

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0149

刘雪松. 温度、光照及 PEG 胁迫对不同生态型醉马草种子萌发的影响. 草业科学, 2019, 36(6): 1600-1607.

Liu X S. Effects of temperature, light, and PEG on seed germination in different ecotypes of *Achnatherum inebrians*. Pratacultural Science, 2019, 36(6): 1600-1607.

温度、光照及 PEG 胁迫对不同生态型 醉马草种子萌发的影响

刘雪松

(甘肃中医药大学基础医学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 为研究醉马草 (*Achnatherum inebrians*) 种群繁殖和环境适应机理, 本研究从甘肃榆中 (YZ) 和内蒙古阿拉善 (Alxa) 采集的两个醉马草种群的种子作为试验材料, 研究不同温度 (10 °C/20 °C、15 °C/25 °C 和 20 °C/30 °C 变温 12 h/12 h)、光照 (完全光照和完全黑暗) 以及 PEG 浓度 (0、-0.3、-0.6 和 -0.9 MPa) 共同作用对两种醉马草种子发芽率、发芽指数、胚根和胚芽长的影响。结果表明, 在一定的渗透胁迫范围内 (-0.6 和 -0.9 MPa), 温度对醉马草种子萌发有显著影响, 15 °C/25 °C 条件下, 各水分处理的两种醉马草的发芽率、发芽指数、胚根长和胚芽长均达到最大值, 该温度为醉马草的最适萌发温度; 光照对两种醉马草种子的发芽率和发芽指数没有显著影响; 在同一温度条件下, 两种醉马草的发芽率、发芽指数、胚芽长均随着 PEG 浓度的升高而减小, 且均与无菌水对照差异显著 ($P < 0.05$); 与 YZ 醉马草种子相比, Alxa 醉马草种子萌发的速度和整齐度较好, 种子的活力较强。因此, 无论是在光照、温度或水分胁迫条件下, Alxa 醉马草与 YZ 醉马草相比更具有较强的抗逆性和适应性, 可作为醉马草繁殖扩散和开发利用的优良草种。

关键词: 醉马草; 种群; 发芽率; 发芽指数; 幼苗生长; 发芽率; 温度; 光照

中图分类号: S452

文献标志码: A

文章编号: 1001-0629(2019)06-1600-08

Effects of temperature, light, and PEG on seed germination in different ecotypes of *Achnatherum inebrians*

LIU Xuesong

(Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The percent seed germination, germination index, radical length, and plumule length of *Achnatherum inebrians* seeds and seedlings of the Yuzhong and Alax ecotypes were measured in treatments with different temperatures (10 °C/20 °C、15 °C/25 °C 和 20 °C/30 °C, all under a 12/12 h light/dark cycle), light conditions (24 h light and 24 h dark), and PEG (polyethylene glycol) concentrations (0, -0.3, -0.6, and -0.9 MPa). The results showed that 15 °C/25 °C was the most suitable temperature for the seed germination of both *Achnatherum inebrians* ecotypes. The generation rate and index, radical length, and plumule length of these two ecotypes significantly decreased under treatments with increasing PEG stress levels. Under the combined action of all three factors, the radical length and plumule length of the Alax ecotype of *Achnatherum inebrians* were greater than those of the Yuzhong ecotype.

Keywords: *Achnatherum inebrians*; population; generation rate; generation index; seedling growth; seed germination; temperature; light

收稿日期: 2019-03-25 接受日期: 2019-05-30

通信作者: 刘雪松 (1977-), 女, 甘肃兰州人, 讲师, 硕士, 研究方向为生物化学和分子生物学。E-mail: 99385949@qq.com

Corresponding author: LIU Xuesong E-mail: 99385949@qq.com

醉马草 (*Achnatherum inebrians*) 是我国北方草原的主要烈性毒草之一, 在甘肃、内蒙、青海、西藏等地区均有分布, 在河北、山东、浙江等地也有少量分布^[1-2]。其属于禾本科芨芨草属的多年生草本植物, 因其对家畜有毒而不能被家畜采食, 因此醉马草成为限制北方草原畜牧业生产的重要因素之一, 但因醉马草也具有抗逆性强、扩散蔓延快的优良特性, 因此也可作为生态环境建设和水土保持的良好草种进行合理利用^[1]。近年来, 兰州大学研究团队对其开展了大量研究, 明确了其毒性是由内生真菌 (*Epichloë gansuensis*, *E. inebrians*) 产生, 而内生真菌的存在也提高了醉马草的抗逆性和种群竞争力, 为醉马草的可利用研究奠定了基础^[3]。

