

doi:10.11937/bfyy.20184584

基于欧李枝条的农林废弃物基质对 番茄生长发育的影响

王 昊¹, 马文礼¹, 王世平², 陈永伟¹, 李宗泽¹, 卜建华¹

(1. 宁夏农垦农林牧技术推广服务中心, 宁夏 银川 750001; 2. 上海交通大学 农业与生物学院, 上海 200240)

摘 要:为了解决欧李枝条等农林废弃物农业环境污染和资源循环利用问题,以欧李枝条、玉米秸秆、牛粪沼渣和河沙为原料,将基于欧李枝条复配的6种基质采用随机区组排列的方法,研究了复配基质的理化性质、保温、保水、保肥性能及其对番茄生长发育的影响,并对所有指标进行了主成分分析。结果表明:以欧李枝条:玉米秸秆:牛粪沼渣:河沙=1:1:1:1比例为基础的复配基质C1具有较好的保温、保水及保肥性能,并且能够显著促进番茄的生长发育。主成分分析表明,C1是能够促进番茄植株生长发育和维持基质质量的最佳配方,该研究为利用农林废弃物开发新型蔬菜栽培基质提供参考依据。

关键词:农林废弃物;欧李枝条;保温性;保水性;保肥性;基质

中图分类号:S 641.2;X 712 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2019)16-0007-10

中国作为农业大国,每年都会因农业生产而产生大量的农林废弃物。据相关资料报道,我国平均每年产出各类农林废弃物约15亿t^[1]。十八大以来,国家高度重视农业绿色发展,并且随着人们对资源节约、环境友好、生态保育的发展理念逐步深入了解和认同^[2],农林废弃物的循环利用逐渐成为社会研究的重点之一。目前,已有研究者开展了将菇渣、椰子纤维、作物秸秆、禽畜粪便、中药渣、酒糟等农业废弃物作为育苗及栽培基质的研究^[3],但是关于果树枝条的资源化利用等相关研究相对较少。

欧李(*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.)是我国

独有经济林树种,因其果实含钙量高且具有耐旱、抗寒、耐瘠薄、适应性强的特点,近年来成为中西部生态修复和脱贫攻坚的主栽树种之一^[4-5]。目前,针对欧李的开发利用主要集中在果实方面^[6],但是随着产业的发展壮大,欧李枝条的利用急需提上日程,一旦欧李枝条得不到有效利用,就会产生大量的林业废弃物,生态环境保护面临巨大挑战。同时,根据经济产量和作物秸秆系数推算,我国每年产生的作物秸秆量达到了7亿~8亿t,年均增长2.38%^[7],虽然部分秸秆已经被开发利用进行发电、提炼秸秆燃料及设施蔬菜秸秆反应堆等用途,但仍有50%的秸秆无法利用^[8-9],大多数作物秸秆焚烧处理,既污染环境,又容易引起火灾,是“蓝天保卫战”亟待解决的问题之一。

该研究利用欧李枝条、河沙、玉米秸秆和牛粪沼渣研究复配新型蔬菜栽培基质,以‘粉宴1号’番茄为试验对象,研究了复配基质的理化性质、保温、保水、保肥性能及其对番茄生长发育的影响,以期解决上述农林废弃物的农业环境污染和资源循环利用问题,同时提出具有优良栽培性能、成本低、来源广的新型商业化生产基质,实现资源的循

第一作者简介:王昊(1989-),男,硕士,助理农艺师,现主要从事园艺作物栽培与生理等研究工作。E-mail: nxnk-wh@163.com.

责任作者:马文礼(1974-),男,硕士,高级农艺师,现主要从事作物栽培技术与推广等工作。E-mail: mwl7544@163.com.

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划重点资助项目(2018BBF02023)。

收稿日期:2019-03-07

循环利用,产业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

复配基质以欧李枝条、河沙、玉米秸秆和牛粪沼渣作为原料。2017年1月在宁夏银川市宁夏农垦玉泉营农场有限公司收集欧李‘农大4号’冬季修剪的枝条,并将欧李枝条粉碎至1 cm以下,消毒后晾干,备用。2015年收集黄河宁夏境内支流西干渠内淤积的河沙,并将河沙过筛(筛孔孔径为0.60 mm),消毒后晾干,备用。番茄苗品种为‘粉宴1号’,由宁夏嘉禾源种业有限责任公司提供,定植当天苗龄为30 d。

2015年在宁夏农垦平吉堡奶牛场收集籽粒玉米采收后的玉米秸秆和奶牛场内沼气发酵后剩余的牛粪沼渣。将玉米秸秆粉碎至1.5 cm以下并与牛粪沼渣分别进行堆积发酵(玉米秸秆发酵

时加入尿素溶液调节碳氮比,用量为每100 kg玉米秸秆加入3 kg尿素);在玉米秸秆发酵堆中心温度首次超过50℃时,将其加入牛粪沼渣腐熟堆,进行混合发酵,发酵完成后备用。

1.2 试验方法

采用复配基质进行新型蔬菜栽培基质的研究。2015年10月至2017年6月选取‘粉宴1号’番茄苗(苗龄30 d)为试材,定植于宁夏农垦平吉堡现代农业示范园区日光温室(长82 m,宽7 m)。采用基质袋滴灌栽培模式,滴灌使用全水溶复合肥(肥料配比:苗期为N-P-K=25-25-10+Te,苗期为N-P-K=20-20-20+Te,苗期为N-P-K=16-9-34+Te),3~4 d一次,随水滴灌,试验温室内各处理管理措施一致。

