

节节麦小穗上不同粒位种子萌发对环境因子的响应

于海燕, 李华通, 崔海兰, 陈景超, 李香菊*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 为明确节节麦小穗上不同粒位种子萌发对环境因素的响应差异, 采用培养皿法测定了小穗基部小花形成的第1粒种子(S1)和相邻上部位置小花形成的第2粒种子(S2)萌发对酸碱胁迫、盐胁迫和水分胁迫的响应。结果显示: S1和S2萌发均对pH要求不高, 但在供试pH为3~10时, S2的萌发速率大于S1。与S1相比, S2萌发具有较强的耐盐性, 在不同盐浓度下, S2发芽率相对较高, 而S1的发芽率随着盐浓度的升高显著降低。此外, 盐胁迫对S1和S2的萌发速率有一定影响, 两者的萌发速率均随着盐浓度的升高而降低, 但S2较S1萌发快。水分胁迫对节节麦S1和S2萌发均有抑制作用, 但S2萌发对水分胁迫的耐受性显著高于S1, 在渗透势为 $-1.28 \sim -0.69$ MPa时S1的发芽率达到最大发芽率的50%, 而S2在渗透势为 $-1.75 \sim -1.56$ MPa时发芽率达到最大发芽率的50%。此外, S1和S2的萌发速率均随着渗透势的下降而降低, 但S2的萌发速率大于S1。以上结果表明, 节节麦种子萌发过程中第2粒位种子S2比第1粒位种子S1更具有耐受环境胁迫的能力。

关键词 杂草生物学; 节节麦; 种子萌发; 环境胁迫

中图分类号: S 451 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020211

Response of seed germination at different grain positions on spikelet of *Aegilops tauschii* to environmental factors

YU Haiyan, LI Huatong, CUI Hailan, CHEN Jingchao, LI Xiangju*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Experiments were conducted in petri dishes to determine the effects of seed positions in the spikelets of *Aegilops tauschii*, namely the seeds in positions S1 (seeds produced in the basal florets) and S2 (seeds produced in the second florets), on the differences of their germination responses to environmental factors, pH, salinity stress and water stress. The results showed that S1 and S2 could germinate under a wide range of pH values. However, the germination speed of S2 was higher than that of S1 when pH ranged from 3 to 10. Compared with S1, S2 exhibited higher tolerant ability to salinity stress. With the increase of NaCl concentration, the germination percentage of S1 gradually decreased, while that of S2 was relatively higher. Besides, salinity stress had a significant effect on the germination speeds of S1 and S2, and their germination speeds decreased with increasing concentration of NaCl; however, S2 germinated faster than S1. Water stress markedly inhibited the germinations of S1 and S2, yet S2 was more tolerant to water stress than S1. Germination rate reached 50% of the maximum germination percentage when the osmotic potential for S1 ranged from -1.28 MPa to -0.69 MPa, while that for S2 ranged from -1.75 MPa to -1.56 MPa. Additionally, although the germination speeds of S1 and S2 declined with decreasing osmotic potential, the germination speed of S2 was higher than that of S1. These results indicated that the germination of *A. tauschii* seeds S1 and S2 exhibited different responses to environmental stress.

Key words weed biology; *Aegilops tauschii*; seed germination; environmental stress

节节麦 *Aegilops tauschii* 是禾本科 Poaceae 山羊草属 *Aegilops* 杂草, 分布在我国河北、河南、山东、陕西、山西等十几个小麦主产省, 严重威胁小麦

产量和品质^[1]。节节麦分蘖多, 繁殖系数高, 生态适应性广, 与小麦拟态性强^[1-2], 上述特性有利于其传播扩散并在与小麦的竞争中处于优势地位。

收稿日期: 2020-04-21 修订日期: 2020-05-23

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0300701)

