

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

宋广树,孙忠富,孙蕾,杜克明,王夏. 东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较. 生态学报, 2011, 31(13): 3788-3795.
Song G S, Sun Z F, Sun L, Du K M, Wang X. Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3788-3795.

东北中部地区水稻不同生育时期低温 处理下生理变化及耐冷性比较

宋广树^{1,2}, 孙忠富^{1,2,*}, 孙 蕾³, 杜克明^{1,2}, 王 夏^{1,2}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所; 2. 农业部农业环境与气候变化重点开放试验室, 北京 100081;
3. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 研究水稻不同生育时期低温条件下各种生理指标的变化, 选育耐低温水稻新品种, 对于东北地区的水稻生产具有重要意义。以东北中部地区目前主要栽培的 15 个水稻品种为试验材料, 利用人工气候箱进行低温处理, 分析苗期、孕穗期、抽穗期和灌浆期 4 个不同生育时期各个品种过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和叶绿素(Chlorophyll) 4 种生理指标含量变化与耐冷系数之间的关系。同时利用不同生理指标隶属函数的加权平均值(D 值)对不同水稻品种的耐冷性进行分类划分。结果表明, 每个生育时期的低温处理下, 过氧化物酶、脯氨酸、叶绿素均呈下降趋势, 丙二醛则呈上升趋势, 并且 4 种指标的变化幅度与水稻耐冷系数之间呈极显著相关性($P < 0.01$), 各种指标的 D 值与耐冷系数之间相关系数达到极显著, 并且高于每一个单一指标。因此, D 值可以更有效的对水稻进行耐冷评价和分级。

关键词: 水稻; 低温冷害; 过氧化物酶; 丙二醛; 脯氨酸; 叶绿素

Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China

SONG Guangshu^{1,2}, SUN Zhongfu^{1,2,*}, SUN Lei³, DU Keming^{1,2}, WANG Xia^{1,2}

1 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China

2 The Key Laboratory for Agro-environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, PRC 100081, China

3 Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China

Abstract: In northeastern China, chilling damage is the main threat to rice production. The selection and breeding of cold tolerant rice varieties is an important goal. Research into the differing physiologies of rice strains grown under low temperature conditions can give guidance for the breeding of cold-tolerant varieties. A better understanding is needed of the physiological variation exhibited by rice during different growth stages, under exposure to low temperature stress. We selected fifteen major rice varieties that are grown in the central northeast of China for analysis under controlled environmental conditions. Following the climatic characteristics of the region and the temperature demands of rice at different developmental stages, we simulated natural temperature variation with an artificial weather box; set to provide four daily temperature gradients. A control variety was planted in the natural environment. We examined the relationship between the cold tolerance coefficient (the ratio of yields under low temperature compared with the control), and levels within the leaves of peroxidase (POD), malondialdehyde (MDA), proline (Pro), and chlorophyll, during the seedling, booting, heading and grain filling stages of development. This relationship has been shown to be related to the cold

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD04B08); 农业行业科研专项(200903010)

收稿日期: 2010-10-31; 修订日期: 2011-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunzhongfu@gmail.com, sunzf@263.net

tolerance of the plants. Using the weighted average of subordinate function values (D value), of these four physiological indices, the relative cold tolerance shown by each variety was determined. We found that during each growth stage the POD, proline and chlorophyll levels decreased. This was in contrast to MDA levels; these were observed to increase. The subordinate function changes in the four indices are significantly correlated with the cold tolerance coefficient ($P < 0.01$). At seedling, booting, heading and grain filling stages, we were able to use the above four physiological indicators to create an index of subordinate functions. From large to small these were Pro; MDA; POD; chlorophyll; MDA; chlorophyll; Pro; POD; chlorophyll; MDA; POD; Pro and MDA; chlorophyll; Pro; POD. Quantitative analysis of the cold tolerance characters of each variety was conducted using these subordinate functions; and the contribution of each index to the cold tolerance of each variety was analyzed. The D value of the four indices not only has a significant correlation with the cold tolerance coefficient but is also higher than the result of each index. In conclusion, the D value can be used to effectively evaluate and classify the low temperature tolerance of rice. It can provide an new method of screening for low temperature tolerance in rice breeding. The changes in the physiological indices observed, when plants were subjected to different periods of low temperature stress, accurately reflect the cold tolerance of rice, and can be used to effectively classify rice varieties according to their cold tolerance.

