

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

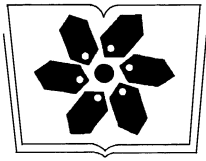
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
2011



中国生态学学会
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 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响	李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)
三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义	陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)
白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位	王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)
宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性	贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)
脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用	刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)
安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征	徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)
乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应	彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)
海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响	冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)
竹巴笼矮岩羊 (<i>Pseudois schaeferi</i>) 昼间行为节律和时间分配	刘国库,周材权,杨志松,等 (972)
干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较	郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)
石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化	马全林,张德魁,刘有军,等 (989)
基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟	汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)
山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例	裴亦书,高 峻,詹起林 (1009)
基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例	李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)
水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响	贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)
农田灌溉对印度区域气候的影响模拟	毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)
高大气 CO ₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应	张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)
豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性	王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)
不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价	王树刚,王振林,王 平,等 (1064)
基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测	黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)
喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响	崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)
“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环	张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)
红壤丘陵区粮食生产的生态成本	李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)
甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策	梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)
黄龙钙化滩流地物种-面积关系	黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)
杉木人工林细根寿命的影响因素	凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)
长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律	巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)
生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果	张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)
北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化	高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)
专论与综述	
整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾	赵 平 (1164)
植物寄生对生态系统结构和功能的影响	李钧敏,董 鸣 (1174)
加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展	杨如意,咎树婷,唐建军,等 (1185)

不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价

王树刚, 王振林, 王 平, 王海伟, 李 府, 黄 玮, 武玉国, 尹燕枰*

(山东农业大学 农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要:以济麦 19、济麦 21、济南 17 等 15 个冬小麦品种为材料, 对其在低温胁迫条件下功能叶和叶鞘超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量与可溶性蛋白含量等生理指标进行测定, 以功能叶各项指标的抗冻系数作为衡量抗冻性的指标, 利用主成分分析、聚类分析对其抗冻性进行综合评价。低温胁迫条件下, 不同冬小麦品种起身拔节期功能叶和叶鞘中 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性均不同程度地上升, MDA 含量和可溶性蛋白含量均下降。通过主成分分析和聚类分析, 将 15 个冬小麦品种划分为 3 类: 济麦 19、山农 8355 属强抗冻类型; 山农 664、泰山 9818、济麦 21、济麦 22、烟农 24、烟农 19、烟农 21、汶农 6 号、鲁麦 21、济南 17 属中度抗冻类型; 其余 3 个品种(泰山 23、聊麦 18、临麦 2 号)属弱抗冻类型。

关键词:小麦; 抗冻性; 生理指标; 主成分分析; 综合评价

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress

WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, WANG Haiwei, LI Fu, HUANG Wei, WU Yuguo, YIN Yanping*

Agronomy College, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China

Abstract: Freeze injury is one of the major disasters for the production of winter wheat in the North China Plain. Wheat in the stem elongation period is very sensitive to the large fluctuation of air temperature, which often occurs in spring. Low temperature of the early spring frost in north China plain is very harmful to the growth of winter wheat, leading to a significant decrease of wheat yield. Therefore, the effective evaluation of the freeze resistance of the different wheat cultivars is necessary for the proper choice of suitable cultivars in production and, in turn, for the achievement of the stable higher yield of wheat.

The experiment was conducted at Tai'an Experimental Station of Shandong Agricultural University with fifteen wheat cultivars. The superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity, catalase (CAT) activity, MDA content, the soluble protein content of fifteen winter wheat cultivars were measured as physiological indices for evaluating the freeze resistance. It was found that the responses of these physiological indices to low temperature treatments were quite different among wheat cultivars. The comprehensive evaluation of wheat freeze resistance coefficient of SOD activity, POD activity, CAT activity, MDA content, the soluble protein content of fifteen wheat cultivars were conducted with principal components analysis and cluster analysis. The results indicated that under low temperature stress, the activities of SOD, CAT, and POD increased and the content of MDA and the soluble protein decreased in functional leaves and sheath of each cultivar in stem elongation period. Based on the changes of the physiological indices in response to low temperature stress and the cluster analysis the fifteen winter wheat cultivars were divided into three groups, namely high, medium, and low freeze resistance cultivar group. Jimai19 and Shannong8355 belong to high freezing resistance group; The medium freeze resistance group covers Shannong664, Taishan9818, Jimai21, Jimai22, Yannong24, Yannong19, Yannong21, Wennong6, Lumai21, and

基金项目:国家自然科学基金(30871477); 国家重点基础研究“973”发展计划(2009CB118602); 山东省农业重大应用技术创新课题; 教育部高校博士学科点科研基金(20060434006); 山东省教育厅科技计划(J06k06)

收稿日期:2010-01-05; **修订日期:**2010-04-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ypyinsdau@sina.com

Jinan17; the others three cultivars, Taishan23, Liaomai18, and Linmai2 belong to low freezing resistance group. This classification of wheat cultivars in freeze resistance is very useful for the proper choice of the suitable wheat cultivars in order to decrease or avoid the damage from spring freeze in wheat production in the North China Plain.

