

王 越,温祥珍,李亚灵. 基质栽培中营养液配方对番茄养分吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):139-145.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.025

基质栽培中营养液配方对番茄养分吸收利用的影响

王 越,温祥珍,李亚灵

(山西农业大学,山西太谷 030801)

摘要:为了寻找一种较为简单的基质栽培番茄的营养液代替方案,实现番茄无土栽培的轻简化,以番茄品种“夏朗”为试验材料,采用腐熟羊粪和泥炭(1:5)为基质进行封闭式营养液循环栽培,以市售 AB 肥作为对照(CK),以尿素类化肥(T1)、硝酸类化肥(T2)、高氮钾复合肥(T3)、氮磷钾平衡复合肥(T4)配制简化营养液,浇灌番茄,比较各简化营养液配方对番茄植株生物量、产量及系统中养分变化的影响。试验结果表明:以 T1 处理植株干物质积累最高,超过 CK 13.5%,果实产量也略高于 CK,氮、磷、钾养分吸收率分别为 65%、103%、44%,氮肥的损耗率只有 7%,可以忽略不计,磷肥不仅没有损耗,还吸收了基质中的养分。T3 处理植株干质量只有 CK 的 77%,果实产量只有 CK 的 57%,氮、钾的养分吸收率不足 30%,但是肥料损耗率却达到 44%、73%。可见,本试验所采用的几种肥料配制的营养液一定程度上均可满足番茄的生长需求,但是尿素类肥料是营养液配制中氮源的较好来源;如采用复合肥配制营养液时最好采用氮磷钾平衡肥,这样肥料容易被植株吸收利用,损耗率小。

关键词:番茄;无土栽培;营养液;养分吸收率;养分消耗率

中图分类号: S641.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)23-0139-06

番茄是设施蔬菜生产中的主要蔬菜之一^[1]。在设施生产中,土壤盐渍化、连作障碍等一系列问题,致使设施番茄产量降低,而在设施生产中使用无土基质栽培是解决设施番茄生产连作障碍的重要措施之一^[2]。但是由于无土栽培基质成本较高、技术复杂,特别是营养液配制技术难度大,直接购买商品营养液不仅昂贵,而且难以适应当地种植要求,因此研究一种比较简单且便宜的营养液代替配方就显得尤为重要。蒋卫杰等通过研究发现,在添加一定基肥的条件下无土栽培中基质本身就可以提供充足的 Ca、Fe、Mn、Zn、Cu 等营养元素,作物的需求重点在 N、P、K 三要素^[3]。郑光华等通过研究发现,有机肥配合无机肥施用,比单纯施用有机肥效果好^[4]。在此基础上,已有许多关于代替营养液方面的研究,谭学文等利用普通化肥代替化学试剂配制营养液,大幅降低了成本,并且发现适当比例的铵态氮能促进黄瓜总产量的提高,硝态氮和酰胺态氮的化肥同时作氮源时,可不同程度地促进黄瓜

的生殖生长^[5]。杨红丽等利用复合肥与冲施有机肥进行番茄育苗取得了不错的效果^[6]。但这些研究大多集中于不同代替方案对植株生长及生理方面的影响上^[7-8],而对基质内养分变化规律及肥料的吸收与利用方面却缺乏报道。本试验采用封闭式基质营养液循环栽培,希望通过比较基质中养分变化规律的差异,寻找一种较为简单的营养液代替方案,实现无土栽培的轻简化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在山西农业大学设施农业工程研究所三连跨温室中进行。供试番茄品种为夏朗,2020 年 6 月 17 日定植,9 月 24 日拉秧,共种植 98 d。栽培槽采用硬质 PVC 塑料,纵切面为等腰梯形,其上口宽 19 cm,下底宽 12 cm,高为 16 cm。每个槽长为 8 m,栽培槽用角钢支架支起,前端(供水端)距离地面 50 cm,与地面夹角为 1°,在栽培槽后端(出水端)设置 1 排液管与营养液桶相连,营养液桶容积为 450 L。栽培槽间距 1.5 m,每 2 个相邻的栽培槽由 1 个营养液桶供液。在营养液桶中加入所需要的肥料,按照比例配制营养液。在栽培槽中安装滴灌带,营养液从供水端进入,从出水端经出水口海绵过滤杂质后排出回到营养液桶,不断循环供应。

收稿日期:2021-08-16

基金项目:山西省重点研发项目(编号:201803D2210001-1)。

作者简介:王 越(1995—),男,山西太原人,硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:1023698637@qq.com。

通信作者:李亚灵,博士,教授,主要从事蔬菜栽培生理研究。

E-mail:yalingli1988@163.com。

1.2 试验方法

试验将每 2 个槽设为 1 个处理,每个处理面积为 24 m² (8 m × 3 m),种植番茄 64 株,株距为

25 cm。栽培槽内的基质为腐熟羊粪:泥炭=1:5,其理化性质如表 1 所示,基质的量达到栽培槽深度的 2/3 以上,平均每株番茄的基质占有量为 6.25 L。

表 1 番茄栽培槽内的基质理化性质

处理	容重 (g/cm ³)	孔隙度 (%)	pH 值	EC 值 (mS/cm)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)
基质	0.17	73.18	6.51	2.52	658.00	167.31	3.51	10.29	3.15	27.1

