

# 光合菌肥对基质环境、黄瓜穴盘苗生长及根系形态的影响

陈 宁,赵 贞,林 多,赵 康,李素美,杨延杰

(青岛农业大学 园艺学院,山东 青岛 266109)

**摘要:**以鲁黄瓜3号为试材,研究了不同浓度光合菌肥灌根处理对基质环境、黄瓜穴盘苗生长及根系形态的影响。结果表明,光合菌肥处理均显著增加了基质微生物总量、细菌和放线菌数量,降低了基质中真菌数量,基质中的蔗糖酶、脲酶、中性磷酸酶及过氧化氢酶活性也显著增强;光合菌肥处理还有效地增强了黄瓜幼苗根系活力,增大了幼苗根系吸收面积及根尖数目,促进了根系的形态建成及幼苗生长,显著提高了幼苗质量,且以稀释200倍的光合菌肥处理(T2)效果为最佳。黄瓜幼苗壮苗指数与基质微生物总量呈显著正相关( $r=0.95^*$ ),与细菌数量呈极显著正相关( $r=0.98^{**}$ ),而基质真菌数量则与幼苗壮苗指数呈显著负相关( $r=-0.89^*$ ),因此,在基质理化性状满足黄瓜穴盘苗生长的前提下,应注重基质中细菌数量及微生物总量的增加,以培育黄瓜穴盘壮苗。光合菌肥可改善黄瓜穴盘育苗基质的微生态结构和微生物多样性,促进基质细菌、放线菌和微生物总量增加,同时降低真菌数量,提高基质酶活性,增强基质向黄瓜幼苗提供营养的能力及幼苗根系活力,进而促进幼苗根系形态建成,增大幼苗根系吸收面积,促进幼苗整体生长,最终提高幼苗质量。

**关键词:**光合菌肥;黄瓜;穴盘苗;基质;酶活性;微生物量;根系形态

**中图分类号:**S642.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)03-0210-06

## Effects of Photosynthetic Bacterial Fertilizer on Substrate Environments, Plug-seedling Growth and Root Morphology of Cucumber

CHEN Ning, ZHAO Zhen, LIN Duo, ZHAO Kang, LI Su-mei, YANG Yan-jie

(Horticultural College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** Taking Lu cucumber No. 3 as material, the effects of photosynthetic bacterial fertilizer on enzyme activity and microorganism biomass of substrate, plug-seedling growth and root morphology of cucumber were studied. The result showed that the quantity of micro-biomass, bacteria and actinomyce in substrate were significantly increased, but the quantity of fungi was opposite, after the photosynthetic bacterial fertilizer treatments. Activities of substrate enzymes (Invertase, Urease, Neutral phosphatase and Catalase) were significantly enhanced. Root activity and ability of root morphogenesis of cucumber seedlings were effectively improved by the photosynthetic bacterial fertilizer, also with root absorption area and root tips increased. So, all the photosynthetic bacterial fertilizer treatments could significantly enhance the quality of cucumber seedlings, and the best dilution multiple was 200 times (Treatment 2) for cucumber plug-seedlings. Correlation analysis showed that sound seedlings index (SSI) of cucumber plug-seedlings had a significant positive correlation with substrate micro-biomass ( $r=0.95^*$ ), and had an extremely significant positive correlation with substrate bacteria number ( $r=0.98^{**}$ ), but significant negative correlation of SSI and substrate fungi number ( $r=-0.89^*$ ). In summary, the increasing of bacteria and micro-biomass quantity of substrate should be valued at the premise of the substrate physicochemical property in optimum range, which could promote the quality of cucumber plug-seedlings. Application photosynthetic bacterial fertilizer could improve microbial structure and microbial diversity of cucumber plug-seedling substrate, promote the quantity of bacteria, actinomyce, micro-biomass and substrates enzyme activity, and reduce the quantity of fungi. It also could en-

收稿日期:2014-03-29

**基金项目:**“十二五”农村领域国家科技计划项目(2011BAD12B03-05);山东省农业重大应用技术创新项目(66211W2);山东省现代农业产业技术体系集约化育苗与土壤肥料岗位项目(66210Y8;6621139);青岛市科技计划发展项目(12-1-3-22-nsh)

**作者简介:**陈 宁(1963-),男,山东荣成人,副教授,博士,主要从事设施园艺与蔬菜栽培生理研究。

**通讯作者:**杨延杰(1972-),男,吉林桦甸人,副教授,博士,主要从事设施园艺与蔬菜栽培生理研究。

hance the provision nutrition ability of substrate, promote root coordinational growth, increase root absorption area, accelerate the seedlings growth, and finally improve the quality of cucumber plug-seedlings.