Key Words: wheat; freezing resistance; physiological indices; principal component analysis; Comprehensive evaluation

低温冻害是黄淮麦区小麦生产上的主要气象灾害之一。小麦低温冻害是指小麦从越冬到翌春受 0°C 以下强烈低温或剧烈变温造成的伤害。小麦冻害按其发生时期和特点可分为 4 类,即冬前冻害、越冬冻害、早春冻害(倒春寒)和晚霜冻害。起身拔节阶段是小麦生长发育的重要转折期,小麦生长加快,对温度变化的反应十分敏感,低温天气尤其是倒春寒对该期小麦生长危害明显,对小麦生产构成严重威胁。在山东,小麦低温冻害常有发生,2000—2008 年有 8a 发生冻害,其中冻害面积超过播种面积 10% 的年份有 5、9a 累计冻害受灾面积 292 万 hm^2 。黄淮麦区其他省份小麦低温冻害亦频有发生,其趋势基本相似。由此可见,小麦冻害已成为小麦生产发展亟待解决的重要问题,选用抗冻性强的小麦品种是有效防止或减轻冻害的基本途径。

植物的抗寒性与活性氧代谢关系密切,低温胁迫下植物体内产生大量的 H_2O_2 、 O_2^- 、 OH^- 等活性氧自由基,这些活性氧可导致膜脂过氧化,进而造成膜系统的氧化损伤^[1]。植物体内也存在着一系列酶促的和非酶促的抗氧化剂以清除活性氧自由基,保护植物细胞免受活性氧的伤害,维持膜系统的稳定性,以增强植株的抗寒力^[2]。SOD、POD、CAT 等被认为是清除活性氧过程中最主要的抗氧化酶类,使植物在一定程度上忍耐、减缓或抵抗低温胁迫^[3]。研究^[4-6]表明,小麦经低温胁迫后会发生一系列生理生化变化,其中一些指标如超氧化物歧化酶(SOD)活性和 MDA 含量等可作为品种抗冻性鉴定的生理生化指标^[5]。近年来,有学者利用隶属函数法对小麦的抗冻性也进行了综合评价^[7],但评价小麦抗冻性的指标较多,且各指标间存在着一定的相关性,故仅用隶属函数法对小麦抗冻性进行综合评价存在一定局限性。不同小麦品种的抗冻性差异与不同小麦品种对低温胁迫的生理生化反应差异有关。主成分分析法可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标。在此基础上,求出所有品种的每一个综合指标值及其相应的隶属函数值,然后进行加权,便可得到各品种抗逆性的综合评价值,据此较为全面地对不同品种的抗逆性进行评价^[8-9]。为此,以抗冻性不同的冬性和半冬性小麦品种为材料,在起身拔节阶段研究低温胁迫导致小麦功能叶和叶鞘生理生化指标的变化,运用主成分分析方法对所选小麦品种的抗冻性进行综合评价,以期为小麦生产上鉴别品种抗冻性、选用抗冻性品种提供理论依据和技术方法。

1 材料和方法

1.1 试验材料及培养

试验选用小麦品种为济麦 19、济麦 21、济麦 22、济南 17、聊麦 18、临麦 2 号、鲁麦 21、山农 664、山农 8355、泰山 23、泰山 9818、汶农 6 号、烟农 19、烟农 21 和烟农 24。种子精选后于 2008 年 10 月上旬播于装肥沃表土施足基肥的盆中,盆直径 18cm,高 16cm,每盆 7 株,并埋于山东农业大学试验田中,管理参照大田。

1.2 低温胁迫处理

2009 年 3 月 25 日取盆栽小麦于室内,于 20:00 移入 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 冰柜中,并于第 2 天 8:00 取出,置于室外,连续处理 3d,以大田盆栽小麦同品种作为对照,取小麦功能叶(最上部 3 片叶)、叶鞘测定其 SOD 活性、POD 活性、过氧化氢酶(CAT)活性、MDA 含量和可溶性蛋白含量。

1.3 测定方法

SOD 活性用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定^[10];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[11];过氧化氢酶(CAT)活性采用过氧化氢法测定^[12];MDA 含量以硫代巴比妥酸法测定^[13];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[12]。

1.4 统计分析

1.4.1 用公式(1)求出抗冻系数:

$$\text{抗冻系数} = \text{处理测定值} / \text{对照测定值} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 用公式(2)求得每一小麦品种各综合指标的隶属函数值^[14-15]:

$$u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, X_j 表示第 j 个综合指标; $X_{\min}$ 表示第 j 个综合指标的最小值; $X_{\max}$ 表示第 j 个综合指标的最大值。

1.4.3 用公式(3)可求出各综合指标的权重^[15]:

$$w_j = p_j / \sum_{j=1}^n p_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, w_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重; p_j 为各小麦品种第 j 个综合指标的贡献率。

1.4.4 用公式(4)计算各小麦品种的综合抗冻能力的大小^[14-15]。

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times w_j] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, D 值为各小麦品种在低温胁迫条件下用综合指标评价所得的抗冻性综合评价值。

利用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理和作图, 利用 DPS v7.05 软件对数据进行方差分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对不同冬小麦品种形态特征的影响

-4—0℃低温胁迫 3d 后, 不同小麦品种出现不同的反应, 但幼苗叶片均出现卷曲和萎焉, 其中, 济麦 19 和山农 8355 发生程度较轻, 只有下部叶片发生卷曲和萎焉。山农 664、泰山 9818、济麦 21、济麦 22、烟农 24、烟农 19、烟农 21、汶农 6 号、鲁麦 21 和济南 17 发生程度较重, 植株叶片失绿, 下垂披散, 大部分叶片萎焉。泰山 23、聊麦 18 和临麦 2 号发生程度最为严重, 植株苗弱, 局部坏死, 个别植株死亡。说明不同的小麦品种在 -4—0℃低温胁迫条件下均受到一定的伤害, 不同小麦品种对低温的抵抗能力不同。

