

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第14期 Vol.31 No.14 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第14期 2011年7月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性.....	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化.....	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例.....	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法.....	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化.....	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型.....	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位.....	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响.....	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征.....	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布.....	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用.....	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
铜在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系.....	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响.....	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素.....	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响.....	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响.....	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选.....	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式.....	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应.....	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素.....	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子.....	张吉忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测.....	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态.....	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.....	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

刘晓云, 郭振国, 李乔仙, 刘桂霞, 薛世明, 王易鹏. 南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选. 生态学报, 2011, 31(14): 4034-4041.

Liu X Y, Guo Z G, Li Q X, Liu G X, Xue S M, Wang Y P. Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (*Medicago polymorpha*) in soil. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4034-4041.

南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选

刘晓云^{1,*}, 郭振国¹, 李乔仙², 刘桂霞¹, 薛世明², 王易鹏³

(1. 河北大学生命科学学院, 河北省微生物多样性研究与应用重点实验室, 河北保定 071002;

2. 云南省草地动物科学研究院, 云南昆明 650212; 3. 西南林学院保护生物学院, 云南昆明 650224)

摘要: 利用云南德宏盈江县 3 种类型的土壤, 对分离自云南楚雄、德宏等地的 SWF67523、SWF67409、SWF67456 等 12 株根瘤菌株进行了南苜蓿接种效果的研究。结果表明, 在所有供试菌株中, 菌株 SWF67523、SWF67409、SWF67394 表现最为优良, 结瘤率较高的菌株是 SWF67523、SWF67501、SWF67394 和 SWF67350, 结瘤率均达到 95% 以上; 而菌株 SWF67523、SWF67409 和 SWF67394 对植株株高影响最大; 菌株 SWF67409、SWF67523 和 SWF67394 对提高植株干重贡献最大, 其中菌株 SWF67409 比空白对照增产 106.5%; 供试菌株对含氮量的影响也很显著, 接种菌株 SWF67409、SWF67523 和 SWF67394 的苜蓿植物含氮量相比其他菌株较高, 影响显著。综合以上结果, 发现来源于盈江南苜蓿的根瘤菌菌株 SWF67523 较其他菌株表现突出, 同时发现根瘤菌菌株的接种效果受土壤因子的影响, 在含有效钾中等的土壤平原镇 II 上, 接种根瘤菌的南苜蓿地上部分干重普遍高于其他两种有效钾含量为较缺的土壤, 说明根瘤菌菌株与宿主和土壤环境存在密切关系, 在适合的宿主和生活环境将发挥最大的共生固氮作用。

关键词: 根瘤菌; 南苜蓿; 土壤; 筛选; 植物干重

Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (*Medicago polymorpha*) in soil

LIU Xiaoyun^{1,*}, GUO Zhenguo¹, LI Qiaoxian², LIU Guixia¹, XUE Shimeng², WANG Yipeng³

1 College of Life Sciences, Key Laboratory of Microbial Diversity Research and Application of Hebei Province, Hebei University, Baoding, 071002, China

2 Yuannan Academy of Grassland and Animal Science, Kunming 650212, China;

3 School of Conservation Biology, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

Abstract: Alfalfa (*Medicago polymorpha*) is an annual herbal plant in the pea family Fabaceae, has the highest feeding value as forage for its soft and highly digestible fiber and high protein content fiber up to 24.5%. Therefore, it recommended to cultivate widely and productively as an ideal forage plant. Inoculated with rhizobia, alfalfa (*Medicago polymorpha*) can formed effective symbiotic system to fix nitrogen, and subsequently produce high plant growth dry weigh. The inoculation effect on alfalfa (*Medicago polymorpha*) was performed in three different type of soils from Yingjiang county of Yunnan province by using twelve distinct rhizobial strains such as SWF67523, SWF67409, SWF67456, SWF67394, SWF67501, etc. respectively which were isolated from root nodules of *Medicago polymorpha*, *M. sativa* and *M. lupulina* from Yingjiang and other area of Yunnan. The results showed that the rhizobial nodulation rate, plant height, dry weight and total nitrogen content of plant were all increased significantly after harvested in condition that plant were inoculated with rhizobia ($P < 0.05$), the rhizobial nodulation rate are up to 98.41%, 97.78%, 97.50% and 96.56% by inoculated with strain SWF67523, SWF67501, SWF67394 and SWF67350, respectively; Contrasting to the control, the plant height increasing 40.2%, 27.3% and 25.0% by SWF67523, SWF67409 and SWF67394 respectively; The dry weight per plant

基金项目: 云南省应用基础研究计划面上项目(2007C067M)

