

# 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤 微生物群落功能多样性的影响

侯晓杰<sup>1</sup>, 汪景宽<sup>1,\*</sup>, 李世朋<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 沈阳 110161 2. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘要** 微生物多样性是表征土壤质量变化的敏感指标。应用 Biolog 技术探讨了不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物功能多样性的影响,从微生物功能多样性的角度评价施肥与地膜覆盖对土壤质量的影响。试验结果表明:裸地条件下,肥料合理配施可以增强微生物对碳源的利用程度(AWCD),显著增加微生物功能多样性(Shannon 指数)。地膜覆盖和施肥的交互作用降低了微生物对碳源的利用率,降低微生物的丰富度,改变其均匀度。土壤微生物碳源利用的聚类和主成分分析表明,各施肥处理在碳源的利用上存在较大差异,覆膜加剧了各处理之间的分异程度。糖类和氨基酸类碳源是微生物利用的主要碳源。土壤微生物对碳源利用受到土壤 pH、速效钾的显著影响。此外,有机碳、速效氮含量和土壤碳氮比与土壤微生物群落功能多样性密切相关。

**关键词** 施肥 地膜覆盖 群落功能多样性 碳源

文章编号:1000-0933(2007)02-0655-07 中图分类号:Q143,Q938,Q958.1 文献标识码:A

## Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community

HOU Xiao-Jie<sup>1</sup>, WANG Jing-Kuan<sup>1,\*</sup>, LI Shi-Peng<sup>2</sup>

1 Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (2) 0655 ~ 0661.

**Abstract**: Soil managements such as fertilization and plastic-film mulching can affect soil quality, whilst biology diversity is a sensitive indicator of it. The paper deals with the effect of long-term fertilization and mulching on the functional diversity of soil microbial community using Biolog technique. The main results showed that the reasonable fertilization in uncovered soil could increase the utilization ability of communities for carbon (AWCD) and improve the functional diversity (Shannon Index). There was a remarkable reciprocation between plastic-film mulching and fertilization, which led to the decreases of utilization rate for carbon sources and richness of microbe and the changes of its evenness. Principal component analysis (PCA) and cluster analyses of substrate reactions were analyzed after 48h of incubation. The results indicated that there were different carbon substrate utilization patterns among different treatments and plastic-film mulching increased the variance. Carbohydrates and Amino acids were the main carbon resources of microbe utilization and mainly affected by pH and available K in soil. Organic carbon, available N and C/N in soil also had a closed relationship to the microbial

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40571089)

收稿日期 2005-12-09; 修订日期 2006-08-19

作者简介 侯晓杰 (1980 ~ ) 女, 吉林省永吉县人, 硕士生, 主要从事土壤肥力研究. E-mail: xiaojieh@ yahoo. com. cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jkwang@ syau. edu. cn

**Foundation item** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40571089)

**Received date** 2005-12-09; **Accepted date** 2006-08-19

**Biography** HOU Xiao-Jie, Master, mainly engaged in soil fertility. E-mail: xiaojieh@ yahoo. com. cn

functional diversity.

**Key Words** : fertilization ; film mulching ; community functional diversity ; carbon source

地膜覆盖栽培是中国推广最快、增产效果最大的农业工程项目之一,1999 年全国地膜覆盖栽培玉米超过 330 万  $\text{hm}^2$ ,占当年地膜覆盖栽培总面积 1011 万  $\text{hm}^2$  的 30% 以上,大大提高了粮食产量<sup>[1,2]</sup>。然而,地膜覆盖增产是以消耗地力为代价的<sup>[3,4]</sup>,该措施降低了有机物料在土壤中的腐解残留率,使土壤地力、酶活性下降的同时<sup>[5]</sup>,不可避免地影响到土壤微生物,从而影响土壤肥力和土壤生态系统功能<sup>[6]</sup>。如果管理不当,长期连续或全程覆膜将恶化土壤生态条件,使土壤肥力下降<sup>[7]</sup>。目前,施肥对土壤微生物功能影响的研究主要集中于有机肥<sup>[8-10]</sup>,而关于地膜覆盖对其的影响,国内外报道较少。本文依托沈阳农业大学土壤肥力长期定位试验站,展开长期地膜覆盖以及不同施肥对土壤微生物功能影响的研究,以期合理培肥覆膜土壤并为农业可持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

