

# 不同水肥处理对红花根际化学计量特征的影响

郭 欢, 刘 斌, 马晓丽, 张 霞

(石河子大学 生命科学院, 新疆 石河子 832000)

**摘 要:**在田间试验条件下,以水肥耦合为中心,以新疆红花为试材,采用熏蒸提取法检测红花根际微生物生物量,采用4因素3水平二次回归正交旋转组合设计,研究了施氮量、施磷量、施钾量和供水量4个因素对红花根际微生物生态化学计量特征的影响。结果表明:施肥可以明显提高红花根际微生物生物量C、N、P含量,改变化学计量比,合理的水肥配施有利于土壤养分的提高。不同处理红花根际土壤微生物生物量C、N含量随红花的生长期延长均表现出升降升的趋势,P含量则逐渐下降。施N量对生物量C、N含量及C:N:P影响最显著,施P量对生物量P含量及C:P、N:P影响显著,供水量则对生物量C、N、P含量都有显著影响,而对K肥的影响较弱。

**关键词:**水肥处理;红花;根际微生物;生态化学计量特征

**中图分类号:**S 154.36 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)16-0202-06

土壤微生物类群在不同生态系统中的碳(C)、氮(N)、磷(P)等营养元素呈现特定量度和比值,这种生态计量比值既是土壤微生物类群对环境因子的响应,也是

判断土壤健康状况及发育阶段的重要指标<sup>[1]</sup>。生态化学计量学是一种把生物界不同层次水平的研究连接统一起来的新的研究方法,目前生态化学计量学已经在多个领域得到广泛应用<sup>[2]</sup>,并已成为揭示土壤养分限制状况的重要手段。土壤微生物生物量参与土壤碳、氮、磷等元素的循环过程,不仅是土壤养分转化和循环的动力,而且本身也是植物有效养分的“源”与“库”,是土壤生态系统中极其重要和最为活跃的部分<sup>[3]</sup>。其对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤的微小变动均会引起其变化<sup>[4]</sup>。自Jenkinson等<sup>[5]</sup>,Brookes等<sup>[6]</sup>确立了测定土壤微生物生物量碳的熏蒸培养法(Fumigation-incubation method, FI)以来,许多科学家对土壤微生物量进

**第一作者简介:**郭欢(1988-),女,硕士研究生,现主要从事土壤微生物类群及生态计量等研究工作。E-mail:315552808@qq.com.

**责任作者:**张霞(1964-),女,教授,现主要从事土壤微生物类群及生态计量等研究工作。E-mail:xiazh@shzu.edu.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31160410);国家重点基础研究“973”发展计划资助项目(2009CB825103);人社部留学人员科技活动择优资助项目(2011LX005)。

**收稿日期:**2013-04-11

## Effects of Complex Bacteria with Urea Combined Application on the Yield and Nitrogen Uptake of Garlic

SHAO Xiu-li, WANG Ji-qing, ZHANG Shen-pu, ZHANG Dan

(College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002)

**Abstract:** Field trials were carried out, the effects of the beneficial microbial agents, which contain actinomycetes, photosynthetic and other microorganisms, with different levels of urea on nitrogen uptake, nitrogen use efficiency and yield of garlic were studied. The results showed that the treatments of applying microbial agents with urea compared to traditional nitrogen application, yields, nitrogen recoveries, total nitrogen were significantly increased. The treatments of microbial agents with total conventional urea and microbial agents with half conventional urea were higher in total nitrogen and nitrogen recovery, lower in nitrogen loss. Compared to the traditional nitrogen application, the nitrogen recovery was increased by 3.94%, 2.03%. Besides microbial agents with total conventional urea treatment, the garlic yield was the highest which was about 1 210 kg/667m<sup>2</sup>, and compared to the traditional nitrogen application, the yield increased by 8.04%.

**Key words:** garlic; combination of fertilizers; urea; nitrogen use efficiency; yield

行了大量研究<sup>[7]</sup>。

作为主要的农业措施,施肥对土壤微生物具有重要影响<sup>[8]</sup>,目前国内外对草地土壤微生物生物量已有大量研究<sup>[9-11]</sup>,而针对农田土壤的研究有限。近年来红花已成为新疆“红色产业”中的支柱作物<sup>[12]</sup>,一直以来红花以其卓越的药用和经济价值受到国内外研究者的关注。现以新疆栽培红花为研究对象,从不同水肥管理模式为切入点,采用熏蒸提取法检测红花根际微生物生物量,从生态化学计量学角度研究红花根际微生物生物量对不同水、肥水平的响应,探究不同水肥模式下红花根际土壤微生物化学计量特征变化特点。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在新疆石河子大学试验田(北纬 40°16'58.4"~46°43'31.8",东经 82°30'32.1"~89°01'02.2")进行,该区域属典型大陆性干旱半干旱气候。年降水量 200~500 mm,冬季平均积雪深度 20~40 cm。年平均气温 4~6℃,日平均气温>10℃的年积温 2 500~2 900℃,日照率 67%。无霜期 120~135 d。研究区均以农业种植为主。石河子大学节水灌溉试验站(兵团灌溉试验站石河子大学分站)样地土壤环境因子概况为土壤含水量 9.05%,pH 8.52,电导率 502.31  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,有机质含量为 27.98 g/kg,速效氮 0.1515 mg/kg,速效磷 0.112 mg/kg,速效钾 44.40 mg/kg。