复配基质组成设6个处理(表1),采用完全随机设计,每个处理(小区)48袋(株),重复3次。

表1 基质配方组成

Table 1 Composition of substrate formula

处理 Treatment	配方比例 Formula ratio (体积分 Volume fraction)			
	河沙 Sand	发酵后的牛粪沼渣 Cow dung biogas residue	发酵后的玉米秸秆 Corn straw after fermentation	粉碎的欧李枝条 Crushed of <i>Crataegus humilis</i> Bge branches
C1	1	1	1	1
C2	1	1	1	0
C3	1	0	1	1
C4	0	1	1	1
C5	1	1	0	1
CK	1	0	0	0

按照上述组分比例进行复配基质,并装入 $d=20$ cm、 $h=30$ cm的PE基质袋(外白内黑)中,铺设高度为25 cm。在基质袋中进行栽培番茄。番茄种植前,对上述各处理基质取样,测定理化性质、保温性能、保水性能和保肥性能;番茄定植后,调查植株的生长发育情况及根系发育情况;番茄收获后,统计产量。

1.3 项目测定

1.3.1 基质理化性质的测定

测定方法参考文献[10],复配基质容重采用环刀法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;全氮含量采用凯氏定氮法测定;全磷含量采用碱熔-钼锑抗比色法测定;全钾含量采用氢氧化钠

碱熔-火焰光度法测定。总孔隙度(%)=(1-容重/比重)×100。

取风干基质10 g,加去离子水50 mL,振荡30 min,用PHSJ-4A测定仪(上海仪电科学仪器股份有限公司生产)测定pH;取风干基质10 g,加去离子水50 mL,振荡30 min,用DDSJ-308A电导仪(上海仪电科学仪器股份有限公司生产)测定EC值。

1.3.2 基质保温性、保水性及保肥性的测定

作物定植后,在基质层15 cm处安装温度记录仪,连续记录2016年12月1—31日的基质和空气(果实生长点上方10 cm处)温度变化,各重复3次。温度采用温湿度记录仪(型号:L95-2,杭州路格科技有限公司生产)测定。

基质保水性参照卫星等^[11]的方法测定,称取各处理相同体积的风干基质混合物(M_1)装入无纺布袋(M_0)中,每个处理重复 10 次。将袋子分别放入装有蒸馏水的烧杯中 24 h,让水充分浸透基质。第 2 天取出悬挂,至无水滴出,并记录滴水时间(t_1)至无水滴出并记录滴水时间(t_2)。无水滴出后测基质袋质量(M_2)及接水烧杯中的水质量(M_3)。将无水滴出后基质袋的总质量设为第 1 天的质量(E_1),24 h 后再进行第 2 次称量(E_2),连续测量,直到质量不再变化为止(E_{last}),第 n 天后基质的含水量为(W_n)。

吸水倍数 $A_w = (M_2 - M_1 - M_0) / M_1$,

渗水速率($g \cdot \min^{-1}$)= $M_3 / (M_2 + M_3) \times (t_2 - t_1)$,

蒸发速度($g \cdot h^{-1}$)= $E_n - E_{(n+1)} / 24$,

第 n 天后含水量 $W_n = E_n M_1 - M_0$ 。

基质保肥性参照卫星等^[11]的方法测定,按照每袋 0.80 g NH_4NO_3 、0.35 g KH_2PO_4 的施肥标准,配制营养液浇入基质袋中,然后每天浇水每袋 200 mL,在基质袋下方用烧杯接取渗透液,连续 7 d,测量每次渗透液的体积。并对淋溶液中的全氮、全磷、全钾含量进行测定。

1.3.3 番茄植株生长状况的测定

随机选取小区内 30 株番茄进行标记,每隔 7~10 d 测定标记植株株高、茎粗、叶片数和 SPAD 值(相对叶绿素含量,下同),并计算其平均数;番茄开始收获前后测定番茄根系长度、根系数量、根系干质量和鲜质量、单果质量,并计算其平均数,完全采收后统计产量。

SPAD 值采用叶绿素计(型号: SPAD-502 PLUS, Konica Minolta 公司生产)测定。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2013 软件和 SPSS 20.0 软件 ANOVA 模块进行方差分析。

主成分分析:将原始数据导入 SPSS 软件,先通过 Analyze 菜单中 Descriptive statistics 菜单,并用其中 Descriptive 程序进行数据标准化处理,并得到 FAC 值,再使用 Analyze 菜单中 Date reduction 菜单中 Factor 对数据进行主成分分析。

主成分因子得分: $F = \text{FAC 值} \times \text{对应因子特征值的算术平方根}$,主成分的综合得分是以各主成分的贡献率为全体对主成分得分进行加权平均,公式为($F1 \times \text{贡献率} 1 + F2 \times \text{贡献率} 2 + F3 \times \text{贡献率} 3$) / 累计贡献率。

2 结果与分析

2.1 不同配方基质的理化性质分析

不同物料经过不同组合复配对基质的物理化学性质产生重要的影响。土壤容重大小反映土壤结构、透气性、透水性能以及保水能力的高低,适宜的土壤容重会产生良好的效果。由表 2 可以看出,经过不同物料复配后,土壤容重表现为 $CK > C2 > C3 > C5 > C1 > C4$,其中 $C1$ 为 $0.79 g \cdot cm^{-3}$,且 $C1$ 显著低于 $C2$,同时显著高于 $C4$, $C1$ 的容重适中,较适宜植株根系生长;土壤孔隙是容纳水分和空气的空间,也是植物根系伸展和土壤动物,及微生物活动的地方,适量的孔隙可以满足作物对水分和空气等的需要,有利于根系的伸展和活动,该研究各处理的土壤孔隙度表现为 $CK < C3 < C5 < C2 < C1 < C4$, $C1$ 的孔隙度居中,较适宜番茄

