

# 玉米秸秆复配基质对黄瓜幼苗生长发育的影响

王宇欣 孙倩倩 王平智 赵亚楠 李雪媛

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为探索玉米秸秆替代传统基质草炭的可行性,以“中农 19 号”黄瓜为供试材料,将玉米秸秆、草炭、沼渣、蛭石、珍珠岩等按不同体积比混配制成育苗基质。通过电镜扫描和能谱分析对玉米秸秆和草炭的形貌特征及元素组成进行分析比较,并进行穴盘育苗试验,研究玉米秸秆对基质理化性质和黄瓜幼苗生长的影响。结果表明:添加玉米秸秆对基质的容重、总孔隙度、有机质含量、pH 值和电导率 EC 等理化性质有改善作用;将玉米秸秆按照适宜的体积配比代替草炭和沼渣育苗时,对黄瓜幼苗的生长发育有促进作用。试验表明,与对照组 CK1(草炭 25%、沼渣 25%、珍珠岩 25%、蛭石 25%)相比,T1(秸秆 10%、草炭 20%、沼渣 20%、珍珠岩 25%、蛭石 25%)和 T2(秸秆 20%、草炭 15%、沼渣 15%、珍珠岩 25%、蛭石 25%)更适宜作物生长,种子萌发 40 d 时,T1 组黄瓜幼苗的株高为  $(8.61 \pm 0.34)$  cm、茎粗为  $(4.34 \pm 0.27)$  mm、叶绿素相对含量为  $(37.40 \pm 2.15)$  SPAD、叶面积为  $(60.21 \pm 1.69)$  cm<sup>2</sup>、根系活力为  $(118.306 \pm 30.611)$  TTF $\mu$ g/(g·h),均显著高于对照组 CK1。因此,玉米秸秆对黄瓜幼苗的生长具有一定的促进作用,可代替部分草炭用于育苗基质的配制。

**关键词:** 玉米秸秆;草炭;黄瓜育苗;电导率

**中图分类号:** S642.2; S723.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)07-0286-10

## Effect of Corn Stalk Compound Substrate on Cucumber Seedling Growth

WANG Yuxin SUN Qianqian WANG Pingzhi ZHAO Ya'nian LI Xueyuan

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to explore the feasibility of replacing non-renewable peat with corn straw in traditional substrate, the cucumber varieties “Zhongnong 19” was used as the test material, and cornstalk, peat, biogas residue, vermiculite, perlite and so on were mixed according to different volume ratios to make seedling substrate. The morphology and element composition of straw and peat were analyzed and compared by electron microscope scanning and energy spectrum analysis, the effects of corn straw on the physicochemical properties of substrate and the growth of cucumber plug seedlings were investigated. Furthermore, a suitable compound substrate formula for cucumber seedling production was screened out. Twelve different substrates were tested, including a mixture of 25% peat, 25% biogas residue, 25% vermiculite and 25% perlite (CK1); 100% corn straw (CK2); 100% soil (CK3); a mixture of 10% corn straw, 20% peat, 20% biogas residue, 25% vermiculite and 25% perlite (T1); a mixture of 20% corn straw, 15% peat, 15% biogas residue, 25% vermiculite and 25% perlite (T2); a mixture of 30% corn straw, 10% peat, 10% biogas residue, 25% vermiculite and 25% perlite (T3); a mixture of 40% corn straw, 5% peat, 5% biogas residue, 25% vermiculite and 25% perlite (T4); a mixture of 50% corn straw, 25% vermiculite and 25% perlite (T5); a mixture of 80% soil and 20% corn straw (T6); a mixture of 60% soil and 40% corn straw (T7); a mixture of 40% soil and 60% corn straw (T8); and a mixture of 20% soil and 80% corn straw (T9). The experiment was arranged in a randomized block design with three replications. The effects of corn stalk on seedling emergence rate, plant height, stem diameter, leaf area and seedling biomass were analyzed as well as the physicochemical properties of different substrates, including bulk density, total porosity, organic matter, pH value and EC values. Corn straw can be used as a suitable volume ratio instead of peat and biogas residue to raise seedlings, which can promote the growth and development of cucumber seedlings. To a certain extent, the substrate

收稿日期: 2018-04-18 修回日期: 2018-05-28

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项资金项目(201503137)

作者简介: 王宇欣(1967—),男,副教授,主要从事农业生物环境与能源工程研究,E-mail: meller@163.com

recipes of treatments T1 and T2 could improve the quality of cucumber seedling. The growth index data of treatment T1 at 40d of seed germination are as follows: plant height was  $(8.61 \pm 0.34)$  cm, stem diameter was  $(4.34 \pm 0.27)$  mm, chlorophyll relative content was  $(37.40 \pm 2.15)$  SPAD, leaf area was  $(60.21 \pm 1.69)$  cm<sup>2</sup>, root activity was  $(118.306 \pm 30.611)$  TTF $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , and the content of organic matter of cucumber seedlings in T1 was significantly higher than that of CK1. There was no significant difference in the growth index between T2 and CK, but the biomass of root of  $(100.53 \pm 2.71)$  TTF $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  at T2 was significantly higher than that of CK1. Therefore, corn straw had a certain role in promoting the growth of seedlings, which can be used instead of peat for the nursery substrate configuration, but it was necessary to control the volume percentage of corn stalks within 20% in order to avoid inhibiting the growth of cucumber seedlings.

**Key words:** corn straw; peat; cucumber seedling; conductivity

## 0 引言

育苗基质是设施园艺蔬菜生产的重要材料,具有固定作物根系,提供营养物质,协调水分、养分和氧气供给的作用<sup>[1-2]</sup>。目前我国设施栽培常用的基质主要有草炭、蛭石、珍珠岩等<sup>[3]</sup>。草炭中有机质含量高,具有较好的持水性和通气性,非常适宜作物生长<sup>[4-5]</sup>。但草炭属于不可再生资源,过度开采将会破坏环境<sup>[6-9]</sup>,因此,开展替代草炭的新型基质研究对于实现我国农业的可持续发展具有重要意义<sup>[10-12]</sup>。

我国秸秆资源丰富,用途广泛<sup>[13]</sup>。资料表明,2013年我国玉米秸秆资源总量达2.4亿t,占全国秸秆总产量的24.17%<sup>[14-17]</sup>。秸秆本身含有较多营养元素,栽培过程中的持续降解可以增加作物根际CO<sub>2</sub>浓度,基质中活跃的微生物活动也可促进作物的生长<sup>[16-18]</sup>。曾清华等<sup>[19]</sup>采用小麦秸秆混配基质探究了甜椒幼苗生长特性,发现腐熟后的小麦秸秆是一种优质环保型的有机基质,可应用于蔬菜的穴盘育苗。但小麦秸秆基质的pH值和电导率高,持水空隙比较大,需与其他基质进行合理混配,改善其各项理化性能,才能提高使用效果。刘振国<sup>[20]</sup>以腐熟玉米秸秆为主要试验材料,以草炭、蛭石、珍珠岩为辅助材料,制成5种不同体积配比的复合基质,开展黄瓜栽培试验,研究了其对黄瓜形态指标、生理指标、品质和产量的影响。石慧芳等<sup>[21]</sup>以腐熟玉米秸秆基质为原料,加入不同体积比的其他添加材料组成复合栽培基质,采用营养钵育苗的方式,在日光温室内研究了不同配比复合基质对辣椒形态特征和生理生化的影响,发现在育苗期间腐熟玉米秸秆基质对辣椒的茎粗、叶绿素含量、根系活力影响较大。同时,玉米秸秆还可以提高土壤的持水能力。张翼夫等<sup>[22]</sup>通过在不同质地的土壤中添加秸秆发现,以适量的玉米秸秆添加到土壤中能达到较好的水土保持效果和播种质量。另外,近年来秸秆生物反应堆

