植物学通报 2004, **21** (5): 539~546
Chinese Bulletin of Botany

研 究 论 文

不同氮素营养条件下内生真菌感染对黑麦草光合和蒸腾速率及生物量的影响①

王金龙 高玉葆② 任安芝 王 巍 赵念席

(南开大学生命科学学院 天津 300071)

摘要 以黑麦草(*Lolium perenne* L.)为实验材料，研究在不同氮素营养条件下内生真菌(*Neotyphodium lolii*)感染对其光合特性及生物量的影响。结果表明：1)整个实验中，内生真菌感染对黑麦草净光合速率、蒸腾速率以及水分利用效率均无显著影响，但在中氮和高氮水平时，感染种群的净同化累积值有超过非感染种群的趋势；2)在本实验的第一处理期和第二处理期，内生真菌感染对黑麦草绿色部分的干物质产量无显著影响，但在第三处理期感染种群的绿色部分的干物质产量显著高于非感染种群。

关键词 内生真菌，黑麦草，净光合速率，蒸腾速率，水分利用效率，生物量

Effects of Endophyte Infection on Photosynthesis, Transpiration and Biomass of *Lolium perenne* L. at Different Nitrogen Levels

WANG Jin-Long GAO Yu-Bao② REN An-Zhi WANG Wei ZHAO Nian-Xi

(*College of Life Science, Nankai University*, Tianjin 300071)

Abstract In order to investigate the effect of endophyte infection on its host plants, net photosynthetic rate, transpiration rate, water using efficiency and dry mass yield were determined using endophyte-infected (EI) and endophyte-free (EF) populations of *Lolium perenne* L. at different nitrogen levels. There were no significant differences between EI and EF populations in net photosynthetic rate, transpiration rate or water using efficiency during the experimental period but the cumulative value of diurnal photosynthesis was greater in EI populations than in EF populations both at the medium and at high nitrogen level. No significant differences existed between EI and EF populations in dry mass yield of the herbage during the first or the second experimental period. During the third experimental period, the dry wass of the EI populations was significantly higher than the EF populations.

Key words Endophyte, *Lolium perenne* L., Net photosynthesis rate, Transpiration rate, Water using efficiency, Biomass

内生真菌长期生活在植物体内的特殊环境中，并与宿主协同进化，形成了互惠共生关系。

①国家自然科学基金委员会生命科学部主任基金(30240083)资助项目。
②通讯作者。Author for correspondence. E-mail: ybgao@nankai.edu.cn
收稿日期：2003-04-16 接受日期：2003-08-06 责任编辑：崔郁英

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

一方面内生真菌可从宿主中吸收营养供自身生长需要,另一方面内生真菌对宿主的生长发育和系统演化过程有重要影响 (Siegel，1993)。从目前的研究结果来看，内生真菌主要是通过影响宿主的物质代谢，使其产生某些生理活性物质(如生物碱和激素等)来改变植株的生理特性，提高植株的抗逆性并刺激植株生长(Bacon and Siegel, 1988；Clay, 1994；Yue *et al.*，2000；Stanley e*t al.*，2002)。

氮素是内生真菌次生代谢物质生物碱的组成成分之一，也是内生真菌核酸的组成成分之一，所以有必要研究不同氮素水平下内生真菌感染对宿主的影响。鉴于目前国内外对这方面研究较少，本研究通过内生真菌检测建立了黑麦草(*Lolium perenne* L.)感染和非感染的实验植物种群，并对它们施以不同浓度的氮素，比较不同实验处理期植株的光合速率、蒸腾速率及生物量积累特点，以期了解不同氮素营养条件下内生真菌对其宿主生理特性的影响，从而为进一步认识内生真菌和植物的共生关系提供依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本实验所用的植物材料是黑麦草(*Lolium perenne* L.)，品种为‘SR4000’，含有内生真菌 *Neotyphodium lolli*。黑麦草种子来源于南开大学校园植物生理生态实验田(2000 年 9 月收获)。

