

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

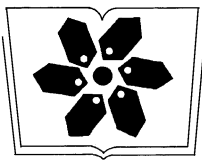
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选

彭远英^{1,*}, 颜红海¹, 郭来春², 任长忠²

(1. 四川农业大学 小麦研究所, 四川 成都 611130; 2. 白城市农业科学院, 吉林 白城 137000)

摘要:盆栽控水试验测定了燕麦属 13 个二倍体、7 个四倍体和 5 个六倍体物种共 106 份材料的主要抗旱性状表现,用 GGEbiplot 软件的主成分分析法比较了各性状之间的关系及其对抗旱鉴定的贡献,综合评价燕麦属野生资源在燕麦抗旱育种中的潜能和利用价值。结果表明,干旱处理后植株的死亡率和萎蔫程度与可溶性糖含量的增加幅度呈显著正相关关系($r>0.5$, $P<0.05$),而胁迫后植株的丙二醛(MDA)含量和植株相对电导率与抗旱能力也明显相关($r>0.5$, $P<0.01$)。综合考虑抗旱的相关形态和生理指标,筛选到二倍体 *Avena atlantica*、*A. wiestii* 和 *A. strigosa*,四倍体种 *A. murphyi*,以及六倍体栽培燕麦 *A. sativa* 和普通野燕麦 *A. fatua* 的部分居群具有优良的综合抗旱性。基于 *A. wiestii*、*A. strigosa* 和 *A. murphyi* 与栽培燕麦较近的亲缘关系,其抗旱性可通过远缘杂交的方式在普通燕麦育种中加以利用。而对于具有明显抗旱优势的野生二倍体材料 *A. atlantica*,则可通过克隆其抗旱基因进而遗传转化的方法将其应用于栽培燕麦的抗旱性改良。同时该研究表明燕麦的抗旱性不具有种属和分布区域的特异性,因此其抗旱性并非简单的由基因或环境决定,在确定抗旱材料时需要对个体进行全面的抗旱性评价和鉴定,以期在利用抗旱材料或通过克隆抗旱基因来改善干旱地区生态环境的实践中能更准确和有效。

关键词:燕麦属;种质资源;干旱胁迫;GGE 双标图;抗旱育种

Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of *Avena* species with different types of ploidy

PENG Yuanying^{1,*}, YAN Honghai¹, GUO Laichun², REN Changzhong²

1. Triticeae Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Baicheng Academy of Agricultural Science, Baicheng 137000, China

Abstract: Drought is one of the most limiting factors in oat production worldwide. It is important to utilize the genetic resources of wild oat and its relatives for the improvement of drought resistance of cultivated oat. This study characterized and evaluated the drought-resistant traits of a selected set of germplasm accessions representing various *Avena* species with different types of ploidy, and selected the wild germplasm of oat species for the genetic improvement of drought resistance in oat. A pot experiment was used to subject 106 oat accessions, 13 diploid species, 7 tetraploid species and 5 hexaploid species of genus *Avena*, to water stresses to determine the drought-resistance based on relative electric conductivity, soluble carbohydrate content and malondialdehyde (MDA) content, etc. The correlation coefficients between different drought resistance characters and their contribution to drought resistance were analyzed using principal component analysis, and then comprehensive evaluation was conducted to reveal the potential and utilization value of the oat wild species for drought resistance improvement. At the first rewatering stage after 10 d drought stress, only 4 of the 106 accessions were entirely withered, and about 70% of those accessions could be recovered in various degrees after the three times of drought stress and rewatering treatments. The results indicated that there was an increase in the relative electric conductivity, MDA content and soluble carbohydrate content measured at different stages of drought stress. The survival rates and growth indicators of the accessions were significantly correlated with the extent of the increase in soluble carbohydrate content under drought stress, while MDA content and relative electric conductivity were closely related to their drought-resistant ability.

基金项目:现代农业燕麦产业技术体系建设专项资金(nycyt-14);四川省教育厅青年基金资助项目(092B052)

收稿日期:2010-10-30; **修订日期:**2011-01-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yy.peng@hotmail.com

Integrated evaluation of morphological and physiological characters under drought stress revealed that some accessions of diploid *Avena* species, *A. atlantica*, *A. wiestii* and *A. strigosa*, tetraploid species *A. murphyi*, cultivated and wild hexaploid species *A. sativa* and *A. fatua* can be excellent germplasm resources for drought resistance improvement in oat. The drought-resistance of *A. wiestii*, *A. strigosa* and *A. murphyi* could be utilized by distant hybridization with cultivated oat due to their close relationship, while that of *A. atlantica*, which had not been used as a donor of cultivated oat, could be transferred by cloning the drought-resistant gene and transferring it to cultivated oat. The drought-resistance of *Avena* species is not simply decided by genes or environment, since there was no relationship between drought resistance and species or the origin of the lines. Therefore, overall evaluation should be carried out to select the drought-resistant accessions, and to use these accessions in the genetic improvement of oat for drought resistance.

Key Words: *Avena* L.; germplasm resources, drought resistance; GGE biplot; genetic improvement

燕麦(*Avena sativa* L.)隶属于禾本科(Gramineae)燕麦属(*Avena* L.),是一种具有很高营养保健价值的禾谷类粮食饲料兼用型作物。燕麦在世界禾谷类作物中,总产量仅次于小麦,水稻,玉米,大麦,位列第5位^[1]。世界各国燕麦品种资源丰富,主要分布在前苏联、美国、加拿大、澳大利亚、波兰和爱尔兰等国家和地区,我国种植历史也十分悠久,遍及山区、高原和北部高寒冷凉地带,具有营养价值高、医疗保健价值高和饲用价值高等优点^[1-4]。

干旱是限制作物产量的重要因素,抗旱育种是提高干旱条件下作物产量的有效手段^[5]。抗旱性是植物对于干旱环境条件的一种适应性生理反应,与体内水分代谢、物质代谢有重大关系,其中每一个因素与抗旱性之间存在一定的联系或相关^[6]。干旱会造成生理生化代谢的改变,主要表现在渗透调节、抗脱水保护、抗氧化防御系统、激素代谢等方面^[7-11]。植物器官在逆境条件下遭受伤害,往往发生膜脂的过氧化作用,丙二醛(MDA)是植物脂质过氧化作用的一个产物^[12]。许多相关研究显示,MDA含量的积累量反映植物受逆境伤害的程度^[13-14]。而干旱胁迫后植物相对电导率变化往往出现在外部形态的变化之前,因而可作为抗旱性的生理指标^[15],相对电导率反映了植物受旱后叶片细胞膜透性的增强程度,与材料抗旱性负相关^[16-18]。可溶性糖是干旱胁迫诱导的小分子溶质之一,在干旱胁迫下,可溶性糖的积累能增加细胞质浓度,调节渗透压,以保持机体各种生理过程的正常进行^[19-20],其增加速度与胁迫的程度呈正相关^[21-24]。虽然上述生理指标在抗旱性鉴定中广泛应用,且已有各生理指标与抗旱性关系的评述,但目前仍未取得完全一致的看法^[25-26]。Levitt曾指出,在测定各种环境对植物的胁迫中,抗旱性最难测定,且没有一种方法能测出植物的各种抗旱性^[27]。而大多数学者的研究也表明用单一指标很难全面准确地反映不同品种植物的抗旱性强弱^[28-30],在实际研究中,应以多种生理生化的综合效应来判定植物的抗旱能力。