收稿日期: 2010-06-30; 修订日期: 2010-12-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuxiaoyunly@126.com

was raised up 106.5% by inoculated with SWF67409 and raised 100.1%, 78.3% and 74.3% by the other strains SWF67523, SWF67394 and HBU07001 respectively; Besides, the inoculated strains increased the nitrogen content obviously as well, the alfalfa plant have higher nitrogen content by inoculated with strain SWF67409, SWF67523 and SWF67394 than other test strains. Among 12 strains grew in three types of soils revealed by the whole production of the plant inoculation, strain SWF67523, SWF67409 and SWF67394 were more effective than others; Of the three strains, the performance of indigenous strain SWF67523 from its host of alfalfa (*Medicago polymorpha*) grew in Yinjiang exceeded the other strains estimated by plant growth. From this result, we could concluded that high effective nodulation and nitrogen-fixation rhizobial strains could be screened from indigenous strains associated with its host legume; on the other hand, we also confirmed that there exist a great specificity between rhizobia and plant of alfalfa (*Medicago polymorpha*). Moreover, we founded that rhizobia strains were interacted with soil. This conclusion was revealed by the fact that the inoculated alfalfa plant grows in high potassium content available soil as Pingyuan town II obtained high plant dry weigh than that grow in other two lower potassium content available types soils. In future, the high effective rhizobial strains obtained in this study will be applied in fields for widely cultivating alfalfa (*Medicago polymorpha*) and will greatly improve agricultural efficiency.

Key Words: rhizobia; *Medicago polymorpha*; soil; screening; plant dry weigh

南苜蓿是1年生草本豆科植物,其草质柔嫩,粗蛋白含量可高达24.5%,具有较高的饲用价值,是大面积推广种植牧草和产业化的理想对象。目前,对南苜蓿共生的根瘤菌研究资料欠缺,在宿主共生性方面,仅有研究发现,苜蓿根瘤菌(*Sinorhizobium medicae*)可与南苜蓿(*M. polymorpha*)有效共生^[1];在应用方面,只有国外的Charman^[2]和Denton^[3]等人所做的田间接种试验,发现接种根瘤菌可以使南苜蓿与根瘤菌形成有效共生体系,并可显著提高植物干重。我国对于其他豆科作物的根瘤菌应用研究较多^[4-6],对紫花苜蓿根瘤菌的研究也已卓见成效^[7-10],而对南苜蓿根瘤菌的研究近于空白,仅有对其生长及生物学特性进行介绍的少量资料,更缺乏进行南苜蓿种植和大面积生产所需的高效根瘤菌菌株及菌剂的研究,在对“中国豆科牧草根瘤菌资源的采集保藏及利用”研究中,也未见对南苜蓿根瘤菌资源的研究^[11]。鉴于此,本研究对云南楚雄及德宏地区的南苜蓿根瘤菌资源进行了普遍挖掘,经过对根瘤菌菌株的生理生化以及结瘤固氮等前期研究,选择了9株分离自南苜蓿的根瘤菌菌株作为主要供试菌株,并辅以3株分离自紫花苜蓿和天蓝苜蓿的根瘤菌菌株,作为比较不同宿主来源的根瘤菌菌株的高效共生性。试验利用南苜蓿推广地云南德宏盈江县的3个不同地点的土壤,对南苜蓿进行高效共生根瘤菌菌株的筛选,为进一步进行该地区菌剂研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 菌株、苜蓿品种及土壤来源

经过对分离自云南楚雄、德宏等地区的南苜蓿(*Medicago polymorpha*)、紫花苜蓿(*M. sativa*)及天蓝苜蓿(*M. lupulina*)根瘤菌的分离、保存,以及菌株的生理生化、抗逆性以及结瘤能力测试,选择了12株根瘤菌菌株进行土壤筛选试验,菌株编号及来源见表1。

表1 供试根瘤菌菌株编号及来源

Table 1 The test strains, its host and origin

菌株号 Strains	宿主植物 Host plant	来源地 Origin	菌株号 Strains	宿主植物 Host plant	来源地 Origin
SWF67501	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄	SWF67523	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南德宏
SWF65100	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南昆明	SWF67524	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南德宏
SWF67340	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄	SWF67350	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄
SWF67456	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄	SWF67450	紫花苜蓿 <i>M. sativa</i>	云南楚雄
SWF67394	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄	HBU07001	紫花苜蓿 <i>M. sativa</i>	山西大同
SWF67409	南苜蓿 <i>M. polymorpha</i>	云南楚雄	SWF66437	天蓝苜蓿 <i>M. lupulina</i>	云南文山

供试苜蓿品种为南苜蓿(*M. polymorpha*)，植物种子由云南省草地动物科学研究院提供。

土壤采自云南德宏盈江县的平原镇及弄璋镇，去掉表层3—5 cm 土壤后进行取样，主要为5—30 cm 的耕作层，土壤类型为稻田土，平原镇Ⅰ与平原镇Ⅱ土壤均来自平原镇，取土壤地点相距30 km。

土壤来源及理化性质见表2。

表2 土壤来源及理化性质

Table 2 The soil sources and its properties

来源地 Sources	经度 E Longitude	纬度 N Latitude	海拔/m Elevation	pH 值 pH	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total Nitrogen	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
平原镇Ⅰ	97°54'	24°42'	825.6	5.62	57	1.403	37.75	91
平原镇Ⅱ	97°55'	24°44'	825.8	5.51	52	1.073	32.70	120.5
弄璋镇	97°53'	24°39'	804.8	5.31	48	1.003	33.45	76

