

小麦秸秆复合基质的理化指标及其对黄瓜幼苗生长和光合参数的影响

曾清华¹, 毛兴平², 孙 锦¹, 郭世荣^{1,①}, 刘超杰¹

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 山西省沁水县农业综合开发局, 山西 沁水 048200)

摘要: 以小麦 (*Triticum aestivum* L.) 秸秆基质 (发酵) 为主, 按不同比例分别添加蛭石、珍珠岩和草炭, 配制 10 种复合基质; 以不含小麦秸秆基质的复合基质为对照, 对各基质的基本理化性状进行了分析和比较, 并研究了不同基质对黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 幼苗生长、叶片叶绿素含量和光合参数的影响。结果显示: 不同基质的理化指标有明显差异, 小麦秸秆基质与蛭石、珍珠岩和草炭混配均降低或显著降低了基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度、水气比、小颗粒含量、pH 值和电导率, 提高了通气孔隙度以及大、中颗粒的含量。按 $V(\text{小麦秸秆基质}):V(\text{蛭石}):V(\text{草炭})=50:25:25$ 的比例配制的复合基质 T_0 的容重、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度、水气比和电导率分别为 $0.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、68.1%、15.3%、52.8%、3.45 和 $3.91 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 理化性状最佳, 具有良好的吸水 and 保水性能。总体上看, 随复合基质中小麦秸秆基质比例的降低, 黄瓜幼苗的株高、茎粗、根总长、根总体积、平均单根直径和根尖总数、生物量和壮苗指数以及叶片的叶绿素含量均呈上升趋势; 复合基质中小麦秸秆基质比例较高, 黄瓜叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均较低, 但与对照相比, 不同基质对叶片胞间 CO_2 浓度及水分利用效率无显著影响。在复合基质 T_0 中黄瓜幼苗的这些生长指标、壮苗指数以及叶片叶绿素含量和光合参数总体上高于或显著高于对照和其他复合基质, 生长良好。结果表明: 复合基质 T_0 较适合黄瓜幼苗的生长发育, 可作为黄瓜育苗基质。

关键词: 小麦秸秆基质; 复合基质; 基质理化指标; 黄瓜; 生长; 光合参数

中图分类号: S317; S642.2; X712 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)04-0070-06

Physicochemical indexes of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum*) straw and its effect on growth and photosynthetic parameters of *Cucumis sativus* seedling ZENG Qing-hua¹, Mao Xing-ping², SUN Jin¹, GUO Shi-rong^{1,①}, LIU Chao-jie¹ (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Bishui Agriculture Comprehensive Development Bureau of Shanxi Province, Bishui 048200, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(4): 70-75

Abstract: Taking the wheat (*Triticum aestivum* L.) straw substrate (fermented) as main material, ten mixed substrates were prepared by adding vermiculite, perlite and peat with different ratios. And taking the mixed substrate without wheat straw substrate as the control, the basic physicochemical properties of different substrates were analyzed and compared, and their effects on growth, chlorophyll content and photosynthetic parameters of leaf of *Cucumis sativus* L. seedling were investigated. The results show that difference of physicochemical indexes among different substrates is obvious. When wheat straw substrate is mixed with vermiculite, perlite and peat, its bulk density, total porosity, water-holding porosity, ratio of water to air, small granule content, pH value and electrical conductivity all are decreased or significantly decreased, but aeration porosity and contents of large and medium granules are increased. While the T_0 mixed substrate, which is prepared according to the ratio of $V(\text{wheat straw substrate}):V(\text{vermiculite}):V(\text{peat})=50:25:25$, shows the best physicochemical properties and well water-absorption and water-retention properties, and its bulk density, total porosity, aeration porosity, water-holding porosity, ratio of water to air and electrical conductivity are $0.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 68.1%, 15.3%, 52.8%,

收稿日期: 2011-06-23

基金项目: 江苏省农业三项工程项目(SX[2010]087); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-25-C-03)

