

# 不同肥力下土壤微生物与土壤元素相关性的研究

马 通<sup>1</sup>, 李 敏<sup>1</sup>, 孙 令 强<sup>2</sup>, 楚 金 萍<sup>3</sup>, 刘 树 堂<sup>1</sup>, 刘 建 萍<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学 园艺学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛市种子站, 山东 青岛 266071; 3. 新疆巴州农科所, 新疆 库尔勒 841000)

**摘 要:**分析山东平度和新疆库尔勒 2 个地区在不同肥力下土壤微生物数量消长与土壤元素含量之间的相关性。结果表明:在不同施肥处理下, 2 个地区细菌、放线菌数量显著增长, 真菌数量呈减少趋势, 其中施有机肥比化肥对真菌增长影响达极显著; 不施肥种植(CK)显著降低土壤微生物总体数量, 但不影响微生物群落结构比率; 2 个地区土壤微生物消长与土壤元素间相关性不完全一致, 2 个地区真菌数量消长与铜元素均呈极显著负相关, 平度点细菌数量与锌元素呈极显著性正相关, 与硼元素极显著负相关, 与锰显著负相关。土壤养分种类及含量水平对土壤微生物数量消长影响极显著, 而土壤微生物消长在不同土壤环境下与根围土壤元素含量相关性不尽相同。

**关键词:**土壤微生物; 辣椒; 土壤元素; 相关性

**中图分类号:**S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)01-0160-04

土壤中微生物的类型最多, 数量最大。其中, 细菌约占土壤微生物总量的 70%~90%, 放线菌、真菌次之。土壤具有微生物所需要的一切营养物质和微生物进行生长繁殖及生命活动的各种条件<sup>[1-2]</sup>。施肥水平不同, 土壤微生物种群、数量不同, 导致土壤生物肥力不同<sup>[3]</sup>。李秀英等<sup>[4]</sup>研究表明, 长期施肥能增加土壤微生物数量, 且提高了土壤的生物肥力。近年来, 对于不同施肥制度下土壤微生物群落变化的研究较多, 而分析不同肥力下土壤元素含量变化与土壤微生物的消长之间相关性的研究较少。土壤微生物的数量高低在一定程度上反映了土壤的肥力水平, 该研究以种植干制辣椒为研究对象, 研究山东平度和新疆库尔勒 2 个地区, 在不同肥力下土壤微生物数量、结构变化规律与土壤元素间含量的相关性, 旨在探讨土壤元素含量变化与微生物消长的关系, 以期为提高土壤生物肥力、建立合理的施肥制度提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于山东平度南村镇和新疆库尔勒, 2 个地区

均是目前我国干制辣椒的主产区。山东平度南村是典型的海洋性气候, 新疆库尔勒是典型的大陆性干旱气候。

### 1.2 试验材料

供试辣椒品种为 09113(色素辣椒), 为色价较高的杂种一代, 由青岛农业大学园艺学院蔬菜育种课题组提供。

### 1.3 试验方法

各试验点的播种时间为 2 月 15 日至 2 月 25 日, 采用穴盘育苗, 定植时间为 4 月 25 日至 5 月 5 日, 收获期为 10 月初, 一次性采收, 田间管理为当地辣椒常规管理。山东平度试验点的小区面积为 44.8 m<sup>2</sup>, 单株定植。新疆库尔勒试验点的小区面积为 9 m<sup>2</sup>, 双株定植。

每个不同施肥水平处理设置为 1 个小区, 重复 3 次(区组), 随机排列, 四周设保护行。适量全养分化肥施入量依据孙令强等<sup>[5]</sup> 666.7 m<sup>2</sup> 所需的养分纯量为 50 kg, 各元素比率 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O:Ca:Mg 为 1:0.5:1.2:0.2:0.11 计算。微量元素按照辣椒丰产型吸收量计算。处理 A:1/2 倍适量全养分化肥施入量, 不施有机肥; 处理 B:适量全养分化肥施入量, 不施有机肥; 处理 C:2 倍适量全养分化肥施入量, 不施有机肥; 处理 D:不施化肥, 施 0.5 t/667m<sup>2</sup> 有机肥; 处理 E:不施化肥, 施 1 t/667m<sup>2</sup> 有机肥; 处理 CK:不施化肥, 不施有机肥; 处理 O:试验前未施肥的基础土壤肥力。

