

秦艽地上和地下生物量与其根际微生物群落结构关系的研究

王 静¹, 梁 健^{1*}, 安 毅², 秦 源¹, 南春燕¹

1. 陕西师范大学生命科学学院, 陕西 西安 710062

2. 西安正大制药有限公司, 陕西 西安 710043

摘 要: 目的 研究秦艽 *Gentiana macrophylla* 地上和地下生物量与其根际微生物群落结构关系。方法 采用平板培养法测定秦艽根际微生物群落组成。结果 人工栽培秦艽根际细菌、氨化细菌和固氮菌数量均显著高于野生种类; 野生和人工栽培秦艽根际细菌、氨化细菌和固氮菌数量在高海拔样点最高; 人工栽培秦艽地上和地下生物量均显著高于野生种类; 秦艽生物量与根际细菌、氨化细菌和固氮菌数量呈正相关。结论 秦艽人工栽培应充分满足其生态要求, 尽量在秦艽适宜生长的高海拔低温山区栽培; 合理供给氮肥, 接种合适的菌肥并增加其土壤微生物总数量可提高秦艽的产量。

关键词: 秦艽; 根际微生物; 氨化细菌; 固氮菌; 生物量

中图分类号: R282.2

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2011)12-2535-06

Relationship between biomass in ground and underground parts of *Gentiana macrophylla* and its rhizosphere microbial community structure

WANG Jing¹, LIANG Jian¹, AN Yi², QIN Yuan¹, NAN Chun-yan¹

1. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

2. Xi'an C.P. Pharmaceutical Co., Ltd., Xi'an 710043, China

Abstract: Objective To study the relationship between the biomass in ground and underground parts of *Gentiana macrophylla* and its rhizosphere microbial community structure. **Methods** The composition of rhizosphere microorganism of *G. macrophylla* was measured with plate counting method. **Results** The number of rhizosphere bacteria, ammonifying bacteria, and nitrogen-fixing bacteria of cultivated *G. macrophylla* is significantly higher than that of wild species; The number of rhizosphere bacteria, ammonifying bacteria, and nitrogen-fixing bacteria of wild and cultivated *G. macrophylla* samples was the highest at high altitude; The biomass in ground and underground parts of cultivated *G. macrophylla* was significantly higher than that of wild species; The number of rhizosphere bacteria, ammonifying bacteria, and nitrogen-fixing bacteria with the biomass of *G. macrophylla* assumed the remarkable positive correlation. **Conclusion** The artificial cultivation and management should fully meet the requirements of ecological conditions of *G. macrophylla*, as far as possible in the suitable mountainous area of high altitude and low temperature; To improve its production we should pay attention to a reasonable supply of nitrogen, right vaccination of bacterial fertilizer, and increasing the total amount of soil microorganisms. The above measures have positive effects on the growth and yield of *G. macrophylla*.

Key words: *Gentiana macrophylla* Pall.; rhizosphere microorganism; ammonifying bacteria; nitrogen-fixing bacteria; biomass

植物、土壤和微生物间相互依赖, 相互作用, 存在着复杂的三边关系^[1]。土壤微生物是土壤中最具活力的组成成分, 其种类组成和功能特征与植物的营养和生长关系密切。根际是直接受到植物根系影响的特殊土壤区域^[2], 受植物根系分泌物的直接影响, 根际微生物群落结构不同于根外土壤^[3-4]。根

际微生物的代谢作用影响着根际土壤物质的转化, 并直接促进或抑制根的营养吸收和生长过程。

秦艽 *Gentiana macrophylla* Pall. 是龙胆科龙胆属多年生草本植物, 原产于甘肃、陕西、四川和青海等省, 是一味有效成分明确、药理作用显著的传统中药。其干燥根入药, 常用于风湿关节痛、结核

收稿日期: 2011-06-13

基金项目: 陕西省科技攻关计划项目 (2010K17-02)