技术在温室蔬菜栽培中的应用也取得了明显增产效果<sup>[23]</sup>。王忠江等<sup>[24]</sup>发现,添加沼肥后有助于促进玉米秸秆的腐解。

腐熟秸秆作为基质进行栽培试验的研究较多,但利用未腐熟玉米秸秆与草炭复配开展育苗效果的试验研究较少,未腐熟秸秆复配基质在育苗过程中pH值、电导率、孔隙度和容重等理化特性变化较大。本文利用未腐熟玉米秸秆按照一定比例与草炭、蛭石、珍珠岩和沼渣等复配,开展黄瓜育苗试验,通过幼苗的株高、茎粗、根系活力和壮苗指数等生长、生理指标的检测,探索复配基质的栽培适宜性,以期为玉米秸秆在设施育苗中的直接利用提供理论和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料和仪器

试验供试黄瓜品种为“中农19号”,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供,种子发芽率95%以上。供试基质包括玉米秸秆、沼渣、草炭、蛭石、珍珠岩和土壤。供试沼渣在自然通风状态下风干,粉碎备用。供试秸秆为玉米秸秆,取自北京市通州区中农富通国际都市农业科技园。试验前将玉米秸秆粗略粉碎,置于75℃干燥箱中干燥,之后利用超细粉碎机(型号:RT-34,北京兴时利和科技发展有限公司)进一步粉碎。对粉碎后的玉米秸秆进行粒径分析,过80目筛的颗粒占总量的 $(18.30 \pm 1.03)\%$ ,剩余过40目筛的颗粒占总量的 $(25.53 \pm 4.68)\%$ ,剩余过20目筛的颗粒占总量的 $(18.66 \pm 3.69)\%$ 。

草炭和玉米秸秆形貌及能谱分析使用的主要仪器为S4800型冷场发射扫描电子显微镜,仪器工作电压为15kV,工作距离为15.0~15.1mm,发射电流为11.0~11.4 $\mu\text{A}$ ,真空度 $1.0 \times 10^{-8}$ Pa。检验方法依据JY/T 010—1996《分析型扫描电子显微镜方法通则》。

基质的理化性质主要包括容重、相对含水量、总

孔隙度、透气孔隙度、持水孔隙度、pH 值、EC、有机质质量分数等。本试验主要测定了基质的容重、相对含水量、总孔隙度、透气孔隙度、pH 值和有机质质量分数等 6 指标,其中,相对含水量、基质容重的测

定方法参考中华人民共和国农业测量标准,其他基质测定项目参照鲍士旦<sup>[25]</sup>采用的方法。供试玉米秸秆、沼渣、珍珠岩、草炭、蛭石和土壤基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试玉米秸秆颗粒、沼渣、土壤、基质材料基本理化性质

Tab. 1 Physical and chemical properties of straw, biogas residue, soil and substrate materials

理化性质	玉米秸秆	土壤	草炭	蛭石	珍珠岩	沼渣
容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	(0.10 ± 0.00) <sup>d</sup>	(0.83 ± 0.01) <sup>a</sup>	(0.08 ± 0.01) <sup>d</sup>	(0.36 ± 0.03) <sup>c</sup>	(0.11 ± 0.01) <sup>d</sup>	(0.64 ± 0.02) <sup>b</sup>
相对含水量/%	(20.42 ± 0.45) <sup>c</sup>	(8.97 ± 0.83) <sup>d</sup>	(45.91 ± 0.94) <sup>a</sup>	(26.21 ± 0.26) <sup>b</sup>	(0.11 ± 0.02) <sup>f</sup>	(4.85 ± 0.16) <sup>e</sup>
总孔隙度/%	(82.06 ± 3.04) <sup>a</sup>	(34.41 ± 0.08) <sup>d</sup>	(80.17 ± 0.18) <sup>ab</sup>	(56.05 ± 0.45) <sup>c</sup>	(72.03 ± 0.30) <sup>b</sup>	(49.76 ± 0.12) <sup>c</sup>
透气孔隙度/%	(14.17 ± 0.08) <sup>ab</sup>	(4.97 ± 0.09) <sup>b</sup>	(28.43 ± 0.25) <sup>ab</sup>	(11.91 ± 0.25) <sup>ab</sup>	(27.46 ± 0.11) <sup>a</sup>	(3.91 ± 0.07) <sup>b</sup>
持水孔隙度/%	(68.22 ± 0.18) <sup>a</sup>	(29.44 ± 0.08) <sup>d</sup>	(51.74 ± 0.08) <sup>b</sup>	(44.14 ± 0.25) <sup>c</sup>	(49.57 ± 0.27) <sup>c</sup>	(45.82 ± 0.18) <sup>bc</sup>
pH 值	(8.19 ± 0.01) <sup>a</sup>	(8.93 ± 0.03) <sup>b</sup>	(6.54 ± 0.06) <sup>b</sup>	(7.42 ± 0.03) <sup>a</sup>	(7.36 ± 0.02) <sup>a</sup>	(6.17 ± 0.03) <sup>c</sup>
EC/(mS·cm <sup>-1</sup> )	(1.18 ± 0.00) <sup>a</sup>	(0.14 ± 0.01) <sup>c</sup>	(0.05 ± 0.02) <sup>d</sup>	(0.01 ± 0.00) <sup>f</sup>	(0.02 ± 0.00) <sup>e</sup>	(0.25 ± 0.01) <sup>b</sup>
有机质质量分数/%	(87.16 ± 0.48) <sup>a</sup>	(8.97 ± 0.48) <sup>c</sup>	(22.61 ± 0.54) <sup>e</sup>	(10.51 ± 0.15) <sup>d</sup>	(0.11 ± 0.01) <sup>f</sup>	(79.34 ± 0.09) <sup>b</sup>

注:每列数据不同小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著。下同。

## 1.2 试验方案

本试验以基质配方 CK1(草炭 25%、沼渣 25%、蛭石 25%、珍珠岩 25%)、CK2(玉米秸秆 100%)与 CK3(土壤 100%)作为对照,设计了 9 组不同处理,每个处理设计 3 组重复。根据基质不同成分,又可将 CK1、T1 ~ T5(不同体积玉米秸秆代替草炭和沼渣)和 CK2、CK3、T6 ~ T9(不同体积秸秆代替土壤)划分成两大组。基质体积配比见表 2。

表 2 不同处理的基质体积配比

Tab. 2 Volume ratio of compound substrate formula for different treatments %

处理	土壤	玉米秸秆	草炭	沼渣	蛭石	珍珠岩
CK1	0	0	25	25	25	25
T1	0	10	20	20	25	25
T2	0	20	15	15	25	25
T3	0	30	10	10	25	25
T4	0	40	5	5	25	25
T5	0	50	0	0	25	25
CK2	0	100	0	0	0	0
CK3	100	0	0	0	0	0
T6	80	20	0	0	0	0
T7	60	40	0	0	0	0
T8	40	60	0	0	0	0
T9	20	80	0	0	0	0