1.2 试验方法

1.2.1 菌株的培养

将菌株接种于YMA培养基(甘露醇10 g/L,酵母粉0.8 g/L,K₂HPO₄ 0.25 g/L,KH₂PO₄ 0.25 g/L,MgSO₄ 0.12 g/L,NaCl 0.10 g/L,琼脂粉15 g/L,pH值6.8—7.2)培养,平板划线纯化,镜检纯度合格后,挑单菌落接种于YEM液体培养液培养基,于28 ℃培养箱中培养72 h,备用。

1.2.2 土壤处理

将土壤压碎去杂,充分混匀,称取2.0 kg置于种植花盆中,种植前适量浇水,使土壤浸润,保持一定湿度。

1.2.3 种子处理及接种

精选饱满健康的苜蓿种子首先用95%乙醇处理5 min,再用0.1%升汞处理5 min,无菌水冲洗7—8次后,将种子平铺于内含无菌纱布和少量无菌水的灭菌培养皿中,28 ℃催芽1—2 d,待幼根长至1 cm左右时即可种植。

用灭菌镊子将种苗放入无菌培养皿中用菌液浸泡15 min,然后栽植于已浇透水的花盆中,每个花盆栽植10株,并将剩余菌液浇于种苗周围,根据测定菌液的OD值($\lambda=600\text{nm}$),接种时保证每棵种苗接菌量达到 1.0×10^9 个以上,不接菌者为空白对照。

1.2.4 盆栽实验设计

本研究利用3种土壤类型,选用12株根瘤菌菌株,采用完全随机试验设计,以盛有2.0 kg土壤的花盆为种植单位,每个处理重复3次,共39个组合。

培养温室温度为(22±3) ℃、光强7000—8000 lx、光照时间14 h,根据花盆中失水状况定期浇水。

1.2.5 观测

培养至40 d左右,可观察到植物开花,当开花植物接近总种植量的一半时开始观测结果,观测项目包括植物结瘤数、固氮酶活性(乙炔还原法),株高(从子叶痕处至离生长点最近的展开叶顶端),并测定地上部分干重(以第1片子叶叶痕处作为划分标准,植物样品先在烘箱中120 ℃杀青40 min,后于60 ℃烘干至恒重),地上部分植株的含氮量(凯氏定氮法)。

1.3 数据处理与统计分析

通过统计软件SPSS 13.0对实验数据进行单因素和双因素方差分析(One-way or Two-way ANOVA);在满足方差齐性的情况下,再利用Tukey检验进行多重比较,确定各因子内部不同水平平均值之间的差异显著性。

2 结果与分析

通过对南苜蓿进行3种土壤、12株根瘤菌菌株接种的盆栽试验,获得了南苜蓿植株的结瘤率、株高、干重及含氮量等数据,并同时对南苜蓿所形成根瘤的固氮酶活进行了测定,经过对菌株、土壤单因素以及菌株和土壤双因素方差分析,获得方差分析结果(表3)。根瘤菌菌株、土壤及二者的相互作用对南苜蓿植株生长性状

的方差分析。

表3 根瘤菌菌株、土壤及二者的相互作用对南苜蓿植株生长性状影响的方差分析

Table 3 ANOVA analysis of the growth of *M. polymorpha* affected by rhizobial strains, soil and their interactions

变量 Variable	菌株 Strain		土壤 Soil		土壤×菌株 Soil×Strain	
	F	P	F	P	F	P
结瘤率 Nodulation rate	37.80	<0.01	1.41	0.25	4.07	<0.01
株高 Plant height	7.96	<0.01	4.73	<0.05	4.42	<0.01
干重 Dry weight	16.32	<0.01	38.96	<0.05	4.48	<0.01
含氮量 Nitrogen content	18.09	<0.01	2.14	0.13	7.69	<0.01
固氮酶活 Nitrogenase activity	4.56	<0.01	8.71	<0.05	2.72	<0.05

2.1 根瘤菌菌株对南苜蓿生长性状的影响

通过均值分析,获得了接种根瘤菌菌株的南苜蓿的生长测定性状数据,详见表4。接种不同根瘤菌菌株后结瘤率、地上部分株高、干重、茎叶含氮量和固氮酶活。由表3获知,根瘤菌菌株对南苜蓿的结瘤数、株高、干重和含氮量及固氮酶活影响均极显著($P<0.01$),在12个供试菌株中,结瘤率较好的菌株是SWF67523、SWF67501、SWF67394和SWF67350,分别为98.41%、97.78%、97.50%和96.56%,同处于一个统计分析显著性子集与其他菌株具有显著性差异,SWF67409略低,为84.59%;对植株株高影响较显著的菌株是SWF67523、SWF67409和SWF67394,分别使株高增加40.2%、27.3%和25.0%;对植株干重影响较显著的菌株依次是SWF67409、SWF67523、SWF67394、HBU07001、SWF67450及SWF67456,其中菌株SWF67409相比空白对照增产达到106.5%,其他分别为110.5%、100.1%、78.3%和74.3%等;供试菌株对含氮量的影响也很显著,菌株SWF67409、SWF67523、SWF67394的含氮量相比其他菌株较高,而菌株HBU07001、SWF67450仅次之。相关分析表明,固氮酶活与地上部分干重及总氮量几乎不存在线性相关,相关系数分别是0.044和0.0098。说明在进行高效根瘤菌筛选时,固氮酶活性只能作为一个参考指标,为菌株的固氮活性进行定性。