作者简介: 王 静 (1982—), 女, 陕西延安人, 硕士研究生, 主要从事微生物生态学及环境微生物学领域的研究。

Tel: 18702920635 E-mail: wj.5.31@163.com

*通讯作者 梁 健 E-mail: liangjian@snnu.edu.cn

病潮热和黄疸等症的治疗^[5]。对秦艽的研究,目前主要集中在栽培繁殖^[6-9]、有效成分分析和提取^[10-11]、药理作用和内生真菌研究等方面^[12],关于秦艽根际微生物群落特征及其与秦艽生物量间相互关系研究鲜有报道。本研究以陕西西南部凤县境内的野生和栽培秦艽为研究对象,采用平板培养法研究秦艽根际微生物群落特征;利用相关分析方法探讨秦艽地上、地下生物量与其根际微生物群落特征间的关系;对不同海拔高度野生和人工栽培秦艽进行了主成分分析。研究结果将有助于认识秦艽根际微生物群落特征及其与秦艽生物量之间的相互关系,为秦艽的科学栽培和管理提供有益借鉴。

1 材料与实验地概况

1.1 材料

于 2010 年 8 月中旬在陕西西南部凤县东沟河进行采样。该区分布有生长于不同海拔高度的野生和人工栽培秦艽,选择不同海拔高度的秦艽作为研究对象,见表 1。所采秦艽的株龄均为 2~3 年。

表 1 材料来源

Table 1 Sources of materials

编号	品 种	海拔/m	编号	品 种	海拔/m
G1	野生秦艽	960	G4	人工栽培秦艽	960
G2	野生秦艽	1 460	G5	人工栽培秦艽	1 760
G3	野生秦艽	2 260	G6	人工栽培秦艽	2 260

1.2 实验地概况

研究选择在陕西西南部凤县进行。该区地处 106°24' E~107°7' E, 33°34' N~34°18' N, 海拔 915~2 739 m。属暖温带山地气候,年均气温 11.4℃,1 月平均气温-1.1℃,7 月平均气温 22.7℃;年平均降水量 613.2 mm;无霜期 188 d。土壤以棕壤、暗棕壤和山地草甸土为主,具有明显的垂直分布规律^[13]。山区药材资源十分丰富,有野生药材 410 余种,既有麝香、牛黄和熊胆等珍稀动物药材,又有秦艽、党参、贝母、杜仲、天麻和西洋参等价值较高的植物药材。

2 方法

2.1 根际土壤采集

依照许光辉等^[14]的方法,在每一采样点随机选取成体秦艽 15 株,将整株植物连根拔出,抖去外围大块土壤后,分别将每株根系装入无菌自封袋,用力抖下的土壤即为根际土壤,随机选取 5 株根际土壤混合成为一个样品,每个采样点秦艽根际土壤取 3 个重复。所采土样置冷藏箱中,及时带回实验室,

挑除草根和石块,过 2 mm 土壤筛,采用烘干法测定土壤含水量^[15]。

2.2 秦艽地上和地下生物量测定

将抖下根际土壤的整株植物装入另一无菌自封袋,用于生物量的测定,每个采样点秦艽取 3 个重复。所采植物置冷藏箱中,及时带回实验室,植物地上部分先于 105℃烘箱中杀青 10 min 后 60℃烘干至恒质量^[16]。地下根系称干质量后待用。

2.3 土壤微生物类群测定

微生物数量测定采用稀释平板法,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用改良高氏 I 号培养基,真菌用马丁氏培养基,氨化细菌用蛋白胨琼脂培养基,固氮菌用改良阿须贝无氮琼脂培养基,好氧性纤维素分解菌用赫奇逊培养基^[17]。

2.4 数据处理

利用 SPSS13.0 统计分析软件,分别对数据进行方差分析、相关性分析和主成分分析(PCA)。

3 结果

3.1 秦艽根际土壤微生物组成

3.1.1 根际土壤微生物三大类群组成 从微生物三大类群组成的变化趋势来看,微生物总数量表现为:人工栽培秦艽(均值为 $1.630\ 80 \times 10^8$ cfu/g)高于野生秦艽(均值为 $1.005\ 1 \times 10^7$ cfu/g),随着海拔的升高微生物总数量呈增长变化趋势;细菌数量在各样点根际土壤中均占绝对优势,占微生物总数量的 84.48%~99.69%,放线菌和真菌数量相差不大,分别占微生物总数量的 0.15%~9.90%和 0.16%~5.64%。对野生秦艽(G1、G2 和 G3)与人工栽培秦艽(G4、G5 和 G6)根际土壤微生物组成的 *t* 检验结果显示,人工栽培秦艽细菌和微生物总数量均显著地高于野生秦艽($P<0.01$);但二者在放线菌和真菌数量上无显著差异($P>0.05$)。不同样点秦艽根际土壤微生物三大类群组成见表 2。