种子萌发是植物进行种群延续的重要阶段, 是植物生命史上的关键阶段^[4-7]。种子的正常萌发和出苗均受外界环境因素如温度和光照的影响^[8]。种子的萌发率和萌发指数与种子萌发时所具备的温度和光照有关, 同一地区的不同物种以及不同地区的同一物种的种子, 最适萌发温度都可能不同^[9]。种子萌发时感知外界温度变化是种子检测植被冠层间隙和土壤埋藏深度的一种机制, 这对植物生长具有十分重要的意义^[10]。光照对种子萌发以及后续幼苗的生长具有非常重要的作用, 不同植物在不同光照条件下种子的萌发行为和幼苗生长对光强的响应存在较大差异, 而且幼苗在生长过程中能够通过形态变化来适应环境光强的变化, 从而对不良环境产生适应性^[11]。由于全球气候变化和过度放牧的影响, 天然草地面临着温度升高、水分短缺等问题, 这对草类植物的生长造成了威胁。因此, 在不同生境条件下研究醉马草种子萌发的适应性对醉马草优良品种筛选和草种扩繁具有重要意义。

近年来, 国内外对醉马草种子萌发和幼苗生长的研究主要集中在温度、水分、内生真菌、重金属和外源激素对其萌发的影响上^[12-15], 而关于温度、光照和 PEG 三者互作对醉马草种子萌发的研究尚未见报道。本研究以不同采集地的醉马草种子为试验材料, 利用 PEG 渗透调节剂模拟水分胁迫,

研究光照、温度和水分条件互作对种子萌发的影响, 明确多种环境因子相互作用对醉马草种子的萌发特性的影响, 为进一步研究醉马草种群繁殖扩散的机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2013 年 9 月分别自甘肃榆中和内蒙古阿拉善采集醉马草种子, 清除杂质后自然风干后低温储存备用。渗透调节剂 PEG-6000 为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

试验共设 2 个生态型处理, 榆中 (YZ) 生态型和阿拉善 (Alxa) 生态型, 3 个温度处理 10 °C/20 °C、15 °C/25 °C 和 20 °C/30 °C 变温 12 h/12 h), 2 个光照处理 (完全光照和完全黑暗), 在不同温度和光照条件下设 4 个不同浓度 PEG 水分胁迫处理 (0、-0.3、-0.6 和 -0.9 MPa), 以无菌水处理 (0 MPa) 为对照, 每个处理设置 4 个重复^[16]。

2015 年 7 月 20 日, 将低温保存的醉马草种子取出, 筛选大小一致、健康饱满的种子, 先用 1% 次氯酸 (NaClO) 浸泡 5 min 后, 立即转移到 70% 乙醇浸泡 2 min, 然后用蒸馏水冲洗干净, 在灭菌滤纸上晾干后利用纸上发芽法进行种子萌发试验。将直径为 9 cm 的培养皿底部铺上两层灭菌滤纸, 均匀放入 50 粒种子, 然后加入 5 mL 的 PEG 溶液, 5 mL 蒸馏水作为对照, 称取每个培养皿的原始重量, 做好标记记录。将培养皿中放入各温度和光照的培养箱中培养, 光强统一设置为 5 000 lx, 湿度统一设置为 82%, 连续培养 21 d, 每天用称重法补水并记录正常发芽的种子数目, 每隔 5 d 更换一次无菌滤纸, 并及时清理污染发霉的种子, 21 d 后从每个培养皿中随机选取 5 株幼苗, 用游标卡尺测定并记录其胚芽长和胚根长。利用第 14 天萌发的数值计算发芽率 (germination rate, GR, %) 和发芽指数 (germination index, GI)。

发芽率 = (第 14 天发芽种子数/供试种子总数) × 100%;

发芽指数 = $\sum(Gt/Dt)$ 。
式中: Gt 为 t 天的发芽个数, Dt 为发芽的相应天数)

1.3 数据分析

试验数据用 SPSS 17.0 软件进行方差分析, 用 Microsoft Excel 2007 进行数据汇总和图表制作。

2 结果与分析

2.1 光照对醉马草种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 不同温度和 PEG 胁迫对醉马草种子发芽率的影响

在温度一定时, 随着 PEG 浓度的升高, 醉马草种子的发芽率逐渐降低, 但两种醉马草种子都有承受一定程度水分胁迫的能力。YZ 醉马草种子在 3 种温度条件下发芽率均在 -0.6 和 -0.9 MPa 水分条件下显著降低 ($P < 0.05$); 在 10 °C/20 °C 温度下, Alxa 醉马草种子发芽率在 -0.9 MPa 水分条件下显著降低 ($P < 0.05$), 而在 15 °C/25 °C 和 20 °C/30 °C 条件下, 种子发芽率在 -0.6 MPa 条件下显著降低, 且均显著低于对照处理 ($P < 0.05$)。当 PEG 浓度一定时, YZ 醉马草种子的发芽率随温度的上升呈先上升后下降的趋势, 15 °C/25 °C 时种子发芽率达到最高。Alxa 醉马草种子发芽率在 -0.3 MPa 水分胁迫下随温度的升高呈先上升后下降的趋势, 且在 15 °C/25 °C 时达到最大值; 在 -0.6 和 -0.9 MPa 渗