以市售无土栽培固体 AB 肥为对照,分别以当地生产者常用的普通市售尿素、硝酸类肥料、高氮钾复合肥、氮磷钾平衡复合肥配制营养液。具体试验设置处理如下:CK,市售 A 肥、B 肥(福建万果农资有限公司),按照其提供的标准 A:B=1.4:1 配制,其中 A 肥 N:P₂O₅:K₂O 为 11:9:30,B 肥 N:P₂O₅:K₂O 为 12:1:1,最终添加的营养液 N:P₂O₅:K₂O 为 12:6:18。T1,以市售尿素为主,添加尿素、磷酸二氢钾、硝酸钾,其氮磷钾比例按照 CK 配制。T2,以硝酸类肥料为主,添加市售常见农用化肥硝酸钙、磷酸二氢钾、硝酸钾,其氮磷钾比例按照 CK 配制。T3,以市售常见高氮钾复合肥(复合肥 I,深圳市杜高生物新技术有限公司)为主,其固有的 N:P₂O₅:K₂O 为 25:8:20。T4,以市售常见平衡复合肥(复合肥Ⅱ,深圳市杜高生物新技术有限公

司)为主,其固有的 N:P₂O₅:K₂O 为 18:18:20。

根据每生产 1 000 kg 番茄需要 N、P、K 分别为 4.0、1.8、4.8 kg 的标准^[9]计算,肥料的添加量按目标产量为 24 000 kg/hm² 计,同时考虑了肥料的吸收率(氮吸收率为 60%,磷为 30%,钾为 70%^[10])。由于 T3、T4 为市售复合肥,其 N、P、K 比例固定,所以添加量是以 CK 中 K 的添加量为基准,使其 K 含量与其处理相同,整个试验各个处理的最终肥料添加量结果如表 2 所示。由于基质中添加了羊粪,含有一定的养分,因此各处理定植后的 3 周只浇清水不加肥,在第 4、第 5 周统一加入 A 肥、B 肥进行缓苗。其余肥料从定植后 42 d(即 7 月 28 日)开始按照表 2 的量平均分 4 次加入。肥料的施用方法是将肥料溶入营养液桶中,然后随日常浇水供应。

表 2 不同处理营养液各组分添加量

处理	添加量(g)							
	A 肥	B 肥	尿素	硝酸钙	硝酸钾	磷酸二氢钾	复合肥 I	复合肥Ⅱ
CK	1470	1050	0	0	0	0	0	0
T1	350	250	296.66	0	583.56	209.13	0	0
T2	350	250	0	1 009.33	583.65	209.04	0	0
T3	350	250	0	0	0	0	1 720	0
T4	350	250	0	0	0	0	0	1 720

1.3 测定项目及方法

在番茄生长期间每隔 14 d(6 月 30 日开始)测量番茄各部分干鲜质量。将植株整株取样,洗净植株上的泥土后擦干,分为根、茎、叶、果四部分,分别测量其鲜质量,后放入烘箱 105 ℃ 杀青,80 ℃ 烘干后测量其干质量,每次每个处理测 4 株。采收期(8 月 21 日开始)每隔 1 周采果 1 次,统计其单株产量。在植株最后一次测量根、茎、叶、果实部位干质量后,将所得的干样混匀后,用于矿质养分含量测定。采用奈氏比色法测定全氮含量,钼锑抗比色法测全磷含量,火焰光度法测定全钾含量。

在番茄生长期间每隔 14 d(6 月 17 日开始)分别取栽培槽内基质(距离植株基部 10 cm 处取样)、营养液桶中的营养液,测定其氮磷钾的含量。使用

碱解氮扩散法、凯氏定氮法测定速效氮、全氮含量;用碳酸氢钠浸提、钼锑抗比色法测定速效磷及全磷含量;用醋酸铵浸提、火焰光度法测定速效钾及全钾含量。对于营养液使用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定总氮含量,过硫酸钾氧化-钼锑抗比色法测定总磷含量,火焰光度法测定总钾含量^[11-12]。本研究所用概念与计算公式^[13-14]如下:

- 肥料投入量即各处理所投入的化肥量;
- 残留量 = 基质中的速效养分量 + 营养液桶中的残留量;
- 累积加肥量 = 基质中的原始速效养分量 + 肥料投入量;
- 肥料消耗量 = 累积加肥量 - 残留量;
- 肥料消耗率 = 肥料消耗量/肥料投入量;

番茄养分吸收量 = 根系中元素的含量 × 根系干质量 + 茎中元素的含量 × 茎干质量 + 叶中元素的含量 × 叶的干质量 + 果实的元素含量 × 果实干质量;