分别对生长于不同海拔高度的野生和人工栽培秦艽根际土壤微生物三大类群组成进行单因素方差分析。对于野生秦艽,*F* 检验结果显示,在细菌、放线菌、真菌和微生物总数量上,生长于不同海拔高度的野生秦艽间均具有极显著的差异($F_{\text{细}}=13.508>F_{0.01}$, $F_{\text{放}}=31.710>F_{0.01}$, $F_{\text{真}}=78.863>F_{0.01}$, $F_{\text{总}}=13.865>F_{0.01}$, $P<0.01$)。多重比较(Duncan, $\alpha=0.05$)结果进一步显示,在细菌和微生物总数量上, G3 显著高于 G2 和 G1 ($P<0.05$),而后二者之间无显著差异($P>0.05$);在放线菌数量上, G2 显著高于

表2 秦艽根际土壤微生物三大类群组成 ($\bar{x} \pm s$)Table 2 Composition of three major rhizosphere microbial groups of *G. macrophylla* ($\bar{x} \pm s$)

样本	微生物量/($\times 10^5$ cfu·g $^{-1}$)			
	细菌	放线菌	真菌	微生物总量
G1	56.15 $\pm$ 6.64 b	2.59 $\pm$ 0.62 b	1.36 $\pm$ 0.02 c	60.10 $\pm$ 6.62 b
G2	71.03 $\pm$ 4.93 b	8.32 $\pm$ 0.29 a	4.74 $\pm$ 0.33 a	84.08 $\pm$ 4.37 b
G3	151.31 $\pm$ 22.66 a	3.61 $\pm$ 0.65 b	2.44 $\pm$ 0.07 b	157.36 $\pm$ 22.19 a
G4	1 522.90 $\pm$ 80.13 a	2.34 $\pm$ 0.27 b	2.46 $\pm$ 0.17 b	1 527.70 $\pm$ 79.78 a
G5	1 612.20 $\pm$ 13.66 a	14.49 $\pm$ 3.05 a	4.06 $\pm$ 0.45 a	1 630.70 $\pm$ 11.13 a
G6	1 727.80 $\pm$ 112.95 a	3.00 $\pm$ 0.58 b	3.22 $\pm$ 0.06 ab	1 734.00 $\pm$ 113.05 a

同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同Different lowercase letters show significant difference ($P<0.05$), same as below

G3 和 G1 ($P<0.05$), 而后二者之间无显著差异 ($P>0.05$); 在真菌数量上, $G2>G3$, $G3>G1$, 三者相互之间差异显著 ($P<0.05$)。对于人工栽培秦艽, F 检验结果显示, 在细菌和微生物总数量上, 生长于不同海拔高度的人工栽培秦艽间差异均不显著 ($F_{\text{细}}=1.635<F_{0.05}$, $F_{\text{总}}=1.657<F_{0.05}$, $P>0.05$); 而放线菌和真菌数量差异均显著 ($F_{\text{放}}=14.371>F_{0.05}$, $F_{\text{真}}=7.951>F_{0.05}$, $P<0.05$)。多重比较 (Duncan, $\alpha=0.05$) 结果进一步显示, 在放线菌数量上, G5 显著高于 G6 和 G4 ($P<0.05$), 而后二者之间无显著差异 ($P>0.05$); 在真菌数量上, G5 显著高于 G4 ($P<0.05$), 而 G6 和 G4、G6 和 G5 分别均无显著差异 ($P>0.05$)。