表4 接种不同根瘤菌菌株后结瘤率、地上部分株高、干重、茎叶含氮量和固氮酶活

Table 4 Nodulation rate, plant height, Dry weight, and total nitrogen per plant inoculated with different rhizobial strains

菌株号 Strains	结瘤率 Nodulation rate /%	地上部分株高 Plant height /(cm/株)	地上部分干重 Dry weight /(mg/株)	总含氮量 Nitrogen content /(mg/株)	固氮酶活(乙烯还原量) Nitrogenase activity /(nmol·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
SWF67523	98.41±1.59a	23.27±1.41a	74.19±7.75ab	17.87±3.31a	13.55±3.57a
SWF67501	97.78±2.22a	19.88±0.922b	53.18±10.22bcde	11.24±2.64cde	12.58±2.98b
SWF67524	51.11±14.20c	16.65±0.89cde	35.11±4.55e	5.90±0.86f	12.33±4.45b
SWF67350	96.56±2.29a	18.56±0.97bcd	47.55±3.19cde	8.73±0.61def	16.86±2.35c
SWF65100	53.10±7.22c	16.06±0.95de	41.81±7.09cde	7.91±1.31ef	16.87±3.72d
SWF67340	30.47±2.97d	16.87±0.74cde	41.92±6.34cde	8.67±1.54def	8.44±3.68e
SWF67409	84.58±6.18ab	21.13±0.62ab	76.58±3.89a	19.20±1.05ab	8.27±3.43e
SWF67437	21.96±3.95d	15.20±0.83e	38.86±3.07de	7.02±0.49ef	15.50±3.37f
SWF67450	70.25±6.41b	19.84±0.64b	61.07±2.96abcde	14.59±0.80abc	13.54±3.05a
SWF67456	78.57±8.25b	20.14±2.10b	55.45±3.91abcde	13.77±2.01bcd	19.46±1.72d
HBU07001	76.25±4.11b	18.81±1.44bc	64.83±3.97abcd	14.77±1.42abc	22.62±0.15g
SWF67394	97.50±2.22a	20.74±1.11b	66.12±4.25abc	17.38±2.39ab	14.58±3.35h
CK	28.83±5.12d	16.60±0.90cde	37.08±3.29e	6.02±0.90f	1.53±0.12k

根据Tukey检验,不同的小写字母表示同一列不同处理,存在显著差异($P<0.05$)

从供试菌株对接种南苜蓿生长性状影响的统计分析总体来看,分离自南苜蓿的菌株SWF67523、SWF67409、SWF67394表现优于其他菌株,说明与南苜蓿共生的根瘤菌菌株表现优于来源于其他宿主苜蓿种类的菌株,这也说明根瘤菌的宿主专一性和对宿主以及对生态环境的适应性。分离自山西大同紫花苜蓿的菌

株 HBU07001 和分离自云南楚雄紫花苜蓿的菌株 SWF67450 在提高植物干重和含氮量上,也优于其余菌株,但其结瘤率不高,可能接种这两种菌株后,促进了土壤中根瘤菌的相互作用和土著根瘤菌的结瘤固氮作用,从而增加了植物的生物量和含氮量,而按照菌剂生产的标准来看,根瘤菌的结瘤率是一个非常重要的指标,因此这两种菌株不能单独作为根瘤菌菌剂的菌株而进行生产。

2.2 根瘤菌菌株与土壤相互作用对南苜蓿生长性状的影响

接种根瘤菌后,不同的土壤类型对 12 株根瘤菌接种的南苜蓿植株的总体株高、干重影响是显著的,但对植物的结瘤率和含氮量影响不显著($P>0.05$),见表 3,说明根瘤菌菌株与这 3 种土壤具有相似的亲和力,这 3 种土壤均适合根瘤菌的繁殖和生长,并普遍提高了植物的氮素含量,但同一菌株在不同土壤类型中干重的表现有差异,由表 5 接种不同根瘤菌菌株后在 3 种土壤上生长的南苜蓿地上部分的干重,及图 1 可知,在同一菌株接种的条件下,3 种土壤中生长的植物的干重表现具有显著差异,如接种菌株 SWF67523 后,植物干重提高最多的是在平原镇Ⅱ土壤上,为 122.6%,与其他两种土壤具有显著差异(分别为 105.6% 和 67.07%);而接种菌株 SWF67409 后,植物干重提高的最多的也是在平原镇Ⅱ土壤为 178.5%,在平原镇Ⅰ是 84.1%,弄璋镇为 78.0%;菌株 SWF67394 也不例外,其他菌株大多数也是在平原镇Ⅱ土壤获得的植物干重与平原镇Ⅰ持平或高于其他两个类型的土壤,说明土壤与菌株具有交互作用,统计结果也说明土壤与菌株具有交互影响。

