

魏源慧,雷 涛,郭向红,等. 不同土壤水分-沸石量-埋深对滴灌番茄干物质积累及分配的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(24):118-125.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.24.017

不同土壤水分-沸石量-埋深对滴灌番茄干物质积累及分配的影响

魏源慧,雷 涛,郭向红,孙西欢,马娟娟,雷 震,贾利东,巩 恒

(太原理工大学水利科学与工程学院,山西太原 030024)

摘要:为探究不同土壤水分处理[土壤含水量为 50%~70% (W_{50-70} 处理)、土壤含水量为 60%~80% (W_{60-80} 处理)、土壤含水量为 70%~90% (W_{70-90} 处理)]、不同沸石用量处理[3 t/hm² (Z_3 处理)、6 t/hm² (Z_6 处理)、9 t/hm² (Z_9 处理)]、不同沸石埋深处理[15 cm (H_{15} 处理)、30 cm (H_{30} 处理)、45 cm (H_{45} 处理)]对滴灌番茄干物质的影响,用正交试验对不同条件下番茄各器官干物质积累、分配动态进行监测分析。结果表明,增加土壤含水量对番茄各器官干物质积累量、茎干物质分配比例有促进作用;增加沸石用量对茎、叶干物质积累量有促进作用;增加土壤含水量对叶干物质分配比例存在抑制作用;增加埋深对果实干物质积累量及分配比例存在先抑后促的作用,增加沸石用量对茎、叶干物质分配比例也存在先抑后促的作用。其余各器官干物质质量及分配比例对各因素的响应均表现为先促后抑。3 因素对番茄各器官干物质积累量与茎、叶干物质分配比例的影响表现为 W 处理 > Z 处理 > H 处理,对根、果干物质分配比例的影响分别表现为 W 处理 > H 处理 > Z 处理、 H 处理 > Z 处理 > W 处理,适宜番茄生长的最优因素组合为 $W_{70-90}Z_6H_{15}$ 。

关键词:滴灌;番茄;干物质;沸石量;沸石埋深;土壤水分

中图分类号:S641.206;S641.207 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)24-0118-07

番茄作为食用蔬果,因其果实营养丰富、风味特殊、食用方法繁多而被人们熟识并广泛种植^[1-2]。番茄根、茎、叶、果干物质积累状况是反映番茄生长生理水平的重要判断标准^[3-4],探究不同水分调控策略下番茄干物质的积累及分配特性,进而制定合理的灌溉、水分调控方法,对于番茄提产增质具有重要现实意义^[5-6]。

沸石为一种碱金属或碱土金属的铝硅酸矿物^[7],疏松多孔^[8-9],是良好的土壤改良剂,用在农业生产中能起到良好的保肥-保水作用^[10-11]。李鹏等研究发现,添加沸石可以不同程度地提高不同生长期番茄地上部生物量、果实产量,但目前沸石添加量对番茄根系和各个器官中分配特性的影响尚不清楚^[12]。土壤表面撒施及穴施为主要的沸石施用方式^[13],两者对作物生长及产量均存在影

响^[14-16],但现有研究并未考虑改变沸石埋深是否对番茄干物质产生影响,对番茄各器官干物质分配的影响也有待进一步明确。土壤水分状况是影响番茄生长的关键性指标^[17-18],许多研究报道了水分胁迫对番茄生长的影响^[17,19],但土壤含水量、沸石用量及埋深对番茄干物质影响的大小及排序尚不清楚,有待进一步明确。

本研究采用温室种植试验,设置不同土壤含水量-沸石用量-沸石埋深组合,探究各因素及水平对番茄根、茎、叶、果干物质积累及分配特性的影响,揭示各因素对番茄各器官影响的排序,明确适合番茄干物质累积和干物质向果实分配的最优处理,以期科学的番茄种植提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验于 2019 年在山西省农业科学院河村试验基地完成。试验区位于 112°12'E~113°09'E、37°56'N~38°09'112''N,海拔 1 248.5 m,属温带大陆性季风气候。试验区年平均降水量为 459.0 mm,年均温为 5~7℃,无霜期约为 144 d。试验点土壤

收稿日期:2022-01-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:51909184,51809189)。

作者简介:魏源慧(1996—),女,山西长治人,硕士,主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail:1239947127@qq.com。

通信作者:雷 涛,博士,副教授,主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail:lcsyt@126.com。

质地为沙壤土,容重为 1.43 g/cm^3 ,平均田间持水率为 $0.31 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。土壤 pH 值为 8.43,基本养分状况:有机质含量 15.32 g/kg ,全氮含量 1.12 g/kg ,碱解氮含量 52.21 mg/kg ,速效磷含量 22.31 mg/kg ,速效钾含量 120.32 mg/kg 。

1.2 试验设计

本研究采用 3 因素 3 水平正交试验,设置土壤含水量(W)、沸石用量(Z)、沸石埋深(H)3 个因素,每个因素设置 3 个水平,共计 9 个试验小区,具体试验方案设计见表 1。采用埋设防水布的方式对 9 个试验小区进行分隔,避免各小区间土壤含水量产生互相影响。试验番茄品种为奥冠 8 号,于 2019 年 5 月 4 日定植,9 月 4 日拉秧。番茄种植时行距为 40 cm,株距为 50 cm。番茄生长期间的施肥、管理皆参照当地种植习惯。