### 1.2 试验材料

供试红花“新红 4 号”(Carthamus tinctorius L.)种子采自新疆石河子。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 试验设氮、磷、钾、水分 4 个因素,方案见表 1,参照贾宏涛等<sup>[13]</sup>的方法。施肥方法及时期:尿素 50%作基肥,剩余 50%在花前追施;三料磷肥 30%

表 1 试验方案  
Table 1 Experimental project

处理	水 / $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	尿素 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	三料磷肥 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	硫酸钾 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
CK	3 000	0	0	0
N <sub>0</sub>	3 000	0	375	150
N <sub>1</sub>	3 000	225	375	150
N <sub>2</sub> /P <sub>2</sub> /K <sub>2</sub> /W <sub>3</sub>	3 000	450	375	150
N <sub>3</sub>	3 000	675	375	150
P <sub>0</sub>	3 000	450	0	150
P <sub>1</sub>	3 000	450	187.5	150
P <sub>3</sub>	3 000	450	562.2	150
K <sub>0</sub>	3 000	450	375	0
K <sub>1</sub>	3 000	450	375	75
K <sub>3</sub>	3 000	450	375	225
W <sub>1</sub>	1 000	450	375	150
W <sub>2</sub>	2 000	450	375	150
W <sub>4</sub>	4 000	450	375	150

作基肥,定苗后 40%、花前 30%追肥;硫酸钾定苗后施 60%、花前 40%追肥。灌水方法及时期:整个生长期浇水 3 次,分别在分枝期 30%、初花期 40%、终花期 30%。浇水方式采用滴灌,以早晨或傍晚为宜。

1.3.2 土壤样品采集 按试验方案进行施肥、灌水、生育期观察和田间采样。将红花幼苗移栽至大田待其生长至莲座期(5 月 29 日)、伸长期(6 月 20 日)、盛花期(7 月 15 日)、种子成熟期(8 月 3 日),在各个生长期取样,取样时在每小区中随机选择 5 株红花,掘出面积为 10 cm×10 cm、深度为 15 cm 的包含红花根系的整块土壤样本,然后用塑料袋包住土壤部分,植物的地上部分仍保持原状,带回实验室,用药匙将附着在根上的土壤刮下装入灭菌牛皮袋,4℃冰箱保存备用。

### 1.4 项目测定

生物量 C 含量的测定采用熏蒸提取法;生物量 N 含量的测定采用熏蒸提取-茚三酮比色法;生物量 P 含量的测定采用熏蒸提取-全磷测定法。具体方法参照《土壤微生物生物量测定方法及其应用》<sup>[14]</sup>。

### 1.5 数据分析

用 Excel 作数据汇总及处理,用 SPSS 软件进行差异性及相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 红花根际微生物生物量碳含量的变化

由图 1 可知,供试土壤的微生物生物量碳(C)含量的变化介于 102.62~510.45 mg/g 之间,这与黎荣彬<sup>[15]</sup>的报道结果相似。在红花整个生长期,各处理微生物生物量 C 含量在莲座期后先缓慢上升,到伸长期均达到最大值;随着红花的生长均又逐渐下降,到盛花期达最小值;之后随着红花继续生长,均又逐渐增加,表现出升降升的趋势,这与马维娜等<sup>[16]</sup>对水稻的研究结果相似。

各施肥处理土壤微生物生物量 C 含量均显著高于未施肥的对照组土壤(CK),表明施肥可以提高红花根际微生物生物量 C 的含量,这与王晶等<sup>[17]</sup>对黑土土壤微生物量 C 的研究结果一致。且施 N 肥土壤(N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>)生物量 C 含量显著高于未施 N 肥的对照组土壤(CK、N<sub>0</sub>),不同 N 肥施用量间也有显著差异,高 N 肥处理(N<sub>3</sub>)生物量 C 含量显著低于低、中 N 肥处理,在伸长期表现最明显,表明高 N 肥的施入会降低生物量 C 的含量<sup>[18-19]</sup>。但施 P 肥土壤(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>)微生物生物量 C 与未施 P 肥的土壤(P<sub>0</sub>)除伸长期有明显差异外,其它 3 个时期并无显著差异,施 K 肥土壤与 P 肥土壤对微生物生物量 C 的影响相似。不同水处理间生物量 C 含量在莲座期和盛花期无显著差异,伸长期低水处理土壤(W<sub>1</sub>、W<sub>2</sub>)生物量 C 含量显著低于高水处理土壤(W<sub>3</sub>、W<sub>4</sub>),但盛花期高水处理土壤(W<sub>4</sub>)生物量 C 含量出现下降,种子成熟期时生物量 C 含量与其它水处理差异显著。

