

# 长期秸秆还田和施用有机肥对连作棉田土壤化学性质及微生物数量的影响

郭振威<sup>1</sup> 李永山<sup>2,3\*</sup> 陈梦妮<sup>2,3</sup> 范巧兰<sup>2,3</sup> 王慧<sup>2,3</sup>

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业大学 棉花研究所, 山西 运城 044000;

3. 运城市农业科学合作研究院, 山西 运城 044000)

**摘要** 为探究棉花秸秆还田和施用有机肥对连作棉田土壤化学性质和微生物数量的影响,采用长期定位试验的方法,设置了氮磷化肥+秸秆清茬(NP)、氮磷化肥+秸秆还田(NPS)、氮磷化肥+有机肥(NPM)及氮磷化肥+秸秆还田+有机肥(NPSM)等4个处理,对不同处理在棉花不同生育期对土壤的化学性质和微生物数量的影响,并对两者之间的关系进行了探究。结果表明:棉花秸秆还田和施用有机肥均可降低土壤pH,其中NPSM相比NP在各生育期分别显著降低了3.41%、1.86%、3.19%、2.60%;棉花秸秆还田和施用有机肥均可提高土壤的养分含量,其中NPSM比NP在各生育期对土壤中碱解氮含量显著增加140.63%~229.17%,速效钾含量显著增加35.86%~60.54%,有效磷含量显著增加146.92%~483.34%,有机质含量显著增加28.06%~63.07%。秸秆还田和施用有机肥均可增加土壤细菌、真菌、放线菌、固氮菌和氨化细菌的数量,NPSM相比NP明显增加了土壤中细菌、真菌、放线菌、氨化细菌和固氮菌的数量,其中细菌的数量在不同时期增加了119.28%~177.21%;真菌数量增加了156.64%~233.42%;放线菌数量增加了107.40%~158.66%;固氮菌数量增加了95.23%~155.53%;氨化细菌数量增加了279.39%~357.29%,均达到显著性差异水平( $P<0.05$ )。因此,秸秆还田配施有机肥后可显著改善土壤性质,增加土壤养分含量及微生物数量,从而达到优化土壤结构、提升土壤肥力的目的。

**关键词** 秸秆还田; 有机肥; 连作棉田; 土壤化学性质; 微生物

中图分类号 S158.3

文章编号 1007-4333(2022)11-0177-10

文献标志码 A

## Effects of long-term straw returning and organic fertilizer application on the soil chemical properties and microbial quantity of continuous cropping cotton field

GUO Zhenwei<sup>1</sup>, LI Yongshan<sup>2,3\*</sup>, CHEN Mengni<sup>2,3</sup>, FAN Qiaolan<sup>2,3</sup>, WANG Hui<sup>2,3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. Cotton Research Institute, Shanxi Agricultural University, Yuncheng 044000, China;

3. Yuncheng Cooperation Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, China)

**Abstract** To investigate the effects of cotton straw returning and organic fertilizer application on the soil chemical properties and microbial quantity of continuous cropping cotton field, four treatments, e. g., nitrogen and phosphorus fertilizer + straw stubble removal (NP), nitrogen and phosphorus fertilizer + straw returning (NPS), nitrogen and phosphorus fertilizer + organic fertilizer (NPM), nitrogen and phosphorus fertilizer + straw returning + organic fertilizer (NPSM), were set up by using the method of long-term positioning test. The effects of different treatments on soil chemical properties and microbial quantity at different growth stages of cotton in 2021 and the relationship between

收稿日期: 2022-04-01

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0200102)

第一作者: 郭振威, 硕士研究生, E-mail: 418231000@qq.com

通讯作者: 李永山, 研究员, 主要从事植物营养与土壤生态研究, E-mail: sxysli@126.com

them were investigated. The results showed that: Returning cotton straw and applying organic fertilizer could reduce soil pH, and NPSM significantly reduced NP by 3.41%, 1.86%, 3.19% and 2.60% at each growth stage; Returning cotton straw to the field and applying organic fertilizer can improve the nutrient content of soil. Compared with NP, NPSM significantly increased the content of alkali hydrolyzable nitrogen, available potassium, available phosphorus and organic matter by 140.63% - 229.17%, 35.86% - 60.54%, 146.92% - 483.34% and 28.06% - 63.07% respectively. Compared with the nitrogen fixing bacteria and ammonia fixing fungi in soil, the number of bacteria and ammonia fixing fungi in soil increased by 21.77% at different stages of straw fertilization; The number of fungi increased by 156.64% - 233.42%; The number of actinomycetes increased by 107.40% - 158.66%; The number of nitrogen fixing bacteria increased by 95.23% - 155.53%; The number of ammonifying bacteria increased by 279.39% - 357.29% ( $P < 0.05$ ). Therefore, straw returning combined with organic fertilizer can significantly improve soil properties, increase soil nutrient content and microbial quantity, so as to optimize soil structure and improve soil fertility.