表 2 不同基质的理化性质

Table 2 Physical and chemical property of different substrate

处理 Treatment	基质容重 Substrate bulk density /($g \cdot cm^{-3}$)	基质孔隙度 Substrate porosity /%	pH	EC 值 EC value /($mS \cdot cm^{-1}$)	全氮 Total nitrogen /($g \cdot kg^{-1}$)	全磷 Total phosphorus /($mg \cdot kg^{-1}$)	全钾 Total potassium /($mg \cdot kg^{-1}$)	有机质 Organic matter /%
C1	0.79±0.012b	41.15±2.01b	7.13±0.21a	2.42±0.017b	11.89±0.34a	33.3±1.12a	3.11±0.31a	24.31±1.12a
C2	1.20±0.017a	31.46±1.47c	6.61±0.39a	1.21±0.079c	10.21±1.14a	27.1±0.97b	1.99±0.08a	20.79±0.98a
C3	1.09±0.006ab	28.89±1.12c	7.32±0.09a	3.29±0.034a	8.93±0.89a	22.3±0.23bc	2.55±0.28a	25.88±1.36a
C4	0.61±0.017c	65.39±3.22a	6.65±0.17a	3.11±0.11a	9.34±0.59a	37.1±0.07a	2.23±0.49a	21.66±0.87a
C5	0.97±0.015b	30.29±2.13c	7.31±0.07a	2.55±0.29ab	10.37±0.63a	17.5±1.10c	2.12±0.19a	19.30±0.09a
CK	1.29±0.077a	25.29±1.07c	6.84±0.49a	1.11±0.08c	1.88±0.09b	1.90±0.03d	0.84±0.04b	3.14±0.07b

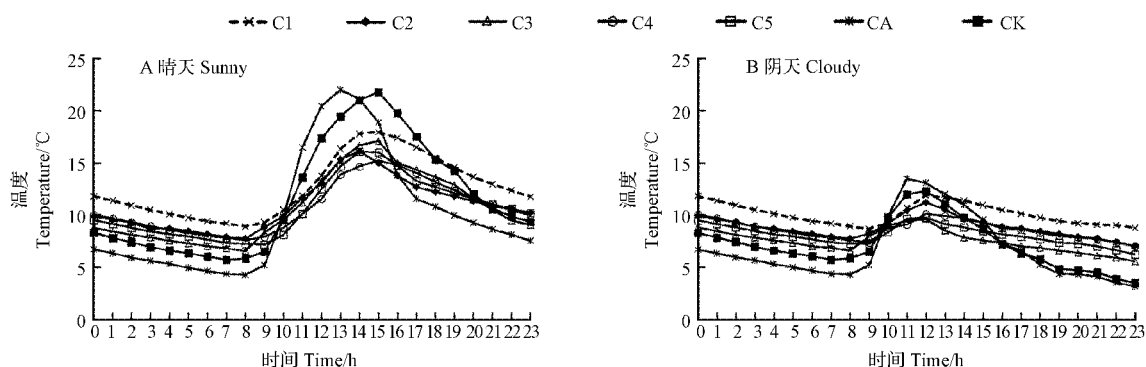
注:同列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences at $P < 0.05$ level.

根系的生长发育;基质的pH和全盐含量会影响作物的生长发育,是制约作物栽培的重要指标,欧李枝条偏碱性的特点影响了基质的pH,但各处理两两间没有显著差异;基质EC值表现为 $C3 > C4 > C5 > C1 > C2 > CK$;整体上,复配基质中含有4种物料的处理C1的数值均处于各处理数值的中间位置。基质的基础养分含量与基质的组成息息相关,能为作物苗期提供部分营养,促使植株健壮,有机质则可以促进基质的保水和保肥性能,也能提高果实品质,基质的全氮含量表现为 $C1 > C5 > C2 > C4 > C3 > CK$;全磷、全钾含量方面,由于加入了有机物料,CK显著低于其它处理,但其它处理间无差异。有机物料的添加对复配基质有机质含量影响较大,表现为 $C3 > C1 > C4 > C2 > C5 > CK$,且C1和C3表现较好,这主要和有机物料占比有关。

2.2 不同配方基质的保温性能分析

不同物料经过不同组合复配对基质的保温性



注:CA表示温室内距地面1.5 m处空气温度。

Note:CA indicates the air temperature at 1.5 m from the ground in the greenhouse.