* 通信作者 E-mail: xjli@ippcaas.cn

种子萌发是许多植物生命周期中至关重要的阶段,是杂草在其入侵区定殖、存活、传播扩散的首要条件^[3-4]。节节麦花序穗状,含(5)7~10(13)个小穗,每小穗含3~4(5)朵小花,一般仅第1~3朵小花结实^[5]。小穗基部小花形成第1粒种子,其相邻上部位置小花形成第2粒种子,第1粒种子比第2粒发育早,而第3朵小花通常不育、较少结实^[6]。节节麦成熟时穗部以小穗为单位节节脱落于土壤,种子秋季萌发出土,其萌发行为决定着生长早期植株与小麦的竞争能力。前人研究表明,植物花序或小穗不同位置的种子萌发行为在时间和空间上分散开,有利于避免同胞子代竞争,以保持物种存留和延续^[7-8]。田间观察发现,虽然节节麦每个小穗含有2~3粒种子,但往往仅一粒种子出苗。节节麦同属杂草圆柱山羊草 *Aegilops cylindrica* 小穗上不同粒位种子在生物学特性方面存在一定的差异,例如,不同粒位种子萌发对温度等环境因素的响应不同^[9-10]。而同一个小穗不同粒位的节节麦种子萌发对环境因素的响应是否存在差别未见报道。

因此,本研究以节节麦小穗中第1粒位种子和第2粒位种子为研究对象,通过比较两者萌发对pH、盐胁迫和水分胁迫响应的差异,明确小穗中不同粒位种子萌发对环境因素的响应,为深入研究节节麦个体生物学及建立综合有效的防控措施提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试种子:节节麦种子采自我国河南省新乡市、河北省邢台市和山东省滨州市的冬小麦田,种群代号分别为HN-XX、HB-XT和SD-BZ。并于2017年—2018年在中国农业科学院植物保护研究所温室繁种。每个种群选取成熟饱满、大小均匀一致的小穗若干,剥出第1粒(S1)与第2粒(S2)粒位种子备用。上述种子均自然解除休眠且发芽率达到95%以上。

试剂及仪器:2-吗啉乙磺酸(MES)、4-羟乙基哌嗪乙磺酸(HEPES)、N-三甲基甘氨酸(tricine),Sigma;氢氧化钠(NaOH)、氯化钠(NaCl)、邻苯二甲酸氢钾($C_8H_5KO_4$)、聚乙二醇6000(PEG6000),国药集团化学试剂公司;盐酸(HCl),北京化工厂。DELTA320型pH计,梅特勒-托利多仪器有限公司;FA1004万分之一天平,上海上平仪器有限公司;人工气候培养箱,浙江托普仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 不同粒位种子萌发对pH的响应

设定系列缓冲液pH3~10。供试pH缓冲液的配制方法参考王晓阳等^[11]。分别选取均匀一致的S1和S2种子20粒,用无菌水反复冲洗3次,晾干后置直径9cm垫有双层滤纸的同一玻璃培养皿中,加入5mL配好的缓冲液,用封口膜封口后置25/20℃(光照/黑暗)人工气候培养箱中,L//D=14h//10h,光照强度为320 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。每隔24h调查1次发芽率,以胚根长度大于3mm为发芽标准,每次调查移除发芽的种子,连续调查14d。上述试验设4次重复。

对不同调查时间下节节麦S1和S2的发芽率进行曲线拟合,回归模型如下:

$$G(\%) = G_{\max} / \{1 + \exp[-(t - t_{50})/e]\} \quad (1)$$

G代表不同调查时间(t)下的发芽率, $G_{\max}$ 代表最大发芽率, t_{50} 代表发芽率达到最大发芽率50%时所需的时间,e代表曲线斜率,然后根据公式(2)得到S1和S2在不同pH水平下的萌发速率(V)^[12]。

$$V = 1/t_{50} \quad (2)$$

1.2.2 不同粒位种子萌发对盐胁迫的响应

配制0、20、60、120、180、240、300、360、420mmol/L和480mmol/L的NaCl系列溶液。于玻璃培养皿中,加入5mL上述NaCl溶液进行盐分胁迫试验,种子发芽方法及S1和S2在不同盐浓度下萌发速率的计算方法同1.2.1。上述试验设4次重复。