燕麦属共29个种,包含从二倍体通过四倍体最终进化为六倍体的多种倍系,且不同的燕麦物种有各自不同的发源地^[31]。野生的二倍体、四倍体燕麦主要分布在地中海、外高加索、伊朗、伊拉克等地区,而西班牙和葡萄牙则是二倍体栽培燕麦*Avena strigosa*的多样性中心,四倍体栽培种*A. abyssinica*的起源中心是埃塞俄比亚,普通栽培燕麦分为带皮和裸粒类型,皮燕麦起源于伊朗和俄罗斯,裸燕麦起源于中国和蒙古^[32]。目前栽培燕麦已广泛分布于包括北美、南美等广大区域在内的世界大多数地区。而很多野生燕麦也以杂草的形式蔓延到更广阔的生长区域,如六倍体野燕麦*A. fatua*几乎在世界各地均有分布。因此,燕麦属物种具有较宽的生态幅,且不同物种在地理分布上重叠。我国作为栽培燕麦的起源中心之一,也具有较大的适宜种植区域和生产发展潜力。

虽然燕麦抗旱高产育种已经得到了广泛重视并初见成效,但随着生产水平的提高,单靠栽培燕麦种内的遗传资源已不能满足育种工作的需要,因此必须深入了解和开发燕麦属野生资源。当现有品种资源无法满足育种目标要求时,引入异种的有利基因,可培育出具有优异性状的新品种。尤其可利用杂种优势在相关性状上有所突破。发掘出栽培燕麦近缘种中的有利基因源以便能通过远缘杂交的方式来利用它们。而以往对

燕麦的研究主要集中在栽培燕麦的适应性栽培^[33]、生物工程育种^[34-36]以及营养特性和产品开发^[37]等方面,对于燕麦干旱伤害的生理机制以及野生燕麦资源抗旱性方面研究尚未见报道。同时,在燕麦受干旱胁迫后上述3种常用的抗旱生理指标之间的差异及对抗旱能力的贡献研究不足,鉴于此,本研究来源于不同物候区的不同倍性和不同染色体组构成的燕麦属作物为试材,采用盆栽控水的方法,测定干旱胁迫后燕麦属野生和栽培物种的形态和生理指标变化,探讨其抗旱的生理机制并筛选抗旱的燕麦资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用来源于不同居群的能代表燕麦属物种的13个二倍体、7个四倍体和5个六倍体种的106份材料用于本研究(表1—表3)。所有种子材料均由美国国家小谷物研究机构(ARS,USDA)和加拿大农业和农作物研究中心(AAFC)提供。供试的燕麦属材料包含不同染色体组成和不同倍性,来源于包括摩洛哥干旱地区在内的各种生长环境。

表1 供试的燕麦属二倍体材料及干旱胁迫后的生长状况

Table 1 The diploid accessions of *Avena* and their plant status after drought stress

种名 Species	种型 Specific type	基因组 Genome	样品号 Accession No.	编号 Serial No.	来源地 Origin or source	干旱胁迫后生长情况 Plant status after drought stress
<i>A. atlantica</i>	野生种 Wild	As	CN 25849	9	摩洛哥	D2
			CN 25859	10	摩洛哥	A
			CN 25864	11	摩洛哥	B
			CN 25887	12	摩洛哥	A
			CN 25897	13	摩洛哥	D2
<i>A. brevis</i>	野生种	As	Ciav 1783	20	德国: 萨克森	D
			Ciav 9113	21	欧洲	D3
			PI 258545	22	葡萄牙	B
<i>A. canariensis</i>	野生种	Ac	CN 23017	23	加那利群岛	C
			CN 23029	24	加那利群岛	D3
			CN 25442	25	加那利群岛	D3
			CN 26172	26	加那利群岛	D3
			CN 26195	27	加那利群岛	D3
<i>A. clauda</i>	野生种	Cp	CN 19205	28	伊朗	D
			CN 19242	29	土耳其	D3
			CN 21378	30	希腊	D3
			CN 21388	31	阿尔及利亚	D1
			CN 24695	32	土耳其	D2
<i>A. damascena</i>	野生种	Ad	CN 19457	33	叙利亚	B
			CN 19458	34	叙利亚	C
			CN 19459	35	叙利亚	D3
<i>A. eriantha</i>	野生种	Cp	Ciav 9050	36	英国	C
			PI 367381	37	西班牙; 马德里	C
<i>A. hirtula</i>	野生种	As	CN 19530	42	土耳其; 安塔利亚	C
			CN 19739	43	阿尔及利亚	D3
			CN 21674	44	法国: 科西嘉	C
			CN 21703	45	摩洛哥	B
			CN 22633	46	突尼斯	C
<i>A. hispanica</i>	野生种	As	CN 25676	47	葡萄牙	C
			CN 25727	48	葡萄牙	D3
			CN 25766	49	葡萄牙	C

续表 1

种名 Species	种型 Specific type	基因组 Genome	样品号 Accession No.	编号 Serial No.	来源地 Origin or source	干旱胁迫后生长情况 Plant status after drought stress
<i>A. longiglumis</i>	野生种	Al	CN 25778	50	葡萄牙	D
			CN 25787	51	葡萄牙	D3
			Ciav 9087	52	阿尔及利亚	B
			Ciav 9089	53	利比亚	D3
<i>A. lusitanica</i>	野生种	As	PI 367389	54	葡萄牙	C
			CN 25414	55	西班牙	C
			CN 25885	56	摩洛哥	D3
			CN 25899	57	摩洛哥	D2
<i>A. strigosa</i>	栽培种	As	CN 26265	58	葡萄牙	D
			CN 26441	59	西班牙	C
			PI 83722	111	澳大利亚	C
			PI 158246	112	西班牙; 卢戈	C
<i>A. ventricosa</i>	野生种	Cv	Ciav 9066	113	加拿大; 安大略	D
			PI 436082	114	智利; 拉各斯	A
			CN 21405	117	阿尔及利亚	C
			CN 21992	118	塞浦路斯	C
<i>A. wiestii</i>	野生种	As	CN 39706	119	阿塞拜疆	D
			PI 53626	120	埃及; 吉萨	D
			Ciav 9053	121	加拿大; 安大略	B
			PI 299112	122	智利	D

表 2 供试的燕麦属四倍体材料及干旱胁迫后的生长状况

Table 2 The tetraploid accessions of *Avena* and their plant status after drought stress

种名 Species	种型 Specific type	基因组 Genome	样品号 Accession No.	编号 Serial No.	来源地 Origin or source	干旱胁迫后生长情况 Plant status after drought stress
<i>A. abyssinica</i>	栽培种 cultivar	AB	PI 411163	1	厄立特里亚	A
			PI 411173	2	埃塞俄比亚	B
			PI 411359	3	厄立特里亚	D2
<i>A. agadiriana</i>	野生种	AB	CN 25837	4	摩洛哥	B
			CN 25854	5	摩洛哥	D3
			CN 25856	6	摩洛哥	D3
			CN 25863	7	摩洛哥	D2
<i>A. barbata</i>	野生种	AB	CN 25869	8	摩洛哥	C
			PI 296229	14	以色列	D1
			PI 337802	15	土耳其	D
			PI 337826	16	希腊	D2
<i>A. macrostachya</i>	野生种	CmCm	PI 282723	17	以色列	B
			PI 337731	18	希腊	C
			PI 367322	19	葡萄牙	D2
			CN 24393	60	阿尔及利亚	C
<i>A. maroccana</i>	野生种	AC	Ciav 8330	61	摩洛哥	D
			Ciav 8331	62	摩洛哥	C
<i>A. murphyi</i>	野生种	AC	CN 21989	63	西班牙	A
			CN 25974	64	摩洛哥	A
<i>A. vaviloviana</i>	野生种	AB	PI 412761	115	厄立特里亚	B
			PI 412766	116	埃塞俄比亚	C

表3 供试的燕麦属六倍体材料及干旱胁迫后的生长状况

Table 3 The hexaploid accessions of *Avena* and their plant status after drought stress

