

小黑麦萌发期抗旱条件模拟和抗旱指标的筛选

赵方媛, 田新会, 杜文华

(甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/
甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以 4 个小黑麦种质为材料, 用不同浓度(0, 10%, 20%, 30%, 40%) PEG-6000 对萌发期种子进行干旱胁迫处理, 通过测定种子发芽率、发芽势、发芽指数、胚根与胚芽鞘长度, 以研究小黑麦萌发期抗旱模拟条件。利用灰色关联分析法筛选出了适宜于小黑麦萌发期抗旱性评价的指标, 同时以各指标与抗旱指数之间的相关性, 结合隶属函数法对 4 个小黑麦种质的抗旱性进行了综合评价。结果表明, 30% PEG-6000 溶液为小黑麦种子萌发期抗旱性鉴定的适宜模拟条件; 发芽率与萌发期抗旱性关系最密切; 低浓度(10%, 20%) PEG-6000 有利于小黑麦种子萌发, 并对幼苗根与胚芽的生长有一定促进作用, 40% PEG-6000 完全抑制小黑麦种子发芽; 参试小黑麦种质抗旱性强弱为: 中饲 1048 > 石大 1 号 > P4 > P2, 中饲 1048 小黑麦属于中抗旱型, 石大 1 号属于中间型, 其余 2 份小黑麦种质属于干旱敏感型。

关键词: 小黑麦; 萌发期; 抗旱条件; 抗旱指标; 筛选
中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Screening on drought simulation conditions and drought-resistant parameters at germination stage of triticale

ZHAO Fang-yuan, TIAN Xin-hui, DU Wen-hua

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem,
Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Center for
Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Using 4 triticale genotypes as materials, an experiment was carried out with different concentrations (0, 10%, 20%, 30% and 40%) of polyethylene glycol (PEG-6000) to simulate drought stress, and the parameters including seed germination potential, germination rate, germination index and length of primary root and coleoptiles were measured, so as to study drought simulation conditions at germination stage of triticale. The gray correlative degree analysis was adopted to screen drought-resistant parameters. Furthermore, the drought resistance of different triticale genotypes was evaluated, based on the correlation between drought resistant index and various parameters and combined with subordinate function method. The results showed that the suitable PEG-6000 concentration for screening drought resistance of triticale at germination stage was 30%; the germination rate was most closely related to drought resistance of triticale at germination stage; low PEG-6000 concentration (10% and 20%) was beneficial to seed germination of triticale and could stimulate the growth of primary root and coleoptile, but 40% PEG-6000 inhibited seed germination completely. The drought resistance of the tested triticale genotypes was ordered as: Zhongsi 1048 > Shida No. 1 > P4 > P2. Zhongsi 1048 belonged to the medium drought-resistant type, Shida No. 1 belonged to the middle type and the other 2 belonged to the drought-sensitive type.

Keywords: triticale; germination stage; drought condition; drought-resistant parameter; screening

收稿日期: 2015-12-11
基金项目: 国家自然科学基金(31360577); 教育部博士点基金(20136202110005); 公益性行业(农业)科研专项(201003019); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-40-09B)
作者简介: 赵方媛, 女, 在读硕士, 主要研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail: 1006997460@qq.com。
通信作者: 杜文华, 女, 博导, 教授, 主要研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail: duwh@gsau.edu.cn。

小黑麦 (*Triticale*) 为小麦属 (*Triticum*) 和黑麦属 (*Secale*) 的属间杂交种,是应用染色体加倍和染色体工程育种技术育成的一个新物种。它不但结合了小麦高产优质的特点,而且还具有黑麦抗病、耐寒、耐旱,以及抗逆性和适应性强的优点^[1]。饲用小黑麦生物量高,贮藏营养物质多,适口性好,是各种家畜、家禽的饲料佳品^[2]。

