

# 玉米栽培模式与施肥方式对土壤微生物和土壤肥力的影响

高宛莉<sup>1</sup> 刘恩科<sup>2</sup> 李来福<sup>1</sup> 杜瑞卿<sup>1\*</sup> 杨建伟<sup>1</sup>

(1. 河南南阳师范学院 生命科学与技术学院, 河南 南阳 473061;

2. 山西省农业科学院 旱地农业研究中心, 山西 太原 030006)

**摘要** 为建立科学的栽培模式和施肥方式,提高土壤生物肥力和实现土壤可持续利用。本研究采用常规裸地栽培玉米和地膜覆盖栽培玉米2种模式下的不同的施肥方式,测定多个微生物指标,土壤的养分和理化特性指标。结果表明:1)栽培模式对土壤温度和含水量的影响,在不同时期,两者的差异性不同;2)各种微生物指标影响系数的绝对值从大到小为:细菌、固氮菌,防线菌和真菌。土壤理化特性及养分指标影响系数的绝对值从大到小为:有机质、土壤pH、碱解N、全N、全P、速效K、速效P、土壤含水量和土壤温度。不同模式下两指标变量组之间有极其显著的相关系数 $-0.9321$ ;3)不同栽培模式对不同施肥处理的重要性影响不大。只要含N,是否含P、K对微生物的影响不明显。复合施肥对土壤理化特性及养分有重要影响。由此可以得出:不同的栽培模式仅在苗期前期和成熟后期,对土壤温度和含水量的影响存在差异,并且不同栽培模式对不同施肥处理的重要性及各指标无显著影响。各种微生物和各个土壤理化特性及养分指标间存在复杂的关系。

**关键词** 玉米; 栽培模式; 施肥方式; 土壤微生物; 土壤肥力; 相关性

中图分类号 S 158 文章编号 1007-4333(2014)02-0108-10 文献标志码 A

## Effect of corn cultivation mode and fertilization on soil microbial biomass and soil fertility

GAO Wan-li<sup>1</sup>, LIU En-ke<sup>2</sup>, LI Lai-fu<sup>1</sup>, DU Rui-qing<sup>1\*</sup>, YANG Jian-wei<sup>1</sup>

(1. College of Life Science and Technology, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

2. Arid Farming Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

**Abstract** In order to establish a more reasonable fertilization system, improve soil biological fertility and maintain soil sustainable utilization, an experiment was conducted. Corns were planted in conventional no mulch fields and plastic mulch ones, respectively. Different fertilizers were all applied in two modes. Soil microbes, fertility and physico-chemical properties from each soil samples were analyzed. The result showed that: 1) In different periods, soil temperature and moisture showed inconsistent significant differences under both plastic mulch mode and no mulch one. 2) The absolute values of effective coefficient from soil microbial index were ranked as follows: bacteria > azotobacterium > actinomycete > fungi, and those from soil physico-chemical characteristics were done: soil organic matter > pH value > hydrolysable nitrogen (N) > total N > total phosphorus (P) > available potassium (K) > available P > soil moisture > soil temperature. A significant negative correlation ( $r = -0.9321$ ) was detected between the microbial populations and soil physico-chemical properties under different cultivation mode. 3) Different cultivation modes had little impact on the importance of different fertilization treatments. While the N fertilizer was added, the P and K fertilizers had little effect on soil microbes. Compound fertilizer had important impact on soil physico-chemical properties and nutrients.

收稿日期: 2014-01-08

基金项目: 山西省科技攻关项目(2006031040-1); 国家公益性行业(农业)科研项目(201003053); 山西省农科院攻关项目(ygg1109); 南阳师范学院科研项目资助

第一作者: 高宛莉, 实验师, 主要从事环境生态学研究, E-mail: 26374406@qq.com

通讯作者: 杜瑞卿, 副教授, 主要从事生物数学和生态学研究, E-mail: duruiqing8@163.com

In conclusion, our results indicated that different cultivation modes influenced soil temperature and moisture only in the early seedling stage and the later mature stage. There were also no significant effects between different cultivation modes and the different fertilization treatments. Complex relationship existed among various microbes, soil physico-chemical properties and nutrient levels.

**Key words** corn; cultivation mode; fertilization; soil microbe; soil fertility; correlation

近十几年来,世界农业出现的土地资源退化和农业生态环境恶化等问题使人们更加关注生态系统变化的研究,特别是土壤生态<sup>[1-2]</sup>。土壤微生物作为土壤生态系统中极其重要和最为活跃的部分,在转化循环土壤养分、有效利用肥料、综合防治有害生物、抵抗环境因素干扰、维护土壤系统稳定性和保持土壤可持续利用发展的生产力,发挥主导作用<sup>[3]</sup>。随着生产实践和科学研究的不断深入,人们越来越发现了微生物在农田生态系统中的重要功能,因此评价土壤质量采用土壤微生物参数值,也愈来愈受到人们的关注,有可能成为土壤生态系统变化的预警及敏感指标<sup>[4-5]</sup>。