由 3 种土壤的氮磷钾和有机质含量水平来看(表 2),平原镇Ⅱ和平原镇Ⅰ营养物质含量都略高于或接近弄璋镇,而有效钾的含量明显高于弄璋镇土壤,尤以平原镇Ⅱ土壤含有效钾最高,明显高于其他 2 种土壤,钾能加速植物对 CO_2 的同化过程,能促进碳水化合物的转移、蛋白质的合成和细胞的分裂,如果植物缺钾,根系生长受阻碍,叶片的发育也遭到抑制。而本研究中,接种根瘤菌后,植物的干重普遍在平原镇Ⅱ土壤得到提高最多,可能与钾促使细胞分裂和促进生物质合成有关^[12]。

表 5 接种不同根瘤菌菌株后在 3 种土壤上生长的南苜蓿地上部分的干重

Table 5 Dry weight obtained in three soil sources per plant inoculated with different rhizobial strains

菌株编号 Strains	不同土壤来源的植株干重值(mg/株)		
	弄璋镇	平原镇Ⅰ	平原镇Ⅱ
SWF67523	60.53 ±3.36abc	59.08 ±4.66ab	103.00 ±8.15a
SWF67501	30.43 ±1.54fg	38.08 ±6.2bc	91.03 ±11.1ab
SWF67524	26.97 ±7.66fg	31.77 ±6.95bc	46.59 ±6.09d
SWF67350	39.8 ±3.5defg	52.78 ±4.91abc	50.05 ±6.26cd
SWF65100	21.65 ±3.52g	39.27 ±7.98bc	64.52 ±10.23abcd
SWF67340	24.96 ±4.18efg	55.42 ±8.8abc	45.38 ±12.11d
SWF67409	64.49 ±1.42abc	80.04 ±5.38a	85.21 ±4.85abc
SWF66437	31.87 ±2.96efg	35.32 ±1.54de	49.39 ±4.00cd
SWF67450	51.42 ±0.26bcde	67.26 ±2.95a	64.52 ±4.97abcd
SWF67456	43.6 ±4.73cdef	54.73 ±2.04abc	68.01 ±2.77abc
HBU07001	52.32 ±0.78bcd	71.21 ±3.28a	70.97 ±7.79abcd
SWF67394	57.39 ±8.68bcd	68.20 ±7.51a	72.77 ±4.85abc
对照 CK	36.23 ±4.6defg	28.74 ±4.80c	46.27 ±2.84d

根据 Tukey 检验,不同的小写字母表示同一列不同处理,存在显著差异($P<0.05$)

3 讨论与结论

3.1 筛选高效菌株基质的选择

南苜蓿适宜在亚热带及热带地区种植,但在南苜蓿的种植推广中发现,一些热带和亚热带地区不能很好地种植南苜蓿,尤其是云南德宏州的盈江县,该地区普遍养殖水牛,水牛奶因其奶品质接近人奶,蛋白质及乳脂率含量均较高,被誉为“奶中之王”,水牛养殖已成为当地新近发展的一个产业^[13-14],但由于缺乏提高蛋白质含量的粗饲料——苜蓿,其奶品质的提高比较困难,因此盈江县对于南苜蓿的需求十分迫切。南苜蓿是豆

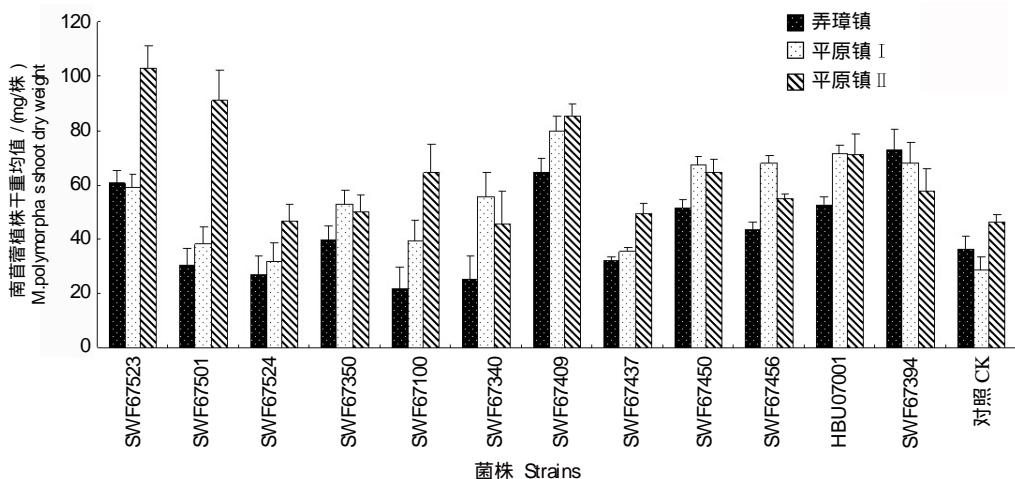


图 1 3 种不同类型的土壤接种不同的根瘤菌菌株对植物干重的影响

Fig. 1 The effects of Alfalfa plant (*M. polymorpha*) Dry weight by inoculating different rhizobial strains in three distinct soils