干旱是指当植物吸水量无法满足其自身生理需求时,导致的组织细胞内过度水分亏损的现象,是影响植物正常生长发育而减产的一种农业气象灾害。干旱是世界性农业气象灾害,在干旱和半干旱地区,甚至在一些湿润地区均有发生^[3]。水分作为植物生存的基本生活因子,在影响植物个体发育的同时,也决定着植物类型,并限制植被分布^[4]。小黑麦作为优质禾本科饲草具有较高的生产性能,干旱缺水已成为小黑麦高产的主要限制因子^[5],因此有必要对小黑麦的抗旱性进行研究。前人对小黑麦的抗旱性进行评价时,主要利用与植物抗旱性相关的生理指标及农艺性状,并没有筛选小黑麦萌发期抗旱性评价的适宜模拟条件和抗旱指标。孙黛珍等^[6]研究了小黑麦灌浆期的抗旱性及干旱对各农艺性状指标的影响,结果表明单株粒重、主茎穗粒数和千粒重可作为小黑麦灌浆期抗旱形态指标。王金玲^[7]分析得出,干旱胁迫明显抑制小黑麦胚芽鞘和主胚根的生长。王玮等^[8]对各个形态指标进行研究,认为萌发期的芽鞘长与抗旱性符合最好。种子作为重要的繁殖材料,萌发阶段抗旱性在某种程度可以反映种质的抗旱程度^[9]。在农牧业生产中,作物抗旱性强弱主要体现在产量方面^[10],根据产量结果计算出来的抗旱指数作为植物抗旱鉴定的指标已取得了较好效果^[11]。聚乙二醇 PEG 是一种水势调节剂,它融入水中可以降低水势,使组织失水而起到类似自然的干旱作用^[12-13],用 PEG 模拟干旱已普遍用于作物抗旱性研究^[14]。本试验采用不同浓度 PEG-6000(简称 PEG)溶液模拟自然干旱,利用抗旱指数对小黑麦萌发期进行抗旱性评价,以筛选小黑麦萌发期抗旱性的 PEG 模拟条件和抗旱性指标,为小黑麦种质资源萌发期抗旱性鉴定和筛选抗旱小黑麦种质资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验以中饲 1048 小黑麦品种(Ⅰ),石大 1 号小黑麦品种(Ⅱ),以及甘肃农业大学选育的小黑麦新品系 P2 和 P4 为材料。参试小黑麦种质均为饲草

型小黑麦。中饲 1048 株高 150 ~ 180 cm,耐寒,抗旱,对白粉病免疫,高感锈病,干草产量 10.5 ~ 16.5 t·hm⁻²;石大 1 号:株高 160 ~ 185 cm,抗寒,耐瘠薄,对白粉病免疫,高感锈病,干草产量为 9 ~ 10.5 t·hm⁻²;新品系 P4 株高 110 ~ 120 cm,抗寒,抗锈病,干草产量 13.4 ~ 16.3 t·hm⁻²;P2 株高 120 ~ 140 cm,抗寒性强,高抗锈病,对白粉病免疫,干草产量 12.9 ~ 21.9 t·hm⁻²。

1.2 试验方法

1.2.1 PEG 胁迫试验 采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验。选择各小黑麦种质中籽粒饱满、无残缺且大小适中、均匀一致、无病虫害的种子为材料,用清水洗净,并用蒸馏水浸泡 2 h,然后用 75% 的酒精浸泡 2 min 进行消毒处理,取出用蒸馏水冲洗干净,置于铺有 2 层滤纸的直径为 10 cm 的培养皿中。每个培养皿均匀摆放 50 粒种子,分别加入浓度为 10%、20%、30%、40% 的 PEG-6000 溶液(简称 PEG)5 ml,以等量蒸馏水作为对照(CK)。在光照培养箱中进行萌发培养。培养箱温度 25℃,光照 12 h,光强 5 000 lux。共计 20 个处理,每个处理设 4 次重复。

