和钾供应不足时会产生活性氧积累

(Shin et al., 2004, 2005), 缺钾会导致生长停滞, 蛋白合成受抑而影响C/N平衡(White and Karleya, 2010)。本研究中, 0.4S2处理番茄的产量低于CK, 说明缺钾在一定程度限制了番茄结果, 但0.8S2处理番茄的产量比CK提高14.5%, 可能是蒸腾作用和光合作用对钾在番茄体内的运输有一定影响所致。

本研究结果表明, 各SAP处理番茄开花期叶片的 C_0 均高于CK, 但差异不显著, 而结果期叶片的 C_0 高于CK, 且除0.4S2和0.4S3处理外均显著高于CK, C_0 升高对提高 C_1 有正面影响, 即 C_0 提高 C_1 随之提高, 而 C_0 下降则 C_1 不变甚至升高; 各SPA处理番茄结果期的 C_1 与开花期相比大幅升高, 但 P_n 反而下降, 显然不是气孔限制所引起; 番茄同一生育期 P_n 和 T_r 的变化趋势基本一致, 与CK相比, 添加SAP有利于提高番茄叶片的 P_n 和 T_r , SAP浓度越高, 提高 P_n 和 T_r 的效果越佳; 随着SAP处理时间的延长, 与开花期相比, 番茄结果期的 P_n 下降, T_r 升高。

本研究中, SAP处理番茄的开花期可能是通过提高SOD活性来抵抗轻度缺水, 保护其内部组织, 减轻因基质水分减少引起的损伤, 并增强番茄生长后期对干旱的抵抗力; 结果期番茄叶片的SOD活性下降、POD活性升高以提高自身的抗氧化能力, 说明番茄叶片保护酶维持较高的活性水平可使活性氧代谢处于一定平衡状态, 避免活性氧和氧自由基对细胞产生毒害作用; 番茄叶片的POD活性与SOD活性变化趋势基本一致, 表明在减少浇水条件下该两种保护酶具有一定的协同作用使番茄叶片适应缺水环境。这与张仁和等(2011)、杨再强等(2014)研究获得SOD能有效清除活性氧进而降低对细胞膜膜脂过氧化水平的结论一致。各处理番茄开花期叶片的MDA含量差异不显著, 表明番茄叶片通过增强自身保护酶系统可有效清除活性氧而缓解轻度缺水产生的影响; 各处理番茄结果期叶片的MDA含量大幅上升, 且CK叶片的MDA含量显著高于其他SAP处理, 说明结果期番茄的需水量增加, 依靠提高保护酶活性已不能维持正常的代谢活动。

本研究中, 0.8S3处理的番茄坐果数与CK差异显著, 0.8S1、0.8S2和0.8S3处理的总产量分别比CK提高10.0%、14.5%和26.5%, 说明添加SAP对番茄增产有积极作用, 其中SAP3增产效果最理想, 与范如芹等(2015b)对小青菜的研究结果一致。由于基质对水分的涵养能力比土壤低, 因此在生产实践中SAP对保持基质水分和延缓植株萎蔫发生具有更重要的意义。

黄占斌等(1999)研究认为, 基质中添加3.0% SAP因吸水过多而影响烤烟出苗、抑制玉米正常生长和干物质积累; 李永胜等(2006)研究发现, 基质中添加SAP不仅能提高基质持水能力进而减少灌溉次数和减少

水资源浪费, 还对营养元素特别是氮素有较强的保蓄作用, 可提高肥料利用率, 有利于番茄生长。可见, 基质中SAP添加量是影响植物生长的重要因素, 在实际生产过程中应根据作物类型和生产需要选择合适种类的SAP和用量。

4 结论

在发酵床秸秆垫料栽培基质中添加SAP特别是添加淀粉基保水剂(SAP3)可改善番茄的部分生理指标, 有利于番茄生长并提高产量, 在蔬菜基质栽培中具有较高的推广价值。

参考文献:

- 邓琦子, 汪天. 2013. 高吸水性树脂在无土栽培中的应用与展望[J]. 中国农学通报, 29(13):90-94. [Deng Q Z, Wang T. 2013. Application and development of super absorbent polymers in soilless cultivation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 29(13):90-94.]
- 范如芹, 罗佳, 高岩, 严少华, 张振华. 2015a. 凹凸土对无土栽培基质性能及番茄育苗的影响[J]. 江苏农业学报, 31(4):792-797. [Fan R Q, Luo J, Gao Y, Yan S H, Zhang Z H. 2015a. Effects of attapulgite on the properties of soilless substrate and performance of tomato seedling[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 31(4):792-797.]
- 范如芹, 罗佳, 刘海琴, 严少华, 唐玉邦, 张振华. 2015b. 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, 38(4):617-623. [Fan R Q, Luo J, Liu H Q, Yan S H, Tang Y B, Zhang Z H. 2015b. The effects of a starch-based super absorbent polymer on characteristics of soilless growth media and the growth of Chinese cabbage[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 38(4):617-623.]
- 黄占斌, 孙朋成, 钟建, 陈雨菲. 2016. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报, 32(1):125-131. [Huang Z B, Sun P C, Zhong J, Chen Y F. 2016. Application of super absorbent polymer in water and fertilizer conservation of soil and pollution management[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 32(1):125-131.]
- 黄占斌, 万惠娥, 邓西平, 张国桢. 1999. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 5(4):52-55. [Huang Z B, Wan H E, Deng X P, Zhang G Z. 1999. Super absorbent polymer effects on soil improvement and drought resistance and water saving of crops[J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 5(4):52-55.]
- 李晶晶, 白岗栓. 2012. 保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J]. 中国水土保持科学, 10(1):114-120. [Li J J, Bai G S. 2012. Application and development of water holding agents in soil and water conservation[J]. Science of Soil and Water Conservation, 10(1):114-120.]
- 李永胜, 杜建军, 谢勇, 王明祖. 2006. 保水剂对基质持水保肥

