

# 复合基质添加腐熟小麦秸秆对黄瓜幼苗生长的影响

武亚红<sup>1,2</sup>, 周彦伟<sup>1</sup>, 靳青<sup>1</sup>, 段发民<sup>3</sup>, 康欣娜<sup>1,2\*</sup>

1. 石家庄农林科学研究院, 石家庄 050041

2. 河北省都市农业技术创新中心, 石家庄 050041

3. 中国农业科学院都市农业研究所, 成都 610000

**摘要** 为了研究添加腐熟小麦秸秆的复合基质对黄瓜育苗效果的影响, 将腐熟小麦秸秆、椰糠、蛭石以不同比例进行复配得到6种基质, 以椰糠:蛭石=5:5(体积比)为对照, 以‘津早198黄瓜’为试材, 通过分析幼苗表型性状、生物量积累、生理指标, 采用主成分分析法进行综合评价, 筛选出适宜的复合基质配方。结果表明: 添加腐熟小麦秸秆显著提高黄瓜幼苗的生长, 但不同添加量间差异明显, 表现为低添加量优于中、高添加量。其中, T6(腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:3:5)处理黄瓜幼苗的出苗率最高, 达到98.67%, 比对照高4.77%; 茎粗、下胚轴长、最大根长等表型性状表现最优; 生物量积累最高, 壮苗指数最高, 达到0.15, 较对照高出50%; 叶绿素值、根系活力、叶片可溶性蛋白质、可溶性糖显著高于对照, 分别提高了6.68%、41.70%、6.69%、15.38%, 蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶、硝酸还原酶活性显著优于其他处理; 各处理不同评价指标的综合排序为T6>T5>T3>T4>T2>T1>CK。综上所述, T6(腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:3:5)处理显著促进黄瓜幼苗生长, 可作为黄瓜穴盘育苗的最佳基质配方。

**关键词** 腐熟小麦秸秆; 黄瓜; 穴盘育苗

中国是秸秆资源大国, 年均产量在8亿t以上并且每年以2.01%的速率持续增加<sup>[1]</sup>。秸秆中富含有机质和矿质元素, 再利用具有很大的经济价值, 主要的再利用包括肥料化、饲料化、燃料化、基料化和原料化<sup>[2]</sup>。最常见的农作物秸秆再利用种类包括

玉米秸秆、水稻秸秆、小麦秸秆、大豆秸秆, 以及各类蔬菜秸秆, 不同研究显示, 秸秆的直接还田和腐熟后再利用等方式均能有效改善土壤团粒结构, 提高土壤肥力水平, 促进作物生长发育, 实现优质和增产<sup>[3-5]</sup>。河北省是小麦秸秆资源丰富的省份之

收稿日期: 2022-11-28; 修回日期: 2023-01-03

基金项目: 河北省重点研发计划项目(20326907D); 成都农业科技中心地方财政专项资金项目(NASC2021AT05)

作者简介: 武亚红, 硕士, 研究方向为蔬菜无土栽培, 电子信箱: 937635267@qq.com; 康欣娜(通信作者), 高级农艺师, 研究方向为蔬菜无土栽培, 电子信箱: wangkang1969@sina.com

引用格式: 武亚红, 周彦伟, 靳青, 等. 复合基质添加腐熟小麦秸秆对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 科技导报, 2023, 41(4): 73-82; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.04.009

一,具有小麦秸秆基质化利用的资源优势和成本优势,小麦秸秆可以直接进行秸秆还田,也可以进行堆肥化后再利用。腐熟小麦秸秆富含氮、磷、钾等植物所需矿质元素,能有效促进植物生长。目前,腐熟小麦秸秆在黄瓜复合育苗基质中的应用尚未见报道。

黄瓜是世界上最受欢迎的温室蔬菜之一,经常作为模式植物进行育种、栽培等方面的研究<sup>[6-7]</sup>。同时,中国是蔬菜生产和消费大国,蔬菜生产中也有着以提高产量、丰富品类、提升品质为目标。蔬菜育苗作为蔬菜生产过程中最开始、最关键的环节,幼苗质量的优劣直接影响到蔬菜产品的质量与产量<sup>[8]</sup>。在育苗体系中,育苗基质的使用不仅能为幼苗提供水分、养分和温度等,还能尽可能地避开周围环境和不良因素对幼苗的影响<sup>[9]</sup>。目前,中国育苗基质多选用草炭、蛭石为原材料,但草炭作为不可再生资源难以支撑长时间、大规模的开采,因此以可再生资源替代草炭的呼声越来越高。而农业废弃物椰糠成本低、生态环保、营养丰富,保水排水性好,酸碱度合适,各研究学者已逐渐开始用椰糠来替代草炭<sup>[10-12]</sup>。已有研究表明,合适的椰糠配比复合基质能有效提高蔬菜的产量和品质,比如蚯蚓粪和椰糠复配筛选三七幼苗生长配方<sup>[13]</sup>、椰糠和珍珠岩复配提高番茄产量和品质<sup>[14]</sup>。因此,本研究以腐熟小麦秸秆、椰糠和蛭石为原材料,复配不同育苗基质进行黄瓜育苗,通过幼苗的出苗率、表型性状、生物量积累和生理指标进行综合评价,以期得到适合黄瓜幼苗生长的复合基质配方,为腐熟小麦秸秆在蔬菜育苗的使用中提供理论参考,从而降低工厂化育苗成本、提高幼苗质量。

## 1 试验

### 1.1 材料

供试黄瓜品种‘津早198’购自天津科润农业科技股份有限公司;腐熟小麦秸秆(小麦秸秆与猪粪腐熟后,速效磷质量分数0.045%、速效磷质量分数0.056%、速效钾质量分数0.808%)、椰糠购自石家庄市灵寿县琳林农业科技有限公司;蛭石购自石

