文章编号：1005-0906(2016)02-0147-08 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20160226

长期定位施肥玉米生育期内微生物量碳、氮和微生物数量的动态变化

吴海燕[1],范作伟[1],孙甜田[2],彭 畅[1],高洪军[1],
张秀芝[1],李 强[1],刘淑霞[2],朱 平[1]
(1.吉林省农业科学院农业资源与环境研究所,长春 130033; 2.吉林农业大学资源与环境学院,长春 130118)

摘 要：对吉林省公主岭市国家黑土肥力和肥料效益长期定位试验(2014年土样)进行测定和分析,探讨长期定位施肥条件下黑土中微生物量碳、氮和微生物数量在玉米生育期内的动态变化。结果表明,长期不同定位施肥处理黑土中微生物量碳、氮在玉米生育期内呈大致相同的变化规律,从苗期至拔节期下降,拔节期至开花期上升并达到峰值,开花期至收获期下降。微生物数量在苗期至拔节期变化不明显,开花期微生物数量急剧上升,达到峰值,开花期至灌浆期明显下降,并趋于稳定。黑土中微生物量碳、氮和微生物数量在玉米生育期内的动态变化表现出较好的一致性,长期不同定位施肥处理之间相比,有机无机配施、秸秆还田、玉米与大豆轮作等施肥措施可提高土壤中微生物量碳、氮含量和微生物数量。

关键词：玉米;生育期;黑土;微生物量碳;微生物量氮;微生物数量
中图分类号：S513.062;S182 **文献标识码**：A

Dynamic Changes of Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Microbial Quantity in Maize Growth Period under Long-term Fertilization

WU Hai-yan[1], FAN Zuo-wei[1], SUN Tian-tian[2], PENG Chang[1], GAO Hong-jun[1],
ZHANG Xiu-zhi[1], LI Qiang[1], LIU Shu-xia[2], ZHU Ping[1]
(1. *Institute of Agricultural Environment and Resources Research, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130033;
2. *Institute of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, China)

Abstract: In order to investigate the dynamic changes of black soil microbial biomass carbon, nitrogen and microbial quantity during growth of maize, soil samples collected in 2014 were investigated based on the long-term experiment of national black soil and fertilizer efficiency in Gongzhuling City, Jilin Province, China. The results showed that: the microbial biomass carbon and nitrogen showed changes in roughly the same during maize growth period among different fertilization treatment. From seedling to jointing stage decreasing, jointing stage to the flowering period rising, peaked at the flowering period, flowering period to harvest declining; Microbial quantity does not change significantly from seedling to jointing stage, flowering period rising rapidly, peaked at flowering period, flowering period to filling stage significantly decreasing, and tending to be stable. The experimental results indicated that the fertilization measures, such as organic and inorganic fertilizer, straw returned, maize and soybean rotation, can increase the content of microbial biomass carbon, nitrogen and microbial quantity in black soil during maize growth period.

Key words: Maize; Growth period; Black soil; Microbial biomass carbon; Microbial biomass nitrogen; Microbial quantity

收稿日期：2015-02-05
基金项目：国家科技支撑计划子课题(LFGC14215)
作者简介：吴海燕(1968-),女,博士,研究员,主要从事土壤微生物研究和微生物肥料的研制。E-mail:wuhaiyan1968@163.com
朱 平为本文通讯作者。E-mail:158929509@qq.com

土壤微生物生物量是土壤有机质的组成部分和土壤中植物有效养料的储备库[1~3],其对土壤环境因子的变化极为敏感[4,5],现已成为近年来国内外土壤与植物营养研究的热点之一[6~8]。土壤中微生物数量巨大,种类繁多[9,10]。群落结构组成的多样性和均匀性在提高土壤生态系统稳定性的同时,也增强了土壤抵抗外界环境恶化的能力[11~13]。土壤微生物生物量和土壤微生物数量是土壤生物肥力的重要指标[14~16]。

施肥是影响土壤质量及其可持续利用最深刻的农业措施之一。相关研究结果表明,施用有机肥料可显著提高土壤微生物量碳、氮的含量[17,18]。施用化学肥料可提高土壤微生物量,过量施用化肥却降低了土壤微生物量碳的含量[19]。有机无机肥配施可明显提高土壤中微生物数量[20]。黑土是我国主要耕地土壤之一,主要位于吉林省和黑龙江省。黑土虽然开垦较晚,但是由于长期重用轻养,土壤有机质含量呈下降趋势,养分耗损量大,黑土层变薄[21,22],土壤生物肥力下降。因此,本研究以吉林省公主岭的国家黑土肥力和肥料效益长期定位试验基地为平台,探讨长期定位施肥条件下,玉米生育期内黑土土壤微生物量碳、氮和微生物数量的动态变化以及土壤微生物生物量碳、氮和微生物数量与土壤养分的关系,为作物高产、稳产营造健康的土壤生物化学环境,为科学合理施肥、实现耕地土壤可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