近些年来在我国北方旱区农业生产中,由于地膜覆盖栽培能有效增产,被广泛推广和应用,特别是在黄土高原,用地膜覆盖栽培玉米的耕种面积不断扩大。但是北方旱区年度降水量变化很大,土壤墒情随季节变化缺少规律而无法准确预测,地膜覆盖保墒增产的作用,也就受到了一定的限制,特别是无墒可保而又不利于土壤对外来水分的吸收,会导致减产<sup>[6]</sup>。采用常规栽培模式还是地膜覆盖栽培模式,其实质是通过土壤理化特性和微生物种类数量的影响来影响作物产量。地膜覆盖能够改变土壤的水分、空气、温度和光照等环境因素,必然导致土壤化学性质、物理性质和生物学性状的变化<sup>[7]</sup>。

施肥方式,可以影响土壤微生物种群、数量和活性的变化,导致土壤生物肥力的变化,进而对土壤成分、结构和生产力产生重要影响,因此施肥是影响土壤质量,能否使土壤可持续利用的重要农业措施之一<sup>[4,8]</sup>。

目前,关于不同栽培模式、不同施肥方式、不同施肥水平对土壤微生物量影响的研究,以及土壤微生物量与土壤肥力关系的研究,已有一些报道<sup>[4,6-7,9]</sup>。但这些报道存在以下不足:1)研究内容单一,多为仅在不同栽培模式下,或仅在不同施肥方式下,或仅为不同施肥水平下进行土壤微生物变化的研究,缺乏多层次多水平多关联的综合性。2)在

选择土壤微生物指标或土壤理化特性指标时,不够全面,相互间的关联性不强。3)分析方法主要是对数据的直观分析,或单一指标间的比较检验和相关分析,缺少分析方法的综合性。任何一种土壤微生物的发生发展,不仅与栽培模式、施肥方式和施肥水平有关,而且还受土壤理化特性、土壤营养成分等多因素共同影响,同时也受其他微生物种群和数量的影响。因此,应该采用科学合理的综合分析法,才能比较全面科学客观地反映它们内部的复杂关系,揭示土壤肥力变化受微生物发生发展影响的关系。

基于以上分析的原因,本研究采用常规裸地栽培和地膜覆盖栽培2种模式,在每种栽培模式下,又采用不同的施肥方式,然后测定每种施肥方式下多个微生物指标和土壤的养分、理化特性指标,采用综合检验和综合相关的分析方法,探讨不同施肥方式对土壤微生物群落的影响,土壤微生物与土壤肥力的关系及其变化规律,以便建立科学的施肥方式,为提高土壤生物肥力以及实现土壤的可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

在山西省农业科学院旱地农业研究中心试验基地进行,为5年定位栽培模式、定位施肥方式和定位施肥试验。该试验区气候特征属暖温带半干旱,土壤主体成分为碳酸盐褐土,地表20 cm厚土壤层养分平均含量为:有机质 15.79 g/kg、全氮 0.82 g/kg、全磷 0.67 g/kg、碱解氮 73.28 mg/kg、速效钾 95.97 mg/kg、速效磷 10.46 mg/kg, pH 8.51。试验对象为玉米,“农大108号”品种。地表200 cm土壤层,2007年播种前贮水量为315.4 mm,底墒较低;2008年播种前,贮水量为366.5 mm,较前一年好些。第一年从播种到收获,历时158 d。第二年从播种到收获,历时156 d。

### 1.2 试验设计

栽培模式分为:1)播种玉米与地膜覆盖同时进行,膜宽80 cm,为膜上种植;2)不覆盖地膜,为普通

露地种植。每一栽培模式下,又分为6种施肥方式:①CK;②N;③NP;④NK;⑤PK;⑥NPK。CK为不施肥;N、P和K分别指施N 150 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 37.5 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。试验小区面积为300 m<sup>2</sup>,共为12个试验小区。化肥在每茬作物播种前一次性撒施并耕翻入土。

### 1.3 调查项目与测定方法

用土壤水分温度测定仪(TZS-W型,上海新诺仪器设备有限公司),对地表20 cm厚土层含水率和土层温度,于每日9:00、13:00和19:00定时测定。同时观测记录试验年度内每次降水情况进行。

本试验样品2年内分别采集于2007年6月15日和7月15日,2008年6月18日和7月18日,4批次进行,均为0~20 cm耕层土壤。每个处理随机取10个点,剔除石砾和植物残根等杂物,装袋后带回实验室,过2 mm筛后,立即测定土壤微生物数量,剩余样品风干过1 mm筛,测定土壤养分含量<sup>[9]</sup>。每批次取样重复3次测定。

放线菌、真菌、细菌和自生固氮菌分别采用改良高氏1号、马丁氏、牛肉膏蛋白胨和阿须贝氏培养基,用涂抹法接种,稀释平板法测数<sup>[10]</sup>。

土壤基本理化性状采用常规分析法测定:有机质,用重铬酸钾容量法;全氮,用半微量凯氏法;全磷,用高氯酸-硫酸-钼锑抗比色法;碱解氮,用碱解扩散硼酸吸收法;速效磷,用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法;速效钾,用火火焰光度法,PH值用Beckman90型pH计<sup>[11]</sup>。

不同处理的各指标值,每批次取样测定重复3次,3次间的方差分析无显著差异,而4批次试验测定的平均值也无显著差异,所以取4批次试验结果的平均值。试验结果见表1和2。

### 1.4 综合检验与综合相关系数分析法

设有 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 变量组与 $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ 变量组。

1)数据的标准化处理。

$X_1, X_2, \dots, X_n$ ,  $n$ 个变量,  $X_i$ 有 $m$ 个观测值。

矩阵  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$   $X'_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{d_i}$

