网络出版时间:2018-06-15　16:08　　DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.12.010
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180615.1606.020.html

枸杞枝条复配基质对番茄幼苗生长和光合的影响

李　堃,曲继松,张丽娟,朱倩楠
(宁夏农林科学院 种质资源研究所,宁夏 银川 750002)

[摘　要] 【目的】分析枸杞枝条不同复配基质对番茄幼苗生长发育及光合参数的影响,以筛选适宜的番茄育苗基质配比方案。【方法】以枸杞枝条、珍珠岩和蛭石作为基质材料,共设 10 个处理,其中 T1 处理全部使用枸杞枝条,其余 9 个处理中枸杞枝条、珍珠岩、蛭石的体积比分别为 2∶1∶1(T2)、3∶1∶1(T3)、4∶1∶1(T4)、5∶1∶1(T5)、6∶1∶1(T6)、3∶1∶2(T7)、4∶1∶2(T8)、5∶1∶2(T9)、6∶1∶2(T10),以"壮苗二号"育苗基质作为对照(CK),分析不同复配基质的物理性状及其对番茄幼苗生长发育、光合参数和部分生理指标的影响。【结果】添加枸杞枝条可降低复配基质的容重,提高复配基质的通气孔隙和持水孔隙,其中 T10 处理(V(枸杞枝条)∶V(珍珠岩)∶V(蛭石)=6∶1∶2)复配基质的物理性状在栽培基质的适宜范围内。由育苗指标可知,T10 处理番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数和根体积指标较好,壮苗指数较大,长势最强;番茄叶片的净光合速率最高,比 CK 高 51.28%;番茄的单位中心吸收光能(ABS/RC)、能量散耗(DIo/RC)比 CK 高出 7.2%和 25.73%;番茄幼苗的总叶绿素含量最高,比 CK 高 17.02%;番茄的 MDA 含量较低,比 CK 低 39.65%。【结论】综合比较认为,V(枸杞枝条)∶V(珍珠岩)∶V(蛭石)=6∶1∶2 为番茄育苗的最适枸杞枝条基质配比方案,可作为无土栽培基质进行研发和利用。

[关键词] 枸杞枝条;基质复配;番茄;生长;光合作用;叶绿素荧光参数
[中图分类号] S641.201　　[文献标志码] A　　[文章编号] 1671-9387(2018)12-0074-08

Effects of wolfberry branches mixed substrate on growth and photosynthesis parameters of tomato seedlings

LI Kun, QU Jisong, ZHANG Lijuan, ZHU Qiannan
(*Institute of Germplasm Resources, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*)

Abstract: 【Purpose】This experiment analyzed the effects of different compound substrates of Chinese wolfberry branch baking powder on the growth, development and photosynthetic parameters of tomato seedlings to select suitable mixing scheme for tomato seedling substrate. 【Method】The project used Chinese wolfberry branch, perlite, and vermiculite as matrix materials and set a total of 10 treatments. T1 treatment used all lychee bars, and the remaining 9 treatments had the Chinese wolfberry branch, perlite and vermiculite volume ratios of 2∶1∶1(T2), 3∶1∶1(T3), 4∶1∶1(T4), 5∶1∶1(T5), 6∶1∶1(T6), 3∶1∶2(T7), 4∶1∶2(T8), 5∶1∶2(T9), and 6∶1∶2(T10), respectively. Using "Zhuangmiao No. 2" seedling substrate as control (CK), the physical properties of different compounded substrates and the effects on growth, and development, photosynthetic parameters and physiological indicators of tomato seedlings were analyzed. 【Result】The addition of lychee bars reduced the bulk density while increased the

[收稿日期] 2017-09-15
[基金项目] 公益性行业(农业)科研专项(201503137)
[作者简介] 李　堃(1991-),女,宁夏银川人,硕士,主要从事设施蔬菜生理与无土栽培研究。E-mail:1157401463@qq.com
[通信作者] 曲继松(1980-),男,吉林永吉人,副研究员,硕士,主要从事设施环境调控和生物质基质化利用研究。
E-mail:qujs119@126.com

pores and water-holding pores of compound matrix. The physical properties of the T10 treatment (V (Chinese wolfberry branch baking powder) : V (perlite) : V (vermiculite) = 6 : 1 : 2) were within the appropriate range of cultivation medium. The tomato seedlings treated with T10 had better plant height, stem diameter, leaf number and root volume, and stronger seedling index and growth. The net photosynthetic rate of tomatoes treated with T10 was the highest, which was 51.28% higher than that of CK. T10 tomato also had 7.2% higher absorption energy (ABS/RC) and 25.73% higher energy dissipation (DIo/RC) than CK. The T10 treatment had 17.02% higher highest chlorophyll content but 39.65% lower MDA than CK. 【Conclusion】Comprehensive comparison showed that the treatment of V (Chinese wolfberry branch baking powder.) : V (perlite) : V (vermiculite) = 6 : 1 : 2 was the optimum sapwood substrate matching scheme for tomato nursery, and can be further researched and utilized as soilless cultivation substrate.

