

赵维奇, 廉宁霞, 张弛, 等. 丛枝菌根真菌(AMF)处理后红花土壤深度生态化学计量的时空变化[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 468–471.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.146

丛枝菌根真菌(AMF)处理后红花土壤深度生态化学计量的时空变化

赵维奇¹, 廉宁霞², 张弛¹, 郭丽¹, 张霞¹

(1. 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832000; 2. 新疆轻工职业技术学院, 新疆乌鲁木齐 830021)

摘要:以新疆红花主栽品种裕民无刺为研究对象, 给予合适水肥条件, 同时接种 3 种不同 AM 真菌处理, 采集红花不同生长期(莲座期、伸长期、盛花期和种子成熟期)的土壤样品, 测定 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤的有机质、总氮、总磷、速效碳、速效氮、速效磷含量及碳氮比、碳磷比、氮磷比指标。结果表明, 处理组总氮(TN)、总磷(TP)、速效氮(AN)、速效磷(AP)含量均高于 CK, H 处理各值均较大, 说明施菌在一定程度上提高了土壤氮、磷、钾水平; 土壤化学计量比的季节动态在不同处理下有一定的规律性, 伸长期碳氮比较高, 盛花期和种子成熟期碳磷比较低; 碳氮比、碳磷比、氮磷比在 0~10 cm 土层均较高, 且 H 处理较大, 可知 0~10 cm 土层环境质量在 H 处理下较好。

关键词:丛枝菌根真菌(AMF); 红花; 生育期; 生态化学计量; 土壤

中图分类号: S182; S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0468-04

土壤中含有生物所需的大量碳、氮、磷及多种微量元素, 是植物和微生物的天然培养基^[1], 而土壤在不同的施肥条件下会影响植物生长^[2]和微生物的分布^[3]。丛枝菌根(*Arbuscular mycorrhiza*, AM)真菌是陆地上广泛分布的一类菌根, 能够和 80% 以上的维管类植物建立起共生关系并形成 AM 菌根^[4], 菌根具有促进植物养分吸收、改善植物水分代谢^[5]、增强植物耐盐性^[6]、提高植物抗病性、改善土壤物理性状、增加植物产量等作用^[7], 因此被誉为“生物肥料”^[8]。

新疆是我国最大的红花(*Carthamus tinctorius* L.)产区, 在新疆“红色产业”中具有支柱作用^[9]。一直以来, 红花作为一种油、药、饲、天然色素、燃料兼用的经济作物受到国内外学者的广泛关注。本研究以红花-菌根-土壤理化性质为切入点, 在接种 1 种或者 2 种以及不接种 AM 真菌的条件下, 测定植物根部土壤中碳、氮、磷的含量, 通过分析不同生育期土壤元素含量及比值的变化所导致的植物生长的变化, 探求出不同时期土壤营养元素的需求, 为更合理地施肥、灌溉提供间接的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试材料 新疆主栽红花品种裕民无刺。

1.1.2 供试菌种 摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, 简称 M)、根内球囊霉(*Glomus intraradices*, 简称 I)、混合菌种(*G. mosseae*、

G. intraradices, *G. cladoideum*, *G. microagregatum*, *G. caledonium* 和 *G. etunicatum*, 简称 H), 试验除 I、M、H 这 3 种处理模式外, 还设置了 1 个不接种处理作为对照(简称 CK)。M 和 I 产地为山东青岛, 由青岛农业大学植物保护研究所刘润进提供; H 产地为捷克共和国, 由该国的“Symbio-m”菌种公司提供。上述菌种是石河子大学生命科学学院曾广萍将其接种在三叶草根进行土壤扩大繁殖后获得含孢子菌丝和侵染根际土等的混合物。

