

山西小麦地方品种萌发期的抗旱性

贾寿山, 朱俊刚, 王曙光, 史雨刚, 孙黛珍

(山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 利用 20% PEG-6000 作为渗透介质进行室内模拟干旱胁迫, 测定小麦发芽率、发芽势、胚芽鞘长、主胚根长; 采用模糊隶属函数与抗旱系数相结合的方法对品种萌发期的抗旱性进行综合评价, 并利用灰色关联分析了各个形态指标与抗旱性的关系。结果表明, 干旱胁迫下, 各品种的发芽率、发芽势、胚芽鞘长、主胚根长均比对照不同程度地降低或缩短, 而且不同品种间差异达显著或极显著水平; 萌发期各品种抗旱性表现依次为: 白和尚头 > 晋麦 47 > 竹杆青 > 四月黄 > 小红麦 > 灯笼红 > 红皮冬麦 > 忻县冬麦 > 中麦 9 号。应用灰色关联分析的方法研究萌发期发芽势、发芽率、胚芽鞘长和主胚根长的抗旱系数 4 个性状指标与抗旱性之间的灰色关联度, 结果表明, 关联度依次为: 发芽率 > 主根胚长 > 胚芽鞘长 > 发芽势, 表明发芽率与萌发期抗旱性关系最为密切, 其可作为萌发期抗旱性鉴定指标。

关键词: 小麦地方品种; 萌发期; 抗旱性; 渗透胁迫

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)02-0213-05

Drought Resistance of Shanxi Wheat Landraces at Sprouting Stage

JIA Shou-shan, ZHU Jun-gang, WANG Shu-guang, SHI Yu-gang, SUN Dai-zhen

(College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract 20% PEG-6000 was used to induce water stress in laboratory, the germinating potential, germination rate, coleoptile and root lengths were measured. Then drought resistance of Shanxi wheat landraces at sprouting stage were analyzed by fuzzy subordinate function analysis combined drought resistance coefficient. Finally, the relationship between each morphological index and drought resistance was established using grey correlative degree analysis. The results indicated that the germinating potential, germination rate, coleoptile and root length of each landrace were decreased or shortened than those of the control under drought stress, and difference among wheat landraces were significant or remarkably significant, and that drought resistance at sprouting stage in different landraces were Bahe Shangtou > Jinmai 47 > Zhuganqing > Siyuehuang > Xiaohongmai > Dengbenghong > Hongpidongmai > Xinxia Dongmai > Zhongmai 9. Bahe Shangtou was highly resistant to drought at sprouting stage and would be used as a good germplasm in wheat breeding, and that degree of correlation between 4 morphological indexes and drought resistance was germination rate > root length > coleoptile length > germinating potential, hence germinating rate could be a useful morphological index of drought resistance.

Key words Wheat landrace; Sprouting stage; Drought resistance; Osmotic stress

在我国干旱和半干旱地区, 小麦播种期间常常会遇到降水贫乏, 甚至长时间没有降水的问题, 给小麦种子的正常萌发出苗造成了严重危害, 致使缺苗断垄, 严重限制了作物产量。因此, 挖掘萌发期抗旱性种质资源, 研究萌发期抗旱性具有十分重要的意义。

对于小麦萌发期的抗旱性, 杨子光等^[1]认为,

种子吸水力与作物的抗旱性之间呈正相关, 吸水力强的种子在干旱条件下能够保持较高的发芽势和发芽率, 而吸水力弱的种子则相反。水分胁迫下的发芽率可以作为评价作物在萌发期抗土壤干旱能力的一个指标。而钱雪娅等^[2]认为, 胚芽鞘作为作物幼嫩子叶的保护组织, 它的伸长速率影响作物初期的生长状况, 筛选芽鞘伸长速率较快的品种, 能有效地

收稿日期: 2010-11-22

基金项目: 山西省科技攻关项目 (20100311001-6); CGIAR 挑战计划项目 (GCP/G7010.02.01-7); 山西省回国留学人员科技活动择优资助项目 (200856)

作者简介: 贾寿山 (1986-), 男, 山东烟台人, 在读硕士, 主要从事小麦遗传育种研究。

通讯作者: 孙黛珍 (1964-), 女, 山西万荣人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事小麦遗传育种研究。