参考文献[15-16],以芽长相当于种子一半作为发芽标准。第 4 d 测定发芽势,7 d 后计算发芽率及发芽指数,第 8 d 在各重复中随机选取 10 个单株测定胚芽鞘长度以及主根长度。发芽结束后,按下列公式计算每个处理的发芽势、发芽率和发芽指数。

发芽势% = $\frac{\text{第 4 天发芽种子粒数}}{\text{供试种子粒数}} \times 100\%$

发芽率% = $\frac{\text{第 7 天发芽种子粒数}}{\text{供试种子粒数}} \times 100\%$

发芽指数(GI) = $\sum (G_t/D_t)$;式中:G_t 为 t 日的发芽数;D_t 为相应的发芽天数(t = 1,2,3,4,5,6,7)。

1.2.2 田间试验 本试验于 2014 年 5 月 26 日至 2014 年 8 月 25 日进行。随机区组设计,4 次重复,小区面积 15 m²(3 m × 5 m),行距 30 cm,条播,播种量 225 kg·hm⁻²。由于参试小黑麦种质主要在青藏高原高寒牧区种植,无灌溉条件,因此以小黑麦生长季无有效降雨的甘肃省夏河点的干草产量作为干旱胁迫条件下的草产量,降雨量正常的甘肃省合作点的干草产量作为正常条件下的草产量,来计算参试材料的抗旱指数。

合作点:位于甘南藏族自治州草原工作站,34°57'N,102°53'E,海拔 2 954 m,全年降水量 671.7 mm,无霜期 113 d,年平均气温 3.2℃,亚高山草甸土,试验地肥力均匀。

夏河点:位于夏河县草原工作站,35°13'N,102°

45'E,海拔 3 050 m,年平均气温 1.6℃,壤土,试验地肥力均匀。

1.3 抗旱系数、抗旱指数的计算

参考文献[17],本试验利用干旱胁迫和灌水处理下 4 份小黑麦种质草产量的测定结果计算各种质的抗旱系数和抗旱指数,计算公式为:

抗旱系数 = $\frac{\text{干旱胁迫下小黑麦种质的干草产量}}{\text{灌溉条件下小黑麦种质的干草产量}}$;
抗旱指数 =

$\frac{\text{抗旱系数} \times \text{干旱胁迫下某一小黑麦种质的干草产量}}{\text{所有小黑麦种质干旱胁迫下的平均干草产量}}$

4 份小黑麦种质在正常降雨量和干旱胁迫下的干草产量及抗旱指数见下表(表 1)。

表 1 参试小黑麦种质在不同处理下的干草产量及抗旱指数

Table 1 Hay yield and drought - resistant index of tested triticale germplasm under different treatments			
小黑麦种质 Triticale germplasm	干草产量 Hay yield/(t·hm ⁻²)		抗旱指数 Drought Index
	干旱胁迫 Drought stress	正常条件 Normal condition	
I	3.21	14.75	0.2140
II	3.08	13.04	0.2239
P4	3.30	16.39	0.2038
P2	3.45	21.94	0.1664

1.4 灰色关联度的计算

设抗旱指数为参考数列 X_0 ,发芽势、发芽率、发芽指数、根长及胚芽鞘长分别为比较数列 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 。首先对原始数据进行无量纲化处理,再求出 X_0 与对应 X_i 值的绝对差值,然后由下列公式计算出关联系数 $\xi_i(k)$ 。

$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + P \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + P \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$

式中, $|x_0(k) - x_i(k)|$ 为 k 点的绝对值, $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 是两极差最小值, $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 是两极差最大值, P 是分辨系数,取 $P = 0.5$,求得各性状关联系数,再按下列公式求关联度。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

1.5 隶属函数值及 D 值的计算

孙彩霞等^[18]采用目前被广泛认可的抗旱指数为指标进行种质抗旱等级的评定。本试验利用抗旱指数结合抗旱性鉴定各指标的隶属函数值($u(X_j)$)计算抗旱性综合评价值(D),对各供试材料进行抗旱性评价。