所用化肥, 其中氮肥施用尿素(含 N 46%), 磷肥用磷酸二铵(含 N 14.68%, 含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40.90%)、硝酸钙(含 N 10.20%、含 Ca 12.87%)、钾肥为硫酸钾(含 K 48.16%)、硫酸镁(含 Mg 8.62%)、微量元素肥料海优硼(含 B 96.49%)、硫酸锌(含 Zn 21.48%)、硫酸铁(含 Fe 19.45%)、硫酸锰(含 Mn 27.85%)、硫酸铜(含 Cu 24.20%)。尿素的

**第一作者简介:**马通(1989-), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail: tongma1989@126.com.

**责任作者:**刘建萍(1956-), 女, 教授, 现主要从事辣椒种质创新与植物育种等研究工作。E-mail: jpliu022@163.com.

**基金项目:**山东省农业科技成果转化资金资助项目(66213h3); 山东省农业良种工程资助项目; 青岛市公共领域科技支撑资助项目(12-1-3-27-nsh)。

**收稿日期:**2014-09-04

1/2 作基肥,1/2 量在辣椒结果期作追肥,分 2 次施入,间隔 15 d。其它肥料全部作为基肥沟施。

所用有机肥,其中平度试验点施用有机肥为复合有机肥,复合有机肥理化性质为:有机质 34.24%,N 3.46%, $P_2O_5$  0.99%, $K_2O$  2.27%,Ca 和 Mg 未检出,B 0.10%,Zn 0.20%,Fe 0.21%,Mn 40.80 mg/kg,Cu 1.05 mg/kg,pH 6.17。新疆库尔勒点施入有机肥种类为纯羊粪。

#### 1.4 项目测定

土壤微生物数量采用固体平板法进行分离测定;细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基和改良高氏 1 号培养基;土壤碱解氮、速效磷、速效钾分别采用碱解扩散法、钼锑抗比色法、火焰光度计法测定;钙、镁采用 EDTA 滴定法测定;硼采用姜黄素比色法测定;铁、锌、锰、铜采用原子吸收火焰光度计法测定。

#### 1.5 数据分析

试验数据采用 DPS、Excel 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥量处理对土壤微生物数量的影响

2.1.1 平度点土壤微生物数量消长 从土壤微生物总体平均值看出,平度地试验前与试验后微生物数量变

化:细菌数量增加 85%,放线菌数量增加 55.4%,真菌数量降低 12.1%。表明增加土壤营养有利于提高土壤细菌和放线菌数量,变化幅度在-3.4%~234%;真菌数量呈减少趋势,变化幅度在-20.8%~5.99%(表 1)。试验后的对照(CK)与基础肥力施肥前微生物结构变化不显著,土壤微生物细菌:放线菌:真菌由 246.7:13.6:1 变为 236.1:13.8:1。细菌数量 CK 与基础肥力施肥前比较下降了 1.69%,放线菌下降了 7.25%,真菌下降了 5.91%,表明不施肥的种植明显降低土壤微生物的数量,但不明显影响土壤微生物的群落结构比率,这也反证了土壤微生物中细菌:放线菌:真菌群落数量比的消长协同性。不同施肥处理与 CK 比较,施有机肥处理细菌数量增加最大,其它肥力处理均有不同程度的增加,是随施肥梯度增加而增加的趋势;各施肥水平放线菌数量比 CK 增加,C 处理与 E 处理效果相当,同时 B 处理与 D 处理效果相当;而各施肥水平下真菌数量比 CK 处理有不同程度的降低,但 E 处理却增加了 5.99%,B 处理和 C 处理真菌数量降低 20.8%。表明土壤施用有机肥极显著影响土壤细菌、放线菌数量的增长,对真菌数量下降影响不显著;高化肥施入量亦然如此(表 2)。

表 1 不同施肥处理的土壤微生物数量差异显著性比较

Table 1 Comparison of soil microbial quantity significant difference in different fertilizer treatments

处理 Treatment	细菌 Bacterial /( $\times 10^6$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ )		放线菌 Actinomycetes /( $\times 10^5$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ )		真菌 Fungi /( $\times 10^3$ CFU $\cdot$ g $^{-1}$ )	
	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla
A	1.873Cc*	1.299CDcd	1.167Bb	1.457BCc	7.777Aa	16.133ABbc
B	2.010Cc	1.610BCbc	1.405ABb	1.585BCc	6.110Aa	20.850ABabc
C	3.330Bb	1.983Bb	1.827Aa	2.153ABb	6.113Aa	10.567Bc
D	6.273Aa	1.243CDcd	1.397ABb	1.510BCc	7.780Aa	28.910Aa
E	6.487Aa	3.530Aa	1.840Aa	2.747Aa	8.350Aa	22.767ABab
CK	1.937Cc	0.721De	1.067Bb	1.377Cc	7.850Aa	21.100ABabc
O	1.970Cc		1.150Bb		8.343Aa	

注: \* 各列不同大写和小写字母分别表示  $P<0.01$  和  $P<0.05$  显著水平。

Note: \* Different capital and lowercase letters in columns show significant difference at  $P<0.01$  level and  $P<0.05$  level, respectively.

