

长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响

刘 骅¹, 林英华², 张云舒¹, 谭新霞¹, 王西和¹

(1. 新疆农业科学院土壤肥料研究所, 乌鲁木齐 830000; 2. 中国林科院森保所, 北京 100091)

摘要:长期定位试验表明:施肥对灰漠土生物类群、酶活性有一定影响,同时生物类群和酶活性也改变了土壤生态环境。(1)施肥对灰漠土动物个体及类群数的影响显著,长期单施化肥对土壤动物优势度作用较大,化肥配施有机肥丰富了土壤动物组成,化肥配施秸秆有利于增加土壤动物的丰度,尤其是疣跳科和等节跳科动物个体数量增加近 10 倍,长期不施肥土壤动物均匀性较高,但优势类群数较低;(2)灰漠土微生物组成以细菌为主,特殊微生物生理类群是以固氮菌和氨化细菌数量居多。长期单施化肥不利于土壤微生物生长,几种菌类数量均较低,化肥配施有机物料增加了土壤微生物类群数量,比对照增加 15% ~ 44%,长期不施肥土壤微生物数量高于单施化肥处理。(3)灰漠土自身过氧化氢酶含量较高,蔗糖酶次之。土壤 4 种酶活性中除过氧化氢酶与土壤养分之间呈负相关以外,其余 3 种酶活性与土壤速效养分均呈正相关或显著正相关。长期单施化肥土壤脲酶、磷酸酶活性降低,长期不施肥土壤脲酶、磷酸酶活性高于单施化肥处理,化肥配施有机肥或秸秆的土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性比长期不施肥增加了 24% ~ 31%。因此,化肥配施有机物料增加了土壤酶活性,加速了土壤熟化,改变了土壤生态环境。

关键词:长期施肥;灰漠土;生物群落;酶活性

文章编号:1000-0933(2008)08-3898-07 中图分类号:S944 文献标识码:A

Effects of long-term fertilization on biodiversity and enzyme activity in grey desert soil

LIU Hua¹, LIN Ying-Hua², ZHANG Yun-Shu¹, TAN Xin-Xia¹, WANG Xi-He¹

1 Institute of Soil and Fertilizer, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830000, China

2 Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3898 ~ 3904.

Abstract: Long-term field experiments were conducted to examine the effects of long-term fertilization on biodiversity, enzyme activity, and ecological environment of grey desert soil. The obtained results are summarized as follows.

(1) Fertilization had a significant effect on the number and community of soil animals. Long-term application of chemical fertilizers considerably affected soil animal Simpson index. Chemical fertilizer in combination with organic fertilizer increased soil animal diversity. Chemical fertilizer plus straw increased the abundance of soil animals, especially neanuridae and isotomidae, which increased in number by approximately 10 times. Animal uniformity was higher, but preponderant community was smaller in the long-term control plot (without fertilization).

基金项目:国家灰漠土肥料与肥料效益监测站网资助项目;国家科技部基础研究司社会公益研究专项资金资助项目[(2001)177]

收稿日期:2007-02-08; **修订日期:**2008-05-14

作者简介:刘骅(1961~),女,安徽定远县人,副研究员,主要从事土壤肥力研究. E-mail:liuhualh@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:liuhualh@sohu.com

Foundation item: The project was financially supported by Monitoring Station Net of Fertilizer and Fertilizer Efficiency of National Grey Desert Soil of China; Special Foundation Project of Society Public Welfare Research of Technical Department Basic Research Department of China [(2001)177]

Received date:2007-02-08; **Accepted date:**2008-05-14

Biography: LIU Hua, Associate professor, mainly engaged in soil fertility. E-mail:liuhualh@sohu.com

(2) Bacteria were the dominant community of microorganisms in the grey desert soil, whereas zotobacter and ammonifying bacteria dominated the special microbial physiological communities. Long-term application of chemical fertilizers alone inhibited the growth of soil microorganisms, as evidenced by the decreased number of several microbes. Chemical fertilizer with organic material increased soil microbial biomass by 15%–44%, as compared with the control. The number of microorganisms in control plot was greater than that of chemical fertilizer treatment plot.

