

# 大青山不同坡位柄扁桃根围土壤 丛枝菌根真菌(AMF)群落结构

圆 圆, 崢 嵘, 春 蕾

(内蒙古师范大学 生命科学与技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010022)

**摘 要:**以大青山阳坡柄扁桃幼根及根围土壤为试材,采用 Phillips 和 Hayman 的染色、湿筛倾析-蔗糖离心及土壤理化因子常规测定方法,研究了不同坡位柄扁桃根围土壤丛枝菌根真菌(AMF)群落结构及其土壤理化因子,以期了解土壤理化因子对柄扁桃根围土壤 AMF 群落结构的影响。结果表明:不同坡位柄扁桃菌根侵染率在一定范围内随着海拔的升高呈先升高后降低的现象。在不同坡位柄扁桃根围土壤中共分离出 12 属 33 种 AMF,其中 *Funneliformis mosseae* 和 *Rhizophagus intraradices* 属于优势种。下坡位和中坡位 AMF 的孢子密度显著高于上坡位( $P < 0.05$ )。下坡位种的丰度和 Shannon-Weiner 指数均显著高于中坡位和上坡位( $P < 0.05$ )。AMF 多样性主要受土壤理化因子全磷、pH、速效钾、速效磷的影响。

**关键词:**柄扁桃;丛枝菌根真菌(AMF);不同坡位;多样性;RDA 分析

**中图分类号:**S 662.906<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)22-0102-07

菌根是真菌与植物根系所建立的互惠共生体,其中丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)在自然界中分布最广<sup>[1]</sup>。丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)能与绝大多数高等植物形成共生体系<sup>[2]</sup>。AMF 的分布和土壤有机质含量、环境 pH、温度和水分等理化因子密切相关。自然生态系统具有较高的 AMF 多样性,而农田和受干扰系统中 AMF 多样性有降低现象<sup>[3]</sup>。

在生态系统中 AMF 同样也发挥着重要的作用。很多研究表明 AMF 能够促进宿主植物对水分和养分的吸收、改善干旱胁迫、减轻铜毒害等。

如对猕猴桃接种 AMF 后提高了植株根系活力,促进了根系矿物质营养的吸收和积累,提高了叶片中 N、P、K 的含量<sup>[4]</sup>,也有研究表明蚯蚓和丛枝菌根真菌之间的相互作用可以通过改善玉米氮含量和生物量<sup>[5]</sup>;何斐<sup>[6]</sup>、王琚钢等<sup>[7]</sup>的研究中分别发现 AMF 可以通过增强植物的抗氧化酶活性和增加植株体内脱落酸含量来应对干旱胁迫;杨秀梅等<sup>[8]</sup>在研究丛枝菌根真菌对铜污染土壤上玉米生长的影响时发现,AMF 对重金属铜有较强的固持作用,从而提高重金属元素对宿主植物毒害的抗性。丛枝菌根真菌还可以通过改善宿主植物胁迫耐受性来减轻非生物胁迫的影响<sup>[9]</sup>。随着生物学研究技术的介入和渗透,以核糖体 RNA 基因(rDNA)序列分析为核心的技术手段已逐渐应用到 AMF 的研究中来<sup>[10]</sup>。

柄扁桃(*Amygdalus pedunculata* Pall.)属蔷薇科(Rosaceae)桃属(*Amygdalus*)扁桃亚属多年生落叶灌木,内蒙古二级濒危植物。主要分布于内蒙古荒漠地带。柄扁桃具有适应范围广、抗

**第一作者简介:**圆圆(1993-),女,硕士研究生,研究方向为分子生物学。E-mail:1727909932@qq.com.

**责任作者:**崢嵘(1971-),女,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事土壤微生物多样性教学与科研等工作。E-mail:zhengrong09@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31360125)。

