

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美姝,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

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

贾彤,任安芝,王帅,高玉葆. 内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响. 生态学报, 2011, 31(17): 4811-4817.

Jia T, Ren A Z, Wang S, Gao Y B. Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of *Achnatherum sibiricum*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 4811-4817.

内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响

贾 彤, 任安芝, 王 帅, 高玉葆*

(南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要:通过温室栽培实验,以感染两种内生真菌(*Neotyphodium sibiricum* 和 *Neotyphodium gansuense*) 和未感染内生真菌的羽茅(*Achnatherum sibiricum*) 为实验材料,分析感染不同种内生真菌对宿主植物的生长及光合特性的影响。结果表明,感染两种内生真菌羽茅的株高和 CO₂ 补偿点显著低于未染菌的羽茅,而染菌羽茅的蒸腾速率和气孔导度显著高于未染菌羽茅,但对于感染不同种内生真菌的羽茅,无论是分蘖数与生物量的积累还是光合生理值之间均无显著差异。

关键词: *Neotyphodium* 内生真菌; 羽茅; 光合特性

Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of *Achnatherum sibiricum*

JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, GAO Yubao*

College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China

Abstract: *Achnatherum sibiricum* is a perennial sparse bunchgrass native to the Inner Mongolia Steppe of China, and it is highly infected by *Epichlo* / *Neotyphodium* fungal endophytes. Early studies of grass endophyte associations suggested that endophytes were plant-defending mutualists. For native grass endophyte associations, however, their interactions are more variable. The symbiosis between endophytes and their natural hosts have been suggested to range from antagonistic to mutualistic. In some grass species, endophyte infection could benefit their hosts under stress conditions, while in other studies, endophyte-infected (E+) grasses did not appear to be competitive over those that were endophyte free (E-). It was reported that in native grass populations, endophytic fungal communities may be more diverse and variable than that of agronomic and economically important species. It was also reported that plant genotype had been shown to interact with environmental factors in altering performance of *Neotyphodium*-infected tall fescue and perennial ryegrass, at least relative to drought tolerance or soil nutrients. What is the effect of the different endophyte species? In our pervious study, we controlled all conditions except endophyte species. Two endophyte species, *Neotyphodium sibiricum* (K) and *Neotyphodium gansuense* (M) were isolated and identified from *A. sibiricum*. In the present study, the effect of the two different *Neotyphodium* species on growth and photosynthetic characteristics of *A. sibiricum* was carried out. The results showed that there were no significant difference in the percent of nitrogen content between E+ and E- plants. The trend of the leaf mass per area (LMA) had gradually increased between E+ and E-, but the difference was not significant. Similarly, the photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) between E- and E+ also had no significant difference, and there were no significant differences in the PNUE of K and M. The above ground and root biomass of E+ tended to be higher than those of E-, only the difference was not significant. As for K and M, no difference occurred in biomass distribution, plant height,

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB106802);国家自然科学基金资助项目(30770348, 30970460);教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090031110026)

收稿日期:2010-07-18; **修订日期:**2010-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ybgao@mail.nankai.edu.cn

leaf number, as well as tiller number. The light curve showed that the net photosynthetic rate was $E- > K > M$. The CO_2 compensation point of $E-$ plants was significantly higher than that of $E+$, which indicated that $E+$ plants had higher CO_2 utilization efficiency than $E-$ plants. Different endophyte species had no significant effect on the CO_2 compensation point of *A. sibiricum*. However, our results suggested that the CO_2 compensation point was much more variable in $E+$ and $E-$, and the transpiration rate and stomatal conductance of $E+$ were significantly higher than those of $E-$. Thus, it was beneficial to the plant when stomata was almost closed, which promoted $E+$ to use the low CO_2 concentration more efficiently. In brief, different endophyte species had no significant effect on growth and photosynthetic characteristics of *A. sibiricum* in this study. We speculated that different species of endophyte maybe have different effects on *A. sibiricum* depending on the host genotype and growing conditions. These effects had yet to be studied further.