图1 不同基质在12月晴、阴天24 h温度变化

Fig. 1 Change of 24 hours temperature in sunny and cloudy days in December

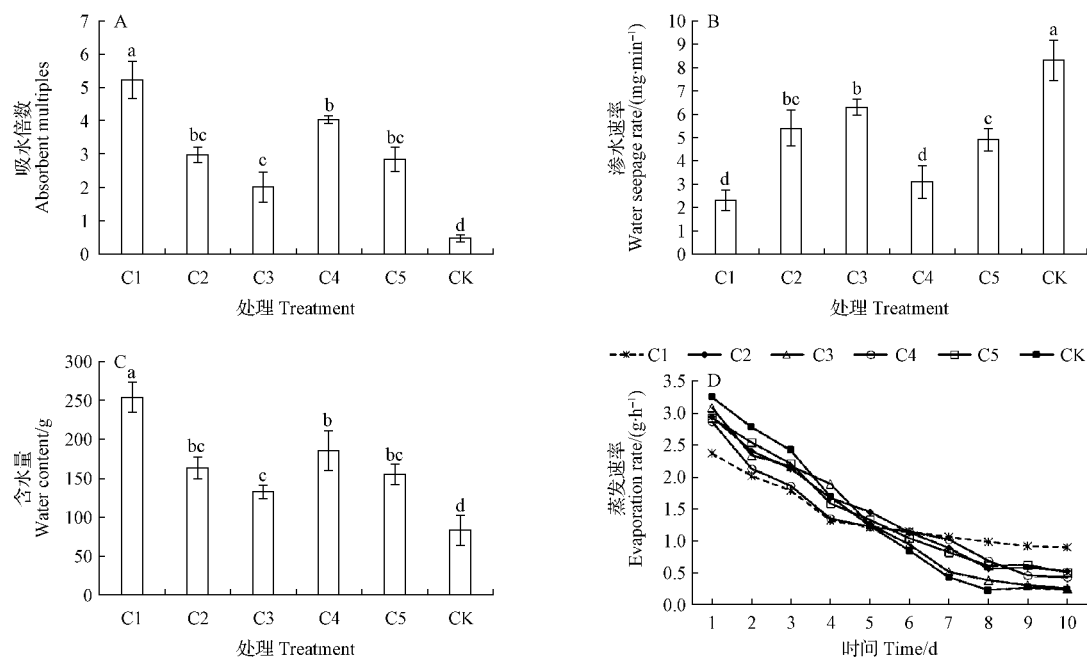
2.3 不同配方基质的保水性能分析

不同物料经过不同组合复配对基质的保水性能产生积极影响。由图2A可以看出,各配方基质吸水倍数表现为 $C1 > C4 > C2 > C5 > C3 > CK$,其中C1最优,且显著高于其它几种处理,而未加入河沙的基质C4要高于加入河沙的基质C2、C5、C3,但与C2、C5没有显著差异,这说明有机物料的加入增加了基质的吸水量。由图2B可知,渗水速度方面,各处理保持了同上述吸水倍数

能具有积极的影响。试验数据主要整理了2017年12月30 d内晴天与阴天的24 h平均温度。由图1可以看出,夜间(18:00—08:00),温室温度呈下降趋势,其中18:00—22:00的空气及各基质温度下降最快,22:00—08:00处于缓慢下降时间,且 $C1 > C2 > C5 > C4 > C3 > CK$,C1的夜间平均温度达到了11.52℃,较其它处理高2~3℃,说明C1的蓄热效果较好,夜间可以保持相对稳定的温度;温室揭苫后至落苫前,基质温度呈现出先升高后降低的趋势,08:00—15:00为上升阶段,14:00—15:00各基质均达到了最高温度,表现为 $CK > C1 > C3 > C4 > C2 > C5$,CK最高温度为22.03℃,C1最高温度为17.76℃;在对连续阴天观测时,基质处于放热过程,整体表现为 $C1 > C2 > C4 > C5 > C3 > CK$,且C1的24 h平均温度较其它处理高2~3℃,效果最好,对于北方冬季蔬菜栽培具有重要意义。

方面相似的效果,渗水速度表现为 $C1 < C4 < C5 < C2 < C3 < CK$,其中C1、C4表现最佳,显著低于其它处理及对照。由图2C可知,基质的含水量方面,表现出了与基质吸水倍数相同的规律,具体表现为 $C1 > C4 > C2 > C5 > C3 > CK$,C1的含水量最多。

由图2D可知,在前4 d,各处理的蒸发速度表现为 $C1 < C4 < C2 < C3 < C5 < CK$,在5~10 d,表现为 $C1 > C4 > C2 > C5 > C3 > CK$,说明在前4 d,基质的含水量较多,蒸发速度较快,在4~6 d



注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level.

图 2 不同配方基质吸水倍数(A)、渗水速度(B)、含水量(C)、蒸发速度(D)的比较

Fig. 2 Comparison of water absorbency(A), water penetration rate(B), water content(C) and evaporation rate(D) of different matrix formulations

时,处理 C3 和 CK 的含水量蒸发较多,C4、C2 和 C5 也出现相同的表现,要优于 C3 和 CK,但后期各处理蒸发速度最终趋于一致;而处理 C1 则保持了较高的含水量并具有一定的持水能力,所以在 5~10 d 同样保持了较高的蒸发速度。由图 2 可知,同时加入物料腐熟牛粪沼渣、玉米秸秆和欧李枝条的复配基质在保水性能上要优于未同时加入上述物料的复配基质。

2.4 不同配方基质的保肥性能分析

根据检测,基质中含有部分速效养分,在淋溶试验前,先用清水对各处理进行淋溶清洗,直至淋溶液中的氮、磷、钾不再淋出。将淋洗后的基质进行肥料淋溶试验,测定溶液中的全氮、全磷、全钾含量。由表 3 可知,各处理氮素和钾素淋失高峰出现在第 1~2 天,磷素淋失较慢。氮素在淋失过程中第 1 天的淋失量表现为 $C1 < C5 < C3 < C4 < C2 < CK$, C1 淋失量最小,且显著低于其它处理,第 2~4 天,表现出相似的规律,但淋失速度逐渐接近,第 5~7 天,各处理淋失量趋于稳定。钾素

淋失表现出了与氮素相同的规律。磷淋失量高峰出现在第 1~2 天,表现为 $C1 < C2 < C3 < C4 < C5 < CK$, C1 淋失量最小,且显著小于其它处理;磷素在第 3~7 天,淋失量趋于稳定。在肥料淋失总量方面,氮素淋失表现为 $C1 < C3 < C2 < C5 < C4 < CK$, C1 表现最佳,淋失总量显著低于其它处理;磷、钾淋失总量与氮淋失总量规律基本一致。