透胁迫下, 种子的发芽率随温度的升高呈逐渐降低的趋势, 这说明 YZ 醉马草种子有较强的吸水力 (表 1)。

2.1.2 不同温度和 PEG 胁迫对醉马草种子发芽指数的影响

光照条件下, 当温度一定时, 两种醉马草种子的发芽指数随着 PEG 浓度的升高显著降低, 且均显著低于对照处理 ($P < 0.05$)。当溶液渗透势一定时, 两种醉马草种子发芽指数随着温度的升高呈现先增大后减小的趋势, 且都在 15 °C/25 °C 条件下达到最大值, 说明 15 °C/25 °C 条件为两种醉马草种子萌发最适宜的温度 (表 2)。

2.1.3 不同温度和 PEG 胁迫对醉马草幼苗胚根长的影响

光照条件下, 在同一 PEG 溶液浓度胁迫下, 两种醉马草种子的胚根长随着温度的上升呈现先上升后下降的趋势, 且均在 15 °C/25 °C 条件下达到最大值。YZ 醉马草的胚根长随温度的变化与对照差异不显著, 而 Alxa 醉马草在 15 °C/25 °C 条件下的胚根长显著大于 10/20 °C ($P < 0.05$)。在同一温度条件下, 两种醉马草种子的胚根长随着水分胁迫的增加而减小 (表 3)。

2.1.4 不同温度和 PEG 胁迫对醉马草幼苗胚芽长的影响

当 PEG 溶液浓度一定时, 两种醉马草种子的胚

表 1 光照条件下不同温度和 PEG 胁迫对两种醉马草种子发芽率的影响
Table 1 Effects of different temperatures and levels of PEG stress on the germination rates of the seeds of two ecotypes of *Achnatherum inebrians* held under the same light conditions

采集地 Source	温度 Temperature	PEG胁迫 PEG stress			
		0 MPa	-0.3 MPa	-0.6 MPa	-0.9 MPa
榆中 Yuzhong	10 °C/20 °C	95 ± 3Aa	81 ± 9Aa	59 ± 15Bb	11 ± 13Bc
	15 °C/25 °C	96 ± 2Aa	89 ± 2Aa	67 ± 15ABb	21 ± 6Bc
	20 °C/30 °C	93 ± 3ABa	83 ± 6Aa	61 ± 11ABb	11 ± 8Bc
阿拉善 Alax	10 °C/20 °C	91 ± 6ABa	90 ± 9Aa	86 ± 2Aa	49 ± 21Ab
	15 °C/25 °C	93 ± 4ABa	91 ± 2Aa	62 ± 17ABb	31 ± 27Ab
	20 °C/30 °C	87 ± 3Ba	83 ± 6Aa	55 ± 17Bb	30 ± 11ABc

同行不同小写字母表示同一品种同一温度不同水势胁迫之间差异显著($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示同一水势胁迫下不同品种不同温度之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase letters within the same row indicate ecotypes held at the same temperature that differed significantly between different PEG levels at the 0.05 level; different capital letters within the same column indicate ecotypes at the same PEG level that differed significantly between different temperatures at the 0.05 level. similarly for the following tables.

表 2 光照条件下不同温度和 PEG 胁迫对两种醉马草种子发芽指数的影响
Table 2 Effects of different temperatures and levels of PEG stress on the germination index of the seeds two ecotypes of *Achnatherum inebrians* germinated under the same light conditions

采集地 Source	温度 Temperature	PEG胁迫 PEG stress			
		0 MPa	−0.3 MPa	−0.6 MPa	−0.9 MPa
榆中 Yuzhong	10 °C/20 °C	10.05 ± 0.27Ba	5.63 ± 0.52Cb	3.27 ± 1.01Bc	0.63 ± 0.75Bd
	15 °C/25 °C	12.57 ± 1.30 Aa	7.73 ± 0.31ABb	4.25 ± 0.80ABc	1.10 ± 0.38Bd
	20 °C/30 °C	11.04 ± 0.46ABa	7.27 ± 0.32Bb	4.19 ± 0.92ABc	0.59 ± 0.42Bd
阿拉善 Alax	10 °C/20 °C	9.59 ± 4.10Ba	7.34 ± 0.71ABb	4.17 ± 1.29ABc	2.40 ± 0.81Ac
	15 °C/25 °C	11.55 ± 1.62ABa	8.28 ± 0.33Ab	5.02 ± 0.13Abc	2.85 ± 1.13Ac
	20 °C/30 °C	10.80 ± 2.45Ba	6.61 ± 0.85BCb	3.61 ± 1.23ABc	1.79 ± 0.52ABc

表 3 光照条件下不同温度和 PEG 胁迫对两种醉马草胚根长的影响
Table 3 Effects of different temperatures and levels of PEG stress on the radicle length of seedlings of two ecotypes of *Achnatherum inebrians* germinated under the same light conditions