科植物,豆科植物的大面积栽培需要人工接种根瘤菌,陈文新院士也多提到,在一个地区,如果从未种植过或 5 a 以上没有种过某种豆科植物,则土壤中很难有与该种豆科植物相匹配的根瘤菌^[15],因此在少施氮肥的条件下,如果没有有效的共生根瘤菌进行结瘤固氮提供给植物营养,植物很难在该地定植成功。南苜蓿推广地多属没有种植过南苜蓿的土壤,因此本研究选择盈江县土壤作为南苜蓿共生高效根瘤菌筛选的土壤基质,旨在以自然土壤条件为筛选土壤基质,得到能够快速应用当地土壤的高效根瘤菌菌株,因此土壤未进行灭菌处理。未进行灭菌的土壤,接种的根瘤菌可能受到土壤中土著根瘤菌等生物因子的影响,但只有在自然条件下,才能根据接种根瘤菌对植物的实际促进作用来准确选取竞争结瘤能力比土著菌强的菌株,本研究也将继续对接种根瘤菌的占瘤率进行研究,分析在其他生物因子存在的情况下,接种根瘤菌菌株的共生性。以往的研究,将土壤进行灭菌,当进行大田试验时,实验室筛选的根瘤菌生长环境与自然土壤条件差异太大,以至于存在筛选的菌株竞争结瘤能力逊于土著根瘤菌,使研究和生产脱节,而 Bosworth 的研究^[16]就说明了这一点。

3.2 来源于原宿主原土壤环境的根瘤菌菌株具有较强的竞争能力

苜蓿根瘤菌一般都具有较强的宿主专一性,所以本研究采用分离自云南楚雄的南苜蓿根瘤菌和来自推广地盈江分离的南苜蓿根瘤菌,并同时采用分离自紫花苜蓿和天蓝苜蓿的根瘤菌菌株对南苜蓿的共生高效根瘤菌进行土壤筛选研究,旨在筛选高效固氮根瘤菌菌株,并同时揭示来源于其宿主的根瘤菌、其他宿主的根瘤菌、土著根瘤菌与土壤和宿主之间的关系。通过该研究发现接种菌株 SWF67523 的南苜蓿的生长指标总体较为突出,该菌株是来自于盈江土壤生长的南苜蓿的菌株,是由土壤中的土著根瘤菌与植物结瘤而形成的,其本源来自于生长在推广地的土壤上的南苜蓿根瘤,而 SWF67524 与 SWF67523 来源相同,但其测试各指标均较低,说明土著菌经过筛选后,是可以筛选到高效菌株的,通过接种,使其具有种群的优势,从而具有较强的竞争结瘤能力,菌株的竞争结瘤能力是接种成功的关键^[17-18],钟文文等^[19]也利用分子标记 cel B 基因从土著根瘤菌中筛选出与盛世苜蓿品种相匹配的有效性高、竞争性强的高效苜蓿根瘤菌株。在该研究中,菌株 SWF67523 的接种效果要好于来自于楚雄的南苜蓿根瘤菌菌株,也好于分离自紫花和天蓝苜蓿的根瘤菌菌株,说明其与其原宿主具有较好的亲和性,并能很好地适应当地的土壤。黄芳^[20]的研究也说明了这一点,他们发现同一大豆与根瘤菌组合在不同土壤中的产量差异显著,推测接种根瘤菌菌剂效果不明显很可能是由于研究者忽略了土壤对于菌株的生长适应性。

3.3 土壤养分与根瘤菌接种效果之间的关系

土壤的磷和钾的含量对根瘤菌的结瘤和结瘤植物的生长都非常重要,苗淑杰等^[21]的研究表明,磷和根瘤

菌对大豆生长和结瘤形成有交互作用,低磷明显抑制根瘤原基发育形成根瘤,进而减少了低磷处理形成的大豆根瘤数量,也减少根瘤的生物量;增加适宜的磷浓度,可增加植株生长量、根瘤数、根瘤干重、固氮活性,而氮积累量均随磷浓度增加而显著增加^[22]。蒙炎成^[23]等人研究了在广西喀斯特地区大豆接种根瘤菌与施钾对生物生产效率的影响,发现两者都能增加大豆的有效分枝,提高有效荚百分率和大豆生物生产效率,接种根瘤菌同时施钾效果更好,接种根瘤菌配合施钾肥增产幅度达到23.8%,而氮含量高有时是抑制植物根瘤的形成。

