

中华羊茅内生真菌共生体对多年生黑麦草种子萌发和幼苗生长的影响

李苗苗,古丽君,马碧花,王美宁,蔺伟虎,许文博,旷宇,田沛

(兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室/兰州大学农业农村部草牧业创新重点实验室/
兰州大学草地农业科技学院,甘肃兰州 730020)

摘要:以青海和四川6个不同地理种群内生真菌侵染(E+)和未侵染的(E-)中华羊茅(*Festuca sinensis*)为材料,研究其对多年生黑麦草(*Lolium perenne*)品种维纳斯(Venus)和绅士(Esquire)种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明:与对照相比,Venusl发芽率、发芽势、发芽指数、种子活力指数、胚根长在种群99、141草粉处理下均显著下降($P < 0.05$),Esquire发芽势、发芽指数、种子活力指数在种群41和99草粉处理下均显著下降($P < 0.05$);同一地理种群84草粉处理Esquire,E+的发芽势和发芽指数显著低于E- ($P < 0.05$),种群41草粉处理E+的总生物量显著低于E- ($P < 0.05$);在相同处理下,Venusl品种的发芽率、发芽势、发芽指数、种子活力指数和胚芽长显著低于Esquire品种的发芽率、发芽势、发芽指数、种子活力指数和胚芽长,说明内生真菌能够影响黑麦草的萌发,且不同地理种群对其种子萌发作用不同,中华羊茅草粉对Venus的抑制作用更强,E+草粉的抑制作用强于E-。

关键词:中华羊茅;内生真菌;多年生黑麦草;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S 330.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)01-0035-08

自然界中大多数陆生植物都可与微生物形成互利共生或内寄生关系,禾草内生真菌是广为关注和研究的内生真菌之一^[1-3]。禾草内生真菌是指在禾草体内度过全部或大部分生活周期,而宿主不显示任何外部症状的一大类真菌^[4-5]。目前,对禾草内生真菌的研究主要集中在广泛分布于冷季型禾草中的香柱菌(*Epichloë*)属及其无性态 *Neotyphodium* 属,内生真菌因具有提高群落竞争性、增强宿主抗逆性等优点而受到越来越多的关注。禾草和内生真菌之间存在互惠共生关系,主要表现在禾草能够为内生真菌的生长提供碳源和矿物质,而内生真菌不仅能够促进禾草的生长,提高对不良环境的抵抗能力、还能减少食草动物采

食等,从而提高宿主生态适应性,增强种群竞争力^[6-7]。禾草内生真菌共生体的研究包括内生真菌对宿主生长的影响^[8-11];对盐胁迫、干旱、病虫害、重金属等逆境下宿主抗逆性的影响^[12-18];对禾草内生真菌的分离鉴定及对毒性的改良^[19-20];以及对共生体进化过程和途径的探索等方面^[21]。

多年生黑麦草(*Lolium perenne*)为禾本科(Poaceae)黑麦草属多年生疏丛型草本植物,是世界范围内一种重要的冷季型草坪草^[22],生长快、分蘖多、繁殖力强、品质好、再生性强、质地柔软、株型外观优美,是草坪建植的良好品种。它原产北非、西南欧和亚洲西南的温带地区,现广泛分布于各温带地区^[23]。

化感作用(Allelopathy)是指植物通过向自身所处的外界环境中释放某些化学物质(化感物质)进而对周围环境中的其他植物或微生物产生有利或不利影响,从而使植物在生长竞争中处于有利地位,获得生长优势。目前,有关内生真菌化感作用的研究报道,主要集中在多年生黑麦草^[24-26]和高羊茅(*Festuca arundinacea*)^[27-28],研究表明内生真菌的浸染可以提高宿主植物的化感作用。中华羊茅(*Festuca sinensis*)的叶较纤

收稿日期:2018-07-27; 修回日期:2018-09-19

基金项目:国家自然科学基金项目(31502001);国家基础研究发展规划“973”(2014CB138702)项目资助

作者简介:李苗苗(1992-),女,甘肃陇西人,在读硕士,研究方向为禾草内生真菌。

E-mail:limm16@lzu.edu.cn

田沛为通讯作者。E-mail:tianp@lzu.edu.cn

细,茎部为紫色,根为须根。其分蘖能力强,叶量丰富且枯黄时间晚,产量较为稳定,有较强的适应性。但中华羊茅单播时,常因杂草丛生而影响其产量,因此,多与其他牧草伴生时产量更佳。为探究其化感作用,以未浸染内生真菌的多年生黑麦草为材料,研究中华羊茅带菌(E+)和不带菌(E-)草粉对多年生黑麦草种子萌发的影响,为同一生境内生真菌共生体与黑麦草的生长提供理论依据,以期中华羊茅内生真菌的开发和利用提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2017 年 8 月在兰州大学草地农业科技学院试验地采集已生长 3 年的 6 个不同地理种群的中华羊茅被内生真菌侵染的(E+)与未侵染的(E-)植株地上部分(离地面 1 cm 收集样品),用剪刀将离地面 1 cm 整株植物剪下后分别置于 15 mL 离心管中,放于液氮罐中带回实验室,经冷冻干燥机低温干燥 48 h/−80℃

