

# 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

张雪艳<sup>1,2</sup>, 田永强<sup>2</sup>, 高艳明<sup>1</sup>, 高丽红<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup>宁夏大学农学院, 银川 750021; <sup>2</sup>中国农业大学农学与生物技术学院蔬菜系, 北京 100193)

**摘要:** 以连作 8 年黄瓜的温室土壤为研究对象, 设计了 4 种栽培制度, 除 CS<sub>3</sub> 早春茬种植番茄外, 其它处理传统两茬均为黄瓜, 以传统两季种植。夏季休闲处理为对照, 进行 3 年的盆栽试验, 采用第 3 年夏茬后数据评价不同栽培制度对土壤微生物功能结构多样性, 碳源利用, 微生物量碳、氮和秋冬茬黄瓜产量的影响。结果表明, 连作黄瓜土壤夏季填闲大蒜 (CS<sub>4</sub>)、茼蒿 (CS<sub>2</sub>)、菠菜—白菜 (CS<sub>3</sub>) 后微生物群落功能多样性、均匀度和 Biolog ECO 板每孔平均颜色变化率 (AWCD) 相对于对照均显著增加, 其 72 h AWCD 值分别增加了 57.0%、26.1%、57.2%, 在主成份 1 和主成份 1 至 3 加权上, 对照与其他处理存在显著差异; CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub> 在多聚物和碳水化合物的利用上显著高于对照, 且 CS<sub>2</sub> 对芳香类化合物的利用显著高于其他处理; CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub> 微生物量 C/N 分别为 14.4、14.9、9.3, 显著高于对照; 且 CS<sub>2</sub> 与 CS<sub>4</sub> 显著增加了秋冬茬黄瓜的产量。综合结果表明: CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub> 均能显著改变土壤微生物碳源, 从而改变微生物群落的组成及其对土壤碳源的利用。

**关键词:** 黄瓜; 栽培制度; 土壤微生物群落

**中图分类号:** S 642.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 07-1317-08

## The Effect of Different Cultivation Systems in Greenhouse Cucumber on Soil Microbial Function Structure

ZHANG Xue-yan<sup>1,2</sup>, TIAN Yong-qiang<sup>2</sup>, Gao Yan-ming<sup>1</sup>, and GAO Li-hong<sup>2,\*</sup>

(<sup>1</sup>School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; <sup>2</sup>Department of Vegetable Science, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** The soil continuous cropping cucumber 8 years was as material, 4 different cultivation systems were designed, excepting the tomato was planting in the early spring season in CS<sub>3</sub> and cucumber was in the traditional two season. The experiment was carried by pot experiment 3-year. The summer season data in third year was used to examine the effect of four different cultivation systems on soil microbial function structure diversity, carbon sources, microbial biomass C and N, and autumn winter season cucumber yield. The results showed that, catching garlic (CS<sub>4</sub>), crown daisy (CS<sub>2</sub>) and spinach-chinese cabbage (CS<sub>3</sub>) could significantly increase microbial community function structure diversity, evenness and Average well color develop (AWCD) comparing to control. The AWCD value in the 72 h were increased by 57.0%, 26.1%, 57.2% separately. Principal component 1 and 1 to 3 weighting,

**收稿日期:** 2011-02-24; **修回日期:** 2011-05-03

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (30972034); 现代农业产业技术体系建设专项 (Nycyt-35-gw22); 北京市果类蔬菜创新团队建设项目

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: gaolh@cau.edu.cn; Tel: 010-62732825)

control was obviously differed from other cultivation systems. Comparing to control, the utilization of polymer and carbohydrate by CS<sub>2</sub>, CS<sub>3</sub>, CS<sub>4</sub> were significantly higher, and their microbial biomass C/N were 14.4, 14.9, 9.3, also significantly higher than control, the utilization of phenolic compounds by CS<sub>2</sub> was significantly higher than others, and CS<sub>2</sub> and CS<sub>4</sub> increased autumn winter cucumber yield as well as. Sum the results up, CS<sub>2</sub>, CS<sub>3</sub> and CS<sub>4</sub> could change the carbon sources significantly, thus change the component of microbial community and the utilization of carbon sources.