Key words: wolfberry branches; mixed substrate; tomato; growth; photosynthesis; chlorophyll fluorescence parameters

草炭是无土栽培、育苗基质和土壤改良剂中不可缺少的材料，在园艺和环保等产业中占有重要地位。草炭不仅富含多种营养成分，还具有疏松透气、保水保肥的优点，然而其形成时间长、消耗速度快，是有限的天然资源[1]，过度开采会破坏生态环境[2]。近年来，农业有机废弃物排放量日趋增加，对环境保护造成巨大压力，科研工作者将农业废弃物研发成无土栽培基质，不仅解决了农业环境污染和资源浪费两大难题[3]，还为无土栽培提供了优质的有机基质。王瑞琪等[4]向糠醛渣中添加一定量的硫磺，不仅可以替代草炭，还可以改良土壤，提高土壤中氨态氮和硝态氮的含量，降低土壤 pH 值。曲继松等[5-6]以发酵的柠条粉替代草炭，与珍珠岩和蛭石按不同比例混配成柠条粉复合基质，研究表明 V(柠条粉)：V(珍珠岩)：V(蛭石)＝3：1：1 或 3：1：2 的基质配比方案适于茄子育苗，V(柠条粉)：V(珍珠岩)：V(蛭石)＝3：1：1 或 4：1：2 的基质配比方案适于辣椒育苗。李爽等[7]将发酵腐熟的玉米秸秆与草炭、蛭石、沙子和田园土按不同体积比混配种植马铃薯脱毒苗，当玉米秸秆、草炭、蛭石的体积比为 1：1：2 时更有利于马铃薯脱毒苗的生长。张硕等[8]将完全发酵后的玉米芯、甘蔗渣与不同体积的草炭、蛭石混合配比，玉米芯、蛭石、草炭体积比为 1：1：1 和甘蔗渣、蛭石体积比为 1：1 的复合基质可作为黄瓜育苗基质使用。吴英杰等[9]研究表明，炉渣与菇渣体积比为 1：1 的混配基质是适合辣椒生长的无土栽培基质配方。

枸杞种植是宁夏地区的农业优势主导产业，至 2016 年宁夏枸杞种植面积高达 6 万 hm^2，占全国枸杞种植面积的 50%以上。在枸杞种植管理中，每年 12 月至下一年的 1－3 月都需要对不带叶的粗硬枸杞枝条进行修剪，除此之外，在枸杞生长期还需要不断地将不结果枝条(俗称“幼条”)剪掉。目前，大部分被修剪下来的枸杞枝条仅作为燃料使用，利用价值十分低，若将每年修剪下来的枸杞枝条开发利用，作为替代草炭的育苗基质，不仅可以为基质的生产提供来源，还可以降低宁夏等西北地区的育苗成本。冯海萍等[10-11]结合宁夏特色产业，向废弃的枸杞枝条中添加尿素、鸡粪等物质后进行发酵，开发出枸杞枝条基质，不仅为基质的生产提供了来源，还可以调整基质的孔隙度、容重、pH 值等性质。本研究将冯海萍等开发的枸杞枝条基质与珍珠岩、蛭石按不同体积配比，进行番茄育苗试验，以“壮苗二号”育苗基质作为对照，分析枸杞枝条复配基质的物理性状及其对番茄幼苗生长的影响，以期筛选出适宜番茄育苗的枸杞枝条基质复配方案，为枸杞枝条复配基质的研发和生产做铺垫。

1　材料与方法

1.1　供试材料

试验于 2016-10-25－12-23 在宁夏农林科学院园林场试验基地的日光温室内进行，供试番茄品种为‘合作 903’大红番茄，由上海番茄研究所培育。育苗基质材料为枸杞枝条、珍珠岩、蛭石和“壮苗二号”育苗基质。枸杞枝条来源于宁夏枸杞种植基地，经过发酵后使用。具体发酵方法为：将修剪下来的枸杞枝条粉碎成 0.5～1.0 cm 的碎屑装入发酵池(1 m×1 m×1 m)，并加入 3.0 kg 尿素和 20.0 kg 消毒鸡粪，混合均匀后用塑料薄膜覆盖，保持 60%～65%的相对含水量，高温密闭发酵 75 d。采用文献[12]的方法测得发酵枸杞枝条的化学性质为：pH＝7.80，全氮 12.5 g/kg，全磷 2.73 g/kg，全钾 15.2

g/kg,有机碳358 g/kg。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设10个处理,T1处理全部使用枸杞枝条,其余9个处理中枸杞枝条、珍珠岩、蛭石的体积比分别为2∶1∶1(T2)、3∶1∶1(T3)、4∶1∶1(T4)、5∶1∶1(T5)、6∶1∶1(T6)、3∶1∶2(T7)、4∶1∶2(T8)、5∶1∶2(T9)、6∶1∶2(T10),以"壮苗二号"育苗基质作为对照(CK),各处理重复3次。

播种前,番茄种子温汤浸种15 min后再于室温浸泡8 h,然后用湿毛巾包裹放置于28 ℃的培养箱中催芽48 h,当70%的种子露白时点播于98穴标准育苗穴盘中。试验期间日光温室环境温度控制为白天最高28 ℃,夜间最低10 ℃,日平均湿度40%。不同处理的田间管理统一,由于枸杞枝条的氮、钾含量比较丰富,番茄育苗期不再施肥,每天只浇清水。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 *基质物理性状* 取基质加满在一定体积的环刀(环刀质量W_0)中,于水中浸泡24 h后,称质量得W_1,水分自由沥干后再称质量得W_2,放入烘箱内烘至质量恒定后称质量得W_3,按以下公式计算各指标:

$$W_d=(W_3-W_0)/V;$$

$$W_t=(W_1-W_3)/V\times100\%;$$

$$W_a=(W_1-W_2)/V\times100\%;$$

$$W_p=W_t-W_a;$$

$$W_{a\text{-}p}=W_a/W_p。$$

式中:W_d为干体积质量,W_t为总孔隙度,W_a为通气孔隙度,W_p为持水孔隙,$W_{a\text{-}p}$为大小孔隙比。

1.3.2 *番茄幼苗生长指标* 于番茄出苗20,30和40 d时,分别取样测定番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数、最长根的长度及总根体积。番茄幼苗三叶一心时测定地上部、地下部的干质量和鲜质量,计算壮苗指数和根冠比。计算公式为:壮苗指数(g/株)=(茎粗/株高+地下部干质量/地上部干质量)×全株干质量;根冠比=单株地下部干质量/单株地上部干质量。