**Keywords** straw returning; organic fertilizer; continuous cropping cotton field; chemical properties of soil; microorganism

棉花是我国重要的经济作物<sup>[1]</sup>,是仅次于粮食的第二大农作物<sup>[2]</sup>。2020年全国棉花产量591.1万t,2021年全国棉花产量573.1万t<sup>[3]</sup>。但我国人均耕地面积少,棉花在有限的土地上得不到合理的轮作倒茬,导致生产中棉区都是长期连作。棉花生产存在着明显的连作障碍,制约着棉花可持续发展<sup>[4-6]</sup>。此外,对棉田连作土壤状况的系统研究报道较少,主要集中在新疆棉区<sup>[7]</sup>。同时,由于有机肥源不足,农田养分主要靠化肥补充,土壤生态环境逐渐恶化,土壤肥力持续下降,这也是当前急需解决的一个问题。

秸秆是重要的可再生能源,燃烧秸秆既浪费资源且污染环境,秸秆还田则是合理利用资源的一条有效途径。棉秆富含纤维素、木质素和多缩戊糖,营养比较丰富<sup>[8]</sup>,棉秆还田有利于改良土壤结构<sup>[9]</sup>、改善理化性质、增加土壤养分含量<sup>[10-12]</sup>。此外,每年畜牧业生产带来大量的畜粪,处理不当易造成污染。畜粪作为有机肥,有机质含量高,肥效较长,肥效相对全面,能够改良土壤理化性质,培肥地力,改善土壤中微生物的生物群落结构<sup>[13]</sup>,有利于提高农作物的品质,并且有机肥可以促进土壤的物质循环,在环境保护方面也有着重要的意义<sup>[14-15]</sup>。

目前秸秆还田和有机肥对土壤性质和土壤微生物种群结构和多样性的影响在小麦、玉米、水稻等作物上研究较多,而在长期连作棉花上的系统研究甚少。刘建国等<sup>[16]</sup>、范巧兰等<sup>[17]</sup>研究结果表明,棉花秸秆还田对土壤性质和微生物数量、结构等均产生了显著的有利影响;有机肥的施入对棉田土壤微生物群落结构和数量有显著的改善<sup>[18-19]</sup>;然而,长期连作棉花则会对土壤微生物产生负面的效应<sup>[20]</sup>。已

有研究均是单一的秸秆还田或者有机肥施入带来的影响,而对棉花秸秆还田配合施有机肥对连作棉田的土壤养分和微生物影响的研究在黄淮海棉区的研究报道甚少。因此,为研究棉花秸秆还田和施用有机肥及其配施对连作棉田土壤肥力和土壤生产性能的影响,采用长期定位的试验方法,研究不同处理下棉田土壤的养分含量及土壤微生物数量的变化,以期揭示棉花秸秆还田与施用有机肥对土壤的影响,及不同处理之间的差异与特点,为提高土壤肥力、促进棉花健康生长选择优良方案,棉秆还田和施用有机肥的推广提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

2007年4月始在山西农业大学(山西省农业科学院)棉花研究所牛家凹试验农场进行定位试验。试验基地位于山西省运城市夏县,北纬 $35^{\circ}11'$ ,东经 $111^{\circ}05'$ ,年平均温度 $13.2^{\circ}\text{C}$ ,年日照时长为2293.4h,无霜期212d,年降雨量530mm,夏秋季降雨占到75%,灾害性天气主要是干旱和春季倒春寒。长期定位试验土壤质地为黄壤土,试验初始0~20cm土壤理化性质为有机质含量1.09%,碱解氮89mg/kg,有效磷含量53.1mg/kg,速效钾含量159.6mg/kg,土壤pH8.4。

### 1.2 试验设计

共设置4个处理,每个处理为 $360\text{m}^2$ 的大条区,从中选取棉花长势均匀一致的试验区域 $15\text{m}^2$ ( $2.0\text{m} \times 7.5\text{m}$ )作为试验小区,设3次重复,共计12个小区。各处理施肥情况见表1。每年棉花收获后秸秆还田处理采用机械粉碎全量还田,不还田处

理地块棉花秸秆全部移出,播前旋耕底施氮肥 60%,花铃期追施氮肥 40%,磷肥和发酵鸡粪播种前一次性施入,于 11 月上旬对各处理进行 25 cm 深翻,次年 3 月下旬旋耕整地,4 月中旬地膜覆盖播种,宽窄行种植,密度 6.75 万株/hm<sup>2</sup> 左右,种植品种为转基因抗虫棉科能 0518,4 月初进行播前灌溉,7 月 10 日在花期进行第二次灌溉,各处理以大田常规丰产技术要求进行相同田间管理。

2021 年分别在棉花蕾期(6 月 24 日)、花期(7 月 15 日)、吐絮期(9 月 22 日)和拔秆期(10 月 27 日)用小型土壤采样器按照“S”型采样法采集土壤样品,采集深度为 0—20 cm,每个小区内采集五个点的土样组合成一个混合样品,每个处理三次重复,采集的土壤样品立即放入无菌聚乙烯自封袋带回实验室,部分土样风干、碾磨、过筛用于化学性质的测定,部分置于 4 °C 的冰柜中保存,用于微生物数量的测定。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

处理 Treatment	种类及用量 Type and quantity
氮磷化肥+秸秆清茬 NP	N 为纯 N,用量为 172.5 kg/hm <sup>2</sup> ,P 为 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,用量为 138 kg/hm <sup>2</sup>
氮磷化肥+秸秆还田 NPS	N、P 用量同上,S 为棉花秸秆全量还田
氮磷化肥+有机肥 NPM	N、P 用量同上,M 为发酵鸡粪肥,施入量 22.5 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> (鸡粪中含全氮 1.86%、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 3.67%、K <sub>2</sub> O 1.74%)
氮磷化肥+秸秆还田+有机肥 NPSM	N、P、S、M 用量同上

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 土壤化学性质的测定

土壤 pH 采用  $m(\text{水}) : m(\text{土}) = 2.5 : 1$ , 摇床振荡 30 min, 静置后用 Soilstik 式 pH 计测定<sup>[21]</sup>; 土壤养分含量测定: 速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法<sup>[21]</sup>; 速效钾采用醋酸铵浸提火焰光度法<sup>[21]</sup>; 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-比色法<sup>[22]</sup>; 碱解氮采用碱解扩散法<sup>[23]</sup>。