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ji}}{m} \quad d_i^2 = \sum_{j=1}^m (x_{ji} - \bar{X}_i)^2 \quad (1)$$

形成新的矩阵,  $\mathbf{X}' = (x'_{ij})_{m \times n}$

同理,  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ 形成新的矩阵,  $Y' = (y'_{ij})_{m \times t}$ 。

2)主成分的求解与合成<sup>[12]</sup>。

求解出 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的主成分 $F_1, F_2, \dots, F_n$ , 特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

方差贡献率

$$B = \left[ \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \frac{\lambda_2}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \dots, \frac{\lambda_n}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \right] = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

$$F_1 = a_{11}X'_1 + a_{12}X'_2 + \dots + a_{1n}X'_n$$

$$F_2 = a_{21}X'_1 + a_{22}X'_2 + \dots + a_{2n}X'_n$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

$$F_n = a_{n1}X'_1 + a_{n2}X'_2 + \dots + a_{nm}X'_n$$

$$F = F_1b_1 + F_2b_2 + \dots + F_nb_n =$$

$$C_1X'_1 + C_2X'_2 + \dots + C_nX'_n \quad (3)$$

$F$ 为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的合成主成分。其中

$$C_i = b_i(a_{1i} + a_{2i} + \dots + a_{ni}) \quad (4)$$

$C_i$ 称为影响系数,表示 $X_i$ 在 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 中的重要性。

同理, $f$ 为 $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ 的合成主成分,  $T = (T_1, T_2, \dots, T_t)$ 是影响系数矩阵。

3)综合相关系数的求解及其分解。

设 $R$ 为 $F$ 与 $f$ 的相关系数,它反映了 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 与 $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ 两变量组间相关程度,称为综合相关系数。设

$$r = (r_{ij})_{t \times n} \quad (5)$$

$r_{ij}$ 是变量 $Y_i$ 与变量 $X_j$ 的直接相关系数。令

$$C = \text{diag}(C_1, C_2, \dots, C_n)$$

$$T = \text{diag}(T_1, T_2, \dots, T_t) \quad (6)$$

$F$ 与 $f$ 的相关系数 $R$ 可分解为

$$R = TrC = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^n T_i r_{ij} C_j \quad (7)$$

式中: $T_i r_{ij} C_j$ 表示变量 $Y_i$ 与变量 $X_j$ 的综合相关系数,既有直接相关成分(直接相关系数 $r_{ij}$ ),也有 $Y_i$ 与 $X_j$ 各自的影响成分( $T_i$ 和 $C_j$ )。

$$R_i(1) = \sum_{j=1}^n T_i r_{ij} C_j \quad (8)$$

为 $Y_i$ 与 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的综合相关系数。

$$R_j(2) = \sum_{i=1}^t T_i r_{ij} C_j \quad (9)$$

为 $X_j$ 与 $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ 的综合相关系数。

4)综合检验。

将变量组  $X_1, X_2, \dots, X_n$  的合成主成分  $F$  与变量组  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  合成主成分  $f$  进行假设检验, 从而判断变量组  $X_1, X_2, \dots, X_n$  与变量组  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  间的整体差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验结果

试验结果见表1和表2。

表1 不同栽培模式和不同施肥处理下土壤微生物种群及数量

Table 1 Soil microbial populations and biomass under different cultivation modes and different fertilization treatment

		$10^6/g$			
栽培模式	处理	细菌	真菌	放线菌	固氮菌
Cultivation modes	Treatment	Bacterium	Fungi	Actinomycete	Azotobacterium
裸地 No-covering	CK	20.32±2.19	2.01±0.92	10.07±1.58	16.15±1.58
	N	18.14±2.35	1.86±1.12	8.36±1.36	22.74±2.69
	NP	16.98±1.98	4.01±1.52	12.03±1.69	22.25±1.96
	NK	17.68±1.58	3.06±2.03	11.52±2.11	23.67±2.99
	PK	24.92±3.52	4.57±1.63	12.05±1.89	18.42±2.58
	NPK	18.31±2.31	2.46±1.13	13.12±2.05	19.99±2.23
地膜覆盖 Plastic covering	CK	19.42±2.58	2.42±0.52	12.26±1.02	16.74±1.35
	N	22.78±2.98	2.03±0.29	12.34±0.95	22.89±2.77
	NP	23.44±3.05	3.92±0.58	14.37±1.22	22.19±1.52
	NK	24.57±3.06	3.15±0.52	13.62±1.23	23.85±2.96
	PK	27.36±2.84	3.42±0.39	12.21±0.89	18.86±1.98
	NPK	22.52±2.04	4.02±0.63	12.48±1.05	22.42±2.53

注:CK为不施肥;N、P、K分别指施  $N 150 \text{ kg/hm}^2$ 、 $P_2O_5 75 \text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O_5 37.5 \text{ kg/hm}^2$ ,氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。下同。

Note:CK=No fertilizer,  $N=150 \text{ (N) kg/hm}^2$ ,  $P=75 \text{ (P}_2\text{O}_5\text{) kg/hm}^2$ ,  $K=37.5 \text{ (K}_2\text{O}_5\text{) kg/hm}^2$ ; the N fertilizer is in the form of urea, the P fertilizer is calcium super-phosphate, and the K fertilizer is potassium sulfate. The follows have the same meaning.