番茄养分吸收率 = 番茄养分吸收量 / 肥料投入量;

肥料损耗率 = 肥料消耗率 - 番茄养分吸收率。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 种植系统中 N、P、K 养分含量的变化

试验中各处理均处于封闭式循环中,所以不存在养分流失的问题,定植前基质中的速效养分与投入的肥料量之和定义为累积加肥量,因此其一部分被植物吸收或者被基质固定(这部分定义为消耗量),一部分留存在基质和营养液桶中(定义为残留量)。

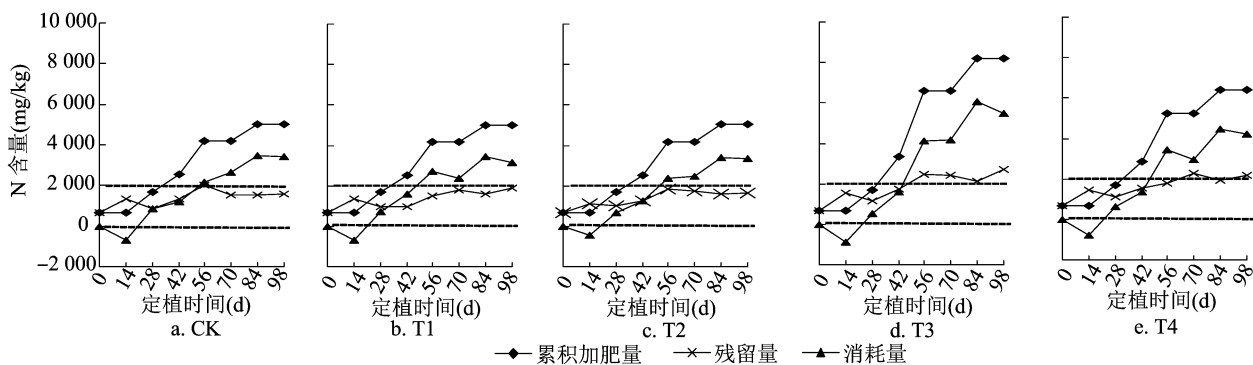
2.1.1 系统中 N 累积加肥量、残留量及消耗量

随着栽培时间的延长和植株的生长,不断地往营养液桶中添加肥料。由图 1 可知,在定植后 42 d,随着氮肥不断添加,其中 T1、T2 与 CK 接近,最后的累积

加肥量达到 5 000 mg/kg;而 T3、T4 在最后一次施肥后氮肥累积加肥量分别达到 7 546、5 723 mg/kg,是 CK 的 1.73、1.20 倍。

系统中氮肥的残留量是由基质中的碱解氮含量与营养液桶总氮含量相加得出的。由图 1 可知,在整个栽培时期,各处理的残留量整体随着施加量的增加呈上升趋势,其中 T3 上升速度最快,在最后一次测定时其残留量也是最高的,为 2 715 mg/kg,是 CK 的 1.71 倍;其次是 T4,为 2 159 mg/kg,是 CK 的 1.36 倍;T1、T2 中的氮残留量与 CK 接近,为 CK 的 1.19、1.05 倍,均低于 2 000 mg/kg。

累积加肥量减去当时所测定的残留量,获得了氮肥的消耗量。为了进一步研究系统中肥料消耗量与肥料投入量之间的关系,利用氮肥消耗量除以氮肥的投入量即氮肥的消耗率(表 3)。由表 3 可知,各处理氮肥的消耗率约占投入量的 75%,其中 T1 处理最小,为 72%。从最终氮肥消耗量来看, T1、T2 与 CK 相似,均在 3 500 mg/kg 左右;T3 消耗量最多,为 5 494 mg/kg,是 CK 的 1.60 倍;T4 次之,其消耗量为 4 226 mg/kg,为 CK 的 1.23 倍。



累积加肥量=基质中的原始速效养分量+肥料投入量, 残留量=基质中的速效养分含量+营养液桶中的养分含量,

肥料消耗量=累积加肥量-残留量。图 2、图 3 同

图1 不同处理对系统中 N 累积加肥量、残留量及消耗量的影响

另外,从图 1 可知,栽培系统中的速效氮消耗量在定植后 14 d 时呈现负值,其原因可能是基质通过分解释放出了一部分养分,释放养分的量超过了这段时间植株所吸收的量,所以其系统中的残留量超过其累积加肥量,从而导致消耗量为负。

2.1.2 系统中 P、K 累积加肥量、残留量及消耗量

类似于氮肥的方法,图 2、图 3 为不同处理系统内 P、K 的累积加肥量、基质及营养液桶中的残留量以及肥料消耗量的动态变化。从图 2 可知,T1、T2 处理 P 的累积加肥量与 CK 接近,CK 最后达到 1 134 mg/kg;T3、T4 分别为 1 324、2 461 g/kg,是 CK 的 1.17、2.17 倍。各处理使用钾肥作为配制标准,