1.2 感染(endophyte-infected, EI)和非感染(endophyte-free, EF)实验种群的建植

选取均匀、饱满的 EI、EF 种子，浸泡在蒸馏水中 5~6 h，摆放于培养皿的湿滤纸上，然后于 26℃的恒温培养箱培养，7 d 后萌发。将萌发后的幼苗移栽到蛭石中温室培养，这期间每周施 Hoagland 营养液一次，每 2~3 d 浇一次水，以保证幼苗充足的养分和水分供应。移栽一周后逐株进行内生真菌感染状况的检测。4 周后，挑选长势良好、大小一致的 EI 和 EF 分蘖株移入栽植桶中。栽植桶中装填约 30 kg 复合土壤(土/多元螯合肥=14)。其中土壤的含氮量为 0.027%，多元螯合肥的氮磷钾总含量超过 30%，中、微量元素(钙、镁、硫、硅、铁、锰、铜和锌等)和有机质等超过 20%。移栽前，每盆加入约 1 kg 水，使土壤水分含量达到饱和。每盆移入 30 株苗，EI 和 EF 分别移栽 15 盆，共 30 盆。

1.3 施氮处理

本实验采用两因素随机区组实验设计：因素之一为内生真菌感染率，分 EI 和 EF 两种水平，因素之二为施氮水平，分为低氮、中氮和高氮三种水平。将 2 × 3 共 6 种处理各重复 5 次。用 $CaCl_2$ 和 KCl 分别替代 Hoagland 营养液中的 $Ca(NO_3)_2$ 和 KNO_3，然后分别加入 0.5 mol·L^{-1} 硝酸铵 7.86 mL、52.14 mL 和 157.15 mL 于 10 L1/3 Hoagland 营养液中，按照 Arechavaleta 等(1992)的做法进行低、中和高浓度氮肥处理(相当于 11 mgN·L^{-1}、73 mgN·L^{-1} 和 220 mgN·L^{-1})，每个栽植桶中加入 1 L 营养液。每周施一次肥，浇水时要浇等量的水，保证实验期间有充足的供水量。

1.4 光合日进程及生物量测定

实验时间是 2001 年 5 月 29 日至 10 月 31 日，共持续 150 d。为了保证黑麦草的正常生长，这期间共刈割两次，一次是在 7 月 8 日，另一次是在 8 月 27 日。因此，整个实验过程可以分为 3 个处理期。各个处理期间挑选晴朗的日子(6 月 26 日、8 月 21 日及 10 月 8 日)，用美国

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

CID 公司生产的 CI-301PS 便携式光合测定仪，选取植株第二片叶，采用开路法进行净光合速率和蒸腾速率等生理指标的日进程测定。光合有效辐射(PAR)、空气温度和叶片温度等环境因子由 CI-301PS 光合测定仪在测定光合作用的同时获得(图 1)。此外，每次收获时将栽植桶内植物剪取(留茬高度 5 cm)，把绿色部分与枯萎部分分拣开，在 65℃烘箱中烘干后称重，计算绿色部分干物质产量。

1.5 数据处理

参考梁宇等(2001)的算法，将日进程测定的净光合速率和蒸腾速率作累积计算，分别得到净同化累积值和蒸腾累积值，并由此计算得出水分利用效率，即：净同化累积值 = $\Sigma(P_i \times \triangle t)$, 蒸腾累积值 = $\Sigma(E_i \times \triangle t)$，其中 P_i 为每次测定的净光合速率平均值，E_i 为每次测定的蒸腾速率平均值，$\triangle t$ 为测定时间间隔(s)，这里为 7 200(2 h); 水分利用效率 = 净同化累积值 / 蒸腾累积值。所有数据的统计处理均用 SAS 软件处理。

2 结果与分析

2.1 净光合速率日变化

在第一实验处理期的测定日(6 月 26 日)，EI 和 EF 种群的日净光合速率均呈现双峰曲线：第一个高峰出现在上午 9:00，另一个高峰出现在下午 3:00 左右(图 2a)。图 2 显示中氮水平的净光合速率日进程曲线，低氮和高氮水平的曲线走势与中氮水平相同。经统计检验，内生真菌感染对日净同化累积值没有显著影响(表 4)，但在中氮和高氮水平时，EI 种群的日净同化累积值有超过EF种群的趋势(表 1)。EF 种群不同氮水平间的日净同化累积值无显著差异，而 EI 种群中氮素水平的日净同化累积值高于低氮水平(表 1)。

