doi：10.11838/sfsc.1673-6257.19170

# 基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜产量、品质和养分利用的影响

屈　锋，张　佼，朱玉尧，王嘉纯，胡晓辉*

（西北农林科技大学园艺学院，农业农村部西北设施园艺工程重点实验室，陕西省设施农业工程技术研究中心，陕西　杨凌　712100）

**摘　要：**为探究基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜生长、产量、品质、养分累积和基质养分利用率的影响，以‘博耐526’黄瓜为试材，设置3种单株基质供应量（5、7和9 L）和2种基质袋摆放高度（地面和下沉20 cm摆放），共6个处理。结果表明，随着基质供应量的增加，黄瓜产量显著提高，品质明显改善，基质供应量9 L/株时，基质袋地面摆放和下沉20 cm摆放的黄瓜单株产量最高，分别为3 443.17和2 799.47 g/株。同时，随着基质供应量的增加黄瓜N、P、K累积量也呈现增加的趋势。在结果盛期，基质供应量为9 L/株地面栽培的处理黄瓜全株N、P、K显著高于其他处理，分别为2 406.88、530.06和3 629.71 mg/株，且P和K的利用率也最高，分别为56.59%和56.36%。仅考虑基质供应量，基质供应量为9 L/株处理的黄瓜果实可溶性蛋白、维生素C、还原糖和游离氨基酸表现最优。通过综合评价方法对黄瓜生长、产量、品质和基质养分利用率分析表明，基质供应量为9 L/株且地面栽培的评分最高，该栽培方式能兼顾植株发育、产量和果实品质良好，可应用于黄瓜实际生产。

**关键词：**基质供应量；基质袋摆放高度；黄瓜；产量；品质；养分利用

黄瓜在世界范围内具有重要的商业价值，需求量逐年增长[1-2]，因其风味独特而深受消费者欢迎[3]。无土栽培是解决设施土壤连作障碍、土传病害等问题最有效的方法[4-5]。目前以农林废弃物为主要原料的有机基质栽培是适宜我国国情的无土栽培主要形式，占无土栽培面积的90%左右，并且能够实现农业废弃物的循环利用，既保护环境又节约资源[6]。与土壤栽培相比，基质袋式栽培简化了操作过程，省去了整地、施肥、起垄、除草等劳动环节，节省了人工，提高了劳动效率；同时与其他栽培容器相比，基质用量少，并配以滴灌方法，可实现水肥的精准控制，易于实现生产的标准化和精细化管理。因此，面对我国未来农村劳动力不足的情况，它具有广阔的应用前景和空间[7-8]。

为实现我国农业向着资源节约型和环境友好型方向发展，农业废弃物基质化循环利用已成为无土栽培基质配方研究的趋势。Zhang等[9]在黄瓜和番茄上发现可用菇渣代替草炭成为基质的主要成分。王涛等[10]研究表明，海鲜菇渣、蛭石、珍珠岩的体积比为1∶1∶1是黄瓜栽培的最佳复合基质配方。在营养液方面，许雪等[11]对营养液配方和供应量进行了研究。采用不同配方营养液培养黄瓜幼苗，发现大量元素的比例和施用量的多少影响着黄瓜植株的生长。宋夏夏等[12]发现水果黄瓜的有机基质栽培最优营养液配方为N 20.67 mmol/L、K 10.58 mmol/L、Ca 4.54 mmol/L。基质袋式栽培种植效果的优劣不仅受到基质配方和营养液供应的影响，还受到基质供应量和基质袋下沉深度的影响。寿伟松[13]研究表明，黄瓜采用炭化稻壳和木屑混合基质塑料花盆栽培时，每株基质用量4 L为宜。周彤[14]发现，5 L基质适合单株黄瓜的基质袋栽培，少于或多于，5 L基质的处理栽培效果不佳。张玉玲等[15]发现，基质床高约为20 cm，底铺塑料膜打孔1 ~ 2 cm，有利于黄瓜生长发育。可见，不同基质栽培容器和栽培方式对黄瓜生长的影响存在差异。

但目前基质栽培中关于基质供应量和基质袋摆放高度，以及两者是否对黄瓜生长产生交互影响的

**收稿日期：**2019-04-22；**录用日期：**2019-07-14

**基金项目：**陕西省重点研发计划（2018TSCXL-NY-05-01）；西安市科技计划项目［201806113YF01NC09（3）］；杨凌示范区产学研用协同创新重大项目（2018CXY-08）。

**作者简介：**屈锋（1993-），男，重庆市梁平县人，硕士研究生，主要研究方向为设施蔬菜栽培生理。E-mail: fengqu085578@163.com。

**通讯作者：**胡晓辉，E-mail: hxh1977@163.com。

研究很少，并且在实际生产过程中基质用量一般是以传统经验为主并未进行标准化，这样易造成基质的浪费或是植株养分供应不足，从而增加成本和降低收益，因此，本试验以袋式栽培基质的供应量和基质袋摆放高度为切入点，探究不同基质供应量和基质袋摆放高度对春季黄瓜生长、产量、品质及养分利用的影响，以期获得一种资源节约型且能促进设施黄瓜优质高效生产的袋式栽培模式。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验场地和试验材料

本研究于2018年3 ~ 6月在陕西杨凌（北纬34° 28′，东经108° 07′）揉谷设施农业基地非对称大跨度塑料大棚内进行，以‘博耐526’黄瓜为试材。试验期大棚内的日平均温度为15.4 ~ 36.1℃，日平均相对湿度变化范围为34.4% ~ 92.8%。试验期间共有31 d阴雨天。试验基质基本理化性质如下：碱解氮、有效磷、速效钾、水溶性钙、水溶性镁、有效硫、有效铁、有效锌、有效铜、有效锰和有效钼含量分别为1 903.78、99.41、988.00、3 893.41、576.93、205.31、53.32、48.65、11.34、10.73和0.85 mg/kg，有机质含量185.42 g/kg，pH值7.28，EC值2.05 mS/cm（生产商品为山东寿光生产的成品有机基质）。