参照第二次全国土壤普查分级标准,所选择的土壤的有机质均为丰富,而平原镇Ⅰ的土壤的全氮为较丰富,其他两个土壤为中等;速效磷均为较丰富,而速效钾只有平原镇Ⅱ为中等,其他两个土壤为较缺。根据这个评价,可以看出平原镇Ⅱ土壤是较适合根瘤菌生长的,在本研究中,接种根瘤菌在平原镇Ⅱ土壤生长的苜蓿干重大多数都较其他两个土壤为高,说明根瘤菌促进植物生长与土壤因子密切相关。

此外,从接种南苜蓿的结瘤率来看,根瘤菌菌株与土壤也存在相互作用,但是,菌株的占瘤率可能与接种植物的结瘤率存在差异,接种某种根瘤菌所获得的根瘤可能不是接种该菌株形成的,如接种菌株HBU07001和SWF67450后,南苜蓿结瘤率在70%以上,而这两种菌株在结瘤试验中,与南苜蓿的结瘤率在30%左右,因此尚需要进行根瘤菌的分子标记研究来检测其占瘤率,考察接种根瘤菌在自然土壤中的竞争结瘤能力和结瘤有效性,获得与南苜蓿共生的高效根瘤菌菌株。

References:

- [1] Villegas Mdel C, Rome S, Mauré L, Domergue O, Gardan L, Bailly X, Cleyet-Marel J C, Brunel B. Nitrogen-fixing sinorhizobia with *Medicago laciniata* constitute a novel biovar (bv. *medicaginis*) of *S. meliloti*. Systematic and Applied Microbiology, 2006, 29(7): 526-538.
- [2] Charman N, Ballard R A. Burr medic (*Medicago polymorpha* L.) selections for improved N₂ fixation with naturalised soil rhizobia. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(8): 1331-1337.
- [3] Denton M D, Hill C R, Bellotti W D, Coventry D R. Nodulation of *Medicago truncatula* and *Medicago polymorpha* in two pastures of contrasting soil pH and rhizobial populations. Applied Soil Ecology, 2007, 35(2): 441-448.
- [4] Xu K W, Chen Y X, Zhang X P, Pang X Y, Guo H Q. Effects of combined inoculant with peanut *Bradyrhizobium* and molybdate on peanut growth in florescence stage. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(2): 198-201.
- [5] Chen Y X, Li Z. The application and production ways of astragalus rhizobium inoculants. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2007, (24): 138-138.
- [6] Fan H, Xu L M, Ge C, Feng R H. Symbiotic effects between different *R. fredii* strains and soybean cultivars in various areas. Scientia Agricultura Sinica, 1991, 24(1): 80-88.
- [7] Zeng S H, Chen D M, Hu Y G, Sui X H, Chen W X. Distribution status of indigenous *Rhizobium meliloti* in the soil of typical crop fields in different ecological areas. Pratacultural Science, 2003, 20(10): 26-28.
- [8] Liu J, Wang Y W, Li Y, Tang H, Wang L L. Screening of high efficient symbiotic rhizobial strains of Alfalfa by soil test. Pratacultural Science, 2005, 22(2): 21-25.
- [9] Zeng S H, Sui X H, Hu Y G, Chen D M, Chen W X, Gao R L. Screening of highly-effective *Sinorhizobium meliloti* strains for *Medicago sativa* cultivars and their field inoculation. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(5): 95-100.
- [10] Chen D M, Zeng S H, Sui X H, Hu Y G, Chen W X. Screening of high efficient symbiotic rhizobium on alfalfa. Pratacultural Science, 2002, 19(6): 27-31.
- [11] Ning G Z, Liu H Q, Ma X T. The collection, conservation and application of rhizobia resources for legume in China. Acta Agrestia Sinica, 1999, 7(2): 165-172.
- [12] Li Y C, Hao J J, Yu Y, Kang Z L. Effect of KHCO₃ on growing and developing of eggplant seedlings. Northern Horticulture, 2009, (4): 27-29.
- [13] Milk Project Office in Department of Agriculture. Brief introduction to international symposium on the strategy for the development of buffalo industry. China Dairy, 2002, (7): 7-8.
- [14] Zhang Y F, Lin S B, Wu Q H. Buffalo as a new source of milk in dairy production in Guangdong Province. Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science, 2002, 27(3): 3-6.
- [15] Chen W X. The role of legumes-root nodule bacteria nitrogen fixing system in development of west area of China. Acta Agrestia Sinica, 2004, 12(1): 1-2.

