

3 种发酵菌堆制木薯皮基质 对黄瓜幼苗生长和光合能力的影响

王旭^{1,2}, 李勤奋^{1*}, 陈艳丽², 李光义¹

(1. 中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737; 2. 海南大学 园艺园林学院, 海南 儋州 571737)

摘要: 利用 EM 菌、CM 菌和酵素菌 3 种发酵菌堆制木薯皮基质, 研究不同发酵菌堆制的木薯皮作为单一基质和混合基质 [V(木薯皮): V(沙) = 5: 1] 对黄瓜幼苗生长及光合的影响。结果表明: 与没有添加发酵菌堆制相比, 木薯皮添加发酵菌堆制后, 总孔隙度变化不大, 持水孔隙度增加; 根据形态指标判断, 单一基质栽培黄瓜, EM 发酵菌表现最优, 混合基质栽培黄瓜, 酵素菌表现最好; 根据光合潜力来判断, 单一基质栽培时, 酵素菌表现最优, 复合基质栽培时, CM 菌表现最优; 无论是从生长还是光合潜力来讲, 添加发酵菌堆制基质, 栽培黄瓜的效果都要优于不添加发酵菌。

关键词: 发酵菌; 木薯皮; 黄瓜; 基质

中图分类号: S642.2 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2011) 02 - 0243 - 05

Effects of Cassava Bark Substrate with Three Microbial Fermentation Agents on Growth and Photosynthetic Capacity of Cucumber Seedlings

WANG Xu^{1,2}, LI Qin-fen^{1*}, CHEN Yan-li², LI Guang-yi¹

(1. Environment and Plant Protection Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Danzhou 571737, China; 2. College of Horticulture and Landscape, Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract: Three microbial fermentation agents were inoculated into cassava bark to explore their effect on cucumber growth and photosynthetic capacity after mixed with or without sand with an aim to better use cassava bark, a tropical agricultural waste. Little change was seen in the total porosity, while an increase in water-holding porosity when three microbial fermentation agents were added. EM was the best in the single substrate while BYM was the best in the mixed substrate according to cucumber growth state. A rise in Pn and Ls, and a decrease in Ci and Tr were the observed in the mixed substrate compared with the single substrate. The photosynthetic capacity of cucumber was the highest when BYM was inoculated into cassava bark in the single substrate cultivation and CM was added to the mixed substrate.

Key words: microbial fermentation agent; cassava bark; cucumber; substrate

木薯是全球年产亿吨以上的七大作物之一, 目前我国木薯既被用作饲料, 也是重要的工业原料^[1]。木薯皮是木薯食品和淀粉在加工过程中产生的有机废弃物, 经测算, 生产 1 t 淀粉大约产生 0.3 ~ 0.4 t (以干质量计, 包含少量泥沙和小薯块) 的木薯皮^[2], 以往木薯生产企业处理的方式是随处丢弃, 造成严

收稿日期: 2010 - 12 - 08 修回日期: 2011 - 02 - 09

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2009hzs1J021) 和海南省自然科学基金(808118)

作者简介: 王旭(1980—), 男, 讲师, 硕士, 主要从事设施园艺与无土栽培研究, E-mail: wangxu968@yahoo.com.cn;

* 通讯作者: 李勤奋, 副研究员, 博士, E-mail: qinfenli@sina.com。

重的环境污染和资源浪费。木薯皮不仅仅能作为制备活性炭的原料^[3],也被研究成功发酵处理后用于草菇、杏鲍菇等食用菌的栽培^[4]。新鲜有机质经过一段时间的氧化分解后,形成性质稳定、对农作物无毒害的堆肥产品。通过发酵等工艺,利用有机废弃物如芦苇末、木糖渣、玉米秸秆、花生壳、锯末、椰子壳及醋糟等生产基质,用于园艺作物的栽培和育苗,已取得了良好的效果^[5-10]。利用木薯皮作为原料生产有机基质的研究还未见报道。