### 1.2　试验设计

2018年3月22日选取长势一致的三叶一心黄瓜苗定植于栽培袋内，栽培袋的规格为100 cm × 20 cm × 16 cm（长 × 宽 × 高），每个栽培袋内种植3株。

试验设置基质供应量和基质袋摆放高度二因素，共6个处理：T1，5 L/株 + 地面栽培；T2，7 L/株 + 地面栽培；T3，9 L/株 + 地面栽培；T4，5 L/株 + 地面下沉20 cm栽培；T5，7 L/株 + 地面下沉20 cm栽培；T6，9 L/株 + 地面下沉20 cm栽培。行距为80 cm，每行摆放9个栽培袋，每个处理3次重复，每个重复小区面积为19.20 $m^2$，种植54株黄瓜。

于黄瓜开花结果期开始浇灌山崎黄瓜专用配方营养液（pH值6.60和EC 1.20 mS/cm），每株黄瓜每天供应800 ~ 1 000 mL营养液（阴雨天不进行灌溉），基质湿度小于60%时进行灌水。其他管理均按照常规田间管理方法进行。

### 1.3　测定项目及方法

#### 1.3.1　生长指标的测定

于黄瓜定植后15 d开始测定植株的株高和茎粗，每隔10 d测定一次，连续测3次。茎粗用游标卡尺在黄瓜子叶下1 cm处测定；株高用卷尺从子叶节至黄瓜最高生长点量取测定；选出最大叶，测量叶长（叶片基部至叶尖的距离）和叶宽（叶片上部肩宽测量值），运用公式 $y$ =0.743 0 $x$（$x$ 为叶长 × 叶宽）计算最大叶面积[16]。

#### 1.3.2　黄瓜产量和品质的测定

每个小区选取5株黄瓜，每次采收时记录单株产量。选取结果盛期果实测定品质。采用考马斯亮蓝G250染色法测定可溶性蛋白含量，采用蒽酮比色法测定可溶性糖和还原糖含量，采用钼蓝比色法测定维生素C含量，采用氢氧化钠滴定法测定有机酸含量，采用水杨酸法测定硝酸盐含量[17]。

#### 1.3.3　植株氮磷钾元素吸收量和基质养分利用率

分别在黄瓜开花初期、结果初期、结果盛期和拉秧期4个时期，每个处理选取5株黄瓜，将根、茎、叶、果分别烘干磨碎过1 mm筛后用于测定全氮、全磷、全钾的含量，将取样植株对应的基质取适量风干后测定速效氮、磷、钾含量。采用 $H_2O_2$ – $H_2SO_4$ 消煮法进行样品消煮，用全氮流动分析仪法、钼蓝比色法和火焰光度法分别对黄瓜不同器官内全氮、全磷与全钾含量进行测定。采用碱解扩散法测定基质中碱解氮含量，速效钾含量采用1 mol/L $CH_3COONH_4$ 浸提、用火焰光度计测定，有效磷含量采用0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提、钼锑抗比色法测定[18]。

基质中速效氮、磷、钾养分利用率 = 植株吸收该养分量 /（基质中原有该养分量 + 化肥中的该养分量）× 100%[19]。

### 1.4　数据处理与统计分析

采用SPSS 25.0进行数据处理和方差分析，Excel 2013进行作图，Duncan法（$P$=0.05或=0.01）进行多重比较。

### 1.5　综合评价分析

依据线性加权模型对黄瓜生长、产量、品质和养分利用率指标进行综合评价[20]。由6组处理的14个指标构成决策矩阵 $X$=（$x$）$_{n\times m}$，采用改进归一化法对决策矩阵进行指标标准化处理[21]。首先将负向指标（有机酸和硝酸盐）按式（1）转化为正向指标。

$$x'_{ij}=max\ x_{ij}-x_{ij}+min\ x_{ij}\ (1 \leqslant i \leqslant n) \qquad (1)$$

式中 $x'_{ij}$ 为第 $i$ 个处理的第 $j$ 个转化后正向指标；$x_{ij}$ 为第 $i$ 个处理的第 $j$ 个原始指标；min $x_{ij}$ 为第 $i$ 个处理中第 $j$ 个指标的最小值；max $x_{ij}$ 为第 $i$ 个处理

中第 $j$ 个指标的最大值。

各项指标按式（2）进行归一化处理，得到新决策矩阵 Y=（$y$）$_{n\times m}$。

$$y_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}x_{ij}} \quad (2)$$

各项指标的具体权重按照熵权法获得。按式（3）、（4）、（5）进行计算，最终获得权重矩阵 $W_j$。

$$E_j=-\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n}x_{ij}\ln y_{ij} \quad (3)$$

$$D_j=1-E_j \quad (4)$$

$$W_j=\frac{D_j}{\sum D_j} \quad (5)$$

依据线性加权模型（6）计算各处理的综合评价值 $y_i'$。

$$y'_i=\sum_{j=1}^{m}w'_jx'_{ij} \quad (6)$$

## 2　结果与分析

### 2.1　不同处理对黄瓜生长的影响

从表 1 和图 1A 可以看出，定植后 15 和 25 d，基质供应量和基质袋摆放高度对株高有显著影响（$P$<0.05）；定植后 35 d 基质供应量对株高影响极显著（$P$<0.01），两者交互作用对株高有显著影响（$P$<0.05）。在测定期内，T6 处理的株高有最大值。从表 1 和图 1B 可以得出，在测定期内，基质供应量、基质袋摆放高度及两者交互作用对黄瓜植株的茎粗无显著影响（$P$>0.05）。茎粗变化范围为 7.78 ~ 12.77 mm，T6 处理的茎粗有最大值。由表 1 和图 1C 可知，在测定期内，基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜最大叶叶面积有显著影响（$P$<0.05），T6 处理最大叶叶面积有最大值，在 15 d 时显著大于其他处理。在整个测定期间，随着生育期的延长，T3 处理的各生长指标与 T6 相比差异逐渐变小。