所以各处理添加钾肥的量相同,最后钾肥的累积加肥量均在 9 185 g/kg 左右(图 3)。

基质及营养液桶中磷肥和钾肥的残留量的测定结果也如图 2、图 3 所示。从最后一次测定看 P 的残留量,T1 处理比 CK 略低,为 590 mg/kg,T2、T3 处理与 CK 相比降幅较大,T4 残留量最高,为 968 mg/kg。几个处理之间 K 的残留量相差不大,为 4 000 g/kg 左右,是 CK 的 1.20~1.40 倍。

与氮肥相类似,考察磷肥、钾肥消耗量与投入量之间的关系,计算其消耗率,结果见表 3。从表 3 可以看出,P 的消耗率在 52%~88%,K 的消耗率都在 90% 以上,而且还出现了大于 100% 的情况。

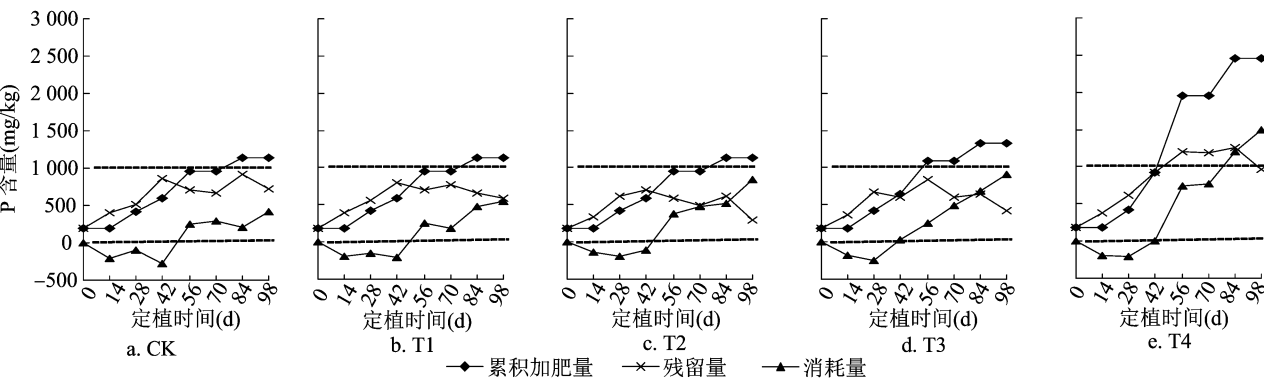


图2 不同处理对系统中 P 累积加肥量、残留量及消耗量的影响

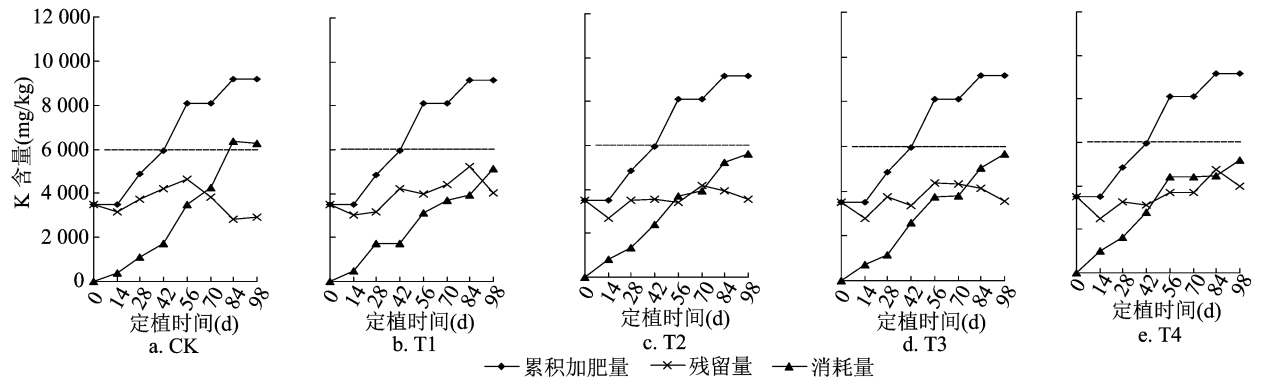


图3 不同处理对系统中 K 累积加肥量、残留量及消耗量的影响

表 3 不同处理对系统中养分消耗的影响

处理	肥料投入量 (mg/kg)			肥料消耗量 (mg/kg)			肥料消耗率 (%)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	4 355	944	5 670	3 434 ± 68.59c	409 ± 166.95d	6 270 ± 103.93a	79 ± 1.58a	52 ± 0.86e	111 ± 1.83a
T1	4 356	945	5 676	3 134 ± 83.07d	545 ± 15.14c	5 149 ± 100.59c	72 ± 1.91c	58 ± 1.60d	91 ± 1.77c
T2	4 357	945	5 676	3 358 ± 105.06cd	836 ± 16.91b	5 614 ± 90.65b	77 ± 2.41ab	88 ± 1.79a	99 ± 1.60b
T3	7 546	1 134	5 671	5 494 ± 172.81a	903 ± 30.07b	5 648 ± 45.36b	73 ± 2.29bc	80 ± 2.65b	100 ± 0.80b
T4	5 724	2 271	5 671	4 226 ± 277.68b	1 492 ± 79.11a	5 178 ± 62.50c	74 ± 4.85bc	66 ± 3.48c	91 ± 1.10c