影响有机废弃物发酵的因素很多,人们主要控制的因素有发酵菌^[11-13]、氮源^[12-15]、C/N 比值^[12,15]等。EM 菌和酵素菌已经在不同的有机废弃物堆制基质中得到应用^[11,13]。本研究在氮源、C/N 比值一致的情况下,通过选用不同的发酵菌进行高温堆制发酵,并利用栽培试验检验基质的效果,筛选适宜木薯皮基质发酵的发酵菌,为木薯皮的基质化利用技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

本研究采用3种发酵菌,分别为CM菌、EM菌和酵素菌(BYM)。其中,CM菌购自山西亿安生物工程有限公司,EM菌购自河南农富康生物科技有限公司,酵素菌购自河南磐龙酵素菌生物工程有限公司。木薯皮购自海南省琼中县松涛淀粉厂。木薯皮高温发酵共设5个处理:①木薯皮堆制发酵(CK);②木薯皮+CM菌堆制发酵(CM);③木薯皮+EM菌堆制发酵(EM);④木薯皮+酵素菌堆制发酵(BYM);⑤木薯皮散放(SAN)。

基质发酵于2009年12月—2010年1月在海南大学儋州校区园艺园林学院试验基地塑料温室中进行。EM菌菌剂发酵木薯皮,按 $m(\text{料}):m(\text{菌液}):m(\text{红糖})=500:2:2$ (料按干质量计算);CM菌液处理木薯皮,按 $m(\text{料}):m(\text{CM菌液}):m(\text{红糖})=100:0.15:0.15$;酵素菌处理木薯皮,按 $m(\text{料}):m(\text{酵素菌}):m(\text{红糖})=1\ 000:10:5$ 直接使用;对照组处理,只加水和红糖2 kg;根据前期试验所测定的木薯皮C/N比,对3种发酵菌处理和CK的发酵堆添加N源,利用尿素($N\%=46.3\%$)将C/N调整为30:1。散放则摊薄平铺在棚内的地上,不加任何物质。将木薯皮分5堆,然后置于塑料薄膜上。操作过程以EM菌液发酵操作为例介绍。将木薯皮置于薄膜上,用暴晒后的自来水把木薯皮淋透,使其含水量在60%(用手抓起木薯皮,指缝有水,但不滴落为标准)。然后将所需的发酵菌、红糖加入一定量的水溶解后倒入洁净的喷雾器里,均匀的喷到淋湿后的木薯皮上,最终木薯皮湿度达到75%左右。起堆,覆膜。至基质堆中的温度和基质C/N趋于平稳时,视为基质发酵完成,利用发酵基质和散放基质进行黄瓜的种植。

基质堆制发酵结束后,将5种处理后的基质各分为2组,1组直接用来进行黄瓜育苗和栽培,另1组与沙混合后 $[m(\text{基质}):m(\text{沙})=5:1]$ 用来进行黄瓜育苗和栽培。

选用“宁运3号”黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种,它是我国首次培育的超市专用黄瓜品种,由江苏省江疏种苗科技有限公司提供。黄瓜栽培试验于2010年4月开始在海南大学儋州校区园艺园林学院试验基地塑料温室中进行。选取饱满、整齐一致的种子,消毒后用蒸馏水浸种8 h,28℃培养箱中催芽,将发芽的种子播于50孔育苗穴盘中,清水浇灌,待黄瓜幼苗2片真叶展平后,定植于30 cm×30 cm(底面直径×高)的栽培袋中,每袋1株。每处理栽植10袋,栽培袋随机区组排列。移栽后灌溉采用开放系统,每天浇1次水,每浇2次水浇1次1/2剂量的园试配方营养液,每次200~300 mL。栽培期间白天温度26~37℃,夜间温度在23~29℃,每天光照时间11~12 h。

1.2 测定方法

参照郭世荣^[16]的方法测定基质的物理性状;定植后25 d测定植株的株高、茎粗、总叶面积和叶绿素含量^[17]。定植40 d后测定黄瓜的气体交换参数及光响应曲线^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同发酵菌处理对木薯皮基质物理性状的影响

从表1可知,与散放的木薯皮相比,堆制后木薯皮的容重有显著增加,添加发酵菌并不能使容重进一步增加;发酵对木薯皮基质的比重影响不大,只有CM菌作为发酵菌时表现突出,显著高于其它4组