**Key words:** cucumber; cultivation systems; soil microbial community

黄瓜是我国温室的主栽作物之一, 因常年连作引发的土壤质量退化问题尤为突出。连作破坏根际微生物的平衡, 使“细菌型”土壤向“真菌型”土壤转化; 轮作则不断更换作物, 阻止了土壤微生物的定向恶性发展, 使有益微生物的作用大于有害微生物的作用, 形成了新的生态体系(尹睿等, 2004)。土壤微生物是温室连作障碍产生的内部操控者, 且连作障碍多是由于微生物区系变化引起的(Komada, 1988; Zeels, 1999)。诸多学者针对黄瓜的连作和轮作下土壤微生物群落变化做了探讨与研究。马云华等(2005)研究证明随着连作年限的增加, 日光温室黄瓜连作土壤中酚酸类物质积累, 且黄瓜根区土壤中细菌、放线菌和微生物总量均随土壤酚酸物质的增加而先升后降。胡元森等(2007)采用变性梯度凝胶电泳(DGGE)监测黄瓜根际优势菌群的动态变化, 发现随着连作茬次的增加, 土壤可培养微生物数量减少, 其中细菌数量降低尤为明显, 黄瓜连作致使少数真菌种群富集, 种群变化呈现单一化趋势, 多样性水平降低。杨建霞等(2005)通过对日光温室黄瓜连作土壤根际微生物变化的分析得出土壤微生物数量表现较明显的温室效应, 与非连作土壤比较, 连作土壤真菌数量明显增多。吴凤芝等(2008)采用常规稀释平板法和 Biolog ECO 板研究小麦和大豆茬口对黄瓜土壤微生物生态特征的影响, 发现两种茬口均显著提高了黄瓜土壤真菌、细菌和放线菌的数量, 显著降低了真菌型致病菌尖孢镰刀菌数量, 且显著提高了土壤微生物群落的 Shannon 指数、均匀度指数、Simpson 指数和 McIntosh 指数以及土壤微生物量碳。

本课题组前期的试验结果表明, 温室黄瓜栽培制度中夏季填闲青蒜、菠菜, 相对于传统两季种植(夏季休闲)显著改变了土壤微生物群落的组成和微生物结构的多样性(吴艳飞等, 2008; 张雪艳等, 2009)。但是针对连作黄瓜采用不同栽培制度处理后微生物群落功能如何变化, 碳源利用如何变化, 鲜见报道。本试验中以连作 8 年黄瓜的温室土壤为研究对象, 设计填闲、间作、轮作不同栽培制度, 探究栽培制度对连作黄瓜土壤微生物群落功能多样性、土壤微生物碳和氮以及主栽黄瓜产量的影响, 为揭示栽培制度对改善黄瓜连作温室土壤质量, 维持温室土壤健康提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

供试土壤为连作 8 年黄瓜的温室土壤, 土壤 EC 为  $0.73 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ , pH 6.88, 全氮  $1.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效氮  $192.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $824.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $805.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 细菌、放线菌、真菌、镰刀菌分别为  $1.02 \times 10^8$ 、 $7.1 \times 10^6$ 、 $9.2 \times 10^4$  和  $7.0 \times 10^3 \text{ Cf} \cdot \text{g}^{-1}$ , 养分含量明显高于一般的菜田土壤, 并已出现严重的次生盐渍化。

2004 年 6 月—2007 年 1 月在中国农业大学科学园日光温室内进行不同栽培制度的盆栽试验, 塑料盆直径 25 cm, 深 28 cm。为防止试验过程中塑料盆受外界环境的影响, 将塑料盆埋于地下, 盆口与地面齐平。

供试黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 品种为‘津优3号’, 菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 品种为耐热的‘Kerdion RZ’, 白菜 (*Brassica cam pestris* ssp. *chinensis* Makino) 品种为‘青梗王’, 大蒜 (*Allium sativum* L.) 品种为‘成都二水早’, 番茄品种为‘中杂9号’, 茼蒿 (*Chrysanthemum segetum* L.) 品种为‘杭州大叶茼蒿’。