作者简介: 曾清华(1986—),男,河南商丘人,硕士研究生,主要从事设施园艺方面的研究。

①通信作者 E-mail: srguo@njau.edu.cn

3.45 and 3.91 $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, respectively. Generally, the height, stem diameter, total length of root, total volume of root, average diameter of single root, total number of root tip, biomass, strength index and leaf chlorophyll content of *C. sativus* seedling appear the increasing trend with decreasing of the ratio of wheat straw substrate in mixed substrate. When the ratio of wheat straw substrate in mixed substrate is higher, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of leaf all are lower. But comparing with the control, effect of different substrates on intercellular CO_2 concentration and water use efficiency of leaf is not significant. These growth indexes, strength index and chlorophyll content and photosynthetic parameters of leaf of *C. sativus* seedling in T_9 mixed substrate generally are higher or significantly higher than those in the control and other mixed substrates, and the seedling grows better. It is concluded that T_9 mixed substrate is suitable for growth and development of *C. sativus* seedling, and can be used for its breeding cultivation.

Key words: wheat (*Triticum aestivum* L.) straw substrate; mixed substrate; substrate physicochemical index; *Cucumis sativus* L.; growth; photosynthetic parameter

草炭为目前生产上广泛采用的有机栽培基质,也是迄今为止世界各国公认的最好的无土栽培基质之一^[1]。但草炭是不可再生资源,大量开采可造成生态环境的不可逆破坏;且由于草炭资源分布不均及运输费用增加,草炭的使用成本大幅提高,限制了草炭的合理利用。因此,筛选和研制成本低、效果好、管理方便、符合环保要求的新型栽培基质必然成为基质研究的热点之一^[2]。可用于无土栽培的基质很多,蔗渣、菇渣、锯末、芦苇末和棉籽壳等经过处理或者其他基质混合均可作为无土栽培基质^[3-4]。

中国作物秸秆资源量巨大,仅在2006年就超过了 $7.6 \times 10^8 \text{ t}$ ^[5]。但长期以来秸秆资源没有得到充分利用,大量秸秆被丢弃或焚烧,不仅造成资源浪费,同时也导致大气环境污染^[6-7]。因此,资源化利用秸秆对发展生态农业和可持续农业意义重大。目前农作物秸秆的主要利用方式为秸秆还田^[8],但仍存在许多问题和一定的困难。

作者以小麦(*Triticum aestivum* L.)秸秆基质(发酵)、草炭、珍珠岩和蛭石为试材,按不同比例进行混配,研究了小麦秸秆复合基质的理化性状及其对黄瓜(*Cucumis sativus* L.)幼苗生长和光合参数的影响,以期探讨小麦秸秆基质作为蔬菜育苗基质的可行性。

1 材料和方法

1.1 材料

实验于2010年9月至11月在南京农业大学试验基地的连栋温室中进行。供试黄瓜品种为‘津春2号’(‘Jinchun No. 2’)。供试小麦秸秆基质、蛭石、珍珠岩和草炭均由山东高唐泉林生态科技有限公司

提供。小麦秸秆基质的制作方法为:小麦秸秆风干后粉碎至1~5 cm,含水量控制在约60%,堆成条垛状进行高温静态堆制,期间通过翻堆补充水分与氧气,150 d后风干备用。小麦秸秆基质的主要理化性状为:容重 $0.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、总孔隙度80.8%、水气比7.59、电导率 $6.80 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、pH 8.42。