处理;发酵后木薯皮的总孔隙度减小,利用CM菌作为发酵基质时减小的程度比较小,但与散放的木薯皮相比也达到了显著水平;发酵后通气空隙度变化的规律:除了EM菌下降幅度更大之外,与总孔隙度基本一致;持水孔隙度发酵后则显著增加,添加发酵菌后进一步增加,以CM菌和酵素菌增加最多。与生产上广泛使用的草炭基质相比,堆制木薯皮基质表现为比重偏大,总孔隙度稍偏小,通气空隙偏大,水气比偏小,说明木薯皮基质的持水能力不足。

表1 不同发酵菌处理对木薯皮基质物理性状的影响

Tab.1 Effects of three microbial fermentation agent addition on cassava bark substrate physical characteristics

处理 Treatments	容重/(g·cm ⁻³) Bulk density	比重 Specific gravity	总孔隙度/% Total porosity	通气空隙度/% Air space	持水空隙度/% Water porosity	水气比 Water gas ratio
CK	0.35a	1.19b	75.0c	34.5c	38.8c	1.09c
EM	0.33b	1.16b	72.2c	32.5d	40.6b	1.25a
CM	0.34b	1.35a	79.2b	37.7b	41.7a	1.13b
BYM	0.31c	1.22b	75.4c	34.8c	40.6ab	1.16b
SAN	0.24 d	1.17b	81.6a	46.7a	32.2d	0.69d
草炭	0.35	0.88	82	28	54	1.93

表1中的草炭来自吉林省通化市^[8], 同列中完全不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

(1) peat in Tab.1 come from Tonghua city, Jilin Province, The data within a column followed by different letters indicates significant level($P < 0.05$).

2.2 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜形态指标的影响

从表2中可知,基质发酵后栽培黄瓜,在黄瓜形态指标上有不同的表现。就单一基质来讲,CM和EM作为发酵菌堆制的基质,黄瓜株高高于CK,酵素菌则较CK有所下降;添加发酵菌后堆制的基质栽培黄瓜,与CK相比,茎粗都有所降低;除EM发酵菌外,CM和酵素菌堆制的基质都降低了黄瓜植株的总叶面积。基质与沙混合后,黄瓜的长势发生了很大的变化:单一基质时表现不佳的酵素菌发酵基质,混沙后在株高、茎粗、总叶面积上均不但超越CK,而且超过其它2种发酵菌。对CK和3种发酵菌处理来说,所有的混沙基质处理叶片叶绿素含量均高于纯基质的处理,其中,酵素菌和CM菌处理的2种不同基质之间差别最大,混沙基质比单一基质分别高出62.4%和42.3%。散放木薯皮基质栽培的黄瓜,各个性状均劣于发酵处理,混合沙后对于黄瓜生长和光合色素的积累反而有一定的抑制作用。根据形态指标和光合色素来判断,单一基质栽培黄瓜,EM发酵菌表现最优;混合基质栽培黄瓜,酵素菌表现最好;混沙后,EM菌堆制的基质在株高和总叶面积上表现下降,而酵素菌堆制的基质在各个指标上都有显著提升。

表2 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜生长的影响

Tab.2 Effects of cassava bark substrate with three microbial fermentation agent on cucumber seedlings growth

处理 Treatment	株高/cm Plant height		茎粗/cm Stem diameter		总叶面积/cm ² Leaf area		叶绿素含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) Chlorophyll content	
	基质	$m(\text{基质}):m(\text{沙})$	基质	$m(\text{基质}):m(\text{沙})$	基质	$m(\text{基质}):m(\text{沙})$	基质	$m(\text{基质}):m(\text{沙})$
		=5:1		=5:1		=5:1		=5:1
CK	42.9±4.92	51.1±6.27	0.541±0.034 6	0.530±0.021	411.3±19.22	495.6±12.12	25.4±3.12	27.1±4.28
CM	48.1±5.41	60.5±4.29	0.44±0.006 5	0.585±0.001	322.6±22.88	586.3±18.87	21.5±4.37	30.6±3.46
EM	54.4±5.43	38.5±11.53	0.539±0.054 7	0.573±0.008	504.1±26.28	381.7±29.06	25.3±2.61	26.2±2.90
BYM	36.6±6.90	63.5±6.77	0.475±0.046 3	0.614±0.024	271.8±10.71	596.3±25.31	19.4±3.14	31.5±1.58
SAN	22.8±2.45	15.7±0.40	0.371±0.009	0.358±0.014	135.2±8.01	51.1±2.21	17.5±1.96	14.8±0.82