注:肥料投入量 = 各处理所投入的化肥量,肥料消耗量 = 累积加肥量 - 残留量,肥料消耗率 = 肥料消耗量/肥料投入量。同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 4、表 5 同。

2.2 番茄干物质生产及果实产量

由图 4 可知,各处理植株的干质量在定植后 42 d 施加肥料处理前大致相同,而在施加肥料后各处理开始出现差异,其中 T1 的干质量与 CK 类似,增加最快。试验结束时,T1 的植株干质量达到 114.24 g/株,超过 CK (100.68 g/株)13.47%,T2、T3、T4 的植株干质量分别为 79.02、77.51、86.00 g/株,只有 CK 的 78.49%、76.99%、85.42%。番茄果实的干质量与植株干质量的变化趋势大致相同。

由表 4 可知,T1 单株产量为 946.7 g,比 CK 的 933.9 g 略高,两者差异不显著,T3 处理产量最低为 532.9 g,仅为 CK 的 57%,显著小于 CK 和 T1 处理。T4 处理为 785.68 g,达到 CK 产量的 84%。由单株

产量计算出了 1 hm² 的产量,T1 处理以及 CK 较高,达到 24 000 kg/hm² 以上,超过了预期产量。

2.3 番茄植株体内养分吸收量、吸收率与损耗率

试验结束时分别测定番茄植株根、茎、叶、果实不同部位氮磷钾养分含量,根据各部位干质量计算植株全株养分的吸收量 (表 5)。由表 5 可知,植株氮、磷、钾养分的吸收量都以 T1 处理最高,分别为 2.90、1.01、2.56 g/株,比 CK 高 16.94%、12.22%、18.52%,T2、T3、T4 的养分吸收量均比 CK 低。这与 T1 单株长势最好、干质量大有直接关系。

根据植株养分的吸收量和各处理肥料的投入量,计算出养分的吸收率并列于表 5。由表 5 可知,氮肥的吸收率以 T1 最高为 65%,是 CK 的 1.18 倍,

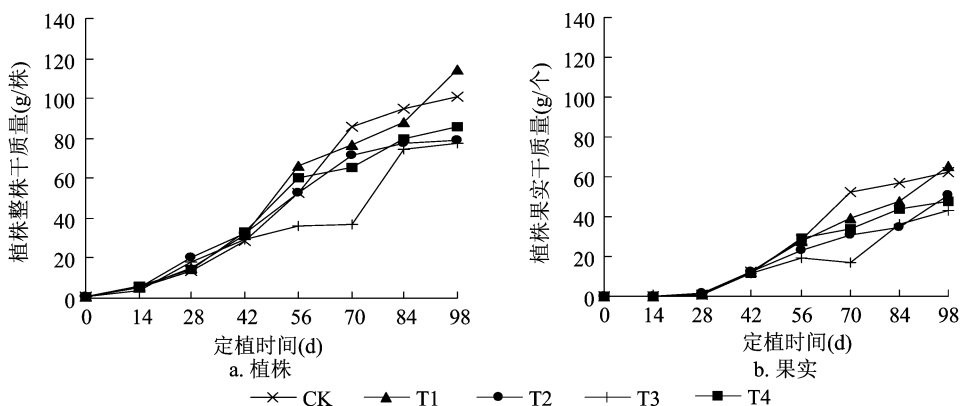


图4 不同处理对番茄植株与番茄果实干物质积累量的影响

表 4 不同处理液对番茄产量的影响

处理	单株产量 (g)	折合产量 (kg/km ²)
CK	933.88 ± 56.78a	24 916.05
T1	946.69 ± 222.63a	25 257.75
T2	707.67 ± 256.12ab	18 880.50
T3	532.91 ± 264.42b	14 217.90
T4	785.68 ± 231.50ab	20 961.90

注:产量统计时间从定植后 65 ~ 98 d(8 月 21 日至 9 月 25 日)共计 34 d 的数据,为 4 株的平均值。数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

而 T3 最低为 29%,只有 CK 的 52.73%;T2、T4 处理为 CK 的 70%左右。T1 处理磷肥的吸收率为 103% 超过 1,说明植株不仅吸收了追肥中的磷,还吸收了部分基质中的磷;T4 处理磷肥的吸收率最低,只有