1.2 方法

1.2.1 基质配制及幼苗栽培方法 共配制10种基质,视为10个处理,用小麦秸秆基质(XJ)、蛭石(ZS)、珍珠岩(ZZ)和草炭(CT)进行混配。 T_1 :纯小麦秸秆基质; T_2 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZS})=75:25$; T_3 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZZ})=75:25$; T_4 : $V(\text{XJ}):V(\text{CT})=75:25$; T_5 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZS})=50:50$; T_6 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZZ})=50:50$; T_7 : $V(\text{XJ}):V(\text{CT})=50:50$; T_8 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZS}):V(\text{ZZ})=50:25:25$; T_9 : $V(\text{XJ}):V(\text{ZS}):V(\text{CT})=50:25:25$; T_{10} : $V(\text{XJ}):V(\text{ZZ}):V(\text{CT})=50:25:25$ 。对照基质不含小麦秸秆基质,为 $V(\text{CT}):V(\text{ZS})=2:1$ 的复合基质。每处理均3次重复。

选取饱满、整齐一致的黄瓜种子,用55℃清水浸种15 min后置于温度 $(29 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的培养箱内催芽,并选取发芽一致的种子进行播种。采用72孔穴盘育种,每孔播1粒种子,每处理播3个穴盘,视为3次重复,随机区组排列。实验期间,每天仅浇清水。各基质的理化性状在混配后、育苗前测定;待幼苗长至三叶一心时取样进行生长和光合指标测定。

1.2.2 基质理化指标测定 参照郭世荣^[9]的方法测定基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度和水气比;参照刘超杰等^[10]的方法测定基质大颗粒(直径大于2.0 mm)、中颗粒(直径0.5~2.0 mm)和小颗粒(直径小于0.5 mm)含量;参照程斐等^[11]的方

法测定基质的 pH 值和电导率。每处理 3 次重复。

1.2.3 幼苗生长及光合指标测定 每处理取 5 株黄瓜幼苗测定以下指标。参照刘超杰等^[12]的方法测定幼苗的株高、茎粗、鲜质量、干质量和壮苗指数;用 EPSON EXPERSION 1680 台式扫描仪(美国爱普生公司)和 WinRHIZO 图像分析软件(加拿大 Regent 公司)分析根总长、根总体积、平均单根直径和根尖总数。采用乙醇-丙酮-水混合液浸提法^[13]测定叶片叶绿素含量;使用 Li-6400 型便携式光合测定系统(美国 LI-COR 公司)于晴天上午的 9:00 至 11:00 测定功能叶的光合参数。

1.3 数据处理和分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 10.0 软件对实验数据进行统计和处理。

2 结果和分析

2.1 小麦秸秆复合基质理化性状的比较

供试 11 种基质的理化性状见表 1。表 1 数据显示:基质 T₁ 的容重、总孔隙度、持水孔隙度和水气比均高于或显著高于对照和其他复合基质,而其通气孔隙度却显著低于对照及其他复合基质,即:小麦秸秆基质与蛭石、珍珠岩和草炭混配,均降低或显著降低了混配基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度和水气比,却使通气孔隙度显著提高。基质 T₁ 的小颗粒含量为 52.7%,显著高于对照和其他复合基质,而其大、中颗粒含量却最低。基质 T₁ 的 pH 值和电导率均显著高于对照和其他复合基质,随着复合基质中小麦秸秆基

表 1 小麦秸秆复合基质的理化性状¹⁾

Table 1 Physicochemical properties of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw¹⁾