试验设计见表1, 以连续种植黄瓜且夏季休闲的处理为对照。各处理中除CS<sub>3</sub>外, 均以生产黄瓜为主, 其中间作和轮作青蒜处理中青蒜的种植密度均为每盆5株。所有处理均3次重复, 每个处理小区栽培12盆, 处理间随机区组排列。休闲期间所有处理均不施肥, 只根据栽培作物对水分的需求进行水分管理。秋冬茬和早春茬定植作物前, 每盆施入膨化鸡粪500 g, 为保证各处理养分投入量相同, 在黄瓜生长期间各处理补充相同量的山崎黄瓜营养液, 同时控制每盆的浇水量一致。在试验的第3年夏茬结束后取样, 每个重复取中间10盆0~20 cm表层土壤, 10盆土样混匀后研磨, 过2 mm筛, 置于4℃冰箱保存, 分别用于土壤微生物量碳和氮量分析、微生物功能多样性分析。

表1 试验设计  
Table 1 Design of experiment

栽培制度处理 Cultivation systems treatments	早春茬 (2—6 月) Early spring season (February - June)	夏茬 (6—9 月) Summer season (June - September)	秋冬茬 (9 月—翌年 1 月) Autumn winter season (September - January)
对照 Control	黄瓜 Cucumber	休闲 Fallow	黄瓜 Cucumber
CS <sub>1</sub>	黄瓜 Cucumber	休闲 Fallow	黄瓜 (间作大蒜) Cucumber (Garlic)
CS <sub>2</sub>	黄瓜 Cucumber	茼蒿 Crown daisy	黄瓜 Cucumber
CS <sub>3</sub>	番茄 Tomato	菠菜—白菜 Spinach - Chinese cabbage	黄瓜 Cucumber
CS <sub>4</sub>	黄瓜 Cucumber	大蒜 Garlic	黄瓜 Cucumber

## 1.2 测定项目和方法

### 1.2.1 土壤微生物量碳和氮分析

土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸—茚三酮比色法 (吴金水 等, 2006); 土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸浸提—容量分析法 (吴金水 等, 2006)。

### 1.2.2 土壤微生物功能多样性的测定

参照李娟等 (2008) 方法, 称取相当于 10 g 烘干土壤质量的湿润土壤于 250 mL 三角瓶中, 加入 90 mL 去离子水, 4℃下振荡 1 h (200 r·min<sup>-1</sup>), 静置 3 min 后吸取 2 mL 加入至 50 mL 试管中, 加入 18 mL 去离子水, 充分混和后吸取 2 mL 至另一试管中, 再加入 18 mL 去离子水, 得到土壤 10<sup>-3</sup> 的稀释液。吸取 150 μL 土壤稀释液加至 Biolog ECO 板的微孔中。将 ECO 板放在暗室 25℃下培养, 每 24 h 用 Biolog 自动读数装置在 590 nm 条件下测定其吸光值, 以每孔平均颜色变化率 (Average well color development, 以下简称 AWCD) 作为整体活性的有效指数之一。

### 1.2.3 秋冬茬黄瓜产量统计

记录温室每年秋冬茬各小区黄瓜产量。

## 1.3 数据分析

微生物群落结构用 AWCD 作为整体活性的有效指数, 其公式为  $AWCD = [\Sigma(C - R)]/95$ , 其中 C 为每孔读数, R 为对照读数 (Zak, 1994)。选用第 72 h 数据进行 PCA (Principal component analysis) 和六大碳源利用程度 (Yao et al., 2000), Shannon 指数与 Shannon 均匀度指数 (Garland & Millis, 1991) 分析。

每个处理均测定 3 个平行样本, 每个样本测量 3 次, 结果取其平均值。采用 SPSS 软件对数据进行处理, 利用 LSD 法进行单因素显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 栽培制度对土壤微生物群落功能多样性的影响

土壤微生物群落的平均颜色变化率 (AWCD) 与微生物数量和种类相关, 可用来评价微生物群落的碳源利用能力, 指示土壤中微生物的代谢活性 (Zak, 1994)。AWCD 值越大, 表明细菌密度越大, 活性越高, 反之, 细菌密度越小, 活性越低 (Haack et al., 1995)。从图 1 可以看出, 4 种栽培制度下土壤微生物种群的组成发生了显著变化。在 24 h 之内 AWCD 值较小, 表明碳源很少被微生物利用, 而在 24 h 后 AWCD 值急剧增加, 说明此时碳源开始被微生物大量利用, 在 48 h  $CS_1$ 、 $CS_2$ 、 $CS_3$ 、 $CS_4$  的 AWCD 值相对于对照分别增加了 18.3%、83.8%、26.4% 和 110.3%, 72 h 则增加了 27.5%、57.0%、26.1% 和 57.2%, 72 h 后仍旧保持增加的趋势, 但是  $CS_1$  的增加幅度缩小。