## 2.2 红花根际微生物生物量氮含量的变化

由图2可知,供试土壤的微生物生物量氮(N)含量的变化介于19.67~113.93 mg/g之间,从总体上看,红花整个生长期,各处理土壤微生物量N含量与土壤微生物量C含量变化趋势相似,均表现为升降升。土壤微生物生物量N含量与生物量C含量呈高度正相关。各施肥处理土壤微生物生物量N含量均显著高于未施肥的对照组土壤(CK),表明施肥可以提高红花根际微生物生物量N的含量。与生物量C含量相似施N肥土壤

(N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>)生物量N含量显著高于未施N肥的对照组土壤(CK、N<sub>0</sub>),不同N肥施用量间也有显著差异,但低、中、高N肥处理土壤生物量N含量呈递增趋势,高N肥处理(N<sub>3</sub>)生物量N含量最高。施P肥土壤(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>)微生物生物量N显著高于未施P肥的对照组土壤(CK、P<sub>0</sub>),而钾(K)肥处理间土壤(K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>)生物量N含量无显著差异。不同水处理间生物量N含量在莲座期无显著差异,伸长期、盛花期与种子成熟期低水处理土壤(W<sub>1</sub>)生物量N含量显著低于其它水处理土壤。

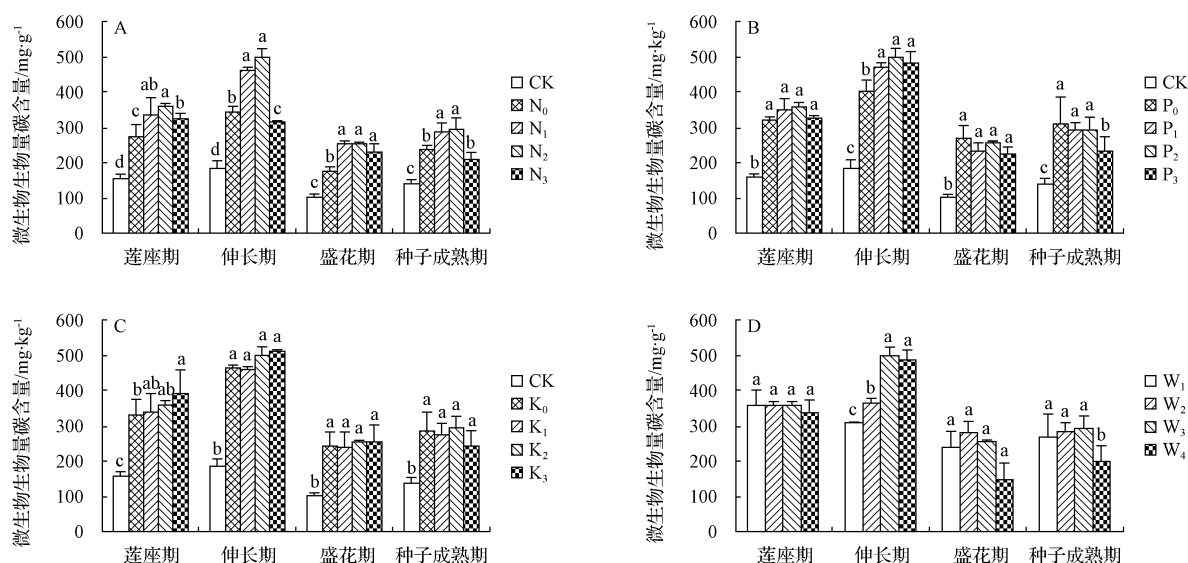


图1 不同施肥处理对红花根际微生物生物量碳含量的影响

注:A:不同N肥处理;B:不同P肥处理;C:不同K肥处理;D:不同水处理。不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Fig. 1 The effect of different fertilization treatments on microbial biomass C contents of safflower rhizosphere soil

Note: A: Different N treatment; B: Different P treatment; C: Different K treatment; D: Different water treatment. Different small letters in the same row are significantly different at the 0.05 level. The same below.