表 1 试验方案设计

处理	土壤含水量 (%,Fc)	沸石用量 (t/hm^2)	沸石埋深 (cm)
$W_{50-70}Z_3H_{15}$	50~70	3	15
$W_{50-70}Z_6H_{30}$	50~70	6	30
$W_{50-70}Z_9H_{45}$	50~70	9	45
$W_{60-80}Z_3H_{30}$	60~80	3	30
$W_{60-80}Z_6H_{45}$	60~80	6	45
$W_{60-80}Z_9H_{15}$	60~80	9	15
$W_{70-90}Z_3H_{45}$	70~90	3	45
$W_{70-90}Z_6H_{15}$	70~90	6	15
$W_{70-90}Z_9H_{30}$	70~90	9	30

注:Fc 表示田间持水量。

1.3 测定项目及分析方法

1.3.1 番茄干物质质量 本试验选取番茄苗期、开花坐果期、果实膨大期、收获期 4 个阶段进行取样。取样时,在各小区内尽量选择长势均匀一致的植株,减少系统取样误差。每个小区选取 3 株植株,采用整根挖掘法,将植株周围土壤按 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 长方体挖掘,取出后将样本按根、茎、叶、果 4 种器官分别装袋密封。将样品洗净后,置于烘箱中,在 105°C 杀青 5 min,随后于 85°C 烘干至恒质量后取出,放入干燥器内冷却 30 min 后称质量,取平均值进行结果分析。

1.3.2 土壤含水量 用烘干法定期测定土壤含水量。测定时用土钻进行土样采集,每 15 cm 取 1 层,测定土层深度为 60 cm,每个处理设 3 个重复。若土壤含水量未达到预设值,及时用滴灌方式进行补

充,以确保含水量达到试验设计水平。

1.4 数据处理

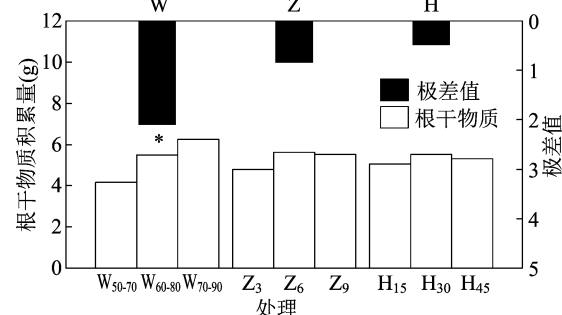
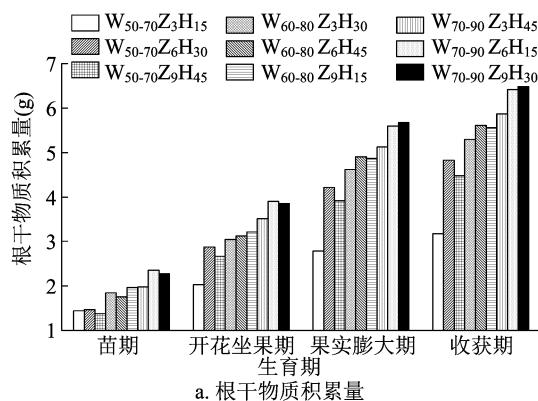
用 Excel 2017 进行数据整理及计算,数据样本的统计学分析用 SPSS 20.0。样本数据绘图采用 Origin 2018。

2 结果与分析

2.1 土壤水分-沸石量-埋深对番茄根干物质的影响

图 1-a 和数据样本计算结果显示,在番茄坐果期到苗期、膨大期到坐果期、收获期到膨大期,根干物质质量的平均增幅分别为 71.93%、47.61%、14.41%,说明不同处理下的番茄根干物质积累量均随生育期的推进呈对数型增加趋势,并且增幅随生育期的推进呈递减趋势。在不同水分-沸石量-埋深处理下,番茄根干物质积累量大小表现为 $W_{70-90}Z_9H_{30}$ 处理 $> W_{70-90}Z_6H_{15}$ 处理 $> W_{70-90}Z_3H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_6H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_9H_{15}$ 处理 $> W_{60-80}Z_3H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_6H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_9H_{45}$ 处理 $> W_{50-70}Z_3H_{15}$ 处理,各处理间差异的范围为 1.04%~103.96%,平均值为 28.37%,说明不同因素及水平组合下的番茄根干物质积累量差异较大。为进一步探究和量化各因素及水平对番茄根干物质积累量的影响程度,有必要进行极方差分析。

由图 1-b 可以看出,当土壤含水量由 W_{50-70} 处理增加到 W_{60-80} 处理、由 W_{60-80} 处理增加到 W_{70-90} 处理时,番茄根干物质积累量分别增长了 31.97%、13.66%,说明增加土壤含水量对番茄根干物质积累量具有显著的促进效应($P < 0.05$),但促进强度会随土壤含水量的增加而减小。当沸石用量由 $3 \text{ t}/\text{hm}^2$ 增加到 $6 \text{ t}/\text{hm}^2$ 时,番茄根干物质积累量增加了 17.4%,当沸石用量由 $6 \text{ t}/\text{hm}^2$ 增加到 $9 \text{ t}/\text{hm}^2$ 时,番茄根干物质积累量减小了 1.8%,由此说明增加沸石用量对番茄根干物质积累量的影响表现为先促进后抑制的特点,但影响差异未达到显著水平。当埋深为 30 cm 时,番茄根干物质积累分别较埋深为 15、45 cm 时高 9.5%、3.9%,增加沸石埋深对番茄根干物质积累量表现为先促后抑的影响,且作用不显著。由图 1 还可看出,不同因素对番茄根干物质积累量的影响表现为 $W > Z > H$,W 对其影响程度分别是 Z、H 的 2.5、4.4 倍,说明 W 是影响干物质积累的最关键因素,适宜根系干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_6H_{30}$ 。