基质 ²⁾ Substrate ²⁾	容重/g·cm ⁻³ Bulk density	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙度/% Aeration porosity	持水孔隙度/% Water-holding porosity	水气比 Ratio of water to air	颗粒含量/% Granule content			pH	电导率/mS·cm ⁻¹ Electrical conductivity
						大 Large	中 Medium	小 Small		
CK	0.19i	76.1b	15.6d	60.5c	3.88e	42.2a	24.4f	33.3f	6.41j	0.58k
T ₁	0.43a	80.8a	9.4g	71.4a	7.59a	25.7e	21.6g	52.7a	8.42a	6.80a
T ₂	0.37b	73.3c	11.2f	62.1c	5.57c	27.9e	26.9e	45.2c	7.81c	5.47d
T ₃	0.34cd	71.5c	11.8e	59.7c	5.07d	32.2d	31.9bc	35.9d	7.91b	5.93b
T ₄	0.36bc	79.4a	10.7f	68.8b	6.45b	26.7e	24.6f	48.8b	7.75d	5.71c
T ₅	0.31efg	67.0de	15.3d	51.7e	3.37f	35.3c	30.6bc	34.2ef	7.49g	3.76j
T ₆	0.26h	65.3e	21.7a	43.6g	2.01h	39.3b	36.6a	24.0h	7.68e	4.78e
T ₇	0.32def	71.7c	15.1d	56.6d	3.75ef	36.2c	27.6de	36.2d	7.39i	4.21h
T ₈	0.30fg	63.0f	17.5b	45.4fg	2.59g	37.3bc	32.3b	30.4g	7.60f	4.44g
T ₉	0.33de	68.1d	15.3d	52.8e	3.45f	35.9c	29.7cd	34.4e	7.44h	3.91i
T ₁₀	0.28gh	63.3f	16.4c	46.8f	2.85g	39.5b	29.9c	30.7g	7.50g	4.56f

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: V(CT):V(ZS)=2:1; T₁: XJ; T₂: V(XJ):V(ZS)=75:25; T₃: V(XJ):V(ZZ)=75:25; T₄: V(XJ):V(CT)=75:25; T₅: V(XJ):V(ZS)=50:50; T₆: V(XJ):V(ZZ)=50:50; T₇: V(XJ):V(CT)=50:50; T₈: V(XJ):V(ZS)=50:25:25; T₉: V(XJ):V(ZS):V(CT)=50:25:25; T₁₀: V(XJ):V(ZZ):V(CT)=50:25:25. CT: 草炭 Peat; ZS: 蛭石 Vermiculite; XJ: 小麦秸秆基质 Wheat straw substrate; ZZ: 珍珠岩 Perlite.

质比例的降低,各基质的 pH 值和电导率呈下降趋势,但均显著高于对照。

2.2 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗生长的影响

2.2.1 对幼苗形态指标的影响 不同比例的小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗形态指标的影响见表 2。由表 2 可知:随着复合基质中小麦秸秆基质比例的降低,黄瓜幼苗的株高、茎粗、根总长、根总体积、平均单根直径和根尖总数呈上升趋势。当小麦秸秆基质的比例高于 50% 时, T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 处理组黄瓜幼苗的形态指标均显著低于对照和其他复合基质,其中以 T₁ 处理组黄瓜幼苗的各指标最低;当小麦秸秆基质的比例降至

50% 时, T₉ 处理组黄瓜幼苗的表现最佳,其株高、茎粗、根总长、根总体积、平均单根直径和根尖总数均显著高于对照和其他复合基质。

2.2.2 对幼苗生物量和壮苗指数的影响 不同比例的小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗生物量和壮苗指数的影响见表 3。由表 3 可知:处理组黄瓜幼苗的生物量和壮苗指数的变化趋势与其形态指标一致,均随复合基质中小麦秸秆基质比例的降低呈上升趋势。当小麦秸秆基质的比例高于 50% 时, T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 处理组黄瓜幼苗的地上部、根和全株的鲜质量和干质量以及壮苗指数均显著低于对照和其他复合基质,这可能

与这些基质具有较高的电导率、pH 值以及较低的通气孔隙度有关。当小麦秸秆基质的比例降至 50% 时,以 T₉ 处理组黄瓜幼苗的生长最佳,其地上部、根和全株的鲜质量和干质量以及壮苗指数均最大,显著高于对照和其他复合基质,说明这一比例的复合基质水气

比合适、持水性能良好,有利于根系生长;基质 T₅ 和 T₇ 也有较好的育苗效果;但基质 T₆ 的育苗效果较差,这可能是由于该基质中珍珠岩比例过高,通气孔隙度过大,保水性能降低,不利于根系发育。