供试土样采自公主岭国家黑土长期定位试验监测基地,试验地位于吉林省农业科学院(43°30′N,124°48′E)。黑土层厚度为中层,成土母质为第一纪黄土状沉积物,地势平坦,地形呈波状起伏。试验地年平均气温4.6℃~5.6℃,年最高气温34℃,最低-35℃,无霜期110 ~140 d,有效积温1 600~3 000℃·d,年降水量450~600 mm,年蒸发量1 200~1 600 mm,年日照时数2 500 ~2 700 h[23]。长期定位试验始于1980年,土壤类型为黑土。供试品种为先玉335。

1.2 试验设计

试验设计见表1。

表1 试验设计

Table 1 Experiment design

编号 No.	处理 Treatment	代号 Code	备注 Remark
1	对照	CK	不施肥,种植作物
2	单施化肥	NPK	化肥纯N 165 kg/hm^2,纯P_2O_5 82.5 kg/hm^2,纯K_2O 82.5 kg/hm^2
3	有机肥+化肥	NPK+M2	化肥纯N 165 kg/hm^2,纯P_2O_5 82.5 kg/hm^2,纯K_2O 82.5 kg/hm^2,有机肥30 000 kg/hm^2
4	化肥+秸秆还田	NPK+S	化肥纯N 112 kg/hm^2,施粉碎稻秆,折纯N 53 kg/hm^2,纯P_2O_5 82.5 kg/hm^2,纯K_2O 82.5 kg/hm^2
5	有机肥+化肥	NPK+M1	化肥纯N 50 kg/hm^2,纯P_2O_5 82.5 kg/hm^2,纯K_2O 82.5 kg/hm^2,有机肥纯N 115 kg/hm^2
6	有机肥+化肥+轮作	NPK+M1(R)	2年玉米与1年大豆轮作,施肥量同NPK+M1
7	有机肥+化肥	NPK+1.5M1	化肥纯N 70 kg/hm^2,纯P_2O_5 123.7 kg/hm^2,纯K_2O 123.7 kg/hm^2,有机肥纯N 172.5 kg/hm^2

1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品采集

2014年分别在玉米苗期(5月28日)、拔节期(6月23日)、开花期(7月26日)、灌浆期(8月15日)和收获后(10月9日)采集土壤样本。方法为每个处理采集0~20 cm耕层土样,取3点混合,分装2份,1份置于4℃冰箱用于测定土壤微生物量碳、氮和微生物数量;另1份剔除石砾和植物残根等杂物,风干后过1 mm筛备用,样品用来测定土壤酶活性及土壤养分。

1.3.2 土壤微生物量碳、氮的测定

土样微生物量碳和氮采用氯仿熏蒸-K_2SO_4浸提法;浸提液中的微生物量碳采用$K_2Cr_2O_7$加热氧化,$FeSO_4$滴定法;浸提液中的微生物量氮采用凯氏定氮法。每个土样设3次重复[24,25]。

1.3.3 土壤微生物数量测定

微生物数量测定采用平板计数法,细菌选用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌选用马丁氏培养基,放线菌选用高氏1号培养基,固氮菌采用阿须贝培养基平板计数法,磷细菌选用无机磷发酵培养基[26]。将制备好的土壤悬浮液稀释到所需浓度,细菌为10^{-5}、10^{-6}、10^{-7};放线菌为10^{-3}、10^{-4}、10^{-5};真菌为10^{-1}、10^{-2}、10^{-3};磷细菌为10^{-3}、10^{-4}、10^{-5};固氮菌是10^{-3}、10^{-4}、10^{-5}。28℃培养箱中培养,对培养出的菌落进行记数、统计

和分析。

1.4　数据处理与分析

采用 Excell 2003 及 SPSS 19.0 进行数据处理,并利用LSD法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　长期定位施肥下玉米生育期内微生物量的动态变化

2.1.1　长期定位施肥下玉米不同生育期微生物量碳的动态变化

长期定位施肥处理下土壤中微生物量碳在玉米不同生育期内动态变化见图1。微生物量碳在玉米整个生育期的动态变化,苗期至拔节期微生物量碳含量降低;开花期微生物量碳含量升高,并达到峰值;开花期至收获后期呈下降趋势。拔节期和收获期微生物量碳含量相差不大。

不同施肥处理间土壤中微生物量碳含量相比,NPK + 1.5M1、NPK + M2、NPK + M1、NPK + M1(R) 和 NPK+S 处理土壤中微生物量碳含量与NPK处理相比均有所提高,提高幅度分别为苗期93%、86%、56%、55%和14%;拔节期分别提高117%、104%、60%、28%和11%;开花期分别提高88%、80%、69%、53%和41%;灌浆期分别提高66%、60%、56%、48%和12%;收获期分别提高103%、88%、68%、47%和39%。NPK处理微生物量碳含量与CK处理相比,5个时期提高幅度分别是38%、38%、37%、35%和34%。结果表明,施肥处理与CK相比,均显著提高了土壤中微生物量碳含量,有机肥配施化肥高于氮磷钾配施秸秆,氮磷钾配施秸秆高于氮磷钾化肥单施。有机肥配合化肥施用促进效果最明显,秸秆配施化肥效果次之,氮磷钾处理促进作用最小。