隶属函数值($u(X_j)$)计算公式为:

$$u(X_j) = \frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (j = 1, 2, 3, \cdots, n)$$

式中, $u(X_j)$ 为各种质 j 性状指标的隶属函数值, X_j 表示各种质 j 性状指标; $X_{j\min}$ 表示各品种 j 性状指标的最小值; $X_{j\max}$ 表示各品种 j 性状指标的最大值。

抗旱性综合评价值(D) 计算公式为:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j)(|r_j|) / \sum_{j=1}^n |r_j|] \quad (j = 1, 2, 3, \cdots, n)$$

式中, r_j 为各种质第 j 个指标与抗旱指数间的相关系数;若 r_j 为负值,则以 $1 - u(X_j)$ 代替式中 $u(X_j)$; $|r_j| / \sum_{j=1}^n |r_j|$ 为指标权数,表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度;根据 D 值将供试种质进行抗旱性分级, $0.8 \leq D \leq 1$ 为 1 级抗旱型(高抗旱型), $0.6 \leq D < 0.8$ 为 2 级抗旱型(中抗旱型), $0.4 \leq D < 0.6$ 为 3 级抗旱型(中间型), $0.2 \leq D < 0.4$ 为 4 级抗旱型(干旱较敏感型), $0 < D < 0.2$ 为 5 级抗旱型(干旱敏感型)。

1.6 数据统计分析

利用 Excel 2003 整理数据并作图,用 SPSS 19.0 对试验数据进行单因素方差分析。不同 PEG 浓度间和小黑麦种质间的差异显著性用 Duncan 法进行多重比较。采用隶属函数法对小黑麦种质资源进行萌发期抗旱性综合评价。

2 结果与分析

2.1 小黑麦萌发期干旱胁迫条件的筛选

在小黑麦种子萌发期,不同 PEG 浓度对其发芽势、发芽率、发芽指数、胚芽鞘长和根长均有一定影响(表 2)。随着 PEG 浓度增大,4 个小黑麦种质发芽势和发芽率的平均值表现出先增大后减小的趋势,低浓度 PEG 处理(10%)对小黑麦种子的发芽具有促进作用,但浓度过高会抑制小黑麦种子的萌发。PEG 浓度为 40% 时,参试小黑麦种质的平均发芽率均低于 10%。

随着干旱程度加剧,参试小黑麦种质种子的平均发芽指数表现出先升高后降低的趋势,10% PEG 处理的发芽指数最大,与其他浓度处理有显著差异($P < 0.05$);PEG 浓度为 40% 时,平均发芽指数显著小于其他处理($P < 0.05$)。

随着干旱胁迫程度的增大,胚芽鞘长与根长均表现出先增后减的趋势,PEG 浓度为 10% 时,对小黑麦种子胚芽鞘和根的生长具有一定促进作用;PEG 浓度 $\geq 30\%$ 时,胚芽鞘长和根长与 CK 间存在显著差异($P < 0.05$)。

表 2 PEG 浓度对小黑麦种质萌发期生理指标的影响

Table 2 Effects of different PEG concentration on physiological indices of triticale at germination stage

生理指标 Physiological index	PEG 浓度 PEG concentration/%				
	0(CK)	10	20	30	40
发芽势 Germination potential/%	35.88 ± 13.32ab	43.00 ± 12.59a	33.50 ± 12.82ab	14.25 ± 10.47ab	0.13 ± 0.13b
发芽率 Germination rate/%	40.88 ± 13.00a	49.88 ± 12.29a	38.63 ± 12.44a	21.13 ± 10.53ab	1.25 ± 0.43b
发芽指数 Germination index	26.99 ± 10.05ab	33.71 ± 9.72a	26.23 ± 9.71ab	10.07 ± 7.15ab	0.25 ± 0.14b
胚芽鞘长 Length of coleoptile/cm	2.54 ± 0.25ab	2.86 ± 0.34a	2.71 ± 0.22a	1.91 ± 0.25b	0.18 ± 0.18c
根长 Length of primary root/cm	7.08 ± 0.53a	7.78 ± 0.45a	7.56 ± 0.69a	4.44 ± 1.18b	0.72 ± 0.72c

注:上表中不同 PEG 浓度的各指标值均为 4 个参试小黑麦种质的平均值。同行不同小写字母表示不同浓度间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Data for each index are the average of 4 triticale germplasm. Different letters within same lines mean significant difference at 0.05 level.