**Key words:** Photosynthetic bacterial fertilizer; Cucumber; Plug-seedling; Substrates; Enzyme activity; Microorganism biomass; Root morphological traits

据报道,我国每年需要育苗移栽的蔬菜商品苗供应量大约为 4 000 亿株,因此,工厂化育苗有着广阔的市场应用前景<sup>[1]</sup>。黄瓜(*Cucumis sativus* L.) 是全世界栽培最为普遍的果菜之一,在蔬菜周年均衡供应中发挥了相当重要的作用,成为工厂化育苗的主要种类之一。基质作为工厂化育苗的主要组成材料,主要起到支持、固定幼苗的作用,另外还能充当幼苗根系营养库,使幼苗根系能按需选择吸收基质中水分和矿质营养<sup>[2-3]</sup>;根系能提供幼苗生长发育所需水分与养分,其生育状况与幼苗质量有着密切的关系<sup>[4]</sup>,而幼苗质量是黄瓜丰产性的基础,对黄瓜植株生长、花芽分化以及果实发育都会产生严重影响<sup>[5]</sup>。因此,调配适宜基质性状为根系提供最佳生长发育环境,对培育黄瓜穴盘壮苗至关重要。

基质微生物种群结构同基质酶活性作为共同评价基质微生态环境质量及基质肥力的重要标志,与作物生长密切相关<sup>[6]</sup>,孙玉良等<sup>[7]</sup>研究指出,施用微生物菌肥能够改善黄瓜幼苗光合特性,提高幼苗根系活力,促进幼苗生长;张钰等<sup>[8]</sup>研究表明,在黄瓜育苗基质中添加适量微生物制剂,能够降低黄瓜幼苗根际枯萎病菌数量,提高幼苗枯萎病抗性。光合细菌(Photosynthetic bacteria, PSB)是一类特殊的微生物菌群<sup>[9]</sup>,近年来,以光合细菌为菌种生产的光合生物菌肥在农业生产中得到了广泛应用,并且取得较好效果。研究表明,施用光合菌肥能有效改善土壤理化性状<sup>[10]</sup>、提高土壤肥力<sup>[10]</sup>、降低土壤农药残留<sup>[11]</sup>、促进种子萌发及生长<sup>[12-13]</sup>、增强植株抗氧化能力<sup>[14]</sup>、提高产量和品质<sup>[15-16]</sup>。而关于施用光合菌肥改善穴盘育苗基质环境以及培育黄瓜穴盘壮苗的研究鲜有报道,涉及黄瓜穴盘壮苗指标与基质微生物数量、酶活性相关性的研究则更少。因此,本研究以黄瓜为试材,研究不同稀释倍数的光合菌肥灌根处理对黄瓜穴盘幼苗质量及基质环境的影响,明确黄瓜壮苗指标与基质微生物数量和酶活性的相关性,旨在为工厂化育苗基质规模生产及培育黄瓜穴盘壮苗提供微生物等环境依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2012 年 5-6 月在青岛农业大学连栋育

苗温室内进行,供试黄瓜品种为鲁黄瓜 3 号(青岛市农业科学研究所生产),5 月 27 日播种于 72 孔穴盘中(每穴容积为 40 mL),基质配比为  $V_{\text{草炭}}:V_{\text{珍珠岩}}=2:1$ 。试验处理分别为光合菌剂原液(青岛普瑞生物制品有限公司生产)稀释 100 倍(T1)、200 倍(T2)、300 倍(T3),以施用清水作为对照(CK)。播种后 0,7 d 分别进行相应稀释倍数的灌根处理,每盘 500 mL,每处理 3 盘,3 次重复,随机排列,常规育苗管理。6 月 17 日,每处理选取 15 株长势一致的黄瓜幼苗进行各项指标测定,每个穴盘随机选取 15 个点进行基质采集,之后混匀过筛用于基质微生物分析和酶活性测定。