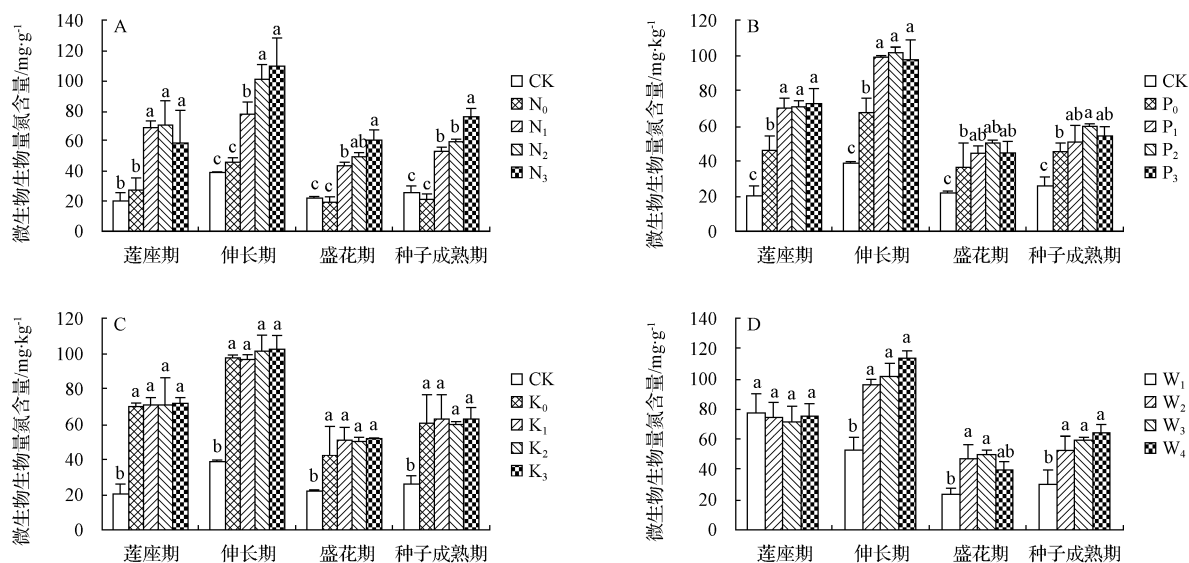


图2 不同施肥处理对红花根际微生物生物量氮含量的影响

Fig. 2 The effect of different fertilization systems on microbial biomass N contents of safflower rhizosphere soil

## 2.3 红花根际微生物生物量磷含量的变化

由图 3 可知,供试土壤的微生物生物量磷(P)含量的变化介于 0.50~3.91 mg/g 之间,与土壤微生物生物量 C、N 含量的变化规律不同,其随红花生长期的延长微生物生物量 P 含量逐渐下降,且在红花从伸长期生长至盛花期时下降幅度最大。N、K 肥处理间生物量 P 含量差异均不显著,与未施肥的对照组(CK)差异显著。施 P 肥土壤(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>)微生物生物量 P 含量显著高于未施 P

肥的对照组(CK、P<sub>0</sub>),这主要是因为施用 P 肥,会有更多的 P 被同化结合到微生物体内,导致土壤微生物生物量 P 含量提高<sup>[20]</sup>。不同水处理间生物量 P 含量在种子成熟期无显著差异,莲座期高水处理生物量 P 含量较低,伸长期与盛花期生物量 P 含量表现为高低水处理较低,中水处理(W<sub>3</sub>)生物量 P 含量在各时期表现最高,可见合理的灌溉对土壤磷素的供应有益。