(Labconco FreeZone Plus 6 L, LBC # 7934030, 美国),后用组织研磨仪研磨(RETSCHE MM400, 25frqucey/1 min),过 2 mm 筛,将研磨后的草粉装入 3 号自封袋中,4℃保存备用(表 1)。

1.2 供试种子

两种不同品种的多年生黑麦草种子 Venus 和 Esquire,购于百绿公司。经苯胺蓝检测法^[8],对种子进行内生真菌检测,检测结果为均不带内生真菌。

1.3 试验方法

灭菌的培养皿(直径 9 cm)中分别加入 E+ 和 E- 中华羊茅草粉 1 g^[24],摇匀后盖上 2 层灭菌的滤纸,加入 10 mL 蒸馏水,浸泡 24 h。分别选取大小均匀,饱满的多年生黑麦草种子用 5% 次氯酸钠消毒 5 min,再用无菌水冲洗 3 次,继续用 75% 酒精消毒 3 min,再用无菌水冲洗 3 次,用无菌滤纸将种子表面的水分吸干后均匀的摆放于含有灭菌滤纸的 9 cm 培养皿中,每皿放置 50 粒种子,以不加中华羊茅草粉,只放灭菌滤纸为对照。用封口膜(4"×125 FT/Roll)密封,试验共

表 1 不同地理种群中华羊茅

Table 1 Description of different ecotypes of *F. sinensis*

寄主生态型	采集地点	位置	海拔/m
41	青海省平安县巴藏沟乡	N 36°20', E 102°06'	3 129
57	青海省平安县巴藏沟乡	N 36°20', E 102°06'	2 994
84	青海省平安县沙沟乡	N 36°17', E 102°05'	3 032
99	青海省平安县古城镇	N 36°50', E 102°10'	3 060
111	四川省红原县二农场	N 32°26', E 102°32'	3 491
141	青海省平安县石灰窑乡	N 36°38', E 101°89'	2 991

设置 26 个处理,每个处理 4 个重复。将培养皿置于人工变温光照培养箱(温度 25℃/15℃ 日/夜;光周期为 16 h/8 h 光/暗;光照度 5 000 lx),胚根长度超过 2 mm 视为发芽,每天记录发芽的种子数,第 5 d 进行种子发芽势的测定,12 d 后计算最终发芽率。21 d 后每个重复随机选取 10 株幼苗,测定其鲜重、干重、胚根长和胚芽长,并计算发芽率、活力指数、发芽指数、胚根胚芽比、幼苗含水量。指标计算方法参照文献^[25]的方法进行。

1.4 数据处理

试验所有数据用 Microsoft Excel 2010 录入并作图。各指标用 SPSS 19.0 分析软件进行单因素方差分析、独立样本 *t* 检验和 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 中华羊茅草粉对多年生黑麦草种子萌发特性的影响

2.1.1 发芽率和发芽势 与对照相比,不同地理种群中华羊茅草粉均抑制了多年生黑麦草种子萌发,但抑制作用不尽相同。对 Venus, E+ 种群处理的样品中仅有 99 和 141 两个种群处理的黑麦草种子的发芽率显著低于对照($P < 0.05$),而 E- 种群处理的样品中,41、99、111 和 141 种群处理的黑麦草种子的发芽率显著低于对照($P < 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire 的抑制作用较弱,6 个种群处理下,仅有 99 一个种群的 E+ 和 E- 处理的黑麦草种子发芽率显著低于

对照($P < 0.05$)。而在同一地理种群的 E+ 和 E- 中华羊茅草粉处理下,对品种 Esquire,只有 41 处理的种子 E+ 发芽率(83.33%)显著高于 E- 的发芽率($P <$