#### 1.3.2 微生物的测定

土壤微生物数量测定<sup>[24]</sup>: 土壤微生物采用平板计数法, 细菌、真菌、放线菌、固氮菌、氨化细菌所用培养基分别为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基、高氏一号培养基、改良瓦克斯曼 77 号培养基、牛肉膏蛋白胨琼脂培养基。

### 1.4 数据处理

用 Excel 软件进行数据整理和柱状图, 通过 SPSS 软件的 Duncan 法进行方差分析, 利用 Pearson 相关系数评价土壤理化性质与土壤微生物各指标间的相关性, 相关性分析图用 Origin 进行绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对土壤 pH 的影响

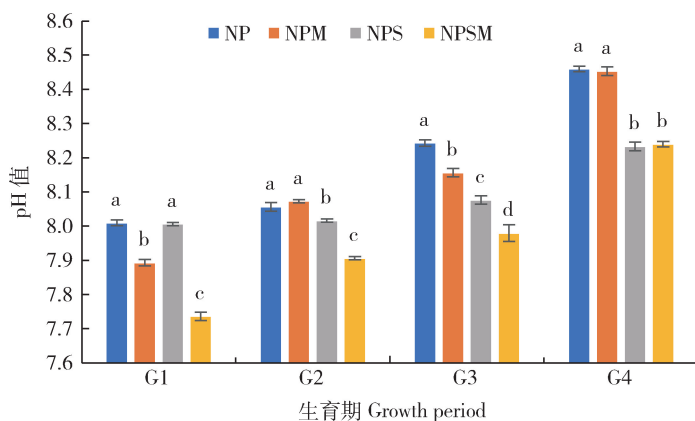
秸秆还田和有机肥对土壤 pH 的影响见图 1。

可见: 随着棉花的生长, 土壤 pH 有逐渐升高的趋势, 处理 NPS 在棉花的 G1 与处理 NP 相比差异不显著, 其余时期均降低了土壤的 pH, 且达到显著性差异水平 ( $P < 0.05$ ); 处理 NPM 在 G2 和 G4 与 NP 处理差异不显著, 在 G1 和 G3 则显著的降低了土壤的 pH, 处理 NPSM 在棉花的整个生育期当中都降低了土壤的 pH, 差异均到达显著性水平 ( $P < 0.05$ )。NPSM 处理明显降低了土壤的 pH, 在各个时期相比于 NP 处理分别降低 3.41%、1.86%、3.19%、2.60% ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同处理对土壤养分的影响

由图 2(a) 可见: 处理 NPS、NPM、NPSM 中碱解氮的含量均高于处理 NP, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 大小次顺序依次为 NPSM > NPS > NPM > NP。其中, 处理 NPSM 显著提高了碱解氮的含量, NPSM 处理在各个生育时期碱解氮含量分别比 NP 处理显著增加 151.72%、140.63%、229.17%、212.50% ( $P < 0.05$ )。

由图 2(c) 可见: 处理 NPS、NPM 和 NPSM 中均可增加土壤中速效钾的含量, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 各处理对速效钾含量影响大小顺序为 NPSM > NPM > NPS > NP; NPSM 处理显著增加了速效钾的含量, NPSM 在棉花各个生育期的速效



G1. 蕾期;G2. 花期;G3. 吐絮期;G4. 拔杆期。下同。

G1. Bud stage; G2. Florescence; G3. Boll opening stage; G4. Pole pulling period. The same below.

同时期数据上方不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Different letters above the data in the same period indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

图1 2021年不同处理对棉花不同生育期土壤pH的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on soil pH at different growth stages of cotton in 2021