表2 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗形态指标的影响¹⁾

Table 2 Effect of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw on morphological indexes of *Cucumis sativus* L. seedling¹⁾

基质 ²⁾ Substrate ²⁾	株高/cm Height	茎粗/cm Stem diameter	根总长/cm Total length of root	根总体积/cm ³ Total volume of root	平均单根直径/mm Average diameter of single root	根尖总数 Total number of root tip
CK [V(CT):V(ZS)=2:1]	10.8c	0.43b	736.9d	3.14c	0.78cd	2 638d
T ₁ (XJ)	6.8i	0.27f	253.3i	0.95h	0.43g	705h
T ₂ [V(XJ):V(ZS)=75:25]	7.8g	0.33e	480.2g	1.46f	0.55f	1 007g
T ₃ [V(XJ):V(ZZ)=75:25]	7.5h	0.34e	361.7h	1.15g	0.50f	951g
T ₄ [V(XJ):V(CT)=75:25]	7.5h	0.33e	467.2g	1.19g	0.53f	971g
T ₅ [V(XJ):V(ZS)=50:50]	10.8bc	0.43b	773.4c	3.25c	0.84c	2 861c
T ₆ [V(XJ):V(ZZ)=50:50]	9.2f	0.38d	524.5f	1.91e	0.68e	1 209f
T ₇ [V(XJ):V(CT)=50:50]	11.0b	0.43b	805.2b	3.67b	0.97b	3 103b
T ₈ [V(XJ):V(ZS):V(ZZ)=50:25:25]	10.0e	0.40cd	607.7e	1.99e	0.70e	1 403e
T ₉ [V(XJ):V(ZS):V(CT)=50:25:25]	11.4a	0.46a	987.3a	5.77a	1.22a	3 471a
T ₁₀ [V(XJ):V(ZZ):V(CT)=50:25:25]	10.5d	0.41c	620.0e	2.53d	0.76d	1 413e

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CT: 草炭 Peat; ZS: 蛭石 Vermiculite; XJ: 小麦秸秆基质 Wheat straw substrate; ZZ: 珍珠岩 Perlite.

表3 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗生物量和壮苗指数的影响¹⁾

Table 3 Effects of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw on biomass and strength index of *Cucumis sativus* L. seedling¹⁾

基质 ²⁾ Substrate ²⁾	鲜质量/g Fresh weight			壮苗指数 Strength index	干质量/g Dry weight		
	地上部 Above-ground part	根 Root	全株 Whole plant		地上部 Above-ground part	根 Root	全株 Whole plant
CK [V(CT):V(ZS)=2:1]	2.97c	0.72c	3.69c	59.2c	320.1b	39.9c	360.0c
T ₁ (XJ)	1.72g	0.39g	2.10h	28.9g	156.0g	19.6g	175.5h
T ₂ [V(XJ):V(ZS)=75:25]	2.30f	0.59e	2.89f	49.0e	208.6e	33.4e	242.0f
T ₃ [V(XJ):V(ZZ)=75:25]	2.21f	0.52f	2.73g	43.6f	193.2f	29.1f	222.4g
T ₄ [V(XJ):V(CT)=75:25]	2.22f	0.59e	2.80fg	49.6e	196.4f	33.6e	230.0g
T ₅ [V(XJ):V(ZS)=50:50]	3.16b	0.74c	3.90b	59.7c	324.0b	40.2c	364.2bc
T ₆ [V(XJ):V(ZZ)=50:50]	2.47e	0.64d	3.10e	53.7d	273.7d	36.0d	309.7e
T ₇ [V(XJ):V(CT)=50:50]	3.18b	0.80b	3.98b	62.8b	327.6b	42.7b	370.3b
T ₈ [V(XJ):V(ZS):V(ZZ)=50:25:25]	2.61d	0.65d	3.25d	54.1d	293.0c	36.4d	329.4d
T ₉ [V(XJ):V(ZS):V(CT)=50:25:25]	4.01a	0.90a	4.91a	69.1a	353.9a	46.7a	400.6a
T ₁₀ [V(XJ):V(ZZ):V(CT)=50:25:25]	2.65d	0.64d	3.29d	53.1d	300.5c	35.8d	336.3d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CT: 草炭 Peat; ZS: 蛭石 Vermiculite; XJ: 小麦秸秆基质 Wheat straw substrate; ZZ: 珍珠岩 Perlite.