2.2 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期生理指标的影响

2.2.1 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期抗氧化酶活性的影响

SOD 的主要功能是清除 O_2^- 的过多积累, 缓解逆境对植物体的伤害^[16]。-4—0℃低温胁迫 3d 后, 小麦功能叶和叶鞘中 SOD 活性均高于对照, 而且不同品种间存在差异。山农 8355 功能叶 SOD 活性升幅最大, 为 51.85%, 临麦 2 号升幅最小, 为 3.07% (图 1); 叶鞘 SOD 活性升幅最大的也是山农 8355, 为 67.68%, 升幅最小的是泰山 9818, 为 1.93% (图 1); 其余品种均介于二者之间。说明 -4—0℃低温胁迫, 使小麦功能叶和叶鞘中 SOD 活性升高, 增强对逆境的适应能力, 且不同小麦品种对逆境的适应能力不同。

过氧化物酶与超氧化物歧化酶、过氧化氢酶相互协调配合, 清除过剩的自由基, 使体内自由基维持在正常的动态水平, 以提高植物的抗逆性^[17]。由图 1 可以看出, 低温处理后, 不同小麦品种间功能叶和叶鞘中 POD 活性均升高, 且升高幅度各不相同。济麦 19 功能叶 POD 活性增加了 301.28%, 升幅最大, 临麦 2 号升幅最小, 为 31.33%; 叶鞘中 POD 活性, 山农 8355 升幅最大, 为 211.1%, 泰山 23 升幅最小, 为 67.19%。

植物在受到胁迫或病害时, 先产生 H_2O_2 和其它活性氧, 而过氧化氢酶能分解 H_2O_2 , 从而清除过氧化体系中的 H_2O_2 ^[18]。由图 1 可以看出, -4—0℃低温处理使小麦功能叶和叶鞘中 CAT 活性均不同程度地升高, 功能叶 CAT 活性升幅最大的是济麦 19, 升高 87.60%, 升幅最小的是烟农 19, 升高 8.45%; 叶鞘 CAT 活性升幅最大的是山农 8355, 升高 100%, 升幅最小的是济麦 21, 升高 10.87%, 不同小麦品种间 CAT 活性增加的百分数存在差异。

2.2.2 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期丙二醛含量的影响

MDA 是脂质过氧化的主要产物之一, 其含量高低可以反映植物膜系统的受伤程度。-4—0℃低温胁迫 3d 后, 小麦功能叶和叶鞘中 MDA 含量均不同程度地下降, 功能叶和叶鞘中 MDA 含量降低幅度最大的都是泰