极差对应的柱上标有*、**表示具有显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)影响。图2~图4同

图1 不同处理下番茄单株根干物质积累量及收获期的极差

2.2 土壤水分-沸石量-埋深对番茄茎干物质积累量的影响

图2-a 和数据样本计算结果显示,相较于苗期到开花坐果期,番茄开花坐果期到果实膨大期的茎干物质积累量增幅提高了48.2%,较果实膨大期到收获期茎干物质积累量的增幅提高了179%,说明开花坐果期到果实膨大期是番茄积累茎干物质的主要时期,番茄茎干物质积累量增长呈现慢—快—慢的“S”形趋势。不同水分-沸石量-埋深处理后茎干物质积累量表现为 $W_{70-90}Z_9H_{30}$ 处理 $> W_{70-90}Z_6H_{15}$ 处理 $> W_{70-90}Z_3H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_6H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_9H_{15}$ 处理 $> W_{60-80}Z_3H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_6H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_9H_{45}$ 处理 $> W_{50-70}Z_3H_{15}$ 处理,处理间的数值差异在0.85%~112.02%之间,平均值为35.91%,不同因素、水平组合下的番茄茎干物质积累量差异较大,因此有必要进行极差分析、方差分析,以进一步探究和量化各因素、水平对茎干物质积累量的影响。

由图2-b 可以看出,当土壤含水量由 W_{50-70} 处理增加到 W_{60-80} 处理、由 W_{60-80} 处理增加到 W_{70-90} 处理时,茎干物质积累量分别增加了19.29%、50.36%,说明增加土壤含水量对番茄茎干物质积累

量存在显著的促进效应($P<0.05$),并且促进强度会随土壤含水量的增加而增加。当沸石用量由 3 t/hm^2 增加到 6 t/hm^2 、由 6 t/hm^2 增加到 9 t/hm^2 时,番茄茎干物质积累量分别增加了7.56%、8.40%,说明添加沸石对茎干物质积累量的影响表现为促进作用,但这种影响并不明显。在埋深30 cm的条件下,番茄茎干物质积累量分别比埋深15、45 cm处理高8.03%、7.02%,增加沸石埋深对茎干物质积累量的影响表现为先促后抑,但不显著。由图2还可看出,不同因素对番茄茎干物质积累量的影响表现为 $W>Z>H$, W 对其影响程度分别是 Z 、 H 的3.89、7.66倍,说明 W 是影响茎干物质积累的最关键因素,适宜番茄茎干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_6H_{30}$ 。

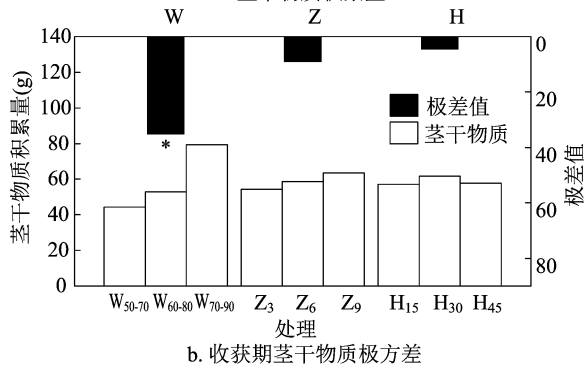
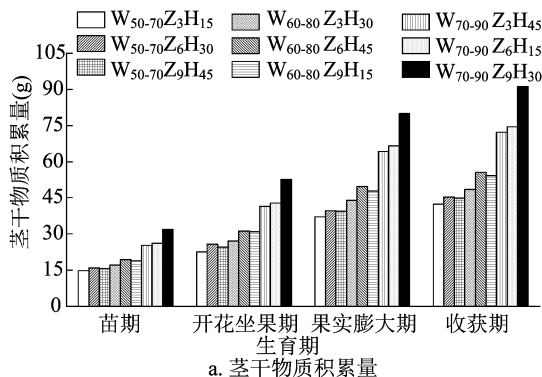


图2 不同处理下番茄单株茎干物质积累量及收获期的极差

2.3 土壤水分-沸石量-埋深对番茄叶干物质的影响

图3-a 和数据样本计算结果显示,坐果期较苗期、膨大期较坐果期、收获期较膨大期的叶干物质积累量平均增幅分别为68.22%、47.60%、22.64%,说明不同处理下番茄叶干物质积累量增幅随生育期呈对数型增长趋势。不同水分-沸石量-埋深处理后叶干物质积累量大小为 $W_{70-90}Z_9H_{30}$ 处理 $> W_{70-90}Z_6H_{15}$ 处理 $> W_{70-90}Z_3H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_6H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_9H_{15}$ 处理 $> W_{60-80}Z_3H_{30}$ 处理 $>$

$W_{50-70}Z_6H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_9H_{45}$ 处理 $> W_{50-70}Z_3H_{15}$ 处理,各处理间的数值差异为 0.13% ~ 61.99%,平均值为 22.75%,说明不同因素及水平组合下番茄叶干物质积累量差异较大。