**表 1　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜株高、茎粗和叶面积的方差分析（$F$ 值）**

| 因素 | 株高（cm） | | | 茎粗（mm） | | | 叶面积（cm$^2$） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 15 d | 25 d | 35 d | 15 d | 25 d | 35 d | 15 d | 25 d | 35 d |
| 基质供应量 | 9.101** | 10.450** | 16.071** | 3.164 | 2.021 | 0.679 | 18.932** | 16.538** | 16.061** |
| 基质袋摆放高度 | 7.032* | 22.34** | 0.993 | 0.094 | 3.808 | 0.323 | 7.034* | 14.496** | 5.724* |
| 基质供应量 × 基质袋摆放高度 | 1.158 | 3.799 | 4.567* | 0.479 | 0.996 | 0.714 | 6.844* | 4.556* | 3.297 |

注：* 表示差异显著（$P$<0.05），** 表示差异极显著（$P$<0.01），下同。

### 2.2　不同处理对黄瓜植株养分累积量和基质养分利用率的影响

#### 2.2.1　黄瓜植株氮素累积量

从图 2 可以看出，随着生育期的延长，黄瓜 N 素累积量呈现持续增加趋势，在结果盛期有最大值。在开花初期 T6 的 N 素累积量（250.69 mg/株）最大，显著高于其他处理；结果前期和结果盛期 T3 的 N 素累积量（分别为 1 409.22 和 2 406.88 mg/株）显著高于其他处理（除结果前期 T6 外）。综上，在测定期内基本呈现出随基质供应量的增加黄瓜 N 素累积量也随之增加。在相同基质供应量时，开花初期 T1 和 T3 的 N 素累积量显著低于 T4 和 T6，而结果盛期呈现相反的情况。且从表 2 可知，基质供应量对黄瓜 N 素累积量有极显著影响（$P$<0.01），初花期和结果盛期黄瓜 N 素累积量受基质袋摆放高度影响极显著（$P$<0.01），两者交互作用仅对开花初期黄瓜 N 素累积量有显著影响（$P$<0.05）。

#### 2.2.2　黄瓜植株磷素累积量

从图 3 可知，与氮素累积量相似，随着生育期的延长黄瓜 P 素累积量基本呈现增加趋势，结果盛期各处理 P 素累积量达到最大值。开花初期和结果前期 T6 的 P 素累积量（分别为 39.88 和 420.72 mg/株）显著高于其他处理。结果盛期 T3 的 P 素累积量（530.06 mg/株）显著高于其他处理。在测定期内随着基质供应量的增多黄瓜 P 素累积量也呈现逐渐升高的趋势。在基质供应量相同时，开花初期 T1 和 T3 的 P 素累积量（11.85 和 27.36 mg/株）显著低于 T4 和 T6（27.17 和 39.88 mg/株）；结果前期 T6 的 P 素累积量显著高于 T3；结果盛期 T1、

T2 和 T3 的 P 素累积量分别显著高于 T4、T5 和 T6。可见，基质袋摆放高度对黄瓜 P 素累积量的影响是动态变化的，在开花初期和结果前期地面下沉栽培更有利于植株 P 素的累积，而在结果盛期地面栽培反而更有利于 P 素的累积。由表 2 可知，在测定的 3 个时期基质供应量对黄瓜 P 素累积量均有极显著影响（$P<0.01$）。开花初期和结果盛期黄瓜 P 素累积量受基质袋摆放高度的影响极显著（$P<0.01$），开花初期和结果前期两者交互作用对黄瓜 P 素累积量影响显著（$P<0.05$）。