采集地 Source	PEG胁迫 PEG stress	温度 Temperature		
		10 °C/20 °C	15 °C/25 °C	20 °C/30 °C
		mm		
榆中 Yuzhong	0 MPa	15.40 ± 1.00Aa	16.00 ± 2.03Ca	15.60 ± 2.46Ba
	− 0.3 MPa	10.00 ± 0.72Ba	11.53 ± 1.50Ca	10.73 ± 1.10Ba
阿拉善 Alax	0 MPa	16.34 ± 0.99Ab	30.33 ± 1.14Aa	24.20 ± 5.14Aa
	− 0.3 MPa	14.87 ± 1.51Ab	22.47 ± 5.80Ba	20.73 ± 0.42ABab

芽长随着温度的升高均呈现先上升后下降的趋势，且都在 15 °C/25 °C 条件下达到最大值；YZ 醉马草的胚芽长在 3 个温度处理下差异不显著 ($P > 0.05$)，而 Alxa 醉马草在水势为−0.3 MPa 时，15 °C/25 °C 温度下的胚芽长显著高于 10 °C/20 °C 和对照 ($P < 0.05$)。当温度一定时，两种醉马草的胚芽长均随着 PEG 溶液浓度的增加而降低，且在相同水势条件下 Alxa

醉马草的胚芽长均高于 YZ 醉马草 (表 4)。

2.2 黑暗条件下温度变化对两种醉马草种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 黑暗条件下温度变化对两种醉马草种子萌发的影响

黑暗条件下，两种醉马草种子的发芽率随着温度的升高均呈现逐渐升高的趋势，3 个温度条件下

表 4 光照条件下不同温度和 PEG 胁迫对两种醉马草胚芽生长的影响
Table 4 Effects of different temperatures and levels of PEG stress on the plumule length of seedlings of two ecotypes of *Achnatherum inebrians* germinated under the same light conditions

采集地 Source	PEG胁迫 PEG stress	温度 Temperature		
		10 °C/20 °C	15/25 °C	20/30 °C
		mm		
榆中 Yuzhong	0 MPa	13.73 ± 0.70Ba	15.87 ± 2.34Ba	14.73 ± 2.37Aa
	− 0.3 MPa	7.40 ± 1.11Da	10.40 ± 0.53Ca	10.13 ± 3.00Ba
阿拉善 Alax	0 MPa	16.73 ± 1.40Ab	22.27 ± 1.17Aa	18.40 ± 1.64Ab
	− 0.3 MPa	11.33 ± 1.47Cb	17.80 ± 0.20Ba	15.80 ± 1.51Aa

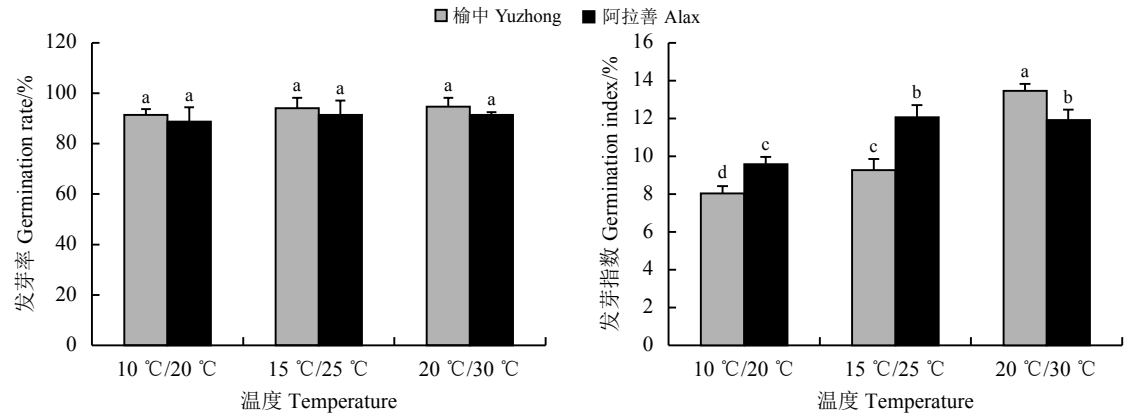


图 1 黑暗条件下温度变化对两种醉马草种子萌发的影响

Figure 1 Effects of different temperatures on the seed germination of two ecotypes of *Achnatherum inebrians*

不同小写字母表示不同品种不同温度间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。
Different lowercase letters indicate ecotypes for which there were significant differences between the different temperatures at the 0.05 level; similarly for the following Figure 2.