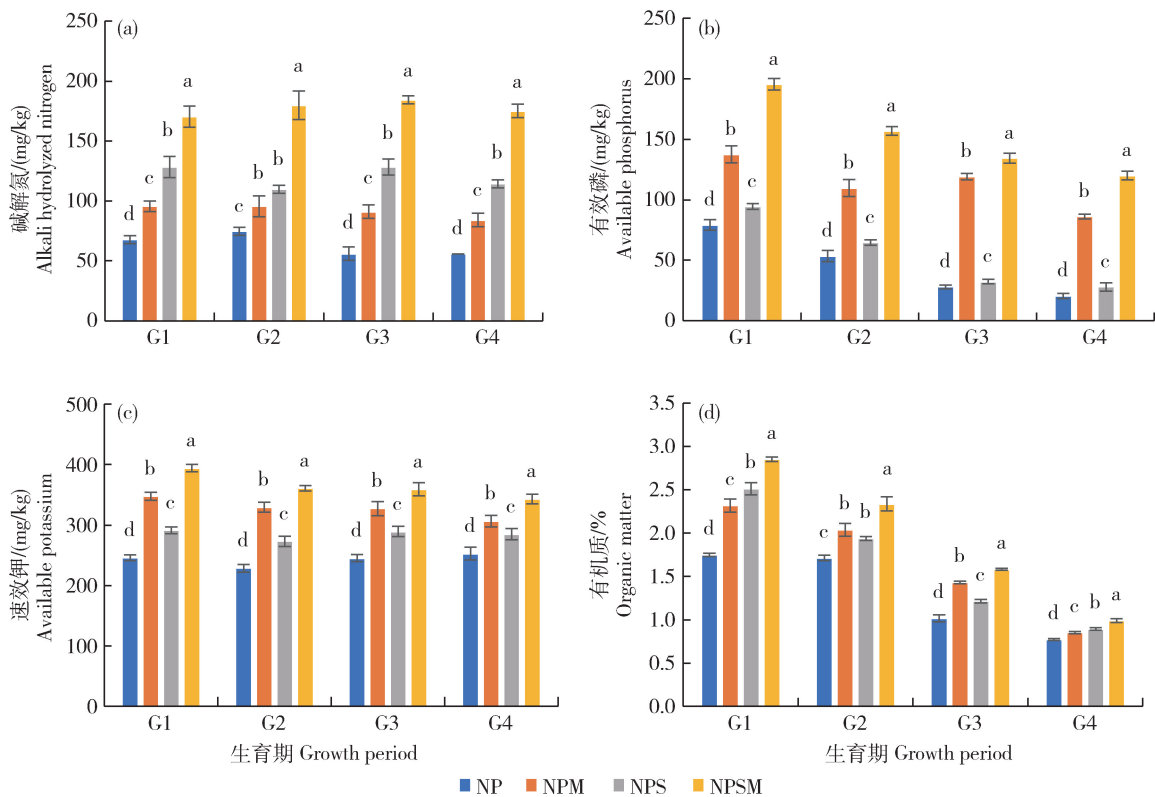


图2 2021年不同处理对棉花不同生育期土壤养分的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on soil nutrients at different growth stages of cotton in 2021

钾含量分别比 NP 处理增加 60.54%、57.89%、46.57%、35.86% ( $P < 0.05$ )。

由图 2(b)可见;处理 NPS、NPSM 和 NPM 在棉花的各个生育期中,其有效磷含量均高于处理

NP,均达到显著水平 ( $P < 0.05$ );各处理对土壤有效磷影响由大到小顺序为 NPSM>NPM>NPS>NP;处理 NPSM 在各个生育期土壤有效磷含量分别比 NP 处理显著增加 146.92%、192.54%、379.10%、

483.34% ( $P < 0.05$ )。

由图 2(d) 可见：处理 NPS、NPM、NPSM 在棉花各生育期有机质含量均高于处理 NP，差异显著，在 G1 和 G4 阶段处理 NPS 有机质含量大于处理 NPM，差异显著，在 G2 和 G3 阶段处理 NPM 有机质含量高于处理 NPS，在 G2 阶段差异不显著，G3 阶段差异显著 ( $P < 0.05$ )。所有处理中，处理 NPSM 对有机质含量影响最大，处理 NPSM 在各个生育时期的有机质含量分别比处理 NP 显著增加 63.07%、36.48%、55.72%、28.06% ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同处理对土壤微生物数量的影响

由表 2 可知：随着棉花的生长，处理 NPM、NPS、NPSM 和 NP 土壤中细菌的数量呈逐渐上升而后下降的趋势。在棉花的各个生育期中，处理 NPM、NPS、NPSM 均显著的增加了土壤细菌的数量，其对细菌数量的影响顺序为：NPSM > NPS >

NPM > NP。4 个处理中，NPSM 处理显著提高了土壤细菌的数量，各个生育期比 NP 处理分别增加了 177.21%、119.28%、129.54%、138.79%，差异均达到显著性水平 ( $P < 0.05$ )。

随着棉花的生长，处理 NPM、NPS、NPSM 和 NP 土壤中真菌数量呈先上升后下降的趋势。在棉花的各个生育期内，处理 NPM、NPS、NPSM 相比处理 NP 真菌的数量均有不同程度的提高，差异均达到显著性水平 ( $P < 0.05$ )。其中，处理 NPM 真菌数量在各个时期高于处理 NPS 真菌数量，并且蕾期、花期、吐絮期 3 个时期中差异均达到显著性水平，在拔杆期时两处理差异不显著 ( $P < 0.05$ )。NPSM 处理对真菌数量影响最大，各个生育期比 NP 处理分别增加了 172.17%、233.42%、208.25%、156.64%，差异均达到显著性水平 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 2021 年不同处理在不同生育期的土壤微生物数量变化

Table 2 Effects of different treatments on soil microbial in different growth stages in 2021

微生物种类 Microbial species	处理 Treatment	蕾期 Bud stage	花期 Florescence	吐絮期 Boll opening stage	拔杆期 Pole pulling period
细菌/(10 <sup>6</sup> cfu/g) Bacteria	NP	186.5 d	280.1 d	309.8 c	240.8 c
	NPM	284.6 c	394.2 c	419.5 b	364.3 b
	NPS	313.9 b	439.7 b	463.5 b	389.2 b
	NPSM	517.0 a	614.2 a	711.1 a	575.0 a
真菌/(10 <sup>4</sup> cfu/g) Fungus	NP	2.706 d	2.723 d	2.897 d	3.146 c
	NPM	6.053 b	6.898 b	6.639 b	6.229 b
	NPS	4.602 c	5.207 c	5.407 c	5.176 b
	NPSM	7.365 a	9.079 a	8.930 a	8.074 a
放线菌/(10 <sup>5</sup> cfu/g) Actinomycetes	NP	18.65 d	17.90 c	18.11 c	15.53 a
	NPM	30.62 c	30.70 b	41.95 a	35.26 b
	NPS	25.68 b	30.47 b	37.81 b	35.03 b
	NPSM	38.68 a	43.87 a	41.34 ab	40.17 b
固氮菌/ (10 <sup>5</sup> cfu/g) Nitrogen fixing bacteria	NP	1.718 c	2.684 d	3.058 c	2.602 c
	NPM	2.342 b	3.487 c	4.480 b	3.879 b
	NPS	2.354 b	4.282 b	4.797 b	4.281 b
	NPSM	3.354 a	5.760 a	7.814 a	5.514 a
氨化细菌/ (10 <sup>5</sup> cfu/g) Ammonifying bacteria	NP	208.4 d	237.3 d	245.5 d	198.1 c
	NPM	414.3 c	458.6 c	452.1 c	431.0 b
	NPS	495.9 b	543.9 b	601.7 b	482.6 b
	NPSM	844.4 a	900.3 a	938.5 a	905.9 a

注：同列数据不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，相同字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

Note: Within the same column, different letters represent significant differences ( $P < 0.05$ ), while the same letters represent no significant differences ( $P > 0.05$ ).