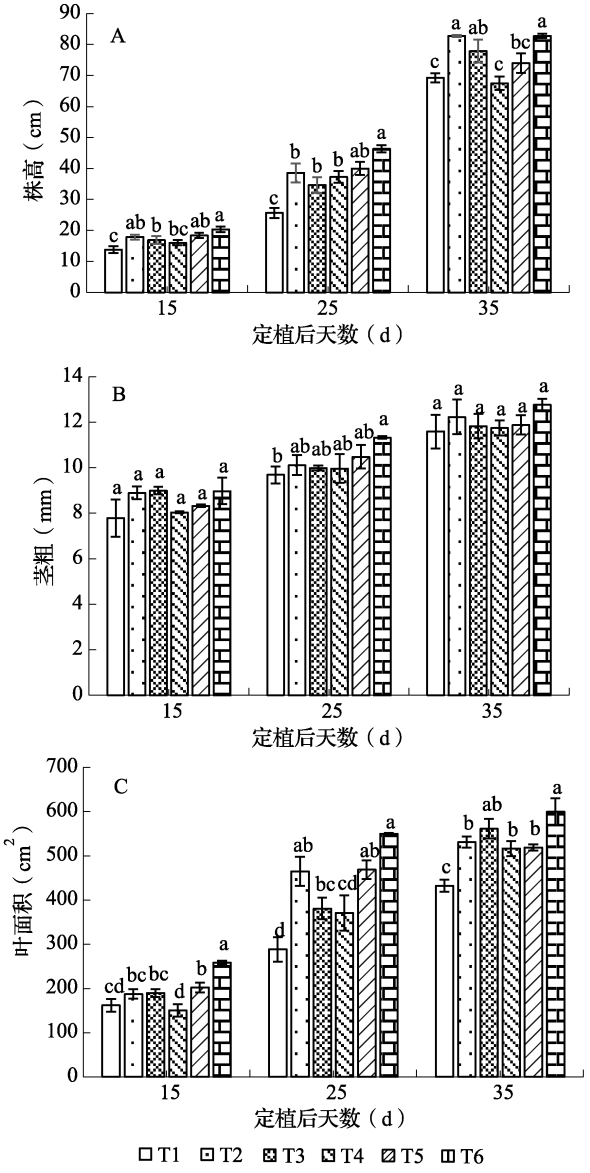


**图 1　基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜株高、茎粗和叶面积的影响**

注：误差线为标准差，同一时间点图柱上不同小写字母表示不同处理之间差异显著（$P<0.05$）。

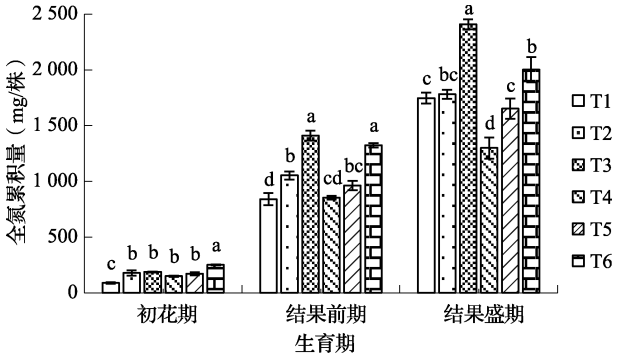


**图 2　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜不同生育时期氮素累积量的影响**

注：同一生育时期不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

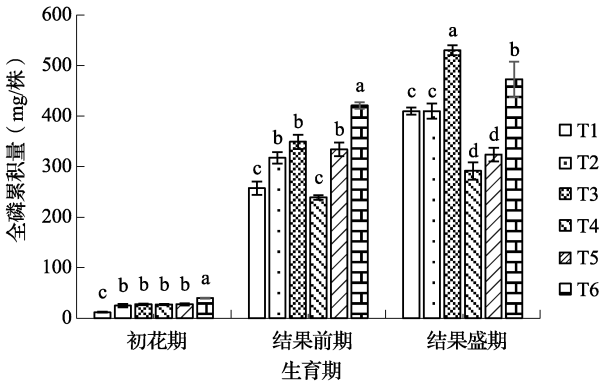


**图 3　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜不同生育时期磷素累积量的影响**

### 2.2.3　黄瓜植株钾素累积量

从图 4 可知，随着生育期的延长各处理黄瓜植株钾素累积量呈现不断升高的趋势。开花初期 T6 的钾素累积量（190.61 mg/株）显著高于其他处理，结果前期 T6 的钾素累积量（1 428.23 mg/株）最高，而结果盛期 T3 钾素累积量显著高于其他处理。随着基质供应量的增多黄瓜 K 素累积量呈现出逐渐升高的趋势。在同一基质量供应下，开花初期 T1 和 T3 的 K 素累积量（55.17 和 135.12 mg/株）显著低于 T4 和 T6；盛果期 T1、T2 和 T3 处理的 K 素累积量（2 870.34、2 897.75 和 3 629.72 mg/株）分别显著高于 T4、T5 和 T6（2 103.18、2 161.34 和 2 719.74 mg/株）。由此可知，不同基质袋摆放高度对黄瓜植株 K 素累积量的影响随生育期的推进而不断变化，开花初期和结果盛期基本表现为地面栽培的处理优于地面下沉的处理。从表 2 可知，在初花期和结果盛期，基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜植株 K 素的累积量有极显著影响（$P<0.01$），但二者的交互作用影响不显著（$P>0.05$）。

表 2　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜 N、P、K 养分积累量的方差分析（*F* 值）

| 因素 | N 累积量（mg/株） | | | P 累积量（mg/株） | | | K 累积量（mg/株） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 初花期 | 结果前期 | 结果盛期 | 初花期 | 结果前期 | 结果盛期 | 初花期 | 结果前期 | 结果盛期 |
| 基质供应量 | 33.732** | 99.264** | 40.731** | 29.170** | 76.794** | 39.571** | 36.529** | 101.417* | 36.381** |
| 基质袋摆放高度 | 15.823** | 3.085 | 26.645** | 44.598** | 6.631* | 33.099** | 33.699** | 1.864 | 118.873** |
| 基质袋摆放高度 × 基质供应量 | 5.272* | 1.225 | 2.480 | 6.748* | 8.395** | 1.343 | 3.188 | 2.222 | 0.525 |

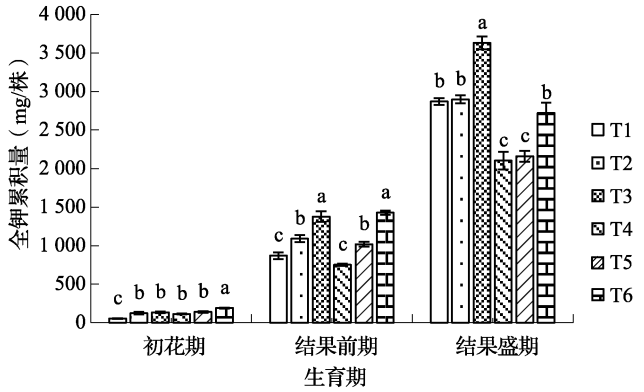


图 4　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜不同生育时期钾素累积量的影响

2.2.4　基质养分利用率

由图 5 可知，3 种元素的基质养分利用率均呈现出随着基质供应量的增加其养分利用率也随之升高。在所有处理中，T3 和 T6 的 N、P、K 利用率最高，分别为 35.18% 和 29.61%、56.59% 和 56.54%、56.36% 和 53.35%，且 T3 的 N 利用率显著高于 T6。从表 3 可以看出，基质袋摆放高度对 P 和 K 利用率影响极显著（*P*<0.01），对 N 利用率影响显著（*P*<0.05），基质供应量及两者交互作用对基质 N、P、K 利用率均有极显著影响（*P*<0.01）。