家庄市灵寿县聚丰矿业有限公司。试验于2022年5月在石家庄农林科学研究院2号温室进行。

### 1.2 试验方法

将腐熟小麦秸秆、椰糠、蛭石按不同配比进行混合(表1)(依照商品特性,腐熟小麦秸秆的添加量不宜超过20%),共7个处理,其中以椰糠:蛭石=5:5作为对照(CK),对待用基质和穴盘进行消毒处理。采用50孔的穴盘开展黄瓜育苗试验,随机区组设计,每个处理3盘,3次重复,共计63盘。选取一致、饱满的种子进行直播,每穴1粒。整个苗期每天浇适量清水,除育苗基质配比不同外,其他管理措施和设施环境均保持一致,待幼苗长至3叶1心时开始各项生长指标和生理指标的测定。

表1 不同处理育苗基质配比(体积比)

处理	配比
CK	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=0:5:5
T1	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=2:5:3
T2	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=2:3:5
T3	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1.5:5:3
T4	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1.5:3:5
T5	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:5:3
T6	腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:3:5

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 育苗基质理化性质测定

参考蔬菜育苗基质农业行业标准<sup>[15]</sup>的环刀法测定基质的容重、总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度,参考夏国栋等<sup>[16]</sup>的方法测定基质的pH值、基质电导率(EC)值,滤液用力辰pH-100b(上海力辰)测定pH值,用力辰TDS-10(上海力辰)测定EC值。复合育苗基质的有机质、碱解氮、速效磷、速效磷的含量由河北省农林科学院农业资源环境研究所测定。

#### 1.3.2 表型性状测定

出苗率统计以子叶破土而出为标准,从第1 d出苗开始记录,每2 d统计1次,直至出苗率稳定。待幼苗长到3叶1心时,用直尺测量株高、下胚轴长、最大叶长、最大叶宽、最小叶长、最小叶宽和最大根长(根系冲洗干净);用游标卡尺测量茎粗。粗高比用公式:粗高比=茎粗/株高来计算。

### 1.3.3 生物量积累测定

将洗净的幼苗植株擦干,从茎基部切开,分别称量地上部分、地下部分;烘干后再分别称量地上部分、地下部分。壮苗指数计算:壮苗指数=(茎粗/株高+地下干重/地上干重)×全株干重。

### 1.3.4 生理指标测定

选取长势一致的幼苗,用托普云农 TYS-4ND08 植物营养测定仪测定叶片叶绿素值;用 TTC 法测定幼苗根系活力;取第 2 片叶子测定可溶性糖、可溶性蛋白、蔗糖磷酸合成酶 (SPS)、蔗糖合成酶 (SS)、谷氨酰胺合成酶 (GS)、硝酸还原酶 (NR),其中可溶性糖使用蒽酮法测定,可溶性蛋白使用考马斯亮蓝法测定,SPS、SS、GS、NR 用江苏晶美生物科技有限公司(酶联免疫法)试剂盒测定。

### 1.4 数据分析

采用 Excel2016 对试验数据进行整理、作图,采用 SPSS 对数据指标进行标准化,采用 SAS9.4 统计软件对数据进行方差分析、差异显著性检验和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基质配方理化性质

不同配方的育苗基质的物理性质指标存在显

著差异,结果见表 2。复配后的基质容重范围在 0.24~0.27 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度和持水空隙最高的均是 T5 处理,分别为 75.91%、57.41%,通气空隙最高的是 CK 处理,各基质之间不存在显著性差异。与蔬菜育苗基质农业行业标准的规定均相符,并且以上结果显示在相同腐熟小麦秸秆添加量的情况下,蛭石添加量高的配方,其容重和气水比都较高;椰糠添加量高的配方,其总孔隙度、持水空隙都比较高。

不同配方的育苗基质的化学性质指标存在显著差异,结果见表 2。各处理育苗基质的 pH 值均在 7.00 以上,最高的是对照处理,显著高于其他处理,这可能与基质中椰糠的碱性性质相关。EC 值各处理之间均存在显著差异,由高到低依次是 T1、T2、T3、T4、T5、T6、CK。各处理之间速效氮、速效磷、速效钾含量也均存在显著差异,结果显示,基质的 EC 值主要受腐熟小麦秸秆添加量的影响,腐熟小麦秸秆添加量越高,其 EC 值越高;速效氮、速效磷、速效钾含量也是受腐熟小麦秸秆添加量的影响,随着腐熟小麦秸秆添加量的增加而上升。