0.05),其他 5 个地理种群间无显著差异。而对品种 Esquire,E+ 和 E- 中华羊茅草粉之间均无显著差异(图 1)。

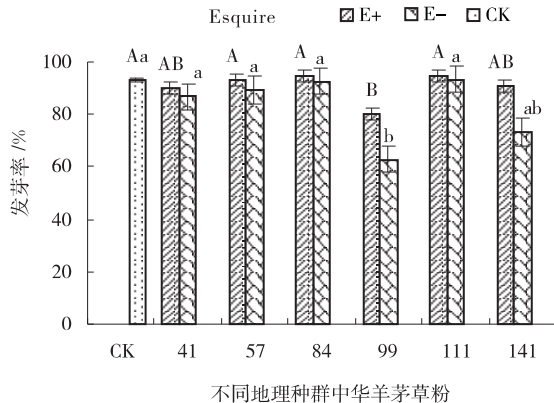
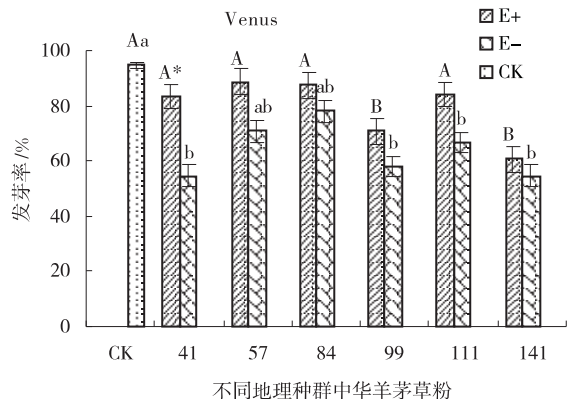


图 1 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的发芽率

Fig. 1 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on germination rate of perennial ryegrass

注:大写字母表示带菌(E+),小写字母表示不带菌(E-)的不同地理种群中华羊茅草粉对多年生黑麦草种子萌发之间差异显著($P < 0.05$); * 表示同一地理种群中华羊茅带菌(E+)和 不带菌(E-)之间具有差异显著($P < 0.05$),下同

多年生黑麦草种子发芽势受到中华羊茅草粉 E+ 和 E- 的影响。对品种 Venus,E+ 种群处理的样品中,41、99、111 和 141 种群处理的黑麦草种子的发芽势显著低于对照($P < 0.05$),而 E- 种群处理的黑麦草种子发芽势均显著低于对照($P < 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire 表现为 E+ 种群中 41、84、99 和 141 种群处理的黑麦草种子的发芽势显著低于对照(P

< 0.05),E- 中均仅有 41 和 99 两个种群处理的黑麦草种子发芽势显著低于对照($P < 0.05$)。而同一地理种群的 E+ 和 E- 中华羊茅草粉处理下,对品种 Venus,E+ 和 E- 中华羊茅草粉均无显著差异。对品种 Esquire,只有种群 84 和 141 的 E+ 处理的黑麦草种子的发芽势显著低于 E- 处理的黑麦草种子的发芽势($P < 0.05$),其它 4 个地理种群间无显著差异(图 2)。

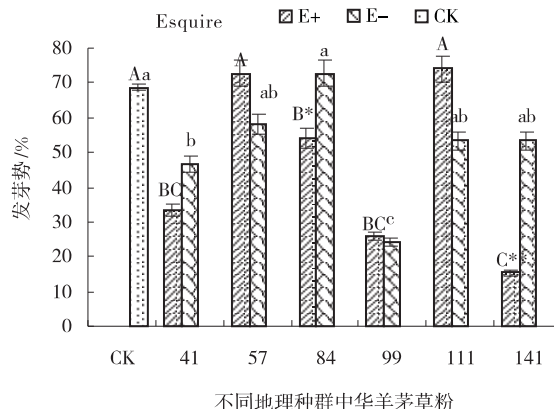
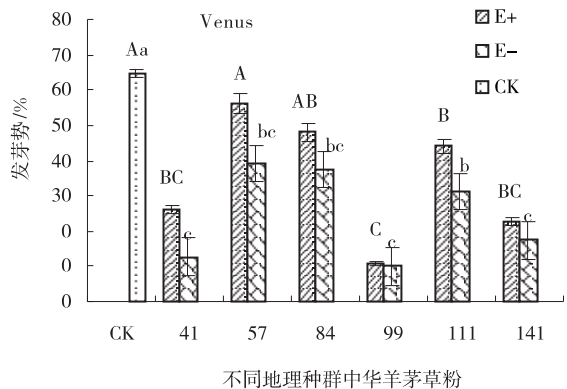


图 2 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的发芽势

Fig. 2 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on germination energy of perennial ryegrass

2.1.2 发芽指数和活力指数 Venus 和 Esquire 的发芽指数随着不同地理种群中华羊茅草粉的变化而变化(图 3)。对品种 Venus,E+ 种群处理的样品中,41、99、111 和 141 种群处理的种子发芽指数显著低于对照($P < 0.05$),而 E- 种群处理的样品种子发芽指数均显著低于对照($P < 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire 表现为 E+ 种群中 41 和 99 种群处理的黑麦

草种子发芽指数显著低于对照($P < 0.05$),E- 中均仅有 99 一个种群处理的黑麦草种子的发芽指数显著低于对照($P < 0.05$)。而同一地理种群的 E+ 和 E- 中华羊茅草粉处理下,对品种 Venus,只有 57 的 E+ 处理的黑麦草种子发芽率(66.9%)显著高于 E- 处理的黑麦草种子发芽率($P < 0.05$),其他 5 个地理种群间无显著差异。而对品种 Esquire,种群 84 E+ 处理的