2.3 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜气体交换参数的影响

由表3可以看出,与对照相比,添加发酵菌后堆制基质栽培的黄瓜净光合速率下降,在3种发酵菌中,以酵素菌最高,EM菌最低;气孔导度以CM发酵菌表现最好,EM菌最低,但EM菌与酵素菌并没有显著差异;酵素菌的胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率最高,EM菌的蒸腾速率最低;与对照相比,发酵菌处理降低了黄瓜的气孔限制值。木薯皮基质与沙混合作为栽培基质后,3种发酵菌处理基质栽培黄瓜的净光合速率都要高于单纯的木薯皮基质,增幅以EM菌最大,CM菌次之;蒸腾速率菌表现出下降的态势,

下降幅度以酵素菌最大,复合基质的蒸腾速率只有 3.54 mmol/(m²·s);气孔限制值有所增加,EM 菌发酵堆制基质栽培的黄瓜最大。散放的木薯皮基质与对照和其它 3 组处理相比,表现出明显的不同:净光合速率较低,气孔导度较高,胞间二氧化碳浓度偏高,蒸腾速率偏高,气孔限制值较低。复合基质与单一基质相比,表现为:蒸腾速率上升,气孔导度变化不大,胞间二氧化碳浓度降低,蒸腾速率降低,气孔限制值增加。

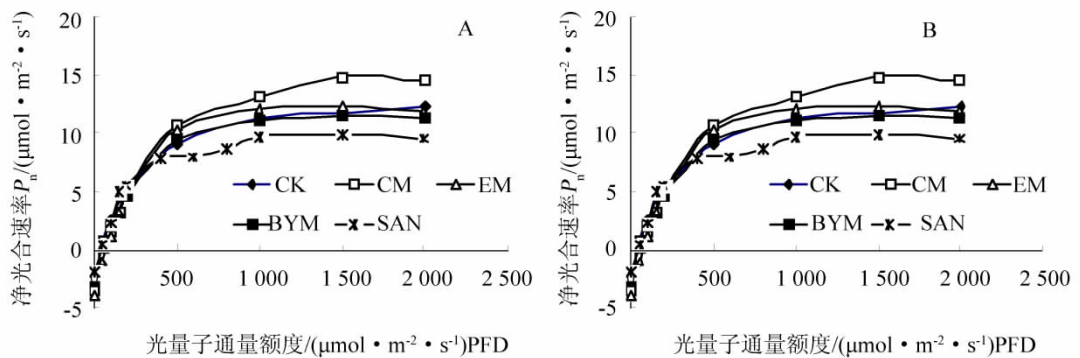
表 3 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜气体交换的影响

Tab.3 Effects of Cassava Bark substrate with three microbial fermentation agent on gas exchange of cucumber seedlings

处理 Treat ment	净光合速率 P_n /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		气孔导度 G_s /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		胞间二氧化碳浓度 C_i /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)		蒸腾速率 T_r /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		气孔限制值 L_s	
	$m(\text{基质}):m(\text{沙})$		$m(\text{基质}):m(\text{沙})$		$m(\text{基质}):m(\text{沙})$		$m(\text{基质}):m(\text{沙})$		$m(\text{基质}):m(\text{沙})$	
	基质	=5:1	基质	=5:1	基质	=5:1	基质	=5:1	基质	=5:1
CK	10.07	10.79	0.378	0.346	318	308	4.28	3.76	0.201	0.226
CM	8.14	12.15	0.432	0.440	344	315	4.57	4.27	0.138	0.215
EM	7.31	11.27	0.320	0.325	337	313	3.87	3.71	0.161	0.224
BYM	9.76	10.91	0.356	0.359	352	332	6.26	3.54	0.117	0.185
SAN	5.31	6.73	0.815	0.786	367	367	6.43	6.07	0.087	0.099