2.5 不同基质配方对番茄生长发育的影响

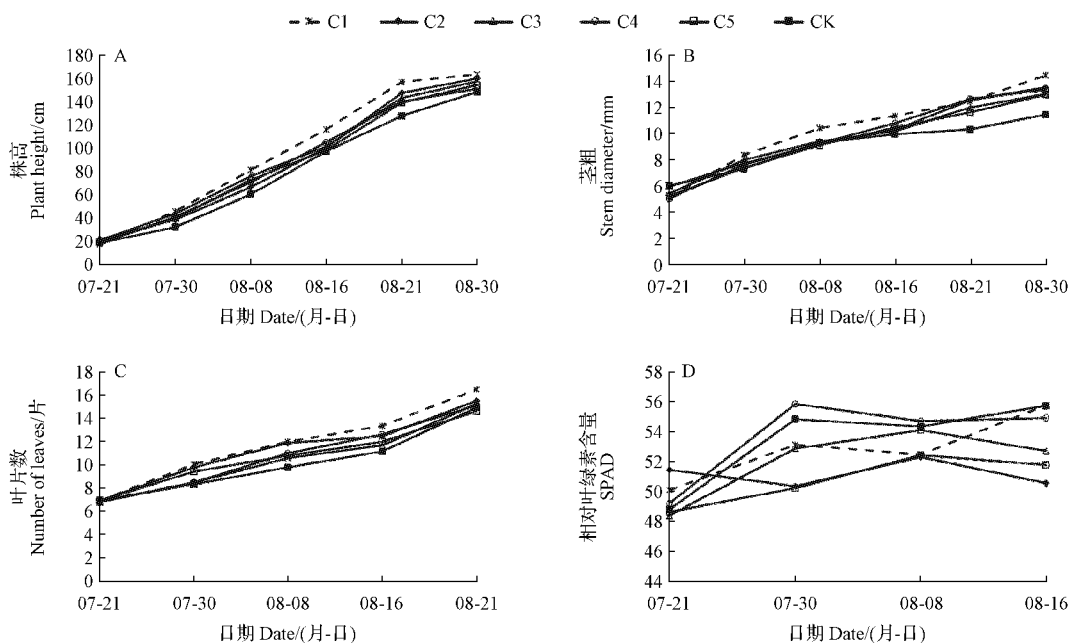
由图 3 可以看出,番茄在结果期以前,各处理在株高、茎粗、叶片数的整体表现为 $C1 > C2 > C3 > C4 > C5 > CK$, 在生长后期植株茎粗与前期规律相同,而株高与叶片数方面,除对照外,其它各处理间基本趋近一致。说明 C1 可以有效增加植株的茎粗,在营养生长旺盛阶段可以提高番茄的株高和茎粗。根据测量、统计分析发现,在整个生长期,番茄的 SPAD 值方面,各处理表现没有明显的变化规律。说明复配基质要优于 CK,由于原料的成本较低,应用上优于 CK,在沙地、非耕地区域及土壤盐渍化、土传病害加剧的设施农

表3 不同配方基质淋溶后氮磷钾养分淋失量

Table 3 The amount of N,P,K nutrient leaching loss of different substrate

mg

		淋溶天数 Leaching days/d							淋失总量
		1	2	3	4	5	6	7	Total leakage
氮淋失量 Amount of nitrogen leaching	C1	25.55b	25.28b	16.54b	11.01ab	5.04a	2.74b	1.81b	87.97±0.89b
	C2	40.80a	34.81a	23.1a	9.37b	4.85a	3.6ab	2.08b	118.61±0.77a
	C3	38.38a	27.24b	23.83a	12.15a	4.51a	5.38a	3.57a	115.06±1.45a
	C4	38.92a	32.87a	25.49a	12.84a	4.38a	5.03a	2.34b	121.87±2.13a
	C5	38.15a	36.24a	20.01ab	12.15a	4.51a	5.18a	3.47a	119.71±1.34a
	CK	41.91a	36.67a	24.3a	12.21a	3.85a	3.74ab	2.14b	124.82±2.45a
磷淋失量 Amount of phosphorus leaching	C1	2.59c	2.34c	2.34b	1.38ab	1.24a	0.55ab	0.28a	10.72±0.21c
	C2	3.48c	2.59c	1.89b	1.60a	1.26a	0.79a	0.31a	11.92±0.49c
	C3	4.26bc	3.61bc	2.2b	1.58a	1.54a	0.89a	0.38a	14.46±0.49b
	C4	6.32a	4.78a	4.53a	2.21a	0.78b	0.28b	0.15b	19.05±1.19a
	C5	6.65a	4.33ab	2.25b	0.98b	0.48b	0.13b	0.12b	14.94±0.23b
	CK	7.85a	5.83a	3.22ab	1.41ab	0.97ab	0.46ab	0.32a	20.06±0.75a
钾淋失量 Amount of potassium leaching	C1	14.6c	9.01c	6.18b	1.56a	0.93a	0.32b	0.45ab	33.04±1.11d
	C2	19.38ab	13.27b	9.15a	1.94a	1.02a	0.44ab	0.27b	45.47±0.98b
	C3	24.91a	14.85b	10.62a	2.35a	1.37a	0.60a	0.58a	55.28±2.46a
	C4	17.34b	10.40c	10.37a	1.35a	0.96a	0.44ab	0.37ab	41.23±1.74c
	C5	20.84ab	14.32b	9.31a	1.62a	1.24a	0.46ab	0.36ab	48.15±3.13b
	CK	26.79a	18.72a	10.01a	1.77a	1.33a	0.62a	0.3b	59.53±2.19a

注:同一养分同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。Note: Different letters in the same column and nutrient indicate significant differences at $P<0.05$ level.

注: A. 株高; B. 茎粗; C. 叶片数; D. 相对叶绿素含量 (SPAD)。

Note: A. Plant height; B. Stem diameter; C. Number of leaves; D. SPAD.