**收稿日期:**2017-07-14

旱、固沙、抗风蚀能力等优良特性<sup>[11]</sup>。该研究以内蒙古大青山干旱阳坡柄扁桃根围土壤丛枝菌根真菌为研究对象,探讨了不同坡位环境条件对柄扁桃根围土壤 AMF 菌根侵染率、多样性的影响,并分析了土壤因子与 AMF 之间的相关性,为以后更好地保护维持内蒙古大青山生态系统及菌根化柄扁桃的研究奠定基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

内蒙古大青山为新成立的国家级自然保护区,是保护珍稀、濒危物种、山地森林、灌丛的大型保护区。坐落于呼和浩特、包头、乌兰察布市境内,东西长约 217 km。保护区属典型的大陆性半干旱季风气候,冬季长而寒冷、少雨雪;夏季温和,雨量集中;春季风多雨少,温差大,气候干燥;秋季短而凉爽,气温剧降,保护区为山地半湿润温凉区。全年月平均温度为 $-10.9\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均温度为 $6.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[12]</sup>。

### 1.2 试验材料

供试材料取自内蒙古大青山国家级自然保护区的水磨村、小井沟及白石头沟等 3 个不同地点。采样点的上坡位、中坡位、下坡位的海拔高度分别为 1 515、1 410、1 305 m。从不同坡位随机选取 3 株生长良好的柄扁桃,采集根围(0~20 cm)土壤以及幼嫩的营养根。

### 1.3 试验方法

于 2014 年 5 月,从 3 个不同地点不同坡位上采集土样装袋编号记录采样时间、采样地点等基本信息。采集的土样过 2 mm 孔筛、风干,营养根用蒸馏水清洗后 FAA 固定液固定。采用 PHILIPS 和 HAYMAN 的染色法测定菌根侵染率,采用湿筛倾析-蔗糖离心法测定孢子密度,解剖镜下孢子计数,计算孢子密度、重要值、种的丰度、Shannon-Weiner 指数、Simpson's diversity 指数等值。记录孢子大小、颜色、胞壁结构与厚度、条纹等一系列的形态特征及 Melzer 试剂中颜色的变化。参照刘润进等<sup>[3]</sup>的 AMF 鉴定分类表进行鉴定分类。

### 1.4 项目测定

孢子密度(SD):是指 50 g 根围土壤中含有

AMF 的孢子个体数。相对多度(RA):是指 AMF 种的个数在总物种的百分比。重要值(IV):某 AMF 物种在群落中的相对重要值,即重要值=(相对多度+频度),频度:是指某 AMF 物种在整个样方数中出现的百分比。种的丰度(SR):50 g 根围土壤中含有的 AMF 种数目。

Shannon-Weiner 指数: $H = -\sum (Pi \ln Pi)$ ,  $Pi = Ni \cdot N$ ,式中  $Ni$  为 AMF 物种  $i$  的个数; $N$  为 AMF 的群落物种个数之和。Simpson's diversity 指数: $D = 1 - \sum (Pi)^2$ 。均匀度: $J = H \cdot \ln S$ ,式中  $S$  为某采样区 AMF 物种总数。

采用电位法、重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、NaOH 熔融-钼锑抗比色法、NaOH 熔融-火焰光度法、碱解扩散法、 $0.05\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  法、 $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提-火焰光度法分别测定土壤理化性质 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾等指标。

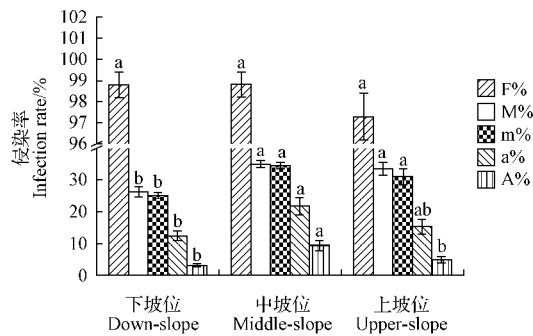
### 1.5 数据分析

采用 MYCOCALC 软件计算菌根侵染率,用 SPSS 16.0 软件进行 ANOVA 统计分析,检验不同坡位 AMF 的侵染频度(F%)、侵染强度(M%)、频度和强度的综合反映(m%)、丛枝丰度(a%)和丛枝的频度和强度的综合反映(A%)差异显著性。并用 SPSS 16.0 软件对不同坡位土壤理化性质对 AMF 各项指标的影响进行 ANOVA 统计分析。采用 CANOCO 4.5 软件分析 AMF 多样性与土壤因子之间的冗余分析(Redundancy analysis, RDA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡位柄扁桃菌根侵染率的分析