黄瓜幼苗的生长生理指标主要包括株高、茎粗、叶绿素相对含量、叶面积、地上和地下干鲜质量、根冠比、壮苗指数以及根系活力等。株高采用直尺测量基质表面到黄瓜幼苗生长点距离。茎粗采用电子游标卡尺测量黄瓜幼苗子叶下端。叶绿素相对含量采用 PAD-502 型叶绿素仪,每次测量时间保证在 10:00—14:00 之间进行,同一叶片叶绿素含量测量值采用多次测量取平均值的方法。叶面积采用长宽

系数法<sup>[26]</sup>。将黄瓜幼苗清洗干净,吸干表面水分,采用精度 0.000 1 g 天平分别测量黄瓜根部与地上部质量,即为其地下鲜质量和地上鲜质量;将黄瓜幼苗杀青(105℃,3 h)、干燥后分别测量黄瓜根部与地上部分质量,即为地下干质量( $W_1$ )和地上干质量( $W_2$ )。 $PTR$ (根冠比) =  $W_1/W_2$ 。 $SI$ (壮苗指数) =  $(PTR + d/h)(W_1 + W_2)$ ,其中  $d$  为茎粗, $h$  为株高。

## 1.3 数据处理

试验数据的整理和绘图工作通过 Microsoft Excel 2007 完成,采用 SPSS 22.0 对数据进行单因素方差分析,各处理平均值差异显著分析采用 Duncan 新负级差法,进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 形貌及能谱分析

#### 2.1.1 草炭和玉米秸秆的形貌分析

由图 1a 可以看出,过筛后的草炭形态较均匀,均呈球形颗粒状,表面凹凸不平,有很多微小的孔隙(图 1b、1c),这和草炭形成过程中微生物的分解有关。此外,草炭颗粒的表面上附着很多微小的颗粒(图 1d)。玉米秸秆和草炭相比有更多的形态,主要是球状、片状和秆状(图 1e),以秆状和片状为主。片状的秸秆表面比较光滑(图 1f),这是因为秸秆表面有一层蜡层,微孔较少,这也导致了微生物很难将其分解。在粉碎机的作用下,一些秸秆的表面可以被破坏,使其内部结构裸露出来(图 1g),有些还会出现内部结构的破坏(图 1h),形成很多孔隙和通道,这都有助于微生物的附着和分解。从草炭和玉米秸秆的形貌可以看出,玉米秸秆和草炭微观结构存在差异,但是经过粉碎和育苗过程中微生物的分

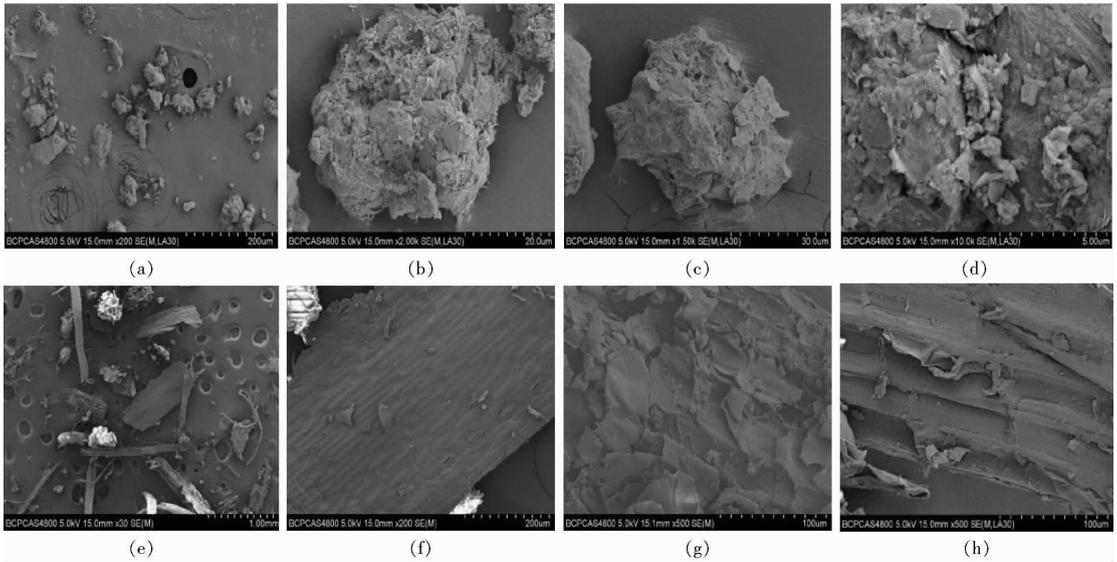


图 1 草炭的 X 射线光电子能谱分析图

Fig. 1 X-ray photoelectron spectroscopy analysis of peat

(a) ~ (d) 草炭 (e) ~ (h) 玉米秸秆

解,也可以和草炭有类似的形貌特征。所以,玉米秸秆可以代替草炭作为育苗基质的原料来使用。

### 2.1.2 草炭和玉米秸秆的 XPS 分析

每种化学元素具有自己的 X 射线特征波长,特

征波长的形态取决于能级跃迁过程中释放出的特征能量。X 射线光电子能谱分析是一种非破坏性的表面分析技术,可以检测样品表面的元素含量及形态。图 2 为草炭的 XPS 能谱分析,分析结果如表 3 所

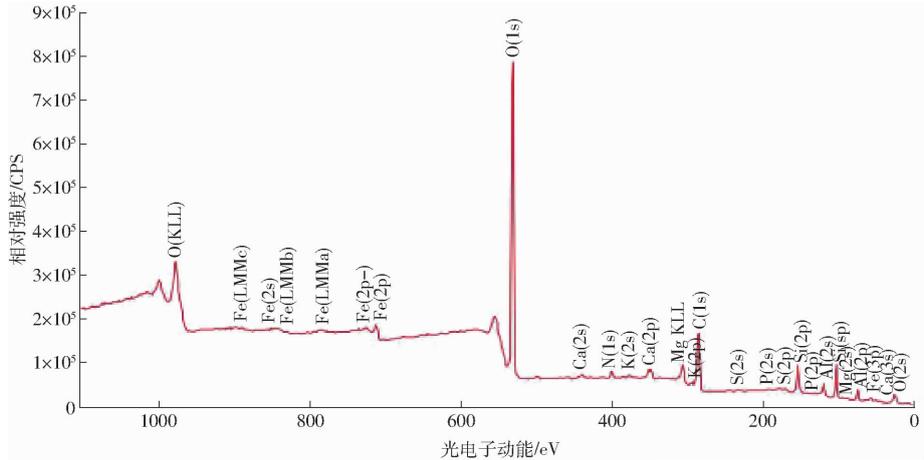


图 2 草炭的 X 射线光电子能谱分析图

Fig. 2 X-ray photoelectron spectroscopy analysis of peat

表 3 草炭表面各元素的 XPS 分析结果

Tab. 3 Results of elements on surface of peat by XPS analysis

元素	能量峰值/eV	原子百分数/%
O(1s)	532.1	47.69
C(1s)	284.8	30.04
K(2p)	293.3	0.38
Si(2p)	102.7	10.76
Al(2p)	74.4	5.18
Fe(2p)	712.4	1.98
N(1s)	400.2	1.63
Ca(2p)	348.1	1.13
P(2p)	133.3	0.13
Mg(2p)	50.3	0.73
S(2p)	169.6	0.35

注:1s、2p 表示轨道电子峰,即原子中轨道电子被激发所测光子能量,下同。

示,草炭的组成元素主要是 O、C、Si、Al,共占元素组成的 93.67%,其中 O 元素最多,为 47.69%,其次是 C 元素,为 30.04%。除了这 4 种主要元素外,还含有 K、Fe、Ca、Mg、N、P、S 7 种元素,共 6.33%。