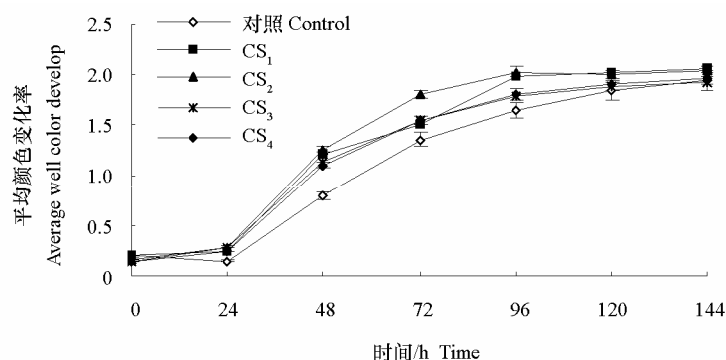


图 1 不同栽培制度处理培养期间土壤微生物群落平均颜色变化率

Fig. 1 Change of AWCD during incubation in different cultivation systems

土壤碳源利用的主成分分析能很好地区分土壤微生物的功能多样性。不同栽培制度下主成分变量分析结果表明, 第 1 主成分轴解释了 72 h 碳源利用变异的 30.99%, 第 2 主成分解释了 9.2%, 第 3 主成分解释了 3.7%。在主成份 1 上, 对照与其他处理可以明显区分开来, 说明 4 个处理相对对照显著改变了土壤微生物群落的组成 (图 2)。在主成份 1 至 3 加权后对照与其他处理均显著区分开来, 尤其是  $CS_2$  极显著改变了微生物功能菌落 (图 3)。

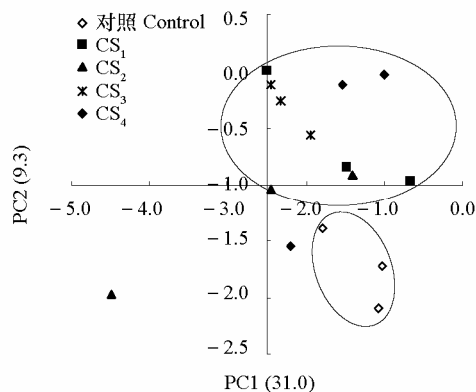


图 2 不同栽培制度处理下土壤的主成分变量 PC1、PC2

Fig. 2 PC1 and PC2 of different cultivation systmes

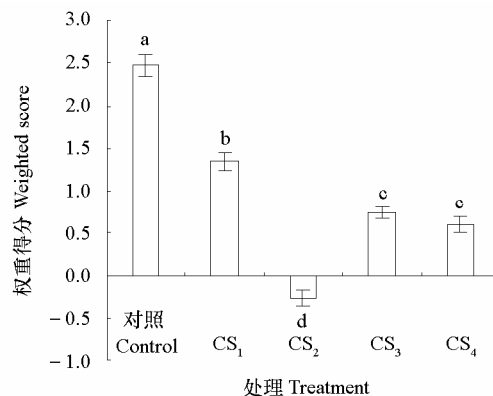


图 3 不同栽培制度处理下土壤的主成分 PC1 - PC3 加权

Fig. 3 PC1 - PC3 weighted score of different systems

对主成分 1 上主要贡献碳源进行分析表明, D-羟基丁二酸、 $\alpha$ -环式糊精、D-木糖、D-甘露醇、葡萄糖-1-磷酸盐、D-半乳糖酸 $\gamma$ -内酯、4-羟基安息香酸、L-苏氨酸、腐胺, 是主成分 1 上主要的贡献碳源, 其中 4 种为碳水化合物(表 2)。

表 2 主成分 PC1 上主要贡献碳源的因子载荷  
Table 2 Component matrix of main carbon resources for PC1