- 力及番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜, (8):57-58. [Li Y S, Du J J, Xie Y, Wang M Z. 2006. Water retention agent on the fertility of soil conservation and tomato growth of matrix effect[J]. Journal of Changjiang Vegetables, (8): 57-58.]
- 刘海琴, 张志勇, 罗佳, 张迎颖, 刘丽珠, 王岩, 严少华. 2015. 养猪发酵床废弃垫料高温堆制肥料的研究[J]. 江西农业学报, 27(8):44-48. [Liu H Q, Zhang Z Y, Luo J, Zhang Y Y, Liu L Z, Wang Y, Yan S H. 2015. Research on composting waste bedding material for pig-raising through high-temperature fermentation[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 27(8):44-48.]
- 刘宇锋, 罗佳, 严少华, 张振华. 2015. 发酵床垫料特性与资源化利用研究进展[J]. 江苏农业学报, 31(3):700-707. [Liu Y F, Luo J, Yan S H, Zhang Z H. 2015. Research progress in characteristics of litter in a pig-on-litter system for swine production and their resource utilization[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 31(3):700-707.]
- 刘振东, 李贵春, 杨晓梅, 尹昌斌. 2012. 我国农业废弃物资源化利用现状与发展趋势分析[J]. 安徽农业科学, 40(26): 13068-13070. [Liu Z D, Li G C, Yang X M, Yin C B. 2012. Status and development trend of resource utilization ways of agricultural residues in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 40(26):13068-13070.]
- 盛清凯, 伊惠, 王怀中, 韩建东, 万鲁长, 武英. 2015. 不同菌渣发酵床对猪生产性能、血液指标及臭气的影响[J]. 西南农业学报, 28(6):2774-2778. [Sheng Q K, Yi H, Wang H Z, Han J D, Wan L Z, Wu Y. 2015. Effects of different fungi residue as litters on pig growth performance, blood indices and odors[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 28(6):2774-2778.]
- 吴普特, 冯浩, 牛文全, 高建恩, 蒋定生, 汪有科, 范兴科, 戚鹏. 2003. 中国用水结构发展态势与节水对策分析[J]. 农业工程学报, 19(1):1-5. [Wu P T, Feng H, Niu W Q, Gao J E, Jiang D S, Wang Y K, Fan X K, Qi P. 2003. Analysis of developmental tendency of water distribution and water-saving strategies[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 19(1):1-5.]
- 谢建军, 韩心强, 何新建. 2010. PAAM高吸水树脂的土壤保水性能[J]. 材料工程, (3):84-88. [Xie J J, Han X Q, He X J. 2010. Water retention capacity of soil for high absorbing water resin of PAAM[J]. Journal of Material Engineering, (3):84-88.]
- 徐磊, 唐玉邦, 虞利俊, 裴勤, 王恒义. 2014. 高吸水树脂的性能及农业应用展望[J]. 江苏农业科学, 42(4):16-17. [Xu L, Tang Y B, Yu L J, Pei Q, Wang H Y. 2014. The performance of the high water absorbing resin, and agricultural application outlook[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 42(4):16-17.]
- 杨再强, 刘朝霞, 韩秀君, 张婷华. 2014. 水分胁迫对番茄保护酶活性及果实产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 45(3): 40-45. [Yang Z Q, Liu Z X, Han X J, Zhang T H. 2014. Effect of water stress on protective enzyme activity and yield of tomato[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 45(3):40-45.]
- 张仁和, 郑友军, 马国胜, 张兴华, 路海东, 史俊通, 薛吉全. 2011. 干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响[J]. 生态学报, 31(5):1303-1311. [Zhang R H, Zheng Y J, Ma G S, Zhang X H, Lu H D, Shi J T, Xue J Q. 2011. Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling[J]. Acta Ecologica Sinica, 31(5):1303-1311.]
- 周艳丽. 2005. 番茄有机基质和有机肥料配方研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学. [Zhou Y L. 2005. Study on the composition of organic substrate and fertilizer in soilless culture of tomato[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University.]
- Abad M, Noguera P, Burés S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain[J]. Bioresource Technology, 77(6):197-200.
- Bustamante M A, Paredes C, Mora R, Agulló E, Pérez-Murcia M D, Abad M. 2008. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production[J]. Resources Conservation and Recycling, 52(5):792-799.
- Clarke D R, Phillpot S R. 2005. Thermal barrier coating materials[J]. Materialstoday, (6):22-29.
- Fan R Q, Luo J, Yan S H, Zhou Y L, Zhang Z H. 2015. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth[J]. Pedosphere, 25(7): 737-748.
- Farrell C, Ang X Q, Rayner J P. 2013. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates[J]. Ecological Engineering, 52(1):112-118.
- Jayasinghe G Y, Arachchi I D L, Tokashiki Y. 2010. Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative[J]. Resources Conservation Recycling, 54(2):1412-1418.
- Luo J, Fan R Q, Wang T, Gao Y, Liu L Z, Yan S H, Zhang Z H. 2015. Evaluation of spent pig litter compost as a peat substitute in soilless growth media[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 31(4):219-229.
- Shin R, Breg R H, Schachtman D P. 2004. Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(7):8827-8832.
- Shin R, Breg R H, Schachtman D P. 2005. Reactive oxygen species and root hairs in Arabidopsis root response to nitrogen, phosphorus and potassium deficiency[J]. Plant Cell Physiology, 46(9):1350-1357.
- White P J, Karley J. 2010. Cell Biology of Metals and Nutrients[M]. New York: Springer.