提高出苗率和整齐度。王玮等^[3]也认为,小麦胚芽鞘长度与萌发期渗透调节能力之间极显著正相关,与抗旱性符合最好。景蕊莲等^[4]研究认为,根的数目较少、根总质量中等、根系较长的小麦品种抗旱性较强。所以,目前认为,与小麦萌发期抗旱性最相关的形态性状是发芽能力、胚芽鞘长与根长。

本研究以山西小麦地方品种为材料,通过室内模拟干旱,分析干旱胁迫对不同小麦品种发芽能力、胚芽鞘长、主胚根长的影响,采用抗旱系数^[5]和隶属函数相结合的方法,综合分析供试材料萌发期的抗旱性,旨在为小麦抗旱育种提供亲本与材料。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为 7 个山西小麦地方品种,包括竹杆青、四月黄、忻县冬麦、红皮冬麦、灯笼红、白和尚头、小红麦,以晋麦 47 和中麦 9 号分别作为抗旱和干旱敏感型对照。

1.2 试验方法

1.2.1 PEG-6000 胁迫下各品种发芽率及发芽势的测定 每个小麦品种分别挑选饱满整齐一致的种子 300 粒,用清水洗净,浸泡水中 2 h 再用 0.1% 升汞消毒 10 min,然后用自来水反复冲洗,放在 20℃ 恒温光照培养箱中吸胀 24 h。挑选籽粒饱满、均匀一致的种子 30 粒摆放在发芽床上(发芽床直径 10 cm、铺 2 层滤纸的培养皿),然后分别加入浓度为 20% 的 PEG-6000(W/V)溶液 3 mL,同时对照加水,培养皿加盖,20℃ 恒温光照培养箱中暗培养 7 d。每个处理重复 3 次,以芽长相当于种子 1/2 长或根长达种子长度作为发芽标准,4 d 后测定发芽势,7 d 后计算发芽率。

发芽势 = 规定天数内发芽种子粒数 / 供试种子粒数 × 100%;

发芽率 = 规定日期内全部发芽种子粒数 / 供试种子粒数 × 100%。

1.2.2 PEG-6000 胁迫下各品种萌发期形态指标的测定^[6] 将供试材料用清水洗净,种子经 0.1% 升汞消毒 10 min,取出洗净;吸胀 24 h 后,在直径 10 cm 的培养皿中铺上 3 层滤纸,加 6 mL 清水,制成发芽床。每一供试品种取萌动一致的种子 30 粒均匀摆放到滤纸上,加盖,置温度 25℃、光强 5 000 lx 的光照培养箱中培养 24 h 后,取出加入 6 mL 20% 聚乙二醇(PEG-6000)溶液进行水分胁迫处理(对照加水),然后培养 24 h 3 次重复。测定胚芽鞘长度和主根长度。

1.2.3 抗旱系数和隶属函数的计算

1.2.3.1 抗旱系数的计算 某一性状的抗旱系数是该性状在干旱条件和正常供水条件下性状值的比值,其计算公式为:该性状抗旱系数 = 处理下该性状值 / 对照该性状值

$$\text{综合抗旱系数} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{处理下性状值}}{\text{对照性状值}}$$

其中, n 为指标性状数量, i 为指标性状。

1.2.3.2 隶属函数的计算^[7,8] 用公式(1)或(2)求得每一基因型各综合指标的隶属函数值:

$$u(x_j) = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$u(x_j) = 1 - \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

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

式中, x_j 表示第 j 个综合指标测定值; $x_{j\min}$ 表示第 j 个综合指标中的最小值; $x_{j\max}$ 表示第 j 个综合指标中最大值。若所用指标与抗旱性呈正相关,用(1)式,反之用(2)式。式(3)中, $u(x_j)$ 为第 j 个综合指标的隶属函数值, r_j 为第 j 个综合指标与综合抗旱指数间的相关系数; $|r_j| / \sum_{j=1}^n |r_j|$ 为指标权数,表示第 j 个综合指标在所有指标中的重要程度。式(3)中, D 为各品种在干旱胁迫下各指标评价所得的抗旱性度量值,根据 D 值将供试品种进行抗旱性分级,即 $0.8 \leq D < 1$ 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)。

