

水分胁迫下紫花苜蓿和高粱种子萌发特性及幼苗耐旱性

李文娆^{1,2}, 张岁岐^{2,*}, 山 仑^{1,2}

(1. 河南大学生命科学学院, 生态科学与技术研究所, 河南开封 475004;

2. 西北农林科技大学 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:利用PEG溶液(水势梯度: -0.1 ~ -0.5 MPa)模拟水分胁迫, 研究了紫花苜蓿(品种: 阿尔冈金和陇东)和高粱(品种: 抗四)种子的萌发能力的变化及对萌发环境的最低水分需求, 并进行种间差异比较。结果显示: PEG水分胁迫通过限制种子有效水分的吸收而抑制了其萌发, 且随着胁迫强度的增加, 萌发能力减弱, 主要表现在: 萌发率、吸水速率、萌发活力、萌发胁迫指数等随胁迫强度的增加而下降, 根芽比则随之增加。另一方面, 种子群体萌动、萌发和出苗达50%概率时间随胁迫强度的增加而越发延迟, 且各阶段对环境临界水势的需求不同, 出苗阶段最为严格, 说明种子出苗过程对环境水分胁迫最为敏感, 耐旱能力最弱。相比之下, 在同等胁迫条件下, 高粱种子的萌发能力较苜蓿种子受到影响较小, 各个阶段对环境水势的需求也相对较为宽松。因此, 苜蓿苗期对干旱胁迫的忍耐能力不及高粱, 且出苗过程中对环境水分条件的需求存在品种间差异。

关键词:紫花苜蓿; 种子萌发; 水分胁迫; 耐旱性

文章编号: 1000-0933(2009)06-3066-09 中图分类号: Q142, Q948, S314 文献标识码: A

Seeds germination characteristics and drought-tolerance of alfalfa and sorghum seedling under water stress

LI Wen-Rao^{1,2}, ZHANG Sui-Qi^{2,*}, SHAN Lun^{1,2}

1 College of Life Sciences, Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China

2 Northwest Sci Tech University of Agriculture and Forestry, State Key Lab. of Soil Erosion and Dryland Farmings on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3066 ~ 3074.

Abstract: To better understand the drought-tolerance of alfalfa seedling, we investigated the seeds germination capability and the minimum water requirement in alfalfa (cultivars: Long-Dong and Algonquin) and sorghum (cultivar: Kang-Si) under water stress mimicked by PEG-6000 solution ($\psi_w = -0.1 \sim -0.5$ MPa). Simultaneously, the interspecific difference was obtained. The results showed that the inhibition of seed germination capability was dependent on impairing water efficient uptake under PEG stress, including declines of Germination Ratio, Water Content, Vigor Index and Germination Stress Index and increase of Radicle/Embryo Ratio and so on. Especially, germination capability was more weakened when water stress changed more severe. On the other hand, it must take more time to finish 50% seeds radical emergence, plumule emergence and seedling establishment than that of controls under water stress. The critical water potential at 50% alfalfa seedlings establishment stage was higher than those at 50% seeds radical emergence and plumule emergence stage. It indicated that the stage of seedling establishment was most sensitive to external water potential. Contrasting to alfalfa, the germination capability of sorghum was less affected under the same stress conditions above, and critical water requirements at all stages of germination were lower than those of alfalfa. Therefore, the enduring capability to

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA100202); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-444 和 KSCX2-YW-N-003); 国家教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目

收稿日期: 2008-03-27; 修订日期: 2008-11-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sqzhang@ms.iswc.ac.cn

water stress of alfalfa was weaker than sorghum, and the water requirement at seedling establishment stage was also different between two tested alfalfa cultivars.

Key Words: alfalfa; seeds germination; water stress; drought tolerance

种子萌发和幼苗生长状况是由其内在遗传因素和外界环境条件共同决定的^[1]。环境条件下,水分成为主要的限制因素。山仑等对旱地农业的研究表明,由于干旱造成的种子成苗困难及缺苗断垄现象,是影响农业生产的主要因素之一^[2]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L,简称苜蓿),具有较好的生态、经济和社会效益,是我国西北黄土高原地区主栽的牧草品种之一。魏永胜连续两年以上多次在西安塞高桥乡北宋塔流域的茆顶种植苜蓿,但均未能成苗,与川地对比分析后指出,干燥多风条件下导致的水分大量散失、平衡失调是造成此种现象的主要原因^[3]。原崇德等对我国晋东南地区苜蓿的研究也指出,春播容易因干旱造成出苗困难,夏播即使出苗,也会因烈日暴晒而造成幼苗灼伤死亡,播种成功率极低^[4],生产中苜蓿出苗、成苗困难,水分成为关键因素。众多学者分别从盐分、酸雨、重金属、化学物质、竞争影响等角度对苜蓿种子的萌发特性和能力做了诸多研究^[5~10],但苜蓿种子萌发障碍问题至今仍没有完整定论,从水分生理生态学角度开展的研究也相对较少,苜蓿萌发对环境最低水分需求亦鲜有报道。