### 2.2 不同栽培模式对土壤微生物和土壤理化特性及养分的影响

通过较长时间对土壤温度和水分含量的测定,结果表明,特定时间不同深度或同一深度不同时间的土壤温度都以地膜覆盖最高,并且随着土层的增加,各层温差值愈来愈小。但基本上是在6月中旬前和8月中旬后相差较大,6月中旬—8月中旬间差异不大。在苗期前期(6月份前)和成熟后期(8月份后),覆膜土壤含水量高于裸地土壤含水量,而在其他期间,覆膜土壤含水量与裸地土壤含水量间差异不明显。可能与6和7月份时期气度高,日照时间长,地表水分蒸发量大,作物生长需水量大有关,使覆膜的保水作用变得明显。但从整个生长过程看,地膜对保留土壤水分有积极的作用。

依据表1数据,可得到玉米在裸地栽培和地膜覆盖栽培2种栽培模式下土壤微生物数量各自的合

成主成分  $F_1$  和  $F_2$ :

$$F_1 = [-0.3281 \quad 0.3428 \quad 0.2089 \\ 0.3161 \quad -0.5057 \quad -0.0340] \\ F_2 = [-0.6191 \quad -0.1339 \quad 0.2528 \\ 0.2701 \quad 0.2019 \quad 0.0281]$$

对  $F_1$  和  $F_2$  进行假设检验,结果没有显著性。

同样,依据表2数据,可得到玉米在裸地栽培和地膜覆盖栽培2种栽培模式下土壤理化特性及养分值各自的合成主成分  $F_3$  和  $F_4$ :

$$F_3 = [0.9476 \quad 0.0850 \quad -0.1811 \\ -0.0412 \quad -0.5283 \quad -0.2818] \\ F_4 = [0.9126 \quad 0.2290 \quad -0.1579 \\ -0.1633 \quad -0.4262 \quad -0.3935]$$

对  $F_3$  和  $F_4$  进行假设检验,结果没有显著性。

表2 不同栽培模式和不同施肥处理下土壤理化特性及养分

Table 2 Soil physical and chemical properties and soil nutrients under different cultivation modes and different fertilization treatment

栽培模式 Cultivation modes	处理 Treatment	有机质/ (g/kg) OM	全 N/(g/kg) Total N	全 P/(g/kg) Total P	碱解 N/ (mg/kg) Alkalinized N	速效 P/ (mg/kg) Available P	速效 K/ (mg/kg) Available K	土壤含水		土壤温度/ °C Soil temperature	土壤 pH Soil pH
								分量/% Soil moisture content	土壤含水量 Soil moisture content		
裸地 No- covering	CK	13.71±0.48	0.76±0.05	0.64±0.06	60.48±2.88	2.11±1.01	81±9.22	10.52±0.85	31.80±0.98	8.47±0.07	
	N	13.50±0.42	0.74±0.05	0.64±0.06	69.55±3.01	1.27±0.81	80±7.85	12.33±0.78	31.91±1.21	8.30±0.05	
	NP	14.92±0.51	0.75±0.04	0.72±0.05	66.91±2.95	12.52±2.63	80±7.89	12.25±1.02	32.11±1.05	8.26±0.04	
	NK	14.54±0.52	0.88±0.06	0.68±0.03	69.34±3.22	1.87±0.22	107±10.23	10.71±0.92	32.14±0.99	8.28±0.08	
	PK	14.16±0.43	0.72±0.03	0.79±0.05	70.28±3.05	28.27±3.62	124±11.25	11.83±1.21	32.74±1.05	8.30±0.05	
	NPK	14.25±0.44	0.85±0.05	0.74±0.06	69.05±3.52	15.33±2.81	105±9.64	12.26±1.05	32.01±1.21	8.31±0.07	
地膜 覆盖 Plastic covering	CK	13.56±0.42	0.74±0.03	0.68±0.06	60.52±3.56	2.27±1.22	80±10.25	15.77±1.36	32.75±0.95	8.45±0.05	
	N	13.82±0.52	0.78±0.05	0.69±0.05	70.43±4.11	1.52±0.96	81±9.68	15.82±1.98	32.88±1.02	8.31±0.09	
	NP	14.76±0.38	0.73±0.05	0.75±0.05	69.78±4.05	13.48±7.88	82±11.23	14.92±0.99	32.95±1.15	8.30±0.08	
	NK	14.66±0.47	0.85±0.06	0.65±0.04	70.24±4.21	2.03±0.25	112±11.33	16.14±2.23	32.58±1.36	8.29±0.06	
	PK	14.35±0.44	0.74±0.04	0.74±0.08	71.43±3.99	29.71±10.33	130±10.25	15.35±1.98	32.96±0.96	8.25±1.10	
	NPK	14.56±0.46	0.84±0.05	0.76±0.06	69.58±3.26	14.89±11.21	111±9.98	15.84±1.68	32.76±1.89	8.28±0.05	

分析表明,地膜对土壤微生物和土壤理化特性及养分值的影响已较裸地不明显,这可能是由于 6 月分玉米苗期,由于气温已相对较高,降雨量又相对较多,地膜对土壤的湿度和温度的影响已较裸地不明显的缘故。