土壤采自沈阳农业大学土壤肥力长期定位试验站(北纬  $41^{\circ}49'$ ,东经  $123^{\circ}34'$ ),试验从 1987 年开始设置,连作玉米。土壤为发育在黄土性母质上的壤质棕壤。试验设地膜覆盖和裸地栽培 2 组,取其中的 12 个处理,包括对照(CK)、单施氮肥(N4)、氮肥磷肥配施(N4P2)、单施有机肥(M4)、有机肥配施氮肥(M2N2)、有机肥氮肥磷肥配施(M2N2P1)以及相应的覆膜处理(除对照外,所有处理的施用的氮量相同)。具体试验处理见表 1。氮肥为尿素,磷肥为磷酸二铵,有机肥为猪粪粪。有机肥历年来的含氮量为  $10 \sim 15 \text{ g kg}^{-1}$ ,有机碳含量为  $120 \sim 150 \text{ g kg}^{-1}$ 。每年 4 月 25 日左右播种、覆膜。2004 年 8 月 15 日采集样品,装入无菌塑料袋带回实验室,过 2mm 筛后置于冰箱内  $4^{\circ}\text{C}$  保存,于 7d 内测定微生物功能多样性。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 土壤基本理化性质

实验各处理土壤基本理化性质详见表 2。土壤 pH(土:水 = 1:2.5)、有机碳、全氮、速效氮(碱解法)、全磷、Olsen 磷、全钾、速效钾(乙酸铵提取)、土壤砂粒、粘粒含量的具体测定方法参见《土壤农化分析》<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.2 微生物群落功能多样性的测定(BIOLOG 法)

称取 10g 鲜土置于 100 ml 灭菌 0.1M 磷酸缓冲液中,振荡 20min。静置 25min 左右,在超净台上稀释到  $10^{-3}$  稀释度。用 8 通道加样器向 BIOLOG GN 盘的 96 孔板各孔中分别添加 150  $\mu\text{l}$  稀释后的悬液(使用加样枪的 prog1)。 $25^{\circ}\text{C}$  恒温培养,在 24、36、48、60、72、84、96、108、120、132、144、156、168h 后使用 BIOLOG EMAX 读板仪读取各孔在 590 nm 波长下的光吸收。每个土壤样品做 3 个重复(以上操作在无菌室中进行)。

#### 1.2.3 实验数据分析方法

采用培养 48h 的数据计算土壤微生物群落多样性指数。选择的多样性指数有 Shannon 指数( $H'$ )、Shannon 均匀度指数( $E'$ )、Simpson 指数( $1 - G'$ ),分别评价土壤微生物丰富度、均匀度以及某些最常见物种的优势度。

表 1 供试土壤处理

Table 1 Descriptions of the treatments

处理 Treatment	化肥氮用量 Inorganic N ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	化肥磷用量 Inorganic P ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	有机氮用量 Organic N ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	总施氮量 Total N ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
CK	0			0
CK-C*	0			0
N4	270			270
N4-C	270			270
N4P2	270	135		270
N4P2-C	270	135		270
M4	0		270	270
M4-C	0		270	270
M2N2	135		135	270
M2N2-C	135		135	270
M2N2P1	270			270
M2N2P1-C	270			270