(3) Catalase activity was higher in grey desert soil, and that of invertase was relatively low. Available nutrient contents in the soil showed a negative relationship with catalase activity, but positively correlated with activities of the other three enzymes. Long-term application of chemical fertilizer alone reduced urease and invertase activity in the soil. Urease and phosphatase activities in the control plot were higher than that of chemical fertilizer only treatment. When chemical fertilizer was applied together with organic material, the activities of urease, invertase, and phosphatase increased by 24%–31% as compared to the control. Therefore, chemical fertilizer in combination with organic material should be recommended for improving biodiversity, enzyme activities and subsequent soil quality of the desert soil.

Key Words: Long-term fertilization; grey desert soil; biotic community; enzyme activity

随着全球对生物多样性及其保护和全球环境变化的关注,农业生产强度、土壤生物类群与农业生态系统功能之间的关系已引起人们的重视^[1]。土壤生物在受到化学肥料等化学物质的侵袭后,必然会引起种群数量、种类多样性、酶活性、物质转化的变化,近年来一些研究表明:肥料不仅改变了农田土壤的物理和化学性质,还在提高农作物产量的同时,也改变了农业生态系统的土壤生物种群结构^[2],长期施肥导致无脊椎动物种类减少,某些种类如:弹尾类、蛴螬类数量增加^[3]。而土壤中的生物化学过程都是在土壤微生物的作用下完成的,土壤中有有机、无机营养物质的转化主要决定于酶促作用,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活性^[4,5],配施有机肥对土壤酶活性的影响远大于单施化肥和不施肥土壤^[6]。本研究是以西北干旱半干旱地区具有代表性土壤-灰漠土为对象,探讨长期不同肥料配施对土壤动物和土壤微生物类群数量、酶活性的影响,寻求肥料合理配施的生物学环境。

1 材料与方法

1.1 试验基本概况

本试验为“国家灰漠土肥力与肥料效益监测基地”1990~2004年的研究结果,基地位于新疆乌鲁木齐市以北22km的新疆农业科学院安宁渠综合试验场内,海拔高度680~920m,年均气温5~7℃,年降水量180~250mm,年蒸发量1600~2200mm,属于干旱半干旱荒漠气候。

试验土壤为新疆北疆典型土类-灰漠土,基础理化性质(1989年):有机质含量15.2g/kg,全氮0.868g/kg,全磷0.667g/kg,全钾19.8g/kg,碱解氮55.2mg/kg,速效磷3.4mg/kg,速效钾288mg/kg,缓效钾1567mg/kg, pH 8.1, CEC 16.2mg/100g土,土壤容重平均为1.25g/cm³。

1.2 试验设计与方法

试验小区面积468m²,试验种植方法为轮作制:玉米→冬小麦→春小麦。试验设4个处理:(1)对照(不施肥,CK);(2)氮磷钾(NPK);(3)氮磷钾+有机肥(NPKM);(4)氮磷钾+秸秆还田(NPKS),不设重复。有机肥为羊粪,每年秋季一次施入翻地,秸秆还田是当季作物(玉米或小麦)的全部秸秆粉碎还田。

1.3 样品采集及分析方法

(1)土壤动物 于2004年9月,取0~20cm耕层土壤对土壤昆虫进行调查。在每个小区的对角线上取3个点,利用100ml环刀分0~5、5~10、10~20cm分层取样,利用改良干漏斗分离(modified tullgren)土壤中的土壤昆虫。同时在每小区均匀布设10个陷阱,利用陷阱法收集活动在地表的各类土壤昆虫。所有昆虫标本鉴定到科^[7]。动物体型大小依据其在食物分解过程中作用进行划分^[8],并以此确定土壤昆虫的营养功能团^[9]。