### 2.2 不同配方基质对黄瓜出苗率的影响

种子的出苗率是检验种子质量的重要指标,从图 1 可以看出,黄瓜幼苗出苗稳定后,所有的处理出苗率均在 90% 以上;处理 T6 出苗率最高,达

表 2 不同处理育苗基质理化性质

处理	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	持水孔隙/%	通气孔隙/%	气水比
CK	0.24±0.01 <sup>bc</sup>	74.45±0.56 <sup>abc</sup>	55.45±0.94 <sup>bc</sup>	19.00±0.43 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>ab</sup>
T1	0.26±0.00 <sup>ab</sup>	72.18±0.97 <sup>d</sup>	53.59±0.81 <sup>de</sup>	18.59±0.27 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>
T2	0.27±0.01 <sup>a</sup>	72.08±0.60 <sup>d</sup>	53.49±0.40 <sup>d</sup>	18.59±0.53 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>
T3	0.25±0.02 <sup>abc</sup>	73.83±1.62 <sup>bcd</sup>	55.36±1.27 <sup>bcd</sup>	18.47±0.45 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>abc</sup>
T4	0.26±0.01 <sup>ab</sup>	73.06±0.71 <sup>cd</sup>	54.49±0.62 <sup>cd</sup>	18.58±0.11 <sup>a</sup>	0.34±0.00 <sup>ab</sup>
T5	0.24±0.00 <sup>c</sup>	75.91±1.97 <sup>a</sup>	57.41±1.86 <sup>a</sup>	18.51±0.28 <sup>a</sup>	0.32±0.01 <sup>c</sup>
T6	0.24±0.01 <sup>bc</sup>	75.38±0.14 <sup>ab</sup>	56.65±0.20 <sup>ab</sup>	18.73±0.07 <sup>a</sup>	0.33±0.00 <sup>bc</sup>
处理	pH 值	EC/(μS·cm <sup>-1</sup> )	速效氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	7.19±0.02 <sup>a</sup>	182.25±2.87 <sup>e</sup>	196.00±1.40 <sup>e</sup>	150.00±0.00 <sup>e</sup>	277.50±2.50 <sup>e</sup>
T1	7.13±0.01 <sup>cd</sup>	567.25±5.44 <sup>a</sup>	326.20±1.40 <sup>a</sup>	388.50±1.00 <sup>a</sup>	1075.00±0.00 <sup>a</sup>
T2	7.13±0.01 <sup>d</sup>	536.00±2.16 <sup>b</sup>	320.60±0.00 <sup>b</sup>	372.75±0.25 <sup>b</sup>	992.50±2.50 <sup>b</sup>
T3	7.15±0.01 <sup>bcd</sup>	496.00±2.16 <sup>c</sup>	313.60±1.40 <sup>c</sup>	366.00±1.00 <sup>c</sup>	900.00±0.00 <sup>c</sup>
T4	7.14±0.02 <sup>bcd</sup>	466.50±2.52 <sup>d</sup>	310.80±1.40 <sup>d</sup>	344.75±0.25 <sup>d</sup>	892.50±2.50 <sup>d</sup>
T5	7.16±0.02 <sup>b</sup>	435.25±3.30 <sup>e</sup>	249.90±0.70 <sup>e</sup>	309.50±0.50 <sup>e</sup>	777.50±2.50 <sup>e</sup>
T6	7.16±0.01 <sup>bc</sup>	404.00±1.41 <sup>f</sup>	243.60±1.40 <sup>f</sup>	281.75±0.75 <sup>f</sup>	542.50±2.50 <sup>f</sup>

注:同列不同字母表示 0.05 水平下差异显著,下同。

98.67%, 处理CK出苗率最低, 为94.00%; 处理T6、T5的出苗率与处理T1、T2、T3、T4不存在显著差异, 但显著高于对照, 分别高出4.77%、4.08%; 并且

从1图中可以看出, 在播种3 d后对照的出苗率明显低于其他处理, 可见添加腐熟小麦秸秆在出苗前期可以提高出苗速度。

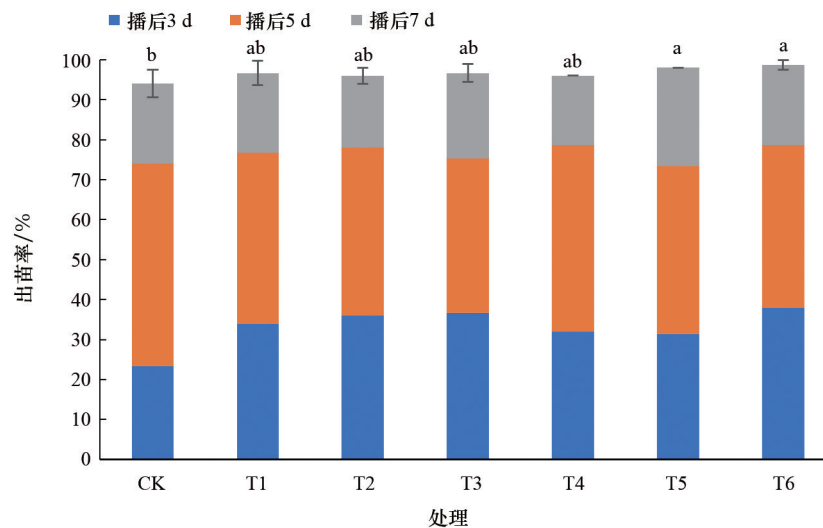


图1 不同处理出苗率

### 2.3 不同配方基质对黄瓜幼苗的表型性状影响

幼苗的表型性状是幼苗生长状况最直观的体现, 通常包括株高、茎粗、下胚轴长度、叶片等, 从表3可以看出, 不同处理下幼苗株高范围为15.40~16.85 cm, 最高的是处理T1, 最低的是处理T6; 不同处理下幼苗茎粗范围为3.30~4.02 cm, 处理

T1~T6均显著高于CK, 分别高出11.21%、16.37%、16.37%、19.09%、17.27%、21.82%。幼苗植株粗高比的排序为T6、T5、T2、T3、T4、T1、CK, 依次对应0.26、0.25、0.24、0.24、0.24、0.22、0.22。处理CK、T1、T3的下胚轴长度显著高于T4、T5、T6。幼苗的最大根长最长为19.19 cm(T6), 显著长于CK、T2、

表3 不同处理幼苗表型性状

处理	株高/cm	茎粗/mm	粗高比/(mm·cm <sup>-1</sup> )	下胚轴长/cm	最大根长/cm
CK	15.52±1.95 <sup>b</sup>	3.30±0.12 <sup>d</sup>	0.22±0.03 <sup>d</sup>	4.31±0.52 <sup>a</sup>	15.14±3.96 <sup>b</sup>
T1	16.85±0.98 <sup>a</sup>	3.67±0.23 <sup>c</sup>	0.22±0.02 <sup>cd</sup>	4.25±0.25 <sup>a</sup>	17.01±3.32 <sup>ab</sup>
T2	16.23±1.69 <sup>ab</sup>	3.84±0.17 <sup>b</sup>	0.24±0.03 <sup>bc</sup>	4.10±0.43 <sup>ab</sup>	15.52±2.51 <sup>b</sup>
T3	16.22±1.17 <sup>ab</sup>	3.84±0.18 <sup>b</sup>	0.24±0.02 <sup>bc</sup>	4.28±0.40 <sup>bc</sup>	16.24±2.74 <sup>b</sup>
T4	16.62±1.34 <sup>ab</sup>	3.93±0.16 <sup>ab</sup>	0.24±0.02 <sup>bc</sup>	3.60±0.31 <sup>c</sup>	16.64±3.49 <sup>ab</sup>
T5	15.77±1.30 <sup>ab</sup>	3.87±0.16 <sup>b</sup>	0.25±0.03 <sup>ab</sup>	3.81±0.35 <sup>bc</sup>	17.09±3.00 <sup>ab</sup>
T6	15.40±0.76 <sup>b</sup>	4.02±0.13 <sup>a</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	3.55±0.15 <sup>c</sup>	19.19±2.71 <sup>a</sup>
处理	最大叶长/cm	最大叶宽/cm	最小叶长/cm	最小叶宽/cm	
CK	6.20±0.55 <sup>b</sup>	7.94±0.67 <sup>b</sup>	3.05±0.54 <sup>a</sup>	4.73±0.76 <sup>b</sup>	
T1	7.08±0.55 <sup>a</sup>	9.00±0.58 <sup>a</sup>	4.11±0.59 <sup>a</sup>	5.73±0.67 <sup>a</sup>	
T2	7.04±0.56 <sup>a</sup>	8.99±0.68 <sup>a</sup>	4.20±0.44 <sup>a</sup>	5.53±0.52 <sup>a</sup>	
T3	7.14±0.46 <sup>a</sup>	9.06±0.59 <sup>a</sup>	4.14±0.39 <sup>a</sup>	5.84±0.65 <sup>a</sup>	
T4	7.08±0.29 <sup>a</sup>	9.12±0.43 <sup>a</sup>	4.16±0.42 <sup>a</sup>	5.85±0.51 <sup>a</sup>	
T5	7.05±0.50 <sup>a</sup>	8.86±0.64 <sup>a</sup>	4.32±0.48 <sup>a</sup>	5.81±0.87 <sup>a</sup>	
T6	7.12±0.45 <sup>a</sup>	9.20±0.43 <sup>a</sup>	4.20±0.27 <sup>a</sup>	6.02±0.44 <sup>a</sup>	