Key Words: *Neotyphodium*; *Achnatherum sibiricum*; photosynthetic characteristics

内生真菌 (Endophyte) 是存在于健康植物的茎叶中, 形成不明显侵染的一类真菌^[1]。内生真菌的分布十分广泛, 其宿主植物涉及藻类、针叶树、灌木和草本等多个类群, 尤以禾本科植物最为常见。目前, 对于内生真菌和宿主禾草共生关系的研究绝大多数集中于人工栽培的草坪草和牧草, 其中又以高羊茅和黑麦草的研究最多。近 100 多年来国内外的研究表明, 内生真菌与人工禾草的关系是互利共生的。一方面, 植物为内生真菌提供其自身无法合成的光合产物和矿物质; 另一方面, 内生真菌分泌的生物碱等次生代谢产物能够刺激植物生长发育, 提高宿主植物对食草昆虫^[2] 和病原菌^[3] 等生物干扰以及对高温^[4]、干旱、重金属和矿质营养缺乏等非生物胁迫的抗性^[5]。

天然禾草与内生真菌的关系研究较少, 但仅有的结果显示其比较复杂, 从有利到中性到不利均有报道。Louis 和 Faeth 以亚利桑那羊茅为研究对象, 结果发现在氮营养缺乏的条件下, 感染内生真菌植株的干重显著高于非感染植株, 而在高氮水平下, 内生真菌感染对植株干重没有影响^[6]。Faeth 等分别在野外和温室中对 *Neotyphodium* 内生真菌是否提高亚利桑那羊茅的竞争能力进行了研究, 结果表明在野外实验中, $E-$ 植株的营养生长高于 $E+$ 植株, 但生殖生长低于后者; 而严格控制植物基因型的温室实验中, 发现在不同的水分和营养条件下, $E-$ 植株的地下和地上生物量始终高于 $E+$ 植株^[7]。

天然禾草中内生真菌多样性比人工禾草更高, 表现在人工禾草通常感染 1 种内生真菌, 而在天然禾草中, 同一种禾草感染多种内生真菌的报道较多, 例如张欣等从西乌旗样地中的羽茅中一共分离得到 6 种形态型的内生真菌^[8]。有学者推测内生真菌与天然禾草的关系可能与共生体双方的种类有关, 例如宿主植物的基因型是内生真菌生物碱产量的决定因素, 这说明尽管生物碱来源于真菌, 但其产生水平却决定于植物的遗传背景^[9-10]。无性的 *Neotyphodium* 真菌与禾草共生体的生物碱含量更高^[11], 可以更有效地保护宿主免于取食^[10]。然而, 关于内生真菌的种类对共生关系影响的研究, 目前报道很少。如多年生黑麦草感染两种不同形态内生真菌^[12], 可能造成植物基因型与所感染内生真菌之间相互作用结果的差异性, Hesse 等研究结果表明, 干旱环境下的基因型, 内生真菌感染使植物在水分充足条件下生长减慢, 但干旱条件下快速生长; 周期性地灌溉或者干旱下的基因型, 内生真菌感染显著增加了植物的分蘖数和种子的产量^[13]。不同形态群不一定属于不同物种, 本实验采用温室栽培的方式, 对来自同一地理种群但分别感染两种不同种内生真菌的羽茅为研究对象, 测定感染两种不同内生真菌羽茅的生长指标以及光合生理特性。以期解答不同种内生真菌对宿主植物的贡献是否存在差异, 为深入研究内生真菌对羽茅的影响提供生态学理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料与培养

2008 年 2 月将采自定位站的羽茅饱满成熟的种子种于蛭石中, 每盆 10 枚, 置于温室中培养。待种子发芽后生长一星期后进行间苗, 每盆留下 5 株, 2009 年 5 月对羽茅进行叶鞘分离内生真菌, 将叶鞘浸于 70% 乙醇溶液里连续搅拌 5s, 然后放入含 0.5% 有效 Cl 的 NaClO 溶液里连续搅拌 5min 表面灭菌。在无菌的环境下