图 3 是玉米秸秆的 XPS 能谱分析,分析结果如表 4 所示。玉米秸秆中,O 元素的原子百分数为 20.64%,C 元素的原子百分数为 75.57%,N 元素的原子百分数为 1.93%。此外,玉米秸秆中含量较多的其他元素依次为 Ca (0.53%)、Si (0.39%)、Mg(0.32%)、K (0.21%)、Cl (0.13%)、S (0.13%)、P(0.12%)和 Al (0.03%)等。通过草炭和玉米秸秆的 XPS 分析结果对比可以看出,草炭中 N 元素原子

百分数和玉米秸秆中 N 元素原子百分数相当;草炭中 Si 元素原子百分数较高,达到 10.76%;此外草炭中 Al 元素原子百分数达到 5.18%,远高于玉米秸秆中

Al 元素原子百分数;草炭中 C 元素原子百分数和玉米秸秆中 C 元素原子百分数差别较大,表明玉米秸秆中有机质含量远高于草炭。

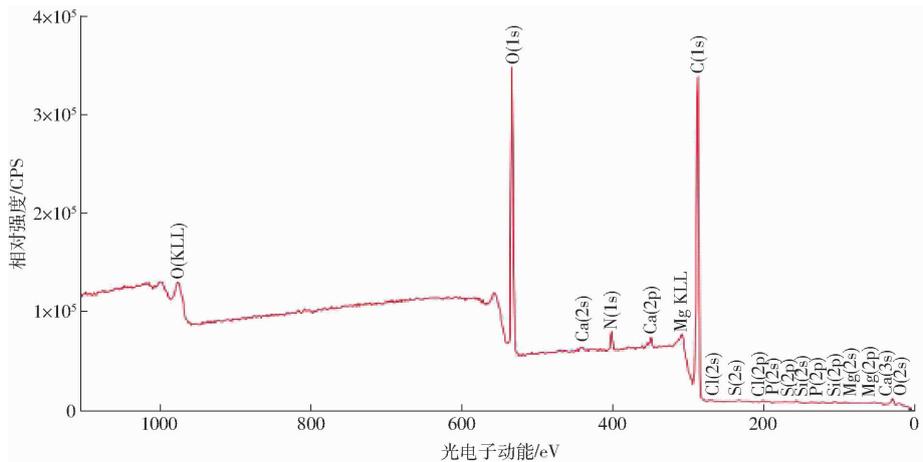


图3 玉米秸秆的 X 射线光电子能谱分析图

Fig. 3 X-ray photoelectron spectroscopy analysis of corn stalks

表 4 玉米秸秆表面各元素的 XPS 分析结果

Tab. 4 Results of elements on surface of corn stalks by XPS analysis

元素	能量峰值/eV	原子百分数/%
O(1s)	532.8	20.64
C(1s)	284.8	75.57
K(2p)	293.2	0.32
Si(2p)	103.2	0.39
Al(2p)	77.9	0.03
N(1s)	399.9	1.93
Ca(2p)	347.3	0.53
P(2p)	133.3	0.12
Mg(2p)	50.3	0.21
S(2p)	169.2	0.13
Cl(2p)	197.9	0.13

## 2.2 不同配比对基质理化性质的影响

复配基质主要理化性质见表 5。由表 5 可以看

出,随着 CK1、T1 ~ T5 基质中玉米秸秆颗粒所占体积比的增加,基质容重逐渐降低,相对含水量逐渐增高,pH 值逐渐增高,有机质含量增加。CK3、T6 ~ T9 随着土壤含量降低和玉米秸秆含量的增高,有机质含量逐渐增加,总孔隙度逐渐增大,相对含水量也呈现上升趋势,基质容重减少。这种现象主要是因为玉米秸秆有机质含量高、容重小,所以随着基质中秸秆含量的增加,基质整体有机质含量上升,容重降低。黄瓜育苗基质适宜的 pH 值为微酸性至中性,因此添加土壤和秸秆的基质需通过一定方式调节 pH 值以适宜黄瓜幼苗生长。黄瓜幼苗适宜 EC 约为 0.5 ~ 1.25 mS/cm,由表 1 可知,添加秸秆基质后的 EC 更符合黄瓜幼苗生长需要。黄瓜幼苗生长基质适宜的容重约为 0.20 ~ 0.60 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度大于 60%。根据上述这几项标准,筛选得出适宜黄瓜幼苗生长的基质为 CK1、T1、T2 和 T3。基质理化性

表 5 不同处理基质的理化性质

Tab. 5 Chemical and physical properties of substrate under different treatments

处理	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	相对含水量/%	总孔隙度/%	透气孔隙度/%	pH 值	有机质质量分数/%
T1	(0.27 ± 0.01) <sup>e</sup>	(28.53 ± 0.30) <sup>d</sup>	(55.53 ± 1.18) <sup>cd</sup>	(13.76 ± 0.04) <sup>b</sup>	(6.41 ± 0.00) <sup>k</sup>	(22.56 ± 0.42) <sup>f</sup>
T2	(0.26 ± 0.01) <sup>e</sup>	(26.90 ± 0.67) <sup>f</sup>	(55.98 ± 4.20) <sup>de</sup>	(10.48 ± 0.14) <sup>f</sup>	(6.48 ± 0.11) <sup>j</sup>	(23.31 ± 0.09) <sup>g</sup>
T3	(0.20 ± 0.01) <sup>fg</sup>	(33.70 ± 0.41) <sup>c</sup>	(56.56 ± 8.51) <sup>cd</sup>	(12.62 ± 0.22) <sup>c</sup>	(6.52 ± 0.02) <sup>i</sup>	(25.37 ± 0.23) <sup>d</sup>
T4	(0.18 ± 0.01) <sup>g</sup>	(35.54 ± 0.60) <sup>b</sup>	(62.40 ± 1.24) <sup>bc</sup>	(14.49 ± 0.42) <sup>a</sup>	(6.60 ± 0.04) <sup>h</sup>	(29.64 ± 0.10) <sup>c</sup>
T5	(0.14 ± 0.02) <sup>h</sup>	(37.90 ± 0.58) <sup>a</sup>	(67.37 ± 3.13) <sup>b</sup>	(14.43 ± 0.33) <sup>a</sup>	(6.68 ± 0.06) <sup>g</sup>	(35.68 ± 0.48) <sup>b</sup>
T6	(0.61 ± 0.03) <sup>b</sup>	(16.71 ± 0.19) <sup>i</sup>	(35.92 ± 4.92) <sup>f</sup>	(6.79 ± 0.06) <sup>g</sup>	(6.74 ± 0.02) <sup>f</sup>	(6.97 ± 0.18) <sup>i</sup>
T7	(0.41 ± 0.02) <sup>c</sup>	(16.80 ± 0.71) <sup>i</sup>	(47.00 ± 7.30) <sup>e</sup>	(12.21 ± 0.21) <sup>d</sup>	(6.81 ± 0.09) <sup>e</sup>	(9.75 ± 0.53) <sup>h</sup>
T8	(0.27 ± 0.00) <sup>e</sup>	(16.46 ± 0.17) <sup>i</sup>	(51.82 ± 5.41) <sup>de</sup>	(10.53 ± 0.14) <sup>f</sup>	(6.84 ± 0.05) <sup>d</sup>	(19.11 ± 0.09) <sup>g</sup>
T9	(0.22 ± 0.02) <sup>f</sup>	(18.54 ± 0.45) <sup>h</sup>	(69.99 ± 3.74) <sup>b</sup>	(11.64 ± 0.19) <sup>e</sup>	(6.87 ± 0.10) <sup>c</sup>	(24.58 ± 0.30) <sup>e</sup>
CK1	(0.33 ± 0.02) <sup>d</sup>	(27.69 ± 0.41) <sup>e</sup>	(56.51 ± 4.00) <sup>cd</sup>	(12.95 ± 0.06) <sup>e</sup>	(6.35 ± 0.05) <sup>l</sup>	(21.65 ± 0.49) <sup>d</sup>
CK2	(0.10 ± 0.00) <sup>i</sup>	(20.42 ± 0.45) <sup>g</sup>	(82.06 ± 3.04) <sup>a</sup>	(14.17 ± 0.08) <sup>a</sup>	(8.19 ± 0.01) <sup>b</sup>	(87.16 ± 0.48) <sup>a</sup>
CK3	(0.83 ± 0.01) <sup>a</sup>	(8.97 ± 0.83) <sup>j</sup>	(34.41 ± 0.08) <sup>f</sup>	(4.97 ± 0.09) <sup>h</sup>	(8.93 ± 0.06) <sup>a</sup>	(3.34 ± 0.26) <sup>j</sup>