1.2.4 灰色关联度的计算 每个品种对照区的性状数列为该品种的参考数据列 x_i , 鉴定区的性状数列分别为被比较数列 y_i 。首先对原始数据进行无量纲化处理,再求出 x_i 与对应 y_i 值的绝对差值,然后由公式计算出 $\varepsilon_i(k)$:

$$\varepsilon_i(k) = \frac{\min_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)| + \rho \max_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)|}{\min_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)| + \rho \max_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)|}$$

式中, $\varepsilon_i(k)$ 为鉴定品种与对照区品种在 k 点(性状)的关联系数, $|x_i(k) - y_i(k)|$ 为 k 点的绝对值, $\min_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)|$ 是两极度差最小值, $\max_{i \in k} |x_i(k) - y_i(k)|$ 是两极度差最大值, ρ 是分辨系数,取 $\rho = 0.5$ 。求得各性状关联系数,再求关联度:

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

指标的关联度越大,其指标与抗旱性的关系越

密切。

1.2.5 统计分析 采用 DPS 3.0 对供试材料的各性状进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 20% PEG-6000胁迫对不同品种种子萌发的影响

与对照相比, 20% PEG-6000 胁迫下, 所有品种的发芽势和发芽率都降低, 而且与对照之间达到显著或极显著水平。但不同品种发芽势和发芽率降低的程度不同, 品种对忻县冬麦降低程度最大, 说明

20% PEG-6000 渗透胁迫对品种忻县冬麦的发芽率影响最大, 表明该品种在萌发期需水量较大, 抗旱性不强。除了抗旱对照品种晋麦 47, 品种白和尚头降低程度最低, 表明该品种在萌发期土壤相对干旱的条件下, 仍能保持较高的发芽率(表 1)。

从表 1 可以看出, 不同品种发芽势与发芽率的抗旱系数之间存在显著或极显著差异, 其中, 品种晋麦 47 白和尚头、竹杆青、小红麦的发芽势与发芽率的抗旱系数较大, 抗旱性强; 红皮冬麦、四月黄、灯笼红次之, 中麦 9 号、忻县冬麦较小, 抗旱性较差。

表 1 20% PEG-6000 胁迫下供试材料的发芽情况

Tab 1 Germination situation of each accession stressed by 20% PEG-6000

品种 Variety	发芽率 % Germination rate			发芽势 % Germination potential		胚芽鞘长 /cm Coleoptile length		主胚根长 /cm Primary root length	
	X	T/CK		X	T/CK	X	T/CK	X	T/CK
中麦 9号	CK	81.67	0.76	78.33	0.34	3.34	0.75	1.55	0.77
	T	61.67 [*]		26.67 [*]		2.49 [*]		1.20 [*]	
晋麦 47	CK	96.67	0.95	96.67	0.59	3.92	0.94	2.08	0.90
	T	91.67 [*]		56.67 [*]		3.67 [*]		1.87 [*]	
竹杆青	CK	93.33	0.91	91.67	0.56	3.94	0.92	2.24	0.82
	T	85.00 [†]		51.67 [*]		3.62 [*]		1.83 [*]	
四月黄	CK	91.67	0.85	88.33	0.43	4.08	0.86	2.17	0.85
	T	78.33 [*]		38.33 [*]		3.49 [*]		1.85 [*]	
忻县冬麦	CK	85.00	0.71	81.67	0.39	3.65	0.74	1.82	0.68
	T	60.00 [*]		31.67 [*]		2.69 [*]		1.24 [*]	
红皮冬麦	CK	91.67	0.85	85.00	0.45	4.28	0.88	2.39	0.81
	T	78.33 [*]		38.33 [*]		3.77 [*]		1.95 [*]	
灯笼红	CK	88.33	0.85	88.33	0.40	4.10	0.83	2.27	0.82
	T	75.00 [*]		35.00 [*]		3.42 [*]		1.86 [*]	
白和尚头	CK	93.33	0.95	93.33	0.61	3.99	0.90	2.05	0.90
	T	88.33 [†]		56.67 [*]		3.61 [*]		1.86 [*]	
小红麦	CK	91.67	0.93	86.67	0.56	3.38	0.86	2.16	0.81
	T	85.00 [†]		48.33 [*]		2.90 [*]		1.76 [*]	

注: * 表示 0.05 水平下的显著性; ** 表示 0.01 水平下的显著性。
Note The correlation coefficient significance as ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