2.4 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜光响应曲线的影响

从图 1 - A 可以看出,5 种处理 P_n 都随 PFD 的增强而逐渐增大,当光强超过 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后,酵素菌堆制的基质栽培黄瓜的 P_n 超过其它 4 组处理,其 P_n 表现的规律由大到小依次为:酵素菌、CK、EM 菌、CM 菌、散放;光补偿点(LCP)可反映植株对弱光的利用程度,5 种处理的光补偿点表现由强到弱依次为:散放、EM 菌、CM 菌、CK、酵素菌,说明散放的基质栽培黄瓜对弱光的利用率最低,酵素菌最高;对光饱和点(LSP)来说,散放的基质为 500 ~ 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,发酵菌处理和 CK 的 LSP 均为 1 000 ~ 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,发酵堆制的各个处理间并没有明显区别;当光强达到饱和点时的光合速率成为最大光合速率($P_{n\text{max}}$),酵素菌发酵堆制基质栽培黄瓜的 $P_{n\text{max}}$ 最大,CK 和 EM 菌差别不大,CM 菌次之,散放的木薯皮基质 $P_{n\text{max}}$ 最小。



A 为单一木薯皮基质, B 为混合基质。

A stands for cassava bark substrate, B is mixed substrate.

图 1 不同发酵菌处理的木薯皮基质对黄瓜光响应曲线的影响

Fig.1 Effects of Cassava Bark substrate with three microbial fermentation agent on P_n - PFD curve of cucumber seedlings

由图 1 - B 可知,基质与沙混合后,各个处理的 $P_{n\text{max}}$ 都表现出超越单一基质的特点,但增大的幅度以 CM 菌最多,其 $P_{n\text{max}}$ 达到 14.9 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,较单一基质增加 135%, $P_{n\text{max}}$ 的大小依次为 CM 菌、EM 菌、CK、酵素菌、散放;5 个处理的 LSP 均为 1 000 ~ 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

3 结论与讨论

孙治强等^[13]研究了用 EM 菌和酵素菌发酵花生壳基质在番茄幼苗上的效果,发现 EM 菌堆制的花生壳基质在番茄幼苗株高、茎粗等方面要优于酵素菌。从表 2 可知,EM 菌堆制的木薯皮基质在黄瓜植株株高、茎粗等方面要优于酵素菌,与孙治强等在花生壳上的研究结果一致。孙治强等发现,酵素菌堆

制基质培育的幼苗根冠比要大于 EM 菌,而较大的根冠比可保证植株在后期的长势中有较大的生长潜力,从图 1 - A 中可知,酵素菌发酵基质的黄瓜,其 $P_{n\max}$ 大于 EM 菌,从光合的角度印证了酵素菌在木薯皮基质和花生壳基质的堆制中效果一致。从黄瓜幼苗生长的形态指标看,EM 菌作为发酵菌要优于酵素菌和 CM 菌,但 EM 菌堆制的基质与沙子混合作为育苗基质后,黄瓜的生长与单一基质相比明显下降,有趣的是,CM 菌和酵素菌则表现为上升。此外,发酵后的木薯皮基质栽培黄瓜只有 EM 菌表现好于对照;但木薯皮基质与沙的混合基质则以酵素菌表现最优,尽管其按照单位面积计算的 P_n 在 5 个处理中并不突出,但借助于较高的光和色素含量和较大的总叶面积,酵素菌处理的基质栽培黄瓜在株高和茎粗等方面不但优于 CK,也比其它 2 种发酵菌要好。CM 菌作为发酵菌在单个叶片的光合速率上高于酵素菌,并且其 $P_{n\max}$ 也高于酵素菌,说明其单个叶片的光合能力较强,但终因其光合面积小于 CM 菌作为发酵菌的黄瓜植株,它的株高和茎粗低于酵素菌。复合基质的各个处理与单一基质在气孔导度上并没有明显变化,但胞间二氧化碳浓度在与沙混合后均有不同程度的减少,说明二氧化碳的利用效率提高,进而增强了植株的净光合速率。