质测试结果表明,在育苗基质中添加一定比例的秸秆,可以更好地满足黄瓜的生长需求,促进黄瓜幼苗生长。

### 2.3 不同基质配方对黄瓜出苗率的影响

CK1、T1~T3、T6~T8 自黄瓜播种 6 d 开始出苗,至 9 d 黄瓜出苗稳定。T9、CK2、CK3 自播种 15 d 开始出苗,出苗不齐。根据我国农业行业蔬菜育苗基质的相关规定,种子发芽率为 95%,种子出苗率高于 90%,CK1、T1、T2 出苗率均高于 90%。未腐熟的玉米秸秆内含有酚类等有害物质,在一定程度上抑制黄瓜幼苗萌发,根据对黄瓜幼苗出苗率的分析,基质中玉米秸秆体积含量应控制在 20% 以内,酚类等有害物质的抑制作用不明显,超过 20%,玉米秸秆中的有害物质将影响黄瓜种子的萌发(图 4)。从黄瓜出苗率的结果来看,玉米秸秆的含量并不是越多越好。

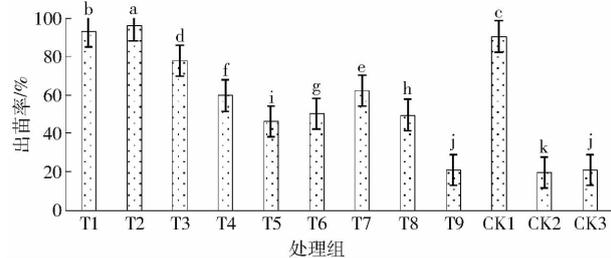


图 4 不同基质配方黄瓜出苗率

Fig. 4 Emergence rates of cucumber under different ratios of substrate

### 2.4 不同基质配方对黄瓜幼苗株高的影响

图 5 是对黄瓜幼苗不同时期不同处理组株高变化的比较。T5 组中未腐熟玉米秸秆中的有害物质影响了黄瓜种子萌发,T9、CK2、CK3 组基质孔隙度尤其是透气孔隙度均低于黄瓜幼苗的适宜孔隙度范围,导致 4 组基质出苗率均低于 50%,远低于我国农业行业育苗基质标准,且实际栽培试验过程中,黄瓜幼苗生长缓慢,无法正常进行数据采集,不再做分

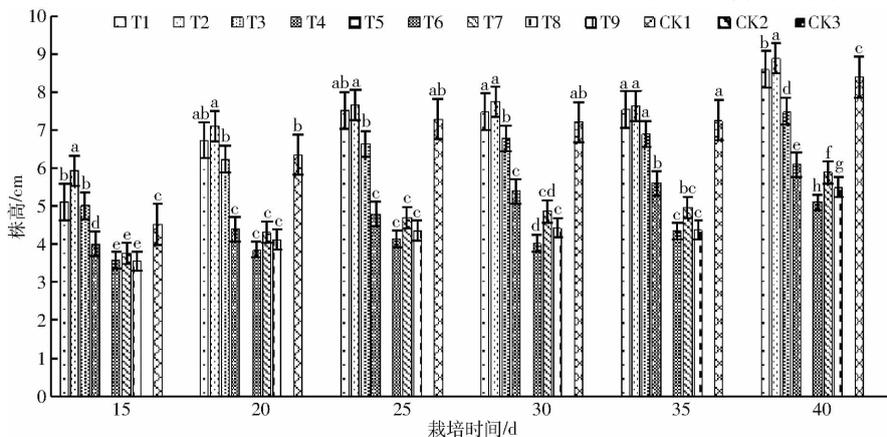


图 5 各处理组黄瓜幼苗株高的比较

Fig. 5 Comparison of cucumber height for each treatment

析。种子萌发 15 d 时,T2 组株高显著高于其他各组,T1、T3 组间无显著差异,仅次于 T2 组,T1~T3 组株高均显著高于 CK1 组,T4~T8 组株高显著低于 CK1 组;种子萌发 20 d 时,T2 组的株高显著高于其他各组,CK1、T1 和 T3 组之间株高没有显著差异,在所有组别中,除 T1、T2 组,其余各组的株高均小于 CK1 组;种子萌发 25 d,T1、T2 组株高高于 CK1 组,但无显著差异,其余各组显著低于此 3 组;种子萌发 40 d,T2 组株高达(8.91±0.62)cm,为最大株高,显著高于 T1 组和 CK1 组,两组株高分别为(8.61±0.34)cm 和(8.41±0.71)cm,其他各处理组均显著低于对照组 CK1。

### 2.5 不同基质配方对黄瓜幼苗茎粗的影响

图 6 是不同种子萌发时期各处理黄瓜幼苗茎粗变化的比较。种子萌发 15 d,T1 组茎粗最大,T1、T2、T3 组茎粗均大于对照组 CK1,但无显著差异;种子萌发 20 d,T1、T3 组茎粗显著高于 CK1,T2 组茎粗低于对照组,但不显著,T4~T8 组茎粗显著低于对照组;种子萌发 40 d,T1 组茎粗(4.34±0.27)mm,显著高于其他组,T2 组茎粗(4.25±0.42)mm,低于对照组 CK1(4.26±0.56)mm,但不显著,T3~T8 组茎粗均显著低于对照组 CK1。基质中添加秸秆,一方面未腐熟的秸秆中含有酚类等有害物质会在一定程度上抑制黄瓜幼苗生长,另一方面秸秆增加了基质中有机质含量,一定程度上可为黄瓜幼苗提供更多的营养物质,促进黄瓜幼苗的生长。控制基质中玉米秸秆含量在 20% 以内,秸秆对黄瓜幼苗茎粗的促进作用占主导,一定程度上促进黄瓜幼苗的生长。

### 2.6 不同基质配方对黄瓜幼苗叶绿素相对含量的影响

图 7 是不同种子萌发时期各处理黄瓜幼苗叶绿素相对含量的变化与比较,种子萌发 15 d,T6~T8 叶片未展开,对照组 CK1 叶绿素相对含量最高,与 T1、T2 组无显著差异,但显著高于 T3、T4 组。种子