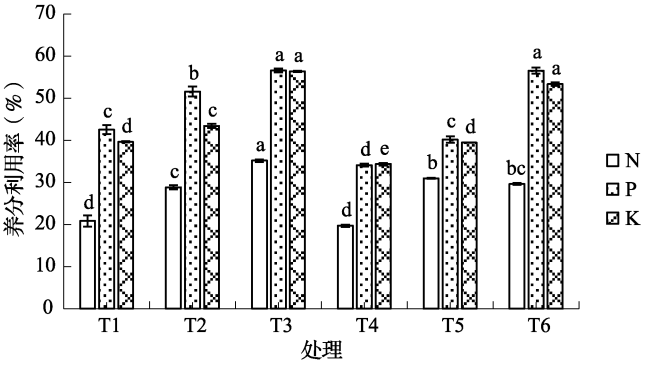


图 5　基质供应量及基质袋摆放高度对基质养分利用率的影响

注：同种元素不同字母表示处理间差异显著（*P*<0.05）。

表 3　基质供应量及基质袋摆放高度对基质养分利用率的方差分析（*F* 值）

| 因素 | N 利用率 | P 利用率 | K 利用率 |
|---|---|---|---|
| 基质供应量 | 212.503** | 250.867** | 1 957.689** |
| 基质袋摆放高度 | 9.154* | 98.173** | 282.503** |
| 基质袋摆放高度 × 基质供应量 | 19.350** | 25.804** | 7.290** |

2.3　不同处理对黄瓜产量、单果重、单株果数的影响

从表 4 可以看出，基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜单株产量有极显著影响（*P*<0.01），且两者交互作用对单株产量影响显著（*P*<0.05）。由表 4 可知，T3 处理单株产量（3 443.17 g/株）显著高于其他处理。在一定范围内，随着基质供应量的不断增多，基质供应量对黄瓜产量的增产幅度逐渐增大，T2 的单株产量比 T1 提高了 11.04%，T3 比 T2 的单株产量提高了 43.96%；T5 的单株产量比 T4 提高了 15.90%，T6 比 T5 的单株产量提高了 19.20%。由此可知，基质供应量和基质袋摆放高度对黄瓜单株产量均有极显著影响（*P*<0.01），黄瓜单株产量受两者交互作用影响显著（*P*<0.05），当基质供应量为 9 L 且地面栽培时单株产量有最大值。

表 4　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜产量的影响

| 处理 | 单株产量（g/株） | 平均单果重（g/个） | 单株果数（个/株） |
|---|---|---|---|
| T1 | 2 153.86 ± 60.57cd | 178.18 ± 9.82a | 11d |
| T2 | 2 391.74 ± 37.56c | 183.12 ± 6.51a | 13cd |
| T3 | 3 443.17 ± 151.51a | 189.73 ± 9.00a | 17 ± 1a |
| T4 | 2 026.29 ± 63.32d | 179.40 ± 2.61a | 11d |
| T5 | 2 348.47 ± 64.79c | 188.68 ± 13.39a | 13 ± 1c |
| T6 | 2 799.47 ± 152.57b | 186.40 ± 2.99a | 15 ± 1b |
| 显著性检验 *F* 值 | | | |
| 基质供应量 | 57.335** | 0.682 | 51.083** |
| 基质袋摆放高度 | 11.148** | 0.029 | 2.083 |
| 基质袋摆放高度 × 基质供应量 | 5.326* | 0.143 | 3.583 |

注：数据以“平均值 ± 标准误”表示。同列数据后不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），* 表示差异显著（*P*<0.05），** 表示差异极显著（*P*<0.01），下同。

2.4　不同处理对黄瓜品质的影响

从表 5 可得，基质供应量对黄瓜果实可溶性蛋白、维生素 C、游离氨基酸和硝态氮含量的影响极显著（$P<0.01$）；基质袋摆放高度对黄瓜果实维生素 C、可溶性总糖、游离氨基酸、有机酸含量有显著影响（$P<0.05$）；二者对黄瓜维生素 C、游离氨基酸和硝酸盐含量的影响存在极显著的交互作用（$P<0.01$）。基质供应量对黄瓜果实可溶性蛋白、维生素 C 和游离氨基酸等的提高有不同程度的促进作用，且基质袋在同一摆放高度时，T3 和 T6 处理上述指标均优于其他两个处理，T3 和 T6 黄瓜果实可溶性蛋白含量（0.165 和 0.142 mg/g）显著高于其他两个处理。基质供应量为 9 L 时，T3 的可溶性总糖和游离氨基酸含量（5.91% 和 1 836.06 mg/kg）显著高于 T6 处理，分别提高了 18.46% 和 23.43%；且 T3 的硝酸盐含量（67.68 mg/kg）显著低于 T6 的硝酸盐含量（81.27 mg/kg）。T3 的有机酸和硝酸盐含量在所有处理中分别处于中间水平和较低水平。