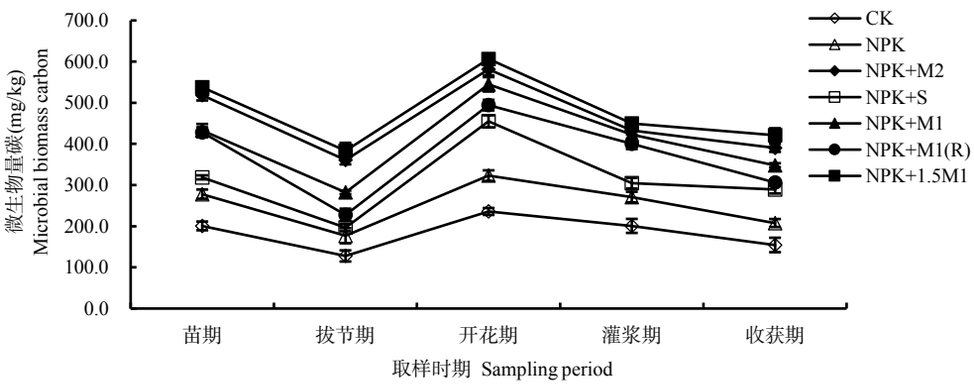

图1　不同施肥处理微生物量碳的动态变化

Fig.1　The dynamic changes of microbial biomass carbon of different fertilization treatments

2.1.2　长期定位施肥下玉米不同生育期微生物量氮的动态变化

长期定位施肥处理下土壤中微生物量氮在玉米不同生育期内动态变化见图2。微生物量氮在玉米整个生育期的动态变化,苗期至拔节期微生物量碳含量降低;开花期微生物量氮含量升高,开花期达到峰值;开花期至收获后期呈下降趋势。拔节期和收获期微生物量氮含量相差不大。

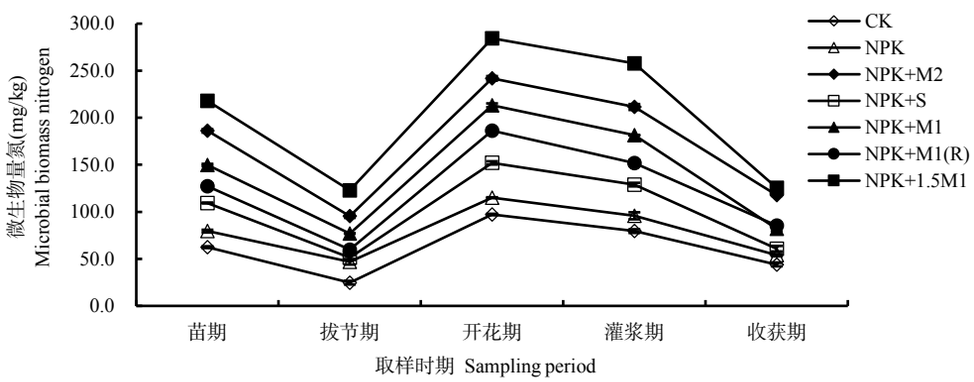

图2　不同施肥处理微生物量氮的动态变化

Fig.2　The dynamic changes of microbial biomass nitrogen of different fertilization treatments

在玉米各关键生育期，NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+M1(R)和NPK+S处理土壤中微生物量氮含量与NPK处理相比均有所提高，提高幅度分别为苗期174%、134%、88%、60%和37%；拔节期分别提高162%、103%、63%、28%和9%；开花期分别提高147%、110%、85%、61%和32%；灌浆期分别提高169%、120%、89%、59%和34%；收获期分别提高132%、118%、52%、58%和13%。NPK单施处理的微生物量氮含量与CK相比，5个时期分别提高27%、90%、18%、20%和23%。由此可以看出，施肥处理与CK相比，均显著提高了土壤中微生物量氮含量，但有机肥配合化肥施用，促进效果最明显，秸秆配施化肥效果次之，氮磷钾处理促进作用最小。有机无机肥配施可促进土壤中微生物量氮含量，可能是因为使用有机肥，可为土壤中微生物提供充足的碳源，微生物活性增加，进一步提高土壤中微生物量氮含量。

2.2 长期定位施肥下玉米生育期内微生物数量的动态变化

2.2.1 长期定位施肥下玉米不同生育期细菌数量的动态变化

土壤中细菌数量占绝对优势，种类和生理功能也极其复杂，是土壤物质循环和能量转化中必不可少的参与者。

长期定位试验条件下，玉米生育期内土壤中细菌动态变化见图3。结果表明，苗期至拔节期，细菌数量变化不大；拔节期至开花期细菌数量急剧上升，在开花期达到峰值；开花期至灌浆期下降；灌浆期至收获期变化不大。