1.3.3 *番茄幼苗光合及荧光指标* 番茄幼苗三叶一心时,于晴天上午10:00测定光合指标(TPS-2便携式光合作用测定系统)和荧光指标(Handy PEA荧光仪)。光合指标包括净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO_2浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr),叶绿素荧光指标包括光化学量子效应(Fv/Fm)、单位反映中心吸收光能(ABS/RC)、能量散耗(DIo/RC)、最大光化学效率(ΦPo)、用于电子传递的量子产额(ψEo)。

1.3.4 *番茄幼苗生理指标* 番茄幼苗三叶一心时,参照《植物生理学实验指导》[13],使用TTC法测定根系活力,丙酮乙醇混合法测定叶绿素含量,同时测定番茄幼苗的丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化物酶(POD)活性。

1.4 数据处理

使用Excel 2007软件对试验数据进行处理,使用DPS v7.05软件LSD检验法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 枸杞枝条不同比例复配基质的物理性状

枸杞枝条不同比例复配基质的物理性状见表1。

表1 枸杞枝条不同比例复配基质的物理性状

Table 1 Physical properties of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches

处理 Treatment	干体积质量/(g·cm^{-3}) Dry bulk density	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙度/% Aeration porosity	持水孔隙/% Water-holding porosity	大小孔隙比 Void ratio
T1	0.14±0.01 c	74.97±2.40 ab	38.14±1.73 a	36.83±1.69 f	1.04±0.01 a
T2	0.14±0.01 c	63.52±1.04 f	23.63±1.09 e	39.89±0.96 e	0.59±0.00 e
T3	0.14±0.00 c	66.17±0.43 ef	19.90±0.96 f	46.27±0.95 b	0.43±0.02 f
T4	0.15±0.01 bc	49.54±1.74 h	12.48±1.40 h	37.07±0.95 f	0.34±0.01 g
T5	0.15±0.01 bc	59.92±1.46 g	17.66±1.23 g	42.26±1.32 cd	0.42±0.00 f
T6	0.15±0.01 bc	71.77±1.41 bc	31.65±1.44 b	40.12±1.74 de	0.79±0.00 b
T7	0.16±0.01 b	73.57±1.10 b	30.56±1.42 bc	43.01±1.56 c	0.71±0.01 c
T8	0.15±0.01 bc	69.55±4.31 cd	29.09±1.50 c	40.46±1.25 de	0.72±0.02 c
T9	0.15±0.01 bc	67.58±1.33 de	26.87±1.11 d	40.70±1.26 de	0.66±0.02 d
T10	0.14±0.01 c	76.93±1.29 a	19.36±0.92 fg	57.56±1.09 a	0.34±0.01 g
CK	0.23±0.02 a	39.10±2.44 i	8.18±0.07 i	30.91±1.38 g	0.26±0.01 h

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$),下表同。

Note: Different letters show significant difference between treatments at $P<0.05$ according to LSR test, the same below.

由表 1 可以看出，各处理复配基质的干体积质量均在 0.14～0.16 g/cm³，且显著低于 CK，说明枸杞枝条基质与其他基质复配可以降低干体积质量。各处理复配基质的总孔隙度、通气孔隙度及持水孔隙均显著高于 CK，说明枸杞枝条复配基质的保水性和通气性优于壮苗二号育苗基质，育苗基质中添加枸杞枝条可以增加基质的孔隙度。由不同处理对比结果可知，基质配比中枸杞枝条所占比例越大，配比基质的干体积质量越小，总孔隙度越大，大小孔隙比越小；基质配比中蛭石所占比例越大，配比基质的干体积质量越大，总孔隙度越小，大小孔隙比越大。

2.2　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗生长指标的影响

如表 2 所示，T5、T6 和 T10 处理番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数、总根体积等生长指标较好，且总体优于 CK；T8 和 T9 处理番茄的株高、茎粗、总根体积等指标较差，且总体低于 CK。在出苗 40 d 时，T5、T6、T10 处理的株高分别比 CK 高 45.87%，41.30% 和 14.36%，茎粗分别比 CK 高 7.97%，12.68% 和 7.25%。对生长指标进行综合分析可知，T8 和 T9 处理番茄幼苗长势最弱，T10 处理番茄幼苗的长势较强，T5 和 T6 处理番茄幼苗的长势最强。

表 2　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗生长指标的影响

Table 2　Effects of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches on tomato growth index