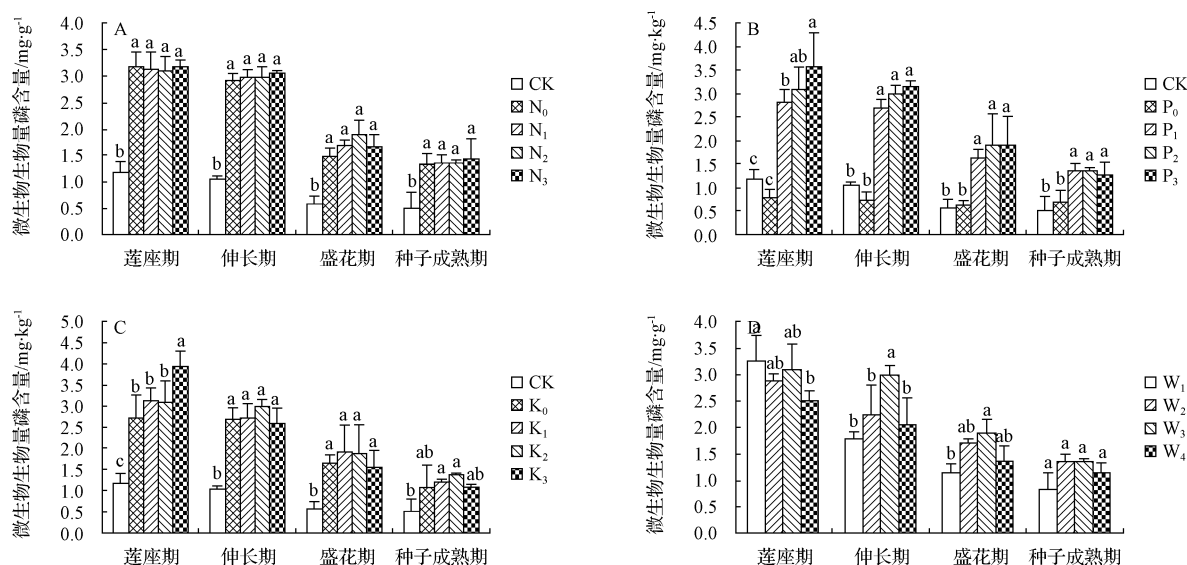


图 3 不同施肥处理对红花根际微生物生物量磷含量的影响

Fig. 3 The effect of different fertilization systems on microbial biomass P contents of safflower rhizosphere soil

表 2

不同水肥处理对红花根际土壤生态化学计量特征的影响

Table 2

The effect of different fertilization systems on ecological stoichiometry statistics of safflower rhizosphere soil

生长期	处理	C : N	C : P	N : P	C : N : P	处理	C : N	C : P	N : P	C : N : P
莲座期	CK	7.7 abc	133.8 b	17.4 c	134 : 17 : 1	CK	7.7 a	133.8 ab	17.4 a	134 : 17 : 1
	N <sub>0</sub>	9.9 a	86.2 b	8.7 c	86 : 9 : 1	K <sub>0</sub>	4.8 a	122.5 ab	25.7 a	122 : 26 : 1
	N <sub>1</sub>	4.8 cd	107.7 b	22.2 bc	108 : 22 : 1	K <sub>1</sub>	4.8 a	109.0 ab	22.9 a	109 : 23 : 1
	N <sub>2</sub>	5.0 bcd	116.1 b	23.1 bc	116 : 23 : 1	K <sub>2</sub>	5.0 a	116.2 ab	23.1 a	116 : 23 : 1
	N <sub>3</sub>	5.5 bcd	102.9 b	18.6 c	103 : 19 : 1	K <sub>3</sub>	5.4 a	99.8 b	18.4 a	100 : 18 : 1
伸长期	CK	4.8 cd	175.9 b	37.0 abc	176 : 37 : 1	CK	4.8 a	176.1 ab	37.0 a	176 : 37 : 1
	N <sub>0</sub>	7.5 bcd	118.0 b	15.7 c	118 : 16 : 1	K <sub>0</sub>	4.8 a	172.5 ab	36.1 a	173 : 36 : 1
	N <sub>1</sub>	5.9 bcd	154.8 b	26.4 bc	155 : 26 : 1	K <sub>1</sub>	4.8 a	169.5 ab	35.7 a	169 : 36 : 1
	N <sub>2</sub>	4.9 cd	167.2 b	34.1 bc	167 : 34 : 1	K <sub>2</sub>	4.9 a	167.2 ab	34.1 a	167 : 34 : 1
	N <sub>3</sub>	2.9 d	103.1 b	36.0 abc	103 : 36 : 1	K <sub>3</sub>	5.0 a	196.7 ab	39.3 a	197 : 39 : 1
盛花期	CK	4.7 cd	180.0 b	38.2 abc	179 : 38 : 1	CK	4.7 a	179.4 a	38.0 a	179 : 38 : 1
	N <sub>0</sub>	8.9 ab	117.8 b	13.2 c	118 : 13 : 1	K <sub>0</sub>	5.8 a	146.6 ab	25.4 a	147 : 25 : 1
	N <sub>1</sub>	5.8 bcd	148.9 b	25.6 bc	149 : 26 : 1	K <sub>1</sub>	4.7 a	124.5 ab	26.4 a	125 : 26 : 1
	N <sub>2</sub>	5.1 bcd	134.7 b	26.3 bc	135 : 26 : 1	K <sub>2</sub>	5.1 a	134.7 ab	26.3 a	135 : 26 : 1
	N <sub>3</sub>	3.8 cd	139.1 b	36.3 abc	13 : 36 : 1	K <sub>3</sub>	5.0 a	165.3 ab	33.3 a	165 : 33 : 1
种子成熟期	CK	5.3 bcd	272.8 a	51.5 a	273 : 51 : 1	CK	5.3 a	272.8 ab	51.5 a	273 : 52 : 1
	N <sub>0</sub>	11.0 a	176.7 b	16.1 c	177 : 16 : 1	K <sub>0</sub>	4.7 a	260.6 ab	55.7 a	261 : 56 : 1
	N <sub>1</sub>	5.4 bcd	209.7 b	39.0 abc	210 : 39 : 1	K <sub>1</sub>	4.4 a	229.6 ab	52.7 a	230 : 53 : 1
	N <sub>2</sub>	4.9 cd	214.0 b	43.5 abc	214 : 44 : 1	K <sub>2</sub>	4.9 a	214.1 ab	43.5 a	214 : 44 : 1
	N <sub>3</sub>	2.8 d	145.0 b	52.7 ab	145 : 53 : 1	K <sub>3</sub>	3.9 a	226.4 ab	58.8 a	226 : 59 : 1
莲座期	CK	7.7 ab	133.8 d	17.4 d	134 : 17 : 1	W <sub>1</sub>	4.6 bc	109.7 b	23.8 a	110 : 24 : 1
	P <sub>0</sub>	7.0 ab	403.2 ab	57.7 bcd	403 : 58 : 1	W <sub>2</sub>	4.8 bc	123.6 b	25.8 a	124 : 26 : 1
	P <sub>1</sub>	5.0 ab	124.8 d	25.0 cd	125 : 25 : 1	W <sub>3</sub>	5.0 bc	116.2 b	23.1 a	116 : 23 : 1
	P <sub>2</sub>	5.0 ab	116.2 d	23.1 d	116 : 23 : 1	W <sub>4</sub>	4.5 bc	133.5 b	29.8 a	133 : 30 : 1
	P <sub>3</sub>	4.5 b	91.0 d	20.3 d	91 : 20 : 1					