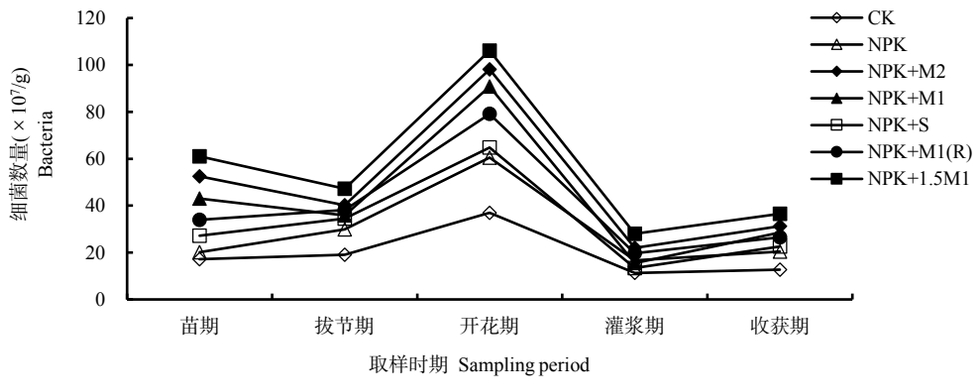

图3 不同施肥处理细菌数量的动态变化

Fig.3 The dynamic changes of bacteria of different fertilization treatments

在玉米各关键生育期，NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+MI(R)和NPK+S处理土壤中细菌数量与NPK处理相比均有所提高，提高幅度分别为苗期203%、160%、114%、68%和34%；拔节期分别提高57%、34%、20%、27%和15%；开花期分别提高75%、62%、50%、30%和7%；收获期分别提高79%、53%、40%、30%和10%。灌浆期NPK+1.5M1、NPK+M2和NPK+M1(R)处理土壤中细菌数量与NPK处理相比，分别提高68%、32%和18%，而NPK+M1和NPK+S处理与NPK处理相比，土壤中细菌数量分别减少7%和19%，与其他时期的变化趋势略有不同。施肥处理高于对照，有机肥配施化肥高于氮磷钾配施秸秆，氮磷钾配施秸秆高于氮磷钾化肥单施。

2.2.2 长期定位施肥下玉米不同生育期真菌数量的动态变化

长期定位试验条件下，玉米生育期内土壤中真菌动态变化见图4。结果表明，苗期至拔节期，真菌数量略微下降，幅度很小；拔节期至开花期真菌数量急剧上升，在开花期达到峰值；开花期至收获期呈下降趋势。

在玉米4个关键生育期NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+M1(R)和NPK+S处理土壤中真菌数量与NPK处理相比均有所提高，提高幅度分别为苗期59%、34%、22%、17%和8%；拔节期分别提高146%、124%、82%、66%倍和55%；开花期分别提高184%、149%、79%、28%和14%；灌浆期分别提高193%、222%、157%、122%和80%。收获期NPK+1.5M1处理与NPK单施处理相比提高了5%，但NPK+M2、NPK+M1、NPK+MI(R)和NPK+S处理土壤中真菌数量与NPK处理相比，则分别减少46%、29%、29%和21%，与其他时期表现不同的变化趋势。

2.2.3 长期定位施肥下玉米不同生育期放线菌数量的动态变化

长期定位试验条件下，玉米生育期内土壤中放线菌动态变化规律见图5。结果表明，苗期至拔节期变化幅度不大；拔节期至开花期放线菌数量急剧

上升,在开花期达到峰值;开花期至收获期呈下降趋势。

在玉米关键生育期内不同施肥处理间土壤中放线菌动态变化略有差异。苗期NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1(R)和NPK+S与NPK处理相比,分别提高20.95倍、6.32倍、14.78倍和5.82倍,而NPK+M1处理与NPK处理相比则减少了0.23倍。在玉米其他4个关键生育期,NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+MI(R)和NPK+S处理与NPK处理相比均有所提高,提高倍数分别为拔节期1.07倍、0.90倍、0.72倍、0.55倍和0.11倍;开花期分别提高1.03倍、0.81倍、0.53倍、0.22倍和0.05倍;灌浆期分别提高6.62倍、4.20倍、2.51倍、0.67倍和1.86倍;收获期分别提高5.07倍、3.01倍、2.45倍、1.47倍和0.53倍。

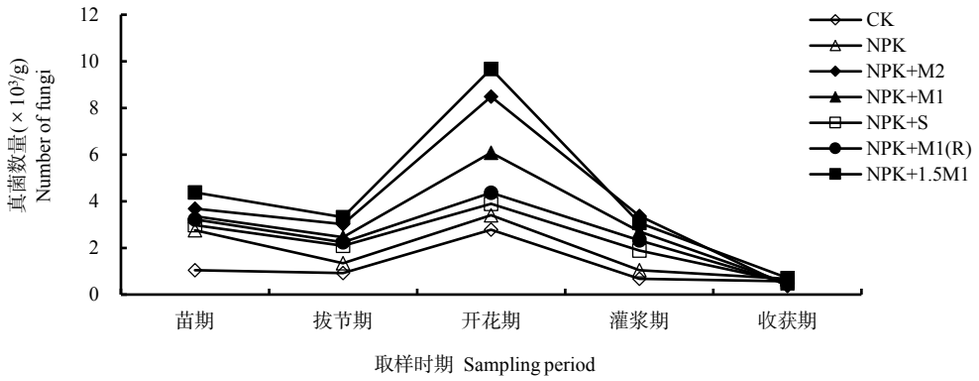

图4　不同施肥处理真菌数量的动态变化

Fig.4　The dynamic changes of fungi quantity of different fertilization treatments