为进一步探究和量化各因素及水平对叶干物质积累量的影响,对收获期叶干物质积累量进行极方差分析。由图 3-b 可以看出,当土壤含水量分别由 W_{50-70} 处理增加到 W_{60-80} 处理、由 W_{60-80} 处理增加到 W_{70-90} 处理时,叶干物质积累量分别增长了 15.87%、37.90%,说明增加土壤含水量对番茄叶干物质积累量具有显著的促进效应 ($P < 0.05$),并且促进强度会随土壤含水量的增加而增强。当沸石用量分别由 3 t/hm^2 增加到 6 t/hm^2 、由 6 t/hm^2 增加到 9 t/hm^2 时,番茄叶干物质积累量分别增加了 5.17%、4.90%,说明添加沸石对叶干物质积累量存在促进作用,但不明显。当埋深为 30 cm 时,番茄叶干物质积累量分别较埋深为 15、45 cm 的处理多 4.02%、3.12%,增加沸石埋深对叶干物质积累量的影响表现为先促后抑,但这种影响未达到显著水平。由图 3 还可看出,不同因素对番茄叶干物质积累量的影响表现为 $W > Z > H$, W 对其影响程度分别是 Z 、 H 的 4.08 倍、10.31 倍,说明 W 是影响番茄叶干物质积累的最关键因素,适宜番茄叶干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_6H_{30}$ 。

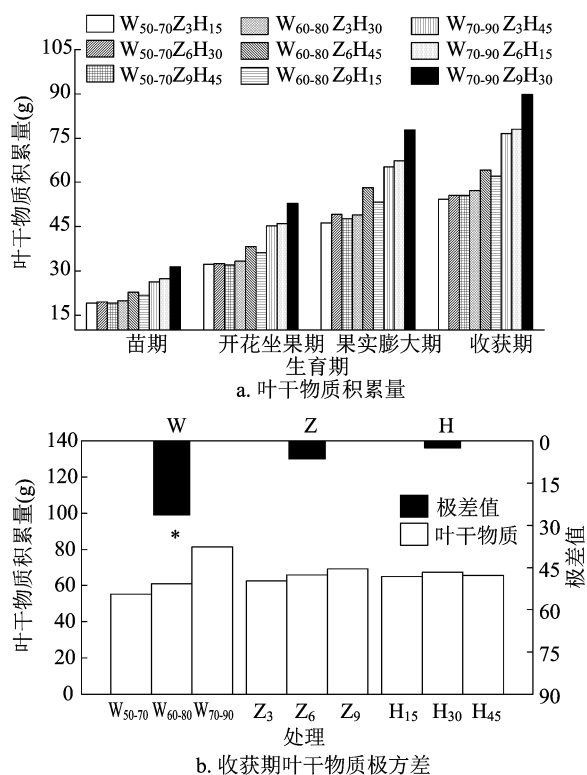


图3 不同处理下番茄单株叶干物质积累量及收获期的极方差

2.4 土壤水分-沸石量-埋深对番茄果实干物质的影响

图 4-a 和数据样本计算结果显示,开花坐果期、果实膨大期、收获期的番茄果实干物质积累量分别为 3.19 ~ 5.42、38.25 ~ 64.98、90.85 ~ 153.8 g,相邻生育期之间平均果实干物质积累量差异分别为 45.44、67.54 g,干物质积累变化率随生育期的推进而增加,说明果实干物质积累量随生育期的推进呈指数型变化趋势。在不同水分-沸石量-埋深处理下,果实干物质积累量大小表现为 $W_{70-90}Z_6H_{15}$ 处理 $> W_{70-90}Z_9H_{30}$ 处理 $> W_{70-90}Z_3H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_6H_{45}$ 处理 $> W_{60-80}Z_9H_{15}$ 处理 $> W_{60-80}Z_3H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_6H_{30}$ 处理 $> W_{50-70}Z_9H_{45}$ 处理 $> W_{50-70}Z_3H_{15}$ 处理,各处理间的数值差异为 2.88% ~ 38.62%,差异均值为 24.21%,说明在不同因素、水平组合下,番茄果实干物质积累量差异较大。

为进一步探究和量化各因素、水平对番茄果实干物质积累量的影响程度,对收获期番茄果实干物质积累量进行极方差分析。结合图 4 和方差分析计算结果看出,当土壤含水量由 W_{50-70} 处理增加到 W_{60-80} 处理时,番茄果实干物质积累量增加了 15.87%,当土壤含水量由 W_{60-80} 处理增加到 W_{70-90} 处理时,番茄果实干物质积累量增加了 37.90%。说明增加土壤含水量对番茄果实干物质积累量具有极显著的促进效应 ($P < 0.01$),且高土壤含水量处理对番茄果实干物质积累量的促进效果更为明显。在不同沸石用量下,番茄果实的干物质积累量表现为 $6 \text{ t/hm}^2 > 9 \text{ t/hm}^2 > 3 \text{ t/hm}^2$,说明增加沸石用量对番茄果实干物质积累量存在先促后抑作用,但不明显。当埋深为 45 cm 时,番茄果实干物质积累量较埋深为 30 cm 的低 4.02%,埋深为 30 cm 的番茄果实干物质积累量较埋深为 15 cm 的低 3.12%,说明增加沸石埋深对果实干物质积累量有抑制作用,但这一影响并不显著。由图 4 还可看出,不同因素对番茄果实干物质积累量的影响表现为 $W > Z > H$, W 对其影响程度分别是 Z 、 H 的 5.24、12.86 倍,说明 W 是影响干物质积累的最关键因素,适宜番茄果实干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_9H_{15}$ 。