1.1.3 研究区概况 本试验在新疆石河子大学农学院试验站进行, 该站位于石河子东北部市郊附近乌伊公路, 天山北麓。石河子地区位于 43°20′~45°20′N、84°45′~86°40′E 之间, 海拔高度差异较大; 光照充沛, 年光照时间为 2 721~2 818 h; 无霜期为 168~171 d; 年平均气温为 6.5~7.2℃, 夏季平均气温为 24.2~25.7℃。该地区为灌溉农业区, 年降水量为 125.0~207.7 mm, 1 年中降水较多的月份主要出现在 4—7 月, 降水量 13.0~20.0 mm, 年蒸发量为 1 500~2 400 mm, 是典型的干旱大陆性气候。石河子土壤质地为重壤土, 表土层厚约 15~21 cm, pH 值为 7.4, 微碱性, 土壤含水量为 18%; 有机质(soil organic carbon, SOM)含量为 15.2 g/kg, 全氮(total nitrogen, TN)含量为 0.077%, 速效氮(available nitrogen, AN)含量为 43.9 mg/kg, 全磷(total phosphorus, TP)含量为 1 750 mg/kg, 速效磷(available phosphorus, AP)含量为 27.5 mg/kg, 全钾(total kalium, TK)含量为 2 574.0 mg/kg, 速效钾(available kalium, AK)含量为 183.5 mg/kg。

1.2 试验方法

1.2.1 育苗与样品采集 红花选取粒大、饱满、色白的种子进行育种, 在每盆中施 10 g 接种物作为处理组, 不接种作为对照, 室温 15~20℃下培养至发芽, 其间浇灌的水为无菌水。红花幼苗生长 35~40 d 出现一定菌根效应后, 从每个处理中选取 5~10 株生长状况良好的幼苗, 利用染色镜检法进行根

收稿日期: 2014-11-03

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31160410)。

作者简介: 赵维奇(1989—), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 研究方向为新疆本土作物遗传及变异规律。E-mail: zhaoweiqi0225@126.com。

通信作者: 张霞, 教授, 硕士生导师, 从事新疆本土作物遗传及变异规律研究。E-mail: xiazh@shzu.edu.cn。

部菌根侵染率的检测。菌根侵染率达到 30% 以上,进行移栽,移栽时按株距 25 cm、行距 35 cm 规格种植,以减少不同处理间的相互影响。施肥量为:尿素 450 kg/hm²,重过磷酸钙 375 kg/hm²,硫酸钾 150 kg/hm²^[10];施肥方法为:尿素 50% 作基肥,50% 在初花期追施;重过磷酸钙 30% 作基肥,定苗后施 40%,初花期施 30%;硫酸钾定苗后施 60%,初花期施 40%。由于红花怕涝,试验过程接入滴灌带,安装水表进行灌溉。整个生育期只需浇 3 次水,共 3 000 m³/hm²,分别在定苗后 30%、初花期 40%、终花期 30%。

试验设 3 次重复,4 次采样,采样的 4 个时期为:莲座期(5 月 28 日)、伸长期(6 月 25 日)、盛花期(7 月 27 日)和种子成熟期(8 月 20 日)。待其生长至莲座期、伸长期、盛花期、种子成熟期,采集红花根部的 0~10、10~20 cm 土层样品,分别装入标记好的牛皮纸袋中,贴好标签带入实验室,风干处理后备用。

1.2.2 测定指标 参照鲍士旦的《土壤农化分析》测定方法,分别测定 0~10、10~20 cm 土层的 SOM(重铬酸钾容量法)、TN(凯氏定氮法)、AN(扩散法)、TP(NaOH 熔融-钼锑抗比色法)、AP(NaHCO₃ 法)及碳氮比、碳磷比、氮磷比。

1.3 数据处理

SOM、氮、磷含量单位为 mg/kg。氮磷比为元素浓度比。

表 1 不同真菌处理下 SOM 含量的时空变化

组别	0~10 cm SOM 含量(g/kg)				10~20 cm SOM 含量(g/kg)			
	5 月 28 日	6 月 25 日	7 月 27 日	8 月 20 日	5 月 28 日	6 月 25 日	7 月 27 日	8 月 20 日
CK	6.83	6.63	13.15	9.29	7.05	6.85	13.52	9.52
I	8.92	8.72	15.47	10.26	9.22	9.01	15.84	10.86
M	8.54	8.34	15.47	10.19	9.14	8.94	15.99	10.78
H	7.95	7.75	15.91	10.34	8.40	8.19	16.36	11.01