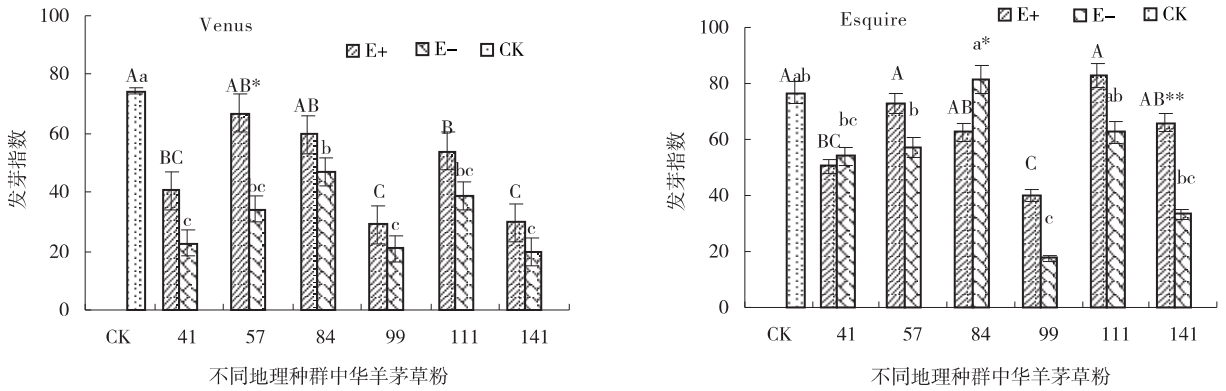


图 3 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的发芽指数

Fig. 3 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on germination index of perennial ryegrass

黑麦草种子的发芽指数显著低于 E- 处理的黑麦草种子的发芽指数 ($P < 0.01$), 种群 141 E+ 处理的黑麦草种子发芽指数显著高于 E- 发芽指数 ($P < 0.05$), 其他几个地理种群间差异不显著。

在不同地理种群中华羊茅草粉处理下, 多年生黑麦草的种子活力指数不同。品种 Venus E+ 种群处理的样品中, 41、84、99、111 和 141 种群处理的黑麦草种子的种子活力指数显著低于对照 ($P < 0.05$), 而 E- 种群处理的样品中, 41、57、99、111 和 141 地理种群处理的黑麦草种子的种子活力指数均显著的低于对照

($P < 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire 表现为 E+ 和 E- 种群中仅有 99 一个种群处理的黑麦草种子的种子活力指数显著低于对照 ($P < 0.05$), 其他 5 个地理种群处理的黑麦草种子的种子活力指数与对照相比没有显著差异性。而同一地理种群的 E+ 和 E- 中华羊茅草粉处理下, 对品种 Venus, 只有种群 57 和 111 处理的黑麦草种子 E+ 种子活力指数显著高于 E- 的种子活力指数, 其他 4 个地理种群间无显著差异。而对品种 Esquire, 仅有种群 99E+ 和 E- 中华羊茅草粉之间有显著差异 ($P < 0.05$) (图 4)。

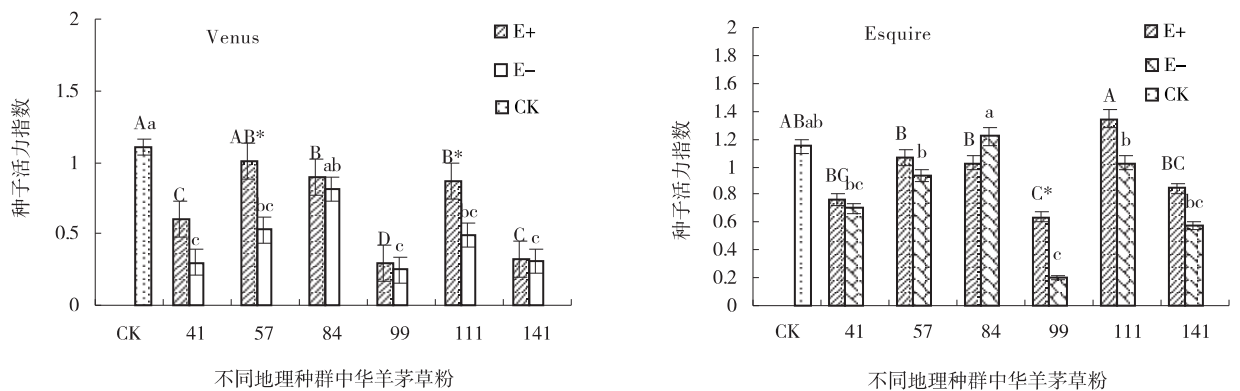


图 4 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的活力指数

Fig. 4 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on seed vigor index of perennial ryegrass