1.2.3 不同粒位种子萌发对水分胁迫的响应

试验采用PEG6000溶液模拟水分胁迫。分别用1L无菌水溶解0.0、72.5、143.2、192.6、233.0、284.0g和327.9gPEG6000,使各处理的水分渗透势为0.0、-0.1、-0.3、-0.5、-0.7、-1.0、-1.3、-1.6、-2.0MPa^[13]。于玻璃培养皿中,加入5mL上述PEG6000溶液进行水分胁迫试验,种子发芽方法及S1和S2在不同水分渗透势下萌发速率的计算方法同1.2.1。上述试验设4次重复。

同时对不同渗透势下节节麦S1和S2的最终发芽率进行曲线拟合,回归模型如下:

$$G(\%) = G_{\max} / \{1 + \exp[-(x - x_{50})/e]\} \quad (3)$$

G代表不同渗透势(x)下的最终发芽率, $G_{\max}$ 代表最大发芽率, x_{50} 代表发芽率达到最大发芽率50%时的渗透势,e代表曲线斜率。

1.3 数据分析

采用SPSS 21.0软件对所有试验数据进行统计分析。利用SigmaPlot 12.5软件的三参量非线性回

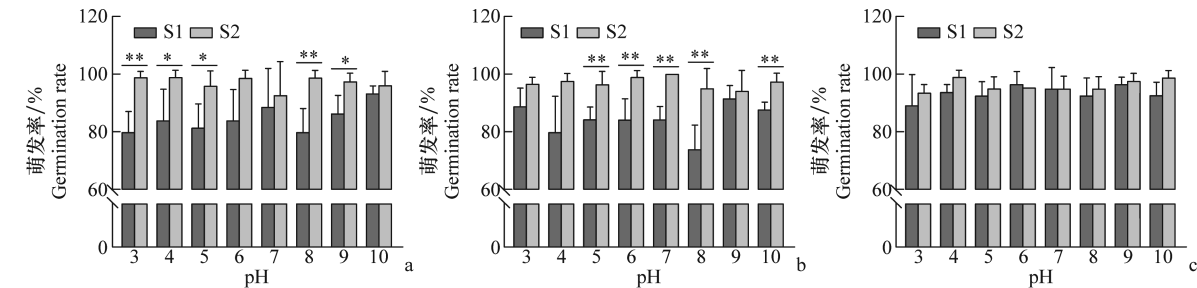
归模型进行曲线拟合,得到曲线方程、 t_{50} 和 x_{50} 。

2 结果与分析

2.1 不同粒位种子萌发对 pH 的响应

pH 变化对 3 个供试种群种子萌发率及萌发速率无明显影响,但相同 pH 条件下不同粒位种子萌发对 pH 的响应存在差异。从发芽率来看,在供试 pH 范围内,虽然 S1 和 S2 均能萌发,且发芽率均超过 70%,但相同 pH 时 3 个供试种群 S2 的发芽率均

高于其相应种群的 S1(图 1)。如 HN-XX 种群在 pH 为 8 时 S1 的萌发率为 73.75%,此时该种群 S2 萌发率达 95%(图 1b),其他两个种群 S2 的发芽率也均超过 90%(图 1a 和 1c)。从萌发速率来看,在供试 pH 缓冲液为 3~10 时,HB-XT、HN-XX 和 SD-BZ 3 个种群 S2 的萌发速率均明显高于相同 pH 时的 S1;上述 3 个种群 S1 的平均萌发速率分别为 0.59、0.67 d⁻¹和 0.60 d⁻¹;而 S2 的平均萌发速率分别为 1.04、1.29 d⁻¹和 1.08 d⁻¹(表 1)。



a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. 图中数据为平均值±标准误。*和**分别表示相同pH水平下S1和S2的发芽率在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著
a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. Data are mean±SE. * and ** indicate significant difference between the germinations of S1 and S2 under the same pH level at the 0.05 probability level and 0.01 probability level, respectively

图 1 不同 pH 条件下节节麦 S1 和 S2 的萌发率

Fig. 1 Germination rates of *Aegilops tauschii* S1 and S2 under different pH levels