两种醉马草的发芽率无显著差异 ($P > 0.05$), YZ 醉马草种子的发芽率稍高于 Alxa 醉马草 (图 1)。在 10 °C/20 和 15 °C/25 °C 条件下, Alxa 醉马草种子的发芽指数显著高于 YZ 醉马草 ($P < 0.05$)。YZ 醉马草种子的发芽指数随温度的升高逐渐增大, 且 3 个温度处理的差异均显著 ($P < 0.05$); 而 Alxa 醉马草种子的发芽指数则随温度的升高先增加后下降, 在温度为 15 °C/25 °C 时, 发芽指数达到最大, 与 10 °C/20 °C 处理相比差异显著 ($P < 0.05$), 与 20 °C/30 °C 处理无显著差异 (图 1)。

2.2.2 黑暗条件下温度变化对醉马草幼苗生长的影响

3 个温度条件下, Alxa 醉马草的胚根长显著大于

YZ 醉马草的胚根长 ($P < 0.05$)。
YZ 醉马草的胚根长随温度的升高逐渐增大, 且各温度处理之间无显著差异; Alxa 醉马草的胚根长则随温度的变化先增加后降低, 在 15 °C/25 °C 条件下达到最大值, 与 10 °C/20 °C 处理差异显著 ($P < 0.05$), 但与 20 °C/30 °C 处理无显著差异 ($P > 0.05$) (图 2)。黑暗条件下, YZ 醉马草与 Alxa 醉马草的胚芽长均随温度的升高而逐渐增大, 且 Alxa 醉马草的胚芽长显著大于 YZ 醉马草的胚芽长 ($P < 0.05$); 在 20 °C/30 °C 条件下, YZ 醉马草的胚芽长显著高于 10 °C/20 °C 处理 ($P < 0.05$); 而在 15 °C/25 和 20 °C/30 °C 条件下, Alxa 醉马草的胚芽长显著高于 10 °C/20 °C 处理 ($P < 0.05$) (图 2)。

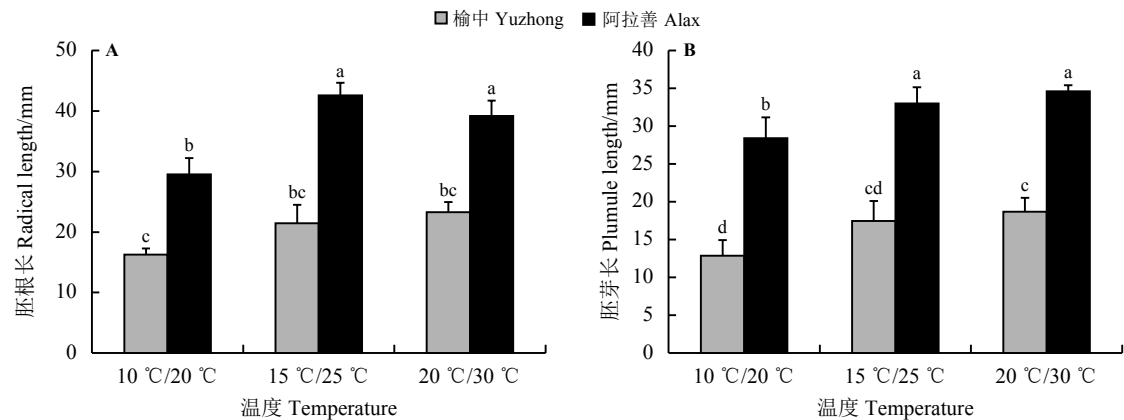


图 2 黑暗条件下温度变化对两种醉马草幼苗生长的影响

Figure 2 Effects of different temperatures on seedling growth in two ecotypes of *Achnatherum inebrians* held under dark conditions

3 讨论与结论

种子萌发需要适宜的水分、充足的氧气、合适的温度或光照等环境因子, 这些环境因子彼此关联, 共同发挥作用以影响种子活力^[17-18]。种子的萌发除了与环境因子相关外, 还与种子本身的遗传特性及适应环境的能力有关^[19-21]。本研究发现不同生态型的醉马草种子对温度和水分胁迫的响应有差异, Alxa 醉马草在同一温度和水分条件下生长地更好, 这说明 Alxa 醉马草种子具有较强的抗逆生长能力, 这种抗逆性可能与 Alxa 醉马草种子的遗传特性和适应能力有关。

温度对种子休眠也有重要的影响, 可以打破种子休眠, 改变种子休眠形式, 或者影响无休眠种子的萌发速率^[22-23]。本研究发现, 当 PEG 浓度为 0 Mpa 时, 无论光照与否, 两种醉马草种子在 3 个温度条件下都能萌发, 萌发率均达到 85% 以上, 说明醉马草种子萌发在对温度变化具有较宽适应性。一定的渗透胁迫范围内, 在 15 °C/25 °C 温度下两种醉马草种子的发芽率与发芽指数都达到最大, 说明此温度适宜于醉马草种子萌发, 超过该温度则会降低醉马草种子的生命力, 这与万志文等^[24]对醉马草的研究结果相似。当光照时, 在 15 °C/25 °C 温度下两种醉马草种子的胚根和胚芽长都达到最大值, 可能是因为温度激发了种子体内代谢酶的活性, 促进了贮藏物质的转化和胚的生长, 变温同时也加速了种皮的机械变化, 有利于水分进入从而促进种子萌发^[25]。在本研究中, 温度的变化对两种醉马草种子发芽率的影响不是很大, 种子发芽指数却与温度变化紧密联系, 且在黑暗条件下这种现象更为明显, 这表明黑暗条件下醉马草种子的活力受温度的影响较大; 在一定的渗透胁迫范围内随着温度的上升, 醉马草的发芽率和发芽指数都有所增加, 表明适宜的温度可以减弱 PEG 胁迫对种子萌发的影响, 这与刘鸿芳等^[26]对胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 的研究结果相似。