2.3 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗叶片叶绿素含量和光合参数的影响

2.3.1 对叶绿素含量的影响 不同比例小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗叶片叶绿素含量的影响见表4。各处理组黄瓜幼苗叶片叶绿素含量的变化趋势与其形态指标和生物量相似。T₉ 处理组幼苗叶片叶绿素 a、

叶绿素 b 和总叶绿素含量最高, T₅ 和 T₇ 处理组也较高。当小麦秸秆基质的比例高于 50% 时, T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 处理组幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量显著低于对照和其他复合基质。

2.3.2 对光合参数的影响 不同比例小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗叶片光合参数的影响见表5。由表

表4 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗叶片叶绿素含量的影响¹⁾
Table 4 Effect of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw on chlorophyll content in leaf of *Cucumis sativus* L. seedling¹⁾

基质 ²⁾ Substrate ²⁾	含量/mg · g ⁻¹ Content		总叶绿素 Total chlorophyll
	叶绿素 a Chla	叶绿素 b Chlb	
CK [V(CT):V(ZS)=2:1]	1.80c	0.53a	2.33c
T ₁ (XJ)	1.21f	0.36d	1.57f
T ₂ [V(XJ):V(ZS)=75:25]	1.37e	0.42c	1.79e
T ₃ [V(XJ):V(ZZ)=75:25]	1.34e	0.39cd	1.73e
T ₄ [V(XJ):V(CT)=75:25]	1.36e	0.41c	1.77e
T ₅ [V(XJ):V(ZS)=50:50]	1.86bc	0.54a	2.40bc
T ₆ [V(XJ):V(ZZ)=50:50]	1.56d	0.47b	2.03d
T ₇ [V(XJ):V(CT)=50:50]	1.92b	0.56a	2.48b
T ₈ [V(XJ):V(ZS):V(ZZ)=50:25:25]	1.57d	0.46b	2.03d
T ₉ [V(XJ):V(ZS):V(CT)=50:25:25]	2.13a	0.56a	2.69a
T ₁₀ [V(XJ):V(ZZ):V(CT)=50:25:25]	1.62d	0.49b	2.11d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CT: 草炭 Peat; ZS: 蛭石 Vermiculite; XJ: 小麦秸秆基质 Wheat straw substrate; ZZ: 珍珠岩 Perlite.

表5 小麦秸秆复合基质对黄瓜幼苗叶片光合参数的影响¹⁾
Table 5 Effect of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw on photosynthetic parameters of leaf of *Cucumis sativus* L. seedling¹⁾

基质 ²⁾ Substrate ²⁾	Pn/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Cs/ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Tr/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Ci/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	WUE/ $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$
CK [V(CT):V(ZS)=2:1]	7.3ab	0.07ab	1.9ab	192a	3.89ab
T ₁ (XJ)	5.2c	0.05c	1.4c	190a	3.87ab
T ₂ [V(XJ):V(ZS)=75:25]	5.6c	0.06c	1.5c	197a	3.73b
T ₃ [V(XJ):V(ZZ)=75:25]	5.4c	0.05c	1.4c	195a	3.79ab
T ₄ [V(XJ):V(CT)=75:25]	5.6c	0.06c	1.5c	196a	3.75b
T ₅ [V(XJ):V(ZS)=50:50]	7.3ab	0.07ab	1.9ab	192a	3.88ab
T ₆ [V(XJ):V(ZZ)=50:50]	6.0bc	0.06c	1.5c	189a	3.93ab
T ₇ [V(XJ):V(CT)=50:50]	7.5a	0.08a	2.0a	194a	3.83ab
T ₈ [V(XJ):V(ZS):V(ZZ)=50:25:25]	6.1bc	0.06bc	1.6bc	193a	3.84ab
T ₉ [V(XJ):V(ZS):V(CT)=50:25:25]	8.6a	0.08a	2.1a	188a	4.03a
T ₁₀ [V(XJ):V(ZZ):V(CT)=50:25:25]	7.3ab	0.07ab	1.9ab	193a	3.86ab