29%;T2、T3 处理为 60%左右。从钾肥的吸收率来看,T1 处理最高,也仅为 44%;而 T2、T3、T4 处理分别为 32%、27%、28%。

肥料的消耗率(表 3)与植株养分的吸收率(表 5)之差看作为速效养分的损耗率(表 5),正值说明追肥中部分肥料并没有被植株吸收,可能被转化固定在基质中,负值说明基质不仅没有固定追肥中的养分,还释放出了基质中原有的迟效养分。由表 5 中的损耗率可知,相对于氮肥、磷肥来说,钾肥的损耗率在所有处理中都很高,T1 处理最小,但也达到 47%,其他处理在 67% ~ 74% 之间,说明钾肥整体过量。T1 处理氮的损耗率只有 7%,T2、T3、T4 处理高达 35%、44%、36%。T1 处理磷肥的耗损率为负值,而 T3、T4 处理为 24%、37%。对照处理的氮肥损耗率为 24%,磷肥也是负值。

表 5 不同营养液配方对番茄养分吸收量、养分吸收率以及损耗率的影响

处理	养分吸收量(g/株)			养分吸收率(%)			肥料损耗率(%)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	2.48 ± 0.09b	0.90 ± 0.02b	2.16 ± 0.02b	55 ± 2.02b	92 ± 2.35b	37 ± 0.39b	24 ± 2.79b	-39 ± 2.81c	74 ± 0.81a
T1	2.90 ± 0.17a	1.01 ± 0.08a	2.56 ± 0.04a	65 ± 0.40a	103 ± 8.34a	44 ± 0.08a	7 ± 5.28c	-46 ± 8.12c	47 ± 1.17c
T2	1.89 ± 0.26c	0.59 ± 0.07d	1.90 ± 0.14c	42 ± 5.68c	60 ± 6.75c	32 ± 2.40c	35 ± 7.38a	28 ± 6.19b	66 ± 1.03b
T3	2.28 ± 0.09b	0.66 ± 0.04cd	1.58 ± 0.01d	29 ± 1.21c	56 ± 3.32c	27 ± 0.08d	43 ± 3.02a	23 ± 2.31b	72 ± 0.42a
T4	2.24 ± 0.13b	0.69 ± 0.04c	1.66 ± 0.03d	38 ± 2.18d	29 ± 1.74d	28 ± 0.48d	36 ± 6.99a	36 ± 4.72a	62 ± 0.58b

注:养分吸收量 = 根系中的养分含量 × 根系干质量 + 茎中的养分含量 × 茎干质量 + 叶中的养分含量 × 叶的干质量 + 果实中的养分含量 × 果实干质量,养分吸收率 = 植株养分吸收量/肥料的投入量,肥料损耗率 = 养分消耗率 - 养分吸收率,小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

营养液是无土栽培的核心,基质栽培需通过营养液的不断供应来满足作物的生长需求^[15]。营养液配方组成和浓度是否合适、是否满足植物各个生长阶段的要求,很大程度上决定了无土栽培能否成功^[16]。本试验中,各处理的番茄均能正常生长并获

得产量,说明所采用的几种肥料配制的营养液一定程度上均可满足番茄的生长需求。

从养分变化情况看,陈新之等的研究表明, NH_4^+ 与 K^+ 同时使用会降低土壤的固钾率,使得 NH_4^+ 与 K^+ 的固定率都会下降,使土壤中的 NH_4^+ 与 K^+ 含量上升^[17]。因为尿素在使用时可释放出 NH_4^+ ,而 NH_4^+ 与 K^+ 存在一定的拮抗作用,进而使

系统中 N、K 含量相对升高,所以在施肥量相同的 3 个处理 CK、T1、T2 中,施加尿素的 T1 处理在系统中的 N、K 残留量最高。试验中 N、P 施加量较高的 T3、T4 处理中的 N、P 残留量随施肥量的增加均有不同程度的增加,并高于其余 3 个处理,廉晓娟等的研究表明,随着土壤中 N、P 施入量的增加,土壤中的碱解氮、速效磷呈增加趋势^[18]。由于 T3 处理采用的复合肥是高氮钾肥,而 T4 处理是氮磷钾平衡肥,于丹等的研究表明,营养液中的可溶性化学磷肥施入土壤中会很快转化为缓效磷,且在基质中的固定率较高,固定速度也较快^[19-20]。张学军等的研究表明, NO_3^- 在基质中移动性较强,容易被淋溶。以上说明 P 在基质中易被固定,而 NO_3^- 在基质中移动性较强,容易被淋溶,试验中氮肥的增幅要高于磷肥的增幅^[21]。这也就说明了氮肥对系统中养分含量的影响要大于磷肥的影响。