\* C 为地膜覆盖处理 Covered with plastic film

公式参考杨永华 [21] 数据用 SPSS11.5 和 Excel 进行统计分析。

表 2 供试土壤的基本理化性质

Table 2 The physicochemical properties of soil samples tested

处理 Treatment	pH	全碳 TOC (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效氮 Available N (mg/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Olsen's-P (mg/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碳氮比 Rc/n*	砂粒 Sand (g/kg)	粘粒 Clay (g/kg)	砂粘比 Rsc
CK	6.14	9.27	1.36	89.56	0.51	19.31	20.56	90.28	6.84	180.94	247.14	0.73
CK-C*	6.49	9.59	1.34	97.00	0.57	28.31	20.92	74.30	7.16	170.35	223.03	0.76
N4	5.05	8.50	1.43	158.06	0.52	14.23	18.43	57.79	5.94	158.51	261.04	0.61
N4-C	5.44	9.69	2.20	199.00	0.70	49.12	20.71	82.18	4.41	138.80	241.35	0.58
N4P2	5.25	9.11	1.36	113.76	0.54	24.18	19.72	61.82	6.69	138.12	262.76	0.53
N4P2-C	5.16	9.63	2.65	374.31	0.69	55.96	19.54	86.27	3.62	155.19	246.76	0.63
M4	6.39	16.86	2.30	189.03	2.24	245.00	19.06	455.79	7.35	175.54	247.91	0.71
M4-C	5.94	10.32	1.93	134.49	0.85	109.66	18.26	183.82	5.34	158.50	226.89	0.70
M2N2	6.14	16.16	2.35	213.05	1.92	231.89	20.90	508.74	6.89	217.84	215.79	1.01
M2N2-C	5.80	9.70	1.77	107.28	0.80	88.67	20.05	114.61	5.48	132.51	246.53	0.54
M2N2P1	6.24	16.28	2.33	195.96	2.23	265.98	19.57	433.43	7.00	174.14	238.16	0.73
M2N2P1-C	5.66	11.23	2.02	127.02	1.16	155.49	20.94	210.13	5.54	186.69	257.41	0.73

\* C 为地膜覆盖处理 Covered with plastic film

## 2 结果

### 2.1 不同施肥处理和地膜覆盖对土壤微生物平均吸光值 (AWCD) 和多样性指数的影响

裸地以及覆膜条件下各不同施肥处理的平均吸光值 (AWCD) 和多样性指数如表 3 所示, 裸地条件下, 施猪厩肥的处理 (M4, M2N2, M2N2P1), AWCD 值都较高, 与其余 3 个处理达到差异显著水平。AWCD 值较低的是 N4, N4P2 处理。值得注意的是, 除了 N4P2 外, 各处理 AWCD 值的大小与其土壤有机碳含量高低的顺序相同。覆膜条件下, AWCD 值大小顺序是 CK-C > M4-C > M2N2-C > M2N2P1-C > N4-C > N4P2-C, 这与覆膜土壤 pH 的高低顺序相同。裸地与覆膜条件下的相应处理对比显示, 除对照处理, 所有施肥处理覆膜条件下 AWCD 都低于裸地相应处理。

表 3 不同施肥处理与地膜覆盖土壤微生物平均吸光值 AWCD 与土壤微生物多样性指数

Table 3 AWCD diversity and evenness indices for soil microbial communities in different treatments of plastic mulching and fertilization

处理 Treatment	平均吸光值 AWCD		Shannon 指数 (H) Shannon index		Shannon 均匀度 (E) Shannon evenness		Simpson 指数 (1 - G) Simpson index	
	裸地	覆膜	裸地	覆膜	裸地	覆膜	裸地	覆膜
	Uncovered	Covered	Uncovered	Covered	Uncovered	Covered	Uncovered	Covered
CK	0.42b	0.53a	3.85e	4.25a	0.92d	0.94a	0.98b	0.98a
N4	0.40b	0.11d	4.10d	3.12c	0.92d	0.72e	0.98b	0.88d
N4P2	0.47b	0.02d	4.20c	3.25c	0.95b	0.91b	0.98b	0.95c
M4	0.78a	0.35b	4.30ab	3.73b	0.95b	0.85c	0.98b	0.97ab
M2N2	0.69a	0.29b	4.26b	3.74b	0.94c	0.82d	0.98b	0.97ab
M2N2P1	0.71a	0.18c	4.35a	3.64b	0.96a	0.89b	0.99a	0.97ab

Duncan 统计法, 同一列中具有相同字母的结果差异不显著 ( $p < 0.05$ ) Tested by Duncan method, the same letters in same column means no significant difference at  $p < 0.05$

目前常用的表征生物多样性指标的参数较多 [22], 本文采用 Shannon 指数、Shannon 均匀度、Simpson 指数, 分别表征土壤微生物的丰富度、均匀度以及某些最常见种的优势度。裸地栽培, Shannon 指数各施肥处理较