T3, 分别长 26.75%、23.65%、18.17%。最大叶长的范围在 6.20~7.14 cm, 最大叶宽的范围在 7.94~9.20 cm, 最小叶长的范围在 3.20~4.32 cm, 最小叶宽的范围在 4.73~6.02cm; 并且 T1、T2、T3、T4、T5、T6 之间最大叶的长、宽和最小叶的长、宽不存在显著差异, 但都显著高于对照 CK。从以上结果来看, 添加腐熟小麦秸秆对黄瓜幼苗的表型性状均有促进作用; 在同等用肥量下, 蛭石添加量高的, 粗高比和下胚轴长表现更优。

#### 2.4 不同配方基质对黄瓜幼苗生物量积累和壮苗指数的影响

不同处理黄瓜幼苗生物量积累存在显著差异, 结果见表 4。黄瓜幼苗地上部分鲜重最高的是处

理 T6, 最低的是 CK, 并且添加腐熟小麦秸秆的处理之间黄瓜幼苗的地上鲜重不存在显著差异, 但显著高于对照处理。幼苗地下部分鲜重最高的是处理 T6, 显著高于 CK、T1、T3 处理, 分别高 58.88%、29.77%、24.09%。幼苗地上干重处理 T1~T6 均显著高于 CK, 分别高 27.91%、30.23%、30.23%、27.91%、27.91%、62.16%。幼苗地下部分干重的范围为 0.07~0.11 g, 最高的是处理 T6, 最低的是处理 CK。处理 T6 的壮苗指数最高, 为 0.15, 并且显著高于 CK、T1、T2 处理; 壮苗指数由大到小排序依次为 T6、T3、T5、T4、T1、T2、CK, 可见添加腐熟小麦秸秆对黄瓜幼苗有促进作用, 但随着添加量的增加, 幼苗生物量积累反而下降。

表 4 不同处理黄瓜幼苗生物量积累和壮苗指数

处理	地上鲜重/g	地下鲜重/g	地上干重/g	地下干重/g	壮苗指数
CK	4.96±0.49 <sup>b</sup>	1.07±0.37 <sup>d</sup>	0.43±0.02 <sup>c</sup>	0.07±0.01 <sup>c</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>
T1	6.30±0.48 <sup>a</sup>	1.31±0.25 <sup>cd</sup>	0.55±0.05 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>
T2	6.37±0.36 <sup>a</sup>	1.64±0.24 <sup>ab</sup>	0.56±0.05 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>
T3	6.31±0.37 <sup>a</sup>	1.37±0.34 <sup>bc</sup>	0.56±0.03 <sup>ab</sup>	0.10±0.01 <sup>ab</sup>	0.14±0.02 <sup>ab</sup>
T4	6.29±0.38 <sup>a</sup>	1.63±0.21 <sup>ab</sup>	0.55±0.03 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>ab</sup>	0.13±0.02 <sup>ab</sup>
T5	6.34±0.56 <sup>a</sup>	1.60±0.39 <sup>ab</sup>	0.55±0.04 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>ab</sup>	0.14±0.02 <sup>ab</sup>
T6	6.49±0.31 <sup>a</sup>	1.70±0.40 <sup>a</sup>	0.60±0.04 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>

#### 2.5 不同配方基质对黄瓜幼苗生理指标的影响

不同处理黄瓜幼苗各生理指标存在显著差异, 结果见表 5。叶绿素值 T4、T5、T6 处理之间不存在显著差异, 但显著高于 CK, 分别高出 5.57%、7.01%、6.68%。T6 处理与 T5 处理之间的根系活力和幼苗叶片可溶性糖不存在显著差异, 但显著高于其他处理, 与对照相比处理 T6 的根系活力提高了

41.70%, 可溶性糖提高了 15.38%。就可溶性蛋白而言, T6 处理显著高于 CK 和 T1, 分别高 6.49%、12.33%; T1 处理低于 CK 处理, 但两者之间并不存在显著性差异。蔗糖磷酸合成酶 SPS 范围在 87.85~304.64 ng/L, T4、T5、T6 处理显著高于对照 CK, 而 T1 和 T2 处理显著低于对照 CK。SS 最高的是 T2 处理, T1 和 T3 处理低于 CK 处理。GS 仅 T3 处理高于