2.2 20% PEG-6000胁迫对不同品种萌发期胚芽鞘长及主胚根长的影响

在相同胁迫条件下, 不同小麦品种的胚芽鞘和主胚根长度存在着差异, 四月黄、灯笼红和红皮冬麦的胚芽鞘和胚根的长度相对较大, 胚芽鞘长分别为 4.08、4.10、4.28 cm, 主胚根长分别为 2.17、2.27、2.39 cm; 忻县冬麦的胚芽鞘和主胚根的长度相对较小, 说明不同品种胚芽鞘和主胚根长存在着遗传上的差异, 这主要是由品种间的基因型决定的。但用 20% PEG-6000 胁迫, 所有品种的主胚根长和胚芽鞘长的抗旱系数均小于 1(表 1), 说明在水分胁迫下, 各品种小麦幼苗胚芽鞘、胚根生长都受到不同程度抑制。但品种竹杆青胚芽鞘长的抗旱系数和品种白

和尚头主胚根长的抗旱系数较大, 表明受抑制程度较小; 而品种忻县冬麦胚芽鞘的抗旱系数和主胚根长的抗旱系数最小; 表明受抑制比较明显(表 1)。

从表 2 可以看出, 干旱胁迫下, 不同品种的胚芽鞘长和主胚根长的抗旱系数之间差异明显, 达显著或极显著水平。抗旱系数越大, 抗旱性越强。根据胚芽鞘长的抗旱系数, 供试材料的抗旱性依次为: 红皮冬麦 > 晋麦 47 > 竹杆青 > 白和尚头 > 四月黄 > 灯笼红 > 小红麦 > 忻县冬麦 > 中麦 9 号。根据主胚根长的抗旱系数, 供试材料的抗旱性依次为: 红皮冬麦 > 晋麦 47 > 白和尚头 > 灯笼红 > 四月黄 > 竹杆青 > 小红麦 > 忻县冬麦 > 中麦 9 号。

表 2 20% PEG-6000胁迫下各品种萌发期抗旱指标差异显著性

Tah 2 Significance of difference of drought index at sprout stage in different varieties by 20% PEG-6000

品种 Variety	胚芽鞘长		根长		发芽率		发芽势	
	Coleoptile length		Primary root length		Gem ination rate		Gem ination poten tial	
	P = 0. 01	P = 0. 05	P = 0. 01	P = 0. 05	P = 0. 01	P = 0. 05	P = 0. 01	P = 0. 05
红皮冬麦	A	a	A	a	BC	c	B	c
晋麦 47	AB	ab	A	a	A	a	A	a
竹杆青	AB	ab	A	a	AB	b	A	ab
白和尚头	AB	ab	A	a	A	ab	A	a
四月黄	AB	b	A	a	BC	c	B	c
灯笼红	B	b	A	a	C	c	BC	c
小红麦	C	c	A	a	AB	b	A	b
忻县冬麦	CD	cd	B	b	D	d	BC	cd
中麦 9号	D	d	B	b	D	d	C	d

2 3 萌发期抗旱性综合分析

作物的抗旱性是一个复杂的数量性状, 要对某个品种的抗旱性或者对某个品种某一生育阶段的抗旱性进行准确评估, 必须同时检测几个指标进行综合分析。采用模糊隶属函数与抗旱系数相结合的方

法, 对供试材料的萌发期抗旱性进行综合评定得出, 白和尚头、竹杆青和晋麦 47为高抗旱型品种; 小红麦为中抗旱型品种; 四月黄、红皮冬麦和灯笼红为中间型; 忻县冬麦和中麦 9号为干旱敏感型(表 3)。

表 3 PEG 胁迫下各品种萌发期抗旱指标抗旱系数的 $U(x)$, D 值及抗旱性综合评价

Tah 3 $U(x)$ value D value of drought resistant coefficient of drought resistant index and drought resistant evaluation of different varieties by 20% PEG-6000 at the sprout stage