2.2 中华羊茅草粉对多年生黑麦草幼苗生长的影响

2.2.1 胚芽长和胚根长 不同地理种群中华羊茅内生真菌共生体对多年生黑麦草胚芽的生长的作用不同。对品种 Venus, E+ 种群处理的样品中, 84、111 和 141 种群处理的黑麦草种子胚芽长显著高于对照 ($P < 0.05$), 而 E- 种群中 6 个地理种群处理的黑麦草种子胚芽长与对照相比没有显著差异 ($P > 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire 表现为 E+ 种群中仅

有 57、111 两个种群处理的黑麦草种子胚芽长显著高于对照 ($P < 0.05$), 而 E- 种群处理的样品中, 57、111 和 141 的胚芽长显著高于对照 ($P < 0.05$)。而同一地理种群的 E+ 和 E- 中华羊茅草粉处理下, 对品种 Venus, 只有种群 141 处理的黑麦草种子 E+ 胚芽长显著高于 E- 的胚芽长 ($P < 0.05$), 其他 5 个地理种群间无显著差异。而对品种 Esquire, E+ 和 E- 中华羊茅草粉之间均无显著差异 (图 5)。

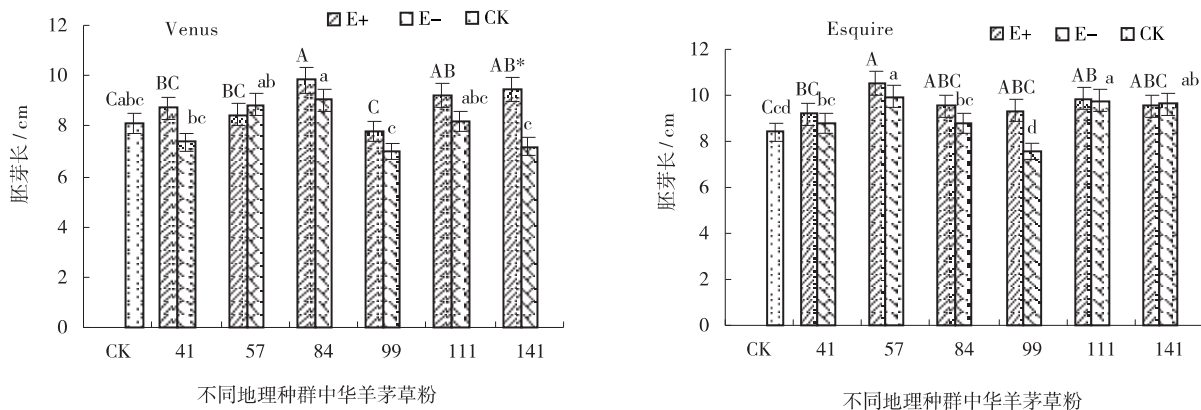


图 5 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的胚芽长

Fig. 5 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on plumule length of perennial ryegrass

多年生黑麦草的胚根长受中华羊茅带菌(E+)和不带菌(E-)的影响。不同地理种群中华羊茅草粉处理品种 Venus, E+种群处理的样品中, 41、84、99、111 和 141 种群处理的黑麦草种子胚根显著低于对照($P < 0.05$), 而 E-种群中 6 个地理种群处理的黑麦草种子胚根长均显著的低于对照($P < 0.05$)。Esquire 经中华羊茅草粉处理, 6 个地理种群处理的黑麦草种子 E+胚根长均显著高于对照的胚根长(P

< 0.05), 而 E-种群除 41 处理的黑麦草种子外, 其他 5 个地理种群处理的黑麦草种子胚根长均显著高于对照($P < 0.05$)。而同一地理种群的 E+和 E-中华羊茅草粉处理下, 对品种 Venus, 只有种群 5 处理的黑麦草种子的 E+胚根长显著高于 E-的胚根长($P < 0.05$), 其他 5 个地理种群间无显著差异。而对品种 Esquire, E+和 E-中华羊茅草粉之间均无显著差异(图 6)。