从不同 PEG 浓度的发芽势、发芽率、发芽指数、胚芽鞘长和根长与 CK 的差异性可知,30% PEG 处理的根长与 CK 有显著差异,虽然该浓度下的发芽势、发芽率、发芽指数和胚芽鞘长与 CK 无显著差异,但 40% PEG 处理下各参试小黑麦种质的发芽率均低于 10%,并使未发芽种子失去发芽能力。因此,30% PEG 为评价小黑麦萌发期抗旱性的适宜浓度。

2.2 小黑麦萌发期抗旱指标的筛选

按照灰色关联理论要求,将 4 个小黑麦种质及其发芽势、发芽率、发芽指数、根长和胚芽鞘长这 5

个性状视为一个总体,即为灰色系统。本试验研究表明,30% PEG 为评价小黑麦萌发期抗旱性的适宜浓度,因此,应用灰色关联分析法计算该浓度下各指标与抗旱指数之间的关联系数以及关联度,从而筛选适宜的抗旱鉴定指标。5 个生理指标与抗旱指数的关联度排序为:发芽率(0.7769) > 发芽势(0.7591) > 发芽指数(0.7533) > 根长(0.6909) > 胚芽鞘长(0.6405)(表 3)。关联度的大小在一定程度上可以反映某一指标对干旱的敏感程度^[19]。因此,发芽率与萌发期抗旱性关系最密切。

表 3 30%PEG 胁迫下参试小黑麦萌发期生理指标和抗旱指数的关联系数(ξ)和关联度(r)

Table 3 Correlative coefficient (r) and correlative degree (ξ) between physiological parameters and drought-resistant index of triticale at germination stage treated with 30% PEG

小黑麦种质 Triticale germplasm	关联系数 Correlative coefficient				
	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	发芽指数 Germination index	根长 Length of primary root	胚芽鞘长 Length of coleoptile
I	0.6878	0.6981	0.6872	0.6887	0.7457
II	0.5739	0.6619	0.5942	0.5711	0.5105
P4	1.0000	0.9044	0.9513	0.8359	0.7802
P2	0.7749	0.8431	0.7806	0.6678	0.5258
关联度 Correlative degree	0.7591	0.7769	0.7533	0.6909	0.6405

2.3 30% PEG 对不同小黑麦种质萌发期生理指标的影响

2.3.1 根长 从图 1(A)可以看出,30% PEG 胁迫下,中饲 1048 小黑麦(I)的根长(7.97 cm)显著高于其他种质($P < 0.05$),并且只有该种质在 30% PEG 胁迫下的根长与 CK 无显著差异。

2.3.2 胚芽鞘长 从图 1(B)可以看出,在 30% PEG 干旱胁迫下,中饲 1048 小黑麦(I)和 P2 的胚芽鞘长(2.57 cm、1.98 cm)与各自的 CK(2.88 cm、2.25 cm)无显著差异,石大 1 号小黑麦(II)和 P4 的胚芽鞘长(1.52 cm、1.55 cm)在干旱胁迫下显著低于各自的 CK(3.04 cm、1.99 cm)($P < 0.05$)。

2.3.3 发芽势和发芽指数 由图 2 看出,在正常供水条件下,中饲 1048 小黑麦(I)的发芽势(74%)和发芽指数(55.64)均显著高于其他 3 份小黑麦种质($P < 0.05$)。30%PEG 胁迫下,4 份小黑麦种质的发芽势和发芽指数均显著低于各自的 CK($P < 0.05$)。其中,P2 的差距较小,中饲 1048 小黑麦(I)的差距较大。