从图 1 可以看出,不同坡位 AMF 的侵染频度(F%)之间无显著的差异;中坡位和上坡位的侵染强度(M%)与频度和强度的综合反映(m%)显著高于下坡位( $P < 0.05$ );丛枝丰度(a%)在中坡位为最高,其次为上坡位,下坡位的最低,中坡位与下坡位间的差异显著( $P < 0.05$ )。丛枝的频度和强度的综合反映(A%)在中坡位显著高于上坡位和下坡位( $P < 0.05$ ),而后二者间无显著差异。



注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

图1 不同坡位柄扁桃根围土壤 AMF 侵染率

Fig. 1 Infection rate of AMF in different altitudes

## 2.2 柄扁桃根围土壤 AMF 群落多样性分析

在柄扁桃根围土壤中共分离出 12 个不同属的 AMF,无梗囊霉属(*Acaulasporea*)、多孢囊霉属(*Diversispora*)、巨孢囊霉属(*Gigaspora*)、盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*)、球囊霉属(*Glomus*)、球类囊霉属(*Paragglomus*)、内养囊霉属(*Entrophospora*)、管柄囊霉属(*Funneliiformis*)、*Ambispora*、*Claroideoglomus*、*Rhizophagus* 和 *Septoglomus* 等。

由不同坡位的柄扁桃的根围土壤中分离出 33

种丛枝菌根真菌。对其进行重要值分析,从中选择出重要值有明显变化的 7 个种做比较分析,结果如表 1。在下坡位物种 *Rhizophagus intraradices* (根内球囊霉) 相对多度 23.26%、重要值 61.63% 为最高,其次为 *Funneliiformis mosseae* (摩西球囊霉) 相对多度、重要值分别为 13.21%、56.60%;在中坡位物种 *Rhizophagus intraradices* (根内球囊霉) 相对多度 22.36%、重要值 61.18% 为最高,其次为 *Funneliiformis mosseae* (摩西球囊霉) 相对多度 15.22%、重要值 57.61%;在上坡位物种 *Rhizophagus intraradices* (根内球囊霉) 相对多度 23.19%、重要值 61.59% 为最高,其次为 *Funneliiformis mosseae* (摩西球囊霉) 相对多度 14.11%、重要值 57.06%。

在不同坡位的 *Rhizophagus intraradices* (根内球囊霉) 的重要值均大于 60%,而 *Funneliiformis mosseae* (摩西球囊霉) 的重要值均大于 50%,二者均属于优势种。*Acaulasporea gadanensis* (格但无梗囊霉) 相对多度随着坡位的增高逐渐降低,而 *Acaulasporea biretilutata* (双网无梗囊霉) 则为相反。*Claroideoglomus etunicatum* (幼套球囊霉) 是下坡位的优势种, *Funneliiformis geosporus* (地球囊霉) 为下坡位和上坡位的优势种。在不同坡位上 *Rhizophagus aggregatus* (原聚丛球囊霉) 均属于最常见种。