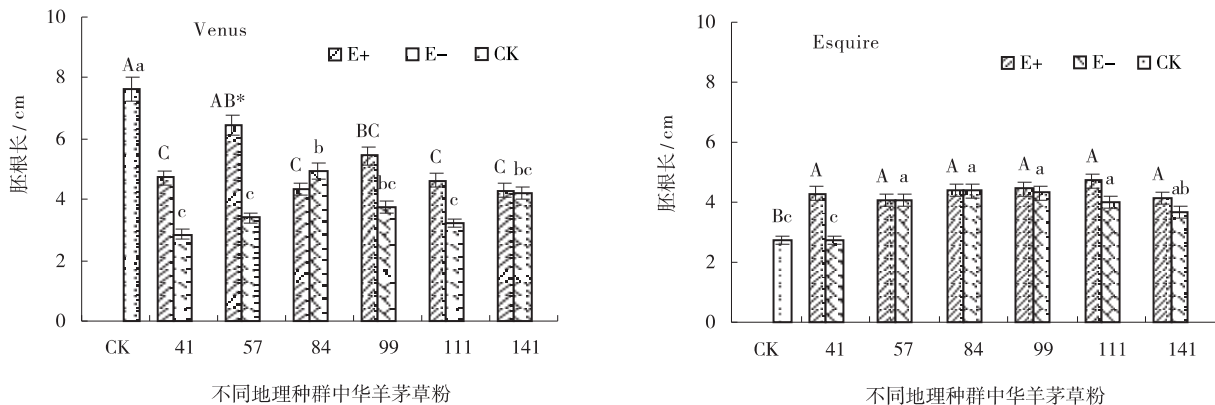


图 6 不同地理种群中华羊茅草粉处理下多年生黑麦草种子的胚根长

Fig. 6 Effect of extracts of different ecotypes *F. sinensis* on radicle length of perennial ryegrass

2.2.2 幼苗总生物量 不同地理种群中华羊茅草粉处理对多年生黑麦草幼苗的总生物量也产生不同程度的影响。对 Venus, E+种群处理的样品中 99 总生物量最大, 各地理种群与对照相比差异不显著($P > 0.05$), 而 E-种群处理的样品中, 141 总生物量最大, 各地理种群与对照相比差异不显著($P > 0.05$)。而中华羊茅草粉对品种 Esquire, E+和 E-种群处理的样品, 对照(CK)组的总生物量为 0.003 8 g, 与处理组差异不显著($P > 0.05$)。而在同一地理种群的 E+和 E-中华羊茅草粉处理下, 6 个地理种群处理的黑

麦草品种 Venus 的种子均无显著差异($P > 0.05$)。仅有种群 41E+处理的黑麦草品种 Esquire 的种子的总生物量显著低于 E-的总生物量($P < 0.05$), 其他 5 个地理种群间无显著差异($P > 0.05$)(表 2)。

2.2.3 不同地理种群中华羊茅草粉对 2 种多年生黑麦草几项生长指标影响的相关性分析 在不同地理种群中华羊茅草粉处理下, 多年生黑麦草的生长指标间的相关性不同。Venus 的胚芽长与胚根长呈显著正相关($P < 0.05$), 与鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$), 胚根长与根芽比呈极显著正相关($P < 0.01$), Esquire 的

胚芽长与鲜重呈显著正相关($P < 0.05$)(表 3)。

表 2 中华羊茅草粉处理下 2 种多年生黑麦草幼苗的总生物量

Table 2 Effect of extracts of *F. sinensis* on total biomass of perennial ryegrass g

种群	带菌状况	总生物量	
		Venus	Esquire
41	E+	0.003 4±0.000 1 ^{bc}	0.003 1±0.000 01 ^b
	E-	0.003±0.000 3 ^c	0.006 1±0.002 7 ^a
57	E+	0.003 7±0.000 2 ^{abc}	0.003 2±0.000 1 ^b
	E-	0.003 ⁵ ±0.000 ² ^{bc}	0.002 7±0.000 1 ^b
84	E+	0.003 3±0.000 ¹ ^{bc}	0.002 6±0.000 1 ^b
	E-	0.003 4±0.000 2 ^{bc}	0.002 4±0.000 2 ^b
99	E+	0.005 2±0.000 8 ^a	0.004 4±0.000 1 ^{ab}
	E-	0.003 8±0.000 5 ^{abc}	0.002 5±0.001 2 ^b
111	E+	0.004 6±0.000 4 ^{ab}	0.004 5±0.000 3 ^{ab}
	E-	0.004 2±0.001 1 ^{abc}	0.003 1±0.000 4 ^b
141	E+	0.002 9±0.000 2 ^c	0.003 6±0.000 ² ^{ab}
	E-	0.004±0.000 1 ^{abc}	0.002 6±0.000 1 ^b
CK	/	0.004±0.000 1 ^{abc}	0.003 8±0.000 4 ^{ab}

注:不同字母表示同一品种不同地理种群处理间差异显著($P > 0.05$)

3 讨论

种子和幼苗是植物生活史必经的重要阶段,其生长发育受生物和非生物胁迫的影响更为明显,对环境的适应能力直接的体现物种的竞争能力、分布范围和丰富程度^[21]。并且种子和幼苗也是植物生活史的薄弱环节,是建植的关键时期。试验以不同地理种群带菌(E+)和不带菌(E-)的中华羊茅草粉为材料,研究了不同地理种群 E+和 E-中华羊茅草粉对多年生黑麦草种子萌发的影响,以模拟田间自然条件下中华羊茅生长对多年生黑麦草的作用,结果表明中华羊茅草粉对多年生黑麦草的萌发具有一定的抑制作用。

Venus 与对照相比,E+种群 99 和 141 处理的样品对多年生黑麦草种子发芽率有抑制作用,E+种群 41、99、111 和 141 处理的样品对多年生黑麦草种子发芽势、种子活力指数、发芽指数和胚根长具有抑制作用;对 Esquire,E+种群 99 处理的样品对多年生黑麦草种子发芽率和活力指数具有抑制作用,E+种群 41 和 99 处理的样品均对多年生黑麦草种子发芽势和发