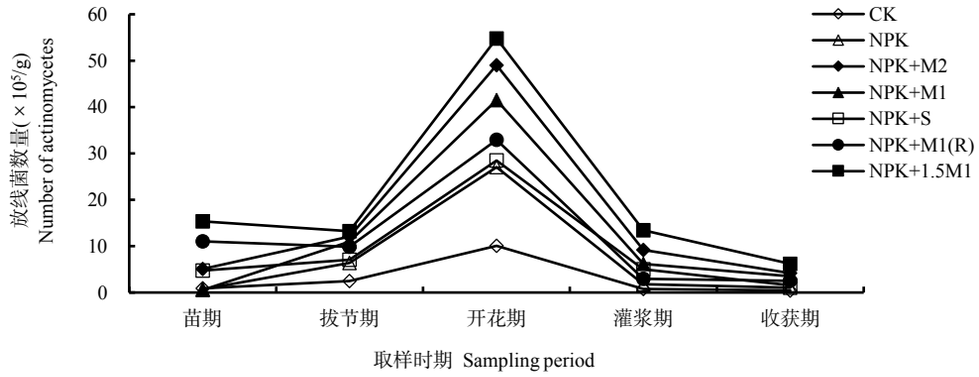

图5　不同施肥处理放线菌数量的动态变化

Fig.5　The dynamic changes of actinomycetes of different fertilization

2.2.4　长期定位施肥下玉米不同生育期磷细菌数量的动态变化

长期定位试验条件下,玉米生育期内土壤中磷细菌动态变化规律见图6。结果表明,苗期至拔节期,磷细菌数量略微上升;拔节期至开花期磷细菌数量急剧上升,在开花期达到峰值;开花期至灌浆期磷细菌数量下降;收获期呈上升趋势。

在玉米关键生育期,NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+M1(R)和NPK+S处理土壤中磷细菌数量与NPK处理相比均有所提高,苗期分别提高102%、70%、36%、33%和16%;拔节期分别提高111%、71%、41%、28%和4%;开花期分别提高308%、128%、97%、62%和33%;灌浆期分别提高130%、63%、34%、31%和19%;收获期分别提高386%、179%、110%、75%和93%。

2.2.5　长期定位施肥下玉米不同生育期固氮菌数量的动态变化

固氮菌可以固定大气中的氮素,使气态氮转变为植物可利用的形态,这对于土壤氮素的积累、平衡和植物氮素营养意义重大。同时,固氮菌还可以促进农作物生长发育,提高作物产量,加强其他微生物的生命活动,促进土壤有机质的矿化。了解固氮菌在土壤中的数量和功能,对于研究土壤中氮素循环意义重大。

长期定位试验条件下,玉米生育期内土壤中固氮菌数量的变化规律见图7。苗期至拔节期,固氮菌数量略微下降;拔节期至开花期固氮菌数量急剧上升,在开花期达到峰值;开花期至灌浆期下降;灌

浆期至收获期呈上升趋势。

在玉米关键生育期，NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK+M1(R)和NPK+S处理土壤中固氮菌数量与NPK处理相比均有所提高，苗期分别提高54%、40%、50%、32%和16%；拔节期分别提高64%、101%、38%、57%和20%；开花期分别提高100%、67%、41%、32%和26%；灌浆期分别提高183%、129%、90%、38%和28%；收获期分别提高89%、59%、32%、43%和54%。

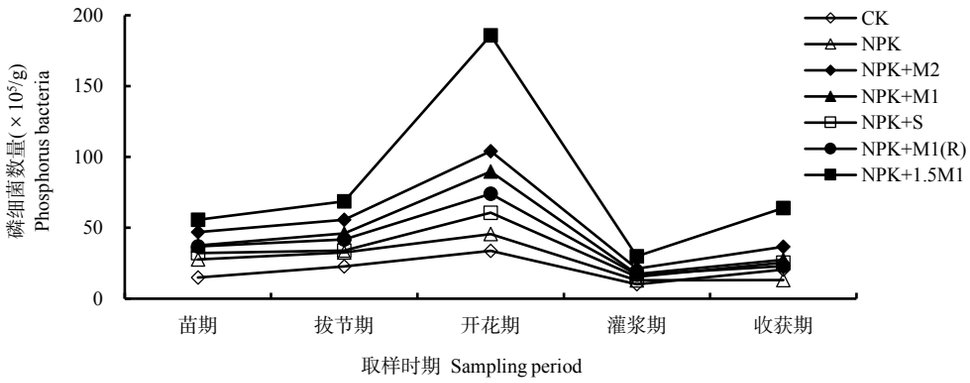

图6 不同施肥处理磷细菌数量的动态变化

Fig.6 The dynamic changes of phosphorus bacteria number of different fertilization treatments