另外,虽然目前认为苜蓿具有很好的抗旱能力,但苜蓿的耐旱性强弱问题仍处于讨论阶段。在对高粱等作物的研究中表明,种子的萌发能力可以在一定程度上反映该品种苗期对环境胁迫的忍耐能力^[11]。因此,利用PEG溶液模拟种子萌发环境,根据莫惠栋^[12]和Scott^[13]的经典公式,对苜蓿种子萌发的外界环境最低水分需求予以定量分析,并与高粱种子萌发特性及能力相比较,旨在探讨苜蓿出苗困难的生理生态机制以及苜蓿的生态适应性和对干旱胁迫的忍耐能力,以期为快速合理地解决苜蓿生产中成苗困难、耐旱品种选育以及推广可行性等问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

选用阿尔冈金和陇东苜蓿为实验材料。取种子各100粒,用75%乙醇溶液消毒2 min后摆放在铺垫双层滤纸的培养皿内,以聚乙二醇(PEG-6000)溶液模拟外界水势(梯度:-0.10~-0.50 MPa),在25℃恒温培养箱中暗中萌发。待到种子萌动后,转移至昼夜光/暗时间:12/12 h、温差23/18℃条件下继续培养。每个浓度3次重复,以蒸馏水培养为对照。每2 d更换一次培养滤纸,以减少水势变动。从种子开始吸水始计时,50%种子露白达0.5 cm为萌动;50%种子子叶突破种皮、种苗长1.5 cm为萌发;50%种子子叶完全展开、种苗长3 cm为出苗。连续记录种子萌动、萌发及出苗过程中达到标准的种子个数、胚芽(包括胚轴)和胚根长度。并于吸水后2、6、12、24、36 h和48 h取样测定种子含水量。

高粱(品种:抗四)种子培养方法同苜蓿。从种子开始吸水始计时,50%种子胚根长0.5 cm时为萌动;50%种子胚芽长0.5 cm、种苗长1.5 cm时为萌发;50%种子胚芽长1.5 cm、种苗长3 cm时为出苗。

1.2 实验方法及指标

萌发指数(Germination index) $GI = \sum (Gt/Dt)$, Gt 实验天数内萌发种子数, Dt 为相对萌发天数;

活力指数(Vigor index) $VI = \sum (Gt/Dt) \times Sx$, Sx 为种苗平均长度,种苗长度=根芽+胚根;

萌发率(Germination percentage) $GP\% =$ 萌发天数内种子的萌发个数;

根芽比(Radicle/plumule ratio) $R/P =$ 胚根长度/胚芽长度;

萌发胁迫指数(Germination stress index) $GSI = PIS/PIC$, PIS 为水分胁迫下种子发芽指数(plumule index of stress), PIC 为对照种子发芽指数(plumule index of control),其中,种子发芽指数(PI)=(1.00)nd2+(0.75)nd4+(0.50)nd6+(0.25)nd8,nd2、nd4、nd6、nd8 分别为第2、4、6、8 天的种子发芽率^[14,15];

含水量(Water content) $WC\% = (\text{种子鲜重} - \text{种子干重}) / \text{种子干重} \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对种子萌发能力的影响

实验结果表明,PEG 胁迫处理对苜蓿和高粱种子的萌发具有一定的延缓作用,即水分胁迫可抑制种子萌发;且随着水分胁迫强度的增加,苜蓿和高粱种子的萌发率(*GP*)显著降低。处理第8天,-0.2 MPa水势下,阿尔冈金、陇东和抗四的*GP*分别比对照下降了41%、45%和17%;-0.5 MPa水势下,则分别比对照下降了80%、80%和79%(表1)。同时,苜蓿和高粱种子*GP*的下降带来了萌发指数(*GI*)和萌发胁迫指数(*GSI*)的降低(表1和2)。与对照相比,环境水势从-0.1 MPa下降到-0.5 MPa,阿尔冈金、陇东和抗四的*GSI*分别下降了48.38%~93.78%、53.68%~89.99%和19.42%~92.72%。可以说明,水分胁迫导致了苜蓿和高粱种子萌发数量的减少、萌发速率的降低以及种子萌发活力的下降,且随着环境胁迫的加剧,种子萌发能力受到的影响程度逐渐加大。

表1 水分胁迫对紫花苜蓿及高粱种子相对萌发率(%)和萌发胁迫指数的影响

Table 1 The effect of water stress on *RGP* and *GSI* in alfalfa and sorghum seeds ($P < 0.01$)