续表 2

生长期	处理	C : N	C : P	N : P	C : N : P	处理	C : N	C : P	N : P	C : N : P
伸长期	CK	4.8 ab	176.1 cd	37.0 bcd	176 : 37 : 1	W <sub>1</sub>	5.9 bc	171.2 b	29.2 a	171 : 29 : 1
	P <sub>0</sub>	5.9 ab	543.4 a	91.8 a	543 : 92 : 1	W <sub>2</sub>	3.8 c	163.7 b	43.0 a	164 : 43 : 1
	P <sub>1</sub>	4.8 ab	174.2 cd	36.7 bcd	174 : 37 : 1	W <sub>3</sub>	4.9 bc	167.2 b	34.1 a	167 : 34 : 1
	P <sub>2</sub>	4.9 ab	167.2 cd	34.1 bcd	167 : 34 : 1	W <sub>4</sub>	4.3 c	235.7 ab	55.1 a	236 : 55 : 1
	P <sub>3</sub>	5.0 ab	154.5 cd	31.1 bcd	155 : 31 : 1					
盛花期	CK	4.7 ab	179.4 cd	38.0 bcd	179 : 38 : 1	W <sub>1</sub>	10.1 a	207.7 ab	20.6 a	208 : 21 : 1
	P <sub>0</sub>	7.4 a	423.9 ab	57.5 bcd	424 : 57 : 1	W <sub>2</sub>	5.9 bc	165.7 b	27.9 a	166 : 28 : 1
	P <sub>1</sub>	5.3 ab	141.2 d	26.8 cd	141 : 27 : 1	W <sub>3</sub>	5.1 bc	134.7 b	26.3 a	135 : 26 : 1
	P <sub>2</sub>	5.1 ab	134.7 cd	26.3 cd	135 : 26 : 1	W <sub>4</sub>	3.6 c	106.4 b	29.2 a	106 : 29 : 1
	P <sub>3</sub>	5.0 ab	118.9 d	23.7 cd	119 : 24 : 1					
种子成熟期	CK	5.3 ab	272.8 bc	51.5 abc	273 : 51 : 1	W <sub>1</sub>	9.0 ab	319.9 a	35.6 a	320 : 36 : 1
	P <sub>0</sub>	6.8 ab	454.1 ab	66.5 ab	454 : 66 : 1	W <sub>2</sub>	5.4 bc	209.8 ab	39.0 a	210 : 39 : 1
	P <sub>1</sub>	5.8 ab	214.3 cd	37.0 bcd	214 : 37 : 1	W <sub>3</sub>	4.9 bc	214.1 ab	43.5 a	214 : 44 : 1
	P <sub>2</sub>	4.9 ab	214.1 cd	43.5 bcd	214 : 43 : 1	W <sub>4</sub>	3.2 bc	174.8 b	55.4 a	175 : 55 : 1
	P <sub>3</sub>	4.3 b	179.5 cd	42.0 bcd	180 : 42 : 1					