2.4 小黑麦种质萌发期抗旱性综合评价

利用单一指标评价植物的抗旱性虽与利用隶属函数进行综合性评价有一定的一致性,但利用隶属函数,可以更可靠、全面地综合评价不同材料的抗旱性,并可以给出抗旱等级^[20]。在作物生产上,其抗旱与否主要体现在产量方面^[21],本研究利用隶属函

数法对小黑麦种质材料的发芽势、发芽率、发芽指数、根长和胚芽鞘长进行综合评价,各指标与抗旱指数之间的相关系数及指标权数见表 5。4 份小黑麦种质的抗旱性强弱依次为:中饲 1048 > 石大 1 号 >

P4 > P2,根据 D 值大小,中饲 1048 小黑麦属于中抗旱型,石大 1 号小黑麦属于中间型,其余 2 份小黑麦种质属于干旱敏感型(表 4)。

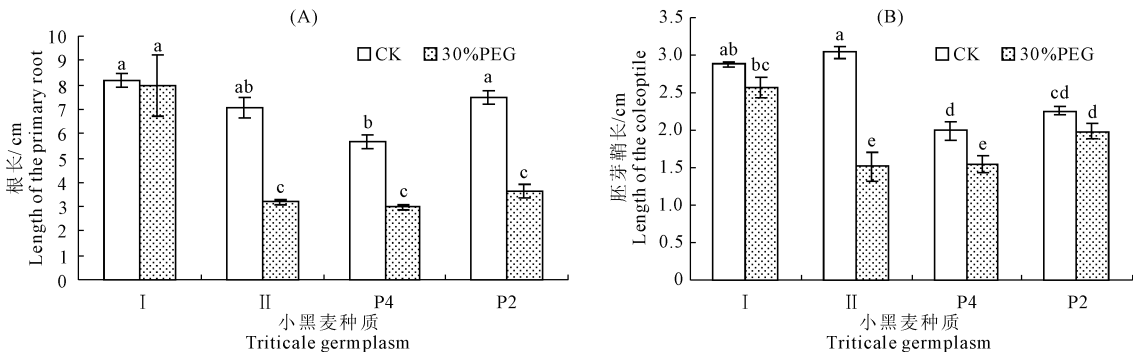


图 1 30% PEG 对不同小黑麦种质萌发期根长(A)和胚芽鞘长(B)的影响

Fig.1 Effects of 30% PEG on length of primary root (A) and coleoptile (B) of triticale at germination stage

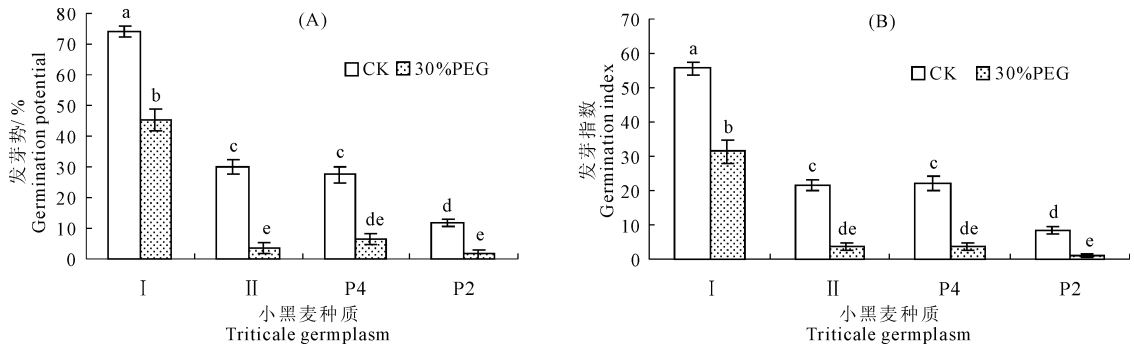


图 2 30% PEG 对不同小黑麦种质萌发期发芽势(A)和发芽指数(B)的影响

Fig.2 Effects of 30% PEG on germination potential (A) and germination index (B) of triticale at germination stage