出苗时间/d Seedling stage	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶片数 Leaf number	最长根的长度/cm Root height	总根体积/cm³ Root volume
20	T1	5.01±0.35 b	1.78±0.08 bc	2.7±0.95 abc	17.57±0.72 b	0.09±0.01 bcd
	T2	4.78±0.48 bcd	1.66±0.17 cd	2.6±0.70 bc	13.37±1.76 de	0.12±0.00 a
	T3	4.85±0.24 bc	1.64±0.20 cd	2.7±0.67 abc	13.30±2.27 de	0.09±0.01 bcd
	T4	4.79±0.49 bcd	1.74±0.14 cd	3.1±0.74 ab	10.37±2.15 ef	0.11±0.01 abc
	T5	5.62±0.67 a	1.96±0.35 ab	3.2±0.63 a	16.73±0.31 bc	0.12±0.04 a
	T6	5.60±0.88 a	2.15±0.23 a	2.3±0.48 c	13.87±2.10 cd	0.10±0.01 abc
	T7	4.56±0.28 cde	1.77±0.21 bc	2.3±0.48 c	10.97±0.68 def	0.09±0.02 cd
	T8	4.08±0.36 f	1.59±0.13 cd	2.6±0.70 bc	9.63±1.76 f	0.06±0.02 d
	T9	4.09±0.28 f	1.58±0.12 d	2.2±0.42 c	21.70±3.18 a	0.09±0.01 cd
	T10	4.42±0.46 def	1.99±0.19 a	3.2±0.63 a	22.03±2.55 a	0.11±0.01 abc
	CK	4.25±0.72 ef	2.02±0.35 a	2.4±0.52 c	11.50±0.70 def	0.12±0.02 ab
30	T1	6.27±0.53 bc	2.03±0.21 cd	3.8±0.42 a	18.27±1.20 bcd	0.32±0.05 e
	T2	5.98±0.25 cd	2.02±0.18 cd	3.3±0.48 ab	19.70±3.96 abc	0.38±0.01 de
	T3	5.67±0.35 cd	2.10±0.30 cd	3.4±0.52 ab	20.37±2.46 ab	0.33±0.04 e
	T4	5.75±0.85 cd	2.18±0.31 cd	3.7±0.48 a	23.30±1.01 a	0.57±0.02 ab
	T5	7.93±0.58 a	2.69±0.53 a	3.7±0.67 a	16.97±5.04 bcd	0.56±0.09 ab
	T6	8.48±0.69 a	2.72±0.28 a	3.5±0.53 ab	15.00±0.78 d	0.63±0.02 a
	T7	5.40±0.47 de	2.21±0.22 bcd	3.4±0.52 ab	16.87±3.12 bcd	0.45±0.12 cd
	T8	4.87±0.29 e	2.34±0.39 bc	3.1±0.74 b	15.83±2.80 cd	0.53±0.10 abc
	T9	5.68±0.62 cd	1.98±0.28 d	3.3±0.67 ab	14.50±0.96 d	0.44±0.07 cd
	T10	6.82±0.46 b	2.22±0.22 bcd	3.6±0.70 ab	19.77±1.03 abc	0.48±0.01 bcd
	CK	5.77±1.08 cd	2.52±0.21 ab	3.4±0.52 ab	20.83±1.23 ab	0.37±0.02 de
40	T1	8.83±0.53 b	2.47±0.15 de	4.0±0.47 ab	41.43±1.20 a	0.57±0.09 ab
	T2	7.95±0.69 cde	2.64±0.27 de	3.6±0.52 bc	25.47±1.25 c	0.51±0.16 abc
	T3	8.58±0.47 bcd	2.74±0.21 bcd	3.8±0.42 abc	22.70±1.04 c	0.46±0.05 bcd
	T4	8.75±0.40 bc	2.75±0.26 bcd	4.1±0.32 a	33.40±1.51 b	0.44±0.03 cd
	T5	11.48±1.06 a	2.98±0.36 abc	4.1±0.32 a	21.20±1.55 cd	0.60±0.10 a
	T6	11.12±0.97 a	3.11±0.43 a	3.9±0.32 abc	24.00±3.16 c	0.45±0.01 cd
	T7	8.45±0.75 bcd	3.02±0.17 ab	3.8±0.42 abc	22.17±6.40 cd	0.40±0.03 cd
	T8	7.40±0.77 ef	2.72±0.18 cd	3.5±0.53 c	20.97±5.56 cd	0.44±0.05 cd
	T9	6.87±0.54 f	2.41±0.21 e	3.8±0.63 abc	23.87±3.66 c	0.38±0.02 d
	T10	9.00±0.87 b	2.96±0.18 abc	4.2±0.42 a	25.60±3.95 c	0.49±0.05 abcd
	CK	7.87±0.62 de	2.76±0.22 bcd	3.9±0.74 abc	16.73±1.83 d	0.60±0.10 a

2.3　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗干鲜质量、根冠比和壮苗指数的影响

由表 3 可知，T6 处理番茄幼苗的地上部鲜质量最高，T10 处理的地上部鲜质量较高，二者的地上部鲜质量分别比 CK 高 31.43% 和 26.05%。T5 处理番茄的地下部、地上部干质量最大，其中地下部干质量比 CK 高 16.33%，地上部干质量比 CK 高 32.43%。由根冠比可以看出，各处理的根冠比与

CK相比无显著性差异,其中T3处理番茄的根冠比最大,T8和T9处理番茄的根冠比最小。由壮苗指数可知,T5处理的壮苗指数最大,比CK高4.51%,其次为T10处理,说明使用T5和T10处理的基质复配方案育苗时,番茄幼苗的质量较优。

表3 枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗干鲜质量、根冠比和壮苗指数的影响

Table 3 Effects of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches fresh, dry weight, root/shoot and healthy index of tomato