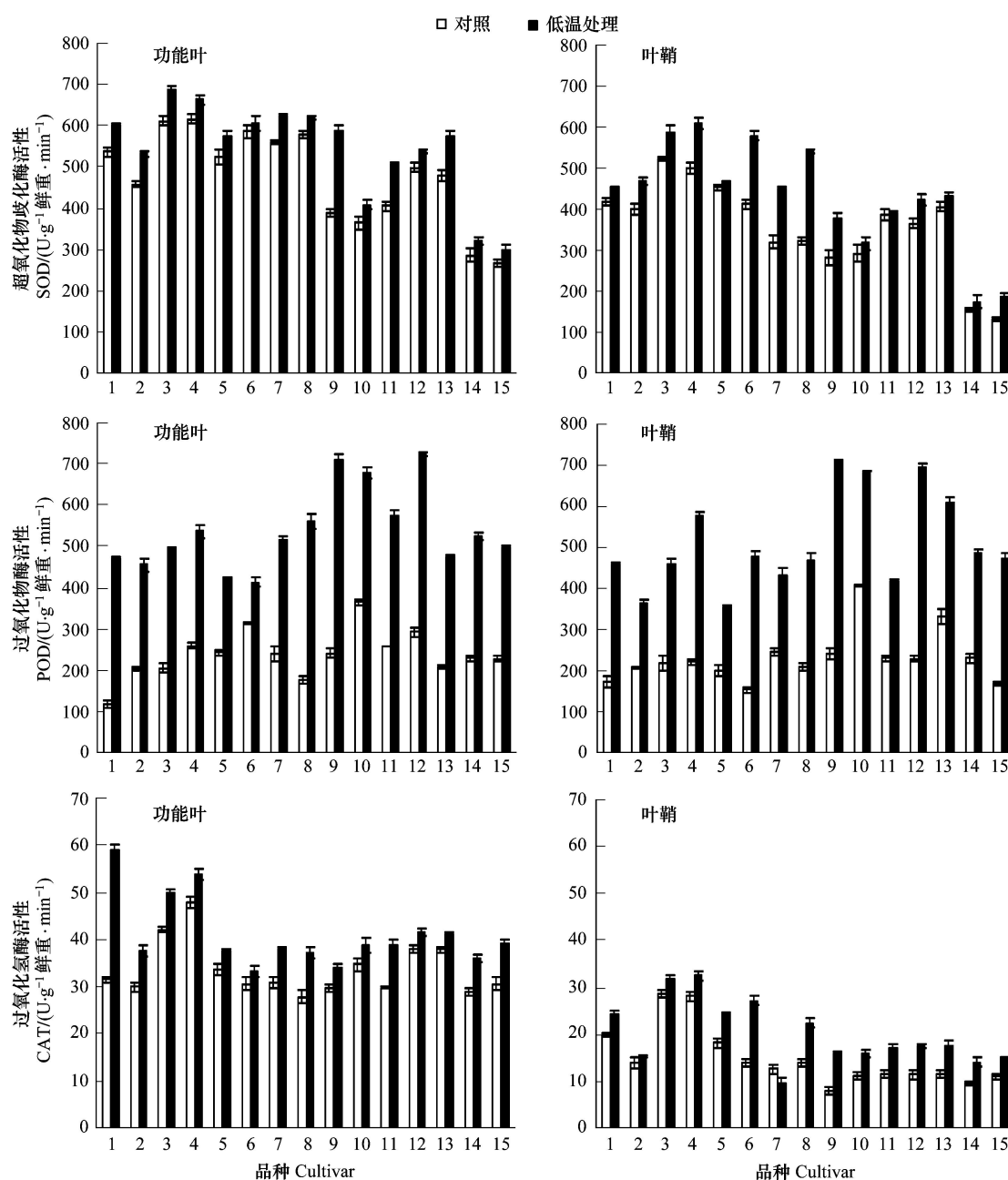


图1 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期抗氧化酶活性的影响

Fig.1 Activities of SOD, POD and CAT in leaf and sheath of wheat during stem elongation period in response to low temperature stress

图中数字1—15 分别表示济麦19、济麦21、济麦22、济南17、聊麦18、临麦2号、鲁麦21、山农664、山农8355、泰山23、泰山9818、汶农6号、烟农19、烟农21、烟农24

山9818,功能叶MDA含量降低了69.08%,叶鞘MDA含量降低了51.93%,降低幅度最小的都是聊麦18,功能叶MDA含量降低了21.38%,叶鞘MDA含量降低了9.31%(图2)。说明所选冬小麦均对低温胁迫表现出了一定的抗性。

2.2.3 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期可溶性蛋白含量的影响

由图2可以看出,−4—0℃低温处理3d后,不同小麦品种功能叶和叶鞘中可溶性蛋白含量均下降,不同小麦品种间可溶性蛋白含量下降幅度存在差异。功能叶中可溶性蛋白降低幅度最大的是泰山9818,降低了46.25%,降低幅度最小的是临麦2号,降低了6.96%;叶鞘中可溶性蛋白降低幅度最大的是临麦2号,降低了

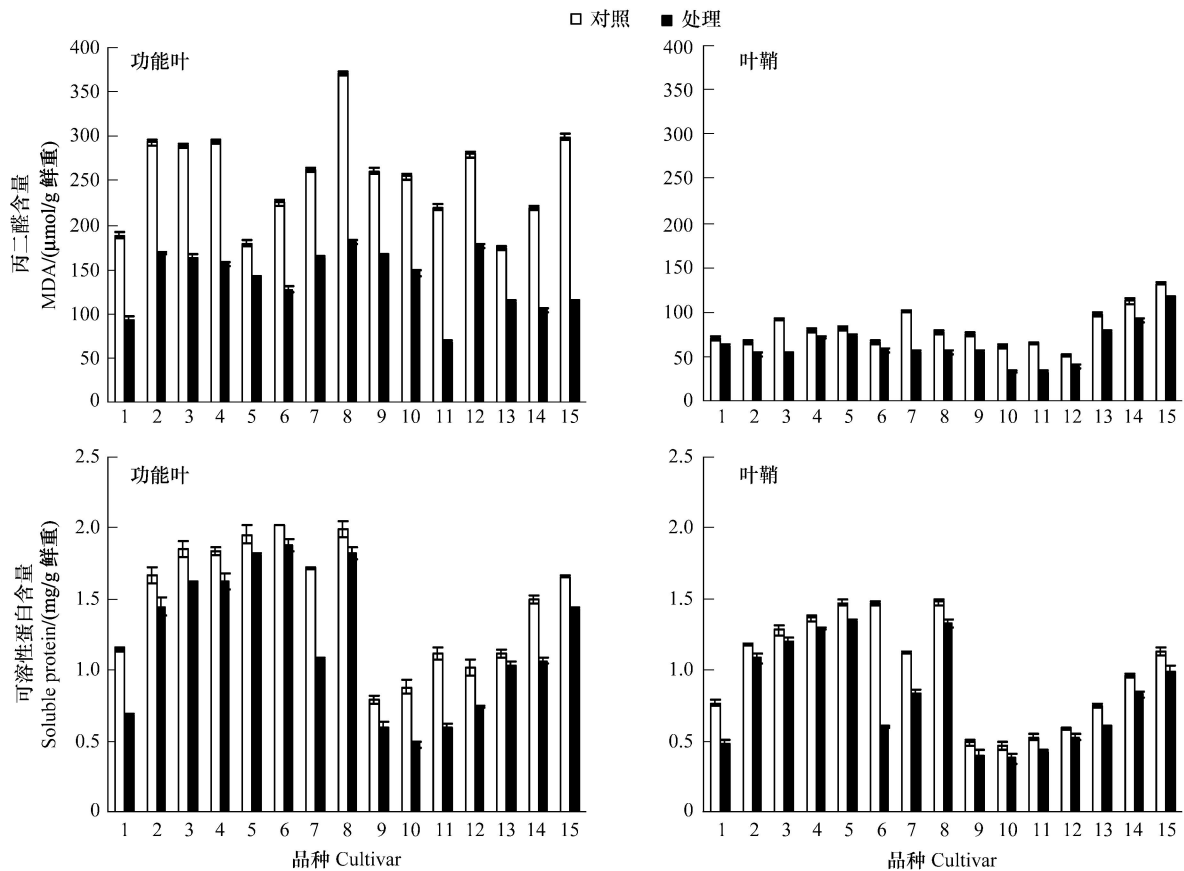


图2 低温胁迫对不同冬小麦品种起身拔节期丙二醛含量和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 2 Contents of MDA and soluble protein in leaf and sheath of wheat during stem elongation period in response to low temperature stress