将叶鞘剪成 0.5cm 小块,接入锥形瓶内的固体 PDA 培养基中,接 6 块/瓶,25℃ 黑暗环境下培养。获得感染两个不同种内生真菌的羽茅,这两种菌的生长特征如下:*Neotyphodium sibiricum* 菌株呈白色,菌丝致密,生长速度极为缓慢,标记为 M。*Neotyphodium gansuense* 菌株,白色,棉质至毡质,菌落周围偶有窄的白灰色区域,生长较快,标记为 K。叶鞘分离内生真菌后得到 K 和 M 各 5 个羽茅个体重复,其中每一个体又包含 5 个重复,这 5 个重复是来自同一株羽茅,E-为 5 个重复。

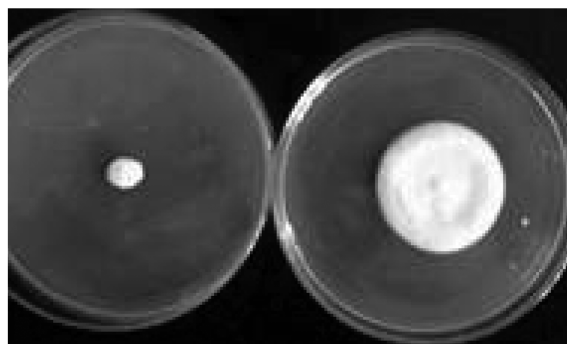


图 1 两种内生真菌的菌落形态

Fig. 1 Two endophyte species of *Achnatherum sibiricum*

1.2 不同种内生真菌的羽茅光合生理指标的测定

测定选取天气晴朗的时候,从 2010 年 3 月开始,从 9:30—11:00 时,对感染不同种内生真菌的植株和未染菌植株进行光合生理指标测定,测定系统为开放式气路,光强由 LI-6400-02BLED 红蓝光源进行自动控制,设定温度为 25℃,在自然 CO₂ 浓度条件下(大约为 400 μmol/mol),用 LI-6400 光合作用测定仪对染菌(K 和 M)和不染菌(E-)羽茅新叶完全展开的第 1 只叶片进行光合光响应测定。在不同光合有效辐射通量密度(PPFD,1800、1500、1200、1000、800、600、400、200、150、100、50、0 μmol·m⁻²·s⁻¹)下自动记录叶片净光合速率;设定 PAR 为 1200 μmol·m⁻²·s⁻¹ 作为测定光强,采用 LI-6400-01 液化 CO₂ 钢瓶提供不同的 CO₂ 体积分数,分别在 CO₂ 浓度为 400、200、150、120、100、80、50、400、600、800、1000、1200 μmol/mol 的条件下测定叶片 P_n。

本研究中 P_n 对光强的响应符合 Michaelis-Menten 的直角双曲线方程,其表达式^[14]为:

$$P_n = \frac{\alpha I P_{\max}}{\alpha I + P_{\max}} - R_d$$

式中,α 为光合速率的光响应曲线的初始斜率,它反映了表观量子效率(AQY);I 为光量子通量密度 PPFD (μmol·m⁻²·s⁻¹);P_{max} 为光饱和时的最大净光合速率(μmol·m⁻²·s⁻¹);R_d 为叶片的暗呼吸速率(μmol·m⁻²·s⁻¹)。利用 SPSS 统计软件对光响应数据进行拟合,得到相应参数值。该曲线与 X 轴交点的横坐标值即为光补偿点(LCP)。由于 PPFD 在 0—200 μmol·m⁻²·s⁻¹ 的 P_n 观察值近似一条直线,它与 Y=P_{max} 直线相交,交点所对应 X 轴的数值为光饱和点(LSP)。气孔限制值(L_s)按照 L_s = 1 - C_i/C_a 计算,C_i 为胞间 CO₂ 浓度(μmol/mol),C_a 为大气 CO₂ 浓度(μmol/mol)。