表 5 不同处理黄瓜幼苗生理指标

处理	叶绿素值	根系活力 / (mg·(g·h) <sup>-1</sup> )	可溶性糖 / (mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白 / (mg·g <sup>-1</sup> )	SPS/(ng·L <sup>-1</sup> )	SS/(ng·L <sup>-1</sup> )	GS/(ng·L <sup>-1</sup> )	NR/(ng·L <sup>-1</sup> )
CK	49.52±2.61 <sup>b</sup>	2.59±0.94 <sup>cd</sup>	4.81±0.36 <sup>b</sup>	0.77±0.01 <sup>bc</sup>	164.14±31.01 <sup>d</sup>	103.66±11.12 <sup>bc</sup>	192.41±12.46 <sup>ab</sup>	118.09±25.85 <sup>c</sup>
T1	49.02±2.22 <sup>b</sup>	1.81±0.29 <sup>c</sup>	4.76±0.39 <sup>b</sup>	0.73±0.03 <sup>c</sup>	87.85±20.26 <sup>c</sup>	93.92±9.42 <sup>c</sup>	147.81±9.98 <sup>c</sup>	135.78±26.36 <sup>bc</sup>
T2	49.64±1.85 <sup>b</sup>	2.90±0.31 <sup>bc</sup>	4.93±0.72 <sup>b</sup>	0.79±0.08 <sup>ab</sup>	107.66±20.64 <sup>c</sup>	122.72±32.13 <sup>a</sup>	142.18±26.72 <sup>c</sup>	167.85±39.77 <sup>ab</sup>
T3	50.17±2.03 <sup>b</sup>	2.23±0.24 <sup>dc</sup>	5.07±0.01 <sup>b</sup>	0.81±0.05 <sup>ab</sup>	176.65±77.38 <sup>cd</sup>	103.39±4.35 <sup>bc</sup>	202.39±17.06 <sup>a</sup>	185.82±46.59 <sup>a</sup>
T4	52.28±1.84 <sup>a</sup>	2.89±0.08 <sup>bc</sup>	4.67±0.43 <sup>b</sup>	0.79±0.01 <sup>ab</sup>	304.64±19.62 <sup>a</sup>	116.01±6.48 <sup>ab</sup>	142.65±12.88 <sup>c</sup>	114.11±12.06 <sup>bc</sup>
T5	52.99±1.74 <sup>a</sup>	3.25±0.72 <sup>ab</sup>	5.11±0.24 <sup>ab</sup>	0.80±0.02 <sup>ab</sup>	207.22±4.91 <sup>bc</sup>	105.16±12.52 <sup>bc</sup>	71.29±35.03 <sup>d</sup>	169.93±6.35 <sup>a</sup>
T6	52.83±1.42 <sup>a</sup>	3.67±0.06 <sup>a</sup>	5.55±0.11 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>a</sup>	241.17±11.96 <sup>b</sup>	110.62±9.43 <sup>abc</sup>	177.22±10.36 <sup>b</sup>	185.21±6.06 <sup>a</sup>

CK,其他处理均低于对照。NR最高的是185.82 ng/L的T3处理,与T2、T5、T6处理之间不存在显著差异,但显著高于CK、T1、T4;除T4处理外,其他处理均高于对照。从以上结果来看低、中添加量的腐熟小麦秸秆的基质配方对黄瓜幼苗的叶绿素值和根系活力有促进作用,而高添加量的则起到了抑制作用;低腐熟小麦秸秆添加量的基质配方对提高幼苗可溶性糖、可溶性蛋白的作用优于其他处理;而在活性酶方面,中等腐熟小麦秸秆添加量的基质配方表现更优。

## 2.6 黄瓜幼苗数据指标的相关性

对黄瓜幼苗表型性状(株高、茎粗、最大根长、

最大叶长、最大叶宽、最小叶长、最小叶宽)、生物积累量(地上鲜重、地下鲜重、地上干重、地下干重)、生理指标(可溶性糖、可溶性蛋白、SPS、SS、GS、NR、根系活力、叶绿素值)的19个数据指标进行相关性分析,结果见表6。茎粗与最大根长、最大叶长、最大叶宽、最小叶长、最小叶宽、地上鲜重、地下鲜重、地上干重、地下干重均极显著正相关;最大根长与地下干重显著正相关;最大叶宽、最小叶长、最小叶宽、地上鲜重、地上干重、地下干重这8个指标之间均两两显著正相关(最大叶长与地下鲜重除外);可溶性糖与NR显著正相关;叶绿素值与SPS和根系活力显著正相关。

表6 黄瓜幼苗指标相关性

	株高	茎粗	最大根长	最大叶长	最大叶宽	最小叶长	最小叶宽	地上鲜重	地下鲜重	地上干重	地下干重	可溶性糖	可溶性蛋白	SPS	SS	GS	NR	根系活力	叶绿素值
株高	1																		
茎粗	0.11	1																	
最大根长	-0.225	0.663	1																
最大叶长	0.437	0.901**	0.552	1															
最大叶宽	0.411	0.927**	0.607	0.980**	1														
最小叶长	0.361	0.911**	0.53	0.975**	0.937**	1													
最小叶宽	0.278	0.933**	0.73	0.959**	0.959**	0.931**	1												
地上鲜重	0.359	0.924**	0.59	0.989**	0.975**	0.986**	0.949**	1											
地下鲜重	0.003	0.923**	0.557	0.743	0.782*	0.818*	0.757*	0.813*	1										
地上干重	0.247	0.944**	0.688	0.964**	0.979**	0.939**	0.956**	0.980**	0.818*	1									
地下干重	0.175	0.940**	0.768*	0.938**	0.939**	0.911**	0.994**	0.934**	0.762*	0.956**	1								
可溶性糖	-0.688	0.504	0.724	0.298	0.323	0.313	0.431	0.365	0.443	0.491	0.527	1							
可溶性蛋白	-0.494	0.649	0.321	0.343	0.371	0.383	0.431	0.371	0.626	0.44	0.496	0.643	1						
SPS	-0.228	0.456	0.401	0.144	0.229	0.153	0.348	0.135	0.444	0.191	0.361	0.194	0.606	1					
SS	-0.11	0.43	-0.106	0.162	0.247	0.235	0.096	0.235	0.654	0.25	0.099	0.083	0.569	0.329	1				
GS	-0.122	-0.306	-0.126	-0.309	-0.205	-0.493	-0.285	-0.366	-0.473	-0.226	-0.252	0.072	-0.009	-0.08	-0.11	1			
NR	-0.348	0.577	0.434	0.543	0.493	0.553	0.533	0.575	0.451	0.627	0.605	0.815*	0.629	-0.107	0.107	-0.004	1		
根系活力	-0.682	0.504	0.506	0.107	0.172	0.226	0.251	0.214	0.685	0.289	0.314	0.661	0.726	0.595	0.585	-0.301	0.344	1	
叶绿素值	-0.404	0.667	0.68	0.364	0.394	0.45	0.562	0.41	0.695	0.449	0.599	0.549	0.687	0.820*	0.283	-0.437	0.273	0.824*	1