处理 Treatment	地下部鲜质量/g Root fresh weight	地上部鲜质量/g Shoot fresh weight	地下部干质量/g Root dry weight	地上部干质量/g Shoot dry weight	根冠比 Root/Shoot	壮苗指数/(g·株$^{-1}$) Healthy index
T1	0.587±0.10 ab	1.119±0.09 d	0.040±0.01 bcd	0.121±0.01 bcd	0.331±0.03 ab	0.098±0.01 cde
T2	0.507±0.18 bc	1.123±0.04 d	0.036±0.01 cd	0.107±0.01 cd	0.331±0.05 ab	0.095±0.02 cde
T3	0.489±0.10 bc	1.189±0.39 bcd	0.040±0.01 bcd	0.115±0.05 bcd	0.370±0.09 a	0.103±0.03 bcde
T4	0.471±0.07 bc	1.238±0.15 abcd	0.038±0.00 bcd	0.137±0.01 bcd	0.278±0.04 ab	0.104±0.00 bcd
T5	0.645±0.10 a	1.568±0.18 abc	0.057±0.01 a	0.196±0.03 a	0.292±0.05 ab	0.139±0.03 a
T6	0.479±0.01 bc	1.660±0.38 a	0.042±0.01 bc	0.165±0.05 ab	0.259±0.02 ab	0.113±0.04 abcd
T7	0.383±0.08 cd	1.130±0.18 cd	0.031±0.01 de	0.102±0.03 d	0.311±0.06 ab	0.089±0.02 de
T8	0.465±0.11 bc	1.403±0.42 abcd	0.033±0.01 cd	0.136±0.05 bcd	0.255±0.05 b	0.104±0.03 bcd
T9	0.287±0.05 d	1.112±0.39 d	0.022±0.00 e	0.098±0.04 d	0.257±0.14 b	0.069±0.01 e
T10	0.552±0.03 ab	1.592±0.33 ab	0.044±0.01 bc	0.160±0.04 abc	0.280±0.04 ab	0.124±0.03 abc
CK	0.646±0.10 a	1.263±0.32 abcd	0.049±0.01 ab	0.148±0.04 abcd	0.339±0.08 ab	0.133±0.02 ab

2.4 枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗光合指标和荧光指标的影响

由表4可知,T2处理番茄的 *Pn* 最低,T10处理番茄的 *Pn* 最高;T5、T6、T7、T8和T10处理番茄的 *Pn* 显著高于CK,分别比CK高26.92%,25.13%,41.79%,37.95%和51.28%。T3、T4处理番茄的 *Gs* 和 *Tr* 最低,T8处理番茄的 *Gs* 和 *Tr* 最高,其中T8处理番茄的 *Gs* 显著高于CK,T3、T4处理番茄的 *Tr* 显著低于CK,而其他处理番茄的 *Gs* 和 *Tr* 与CK无显著性差异。各处理番茄的 *Ci* 均显著低于CK,其中T3处理番茄的 *Ci* 最低。

表4 枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗光合指标的影响

Table 4 Effects of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches photosynthetic parameters of tomato

处理 Treatment	*Pn*/(μmol·m^{-2}·s^{-1})	*Gs*/(mmol·m^{-2}·s^{-1})	*Ci*/(μmol·mol^{-1})	*Tr*/(mmol·m^{-2}·s^{-1})
T1	4.10±0.08 def	195.50±36.88 bcd	475.25±6.02 b	1.97±0.36 b
T2	3.68±0.63 f	198.75±31.30 bcd	462.00±14.12 b	1.94±0.36 b
T3	4.18±0.92 def	167.00±22.99 d	381.00±25.21 e	1.31±0.18 c
T4	4.70±0.94 bcde	184.00±21.09 cd	395.25±10.56 cde	1.21±0.10 c
T5	4.95±0.35 bcd	291.50±75.42 bcd	402.25±4.79 cd	2.06±0.53 ab
T6	4.88±0.36 bcd	250.75±125.63 bcd	389.00±18.22 de	1.94±0.24 b
T7	5.53±0.41 ab	321.50±117.03 bc	398.75±15.65 cd	1.99±0.51 b
T8	5.38±0.26 abc	504.25±230.86 a	408.50±8.19 c	2.60±0.52 a
T9	4.48±0.78 cdef	342.00±109.64 b	405.00±2.94 cd	2.13±0.33 ab
T10	5.90±0.48 a	314.75±47.41 bcd	392.75±5.12 cde	2.14±0.22 ab
CK	3.90±0.88 ef	254.00±66.76 bcd	496.25±3.86 a	2.11±0.38 ab

Fv/Fm 反映了最大PSⅡ的光能转换效率,*Fv/Fo* 则与有活性的反应中心的数量成正比关系。由表5可知,T1处理番茄的 *Fv/Fm* 最高,T6和T9处理番茄的 *Fv/Fm* 较高,其中T1处理的 *Fv/Fm* 仅比CK高0.28%。各处理番茄的 Fv/F_O 以CK最高,其次为T1、T6和T9处理,且均与CK无显著差异。各复配基质的 *ABS/RC* 和 *DIo/RC* 均高于CK,其中T4处理的 *ABS/RC* 最高,比CK高15.24%,T7处理的 *DIo/RC* 最高,比CK高43.08%。T1和T6处理的 *ΦPo* 最高,但与CK无显著性差异,T1处理的 *ΦPo* 比CK高0.28%,T6处理的 *ΦPo* 与CK相同。*ψEo* 主要反映PSⅡ受体侧的变化,各复配基质 *ψEo* 均低于CK,T7最低,仅为CK的42.55%。

表 5　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗荧光指标的影响

Table 5　Effects of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches fluorescence of tomato