对照都显著增加,尤其是有机无机肥配施(M2N2P1)。覆膜后,Shannon 指数对照处理最高,单施无机肥的处理 Shannon 指数较低。覆膜与裸地相应处理相比,对照处理覆膜以后 Shannon 指数提高,其余各施肥处理都显著低于相应的裸地处理。Shannon 均匀度和优势度指标 Simpson 指数在裸地条件下虽有差异,但在数值上的表现不很突出。而覆膜以后这两个指标的数值差异增大了。进一步对覆膜和裸地进行了 *T* 检验,结果表明,AWCD 值,Shannon 指数、Shannon 均匀度覆膜与裸地间达到了显著水平,*P* 值分别为 0.014、0.044、0.040。Simpson 指数覆膜与裸地不同条件差异不显著。

## 2.2 不同施肥处理和地膜覆盖土壤的聚类分析与主成分分析

Bending 等<sup>[13]</sup>用 Biolog 碳源的利用模式研究土壤管理措施对微生物的影响,土壤微生物多样性对管理措施包括轮作、连作、作物种类敏感,在有机质、轻有机质组分、易发生变化的有机氮、或水溶性糖还没有明显变化时,微生物利用碳源的种类已经发生了变化。应用各种碳源的光密度值(48h)作统计变量进行聚类分析和主成分分析,可以清晰直观的反映各施肥处理之间的关系。聚类分析结果可以更直观地显示各研究对象之间的远近关系。聚类分析结果如图 1 所示。首先,N4-C、N4P2-C、M2N2P1-C 具有与其它处理明显不同的碳源利用模式。其余 9 种处理,施入有机肥的处理 M4、M2N2、M2N2P1 具有更为相似的碳源利用模式。N4、N4P2、CK 裸地条件下,土壤相对来说比较贫瘠,微生物群落利用碳源较为相似。其余的,如 CK-C、M2N2-C、M4-C 在碳源的利用差异较大,覆膜后各处理微生物在碳源的利用上分异性增大。

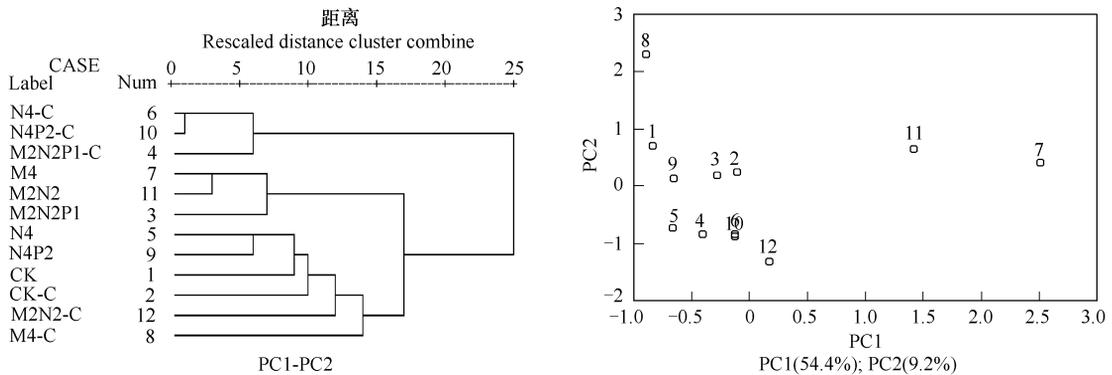


图 1 裸地与地膜覆盖各处理的聚类分析与主成分分析

Fig. 1 Cluster analysis and principle components analysis on soil microbial community in different treatments of plastic mulching and fertilization 1 :CK, 2 :CK-C, 3 :M2N2P1, 4 :M2N2P1-C, 5 :N4, 6 :N4-C, 7 :M4, 8 :M4-C, 9 :N4P2, 10 :N4P2-C, 11 :M2N2, 12 :M2N2-C ;培养 48h Incubation for 48h

为了探讨地膜覆盖和不同施肥处理土壤微生物群落结构变化,选择 48h 数据标准化后,进行主成分分析。两个主因子的分析结果见图 1。其中第 1 主成分(PC1)聚集了 54.4% 的数据变异,第 2 主成分(PC2)为 9.2%。在 PC1 轴上低肥裸地(CK、N4、N4P2)主要分布在负方向,高肥裸地(M4、M2N2)主要分布在 PC1 轴正方向。裸地不同施肥处理在 PC1 轴上出现了明显的分异。PC2 轴上,裸地各施肥处理主要集中于 0~1 之间。覆膜后,各处理分布更加分散。在 PC2 方向上,裸地处理较为集中,覆膜后分异较大,增加了微生物群落的不稳定性。按照每个碳源在区分能力方面的贡献大小进行排序,选取每个主成分的前十个碳源进行了分析。分析结果表明氨基酸类碳源在 PC1 的权重比较大,可以得出氨基酸类碳源是区分各处理的主要碳源。与 PC2 相关性较大的碳源主要是糖类和氨基酸类碳源,他们是覆膜和裸地处理的主要区分碳源。