PC1 碳源 PC1 carbon	因子载荷 Component matrix
羧酸类化合物 Carboxylic	D-羟基丁二酸 D-Malic acid 0.897
多聚体 Polymers	$\alpha$ -环式糊精 $\alpha$ -Cyclodextrin 0.734
碳水化合物 Carbohydrates	D-木糖 D-Xylose 0.811
	D-甘露醇 D-Mannitol 0.737
	葡萄糖-1-磷酸盐 Glucose-1-Phosphate 0.952
	D-半乳糖酸 $\gamma$ -内酯 D-Galactonic acid $\gamma$ -Lactone 0.739
芳香化合物 Phenolic compounds	4-羟基安息香酸 4-Hydroxy benzoic acid 0.884
氨基酸 Amino acids	L-苏氨酸 L-Threonine -0.835
胺类化合物 Amines	腐胺 Putrescine 0.810

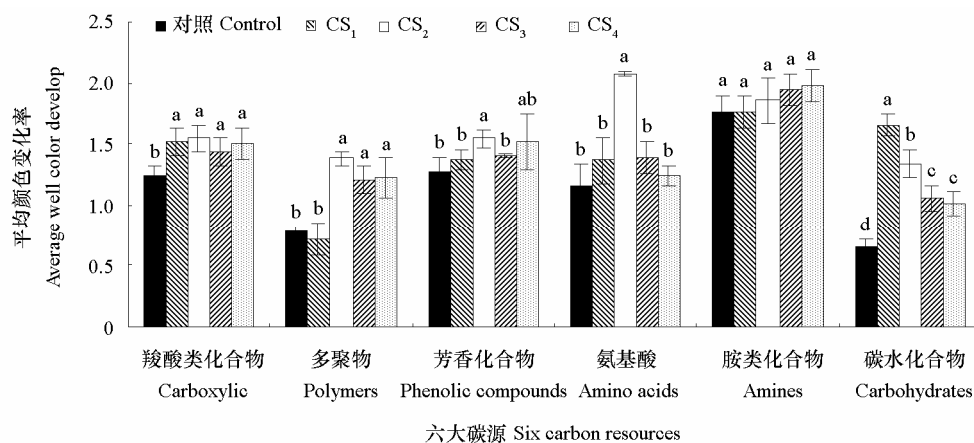


图 4 不同栽培制度处理下对土壤中单一碳源的利用情况

Fig. 4 The utilization situation of sole carbon source in different cultivation systems

Biolog ECO 微孔板含有 6 大类不同的碳源, 微孔板加入的碳源一般是植物根系分泌物, 因而更能够代表根际土壤微生物群落可利用的碳源, 与土壤微生物群落的生态功能更具相关性(Campbell et al., 1997)。由图 4 可以看出, 4 种栽培制度处理的土壤微生物对 6 大类碳源的利用存在显著差异: 对胺类化合物利用的程度最高, 光密度平均值为 1.86; 对羧酸类化合物、氨基酸和芳香类化合物的利用程度相对较高, 光密度平均值为 1.4 左右; 对多聚物和碳水化合物的利用程度则相对较低, 平均值分别为 1.0 和 1.1 左右。

各栽培制度处理下土壤微生物对单类碳源利用程度存在差异: 各栽培制度对羧酸类、胺类和氨基酸类化合物的利用无显著差异; 对多聚物的利用程度为  $CS_2 > CS_4 > CS_3 > \text{对照} > CS_1$  且  $CS_2$ 、 $CS_3$ 、 $CS_4$  显著高于对照; 对碳水化合物利用程度为  $CS_1 > CS_2 > CS_3 > CS_4 > \text{对照}$ , 且对照显著低于其他处理;  $CS_2$  对芳香类化合物的利用显著高于其他处理, 而其他处理间无显著差异(图 4)。

Shannon多样性指数表示在颜色变化率一致的情况下, 整个生态系统土壤微生物群落利用碳源类型的多与少, 即功能多样性。某生态系统Shannon多样性指数值越大, 表明该系统的土壤微生物群落功能多样性越高; 反之, 则多样性越低。由表 3 可以看出, CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>和CS<sub>4</sub>多样性显著高于对照, Shannon均匀度指数与其多样性指数结果一致。

表 3 不同栽培制度处理下土壤微生物群落的功能多样性和均匀度指数

Table 3 The function diversity and evenness index of soil microbial community in different cultivation systems