表 1 不同 pH 条件下节节麦 S1 和 S2 的萌发速率

Table 1 Germination speeds of *Aegilops tauschii* S1 and S2 under different pH levels

pH	萌发速率/d ⁻¹ Germination speed											
	HB-XT				HN-XX				SD-BZ			
	S1	R ²	S2	R ²	S1	R ²	S2	R ²	S1	R ²	S2	R ²
3	0.57	0.99	1.02	0.99	0.49	0.99	1.41	0.92	0.51	0.99	0.94	0.98
4	0.55	0.99	0.98	0.99	0.66	0.99	1.25	0.98	0.69	0.99	1.03	0.92
5	0.61	0.99	1.03	0.99	0.73	0.99	1.28	0.96	0.52	0.99	1.05	0.96
6	0.56	0.99	1.16	0.99	0.71	0.99	1.41	0.99	0.55	0.99	1.16	0.99
7	0.58	0.98	1.04	0.99	0.74	0.99	1.35	0.99	0.67	0.99	1.11	0.98
8	0.61	0.99	1.05	0.99	0.71	0.99	1.25	0.99	0.62	0.99	1.01	0.96
9	0.60	0.99	1.00	0.99	0.66	0.99	1.19	0.99	0.55	0.99	1.12	0.98
10	0.64	0.98	1.03	0.99	0.66	0.99	1.15	0.99	0.68	0.99	1.18	0.99
平均 Average	0.59	—	1.04	—	0.67	—	1.29	—	0.60	—	1.08	—

2.2 不同粒位种子萌发对盐胁迫的响应

盐胁迫影响节节麦种子萌发,高浓度 NaCl 处理不同粒位节节麦种子萌发存在差异。从发芽率来看,S1 受盐胁迫的影响较大,表现为随 NaCl 浓度增大,其发芽率显著降低($P<0.05$);而 S2 的发芽率在不同 NaCl 浓度下相对较高(图 2)。从萌发速率来看,随 NaCl 浓度的升高,S1 和 S2 的萌发速率均降低。在供试 NaCl 浓度为 0~480 mmol/L 下,HB-XT、HN-XX 和 SD-BZ 3 个种群 S1 的平均萌发速率分别为 0.41、0.41 d⁻¹和 0.36 d⁻¹;而 S2 的平均萌发速率分别为 0.60、0.64 d⁻¹和 0.62 d⁻¹(表 2)。由此可见,在

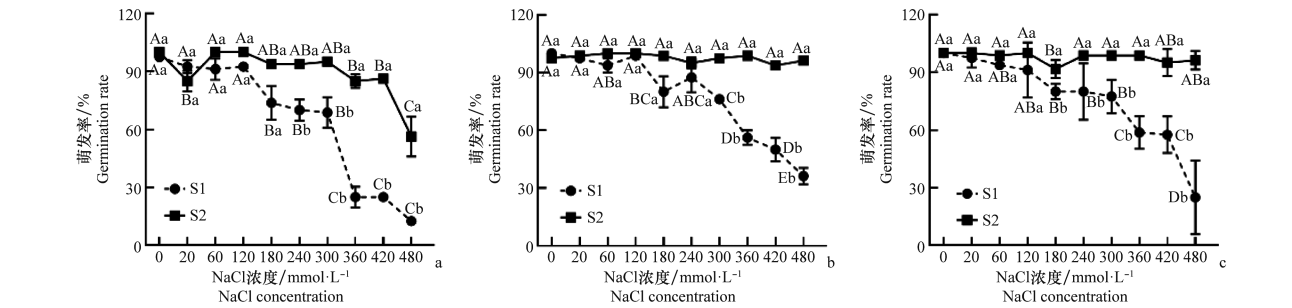
供试 NaCl 浓度下,S2 萌发对盐胁迫的耐受性高于 S1。

2.3 不同粒位种子萌发对水分胁迫的响应

随着渗透势降低节节麦种子萌发率降低,不同粒位节节麦种子萌发对水分胁迫的响应存在差异。从发芽率来看,在渗透势分别为-0.7~-1.3 MPa、-0.5~-1.6 MPa 和-1.0~-1.6 MPa 时,HB-XT、HN-XX 和 SD-BZ 种群 S2 的发芽率显著高于 S1($P<0.05$)。此外,将不同渗透势下 3 个节节麦种群的发芽率进行曲线拟合,模拟得出,HB-XT、HN-XX 和 SD-BZ 的 S1 分别在渗透势为-0.83、