种名 Species	种型 Specific type	基因组 Genome	样品号 Accession No.	编号 Serial No.	来源地 Origin or source	干旱胁迫后生长情况 Plant status after drought stress
<i>A. fatua</i>	野生种	ACD	PI 447299	38	中国:甘肃	B
			PI 544659	39	美国	B
			PI 545459	40	墨西哥	C
			PI 560776	41	土耳其	D2
<i>A. sativa ssp. nuda</i>	栽培种或变种	ACD	Ciav 9009	65	加拿大:安大略	C
			PI 401795	66	荷兰	D
			PI 401812	67	德国	C
<i>A. occidentalis</i>	野生种	ACD	CN 4547	68	加那利群岛	C
			CN 23036	69	加那利群岛	C
			CN 25942	70	摩洛哥	D1
			CN 25956	71	摩洛哥	D2
			CN 26226	72	加那利群岛	D1
<i>A. sativa</i>	栽培种	ACD	PI 40650	73	中国:甘肃	B
			PI 48085	74	澳大利亚	B
			Ciav 1946	75	中国:西藏	D3
			PI 93751	76	乌拉圭	B
			PI 103669	77	澳大利亚	B
			PI 103670	78	澳大利亚	B
			PI 175021	79	印度	D2
			PI 194896	80	埃塞俄比亚	D2
			PI 258641	81	格鲁吉亚	A
			PI 258644	82	中国	A
			PI 258649	83	乌克兰	B
			PI 258656	85	蒙古	B
			PI 258658	87	波兰	D3
			PI 258663	89	乌克兰	C
			PI 258666	91	亚美尼亚	A
			PI 258724	94	俄罗斯	B
			PI 258734	96	俄罗斯	B
<i>A. sterilis</i>	野生种	ACD	PI 411426	97	土耳其	D
			PI 411439	98	土耳其	D2
			PI 636013	99	匈牙利	B
			PI 411503	109	阿尔及利亚	A
			PI 411656	110	埃塞俄比亚	

1.2 材料的培养与处理

栽培基质来源于四川农业大学试验农场,土壤为灰棕紫泥,土壤 pH6.7,有机质 18.7g/kg,全氮 2.8 g/kg,速效磷 12.4 mg/kg,速效钾 116.8mg/kg,土壤的田间持水量为 20.2%。在统一规格的塑料花盆内装 0.6 kg 土壤,采用称重法控制土壤含水量。

每份材料播种 3 盆以进行 3 次重复,每盆播种 20 粒,待盆内幼苗长到约 15cm 后,保留生长健壮且基本一致的 10 株幼苗进行第 1 次干旱胁迫处理,保持土壤(25±5)% 的田间持水量 10 d 后,复水并观察记录植株生长状况。以正常浇水(土壤田间持水量的 70%—80%)为对照^[38]。

第 1 次复水后即停止供水,进行第 2 次干旱胁迫,当土壤含水量降至田间持水量的(25±5)% 时,保持该土壤含水量 10 d,第 2 次复水。随后进行第 3 次相同级别的干旱胁迫。每次干旱胁迫后统计植株的存活情

况,对第 1、2、3 次胁迫后所有植株均萎蔫至死的材料,分别以 D1、D2 和 D3 表示。第 3 次复水后 72 h 调查存活茎数及其生长状态,以 A、B、C、D4 级分别表示植株萎蔫 0%—20%、20%—40%、40%—65% 和 65%—90%。

1.3 生理指标的测定

电导率的测定参照李合生等的方法进行^[39],再按邹琦^[40]的方法计算得到植株的伤害度;丙二醛(MDA)含量的测定采用赵世杰等^[41]的方法,并参照陈雅彬等的方法通过比较对照和干旱胁迫材料的 MDA 含量求得植株的伤害率^[42],可溶性糖含量测定参照肖华等人的方法进行^[43],并比较干旱胁迫后植株可溶性糖含量比对照增加的倍数。

每次测定设 3 个重复,每项测定重复 3 次,用 SPSS11.5 进行有关的统计分析。数据为各重复的平均值。运用能有效揭示因素互作关系的 GGEbiplot 软件^[44]对形态和生理指标间的相关性及其与抗旱性之间的关系进行 GGE 双标图分析。

2 结果与分析

2.1 旱胁迫对燕麦生长状态的影响

供试的 106 份材料在干旱处理后出现不同程度的萎蔫,有 34 个材料在干旱处理中萎蔫至死,其中第 1 次干旱处理后仅有 4 份材料所有植株均未存活,其余 30 个材料分别在第 2 和第 3 次干旱后全部萎蔫,复水仍不能恢复。3 次干旱处理后所有植株均萎蔫至死的材料分别用 D1、D2 和 D3 表示。供试的 106 份材料中有 72 份材料经 3 次干旱处理后仍有存活,表 1、表 2 和表 3 分别列出了第 3 次干旱处理复水后 72 h 内燕麦属二倍体、四倍体和六倍体生长状况,A、B、C、D 表示萎蔫程度从小到大。从表中可以看到,在干旱胁迫下,燕麦的生长情况在不同的物种和同一物种不同居群均存在差异。有 10 份材料虽然经过 3 次干旱处理,但它们的绝大多数植株能在复水后 72 h 达到正常的生长状态,其生长状态为 A 级,即这些材料叶片细胞恢复到原饱和度的速度最快,持水能力较高失水少,体现出极强的抗旱性。而这 10 份材料中,除 5 个六倍体燕麦居群外,还有 A 基因组二倍体 *A. atlantica* 和 *A. strigosa*,以及 AC 基因组四倍体 *A. murphyi* 的部分供试居群。

2.2 干旱胁迫对电导率、MDA 含量和可溶性糖含量的影响

在干旱条件下,燕麦植株的相对电导率增加,大部分植株的电导率增加达到显著水平,由此体现的燕麦在干旱胁迫后所受的伤害度也较大。从表 4—表 6 中可以看出,相对电导率在不同的材料间存在较大差异,表明干旱胁迫后产生的伤害度在不同物种和同一物种不同居群间存在差异,从 12.31%—90.38% 不等,体现了不同材料对抗旱胁迫的耐受力不同。依据电导率所衡量的干旱胁迫后的伤害度低于 20% 的材料共 4 份,分别为六倍体普通栽培燕麦的 2 个居群和二倍体野生种 *A. atlantica* 的 2 个居群。

表 4 干旱处理后二倍体材料相对电导率、MDA 和 SSC 含量

Table 4 The relative electric conductivity, MDA and SSC content of the diploid accessions after drought stress

种名 Species	编号 Serial No.	相对电导率 Relative electric conductivity			丙二醛含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content			可溶性糖含量/(mmol/L) SSC content		
		对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree
<i>A. atlantica</i>	10	0.176	0.284	13.16	0.0305	0.0412	25.98	0.021	0.346	1543.04
	11	0.457	0.667	38.74	0.0452	0.0809	44.19	0.396	0.878	121.65
	12	0.179	0.280	12.31	0.0258	0.0282	8.75	0.117	0.749	539.45
<i>A. brevis</i>	20	0.167	0.437	32.41	0.0225	0.0461	51.24	0.405	0.761	87.82
	22	0.262	0.641	51.35	0.0191	0.0434	55.91	0.284	0.477	68.05
<i>A. canariensis</i>	23	0.183	0.529	42.40	0.0290	0.0538	46.21	0.293	0.777	165.37
<i>A. clauda</i>	28	0.268	0.554	39.04	0.0217	0.0277	21.71	0.203	0.436	114.49
<i>A. damascena</i>	33	0.207	0.414	26.08	0.0339	0.0458	26.05	0.096	0.438	355.71