本试验结果表明,T1 处理和 CK 产量较高,这可能是由于 CK 采用 AB 肥,其氮磷钾配方较为合理,T1 处理中添加了尿素肥料,适当比例的尿素有一定的增产作用,乔慧萍等研究表明尿素部分代替硝态氮可以增加作物的产量^[22]。对于施加复合肥的 T3、T4 处理,所添加肥料的质量量相同,但是产量较低。陈连发等研究表明,随着系统中氮磷钾补充水平的逐步提高,番茄的干物质和产量呈现出先增加后减少的情况^[23]。T3 处理中氮肥施入过多,导致产量下降。T2、T4 处理产量相似,这是由于其氮肥的添加量大致相等,磷肥添加量相差虽大,但 P 在系统中易被固定,从而其对作物生长的影响也较小。

在肥料的吸收率方面,在施肥量相同的处理上,T1 处理的利用率要高于 CK、T2 处理,而 T3、T4 处理的 N、P 利用率分别最低。这与杨竹青等的研究结果:施入肥料过多会导致其肥料的吸收量和吸收率均降低,添加适量铵态氮会提高氮肥利用水平^[24-26]一致。刘代欢研究表明系统中养分含量的上升会使基质对养分的固定量上升^[27]。本试验结果表明,T1 处理中由于 NH_4^+ 与 K^+ 存在一定拮抗作用,因此氮肥损耗率只有 7% (表 5),可以忽略不计,钾肥的损耗率在各处理中也是最低。氮肥施加量大致相同的 T2、T4 处理养分的 N、K 损耗率相近,而氮肥施加量较高的 T3 处理氮、钾的损耗率是所有处理中最高的。

本试验在营养液配制中以钾肥为参照,原因是各复合肥与 AB 肥相比钾肥的比例较小,以钾肥为

参照可以保证各处理获得足够的 N、P 养分量。然而过量的肥料不仅造成肥料较高的损耗率和较低的利用率,更对植株的生长造成了抑制。适当降低复合肥的添加量会对系统养分变化和植株养分吸收造成什么程度影响还值得进一步研究。

综上所述,基质无土栽培中尿素类、硝酸类以及复合肥均可以用来配制番茄生长的营养液,其中尿素类肥料是营养液配制中较好的氮源。采用复合肥配制营养液时最好采用氮磷钾平衡肥,这样肥料容易被植株吸收利用,肥料的损耗率小。

参考文献:

- [1] 杨艳君,郭平毅,李洪燕,等. 响应面设计法在温室番茄栽培中的应用[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(4):941-946.
- [2] 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1):1-4.
- [3] 蒋卫杰,郑光华,汪浩,等. 有机生态型无土栽培技术及其营养生理基础[J]. 园艺学报,1996,23(2):139-144.
- [4] 郑光华,蒋卫杰. 消毒鸡粪在樱桃番茄无土栽培中的应用效果[J]. 北方园艺,1994(4):5-7.
- [5] 谭学文,张福熲,刘步洲. 不同营养液对无土栽培黄瓜生长发育的影响及其经济效益分析[J]. 农业工程学报,1990,16(2):82-88.
- [6] 杨红丽,王子崇,张慎璞,等. 番茄花生壳基质穴盘育苗营养液配方优选试验[J]. 西北农业学报,2010,19(7):129-132.
- [7] 郑奕,刘正鲁,刘阳. 有机缓释肥代替营养液对黄瓜和番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜,2010(4):54-57.
- [8] 李中邵,闵首军,黄春堂. 用有机缓释肥代替营养液的黄瓜栽培试验研究[J]. 长江蔬菜,2007(4):36-38.
- [9] 李建勇,高俊杰,徐守国,等. 化肥施用量对有机基质栽培番茄养分吸收利用的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):602-606.
- [10] 陆欣. 土壤肥科学[M]. 北京:中国农业大学,2002:318-321.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:39-107.
- [12] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989:216-284.
- [13] 向友珍,张富仓,范军亮. 基于临界氮浓度模型的光温温室甜椒氮营养诊断[J]. 农业工程学报,2016,32(17):89-97.
- [14] 邢英英,张富仓,张燕. 膜下滴灌水肥耦合促进番茄养分吸收及生长[J]. 农业工程学报,2014,30(21):70-80.
- [15] 蔡东升. 番茄基质栽培中营养液供应的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017:39-40.
- [16] 耿磊. 无土栽培营养液配制供应系统的研究与开发[D]. 天津:河北工业大学,2004:1-2.
- [17] 陈新之,梁成华,顾青海. 蔬菜保护地土壤对外源钾的固定特征研究[J]. 沈阳农业大学学报,1999(1):20-23.
- [18] 廉晓娟,王艳,梁新书. 不同养分投入对设施番茄产量与质量和土壤养分含量的影响[J]. 现代农业科技,2020(13):55-57.
- [19] 于丹. 猪场废水灌溉农田土壤磷素迁移转化特征研究[D]. 北京:中国农业科学院,2009:6-8.