¹⁾ Pn: 净光合速率 Net photosynthetic rate; Cs: 气孔导度 Stomatal conductance; Tr: 蒸腾速率 Transpiration rate; Ci: 胞间 CO₂ 浓度 Intercellular CO₂ concentration; WUE: 水分利用效率 Water use efficiency. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CT: 草炭 Peat; ZS: 蛭石 Vermiculite; XJ: 小麦秸秆基质 Wheat straw substrate; ZZ: 珍珠岩 Perlite.

含量过高,而大、中颗粒含量较低有关。添加蛭石、珍珠岩和草炭,均能降低或显著降低小麦秸秆复合基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度、水气比和小颗粒含量,却显著提高其通气孔隙度以及大、中颗粒含量,并且各指标的变化幅度随着蛭石、珍珠岩和草炭所占比例的提高而增大;当蛭石、珍珠岩和草炭所占比例增至50%时,小麦秸秆复合基质的容重、总孔隙度和水

气比分别降至0.26~0.33 g · cm⁻³、63.0%~71.7%和2.01~3.75,均在理想基质的要求范围之内。

3 讨论和结论

栽培基质的固、液、气三相比例是影响植物根系生长发育的重要因素,容重和孔隙度是衡量其比例是否恰当的简单指标。郭世荣^[1]认为:理想基质的容重应为0.1~0.8 g · cm⁻³,总孔隙度应为54%~96%,而水气比应为2.0~4.0。本实验中,纯小麦秸秆基质(T₁)的容重为0.43 g · cm⁻³、总孔隙度为80.8%,均在理想基质的要求范围之内;但其水气比为7.59,明显高于理想基质的上限值,表明纯小麦秸秆基质的持水孔隙度过大而通气孔隙度过小,这与其中的小颗粒

可知:T₉处理组黄瓜幼苗叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率均最高,T₅、T₇和T₁₀处理组也较高,但与对照均无显著差异;T₁、T₂和T₃和T₄处理组幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著低于对照,水分利用效率也低于对照,但差异不显著。各处理组幼苗叶片的胞间CO₂浓度与对照均无显著差异。

有机废弃物腐熟基质通常含有丰富的营养元素并具有较高的电导率,单独使用将对植物根系构成一定的逆境胁迫,影响植物生长^[1,14-15],因此,在以小麦秸秆基质为主料配制育苗基质时,降低复合基质的电导率是关键,一般通过添加电导率较低的草炭或蛭石

达到该目的。研究表明:添加蛭石、珍珠岩和草炭均能显著降低小麦秸秆复合基质的电导率,其中,复合基质 T₅ 和 T₉ 的电导率显著低于其他复合基质。李谦盛等^[16]认为:蛭石混配时易破碎,其添加量以不超过 30% 为宜。因此, T₅ 不适合育苗基质,而 T₉ 的理化性状最佳。随复合基质中小麦秸秆基质比例的降低,黄瓜幼苗的形态指标(包括株高、茎粗、根总长、根总体积、平均单根直径和根尖总数)、生物量(包括地上部、根和全株的鲜质量和干质量)以及壮苗指数均呈上升趋势,其中采用 T₉ 栽培的黄瓜幼苗的各项指标均显著高于对照和其他复合基质。