### 1.2 测定指标与方法

基质酶活性测定参照关松荫的方法<sup>[17]</sup>:基质过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;基质脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定;基质蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;基质磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定。采用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,马丁氏琼脂培养基培养真菌,高氏一号培养基培养放线菌,稀释平板计数法计数<sup>[18]</sup>。采用常规方法测定番茄幼苗株高(茎基部至生长点)、茎粗(子叶处)、叶面积(第二真叶)、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量,并计算幼苗根冠比、壮苗指数,其中,根冠比=植株地下部鲜质量/植株地上部鲜质量;壮苗指数(Sound seedlings index, SSI)=[(茎粗/株高)+(地下部干质量/地上部干质量)]×全株干质量。将番茄幼苗根系洗净,采用 Epson Perfection V700 Photo 根系扫描仪对根系进行扫描,Win Rhizo 根系分析仪对根系进行分析,指标包括总长度、表面积、根体积、平均直径及根尖数。根系活力采用 TTC 法测定<sup>[19]</sup>。

### 1.3 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel、Origin (Version 7.0) 和 SPSS (7.05) 软件进行数据统计分析及作图,差异显著性比较采用最小显著极差法(LSD 法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度光合菌肥对基质环境的影响

2.1.1 对基质酶活性的影响 如图 1 所示,不同浓度光合菌肥灌根均促进了黄瓜穴盘苗基质蔗糖酶活

性、脲酶活性、中性磷酸酶活性以及过氧化氢酶活性的增强,但随着处理浓度的增大,其促进作用减缓。其中 T1 处理的基质蔗糖酶活性与脲酶活性最高,分别达到 2.85,0.36 mg/(g·d),T2 处理其次,较 T1

处理分别降低了 3.92%,5.32%。基质中性磷酸酶活性及过氧化氢酶活性以 T2 处理最大,分别较对照高出 33.69%,8.30%。

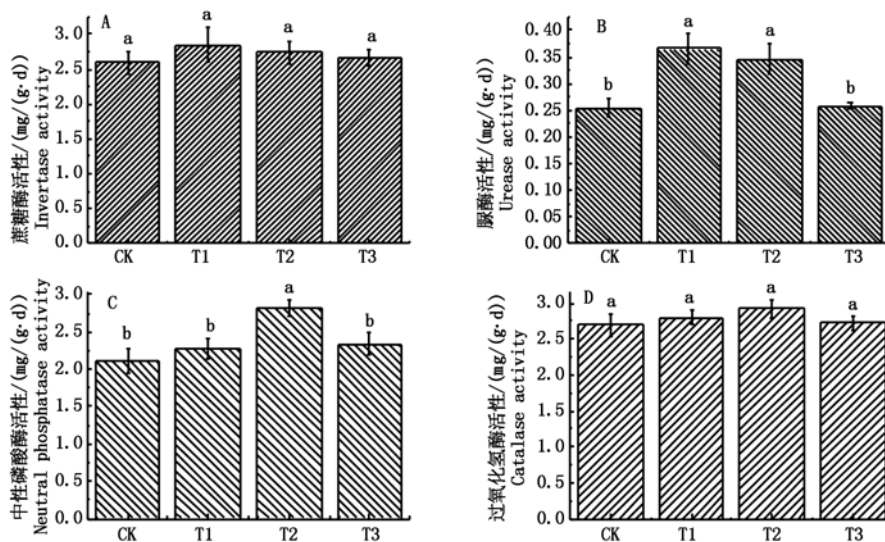


图 1 不同浓度光合菌肥对基质酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on substrates enzyme activity

2.1.2 对基质微生物数量的影响 从表 1 可以看出,施用不同浓度光合菌肥显著提高了基质中微生物数量。T2 处理微生物总量最多,其次为 T3 处理,两者微生物数量分别是对照处理的 2.08 倍和 1.63 倍。与对照相比,不同浓度光合菌肥处理均降低了基质中真菌数量,而细菌和放线菌数量则显著增加