处理 Treatment	*Fv/Fm*	*Fv/Fo*	*ABS/RC*	*DIo/RC*	*ΦPo*	*ψEo*
T1	0.728±0.02 a	2.700±0.32 a	3.804±0.13 abc	1.035±0.11 c	0.728±0.02 a	0.209±0.05 ab
T2	0.706±0.02 abc	2.414±0.25 abc	4.006±0.36 abc	1.183±0.19 abc	0.706±0.02 abc	0.179±0.03 abcd
T3	0.705±0.02 abc	2.404±0.21 abc	3.700±0.46 bc	1.095±0.19 bc	0.705±0.02 abc	0.194±0.05 abc
T4	0.680±0.04 abc	2.148±0.34 abc	4.243±0.14 a	1.361±0.17 abc	0.679±0.04 abc	0.143±0.07 bcde
T5	0.707±0.04 abc	2.455±0.46 abc	4.063±0.52 abc	1.206±0.31 abc	0.707±0.04 abc	0.190±0.04 abcd
T6	0.726±0.04 a	2.690±0.47 a	3.784±0.31 abc	1.043±0.21 bc	0.726±0.04 a	0.170±0.02 abcd
T7	0.653±0.07 c	1.953±0.51 c	4.171±0.40 ab	1.468±0.44 a	0.653±0.07 c	0.100±0.05 e
T8	0.664±0.03 bc	1.996±0.27 c	4.130±0.33 abc	1.395±0.24 ab	0.664±0.03 bc	0.124±0.04 cde
T9	0.717±0.06 ab	2.654±0.77 ab	3.738±0.29 bc	1.065±0.28 bc	0.717±0.06 ab	0.162±0.08 abcd
T10	0.672±0.01 abc	2.047±0.11 bc	3.948±0.09 abc	1.290±0.08 abc	0.672±0.01 abc	0.118±0.02 de
CK	0.726±0.05 a	2.730±0.58 a	3.682±0.50 c	1.026±0.34 c	0.726±0.05 a	0.235±0.08 a

2.5　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗生理指标的影响

由表 6 可知,T10 处理番茄的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均最高,T4 处理最低。由方差分析结果可知,T5、T6 和 T10 处理番茄的总叶绿素含量显著高于 CK,分别比 CK 高 11.70%,11.70%和 17.02%,而 T1、T2、T3 和 T4 处理番茄的叶绿素总量显著低于 CK,说明 T10 处理番茄幼苗的光合作用较强,有利于干物质的累积。根系活力与幼苗的生长情况密切相关,T3 和 T9 处理番茄的根系活力最高且显著高于 CK,T4、T5、T6 和 T7 处理番茄的根系活力与 CK 无显著性差异,其中 T3 和 T9 处理番茄的根系活力比 CK 高 5.22%,T5 和 T6 处理番茄的根系活力比 CK 高 3.48%。T2、T3 和 T4 处理番茄的 MDA 含量显著高于 CK,说明使用 T2、T3 和 T4 处理的复配基质种植番茄时,幼苗的受伤害程度较高;T5、T6、T7、T8、T9 和 T10 处理番茄的 MDA 含量低于 CK,分别比 CK 低 19.08%,14.25%,40.02%,39.03%,60.47%和 39.65%。T10 处理番茄的 POD 活性与 CK 无显著性差异,T3 和 T7 处理番茄的 POD 活性显著高于 CK,分别比 CK 高 68.98%和 16.79%,其余处理番茄 POD 活性均显著低于 CK。各处理番茄 SOD 活性均低于 CK,其中以 T3 处理番茄 SOD 活性最高。

表 6　枸杞枝条不同比例复配基质对番茄幼苗生理指标的影响

Table 6　Effects of different compound matrix based on Chinese wolfberry pruning branches physiological parameters of tomato

处理 Treatment	叶绿素 a/ ($mg \cdot g^{-1}$) Chlorophyll a	叶绿素 b/ ($mg \cdot g^{-1}$) Chlorophyll b	总叶绿素/ ($mg \cdot g^{-1}$) Chlorophyll(a+b)	根系活力/ ($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$) Root activity	MDA 含量/ ($mmol \cdot g^{-1}$) MDA content	POD 活性 /($U \cdot g^{-1}$) POD activity	SOD 活性/ ($U \cdot g^{-1}$) SOD activity
T1	0.53±0.01 ef	0.21±0.00 de	0.74±0.01 ef	0.97±0.01 f	9.67±1.26 c	166.67±6.80 f	406.34±21.42 cd
T2	0.55±0.02 de	0.22±0.02 de	0.77±0.04 de	1.08±0.02 de	20.82±0.66 a	188.29±6.80 e	369.51±30.73 de
T3	0.52±0.02 ef	0.19±0.01 e	0.71±0.03 ef	1.21±0.00 a	12.10±1.35 b	417.12±6.80 a	558.81±51.31 b
T4	0.46±0.01 f	0.18±0.02 e	0.65±0.03 f	1.13±0.06 cd	12.10±0.45 b	225.23±5.63 d	416.63±16.65 c
T5	0.75±0.07 a	0.30±0.03 ab	1.05±0.10 a	1.19±0.01 ab	6.53±0.83 def	167.57±7.15 f	403.17±19.96 cd
T6	0.76±0.00 a	0.29±0.00 ab	1.05±0.01 a	1.19±0.04 ab	6.92±1.64 de	214.41±10.23 d	148.12±7.73 h
T7	0.73±0.00 ab	0.28±0.00 bc	1.01±0.00 ab	1.18±0.04 ab	4.84±0.79 fg	288.29±9.49 b	163.96±20.82 h
T8	0.68±0.02 bc	0.25±0.01 cd	0.93±0.03 bc	1.06±0.04 e	4.92±1.11 efg	197.30±11.78 e	356.44±33.08 ef
T9	0.62±0.02 cd	0.25±0.01 cd	0.86±0.02 cd	1.21±0.05 a	3.19±0.50 g	187.39±6.81 e	284.75±44.21 g
T10	0.77±0.13 a	0.33±0.06 a	1.10±0.16 a	1.05±0.02 e	4.87±1.51 fg	240.54±5.41 c	316.83±13.77 fg
CK	0.66±0.02 bc	0.28±0.02 bc	0.94±0.04 bc	1.15±0.02 bc	8.07±1.61 cd	246.85±5.63 c	624.16±8.76 a