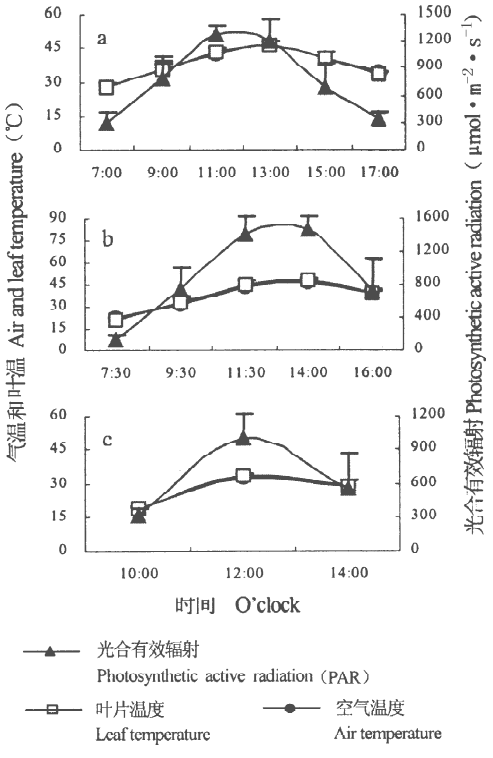


图 1 各个日进程期间环境因子的变化
a. 6 月 26 日； b. 8 月 21 日； c. 10 月 8 日
Fig.1 Changes in environmental factors during three experimental periods
a. June 26； b. August 21； c. October 8

在第二实验处理期的测定日(8 月 21 日)，EI 和 EF 种群的净光合速率日变化曲线都呈单峰型，峰值出现在上午 9:30 左右(图 2b)。尽管由统计检验得出内生真菌感染对黑麦草的日净同化累积值没有显著影响(表 4)，但是同一氮素水平下 EI 种群的日净同化累积值有超过EF种群的趋势(表 2)。EI 种群的三个氮水平之间的日净同化累积值没有显著差异，而 EF 种群中氮水平的日净同化累积值高于低氮水平(表 2)。

在第三实验处理期的测定日(10 月 8 日)，EI 和 EF 种群的净光合速率日变化曲线也是单峰曲线，峰值出现在中午 12:00 左右(图 2c)。由统计检验可知，感染对日净同

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

化累积值没有显著影响(表4)，但是在中氮和高氮水平时，EI种群的日净同化累积值有超过EF种群的趋势(表3)。EI和EF种群的三种氮素水平之间的日净同化累积值没有显著差异，但中氮水平下日净同化累积值有增大趋势(表3)。

2.2 蒸腾速率日变化

在第一实验处理期的观测日(6月26日)，EI和EF种群各个氮素水平下的蒸腾速率曲线都呈双峰形，除EI2外，其他处理的第一个峰值出现在上午9:00，另一个峰值出现在下午1:00左右(图3a)。图3仅显示中氮水平的蒸腾速率日进程曲线，低氮和高氮水平的曲线走势与中氮水平相同。比较EI和EF种群的日蒸腾累积值发现，EI和EF种群的各个氮水平之间以及同一氮水平时的EI和EF种群之间的蒸腾速率均无显著差异(表1)。

在第二实验处理期的观测日(8月21日)，EI和EF种群在各个氮水平下的蒸腾曲线呈早晚低、中午高的单峰曲线，峰值出现在13:00附近，且具有较高的一致性(图3b)。从EI和EF种群的日蒸腾累积值也可以看出，同一氮水平下EI和EF种群均无显著差异并且EI和EF种群

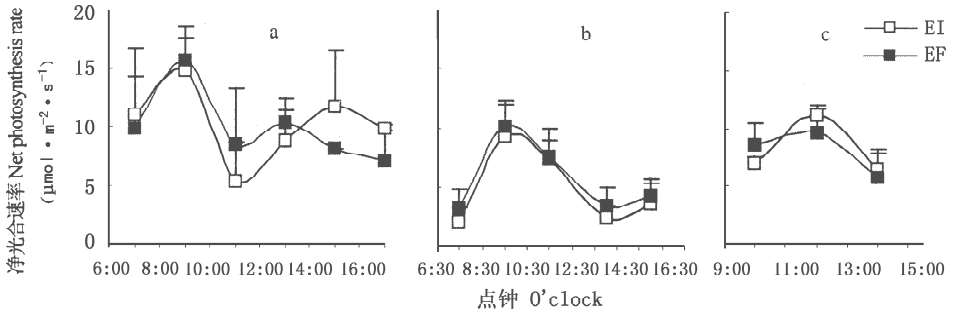


图2 3个实验处理期净光合速率日进程

0、1、2分别代表低氮、中氮和高氮水平；EI、EF分别代表内生真菌感染和非感染植株；a~c. 同图1

Fig.2 Diurnal changes of net photosynthesis rate in the three experimental periods