—0.69 MPa 和—1.28 MPa 时发芽率达到最大发芽率的 50%,而 S2 分别在渗透势为—1.56、—1.65 MPa 和—1.75 MPa 时发芽率达到最大发芽率的 50%(图 3)。从萌发速率来看,随渗透势的下降,S1 和 S2 的萌发速率均降低。在供试渗透势为 0~—2.0 MPa

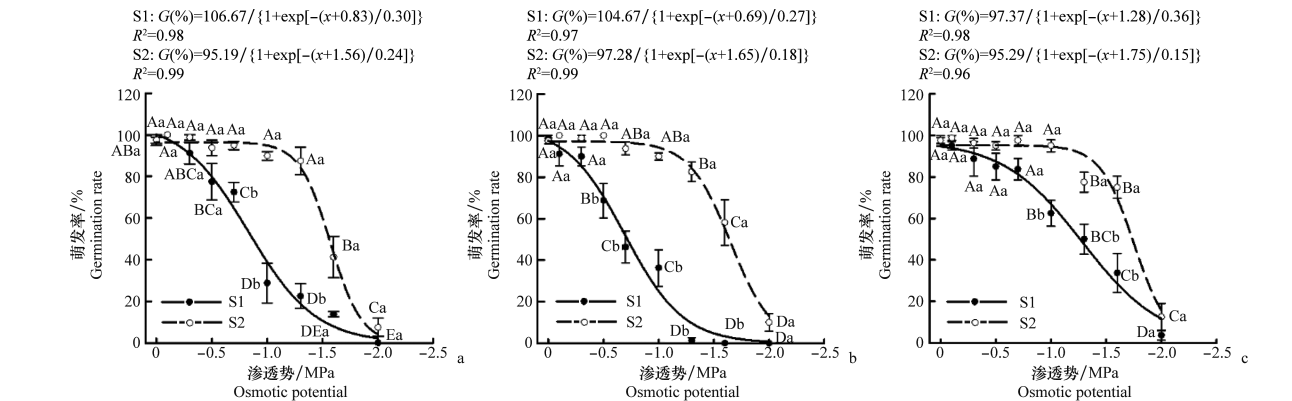
下,HB-XT、HN-XX 和 SD-BZ 3 个种群 S1 的平均萌发速率分别为 0.38、0.42 d⁻¹ 和 0.33 d⁻¹;而 S2 的平均萌发速率分别为 0.51、0.49 d⁻¹ 和 0.51 d⁻¹ (表 3)。由此可见,在供试渗透势下,S2 较 S1 萌发更能耐受水分胁迫。



a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. 图中数据为平均值±标准误差。不同大写字母和小写字母分别表示同一粒位不同NaCl浓度下和相同NaCl浓度不同粒位下的发芽率在 $P<0.05$ 水平差异显著
a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. Data are mean±SE. Different uppercase letters and different lowercase letters represent significant differences in the germination of seeds from the same floret position under different NaCl concentrations and of seeds from different floret positions under the same NaCl concentration at the 0.05 probability level

图 2 盐胁迫下节节麦 S1 和 S2 的萌发率
Fig. 2 Germination rates of *Aegilops tauschii* S1 and S2 under salinity stress

NaCl 浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl concentration	萌发速率/ d^{-1} Germination speed											
	HB-XT				HN-XX				SD-BZ			
	S1	R^2	S2	R^2	S1	R^2	S2	R^2	S1	R^2	S2	R^2
0	0.56	0.94	1.01	0.99	0.56	0.98	0.93	0.99	0.58	0.99	0.99	0.99
20	0.57	0.92	0.97	0.99	0.56	0.97	1.03	0.99	0.42	0.99	0.97	0.99
60	0.56	0.84	0.85	0.99	0.55	0.99	0.98	0.99	0.56	0.99	0.87	0.99
120	0.54	0.86	0.65	0.99	0.54	0.99	0.84	0.99	0.41	0.99	0.70	0.99
180	0.49	0.86	0.56	0.99	0.51	0.97	0.68	0.99	0.36	0.98	0.68	0.99
240	0.43	0.93	0.56	0.99	0.44	0.98	0.54	0.99	0.35	0.98	0.56	0.99
300	0.31	0.85	0.53	0.99	0.31	0.98	0.54	0.99	0.29	0.98	0.52	0.99
360	0.30	0.98	0.40	0.99	0.24	0.99	0.37	0.99	0.23	0.98	0.39	0.99
420	0.18	0.96	0.29	0.99	0.19	0.98	0.30	0.99	0.21	0.98	0.32	0.99
480	0.17	0.99	0.20	0.99	0.16	0.99	0.20	0.98	0.15	0.94	0.18	0.97
平均 Average	0.41	—	0.60	—	0.41	—	0.64	—	0.36	—	0.62	—