## 2.3 微生物碳源利用主因子、多样性指标与理化性质之间的统计关系

逐步回归分析可以揭示直观上不太容易发现的规律,因此建立了多样性指标和主成分分析的结果与表 1 所列土壤理化性质之间的多元逐步回归分析(表 4)。

表 4 显示,微生物对碳源的利用主要与速效钾、土壤 pH 相关,达到显著水平。土壤微生物活性以及多样性主要受碳氮比、速效氮、有机碳的影响。总的来说,土壤有机碳、土壤 C/N 对土壤微生物的代谢活性和生物

多样性影响最大。速效氮作为微生物较易利用的能源,对微生物的生物活性和多样性指数影响最为深刻。土壤微生物利用碳源的种类和利用强度与土壤速效钾、土壤 pH 值关系最为密切。

### 3 讨论

Biolog-GN2 盘中每孔的平均吸光值 (AWCD) 反映了土壤微生物利用碳源的整体能力及微生物活性,可作为土壤微生物活性的有效指标<sup>[14,15]</sup>,对土壤环境胁迫的反映比较敏感<sup>[16]</sup>。裸地条件下,施猪厩肥的处理 (M4、M2N2、M2N2P1),微生物对碳源的利用率 (AWCD) 较高,许多研究表明,施厩肥、绿肥等有机肥有利于维持土壤微生物的多样性及活性<sup>[17,18]</sup>。单施氮肥、氮肥磷肥配施,微生物对碳源的利用率较低。已有研究表明,短期施用无机氮肥对土壤酶活性和微生物生物量只产生有限的影响,但长期施用无机氮肥可降低土壤微生物的活性<sup>[19,20]</sup>。大部分处理 AWCD 值与其土壤有机碳含量高低的顺序相同,这可能是由于裸地条件下,有机碳含量高的土壤能提供的生物

有效碳源较多,维持了较高的土壤微生物活性。覆膜条件下,AWCD 值大小顺序与土壤 pH 的高低顺序相同,这表示,覆膜以后,pH 值在影响土壤微生物利用碳源能力方面的作用增大。Staddon 等对加拿大西部不同气候带的土壤微生物多样性和结构进行了研究,土壤微生物功能多样性随纬度增加而降低,与环境的温度、土壤 pH 呈正相关<sup>[21]</sup>。Anthony 等研究也发现,pH 是影响土壤微生物多样性的重要因子<sup>[8]</sup>。对照处理,裸地与覆膜条件下 AWCD 值相对比,覆膜高于裸地,与其余各施肥处理规律相反,其原因有待于进一步研究。

裸地栽培,Shannon 指数在施肥的处理中都显著增加,这与施用有机无机肥料为微生物提供营养物质有关。覆膜后,各施肥处理 Shannon 指数显著降低,并且,微生物对碳源的利用程度以及多样性指数,覆膜与裸地达到显著差异水平。Simpson 指数覆膜与裸地不同条件差异不显著,这可能是由于微生物区系中优势种群抗外界干扰能力较强。覆膜与裸地相比,施用有机物料的处理 Shannon 指数、Shannon 均匀度有所降低,但下降的幅度较小,这可能是由于本实验施用的有机物料为猪粪,猪粪的 C/N 比较利于微生物的利用,而且长期施用猪粪可以改善土壤的物理特性,更有利于土壤微生物的生命活动。施入无机物料尤其是长期高量氮肥,在地膜覆盖条件下可防止土壤氮素的挥发,太多的氮素可能对微生物的活性起到极大的抑制作用,减少微生物多样性。总之,覆膜条件下施入有机肥料有利于维持土壤微生物的多样性,而施入无机肥料对土壤微生物有明显的抑制作用。