3.1.2 根际氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌组成 从根际氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌组成的变化趋势看, 无论野生还是人工栽培秦艽, 其氨化细菌和固氮菌数量都远高于纤维素分解菌。氨化细菌数量变化趋势表现为人工栽培秦艽 (均值为 $8.279\ 43 \times 10^8$ cfu/g) 高于野生秦艽 (均值为 $3.666\ 60 \times 10^8$ cfu/g); 除 G5 略低于 G4 外, 随着海拔度的升高, 氨化细菌数量呈增张变化趋势。

固氮菌数量变化趋势表现为人工栽培秦艽 (均值为 $8.010\ 10 \times 10^8$ cfu/g) 高于野生秦艽 (均值为 $4.902\ 80 \times 10^8$ cfu/g); 无论是野生还是人工栽培种类, 生长于中海拔样点的秦艽根际固氮菌数量均低于低海拔和高海拔样点的秦艽。纤维素分解菌数量变化趋势表现为人工栽培秦艽 (均值为 2.06×10^5 cfu/g) 略低于野生秦艽 (均值为 2.24×10^5 cfu/g); 除 G5 略低于 G6 外, 随着海拔的升高, 纤维素分解菌数量呈降低变化趋势。进一步的 t 检验结果显示, 人工栽培秦艽氨化细菌和固氮菌数量均极显著地高于野生秦艽 ($P<0.01$); 而二者在纤维素分解菌数量上差异不显著 ($P>0.05$)。见表 3。

分别对生长于不同海拔高度的野生和人工栽培秦艽根际氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌组成进行单因素方差分析。对于野生秦艽, F 检验结果显示, 在氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌数量上, 生长于不同海拔高度的野生秦艽间均具有极显著的差异 ($F_{\text{氨}}=30.307>F_{0.01}$, $F_{\text{固}}=27.618>F_{0.01}$, $F_{\text{纤}}=37.707>F_{0.01}$, $P<0.01$)。多重比较 (Duncan, $\alpha=0.05$) 结果进一步显示, 在氨化细菌数量上, G3 显著地高于 G2 和 G1 ($P<0.05$), 而后二者之间无显著差

表3 秦艽根际土壤氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌组成 ($\bar{x} \pm s$)Table 3 Composition of rhizosphere ammonifying bacteria, nitrogen-fixing bacteria, and cellulose decomposition bacteria of *G. macrophylla* ($\bar{x} \pm s$)

样本	微生物量/($\times 10^5$ cfu·g $^{-1}$)		
	氨化细菌	固氮菌	纤维素分解菌
G1	2 254.30 $\pm$ 179.45 b	4 564.00 $\pm$ 45.47 b	3.69 $\pm$ 0.04 a
G2	2 983.00 $\pm$ 527.48 b	3 343.40 $\pm$ 462.16 c	1.56 $\pm$ 0.31 b
G3	5 762.50 $\pm$ 169.77 a	6 801.00 $\pm$ 344.02 a	1.46 $\pm$ 0.16 b
G4	6 663.80 $\pm$ 176.73 b	7 965.20 $\pm$ 176.06 a	2.52 $\pm$ 0.16 a
G5	5 430.50 $\pm$ 471.39 b	5 959.10 $\pm$ 1 651.12 a	1.60 $\pm$ 0.24 a
G6	12 744.00 $\pm$ 1785.60 a	10 106.00 $\pm$ 218.01 a	2.05 $\pm$ 0.32 a

异 ($P>0.05$); 在固氮菌数量上, G3 高于 G1, G1 高于 G2, 三者相互之间差异显著 ($P<0.05$); 在纤维素分解菌数量上, G1 显著高于 G2 和 G3 ($P<0.05$), 而后二者之间无显著差异 ($P>0.05$)。

对于人工栽培秦艽, F 检验结果显示, 在氨化细菌数量上, 生长于不同海拔高度的人工栽培秦艽间具有极显著的差异 ($F=13.361>F_{0.01}$, $P<0.01$); 而在固氮菌和纤维素分解菌数量上, 均无显著差异 ($F_{固}=4.599<F_{0.05}$, $F_{纤}=3.432<F_{0.05}$, $P>0.05$)。多重比较 (Duncan, $\alpha=0.05$) 结果进一步显示, 在氨化细菌数量上, G6 显著高于 G4 和 G5 ($P<0.05$), 而后二者无显著差异 ($P>0.05$)。