(2)土壤微生物 于2001、2002年9月,采集0~20cm耕层土壤,在每个小区的对角线上取3个点进行土壤微生物培养。测定方法参照《土壤微生物研究法》^[10]:用固体平板法测定细菌、真菌、放线菌、固氮菌数;稀释培养法测定氨化细菌、硝化细菌、反硝化细菌、纤维分解菌数量。

(3)土壤酶活性 于2001、2002年9月,采集0~20cm耕层土壤,在每个小区的对角线上取3个点测定土壤酶活性。测定方法参照《土壤酶及其研究法》^[11]:过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法、转化酶活性用硫代硫酸钠滴定、脲酶活性用靛酚盐比色法、磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定。

2 结果与分析

2.1 长期不同肥料配施对灰漠土动物群落结构及影响

2.1.1 土壤动物群落及功能群结构

在4个不同施肥处理的灰漠土上,共采集土壤昆虫16种类群(表1)。其中,大型昆虫11类,优势类群有蚁科(22%)、蟋蟀科(30%);常见类群有瓢甲科(12%)、蠼螋科(8%)、蓟马科(8%)、叩头甲科(6%)。中、小型农田土壤昆虫5类,优势类群为等节跳科(47.05%)、疣跳科(27.76%)、长角跳科(23.72%);常见类群有棘跳科(1.28%)。其余为稀有类群。

从功能群来看,土壤动物营养功能群共采集到6种,其主要营养功能团组成是杂食性、植食性和腐食性。在不同施肥小区中,杂食性营养功能团所占的比例高于植食性营养功能团所占的比例,即杂食性则依次为 NPKS > NPK > NPKM > CK,植食性土壤昆虫依次为 NPKS > NPK > CK > NPKM。表明,长期配施秸秆为杂食性营养功能群和植食性营养功能群提供生存条件。

表1 2004年不同施肥处理农田土壤昆虫群落结构(个)

Table 1 Structure of cropland soil insect at different fertilization plots in the grey desert soil, 2004 (individual)

名称 Taxa		体型 Size	CK	NPK	NPKM	NPKS	丰度 Perc	多度 Deg	功能群 Gu
弹尾目 Collembola	棘跳科 Onychiuridae	Meso/micro	17	1	2		1.28	* *	O
	疣跳科 Neanuridae	Meso/micro	4			429	27.76	* * *	O
	等节跳科 Isotomidae	Meso/micro	58	73	58	545	47.05	* * *	O
	长角跳科 Entomobryidae	Meso/micro	69	140	91	70	23.72	* * *	O
	圆跳科 Sminthuridae	Meso/micro			1	1	0.13		O
直翅目 Orthoptera	蟋蟀科 Gryllidae	Macro	4	5	1	5	30.00	* * *	Ph
革翅目 Deramptera	蠼螋科 Labiduridae	Macro		2	1	1	8.00	* *	O
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae	Macro		3	1		8.00	* *	S
同翅目 Homoptera	叶蝉科 Jassidae 幼 larva	Macro				1	2.00		Ph
鞘翅目 Coleoptera	隐翅虫科 Staphylinidae	Macro	1				2.00		S
	叩头甲科 Elateridae	Macro	1		2		6.00	* *	Pr
	丸甲科 Byrridae	Macro				2	4.00		S
	瓢甲科 Coccinellidae	Macro	6				12.00	* *	Pr/Ph
	拟步甲科 Tenebrionidae	Macro	1		1		4.00		Ca
	出尾罩甲科 Scaphidiidae	Macro		1			2.00		F
膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	Macro				11	22.00	* * *	O
个体数 Indi.	Macro	13	11	6	20				
	Meso/micro	149	214	152	1045				
类群数 Group	Macro	5	4	5	5				
	Meso/micro	5	3	4	4				