栽培制度处理 Cultivation system treatments	香农—威纳多样性指数 Shannon - Weaver diversity index	香农—威纳均匀度指数 Shannon - Weaver evenness index
对照 Control	3.130 b	0.928 b
CS <sub>1</sub>	3.244 b	0.954 b
CS <sub>2</sub>	3.356 a	0.977 a
CS <sub>3</sub>	3.368 a	0.981 a
CS <sub>4</sub>	3.359 a	0.978 a

## 2.2 栽培制度对土壤微生物量碳和氮的影响

不同栽培制度处理也改变了土壤中微生物量碳和微生物量氮, 进而改变了微生物量的C/N。对照的微生物量C/N为 7.4, 显著低于CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub>, 这 3 种栽培制度的C/N分别为 14.4、14.9 和 9.3, CS<sub>1</sub>与对照无显著差异 (图 5)。说明夏茬种植作物能显著增加土壤的C/N, 这可能因为其它作物的加入提供并增加了土壤微生物碳源量, 从而改变了土壤的C/N。

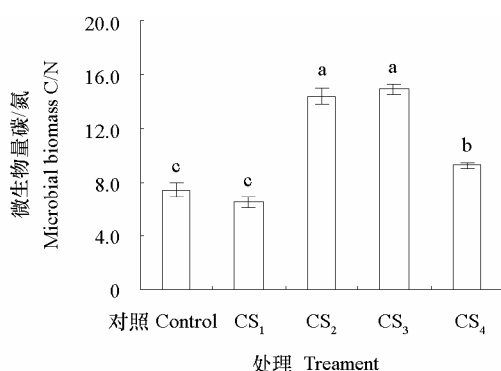


图 5 不同栽培制度处理下土壤微生物量碳/氮的变化

Fig. 5 The change of soil microbial carbon/nitrogen in different cultivation systems

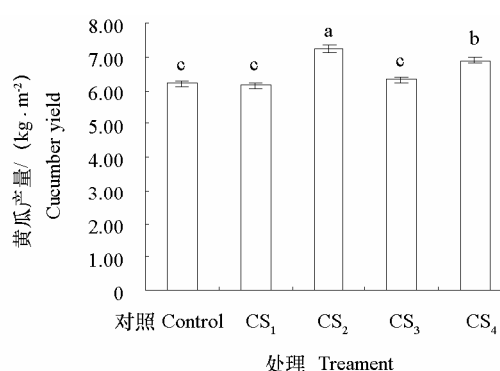


图 6 不同栽培制度处理下的秋冬茬黄瓜产量变化

Fig. 6 The change of cucumber yield in different cultivation systems in autumn winter season

## 2.3 栽培制度对秋冬茬黄瓜产量的影响

由于本试验主要针对不同栽培制度处理对连作黄瓜土壤和产量的影响, 因此选择统计秋冬茬的黄瓜产量。各栽培制度处理后的秋冬茬黄瓜产量均不高, 在  $6.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  左右, 这与采用的盆栽方式和秋冬茬黄瓜收获期短, 且后期处于低温弱光条件有关。在各栽培制度处理中CS<sub>2</sub>、CS<sub>4</sub>秋冬茬黄瓜产量均显著高于对照, 与对照相比分别提高了 23.4%和 11.5%, 而CS<sub>1</sub>与对照间无显著差异 (图 6)。这进一步验证了前面的试验结果, 即相对于连作黄瓜, 在温室夏季休闲期种植填闲作物和轮作番茄, 改善了温室土壤环境, 进而使产量提高。

### 3 讨论

连作障碍是土壤微生物—植物—气候综合相互作用的结果, 土壤微生物多样性受植物类型、土壤类型与土壤管理措施的影响 (Garbeva et al., 2004), 合理轮作既能使作物吸收土壤中的不同养分, 改变连作障碍导致的微生物定向变化, 又能通过换茬减轻土传病害的发生, 提高产量和产值 (梁银丽和陈志杰, 2004)。