3.2 秦艽地上和地下生物量

人工栽培秦艽地上生物量、地下生物量和总生物量 (均值干质量分别为 16.09、6.44、22.53 g/株) 均高于野生秦艽 (均值干质量分别为 3.51、2.75、6.26 g/株); t 检验结果显示, 在地上、地下和总生物量上, 野生和人工栽培秦艽间均具有显著差异 ($P<0.05$)。分别对生长于不同海拔高度的野生和人工栽培秦艽地上、地下和总生物量组成进行单因素方差分析, F 检验结果显示均无显著差异 ($F_{野生地上}=0.089<F_{0.05}$, $F_{野生地下}=0.207<F_{0.05}$, $F_{野生总}=0.049<F_{0.05}$, $F_{人工地上}=3.873<F_{0.05}$, $F_{人工地下}=4.387<F_{0.05}$, $F_{人工总}=4.386<F_{0.05}$, $P>0.05$)。见表 4。

表 5 秦艽土壤根际微生物组成与其生物量间的 Pearson 相关系数

Table 5 Pearson correlation coefficient between composition of rhizosphere microorganism of *G. macrophylla* and its biomass

	细菌	放线菌	真菌	微生物总量	氨化细菌	固氮菌	纤维素分解菌
地上生物量	0.587*	-0.223	0.039	0.585*	0.882**	0.670**	-0.039
地下生物量	0.547*	-0.129	0.006	0.546*	0.696**	0.611**	-0.142
总生物量	0.600**	-0.208	0.032	0.598**	0.869**	0.681**	-0.066

*表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)

*Significant correlation ($P<0.05$); ** very significant correlation ($P<0.01$)

3.4 不同生境秦艽的 PCA 分析

分别依根际土壤微生物三大类群和秦艽地上、地下生物量组成 (变量), 对不同生境秦艽 (实体) 建立 6×5 维原始数据矩阵。将原始数据作 Z 标准化变换 (均值为“0”, 方差为“1”的标准正态转换), 据此进行不同生境秦艽的 PCA 分析 (图 1)。

对不同生境秦艽进行 PCA 分析, 所提取的 2 个主成分分别可以解释“细菌”方差的 78.90%, “放线菌”方差的 90.00%, “真菌”方差的 83.00%, “地上生物量”方差的 95.00%, “地下生物量”的 90.80%。

表 4 秦艽地上和地下生物量

Table 4 Biomass in ground and underground parts of *G. macrophylla*

样本	干质量/(g·株 ⁻¹)		
	地上生物量	地下生物量	总生物量
G1	3.07±1.68	3.09±1.93	6.15±3.61
G2	3.73±0.75	2.02±0.34	5.75±0.80
G3	3.74±1.27	3.15±1.40	6.89±2.65
G4	11.38±5.29	3.37±0.93	14.75±6.18
G5	7.50±2.26	5.74±1.45	13.24±3.61
G6	29.38±8.52	10.21±2.30	39.59±9.92

3.3 秦艽根际土壤微生物组成与其生物量间的关系

结果显示, 秦艽根际土壤微生物总量与秦艽地上和地下生物量间分别具有显著的正相关关系 ($P<0.05$); 与秦艽总生物量具有极显著的正相关关系 ($P<0.01$)。对于根际土壤微生物三大类群, 细菌数量与秦艽地上、地下和总生物量间具有相似的显著 ($P<0.05$) 或极显著正相关关系 ($P<0.01$); 而放线菌和真菌数量与秦艽生物量间无显著相关关系 ($P>0.05$)。对于根际氨化细菌、固氮菌和纤维素分解菌, 前二者与秦艽地上、地下和总生物量之间均存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$); 纤维素分解菌与秦艽生物量间无显著 ($P>0.05$) 相关关系。见表 5。

第 1 主成分的特征值为 2.616, 方差贡献率为 52.31%; 第 2 主成分的特征值为 1.761, 方差贡献率为 35.22%, 二者累计为 87.53%。一般认为累计方差贡献率达到 70%以上基本可以反映事物的本来面貌^[18]。所提取的 2 个主成分均有比较明确的含义, 第 1 主成分代表细菌、秦艽地上生物量和地下生物量, 其正交旋转因子载荷分别为 86.20%、96.50%和 95.30%; 第 2 主成分代表放线菌和真菌, 其正交旋转因子载荷分别为 94.70%和 90.30%。