(除放线菌 T1 处理外)。T3 处理的黄瓜育苗基质中真菌数量最低,T1 处理最高;T2 处理的育苗基质中细菌及放线菌数量最高,分别为  $47.63 \times 10^4$ ,  $10.33 \times 10^4$  cfu/g。从微生物总量比例分配来看,T2 在各处理基质中真菌和细菌所占的比例最低,而放线菌比例则最高。

表 1 不同浓度光合菌肥对基质中微生物数量的影响

Tab. 1 Effect of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on biomass of microorganism in substrates

处理 Treatment	微生物总量 /( $\times 10^4$ cfu/g) Micro-biomass	真菌 /( $\times 10^3$ cfu/g) Fungi	细菌 /( $\times 10^4$ cfu/g) Bacteria	放线菌 /( $\times 10^4$ cfu/g) Actinomyces	比例/% Percentage		
					真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actinomyces
CK	27.87c	1.83a	25.36c	2.33c	0.65	90.99	8.36
T1	39.64b	1.67ab	35.47b	4.00bc	0.42	89.48	10.10
T2	58.10a	1.47ab	47.63a	10.33a	0.25	81.98	17.77
T3	45.42b	1.27b	40.96ab	4.33b	0.28	90.18	9.54

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 2~4 同。

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant at 0.05 levels. The same as Tab. 2~4.

## 2.2 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗生长状况的影响

由表 2 可以看出,各光合菌肥灌根处理均不同程度促进了黄瓜穴盘苗株高和茎粗的增加,且随着

浓度的增大,株高和茎粗增加趋势减弱。与对照相比,T2 处理促进了黄瓜幼苗叶面积的增大,而其他处理则相反;黄瓜幼苗经不同浓度光合菌肥处理,根

表 2 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗生长指标的影响

Tab. 2 Effects of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on growth index of cucumber plug-seedlings

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area	根冠比 Root-shoot ratio	壮苗指数 SSI
CK	19.83a	0.369b	29.81ab	0.075b	0.0404b
T1	21.85a	0.374b	23.68b	0.106a	0.0427ab
T2	22.00a	0.417a	34.34a	0.111a	0.0450a
T3	21.60a	0.380b	25.10ab	0.112a	0.0445a

冠比及壮苗指数均有所增大,其中,以 T2 处理的黄瓜幼苗壮苗指数和 T3 处理根冠比增大幅度最大,分别较对照高出 48.00% ,11.39%。

2.3 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗根系生长的影响

2.3.1 对黄瓜穴盘苗根系形态的影响 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗根系形态的影响存在显著性差异(表 3)。与对照相比,各处理幼苗根系长度、根

系表面积、根体积、根系平均直径及根尖数均不同程度增大,但随着光合菌肥处理浓度的增大,根系各指标增大幅度减缓。T2 处理的黄瓜幼苗根系长度、根系表面积及根尖数最高,分别较对照高出 145.38% ,136.87% ,105.47% ;T1 处理的根体积及平均直径最大,T2 处理其次。

表 3 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗根系形态的影响

Tab.3 Effects of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on root morphological traits of cucumber plug-seedlings

处理 Treatment	根长/cm Root length	根系表面积/cm <sup>2</sup> Root surface area	根体积/cm <sup>3</sup> Root volume	平均直径/mm Average diameter	根尖数/(No./plant) Root tips
CK	167.34d	19.98c	0.191c	0.381a	610.3d
T1	375.85b	45.61a	0.441a	0.387a	1 105.5c
T2	410.62a	47.33a	0.437a	0.364ab	1 254.0a
T3	346.20c	37.84b	0.330b	0.347b	1 191.0b

2.3.2 对黄瓜穴盘苗不同根径范围内根系生长的影响 从不同直径根系形态指标分析结果看(表 4),根系直径在 0~0.6 mm 范围内,T2 处理培育的黄瓜幼苗根系最长,根系表面积最大,分别较对照高出 110.96% ,174.28% ,T1 处理次之。当根系直径范围在 0.6~1.2 mm 时,T3 处理的黄瓜幼苗根系长度最长,T1、T2 处理分列其后;根系表面积则以 T2