图中数字1—15 分别表示济麦19、济麦21、济麦22、济南17、聊麦18、临麦2号、鲁麦21、山农664、山农8355、泰山23、泰山9818、汶农6号、烟农19、烟农21、烟农24

59.04%,降低幅度最小的是济南17,降低了5.23%。其它小麦品种功能叶和叶鞘中可溶性蛋白降低幅度介于二者之间,而且功能叶中可溶性蛋白含量均比叶鞘中含量高。

2.3 各单项指标的抗冻系数及其简单相关分析

根据各生理指标的测定值,用公式(1)求出各单项指标的抗冻系数(表1)。由2.1各项指标分析可以看出,各小麦品种经低温处理后的功能叶的SOD活性、POD活性和CAT活性与对照相比均有所增加,MDA含量和可溶性蛋白含量与对照相比均有所下降。但所有品种各单项指标的变化幅度不同,因而用不同单项指标的抗冻系数来评价小麦抗冻性,则结果均不相同。说明小麦抗冻性是一个复杂的综合性状,用任何单项指标评价小麦抗冻性都有片面性。从相关系数矩阵(表2)可以看出:所有生理指标间都存在着或大或小的相关性,从而使得它们所提供的信息发生重叠。同时,各单项指标在小麦抗冻性中所起的作用也不尽相同,所以如直接利用这些指标对小麦的抗冻性进行评价,则很难做出准确判断。为弥补单项指标抗冻性评价的不足,进一步采用主成分分析方法对其进行综合评价。

2.4 主成分分析

利用DPS v7.05软件对功能叶SOD活性、POD活性、CAT活性、MDA含量和可溶性蛋白含量5个单项指标的抗冻系数进行主成分分析,将5个单项指标转化成5个新的相互独立的综合指标 CI_1 — CI_5 ,前4个综合指标的贡献率分别为0.4555、0.2204、0.1821、0.1184(表3), CI_1 — CI_4 累积贡献率达97.64%, CI_5 可忽略不计,根据贡献率的大小可知各综合指标的相对重要性。

表 1 功能叶各单项指标的抗冻系数

Table 1 Freezing resistant coefficient of each single index of functional leaf/%

品种 Variety	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	丙二醛 MDA	可溶性蛋白 Soluble Protein
济麦 19	111.67	401.28	187.60	49.13	59.57
济麦 21	115.93	222.51	126.25	57.48	86.50
济麦 22	112.66	241.53	118.07	56.39	87.25
济南 17	107.41	206.79	112.45	53.23	88.38
聊麦 18	109.44	174.61	111.41	78.62	92.19
临麦 2 号	103.07	131.33	108.99	56.55	93.04
鲁麦 21	111.02	213.75	123.14	61.97	62.81
山农 664	107.04	318.72	133.75	48.71	91.55
山农 8355	151.85	295.08	115.18	63.72	74.81
泰山 23	111.66	186.07	111.82	57.56	53.96
泰山 9818	124.63	224.06	130.54	30.92	53.75
汶农 6 号	107.97	247.92	109.75	63.06	73.43
烟农 19	119.35	230.13	108.45	65.16	92.28
烟农 21	112.05	228.61	125.04	46.94	71.29
烟农 24	112.65	217.70	127.61	38.04	86.51

表 2 功能叶各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of each single index

指标 Index	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	丙二醛 MDA	可溶性蛋白 Soluble Protein
SOD	1				
POD	0.2758	1			
CAT	-0.0434	0.785	1		
MDA	0.0204	-0.2076	-0.4232	1	
可溶性蛋白 Soluble Protein	-0.2186	-0.2568	-0.389	0.3409	1

表 3 功能叶各综合指标的系数及贡献率

Table 3 Coefficient of comprehensive indexes and their contribution (P)

指标 Index	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	丙二醛 MDA	可溶性蛋白 Soluble Protein	贡献率 P
CI ₁	0.1634	0.8744	-0.1407	0.3447	0.265	0.4555
CI ₂	0.5447	0.1554	0.5228	0.0491	-0.6352	0.2204
CI ₃	0.5874	-0.2308	0.3172	-0.1021	0.7005	0.1821
CI ₄	-0.3928	0.3752	0.512	-0.6534	0.1259	0.1184

图中 CI₁—CI₄ 分别表示将功能叶 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量和可溶性蛋白含量 5 个单项指标转化成的 4 个相互独立的综合指标

2.5 综合评价

2.5.1 隶属函数分析

根据公式(2)求出每个小麦品种所有综合指标的隶属函数值(表 4)。对于同一综合指标如 CI₁ 而言,在低温胁迫条件下,济麦 19 的 u_1 值最大,为 1.000,说明济麦 19 在 CI₁ 这一综合指标上表现为抗冻性最强;聊麦 18 的 u_1 值最小,为 0.000,说明聊麦 18 在 CI₁ 这一综合指标上表现为抗冻性最差。

2.5.2 权重的确定

根据各综合指标贡献率的大小(分别为 0.4555、0.2204、0.1821、0.1184),用公式(3)可求出其权重。经

计算,4 个综合指标的权重分别为 0.467、0.226、0.187、0.121(表 4)。

2.5.3 综合评价

用公式(4)计算各小麦品种的综合抗冻能力的大小,根据各品种的 D 值(表 4),对小麦品种抗冻性进行强弱排序,其中济麦 19 的 D 值最大,表明该品种抗冻性最强;其次为山农 8355;临麦 2 号的 D 值最小,表明其抗冻性最差。采用最大距离法对 D 值进行聚类分析(图 3),可将 15 个小麦品种划分为 3 类:济麦 19、山农 8355 为一类,属强抗冻类型;山农 664、泰山 9818、济麦 21、济麦 22、烟农 24、烟农 19、烟农 21、汶农 6 号、鲁麦 21、济南 17 为一类,属中度抗冻类型;其余 3 个品种(泰山 23、聊麦 18、临麦 2 号)属弱抗冻类型(表 4)。