3　讨　论

复配基质需根据不同基质材料的理化性质及幼苗的生物学特性进行配比,部分研究表明,番茄栽培中基质适宜的干体积质量为 0.1～0.8 g/cm^3[14-18],本研究中各处理枸杞枝条复配基质的干体积质量均在该范围内,说明枸杞枝条作为栽培基质是可行的。将枸杞枝条基质与其他基质复配可以降低干体积质量、增加基质的孔隙度,配比基质中枸杞枝条所占比例越大,基质的干体积质量越小,总孔隙度越大,大小孔隙比越小。根据蒋卫杰等[19]提出的大小孔隙比以 0.25～0.5 为宜的标准,T3、T4、T5 和 T10 处

理的大小孔隙比较适宜,且优于CK。根据田吉林等[20]提出的基质总孔隙度为60%~90%、通气孔隙度>15%、持水孔隙>45%的标准,T3和T10处理枸杞枝条复配基质的物理性状最适宜。

在育苗方面,由10种基质番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数、根长和根体积综合分析可知,使用T5处理(V(枸杞枝条):V(珍珠岩):V(蛭石)=5:1:1)和T10处理(V(枸杞枝条):V(珍珠岩):V(蛭石)=6:1:2)复配基质育苗时,番茄幼苗的株高、茎粗、叶片数和根体积指标较好,壮苗指数较大,长势最强。通过叶绿素含量和光合参数比较得出,使用T10处理复配基质育苗时,番茄幼苗的叶绿素含量最高,比CK高17.02%;番茄的净光合速率(Pn)最高,比CK高51.28%,说明T10处理的复配基质方案利于番茄光合作用以及干物质的累积。

叶绿素荧光测定技术作为一种无损伤的快速探针用于植物的光合生理研究已有大量报道[21-22]。Fv/Fm反映了荧光诱导动力学曲线上升过程中O—P段的PSⅡ光合电子传递能力,光化学量子效应(Fv/Fm)反应了最大PSⅡ的光能转换效率,在非胁迫条件下该参数变化极小,胁迫条件下该参数明显下降,Fv/Fo则与有活性的反应中心的数量成正比关系。根据Strasser等[23]的能量流动模型,植物叶片吸收的总能量(ABS),一部分以荧光的形式释放,大部分被反应中心(RC)捕获,被反应中心捕获的能量中有一部分通过Q_A的还原氧化导致电子传递(ET),另一部分以热耗散的形式释放(DI)。本研究中,各复配基质处理番茄幼苗单位反应中心吸收光能(ABS/RC)和能量散耗(DIo/RC)的值均大于CK,说明复配基质叶片受胁迫时单位反应中心承担的光能转换任务更多。用于电子传递的量子产额(ψEo)主要反映了PSⅡ受体侧的变化,CK处理ψEo值最大,说明壮苗二号基质上番茄幼苗叶片用于Q_A下游电子传递的量子减少,PSⅡ反应中心捕获的激子中用于Q_A下游电子传递的激子占捕获激子总数的比例减少,PSⅡ受体侧Q_A下游的电子传递接收的能量占总能量的比例降低。

MDA是膜脂过氧化分解的主要产物之一,其含量与植物的受伤害程度呈正相关[15,24],POD和SOD等抗氧化酶可以减轻自由基对膜系统的过氧化伤害,提高植物的抗逆性[16]。本研究结果表明,T10处理番茄的MDA含量较低,比CK低39.65%,SOD和POD活性较高,说明该处理番茄的受伤害程度明显低于CK,并且抗逆性强。

将不同处理基质的物理性状与番茄穴盘苗的生长、光合和生理指标综合分析后可知,T10处理的枸杞枝条复配基质较适于番茄穴盘育苗,T6处理次之。

[参考文献]

[1] Vaughn S F, Deppe N A, Palmquist D E, et al. Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in green-house substrates [J]. Industrial Crops and Products, 2011, 33(2): 514-517.

[2] Carlile B, Coules A. Towards sustainability in growing media [J]. Acta Horticulturae, 2013, 1013(1): 341-349.

[3] 冯海萍,曲继松,杨冬艳,等. 接种微生物菌剂对枸杞枝条基质化发酵品质的影响 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1457-1463.
Feng H P, Qu J S, Yang D Y, et al. Effects of inoculation microbial agent on fermentation quality of wolfberry branches for substrate production [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(5): 1457-1463.

[4] 王瑞琪,井大炜. 糠醛渣在蓝莓土壤理化性质调节中的应用研究 [J]. 山东农业科学, 2017, 49(1): 98-102.
Wang R Q, Jing D W. Application research on furfural residue in improving soil physical and chemical properties of blueberry [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(1): 98-102.