表 4 30% PEG 胁迫下各小黑麦种质的抗旱指数、 $u(x)$ 值、 D 值及抗旱性分级

Table 4 Drought-resistant index, $u(x)$ value, D value and drought-resistance classification for triticale germplasm treated with 30% PEG

小黑麦种质 Triticale germplasm	抗旱指数 Drought- resistant index	$u(x)$					D 值 D value	抗旱性分级 Drought-resistance classification
		发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	发芽指数 Germination index	根长 Length of primary root	胚芽鞘长 Length of coleoptile		
I	0.2140	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.7163	中抗旱型 Medium drought-resistant type
II	0.2239	0.0000	0.4621	0.0874	0.0000	1.0000	0.4135	中间型 Middle type
P4	0.2038	0.2403	0.0000	0.0867	0.1408	0.2976	0.1561	干旱敏感型 Drought-sensitive type
P2	0.1664	0.0167	0.1179	0.0000	0.0627	0.0295	0.0483	干旱敏感型 Drought-sensitive type

表 5 30% PEG 胁迫下各抗旱指标与抗旱指数的相关系数及各指标的指标权数

Table 5 Correlative coefficient between various drought-resistant parameters and drought-resistant index and weight of parameters under 30% PEG stress

生理指标 Physiological parameter	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	发芽指数 Germination index	根长 Length of primary root	胚芽鞘长 Length of coleoptile
相关系数 Correlative coefficient	0.3330	0.5290	0.3940	0.2820	-0.6090
指标权数 Parameter weight	0.1551	0.2464	0.1835	0.1313	0.2837

3 讨 论

1) 小黑麦是小麦和黑麦的杂交后代,但和小麦及黑麦相比,小黑麦籽粒的饱满度较差,发芽率相对较低^[7]。加之供试小黑麦种质前一年生长发育期间,由于灌浆期干旱缺水,收获的籽粒皱缩、饱满度较差,使得本试验4份参试小黑麦种质的发芽率偏低。

2) 种子萌发期是植物生命史中最为重要的阶段,是对外界渗透胁迫响应比较敏感的时期,也是进行抗旱性研究的重要时期^[22]。本研究表明,随着PEG浓度升高,4个小黑麦种质的发芽率、发芽势、发芽指数的平均值均表现出先升高后降低趋势,并且均在PEG的浓度为10%时各指标值最大(表2),这与李威等^[23]的研究结果一致。说明轻度干旱胁迫对小黑麦种子萌发具有一定促进作用。PEG浓度为40%时,参试小黑麦种质发芽势、发芽率和发芽指数的平均值分别为0.13%、1.25%和0.25%,说明40%PEG严重抑制小黑麦种子发芽,未发芽的种子失去了发芽能力,说明该浓度为参试小黑麦种质的极限致死浓度。PEG浓度为30%时,小黑麦幼苗的根长显著低于CK,但发芽势、发芽率和发芽指数和胚芽鞘长与CK无显著差异,表明种子仍具有一定活力。因此,30%PEG为小黑麦萌发期抗旱性评价的适宜浓度,王金铃^[7]也在此浓度下评价小黑麦萌发期的抗旱性。