品种 Cultivars	CK	环境水势 External water potential (MPa)				
		-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
萌发率(%) <i>GP</i>	阿尔冈金 Algonquin	98 ± 1	74 ± 5	58 ± 2	33 ± 1	24 ± 1
	陇东 Long-Dong	97 ± 1	64 ± 1	53 ± 2	43 ± 1	26 ± 2
	抗四 Kang-Si	98 ± 1	83 ± 1	81 ± 3	54 ± 1	32 ± 2
相对萌发率(%) <i>RGP</i>	阿尔冈金 Algonquin	100 ± 0 a	75 ± 5 b	59 ± 2 c	34 ± 4 d	24 ± 1 e
	陇东 Long-Dong	100 ± 0 a	66 ± 3 b	55 ± 2 c	44 ± 4 d	27 ± 1 e
	抗四 Kang-Si	100 ± 0 a	85 ± 3 b	83 ± 3 b	55 ± 2 c	33 ± 3 d
发芽指数 <i>PI</i>	阿尔冈金 Algonquin	151.42 ± 5.5a	78.17 ± 3.2b	52.75 ± 4.9c	25.00 ± 2.1d	11.50 ± 0.8e
	陇东 Long-Dong	113.17 ± 3.1a	52.42 ± 3.2b	37.33 ± 0.9c	28.33 ± 2.9d	16.83 ± 0.4e
	抗四 Kang-Si	82.42 ± 1.8a	66.42 ± 2.7b	60.75 ± 1.2c	26.67 ± 0.8d	11.17 ± 0.5e
萌发胁迫指数 <i>GSI</i>	阿尔冈金 Algonquin	1.00 ± 0.04a	0.52 ± 0.02b	0.35 ± 0.03c	0.17 ± 0.01d	0.08 ± 0.01e
	陇东 Long-Dong	1.00 ± 0.03a	0.46 ± 0.03b	0.33 ± 0.01c	0.25 ± 0.03d	0.15 ± 0.00e
	抗四 Kang-Si	1.00 ± 0.02a	0.81 ± 0.03b	0.74 ± 0.01c	0.32 ± 0.01d	0.14 ± 0.01e

表2 水分胁迫对紫花苜蓿及高粱种子萌发指数的影响($P < 0.01$)

Table 2 The effect of water stress on *GI* in alfalfa and sorghum seeds ($P < 0.01$)

环境水势 External water potential (MPa)	阿尔冈金 Algonquin		陇东 Long-Dong		抗四 Kang-Si	
	萌发指数 Germination index	- CK%	萌发指数 Germination index	- CK%	萌发指数 Germination index	- CK%
0	110.88 ± 2.91 a	0	86.10 ± 0.85 a	0	50.18 ± 0.91 a	0
-0.1	57.82 ± 2.45 b	47.85	33.86 ± 1.89 b	60.67	44.85 ± 1.08 b	10.62
-0.2	36.38 ± 3.02 c	67.19	25.08 ± 0.46 c	70.87	39.38 ± 0.72 c	21.52
-0.3	16.15 ± 1.24 d	85.43	18.90 ± 1.15 d	78.05	17.57 ± 0.57 d	64.99
-0.4	7.90 ± 0.74 e	92.88	10.94 ± 0.28 e	87.29	6.63 ± 0.16 e	86.79
-0.5	6.75 ± 0.15 e	93.91	7.42 ± 0.50 f	91.38	3.89 ± 0.14 f	92.25

- CK% = (对照萌发指数 - 处理萌发指数) ÷ 对照萌发指数 × 100%, 即各个处理萌发指数的减少值占对照值的百分比
 $- CK\% = (GI \text{ of control} - GI \text{ of treatment}) \div GI \text{ of control} \times 100\%$

2.1.2 对根芽比及萌发活力指数的影响

PEG 胁迫处理后,苜蓿种子胚根长度增长,而胚芽长度则变短,因此,根芽比(*R/P*)显著提高,且*R/P*随着胁迫强度的增加而不断增大(表3)。但由于种子萌发数量随胁迫强度的增大而逐渐减少,活力指数(*VI*)表现为随胁迫强度的增大而下降的趋势(图1)。再如图1所示,高粱种子胚根和胚芽的生长则都受到了PEG

的抑制,但胚芽的受抑制程度较大,并因此使得 VI 在环境水势高于 -0.3 MPa 的情况下略高于对照,在环境水势低于 -0.3 MPa 时才明显下降。

上述说明,随着水分胁迫强度的增加,种子吸胀速度逐渐下降,继而种子萌发速率逐渐降低,从而限制了种子的萌发数量,并带来了种子萌发整齐度的下降。PEG 胁迫对萌发种子胚芽及胚根生长抑制程度的不同可能是种子对干旱胁迫的一种适应性表现, R/P 的增大有利于种苗早干旱逆境下充分吸收利用有限的水分。

2.1.3 对种子水分吸收能力的影响

种子的含水量变化与种子的正常发育密切相关。分析阿尔冈金和陇东种子含水量(WC)的变化(图2),PEG 胁迫处理的,相同吸水时间内种子的含水量均明显低于对照,且随着萌发环境水势的降低含水量亦表现为下降趋势($P < 0.01$)。这种趋势说明,种子在萌发过程中的吸水速率和水分吸收能力在逐渐下降。结合前述,认为 PEG 胁迫处理后,种子萌发数量的减少乃至种子活力的降低主要源于水分亏缺带来的种子水分吸收能力的减弱。另外,阿尔冈金和陇东在受到 PEG 胁迫后,种子的含水量变化趋势上没有明显差别。

表3 水分胁迫对紫花苜蓿和高粱种苗根芽比的影响

Table 3 The effect of water stress on radicle/embryo ratio in alfalfa and sorghum seedlings ($P < 0.01$)