续表 4

种名 Species	编号 Serial No.	相对电导率 Relative electric conductivity			丙二醛含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content			可溶性糖含量/(mmol/L) SSC content		
		对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree
<i>A. eriantha</i>	34	0.451	0.770	58.12	0.0170	0.0867	80.38	0.536	0.690	28.70
	36	0.323	0.782	67.79	0.0284	0.0976	70.92	0.357	0.378	5.83
	37	0.057	0.583	55.83	0.0289	0.0624	53.71	0.513	0.733	42.68
<i>A. hirtula</i>	42	0.382	0.768	62.46	0.0337	0.0861	60.84	0.623	0.950	52.50
	44	0.119	0.566	50.70	0.0396	0.0614	35.49	0.307	0.454	47.97
	45	0.466	0.761	55.23	0.0288	0.0527	45.23	0.512	0.749	46.29
<i>A. hispanica</i>	46	0.172	0.510	40.82	0.0284	0.0383	25.84	0.222	0.527	136.64
	47	0.189	0.520	40.87	0.0233	0.0291	19.91	0.220	0.498	126.40
	49	0.463	0.595	24.56	0.0529	0.0618	14.53	0.258	0.881	241.95
<i>A. longiglumis</i>	50	0.102	0.705	67.15	0.0315	0.0679	53.55	0.211	0.316	49.87
	52	0.117	0.396	31.61	0.0343	0.0503	31.67	0.166	0.269	61.83
	54	0.146	0.325	21.01	0.0314	0.0395	20.44	0.122	0.412	238.17
<i>A. lusitanica</i>	55	0.168	0.410	29.08	0.0240	0.0331	27.53	0.208	0.814	290.68
	58	0.186	0.839	80.27	0.0404	0.1419	71.53	0.208	0.215	3.28
	59	0.235	0.445	27.40	0.0353	0.0576	38.72	0.262	0.563	114.48
<i>A. strigosa</i>	111	0.177	0.366	22.98	0.0136	0.0266	49.15	0.131	0.650	395.64
	112	0.351	0.637	44.08	0.0170	0.0334	49.03	0.183	0.426	133.13
	113	0.186	0.922	90.38	0.0137	0.0495	72.40	0.300	0.302	0.70
<i>A. ventricosa</i>	114	0.196	0.437	29.96	0.0273	0.0400	31.62	0.173	0.398	129.53
	117	0.202	0.733	66.61	0.0494	0.0537	7.97	0.152	0.494	224.34
	118	0.249	0.596	46.23	0.0466	0.0536	13.01	0.173	0.414	138.98
<i>A. wiestii</i>	119	0.185	0.679	60.67	0.0214	0.0616	65.25	0.297	0.487	63.64
	120	0.167	0.755	70.58	0.0241	0.0834	71.12	0.279	0.293	4.95
	121	0.152	0.482	38.94	0.0334	0.0597	44.11	0.340	0.735	116.37
	122	0.162	0.360	23.58	0.0196	0.0296	33.83	0.319	0.874	174.53

表 5 干旱处理后四倍体材料相对电导率、MDA 和 SSC 含量

Table 5 Therelative electric conductivity, MDA and SSC content of the tetraploid accessions after drought stress

种名 Species	编号 Serial No.	相对电导率 Relative electric conductivity			丙二醛含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content			可溶性糖含量/(mmol/L) SSC content		
		对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree
<i>A. abyssinica</i>	1	0.129	0.583	52.06	0.0225	0.0515	56.25	0.527	0.838	58.98
	2	0.132	0.406	31.65	0.0329	0.0592	44.49	0.176	0.784	346.29
<i>A. agadiriana</i>	4	0.151	0.380	26.99	0.0207	0.0330	37.25	0.241	0.658	172.90
	8	0.464	0.597	24.80	0.0415	0.0526	21.11	0.133	0.327	144.94
<i>A. barbata</i>	15	0.285	0.522	33.10	0.0441	0.0596	26.05	0.396	0.875	121.02
	17	0.282	0.709	59.53	0.0532	0.0873	39.06	0.269	0.735	172.81
	18	0.153	0.630	56.26	0.0183	0.0653	71.92	0.304	0.541	77.54
<i>A. macrostachya</i>	60	0.044	0.425	39.88	0.0199	0.0467	57.51	0.183	0.426	133.13
<i>A. maroccana</i>	61	0.140	0.652	59.56	0.0278	0.0531	47.68	0.173	0.199	14.77
	62	0.192	0.613	52.05	0.0224	0.0357	37.30	0.286	0.569	99.01
<i>A. murphyi</i>	63	0.222	0.415	24.79	0.0893	0.1021	12.55	0.131	0.920	601.19
	64	0.179	0.442	32.02	0.0215	0.0222	2.96	0.171	1.034	504.96
<i>A. vaviloviana</i>	115	0.116	0.461	39.03	0.0204	0.0322	36.84	0.187	0.424	126.06
	116	0.156	0.584	50.77	0.0124	0.0221	43.97	0.457	0.770	68.57

表 6 干旱处理后六倍体材料相对电导率、MDA 和 SSC 含量

Table 6 The relative electric conductivity, MDA and SSC content of the hexaploid accessions after drought stress

种名 Species	编号 Serial No.	相对电导率 Relative electric conductivity			丙二醛含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content			可溶性糖含量/(mmol/L) SSC content		
		对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree	对照 CK	处理 Test	伤害度/% Injury degree
<i>A. fatua</i>	38	0.208	0.370	20.38	0.0377	0.0427	11.83	0.086	0.700	715.16
	39	0.089	0.526	47.96	0.0294	0.0381	22.83	0.187	0.807	331.60
	40	0.344	0.753	62.28	0.0563	0.0974	42.21	0.424	0.604	42.42
<i>A. sativa</i>	65	0.134	0.540	46.86	0.0200	0.0332	39.79	0.623	0.950	52.50
ssp. <i>nuda</i>	66	0.229	0.704	61.55	0.0193	0.0346	44.13	0.183	0.257	40.91
	67	0.122	0.463	38.93	0.0421	0.0554	23.98	0.141	0.401	185.54
<i>A. occidentalis</i>	68	0.130	0.465	38.53	0.0239	0.0324	26.32	0.169	0.545	223.33
	69	0.275	0.785	70.39	0.0205	0.0384	46.54	0.137	0.190	38.65
<i>A. sativa</i>	73	0.179	0.336	19.09	0.0260	0.0303	14.16	0.105	0.689	558.10
	74	0.179	0.470	35.47	0.0287	0.0393	26.88	0.143	0.550	284.92
	76	0.110	0.270	17.96	0.0442	0.0699	36.85	0.098	0.571	480.46
	77	0.212	0.553	43.33	0.0265	0.0416	36.18	0.269	0.601	123.29
	78	0.265	0.565	40.81	0.0336	0.0481	30.12	0.159	0.496	211.50
	81	0.177	0.378	24.39	0.0187	0.0252	25.84	0.150	0.927	518.22
	82	0.114	0.518	45.59	0.0302	0.0500	39.57	0.077	0.165	113.54
	83	0.172	0.386	25.78	0.0224	0.0371	39.64	0.199	0.810	306.71
	85	0.163	0.778	73.45	0.0215	0.0509	57.88	0.251	0.381	52.21
	89	0.466	0.599	24.84	0.0409	0.0825	50.40	0.372	0.517	38.88
	91	0.156	0.467	36.84	0.0590	0.0793	25.56	0.126	0.633	400.17
	94	0.168	0.689	62.67	0.0398	0.0484	17.62	0.148	0.353	139.48
	96	0.192	0.390	24.55	0.0193	0.0294	34.60	0.096	0.318	231.42
	97	0.196	0.938	92.23	0.0287	0.0896	67.99	0.372	0.468	25.68
	99	0.181	0.645	56.65	0.0162	0.0279	42.10	0.089	0.241	170.98
<i>A. sterilis</i>	109	0.152	0.515	42.87	0.0101	0.0177	43.00	0.094	0.293	212.23
	110	0.091	0.634	59.74	0.0276	0.0494	44.01	0.208	0.419	100.95