表 1

柄扁桃根围土壤 AMF 种的相对多度、重要值和优势度

Table 1

Relative abundance, importance value and dominance of AMF

AMF 种 AMF species	下坡位 Down-slope			中坡位 Middle-slope			上坡位 Upper-slope		
	相对多度 RA/%	重要值 IV/%	优势度 Dom	相对多度 RA/%	重要值 IV/%	优势度 Dom	相对多度 RA/%	重要值 IV/%	优势度 Dom
根内球囊霉 <i>R. intraradices</i>	23.26	61.63	A	22.36	61.18	A	23.19	61.59	A
摩西球囊霉 <i>F. mosseae</i>	13.21	56.60	A	15.22	57.61	A	14.11	57.06	A
格但无梗囊霉 <i>A. gadanensis</i>	3.57	35.12	B	1.62	23.03	C	0.00	0.00	—
双网无梗囊霉 <i>A. biretilutata</i>	1.69	23.07	C	2.82	23.63	C	3.81	29.68	C
幼套球囊霉 <i>Cl. etunicatum</i>	7.75	53.88	A	6.99	36.83	B	7.01	42.39	B
地球囊霉 <i>F. geosporus</i>	10.56	55.28	A	7.85	37.26	B	11.56	50.22	A
原聚丛球囊霉 <i>R. aggregatus</i>	5.61	36.14	B	6.71	36.69	B	5.39	30.47	B

注:A 为优势种、B 为最常见种、C 为常见种、D 为稀有种、“—”为未出现。

Note: A is dominant species, B is most common species, C is common species, D is rare species, “—” is did not appear.

由表 2 可知,下坡位和中坡位柄扁桃根围土壤 AMF 的孢子密度显著高于上坡位( $P<0.05$ )。

下坡位种的丰度和 Shannon-Weiner 指数高于上坡位,达到显著水平( $P<0.05$ )。在不同坡位上

表 2

AMF 多样性指数

Table 2

AMF diversity index of *Amygdalus pedunculata* Pall. 's rhizosphere soil

AMF 多样性指数	下坡位	中坡位	上坡位
AMF diversity index	Down-slope	Middle-slope	Upper-slope
孢子密度 Spore density/(孢子数·(50g) <sup>-1</sup> )	414.67±28.96a	357.33±21.64a	270.22±17.67b
种的丰度 Species abundance/(种·(50g) <sup>-1</sup> )	11.89±0.56a	10.67±0.37ab	10.11±0.53b
Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner index	2.28±0.04a	2.20±0.09ab	2.15±0.13b
Simpson's diversity 指数 Simpson's diversity index	0.87±0.005a	0.87±0.004a	0.86±0.005a
均匀度 Evenness	0.92±0.006a	0.93±0.005a	0.93±0.008a

Simpson's diversity 指数和均匀度之间无显著差异。

2.3 柄扁桃不同坡位土壤理化性质的分析

由表 3 可知,上坡位的有机质含量显著高于中坡位,而下坡位的有机质含量与中坡位和上坡位无显著差异( $P>0.05$ )。下坡位的全磷含量高

于中坡位和上坡位,达到显著水平( $P<0.05$ ),而在中坡位和上坡位的碱解氮含量显著高于下坡位( $P<0.05$ )。下坡位和上坡位的速效磷含量显著高于中坡位( $P<0.05$ )。在不同坡位上全氮、pH、全钾、速效钾等无显著差异( $P>0.05$ )。

表 3

柄扁桃根围土壤理化性质

Table 3

Soil physical and chemical properties of *Amygdalus pedunculata* Pall.

指标	下坡位	中坡位	上坡位
Index	Down-slope	Middle-slope	Upper-slope
有机质 Organic matter/(g·kg <sup>-1</sup> )	34.55±1.53ab	31.47±1.87b	38.93±2.32a
全氮 Total nitrogen/(g·kg <sup>-1</sup> )	2.05±0.23a	2.26±0.20a	2.18±0.12a
全钾 Total potassium/(g·kg <sup>-1</sup> )	258.96±30.10a	232.62±33.18a	291.46±30.29a
全磷 Total phosphorus/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.30±0.12a	0.95±0.16b	0.88±0.07b
碱解氮 Available nitrogen/(mg·kg <sup>-1</sup> )	145.72±11.21b	180.91±8.09a	177.22±5.26a
速效磷 Available phosphorus/(g·kg <sup>-1</sup> )	3.31±0.17a	2.54±0.11b	3.61±0.23a
速效钾 Available potassium/(g·kg <sup>-1</sup> )	1 528.48±74.51a	1 573.34±158.64a	1 873.58±157.01a
pH	7.58±0.50a	7.60±0.29a	7.34±0.11a