2.2 AMF 处理土壤氮含量的时空变化

植物生长直接利用的是土壤速效成分,而土壤速效成分是由土壤全成分供给的。由表 2 可以看出,不同真菌处理模式下不同生育期的 0~10、10~20 cm 土层土壤 TN、AN 含量均不相同。各土层土壤氮含量在不同处理模式下各生育期含量与 SOM 的变化趋势一致,因为在莲座期到伸长期是红花迅速生长的时期,这 2 个时期红花生长需要大量的氮素,而植物所需氮素是由土壤提供的,相应土壤元素就随之降低;到了伸长期,由于花前追肥导致土壤氮含量再次回升,到成熟期由于供给种子的发育导致其再次降低。0~10 cm 土层的 TN、AN

用单因素方差分析比较不同处理水平土壤养分含量及比值的差异性。以上数据均用 SPSS 17.0 软件进行数据整理、统计分析和制图。

2 结果与分析

2.1 AMF 处理土壤有机质的时空

由表 1 可以看出,不同真菌处理模式下不同生育期的 0~10、10~20 cm 土层 SOM 含量不同,处理组高于对照组,且差异明显;0~10 cm 土层 SOM 含量小于 10~20 cm 土层,但没有明显差异,这可能与红花根的发育程度及养分吸收的部位有关^[11]。同一真菌处理模式的 0~10 cm 土层 SOM 含量小于 10~20 cm 土层,不同生育期 SOM 含量表现为莲座期到伸长期降低、到盛花期升高、种子成熟期又降低,因为莲座期和伸长期是红花快速生长的时期,需要大量利用土壤养分^[12],导致 SOM 含量处于低的水平状态,而花前施肥,盛花期 SOM 水平又提高,盛花期到种子成熟期是花绒生长和籽粒成熟的阶段,需要大量的磷肥,加上蛋白质的合成,导致其再次降低。各处理模式下不同土层 SOM 含量在整个生育期表现一致,真菌处理明显高于对照组 SOM 含量,说明真菌增加了土壤肥力,而 H 处理模式下不同土层 SOM 含量均达到较大值,说明混合菌的效果要比单独施菌更能增加土壤肥力。

含量均小于 10~20 cm 土层,说明红花根的生长主要在上层土壤部分,这可能和须根的发育程度有关。真菌处理 TN 和 AN 含量高于对照组,且差异明显,而处理组 TN 只有在盛花期和种子成熟期的 0~10 cm 土层差异明显,莲座期的 AN 在各处理水平下差异明显,这可能和菌根的数量和菌根菌的生长有关,因为红花的生长需要直接利用土壤 AN,菌根菌的生长也利用土壤 AN。真菌处理模式下土壤氮水平高于不施菌模式,而处理组表现亦各不相同,H 处理模式下不同土层土壤氮含量均达到最大值,说明混合菌的效果要比单独施菌更能提高土壤氮水平。

表 2 不同 AMF 处理下土壤 TN、AN 含量的时空变化

土层 (cm)	生育期	TN 含量(%)				AN 含量(%)			
		CK	I	M	H	CK	I	M	H
0~10	5 月 28 日	0.03	0.04	0.03	0.04	44.80	58.10	64.40	67.90
	6 月 25 日	0.01	0.02	0.01	0.02	11.20	34.30	37.80	36.40
	7 月 27 日	0.06	0.07	0.08	0.08	44.80	58.10	56.40	57.90
	8 月 20 日	0.03	0.04	0.05	0.04	11.20	34.30	37.80	36.40
10~20	5 月 28 日	0.03	0.04	0.04	0.04	46.20	51.80	53.30	54.97
	6 月 25 日	0.01	0.02	0.02	0.01	12.60	35.70	40.60	40.60
	7 月 27 日	0.07	0.08	0.08	0.08	46.20	58.80	57.30	57.96
	8 月 20 日	0.04	0.05	0.06	0.06	12.60	35.70	40.60	40.60

2.3 AMF 处理土壤磷含量的时空变化

由表 3 可以看出,土壤 TP 与 TN 变化趋势是不一致的。不同真菌处理模式下不同生育期的 0~10 cm 和 10~20 cm 土层磷含量不同,且有一定差异。各土层土壤 AP 在不同处理模式下各生育期含量呈“降低-上升-降低”的趋势,因为在莲座期到伸长期是红花迅速生长的时期,这 2 个时期红花生长需要大量的营养,而 AP 是由土壤 TP 提供的,相应土壤 AP 含量就会降低。0~10 cm 土层的土壤 TP 含量在部分时