表 2 2 个地区土壤微生物消长比率

Table 2 Rate of soil microbial growth and decline rate in two places

处理 Treatment	细菌消长比率 Bacterial growth and decline rate/%		放线菌消长比率 Actinomycetes growth and decline rate/%		真菌消长比率 Fungi growth and decline rate/%	
	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla
A	-3.30	80.16	9.37	5.80	-0.92	-23.54
B	3.76	123.30	31.67	15.10	-22.16	-1.18
C	71.91	175.03	71.22	56.35	-22.12	-49.91
D	223.85	72.39	30.92	9.65	-0.89	37.01
E	234.89	389.59	72.44	99.49	6.36	7.90
Average	76.11	140.08	31.91	31.06	-4.78	-4.95

注: \* 各处理均以 CK 作比较,比率公式=(处理-CK)/对照 $\times 100$ 。

Note: \* Each treatment comparing with CK, ratio formula=(processing-CK)/CK $\times 100$ .

2.1.2 库尔勒点土壤微生物数量消长 不同施肥处理与 CK 相比较,施有机肥 E 处理细菌数量增加最大,达到 389.7%,极显著高于其它处理,施化肥的各处理增加幅度 80%~175.2%;放线菌数量都增加,E 处理放线菌数量增加最大,达到 99.4%,化肥增加幅度 5.8%~56.4%;而真菌数量有不同程度的降低,降幅为 1%~50%,但施有机肥有小幅增加 37.01%和 7.90%。不同施肥处理的土壤微生物数量消长趋势与平度点相同,其中施用有机肥处理的土壤微生物与 CK 比较增减幅极其显著,表明在贫瘠的土壤中施用有机肥对土壤微生物的消长影响极显著(表 1、2)。

2.1.3 2 个地区土壤微生物数量比较 6 个处理的微生物数量总平均值比较,平度点细菌占 94.38%,放线菌占 5.34%,真菌占 0.28%;库尔勒点细菌占 88.15%,放线菌占 10.87%,真菌占 0.98%。平度点细菌数量比库尔勒多 43.75%,放线菌少 22.1%,真菌数量少 110.21%。表明 2 个地区土壤微生物结构中细菌数量比重最大占 88%~94%,放线菌占 5%~10%,真菌数量极少。2 个

地区微生物种类结构比较还是存在着差异。

## 2.2 不同肥力根围土壤元素含量与微生物相关性

2 个地区根围土壤元素含量与微生物相关性分析见表 3,平度点细菌数量与锌元素含量呈极显著的正相关;真菌数量与硼、铜元素含量呈极显著负相关性,与锰元素含量呈显著相关性。库尔勒点变化趋势也亦同,但真菌数量与锰元素含量显著正相关性,与铜元素含量仍呈显著负相关性。

试验表明根围土壤微量元素含量对土壤微生物消长的影响要比大量、中量元素影响大。土壤微生物中,真菌数量的消长对根围土壤元素含量反应比细菌和放线菌要敏感。从该试验土壤养分含量测定显示,库尔勒地区微量元素含量丰富,平度土壤的锌、铜、硼含量分别比库尔勒少 80%、444%、127%。可能是在根围土壤养分充裕条件下,各元素的变化与微生物群落消长显示不出显著相关性,但是当根围土壤微量元素处于亚充裕水平时(如平度点的微量元素水平),真菌数量消长对其反应就敏感。

表 3 2 个地区根围土壤元素含量与微生物相关性分析

Table 3 Analyze correlation between rhizosphere soil element content and rhizosphere microorganism in two places