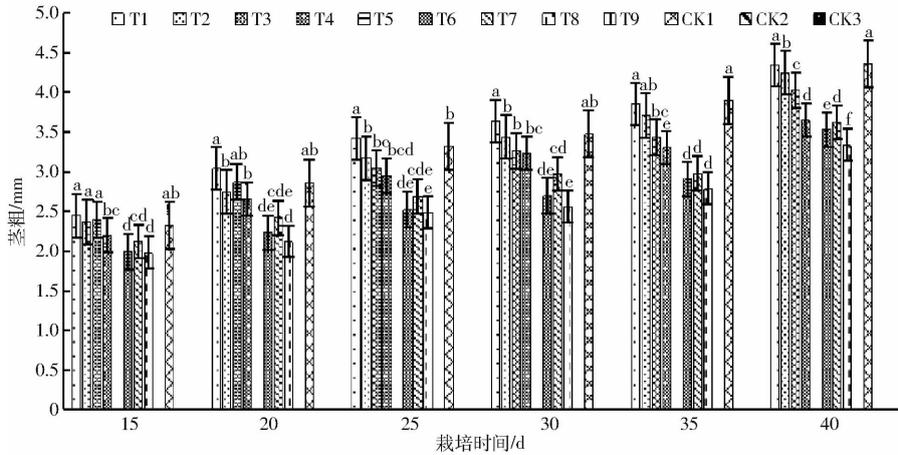


图6 各处理黄瓜幼苗茎粗的比较

Fig. 6 Comparison of cucumber stem diameter for each treatment

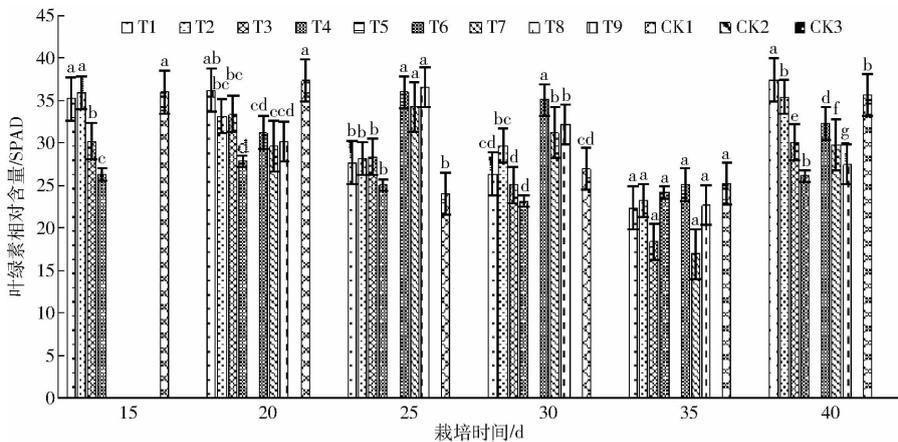


图7 各处理黄瓜幼苗叶绿素相对含量的比较

Fig. 7 Comparison of cucumber chlorophyll content for each treatment

萌发前 35 d 内,对照组 CK1 叶绿素相对含量均高于其他各组。种子萌发 40 d, T1 叶绿素相对含量 ( $37.40 \pm 2.15$ ) SPAD, 显著高于其他各组, CK1 叶绿素相对含量 ( $35.62 \pm 2.61$ ) SPAD 显著高于 T2 ~ T8 组, T2 组叶绿素相对含量为 ( $35.38 \pm 3.12$ ) SPAD, 仅次于对照组 CK1。叶绿素相对含量影响黄瓜幼苗光合作用, 对黄瓜幼苗生物量的增加有影响。在草炭基质中, 用玉米秸秆代替一部分草炭, 增加了孔隙度和有机质含量, 对黄瓜幼苗根系的吸收和叶绿素的合成有一定的促进作用, 但是添加的玉米秸秆过量, 会因为秸秆含有的酚类等有害物质会抑制黄瓜幼苗的生长发育, 进而影响叶绿素的合成。

## 2.7 不同基质配方对黄瓜幼苗叶面积的影响

图 8 是不同种子萌发时期各处理黄瓜幼苗叶面积变化的比较。种子萌发 15 d, T6 ~ T8 叶片未展开, 对照组 CK1 叶面积显著低于 T1 ~ T4, T3 组叶面积 ( $10.25 \pm 0.68$ )  $\text{cm}^2$ , 显著高于其他组; 种子萌发至 20 d, T6 ~ T8 组叶片展开, 显著低于各组, T1、T2 组叶面积显著高于对照组; 种子萌发至 40 d, T7 ~ T8 组叶面积显著低于其他各组, T1 组叶面积 ( $60.21 \pm$

$1.69$ )  $\text{cm}^2$ , T2 组叶面积 ( $57.34 \pm 2.65$ )  $\text{cm}^2$ , 均显著高于对照组 CK1 ( $26.49 \pm 2.78$ )  $\text{cm}^2$ , T3、T4 组显著低于对照组 CK1。秸秆添加量在一定范围内能够促进黄瓜幼苗的生长发育, 添加量过多, 未腐熟的秸秆中酚类等有害物质的含量增加, 会抑制黄瓜幼苗的生长发育, 使得叶面积减小。

## 2.8 不同基质配方对黄瓜幼苗根系活力的影响

图 9 是种子萌发 40 d 黄瓜幼苗根系活力。T1 组根系活力 ( $118.306 \pm 30.611$ )  $\text{TTF}\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , T2 组根系活力 ( $100.53 \pm 2.71$ )  $\text{TTF}\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , 均显著高于对照组 CK1 的 ( $79.27 \pm 2.48$ )  $\text{TTF}\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。当基质中秸秆含量超过 20%, 秸秆的抑制作用占据主导地位, 因此除了 T1、T2 组根系活力高于对照组 CK1 外, 其他各组根系活力显著低于对照组。

## 2.9 不同基质配方对黄瓜幼苗生物量的影响

表 6 是各处理生物量对比。CK1、T1、T2 地上部干、鲜质量及地下部干、鲜质量高于其他各处理组, T1 组地上部鲜质量 ( $7.35 \pm 0.03$ ) g, 显著高于对照组 CK1; T1 组地下部鲜质量 ( $1.41 \pm 0.01$ ) g, T2 组地下部鲜质量 ( $1.21 \pm 0.05$ ) g, 均显著高于对照