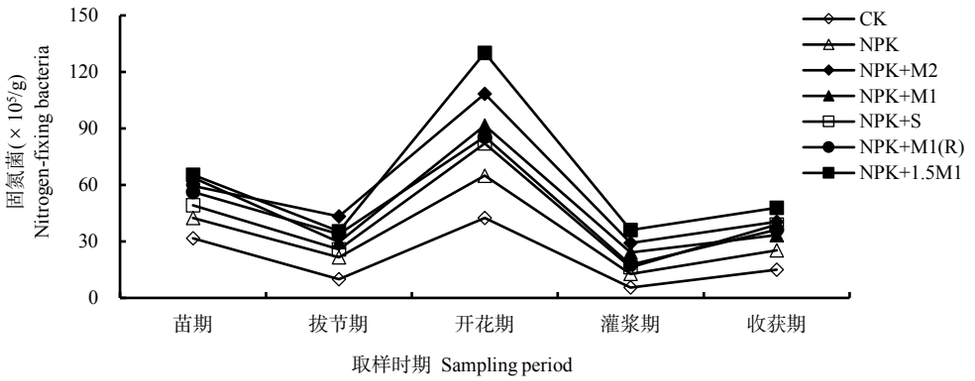

图7 不同施肥处理固氮菌数量的动态变化

Fig.7 The dynamic changes of nitrogen fixing bacteria of different fertilization treatments

2.3 长期定位施肥下的玉米产量比较

长期定位施肥处理以后，不同施肥处理间玉米产量差异显著。不同处理产量表现为NPK+1.5M1>NPK+M2>NPK+M1>NPK>NPK+S>CK，NPK+M1(R)处理本年度种植作物为大豆，因此没有玉米产量。NPK+1.5M1、NPK+M2、NPK+M1、NPK和NPK+S处理的玉米产量与CK处理相比，分别提高7.28倍、6.23倍、5.85倍、4.37倍和4.87倍。长期施用化肥、化肥配施有机肥和化肥配施秸秆均可以提高玉米产量，化肥配施有机肥效果对产量的提高作用最明显。

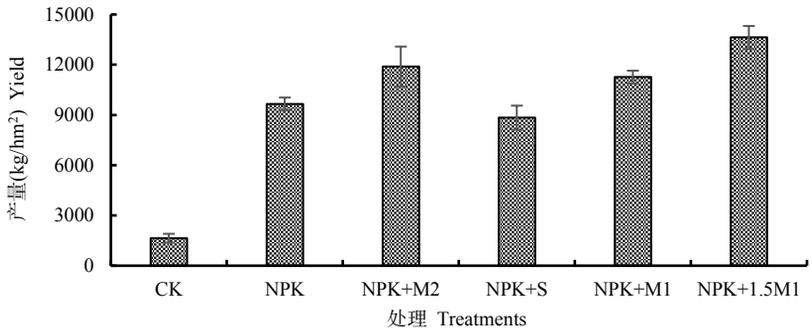

图8 长期不同施肥处理下的玉米产量(2014年)

Fig.8 The maize production in 2014 under long-term different fertilization treatments

2.4　长期定位施肥下微生物量碳、氮、微生物数量和玉米产量间的相关性

玉米各生育时期土壤中微生物量碳、氮含量、土壤中微生物数量和收获产量的相关关系见表2。从表中可以看出，土壤微生物量碳、氮含量、土壤中微生物数量之间存在极显著正相关。土壤中微生物量碳、氮含量、细菌、真菌和放线菌数量与收获期产量存在显著正相关；固氮菌数量和收获期产量之间存在极显著正相关；磷细菌数量和产量之间没有相关性。

表2　土壤微生物量碳、氮、微生物数量和玉米产量之间的相关性

Table 2　The correlations between soil microbial biomass carbon, nitrogen, microbial quantity and maize yield

指标 Indicators	微生物量氮 Microbial biomass nitrogen	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	固氮菌 Nitrogen fixing bacteria	磷细菌 Phosphorus bacteria	产量 Yield
微生物量碳	0.973**	0.984**	0.978**	0.972**	0.989**	0.897**	0.887*
微生物量氮	1	0.984**	0.992**	0.990**	0.969**	0.966**	0.833*
细菌		1	0.986**	0.993**	0.986**	0.941**	0.913*
真菌			1	0.984**	0.979**	0.947**	0.871*
放线菌				1	0.983**	0.971**	0.882*
固氮菌					1	0.921**	0.917**
磷细菌						1	0.790

注：*表示差异显著($p<0.05$)，**表示差异极显著($p<0.01$)。

Note: * indicates significant difference($p<0.05$), * * indicates extremely significant difference($p<0.01$).