水分胁迫后,供试材料 MDA 含量普遍增加,但增幅不同,耐旱性强的品种 MDA 增加较小,伤害率也较小。表 4—表 6 列出了依据 MDA 含量的增加程度所计算得到的燕麦属不同倍性材料的伤害率,从表 4、表 5 和表 6 可以看出,各材料干旱胁迫后的伤害率差异较大,变幅从 2.96%—80.38%,体现了不同材料抗旱能力的差异。由 MDA 含量所反映的植株干旱胁迫后的伤害率低于 10% 的材料仅有 3 份野生材料,分别为 A 基因组二倍体 *A. atlantica*, C 基因组二倍体 *A. ventricosa* 和 AC 基因组四倍体 *A. murphyi* 的其中一个居群。

干旱胁迫下野生和栽培燕麦可溶性糖的含量均有较大变化,大部分供试材料的可溶性糖增幅达到显著水平。从表 4—表 6 可以看出,正常条件下大多数燕麦材料可溶性糖含量较低,材料间的差异较小。经过干旱处理后,各材料植株体内的可溶性糖含量均有增加,有的增幅较大,达到了显著水平。干旱处理后可溶性糖含量增幅 5 倍以上的材料共 7 份,包括六倍体栽培燕麦和普通野燕麦的 3 个居群,野生种四倍体 *A. murphyi* 和二倍体 *A. atlantica* 的各 2 个居群。

2.3 干旱胁迫下燕麦的形态和生理指标与抗旱的相关性

GGE 双标图法可以直观地判断不同材料表现最好的指标以及各指标的相互关系。以第 1 主成分和第 2 主成分为代表,按照第 1 和第 2 主成分值将所有材料和相应的形态生理指标绘于 2 维图上即形成 GGE 双标图。从坐标系原点到每个指标标志点的连线作为指标向量,以某一个指标向量为起始,顺时针方向旋转,其

他指标向量与该线的夹角的余弦值即为 2 个指标的相关系数^[45]。图 1 中显示,第 1 主成分的效应为 PC1 = 57.7%,第 2 主成分的效应为 PC2=14.5%,GGE 双标图上展示了各处理的真实信息的 72.2%。从图中可以看出,干旱胁迫后植株的相对电导率、MDA 含量和由此反映的伤害率和伤害度与萎蔫程度间的夹角均小于 90°,表明这些性状呈正相关关系,而干旱胁迫后可溶性糖增幅与这 5 个指标间的夹角均大于 90°,说明它们间均呈负相关关系;干旱胁迫后可溶性糖含量增加越多,植株所受的伤害越小,植株的萎蔫程度越低。所有指标间的相关系数及显著性程度见表 7。

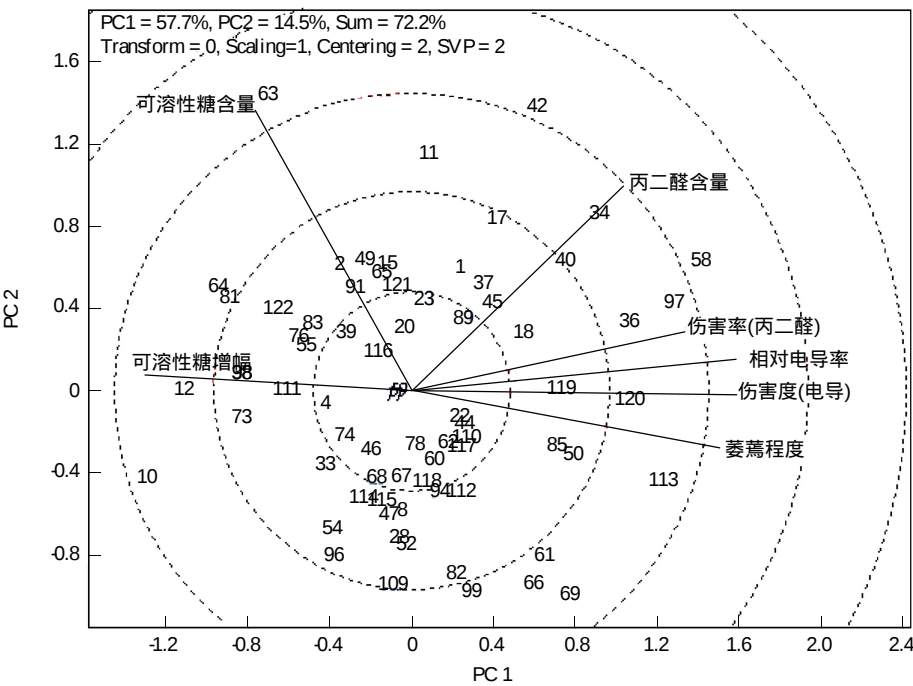


图 1 抗旱形态和生理指标间的相关性

Fig. 1 Correlation coefficientbetween different morphological and physiological drought-resistant traits

表 7 抗旱形态和生理指标间的相关系数和显著性差异

Table 7 Correlation coefficient and significanttest between different morphological and physiological drought-resistant traits							
	萎蔫程度 Plant status	相对电导率 Relative electric conductivity	伤害度(电导) Injury degree	丙二醛含量 MDA content	伤害率 (丙二醛) Injury percentage	可溶性糖含量 SSC content	可溶性糖增幅 Growthrate of SSC
萎蔫程度	1.000						
相对电导率	0.715 **	1.000					
伤害度(电导)	0.680 **	0.924 **	1.000				
丙二醛含量	0.572 **	0.497 **	0.413 **	1.000			
伤害率(丙二醛)	0.542 **	0.591 **	0.626 **	0.439 **	1.000		
可溶性糖含量	-0.585 **	-0.388 **	-0.459 **	-0.027	-0.223 *	1.000	
可溶性糖增幅	-0.616 **	-0.621 **	-0.606 **	-0.226 *	-0.519 **	0.208 *	1.000

* * 在 0.01 水平上显著; * 在 0.05 水平上显著

把各生理指标值突出的材料作为标志点用直线连接起来,形成一个把所有材料都囊括在内的多边形,从原点(0,0)起作各边的垂线,把整个双标图分为若干个扇区,不同的材料和形态及生理指标落于各个区内。图 2 是所有供试的燕麦物种的抗旱生理指标表现,双标图可反映各指标标准化数据总变异的 72.2%,说明数据信息得到充分展示。与萎蔫程度,伤害率,伤害度等指标位于一个扇区的材料,抗旱性较弱,而可溶性糖相关指标位于反映植株低抗旱性区域的另一侧,因此与其一个扇区的材料由于其植株伤害率和伤害度均较低,

植株萎蔫程度也较低,因此具有较高的抗旱性。从图可以看到,编号为 10、12、63、64、81、38、73、111 和 122 号材料与可溶性糖含量或可溶性糖增幅位于同一扇区,而与高萎蔫程度和高伤害指数远端对立,因此这些材料综合抗旱性状较好,分别是野生二倍体 *A. atlantica* 的 2 个居群、野生四倍体种 *A. murphyi* 的两个居群、二倍体 *A. wiestii* 和 *A. strigosa* 各 1 份材料、以及六倍体普通栽培和野生燕麦各 1 个居群。