处理最大。其他直径范围内,各菌肥处理之间根长及根系表面积差异不显著。从不同直径范围内根系分布比例来看,0~0.6 mm 直径范围内,T2 处理培育的黄瓜幼苗根系长度与根系表面积分别占总量的 89.35% ,60.61% ,均高于其他光合菌肥处理,在其他直径范围,除 0.6~1.2 mm 根径以 T3 处理的根长最大外,也以 T2 表现最优。

表 4 不同浓度光合菌肥对黄瓜穴盘苗不同直径范围内根系生长的影响

Tab.4 Effects of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on root growth among different diameter range of cucumber plug-seedling

处理 Treatment	根长/cm Root length			根系表面积/cm <sup>2</sup> Root surface area		
	0~0.6 mm	0.6~1.2 mm	>1.2 mm	0~0.6 mm	0.6~1.2 mm	>1.2 mm
CK	155.82c	16.12b	5.27b	10.46c	3.66b	3.46b
T1	328.72b	35.53ab	10.02a	24.29ab	8.10a	7.36a
T2	366.87a	32.53b	11.96a	28.69a	10.91a	8.24a
T3	308.80b	38.33a	9.69a	20.10b	9.80a	7.20a

2.3.3 对黄瓜穴盘苗根系活力的影响 根系活力能客观地反映根系生命活动。由图 2 可知,与清水对照相比,不同浓度光合菌肥灌根处理对黄瓜穴盘苗根系活力有显著促进,随着光合菌肥处理浓度的增大,黄瓜幼苗根系活力呈现出先增加后减缓的趋势。T2 处理的黄瓜幼苗根系活力最强,是对照处理的 3.85 倍,T1 和 T3 处理之间显著差异。

2.4 基质环境与黄瓜穴盘苗 SSI 的简单相关分析

通过基质生物学性状与黄瓜穴盘幼苗 SSI 的相关分析发现(表 5),黄瓜幼苗 SSI 与基质微生物总量呈显著正相关( $r=0.95$ ),与细菌数量呈极显著正相关( $r=0.98$ ),而基质真菌数量与幼苗 SSI 呈显著

负相关( $r=-0.89$ );幼苗 SSI 与其他基质生物学性状间相关性不显著。

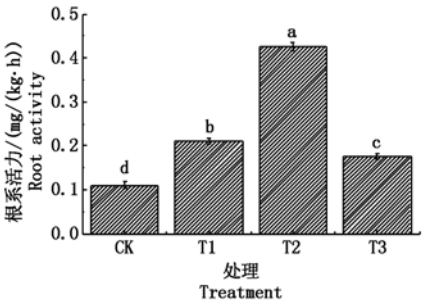


图 2 不同浓度光合菌肥对黄瓜幼苗根系活力的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on root activity of cucumber seedlings

表 5 基质环境与黄瓜穴盘幼苗 SSI 的相关系数

Tab.5 Correlation coefficients of substrate environment traits and SSI of cucumber plug-seedlings

性状 Characters	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
蔗糖酶 Invertase(X <sub>1</sub> )								
脲酶 Urease(X <sub>2</sub> )	0.93 *							
中性磷酸酶 Neutral phosphatase(X <sub>3</sub> )	0.30	0.50						
过氧化氢酶 Catalase(X <sub>4</sub> )	0.56	0.78	0.92 *					
真菌 Fungi(X <sub>5</sub> )	-0.05	0.07	-0.52	-0.22				
细菌 Bacteria(X <sub>6</sub> )	0.40	0.45	0.91 *	0.78	-0.79			
放线菌 Actinomyces(X <sub>7</sub> )	0.30	0.53	1.00 **	0.94 *	-0.44	0.87		
微生物总量 Micro-biomass(X <sub>8</sub> )	0.38	0.49	0.96 *	0.84	-0.71	0.99 **	0.93 *	
壮苗指数 SSI(Y)	0.35	0.34	0.82	0.64	-0.89 *	0.98 **	0.77	0.95 *

注: \* 和 \*\* 分别表示 0.05 和 0.01 水平差异显著。

Note: \* and \*\* mean significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