3　结果与讨论

长期定位施肥条件下，玉米整个生育期土壤微生物量碳、氮的变化规律相同，苗期至拔节期微生物量碳、氮含量降低；开花期微生物量碳、氮含量升高，开花期达到峰值；开花期至收获后期呈下降趋势。玉米各个生育期不同定位施肥处理下土壤中微生物碳、氮含量差异较为明显，说明长期施肥可提高土壤中微生物量碳、氮含量，其中长期有机无机肥配施促进效果最明显。Marschner等研究结果表明，有机无机肥配施可提高土壤中微生物量碳含量[27]。Leita和张继光等研究结果表明，与单施无机肥相比，长期有机无机配施处理的微生物量碳、氮含量显著提高[28，29]。Witter、徐阳春和王淑平等人的研究结果均表明，长期秸秆还田或者秸秆还田与化肥配施可以提高土壤中微生物量含量[30,31]。

长期定位施肥条件下，玉米整个生育期内黑土中微生物数量动态变化的研究结果表明，苗期至拔节期微生物数量有升高趋势，变化幅度不大；拔节期至开花期微生物数量急剧上升，在开花期微生物数量达到峰值，开花期到灌浆期下降明显；灌浆期至收获期变化不大。玉米各生育期，不同定位施肥处理间微生物数量也表现出明显差异，说明长期施肥可提高土壤中微生物数量，其中，长期有机无机肥配施促进效果最明显，这一结果与土壤微生物量碳、氮的数量表现出了较好的一致性。

在公主岭国家黑土长期定位施肥条件下，各处理土壤中微生物量碳、氮含量和微生物数量在玉米生育期内呈规律性变化。在相同玉米各生育期内，施肥处理与CK相比，黑土中微生物量碳、氮和微生物数量明显提高；有机肥配施化肥、秸秆配施化肥和秸秆配施化肥条件下轮作处理对土壤中微生物量碳、氮和微生物数量的促进作用较氮磷钾处理明显。长期施肥对土壤中微生物数量和土壤微生物量碳含量产生影响，施用有机肥比施用化肥更能增加土壤细菌的数量和微生物量碳、氮含量，同时长期施肥土壤中微生物数量和土壤微生物量碳含量存在着显著的季节性变化[32,33]。

参考文献：

[1] Jenkinson D S, Laff J N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover[J]. Soil Biochemistry, Paul V. E. A. and Ladd J. N.(eds), Marcel Dekker, New York, 1981, 5: 415-471.

[2] 徐阳春，沈其荣，冉　炜．长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]．土壤学报，2002(39)：90-95．
Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002(39): 90-95. (in Chinese)

[3] 任天志．持续农业中的土壤生物指标研究[J]．中国农业科学，2000，33(10)：68-75．
Ren T Z. Research on soil biological indicators in sustainable agriculture[J]. Agricultural Sciences in China, 2000, 33(10): 68-75. (in Chinese)

[4] 胡田利,吴晓芙 . 土壤微生物生物量作为土壤质量生物指标的研究[J] . 中南林科院学报,2002,22(3):51-53 .
Hu T L, Wu X F. Study on soil microbial biomass as a biological indicator of soil quality[J]. Journal of Central South China, 2002, 22 (3): 51-53. (in Chinese)

[5] Puri G, Ashman M R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralisation[J]. Soil Biol. Biochem, 1992, 30: 251-256.

[6] Böhme L, Langer U, Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 109 (1-2): 141-152.

[7] Chu H Y, Lin X G, Fu J T, et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(11): 2971-2976.

[8] 毕明丽,宇万太,姜子绍,等 . 施肥和土壤管理对土壤微生物量碳、氮和群落结构的影响[J] . 生态学报,2010,30(1):32-42 .
Bi M L, Yu W T, Jiang Z S, et al. Effects of fertilization and soil management on microbial biomass and community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 32-42. (in Chinese)

[9] 郝余祥编著 . 土壤微生物[M] . 北京:科学出版社,1982 .

[10] 张星杰,刘景辉,李立军,等 . 保护性耕作对旱作玉米土壤微生物和酶活性的影响[J] . 玉米科学,2008,16(1):91-95 .
Zhang X J, Liu J H, Li L J, et al. Effects of different conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in dry cultivation[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(1): 91-95. (in Chinese)

[11] 周艳红,丁衬衬,史建荣 . 转基因作物对土壤微生物多样性影响研究技术的进展[J] . 江苏农业科学,2010(4):362-365 .
Zhou Y H, Ding C C, Shi J R. Progress of research on the effects of transgenic crops on soil microbial diversity[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010(4): 362-365. (in Chinese)

[12] 焦晓丹,吴凤芝 . 土壤微生物多样性研究方法的进展[J] . 土壤通报,2004,35(6):789-791 .
Jiao X D, Wu F Z. Progress of the methods for studying soil microbial diversity[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6): 789-791. (in Chinese)

[13] 王 庆 . 有机培肥化肥减量对土壤酶活性及微生物的影响[J] . 西北农林科技大学,2012(5):18-20 .
Wang Q. Effects on soil microbial under organic fertilizer addition and chemical fertilizer reduction[J]. Northwest A&F University, 2012(5): 18-20. (in Chinese)

[14] 张海燕,肖延华,张旭东,等 . 土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨[J] . 土壤通报,2006(3):422-425 .
Zhang H Y, Xiao Y H, Zhang X D, et al. Microbial biomass as an indicator for evaluation of soil fertility properties[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006(3): 422-425. (in Chinese)

[15] 高云超,朱文珊,陈文新 . 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究[J] . 中国农业科学,1994,27(6):41- 49 .
Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Study on microbial biomass and nutrient transformation of no tillage with straw mulch[J]. Agricultural Sciences in China, 1994, 27(6): 41- 49. (in Chinese)

[16] 郑 华,欧阳志云,方治国,等 . BIOLOG在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用[J] . 土壤学报,2004,41(3):456-461 .
Zheng H, Ouyang Z Y, Fang Z G, et al. Application of BIOLOG to study on soil microbial community functional diversity[J]. Acta Pedologia Sinica, 2004, 41(3): 456-461. (in Chinese)

[17] Plaza C, Hernández D, García-Gil J C, Polo A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 1577-1585.