### 2.3 裸地栽培下土壤微生物与土壤理化特性及养分值的相关分析

依据表 1 中裸地栽培模式下 4 种微生物量数据,即 6 行 4 列组成的矩阵,通过公式(1)~(4),可得 4 种微生物的影响系数(对施肥方式发生相应变化的相对大小):

$$C_1 = [0.7132 \quad 0.2555 \quad 0.2689 \quad 0.3614]$$

同理,依据表 2 中裸地栽培模式下 9 个土壤理化特性及养分指标值,即 6 行 9 列组成的矩阵,通过公式(1)~(4),可得 9 个土壤理化特性及养分指标

的影响系数(对施肥方式发生相应变化的相对大小):

$$C_2 = \begin{bmatrix} -0.3539 & -0.2135 & -0.2119 \\ -0.3134 & -0.1630 & -0.2030 \\ 0.0418 & -0.0012 & 0.3374 \end{bmatrix}$$

从  $C_1$  可以看出,在裸地栽培玉米的模式下,细菌反应变化最大,其次是固氮菌,真菌和防线菌相对较小。从  $C_2$  可以看出,在裸地栽培玉米的模式下,有机质、碱解 N、土壤 pH 反应变化最大,其次是全 N、全 P、速效 P 和速效 K。有机质、碱解 N、全 N、全 P、速效 P 和速效 K 的反应变化与土壤 pH 的反应变化是相反的。土壤含水量、土壤温度的反应变化非常小。

土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的直接相关系数见表 3。

表 3 裸地栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的直接相关系数

Table 3 Direct correlation coefficients among soil microbes, soil physical and chemical properties and soil nutrient levels under no-covering cultivation modes

土壤微生物 Soil microbes	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
$Z_1$	-0.284	-0.496	0.528	0.054	0.680	0.629	-0.116	0.725	0.251
$Z_2$	0.674	-0.253	0.814*	0.379	0.775	0.555	0.187	0.871*	-0.516
$Z_3$	0.743	0.407	0.792	0.241	0.646	0.592	0.124	0.452	-0.328
$Z_4$	0.393	0.372	-0.128	0.630	-0.307	-0.099	0.322	-0.056	-0.809

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ,  $X_1$ (有机质)、 $X_2$ (全 N)、 $X_3$ (全 P)、 $X_4$ (碱解 N)、 $X_5$ (速效 P)、 $X_6$ (速效 K)、 $X_7$ (土壤含水量)、 $X_8$ (土壤温度)、 $X_9$ (土壤 PH),  $Z_1$ (细菌)、 $Z_2$ (真菌)、 $Z_3$ (放线菌)、 $Z_4$ (固氮菌), 下表同。

Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ,  $X_1$ (OM)、 $X_2$ (Total N)、 $X_3$ (Total P)、 $X_4$ (alkalified N)、 $X_5$ (Available P)、 $X_6$ (Available K)、 $X_7$ (soil moisture content)、 $X_8$ (soil temperature)、 $X_9$ (soil pH),  $Z_1$ (Bacterium)、 $Z_2$ (Fungi)、 $Z_3$ (Actinomycete)、 $Z_4$ (Azotobacterium), follows the same to.

从表 3 中可以看出,细菌与土壤温度相关系数较大,但不显著;真菌与全 P、土壤温度相关系数较大,有显著性,与速效 P 相关系数较大但不显著;放线菌与有机质、全 P 相关系数较大,但不显著;固氮菌只与土壤 pH 有较大负相关系数,但也不显著。

依据公式(7)~(9),可以得到裸地栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的综合相关系数,见表 4。

从表 4 来看,4 种微生物与 9 个土壤理化特性及养分指标间的单一综合相关系数都比较小。

从  $R_i(2)$  所在行来看,与微生物关系较大的是  $X_3$ (全 P)和  $X_6$ (速效 P),是负向关系;其次是  $X_1$ (有机质)、 $X_4$ (碱解 N)、 $X_5$ (速效 P)和  $X_9$ (土壤 pH),也是负向关系; $X_7$ (土壤含水量)和  $X_8$ (土壤温度)最小。从  $R_i(1)$  所在列来看,放线菌与 9 个土壤理化特性及养分指标的综合相关系数最大;其次是  $Z_2$ (真菌)和  $Z_4$ (固氮菌); $Z_1$ (细菌)最小,也都是负向关系。土壤微生物与土壤理化特性及养分指标两变量组间的综合相关系数是 -0.7414,也较大,但不显著。

表4 裸地栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的综合相关系数

Table 4 Comprehensive correlation coefficients among soil microbes, soil physical and chemical properties and nutrient levels under no-covering cultivation modes

土壤微生物 Soil microbes	$T_i r_{ij} C_j$									$R_i(1)$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	
$Z_1$	0.071 6	0.075 6	-0.079 8	-0.012 0	-0.079 1	-0.091 0	-0.003 5	-0.000 6	0.060 3	-0.058 5
$Z_2$	-0.061 0	0.013 8	-0.044 1	-0.030 4	-0.032 2	-0.028 8	0.002 0	-0.000 3	-0.044 5	-0.225 4
$Z_3$	-0.070 7	-0.023 4	-0.045 2	-0.020 4	-0.028 3	-0.032 3	0.001 4	-0.000 1	-0.029 8	-0.248 7
$Z_4$	-0.050 3	-0.028 7	0.009 8	-0.071 3	0.018 1	0.007 3	0.004 9	0.000 0	-0.098 6	-0.208 8
$R_i(2)$	-0.110 3	0.037 3	-0.159 2	-0.134 1	-0.121 6	-0.144 9	0.004 8	-0.001 0	-0.112 5	-0.741 4