表 3 中华羊茅草粉作用下 2 种多年生黑麦草 6 项生长指标间的相关性

Table 3 Correlations among 6 growth criteria of perennial ryegrass treated with *F. sinensis*

	胚芽长	胚根长	鲜重	干重
1	0.404*	0.518**	-0.102	0.087
1	1	-0.446**	0.221	-0.039
1	0.073	1	-0.104	0.887**
1	0.311	0.249	1	-0.346*
1	0.311	0.249	1	-0.313
1	0.311	0.249	1	1
1	0.112	0.359*	-0.056	0.087
1	0.08	1	-0.203	0.006
1	0.08	1	-0.258	0.077
1	0.08	1	-0.258	-0.108
1	0.08	1	-0.258	-0.553**
1	0.08	1	-0.258	1
1	0.08	1	-0.258	-0.001
1	0.08	1	-0.258	1

芽指数有抑制作用。研究表明,2 种不同生态型受 *Neotyphodium lolii* 侵染的多年生黑麦草其产生的生物碱含量不同^[27]。内生真菌产生的次生代谢物参与了植物的化感作用中,对多年生黑麦草的生长产生了抑制作用。不同种群的中华羊茅生态型具有明显的差异性,且禾草内生真菌与不同生态型和生境的相互作用也对周围共生植物有显著的影响。Venus 与对照相比,E-的 6 个种群均对其发芽势,发芽指数和胚根长具有抑制作用;Esquire,E-种群 99 处理的样品对多年生黑麦草种子发芽率、发芽指数、发芽势和种子活力指数均具有抑制作用。这与黄玺等^[28]在不带菌醉马草提取液浓度为 0.20 g/mL 条件下对针茅(*Stipa capillata*)和硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)幼苗生长

具有显著抑制作用的结果相一致。与 E-相比,E+种群除 41 外,其他 5 个地理种群均对黑麦草的胚根长具有促进作用,与南志标等^[8]研究的内生真菌可显著促进布顿大麦草生长的结果相似。Venus 和 Esquire 的胚芽长与鲜重均呈显著正相关。与 E-相比,种群 41E+中华羊茅草粉显著抑制了 Esquire 品种的总生物量($P < 0.05$)。这与 Prestidge^[28]研究发现 E+多年生黑麦草水浸提液抑制白三叶根长和苗长的结果一致。Springer^[27]的研究也证明了 E+高羊茅对三叶草生长的抑制作用强于 E-。

4 结论

不同地理种群中华羊茅 E+与 E-草粉对黑麦草

的化感作用不同,且不同受体植物对同一地理种群中华羊茅的表现不同。中华羊茅内生真菌能促进寄主产生化感物质提高其与其他植物的竞争能力。研究结果表明,在模拟同一生境下,伴生草种中华羊茅对多年生黑麦草的生长具有抑制作用,且不同生态型对其抑制作用不同。

参考文献:

- [1] Easton H S. Grasses and *Neotyphodium* endophytes: co-adaptation and adaptive breeding[J]. *Euphytica*, 2007, 154(3): 295—306.
- [2] Brundrett M C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis[J]. *Plant & Soil*, 2009, 320(1—2): 37—77.
- [3] Rodriguez R J, Jr J F W, Arnold A E, *et al.* Fungal endophytes: diversity and functional roles [J]. *New Phytologist*, 2009, 182(2): 314.
- [4] Siegel M R, Latch G C M, Johnson M C. Fungal endophytes of grasses[J]. *Annual review of phytopathology*, 1987, 25(1): 293—315.
- [5] 南志标,李春杰. 禾草-内生真菌共生体在草地农业系统中的作用[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 605—616.
- [6] Clay K. The ecology and evolution of endophytes[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 1993, 44(1—4): 39—64.
- [7] Clay K, Scharl C. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses[J]. *the american naturalist*, 2002, 160(4): 99—127.
- [8] 南志标. 内生真菌对布顿大麦草生长的影响[J]. *草业科学*, 1996(1): 16—18.
- [9] Latch G C M, Hunt W F, Musgrave D R. Endophytic fungi affect growth of perennial ryegrass. [J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1985, 28(1): 165—168.
- [10] 李春杰. 醉马草-内生真菌共生体生物学与生态学特性的研究[D]. 兰州:兰州大学, 2005.
- [11] Li C J, Zhang X X, Li F, *et al.* Disease and pests resistance of endophyte infected and non-infected drunken horse grass [C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Fungal Endophytes of Grasses. Dunedin, New Zealand: New Zealand Grassland Association, 2007: 111—114.
- [12] Zhang X X, Li C J, Nan Z B. Effects of cadmium stress on growth and anti-oxidative systems in *Achnatherum inebrians* symbiotic with *Neotyphodium gansuense* [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 175(1): 703—709.
- [13] 张兴旭. 醉马草-内生真菌共生体对胁迫的响应及其次生代谢产物活性的研究[D]. 兰州:兰州大学, 2012.
- [14] 金文进,李春杰,南志标. 中华羊茅内生真菌 *Neotyphodium* sp. 生物学与生理学特性的研究[J]. *菌物学报*, 2009, 28(3): 363—369.
- [15] Panaccione D G, Tapper B A, Lane G A, *et al.* Biochemical outcome of blocking the ergot alkaloid pathway of a grass endophyte. [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2003, 51(22): 6429—6437.
- [16] Clay K, Scharl C. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses[J]. *The American Naturalist*, 2002, 160(S4): S99.
- [17] Romani M, Piano E, Pecetti L. Collection and preliminary evaluation of native turfgrass accessions in Italy. [J]. *Genetic Resources & Crop Evolution*, 2002, 49(4): 341—349.
- [18] Lamp C A, Forbes S J, Cade J W. Grasses of temperate Anstralia-A Field Guide. Inkata Press and CH Jerram & Associates Science Publishers. 2001.
- [19] Prestidge R A, Thom E R, Marshall S L, *et al.* Influence of *Acremonium lolii* infection in perennial ryegrass on germination, emergence, survival, and growth of white clover [J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1992, 35(2): 225—234
- [20] Sutherland B L, Hume D E, Tapper B A. Allelopathic effects of endophyte infected perennial ryegrass extracts on white clover seedlings [J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1999, 42(1): 19—26.
- [21] Springer T L. Allelopathic Effects on Germination and Seedling Growth of Clovers by Endophyte-Free and -Infected Tall Fescue [J]. *Crop Science*, 1996, 36(6): 1639—1642.
- [22] Bush L P, Wilkinson H H, Scharl C L. Bioprotective Alkaloids of Grass-Fungal Endophyte Symbioses [J]. *Plant Physiology*, 1997, 114(1): 1.
- [23] 旷宇. 中华羊茅-内生真菌共生体的筛选与鉴定[D]. 兰州:兰州大学, 2016.
- [24] 徐冉,续荣治. 用荞麦秸秆粉防除杂草的初步研究[J]. *植物保护*, 2002, 28(5): 24—26.
- [25] 汪建军,麻安卫,汪治刚,等. 不同温度和 PEG 处理对中华羊茅种子萌发的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(4): 73—

80.

- [26] 钟松,王文妮,周连玉,等. 中华羊茅内生真菌发酵液对种子萌发特性的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(5): 736—739.
- [27] Kfm R, Leonforte A, Cunningham P J, *et al.* Incidence of ryegrass endophyte (*Neotyphodium lolii*) and diversity of associated alkaloid concentrations among naturalised populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2000, 51(5): 569—578.
- [28] Prestidge R A, Thom E R, Marshall S L, *et al.* Influence of *Acremonium lolii* infection in perennial ryegrass on germination, emergence, survival, and growth of white clover[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1992, 35(2): 225—234.

Effects of *Festuca sinensis*-endophyte symbiont on germination and seedling growth of *Lolium perenne*

LI Miao-miao, GU Li-jun, MA Bi-hua, WANG Mei-ning, LIN Wei-hu, XU Wen-bo, KUANG Yu, TIAN Pei

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems; Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The present study explored the effect of seeds germination and seedlings growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) cultivars ‘Venus’ and ‘Esquire’ with 6 ecotypes of *Festuca sinensis* which endophyte infected (E+) and endophyte free (E-) were collected from Qinghai and Sichuan provinces. Results indicated that different ecotypes of *F. sinensis* powders significantly inhibited perennial ryegrass seed germination. Compare with control, ‘Venus’ significantly decreased seed germination rate, germination energy, germination index, seed vigor index and radicle length under the treatment of ecotype 99 and 141 ($P < 0.05$), ‘Esquire’ significantly ($P < 0.05$) decreased germination energy, germination index, seed vigor index under the treatment of ecotype 41 and 99; In E-treatment group, the germination energy and germination index of ‘Esquire’ under ecotype 84 significantly ($P < 0.05$) lower than E-treatment. In E-treatment group, the total biomass of perennial ryegrass under ecotype 41 significantly ($P < 0.05$) lower than E-treatment; Within same treatment, the seed germination rate, germination energy, germination index, seed vigor index and plumule length of ‘Venus’ were significantly lower than ‘Esquire’, which indicated that endophyte could affect the germination of ryegrass, and different ecotypes had different effects on seed germination. The inhibition of *F. sinensis* powder to ‘Venus’ was stronger than ‘Esquire’ and the E+ treatment inhibition was stronger than E-treatment.

Key words: endophyte of *Festuca sinensis*; *Lolium perenne*; germination