应用各种碳源的光密度值进行聚类分析,结果显示,低肥覆膜处理、高肥裸地、低肥裸地在碳源的利用上较为相似。覆膜对微生物群落功能多样性的影响更为深刻,这可能是由于覆膜在很大程度上改变了土壤微环境,并相应改变了土壤养分的转化。

Garland 等<sup>[4]</sup>认为各样本在空间上位置的不同是和碳底物的利用能力相关联的。具体而言,各样本在 PC 空间不同 PC 轴坐标的差异是与对聚集在该 PC 轴上碳源的利用能力相联系的。本试验中,裸地不同施肥处理在 PC1 轴上出现了明显的分异。覆膜后各处理在碳源的利用上发生了明显的改变,表明覆膜后由于土壤环境的改变迫使微生物在碳源的利用上发生了改变,各处理分异较大,覆膜增加了微生物群落的不稳定性。糖类和氨基酸类碳源与各主成分具有显著的相关性,是微生物利用的主要碳源,并且是各施肥处理、覆膜和裸地的主要区分碳源。微生物利用的主要碳源是氨基酸类、糖类碳源,这可能是由于猪粪培肥的原因。张旭东等研究表明,土壤施用猪粪培肥后显著提高氨基酸和单糖的数量,而且与猪粪的施入量有关<sup>[7]</sup>。

影响到碳源利用差异的土壤理化性质只有速效钾和土壤 pH,多样性指标与土壤碳氮比,速效氮,有机碳,

表 4 微生物碳源利用主因子、多样性指标与理化性质间统计关系

Table 4 The regression analysis of principal factor and Shannon Index with soil physicochemical properties

因子或多样性指标 Factor or Shannon Index	理化性质及系数 Physico-chemical properties and coefficient	统计指标 Statistic index		
		$R^2$	$df$	$P$
PC1	0.696 (Avail K)	0.49	11	0.01
PC2	1.241 (pH)	0.37	11	0.04
AWCD	0.245 (C/N) 0.989 (Avail N)	0.93	11	0.019
H	0.317 (C/N)	0.83	11	< 0.001
E	1.182 (Avail N) -0.017 (TOC)	0.76	11	0.002
1-G	-0.018 (C/N)	0.49	11	0.011

都达到显著或极显著水平。微生物功能指标与土壤理化性质密切相关、相互影响。由此可见,微生物功能多样性能够反映土壤质量指标信息,也可看作是评价土壤质量变化的敏感参数。总之,土壤微生物的活性和多样性受土壤养分影响较大,施肥和地膜覆盖后,一方面由于土壤环境的改变,本身会影响微生物的群落结构和功能,另一方面长期管理措施必然使土壤中养分的转化发生了明显的改变,从而影响微生物的代谢活性。从另一个角度则表明,微生物不同的群落结构和代谢功能,以及与之相适应的碳源利用方式必然会影响土壤中各种养分的循环转化过程,从而影响土壤养分的数量及形态。

#### 4 小结

(1)裸地条件下,除了单施氮肥的处理以外,其它处理土壤微生物对碳源的利用程度(AWCD)都有所升高,覆膜以后,AWCD都显著降低(对照除外)。

(2)裸地条件下,所有施肥处理的土壤微生物群落功能多样性(香农指数)与空白比较都显著增加,猪厩肥与氮磷肥配合的处理增加最大;与裸地相应处理相比,覆膜以后,所有施肥处理的香农指数都显著降低,而不施肥处理的香农指数都显著升高。

(3)土壤微生物碳源利用的聚类分析和主成分表明,裸地各施肥处理在碳源的利用上存在着较大的差异,覆膜明显加剧了各处理之间的变异程度,增加了微生物群落的不稳定性。

(4)碳源利用主成分、碳源利用多样性指数与理化性质的逐步回归分析表明,土壤微生物碳源利用的差异显著受到土壤pH、速效钾含量的影响;有机碳、速效氮含量和土壤碳氮比对土壤微生物群落功能多样性有决定性影响。