地点 Site	微生物 Microorganism	碱解氮 Avail. N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	Ca	Mg	B	Fe	Mn	Cu	Zn
平度	细菌	0.21	-0.12	0.28	0.21	0.22	-0.32	-0.03	0.04	-0.42	0.93**
	放线菌	0.65	0.37	0.46	0.40	-0.45	0.33	0.25	0.56	0.14	0.42
	真菌	-0.19	0.14	-0.41	-0.01	0.55	-0.84**	-0.52	-0.74*	-0.84**	0.42
库尔勒	细菌	0.23	0.26	0.34	-0.01	-0.13	0.02	0.37	-0.23	0.46	0.30
	放线菌	0.21	0.26	0.38	-0.07	-0.23	0.1	0.22	-0.22	0.38	0.27
	真菌	-0.32	-0.65	-0.05	-0.31	0.05	-0.13	-0.3	0.76*	-0.77*	-0.28

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

Note: \*, \*\* show significant at 5% and 1% levels, respectively.

表 4 不同施肥处理土壤元素含量

Table 4 Different fertilizer treatments soil element content

处理 Treatment	碱解氮 Avail. N		速效磷 Avail. P		速效钾 Avail. K		Ca		Mg		B		Fe		Mn		Cu		Zn	
	/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/%		/%		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )		/(mg · kg <sup>-1</sup> )	
	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla	平度 Pingdu	库尔勒 Korla
A	36.27	200.97	24.04	18.09	306.26	220.98	0.0095	0.0143	0.0021	0.0042	0.43	0.98	5.87	5.49	12.53	5.50	0.82	5.80	2.88	5.81
B	53.90	231.78	22.49	24.43	358.09	301.24	0.0097	0.0200	0.0024	0.0035	0.49	1.29	7.73	7.09	15.15	6.58	2.36	6.47	1.83	5.90
C	58.13	254.39	28.88	26.76	297.90	309.60	0.0081	0.0176	0.0011	0.0031	0.59	1.61	6.04	5.69	13.69	5.57	1.53	6.28	2.15	6.06
D	42.48	130.24	13.69	31.67	311.27	254.42	0.0080	0.0191	0.0027	0.0021	0.43	0.85	6.12	6.21	12.39	6.05	0.75	7.20	5.11	5.11
E	60.36	138.21	32.45	24.04	327.32	269.47	0.0102	0.0137	0.0023	0.0019	0.39	0.77	6.07	5.87	13.18	6.57	0.64	6.50	4.83	5.39
Ck	43.97	85.33	22.19	17.51	252.90	232.69	0.0068	0.0119	0.0021	0.0017	0.43	0.75	4.81	4.15	11.09	7.43	0.74	4.95	1.65	4.92
O	57.01	109.33	31.31	22.00	284.52	282.85	0.0085	0.0146	0.0025	0.0025	0.45	1.03	6.29	5.11	12.03	7.63	1.13	5.06	1.96	5.11

## 3 讨论

土壤中细菌、放线菌、真菌结构比例是衡量土壤肥力的一个重要指标,土壤微生物总量增加是土壤肥力提高的标志,土壤微生物群类比例的变化对土壤肥力形成及养分供应具有明显的调节作用<sup>[6]</sup>。在平度和库尔勒点的不同施肥处理,土壤微生物细菌、放线菌数量随之增加趋势,但是不施肥(CK)水平下,土壤微生物数量均

呈下降趋势。有报道认为,土壤真菌的数量可以不作为衡量土壤肥力的指标,原因在于可能某些真菌会合成植物毒素,不利于植物生长,甚至有些真菌具有致病性,是植物病害的病原菌<sup>[7]</sup>;也有研究表明,放线菌对土传病原真菌有拮抗促生的作用<sup>[8]</sup>,可能抑制了真菌的生长<sup>[9]</sup>,该试验结果显示 2 个地区在不同处理下土壤中真菌数量均有不同程度的降低,且无规律增减。不同的肥料种

类对土壤微生物有不尽相同的影响,长期施用有机肥可以明显提高植物根围土壤微生物的数量以及改变土壤微生物的群落结构<sup>[10-17]</sup>,该试验中,土壤细菌、放线菌数量在施用有机肥处理下比施用化肥处理下极显著增加,这是由于有机肥中不仅营养丰富而且促进土壤微生物的活动<sup>[18]</sup>。

该试验结果表明,铜元素与真菌消长呈极显著负相关,但是与细菌、放线菌消长无显著相关性。有研究表明,土壤中过量铜会使土壤微生物种群下降,且真菌对铜离子表现最为敏感度<sup>[15-16]</sup>,土壤中铜元素过量能抑制土壤中真菌的生长,值得一提的是,在该次试验中大量元素与微生物数量相关性不大。可能是现有土壤(包括CK)中养分是充足的,而养分满足的情况下再多出的养分已经不会对微生物数量形成敏感的临界点,所以会表现出微生物数量与元素之间相关性不大的结果。