2.4 AMF 群落多样性与土壤理化性质间 RDA 分析

在 RDA 分析之前,用 CANOCO 4.5 软件进行降维对应分析(DCA),分析结果中排序轴梯度最大值小于 3,故选择 RDA 分析柄扁桃根围土壤 AMF 多样性与环境因子之间的关系。AN、AP、AK、OM、TN、TP、TK 和 pH 分别表示土壤因子碱解氮、速效磷、速效钾、有机质、全氮、全磷、全钾和 pH;S、H、D、J 分别表示种的丰度、Shannon-Weiner 指数、Simpson's diversity 指数和均匀度。T1~T6:下坡位、T7~T12:中坡位、T13~T18:上坡位。不同坡位柄扁桃根围土壤 AMF 多样性与土壤因子间的 RDA 分析结果见图 2,RDA 分析结果表示,第一排序轴与 AMF 多样性指数 H、S、D 有正相关性、与 J 有负相关性;与土壤因子 TP、pH、AK 有正相关性、与 TN、AN、OM、AP、

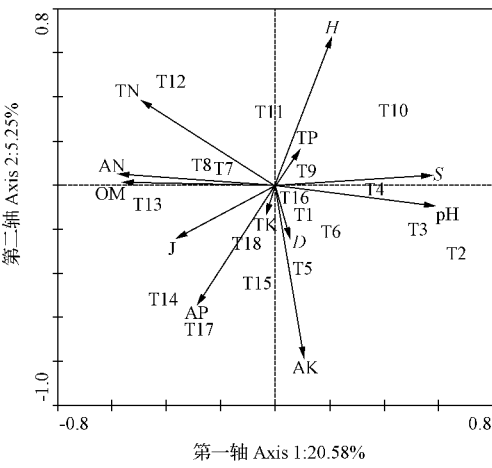


图 2

AMF 多样性与土壤因子间 RDA 分析

Fig. 2

RDA ordination plot showed the relationship between AMF diversity, soil and plant factors

TK有负相关性。第二排序轴与AMF多样性指数 $H'$ 、 $S'$ 有正相关性、与 $D'$ 、 $J'$ 有负相关性;与土壤因子OM、AN、TN、TP有正相关性、与pH、AK、AP、TK有负相关性。AMF多样性指数 $H'$ 和 $S'$ 与TP有正相关性、与pH有负相关性; $D'$ 与AK有负相关性; $J'$ 与AP有负相关性。

### 3 讨论

该研究对柄扁桃菌根侵染率的分析表明,在不同坡位AMF侵染频度之间没有显著的变化,下坡位的AMF侵染强度低于上坡位和中坡位的侵染强度。丛枝丰度在中坡位为最高,其次为上坡位,下坡位的丛枝丰度值最低。丛枝的频度和强度的综合反映在中坡位为最高。总体上不同坡位柄扁桃菌根侵染率在一定范围内随着海拔的升高呈现出先升高后降低的现象。赵飞等<sup>[13]</sup>在研究不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响时发现,在一定范围内海拔高度对侵染率的影响是先升高后降低,在中海拔为最高,与该研究结果相符。由环境因素看,在大青山不同坡位上光照度、温度、湿度都存在一定的差异;由AMF的生物特性看,其土壤理化性质、水分、温度等各不相同,这些内外因素的变化导致AMF的侵染状况也各不相同。

该研究从柄扁桃根围土壤中共分离出12属33种的AMF,其中*R. intraradices*和*F. mosseae*在不同坡位上均属于优势种;*Cla. etunicatum*是下坡位的优势种,*F. geosporus*为下坡位和上坡位的优势种。在不同坡位上*R. aggregatus*均属于常见种。可见,*R. intraradices*和*F. mosseae*可能更适应于在大青山的环境条件下生存,表示*R. intraradices*和*F. mosseae*的适应范围广。而*Cla. etunicatum*更适应于中坡位的生存环境。