3) Blum^[24]研究认为,吸水力强的种子在干旱胁迫下能保持较高的发芽势和发芽率,而吸水弱的种子则相反。杨建昌等^[25]研究认为,发达的根系是作物高产稳产的保障,强壮发达的根系可以提高作物的吸水效率,从而使干旱胁迫的危害程度减弱。胚芽鞘是作物幼嫩子叶的保护组织,其长短及生长速率影响作物初期的生长状况,筛选胚芽鞘生长速率较快的品种,能有效提高出苗率和整齐度^[26]。发芽指数反映种子发芽的整齐程度和出芽快慢^[27]。筛选出小黑麦在萌发期可靠的鉴定指标,可以加速小黑麦抗旱性鉴定。孙彩霞等^[18]通过研究证明,灰色关联分析法用于玉米抗旱性鉴定指标的筛选是有效的。小黑麦抗旱性鉴定指标是对干旱胁迫适应程度的反映,并会决定其产量^[28],而作物产量的抗旱指数可以作为实际抗旱性的评定依据^[21]。因此,本试验结合参试小黑麦种质的抗旱指数计算各指标的灰色关联度表明,发芽率与萌发期抗旱性关系较为密切,为小黑麦萌发期抗旱性评价的适宜指标,这与王曙光等^[29]的研究结果一致。

4) 不同种质在干旱胁迫下表现的性状不同,不同指标对某一种质抗旱性的评价也不同。本研究表明30%PEG溶液对各参试小黑麦种质的发芽势等指标均有不同程度影响。在干旱胁迫下中饲1048的各指标值均显著高于其他3个小黑麦种质,表现出了较强的抗旱性(图1,2)。

5) 刘佳等^[30]研究表明,用不同指标评价同一材料得到的结果可能不同,单一指标难以全面准确地反映作物抗旱性的强弱,采用隶属函数值既消除了个别指标带来的片面性,又使各材料抗旱性差异具有可比性。从某种程度上来说产量水平实际就是作物对干旱胁迫的综合反映^[28]。由于参试小黑麦种质均为饲草型小黑麦,可青饲或调制青干草和青贮饲料,因此在评价其抗旱性方面需要考虑干草产量。抗旱指数是在兼顾抗旱系数和产量性状的基础上得出的一个表达式,表明抗旱基因型同时具有干旱胁迫条件下草产量高和抗旱系数大的双重标准^[31]。本试验采用发芽势、发芽率、发芽指数、根长和胚芽鞘长结合抗旱指数对4个小黑麦种质的抗旱性进行综合评价,结果表明,4份小黑麦种质的抗旱性强弱为:中饲1048>石大1号>P4>P2,中饲1048小黑麦属于中抗旱型,石大1号属于中间型,其余2份小黑麦种质属于干旱敏感型。

参 考 文 献:

- [1] 朱铁霞,高凯,王国成.小黑麦研究进展[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2011,26(4):433-437.
- [2] 田灵芝.刈割—施肥对小黑麦中饲237草产量及品质的影响[D].合肥:安徽农业大学,2004.
- [3] 李玉中,程延年,郝卫平.我国北方抗旱技术研究展望[J].中国农业气象,2003,24(1):19-21.
- [4] 孙长忠,黄宝龙,陈海滨,等.黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J].北京林业大学学报,1998,20(3):7-14.
- [5] 李诚,孔广超,曹连蕾,等.应用模糊综合评判法评价小黑麦的抗旱性[J].湖北农业科学,2012,51(13):2682-2684,2687.
- [6] 孙黛珍,周福平,王曙光,等.六倍体小黑麦灌浆期抗旱性分析[J].中国农学通报,2007,23(7):236-240.
- [7] 王金铃.小黑麦抗旱生理特性及基因表达差异的研究[D].石河子:石河子大学,2006.
- [8] 王玮,邹琦.胚芽鞘长度作为冬小麦抗旱鉴定指标的研究[J].作物学报,1997,23(4):459-467.
- [9] 宋丽华,刘雯雯,陈淑芬.PEG处理对臭椿种子萌发的影响[J].农业科学研究,2005,26(4):25-29.
- [10] Nielsen DC, Nathan O. Black bean sensitivity to drought stress at various growth stages[J]. Crop Sci, 1998, (38):422-427.
- [11] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85.
- [12] 张立军,樊金娟,阮燕晔,等.聚乙二醇在植物渗透胁迫生理研