随着棉花的生长,处理 NPM、NPS、NPSM 和 NP 土壤中的放线菌数量均呈先上涨然后下降的趋势。处理 NPS、NPM、NPSM 的放线菌数量均大于处理 NP 的放线菌数量,差异均达到显著性水平( $P < 0.05$ )。处理 NPM 土壤中放线菌数量在各个时期均大于处理 NPS 放线菌的数量,在蕾期和吐絮期时差异达到显著性水平,在花期和拔杆期时差异不显著( $P < 0.05$ )。所有处理中,处理 NPSM 显著提高了土壤中放线菌的数量,各个生育期放线菌数量比 NP 处理分别增长 107.40%、145.08%、128.27%、158.66%,差异均达到显著性水平(表 2)( $P < 0.05$ )。

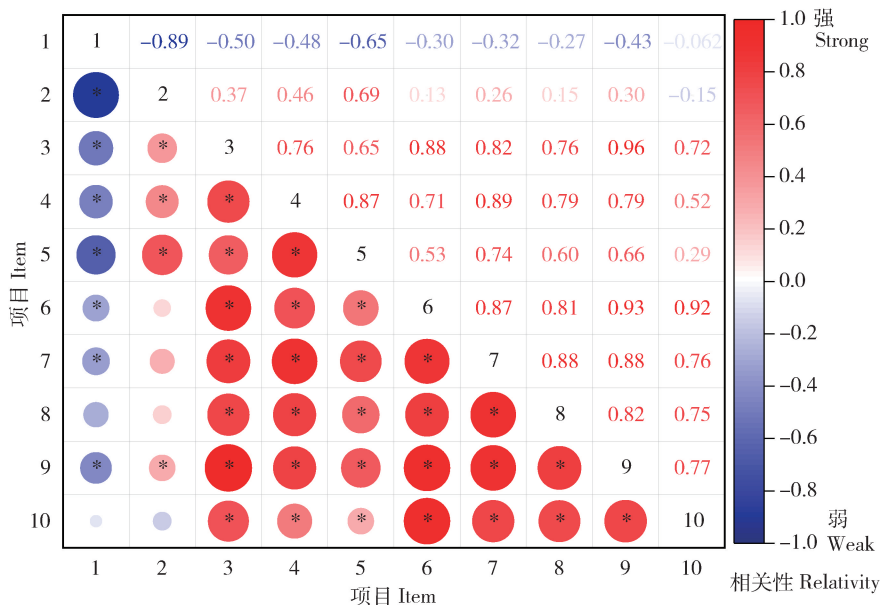
随着棉花的生长,处理 NPM、NPS、NPSM 和 NP 土壤中的固氮菌数量均呈先上升后下降的趋势。处理 NPS、NPM、NPSM 固氮菌的数量在各个时期均大于处理 NP 固氮菌的数量,差异达到显著性水平( $P < 0.05$ )。其中,处理 NPS 在各个时期固氮菌数量大于处理 NPM 固氮菌数量,除在花期时差异达到显著性水平外,其余时期差异均不显著( $P < 0.05$ )。所有处理中,处理 NPSM 显著增加了固氮菌数量,在棉花各个生育期土壤固氮菌数量比 NP 处理分别增加 95.23%、114.61%、155.53%、

111.91%,差异均达到显著性水平( $P < 0.05$ )。

随着棉花的生长,处理 NPM、NPS、NPSM 和 NP 土壤中氨化细菌的数量呈先上升后下降的趋势。处理 NPS、NPM、NPSM 相比于处理 NP 均可提高土壤中氨化细菌的数量,差异均达到显著性水平( $P < 0.05$ )。在棉花整个生育期内处理 NPS 土壤内氨化细菌数量大于处理 NPM 土壤内氨化细菌数量,除拔杆期差异未达到显著性水平外,其余时期差异均达到显著性水平( $P < 0.05$ )。所有处理中,处理 NPSM 显著增加了土壤中氨化细菌的数量,相比于处理 NP,处理 NPSM 在各个时期分别使氨化细菌增加 305.18%、279.39%、282.28%、357.29%,差异均达到显著性水平( $P < 0.05$ )(表 2)。

## 2.4 土壤理化性质与土壤中微生物种类和数量的相关性分析

棉田土壤中化学性质与土壤微生物之间的关系 Pearson 相关性分析结果见图 3。可见:土壤的 pH 与土壤有机质、碱解氮、速效钾的含量和细菌、真菌、氨化细菌的数量均呈显著负相关,与放线菌和固氮菌的数量也呈负相关,但差异不显著;土壤碱解氮、速效钾和有效磷的含量与细菌、真菌、放线菌、氨化细菌和固氮菌的数量均呈显著的正相关,其中碱解



\*  $P \leq 0.05$

1. Ph; 2. 有机质; 3. 碱解氮; 4. 速效钾; 5. 有效磷; 6. 细菌; 7. 真菌; 8. 放线菌; 9. 氨化细菌; 10. 固氮菌。

1. pH; 2. Organic matter; 3. Alkali hydrolyzed nitrogen; 4. Available potassium; 5. Available phosphorus; 6. Bacteria; 7. Fungus; 8. Actinomycetes; 9. Ammonifying bacteria; 10. Nitrogen fixing bacteria.