表 4 各品种的综合指标值、权重、 $u(X_j)$ 、 D 值及综合评价

Table 4 The value of each cultivar's comprehensive index, index weight, $u(X_j)$, value D , and comprehensive valuation

品种 Variety	CI_1	CI_2	CI_3	CI_4	$u(X_1)$	$u(X_2)$	$u(X_3)$	$u(X_4)$	D	综合评价 Valuation
济麦 19	4.160	-0.622	1.472	-0.813	1	0.101	1	0.197	0.700	强抗冻
济麦 21	-0.35	0.034	0.385	0.291	0.295	0.245	0.706	0.614	0.399	中度抗冻
济麦 22	-0.467	-0.118	0.433	0.348	0.277	0.212	0.719	0.635	0.388	中度抗冻
济南 17	-0.947	-0.665	0.013	0.427	0.202	0.092	0.605	0.665	0.308	中度抗冻
聊麦 18	-2.240	0.242	1.019	-0.834	0	0.290	0.877	0.189	0.252	弱抗冻
临麦 2 号	-2.040	-1.085	-0.283	0.277	0.031	0	0.525	0.608	0.186	弱抗冻
鲁麦 21	-0.044	0.038	-0.462	-1.232	0.343	0.246	0.476	0.039	0.309	中度抗冻
山农 664	0.757	-0.852	1.246	0.804	0.468	0.051	0.939	0.807	0.503	中度抗冻
山农 8355	0.605	3.484	0.160	0.600	0.444	1	0.645	0.730	0.642	强抗冻
泰山 23	-0.209	0.091	-1.465	-1.335	0.317	0.257	0.205	0	0.244	弱抗冻
泰山 9818	1.837	0.083	-2.222	0.541	0.637	0.256	0	0.708	0.441	中度抗冻
汶农 6 号	-0.557	-0.016	0.135	-0.790	0.263	0.234	0.638	0.206	0.319	中度抗冻
烟农 19	-1.226	0.741	0.702	0.323	0.158	0.340	0.792	0.626	0.388	中度抗冻
烟农 21	0.435	-0.451	-0.651	0.079	0.418	0.139	0.425	0.534	0.370	中度抗冻
烟农 24	0.284	-0.904	-0.481	1.315	0.394	0.040	0.471	1	0.402	中度抗冻
权重 Index weight					0.467	0.226	0.187	0.121		

3 讨论

许多研究表明,低温胁迫条件下植物体内超常积累活性氧自由基^[1-2]。这些自由基与活性氧的超常积累,对许多生物功能分子有破坏作用。同时植物体内存在一些清除自由基和活性氧的酶类和非酶类物质,自由基、活性氧和清除它们的酶类和非酶类物质在正常条件下维持平衡状态。SOD 是植物抗氧化系统的第一道防线,它可以使 Mehler 反应中产生的活性氧转化成 H_2O_2 ,然后通过 POD、CAT 等将 H_2O_2 转化为 H_2O 和 O_2 ,从而有效地阻止 O_2^- 和 H_2O_2 相互作用对细胞膜产生更大的伤害^[3]。本研究中, $-4\sim 0^\circ\text{C}$ 低温胁迫可使不同冬小麦品种拔节期功能叶和叶鞘中 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性均升高,从而减轻膜脂过氧化伤害,说明小麦对低温产生一定的抗性。

有关 MDA 含量与小麦抗寒性的关系,已有很多研究^[5,19]。小麦在低温胁迫条件下,SOD 活性提高,增强抗氧化能力,减少膜脂不饱和脂肪酸发生过氧化,从而抑制了 MDA 的合成^[19]。刘艳阳等的实验结果已证明

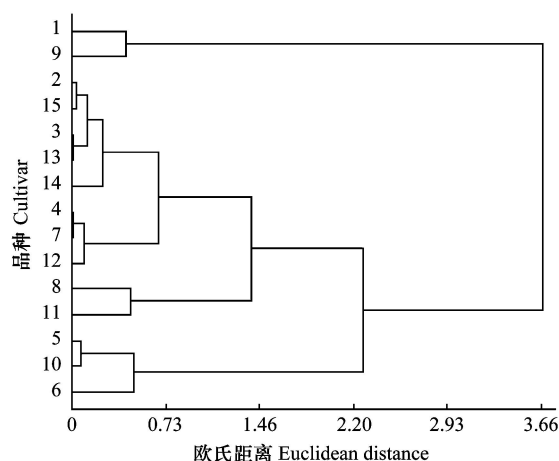


图 3 不同小麦品种 D 值聚类分析图

Fig. 3 Clustering chart on value D of different wheat cultivars

MDA 的含量可以作为小麦抗寒性的鉴定指标;冻害程度低的株系,MDA 含量较低,低温逆境下 MDA 积累少,膜脂过氧化程度低,抗寒性强;冻害程度高的株系,MDA 含量较高,低温逆境下 MDA 积累多,膜脂过氧化程度高,抗寒性弱^[5]。本研究表明,经 -4—0℃ 低温胁迫后,不同冬小麦品种功能叶和茎中 MDA 含量均下降,但下降幅度各不相同,说明所选冬小麦品种抗冻性存在差异。