下坡位和中坡位柄扁桃根围土壤AMF的孢子密度显著高于上坡位的孢子密度( $P < 0.05$ ),也就说下坡位的柄扁桃菌根AMF孢子密度相对高。李丽<sup>[14]</sup>对云南几种典型生态系统的丛枝菌根真菌的研究发现,随着海拔的升高,孢子密度有减少趋势。该研究结果与李丽<sup>[14]</sup>的结果基本相符,而与范洁群<sup>[15]</sup>的藏南、藏北的AMF孢子密度随海拔高度的增加而增加这一结果相反<sup>[15]</sup>,出现这种不同结果的原因可能与环境条件、气候条

件的不同以及所研究对象的不同有关。可见,宿主植物根际AMF的孢子密度受海拔高度为主导因素的各种生态因子的影响,如受宿主植物种类、AMF自身生物学特性、土壤条件、气候因素、人为干扰比如农业技术措施等的影响<sup>[16]</sup>。

柄扁桃根围土壤AMF种的丰度、Shannon-Weiner指数在下坡位显著高于上坡位( $P < 0.05$ ),说明柄扁桃根围土壤AMF种的丰度、Shannon-Weiner指数随着海拔的高度升高而下降。李晓亮<sup>[17]</sup>研究藏东南地区海拔和土地利用方式对丛枝菌根真菌多样性和群落结构的影响时发现不同海拔之间的物种丰富度无显著差异,而Shannon-Weiner指数随海拔的升高而显著降低,这与该研究结果相似。海拔高度、地理距离、土壤温度、土壤湿度对AMF群落形成更具有重要作用<sup>[18]</sup>。大青山柄扁桃根围土壤AMF多样性在一定范围内随着海拔的高度升高而下降的趋势。

不同坡位的土壤理化性质的分析表明,上坡位的有机质含量为最高,而在下坡位的有机质含量与中坡位和上坡位间无显著差异。下坡位的全磷含量高于中坡位和上坡位,而中坡位和上坡位的碱解氮含量显著高于下坡位( $P < 0.05$ )。下坡位和上坡位的速效磷含量显著高于中坡位( $P < 0.05$ )。在不同坡位上全氮、pH无显著差异。不同宿主植物、不同土壤类型、不同气候均影响AMF多样性指数与土壤因子之间的相关性<sup>[19]</sup>。

柄扁桃菌根AMF多样性与土壤理化性质间RDA分析结果中,AMF多样性指数Shannon-Weiner index和种的丰度与全磷有正相关性、与pH有负相关性;Simpson's diversity指数与速效钾有负相关性;均匀度与速效磷有负相关性。这些结果表明,AMF多样性指数Shannon-Weiner指数主要受土壤因子全磷的影响,在一定范围内随着全磷的增加Shannon-Weiner指数会上升。种的丰度主要受pH影响,在碱性土壤里种的丰度会减少。Simpson's diversity指数主要受速效钾影响;均匀度主要受速效磷的影响。在一定范围内,土壤中速效钾、速效磷含量的升高使Simpson's diversity指数、均匀度下降。大青山柄扁桃菌根AMF多样性主要受土壤理化因子全磷、pH、速效钾、速效磷的影响。任爱天等<sup>[20]</sup>研究发现新疆石河子绿洲区土壤质地、土层深度、pH、速

效磷、碱解氮、速效钾、有机质均对苜蓿根际 AMF 分布和多样性会产生一定的影响;廖楠<sup>[21]</sup>研究广西甘蔗根际土壤 AMF 多样性时发现,在砖红壤、红壤、石灰土以及其它类型的土壤中,土壤理化性质与 AMF 物种丰富度没有显著的相关性。在赤红壤中,土壤的 pH 与根系 AMF 物种丰富度有一定的影响。由此可知,不同生境中的土壤因子对 AMF 多样性的影响有一定差异。