感染不同种内生真菌的羽茅随着 CO₂ 浓度升高,光合速率的变化在细胞间隙 CO₂ 浓度(C_i, μmol/mol) 为 0—200 μmol/mol 内对叶片 P_n 和 C_i 进行直线回归,其斜率为 RuBP 羧化效率(CE, μmol·m⁻²·s⁻¹),拟合方程为^[15]:

$$P_n = \frac{CE \times C_i + P_{\max} - \sqrt{CE \times C_i + P_{\max}^2 - 4CE \times C_i \times P_{\max} \times \theta}}{2\theta} - R_{\text{esp}}$$

式中,P_n 为净光合速率,C_i 为胞间 CO₂ 浓度,P_{max} 为最大净光合速率,θ 为 CO₂ 响应曲线曲角。当 P_n = 0 时,C_i 即为光合作用的 CO₂ 补偿点(CCP, μmol/mol)。拟合方程作图,与 Y=P_{max} 这条平行直线相交,得出交点,该交点在 x 轴上的数值即为 CO₂ 饱和点(CSP, μmol/mol)。

1.3 各项生长指标和生理指标的测定

2010 年 3 月下旬,在温室中对处于生长旺盛时期的羽茅进行株高,叶片数,分蘖数的测定,并且采用常规的凯氏定氮法,进行叶片全氮含量(以单位干物质重的叶氮含量表示,N_{mass})的测定。摘取测定光合光响应的叶片鲜样,利用丙酮:乙醇(1:1)浸提法进行叶绿素测定。

光合氮有效利用率 (PNUE, μmol CO₂·mol⁻¹·s⁻¹) = P_{max} / (1/14 N_{mass} × LMA)。

1.4 数据处理和分析

应用 SPSS13.0 软件进行统计分析,对数据相关分析与回归分析,并采用单因素方差分析(One-way

ANOVA)和最小显著差异法(LSD) ($P<0.05$)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 植物生长及生理指标

2.1.1 植物生长指标

由图2得知,E-植株的分蘖数和叶片数与E+植株之间差异不显著,但E-的株高显著高于E+植株。对于K和M,植株的株高、分蘖数、叶片数均不存在显著差异。说明这两种内生真菌感染对羽茅的生长没有明显的差异。

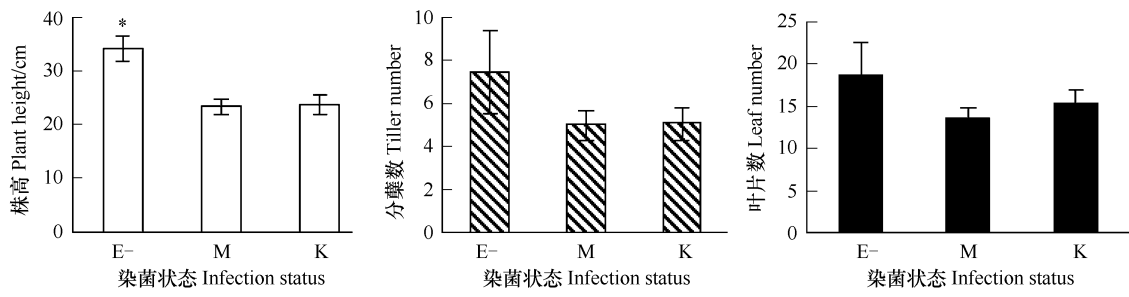


图2 两种内生真菌感染对羽茅生长状况的影响

Fig. 2 Effect of two endophyte species on growth of *Achnatherum sibiricum*

E-: Endophyte free; M: *Neotyphodium sibiricum*; K: *Neotyphodium gansuense*

2.1.2 生物量

图3表明,E+植株的地上部生物量和根重都有高于E-植株趋势,但差异不显著。对于K和M植株,生物量的分配也没有显著差异。在本实验中,这两种内生真菌感染对羽茅的生物量积累没有显著影响。

2.1.3 生理指标的分析

由图4得出,E+植株和E-植株的N%差异不显著,E-,K和M的LMA有逐渐增加的趋势,但差异不显著。同样的,E-和E+植株的PNUE也没有显著差异,K和M的PNUE差异不显著。表明这两种内生真菌感染对羽茅的生理指标没有显著的影响。