本研究结果表明, 采用不同栽培制度处理后, Biolog ECO板培养 24 h 之后, 夏季填闲作物和轮作处理均显著增加了 AWCD 值, 说明轮作和填闲栽培制度增加了土壤碳源的利用程度。Garland & Millis (1991) 认为各样本在主成分分类轴上的差异与聚集在该主成分分类轴上碳源的利用能力是相关联的。本研究中, PC1 和 PC2 共能解释碳源利用差异的 40.3%, 其中第 1 主成分轴能解释碳源利用变异的 31.0%, 对照与其他处理在主成分 1 和主成分 1 至 3 的加权上均能明显区分开来, 说明轮作、间作和填闲栽培制度均显著改变了土壤微生物的群落结构组成, 从而改变其对碳源利用的情况。在 3 个主成分中 PC1 能解释差异变量范围在 49.6% ~ 76.9% 之间, 其中 9 个碳源物质是主要的贡献碳源, 碳水化合物占 44.4%, 说明栽培制度处理土壤对碳水化物的利用差异最大, 这与 6 大类碳源利用程度差异分析的结论是一致的。栽培制度不同, 对底物的利用有显著差异, 其中 CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub> 与对照相比在多聚物和碳水化合物的利用上差异显著, 且 CS<sub>3</sub> 对芳香类化合物的利用显著不同于其他处理。通过各处理碳源利用程度的多样性和均一性分析, 夏季填闲作物和轮作处理显著增加了土壤微生物群落的功能多样性和均一性, 这与吴凤芝和王学征 (2007) 研究小麦和大豆与黄瓜轮作能显著提高黄瓜土壤微生物群落的 Shannon - Weaver 多样性和均匀度指数结果一致。微生物量碳/氮能反映处理对土壤微生物数量和种群结构的影响, 其中 CS<sub>2</sub>、CS<sub>3</sub>、CS<sub>4</sub> C/N 均显著高于对照, 同样说明了夏季填闲和轮作处理明显改变了土壤环境, 这与李元等 (2008) 研究夏季填闲大葱后可显著增加黄瓜土壤的微生物量碳和氮的结果一致。

综上所述, 不同栽培制度下的土壤微生物对碳源利用不同, 其中夏季填闲作物和轮作处理显著增加土壤的 C/N 值, 增加了碳源的利用程度, 改变了微生物群落的组成, 提高了微生物群落的多样性指数和均匀度指数, 说明夏季种植填闲作物和采用轮作栽培制度能显著改善连作黄瓜土壤环境。

### References

- Campbell C D, Grayston S J, Hirst D J. 1997. Use of rhizosphere carbon sources in sole carbon source tests to discriminate soil microbial communities. *Journal of Microbiological Methods*, 30: 33 - 41.
- Garbeva P, van Veen J A, van Elsas J D. 2004. Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for soil suppressiveness. *Annual Review of Phytopathology*, 42: 243 - 270.
- Garland J L, Mills A L. 1991. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 57 (8): 2351 - 2359.
- Haack S K, Garchow H, Klug M J, Forney L J. 1995. Analysis of factors affecting the accuracy, reproducibility, and interpretation of microbial community carbon source utilization patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 61: 1458 - 1468.
- Hu Yuan-sen, Wu Kun, Li Cui-xiang, Jia Xin-cheng. 2007. Effect of continuous cropping of cucumber on soil microbial population II - Variation analysis based on DGGE approach. *Scientia Agricultura Sinica*, 40 (10): 2267 - 2273. (in Chinese)
- 胡元森, 吴 坤, 李翠香, 贾新成. 2007. 黄瓜连作对土壤微生物区系影响 II ——基于 DGGE 方法对微生物种群的变化分析. *中国农业科学*, 40 (10): 2267 - 2273.
- Komada H. 1988. The occurrence ecology of soil borne disease and their role. Takii Seed Co Ltd, Japan, 1 - 3.
- Liang Yin-li, Chen Zhi-jie. 2004. Reasons of obstacles of continuous cropping vegetable and preventing measures. *Northwest Horticulture*, (7): 4 - 5. (in Chinese)