2.5 土壤水分-沸石量-埋深对番茄植株干物质分配的影响

为研究不同因素、水平对番茄植株干物质在器官间分配特性的影响,对各器官干物质质量占植株总

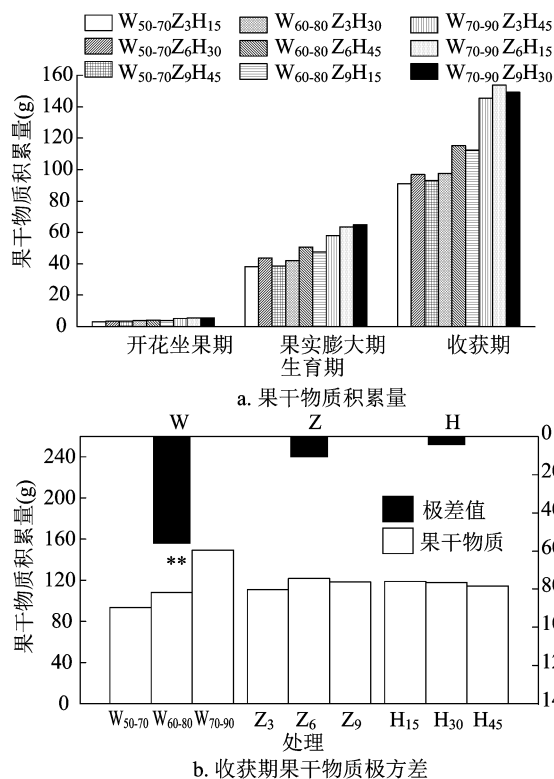


图4 不同处理下番茄单株果实干物质积累量及收获期的极方差

干物质质量的比例进行计算分析。由图 5 可知,在苗期,干物质分配主要集中在番茄茎部、叶部,分别占总干物质质量的 42.83% ~ 47.54%、48.67% ~ 53.20%;从开花坐果期后至收获期,不同处理下番茄果实干物质积累量平均分配比例由 5.34% 增加至 47.46%,而根干物质积累量、叶干物质积累量、茎干物质积累量占比呈下降趋势。

结合表 2 和方差分析结果可知,在不同土壤含水量处理下,番茄根干物质积累量、果实干物质积累量分配比例表现为 W_{60-80} 处理 $> W_{50-70}$ 处理 $> W_{70-90}$ 处理,茎干物质积累量、叶干物质积累量分配比例表现为 W_{70-90} 处理 $> W_{60-80}$ 处理 $> W_{50-70}$ 处理、 W_{50-70} 处理 $> W_{60-80}$ 处理 $> W_{70-90}$ 处理。说明当土壤含水量增高时,番茄茎干物质积累量分配比例提高,叶干物质积累量分配比例降低,根干物质积累量、果实干物质积累量分配比例则先升高后降低。当沸石用量增加时,番茄根干物质积累量、果实干物质积累量分配比例先升高后降低,茎干物质积累量、叶干物质积累量分配比例先降低后升高。在不同沸石埋深处理下,果实干物质积累量的分配比例表现为 H_{15} 处理 $> H_{45}$ 处理 $> H_{30}$ 处理,番茄其他器官干物质积累量的分配比例排序为 $H_{30} > H_{45} > H_{15}$ 。方差分析结果表明,上述影响均未达到显著水平。

由极差分析结果可知,土壤含水量、沸石用量、沸石埋深 3 个因素对番茄茎干物质积累量、叶干物质积累量分配比例的影响表现为 $W > Z > H$,对根干物质积累量、果实干物质积累量分配比例的影响分别表现为 $W > H > Z$ 、 $H > Z > W$ 。

3 讨论与结论

对不同土壤水分-沸石量-埋深处理下番茄各器官的干物质积累量进行测定发现,番茄根、叶干物质积累量随生育期呈对数增长,而茎、果分别呈“S”形、指数型增长;3 个因素对番茄各器官干物质积累量影响大小表现为 $W > Z > H$ 。本研究结果表明,增加土壤含水量对番茄根、茎、叶、果实干物质积累均有显著促进作用,这与黄红荣等的研究结论^[20-21]相似,这是由于增加土壤含水量后,番茄根系吸水速率、光合作用都得到了显著提升^[22],有助于加速番茄生长、促进番茄各器官中干物质的积累。

宋秀华等研究发现,添加沸石有助于提高番茄干物质积累量^[10]。本研究发现,在 3 ~ 6 t/hm² 用量范围内增施沸石能够促进番茄各器官干物质的积累,这是因为沸石可增加土壤养分含量^[23]、改善土壤结构及理化性质^[24]、提升土壤保水能力^[8],从而为作物生长提供适宜的水分环境。但本研究也发现,当沸石用量增至 9 t/hm² 时,会轻微抑制番茄根、果实的干物质积累,这是由于沸石施用过多会导致过量 Na⁺ 离子流失到土壤中,从而对番茄根系产生毒害作用^[25],并且这种毒害作用的积累最终会对后期果实生长造成影响。