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

## 2.4 地膜覆盖栽培下土壤微生物与土壤理化特性及养分值的相关分析

依据表1中地膜覆盖栽培模式下4种微生物量数据,即6行4列组成的矩阵,通过公式(1)~(4),可得4种微生物的影响系数(对施肥方式发生相应变化的相对大小):

$$C_3 = [0.570\ 6 \quad 0.204\ 4 \quad 0.215\ 2 \quad 0.289\ 1]$$

同理,依据表2中地膜覆盖栽培模式下9个土壤理化特性及养分指标值,即6行9列组成的矩阵,通过公式(1)~(4),可得9个土壤理化特性及养分指标的影响系数(对施肥方式发生相应变化的相对大小):

$$C_4 = \begin{bmatrix} -0.294\ 9 & -0.177\ 9 & -0.176\ 6 \\ -0.261\ 2 & -0.135\ 8 & -0.169\ 2 \\ 0.034\ 8 & -0.001\ 0 & 0.281\ 2 \end{bmatrix}$$

从 $C_3$ 可以看出,在地膜覆盖栽培玉米的模式下,细菌的反应变化最大,其次是固氮菌,真菌和防线菌相对较小,这与裸地栽培玉米的模式下 $C_1$ 分析结果相同。从 $C_4$ 可以看出,在地膜覆盖栽培玉米的模式下,有机质、碱解N、土壤PH的反应变化最大,其次是全N、全P、速效P和速效K,有机质、碱解N、全N、全P、速效P和速效K的反应变化与土壤PH的反应变化是相反的。土壤含水量、土壤温度的反应变化非常小,这与裸地栽培玉米的模式下 $C_2$ 分析结果相同。这可能是由于6月份玉米苗期,由于气温已相对较高,降雨量又相对较多,地膜对土壤的湿度和温度的影响已较裸地不明显的缘故。

土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的直接相关系数见表5。

表5 地膜覆盖栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的直接相关系数

Table 5 Direct correlation coefficients among soil microbes, soil physical and chemical properties and soil nutrient levels under plastic covering cultivation modes

土壤微生物 Soil microbes	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
$Z_1$	0.574	0.040	0.239	0.822*	0.695	0.772	-0.247	0.301	-0.866*
$Z_2$	0.857*	0.150	0.711	0.393	0.615	0.468	-0.434	0.120	-0.543
$Z_3$	0.698	0.020	0.022	0.259	-0.130	-0.207	-0.392	-0.065	-0.204
$Z_4$	0.612	0.658	-0.046	0.707	-0.246	0.049	0.211	-0.248	-0.606

注: \*  $P < 0.05$ 。Note: \*  $P < 0.05$ .

从表 5 中可以看出,细菌与  $X_4$ (碱解 N)、和  $X_9$ (土壤 pH) 相关系数较大,有显著性,与  $X_6$ (速效 P) 相关系数也较大,但不显著;真菌与  $X_1$ (有机质) 相关系数较大,有显著性,与  $X_3$ (全 P 相关系数也较大,但不显著;放线菌与 9 个土壤理化特性及养分指

标间相关系数都比较小,无显著性;固氮菌只与  $X_4$ (碱解 N) 相关系数较大,但不显著。

依据公式(7)~(9),可以得到地膜覆盖栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的综合相关系数,见表 6。

表 6 地膜覆盖栽培玉米的模式下,土壤微生物与土壤理化特性及养分指标间的综合相关系数

Table 6 Comprehensive correlation coefficients among soil microbes, soil physical and chemical properties and soil nutrient levels under plastic covering cultivation modes

土壤微生物 Soil microbes	$T_{ir_{ij}C_j}$									$R_i(1)$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	
$Z_1$	-0.096 5	-0.004 1	-0.024 1	-0.122 5	-0.053 9	-0.074 5	-0.004 9	-0.000 1	-0.139 0	-0.519 6
$Z_2$	-0.051 6	-0.005 5	-0.025 7	-0.021 0	-0.017 0	-0.016 2	-0.003 1	0	-0.031 2	-0.171 4
$Z_3$	-0.044 3	-0.000 8	-0.000 8	-0.014 5	0.003 8	0.007 6	-0.002 9	0	-0.012 4	-0.064 4
$Z_4$	-0.052 2	-0.033 8	0.002 4	-0.053 4	0.009 6	-0.002 4	0.002 2	0.000 1	-0.049 2	-0.176 8
$R_i(2)$	-0.244 6	-0.044 2	-0.048 2	-0.211 4	-0.057 5	-0.085 6	-0.008 8	-0.000 1	-0.231 7	-0.932 1**

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

从表 6 来看,4 种微生物与 9 个土壤理化特性及养分指标间的单一综合相关系数都比较小。

从  $R_i(2)$  所在行来看,与微生物关系较大的是  $X_1$ (有机质)、 $X_4$ (碱解 N) 和  $X_9$ (土壤 pH), 都是负向关系,其他指标的综合相关系数都非常小。从  $R_i(1)$  所在列来看,  $Z_1$ (细菌) 与 9 个土壤理化特性及养分指标的综合相关系数最大,是负向关系;其次是  $Z_2$ (真菌) 和  $Z_4$ (固氮菌),也是负向关系;  $Z_3$ (放线菌) 最小,也是负向关系。土壤微生物与土壤理化特性及养分指标两变量组间的综合相关系数是 -0.932 1, 极其显著。