## 2.4 各土壤微生物生物量比值的变化

土壤微生物生物量 C : N 比可反映微生物群落结构信息<sup>[21]</sup>, C : N 比低的土壤其单位重量有机质所含的微生物生物量 C 含量较高<sup>[22]</sup>。由表 2 各处理土壤微生物量 C : N 比可知, 其变化范围在 2.8~11.0 之间, N 肥处理和水处理对 C : N 比影响显著, 同施肥水平伸长期的比值最低, 其比值显著低于其它各时期, 其次为种子成熟期, 盛花期比值最高。相同生长期 N<sub>3</sub> 和 W<sub>4</sub> 处理比值最低, N<sub>0</sub> 和 W<sub>1</sub> 比值相对较高。而 N<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>、W<sub>3</sub> 处理生态化学计量 C : N 比值在不同生长期分别为 5.0、4.9、5.1、4.9 左右, 比值非常稳定。生物量 C : P 比是衡量土壤微生物生物量磷有效性的指标, 研究表明, C : P 比与土壤性质、利用状况及土壤磷素供应有关, 酸性土壤或有效磷含量高的土壤 C : P 比一般都比较低, 即微生物量中磷的浓度较高<sup>[23]</sup>。P 肥处理对 C : P 比影响显著, P<sub>3</sub> 处理比值最小, 在各时期分别为 91.0、154.5、118.9、179.5, C : P 比值较小说明土壤微生物中含磷量较高, 在周转过程中通过微生物矿化和转化具有较大的释放磷的潜力, 而 P<sub>0</sub> 处理比值最大, 在各时期分别为 403.2、543.4、423.9、454.1, C : P 较大则说明土壤微生物中磷贫瘠, 在周转过程中能够同化土壤中的有效磷<sup>[24-25]</sup>。N : P 比化学计量特征是研究生态系统中营养结构变化、生物多样性和生物地球化学循环的基本依据<sup>[26-27]</sup>。土壤中的氮磷比化学计量特征发生变化会影响植被动态; 土壤中氮磷比化学计量特征的变化对物种多样性及生产力产生影响。各处理土壤微生物量 N : P 比变化范围在 8.7~91.8 之间, 变化范围较大, 但 85.5% 集中在 20~60 之间。N、P 肥处理对 N : P 比影响显著, 随生长期延长比值增大。相同生长期 N<sub>0</sub> 和 P<sub>3</sub> 处理比值最低, N<sub>3</sub> 和 P<sub>0</sub> 比值相对较高。

## 3 结论与讨论

研究大田栽培中不同水肥管理模式对红花根际微生物生物量 C、N、P 含量及其比值的相关关系规律, 可以

反映红花对施肥后土壤养分的响应和适应机制, 并能根据红花的响应和适应情况判断施肥的合理性和调整优化施肥措施。因此, 该研究通过大田试验, 研究了 4 种处理模式下红花根际微生物 C : N : P 关系, 旨在进一步验证大田条件下红花生态计量学特征的结果, 以期能为科学施肥和养地用地的研究工作奠定一些基础。

在红花整个生长期内, 微生物生物量 C 含量表现出升降升的趋势。这一趋势可能是由于随着红花根系的发达, 红花同根际微生物竞争根际微域环境的营养元素, 进而表现出在盛花期红花根际微生物生物量 C 下降, 而第 4 次取样是在红花种子成熟期, 根际已经大部分死亡, 此时红花已不再同根际微生物竞争, 所以根际微生物生物量 C 含量增加。

该研究结果表明, 施肥显著增加了土壤微生物生物量 C、N、P 含量<sup>[28]</sup>, 说明向土壤中输入肥料增加了微生物有效养分, 刺激了微生物活性, 使土壤微生物量显著增加。土壤微生物量与有机质密切相关, 因而土壤微生物量的变化可敏感地指示土壤有机质的变化。土壤化学计量 C : N : P 比值的明显变化说明施肥后土壤中微生物群落发生变化, 引起微生物 C、N、P 关系发生变化, 而稳定的 C : N 比说明合理的施肥制度能够稳定土壤微生物结构与营养成分, 但化学计量比不仅受到施肥处理的影响一定程度上也受到土壤质地等基本性质的影响。因此, 以上生态化学计量指标在红花种植的水肥管理模式中具有较大的应用潜力, 在指示红花农田土壤质量的改变方面具有较高的应用价值。

## 参考文献

- [1] Méndez M, Karlsson P S. Nutrient stoichiometry in *Pinguicula vulgaris*: nutrient availability, plant size, and reproductive status [J]. *Ecology*, 2005, 86: 982-991.
- [2] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: a science to explore the complexity of living systems [J]. (In Chinese). *Acta Phytocological Sinica*, 2005, 29: 1007-1019.
- [3] He Z L. The significance of microbial biomass in nutrients recycling and environmental quality assessment [J]. *Soil*, 1997, 29(2): 61-69.