本研究结果表明,增加沸石埋深对番茄根、茎、叶干物质积累量的影响表现为先增后减,这与土壤水分及根系分布特征密切相关。在滴灌处理下,土壤水分、根系主要集中在 0 ~ 40 cm 土层^[17,26],浅层 (0 ~ 15 cm) 土壤含水率较高,并随土壤深度增加,含水率持续降低。在灌后初期,沸石浅埋处理 (15 cm) 易造成番茄根系局部土壤水分含量过高,影响土壤通透性^[13],不利于番茄生长和干物质积累。随着试验的进行,浅层土壤水分由于蒸发扩散、入渗作用而迅速降低^[22],沸石浅埋处理 (15 cm) 对水分的固持量较少,对干物质的积累作用效果较弱。由于 40 cm 深度以下土壤含水率较低,并且根系分布数量较少,沸石深埋 (45 cm) 处理所固持的土壤含水量有限,根系吸水能力较弱,导致对干物质累积的贡献较小。在 30 cm 深度,土壤含水率适

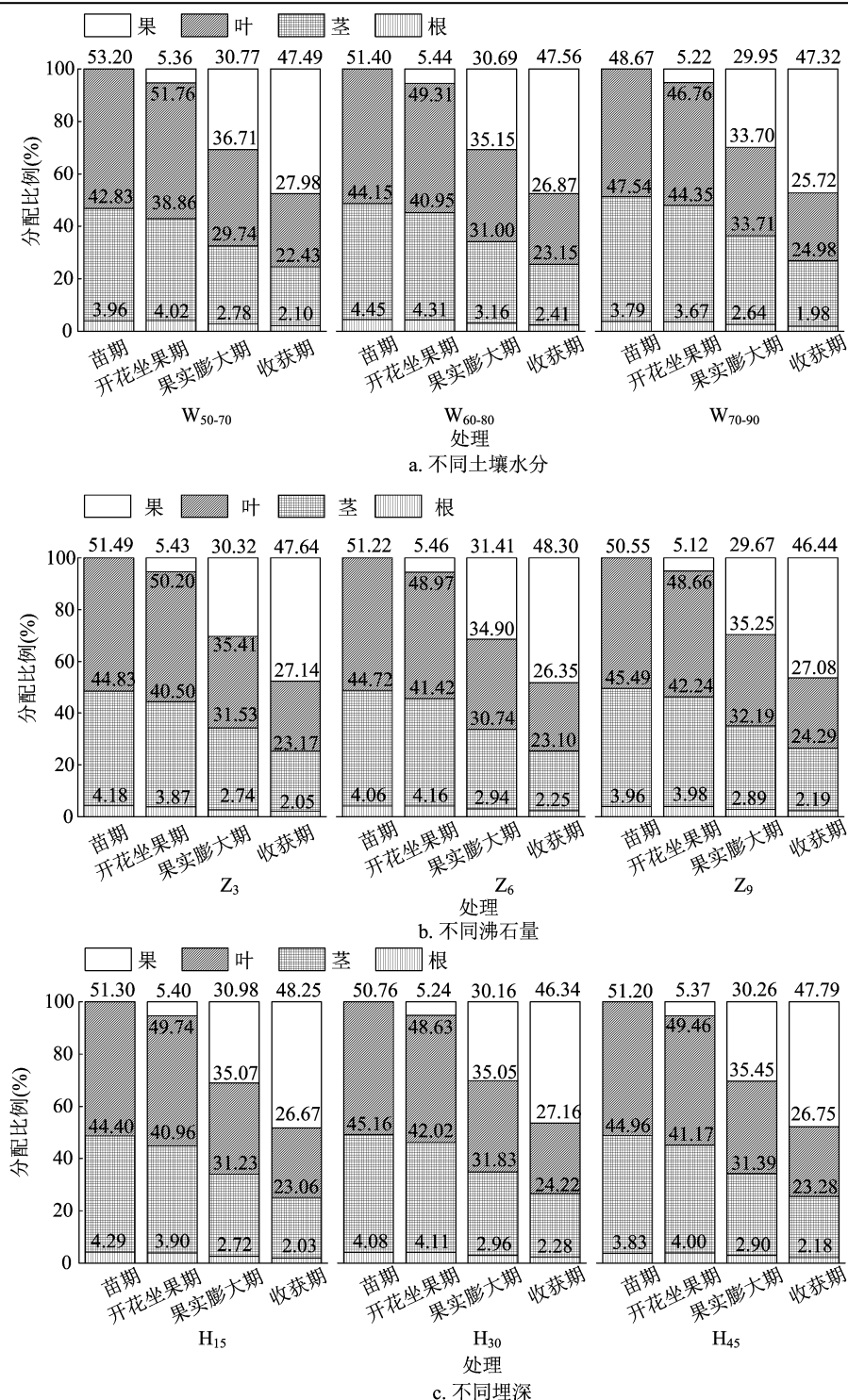


图5 不同处理下番茄干物质在各器官间的分配比例

宜且根系较为集中,可避免浅埋、深埋处理的不足,因此,H₃₀处理对干物质积累的促进效果要优于H₁₅、H₃₀处理,但这种促进效果并不显著。

番茄根、茎、叶干物质的分配比例随生育期的推进而逐步降低,根干物质的分配比例在开花坐果期后迅速提高,且在本研究中,收获期番茄根、茎、

叶、果的干物质分配比例分别为1.67%~2.54%、22.20%~27.04%、24.90%~28.50%、44.36%~49.16%,但前人报道中提到的番茄各器官分配比例分别为3.67%~7.04%、34.67%~45.84%、12.34%~18.85%、30.06%~46.39%^[19],说明前人研究得出的根茎干物质分配比例要高于本研究结