植物叶片中光合色素含量对光合作用的影响较大,外界环境的改变首先引起光合色素含量的变化,进而导致光合能力改变^[17]。采用复合基质 T₉ 栽培的黄瓜幼苗叶片的叶绿素含量显著高于对照和其他复合基质,使其能够吸收和传递较多的光能用于光合作用,进而使其拥有最大的净光合速率,最终使黄瓜幼苗干物质的积累增加,促进了幼苗的生长。

一般认为导致叶片光合速率降低的原因主要包括气孔限制因素和非气孔限制因素^[18],主要根据气孔导度和胞间 CO₂ 浓度的变化方向进行判断。根据寇伟锋等^[19]的判断方法,本实验中采用复合基质 T₉ 栽培的黄瓜幼苗叶片的气孔导度上升、胞间 CO₂ 浓度下降,表明是非气孔限制因素引起了黄瓜幼苗叶片净光合速率的上升。

综合以上分析结果,添加蛭石、珍珠岩或草炭,均能降低或显著降低小麦秸秆复合基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度、水气比、小颗粒含量、pH 值和电导率,却能显著提高通气孔隙度以及大、中颗粒含量。如果添加同比例的蛭石、珍珠岩或草炭,则珍珠岩能更有效地提高复合基质的通气孔隙度,草炭能更有效地降低复合基质的 pH 值,而蛭石能更有效地降低复合基质的电导率。在供试的 11 种基质中,按 V(小麦秸秆基质):V(蛭石):V(草炭)=50:25:25 的比例混配的复合基质的理化性状最佳,用该复合基质进行育苗,黄瓜幼苗叶片叶绿素含量最高、净光合速率最大,长势较好,故该配方的小麦秸秆复合基质可作为黄瓜育苗基质。

参考文献:

- [1] 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(S2): 1-4.
- [2] 李霞, 吕国华, 孟胜. 基质开发的研究现状、存在问题及发展趋势[J]. 安徽农学通报, 2005, 11(7): 28-29.
- [3] 籍秀梅, 孙治强. 锯末基质发酵腐熟的理化性质及对辣椒幼苗生长发育的影响[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(1): 66-69.
- [4] 孙治强, 张惠梅, 王吉庆, 等. 番茄工厂化育苗木糖渣基质与肥料配比研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 177-180.
- [5] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [6] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算[J]. 科学通报, 2007, 52(15): 1826-1831.
- [7] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单[J]. 中国环境科学, 2005, 25(4): 389-393.
- [8] 劳秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 49-52.
- [9] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 423-424.
- [10] 刘超杰, 郭世荣, 王吉庆. 玉米秸秆发酵基质基本理化性状分析[J]. 长江蔬菜, 2008(6): 48-50.
- [11] 程斐, 孙朝晖, 赵玉国, 等. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 19-22.
- [12] 刘超杰, 郭世荣, 束胜, 等. 醋糟基质粉碎程度对辣椒幼苗生长和光合能力的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 330-334.
- [13] 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法[J]. 植物生理学通讯, 1988(3): 62-64.
- [14] 李谦盛. 芦苇末基质的应用基础研究及园艺基质质量标准的探讨[D]. 南京: 南京农业大学园艺学院, 2003: 90-94.
- [15] Garcia-Gomez A, Bernal M P, Roig A. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes [J]. Bioresource Technology, 2002, 83: 81-87.
- [16] 李谦盛, 裴晓宝, 郭世荣, 等. 复配对芦苇末基质物理性状的影响[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(3): 23-26.
- [17] 王素平, 郭世荣, 胡晓辉, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素含量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(1): 32-38.
- [18] 朱新广, 张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 332-338.
- [19] 寇伟锋, 刘兆普, 陈铭达, 等. 不同浓度海水对油葵幼苗光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 73-77.

(责任编辑: 张明霞)