a ~ c are the same as in Fig.1

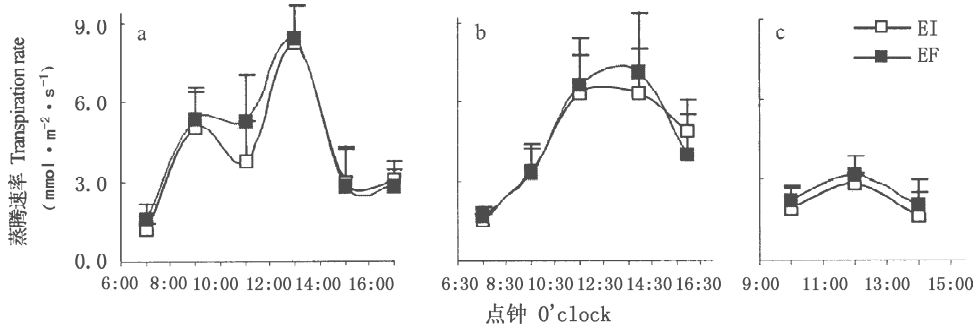


图3 中氮水平3个实验处理期蒸腾速率日进程

a ~ c. 同图1

Fig.3 Diurnal changes of transpiration rate of medium nitrogen level in the three experimental periods

a ~ c are the same as in Fig.1

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

表 1 第一实验处理期日净同化累积值、日蒸腾累积值和水分利用效率

Table 1 Cumulative values of diurnal photosynthesis, diurnal transpiration and water use efficiency of *Lolium perenne* in the first experimental period

实验种群 Trial populations		群体生理指标 Physiological characteristics of EI and EF populations		
		日净同化累积值 Cumulative value of diurnal photosynthesis ($mmol\ CO_2 \cdot m^{-2}$)	日蒸腾累积值 Cumulative value of diurnal transpiration ($mol\ H_2O \cdot m^{-2}$)	水分利用效率 Water use efficiency ($mmolCO_2 \cdot mol^{-1}\ H_2O$)
EI	低氮 Low nitrogen	215.79 ± 60.48^{bc}	140.00 ± 37.64^{a}	1.560 ± 0.205^{a}
	中氮 Medium nitrogen	305.16 ± 7.86^{a}	159.02 ± 16.44^{a}	2.329 ± 0.499^{a}
	高氮 High nitrogen	258.34 ± 59.43^{ab}	159.02 ± 16.44^{a}	1.634 ± 0.389^{a}
EF	低氮 Low nitrogen	239.26 ± 23.34^{bc}	147.05 ± 27.15^{a}	1.668 ± 0.247^{a}
	中氮 Medium nitrogen	197.92 ± 16.98^{c}	130.65 ± 33.53^{a}	1.600 ± 0.371^{a}
	高氮 High nitrogen	250.46 ± 12.29^{abc}	122.02 ± 43.01^{a}	2.318 ± 0.825^{a}

表中数值为：平均值±标准误差，进行同一氮水平下 EI 与 EF 之间及 EI 与 EF 的不同氮水平之间的比较，角标中相同字母则差异不显著，字母不同则差异显著（α =0.05）

Data are presented in the format of mean ± standard error; same letter denotes non-significant difference while different letter denotes a significant difference (α =0.05)

表 2 第二实验处理期日净同化累积值、日蒸腾累积值和水分利用效率

Table 2 Cumulative values of diurnal photosynthesis, diurnal transpiration and water use efficiency of *Lolium perenne* in the second experimental period