**表 5　基质供应量及基质袋摆放高度对黄瓜品质的影响**

| 处理 | 可溶性蛋白（mg/g） | 维生素 C（mg/100g） | 可溶性总糖（%） | 还原糖（%） | 游离氨基酸（mg/kg） | 有机酸（%） | 硝酸盐（mg/kg） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 0.082 ± 0.005bc | 14.49 ± 0.74d | 5.93 ± 0.17a | 2.64 ± 0.03ab | 1 566.10 ± 26.45b | 1.04 ± 0.02b | 85.21 ± 1.20a |
| T2 | 0.070 ± 0.004c | 17.96 ± 1.09c | 4.93 ± 0.09b | 2.43 ± 0.09b | 1 287.96 ± 62.34de | 1.27 ± 0.01a | 76.73 ± 2.46a |
| T3 | 0.165 ± 0.008a | 19.81 ± 0.57bc | 5.91 ± 0.32a | 2.71 ± 0.03a | 1 836.06 ± 59.51a | 1.12 ± 0.10b | 67.68 ± 1.47b |
| T4 | 0.051+0.006c | 12.12 ± 1.45d | 5.45 ± 0.25ab | 2.56 ± 0.05ab | 1 188.70 ± 64.38e | 1.05 ± 0.02b | 78.86 ± 1.00a |
| T5 | 0.106 ± 0.022b | 21.91 ± 0.09ab | 4.97 ± 0.32b | 2.50 ± 0.10ab | 1 366.49 ± 35.90cd | 1.06 ± 0.01b | 60.67 ± 5.93b |
| T6 | 0.142+0.009a | 24.14 ± 0.61a | 4.99 ± 0.05b | 2.64 ± 0.10ab | 1 487.57 ± 34.01bc | 1.00 ± 0.04b | 81.27 ± 1.69a |
| 显著性检验 $F$ 值 | | | | | | | |
| 基质供应量 | 35.548** | 53.944** | 5.613* | 4.325* | 26.547** | 3.928* | 11.021** |
| 基质袋摆放高度 | 0.535 | 7.655* | 6.096* | 0.225 | 28.474** | 7.667* | 1.598 |
| 基质袋摆放高度 × 基质供应量 | 5.667* | 9.285** | 2.299 | 0.671 | 13.285** | 2.514 | 14.062** |

2.5　黄瓜生长、产量、品质和基质养分利用率综合评价

虽然在测定期间 T6 处理的生长指标高于其他各处理，但株高、茎粗、叶面积在不同测定时间与其他处理相比存在差异不显著的情况；而在产量方面，T3 处理均显著高于其他各处理；但 T3 黄瓜果实可溶性蛋白、还原糖和游离氨基酸含量与 T6 处理相比无显著差异，且维生素 C 含量和硝酸盐含量显著低于 T6 处理；基质 P、K 利用率 T3 和 T6 无显著差异。因此难以通过单一指标对不同处理的黄瓜进行评判，需根据式（1）至式（6）对黄瓜生长、产量、品质和基质养分利用率指标进行综合评价以此来选择最优的处理。由表 6 可知，T3 处理黄瓜的综合评分最高。且基质供应量多的处理其综合评分普遍高于基质供应量少的处理。在基质供应量为 5 和 9 L 时，地面栽培的综合评分高于地面下沉 20 cm 栽培的处理，可以推测适当增加基质供应量且地面栽培有利于黄瓜综合指标的提升，提高黄瓜的综合效益。

**表 6　评价指标隶属度与综合评价指标**

| 处理 | 单株产量 | 可溶性蛋白 | 维生素 C | 可溶性总糖 | 还原糖 | 游离氨基酸 | 有机酸 | 硝酸盐 | 株高 | 茎粗 | 叶面积 | 氮利用率 | 磷利用率 | 钾利用率 | 综合评分 | 排名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 0.012 0 | 0.051 4 | 0.017 0 | 0.002 9 | 0.000 6 | 0.009 2 | 0.002 5 | 0.004 9 | 0.003 5 | 0.000 7 | 0.006 4 | 0.013 1 | 0.012 8 | 0.011 6 | 0.148 5 | 5 |
| T2 | 0.013 3 | 0.043 9 | 0.021 1 | 0.002 4 | 0.000 5 | 0.007 6 | 0.002 0 | 0.005 6 | 0.004 5 | 0.000 7 | 0.008 6 | 0.018 1 | 0.015 5 | 0.012 7 | 0.156 5 | 4 |
| T3 | 0.019 2 | 0.103 3 | 0.023 3 | 0.002 9 | 0.000 6 | 0.010 8 | 0.002 3 | 0.006 3 | 0.004 2 | 0.000 7 | 0.008 2 | 0.022 1 | 0.017 0 | 0.016 5 | 0.237 4 | 1 |
| T4 | 0.011 3 | 0.031 6 | 0.014 2 | 0.002 7 | 0.000 6 | 0.007 0 | 0.002 5 | 0.005 4 | 0.003 9 | 0.000 7 | 0.007 5 | 0.012 4 | 0.010 2 | 0.010 0 | 0.120 0 | 6 |
| T5 | 0.013 1 | 0.065 9 | 0.025 7 | 0.002 5 | 0.000 5 | 0.008 0 | 0.002 5 | 0.006 9 | 0.004 3 | 0.000 7 | 0.008 6 | 0.019 4 | 0.012 1 | 0.011 5 | 0.181 7 | 3 |
| T6 | 0.015 6 | 0.089 0 | 0.028 3 | 0.002 5 | 0.000 6 | 0.008 7 | 0.002 6 | 0.005 2 | 0.004 8 | 0.000 7 | 0.010 2 | 0.018 6 | 0.017 0 | 0.015 6 | 0.219 4 | 2 |