图 3 土壤化学性质与土壤中微生物种类和数量的相关性

Fig. 3 Correlation between soil chemical properties and microbial species and quantities in soil

氮与氨化细菌相关系数可达 0.96；有机质的含量与细菌、真菌、放线菌、氨化细菌的数量呈正相关，除与氨化细菌达到显著性差异水平外，其余均未达到显著性差异水平( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同施肥措施对土壤化学性质的影响

长期不同的施肥措施对连作棉田土壤的性质有着不同程度的影响。土壤的酸碱度是土壤的基础指标之一，是影响土壤养分有效性、植株生长发育的重要因素。秦都林等<sup>[9]</sup>研究指出，棉花秸秆还田有降低土壤 pH 的趋势，但未达到显著性差异；吴从稳等<sup>[25]</sup>研究发现棉花秸秆还田后可降低土壤的 pH。与上述结果一致，本研究表明棉花秸秆还田后可降低土壤的 pH 值，配施有机肥后抑制效果更加明显。相反，张富丽等<sup>[26]</sup>研究表明 Bt 抗虫棉秸秆还田后可提高土壤的 pH 值，可能是因为其供试土壤为偏酸性，而本研究土壤为偏碱性，所以最终棉花秸秆还田后土壤 pH 值向中性靠近。

植物的生长发育与土壤环境的优良密切相关，棉花秸秆还田后可有效改善土壤的理化性质，棉花秸秆和有机肥中含有大量作物所需的 N、P、K 等营养元素<sup>[27]</sup>，施入土壤后不断腐解，有机质、氮素、磷素及钾素不断释放，有利于提高土壤有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量。张富丽等<sup>[26]</sup>指出棉花秸秆原位还田后，土壤中有效磷、速效钾、有机质和碱解氮的含量均显著的提高。这与本研究结果基本一致。秸秆还田、有机肥和秸秆还田配施有机肥后对土壤碱解氮、速效钾、有效磷、和有机质的含量均有不同程度的提高，除秸秆还田在吐絮期对有效磷的含量增加差异未达到显著性水平外，其余则均达到显著性水平( $P < 0.05$ )。刘艳慧等<sup>[28]</sup>研究发现棉花秸秆还田后会显著增加土壤中有机质、碱解氮和速效钾的含量，对于有效磷则影响不显著。对磷的影响结果略有差异可能是因为还田的棉花植株品种相异，其磷素含量有差异，所以导致还田后土壤中有效磷的含量不同。

棉花长期连作会使土壤养分含量下降，土壤理化性质变差，土壤肥力降低。本研究则证明，秸秆还田和施用有机肥可增加土壤养分含量、改善土壤性质、提高土壤肥力，可有效降低棉花连作带来的危害。尤其是二者结合协同下效果明显更佳，一方面，有机肥的加入本身对土壤营养元素就具有增加效

应，对土壤 pH 就具有抑制作用，所以配施秸秆还田后共同作用效果更佳；另一方面，随着有机肥的加入会促进棉花秸秆的腐解，使其养分释放更加快速、彻底。

#### 3.2 不同施肥措施对微生物数量的影响

本研究表明棉花秸秆还田能够增加土壤微生物数量：在棉花生长各个时期，与单施化肥相比，秸秆还田配施化肥更有利于土壤中细菌、真菌、放线菌、固氮菌及氨化细菌数量的增加；与化肥配施有机肥相比，在此基础上秸秆还田，更有利于土壤中微生物数量的增加。刘军等<sup>[12]</sup>通过分析长期不同连作年限及秸秆还田棉田土壤微生物量及种群结构变化，研究表明秸秆还田连作模式下，真菌数量持续增加，与本研究结果相一致。原因可能是随着棉花秸秆还田年限的增加，累积在土壤中未完全腐解的秸秆含量增加，而秸秆的腐解需要靠微生物来完成，秸秆又可以为其提供丰富的碳源和氮源，因此微生物含量表现为增加趋势。但是土壤中真菌数量的增加，又会造成一些病虫害发生的几率有所提高<sup>[28]</sup>。因此，虽然秸秆还田能够提高土壤微生物的数量，但同时也要顾及到真菌数量的影响，因此适宜的秸秆还田量也需要进一步研究，以能够提高土壤微生物含量又不至引起病虫害为宜。土壤氨化细菌主要分解土壤中含氮有机化合物释放  $\text{NH}_4^+$ ，秸秆还田作为含氮有机化合物，还田后会为氨化细菌提供丰富的氮源，使其数量增加。放线菌广泛分布于自然界中，棉花秸秆作为外源有机物料，提高了土壤有机物含量，适宜放线菌的生存。

#### 3.3 土壤理化性质与土壤微生物数量相关性

土壤的养分状况是微生物活动的物质基础，土壤结构良好，酸碱环境适宜和养分充足的土壤能够为土壤微生物提供优良的生存条件，有利于微生物的生长。已有研究证实了土壤微生物与土壤肥力的密切关系<sup>[29-30]</sup>。本研究的长期定位试验发现连作棉田中土壤 pH 与微生物的数量呈负相关，土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾与微生物数量呈正相关。说明微生物的生长需要适宜的酸碱环境，在一定范围内，pH 会抑制微生物的数量。此外，随着秸秆还田和有机肥施入，为土壤注入大量的养分，充足的营养会为土壤微生物营造良好的生存环境，使微生物代谢加强，同时促进土壤中腐殖质和难分解有机物的矿化，从而提升土壤肥力<sup>[31-32]</sup>。土壤肥力的提升为棉花的生长提供了充足的养分条件，使其根

系发达,根系分泌大量有机物,为根际微生物提供易于吸收利用的碳源,从而促进土壤微生物的发育,增加微生物的数量<sup>[33]</sup>。

## 4 结 论

本研究经过对不同处理连作棉田土壤的化学性质及微生物数量的测定,主要结论如下:

1)棉花秸秆还田和施用有机肥均可降低土壤pH,其中处理NPSM对土壤pH降低幅度最大,在棉花各个时期分别显著降低3.41%、1.86%、3.19%、2.60% ( $P < 0.05$ );