Perc:百分比 Percent, Deg:多度 Degree, Gu:功能类群 Guild, Meso/micro:中小型 Meso and micro, Macro:大型 Macrofauna. Indi:个体数 Individual; Ph:Phytophage 植食性, Ca: Cadavericoles 尸食性, F: Fungivorous forms 菌食性, Pr: Predators 捕食性, S: Saprozoic 腐食性, O: Omnivores 杂食性; * * * 优势类群; * * 常见类群

2.1.2 施肥对土壤动物个数和类群的影响

新疆灰漠土区,肥料的种类与性质影响着土壤昆虫类群多样性与丰富性,且其影响具有不均匀性^[12]。从土壤动物类群组成来看(图1),配施秸秆还田(NPKS)处理土壤大、中、小型动物个体数较多为1065个,且疣跳科和等节跳科动物个体数量增加最多,在近10倍以上;类群数为9类,优势类群的数量也以NPKS处理为最高。施化肥(NPK)处理的动物个体数相对较多,但类群数较低。对照(CK)处理的类群数是所有施肥处理中最高的。即大型土壤动物的个体总数依次是NPKS > CK > NPK > NPKM;类群数依次为NPKS = NPKM = CK > NPK。中小型土壤动物个体总数和类群数分别为NPKS > NPK > NPKM > CK, CK > NPKS = NPKM > NPK。

运用Kruskal-Wallis检验法分析显示,不同施肥处理对土壤动物类群分布影响差异显著($X_{0.05(9)} = 23.38$, $p < 0.005$),表明农田土壤动物类群分布与施肥有关^[12]。主成分分析显示,第一主成分中以配施秸秆(NPKS)贡献最大并且为正值,说明配施秸秆(NPKS)对土壤动物群落呈正向作用。因此,化肥配施秸秆(NPKS)提高了农田土壤动物个体数量。

2.1.3 施肥与土壤动物多样性的关系

群落多样性指数采用Shannon-Weiner、均匀性指数采用Pielou和Simpson优势度指数,即 H' 、 J 、 C 来表述。见图2,土壤动物多样性指数(H')依次是NPKM > NPK > CK > NPKS,均匀性指数(J)依次是CK > NPK > NPKS > NPKM, Simpson优势度指数(C)依次是NPK > NPKM > NPKS > CK。说明,长期单施化肥对土壤动物的作用较大, Simpson优势度相对较高,配施有机肥(NPKM)处理土壤动物组成最丰富,不施肥处理土壤动物均匀性较高,但 Simpson优势度指数较低。

2.2 施肥对土壤微生物的影响

灰漠土的微生物组成以细菌为主(表2),平均为 16.3×10^6 个/g土,放线菌次之,再其次是真菌平均为 3.8×10^4 个/g土;特殊生理类群是以固氮菌和氨化细菌数量居多,平均为 17.1×10^6 个/g土,反硝化细菌次之,硝化细菌和纤维分解菌数量较少分别为 15×10^2 个/g土、 3.3×10^2 个/g土。

施肥对土壤微生物类群数量影响很大。单施化肥(NPK)处理的几种菌类数量均很低,不仅远远低于配施有机物料的处理,还低于不施肥处理,说明长期单施化肥不利于土壤微生物生长。化肥配施有机肥(NPKM)、秸秆(NPKS)处理的细菌、固氮菌、氨化细菌类群数量比不施肥(CK)处理增加10%~15%,放线菌、反硝化细菌、纤维分解菌的类群数量比不施肥增加44%左右。不施肥(CK)处理的细菌、固氮菌、氨化细菌、硝化细菌数量均高于单施化肥处理,以此来提供作物生长所需的养分。表明,土壤微生物的繁殖必需需要有一定的生长条件,长期单施化肥土壤腐殖质含量低,不利于微生物生长,而化肥配施有机物料为土壤微生物提供了生长条件,维持或提高了土壤微生物类群数量。