图3 不同配方基质栽培条件下番茄生长性状的变化

Fig. 3 Changes of tomato growth traits under different substrates

业生产中巨大的应用潜力。

由表 4 可知,不同基质配方对植株根系质量有积极影响。植株根系质量整体表现为 C1>C2>C3>C5>C4>CK,且 C1、C2 在平均根系长度、平均根数、平均根系干质量和平均根系鲜质量

方面表现较好,显著高于 C4、CK,这与上述株高和茎粗的变化趋势一致。在平均单果质量和产量方面均表现为 C1>C5>C3>C4>C2>CK,C1 最佳且显著高于其它处理。

表 4 不同配方基质对番茄根系质量及产量的影响

Table 4 Comparison of the effects of different substrates on tomato root quality and yield

处理 Treatment	根系长度 Root length/cm	根数 Root number/条	根系鲜质量 Weight of fresh roots/g	根系干质量 Weight of dry roots/g	单果质量 Weight of single fruit/g	产量 Yield/(t·hm ⁻²)
C1	41.12±1.02a	33.65±0.96a	33.34±1.16a	7.45±0.09a	195.6±3.45a	134.9±1.89a
C2	39.93±0.93a	32.12±2.01a	31.79±1.35a	6.63±0.17a	164.6±4.98c	113.5±4.69c
C3	36.12±1.32ab	29.56±0.98ab	29.22±0.73ab	5.96±0.07ab	171.4±2.79c	118.2±0.98bc
C4	35.31±0.16ab	25.46±0.47b	25.45±1.47b	5.77±0.29b	169.3±8.46c	116.8±5.63bc
C5	37.83±0.34ab	28.84±0.39a	26.12±0.49b	6.21±0.78ab	181.3±3.49b	125.1±1.78b
CK	32.12±1.02b	24.33±0.44b	23.47±1.03b	5.11±0.76b	166.7±4.89c	114.9±2.76c

注:不同字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Different letters indicate significant differences at P<0.05 level.

2.6 基质栽培性能关键指标主成分分析

以不同基质配方的上述测量的基质容重、基质孔隙度、基质含水量、基质吸水倍数、养分淋失量等 18 个关键指标全部作为评价对象,对其所有指标进行主成分分析。从表 5 可以看出,主成分 1、主成分 2、主成分 3 和主成分 4 的特征值分别为 12.153、2.139、1.987 和 1.398,贡献率分别为 67.518%、11.884%、11.037%和 7.765%,它们

的累计贡献率达到了 98.204%,可解释差异产生的 98.204%。

初始因子载荷矩阵反映了各指标与主成分之间的相关性,由表 6 可以看出,根系长度、吸水倍数、基质含水量等与主成分呈正相关,且相关性较强。渗水速度、氮磷钾淋失量等呈负相关,且负相关性较强,说明这些因素是影响基质优劣的重要参数。

表 5 特征值和累计贡献率

Table 5 Eigenvalues and cumulative contribution proportions

主成分 Principal components	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	12.153	67.518	67.518
2	2.139	11.884	79.402
3	1.987	11.037	90.439
4	1.398	7.765	98.204
5	0.323	1.796	100
6	1.78×10 ⁻¹⁵	9.89×10 ⁻¹⁵	100
7	5.71×10 ⁻¹⁶	3.17×10 ⁻¹⁵	100
8	4.81×10 ⁻¹⁶	2.67×10 ⁻¹⁵	100
9	3.02×10 ⁻¹⁶	1.68×10 ⁻¹⁵	100
10	2.70×10 ⁻¹⁶	1.50×10 ⁻¹⁵	100
11	7.20×10 ⁻¹⁷	4.00×10 ⁻¹⁶	100
12	-4.3×10 ⁻¹⁷	-2.40×10 ⁻¹⁶	100
13	-9.4×10 ⁻¹⁷	-5.20×10 ⁻¹⁶	100
14	-3.8×10 ⁻¹⁶	-2.10×10 ⁻¹⁵	100
15	-4.5×10 ⁻¹⁶	-2.50×10 ⁻¹⁵	100
16	-5.4×10 ⁻¹⁶	-30×10 ⁻¹⁵	100
17	-6.3×10 ⁻¹⁶	-3.50×10 ⁻¹⁵	100
18	-1×10 ⁻¹⁵	-5.50×10 ⁻¹⁵	100

主成分因子的综合得分可以作为不同基质对植株生长及基质质量影响的综合指标。将不同基质配方下各参数带入公式可得主成分综合得分。

由表 7 可以看出,C1 的综合得分最高为 3.521。由此判定,基质 C1 最优。

表 6 初始因子载荷矩阵
Table 6 Component load matrix

指标 Attributes	主成分 1 Components 1	主成分 2 Components 2	主成分 3 Components 3	主成分 4 Components 4
吸水倍数 Absorbent multiples	0.918	0.318	-0.075	-0.222
渗水速度 Water seepage rate	-0.866	-0.428	-0.007	0.244
含水量 Water content	0.950	0.172	-0.059	-0.253
氮淋失量 Amount of nitrogen leaching	-0.846	0.310	-0.128	0.263
磷淋失量 Amount of phosphorus leaching	-0.823	0.448	0.216	-0.271
钾淋失量 Amount of potassium leaching	-0.882	-0.258	0.183	0.345
pH	0.254	-0.413	0.827	0.264
全盐 Total salt	0.395	0.543	0.658	0.328
全氮 Total nitrogen	0.916	0.168	-0.035	0.254
有机质 Organic matter	0.785	0.575	-0.191	0.085
全磷 Total phosphorus	0.938	0.126	0.213	0.205
全钾 Total potassium	0.813	0.274	0.090	0.505
根系长度 Root length	0.906	-0.224	-0.278	0.111
根数 Root number	0.842	-0.429	-0.234	0.229
根系鲜质量 Weight of fresh roots	0.831	-0.320	-0.328	0.225
根系干质量 Weight of dry roots	0.950	-0.250	-0.180	-0.034
单果质量 Weight of single fruit	0.757	-0.273	0.447	-0.388
产量 Yield	0.758	-0.269	0.448	-0.387