第 1 主成分, 可将 6 种样本类型划分为 3 个

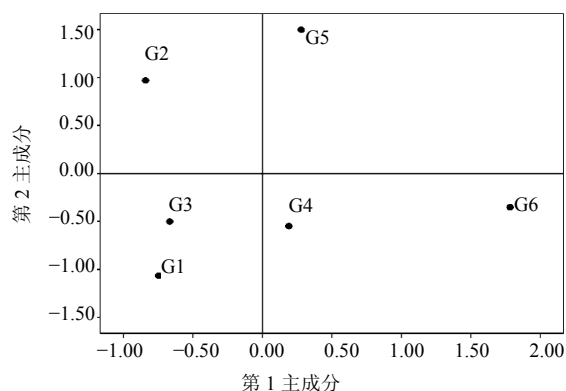


图1 不同生境秦艽的PCA分析结果

Fig. 1 PCA analysis on *G. macrophylla* in different habitats

群：第1类群由G1、G2和G3组成，均为野生秦艽；第2类群由G4和G5组成，为低海拔和中海拔人工栽培秦艽；第3类群仅有G6，为高海拔人工栽培秦艽，在第1主成分上G6与G4和G5更接近，而距G1、G2和G3较远。依第2主成分，可将6种样本类型划分为2个类群：第1类群由G2和G5组成，为中海拔地区的野生和人工栽培秦艽；第2类群由G1、G3、G4和G6组成，分别为低海拔和高海拔地区野生和人工栽培秦艽。

4 讨论

影响根际土壤微生物区系的因素包括生育期、土壤肥力、连作方式、转基因和不同茬口等因素^[19-20]。本研究结果表明，人工栽培秦艽根际土壤细菌、微生物总数量、氨化细菌和固氮菌数量均显著高于野生秦艽。贾志红等^[21]对向日葵、甜菜等作物根际微生物研究发现，各种作物施肥都比不施肥有利于微生物的繁衍。于佳等^[22]对玉米田黑土研究结果显示，农肥和化肥处理黑土，均可使氨化细菌数量增高。本研究结果与上述研究相似，即人工栽培秦艽根际微生物数量变化受人工施肥等管理措施的影响显著。据调查，在当地秦艽栽培管理措施中，肥料的施用是常规的管理手段之一，其中主要施用的是氮肥，氮肥的施用促进了秦艽植物体的生长，其强大的根系能够为根际微生物提供充足的营养和适宜的生境，促进微生物的生长繁殖；而微生物的生长和代谢作用又可促进土壤养分循环，最终有益于植物根系营养和吸收^[23]。

研究发现，秦艽生物量与细菌、氨化细菌和固氮菌数量呈显著正相关关系。分析其原因，氨化细菌和固氮菌共同作用可以提高土壤中 NH_4^+ 的浓度，而 NH_4^+ 是植物根系吸收的最为经济有效

的一种氮素形式，也是植株体内氮素转运的主要形式之一^[24]。因此，氨化细菌和固氮菌对植物体的构建具有非常重要的作用。仇有文^[16]对山地白术研究发现，土壤中细菌、放线菌和真菌等微生物群落与白术生物学产量呈正相关的变化规律。本研究结果与上述研究相似，即秦艽生物量与土壤微生物数量关系密切。因此，在秦艽的栽培管理中，接种合适的菌肥和提高其土壤微生物总数量对秦艽生长和产量提高有积极的促进作用。