- 梁银丽, 陈志杰. 2004. 设施蔬菜土壤连作障碍原因和预防措施. 西北园艺, (7): 4 - 5.
- Li Juan, Zhao Bing-qiang, Li Xiu-ying, Jiang Rui-bo, SO Hwat Bing. 2008. Change of soil microbial properties affected by different long-term fertilization regimes. *Journal of Plant Ecology*, 32 (4): 891 - 899. (in Chinese)
- 李 娟, 赵秉强, 李秀英, 姜瑞波, SO Hwat Bing. 2008. 长期不同施肥制度下几种土壤微生物学特征变化. 植物生态学报, 32 (4): 891 - 899.
- Li Yuan, Si Li-shan, Zhang Xue-yan, Tian Yong-qiang, Guo Rui-ying, Ren Hua-zhong, Gao Li-hong. 2008. Comparative study on the effect of catch crops on soil environment. *Transaction of the CSAE*, 24 (1): 224 - 229. (in Chinese)
- 李 元, 司力珊, 张雪艳, 田永强, 郭瑞英, 任华中, 高丽红. 2008. 填闲作物对日光温室土壤环境作用效果比较研究. 农业工程学报, 24 (1): 224 - 229.
- Ma Yun-hua, Wang Xiu-feng, Wei Min, Qi Yan-feng, Li Tian-lai. 2005. Accumulation of phenolic acids in continuously cropped cucumber soil and their effects on soil microbes and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16 (11): 2149 - 2156. (in Chinese)
- 马云华, 王秀峰, 魏 珉, 齐延凤, 李天来. 2005. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响. 应用生态学报, 16 (11): 2149 - 2156.
- Wu Feng-zhi, Wang Xue-zheng. 2007. Effect of soybean-cucumber and wheat-cucumber rotation on soil microbial community species diversity. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (6): 1543 - 1546. (in Chinese)
- 吴凤芝, 王学征. 2007. 黄瓜与小麦和大豆轮作对土壤微生物群落多样性的影响. 园艺学报, 34 (6): 1543 - 1546.
- Wu Feng-zhi, Wang Xue-zheng, Pan Kai. 2008. Effect of wheat and soybean stubbles on soil microbial ecological characteristics in cucumber field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19 (4): 794 - 798. (in Chinese)
- 吴凤芝, 王学征, 潘 凯. 2008. 小麦和大豆茬口对黄瓜土壤微生物生态特征的影响. 应用生态学报, 19 (4): 794 - 798.
- Wu Jin-shui, Lin Qi-mei, Huang Qiao-yun, Xiao He-ai. 2006. Soil microbial biomass methods and application. Beijing: Meteorological Press: 57 - 60. (in Chinese)
- 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 2006. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社: 57 - 60.
- Wu Yan-fei, Zhang Xue-yan, Li Yuan, Wei Wen-jie, Gao Li-hong. 2008. Influence of rotation on continuous cropping soil environment and cucumber yield. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (3): 357 - 362. (in Chinese)
- 吴艳飞, 张雪艳, 李 元, 魏文杰, 高丽红. 2008. 轮作对黄瓜连作土壤环境和产量的影响. 园艺学报, 35 (3): 357 - 362.
- Yao H Y, He Z L, Wilson M J, Campbell C D. 2000. Microbial community structure in a sequence of soil with increasing fertility and changing land use. *Microbial Ecology*, 40: 223 - 237.
- Yang Jian-xia, Fan Xiao-feng, Liu Jian-xin. 2005. The effect of continuous cucumber on rhizosphere. *Journal of Agricultural Science*, (6): 441 - 443. (in Chinese)
- 杨建霞, 范小峰, 刘建新. 2005. 温室黄瓜连作对根际微生物区系的影响. 浙江农业科学, (6): 441 - 443.
- Yin Rui, Zhang Hua-yong, Huang Jin-fa, Lin Xian-gui, Wang Jun-hua, Cao Zhi-hong. 2004. Comparison of microbiological properties between soils of rice-wheat rotation and vegetable cultivation. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 10 (1): 57 - 62. (in Chinese)
- 尹 睿, 张华勇, 黄锦法, 林先贵, 王俊华, 曹志洪. 2004. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较. 植物营养与肥料学报, 10 (1): 57 - 62.
- Zak J C. 1994. Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 26: 1101 - 1105.
- Zeels L. 1999. Fatty acid pattern of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: A review. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 111 - 129.
- Zhang Xue-yan, Tian Yong-qiang, Liu Jun, Gao Li-hong. 2009. Change of biological environment of greenhouse cucumber soil under different cultivation systems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20 (4): 829 - 835. (in Chinese)
- 张雪艳, 田永强, 刘 军, 高丽红. 2009. 不同栽培制度露温室黄瓜土壤生物学环境的变化. 应用生态学报, 20 (4): 829 - 835.