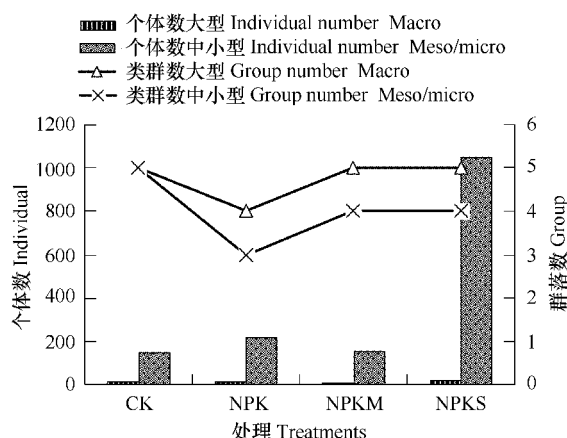


图1 不同施肥条件下土壤动物数量和类群变化

Fig.1 The change of soil insect number and communities at different fertilizers

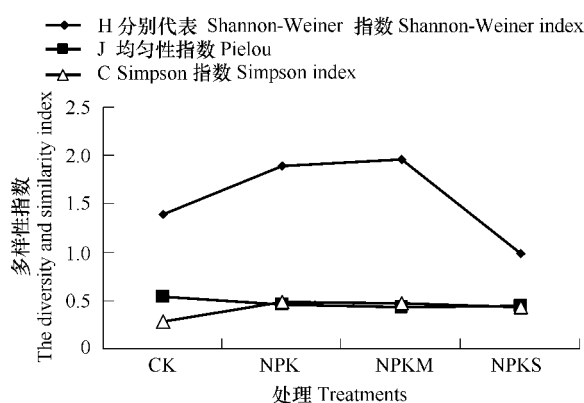


图2 不同施肥条件下土壤动物多样性指数

Fig. 2 The diversity and similarity index of soil insect at different fertilizers

H' J C 分别代表 Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner index, 均匀性指数 Pielou 和 Simpson 指数 Simpson index

研究还发现,土壤有机质、速效养分与细菌、固氮菌、氨化细菌、纤维分解菌和反硝化细菌呈正相关关系,说明这些微生物类群对提高土壤肥力有促进作用;土壤有机质、速效养分与真菌、硝化细菌和放线菌呈负相关关系,说明这些微生物对提高土壤肥力没有直接作用。

表2 灰漠土微生物类群数量与土壤速效养分的相关关系

Table 2 The microbial community structure on the grey desert soil and correlative coefficients between soil nutrient content

处理 Treatments	细菌 bacteria ($\times 10^6$)	真菌 Fungal ($\times 10^4$)	放线菌 Actinomycetes ($\times 10^5$)	固氮菌 Azotobacter ($\times 10^6$)	氨化细菌 Ammonifying bacteria ($\times 10^6$)	硝化细菌 Nitrobacteria ($\times 10^2$)	反硝化细菌 Denitrifying bacteria ($\times 10^4$)	纤维分解菌 Cellulose decomposing bacteria($\times 10^2$)
CK	17.99	5.96	6.4	15.34	18.0	12.7	6.2	2.21
NPK	6.39	3.42	13.11	14.12	13.1	8.5	10.8	4.36
NPKM	19.82	2.51	10.59	18.91	18.8	6.83	6.83	2.28
NPKS	21.4	3.17	15.83	21.4	18.2	12.6	12.6	4.57
速效钾 Avail K	0.0524	-0.4907	-0.1664	0.0270	0.3396	-0.2042	0.0619	0.1398
速效磷 Avail P	0.2390	-0.4675	0.1076	0.2657	0.1918	-0.2056	0.0095	0.6907 **
速效氮 Avail N	0.2208	-0.4779	-0.0054	0.2500	0.2113	-0.0828	0.1212	0.5144
有机质 Organic C	0.2249	-0.4824	-0.1751	0.1331	0.2708	-0.0834	0.1094	0.4365