## 3　讨论

有机基质在无土栽培中主要起固定植物根系、保持水肥、缓冲营养供给等作用，除了上述作用外，基质还能为植株提供部分养分[22]。而在我国一些地区有机基质栽培因为管理水平低下，不同基质供应量对栽培作物的生长、产量和品质影响较大，一般较大的基质供应量能获得较好的栽培效

果。本试验研究表明，基质供应量对基质袋栽培黄瓜的株高、叶面积、产量、品质、养分吸收和利用均有显著的影响，总体表现为随基质供应量的增多，黄瓜产量升高，品质提升，植株养分吸收量增多，基质的养分利用率提高。当基质供应量为9 L/株地面栽培时，黄瓜的单株产量（3 443.17 g/株）最高，但黄瓜果实的硝酸盐和有机酸含量在所有处理中处于较低和中等水平。养分的累积吸收量是养分含量与作物干物质积累量的乘积，在作物整个生长过程中养分累积吸收量总体呈增加趋势，收获后期时有所下降[23-24]。9 L/株的黄瓜植株养分累积量显著高于5和7 L/株，随着生育期的推进，植株养分累积量在结果盛期达到最大，这是黄瓜产量和品质形成的前提和基础[25]。磷和钾参与植物糖类代谢，同时钾还能促进和加强植物对磷的吸收及光合产物的运输，并且促进植株体内氮素的代谢[26]。同时，本试验还发现，在一定范围内，随着基质供应量的不断增多，基质供应量对黄瓜产量的增产幅度逐渐增加，这与寿伟松[13]在黄瓜上研究的结论一致。但是当基质供应量超过一定范围时，可能对黄瓜的增产效果将会减小，且投入成本增加。周彤[14]研究结果表明，向30 cm×30 cm的聚丙烯编织袋中加5 L/株的体积比为2∶1的草炭和蛭石混合基质适宜黄瓜生长。寿伟松[13]研究发现4 L/株的炭化稻壳和木屑混合基质较为适宜塑料盆栽黄瓜生长。而本试验的研究结果却表明向栽培袋内加入9 L/株基质最有利于黄瓜的生长，还可显著提高黄瓜的产量和品质，同时提高了基质的养分利用率，与前人的研究结果并不一致，这可能是种植的黄瓜品种不同且所用基质组成成分存在差异造成的。同时，因考虑生产投资成本，本试验最高基质量确定为9 L/株，增加基质量是否提高黄瓜的综合评分还有待于进一步探讨。

基质袋摆放高度对黄瓜最大叶叶面积、产量、果实品质（维生素C、可溶性总糖、游离氨基酸、有机酸）影响显著（$P<0.05$），但对果实可溶性蛋白、还原糖和硝酸盐含量影响不显著（$P>0.05$）。基质袋下沉深度对黄瓜初花期和结果盛期的N、P、K累积有极显著影响（$P<0.01$）。基质供应量相同时，在测定期内地面下沉20 cm处理的株高、茎粗和叶面积指标均大于地面栽培的处理，推测这可能与春季定植后下沉20 cm摆放基质袋温度更有利于黄瓜根系的生长，从而促进地上部的生长有关。地面栽培的黄瓜单株产量均高于地面下沉20 cm栽培的处理，且基质供应量为9 L/株地面栽培的黄瓜果实可溶性总糖和游离氨基酸含量高于地面下沉20 cm栽培的处理，而硝酸盐含量却较地面下沉20 cm栽培的处理更低。可见，地面栽培更有利于黄瓜综合品质的提升，这可能与黄瓜体内N、P、K素的吸收有关，在结果盛期N、P、K的累积量T3均高于T6。矿质营养元素是植物完成各种生理代谢过程必不可少的，植株对矿质营养元素的吸收是干物质积累的基础[27-28]。K素是黄瓜生长不可替代的重要元素之一，在黄瓜整个生命过程中具有重要作用[29]，还可有效提高果实品质，改善果实风味，被称为“品质元素”[30]。

## 4　结论

在本试验条件下，通过对黄瓜的生长、产量、品质和养分利用率进行综合评价发现，基质供应量为9 L/株地面栽培的黄瓜综合评分最高。因此，为促进设施袋式栽培黄瓜资源节约型可持续发展和高效优质生产，在实际生产中推荐使用基质供应量9 L/株地面栽培，该栽培方式既能兼顾果实生长发育、产量与品质，又能实现省工省力。

## 参考文献：


[1] Zhang X Y，Liu X，Lan Z Q，et al. Conjunctive use of composted leguminous shrub *Caragana microphylla*–straw and *Bacillus cereus* reduces nitrogen input but enhances nitrogen use efficiency and cucumber yields in alkaline soils [J]. Applied Soil Ecology，2019，139：69–78.

[2] Li X Z，Sun Y H，Wang X W，et al. Relationship between key environmental factors and profiling of volatile compounds during cucumber fruit development under protected cultivation [J]. Food Chemistry，2019，290：308–315.

[3] 董邵云，曹力，张圣平，等. 嫁接砧木对黄瓜外观品质及果实风味物质的影响 [J]. 中国蔬菜，2013，(22)：44–51.

[4] Martinez–Ruiz A，Lopez–Cruz I L，Ruiz–Garcia A，et al. Uncertainty analysis of modified VegSyst model applied to a soilless culture tomato crop [J]. Acta Horticultrae，2017，1182：249–256.

[5] Kraska T，Kleinschmidt B，Weinand J，et al. Cascading use of *Miscanthus* as growing substrate in soilless cultivation of vegetables (tomatoes，cucumbers) and subsequent direct combustion [J]. Scientia Horticultrae，2018，235：205–213.

[6] 李芳，马艳，孙周平，等. 不同尺寸栽培袋番茄营养基质栽培效果研究 [J]. 中国蔬菜，2014，(7)：43–46.