实验种群 Trial populations		群体生理指标 Physiological characteristics of EI and EF populations		
		日净同化累积值 Cumulative value of diurnal photosynthesis ($mmol\ CO_2 \cdot m^{-2}$)	日蒸腾累积值 Cumulative value of diurnal transpiration ($mol\ H_2O \cdot m^{-2}$)	水分利用效率 Water use efficiency ($mmolCO_2 \cdot mol^{-1}\ H_2O$)
EI	低氮 Low nitrogen	138.35 ± 9.79^{ab}	150.40 ± 4.89^{a}	0.920 ± 0.069^{a}
	中氮 Medium nitrogen	159.05 ± 38.71^{a}	136.28 ± 6.50^{a}	1.171 ± 0.310^{a}
	高氮 High nitrogen	143.99 ± 19.57^{ab}	149.54 ± 22.81^{a}	0.977 ± 0.141^{a}
EF	低氮 Low nitrogen	105.26 ± 25.64^{b}	125.64 ± 25.67^{a}	0.683 ± 0.094^{a}
	中氮 Medium nitrogen	156.42 ± 48.63^{a}	145.76 ± 22.82^{a}	1.072 ± 0.269^{a}
	高氮 High nitrogen	123.25 ± 27.57^{ab}	135.73 ± 18.19^{a}	0.915 ± 0.180^{a}

同表 1。Notes are the same as table 1

表 3 第三实验处理期日净同化累积值、日蒸腾累积值和水分利用效率

Table 3 Cumulative values of diurnal photosynthesis, diurnal transpiration and water use efficiency of *Lolium perenne* in the third experimental period

实验种群 Trial populations		群体生理指标 Physiological characteristics of EI and EF populations		
		日净同化累积值 Cumulative value of diurnal photosynthesis ($mmol\ CO_2 \cdot m^{-2}$)	日蒸腾累积值 Cumulative value of diurnal transpiration ($mol\ H_2O \cdot m^{-2}$)	水分利用效率 Water use efficiency ($mmolCO_2 \cdot mol^{-1}\ H_2O$)
EI	低氮 Low nitrogen	152.07 ± 20.48^{a}	44.50 ± 7.53^{a}	3.468 ± 0.452^{a}
	中氮 Medium nitrogen	181.51 ± 33.58^{a}	46.08 ± 12.12^{a}	4.038 ± 0.480^{a}
	高氮 High nitrogen	172.70 ± 48.91^{a}	52.50 ± 13.36^{a}	3.305 ± 0.737^{a}
EF	低氮 Low nitrogen	160.39 ± 51.65^{a}	38.73 ± 12.68^{a}	4.181 ± 0.733^{a}
	中氮 Medium nitrogen	171.43 ± 22.75^{a}	53.40 ± 9.41^{a}	3.273 ± 0.466^{a}
	高氮 High nitrogen	144.96 ± 42.47^{a}	46.03 ± 8.33^{a}	3.191 ± 0.863^{a}

同表 1。Notes are the same as table 1

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

各个氮水平间也无显著差异(表 2)。

在第三实验处理期的观测日(10月8日)，EI和EF种群的蒸腾速率日变化曲线也比较相似，都是单峰曲线，峰值出现在中午 12:00 左右(图 3c)。比较 EI 和 EF 种群的日蒸腾累积值发现，EI和EF种群的各个氮水平之间以及同一氮水平下的EI和EF种群之间的蒸腾速率均无显著差异(表 3)。

2.3 水分利用效率变化

三个实验处理期中，内生真菌感染对EI和EF种群的水分利用效率没有显著影响(表4)，但可以看出中氮水平时EI种群的水分利用效率有超过 EF 种群的趋势(表 1、表 2 和表 3)。

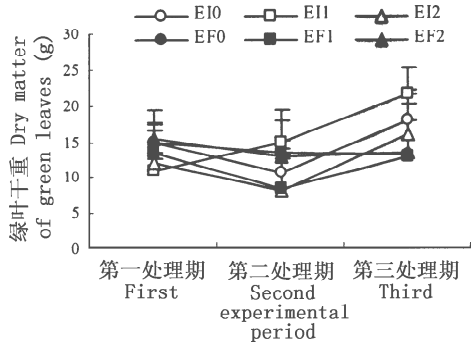


图4 3个实验处理期绿色部分干物质产量的变化 图例同图2

Fig.4 Changes of dry mass yield of herbage in the three experimental periods
0, 1, 2 represent. Low, medium and high nitrogen level; a~c are the same as in Fig.1