品种 Cultivars		环境水势 External water potential (MPa)					
		0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
阿尔冈金	胚根 radicle (cm)	3.51 ± 0.11	3.69 ± 0.12	3.56 ± 0.28	3.69 ± 0.22	3.74 ± 0.27	4.01 ± 0.19
Algonquin	胚芽 plumule (cm)	2.82 ± 0.14	2.53 ± 0.17	2.31 ± 0.07	2.08 ± 0.41	1.89 ± 0.15	1.76 ± 0.33
	根芽比 R/P (%)	1.27 ± 0.11 d	1.46 ± 0.09 cd	1.54 ± 0.18 cd	1.77 ± 0.24 bc	1.98 ± 0.12 b	2.28 ± 0.09 a
	+ CK%	0	22.48	21.14	39.37	55.91	79.52
陇东	胚根 radicle (cm)	3.84 ± 0.17	4.02 ± 0.19	4.13 ± 0.25	4.30 ± 0.52	4.25 ± 0.14	4.33 ± 0.36
Long-Dong	胚芽 plumule (cm)	2.51 ± 0.14	2.42 ± 0.11	2.28 ± 0.13	2.01 ± 0.11	1.81 ± 0.03	1.62 ± 0.28
	根芽比 R/P (%)	1.53 ± 0.11 c	1.66 ± 0.07 c	1.81 ± 0.23 b	2.14 ± 0.13 b	2.35 ± 0.09 a	2.67 ± 0.32 a
	+ CK%	0	8.44	18.30	39.80	53.59	74.51
抗四	胚根 radicle (cm)	7.03 ± 0	6.85 ± 0.21	6.41 ± 0.31	5.97 ± 0.42	6.16 ± 0.24	6.08 ± 0.19
Kang-Si	胚芽 plumule (cm)	5.46 ± 0	4.96 ± 0.16	3.93 ± 0.13	3.09 ± 0.09	2.68 ± 0.11	2.33 ± 0.22
	根芽比 R/P (%)	1.29 ± 0.06 d	1.38 ± 0.11 c	1.63 ± 0.17 c	1.93 ± 0.17 b	2.30 ± 0.18 b	2.61 ± 0.05 a
	+ CK%	0	6.98	26.35	49.61	78.29	102.33

+ CK% = (处理根芽比值 - 对照根芽比值) \div 对照根芽比值 $\times 100\%$, 即各个处理根芽比的增加值占对照值的百分比
 $+ CK\% = (R/P \text{ value of treatment} - R/P \text{ value of control}) \div R/P \text{ of control} \times 100\%$

2.2 水分胁迫条件下种子萌动、萌发和出苗各阶段的需水阈值研究

研究表明,种子萌动、萌发和出苗时对外界环境水势的要求都有一阈值^[16,17],低于此值种子便不能达到相应阶段。莫惠栋^[12]研究也指出,不同时刻种子萌动、萌发或出苗的累计百分率(即累积频率)与相应时间的对数值存在线性关系,即 $P_i = a \log t + b$ (t 为从播种到观测到该概率出现的时间, P_i 为观测到累积萌动百分率的概率单位转换值)。由此方程可以得到种子萌动、萌发或出苗所需一半的时间 t ,而 t 又可以代表该品种种子生长的速率和整齐度。Scott^[13]将不同的外界环境水势(溶液的渗透势)和种子萌动、萌发或出苗一半的时间 t 的倒数进行拟合,得到方程: $\frac{1}{t} = a\psi_w + b$ (此式中的 a 和 b 为系数,不同于前式中的 a 和 b),其中, $-\frac{b}{a}$