综上所述,大青山柄扁桃土壤菌根感染率在一定范围内随着海拔的升高呈现出先升高后降低的现象;AMF 孢子密度、种的丰度、Shannon-Weiner 指数随着海拔的升高有减少趋势。大青山柄扁桃土壤 AMF 多样性主要受土壤理化因子全磷、pH、速效钾、速效磷的影响。

## 参考文献

- [1] 王发园,林先贵,周建民. 中国 AM 真菌的生物多样性[J]. 生态学杂志,2004,23(6):149-154.
- [2] 赵慧敏. AM 真菌的生物多样性[J]. 安徽农业科学,2009,37(15):7114.
- [3] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [4] 徐淑君. 丛枝菌根真菌对猕猴桃高温干旱抗性研究[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [5] CAO J, WANG C, JI D G. Improvement of the soil nitrogen content and maize growth by earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi in soils polluted by oxytetracycline[J]. Science of the Total Environment,2016,571:926-934.
- [6] 何斐. 黄土高原丛枝菌根真菌(AMF)提高刺槐抗旱机制[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [7] 王璐钢,高晓敏,白淑兰,等. 丛枝菌根对蒙古柄扁桃抗旱性影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(12):138-142.
- [8] 杨秀梅,陈保冬,朱永官,等. 丛枝菌根真菌(*Glomus intraradices*)对铜污染土壤上玉米生长的影响[J]. 生态学报,2008,28(3):1052-1058.
- [9] MILLAR N S, BENNETT A E. Stressed out symbiotes: Hypotheses for the influence of abiotic stress on arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Oecologia,2016,182:625-641.
- [10] 任祺,黄鹤平,陈泽斌. 黄瓜根际土壤及根际的 AMF 菌根多样性研究[J]. 广东农业科学,2015(6):111-116.
- [11] 张雷,王晓江,张文军,等. 两种生境下柄扁桃种群结构与空间分布特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(12):124-130.
- [12] 高利. 阴山魂-内蒙古大青山国家级自然保护区[J]. 内蒙古图报,2011(1):18-25.
- [13] 赵飞,蔡晓布. 不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):344-346.
- [14] 李丽. 云南几种典型生态系统的丛枝菌根真菌研究[D]. 昆明:西南林业大学,2015.
- [15] 范洁群. 西藏不同类型草原丛枝菌根真菌多样性的研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [16] 刘润进,焦惠,李岩,等. 丛枝菌根真菌物种多样性研究进展[J]. 应用生态学报,2009,20(9):2301-2307.
- [17] 李晓亮. 藏东南地区海拔和土地利用方式对丛枝菌根真菌多样性和群落结构的影响[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [18] KIVLIN S N, HAWKES C V, TRESEDER K K. Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Soil Biology and Biochemistry,2011,43(11):2294-2303.
- [19] UDAIYAN H D. Influence of edaphic and climatic factors on dynamics of root colonization and spore density vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in Acacia[J]. Trees,1996(11):65-71.
- [20] 任爱天,鲁为华,杨洁晶,等. 石河子绿洲区苜蓿地丛枝菌根真菌的多样性及与土壤因子的关系[J]. 新疆草业科学,2014,31(9):1666-1672.
- [21] 廖楠. 广西甘蔗根际土壤丛枝菌根(AM)真菌多样性研究[D]. 桂林:广西师范大学,2016.