2.4 绿色部分干物质产量的变化

从三个实验处理期的绿叶干重变化曲线可以看出：第一实验处理期结束时 EF 种群的绿色部分干物质产量整体上高于 EI 种群，但随着时间的延长，EI 种群的优势渐渐体现出来，在 5 个月后，即第三实验处理期结束时 EI 种群的绿色部分干物质产量明显高于EF种群(图4)。从方差分析可以看出，第三处理期时内生真菌感染对黑麦草绿色部分干物质的产量有显著影响(表5)，另外EI种群是中氮水平的绿叶干重值较高(图 4)。

表4 3个实验处理期日净同化累积值、日蒸腾累积值和水分利用效率的方差分析结果

Table 4 Analysis of variance of cumulative values of diurnal photosynthesis, diurnal transpiration and water use efficiency of *Lolium perenne* in the three experimental periods

	日净同化累积值 Cumulative value of diurnal photosynthesis (mmol $CO_2 \cdot m^{-2}$)			日蒸腾累积值 Cumulative value of diurnal transpiration (mol $H_2O \cdot m^{-2}$)			水分利用效率 Water use efficiency (mmol$CO_2 \cdot mol^{-1}$ H_2O)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
内生真菌 Endophyte	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
氮水平 Nitrogen level	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交互作用 Interaction	**	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS

NS. Not-significant; *. $p < 0.05$; **. $p < 0.01$；1. The first experimental period；2. The second experimental period；3. The third experimental period

表5 3个实验处理期绿色部分干物质产量的方差分析结果

Table 5 Analysis of variance of dry matter yield of herbage in the three experimental periods

	第一处理期 The first experimental period	第二处理期 The second experimental period	第三处理期 The third experimental period
内生真菌 Endophyte	NS	NS	*
氮水平 Nitrogen level	NS	NS	NS
交互作用 Interaction	NS	**	NS

NS. Not-significant; *. $p < 0.05$; **. $p < 0.01$

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

3 讨论

Belesky等(1987)以单株高羊茅为研究对象时发现，EF和EI两种植株的干重在低氮水平下无显著差异，但在较高的氮水平下EI植株的干重比EF植株高出50%，在更高的氮水平下EI植株能比EF植株高出67%。Richardson等(1999)发现在温室条件下以紫羊茅(*Fectuca rubra*)的内生真菌感染植株的生物量增加了54%，氮素吸收提高了58%，但Lewis等(1996)和Ravel等(1997)指出内生真菌和氮素水平对多年生黑麦草的生物量和氮肥吸收并没有影响。可见，不同宿主植物及实验环境对实验结果是有影响的。本实验发现前两个实验处理期里内生真菌和氮素水平对地上绿色部分干物质产量无显著影响，但随着生长时间的延长，在第三处理期里内生真菌就有显著作用了。这说明内生真菌在宿主植物体内发挥作用是需要一定的时间的。

关于内生真菌侵染对植物光合和蒸腾等生理特征的影响，国内外报道得不多。内生真菌能否增强宿主植物的光合作用，还存在一些争议。Belesky等(1987)在对高羊茅光合活性的研究时发现，当光照强度增加时EF植株具有更强的光合能力，考虑到EI植株可以积累更多的生物量，因此Belesky等(1987)认为EF植株利用光合产物的效率较EI植株低，这反映了EF植株合理调节气孔关闭的能力较低。Richardson等(1990)发现，高羊茅的净光合速率在实验中的四个基因型上存在差异，而在EI与EF之间不存在确定的差异。本文中的三个实验处理期里，内生真菌感染对黑麦草净光合速率、蒸腾速率以及水分利用效率均无显著性影响(表4)，但在中氮和高氮水平时，感染种群的净同化累积值都有超过非感染种群的趋势(表1、表2和表3)。这说明内生真菌侵染对多年生黑麦草光合、蒸腾等生理特性有一定的增强作用。梁宇等(2001)研究了干旱胁迫下内生真菌感染对黑麦草实验种群光合、蒸腾和水分利用的影响，结果表明，在干旱胁迫后期且是重度胁迫下，EI种群的净同化速率高于EF种群。这也说明了在特定条件下经历一定时间后，EI与EF种群在净同化积累上的差异才能反映出来。