a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. 图中数据为平均值±标准误差。不同大写字母和小写字母分别表示同一粒位不同渗透势下和相同渗透势不同粒位下的发芽率在0.05水平差异显著
a: HB-XT; b: HN-XX; c: SD-BZ. Data are mean±SE. Different uppercase letters and different lowercase letters represent significant differences in the germination of seeds from the same floret position under different osmotic potentials and of seeds from different floret positions under the same osmotic potential at the 0.05 probability level

图 3 水分胁迫对节节麦 S1 和 S2 萌发的影响
Fig. 3 Effects of water stress on the germination of S1 and S2 in *Aegilops tauschii*

表 3 水分胁迫对节节麦 S1 和 S2 萌发速率的影响¹⁾

Table 3 Effects of water stress on the germination speeds of S1 and S2 in *Aegilops tauschii*

渗透势/MPa Osmotic potential	萌发速率/d ⁻¹ Germination speed											
	HB-XT				HN-XX				SD-BZ			
	S1	R ²	S2	R ²	S1	R ²	S2	R ²	S1	R ²	S2	R ²
0.0	0.60	0.99	1.05	0.99	0.55	0.99	0.98	0.99	0.64	0.99	1.04	0.99
-0.1	0.58	0.98	1.02	0.99	0.57	0.99	0.83	0.99	0.60	0.99	0.94	0.99
-0.3	0.54	0.99	0.79	0.99	0.51	0.98	0.74	0.99	0.51	0.98	0.68	0.99
-0.5	0.46	0.97	0.56	0.99	0.36	0.98	0.56	0.99	0.31	0.98	0.54	0.99
-0.7	0.36	0.99	0.47	0.99	0.29	0.98	0.54	0.99	0.34	0.98	0.54	0.99
-1.0	0.22	0.96	0.26	0.97	0.35	0.99	0.27	0.99	0.21	0.99	0.37	0.98
-1.3	0.20	0.98	0.23	0.99	0.29	0.99	0.24	0.98	0.17	0.98	0.24	0.97
-1.6	0.09	0.97	0.13	0.99	—	—	0.15	0.99	0.13	0.98	0.16	0.99
-2.0	—	—	0.11	0.99	—	—	0.11	0.99	0.10	0.94	0.12	0.99
平均 Average	0.38	—	0.51	—	0.42	—	0.49	—	0.33	—	0.51	—

1) —表示在此渗透势下无种子萌发。
—represents no seed germination under this osmotic potential.

3 讨论

节节麦小穗上不同粒位种子萌发对环境因子的响应存在差异,其同属杂草圆柱山羊草也存在类似现象^[10],这可能与种子的体积大小有一定关系。观察发现,节节麦小穗不同粒位的种子在表型上有一定的差异,即 S2 比 S1 体积大,这可能是 S2 抗逆性强的主要原因。有报道表明,少花蒺藜草 *Cenchrus spinifex* 同一个刺果中,裸露在外侧的 M 型种子在表型上比半包裹在内侧的 P 型种子大,且 M 型种子对盐胁迫的耐受性显著高于 P 型种子^[12]。婆罗门参 *Tragopogon pratensis* subsp. *pratensis* 单株可产生两种不同颜色的颖果,颜色较深的种子表面粗糙,而颜色较浅的种子表面光滑,与颜色较浅的种子相比,颜色较深的种子不仅质量较重而且发芽率较高^[14]。藜 *Chenopodium album* 产生的棕色种子体积大,萌发快,对盐胁迫耐受性较高,而其产生的黑色种子对盐胁迫敏感^[15]。对于节节麦而言,S2 体积较大、营养物质丰富,可为种胚突破种皮提供更多的能量,使发芽对环境胁迫有较高的耐受性。