### 2.5 施肥方式处理的重要性分析

从表 1 的横向来,可形成在裸地栽培模式下关于不同施肥处理的 6 个变量和地膜覆盖栽培模式下关于不同施肥处理的 6 个变量,即有 2 组变量。

对裸地栽培模式下关于土壤微生物不同施肥处理的 6 个变量进行合成主成分分析,其影响系数:

$$C_5 = [0.355 6 \quad 0.396 3 \quad 0.407 3 \quad 0.406 2 \quad 0.359 8 \quad 0.399 0]$$

对地膜覆盖栽培模式下关于土壤微生物不同施肥处理的 6 个变量进行合成主成分分析,其影响系数:

$$C_6 = [0.361 6 \quad 0.407 8 \quad 0.404 8$$

$$0.407 2 \quad 0.379 1 \quad 0.408 0]$$

从  $C_5$ 、 $C_6$  对应数据来看,都非常相近,差别不大,说明在同一施肥方式下不同栽培模式对土壤微生物的重要性影响不大,这与 2.2 中关于  $F_1$  和  $F_2$  假设检验无显著差异是一致的。 $C_5$  和  $C_6$  中的数据来看,CK 不施肥处理的影响系数最小,其次是 PK 处理的系数较小,其他各种处理的影响系数都相近,说明只要含 N,是否含 P 和 K 对微生物的影响不明显。

同样对表 2 也可以从横向来分析。对裸地栽培模式下关于土壤理化特性及养分不同施肥处理的 6 个变量进行合成主成分分析,其影响系数:

$$C_7 = [0.393 5 \quad 0.398 6 \quad 0.402 2 \quad 0.401 2 \quad 0.406 1 \quad 0.407 3]$$

对地膜覆盖栽培模式下关于土壤理化特性及养分不同施肥处理的 6 个变量进行合成主成分分析,其影响系数:

$$C_8 = [0.398 1 \quad 0.391 2 \quad 0.398 5 \quad 0.405 4 \quad 0.404 7 \quad 0.407 4]$$

从  $C_7$  和  $C_8$  对应数据来看,都非常相近,差别不大,说明在同一施肥方式下不同栽培模式对土壤理化特性及养分影响不大,这与 2.2 中关于  $F_3$  和  $F_4$  假设检验无显著差异是一致的。 $C_7$  和  $C_8$  中的数据来



看,CK 不施肥处理的影响系数最小,其次是 N 处理的系数较小,其他各种处理的影响系数都相近,说明复合施肥对土壤理化特性及养分有重要影响。

### 3 讨论

通过以上的结果分析,可以得到以下基本结论:

1)地膜覆盖栽培玉米,在苗期前期和成熟后期,对土壤温度和含水量的影响,较裸地栽培高,有明显差异,而其他时期差异不明显。

2)裸地栽培玉米下,微生物影响系数(对施肥方式发生相应变化的相对大小)的绝对值大小依次为:细菌、固氮菌,放线菌和真菌。土壤理化特性及养分的重要性依次为:有机质、土壤 pH、碱解 N、全 N、全 P、速效 K、速效 P、土壤含水量和土壤温度。从相关系数来看,细菌与土壤温度直接相关性高。真菌与全 P、土壤温度直接相关系数较大,有显著性,与土壤理化特性及养分的整体综合相关性相对较高,是负向的。放线菌与土壤理化特性及养分的整体综合相关性相对最高,是负向的。固氮菌与土壤理化特性及养分的整体综合相关性也相对最高,是负向的。

3)地膜覆盖栽培玉米下,微生物种群数量与土壤理化特性及养分两变量组间有很高的负向的相关系数,极其显著。微生物影响系数的绝对值大小排序与裸地栽培下相同,对土壤理化特性及养分影响系数的绝对值大小排序,也与裸地栽培下相同。从相关系数来看,细菌与碱解 N、和土壤 pH 相关系数较大,有显著性,与土壤理化特性及养分的整体综合相关系数最大,是负向关系。真菌与有机质相关系数较大,有显著性,与土壤理化特性及养分的整体综合相关性相对较高,是负向的。固氮菌与土壤理化特性及养分的整体综合相关性也相对最高,是负向的。与裸地栽培有所不同,但与土壤理化特性及养分的整体综合相关方向是一致,都是负向变化。

4)同一施肥处理下,栽培模式对土壤理化特性及养分、土壤微生物的影响不大。关于土壤微生物的施肥方式影响系数(对土壤微生物量影响的相对大小)绝对值大小依次为:CK 不施肥处理的影响系数最小,其次是 PK 处理的系数较小,其他各种处理的影响系数都相近,说明只要含 N,是否含 P、K 对微生物的影响不明显。关于土壤理化特性及养分的施肥方式影响系数(对土壤理化特性及养分影响的相对大小)绝对值大小依次为:CK 不施肥处理的影