## 2.7 黄瓜幼苗数据指标的主成分分析和综合得分

对本试验中株高( $X_1$ )、茎粗( $X_2$ )、最大根长( $X_3$ )、最大叶长( $X_4$ )、最大叶宽( $X_5$ )、最小叶长( $X_6$ )、最小叶宽( $X_7$ )、地上鲜重( $X_8$ )、地下鲜重( $X_9$ )、地上干重( $X_{10}$ )、地下干重( $X_{11}$ )、可溶性糖( $X_{12}$ )、可溶性蛋白( $X_{13}$ )、SPS( $X_{14}$ )、SS( $X_{15}$ )、GS( $X_{16}$ )、NR( $X_{17}$ )、根系活力( $X_{18}$ )、叶绿素值( $X_{19}$ )共19个数据指标进行主成分分析,结果(表7)表明,前6个主成分的累积方差贡献率已达100%,其中前4个主成分解释了总方差的92.225%,表明提取4个主成分能够代表

19项数据指标的92.225%,因此,最终提取前4个主成分,其特征值见表7。

表7 黄瓜幼苗数据指标的主成分分析

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	10.692	56.275	56.275
2	3.645	19.182	75.457
3	1.885	9.919	85.376
4	1.301	6.849	92.225
5	1.017	5.355	97.580
6	0.460	2.420	100.000

根据主成分特征值和特征向量得到幼苗数据指标成分系数(表8)。

表8 黄瓜幼苗数据指标的系数

指标	成分系数			
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
$X_1$	0.011	-0.487	-0.235	-0.004
$X_2$	0.303	-0.016	-0.069	0.058
$X_3$	0.225	0.090	0.223	-0.428
$X_4$	0.274	-0.230	0.021	0.039
$X_5$	0.278	-0.198	-0.001	0.044
$X_6$	0.279	-0.187	-0.048	0.050
$X_7$	0.288	-0.137	0.043	-0.140
$X_8$	0.283	-0.192	0.012	0.067
$X_9$	0.277	0.063	-0.228	0.144
$X_{10}$	0.290	-0.136	0.082	0.064
$X_{11}$	0.293	-0.092	0.093	-0.128
$X_{12}$	0.180	0.284	0.425	0.012
$X_{13}$	0.194	0.314	-0.015	0.264
$X_{14}$	0.128	0.264	-0.331	-0.322
$X_{15}$	0.105	0.175	-0.400	0.566
$X_{16}$	-0.104	0.045	0.350	0.197
$X_{17}$	0.195	0.082	0.440	0.311
$X_{18}$	0.162	0.414	-0.139	0.016
$X_{19}$	0.213	0.285	-0.180	-0.335

可得到  $Y_1$ (第1主成分评价值)、 $Y_2$ (第2主成分评价值)、 $Y_3$ (第3主成分评价值)、 $Y_4$ (第4主成分评价值)与不同数据指标的线性方程为

$$Y_1 = 0.011X_1 + 0.303X_2 + 0.225X_3 + 0.274X_4 + 0.278X_5 + 0.279X_6 + 0.288X_7 + 0.283X_8 + 0.277X_9 + 0.290X_{10} + 0.293X_{11} + 0.180X_{12} + 0.194X_{13} + 0.128X_{14} + 0.105X_{15} - 0.104X_{16} + 0.195X_{17} + 0.162X_{18} + 0.213X_{19} \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.487X_1 - 0.016X_2 + 0.090X_3 - 0.230X_4 - 0.198X_5 - 0.187X_6 - 0.137X_7 - 0.192X_8 + 0.063X_9 - 0.136X_{10} - 0.092X_{11} + 0.284X_{12} + 0.314X_{13} + 0.264X_{14} + 0.175X_{15} + 0.045X_{16} + 0.082X_{17} + 0.414X_{18} + 0.285X_{19} \quad (2)$$

$$Y_3 = -0.235X_1 - 0.069X_2 + 0.223X_3 + 0.021X_4 - 0.001X_5 - 0.048X_6 + 0.043X_7 + 0.012X_8 - 0.228X_9 + 0.082X_{10} + 0.093X_{11} + 0.425X_{12} - 0.015X_{13} - 0.331X_{14} - 0.400X_{15} + 0.350X_{16} + 0.440X_{17} - 0.139X_{18} - 0.180X_{19} \quad (3)$$

$$Y_4 = -0.004X_1 - 0.058X_2 - 0.428X_3 + 0.039X_4 + 0.044X_5 + 0.050X_6 - 0.140X_7 + 0.067X_8 + 0.144X_9 + 0.064X_{10} - 0.128X_{11} + 0.012X_{12} + 0.264X_{13} - 0.322X_{14} + 0.566X_{15} + 0.197X_{16} + 0.311X_{17} + 0.016X_{18} - 0.335X_{19} \quad (4)$$

根据得到的  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_4$  方程和 19 个数据指标的标准化值(由 SPSS 计算得来)可得到各处理的综合评价价值  $Y(Y=0.563Y_1+0.192Y_2+0.099Y_3+0.068Y_4)$ , 结果如表 9 所示。T5、T6 处理明显高于 T3、T4 处理, T3、T4 处理明显高于 T1、T2 处理, 低添加量的腐熟小麦秸秆更有利于黄瓜幼苗的生长, 综合评价排名为 T6>T5>T3>T4>T2>T1>CK。