节节麦 S1 和 S2 萌发对 pH 的要求不高,这与之之前报道的节节麦种子(带颖壳)的萌发特性相似^[11]。此外,猪殃殃 *Galium spurium*、看麦娘 *Alopecurus aequalis* 等杂草萌发适应的 pH 的范围也较宽^[16-17]。低渗透势影响了节节麦 S1 和 S2 的萌发,这可能是由于低渗透势不利于种子萌发过程中相关酶的激活或分解,也可能是低渗透势限制了种子用于其萌发的营养物质运输和利用。盐胁迫对节节麦

S1 的萌发有显著影响,随着盐浓度的升高,其发芽率逐渐降低,荠菜 *Capsella bursa-pastoris*、猪殃殃、牛筋草 *Eleusine indica* 等杂草也具有类似的萌发特性^[17-19]。这种现象可能与盐胁迫产生的渗透作用、有毒离子、氧化胁迫等有关^[20]。例如,渗透胁迫可通过减缓种子的吸胀过程从而延缓高粱种子的代谢激活和萌发^[21]。有毒离子会影响种胚的活力,引起酶和其他大分子物质的结构破坏、细胞器和质膜的损伤,也可能影响呼吸作用等过程^[22]。此外,氧化胁迫是影响种子萌发的重要因素,盐胁迫可通过干扰活性氧产生和清除的动态平衡来延缓或抑制种子萌发^[22]。

节节麦 S1 和 S2 萌发速率存在差异,S2 较 S1 萌发快可能是植物适应环境长期进化的结果。田间条件下,节节麦小穗从穗轴脱落,存在于土壤种子库,当环境条件适宜时种子开始萌发,S1 和 S2 萌发速率的差异使小穗上的种子能够延长其萌发时间,避免自身不同种子之间的竞争,为其在土壤更好地定植创造条件。在种子萌发过程中,当遇到不利的环境时,如果 S2 萌发后由于环境胁迫未长成幼苗,萌发相对较晚的 S1 仍有机会长成植株,这将为其种群在逆境下生存提供保障。

参考文献

[1] 于海燕,李香菊. 节节麦在我国的分布及其研究概况[J]. 杂草学报,2018,36(1): 1-7.

[2] 房锋,高兴祥,魏守辉,等. 麦田恶性杂草节节麦在中国的发生发展[J]. 草业学报,2015,24(2): 194-201.

[3] JAVAID M M, TANVEER A. Germination ecology of *Emex spinosa* and *Emex australis*, invasive weeds of winter crops