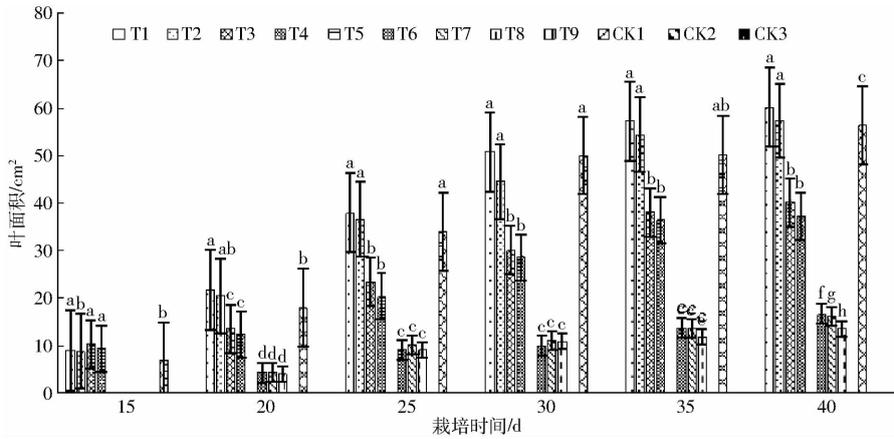


图 8 各处理黄瓜幼苗叶面积的比较

Fig. 8 Comparison of cucumber leaf area for each treatment

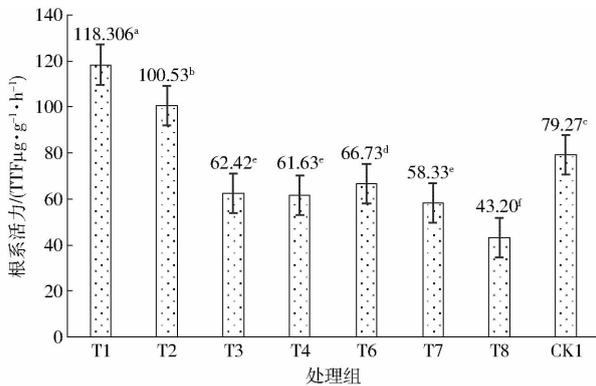


图 9 各处理黄瓜幼苗根系活力的比较

Fig. 9 Comparison of cucumber root activity for each treatment

组 CK1; T1 地上部干质量(0.91 ± 0.01) g, 高于对照

组 CK1; T1 地下部干质量(101.10 ± 10.22) mg, 显著高于对照组 CK1。根据相关数据对黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数进行计算比较, T1 根冠比显著高于对照组 CK1, T2 组略低于 CK1, 但显著高于其他各组; T1、T2 壮苗指数显著高于 CK1, CK1 显著高于其余各组。这说明在普通基质中添加一定量的秸秆, 对黄瓜幼苗生物质量的积累有促进作用, 对黄瓜幼苗的生长起积极作用, 可能添加秸秆的基质有机质含量较高, 为黄瓜生长提供一定的营养物质, 同时增大了基质的孔隙度, 有利于黄瓜幼苗根部呼吸作用, 促进黄瓜幼苗的光合作用及根部的延伸。整体而言, T1、T2 处理组基质对黄瓜幼苗生长有促进作用。

表 6 不同基质配方对黄瓜幼苗生物量的影响

Tab. 6 Effect of different ratios of substrate on cucumber biomass

处理	地上部鲜质量/g	地下部鲜质量/g	地上部干质量/g	地下部干质量/mg	根冠比	壮苗指数
T1	(7.35 ± 0.03) <sup>a</sup>	(1.41 ± 0.01) <sup>a</sup>	(0.91 ± 0.01) <sup>a</sup>	(101.10 ± 10.22) <sup>a</sup>	(11.07 ± 1.01) <sup>a</sup>	(0.1107 ± 0.0094) <sup>a</sup>
T2	(5.75 ± 0.02) <sup>c</sup>	(1.21 ± 0.05) <sup>b</sup>	(0.79 ± 0.03) <sup>b</sup>	(60.47 ± 9.61) <sup>c</sup>	(7.62 ± 0.95) <sup>c</sup>	(0.1055 ± 0.0051) <sup>b</sup>
T3	(5.35 ± 0.03) <sup>d</sup>	(0.91 ± 0.03) <sup>d</sup>	(0.65 ± 0.02) <sup>d</sup>	(30.54 ± 8.55) <sup>d</sup>	(4.66 ± 0.96) <sup>d</sup>	(0.0673 ± 0.0087) <sup>c</sup>
T4	(4.21 ± 0.03) <sup>e</sup>	(0.80 ± 0.01) <sup>h</sup>	(0.54 ± 0.03) <sup>h</sup>	(18.51 ± 8.52) <sup>e</sup>	(3.33 ± 0.75) <sup>f</sup>	(0.0520 ± 0.0096) <sup>e</sup>
T6	(4.29 ± 0.12) <sup>f</sup>	(0.82 ± 0.03) <sup>g</sup>	(0.60 ± 0.05) <sup>g</sup>	(19.26 ± 7.25) <sup>f</sup>	(3.23 ± 0.69) <sup>f</sup>	(0.0631 ± 0.0093) <sup>f</sup>
T7	(4.68 ± 0.01) <sup>e</sup>	(0.89 ± 0.01) <sup>e</sup>	(0.63 ± 0.02) <sup>e</sup>	(29.22 ± 8.26) <sup>e</sup>	(4.65 ± 0.82) <sup>d</sup>	(0.0709 ± 0.0060) <sup>d</sup>
T8	(4.35 ± 0.06) <sup>f</sup>	(0.83 ± 0.02) <sup>f</sup>	(0.59 ± 0.01) <sup>f</sup>	(24.42 ± 6.57) <sup>f</sup>	(4.09 ± 0.73) <sup>e</sup>	(0.0625 ± 0.0044) <sup>f</sup>
CK1	(7.19 ± 0.05) <sup>b</sup>	(1.10 ± 0.05) <sup>c</sup>	(0.90 ± 0.05) <sup>c</sup>	(91.34 ± 11.40) <sup>b</sup>	(10.41 ± 0.69) <sup>b</sup>	(0.0920 ± 0.0075) <sup>c</sup>

### 3 结论

(1) 适量的玉米秸秆代替草炭可以有效改善黄瓜育苗基质理化性质。通过试验得出, T1 配方(秸秆含量 10%、草炭 20%、沼渣 20%、珍珠岩 25%、蛭石 25%)最佳, T2 配方(秸秆含量 20%、草炭 15%、沼渣 15%、珍珠岩 25%、蛭石 25%)也一定程度上改良了黄瓜育苗基质, 适宜作物生长。

(2) 用玉米秸秆代替部分草炭用于黄瓜育苗, 可提高黄瓜幼苗的生理指标。采用 T1 基质, 黄瓜幼

苗的株高(8.61 ± 0.34) cm、茎粗(4.34 ± 0.27) mm、叶绿素相对含量(37.40 ± 2.15) SPAD、叶面积(60.21 ± 1.69) cm<sup>2</sup>、根系活力(118.306 ± 30.611) TTF μg/(g·h) 均显著高于对照组 CK1; T2 基质与对照组生长指标相差不大, 生物量显著高于 CK1, 根系活力(100.53 ± 2.71) TTF μg/(g·h), 显著高于 CK1 组。