品种 Variety	综合抗旱系数 Comprehend ive drought resistant coefficient	$U(x)$				D 值 D value	位次 Rank	抗旱性评价 Drought resistance class
		发芽率 Gem ination rate	发芽势 Gem ination potential	相对胚芽鞘长 Coleoptile length	相对根长 Prim ary root length			
中麦 9号	0. 65	0. 19	0. 00	0. 00	0. 43	0. 15	8	5
晋麦 47	0. 85	1. 00	0. 91	1. 00	1. 00	0. 98	1	1
竹杆青	0. 81	0. 84	0. 83	0. 93	0. 62	0. 81	3	1
四月黄	0. 76	0. 60	0. 35	0. 59	0. 79	0. 58	6	3
忻县冬麦	0. 64	0. 00	0. 18	0. 16	0. 00	0. 09	9	5
红皮冬麦	0. 76	0. 74	0. 41	0. 60	0. 61	0. 59	5	3
灯笼红	0. 72	0. 58	0. 21	0. 38	0. 63	0. 45	7	3
白和尚头	0. 85	1. 00	1. 00	0. 85	1. 00	0. 96	2	1
小红麦	0. 79	0. 91	0. 81	0. 50	0. 61	0. 71	4	2
R		0. 970	0. 937	0. 945	0. 873			
指标权数		0. 260	0. 252	0. 254	0. 234			

2 4 萌发期抗旱指标的灰色关联度分析

应用灰色关联分析的方法研究萌发期发芽势、发芽率、胚芽鞘长和主胚根长的抗旱系数 4个性状指标与抗旱性之间的灰色关联度。按灰色关联理论要求, 将上述 9个品种 4个性状指标视为一个总体

即灰色系统, 对照区的品种为相应鉴定区品种的参考品种, 代入公式计算出关联度, 得出各性状抗旱性关联度排序为: 发芽率 > 主根胚长 > 胚芽鞘长 > 发芽势(表 4)。因此, 发芽率与萌发期抗旱性关系最为密切。

表 4 萌发期各品种各指标的关联系数 (ζ) 和关联度 (r)

Tah 4 Correlative degree and correlative indexes of each variety under low water potential at sprout stage

品种 Variety	关联系数 (ζ)			
	胚芽鞘长 Coleoptile length	主胚根长 Prim ary root length	发芽势 Gem inating power	发芽率 Gem inating rate
晋麦 47	0. 398 6	0. 752 5	0. 419 1	0. 478 0
竹杆青	0. 601 1	0. 343 3	0. 573 5	0. 588 2
四月黄	0. 537 4	0. 415 2	0. 655 2	0. 805 8
忻县冬麦	0. 904 4	0. 842 7	0. 655 0	0. 998 0
红皮冬麦	0. 383 0	0. 571 0	0. 628 2	0. 356 1
灯笼红	0. 584 0	0. 698 9	0. 793 1	0. 989 7
白和尚头	0. 866 6	0. 735 3	0. 541 2	0. 966 1
小红麦	0. 571 3	0. 748 1	0. 397 2	0. 455 0
中麦 9号	0. 881 0	0. 604 1	0. 491 5	0. 481 4
关联度 (r)	0. 636 4	0. 636 6	0. 572 7	0. 680 0

3 讨论

我国北方麦区长期或短期的缺水使冬小麦经常受到干旱的危害, 生长发育受阻, 从而限制了冬小麦生产潜力的发挥。作物的抗旱性是一个复杂的综合特性, 发生在作物生长发育的不同阶段; 作物在不同生育时期抵抗干旱胁迫的内在机制是不同的, 尤其目前所采用的抗旱性研究方法多为阶段性控水处理的结果, 因而对于一个小麦品种抗旱性进行鉴定, 首先从小麦生长发育的总过程对小麦抗旱性进行综合评判, 不仅需将形态指标、生理生化指标及产量指标结合, 而且需综合评定各生育时期的抗旱性, 消除某个生长时期的局限性, 从而提高抗旱性鉴定的可靠性和科学性。目前, 多数人认为, 模糊隶属函数是综合评价作物抗旱性的有效方法^[9-13]。但利用模糊隶属函数, 必须首先鉴定抗旱性相关性状, 目前, 不论是对作物整个生育期还是某个生育期的抗旱性鉴定, 不同的研究者所用指标不同, 本研究参考前人的研究结果, 分析与小麦萌发期抗旱性最相关的性状发芽能力、胚芽鞘长、主胚根长, 再利用隶属函数结合抗旱系数的方法, 对山西 7 个小麦地方品种的抗旱性进行了综合分析, 得出白和尚头和竹杆青在萌发期具有较强的抗旱性, 为小麦抗旱育种提供了优异的种质资源。