表 7 不同基质配方对番茄生长发育及基质质量影响的综合评分
Table 7 Comprehensive evaluation of the effects of different matrix formulations on tomato growth and substrate quality

处理 Treatment	标准化因子得分 Scores of normalized factors				非标准化因子得分 Scores of non-normalized factors				综合得分 Comprehensive
	FAC1	FAC2	FAC3	FAC3	F1	F2	F3	F4	scores
C1	1.538	-0.601	0.204	-0.992	5.363	-0.879	0.287	-1.173	3.521
C2	0.153	-0.335	-1.859	0.678	0.533	-0.489	-2.620	0.802	0.076
C3	-0.073	-0.122	0.872	1.585	-0.254	-0.179	1.229	1.874	0.090
C4	-0.052	1.997	-0.080	-0.395	-0.180	2.921	-0.112	-0.467	0.180
C5	0.046	-0.269	0.858	0.064	0.159	-0.393	1.210	0.075	0.203
CK	-1.612	-0.671	0.005	-0.940	-5.621	-0.981	0.007	-1.111	-4.070

3 讨论

基质的组成配比、理化性质、保温性能、保水性能、保肥性能和植株生长发育情况等是评价基质优良性的重要指标。有研究者对基质优良性设立了标准,主要是以基质的理化性质作为评价指标^[12-13],但相关研究结果本身并不统一,随着研究的深入和技术的进步,目前评价标准的适用性已不能满足一些新的基于农林废弃物开发的基质。当前,用于开发基质的材料很多,其本身主要

起到支撑作用,孔隙度在一定范围内,基本都可被应用于栽培领域^[14],理化性质具有极大差异性的椰糠、河沙、海砂等单一物料都可以作为栽培基质^[15-16]。说明对于基质最佳的物理化学性质的标准需要进一步探讨,评判新型基质的优良不能仅通过基质的理化性质进行简单的评判,应根据当地气候、管理技术的水平、新型肥料的使用和对作物产生的影响进行综合评价。该试验经过统计分析发现,植物数量特征与基质养分之间存在着必然的关系,该研究通过对不同配方基质的理化性质、基质含水量、基质吸水倍数、养分淋失量等

关键指标进行综合因素主成分分析,解释各处理产生差异的主成分贡献,以及各处理综合得分。结果显示,主成分 1、主成分 2、主成分 3 和主成分 4 的特征值分别为 12.153、2.139、1.987 和 1.398,贡献率分别为 67.518%、11.884%、11.037%和 7.765%,它们的累计贡献率达到了 98.204%,可解释差异产生的 98.204%,且 C1 的综合得分最高。

配置基质的物料种类及配比对于制备复配基质具有积极意义,基质的配比不同,对苗木的株高、茎粗、根系生长以及生物量积累等指标均有显著的影响^[17]。该试验发现,以欧李枝条、玉米秸秆、牛粪沼渣和河沙按照 1:1:1:1 的体积比例组成的基质,其物理、化学性质较优,基质的保温、保水和保肥性能最好,并最终促使番茄丰产稳产,并且显著优于 C4(有机物料组合)和 CK(无机物料)。基质是植株生长的介质,植株所需要的水分和营养元素全部由基质提供,基质对养分和水分的吸附性能决定了基质对植株营养和水分的供给性能,并对植株的生长发育产生重要影响^[18-19]。说明通过将有机物料与无机物料按照一定的比例进行组合,其在水、肥、气的协调方面要优于有机物料或无机物料单独制备的栽培基质^[20]。关于农林废弃物制备基质的研究结果显示,有机物料与无机物料的组合基本都表现出了较好的效果^[21-23]。但是针对有机物料与无机物料复配产生有益效果的作用机理目前尚无相关报道,需要进一步研究。

该试验的研究结果显示,C1 在保水和保肥效果上显著高于 C2,C1 在冬季阴天 24 h 的平均温度较 C2 高 2~3℃,保温蓄温能力更好。这说明加入欧李枝条并与河沙、牛粪沼渣、玉米秸秆进行复配,具有较好的保温、保水和保肥性能,反映到植株生长和产量上,也得到了相似的规律。这可能与欧李枝条具有的特点有关。但是目前针对欧李枝条理化性质的研究相对较少。另一方面,欧李枝条作为木本植物,具有大量的木质素与木纤维素,其结构非常稳定,对植株具有支持和保护作用^[24],还可以利用其结构本身具有吸水性和附着肥料的特点,中转来自营养液的养分和水分作为植株提供协调稳定的水、肥、气。目前已有关于苹果树、桃树、梨树和枸杞树枝条开发菇类和蔬菜栽培

基质的初步报道^[16,25],同时,有学者研究发现针对番茄复配的有机基质,在提高果实品质同时,还可解决设施连作障碍和土壤盐渍化等问题^[26-28]。说明农林废弃物在开发新型基质方面具有较大的发展空间,通过利用基于欧李等林木枝条开发复配蔬菜栽培基质,是解决农业废弃物循环利用、农业绿色生态发展的有效途径之一。但是对于欧李枝条等物料对促进复配基质保水、保肥和保温的作用机理及基质商品化生产需要进一步研究。