表9 黄瓜幼苗数据指标的综合评价

	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y$	排名
CK	-3.70	0.38	0.01	-0.01	-3.32	7
T1	-0.70	-0.65	0.08	-0.07	-1.35	6
T2	0.23	-0.09	-0.06	0.16	0.23	5
T3	0.37	-0.15	0.14	0.05	0.41	3
T4	0.67	-0.07	-0.25	-0.04	0.32	4
T5	1.01	0.17	-0.05	-0.05	1.09	2
T6	2.12	0.41	0.13	-0.03	2.63	1

### 3 讨论

#### 3.1 不同复合基质配比对基质理化性质的影响

幼苗的质量不仅与育苗环境有关, 更与基质原材料及其配比相关。而基质的优劣通常是通过基质的理化性质来衡量的<sup>[17]</sup>。蔬菜育苗基质农业行业标准中规定, 蔬菜育苗基质的容重在 0.20~0.60 g/cm<sup>3</sup> 范围内, 总孔隙度大于 60%, 通气孔隙度在大于 15%, 持水孔隙度大于 45%<sup>[15]</sup>。在本实验中, 各处理的基质容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度均在合理范围内。在相同腐熟小麦秸秆添加量的情况下, 蛭石添加量高的配方, 其容重和气水比都较高; 椰糠添加量高的配方, 其总孔隙度、持水空隙都比较高。幼苗生长过程中也需要氮、磷、钾等营养元素, 李蒙等<sup>[18]</sup>在研究砗糠灰复合基质在番茄穴盘育苗中的应用时, 在番茄幼苗生长过程中定期浇 1/2 Hoagland 营养液; 张建华等<sup>[19]</sup>在研究烟草秸

秆蚯蚓堆肥作为烟草漂浮育苗基质对幼苗生长的影响时,使用了目前烟草行业育苗专用营养液;在本实验中因为添加的腐熟小麦秸秆速效磷质量分数0.045%、速效磷质量分数0.056%、速效钾质量分数0.808%,所以在育苗过程中以清水进行灌溉,依然满足幼苗生长所需,并且可以节约人工配肥的成本。复配后的基质的pH、EC值主要受腐熟小麦秸秆添加量的影响,腐熟小麦秸秆添加量越高,其EC值越高;速效氮、速效磷、速效钾含量随着腐熟小麦秸秆添加量的增加而上升。

### 3.2 不同复合基质对比对黄瓜幼苗生长的影响

不同复合基质对幼苗的出苗率、表型性状和生物量的积累影响不同。徐诚等<sup>[20]</sup>以蛭石为主要原材料复配黄瓜育苗基质,发现蛭石:炉渣:菇渣=2:1:1时出苗率最高,达到97.33%,壮苗指数为0.196。周静等<sup>[21]</sup>研究发现,在番茄育苗中适量添加沼渣可有效促进番茄幼苗的生长,提高根系活力和壮苗指数。本实验中适量添加腐熟小麦秸秆的处理T6的幼苗出苗率达到98.67%,茎粗、下胚轴长、壮苗指数等指标表现最优且显著优于CK,幼苗生长状况最佳。

叶片的叶绿素值在一定程度上可以反映叶片的光合作用水平<sup>[22]</sup>,叶绿素水平高低直接影响叶片的光合作用,进而影响植物生物量的积累。实验结果表明,处理T2、T3、T4、T5和T6的叶片叶绿素值均优于CK,故光合作用较强,从而生物量的积累也优于对照。碳氮代谢是植物生长过程中的基本代谢,其强度、协调程度及其在植物体内的动态变化等最终会影响植物的产量和内在品质<sup>[23-24]</sup>。糖是植物细胞碳素的代谢源,SPS和SS是碳代谢过程中重要的酶<sup>[25]</sup>,这对植物生长状况至关重要;可溶性蛋白是植物体内主要的氮素存在方式,GS、NR是氮代谢过程中的重要酶<sup>[26]</sup>,与植物的衰老和代谢密切相关。李蒙等发现苍糠灰:蚯蚓粪:珍珠岩=4:4:2处理下,番茄幼苗叶片可溶性蛋白质、可溶性糖显著增加,叶片SPS、SS活性显著升高。在本实验中处理T6的可溶性糖显著高于CK,处理T4、T5、T6的SPS显著高于CK,处理T2、T4、T5和T6的SS高于

CK,可见T6的幼苗生长状况较好、抗性较强。处理T6的可溶性糖显著高于CK,T2、T3、T5、T6的NR显著优于CK,可见处理T6的黄瓜幼苗代谢较快,生长较旺盛。

## 4 结论

T6处理腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:3:5(体积比)复合基质理化性质最为合理,可有效增加黄瓜幼苗叶片叶绿素值,提高碳、氮代谢酶活性,促进干物质积累,从而促进黄瓜幼苗生长。并且,黄瓜作为中国设施栽培面积较大的蔬菜作物之一,通常采用育苗移栽的方式进行生产,其根系浅,根量少,可为其他瓜类的育苗提供可靠参考。椰糠和小麦秸秆同属农业废弃物,用其代替草炭进行黄瓜育苗,既环保又能促进农业废弃物循环再利用,所以,腐熟小麦秸秆:椰糠:蛭石=1:3:5(体积比)复合基质适宜在瓜类育苗生产中推广使用。

## 参考文献(References)

- [1] 张晓庆,王梓凡,参木友,等. 中国农作物秸秆产量及综合利用现状分析[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(9): 30-41.
- [2] Zhou Y L, Lin D Y, Ye X Y, et al. Reuse of acid-treated waste corn straw for photocatalytic hydrogen production [J]. Chemistry Select, 2022, 7(29): 2-9.
- [3] Ran C, Gao D P, Liu W Y, et al. Straw and nitrogen amendments improve soil, rice yield, and roots in a saline sodic soil[J]. Rhizosphere, 2022, 24: 100606.
- [4] Guo L J, Zhang L, Liu L, et al. Effects of long-term no tillage and straw return on greenhouse gas emissions and crop yields from a rice-wheat system in central China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2021, 322: 107650.
- [5] Liu C, Lu M, Cui J, et al. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: A meta-analysis [J]. Global Change Biology, 2014, 20(5): 1366-1381.
- [6] Ding X T, Yu L Y, Jiang Y P, et al. Changes in leaf length, width, area, and photosynthesis of fruit cucumber in a greenhouse production system[J]. HortScience, 2020,