王玮等^[6 14 15]为寻求一种测定简单而且与抗旱性最相关的指标, 通过对各个形态指标进行变异度分析得出, 干旱胁迫下胚芽鞘长度能很好地显示品种的抗旱性, 而胚根数的多少与抗旱性关系不明显, 所以认为, 胚芽鞘长度作为抗旱筛选指标是可靠的, 且与渗透调节能力关系密切, 由此鉴定了一批抗旱性品种。本研究则通过灰色关联度分析法分析萌发期各性状指标与抗旱性的关系, 发现发芽率与萌发期抗旱性关系最为密切, 这与前人的报道^[16 17]是一致的。而且农业部下达的《小麦抗旱性评价技术规范》^[18]中明确指出, 萌发期抗旱性主要利用相对发芽率即发芽率抗旱系数进行抗旱分级, 这也说明相对发芽率即发芽率抗旱系数是目前鉴定萌发期抗旱性最好的指标。

山西是我国小麦生产的主要省份之一, 也是有名的十年九旱省份, 其根据干旱气候条件和栽培条件的不同可分为 3 个生态区, 即南部旱作生态区、中部旱作生态区和晋东南半湿润旱作生态区。山西小麦地方品种来自于不同的生态区, 长期生长在不同的干旱环境条件下, 未经过现代育种技术的遗传修饰, 对本地区自然条件具有高度的适应性, 对当地不

利的气候、土壤因素以及病虫害特别是干旱有较高的抵抗能力和忍耐能力。因此, 其蕴藏着丰富的抗旱基因资源。本研究以之为材料筛选鉴定出白和尚头和竹杆青在萌发期具有较强的抗旱性, 为进一步研究其在小麦抗旱育种中的价值提供了基础。

参考文献:

- [1] 杨子光, 张灿军, 冀天会, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 IV 萌发期抗旱指标的比较研究 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 173-176
- [2] 钱雪娅, 景蕊莲, 王 辉, 等. 不同处理条件下小麦胚芽鞘长的遗传分析 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2436-2441.
- [3] 王 玮, 邹 琦. 胚芽鞘长度作为冬小麦抗旱性鉴定指标的研究 [J]. 作物学报, 1997(4): 458-467
- [4] 景蕊莲, 胡荣海, 朱志华, 等. 冬小麦不同基因型幼苗形态性状遗传力和抗旱性的研究 [J]. 西北植物学报, 1997, 17(2): 152-157.
- [5] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法 [J]. 华北农学报, 1990, 5(2): 20-25
- [6] 邹 琦, 王 玮, 杨兴洪, 等. 冬小麦抗旱性鉴定的新方法——低水势下胚芽鞘长度法 [J]. 中国农学通报, 2000, 16(3): 23-27
- [7] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1378-1382
- [8] 谢志坚. 农业科学中的模糊数学方法 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1983: 99-193
- [9] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 等. 甘薯材料抗旱性生理指标及其综合评价初探 [J]. 作物学报, 1996, 22(4): 392-398
- [10] 李培英, 孙宗玖, 阿不来提. PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价 [J]. 中国草地学报, 2010, 32(1): 32-38
- [11] 王 赞, 李 源, 吴欣明, 等. PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定 [J]. 中国草地学报, 2008, 30(1): 50-55.
- [12] 杜雅楠, 陈新宏, 赵继新, 等. 小麦—华山新麦草衍生后代抗旱性分析 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30(4): 670-675
- [13] 张国芳, 孟 林, 毛培春. 偃麦草和中间偃麦草种质材料苗期抗旱性鉴定研究 [J]. 华北农学报, 2007, 22(3): 54-59.
- [14] 王 玮, 邹 琦. 渗透胁迫对不同抗旱性小麦品种胚芽鞘生长的影响 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(3): 168-171
- [15] 王 玮, 邹 琦, 杨 军, 等. 水分胁迫下抗旱性不同的小麦品种芽鞘生长的动态分析 [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(5): 359-362
- [16] 李 壮, 许文娟, 薛兵车, 等. 玉米苗期抗旱性评定方法探讨 [J]. 玉米科学, 2004, 12(2): 73-75, 88
- [17] 王曙光, 孙黛珍, 周福平, 等. 六倍体小黑麦萌发期抗旱性分析 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1403-1408
- [18] 景蕊莲, 胡荣海, 张灿军, 等. GB/T 3543.4 农作物种子检验规程发芽试验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.