- [J]. Weed Research, 2014, 54(6): 565–575.
- [4] EI-KEBLAWY A, AL-RAWAI A. Effects of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D. C [J]. Journal of Arid Environments, 2005, 61(4): 555–565.
- [5] 郭本兆, 卢生莲, 孙永华, 等. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 39.
- [6] GATFORD K T, EASTWOOD R F, HALLORAN G M. Germination inhibitors in bracts surrounding the grain of *Triticum tauschii* [J]. Functional Plant Biology, 2002, 29(7): 881–890.
- [7] SUN H Z, LU J J, TAN D Y, et al. Dormancy and germination characteristics of the trimorphic achenes of *Garhadiolus papposus* (Asteraceae), an annual ephemeral from the Junggar desert, China [J]. South African Journal of Botany, 2009, 75(3): 537–545.
- [8] 王爱波. 毛穗早麦草小穗不同位置种子吸水特性与萌发期抗旱性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 497–499.
- [9] FANDRICH L, MALLORY-SMITH C. Factors affecting germination of jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) seed [J]. Weed Science, 2006, 54(4): 677–684.
- [10] FANDRICH L, MALLORY-SMITH C. Temperature effects on jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) seed germination [J]. Weed Science, 2005, 53(5): 594–599.
- [11] 王晓阳, 于海燕, 杨娟, 等. 不同环境因素对节节麦萌发的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 196–200.
- [12] ZHANG Z X, TIAN X, SUN L. Germination behaviour of *Cenchrus pauciflorus* seeds across a range of salinities [J]. Weed Research, 2017, 57(2): 91–100.
- [13] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000 [J]. Plant Physiology, 1973, 51(5): 914–916.
- [14] VAN MOLKEN T, JORRITSMA-WIENK L D, VAN HOEK P H W, et al. Only seed size matters for germination in different populations of the dimorphic *Tragopogon pratensis* subsp. *pratensis* (Asteraceae) [J]. American Journal of Botany, 2005, 92(3): 432–437.
- [15] YAO Shixiang, LAN Haiyan, ZHANG Fuchun. Variation of seed heteromorphism in *Chenopodium album* and the effect of salinity stress on the descendants [J]. Annals of Botany, 2010, 105(6): 1015–1025.
- [16] ZHAO Ning, LI Qi, GUO Wenlei, et al. Effect of environmental factors on germination and emergence of shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*) [J]. Weed Science, 2018, 66(1): 1–10.
- [17] 张田田, 马冲, 吴翠霞, 等. 不同环境因素对猪殃殃种子萌发及出苗的影响[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 102–106.
- [18] 吕学深, 张乐乐, 李琦, 等. 多种环境因素对荠菜萌发和出苗的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(28): 68–72.
- [19] CHAUHAN B S, JOHNSON D E. Germination ecology of goosegrass (*Eleusine indica*): an important grass weed of rainfed rice [J]. Weed Science, 2008, 56(5): 699–706.
- [20] KATEMBE W J, UNGAR I A, MITCHELL J P. Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae) [J]. Annals of Botany, 1998, 82(2): 167–175.
- [21] KADER M A, JUTZI S C. Temperature, osmotic pressure and seed treatments influence imbibition rates in sorghum seeds [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2002, 188(4): 286–290.
- [22] IBRAHIM E A. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds [J]. Journal of Plant Physiology, 2016, 192: 38–46.
- (责任编辑: 杨明丽)
-
- (上接 84 页)
- [37] GRABOWSKI M. The study of new fungus species causing apple sooty blotch [J]. Folia Horticulturae, 2007, 19: 89–97.
- [38] DARIENKO T, GUSTAVS L, MUDIMU O, et al. *Chloroidium*, a common terrestrial coccoid green alga previously assigned to *Chlorella* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) [J]. European Journal of Phycology, 2010, 45(1): 79–95.
- [39] CHRISTINE H, RÜDRICH J, ENSELEIT M, et al. Cite as microbial diversity on a marble monument: a case study [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 63(7/8): 1701–1711.
- [40] ATHUKORALA S N P, HUEBNER E, PIERCEY-NORMORE M D. Identification and comparison of the 3 early stages of resynthesis for the lichen *Cladonia rangiferina* [J]. Canadian Journal of Microbiology, 2014, 60(1): 41–52.
- [41] HAYNES K G, WANNER L A, THILL C A, et al. Common scab trials of potato varieties and advanced selections at three U. S. locations [J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87(3): 261–276.
- [42] WANNER L A. A survey of genetic variation in *Streptomyces* isolates causing potato common scab in the United States [J]. Phytopathology, 2006, 96(12): 1363–1371.
- [43] SCHOLTE K, LABRUYERE R E. Netted scab: a new name for an old disease in Europe [J]. Potato Research, 1985, 28(4): 443–448.
- [44] BOUCHEKMECHICHE K, PASCO C, ANDRIVON D, et al. Differences in host range, pathogenicity to potato cultivars and response to soil temperature among *Streptomyces* species causing common and netted scab in France [J]. Plant Pathology, 2010, 49(1): 3–10.
- [45] 杨梦平, 王瑞仙, 杜魏甫, 等. 云南省马铃薯疮痂病致病链霉菌种类组成研究[J]. 植物病理学报, 2018, 48(4): 445–454.
- [46] 高芬, 赵晓霞, 秦雪梅, 等. 山西省蒙古黄芪根腐病优势致病菌群分析[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 878–885.
- (责任编辑: 杨明丽)