耿晓东,周 英,汪成忠,等. 不同种植年限对凤丹牡丹根际真菌群落组成和多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):145-151.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.026

不同种植年限对凤丹牡丹根际真菌群落组成和多样性的影响

耿晓东,周 英,汪成忠,钱剑林

(苏州农业职业技术学院,江苏苏州 215008)

摘要:连作障碍对牡丹的生长发育会产生严重的影响,根际微生物环境会对这种改变做出相应的反馈,因此,对连作状态下的不同种植年限凤丹牡丹根际微生物环境的研究有重要意义。采用 Illumina 高通量测序技术,以苏州地区的 3、6、10 年生凤丹牡丹根际土壤为研究对象,对根际真菌群落进行测序分析,研究真菌 ITS rDNA 可变区的丰富度和多样性指数。测序后不同种植年限根际土中共得到 1 020 520 条原始序列,序列过滤拼接后可得 613 250 条序列(tags);3 组土壤样品共含有 891 个分类操作单元(OTUs),涵盖了 5 门、115 纲、15 目、175 科、230 属、320 种菌群;3 年生凤丹牡丹根际优势菌群为球囊菌门(Glomeromycota)、木耳科(Auriculariales)、盘菌科(Pezizaceae)、球腔菌科(Mycosphaerellaceae);6 年生凤丹牡丹的优势真菌群落主要有肉座菌目(Hypocreales)、鬼伞属(Coprinopsis)、巢菌科(Nidulariaceae)、黑蛋巢菌(Cyathus)、银耳目(Tremellales);10 年生凤丹牡丹的优势真菌群落主要有丝膜菌属(Cortinarius)、蜡皮马鞍蜡壳菌(Helvellosebacina)、革菌属(Thelephora)。 α 多样性分析和 β 多样性分析均表明,不同种植年限凤丹牡丹根际土菌群多样性所呈现的规律为 6 年生 > 3 年生 > 10 年生。此外还发现,在连作状态下不同种植年限的凤丹牡丹根际真菌群落多样性之间有显著差异,菌群多样性呈先升高后降低的趋势。

关键词:凤丹牡丹;多样性;根际微生物;连作;群落结构

中图分类号: S685.110.4;S154.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2021)23-0145-07

凤丹牡丹(*Paeonia ostii*)即杨山牡丹,属于林下小灌木,是当前油用牡丹的重要品种。目前,凤丹牡丹和紫斑牡丹(*P. rockii*)在我国牡丹油用方面表现突出。牡丹籽油中含有丰富的亚麻酸等不饱和

脂肪酸^[1-2],以及白藜芦醇等药用成分^[3-4],具有抑制癌细胞、降低血脂、改善神经功能等功效^[5-6]。油用牡丹种植区域的扩增与栽植时期的延长,使得植株的生长活力逐年减弱,此外,还会导致植株死亡。如果在种植过牡丹植株的土壤中再次种植牡丹,所种植的牡丹会出现生长缓慢、根系不发达等现象^[7],可见连作障碍已对油用牡丹产业发展产生了严重的限制作用。

根际土壤微生物在植物生长发育阶段具有重要作用,可对植物生长和土壤状况产生影响^[8]。其中,植物体内的内生菌在植物生长过程中具有促进作用,同时也改善了某些天然产物的品质^[9-10]。内

收稿日期:2021-09-27

基金项目:江苏省现代农业产业技术体系建设专项(编号:JATS[2020]340);江苏省苏州市农业技术应用基础研究项目(编号:SNG2018052);苏州农业职业技术学院科技发展专项(编号:19QN1010、PY2003)。

作者简介:耿晓东(1979—),男,江苏扬中人,副教授,主要从事观赏园艺新品种繁育及产业化推广研究。E-mail:7587633@qq.com。
通信作者:钱剑林,教授,主要从事花卉新品种选育及产业化示范推广。E-mail:qianjl03@126.com。

[20]刘 丽. 长期定位施肥对设施蔬菜栽培土壤磷素形态及释放特征的影响研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2009:11-17.

[21]张学军,任发春,赵 营,等. 引黄灌区设施菜田硝态氮淋失的季节性特征[J]. 农业环境科学学报,2014,33(10):1964-1972.

[22]乔慧萍,李建设. 宁夏地区水培小白菜营养液中尿素替代硝态氮试验[J]. 安徽农业通报,2007(6):61-62.

[23]陈连发,邹志荣,李建明. 不同氮钾肥水平对温室番茄生长发育和产量的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):121-125.

[24]杨竹青,黄灵胜,叶宏平. 大棚番茄养分吸收及其分布规律的研究[J]. 华中农业大学学报,1993,12(2):160-165.

究[J]. 华中农业大学学报,1993,12(2):160-165.

[25]齐红岩,李天来,富宏丹,等. 不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J]. 土壤通报,2006(2):2268-2272.

[26]公华锐,骆洪义,亓艳艳,等. 不同硝铵比对基质栽培番茄氮素代谢关键酶及其氮素利用效率的影响[J]. 北方园艺,2017(24):7-16.

[27]刘代欢. 长期定位施肥对设施蔬菜栽培土壤钾素供应特征影响研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2009:11-13.