表 2 番茄干物质在收获期各器官间分配比例极差分析结果

%

指标来源	根干物质分配比例			茎干物质分配比例			叶干物质分配比例			果干物质分配比例		
	W	Z	H	W	Z	H	W	Z	H	W	Z	H
k_1	2.10	2.05	2.03	22.43	23.17	23.06	27.98	27.14	26.67	47.49	47.64	48.25
k_2	2.41	2.25	2.28	23.15	23.10	24.22	26.87	26.35	27.16	47.56	48.30	46.34
k_3	1.98	2.19	2.18	24.98	24.29	23.28	25.72	27.08	26.75	47.32	46.44	47.79
R	0.43	0.20	0.25	2.55	1.19	1.16	2.26	0.79	0.49	0.24	1.86	1.91

果,但叶果分配比例小于本研究结果,这种差异是由基础试验条件不同引起的。本研究采用滴灌温室种植试验,土壤含水率为 15.5% ~ 27.9%,前人研究采用滴灌盆栽试验,在坐果后通过定期限制灌水,使含水率在灌水前维持在 10.41% ~ 22.12%,在部分处理下,番茄已经达到缺水或凋萎状态。当植物受到干旱胁迫时,为了缓解水分亏缺、减少因干旱造成的损失,会通过生理反馈调节促使根系生物量在总生物量中所占比例提高^[18],并且亏缺灌溉会严重影响叶片、果实的生长发育^[19],导致番茄干物质在叶、果中的分配比例较本研究低。本研究结果同时表明,土壤水分-沸石量-埋深对番茄干物质分配的影响并不显著。

综上所述,土壤含水量、沸石用量、沸石埋深 3 个因素最有利于番茄各器官干物质累积的组合并不完全相同,需要进一步优选。适宜根、茎、叶干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_6H_{30}$,适宜果实干物质累积的最优处理组合为 $W_{70-90}Z_9H_{15}$ 。考虑到 W、Z 及 H 对各器官干物质分配比例无显著影响,故不参与组合处理的优选评价。经综合比较得出,根、茎、叶、果实干物质积累量均对土壤水分含量具有显著且一致性的响应,可首先确定因素 W 的最优水平为 W_{70-90} 。鉴于 Z_6 、 Z_9 处理和 H_{15} 、 H_{30} 处理对根、茎、叶、果干物质积累量及分配比例的影响均不显著,出于节约沸石用量、降低农业生产成本考虑,确定因素 Z 的最优水平为 Z_6 ,因素 H 的最优水平为 H_{15} 。因此,适宜番茄生长的最优因素组合为 $W_{70-90}Z_6H_{15}$ 。

参考文献:

[1]赵洪,邓 珊,章毅颖,等. 2009—2018 年我国番茄品种利用及管理分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):24-28.

[2]孙 婧,田永强,高丽红,等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(6):153-164.

[3]薛俊华,罗新兰,李 东,等. 温室番茄干物质分配及果实生长发育规律的研究[J]. 河南农业科学,2008(10):110-112,115.

[4]石小虎,蔡焕杰,赵丽丽,等. 不同水分处理下基于辐射热的温室番茄干物质生产及分配模型[J]. 农业工程学报,2016,32(3):69-77.

[5]王丽英,张彦才,赵梅素,等. 以氮磷推荐有机肥对温室番茄干物质、产量和品质的影响[J]. 华北农学报,2013,28(3):121-126.

[6]胡美美,于世欣,付乃鑫,等. 日光温室番茄产量与土壤养分、植株养分的关系[J]. 土壤与作物,2018,7(1):13-21.

[7]Huang A S, Caro J. Cationic polymer used to capture zeolite precursor particles for the facile synthesis of oriented zeolite LTA molecular sieve membrane [J]. Chemistry of Materials, 2010, 22(15):4353-4355.

[8]马媛媛,戴显庆,彭绍好,等. 天然沸石对松嫩平原黑钙土理化性质和保水能力的影响[J]. 北京林业大学学报,2018,40(2):51-57.

[9]Nam D S, Moon T, Lee J W, et al. Estimating transpiration rates of hydroponically - grown paprika via an artificial neural network using aerial and root - zone environments and growth factors in greenhouses [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2019, 60(6):913-923.

[10]宋秀华,王秀峰,臧金波,等. 沸石添加对番茄幼苗素质的影响[J]. 中国蔬菜,2004(3):7-9.

[11]方红夏,王 茜,卢树昌,等. 土壤调理剂对高磷土壤玉米生长、磷素吸收与形态转化的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(14):70-73.

[12]李 鹏,安志装,赵同科,等. 天然沸石对土壤镉及番茄生物量的影响[J]. 生态环境学报,2011,20(增刊1):1147-1151.

[13]贺章咪,李欣忱,徐卫红,等. 纳米沸石不同施用方式对油菜菜及土壤 Cd 含量的影响[J]. 中国蔬菜,2018(6):48-53.

[14]张玥琦,程 奇,关之昊,等. 稻草与生石灰对设施土壤微量元素含量和番茄产量的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(4):228-233,348.