土壤微生物消长在不同土壤环境下与根围土壤元素含量相关性不尽相同。这与不同地域土壤养分含量差异和微生物结构差异有关。每一茬作物种植之后必须返回至少等量的营养元素对于抚育土壤极其土壤微生物都是极其有益的。

#### 参考文献

- [1] 黄秀梨.微生物学[M].北京:高等教育出版社,2001:194-195.
- [2] 王家玲.微生物在环境中的分布及其相互关系[M].北京:高等教育出版社,1988:55-57.
- [3] Abbott L K, Murphy D V. Soil biological fertility[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers,2003:109.
- [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] 孙令强,刘书堂,钟辉,等.不同土壤肥力对于制辣椒产量和活性物质含量的影响[J].北方园艺,2013(22):169-172.
- [6] Petersen S O, Frohne P S, Kennedy A C. Dynamics of a soil microbial community under spring wheat[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002,66(3):826-833.
- [7] Johansson J F, Paul L R, Finlay R D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture[J]. FEMS Microbiology Ecology,2004,48(1):1-13.
- [8] 陈杰,汤琳,郭天文,等.马铃薯土传病原真菌拮抗放线菌的抗病促生作用[J].西北农林科技大学学报,2014,42(1):1-9.
- [9] 吴凡,李传荣,崔萍,等.不同肥力条件下的桑树根际微生物种群分析[J].生态学报,2008,28(6):2674-2681.
- [10] Zhang Q C, Shamsi I H, Xu D T, et al. Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure[J]. Applied Soil Ecology,2012,57:1-8.
- [11] 罗安程,章永松,林咸永,等.有机肥对水稻根际土壤中微生物和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):321-327.
- [12] Gerzabek M H, Pichlmayer F, Kirchmann H, et al. The response of soil organic matter to manure amendments in a long-term experiment in Ultuna [J]. Sweden Europe Journal of Soil Science,1997,48:273-282.
- [13] 杨丽娟,李天来,付时丰,等.长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):549-553.
- [14] 王超,吴凡,刘训理,等.不同肥力条件下烟草根际微生物的初步研究[J].中国烟草科学,2005(2):12-14.
- [15] 吴春艳,陈义,闵航,等. Cd<sup>2+</sup> 和 Cu<sup>2+</sup> 对水稻土微生物及酶活性的影响[J].浙江农业科学,2006(3):303-307.
- [16] 龙健,黄昌勇,腾应,等.我国南方红壤矿山复垦土壤的微生物特征研究[J].水土保持学报,2002,16(2):127-128.
- [17] 徐万里,唐光木,葛春辉,等.长期施肥对新疆灰漠土土壤微生物群落结构与功能多样性的影响[J].生态学报,2014,35(2):1-16.
- [18] 曹平.有机肥在现代农业中的作用[J].农业与技术,2013(5):113.

## Research on Correlation of the Soil Microorganisms and Soil Element Under Different Soil Fertilities

MA Tong<sup>1</sup>, LI Min<sup>1</sup>, SUN Ling-qiang<sup>2</sup>, CHU Jin-ping<sup>3</sup>, LIU Shu-tang<sup>1</sup>, LIU Jian-ping<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Qingdao Seed Station, Qingdao, Shandong 266071; 3. Xinjiang Agricultural Institute of Bazhou, Korla, Xinjiang 841000)

**Abstract:** The correlation between soil microbial quantity growth and decline and soil element content in Shandong Pingdu and Xinjiang Korla under different soil fertilities were studied. The results showed that bacteria and actinomycetes increased significantly while the amount of fungi had decreased under different fertilizer treatments, which organic fertilizer had significant effects on fungal growth than chemical fertilizer; in no fertilizer treatment (CK) the overall number of soil microorganisms significantly reduced, but the ratio of microbial community structure did not been affected. The correlation between soil microbial growth and soil element was not completely identical. The growth and decline of the number of fungi showed a significant negative correlation with copper. Bacteria showed a significant positive correlation with zinc in Pingdu but showed obvious negative correlation with boron element and manganese element. The conclusion showed that soil nutrient types and content had significant effects on soil microbial quantity growth and decline. The correlation between soil microbial growth and decline and rhizosphere soil element content was not same.

**Keywords:** soil microorganisms; pepper; soil element; correlation