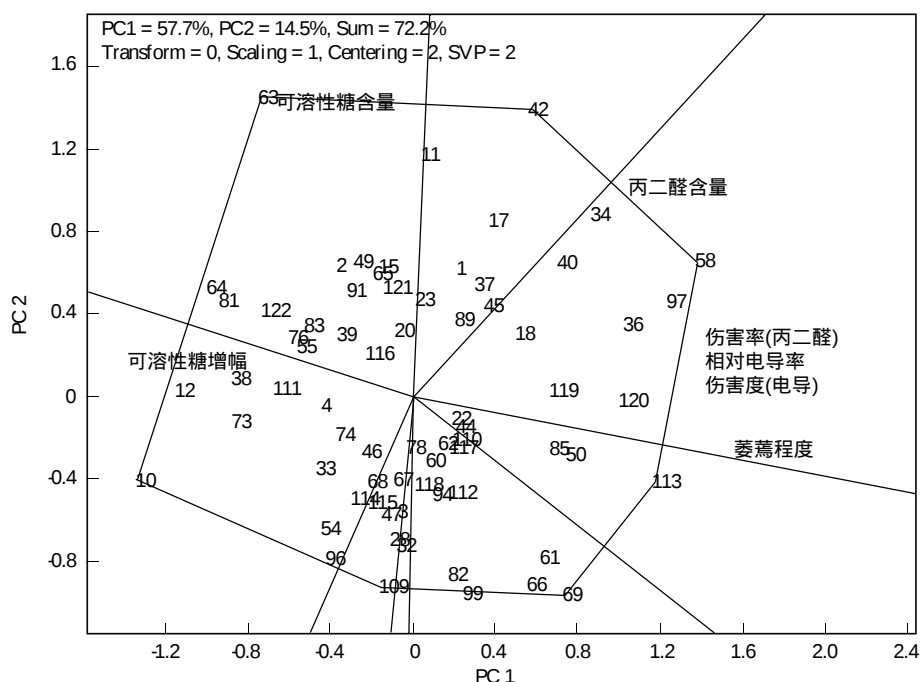


图2 不同供试材料与抗旱指标关系

Fig. 2 Correlation between different accessions and their drought resistant characters

3 讨论

3.1 形态和生理指标在燕麦抗旱性鉴定中的作用

给正常生长的植株施加较强的水分胁迫一段时间后,再灌水恢复,统计反复干旱后的存活率,这个指标可用于鉴定作物的抗旱性强弱^[46]。高吉寅等对 26 个水稻品种的结果表明,干旱 10 d 后水稻的存活率与抗旱性显著相关,在高粱上也得到类似的结果^[47]。另有研究表明在苗期进行干旱胁迫实验时,存活率这一形态指标对分析品种的抗旱性的确具有参考价值^[38, 48]。本实验采用苗期土壤反复干旱法,经 3 次处理后,记录存活率和生长状态(表 1—表 3),数据分析结果表明以各植株萎蔫程度为标准的生长状态分级结果与各生理指标的测定结果具有较高的一致性,因此苗期土壤反复干旱法是一种较为可靠的抗旱性鉴定方法。

干旱胁迫是生境中常见的干扰之一,其对植物的伤害首先表现为膜脂过氧化。MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量高低被认为是反映细胞膜脂过氧化作用强弱以及质膜破坏程度的重要指标^[12]。本研究中,燕麦叶片 MDA 含量因为土壤含水量降低而升高(表 4—表 6),表明水分亏缺导致细胞内部自由基积累,加剧了细胞膜脂过氧化^[13-14, 49]。MDA 含量变化可作为鉴定品种抗旱能力较可靠的依据。

植物细胞膜对维持细胞的微环境和正常的代谢起着重要的作用。正常情况下,细胞膜具有选择透性。当植物受到逆境胁迫影响时,细胞膜遭到破坏,膜透性增大,电解质会有不同程度的外渗,导致电导率会有不同程度的增大。抗旱性较强的材料的变化可以逆转,易恢复正常。反之,抗旱性弱的材料,不仅透性大大增加,并且不可逆转,不能恢复正常,以致造成伤害,甚至死亡^[15, 50]。本实验通过测量电导率,计算伤害度,找出了干旱胁迫后相对电导率较低,伤害较小的材料,所测数据与形态指标观测结果吻合度高,因而可作为抗旱性的生理指标^[16-18]。

在干旱胁迫下,同一植物的可溶性糖含量增加,并且与胁迫的程度呈正相关;而不同植物间,抗旱能力强

的具有较高的可溶性糖含量^[21,51]。本研究发现燕麦抗旱能力与植株可溶性糖含量之间存在着平行现象,因此可溶性糖含量可用于衡量不同燕麦属材料抗旱性强弱。

3.2 燕麦属抗旱资源及其在育种工作中的应用

本研究中所涉及的形态指标和 3 个生理指标均能有效的反映燕麦植株的抗旱能力,为选择抗旱的燕麦资源提供了参考。综合各形态和生理指标可以看出,10、12、63、64、81、38、73、111 和 122 号材料具有较高的可溶性糖含量和增幅,且植株萎蔫程度低,由电导率升高所表现的伤害度较低,MDA 含量升高而导致的伤害率也较低(表 1—表 6),因此综合考虑这些材料具有较高的抗旱性,可以在栽培燕麦的育种工作中加以利用。这些抗旱性强的材料中,包含有二倍体 *A. atlantica*、*A. wiestii* 和 *A. strigosa*,四倍体种 *A. murphyi*,以及六倍体普通栽培燕麦和野生燕麦各 1 份。由于大多数综合抗旱性好的材料均为燕麦属的二倍体和四倍体的野生种,因此在利用上比较困难。最近燕麦属物种分子进化的研究表明,*A. wiestii* 可能是栽培燕麦的母系亲本^[52],四倍体 *A. murphyi* 与栽培燕麦具有很近的亲缘关系^[53-54],可能是栽培燕麦的直接亲本。*A. strigosa* 作物一个栽培二倍体种,一直以来都被众多学者认为是栽培燕麦的祖先种^[55-57],因此这些物种与栽培燕麦的杂交成功率相对较高,可以优先选择在栽培燕麦抗旱性改良的进程中通过远缘杂交的方式加以利用。而 *A. atlantica* 作为一个野生二倍体种,虽然已有研究未证实其与栽培燕麦具有较近的系统关系,但由于其抗旱优势明显,在形态和生理各指标的测定中表现均比较突出,因此可以通过分子生物学的方法克隆其抗旱关键基因,再通过遗传转化技术将优势基因应用于栽培燕麦的抗旱性改良中。

另外本研究基于来源于世界各地的燕麦属 25 个种 106 份材料进行,结果表明燕麦的抗旱性不具有物种的特异性和分布区域的特异性(表 1—表 3),可能与各材料本身的遗传特性以及其生长的小环境有关,比如 10 号 *A. atlantica* 材料具有突出的抗旱优势,该材料的确也是生长于摩洛哥的干旱区域,但与其属于同一物种且来源地相同的 9、11、12 和 13 号材料却没有这种优异的抗旱性能,甚至 9 号和 13 号材料在抗旱胁迫的过程中就未能继续存活,因此,植物的抗旱性并非简单的由基因或环境决定,在确定抗旱材料时需要对个体进行全面的抗旱性评价和鉴定,以期在利用抗旱材料或通过克隆抗旱基因来改善干旱地区生态环境的实践中能更准确和有效。

致谢: 感谢加拿大农业部 Yan Weikai 博士提供 GGE biplot 软件,感谢兰州大学熊友才教授和西北农林科技大学胡银岗教授对本文写作的帮助。

References:

- [1] Yang H P, Sun Z M. China Oat. Beijing: China Agriculture Publishing House, 1989: 1-10.
- [2] Zhou Q P, Shi D J, Yang L J. Analyse of esterase isozymes in oats. Grassland of China, 2002, 24(4): 14-18.
- [3] Luo G H, Li Y Z, Wu X M. An analysis of farm breed of *Avena sativa* in Qinghai. Journal of Qinghai Normal University: Natural Science Edition, 1997, (4): 36-39.
- [4] Somers D A, Rines H W, Gu W N, Kaeppler H F, Bushnell W R. Fertile, transgenic oat plants. Nature Biotechnology, 1992, 10(12): 1589-1594.
- [5] Zhang Y Q, Jia W L, Yang L L, Xu S S. A study on analysis of drought resistant specialties in seedling stage of different maize varieties. Agricultural Research in the Arid Areas, 2001, 19(1): 83-86.
- [6] Lu G H, An H R. Progress in the research of crop drought-resistance appraises methods and indexes. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1999, 27(4): 39-43.
- [7] Bray E A. Molecular responses to water deficit. Plant Physiology, 1993, 103(4): 1035-1040.
- [8] Hong B, Barg R, Ho T H D. Developmental and organ specific expression of an ABA and stress- induced protein in barley. Plant Molecular Biology, 1992, 18(4): 663-674.
- [9] Wang M Y, Shao S Q, Zhang J H, Geng Q H. Effect of water stress upon the activities of protective enzyme system and the structures of membrane system in maize. Acta Agriculturae Boreali-Sinice, 1995, 10(2): 43-49.
- [10] Wang C, Lin Q P, Gong D H. A study on drought adaptability and its physiological mechanism of summer maize. Acta Agriculturae Boreali-Sinice, 1990, 5(4): 54-60.

- [11] Ding L, Wang X C. The role of abscisic acid in stomatal responses to drought stress. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11(2): 50-56.
- [12] Pobert R C, Bewlery J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 1980, 65: 245-248.
- [13] Yan X F, Li J, Zu Y G. Effect of drought stress on activity of cell defense enzymes and lipid peroxidation in Korean pine seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 850-854.
- [14] Zheng G Q, Xie Y J. Effects of drought stress on the changes of membrane-lipid peroxidation and antioxidant activity in the seedlings of *Lycium barbarum* L. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(4): 1343-1344.
- [15] Ru G X, Hao S J, Ru T Q, Wang S K. Relationship between physiology indexes of *Robinia Pseudoacacia* clones and drought resistance. *Journal of Henan Institute of Science and Technology: Natural Science Edition*. 2006, 34(1): 37-40.
- [16] Ma X F, Shen X Y, Yang D G, Zhao T H, Hao X B, Shen F. The physiological and biochemical reaction to drought of different drought-tolerant maize. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002, 33(3): 167-170.
- [17] Yuan Z Q, Zhang J Y, Zhang H Y. Maize drought resistance physiological characters in different inbred lines at seedling stage and middle growing stage. *Journal of Shandong University of Technology: Science and Technology*, 2004, 18(6): 25-28.
- [18] Liu C, Shen H B, Shi S Y, Song C Y, Wang T Y, Li Y. Effect of drought stress at flowering stage on transmission of cell membrane, anti dehydration and yield of maize. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(3): 418-422.
- [19] Chen Y, Xie Y F, Shen H J. Physiological response of ginkgo seedlings on drought stress. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2002, 26(2): 55-58.
- [20] Song A Q, Chen S B, Li Z J, Wang X F. Effect of water stress on the seedlings of two key species for ecological restoration: *Schima superba* and *Mallotus paniculatus*. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2006, 45(S1): 109-113.
- [21] Koster K L. Glass formation and desiccation tolerance in seeds. *Plant Physiology*, 1991, 96(1): 302-304.
- [22] Zhang J D, Lu Y, Zhou X H, Yang H S, Chang G Z. Measurement and analysis of drought resistance in *Poa pratensis* cv. 'Hybrid'. *Pratacultural Science*, 2010, 27(2): 45-47.
- [23] Zou C J, Han S J, Xu W D, Li D T. Eco-physiological responses of *Picea mongolica* ecotypes to drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1446-1450.
- [24] Xu Z C, Tian F, Liu Y. Comparative research of drought on different potato species. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(5): 153-155.
- [25] Zhang J X, Nguyen H T, Blum A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experiment Botany*, 1999, 50(332): 291-302.
- [26] Dong L H, Wang N, Yao A X. Study on drought resistance of different varieties of *Poa pratensis* L. in the seed germination stage. *Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 26(2): 6-8.
- [27] Levitt J. Response of Plants to Environmental Stress. 2nd ed. New York: Academic Press, 1980: 58-58, 141-141.
- [28] Zhou H Y. Drought-resistance of 4 trees in Jinchang City. *Journal of Desert Research*, 1997, 17(3): 301-303.
- [29] Yang X Q, Zhang S Q, Liang Z S, Shan Y. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(5): 812-816.
- [30] Jiang L, Ding Y F, Meng G Z. Variations of physiological and biochemical indexes on drought-resistance of five groundcover plants under water stress. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 2009, 36(5): 6-10.
- [31] Baum B R. Classification of the oat species (*Avena* Poaceae) using various taximetric methods and an information-theoretic model. *Canadian Journal of Botany*, 1974, 52(11): 2241-2262.
- [32] Loskutov I G. On evolutionary pathways of *Avena* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2008, 55(2): 211-220.
- [33] Shi D J. Experiment of 4 introduced oat varieties and cultivation in Guolu prefecture. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 1999, 29(2): 4-7.
- [34] Yang C, Zhao Y Y, Sun J S, Wang X Y, Wang Z G. Study on the hybridization plant of tetraploid barley and hexaploid *Avena nuda*. *Acta Tritical Crops*, 1998, 18(5): 36-37.
- [35] Ma H, Tu L Z. The studies on the embryology of hybrid oat (*Avena nuda* × *Avena sativa*). *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimogol: Natural Science Edition*, 1999, 30(1): 85-90.
- [36] Wang M Y, Qi X L, Zhang F Y. Progress in the research of oat molecular biology abroad. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry: Natural Science Edition*, 2001, 22(4): 139-144.
- [37] Liu H. The function and deployment of *Avena nuda*. *Journal of Cereals and Oils*, 1999, (2): 11-12.
- [38] Shi Y S, Luo J X, Wang X, Zhao K P, Liu Y D, Huang J X. Study on draught resistance of five herb ground cover plants. *Journal of Northwest*

- Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2005, 33(5): 130-134.
- [39] Li H K. Experiment principles and technology of plant physiology and biochemistry. Beijing: China Higher Education Press, 2000.
- [40] Zou Q. Instruction of Plant Physiology Experiment. Beijing: China Agriculture Publishing House, 2000.
- [41] Zhao S J, Xu C C, Zou Q, Meng Q W. The improvement of malondialdehyde testing method in plant. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 207-210.
- [42] Chen Y B, Li F H. Identification of drought resistance indexes of different maize varieties and its parents during seedling period. Liaoning Agricultural Sciences, 2006, (2): 32-34.
- [43] Xiao H, Jiang Y K, Meng F Y, Li C Y, Zhao S L. The drought resistance identification and selection of winter wheat. China Science and Technology Information, 2006, (14): 78-80.
- [44] Yan W K. GGEbiplot-a windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 2001, 93(5): 1111-1118.
- [45] Yan W, Rajcan I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 2002, 42(1): 11-20.
- [46] Ren Y B, Wu Z J, Duan Y J. Study methods of drought-resistant crops and identification indexes. Journal of Xichang Agricultural College, 2001, (1): 12-14.
- [47] Gao J Y, Hu R H, Lu Z, Yang G L. Investigation on the physiological indices of drought resistance in the seedling stage of rice. Scientia Agricultura Sinica, 1984, 17(4): 41-45.
- [48] Zhang H Y, Jiao B C, Li G Q. Study on selecting targets in drought-resistant breeding of soybean. Soybean Science, 2005, (3): 183-188.
- [49] Elster E F. Oxygen activation and oxygen toxicity. Annals of Plant Physiology, 1982, 33: 73-96.
- [50] Wang X, Hou P, Yin L K, Feng D Q, Pan B R. Effect of soluble substance of tamarix under soil-water stress slowly. Arid Zone Research, 1999, 16(2): 6-11.
- [51] Ingram J, Bartels D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review Oil Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1996, 47: 377-403.
- [52] Peng Y Y, Wei Y M, Baum B R, Jiang Q T, Lan X J, Dai S F, Zheng Y L. Phylogenetic investigation of *Avena* diploid species and the maternal genome donor of *Avena* polyploids. Taxon, 2010, 59(5): 1472-14820.
- [53] Peng Y Y, Wei Y M, Baum B R, Zheng Y L. Molecular diversity of the 5S rRNA gene and genomic relationships in genus *Avena* (Poaceae: Aveneae). Genome, 2008, 51(2): 137-154.
- [54] Peng Y Y, Wei Y M, Baum B R, Yan Z H, Lan X J, Dai S F, Zheng Y L. Phylogenetic inferences in *Avena* based on analysis of *FL intron2* sequences. Theoretical and Applied Genetics, 2010, 121(5): 985-1000.
- [55] Linares C, González J, Ferrer E, Fominaya A. The use of double FISH to physically map the positions of 5S rDNA genes in relation to the chromosomal location of 18S-5.8S-26S rDNA and a C genome specific DNA sequence in the genus *Avena*. Genome, 1996, 39: 535-542.
- [56] Chen Q, Armstrong K. Genomic in situ hybridization in *Avena sativa*. Genome, 1994, 37(4): 607-612.
- [57] Nikoloudakis N, Skaracis G, Katsiotis A. Evolutionary insights inferred by molecular analysis of the ITS1-5.8S-ITS2 and IGS *Avena* sp. sequences. Molecular Phylogenetic Evolution, 2008, 46(1): 102-115.