- [4] 赵先丽,吕国红,于文颖,等. 辽宁省不同土地利用对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(10):40-48.
- [5] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: A method for measuring soil biomass [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1976, 8(3):209-213.
- [6] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 113(14):319-329.
- [7] 吴朝晖,袁隆平. 微生物量的变化与超级杂交稻产量的关系研究[J]. 湖南农业科学,2011(13):45-47.
- [8] Sven J, Anders M, Inger K S, et al. Microbial biomass C, N and P in two arctic soils and responses to addition of NPK fertilizer and sugar: implications for plant nutrient uptake[J]. Oecologia, 1996, 106:507-515.
- [9] Bardgett P D, Mawdsley J L, Edwards S, et al. Plant species and nitrogen effects on soil biological properties of temperate upland grasslands [J]. Functional Ecology, 1999(13):650-660.
- [10] De Vries F T, Hoffland E, van Eekeren N, et al. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38:2092-2103.
- [11] 吴永胜,马万里,李浩,等. 内蒙古退化荒漠草原土壤有机碳和微生物生物量碳含量的季节变化[J]. 应用生态学报,2010,21(2):312-316.
- [12] 郑良军,李发云,李仁辉,等. 新疆红花发展前景及对策[J]. 新疆农业科技,2002(4):7-8.
- [13] 贾宏涛,谭勇,孙霞,等. 施肥对红花生长和产量的影响[J]. 新疆农业大学学报,2010,33(5):394-397.
- [14] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, et al. Soil Microbial Biomass-Methods and Application [M]. China Meteorological Press, 2006:55-115.
- [15] 黎荣彬. 土壤微生物生物量碳研究进展[J]. 广东林业科技,2008,24(6):65-69.
- [16] 马维娜,杨京平,汪华. 不同水分模式分次施氮对水稻根际土壤微生物生态效应的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2007,33(2):184-189.
- [17] 王晶,解宏图,张旭东,等. 施肥对黑土土壤微生物生物量碳的作用研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):118-120.
- [18] Ebhin M R, Chhonkar P K, Dhyani S, et al. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a subtropical incept soil [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38(7):1577-1582.
- [19] Zhang C E, Liang Y L. Effect of different amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers applied on soil microbial mass during corn growth periods [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(2):72-74.
- [20] Chen G C, He Z L, Huang C Y. Study on relationship between microbial biomass phosphorus and soil phosphorus in red soils [J]. Journal of Zhejiang University, Agric. & Life Sci, 1999, 25(5):513-516.
- [21] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1995, 27(7):969-975.
- [22] 黄辉,陈光水,谢锦升,等. 土壤微生物生物量碳及其影响因子研究进展[J]. 湖北林业科技,2008(4):34-41.
- [23] 赵先丽,程海涛,吕国红,等. 土壤微生物生物量研究进展[J]. 气象与环境学报,2006,22(4):68-72.
- [24] Cleveland C C, Townsend A R. Nutrient additions to a tropical rain forest drive substantial soil carbon dioxide losses to the atmosphere [J]. The National Academy of Sciences of the USA, 2006, 103(27):10316-10321.
- [25] Kwabiah A B, Palm C A, Stoskopf N C, et al. Response of soil microbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis on P availability [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(2):207-216.
- [26] Elser J J, Dobberfuhl D R, Mackay N A, et al. Organism size life history and N:P stoichiometry [J]. Bio Science, 1996, 46:674-684.
- [27] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [28] 张恒嘉,黄高宝. 绿洲调亏灌溉春小麦农田生态化学计量特征[J]. 中国生态农业学报,2011,19(1):59-62.

## Effects of Different Fertilization Systems on Rhizosphere Microbe Ecological Stoichiometry Characteristic of *Carthamus tinctorius* L. in Xinjiang

GUO Huan, LIU Bin, MA Xiao-li, ZHANG Xia

(College of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000)

**Abstract:** Taking *Carthamus tinctorius* L. in Xinjiang as material, a field experiment was conducted to detect the microbial metabolic biomass using fumigation extraction method with water-fertilizer coupling as center. The effects of 4 factors (N, P, K and water amount) on rhizosphere microbe ecological stoichiometry characteristic of *C. tinctorius* L. in Xinjiang were studied using four factors and three levels quadratic regression orthogonal rotation design. The results showed that fertilization could increase the soil microbial metabolic biomass carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) contents significantly, and change the ecological stoichiometry ratio. Reasonable fertilization system was benefit to improve soil nutrients. Soil microbial metabolic biomass C and N showed the tendency of "up down and up" with the growth stage prolonged, and P content decreased. The dosage of N fertilizer had significantly effect on C, N concentrations and C:N:P; the dosage of P fertilizer had significantly effect on C:P and N:P; the dosage of water had significantly effect on C, N and P concentrations; the dosage of K fertilizer did not response.

**Key words:** fertilization systems; *Carthamus tinctorius* L.; microbe of rhizosphere; ecological stoichiometry character