## AMF Community Structure in Rhizosphere Soil of *Amygdalus pedunculata* Pall. of Different Slopes in Daqingshan Mountains

YUAN Yuan, ZHENG Rong, CHUN Lei

(College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022)

**Abstract:** Rhizosphere soil of *Amygdalus pedunculata* Pall. of different slopes in Daqingshan Mountains were taken as test materials, the correlation between soil factors and community diversity were evaluated, the method of Phillips and Hayman staining, wet sieve extraction-sucrose centrifugation and soil physical and chemical factors routine determination were adopted. The community structure and soil physical and chemical factors of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in rhizosphere soil were studied. The results showed that colonization rate at different altitudes increased at first and then

doi:10.11937/bfyy.20164701

## 不同施氮水平对旱地菊芋生长及产量的影响

顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 刘冰, 齐国超, 王丽娜

(黑龙江省农业科学院 大庆分院, 黑龙江 大庆 163316)

**摘要:**以“定芋1号”菊芋为试材,采用田间小区种植试验,设置3个施氮水平,分别是667 m<sup>2</sup> 施氮20 kg(N1,低肥)、40 kg(N2,中肥)、60 kg(N3,高肥),以不施氮(N0)为对照(CK),研究了不同施氮水平对菊芋植物学性状、干物质分配、块茎性状及产量的影响,以期为大庆地区菊芋的高产高效栽培提供参考依据。结果表明:N2和N3处理菊芋平均株高分别为256、276 cm,均显著高于N1处理及对照( $P<0.05$ );单株块茎鲜质量的大小顺序为N3>N2>N1>N0;茎和叶的干物质量占整株的比例均为N0>N1>N2>N3,根的干物质量占整株的比例基本一致,块茎的干物质量占整株的比例为N3>N2>N1>N0;N1、N2、N3处理667 m<sup>2</sup> 平均产量分别为615、934、1 235 kg,与对照(667 m<sup>2</sup> 平均产量391 kg)相比,分别增产57%、139%、216%。研究结果表明,氮肥的施用能够促进菊芋的生长,增加植株的开展度,缩短茎节间的距离,增加叶片数量,有利于菊芋生殖器官(块茎)膨大,达到一定的增产效果。

**关键词:**氮肥;菊芋;植物学性状;干物质分配;产量

**中图分类号:**S 632.906<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)22-0108-05

菊芋(jerusalem artichoke)俗称洋姜、鬼子姜,是一种多年宿根性草本植物,一般生长可高达1~3 m,有块状的地下茎,原产于北美洲,后经欧洲传入中国,现中国大部分地区均有栽培<sup>[1]</sup>。菊芋生存能力较强,耐旱耐贫瘠、耐寒耐盐碱,能够在荒地、盐碱、滩涂等条件恶劣的环境下生长<sup>[2]</sup>。

**第一作者简介:**顾鑫(1988-),男,硕士,研究实习员,现主要从事土壤改良与土壤生态等研究工作。E-mail: guxin88@yeah.net.

**收稿日期:**2017-06-20

菊芋的生态服务功能良好<sup>[3]</sup>,能够改善土壤结构、增加土壤有机质,对保持水土、防风抗沙具有重要作用。菊芋的营养价值丰富<sup>[4]</sup>,地上部分可以用作牲畜饲料,地下块茎部分具有食用和医用价值,经过腌制加工,可成为清脆可口、香甜美味的酱菜。菊芋富含果糖,可治疗糖尿病,其对血糖具有双向调节作用<sup>[5]</sup>,即一方面可使糖尿病患者血糖降低,另一方面又能使低血糖病人血糖升高。而菊芋种植成本十分低廉,具有极大的市场开发前景。我国黑龙江省大庆地区在近几年开始引进并

decreased with altitude increased in a certain range. 33 AMF species were isolated from all soil samples, belonging to 12 genera. *F. mosseae* and *R. intraradices* and were the dominant species. Spore density at downhill and mid-slope were significantly higher than those at the top of slope ( $P<0.05$ ). The richness and Shannon-Wiener index at down-slope were significantly higher than those at the top of slope and mid-slope ( $P<0.05$ ). AMF diversity was mainly affected by total phosphorus, pH, available potassium and available phosphorus.

**Keywords:** *Amygdalus pedunculata* Pall.; arbuscular mycorrhizal fungi; different slopes; diversity; RDA analysis