期小于 10~20 cm 土层,这与 SOM 和土壤 TN 的变化趋势一致,而 0~10 cm 土层的土壤 AP 含量大于 10~20 cm 土层,这可能与根的发育程度及对养分吸收的部位和程度有关。真菌处理比对照组土壤 TP 含量低,说明真菌处理使更多的土壤 TP 分解成 AP;真菌处理比对照组土壤 AP 含量高,且差异明显,说明真菌处理提高了土壤 AP 水平,这与 TP 的解释一致。而 H 处理模式下不同土层磷含量均达到最低值,说明混合菌的效果要比单独施菌更能促进植物对土壤磷的吸收。

表 3 不同 AMF 处理下土壤 TP、AP 含量的时空变化

土层 (cm)	生育期	TP 含量				AP 含量			
		CK	I	M	H	CK	I	M	H
0~10	5 月 28 日	0.24	0.20	0.20	0.15	19.46	24.24	23.37	21.20
	6 月 25 日	0.17	0.19	0.14	0.12	9.24	12.72	12.29	10.98
	7 月 27 日	0.26	0.28	0.23	0.17	22.72	26.85	25.98	23.61
	8 月 20 日	0.25	0.21	0.21	0.16	21.85	26.41	24.37	22.67
10~20	5 月 28 日	0.17	0.21	0.20	0.14	17.94	22.50	21.80	18.59
	6 月 25 日	0.13	0.17	0.19	0.09	7.07	10.33	10.11	8.07
	7 月 27 日	0.22	0.23	0.21	0.22	19.24	24.02	24.46	21.42
	8 月 20 日	0.18	0.22	0.21	0.17	18.37	23.59	23.07	20.76

2.4 AMF 处理土壤元素比值的时空变化

由图 1-a 可见,该区土壤化学计量比随不同处理的变化不大,碳氮比在伸长期较大,说明该时期氮含量相对较低,因为此时期是红花营养器官迅速生长的时期,需要大量的氮供给,导致土壤相应氮降低。由图 1-b 可见,碳磷比在盛花期和种子成熟期较低,因为该时期是红花花绒生长和种子发育的时期,蛋白质的大量合成,需要大量磷的供给,导致土壤磷降低。0~10 cm 土层碳氮比和碳磷比均高于 10~20 cm 土层,且 H 处理均较大,根据前人的研究,可以得出 0~10 cm 土层环境质量在 H 处理下较好。不同真菌处理模式下各土层碳氮比和碳磷比在各生育期的变化趋势基本一致。

图 1-c 可知,不同真菌处理模式下不同生育期的 0~10、10~20 cm 土层土壤氮磷比是不同的,0~10 cm 土层的土壤氮磷比小于 10~20 cm 土层的氮磷比。真菌处理增大了土壤各层氮磷比,而真菌处理组 H 处理模式下不同土层氮磷比均达到最大值,M 处理组则最小,说明混合菌处理比单独施菌处理提高了土壤氮磷比。同一处理模式下各生育期的氮磷比差异明显。各土层土壤氮磷比在不同处理模式下各生育期含量均呈现“下降-上升-下降”的趋势。该区土壤氮磷比较氮、磷全量养分稳定,0~10 cm 较 10~20 cm 稳定。这说明当土壤养分含量发生变化时,土壤会通过一定机制调整以使自身的化学计量比维持在相对稳定的范围内,例如微生物对枯落物的分解作用、微生物自身的养分固持作用,以及对植物的供应等,而这种作用是较为强烈的,因此 0~10 cm 土层较为稳定,而 10~20 cm 土层作用较弱,稳定性不及上层,它们的变化可能更多受土壤母质的影响。综合上述结果,可以认为该区土壤质量整体而言以 H 处理较好。