- 55(7): 995-999.
- [7] Ding X T, He L Z, Li R G, et al. Zero discharge of nutrient solution to the environment in a soilless greenhouse cucumber production system[J]. *Plants*, 2022, 11(17): 2252.
- [8] 陈晓芳, 袁自然, 杨欣, 等. 蔬菜工厂化育苗基质研究与应用进展[J]. *安徽农学通报*, 2021, 27(20): 80-82.
- [9] 李敏. 蔬菜育苗基质研究进展[J]. *南方农业*, 2019, 13(24): 99-100.
- [10] 张鹏程. 不同配比椰糠复合基质对黄瓜生长发育的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [11] He L Z, Ding X T, Jin H J, et al. Comparison of rockwool and coir for greenhouse cucumber production: Chemical element, plant growth, and fruit quality[J]. *Heliyon*, 2022, 8(10): e10930.
- [12] Xiong J, Tian Y Q, Wang J G, et al. Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient balance, plant growth and fruit quality [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1327.
- [13] 汪佳维, 王华磊, 王灿彬, 等. 蚯蚓粪、椰糠复配基质对三七种苗生长的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(5): 107-115.
- [14] 刘佳, 季延海, 王宝驹, 等. 椰糠复合基质对温室番茄生长及品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(17): 150-154.
- [15] 中华人民共和国农业部. 蔬菜育苗基质: NY/T 2118—2012[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [16] 夏国栋, 罗石磊, 颀建民, 等. 栽培基质EC和pH测定值的影响因素分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(5): 35-40.
- [17] 白永娟. 菇渣腐熟发酵条件及其在蔬菜育苗中的应用效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [18] 李蒙, 王平, 刘松虎, 等. 砻糠灰复合基质在番茄穴盘育苗中的应用[J]. *北方园艺*, 2021(24): 57-63.
- [19] 张建华, 王竹青, 刘志宇, 等. 烟草秸秆蚯蚓堆肥作为烟草漂浮育苗基质对幼苗生长的影响[J]. *种子科技*, 2022, 40(7): 1-4.
- [20] 徐诚, 轩正英, 张娟, 等. 以蛭石为主的复配基质对黄瓜育苗的影响[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(20): 148-154.
- [21] 周静, 史向远, 王保平, 等. 沼渣复配量对番茄幼苗生长及生理指标的影响[J]. *北方园艺*, 2022(11): 1-7.
- [22] Croft H, Chen J M, Luo X Z, et al. Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(9): 3513-3524.
- [23] Hu Y M, Zhang P, Zhang X, et al. Multi-wall carbon nanotubes promote the growth of maize (*Zea mays*) by regulating carbon and nitrogen metabolism in leaves[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(17): 4981-4991.
- [24] Seger M, Gebril S, Tabilona J, et al. Impact of concurrent overexpression of cytosolic glutamine synthetase (GS1) and sucrose phosphate synthase (SPS) on growth and development in transgenic tobacco[J]. *Planta*, 2015, 241(1): 69-81.
- [25] Rolland F, Moore B, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants[J]. *The Plant Cell*, 2002, 14(suppl\_1): 185-205.
- [26] Balotf S, Kavooosi G, Kholdebarin B. Nitrate reductase, nitrite reductase, glutamine synthetase, and glutamate synthase expression and activity in response to different nitrogen sources in nitrogen-starved wheat seedlings[J]. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 2016, 63(2): 220-229.

## Effects of adding rotted wheat straw to composite substrate on the growth of cucumber seedlings

WU Yahong<sup>1,2</sup>, ZHOU Yanwei<sup>1</sup>, JIN Qing<sup>1</sup>, DUAN Famin<sup>3</sup>, KANG Xinna<sup>1,2\*</sup>

1. Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, China

2. Hebei Urban Agricultural Technology Innovation Center, Shijiazhuang 050041, China

3. Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610000, China

**Abstract** In order to study the effect of the composite substrate added with decomposed wheat straw on cucumber seedling cultivation, six kinds of substrate were obtained by compounding decomposed wheat straw, coconut bran and vermiculite in different proportions, with coconut bran:vermiculite = 5:5 (volume ratio) as the control and Jinzao 198 cucumber as the test material. By analyzing the phenotypic traits, biomass accumulation and physiological indexes of seedlings, and using principal component analysis for comprehensive evaluation, a suitable compound substrate formula was screened out. The results showed that: adding decomposed wheat straw was beneficial to the growth of cucumber seedlings, and low addition amount was better than medium and high addition amount. The seedling emergence rate of cucumber seedlings treated with T6 (decomposed wheat straw:coconut bran:vermiculite=1:3:5) was the highest, reaching 98.67%, which was 4.77% higher than that of the CK; the phenotypic traits such as stem diameter, hypocotyl length and maximum root length were the best; the biomass accumulation was the highest, and the seedling strength index was the highest, reached 0.15 and were 50% higher than control; Chlorophyll value, root activity, leaf soluble protein, and soluble sugar content were significantly higher than those of the CK, It increased by 6.68%, 41.70%, 6.69% and 15.38% respectively, and the activities of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and nitrate reductase were significantly better than those of other treatments. The comprehensive ranking of different evaluation indicators for each treatment is: T6>T5>T3>T4>T2>T1>CK. In conclusion, T6 (decomposed wheat straw:coconut bran:vermiculite=1:3:5) treatment significantly promoted the growth of cucumber seedlings, and could be used as the best substrate formula for cucumber plug seedlings. This paper provides a theoretical reference for the use of rotted wheat straw in vegetable seedlings, thereby reducing the cost of factory seedlings and improving the quality of seedlings.

**Keywords** decomposed wheat straw; cucumber; plug seedling ●



(责任编辑 刘志远)