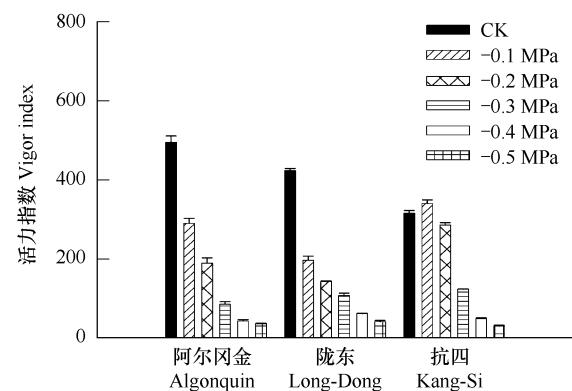


图1 水分胁迫对紫花苜蓿和高粱种子活力指数的影响

Fig. 1 The effect of water stress on VI in alfalfa and sorghum seeds

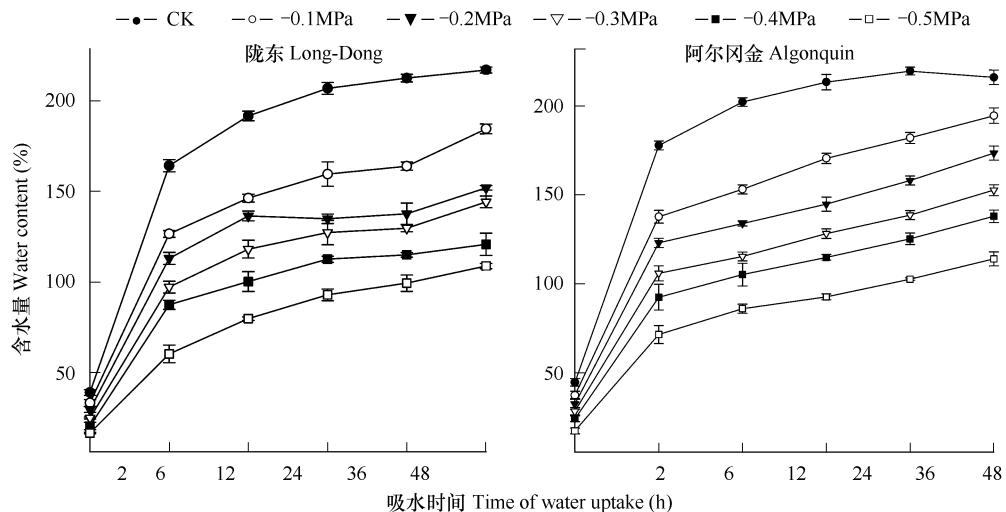


图2 水分胁迫对紫花苜蓿种子水分吸收能力的影响

Fig. 2 The effect of water stress on seed water uptake in alfalfa

则可表示该品种在萌动、萌发或出苗过程中所能忍耐的临界环境水势(需水阈值)。

表4 水分胁迫条件下苜蓿及高粱种子群体吸水时间(h)与萌动、萌发和出苗百分率(%) 的关系

Table 4 Relationship between water uptake time (h) and amount percentages of seed radical emergence rate, plumule emergence and seedling establishment (%) in alfalfa and sorghum under water stress

品种 Cultivars	环境水势 External water potential (MPa)	50% 萌动时间 Time of 50% radical emergence (h)	+ CK% + CK%	50% 萌发时间 Time of 50% plumule emergence (h)	+ CK% + CK%	50% 出苗时间 Time of 50% establishment (h)	+ CK% + CK%
阿尔冈金 Algonquin	0	47.88	0	84.66	0	123.12	0
	-0.1	53.00	10.69	114.46	35.20	227.63	84.88
	-0.2	69.66	45.49	156.43	84.77	309.44	151.33
	-0.3	122.91	156.70	271.69	220.92	405.12	229.05
	-0.4	207.43	333.23	357.43	322.20	586.66	376.50
	-0.5	372.55	678.10	445.08	425.72	624.15	406.95
陇东 Long-Dong	0	36.61	0	77.08	0	134.09	0
	-0.1	56.45	54.19	149.41	93.84	207.62	54.84
	-0.2	64.48	76.12	183.70	138.33	237.71	77.28
	-0.3	75.22	105.46	206.88	168.39	283.76	111.62
	-0.4	86.86	137.26	256.69	233.02	351.62	162.23
	-0.5	139.29	280.48	333.97	333.28	714.12	432.57
抗四 Kang-Si	0	81.57	0	94.03	0	175.28	0
	-0.1	115.17	41.20	123.26	31.09	221.19	26.19
	-0.2	127.44	56.24	141.72	50.72	280.56	60.07
	-0.3	150.81	84.88	190.18	96.15	350.87	100.18
	-0.4	197.27	141.84	228.27	142.76	492.51	180.98
	-0.5	217.90	167.13	262.63	179.30	695.38	296.73

+ CK% = (处理达各个阶段所需时间 - 对照达到相应阶段所需时间) ÷ 对照达到相应阶段所需时间 × 100%, 即各个处理达各个阶段所需时间和对照相比, 增加的数值占对照值的百分比 + CK% = (time needed for treatment to reach 50% radical emergence, plumule emergence or establishment stage - time needed for control to reach corresponding stage) ÷ time needed for control to reach corresponding stage

对不同胁迫处理的苜蓿种子萌动、萌发和出苗阶段的概率与相应的时间对数进行拟合,发现二者均存在显著线性关系;利用最小二乘法进行曲线拟合,发现达到种子萌动、萌发及出苗达50%概率所需要时间与外

界水势关系也都符合非线性方程,再进一步计算,得到了各环境条件下达到各阶段要求百分率的时间(表4)。如表4所示,不同PEG胁迫处理对苜蓿和高粱种子萌动、萌发及出苗过程的主要影响表现在群体起始萌动、萌发和出苗时间的滞后以及相应速率的下降,并且随着环境水分亏缺的加剧而越发显著。

正常供水条件下,阿尔冈金种子群体萌动、萌发和出苗达50%概率所需要时间为47.88、84.66 h和123.12 h,经-0.1~-0.5 MPa PEG胁迫处理后,所需时间分别比对照延长了10.69%~678.10%、35.20%~425.72%和84.88%~406.95%(表4),同时,群体萌动、萌发和出苗达到50%概率的环境临界水势逐渐增高,分别为-0.73、-0.63 MPa和-0.57 MPa。正常供水条件下,陇东种子群体萌动和萌发达50%概率所需要时间均短于阿尔冈金,但出苗达50%概率所需要时间长于阿尔冈金,分别为36.61、77.08 h和134.09 h,PEG胁迫处理后,所需时间分别比对照增加了54.19%~280.48%、93.84%~333.28%和54.84%~432.57%,可以看出,经过胁迫处理后陇东萌动和萌发达50%概率所需时间延长程度小于阿尔冈金。又如表5所示,陇东种子群体萌动和萌发达50%概率的环境临界水势没有差异(分别为-0.74 MPa和-0.76 MPa),但都低于出苗达到50%概率的环境临界水势(-0.65 MPa)要求。