3 讨论与结论

本研究对药用红花裕民无刺接种 AM 真菌,结果表明,伴随着红花生长期的延长,接种 AM 真菌与对照组红花根部土

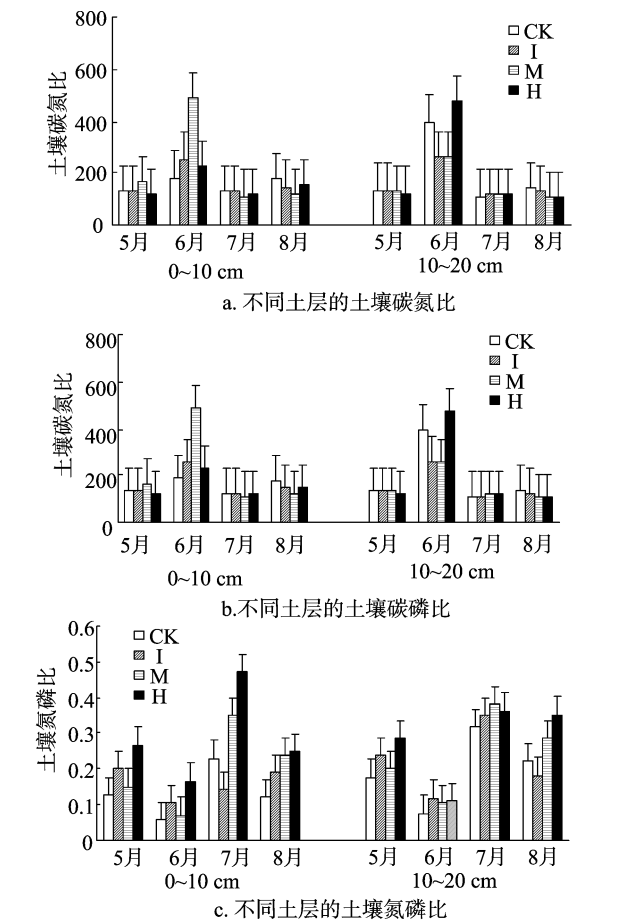


图1 不同 AMF 处理模式下土壤生态化学计量的时空变化

壤中各元素的含量明显都呈先下降后上升再下降的趋势,而且不同 AM 真菌以及混合菌株对红花根部元素含量也有着一定的差异。在土壤垂直层面上,不同土层根部对营养物吸收基本随着深度的增加而减少,这可能与 AM 真菌随深度的增

加而减少有关^[13]。

生态化学计量是一个描述生态系统结构和功能的理论^[14],它的出现构建了现实和多产的框架^[15,16]。生态化学计量主要是对关键要素的化学计量关系的确定,例如:碳、氮和磷(碳:氮:磷摩尔比例)根据组织层次和生物化学功能有系统地区分^[14]。有机体的生长水平、生活阶段有较高的增长率,该特征通常与高含量的 RNA 有联系(碳:氮:磷在 18:6:1 与 21:7:1 之间)^[17],而且这有可能全部转化成为它们的营养成分。

本研究中不同生育期 SOM 含量表现为“降—升—降”的趋势,这是因为莲座期和伸长期是红花快速生长的时期,需要大量利用土壤养分,导致 SOM 含量处于较低的状态,而花前施肥,盛花期 SOM 水平又提高,盛花期到种子成熟期是花绒生长和籽粒成熟的阶段,需要大量的磷肥,加上蛋白质的合成,导致其再次降低。同一真菌处理模式的 0~10 cm 土层 SOM 含量小于 10~20 cm 土层,这可能与红花根的发育程度及养分吸收的部位有关^[10]。真菌处理 SOM 含量明显高于对照组,说明真菌增加了土壤肥力,而 H 处理模式下不同土层 SOM 含量均达到最大值,说明混合菌的效果要比单独施菌更能增加土壤肥力。

氮、磷的功能是其他任何养分都取代不了的,植株最佳的生长和繁殖有赖于供应充足的养分,这些元素通过根毛、根尖和最外层根细胞进入植株,一旦进入植物根系,便贮存于根系或转移至植株地上部并经各种化学反应生成酶类、核酸和蛋白质等有机化合物,再以这些有机形态在植株内移动并参与各种化学反应^[18]。在分解利用 SOM 的过程中,土壤生物将它们所需要的元素同化,将多余的元素释放出来,这个过程就是有机元素的矿化,如果 SOM 提供的氮、磷不能满足这些生物的需要,它们就会从土壤中吸收,这就构成了元素的生物固持作用,这些元素是土壤肥力的重要指标,而植物可以直接吸收利用的土壤 AN 和 AP 含量,真菌处理组土壤氮、磷含量及 AN 和 AP 均高于对照组,说明施菌在一定程度上提高土壤氮、磷含量,相应土壤 AN 和 AP 含量随之增加。混合菌处理下土壤 TN、TP、AN、AP 含量都较大,这可能是由于混合菌剂更好地促进了土壤相关酶的活性,从而使之增加。各成分在红花莲座期和伸长期都较低,因为该时期红花各器官处于营养生长期,需要大量的营养物质,从而使得土壤营养成分降低。到盛花期各成分增加,因为在花前施肥提高了土壤肥力。由于种子的发育,需要氮、磷,使得土壤氮、磷降低。由此可以看出,AMF 能促进植物对营养元素的吸收,菌肥在合理使用的情况下,均能促进植物菌根的生长,因此可引导农民少施化肥以节约成本。