关于氮素对植物光合特性和生物量的影响，国内外报道得较多。在一定范围内，施氮量越多，光合速率就越高，生物量越大。本实验未能反映出氮素浓度越大，净光合速率越大这个规律，可能是因为氮素超过一定值会降低同化速率。Evans(1983)发现，小麦(*Triticum aestivum* L.)叶片CO_2的固定只与叶片含氮量有关，但叶片含氮量超过125 mmol·m^{-2}时，同化速率则降低。本实验结果表明，无论是日净同化累积值还是地上部绿色部分干物质产量，EI种群均是中氮水平时最高。这说明在适度的氮素水平下EI种群可能会获得更高的光合产物累积和生物量。Belesky等(1989)发现，大多数高山羊茅(*Festuca ovina* var. *brachyphylla* (Schult.) Piper)无性系在适度施氮和浇水时内生真菌感染使植物的生物量增加(平均增加了15%)。Belesky等(1989)指出，在低氮或高氮条件下内生真菌感染对田间高羊茅植株光合产物的累积不产生任何影响，与本实验结果一致。

参 考 文 献

梁宇，高玉葆，陈世苹，任安芝，2001. 干旱胁迫下内生真菌感染对黑麦草实验种群光合、蒸腾和水分利用的影响. 植物生态学报，**25**：537~543

Arechavaleta M, Bacon C W, Plattner R D, Hoveland C S, Radcliffe D E, 1992. Accumulation of ergopeptide alkaloids in symbiotic tall fescue grown under deficis of soil water and nitrogen fertilizer. *Appl Environ Microbiol*, **58**:

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070

857~861

Bacon C W, Siegel M R, 1988. Endophyte parasitism of tall fescue. *J Prod Agric*, **1**: 45~55

Belesky D P, Devine O J, Pallas J E Jr, Stringer W C, 1987. Photosynthetic activity of tall fescue as influenced by a fungal endophyte. *Photosynthetica*, **21**: 82~87

Belesky D P, Stringer W C, Hill N S, 1989. Influence of endophyte and water regime upon tall fescue accessions. Ⅰ. Growth characteristics. *Ann Bot*, **63**: 495~503

Clay K, 1994. The potential role of endophytes in ecosystems.In: Bacon C W, White J F eds. Biotechnology of Endophytic Fungi of Grasses. London: CRC Press, 73~86

Evans R J, 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Physiol*, **72**: 297~302

Faeth S H, Bush L P, Sullivan T J, 2002. Peramine alkaloid variation in *Neotyphodium*-infected *Arizona* fescue: effects of endophyte and host genotype and environments. *J Chem Ecol*, **28**: 1511~1526

Lewis G C, Bakken A K, MacDuff J H, Raistrick N, 1996. Effect of infection by the endophytic fungus *Acremonium lolii* on growth and nitrogen uptake by perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in flowing solution culture. *Ann Appl Biol*, **129**: 451~460

Ravel C, Courty C, Coudret A, Charmet G, 1997. Beneficial effects of *Neotyphodium lolii* on the growth and the water status in perennial ryegrass cultivated under nitrogen deficiency or drought stress. *Agronomie*, **17**: 173~181

Richardson M D, Bacon C W, Hoveland C S, 1990. The effect of endophyte removal on gas exchange in tall fescue. In: Quisenberry S S, Joost R E eds. Proceedings of the International Symposium on *Acremonium*/ Grass Interactions. LA: Louisiana Agricultural Experiment Station, 189~193

Richardson M D, Cabrera R I, Murphy J A, Zaurov D E, 1999. Nitrogen-form and endophyte-infection effects on growth, nitrogen uptake, and alkaloid content of chewing fescue turfgrass. *J Plant Nutr*, **22**: 67~79

Siegel M R, 1993. *Acremonium* endophytes: our current state of knowledge and future directions for research. *Agric Ecosyst Environ*, **44**: 301~321

Yue Q, Johnson-Cicalese J, Gianfangna T J, Meyer W A, 2000. Alkaloid production and chinch bug resistance in endophyte-inoculated chewings and strong creeping red fescues. *J Chem Ecol*, **16**: 279~292

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-070