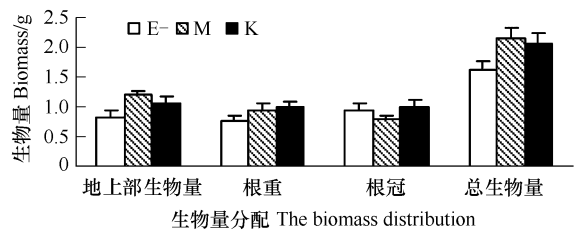


图3 不同种内生真菌感染对羽茅生物量的影响

Fig. 3 Effect of two endophyte species on biomass of *Achnatherum sibiricum*

2.2 羽茅对光照和CO₂的响应

图5是用直角双曲线拟合的K,M和E-羽茅植株的 P_n -PAR和A-C_i曲线示意图,从图中可以看出,光曲线中,植株的净光合速率表现出E->M>K的趋势,但差异不显著。表1得知,E+的蒸腾速率(T_r)都显著高于E-的 T_r ,M的 T_r 最大,其平均值为 $2.28\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。M的气孔导度(G_s)显著高于E-的 G_s 。对于K和M之间,光合生理值之间均无显著差异。

表1 羽茅的光合生理指标的比较

Table 1 The comparison of *Achnatherum sibiricum* on physiological indexes (mean±SE)

	净光合速率 P_n Net photosynthesis rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r Transpiration rate /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 G_s Stomatal conductance /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间CO ₂ 浓度 C_i Intercellular CO ₂ concentration /($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	气孔限制值 L_s Stomatal limitation
E-	6.49±0.82	1.81±0.14b	0.07±0.006b	261.98±18.13	0.36±0.04
M	6.40±0.29	2.28±0.07a	0.08±0.002a	272.07±4.82	0.34±0.01
K	6.06±0.30	2.19±0.07a	0.08±0.002ab	271.99±5.06	0.34±0.01

表中英文字母的异同表示同列各值之间差异是否显著($P<0.05$),未标注表明差异不显著

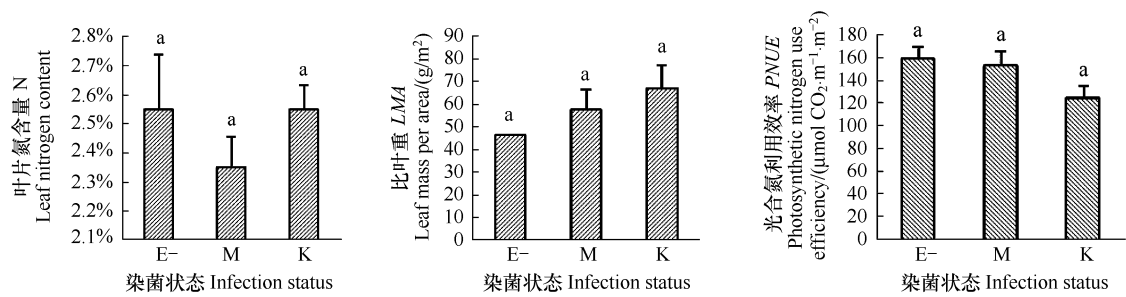


图4 不同种内生真菌感染的羽茅生理指标

Fig.4 Two endophyte species on physiological indexes of *Achnatherum sibiricum*

E-: Endophyte free; M: *Neotyphodium sibiricum*; K: *Neotyphodium gansuense*

A-C_i曲线中,随着CO₂浓度升高,感染不同种内生真菌的羽茅光合速率的变化也呈现一定趋势。从图5看出,CO₂浓度在0—400 μmol/mol时,E+和E-的P_n值变化趋势相同,当CO₂浓度超过400 μmol/mol时,M的P_n高于E-和K,但差异不显著。