上述表明,苜蓿种子从吸水至出苗过程中,对水分的需求逐渐增强,即对干旱的敏感性在逐渐增大,以出苗阶段要求最高。相比之下,品种间,阿尔冈金和陇东萌动对环境水势的要求上没有明显差异,但是萌发和出苗阶段对环境水势的要求则存在显著不同($P < 0.01$):阿尔冈金种子萌发和出苗对环境水分条件的要求比陇东更为严格。

表5 苜蓿及高粱种子群体50%萌动、萌发及出苗时间与环境水势的关系

Table 5 Relationship between time of 50% seed radical emergence, plumule emergence and seedling establishment (h) and external water potential in alfalfa and sorghum

品种 Cultivars	萌动临界水势(MPa) Seed radical emergence	萌发临界水势(MPa) Seed plumule emergence	出苗临界水势(MPa) Seed seedling
阿尔冈金 Algonquin	-0.73	-0.63	-0.57
陇东 Long-Dong	-0.74	-0.76	-0.65
抗四 Kang-Si	-0.84	-0.78	-0.68

对PEG胁迫处理的高粱种子也进行与苜蓿种子相似的计算,得到一致的结果。正常供水条件下,高粱种子萌动、萌发和出苗达50%概率所需要时间为81.57、94.03 h和175.28 h。在受到PEG水分胁迫后,所需要时间分别比对照延后了41.20%~167.13%、31.09%~179.30%和26.19%~296.13%(表5)。可知其滞后时间相对苜蓿要少,受到胁迫后的增长幅度更远小于阿尔冈金和陇东。同时,高粱在种子萌动、萌发和出苗过程的需水阈值亦和苜蓿存在极显著差异($P < 0.01$):均表现为高粱<陇东<阿尔冈金(萌动期陇东和阿尔冈金无显著差别)。说明高粱萌动、萌发和出苗过程对水分的敏感程度弱于苜蓿,所能忍耐的水分亏缺程度强于苜蓿。

3 讨论

对干旱逆境下植物种子水分需求特性的研究是植物种子水分吸收机理及幼苗耐旱机制研究的基础。研究显示,对于大多数作物而言,种子萌发和早期幼苗阶段对环境胁迫最为敏感^[19]。

3.1 水分胁迫对苜蓿种子萌发能力的影响

郭彦军等^[20]研究指出,当PEG浓度达到15%时(环境水势约-0.3 MPa^[21]),苜蓿发芽率已经受到了完全抑制,这与本实验结果基本一致。分析认为水分胁迫通过限制苜蓿种子吸水而抑制了种子内萌发活性物质的生成、转化和运输(如淀粉水解生成可溶性糖)等,继而严重影响了苜蓿种子的萌发活力,并最终导致萌发速率和数量的下降。本实验结果同时还表明,R/P在经过PEG处理后的显著提高,这与郭彦军等的报道^[20]刚好相反,认为可能是PEG处理对不同品种的限制程度不同,即不同品种的耐旱能力及种子萌发所需水分条件不同的缘故。PEG处理对萌发种子胚根伸长的促进是为保证幼苗成活和生长能力的维持,是对自身根芽

营养分配的一种调节机制,及对干旱逆境的一种适应性表现。孙建华等^[22]和Zeid等^[23]亦曾有过PEG处理后苜蓿种子胚根迅速生长显著高于对照的报道。

种间相比,苜蓿和高粱种子GI、GP、GSI、VI和R/P的变化量上存在明显差异($P < 0.01$),表现在:与对照相比,苜蓿的GI、GP和GSI分别下降了47.85%~93.91%、25%~80%和48.38%~93.78%,高粱GI、GP和GSI则下降较少,分别为10.62%~92.25%、15~79%和19.42%~92.72%,尤其当环境水势高于-0.3 MPa时,降低幅度更远远小于苜蓿;同时,苜蓿的VI下降了41.51%~92.78%,高粱则在环境水势下降到-0.3 MPa时,才有所下降(61.09%~90.67%),苜蓿R/P增加了8.44%~79.52%,而高粱R/P则增加较多,为6.98%~102.33%。因此,水分胁迫对苜蓿种子萌发能力的影响大于高粱种子的,或者说高粱种子萌发过程对水分胁迫的敏感程度弱于苜蓿。

品种之间相比,阿尔冈金和陇东种子的GI、VI、GSI和GP均存在明显差异($P < 0.01$)。正常供水情况下,阿尔冈金具有相对较强的萌发能力(更高的GI、VI和GSI),但在PEG胁迫处理后,亦有着更大的下降幅度,且随着环境水势的降低,下降明显,如萌发环境水势为-0.3 MPa时,阿尔冈金的GI、VI和GSI分别下降了85.43%、82.86%和82.89%,而陇东的下降较少,分别为78.05%、74.82%和74.96%。另外,阿尔冈金GP随着环境水势的下降及萌发天数的增加,均小于相应萌发环境下的陇东GP(表1),R/P和胚根长度亦小于相应萌发环境下陇东的(表3),因此,干旱逆境下阿尔冈金种子萌发能力较陇东的受环境水势影响更大。