### 3 讨论与结论

基质酶系统是基质中生物活性最强的部分,它与植株生长之间存在着密切联系<sup>[20-21]</sup>。蔗糖酶活性强弱能够反映基质熟化程度和肥力水平;脲酶直接参与基质有机氮的转化;磷酸酶能促进有机磷化合物或无机磷酸盐转化为植物能利用的无机态磷;过氧化氢酶能催化分解土壤中累积的过氧化氢,减轻其毒害作用<sup>[22-23]</sup>。基质微生物主要由真菌、细菌及放线菌组成,它对于基质肥力的形成和作物营养转化起到了重要作用。细菌对根系微生态的稳定及根际养分的供应起重要作用,某些真菌菌丝与高等植物的根系可形成一种联合体,有利于提高植物抗胁迫能力并促进植物生长,然而致病的病原物中也以真菌最多,另外,放线菌对植株生长发育也起着相当重要的作用<sup>[22]</sup>。本试验结果表明,不同浓度光合菌肥灌根处理,均显著促进了黄瓜育苗基质中微生物总量、细菌及放线菌数量的增加,并且随着光合菌肥处理浓度的增大,其对微生物总量、细菌及放线菌数量的促进作用减弱;各处理降低了基质真菌数量,但随光合菌肥浓度的增大,真菌降低幅度有所减弱。各浓度光合菌肥灌根处理不同程度提高了基质蔗糖酶、脲酶、中性磷酸酶以及过氧化氢酶活性。其中蔗糖酶与脲酶活性随处理浓度的增大逐渐增强,说明施用光合菌肥有助于基质多元氮素的有效转化,利于黄瓜幼苗营养吸收<sup>[24]</sup>;而光合菌肥对中性磷酸酶与过氧化氢酶活性的促进作用随处理浓度的增大有所减缓。

根尖是根系吸收养分和水分以及合成物质的主要部位,其数量多少可以决定植物发根趋势强弱<sup>[4,25]</sup>;而根系发育的好坏又能决定植株利用土壤养分与水分能力的高低<sup>[26]</sup>,在不同直径范围内,其吸收能力存在差异性,以细根的吸收能力较强<sup>[27]</sup>。

幼苗依靠根系吸收水分以及通过光合作用积累光合产物的多少能够反映在株高、茎粗等生长指标上<sup>[28]</sup>。根冠比能够反映植株生长协调性,是衡量植株生长发育平衡的一项重要因素,壮苗指数则具有较强的产量预测性,因而两者可作为评价幼苗质量的指标<sup>[28-29]</sup>。本试验中,各光合菌肥处理均促进了黄瓜幼苗株高和茎粗的增加,幼苗根冠比和壮苗指数较对照也显著提高,说明光合菌肥有利于培育黄瓜壮苗。其中,光合菌剂原液稀释 200 倍处理(T2)培育的黄瓜幼苗茎秆粗壮,壮苗指数最大,说明其培育黄瓜壮苗的效果最好。通过研究不同浓度光合菌肥灌根条件下黄瓜幼苗根系生育状况发现,各处理均显著提高了黄瓜幼苗根系活力,促进幼苗根系形态建成,幼苗根系吸收面积及根尖数目也显著增大,各处理中以 T2 处理促进效果最好。通过不同直径范围内的根系分布比例发现,T2 处理显著促进了根径 0~0.6 mm 范围内根系长度及表面积的增加,说明适当光合菌液浓度有利于保持黄瓜幼苗根系生长的整体协调性。

基质生物学性状与黄瓜壮苗指数的相关分析结果表明,提高基质微生物总量以及细菌数量有利于培育黄瓜壮苗,而基质真菌化则不利于黄瓜幼苗质量的提高,这与前人在土壤中的研究结果一致<sup>[30]</sup>。因此,黄瓜穴盘苗生产过程中,在基质理化性状满足穴盘苗生长的前提下,应尽可能地增加基质中细菌数量及微生物总量,从而更好地培育黄瓜穴盘壮苗。在本试验范围内光合菌肥促进黄瓜壮苗的机理是:光合菌肥的施用改善了基质微生态结构和微生物多样性,促进基质细菌、放线菌和微生物总量增加,同时降低了真菌数量,使基质酶活性提高,利于基质中养分的分解和转化,导致基质向黄瓜幼苗提供营养的能力增强,幼苗根系活力增大,进而促进幼苗根系形态建成,增大幼苗根系吸收面积,促进幼苗地上部