光照是影响种子萌发的重要环境因子, 对某些种子的萌发是所必须的, 如对叶榕 (*Ficus hispida*)、

益母草 (*Leonurus artemisia*) 的种子^[27-29]; 而对有斑百合 (*Lilium concolor*)、川百合 (*L. davidii*)、毛百合 (*L. dauricum*) 种子的萌发有明显的促进作用^[19]。本研究发现当水分胁迫为 0 Mpa, 温度为 15/25 °C, 光照处理的 YZ 醉马草种子的发芽指数明显高于黑暗处理, 但发芽率无差异, 而 Alxa 醉马草种子的发芽率和发芽指数在光照和黑暗处理下均无差异, 这说明醉马草种子的发芽率大小与有无光照无关, 有无光照都能萌发, 光照不是醉马草种子萌发所必需的条件, 这与薛焱和王迎春^[30]、黄振英等^[31]、孙卫邦等^[32]和段春华等^[33]对长叶红沙 (*Reaumuria trigyna*)、梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)、皱叶醉鱼草 (*Buddleja crispa*) 和醉马草的研究结果相似。黑暗条件下, 不同温度处理对两种醉马草种子的发芽率没有显著差异, 但随着温度的升高呈上升趋势, 说明在黑暗条件下温度对醉马草种子的萌发有一定的促进作用, 这与杨利平等^[19]对百合属 (*Lilium*) 6 种植物种子萌发的研究结果相似。

在植物生命史中, 种子萌发期是最为重要的时期, 此阶段对外界水分的变化最为敏感^[19]。本研究发现, 不同浓度的 PEG 均会不同程度的抑制醉马草种子的萌发, 且随着渗透势的降低对种子萌发的抑制作用更强, 这与张会灵等^[34]在 PEG 胁迫下对辣椒 (*Capsicum annuum*) 种子萌发的影响研究结果相似, 却与幸福梅等^[35]对巨柏 (*Cupressus gigantea*) 种子萌发的研究结果相反, 可能因为醉马草种子对水分的变化较为敏感及种子本身的生理特性不同。

综上所述, 本研究首次在温度、光照和 PEG 三者相结合的处理下探讨对不同生态型醉马草萌发的影响, 研究结果表明最适宜两种醉马草种子萌发的温度为 15 °C/25 °C, 光照不是种子萌发所必需的环境条件, 低浓度的 PEG 也会抑制种子的萌发; 黑暗条件下, YZ 醉马草种子适宜萌发的温度变化范围较广, Alxa 醉马草种子萌发的速度和整齐度较好, 种子的活力较强; 无论是在光照、温度或是水分胁迫条件下, Alxa 醉马草的胚根与胚芽长都高于 YZ 醉马草, 说明 Alxa 醉马草更具有较强的抗逆性和适应性。

参考文献 References:

- [1] 金文进. 醉马草内生真菌多样性的研究. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2009.