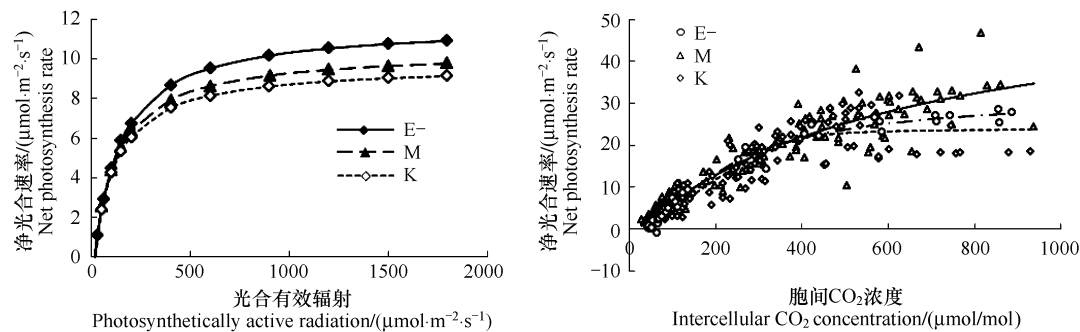


图5 羽茅的P_n-PAR和A-C_i拟合曲线

Fig.5 The fitted curve of P_n-PAR and A-C_i of *Achnatherum sibiricum*

从表2可以得出,羽茅的CO₂响应模拟曲线的R²值都大于0.96。E+和E-的CO₂补偿点相比,E-的CCP比M高53%,比K的CCP高29%。可见,CO₂补偿点较低、CO₂饱和点较高的E+植株对CO₂环境的适应性较强,E+比E-植株具有更高的CO₂利用效率,但K和M之间的差异不显著。

表2 非直角双曲线拟合的E+与E-羽茅叶片的CO₂曲线参数值及CO₂补偿点和CO₂饱和点

Table 2 Values of intrinsic quantum efficiency for CE, P _{max} , R ² , CCP and CSP of E+ and E- plants (mean±SE)					
	羧化效率 CE Carboxylation efficiency	CO ₂ 饱和最大净光合速率 P _{max} Maximum net photosynthetic rate /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	相关系数 R ² Related coefficient	CO ₂ 补偿点 CCP CO ₂ compensation point /(μmol/mol)	CO ₂ 饱和点 CSP CO ₂ saturation point /(μmol/mol)
E-	0.29	44.02	0.99	48.74a	717.33
M	0.11	52.59	0.97	22.98b	1672.6
K	0.1	41.02	0.97	34.59b	1242.48

表中英文字母的异同表示同列各值之间差异是否显著(P<0.05),未标注表明差异不显著

3 讨论

杜永吉等^[16]研究表明,感染内生真菌的高羊茅植株蒸腾速率和气孔导度都高于非感染高羊茅植株,这与本试验结果相同。蒸腾速率指植物在一定时间内单位面积蒸腾的水量。高蒸腾速率能有效缓解高温胁迫^[17],使叶片局部温度不至于太高,光合作用得以进行。本实验中,染菌羽茅的T_l显著高于未染菌羽茅,当

夏季中午高温高光强时,染菌羽茅较高的蒸腾可能减缓宿主植物的叶温急剧上升,使叶片保持较适宜的温度,以利于光合作用的顺利进行。

Neotyphodium 内生真菌对宿主植物气孔导度的研究结果差别很大,如果宿主植物不同, G_s 变化也可能不同。杜永吉等^[17]研究表明高羊茅染菌与非染菌植株 G_s 在 12:00—13:00 降到谷值,出现“休眠”。 G_s 的下降增加了 CO_2 的传导阻力,减少了光合作用原料的供给,从而降低了 CO_2 同化率,导致叶片吸收的光能过剩;同时,在炎热夏季,植株这种 G_s “休眠”可以使叶片 G_s 减至最小,以防止和减少水分的散失,这是一种积极的生态适应以及对高温进行负反馈调节机制的体现。Marks 和 Clay^[18] 对 E+和 E-高羊茅进行对比研究后认为,造成气孔导度差异的原因可能是染菌导致了宿主植物解剖学或形态学上的变化,包括气孔密度和叶卷曲的变化。Amalric^[19] 发现在干旱条件下 *N. lolii* 可以显著提高黑麦草的气孔导度。本实验中,染菌羽茅的 G_s 显著高于未染菌羽茅,可能当温度适宜且水分充足时,染菌羽茅较高的气孔导度可以促进植物光合作用中 CO_2 的传导,从而增强植物的光合作用,促进光合产物的增加。