前人的研究结果表明,低温胁迫对植物体内可溶性蛋白含量的影响存在两方面的作用:一方面,低温胁迫会诱导植物体内生成一些其它的可溶性蛋白,如冷响应蛋白,表现为对植物体内可溶性蛋白的正效应;另一方面,低温胁迫条件下,植物细胞产生自溶水解酶或溶酶体,释放出水解酶,加速了蛋白质的分解而无等速的合成,导致蛋白质匮乏,表现为对植物体内可溶性蛋白的负效应^[20]。本研究表明,低温胁迫后,不同冬小麦品种功能叶和茎中可溶性蛋白的含量均下降,说明低温胁迫条件对拔节期小麦功能叶和茎内可溶性蛋白含量的影响,其负效应已远远超过了正效应,导致小麦功能叶和茎内蛋白质匮乏,进而导致束缚水的含量下降以及原生质的弹性下降。

作物的抗逆性不但是一个受多种因素影响的复杂的数量性状,且不同品种的抗逆机制也不尽相同,从而使得不同品种在逆境条件下对某一具体指标的反应也不尽相同。因而用单一指标难以全面准确地反映作物品种抗逆性的强弱,应用多种指标来综合评价作物对逆境的适应能力^[21-23]。但评价作物抗逆性的指标较多,指标间又存在着一定的相关性,使得它们所提供的作物对逆境反映的信息发生交叉与重叠,且各指标在综合评价时的重要性(权重)也不同,如果直接利用这些指标来评价作物的抗逆性则会对结果造成偏差。主成分分析可将原来个数较多的指标转换成为新的个数较少且彼此独立的综合指标,同时根据各自贡献率的大小可以知道各综合指标的相对重要性^[24]。因此本研究利用主成分分析方法将 5 个单项指标综合成为 4 个综合指标,根据 4 个综合指标值的贡献率求出其相应的隶属函数值,并根据各综合指标的相对重要性(权重)进行加权,得到不同冬小麦品种抗冻性的综合评价值(*D* 值)。由于 *D* 值是一个无量纲的纯数,从而使各冬小麦品种之间的抗冻性差异具有可比性。通过聚类分析,将 15 个冬小麦品种划分为 3 类:济麦 19 和山农 8355 属强抗冻类型;山农 664、泰山 9818 等属中度抗冻类型;临麦 2 号、泰山 23 等属弱抗冻类型。

由于小麦抗冻性因品种、苗情和栽培技术而有很大变化,因此,本研究的综合评价方法可作为小麦品种抗冻能力的一种有效鉴别方法。

4 结论

经 -4—0℃ 低温胁迫 3d 后,15 个不同冬小麦品种起身拔节期功能叶和叶鞘中 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性均不同程度地上升,MDA 含量和可溶性蛋白含量均下降。通过主成分分析和聚类分析,将 15 个冬小麦品种划分为 3 类:济麦 19、山农 8355 属强抗冻类型;山农 664、泰山 9818、济麦 21、济麦 22、烟农 24、烟农 19、烟农 21、汶农 6 号、鲁麦 21、济南 17 属中度抗冻类型;其余 3 个品种(泰山 23、聊麦 18、临麦 2 号)属弱抗冻类型。综合评价结果在一定程度上反映了品种的抗冻性,因此,本方法可作为选择小麦品种抗冻性鉴别的一种有效方法。

References:

- [1] Li M R, Liu H X, Wang Y R. The research of Cellular oxidative stress mechanisms and plant freezing resistance mechanisms. Life Sciences, 1996, (4): 1-6.
- [2] Wise R R, Naylor A W. Chilling-enhanced photooxidation Evidence for the role of singlet oxygen and superoxide in the breakdown of pigments and endogenous antioxidants. Plant Physiology, 1987, 83: 278-282.
- [3] Kornyeyev D, Logan B A, Payton P, Allen R D, and Holaday S A. Enhanced photochemical light utilization and decreased chilling-induced photoinhibition of photosystem II in cotton over-expressing genes encoding chloroplast-targeted antioxidant enzymes. Physiologia Plantarum, 2001, 113: 323-331.
- [4] Chen L, Wu S G, Yang G Y, Wang H X, Zhou L. Changes of physiological and biochemical characteristics in seedling and jointing stage of wheat under low temperature stress. Seed, 2001, 114 (2): 19-20.
- [5] Liu Y Y, Li J Z, Chen L, Cui D Q. Effect of low temperature stress on peroxidation product of membrane lipids and activity of related enzymes in wheat seedling leaves. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(4): 70-73.