2)棉花秸秆还田和施用有机肥均可提高土壤的养分含量,其中处理NPSM对土壤中碱解氮、速效钾、有效磷和有机质增加效果最显著 ( $P < 0.05$ );

3)处理NPS、NPM和NPSM均对土壤微生物的数量有显著的影响 ( $P < 0.05$ ),其中处理NPSM对土壤细菌、真菌、放线菌、固氮菌、氨化细菌数量影响最大;

4)碱解氮、速效钾、速效磷与细菌、真菌、放线菌、氨化细菌、固氮菌的数量均呈显著的正相关,pH和细菌、真菌、氨化细菌数量呈显著负相关,与放线菌和固氮菌呈不显著负相关 ( $P < 0.05$ )。

## 参考文献 References

[1] 李勤昌, 昌敏. 提升中国棉花产业国际竞争力的路径选择[J]. 国际贸易问题, 2011(10): 34-47  
Li Q C, Chang M. Upgrading path of international competitiveness for Chinese cotton industry[J]. *Journal of International Trade*, 2011(10): 34-47 (in Chinese)

[2] 刘传迹, 金晓斌, 徐伟义, 乔郭亮, 杨绪红, 周寅康. 2000—2020年南疆地区棉花种植空间格局及其变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 223-232  
Liu C J, Jin X B, Xu W Y, Qiao G L, Yang X H, Zhou Y K. Analysis of the spatial distribution and variation characteristics of cotton planting in southern Xinjiang from 2000 to 2020[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(16): 223-232 (in Chinese)

[3] 中华人民共和国国家统计局. 主要农产品产量[EB/OL]. (2021-12-14). <http://data.stats.gov.cn>  
National bureau of statistics of the people's republic of China output of main agricultural products[EB/OL]. (2021-12-14). <http://data.stats.gov.cn>

[4] 李国, 易强, 许世武, 焦天奇, 孙彪, 陈志荣, 赵孝卫. 微生物菌剂对新疆棉花连作障碍的消减研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 202-207

Li G, Yi Q, Xu S W, Jiao T Q, Sun B, Chen Z R, Zhao X W. Preliminary study on microbial agents alleviating cotton continuous cropping obstacles in Xinjiang [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(1): 202-207 (in Chinese)

[5] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 孙艳艳, 卞新民. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725-733  
Liu J G, Zhang W, Li Y B, Sun Y Y, Bian X M. Effects of long-term continuous cropping system of cotton on soil physical-chemical properties and activities of soil enzyme in oasis in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 725-733 (in Chinese)

[6] 陈虹, 杨磊, 张凤华. 新疆长期棉花连作对土壤理化性状与线虫群落的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(12): 4263-4271  
Chen H, Yang L, Zhang F H. Effects of continuous cotton monocropping on soil physicochemical properties and nematode community in Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(12): 4263-4271 (in Chinese)

[7] 刘建国, 蒋桂英, 赖先齐, 王建彬. 新疆不同生态区与经济区棉花轮作模式[J]. 中国棉花, 2001, 28(8): 41-42  
Liu J G, Jiang G Y, Lai X Q, Wang J B. Cotton rotation and continuous cropping model in different ecological and economic regions of Xinjiang[J]. *China Cotton*, 2001, 28(8): 41-42 (in Chinese)

[8] 吴杰. 新疆棉花秸秆利用现状分析和探讨[J]. 中国棉花, 2006, 33(2): 9-11  
Wu J. Analysis and discussion on utilization of cotton straw in Xinjiang[J]. *China Cotton*, 2006, 33(2): 9-11 (in Chinese)

[9] 秦都林, 王双磊, 刘艳慧, 聂建军, 赵娜, 毛丽丽, 宋宪亮, 孙学振. 滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(7): 1030-1042  
Qin D L, Wang S L, Liu Y H, Nie J J, Zhao N, Mao L L, Song X L, Sun X Z. Effects of cotton stalk returning on soil physical and chemical properties and cotton yield in coastal saline-alkali soil[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(7): 1030-1042 (in Chinese)

[10] 牛百成, 赵成义, 俞永祥, 谭立海, 安志山. 棉花秸秆和氮肥对土壤CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>O排放及碳氮排放系数的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1323-1330  
Niu B C, Zhao C Y, Yu Y X, Tan L H, An Z S. Effects of cotton straw and nitrogen fertilizer on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and their coefficients[J]. *Arid Zone Research*, 2017, 34(6): 1323-1330 (in Chinese)

[11] 黄金花, 刘军, 杨志兰, 魏飞, 郭成藏, 景峰, 刘建国. 秸秆还田下长期连作棉田土壤有机碳活性组分的变化特征[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 387-395  
Huang J H, Liu J, Yang Z L, Wei F, Guo C Z, Jing F, Liu J G. Changes of cotton straw incorporation on soil organic carbon activity matter of long-term continuous cropping cotton field[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24(3): 387-395 (in Chinese)