CO_2 补偿点低的作物品种常常具有净光合速率高、产量高的特点,因此低 CO_2 补偿点也常常被用作选育高产品种的指标^[20]。本实验结果表明,E+植株的 CO_2 补偿点显著低于 E-,表明 E+更能利用低浓度的 CO_2 ,当面临干旱时,植物的气孔接近关闭,染菌羽茅低的二氧化碳补偿点对宿主植物有利。

Sullivan 和 Faeth^[21] 对于内生真菌基因型的改变认为,亚利桑那羽茅种群至少有 3 种不同的内生真菌基因型,其中一些出现在同一地理种群中。这些内生真菌尽管是无性传播的,但随着宿主植物的异性杂交和自然环境的改变,内生真菌也会出现相对较高的遗传多样性,因此,内生真菌与宿主植物之间的相互作用是有巨大变化的。魏宇昆研究表明 *Epichloë* 及其无性型 *Neotyphodium* 与禾本科植物是系统发生的互利共生关系,尤其是 *Neotyphodium* 可提高宿主抵抗环境胁迫的能力和抵御动物的取食,增强植物的竞争力^[22]。Morse 等^[23] 在亚利桑那羊茅中的研究发现,内生真菌的基因型是影响植物生长,生物量以及生理指标(例如叶片水势,叶卷曲和气孔密度)的重要因素。本实验表明,感染不同种内生真菌对正常生长条件下羽茅的生物量的积累,根冠比以及光合作用都没有显著差异。这表明内生真菌的不同种类对羽茅生长没有造成影响。

上述结果表明,不同种 *Neotyphodium* 内生真菌感染对天然禾草羽茅的生长及光合特性没有显著的影响,随着宿主植物的基因型以及共生体生长环境的改变,不同种内生真菌对羽茅的影响可能也会出现差异,这些影响还有待进一步研究。

References:

- [1] Arnold A E, Maynard Z, Gilbert G S, Coley P D, Kursar T A. Are tropical fungal endophytes hyperdiverse? *Ecology Letters*, 2000, 3 (4): 267-274.
- [2] Malinowski D P, Belesky D P. Infection with leaf fungal endophyte *Neotyphodium coenophialum* increases aluminum sequestration on root surfaces of tall fescue. *Journal of Plant Nutrition*, 1999, 22 (8): 1335-1349.
- [3] Lewis G C, Bakken A K, Maeduff J H, Raistrick N. Effect of infection by the endophytic fungus *Acremonium lolii* on growth and nitrogen uptake by perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in flowing solution culture. *Annals of Applied Biology*, 1996, 129 (3): 451-460.
- [4] Clay K. Effects of fungal endophytes on the seed and seedling biology of *Lolium perenne* and *Festuca arundinacea*. *Oecologia*, 1987, 73 (3): 358-362.
- [5] Richmond D S, Grewal P S, Cardina J. Competition between *Lolium perenne* and *Digitaria sanguinalis*: ecological consequences for harbouring an endosymbiotic fungus. *Journal of Vegetation Science*, 2003, 14 (6): 835-840.
- [6] Louis M St, Faeth S H. The effect of endophytic fungi on the fitness of Arizona fescue (*Festuca arizonica*) under varying nitrogen levels. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 1997, 78 (4): 317-327.
- [7] Faeth S H, Helander M L, Saikkonen K T. Asexual *Neotyphodium* endophytes in a native grass reduce competitive abilities. *Ecology Letters*, 2004, 7 (4): 304-313.
- [8] Zhang X, Li Y, Wei Y K, Wang Y H, Lin F, Ren A Z, Gao Y B. Distribution and rDNA-ITS sequence analysis of *Epichloë* endophyte symbiosis with *Achnatherum sibiricum* in mid and eastern Inner Mongolia Steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (7): 2904-2910.
- [9] Faeth S H, Bush L P, Sullivan T J. Peramine alkaloid variation in *Neotyphodium*-infected Arizona fescue: effects of endophyte and host genotype