- JIN W J. Diversity of *Neotyphodium* endophytes symbiotic with *Achnatherum inebrians*. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [2] 史志诚. 中国草地重要有毒植物. 北京: 中国农业出版社, 1997: 166-176.
- SHI Z C. Chinese Grassland are Important for Poisonous Plants. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 166-176.
- [3] 李春杰, 姚祥, 南志标. 醉马草内生真菌共生体研究进展. *植物生态学报*, 2018, 42(8): 793-805.
- LI C J, YAO X, NAN Z B. Advances in research of *Achnatherum inebrians*-*Epichloë* endophyte symbionts. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(8): 793-805.
- [4] 宗文杰, 刘坤, 卜海燕, 徐秀丽, 武高林. 高寒草甸 51 种菊科植物种子大小变异及其对种子萌发的影响研究. *兰州大学学报*, 2006(5): 52-55.
- ZONG W J, LIU K, PU H Y, XU X L, WU G L. Study on seed size variation of 51 composite plants in alpine meadow and its effect on seed germination. *Journal of Lanzhou University*, 2006(5): 52-55.
- [5] 卢艳敏, 苏长青, 李会芬. 不同盐胁迫对白三叶种子萌发及幼苗生长的影响. *草业学报*, 2013, 22(4): 123-129.
- LU Y M, SU C Q, LI H F. Effects of different salts stress on seed germination and seedling growth of *Trifolium repens*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(4): 123-129.
- [6] 刘文瑜, 杨宏伟, 魏小红, 刘博, 王高强, 吴伟涛. 外源 NO 调控盐胁迫下蒺藜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究. *草业学报*, 2015, 24(5): 85-95.
- LIU W Y, YANG H W, WEI X H, LIU B, WANG G Q, WU W T. Effects of exogenous nitric oxide on seed germination, physiological characteristics and active oxygen metabolism of *Medicago truncatula* under NaCl stress. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(5): 85-95.
- [7] PERES S. Saving the gene pool for the future: Seed banks as archives. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 2016, 55: 96-104.
- [8] 于浩然, 李青丰, 贺一鸣, 贾玉山. 不同温度及光照对灌木铁线莲种子萌发生理生化特性的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(9): 139-142, 146.
- YU H R, LI Q F, HE Y M, JIA Y S. Effects of different temperature and light on physiological and biochemical characteristics of *Clematis fruticosa* Turcz seed germination. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(9): 139-142, 146.
- [9] YOUSHEG C, SZIKLAI O. Preliminary study on the germination of *Toona sinensis* (A. Juss.) roem. seed from eleven Chinese provenances. *Forest Ecology and Management*, 1985, 10(3): 269-281.
- [10] LIU K, BASKIN J M, BASKIN C C, BU H Y, DU G Z, MA M J. Effect of diurnal fluctuating versus constant temperatures on germination of 445 species from the eastern Tibet Plateau. *PLoS One*, 2013, 8(7): e69364.
- [11] 闫富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1682-1688.
- YAN X F, WANG J L, ZHOU L B. Effects of light intensity on *Quercus liaotungensis* seed germination and seedling growth. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1682-1688.
- [12] 张蕊思, 安沙舟, 施宠, 卡斯达尔·努尔旦别克, 王永力, 靳茜. 高温处理对醉马草种子内生真菌及萌发的影响. *中国草地学报*, 2016, 38(4): 92-98.
- ZHANG R S, AN S Z, SHI C, Kasidaer·Nuerdanbieke, WANG Y L, JIN Q. Effect of high-temperature treatment on endophyte and germination of seeds of *Achnatherum inebrians*. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, 38(4): 92-98.
- [13] 万志文, 王萍, 张兴旭, 李春杰. 锰、水杨酸与内生真菌互作对醉马草种子萌发的影响. *草地学报*, 2016, 24(1): 107-113.
- WAN Z W, WANG P, ZHANG X X, LI C J. Effects of manganese and SA on germination of *Achnatherum inebrians* seed containing or free of endophyte. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(1): 107-113.
- [14] 柳莉, 李秀璋, 陈振江, 郭长辉, 吕卉, 李春杰. 外源激素与内生真菌互作对醉马草低温胁迫下种子萌发的影响. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(4): 373-382.
- LIU L, LI X Z, CHEN Z J, GUO C H, LYU H, LI C J. Effects of interaction between exogenous hormones and *Epichloë* on germination of drunken horse grass (*Achnatherum Inebrians*) under low temperature stress. *Journal of Southwest University for Nationalities(Natural Science Edition)*, 2016, 42(4): 373-382.
- [15] 鱼小军, 陈本建, 师尚礼, 魏国斌, 满元荣, 马艳玲. 温度和水分对醉马草种子萌发的影响. *草地学报*, 2009, 17(2): 218-221.
- YU X J, CHEN B J, SHI S L, WEI G B, MAN Y R, MA Y L. Effect of temperature and moisture condition on seed germination of *Achnatherum Inebrians* (Hance) Keng. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(2): 218-221.
- [16] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 1973, 51(5): 914-916.
- [17] 李莉, 王元素, 洪绶曾. 喀斯特地区白三叶形态和遗传多样性研究. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1532-1536.
- LI L, WANG Y S, HONG B Z. Studies on the morphology and genetic diversity of white clover in karst area. *Journal of ecological environment*, 2010, 19(7): 1532-1536.
- [18] 鱼小军, 师尚礼, 龙瑞军, 王芳, 陈本建. 生态条件对种子萌发影响研究进展. *草业科学*, 2006(10): 44-49.
- YU X J, SHI S L, LONG RUI J, WANG F, CHEN B J. Research progress on effects of ecological factors on seed germination. *Pratacultural Science*, 2006(10): 44-49.