- [12] 刘军, 唐志敏, 刘建国, 张东升, 刘萍, 蒋桂英. 长期连作及秸秆还田对棉田土壤微生物量及种群结构的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1418-1422  
Liu J, Tang Z M, Liu J G, Zhang D S, Liu P, Jiang G Y. Effects of cotton continuous cropping and returning stalks to soil on the quantities and community structure of soil microbes[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(8): 1418-1422 (in Chinese)
- [13] Zhu Y G, Gillings M, Simonet P, Stekel D, Banwart S, Penuelas J. Microbial mass movements[J]. *Science*, 2017, 357(6356): 1099-1100
- [14] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 175-181  
Ning C, Wang J W, Cai K Z. The effects of organic fertilizers on soil fertility and soil environmental quality: A review[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2016, 25(1): 175-181 (in Chinese)
- [15] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 秦道珠, 八木一行, 宝川靖和. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139  
Xu M G, Li D C, Li J M, Qin D Z, Kazuyuki Yi, Yasukazu H. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in human of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3133-3139 (in Chinese)
- [16] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 张伟, 李崧. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027-1032  
Liu J G, Bian X M, Li Y B, Zhang W, Li S. Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1027-1032 (in Chinese)
- [17] 范巧兰, 陈耕, 李永山, 张冬梅, 柴永峰, 李燕娥. 转基因棉花不同生物量对土壤微生物群落结构的影响[J]. 棉花学报, 2012, 24(1): 85-90  
Fan Q L, Chen G, Li Y S, Zhang D M, Chai Y F, Li Y E. Effects of transgenic Bt cotton biomass on soil microbial community structure, based on phospholipid fatty acid analysis[J]. *Cotton Science*, 2012, 24(1): 85-90 (in Chinese)
- [18] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 唐诚, 李俊华, 梁永超. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146  
Tao L, Chu G X, Liu T, Tang C, Li J H, Liang Y C. Impacts of organic manure partial substitution for chemical fertilizer on cotton yield, soil microbial community and enzyme activities in mono-cropping system in drip irrigation condition[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(21): 6137-6146 (in Chinese)
- [19] Tao Rui, Hu Baowei, Chu Guixin. Impacts of organic fertilization with a drip irrigation system on bacterial and fungal communities in cotton field[J]. *Agricultural system*, 2020, 182: 102820
- [20] 李永山, 范巧兰, 刘凯, 陈耕, 张冬梅, 贾峥嵘, 柴永峰, 席凯鹏, 张建诚. 种植转 Bt 基因棉花不同年限土壤 PLFA 指纹特征与差异[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(3): 30-37  
Li Y S, Fan Q L, Liu K, Chen G, Zhang D M, Jia Z R, Chai Y F, Xi K P, Zhang J C. Effects of consecutive cultivation of Bt transgenic cotton on soil microbial community structure based on the characterization of phospholipids fatty acids[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(3): 30-37 (in Chinese)
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000  
Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*[M]. 3rd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [22] 钱宝, 刘凌, 肖潇. 土壤有机质测定方法对比分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 34-38  
Qian B, Liu L, Xiao X. Comparative tests on different methods for content of soil organic matter[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2011, 39(1): 34-38 (in Chinese)
- [23] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 243-279  
Yan C S. *Research Methods for Soil Fertility*[M]. Beijing: Agriculture Press, 1988: 243-279 (in Chinese)
- [24] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986  
Xu G H, Zheng H Y. *Microbial Analysis Handbook*[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986 (in Chinese)
- [25] 吴从稳, 陈小兵, 单晶晶, 尹春艳, 袁玲, 张立宾. 棉秆不同处理方式对滨海盐碱土壤理化性质和棉花产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(5): 96-104  
Wu C W, Chen X B, Shan J J, Yin C Y, Yuan L, Zhang L B. Effect of cotton straw returning after treatments on the physicochemical properties of coastal saline soil and the cotton yield[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016, (5): 96-104 (in Chinese)
- [26] 张富丽, 尹全, 王东, 杨晓凤, 刘文娟, 郭灵安, 雷绍荣, 宋君, 罗苹. Bt 抗虫棉秸秆还田对土壤养分特征的影响[J]. 生物安全学报, 2020, 29(1): 69-77  
Zhang F L, Yin Q, Wang D, Yang X F, Liu W J, Guo L A, Lei S R, Song J, Luo P. Effects of returning Bt cotton straw on soil nutrient characteristics[J]. *Journal of Biosafety*, 2020, 29(1): 69-77 (in Chinese)
- [27] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 郝艳如, 张昌爱. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623  
Lao X R, Sun W H, Wang Z, Hao Y R, Zhang C A. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618-623 (in Chinese)
- [28] 刘艳慧, 王双磊, 李金埔, 秦都林, 张美玲, 聂军军, 毛丽丽,

- 宋宪亮, 孙学振. 棉花秸秆还田对土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(6): 151-156
- Liu Y H, Wang S L, Li J P, Qin D L, Zhang M L, Nie J J, Mao L L, Song X L, Sun X Z. Effects of cotton straw returning soil on soil microbes quantities and enzyme activities [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(6): 151-156 (in Chinese)
- [29] 沈宏, 曹志洪, 徐本生. 玉米生长期间土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 471-474
- Shen H, Cao Z H, Xu B S. Dynamics of soil microbial biomass and soil enzyme activity and their relationships during maize growth[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 471-474 (in Chinese)
- [30] 徐强, 程智慧, 孟焕文, 张昱. 玉米-线辣椒套作系统中土壤养分与根际土壤微生物、酶活性的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2747-2754
- Xu Q, Cheng Z H, Meng H W, Zhang Y. Relationships between soil nutrients and rhizospheric soil microbial communities and enzyme activities in a maize-capsicum intercropping system [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2747-2754 (in Chinese)
- [31] 龚伟, 颜晓元, 王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 336-342
- Gong W, Yan X Y, Wang J Y. Effect of long-term fertilization on soil fertility[J]. *Soils*, 2011, 43(3): 336-342 (in Chinese)
- [32] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 李燕婷, 孙瑞莲, 朱鲁生, 徐晶, 王丽霞, 李小平, 张夫道. 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
- Li X Y, Zhao B Q, Li X H, Li Y T, Sun R L, Zhu L S, Xu J, Wang L X, Li X P, Zhang F D. Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(8): 1591-1599 (in Chinese)
- [33] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 长期施肥条件下黑土有机碳和氮的动态变化[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 545-548
- Qiao Y F, Miao S J, Han X Z. Dynamics of soil organic carbon and nitrogen in black soil under a long-term application of fertilizers[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(3): 545-548 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东