光合作用是构成植物生产力的最主要因素。叶片光合速率的降低由气孔因素和非气孔因素两方面原因引起,判断的主要依据是根据 C_i 和 G_s 的变化方向。Farquhar 和 Sharkey^[19] 认为,可以由 C_i 值的变化情况判断气孔限制是否为 P_n 下降的因素,如果 P_n 与 C_i 同时下降,可以认为 P_n 的下降是由气孔限制引起的,如果 P_n 下降而 C_i 升高,说明 P_n 的下降是由非气孔因素造成的;只有 C_i 和 G_s 同时下降的情况下,才能证明光合速率的下降主要是由气孔因素引起的。本试验中,添加发酵菌后,与 CK 相比,黄瓜的 P_n 均下降, G_s 只有 EM 菌作为发酵菌时下降,但所有发酵菌处理的 C_i 均上升,说明发酵菌处理后黄瓜 P_n 降低主要是因为非气孔因素造成的。

没有经过高温堆制的木薯皮不能作为黄瓜的栽培基质使用,木薯皮堆制后比重增加,总孔隙度减小,持水空隙与通气空隙之比增加,添加发酵菌并没有显著改变木薯皮基质的容重和总孔隙度;没有添加发酵菌堆制的木薯皮基质,基本上可以满足黄瓜育苗和栽培的需要,但增加 EM 发酵菌后,黄瓜的生长状况最好;基质与沙混合后,酵素菌堆制基质栽培的黄瓜生长表现最好。无论是从生长还是光合潜力来讲,添加发酵菌堆制基质,栽培黄瓜的效果都要优于不添加发酵菌,建议在生产上推广应用。

参考文献:

- [1] 罗培敏. 我国木薯现状分析与发展研究 [J]. 耕作与栽培, 2002(3): 51 - 52.
- [2] 侯宪文, 邓晓, 李光义, 等. 木薯皮堆肥过程中酶活性的变化 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1976 - 1979.
- [3] 濮文辉. 用木薯皮制备表面活性碳 [J]. 世界热带农业信息, 2005(10): 43.
- [4] 劳有德, 韦文添, 岑志坚. 木薯皮发酵料栽培杏鲍菇技术 [J]. 食用菌, 2003(5): 22.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Hernández L, Gascó A M, Gascó J M, et al. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(1): 125 - 131.
- [8] 孙守如, 杨秋生, 董晓宇, 等. 玉米秸有机栽培基质矿质营养及理化性质分析 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 41 - 44.
- [9] 李萍萍, 胡永光, 赵玉国, 等. 利用醋糟开发植物栽培基质的发酵技术 [J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4): 79 - 80.
- [10] 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.
- [11] 朱忠贵, 李萍萍. EM 在苇末基质发酵中的应用试验 [J]. 食用菌, 2004(1): 28 - 29.
- [12] 高新生. 玉米秸基质发酵关键技术及发酵基质应用效果研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2005.
- [13] 孙治强, 赵永英, 倪相娟. 花生壳发酵基质对番茄幼苗质量的影响 [J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 86 - 90.
- [14] T R D Mantovani, G A Linde, N B Colauto. Effect of the addition of nitrogen sources to cassava fiber and carbon - to - nitrogen ratios on *Agaricus brasiliensis* growth [J]. Canadian Journal of Microbiology, 2007, 53(1): 139 - 143.
- [15] 董晓宇, 孙守如, 杨秋生, 等. 碳氮比和氮源对比对玉米秸基质发酵效果的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(2): 167 - 169, 179.
- [16] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 134 - 135, 423 - 424.
- [17] 王学奎. 植物生理生化实验技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 280 - 282.
- [18] 王旭, 郭世荣, 徐刚, 等. Ca^{2+} 对低氧胁迫下黄瓜幼苗光合效率和细胞超微结构的影响 [J]. 江苏农业学报, 2007, 23(1): 39 - 45.
- [19] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317 - 345.