- [6] Zuo F, Fan B L. Research on the physiological-biochemical and protein component changes of wheat under low temperature stress. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(4): 1430-1431.
- [7] Chen L, Wu S G, Li S M, Yin G H, Zhou L, Gu H M. Biochemical reaction and resistance analysis of jointing stage of winter wheat under low temperature stress. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2001, 16(4): 42-46.
- [8] Zhou G S, Mei F Z, Zhou Z Q, Zhu X T. Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(11): 1378-1382.
- [9] Wang J, Zhou M X, Xu R G, Lu C, Huang Z L. Studies on selecting and evaluation methods for barley's (*Horedum Vulgare* L.) waterlogging tolerance. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2145-2152.
- [10] Li B L, Mei H S. The correlation between senescence of oat flag leaves and active oxygen metabolism. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1989, 15(1): 6-12.
- [11] Zhang X Z. *Methodology of Crop Physiology*. Beijing: Agriculture Press, 1992.
- [12] Zou Q. *The Instruction of Experiment on Plant Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [13] Zhao S J, Xu C C, Zou Q, Meng Q W. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues. *Plant Physiology Communications*, 1994, 30(3): 207-210.
- [14] Bai Z Y, Li C D, Sun H C, Zhao J F. Principal Component analysis and comprehensive evaluation on physiological indices of drought resistance in wheat substitution. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(12): 4264-4272.
- [15] Xie Z J. *Method of Fuzzy Mathematics in Agricultural Science*. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1983: 99-193.
- [16] Bowler C, Montagu M V, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43: 83-116.
- [17] Gechev T, Willekens H, Montagu M V, Inze D, Camp W V, Toneva V, Minkov I. Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 160: 509-515.
- [18] Prasad T K. Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergent maize seedlings. *Plant Physiology*, 1997, 114: 1369-1376.
- [19] Chen G, Kang Z L, Zhang L J. Effects of low temperature stress on physiological and biochemical characteristics of wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 1998, 18(3): 42-43.
- [20] Gao Y, Qi X H, Yang J H, Zhang M F. The response mechanism of cold stress in higher plants. *Northern Horticulture*, 2007(10): 58-61.
- [21] Niu F X, Hua X X, Guo X D, Wu J Y, Li H M, Ding C W. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(4): 392-398.
- [22] Wang S J, Gao Y Z, Peng W B, Wang X Y. Comprehensive evaluation on heat resistance of different wheat varieties. *Acta Agricultural Universities Henanensis*, 1994, 28(4): 339-343.
- [23] Shi S B, Xu W X, Zhang Q, Ke Y M, Gao W W. Study on drought resistance and high yield for comprehensive evaluation of spring wheat varieties in rainfed land. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(2): 14-20.
- [24] Yu J L. *Multiple Experimental Statistics in Agriculture*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993: 141-192.

参考文献:

- [1] 李美如, 刘鸿先, 王以柔. 细胞氧化应激机制与植物抗冷性机理的研究. *生命科学*, 1996(4): 1-6.
- [4] 陈龙, 吴诗光, 杨光宇, 王红星, 周琳. 低温胁迫下冬小麦幼苗期和拔节期某些生理生化特性的变化. *种子*, 2001, 114(2): 19-20.
- [5] 刘艳阳, 李俊周, 陈磊, 崔党群. 低温胁迫对小麦叶片细胞膜脂质过氧化产物及相关酶活性的影响. *麦类作物学报*, 2006, 26(4): 70-73.
- [6] 左芳, 范宝莉. 低温胁迫下小麦生理生化及蛋白组分变化研究. *安徽农业科学*, 2009, 37(4): 1430-1431.
- [7] 陈龙, 吴诗光, 李淑梅, 殷贵鸿, 周琳, 古红梅. 低温胁迫下冬小麦拔节期生化反应及抗性分析. *华北农学报*. 2001, 16(4): 42-46.
- [8] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 朱旭彤. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测. *中国农业科学*, 2003, 36(11): 1378-1382.
- [9] 王军, 周美学, 许如根, 吕超, 黄祖六. 大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2145-2152.
- [10] 李柏林, 梅慧生. 燕麦叶片衰老与活性氧代谢的关系. *植物生理学报*, 1989, 15(1): 6-12.
- [11] 张宪政. *作物生理研究法*. 北京: 农业出版社, 1992.
- [12] 邹琦. *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 赵世杰, 许长城, 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.
- [14] 白志英, 李存东, 孙红春, 赵金锋. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价. *中国农业科学*, 2008, 41(12): 4264-4272.
- [15] 谢志坚. *农业科学中的模糊数学方法*. 武汉: 华中理工大学出版社, 1983: 99-193.
- [19] 陈贵, 康宗利, 张立军. 低温胁迫对小麦生理生化特性的影响. *麦类作物*, 1998, 18(3): 42-43.
- [20] 高媛, 齐晓花, 杨景华, 张明方. 高等植物对低温胁迫的响应研究. *北方园艺*, 2007(10): 58-61.
- [21] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 郭景禹, 李洪民, 丁成伟. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探. *作物学报*, 1996, 22(4): 392-398.
- [22] 王淑俭, 高远志, 彭文博, 王向阳. 小麦不同品种抗热性综合评价. *河南农业大学学报*, 1994, 28(4): 339-343.
- [23] 石书兵, 徐文修, 张强, 克尤木, 高文伟. 旱作春小麦品种高产抗旱特性的综合评价. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(2): 14-20.
- [24] 余家林. *农业多元试验统计*. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 141-192.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 4 February, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau	LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)
Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration	TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)
Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (<i>Ericerus pela</i>) and its three dominant parasitoid wasps	WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)
Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China	HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)
Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod <i>Calanus sinicus</i> in a fatty acid approach	LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)
Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China	XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)
The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay	PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)
The effects of jellyfish (<i>Rhopilema esculentum</i> Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community	FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)
Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (<i>Pseudois schaeferi</i>) in Zhubalong Nature Reserve	LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)
Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys	ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)
Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River	MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)
Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data	WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)
The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province	QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)
A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China	LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)
Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of <i>Seriphidium minchinense</i> under water stress	HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)
Modeled impact of irrigation on regional climate in India	MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)
The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO ₂ concentration	ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)
Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts	WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)
Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress	WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)
Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques	HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)
Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat	CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)
Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season	ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)
Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China	LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)
Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area	LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)
Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)
Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China	LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)
Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of <i>Larix olgensis</i> plantation	JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)
Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations	ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)
Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing	GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)
Review and Monograph	
On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance	ZHAO Ping (1164)
Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems	LI Junmin, DONG Ming (1174)
Invasion mechanisms of <i>Solidago canadensis</i> L.: a review	YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 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	影响力因子 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;影响力因子 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

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 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		