[7] 郑剑超，智雪萍，董飞，等. 槽式栽培下不同基质配比对黄瓜生长发育和产量的影响 [J]. 浙江农业科学，2018，59(11)：2038–2039.

[8] 王彩云，武春成，闫立英，等. 不同营养基质栽培对黄瓜生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学，2018，(26)：51-53.
[9] Zhang R H，Duan Z Q，Li Z G. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings[J]. Pedosphere，2012，22(3)：333-342.
[10] 王涛，雷锦桂，陈永快，等. 海鲜菇渣复合基质对黄瓜生长、果实品质和产量的影响[J]. 热带作物学报，2019，40(1)：32-38.
[11] 许雪，季延海，张广华，等. 不同营养液配方对黄瓜营养液育苗效果的影响[J]. 北方园艺，2015，(11)：44-48.
[12] 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.
[13] 寿伟松. 黄瓜基质无土栽培技术的研究[D]. 杭州：浙江大学，2006.
[14] 周彤. 不同尺寸袋培对黄瓜生长发育和产量的影响[J]. 北方园艺，2011，(6)：28-30.
[15] 张玉玲，蒙冠霖，虞娜，等. 无土基质栽培方式对设施黄瓜植株长势、产量及水分生产效率的影响[J]. 北方园艺，2015，(12)：43-46.
[16] 裴孝伯，李世诚，张福墁，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，(8)：80-82.
[17] 高君凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
[18] 李国龙. 甘肃戈壁滩日光温室基质栽培番茄和黄瓜氮磷钾均衡管理研究[D]. 北京：中国农业科学院，2014.
[19] 李建勇，高俊杰，徐守国，等. 化肥施用量对有机基质栽培番茄养分吸收利用的影响[J]. 中国生态农业学报，2011，19(3)：602-606.
[20] 何诗行，何堤，许春林，等. 岩棉短程栽培模式中营养液对番茄生长及果实品质的影响[J]. 农业工程学报，2017，33(18)：188-195.
[21] 李美娟，陈国宏，陈衍泰. 综合评价中指标标准化方法研究[J]. 中国管理科学，2004，12(10)：45-48.
[22] 陈耀兵，陈国辉，阮锡春. 不同有机基质栽培对黄瓜生长的影响[J]. 现代农业科技，2018，(17)：65-66.
[23] 康利允，常高正，高宁宁，等. 不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响[J]. 中国农业科学，2018，51(9)：1758-1770.
[24] 侯翔皓，张富仓，胡文慧，等. 灌水频率和施肥量对滴灌马铃薯生长、产量和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2019，25(1)：85-96.
[25] 方栋平，吴立峰，张富仓，等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和养分吸收的影响[J]. 灌溉排水学报，2016，35(11)：34-41.
[26] 张恩平，李天来，葛晓光，等. 钾营养对番茄光合生理及氮磷钾吸收动态的影响[J]. 沈阳农业大学学报，2005，(5)：532-535.
[27] Kang J G，Marc W，Iersel V. Nutrient solution concentration affects shoot：root ratio，leaf area ratio，and growth of sub-irrigated salvia (*Salvia splendens*)[J]. Hort Science，2004，39(1)：49-54.
[28] 白由路. 植物营养中理论问题的追本溯源[J]. 植物营养与肥料学报，2019，25(1)：1-10.
[29] 蒋静静. 复合基质袋培黄瓜水肥耦合效应研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2018.
[30] Masuda M，Takiguchi T，Matsubara S. Yield and quality of tomato fruits，and changes of mineral concentration in different strengths of nutrient solution[J]. Engei Gakkai Zasshi，2007，58(3)：641-648.

**Effects of different substrate supply and substrate bag placement height on cucumber yield，quality and nutrient utilization**

QU Feng，ZHANG Jiao，ZHU Yu-yao，WANG Jia-chun，HU Xiao-hui*（College of Horticulture，Northwest A & F University；Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest，Ministry of Agriculture and Rural Affairs；Shaanxi Province Facility Agriculture Engineering Center，Yangling Shaanxi 712100）

**Abstract**：In order to investigate the effects of different substrate supply and substrate bag placement height on cucumber growth，yield，quality，nutrient accumulation and matrix nutrient utilization，six treatments were set up：three kinds for per plant substrate supply（5，7 and 9 L）and two placement heights of substrate bags（ground placement and sinking 20 cm），using ‘Bo Nai 526’ cucumber was used as the test material. The results showed that the yield of cucumber was significantly improved and the quality was improved obviously with the increase of substrate supply. When the substrate supply was 9 L/plant，the yield of cucumber plants placed on the ground and sinking 20 cm of the substrate bag was the highest，which were 3 443.17 and 2 799.47 g/plant，respectively. At the same time，the cumulative amount of cucumber N，P and K also showed an increasing trend with the increase of matrix supply. When the substrate supply was 9 L/plant and substrate bag was placed on the ground，the accumulation of N，P and K for cucumber was significantly higher than those of the other treatments during full bearing，which were 2 406.88，530.06 and 3 629.71 mg/plant，meanwhile，the P and K utilization rate of this treatment were also the highest，which were 56.59% and 56.36%，respectively. Under the same substrate bag placement height，the soluble protein，vitamin C，reducing sugar and free amino acid of cucumber fruit with the substrate supply of 9 L/plant were the best. The comprehensive evaluation method was used to evaluate the growth，yield，quality and matrix nutrient utilization of cucumber. The substrate supply was 9 L/plant and the ground cultivation had the highest score. Under the cultivation method，the plant development，yield and fruit quality were good，and it could be applied to the actual production of cucumber.

**Key words**：substrate supply；substrate bag placement height；cucumber；yield；quality；nutrient utilization