- [16] Bosworth A H, Williams M K, Albrecht K A, Kwiatkowski R, Beynon J, Hankinson T R, Ronson C W, Cannon F, Wacek T J, Triplett E W. Alfalfa yield response to inoculation with recombinant strains of *Rhizobium meliloti* with an extra copy of *detABD* and/or modified *nifA* expression. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, 60(10) : 3815-3832.
- [17] Zhong W W. Selection of Highly Effective Rhizobial Strains for Alfalfa. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2004.
- [18] Dudeja S S, Khurana A L. Persistence of *Bradyrhizobium* sp. (*Cajanus*) in a sandy loam. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(5) : 709-713.
- [19] Zhong W W, Zhang X P, Lindstrom K. Selection of highly effective rhizobial strains for alfalfa. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2006, 15(3) : 69-74.
- [20] Huang F, Xu X H. Study on the matching of soybean and rhizobium in different types soil. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38(2) : 211-214.
- [21] Miao S J, Qiao Y F, Han X Z. Effect of phosphorus and rhizobium on growth and nodule development in soybean. *Soybean Science*, 2009, 28(2) : 271-274.
- [22] Ding H, Li S X. The relation of phosphorous nutrition to growth and symbiotic nitrogen fixation of soybean cultivars. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 1998, 26(5) : 67-70.
- [23] Meng Y C, Lu W L. The influence of organisms' production efficiency by inoculating rhizobia and applying potashfertilizer on soybean in karst region. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2002, (3) : 132-133.

参考文献:

- [4] 徐开未, 陈远学, 张小平, 庞孝勇, 郭辉权. Mo 与花生根瘤菌的复合菌剂对盛花期花生生长的影响. *水土保持学报*, 2009, 23(2) : 198-201.
- [5] 陈逸湘, 李忠. 紫云英根瘤菌剂的应用与生产方法. *现代农业科技*, 2007, (24) : 138-138.
- [6] 樊蕙, 徐玲玲, 葛诚, 冯瑞华. 快生型大豆根瘤菌 (*R. fredii*) 与不同地区栽培大豆的共生效应. *中国农业科学*, 1991, 24(1) : 80-88.
- [7] 曾昭海, 陈丹明, 胡跃高, 隋新华, 陈文新. 不同生态区若干典型作物土壤中紫花苜蓿土著根瘤菌分布状况. *草业科学*, 2003, 20(10) : 26-28.
- [8] 刘杰, 王贊文, 李颖, 汤晖, 汪玲玲. 利用土壤筛选紫花苜蓿高效共生根瘤菌的初步研究. *草业科学*, 2005, 22(2) : 21-25.
- [9] 曾昭海, 隋新华, 胡跃高, 陈丹明, 陈文新, 鄢瑞路. 紫花苜蓿-根瘤菌高效共生体筛选及田间作用效果. *草业学报*, 2004, 13(5) : 95-100.
- [10] 陈丹明, 曾昭海, 隋新华, 胡耀高, 陈文新. 紫花苜蓿高效共生根瘤菌的筛选. *草业科学*, 2002, 19(6) : 27-31.
- [11] 宁国贊, 刘惠琴, 马晓彤. 中国豆科牧草根瘤菌资源的采集保藏及利用. *草地学报*, 1999, 7(2) : 165-172.
- [12] 李颖畅, 郝建军, 于洋, 康宗利. 碳酸氢钾对茄子幼苗生长发育的影响. *北方园艺*, 2009, (4) : 27-29.
- [13] 农业部奶类项目办公室. 水牛业发展战略国际研讨会简况. *中国乳业*, 2002, (7) : 7-8.
- [14] 张永发, 林树斌, 吴秋豪. 大力开发水牛奶源, 促进广东奶业发展. *广东畜牧兽医科技*, 2002, 27(3) : 3-6.
- [15] 陈文新. 豆科植物根瘤菌-固氮体系在西部大开发中的作用. *草地学报*, 2004, 12(1) : 1-2.
- [17] 钟文文. 高效苜蓿根瘤菌株的筛选. 雅安: 四川农业大学, 2004.
- [19] 钟文文, 张小平, Lindstrom K. 高效苜蓿根瘤菌的筛选. *西北农业学报*, 2006, 15(3) : 69-74.
- [20] 黄芳, 许修宏. 不同类型土壤中大豆与根瘤菌的匹配性研究. *东北农业大学学报*, 2007, 38(2) : 211-214.
- [21] 苗淑杰, 乔云发, 韩晓增. 磷和根瘤菌交互作用对大豆结瘤和生长的影响. *大豆科学*, 2009, 28(2) : 271-274.
- [22] 丁洪, 李生秀. 磷素营养与大豆生长和共生固氮的关系. *西北农业大学学报*, 1998, 26(5) : 67-70.
- [23] 蒙炎成, 吕维莉. 喀斯特地区大豆接种根瘤菌与施钾对生物生产效率的影响. *广西农业科学*, 2002, (3) : 132-133.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.14 July,2011(Semimonthly)
CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains; a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiping, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts;a case study of Gurbantunggut Desert	WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

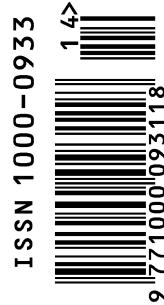
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元