响系数最小,其次是 N 处理的系数较小,其它各种处理的影响系数都相近,说明复合施肥对土壤理化特性及养分影响重要。

张成娥等<sup>[7]</sup>研究表明,在苗期和成熟期,覆膜土壤含水量高于裸地土壤含水量,在拔节期和抽雄期,覆膜土壤含水量与裸地土壤含水量间差异不明显,与本试验结论一(讨论中 1))基本相同。

卢成阳等<sup>[13]</sup>研究表明,在农作区,细菌与土壤水分有显著负相关性;真菌与有机质、速效 K、速效 N 有显著相关性;放线菌与速效 P、速效 N 有显著相关性,说明土壤微生物与土壤理化特性及养分有相关性,与本试验结论二(讨论中 2))基本一致,但也存在差异,本研究进一步说明不同微生物与土壤理化特性及养分综合相关程度。

张成娥等<sup>[7]</sup>研究表明,微生物量 C、N 和 P 对地膜覆盖的反应特征不同,作物在生长的不同阶段,对土壤微生物活性和养分的影响有很大差异,与本试验结论三(讨论中 3))基本相同,但也存在差异,本研究进一步说明不同微生物与土壤理化特性及养分综合相关程度。

实践证明,要使地膜覆盖增产,首先必须保证土壤有墒有肥,坚持“盖湿不盖干”的基本原则,无水可保会加剧作物的干旱,其次地膜具有保温功能<sup>[6-7]</sup>。本研究也表明地膜覆盖的作用是在玉米生长的前期和后期气温相对偏低,降水量相对少,植物生长需水量不大的情况下,才有明显的保温保墒作用。在 6 和 7 月份高温降水量相对较多时,地膜覆盖对土壤微生物无明显影响,对土壤理化特性及养分也无明显影响。

不同施肥处理,对还田有机物数量多寡有重要影响,对土壤微生物不同种群影响不同,因而对土壤微生物数量产生重要影响<sup>[14-15]</sup>。即使将地上农作物秸秆都移出农田,但施肥农田根茬比不施肥农田根茬还田的有机物也较多,因此施肥农田土壤微生物数量高于或等于不施肥农田。不同施肥处理对土壤微生物数量和土壤理化特性及养分的影响并不完全一致<sup>[8,16]</sup>,本研究表明,N 肥对土壤微生物影响重要,复合肥对土壤理化特性及养分影响重要。

土壤微生物数量和土壤理化特性及养分的综合相关性,在不同的栽培模式下,有所不同,表现出单个指标差异不明显,但多个指标组合后,整体之间的差异就明显的特性,反映了它们间内部综合复杂的效应关系。但总体而言,两者间表现出较大的相关性。

对本研究结果,从多个方面进行分析,结果基本一致,不相矛盾,与实际情况也基本相符,证明本研究提出的综合检验和综合相关分析法,是可行的。在理论上而言,也是科学合理的。该方法有待同仁进一步完善并加以在农田生态领域推广应用。

土壤放线菌、真菌、细菌和生固氮菌等菌群,测定结果往往在时间序列上,处理方式上,差异较大,缺乏明显一致的规律,其原因是可能是:第一,田间空间变异较大,因而受环境条件变化的影响较大。第二,稀释平板法计数测定方法存在一定的误差。因此在研究过程中,只有加大取样频度,开展长期监测研究,才可能在一定程度上弥补平板计数法的不足和增加结果可靠性。因此关于土壤微生物与土壤环境关系的研究,有待进一步深入完善。

### 参 考 文 献

- [1] 王新,陈涛,梁仁禄,等. 污泥土地利用对农作物及土壤的影响研究[J]. 应用生态学报,2002,13(2):163-166
- [2] 周启星,孙顺江. 应用生态学的研究与发展趋势[J]. 应用生态学报,2002,13(7):879-884
- [3] 贺纪正,李晶,郑袁明. 土壤生态系统微生物多样性-稳定性关系的思考[J]. 生物多样性,2013,21(4):1-1
- [4] 李秀英,赵秉强,李絮花,等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. 中国农业科学,2005,38(8):1591-1599
- [5] 赵彤,蒋跃利,闫浩,等. 黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响[J]. 环境科学,2013,34(8):3223-3230
- [6] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等. 地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J]. 农业工程学报,2008,24(4):99-102
- [7] 张成娥,梁银丽,贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响[J]. 生态学报,2002,22(4):508-512
- [8] 张瑞,张贵龙,陈冬青,等. 不同施肥对农田土壤微生物功能多样性的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(2):133-139
- [9] 孙瑞莲,朱鲁生,赵秉强,等. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1907-1910
- [10] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及应用[M]. 北京:中国气象出版社,2006:2-10
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:22-33
- [12] 徐克学. 生物数学[M]. 北京:中国科学出版社,2001:65-69
- [13] 卢成阳,彭晚霞,宋同清,等. 喀斯特峰丛洼地不同生态系统土壤微生物与养分的耦合关系[J]. 生态学杂志,2013,32(3):522-528
- [14] 李世朋,蔡祖聪,杨浩,等. 长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响[J]. 生态学报,2009,29(5):2489-2496
- [15] 罗希茜,郝晓晖,陈涛,等. 长期不同施肥对稻田土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报,2009,29(2):740-748
- [16] 魏巍,许艳丽,朱琳,等. 长期施肥对黑土农田土壤微生物群落的影响[J]. 土壤学报,2013,50(2):372-379

责任编辑:王燕华