$r_{0.05} = 0.5302, r_{0.01} = 0.6348, n = 22$; * 显著相关, ** 极显著相关;下同 the same below

2.3 施肥对土壤酶活性的影响

酶活性可以反映土壤熟化程度和肥力水平^[13]。表3显示,灰漠土自身过氧化氢酶含量较高,平均达18.5 ml/g,蔗糖酶平均为4.6 ml/g,磷酸酶和脲酶活性分别为31.3 mg/100g干土、17.2 mg/100g干土。过氧化氢酶能促进过氧化氢分解为水和氧,从而减弱了过氧化氢毒害作用,磷酸酶和脲酶可以分别反映土壤的磷素、氮素状况。

表3 灰漠土酶活性、与土壤速效养分的相关关系

Table 3 The enzyme activity on the Grey Desert soil and correlative coefficients between soil nutrient content

处理 Treatments	过氧化氢酶 catalase (ml/g 干土)	蔗糖酶 Invertase(ml/g 干土)	脲酶 Urease(mg/100g 干土)	磷酸酶 Phosphatase(mg/100g 干土)
CK	18.86	3.59	16.61	32.86
NPK	18.95	4.63	14.77	26.63
NPKM	17.96	5.23	15.34	42.21
NPKS	18.06	5.00	22.11	23.52
速效钾 Avail K(mg/kg)	-0.3447	0.3593	0.5564 *	0.5923 *
速效磷 Avail P(mg/kg)	-0.3732	0.4883	0.5769 *	0.3826
速效氮 Avail N(mg/kg)	-0.1820	0.5821 *	0.5465 *	0.4611
有机质 Organic C(g/kg)	-0.0774	0.4513	0.4974	0.5596 *

$r_{0.05} = 0.5302, r_{0.01} = 0.6348, n = 22$

施肥对土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性影响的大小顺序为 NPKS > CK > NPKM > NPK、NPKM > NPKS > NPK > CK、NPKM > CK > NPK > NPKS,施肥对土壤中的过氧化氢酶影响不明显。

长期单施化肥处理的脲酶、磷酸酶活性很低,甚至低于不施肥处理。化肥配施秸秆比不施肥处理分别增加脲酶25%、蔗糖酶28%,化肥配施有机肥比不施肥处理分别增加蔗糖酶31%、磷酸酶24%。长期不施肥土壤脲酶、磷酸酶活性高于单施化肥处理,这与土壤微生物的结果一致。说明,长期单施化肥酶活性较低,配施有机物料有助于增强土壤酶活性,具有加速土壤熟化的作用。

试验结果表明,土壤磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性与有机质、速效养分呈正相关,脲酶与速效养分、蔗糖酶与速效氮、磷酸酶与速效钾和有机质均呈显著相关,过氧化氢酶与土壤养分之间呈负相关。

3 讨论

环境因子既是土壤生物赖以生存的条件,又是限制其分布的因素,但土壤生物在适应环境的同时,也通过自身来改变环境。比如,施肥对灰漠土生物类群、酶活性的影响,以及生物类群和酶活性对环境的改变。

(1) 农田土壤动物组成主要与采集时段和长期施肥所导致的土壤理化性质变化有关。本次采样时间为秋季,降雨量是全年中较少的,由于土壤湿度改变了喜湿性动物幼虫数量;在同等气候条件下,施肥对灰漠土动物个体及类群数的影响显著,长期单施化肥对土壤动物的作用较大,化肥配施秸秆有利于增加土壤动物的丰度,化肥配施有机肥土壤动物组成最丰富,长期不施肥土壤动物均匀性较高,但优势类群指数较低。

(2) 细菌在土壤中是一种活体,通过它的活动可以促进有机物的分解,养分的固定。灰漠土的微生物组成以细菌为主,放线菌次之;特殊生理类群是以固氮菌和氨化细菌数量居多,反硝化细菌次之。