- [19] 杨利平, 宋满珍, 张晶. 光照和温度对百合属 6 种植物种子萌发的影响. *植物资源与环境学报*, 2000(4): 14-18.
YANG L P, SONG M Z, ZHANG J. Effect of light and temperature on seed germination of 6 species of *Lilium* L. *Jouranal of Plant Resources and Environment*, 2000(4): 14-18.
- [20] LEBOT V, MALAPA R, SARDOS J. Physiological changes and sHSPs genes relative transcription in relation to the acquisition of seed germination during maturation of hybrid rice seed. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2016, 96(5): 1764-1771.
- [21] 王进, 张勇, 颜霞, 鄂利锋, 王桔红. 光照、温度、土壤水分和播种深度对披针叶黄华种子萌发及幼苗生长的影响. *草业科学*, 2011, 28(9): 1640-1644.
WANG J, ZHANG Y, YAN X, E LI F, WANG J H. Influence of light, temperature, soil moisture and sowing depths on the seed germination and seedling growth of *Thermopsis lanceolate*. *Pratacultural Science*, 2011, 28(9): 1640-1644.
- [22] 崔现亮, 罗娅婷, 毕廷菊, 姜宏钟, 罗银玲. 储藏和萌发温度对青藏高原东缘 12 种灌木种子萌发的影响. *生态学杂志*, 2014, 33(1): 23-32.
CUI X L, LUO Y T, BI Y J, JIANG H Z, LUO Y L. Effect of storage and temperature on seed germination of 12 shrub species from the eastern Qinghai-Tibet Plateau. *China Journal of Ecology*, 2014, 33(1): 23-32.
- [23] ROBERTS E H, ROBERTS E H. Temperature and seed germination. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 1988, 42(42): 109.
- [24] 万志文, 曹莹, 陈振江, 李春杰. 温度对醉马草内生真菌共生体幼苗生长和生物碱产量的影响. *草业科学*, 2016, 33(7): 1353-1360.
WAN Z W, CAO Y, CHEN Z J, LI C J. Effects of different temperatures on growth and ergot alkaloids concentrations of *Achnatherum inebrians* seedling-Epichloë sp. Seedling. *Pratacultural Science*, 2016, 33(7): 1353-1360.
- [25] 管康林. 种子萌发生理. 北京: 中国农业出版社, 2009.
GUAN K L. *Physiology of Seed Germination*. Beijing: China Agriculture Press, 1988.
- [26] 刘鸿芳, 汪永平, 骆凯, 余玲, 张宝林, 塔拉腾, 刘晓燕. 张吉宇. 温度、PEG 和 NaCl 对 3 种胡枝子种子萌发和幼苗生长的影响. *草业科学*, 2016, 33(9): 1747-1756.
LIU H F, WANG Y Q, LUO K, YU L, ZHANG B L, TA LA T, LIU X Y, ZHANG J Y. Effects of temperature, PEG and NaCl treatments on seed germination and seedling growth of three *Lespedeza* species. *Pratacultural Science*, 2016, 33(9): 1747-1756.
- [27] WEBER J L. Abundant class of human DNA polymorphism which can be typed using the polymerase chain reaction. *American Journal of Human Genetics*, 1989, 44(3): 388-396.
- [28] 陈辉, 张霜, 曹敏. 光和温度对西双版纳地区先锋树种对叶榕种子萌发的影响. *植物生态学报*, 2008(5): 1084-1090.
CHEN H, ZHANG S, CAO M. Effects of light and temperature on seed germination of *Ficus hispida* in Xishuangbanna, southweSt China. *Journal of Plant Ecology*, 2008(5): 1084-1090.
- [29] 武冬雪, 韩晓弟. 光照及 PEG 对两种中草药种子萌发的影响. *安徽农业科学*, 2009, 37(25): 12312-12313.
WUE D X, HAN X D. Effect of light and peg on the germination of two herbal seeds. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(25): 12312-12313.
- [30] 薛焱, 王迎春. 光照、温度和盐分对长叶红沙种子萌发的影响. *植物生理学通讯*, 2007(4): 708-710.
XU Y, WANG Y C. Influence of light, temperature and salinity on seed germination of *Reaumuria trigyna* Maxim. *Plant Physiology Communications*, 2007(4): 708-710.
- [31] 黄振英, 张新时, Yitzchak GUTTERMAN, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. *植物生理学报*, 2001(3): 275-280.
HUANG Z Y, ZHANG X S, GUTTERMAN Y, ZHENG G H. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron*. *Acta Photohysiological Sinica*, 2001(3): 275-280.
- [32] 孙卫邦, 孔繁才, LAM-WING-HIME Mickael. 光温对皱叶醉鱼草种子萌发的影响. *植物生理学通讯*, 2002(6): 557-558.
SUN W B, KONG F C, LAM-WING-HIME MICKAEL. Effect of Light and temperature on seed germination of *Buddleja crispa*. *Plant Physiology Communications*, 2002(6): 557-558.
- [33] 段春华, 鱼小军, 徐长林, 马燕玲. 光照和盐分对醉马草种子萌发的影响. *种子*, 2012, 31(4): 9-14.
DUAN C H, YU X J, XU C L, MA Y L. The effects of light and salinity on *Achnatherum inebrians* seed germination. *Seed*, 2012, 31(4): 9-14.
- [34] 张会灵, 张菊平, 张焕丽. PEG 胁迫对辣椒种子萌发的影响. *种子*, 2016, 35(8): 7-13.
ZHANG H L, ZHANG J P, ZHANG H L. Effects of peg stress on seed germination of pepper. *Seed*, 2016, 35(8): 7-13.
- [35] 辛福梅, 任世强, 普布次仁. 不同处理方法对巨柏种子萌发的影响. *种子*, 2017, 36(11): 3-9.
XIN F M, REN S Q, Pubuciren. Effects of germination characters of *Cupressus gigantea* seed in different treatments. *Seed*, 2017, 36(11): 3-9.

(执行编辑 苟燕妮)