(3) 控制玉米秸秆含量 20% 以内, 对黄瓜幼苗生长有一定的促进作用, 玉米秸秆用量超过 20%, 由于使用的是未腐熟秸秆, 含有的酚类物质较多且

纤维素也难以被植物利用,将抑制黄瓜幼苗生长。总的来说,在一定的比例范围内,用未腐熟的玉米秸秆直接代替草炭,对黄瓜幼苗的生长发育有一定的

促进作用,减少了腐熟秸秆发酵堆肥的复杂程序,可以更快地利用玉米秸秆。

### 参 考 文 献

- 游莹卓,陈茂学,张伟丽,等. 黄瓜无土育苗基质适宜理化性状指标的初步研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2014,45(2):176-180.  
YOU Yingzhuo, CHEN Maoxue, ZHANG Weili, et al. Preliminary studies on appropriate physical and chemical properties of media for cucumber seedling production[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2014, 45(2): 176-180. (in Chinese)
- 范如芹,罗佳,严少华,等. 农作物秸秆基质化利用技术研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2016,32(3):410-416.  
FAN Ruqin, LUO Jia, YAN Shaohua, et al. Progresses in study on utilization of crop straw in soilless culture[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016,32(3):410-416. (in Chinese)
- BILDERBACK T E, FONTANO W C. Physical properties of media composted of peanut hulls, pine bark and peat moss and their effect on azalea growth[J]. Hort. Sci., 1982,107:522-525.
- 崔秀敏,王秀峰. 蔬菜育苗基质及其研究进展[J]. 天津农业科学, 2001,7(1):37-42.  
CUI Xiumin, WANG Xiufeng. Vegetable seedling substrates and their research progress[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2001, 7(1):37-42. (in Chinese)
- 宋夏夏,束胜,郭世荣,等. 黄瓜基质栽培营养液配方的优化[J]. 南京农业大学学报, 2015,38(2):197-204.  
SONG Xiaxia, SHU Sheng, GUO Shirong, et al. Optimization of nutrient solution formula applied in cucumber cultivation with substrate[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2015,38(2):197-204. (in Chinese)
- 田锁霞,陈清,龚建英,等. 蘑菇渣和园林废物堆肥复配基质在黄瓜育苗上的应用效果[J]. 中国蔬菜, 2011(12):37-41.  
TIAN Suoxia, CHEN Qing, GONG Jianying, et al. Effect of reproducing compound substrate for cucumber seedling by mushroom residue and garden waste compost[J]. China Vegetable, 2011(12):37-41. (in Chinese)
- 刘爽,王宇欣,刘志丹. 生物甲烷工程沼渣用于油菜及菠菜育苗的效果[J]. 农业工程学报, 2014,30(11):225-232.  
LIU Shuang, WANG Yuxin, LIU Zhidan. Application effect of biohythane residue on brassica and spinach seedling production [J]. Transactions of CSAE, 2014,30(11):225-232. (in Chinese)
- 杨梅. 几种瓜类蔬菜育苗基质及其施肥配方的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.  
YANG Mei. Study of substrates and fertilizer for some gourds seedling [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007. (in Chinese)
- 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 Shuo, YU Hongjun, JIANG Weijie. Seedling effects of corncob and bagasse composting substrates in cucumber[J]. Transactions of CSAE, 2015,31(11):236-242. (in Chinese)
- 唐玉新,曲萍,陆岱鹏,等. 适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J]. 江苏农业学报, 2017,33(6):1342-1348.  
TANG Yuxin, QU Ping, LU Daipeng, et al. Screening of tomato plug seedling substrates proportion suitable for mechanized transplanting[J]. Jiangsu Journal of Agriculture Science, 2017,33(6):1342-1348. (in Chinese)
- 何宗均,梁海恬,李峰,等. 蔬菜废弃物腐熟基质对番茄育苗效果的影响[J]. 天津农业科学, 2016,22(8):32-34,43.  
HE Zongjun, LIANG Haitian, LI Feng, et al. Effect of composting substrates of vegetable waste on tomato seedling[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2016,22(8):32-34,43. (in Chinese)
- 陈力硕,姚秀萍,于立芝. 有机基质在中国蔬菜育苗中的应用研究[J]. 农学报, 2016,6(10):54-57.  
CHEN Lishuo, YAO Xiuping, YU Lizhi. Organic substrate application in vegetable seedling raising in China[J]. Journal of Agriculture, 2016,6(10):54-57. (in Chinese)
- 左旭,王红彦,王亚静,等. 中国玉米秸秆资源量估算及其自然适宜性评价[J]. 中国农业资源与区划, 2015,36(6):5-10,29.  
ZUO Xu, WANG Hongyan, WANG Yajing, et al. Estimation and suitability evaluation of corn straw resources in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015,36(6):5-10,29. (in Chinese)
- 刘晓永,李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2017,33(21):1-19.  
LIU Xiaoyong, LI Shutian. Temporal and spatial distribution characteristics of crop straw nutrient resources and returning to farmland in China[J]. Transactions of CSAE, 2017,33(21):1-19. (in Chinese)
- 宋大利,侯胜鹏,王秀斌,等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1):1-21.  
SONG Dali, HOU Shengpeng, WANG Xiubin, et al. Nutrient resource quantity of crop straw and its potential of substituting[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018,24(1):1-21. (in Chinese)
- 楚天舒,杨增玲,韩鲁佳. 中国农作物秸秆饲料化利用满足度和优势度分析[J]. 农业工程学报, 2016,32(22):1-19.  
CHU Tianshu, YANG Zengling, HAN Lujia. Analysis on satisfied degree and advantage degree of agricultural crop straw feed utilization in China[J]. Transactions of CSAE, 2016,32(22):1-19. (in Chinese)

- 17 王红梅,屠焰,张乃锋,等. 中国农作物秸秆资源量及其“五料化”利用现状[J]. 科技导报,2017,35(21):81-88.  
WANG Hongmei, TU Yan, ZHANG Naifeng, et al. Chinese crop straw resource and its utilization status[J]. Science and Technology Review, 2017,35(21):81-88. (in Chinese)
- 18 高新昊,刘兆辉,李晓林,等. 秸秆基质的配比优化及在设施番茄栽培上的应用效果研究[J]. 土壤通报,2009,40(5):1147-1150.  
GAO Xinhao, LIU Zhaohui, LI Xiaolin, et al. Optimization of straw substrate formula and its utilizing effect on tomato production in greenhouse[J]. Chinese Journal of Soil Science,2009,40(5):1147-1150. (in Chinese)
- 19 曾清华,孙锦,郭世荣,等. 小麦秸秆混配基质对甜椒幼苗生长和光合参数的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(1):89-94.  
ZENG Qinghua, SUN Jin, GUO Shirong, et al. Wheat straw residue substrate as component of mixed substrate for sweet pepper growth and photosynthesis[J]. Chinese Soil and Fertilizer,2012(1):89-94. (in Chinese)
- 20 刘振国. 玉米秸秆不同配比基质对黄瓜生长发育的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2009.  
LIU Zhenguo. Effects of the different corn straw substrates on cucumber growth and development[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University,2009. (in Chinese)
- 21 石慧芳,朴凤植. 腐熟玉米秸秆复合基质在辣椒育苗上的使用效果[J]. 长江蔬菜,2010(4):46-49.  
SHI Huifang, PIAO Fengzhi. Effect of compound substrate composed of corn straw on growth of pepper seedlings[J]. Journal of Changjiang Vegetables,2010(4):46-49. (in Chinese)
- 22 张翼夫,王庆杰,胡红,等. 华北玉米秸秆覆盖对砂土、壤土水土保持效应的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(5):138-145. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170822&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170822&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.022.  
ZHANG Yifu, WANG Qinjie, HU Hong, et al. Effect of maize straw mulching on water and soil conservation in sandy soil and loam soil of north China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(5):138-145. (in Chinese)
- 23 何宗均,梁海恬,赵琳娜. 秸秆生物反应堆技术在黄瓜种植中的应用试验[J]. 山西农业科学,2017,45(6):971-972,992.  
HE Zongjun, LIANG Haitian, ZHAO Linna. Application experiment of straw bio-reactor technology in the cucumber cultivation[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017,45(6):971-972,992. (in Chinese)
- 24 王忠江,王泽宇,司爱龙,等. 秸秆与沼肥同步翻埋还田对秸秆腐解特性的影响[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):271-277. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170635&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170635&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.035.  
WANG Zhongjiang, WANG Zeyu, SI Ailong, et al. Effect of synchronously burying and returning straw and biogas slurry to soil on straw decomposition[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(6):271-277. (in Chinese)
- 25 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- 26 裴孝伯,李世诚,张福曼,等. 温室黄瓜叶面积计算及其与株高的相关性研究[J]. 中国农学通报,2005,21(8):80-82.  
PEI Xiaobo, LI Shicheng, ZHANG Fuman, et al. Study on leaf area calculation and its correlation with plant height of cucumber in greenhouse[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(8):80-82. (in Chinese)