参考文献:

- [1] 杨海鹏, 孙泽民. 中国燕麦. 北京: 农业出版社, 1989: 1-10.
- [2] 周青平, 石德军, 杨力军. 几种高产燕麦品种酯酶同工酶分析. 中国草地, 2002, 24(4): 14-18.
- [3] 罗桂花, 李有忠, 吴学明. 青海皮燕麦农家品种的同工酶分析. 青海师范大学学报: 自然科学版, 1997, (4): 36-39.
- [5] 张颜芹, 贾伟珑, 杨丽莉, 徐珊珊. 不同玉米品种苗期抗旱性研究. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 83-86.
- [6] 路贵和, 安海润. 作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展. 山西农业科学, 1999, 27(4): 39-43.
- [9] 王矛艳, 邵世勤, 张建华, 耿庆汉. 水分胁迫对玉米保护酶系活力及膜系统结构的影响. 华北农学报, 1995, 10(2): 43-49.
- [10] 王畅, 林秋萍, 贡冬花. 夏玉米的干旱适应性及其生理机制的研究. 华北农学报, 1990, 5(4): 54-60.
- [11] 丁雷, 王学臣. 干旱胁迫下 ABA 对气孔运动的作用机制. 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 50-56.
- [13] 阎秀峰, 李晶, 祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. 生态学报, 1999, 19(6): 850-854.
- [14] 郑国琦, 谢亚军. 干旱胁迫对宁夏枸杞幼苗膜脂过氧化及抗氧化保护酶活性的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1343-1344.
- [15] 茹广欣, 郝绍菊, 茹桃勤, 王苏柯. 干旱梯度下刺槐无性系生理指标的变化与品种抗旱性关系的研究. 河南科技学院学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 37-40.
- [16] 马秀芳, 沈秀璞, 杨德光, 赵天宏, 郝宪彬, 沈枫. 不同耐旱性玉米品种对干旱的生理生化反应. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(3): 167-170.

- [17] 袁佐清, 张建勇, 张怀渝. 不同玉米自交系抗旱性生理指标的研究. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2004, 18(6): 25-28.
- [18] 刘成, 申海兵, 石云素, 宋燕春, 王天宇, 黎裕. 开花期干旱胁迫对玉米细胞膜透性、抗脱水性和产量的影响. 新疆农业科学, 2008, 45(3): 418-422.
- [19] 陈颖, 谢寅峰, 沈惠娟. 银杏幼苗对水分胁迫的生理响应. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(2): 55-58.
- [20] 宋爱琴, 陈圣宾, 李振基, 汪秀芳. 水分胁迫对生态恢复重要树种木荷与白楸幼苗的影响. 厦门大学学报: 自然科学版, 2006, 45(S1): 109-113.
- [22] 张劲东, 路远, 周学辉, 杨红善, 常根柱. 美国杂交早熟禾抗旱性指标测定分析. 草业科学, 2010, 27(2): 45-47.
- [23] 邹春静, 韩士杰, 徐文铎, 李道棠. 沙地云杉生态型对干旱胁迫的生理生态响应. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1446-1450.
- [24] 徐宗才, 田丰, 刘云. 不同品种马铃薯叶片生理特性与抗旱性研究. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 153-155.
- [26] 董丽华, 王宁, 姚爱兴. 不同品种早熟禾种子萌发期抗旱性研究. 农业科学研究, 2005, 26(2): 6-8.
- [28] 周海燕. 金昌市 4 种乔木抗旱性生理指标的研究. 中国沙漠, 1997, 17(3): 301-303.
- [29] 杨晓青, 张岁岐, 梁宗锁, 山颖. 水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响. 西北植物学报, 2004, 24(5): 812-816.
- [30] 蒋理, 丁彦芬, 孟国忠. 水分胁迫下 5 种地被植物的抗旱生理生化指标变化. 江苏林业科技, 2009, 36(5): 6-10.
- [33] 石德军. 北欧 4 种燕麦在果洛地区的引种栽培试验. 青海畜牧兽医杂志, 1999, 29(2): 4-7.
- [34] 杨才, 赵云云, 孙敬三, 王秀英, 王志刚. 用未成熟胚离体培养法获得四倍体大燕麦与六倍体裸燕麦杂种植株的研究初报. 麦类作物, 1998, 18(5): 36-37.
- [35] 马虹, 屠骊珠. 杂交燕麦 (*Avena nudax* × *Avena sativa*) 的胚胎学研究. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1999, 30(1): 85-90.
- [36] 王茅雁, 齐秀丽, 张凤英. 国外燕麦分子生物学研究进展. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2001, 22(4): 139-144.
- [37] 刘河. 裸燕麦保健功能及其开发. 粮食与油脂, 1999, (2): 11-12.
- [38] 史燕山, 骆建霞, 王煦, 赵坤平, 刘玉东, 黄俊轩. 5 种草本地被植物抗旱性研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 130-134.
- [39] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [40] 邹琦. 植物生理学试验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [41] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 孟庆伟. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.
- [42] 陈雅彬, 李凤海. 不同玉米品种及亲本苗期抗旱指标测定及抗旱性. 辽宁农业科学, 2002, (2): 32-34.
- [43] 肖华, 姜云奎, 孟凡银, 李春燕, 赵淑莲. 冬小麦的抗旱性与选择. 中国科技信息, 2006, (14): 79-80.
- [46] 任永波, 吴中军, 段拥军. 作物抗旱研究方法 with 抗旱性鉴定指标. 西昌农业高等专科学校学报, 2001, (1): 12-14.
- [47] 高吉寅, 胡荣海, 路 漳, 杨国良. 水稻等品种苗期抗旱生理指标的探讨. 中国农业科学, 1984, 17(4): 41-45.
- [48] 张海燕, 焦碧婵, 李贵全. 大豆抗旱性鉴定指标评价的研究. 大豆科学, 2005, (3): 183-188.
- [50] 王霞, 侯平, 尹林克, 冯大千, 潘伯荣. 水分胁迫对怪柳植物可溶性物质的影响. 干旱区研究, 1999, 16(2): 6-11.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元