生长,提高幼苗质量。

#### 参考文献:

- [1] 别之龙,黄丹枫. 工厂化育苗原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社,2008.
- [2] 周跃华,聂艳丽,赵永红,等. 国内外固体基质研究概况[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):40-43.
- [3] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社,2003.
- [4] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系[J]. 中国农业科学,2011,44(1):36-46.
- [5] 明村豪,蒋芳玲,胡宏敏,等. 幼苗徒长程度对黄瓜植株生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜,2011(4):29-34.
- [6] 何志刚,王秀娟,董 环,等. 日光温室辣椒连作不同年限土壤微生物种群变化及酶活性研究[J]. 中国土壤与肥料,2013(1):38-42.
- [7] 孙玉良,曹齐卫,张卫华,等. 微生物菌肥对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北农业学报,2012,21(2):132-136.
- [8] 张 钰,孙 锦,郭世荣. 基质中添加微生物制剂对黄瓜幼苗生长和枯萎病抗性的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(4):780-786.
- [9] 魏克强,杨俊仙,魏治中. 光合细菌改善新型烟草品质的初步研究[J]. 微生物学通报,2008,35(2):220-224.
- [10] 关大伟,李 俊,沈德龙,等. 光合细菌 PCR 检测技术的建立与应用[J]. 应用与环境生物学报,2008,14(5):699-704.
- [11] 戴建平,程菊娥,刘 勇,等. 光合细菌 PSB07-15 对辣椒及土壤中甲氧菊酯残留的生物修复[J]. 生态环境学报,2010,19(10):2441-2444.
- [12] 胡青平,卫红萍,高 红,等. 光合细菌 PSB-B 浸种对小麦种子萌发的影响[J]. 麦类作物学报,2011,31(4):720-723.
- [13] 王秋菊,焦 峰,崔战利,等. 光合细菌浸种对水稻种子萌发的影响[J]. 作物杂志,2012(3):126-129.
- [14] 曹蓬勃,张志勇,代海芳,等. 光合细菌发酵液对棉花种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国棉花,2011,38(7):35-36.
- [15] 赵 贞,杨延杰,林 多,等. 微生物菌肥对日光温室黄瓜生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜,2012(18):149-153.
- [16] 林 多,赵 磊,陈 宁,等. 光合菌肥对黄瓜生长和品质的影响[J]. 北方园艺,2010(3):9-11.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [18] 沈 萍,陈向东. 微生物学实验[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [19] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [20] Burke D J, Weintraub M N, Hewin C R, *et al.* Relationship between soil enzyme activities, nutrient cycling and soil fungal communities in a northern hardwood forest[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(4):795-803.
- [21] 李 静,蔚晓燕,唐 明. 黄土高原纸坊沟流域不同植物对土壤微生物生物量和土壤酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(2):387-393.
- [22] 李 威,程智慧,孟焕文,等. 轮作不同蔬菜对大棚番茄连作基质中微生物与酶及后茬番茄的影响[J]. 园艺学报,2012,39(1):73-80.
- [23] 赵 索,吴凤芝. NaCl 胁迫对不同耐盐黄瓜品种生长及根区土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜,2012(10):48-55.
- [24] 马彦霞,任 静,曹 刚,等. 不同茬口设施番茄栽培的根圈基质中酶活性与养分效应[J]. 中国生态农业学报,2013,21(6):681-688.
- [25] 姜琳琳,韩立思,韩晓日,等. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):247-253.
- [26] 潘艳花,马忠明,吕晓东,等. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(5):536-541.
- [27] Sullivan W M, Jiang Z C, Hull R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky blue grass[J]. Crop Science, 2000, 40(3):765-772.
- [28] 杨 军,邵玉翠,仁顺荣,等. 不同基质配方对番茄冬季育苗的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(4):223-226.
- [29] 程 琳,赵立群,吴新新,等. 不同苗龄期黄瓜根系生理生化及形态指标的研究[J]. 中国农学通报,2012,28(1):181-186.
- [30] 张雪艳,田永强,高艳明,等. 温室黄瓜不同栽培制度对土壤微生物群落功能结构的影响[J]. 园艺学报,2011,38(7):1317-1324.