参考文献

- [1] 李向辉,金福兰,刘玲. 基于专利数据的世界农林废弃物循环利用能源技术分析[J]. 生物质化学工程,2015,49(2):32-38.
- [2] 韩长赋. 大力推进农业绿色发展[N]. 人民日报,2017-5-9(12).
- [3] 范如芹,罗佳,高岩,等. 农业废弃物的基质化利用研究进展[J]. 江苏农业学报,2014,30(2):442-448.
- [4] 李卫东,贾玉奎,徐军. 中国“一带一路”战略下的欧李沙产业展望[J]. 中国野生植物资源,2016,35(6):1-4.
- [5] 王有信,何卫军. 欧李产业化开发历程与问题探讨[J]. 山西果树,2017(1):8-10.
- [6] 李卫东,李欧,胡璇,等. 欧李资源的综合开发价值与可持续利用建议—中华中医药学会第十届中药鉴定学术会议论文集[C]. 北京:中华中医药学会中药鉴定分会,2010.
- [7] 郭冬生,黄春红. 近 10 年来中国农作物秸秆资源量的时空分布与利用模式[J]. 西南农业学报,2016,29(4):948-954.
- [8] 朱开伟,刘贞,贺良萍,等. 中国主要农作物秸秆可新型能源化生态经济总量分析[J]. 中国农业科学,2016,49(19):3769-3785.
- [9] 王昊,韦峰,迟海峰,等. 不同秸秆生物反应堆对冬季日光温室番茄生长发育的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(2):141-146.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [11] 卫星,李贵雨,吕琳. 农林废弃物育苗基质的保水保肥效应[J]. 林业科学,2015,51(12):26-34.
- [12] 刘伟,余宏军,蒋卫杰. 我国蔬菜无土栽培基质研究与应用进展[J]. 中国生态农业学报,2006,14(3):4-7.
- [13] 曹晓璐. 园林废弃物制造栽培基质中微生物的动态变化[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
- [14] 杨梦珂,郑思俊,张青萍,等. 应用于垂直绿化栽培的基质保肥性研究[J]. 河南农业科学,2017,46(11):120-126.
- [15] 索琳娜. 几种农林生物质废弃物再利用生产无土栽培基质技术及应用[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [16] 穆大伟,孙莉,江雪飞,等. 南海诸岛利用淡化海砂作为无土栽培基质的可行性研究[J]. 中国农业科技导报,2017,19(4):110-118.
- [17] 黄松殿,梁机,梁小春,等. 不同育苗基质对擎天树容器苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(4):28-31.

- [18] 马常耕. 世界容器育苗研究, 生产现状和我国发展对策[J]. 世界林业研究, 1994(5): 33-41.
- [19] 刘秀茹, 葛晓光. 地温及营养面积对番茄秧苗生育及素质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1988, 19(3): 29-36.
- [20] 李婷婷, 马蓉丽, 成妍, 等. 中国蔬菜基质栽培研究新进展[J]. 农学学报, 2013, 3(4): 30-34.
- [21] 宋晓晓, 邹志荣, 曹凯, 等. 不同有机基质对生菜产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(6): 153-160.
- [22] 张启翔, 孙向丽. 几种有机废弃物作为一品红代用基质的研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 46-51.
- [23] 王旭艳, 林夏珍, 李琳, 等. 几种农林废弃物复合基质的理化特性及对浙江楠容器育苗的效果[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5): 674-680.
- [24] 金鑫, 黄文丽, 李小林, 等. 不同果树枝条栽培灵芝基质配方研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 156-160.
- [25] 冯海萍, 杨冬艳, 白生虎, 等. 不同枸杞枝条粉含量的栽培基质对黄瓜生长发育的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(12): 1303-1308.
- [26] 冯海萍, 杨冬艳, 谢华, 等. 农业生物质资源木质纤维素基质化利用研究进展[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(5): 144-147.
- [27] 薛书浩, 孟焕文, 程智慧, 等. 复合基质在大棚番茄无土栽培上的应用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(11): 107-112, 119.
- [28] ALTIERI R, ESPOSITO A, BARUZZI G. Corroboration for the successful application of humified olive mill waste compost in soilless cultivation of strawberry[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, 88: 118-124.

Effects of Substrate of Agri-forestry Wastes Based on *Cerasus humilis* Branches on Growth and Development of Tomato

WANG Hao¹, MA Wenli¹, WANG Shiping², CHENG Yongwei¹, LI Zongze¹, BO Jianhua¹

(1. Agricultural Technology Extension and Service Center of Ningxia Agricultural Reclamation Management Bureau, Yinchuan, Ningxia 750011; 2. College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract: To solve the problems of environmental pollution and resource recycling of agricultural and forestry residues like branches of *Cerasus humilis*, matching the *Cerasus humilis* branches residue of 6 kinds of substrates was determined by field random arrangement, researches were carried out on the physic-chemical characters, water and heat retaining, nutrition retaining of compound substrate and the effects on the growth of tomatoes, taking *Cerasus humilis* branches, corn straw, cow-dung biogas residue, and river sand as raw materials. Through PCA on all the index, the results showed that compound substrate C1 at the ratio of *Cerasus humilis* branches: corn straw: cow-dung biogas residue: river sand=1:1:1:1 had better performance on water and heat retaining, nutrition retaining and promoting the growth of tomatoes. C1 was the best proportion for promoting the growth of tomatoes and maintaining the quality of substrate, and provided reference for researching new-type substrate with agricultural and forestry residues.

Keywords: agricultural and forestry wastes; branches of *Cerasus humilis*; heat-insulating property; water-retaining property; nutrient preserving ability; substrates