[18] Kautz T, Wirth S, Ellmer F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime[J]. European Journal of Soil Biology, 2004, 40: 87-94.

[19] Masto R E, Chhonkar P K, Singh D. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long - term field trial on a subtropical inceptisol[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1577-1582.

[20] 李伟群,王 爽,王 英,等 . 不同施肥处理对大豆生育期内土壤微生物的影响[J] . 大豆科学,2007,26(6):923-924 .
Li W Q, Wang S, Wang Y, et al. Effect of different fertilizer treatment on soil microorganism in soybean growth period[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 923-924 . (in Chinese)

[21] 孙宏德,朱 平 . 黑土肥力和肥料效益演化规律的研究[J] . 玉米科学,2000,8(4):70-74 .
Sun H D, Zhu P. Study on the evolution law of soil fertility and fertilizer efficiency[J]. Journal of Maize Sciences, 2000, 8(4): 70-74. (in Chinese)

[22] 孙宏德,李 军 . 黑土肥力和肥料效益定位监测研究[J] . 吉林农业科学,1991,8(3):42-45 .
Sun H D, Li Jun. Study on the monitoring of soil fertility and fertilizer efficiency[J]. Jilin Agricultural Sciences, 1991, 8(3): 42- 45. (in Chinese)

[23] 宋 日,吴春胜,牟金明,等 . 玉米生育期内土壤微生物量碳和酶活性的动态变化研究[J] . 吉林农业大学学报,2001,23(2):13-16 .
Song R, Wu C S, Mu J M, et al. Dynamic changes of soil microbial biomass carbon and soil enzyme activities during growth of maize [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2001, 23(2): 13-16. (in Chinese)

[24] Joergensen R G, Mueller T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the kEC value[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1966, 28: 3*-37.

[25] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 703-707.

[26] 路怡青 . 保护性耕作对潮土酶活性、微生物群落及肥力的影响[D] . 南京农业大学,2013 .

[27] Marschner, P and Kandeler E. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35: 453-461.

[28] Leita L, De Nobilli M, Monfini C. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 4: 371-376.

(下转第159页)

of Entomology, 2007, 44(6): 837-840. (in Chinese)

[15] Boczek J, Wladys law, Robert D. Some morphological and biological differences in *Aculus Fockeui* on various host plant[J]. Intern. J. Acarol., 1984, 10(2): 81-86.

[16] Watson T F. Influence of host plant condition on population increase of *Tetranychus telarius*[J]. Systematic and Applied Aearology, 1997,39:273-322.

[17] 庞保平,刘家骧,周晓榕,等.不同玉米品种对截形叶螨种群参数的影响[J].应用生态学报,2005,16(7):1313-1316.
Pang B P, Liu J X, Zhou X R, et al. Effects of cultivar on *Tetranychus truncates* Ehara(Acarina: Tetranychidae) population parameters[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1313-1316. (in Chinese)

[18] 杨群芳,黄玉碧,熊 敏,等.玉米自交系对朱砂叶螨的抗性评价[J].玉米科学,2015,23(1):149-152.
Yang Q F, Huang Y B, Xiong M, et al. Evaluation on the resistance of maize inbred lines to *Tetranychus cinnabarinus*[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(1): 149-152. (in Chinese)

[19] 金达生,商玉霞,刘旭明,等.玉米种质资源对玉米红蜘蛛的抗性鉴定初报[J].植物保护,1993,19(4):26.
Jin D S, Shang Y X, Liu X M, et al. Identification of resistance to maize spider mite in maize germplasm resource[J]. Plant Protection, 1993, 19(4): 26. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)

(上接第154页)

[29] 张继光,秦江涛,要文倩,等.长期施肥对红壤旱地土壤活性有机碳和酶活性的影响[J].土壤,2010,42(3):364-371.
Zhang J G, Qin J T, Yao W Q, et al. Effects of long-term fertilization on soil active organic carbon and soil enzyme activities in upland red soils[J]. Soils, 2010, 42(3): 364-371. (in Chinese)

[30] Witter E, Martnsson A M, Garica F V. Size of the soil biomass in a long-term experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures[J]. Soil Biol&Biochem, 1993, 25: 659-669.

[31] 王淑平,周广胜,孙长占,等.土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):87-90.
Wang S P, Zhou G S, Sun C Z, et al. The dynamics of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 87-90. (in Chinese)

[32] 罗培宇.轮作条件下长期施肥对棕壤微生物群落的影响[D].沈阳农业大学,2014.

[33] 韩晓日,郑国砥,刘晓燕,等.有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J].中国农业科学,2007,40(4):765-772.
Han X R, Zheng G D, Liu X Y, et al. Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(4): 765-772. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)