本试验区土壤化学计量比随不同处理的变化不大,碳氮比在伸长期较大,说明该时期氮含量相对较低,因为该时期是红花营养器官迅速生长的时期,需要大量的氮供给,导致土壤相应氮含量降低。碳磷比在盛花期和种子成熟期较低,因为该时期是红花花绒生长和种子发育的时期,蛋白质的大量合成需要大量磷的供给,导致土壤磷降低。H 处理碳氮比、碳磷比较大,根据前人的研究可以得出,0~10 cm 土层环境质量在 H 处理下较好。真菌处理增大了土壤各层氮磷比,而真菌处理组 H 处理模式下不同土层氮磷比均达到最大值,说明混

合菌处理比单独施菌处理提高了土壤氮磷比。该区土壤氮磷比较氮、磷全量养分稳定,0~10 cm 较 10~20 cm 稳定。这说明当土壤养分含量发生变化时,土壤会通过一定机制调整以使自身的化学计量比维持在相对稳定的范围内,例如微生物对枯落物的分解作用、微生物自身的养分固持作用,以及对植物的供应等,而这种作用是较为强烈的,因此 0~10 cm 土层较为稳定,而 10~20 cm 土层作用较弱,因此稳定性不及上层,它们的变化可能更多受土壤母质的影响。结合生态化学计量学可以得出结论,即本试验区土壤质量整体而言以 H 处理较好。

参考文献:

- [1] Black J G. 微生物学:原理与探索[M]//蔡 谨,译. 北京:化学工业出版社,2008:553—558.
- [2] 汤 宏,张杨珠,侯金权,等. 不同施肥条件下夏季辣椒的生长发育与养分吸收规律研究[J]. 土壤通报,2012,43(4):890—895.
- [3] 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.
- [4] Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution[J]. Mycological Research, 2001,105(12):1413—1421.
- [5] 祝 英,熊俊兰,吕广超,等. 丛枝菌根真菌与植物共生对植物水分关系的影响及机理[J]. 生态学报,2015,35(8):2419—2427.
- [6] 柳 洁,肖 斌,王丽霞,等. 丛枝菌根真菌对茶树耐盐性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2014(3):220—225,234.
- [7] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [8] 魏 娜,贾韵彦,蔡晓布,等. AM 真菌与植物的抗旱性[J]. 西藏科技,2008(8):67—71.
- [9] 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.
- [10] 郭 欢,刘 斌,马晓丽,等. 不同水肥处理对红花根际化学计量特征的影响[J]. 北方园艺,2013(16):202—207.
- [11] 邹良栋. 植物生长与环境[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [12] 刘 斌. 新疆红花主栽品种生态化学计量特征多样性研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [13] 郭 欢,曾广萍,刘红玲,等. 丛枝菌根真菌对红花根围微生物多样性特征的影响[J]. 微生物学通报,2013,40(7):1214—1224.
- [14] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry. The biology of elements from molecules to the biosphere[M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [15] Fierer N, Grandy A S, Six J, et al. Searching for unifying principles in soil ecology[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009,41(11):2249—2256.
- [16] Sista S A, Schimel J P. Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change[J]. The New Phytologist, 2012,196(1):68—78.
- [17] Vitousek P M, Fahey T, Johnson D W, et al. Element interactions in forest ecosystems: succession, allometry and input—output budgets[J]. Biogeochemistry, 1988,5(1):7—34.
- [18] 卢升高,吕 军. 环境生态学[M]. 杭州:浙江大学出版社,2004.