刘光琇等^[25]研究认为，细菌数量通常随海拔的升高而降低，而本研究结果显示，野生秦艽和人工栽培秦艽根际细菌、氨化细菌和固氮菌数量均在高海拔样点最高。研究表明，温度是影响秦艽生长和分布的重要生态因子^[26]，其适应于这种低温环境的生态学习性可能与其较高的根际细菌数量水平有关，该结果在PCA分析中得到进一步印证。PCA分析结果显示，第一排序轴具有较大的方差贡献率，而其代表的细菌、地上生物量和地下生物量之间存在显著的正相关关系。在第一排序轴上，G4-G5位于G1-G2-G3和G6之间，但更接近于G6，说明人工栽培秦艽无论是在根际细菌数量上，还是在其自身生物量上，都要明显高于野生种类，且细菌数量多少与人工秦艽生物量大小关系密切。因此，秦艽人工栽培和管理应充分满足其生态要求条件，尽量在秦艽适宜生长的高海拔低温山区；注意氮肥的合理供给，促进秦艽根际细菌数量的提高，以最终提高秦艽自身生物量水平。

本实验未涉及秦艽根际微生物与其主要药用成分之间的关系，因此，应进一步研究他们之间的关系，为秦艽的科学栽培和管理提供更加有益的借鉴。

参考文献

- [1] 王茹华, 张启发, 周宝利, 等. 浅析植物根分泌物与根际微生物的相互作用关系 [J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 167-172.
- [2] 刘子雄, 朱天辉, 张 建. 林木根系分泌物与根际微生物研究进展 [J]. 世界林业研究, 2005, 18(6): 25-31.
- [3] 王树起, 韩晓增, 乔云发. 根系分泌物的化感作用及其对土壤微生物的影响 [J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1219-1226.
- [4] 胡小加. 根际微生物与植物营养 [J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(3): 77-79.
- [5] 郭伟娜, 魏朔南. 秦艽的生物学研究 [J]. 中国野生植

- 物资源, 2008, 27(4): 1-10.
- [6] 滕红梅, 曹晓燕, 王喆之. 不同培养条件及预处理对秦艽种子萌发的影响 [J]. 种子, 2008, 27(11): 87-91.
- [7] 齐香君, 陈如意, 王 薇. 秦艽细胞悬浮培养研究(II) [J]. 中草药, 2010, 41(4): 636-638.
- [8] 齐香君, 陈如意, 王 薇. 秦艽细胞悬浮培养研究(I) [J]. 中草药, 2010, 41(3): 472-475.
- [9] 曹建平, 刘 晓, 郝建国, 等. 大叶秦艽的组织培养与植株再生 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1101-1106.
- [10] 陈千良, 石张燕, 涂光忠, 等. 陕西产秦艽的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(19): 1519-1522.
- [11] 张兴旺, 于瑞涛, 梅丽娟, 等. 不同提取方法对秦艽中龙胆苦苷提取率的影响 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 7984-7985.
- [12] 赵 强. 渐危药用植物秦艽产活性成分内生真菌的初步研究 [D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [13] 张履冰. 陕西凤县林麝食性的初步研究 [D]. 吉林: 东北师范大学, 2008.
- [14] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [16] 仇有文. 土壤微生物对药材白术生物学产量和品质影响的研究 [D]. 四川: 西南交通大学, 2007.
- [17] 李振高, 骆永明, 腾 应. 土壤与环境微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [18] 付必谦. 生态学实验原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [19] 赵 艳, 张晓波. 影响植物根际微生物区系之因素研究进展 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 425-430.
- [20] 张新慧, 张恩和. 不同茬口对当归根际微生物数量和产量的影响 [J]. 中草药, 2008, 39(2): 267-269.
- [21] 贾志红, 孙 敏, 杨珍平, 等. 施肥对作物根际微生物的影响 [J]. 作物学报, 2004, 30(5): 491-495.
- [22] 于 佳, 王宏燕, 赵 伟, 等. 农肥和化肥对黑土氮素转化功能菌和土壤酶的影响 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(1): 93-97.
- [23] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [24] 邓若磊, 徐海荣, 曹云飞, 等. 植物吸收铵态氮的分子生物学基础 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 512-519.
- [25] 刘光琇, 董小培, 张 威, 等. 不同海拔表层土壤微生物数量消长的机理 [J]. 冰川冻土, 2010, 32(6): 1170-1174.
- [26] 聂义军, 胡宝平, 安宽畅. 凤县秦艽生长气候条件与规范化栽培 [J]. 陕西气象, 2007(4): 32-33.