#### Reference :

- [1] Chen M S. Manual of Agricultural Technique Extension. Beijing. China Agricultural Press, 2000.
- [2] China Agriculture Almanac Edition. China's Agriculture Almanac 2000. Beijing. China Agricultural Press, 2000.
- [3] Wang J K, Zhang J H. Effect of long-term covering with plastic film on characteristics of nitrogen in soil. *Plant Nutrition & Fertilizer Science*, 1996, 2: 125 - 130.
- [4] Wang J K, Zhang J H. Effect of plastic-film mulching on conversion of organic matter in soils. *Chinese Journal of Soil Science*, 1990, 21 (4): 189 - 192.
- [5] Zhang J H, Wang J K. Effect of organic fertilizer on soil nitrogen and corn biomass under plastic mulching cultivation. *Chinese Journal of Soil Science*, 1990, 21 (4): 162 - 166.
- [6] Insam H, C C Mitchell, J F Dormaar. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three Ultisols. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23: 459 - 464.
- [7] Zhang J H, Yan L, Dou S. A Study on Building up Soil Fertility for Sustainable Development of Agriculture. Shenyang. Northeast University Press, 1995.
- [8] Anthony G O, Donnell, Melanie Seasman *et al.* Plants and fertilizers as drivers of changes in microbial community structure and function in soils. *Plant and Soil*, 2001, 232: 135 - 145.
- [9] Bucher A E, Lanyon L E. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles. *Applied Soil Ecology*, 2005, 29: 59 - 71.
- [10] Carmine Crecchio, Antonio Gelsomino, Roberto Ambrosoli *et al.* Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 1873 - 1883.
- [11] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing. China Agricultural Press, 2000.
- [12] Yang Y H, Yao J. Effect of pesticide pollution against functional microbial diversity in soil. *Journal of Microbiology*, 2000, 20 (2): 23 - 25.
- [13] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34 (8): 1073 - 1082.
- [14] Garland J L, Mills AL. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source-utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57: 2351 - 2359.
- [15] Haack S K, Garchow H, Odelson D A *et al.* Analysis of factors affecting the accuracy, reproducibility, and interpretation of microbial community carbon source utilization patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, 60: 2483 - 2493.

- [16] Knight B. Biomass carbon measurements and substrate utilization patterns of microbial population from soils amended with Cadmium , Copper or Zinc. *Applied and Environmental Microbiology* ,1997 63 :39 – 43.
- [17] Dick R P. A review : long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture , Ecosystems and Environment* ,1992 40 :25 – 36.
- [18] Zhu H P ,Yao H Y ,Zhang Y Y. Effect of fertilizer system on soil microbial ecology. *Chinese Journal of Soil Science* ,2003 34 ( 2 )140 – 142.
- [19] Fauci M F ,Dick R P. Soil microbial dynamics : short- and long- term effects of organic and inorganic nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* ,1994 58 :801 – 808.
- [20] Lovell R D ,Jarvis S C ,Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland : effects of management change. *Soil Biology and Biochemistry* ,1995 27 969 – 975.
- [21] Staddon W J ,Trevors J T ,Duchesne L C , *et al.* Soil microbial diversity and community structure across a climatic gradient in western Canada. *Biodiversity and Conservation* ,1998 7 ( 8 ) :1081 – 1092.

#### 参考文献 :

- [1] 陈萌山 主编. 《农业技术推广指南》. 北京 :中国农业出版社 2000.
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴2000. 北京 :中国农业出版社 2000.
- [3] 汪景宽 张继宏. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响. *植物营养与肥料学报* ,1996 2 :125 ~ 130.
- [4] 汪景宽 张继宏. 地膜覆盖对土壤有机质转化的影响. *土壤通报* ,1990 21 ( 4 )189 ~ 192.
- [5] 张继宏 汪景宽. 覆膜栽培条件下有机肥对土壤氮和玉米生物量的影响. *土壤通报* ,1990 21 ( 4 ) :162 ~ 166.
- [7] 张继宏 颜丽 窦森主编. 农业持续发展的土壤培肥研究. 沈阳 :东北大学出版社 ,1995.
- [11] 鲍士旦主编. 《土壤农化分析》. 北京 :中国农业出版社 2000
- [12] 杨永华 姚健. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响. *微生物学杂志* 2000 20 ( 2 ) 23 ~ 25.
- [18] 朱海平 姚槐应 张勇勇 等. 不同培肥管理措施对土壤微生物生态特征的影响. *土壤通报* 2003 34 ( 2 )140 ~ 142.