3.2 水分胁迫下苜蓿种子萌动、萌发和出苗各过程的需水阈值

种子的需水阈值越大,耐旱性越差。阿尔冈金和陇东在各阶段需水阈值间均存在差异,可见二者对干旱的忍耐能力存在不同,但均表现出萌动-萌发阶段对水分需求较为宽松,而出苗过程对环境水分状况最为敏感。出苗阶段发生的水分亏缺可使幼苗含水率下降,并伴随有蒸腾作用的发生,进而使得幼苗生长的驱动力减弱,生长受到抑制。因而苜蓿种子吸水成苗过程中由依靠种子内贮藏的养分进行生长向依靠光合产物进行发育的阶段转化期对水分需求最为严格。山仑等^[24]和苏佩等^[25]通过对小麦、高粱和玉米等作物的研究也得出:幼苗伸长阶段对水分最为敏感。这亦可能是北方地区苜蓿成苗困难的生理机制之一。

种间相比,PEG胁迫处理后,苜蓿和高粱种子群体萌动、萌发和出苗所需时间均不同程度延长,但苜蓿种子各个阶段所需时间的增长幅度都大于高粱种子的;另外,苜蓿和高粱种子从吸水萌动至出苗过程中,需水阈值逐渐增大,即对环境水势的要求在逐渐严厉,表现出萌动-萌发阶段对水分需求较为宽松,而出苗过程对环境水分状况最为敏感,但各个阶段高粱种子的需水阈值都低于苜蓿相应阶段的,即苜蓿出苗过程对环境水分要求较高粱严厉。

品种间相比,正常供水条件下,陇东种子从吸水到起始萌动、萌发和出苗各阶段所需时间较阿尔冈金相对较短;在受到水分胁迫后,陇东种子起始萌动、萌发和出苗各阶段完成所需时间较阿尔冈金有着更小的滞后程度和范围,并有着相对更低的需水阈值,因而可以忍耐相对更低的外界环境水势,具有更强的干旱胁迫忍耐能力。

4 结论

4.1 水分胁迫减弱了苜蓿和高粱种子的萌发能力

主要表现在:不同浓度PEG胁迫处理后,苜蓿和高粱种子的GP、GI、VI、GSI和含水量与对照相比均显著降低,且随着环境水势的下降而呈现下降趋势;R/P则在经过PEG处理后显著提高,且有随着胁迫强度的增强而呈现增加趋势;种间相比,PEG胁迫处理后,苜蓿和高粱种子各个萌发参数的变化值存在差异;品种间相比,阿尔冈金和陇东的GI、VI、GSI和GP也存在明显不同($P < 0.01$)。

4.2 苜蓿和高粱种子萌动、萌发和出苗各过程的需水阈值存在差异

主要表现在:PEG胁迫处理后,苜蓿种子群体萌动、萌发和出苗所需时间的增长幅度都大于高粱种子的;另外,苜蓿种子各个阶段的需水阈值都高于高粱种子的,即苜蓿出苗过程对环境水分要求较高粱严厉;品种间相比,阿尔冈金和陇东种子萌动阶段对环境水势的要求没有明显差异,但阿尔冈金种子萌发和出苗阶段对环

境水分条件的要求比陇东更为严格。

4.3 苜蓿和高粱幼苗耐旱能力不同

结合前述,受到PEG胁迫处理后,苜蓿种子萌发能力受到的影响大于高粱种子的;再者,苜蓿种子达到萌动、萌发和出苗各个阶段所需时间比高粱种子延长更多,对外界环境水势的要求更高,更易受到环境影响,因此,苜蓿种子萌发和早期幼苗阶段对环境胁迫的忍受能力弱于高粱。

综上所述,苜蓿种子萌发时要求较高的需水量,水分胁迫通过限制苜蓿种子有效水分的吸收而在一定程度上抑制了其萌发,并使得其萌发能力随干旱胁迫强度的增加而下降,出苗过程对环境水分胁迫最为敏感,即成苗阶段的耐旱能力最差。同时可知,苜蓿苗期对干旱胁迫的忍耐能力不及高粱,且不同品种在种子萌发出苗过程中对环境水分条件的要求存在差异性。

References:

- [1] Jevgenija N, Gederts I. Interacting influence of cold stratification treatment and osmotic potential on seed germination of *Triglochin maritima* L. *Acta Universitatis Latviensis (Biology)*, 2007, (723):115—122.
- [2] Shan L, Guo L K. Studies on eco-physiology of seedling emergence under stress environment I. drought resistance and condition of water requirement for several cereal crops during emergence stage. *Acta Agronomica Sinica*, 1984, 10(4):257—263.
- [3] Wei Y S, Li ang Z S, Wu Y J, et al. Strategy of soil-moisture-budget-based pasture establishment in Loess Plateau. *Pratacultural Science*, 2006, (10):1—7.
- [4] Yuan C D, Wang S B, Wang J P. The selection of reasonable seedtime of alfalfa at southeast of Shanxi province. *Grassland and Turf*, 2003, (4): 53—54.
- [5] Shen Z G, Zhang F Q, Zhang F S. Toxicity of copper and zinc in seedlings of mung bean and inducing accumulation of polyamine. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(6):1153—1162.
- [6] Sachiko A, Izumi W. Seed dormancy germination traits of seven *Persicaria* species and their implication in soil seed-bank strategy. *Ecological Research*, 2000, (15):33—46.
- [7] Jun R, Ling T. Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments*, 2003, (55):111—122.
- [8] Song H, Huang T, Dong Z R, et al. Effects of simulated acid rain on seed germination and seedling physiological characteristics of phabulous. *Journal of Biology*, 2007, (5):40—43.
- [9] Song L, Pan K W, Wang J C, et al. Effects of phenolic acids on seed germination and seedling antioxidant enzyme activity of alfalfa. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, (10):3393—3403.
- [10] Zheng L, Feng Y L. Allelopathic effects of eupatorium adenophorum spreng. on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, (10):2782—2787.
- [11] Su P, Shan L. Study of water requirement during seed germination and seedling establishment of maize seeds. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 1996, (01):34—37.
- [12] Mo H D. experiments statistic of agriculture. Shanghai: Science and Technology Press of Shanghai, 1984. 442—446.
- [13] Scott S J, Jones R A, Williams W A. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 1984, (24):1192—1199.
- [14] Chen J. Physiological response for different drought resistance of sweet potato under osmotic stress. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(2):232—236.
- [15] Song B, Zeng Y D, Zuo Q Y, et al. Drought resistance of different maize varieties in germination stage. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2005, 33(1):17—19.
- [16] Owen P C. The relation of germination of wheat to water potential. *Journal of Experimental Botany*, 1952, (3):188—203.
- [17] Hadas A. Water uptake and germination of Leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. *Journal of Experimental Botany*, 1976, (27):480—489.
- [18] Yang F J, Zhang Z H, Wang W J, et al. Anatomical and physiological differences of eight exotic species from Asteraceae. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2):442—449.
- [19] Ke Y Q, Pan T G. A identifying method for salt-tolerance in germinating seeds and seedling of rice using NaCl agar fixation. *Plant Physiology Communications*, 2001, 37(5):32—34.
- [20] Guo Y J, Ni Y, Lü J, et al. Seed germination characteristics and drought resistance of legumes. *Grassland of China*, 2003, 25(3):25—28.

- [21] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 1973, (51): 914~916.
- [22] Sun J H, Wang Y R, Yu L, et al. Effects of osmotic priming with polyethylene glycol on seed germination and vigour of some herbage species. *Acta Pratacultural Science*, 1999, 8(2): 34~42.
- [23] Zeid I M, Shedeed Z A. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum*, 2006, 50(4): 635~640.

参考文献:

- [2] 山仑, 郭礼坤. 逆境成苗生态生理研究 I. 春播禾谷类作物成苗期间的抗旱性及需水条件. *作物学报*, 1984, 10(4): 257.
- [3] 魏永胜, 梁宗锁, 武永军, 等. 晋东南地区苜蓿适宜播种期的选择. *草业科学*, 2006, (10): 1~7.
- [4] 原崇德, 王树兵, 王进萍. 晋东南地区苜蓿适宜播种期的选择. *草原与草坪*, 2003, (4): 53~54.
- [8] 宋贺, 黄婷, 董召荣, 等. 酸雨胁迫条件下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生理特性的变化. *生物学杂志*, 2007, (5): 40~43.
- [9] 宋亮, 潘开文, 王进闯, 等. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化物酶活性的影响. *生态学报*, 2006, (10): 3393~3403.
- [10] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对10种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响. *生态学报*, 2005, (10): 2782~2787.
- [11] 苏佩, 山仑. 玉米种子萌发成苗不同阶段需水阈值的研究. *西北植物学报*, 1996, (01): 34~37.
- [12] 莫惠栋. 农业试验统计. 上海: 科学技术出版社, 1984. 442~446.
- [14] 陈京. 抗旱性不同的甘薯品种对渗透胁迫的生理响应. *作物学报*, 1999, 25(2): 232~236.
- [15] 宋碧, 曾永德, 左乾勇, 等. 不同玉米品种萌芽期抗旱性研究. *贵州农业科学*, 2005, 33(1): 17~19.
- [18] 杨逢建, 张袁华, 王文杰, 等. 八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征的差异. *生态学报*, 2007, 27(2): 442~449.
- [19] 柯玉琴, 潘廷国. 鉴定水稻发芽种子成苗过程中耐盐性的NaCl琼脂固定法. *植物生理学通讯*, 2001, 37(5): 32~34.
- [20] 郭彦军, 倪郁, 吕俊, 等. 豆科牧草种子萌发特性与其抗旱性差异的研究. *中国草地*, 2003, 25(3): 25~28.
- [22] 孙建华, 王彦荣, 余玲, 等. 聚乙二醇引发对几种牧草种子发芽率和活力的影响. *草业学报*, 1999, 8(2): 34~42.