[15]姚珍珠,夏桂敏,王淑君,等. 水分胁迫和斜发沸石应用对花生叶片光合特性及水分利用的影响[J]. 中国农村水利水电,2016(9):105-110,114.

[16]雷 涛,郭向红,毕远杰,等. 基于 Logistic 模型的番茄生长特性研究[J]. 节水灌溉,2020(10):10-14.

[17]张 坤,刁 明,景 博,等. 不同灌水量与灌水频率对加工番茄根系生长和产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2020,38(1):83-89.

[18]徐 菲,李建明,吴普特,等. 亚低温下水分对番茄幼苗干物质积累与养分吸收的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(15):3293-3304.

武杞蔓,刘朋宇,张颖,等.微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响[J].江苏农业科学,2022,50(24):125-130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.24.018

微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响

武杞蔓¹,刘朋宇²,张颖¹,李玥莹¹

(1. 沈阳师范大学生命科学学院,辽宁沈阳 110034; 2. 沈阳市食品药品检验所,辽宁沈阳 110122)

摘要:为研究微生物菌肥在设施栽培番茄上的实施效果与作用,以番茄品种 185 为供试材料,以微生物菌肥宁盾为供试菌肥,设定对照(CK)、宁盾 A 液灌根(T_1)、宁盾 B 液喷施(T_2)、宁盾 A 液与 B 液配合施用(T_3)4 个处理,研究微生物菌肥对番茄植株生长发育、增产增收、果实品质及糖代谢相关酶活性的影响。结果表明,微生物菌肥能够显著增加番茄植株产量,改善番茄果实品质,提高叶片叶绿素含量,其中以宁盾 A 液、宁盾 B 液配合施用的效果最佳,与对照相比番茄产量增加了 14.4%,叶绿素含量提高了 9.9%,可溶性糖含量增加了 55.1%。除此之外,微生物菌肥能显著促进番茄植株生长、提高番茄果实中糖代谢相关酶的活性,以单独浇灌宁盾 A 液促进株高、茎粗增长的效果最好,其蔗糖合成酶、磷酸蔗糖合成酶、酸性转化酶活性分别比对照提高了 44.4%、49.1%、35.4%。由此可见,微生物菌肥能够通过调节番茄中 4 种与蔗糖代谢相关酶的活性,提高番茄果实中可溶性糖含量,从而改善果实的营养品质,增加番茄果实中的营养物质含量。

关键词:微生物菌肥;番茄;生长;品质;糖代谢相关酶

中图分类号:S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)24-0125-06

番茄作为常规蔬菜的一种,具有较高的营养价值,又兼具价格便宜、味道酸甜且食用方法丰富等特点,深受全球人民的喜爱。此外,番茄拥有特殊的抗氧化能力,有助于消除引起人体细胞老化、病变的自由基,从而控制了人类前列腺细胞的致癌进程,也因此有效降低了胰腺等器官中恶性肿瘤的增殖风险^[1]。因此,番茄已经成为人们日常生活中不

可或缺的食物。但是最近几年来,随着可控环境农业的发展与人民思想觉悟、生活质量的提高,人们对于农产品的要求越来越高,番茄的口感品质、对人体是否有伤害都是人们担忧的问题。

近年来,研究者把目光投向了根际土壤-微生物-植物三者之间的相互作用上,探索这三者之间在代谢产物、酶活性和基因调控方面的关系对于植株的生长繁殖、土壤根系环境的稳定都有着极其重要的作用。根际微生物群落就是宿主植物在自然土壤环境中通过根系吸引并筛选特定微生物群落而形成的部分微生物类群^[2]。有研究发现,宿主植物在生长发育的过程中,为了提高其在大自然中的生存能力,会自发地调控自身代谢物分泌进而调控根际微生物群落的组成以适应自身的发育过程。

收稿日期:2022-01-12

基金项目:辽宁省科学技术基金博士启动项目(编号:20170520357);

辽宁省科学计划(编号:2017208001);辽宁省重点研发计划(编号:2018103004)。

作者简介:武杞蔓(1997—),女,辽宁葫芦岛人,硕士研究生,主要从事生物化学与分子生物学研究。E-mail:1730056486@qq.com。

通信作者:张颖,博士,副教授,主要从事设施逆境栽培研究。E-mail:f5944@163.com。

[19] 齐红岩,李天来,张洁,等.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.

[20] 黄红荣,李建明,张军,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄光合、产量和干物质分配的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):6-12.

[21] 高方胜,徐坤,徐立功,等.土壤水分对番茄生长发育及产量品质的影响[J].西北农业学报,2005,14(4):69-72.

[22] 雷震.水分-沸石耦合调控策略对番茄生长特性影响研究[D].太原:太原理工大学,2021:20-25.

[23] 李长洪,李华兴,张新明.天然沸石对土壤及养分有效性的影响[J].土壤与环境,2000(2):163-165.

[24] Szatanik - Kloc A, Szerement J, Adamczuk A, et al. Effect of low zeolite doses on plants and soil physicochemical properties[J]. Materials, 2021, 14(10):2617.

[25] 迟道才,孙一迪,吴奇,等.肥与沸石对节水稻作产量及氮素吸收利用的影响[J].沈阳农业大学学报,2015,46(5):588-595.

[26] 申宇,李乐雷.节水灌溉新技术应用现状与进展研究[J].中国农业信息,2017(18):77-78.