[5] 曲继松,张丽娟,冯海萍,等. 发酵柠条粉混配基质对辣椒幼苗生长发育的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 846-850.
Qu J S, Zhang L J, Feng H P, et al. Effects of fermented caragana powder as a major component of mixed substrate on pepper seedling growth [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(4): 846-850.

[6] 曲继松,张丽娟,冯海萍 等. 混配柠条复合基质对茄子幼苗生长发育的影响 [J]. 西北农业学报, 2012, 21(11): 162-167.
Qu J S, Zhang L J, Feng H P, et al. Influence of caragana-straw as component of mixed substrate on growth of eggplant seedlings [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21(11): 162-167.

[7] 李 爽,侯 杰,张婧颖,等. 基质中添加适宜玉米秸秆促进马铃薯脱毒苗生长 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 195-201.
Li S, Hou J, Zhang J Y, et al. Promoting effects of corn stalk as suitable component of mixed substrate on potato virus-free seedling growth [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(19): 195-201.

[8] 张 硕,余宏军,蒋卫杰. 发酵玉米芯或甘蔗渣基质的黄瓜育苗效果 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 236-242.
Zhang S, Yu H J, Jiang W J. Seedling effects of corncob and bagasse composting substrates in cucumber [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(11): 236-242.

[9] 吴英杰,李玉娜,郑幸果. 利用炉渣和菇渣进行辣椒无土栽培的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 22-25.

Wu Y J，Li Y N，Zhang X G，et al. Study on wastes slag and mushroom residue as cultivation substrates for hot pepper [J]. Agricultural Research in the Arid Areas，2017，35(1)：22-25.

[10] 冯海萍，杨志刚，杨冬艳，等. 枸杞枝条基质化发酵工艺及参数优化 [J]. 农业工程学报，2015，31(5)：252-260.
Feng H P，Yang Z G，Yang D Y，et al. Parameter optimization of fermented substrate from wolfberry shoots [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)，2015，31(5)：252-260.

[11] 冯海萍，曲继松，杨冬艳，等. C/N 比对枸杞枝条基质化发酵堆体腐熟效果的影响 [J]. 新疆农业科学，2014，51(6)：1112-1118.
Feng H P，Qu J S，Yang D Y，et al. Effects of C/N ratio on nutrient changes and maturity index of wolfberry branches fermentation for substrate production [J]. Xinjiang Agricultural Sciences，2014，51(6)：1112-1118.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000.
Bao S D. Analysis of soil characteristics [M]. 3 rd edition. Beijing：China Agriculture Press，2000.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 西安：世界图书出版西安公司，2000.
Gao J F. Plant physiology experiment instruction [M]. Xi'an：World Book Publishing Company in Xi'an，2000.

[14] Raviv M，Oka Y，Katan J，et al. High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops [J]. Bioresource Technology，2005，96(4)：419-427.

[15] 徐文俊，程智慧，孟焕文，等. 农业废弃有机物基质配方对番茄生长及产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2012，40(4)：127-133.
Xu W J，Cheng Z H，Meng H W，et al. Influence of the formula of organic waste substrate from crop production on growth and yield of tomato [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed)，2012，40(4)：127-133.

[16] 李　靖，郁继华，颉建明，等. 不同配比基质对番茄穴盘苗品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2012，40(11)：165-171.
Li J，Yu J H，Xie J M，et al. Effecs of substrates with different components on plug seedlings of tomato [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed)，2012，40(11)：165-171.

[17] De Boodt M，Verdondk O. The physical properties of the substrates in hort [J]. Acta Horticulturae，1972，26：37-44.

[18] 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(S)：1-4.
Guo S R. Research progress，current exploitations and developing trends of solid cultivation medium [J]. Transactions of the CSAE，2005，21(S)：1-4.

[19] 蒋卫杰，杨其常. 无土栽培特选项目与技术 [M]. 北京：科学普及出版社，2009：46-52.
Jiang W J，Yang Q C. Chosen with technology project soilless cultivation [M]. Beijing：Science Popularization Publishing House，2009：46-52.

[20] 田吉林，奚振邦，陈春宏，等. 无土栽培基质的质量参数(孔隙性)研究 [J]. 上海农业学报，2003，19(1)：46-49.
Tian J L，Xi Z B，Chen C H，et al. Study on the feasible parameter of substrate quality for soilless culture [J]. Acta Agriculturae Shanghai，2003，19(1)：46-49.

[21] Yamane Y，Kashino Y，Koike H，et al. Increases in the fluorescence level and *Fo* level and reversible inhibition of photosystem：Ⅱ. Reaction center by high temperature treatment in higher plants [J]. Photosynthesis Research，1997，52：57-64.

[22] Yoshihiro Y，Yasuhiro K，Hiroyuki K，et al. Effects of high temperatures on the photosynthetic systems in sp inach：oxygenevolving activities，fluorescence characteristics and the denaturation process [J]. Photosynthesis Research，1998，57：51-59.

[23] Strasser R J，Tsimilli M M，Srivastava A. The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples [M]//Yunus M，Pathre U，Mohanty E. Probing photosynthesis：mechanisms，regulation and adaptation. London：Taylor & Francis，2000.

[24] Roxas V P，Lodhi S A，Garrett D K，et al. Stress tolerancein transgenic tobacco seedlings that overexpress glutathi-one transferase and glutathione peroxidase [J]. Plant and Cell Physiology，2000，4(1)：1229-1234.