- and environment. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, 28(8): 1511-1526.
- [10] Easton H S, Latch G C M, Tapper B A, Ball O J P. Ryegrass host genetic control of concentrations of endophyte-derived alkaloids. *Crop Science*, 2002, 42(1): 51-57.
- [11] Leuchtman A, Schmidt D, Bush L P. Different levels of protective alkaloids in grasses with stroma-forming and seed-transmitted *Epichloë* / *Neotyphodium* endophytes. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(4): 1025-1036.
- [12] Christensen M J, Leuchtman A, Rowan D D, Tapper B A. Taxonomy of *Acremonium* endophytes of tall fescue (*Festuca arundinacea*), meadow fescue (*Festuca pratensis*), and perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Mycological Research* 1993, 97(9): 1083-1092.
- [13] Hesse U, Schöberlein W, Wittenmayer L, Förster K, Warnstorff K, Diepenbrock W, Merbach W. Effects of *Neotyphodium endophytes* on growth, reproduction and drought-stress tolerance of three *Lolium perenne* L. genotypes. *Grass and Forage Science*, 2003, 58(4): 407-415.
- [14] Thornley J H M. *Mathematical Models in Plant Physiology*. Beijing: Science Press, 1983; 23-30.
- [15] Herrick J D, Thomas R B. Effects of CO₂ enrichment on the photosynthetic light response of sun and shade leaves of canopy sweetgum trees (*Liquidambar styraciflua*) in a forest ecosystem. *Tree Physiology*, 1999, 19(12): 779-786.
- [16] Du Y J, Wang Q, Han L B. The effect of *Neotyphodium typhinum* infected on photosynthetic characteristics of tall fescue. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2): 590-594.
- [17] Wang P, Zhou D W. Research on the utilization modes of *Hordeum Brevisubulatum* and *Leymus Chinensis* based on the comparison of photosynthesis and transpiration. *Grassland of China*, 2004, 26(3): 8-12.
- [18] Marks S, Clay K. Physiological responses of *Festuca arundinacea* to fungal endophyte infection. *New Phytologist*, 1996, 133(4): 727-733.
- [19] Amalric C, Sallanon H, Monnet F, Hitmi A, Coudret A. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in symbiotic and non-symbiotic ryegrass under water stress. *Photosynthetica*, 1999, 37(1): 107-112.
- [20] Medrano H, Keys A J, Lawlor D W, Parry M A J, Azcon-Bieto J, Delgado E. Improving plant production by selection for survival at low CO₂ concentrations. *Journal of Experimental Botany* 1995, 46: 1389-1396.
- [21] Sullivan T J, Faeth S H. Gene flow in the endophyte *Neotyphodium* and implications for coevolution with *Festuca arizonica*. *Molecular Ecology*, 2004, 13(3): 649-656.
- [22] Wei Y K, Gao Y B. Review of the diversity of Endophyte genetics and symbiotic interactions with grasses. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 512-520.
- [23] Morse L J, Faeth S H, Day T A. *Neotyphodium* interactions with a wild grass are driven mainly by endophyte haplotype. *Functional Ecology*, 2007, 21(4): 813-822.

参考文献:

- [8] 张欣, 李熠, 魏宇昆, 王银华, 林枫, 任安芝, 高玉葆. 内蒙古中东部草原羽茅 *Epichloë* 属内生真菌的分布及 rDNA-ITS 序列系统发育. *生态学报*, 2007, 27(7): 2904-2910.
- [16] 杜永吉, 王祺, 韩烈保. 内生真菌 *Neotyphodium typhinum* 感染对高羊茅光合特性的影响. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 590-594.
- [17] 王平, 周道玮. 野大麦、羊草的光合和蒸腾作用特性比较及利用方式的研究. *中国草地*, 2004, 26(3): 8-12.
- [22] 魏宇昆, 高玉葆. 禾草内生真菌的遗传多样性及其共生关系. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 512-520.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwu, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil $\delta^{15}\text{N}$ under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

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 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 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