土壤肥力的高低对土壤生物类群数量影响很大,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,而施入无机肥料对土壤微生物有明显的抑制作用^[14],与本试验的长期单施化肥处理土壤微生物类群数量均较低的结果一致;长期不施肥土壤微生物数量高于单施化肥处理,充分体现了最小因子限制规律。化肥配施有机肥或秸秆为土壤微生物提供了生长条件,更重要的是改善了土壤的物理性能,增加了土壤有机-无机体,激发了土壤微生物生长繁育,从而明显增加了土壤微生物类群数量。

土壤细菌、固氮菌、氨化细菌、纤维分解菌和反硝化细菌与土壤养分呈正相关,对提高土壤肥力有促进作用;真菌、硝化细菌和放线菌与土壤养分呈负相关,可能是这些微生物对灰漠土肥力的提升没有直接的作用。

(3) 土壤酶活性与土壤微生物活动有关,微生物数量较高的土壤,土壤酶活性也较高,灰漠土自身过氧化氢酶含量较高,蔗糖酶次之。

土壤酶活性与土壤养分呈显著正相关,过氧化氢酶与土壤养分之间呈负相关。长期单施化肥处理的脲酶、磷酸酶活性降低,化肥配施有机物料的土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶活性比长期不施肥增加了 24% ~ 31%,加速了土壤熟化,改变了土壤生态环境。长期不施肥土壤脲酶、磷酸酶活性高于单施化肥处理,这与土壤微生物的结果一致。

References:

- [1] Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini M T, Landi L, Pietramellara G, Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 655 — 670.
- [2] Yardim E N, Edwards C A. Effects of organic and synthetic fertilizer sources on pest and predatory insects associated with tomatoes. *Phytoparasitica*, 2003, 31 (4): 324 — 329.
- [3] Gudleifsson B E. Impact of long term use of fertilizer on surface invertebrates in experimental plots in a permanent hayfield in Northern-Iceland. *Agricultural Society of Iceland*, 2002, 15: 37 — 49.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Liu C S, Cao Z M, Li H G. Effects of different fertilizing measures on enzyme activities in Chao soil. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1998, 29 (3): 225 — 229.
- [7] Yuan F. *Insect. Taxonomy*. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [8] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley: University California Press, 1979.
- [9] Zhang Z H. *Soil Animal*. Hangzhou: Hangzhou University Press, 1993.
- [10] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Soil Microbiological Research Methods*. Beijing: Science Press, 1985.

- [11] Guan S Y. Soil enzyme Research Methods. Beijing: Agricultural Press, 1986. 206 — 339.
- [12] Lin Y H, Liu H, Zhang S Q, *et al.* Abundance and Diversity of Crop Soil Insect Community at Different Fertilizer in Xinjiang. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(7): 1432 — 1438.
- [13] Qiu L P, Liu J, Wang Y Q, *et al.* Effects of soil enzyme activities and connection of soil fertility. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3): 277 — 280.
- [14] Hou X J, Wang J K, Li S P. Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community. *Acta Ecologica Sinica*, 2007(2): 656 — 660.
- [15] 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.

参考文献:

- [6] 刘春生, 曹正梅, 李红光. 不同配肥措施对潮土酶活性影响的研究. *山东农业大学学报*, 1998, 29(3): 225 ~ 229.
- [7] 袁峰. 昆虫分类学. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [9] 张贞华. 土壤动物. 杭州: 杭州大学出版社, 1993.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所微生物. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985.
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 206 ~ 339.
- [12] 林英华, 刘骅, 张树清, 等. 新疆农田不同施肥区土壤昆虫群落丰富性与多样性. *中国农业科学*, 2007, 40(7): 1432 ~ 1438.
- [13] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 277 ~ 280.
- [14] 侯晓杰, 王景宽, 李世朋. 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. *生态学报*, 2007, 27(2): 655 ~ 661.
- [15] 朱海平, 姚槐应, 张勇勇. 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, (4): 140 ~ 142.