Key Words: rice; low temperature damage; POD; MDA; proline; chlorophyll

水稻低温冷害,通常指水稻遭遇生长发育最低临界温度以下的低温影响,从而导致水稻不能正常生长发育而减产。低温冷害是东北地区水稻生产的主要障碍之一,据统计,东北地区东部山区和丘陵地带平均每4年1次,中西部地区每5年1次,东北中部地区水稻低温冷害一般发生于2个时期:一是4—5月份育苗期出现的冻害,既幼苗青枯病;二是大田期由延迟型冷害和障碍型冷害造成的“秃尖”、“瘪粒”,甚至不抽穗等。温度也是决定水稻品质的关键因素,引进和筛选耐低温的水稻新品种,降低该地区低温冷害对水稻产量和品质的影响,对于保障该地区的粮食高产稳产,具有重要现实意义。

水稻耐冷性的评价标准与方法往往根据处理时期和地域的差别而不同。王怀义等研究不同环境条件下水稻品种的花药长度及结实率之间的关系发现花药长度可以作为障碍型冷害指标^[1]; Yamamoto T 等提出将水稻根系溢泌量作为耐冷性评价的指标^[2]; Murata 利用电解质渗漏作为检测耐冷与不耐冷材料的鉴定指标^[3]; 陈善娜指出在低温处理下,膜脂过氧化产物的含量可以反映水稻的耐冷性^[4]。现有的水稻低温诊断评价标准,有一些很难进行量化分析,只能作为定性分析的依据,也有一些诊断标准操作难度偏大,同时很难做为诊断预测的指标,并且研究主要集中在水稻低温冷害发生的某一单一生育时期,对苗期、孕穗期、抽穗期和灌浆期4个主要生育时期的综合研究比较少^[5-6]。同时,不同时期没有比较统一的诊断标准。就东北地区而言,在这4个生育时期均可以发生低温冷害,因此有必要对4个生育时期均进行系统研究,采用统一的诊断标准,筛选耐低温的优良种质资源,同时为水稻的低温冷害诊断预测提供综合的理论依据。

为了较全面地反映品种的耐低温能力,避免因使用性质相同指标而对结果造成偏差,本文选用反映不同方面的4类指标各一个对水稻耐冷性进行综合评价。已有研究表明,低温可以促使水稻植株积累更多的脯氨酸等物质,脯氨酸是植物细胞内重要的渗透调节物质,能增加胞内溶质浓度,细胞的冰点,防止细胞过度脱水,从而减少低温对细胞的伤害^[7-9]; 温度是影响光合作用的重要因素,低温胁迫可以大大降低叶绿素的合成,从而降低植物体内有机物的合成^[10-12] 过氧化物酶在保护酶系统中主要起到酶促降解 H_2O_2 的作用,从而使植物在逆境胁迫下,表现出一定的抗逆性^[13-18]; 丙二醛含量的增加是植物受到逆境胁迫、细胞膜透性增加的一个重要标志^[19-22]

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验根据东北中部地区水稻生产实际和自然气候条件,结合水稻品种的自身生理特性,以15个东北中

部地区主栽水稻品种为材料:吉粳 81,吉粳 83,吉糯 7,吉粳 88,吉粳 803,吉粳 105,吉粳 108,平粳 7,吉粳 806,吉粳 800,吉粳 503,吉粳 101,吉粳 94,长白 9,长白 16。

1.2 试验方法

于 2009 年 5 月 10 日将 15 个品种播种在口径 24 cm 营养钵内,钵内装营养土到钵 7/8 处,每个营养钵内播种已催芽水稻 3 株(苗期 4 株),每个品种 3 次重复,氮、磷、钾分别施用 120 kg/hm²,80 kg/hm²,80 kg/hm²,以藁肥和穗肥形式分 2 次施入。分别在苗期(三叶期)、孕穗期(主茎变圆起)、抽穗期(主茎抽穗起)和灌浆期(开花期末起)对其在透明人工气候箱中进行低温处理,确保除温度以外的气象因素一致,设置 4 个变温时间(2:00、8:00、14:00、20:00),每 6h 为同一恒温定值,各生育时期温度循环周期中苗期为:8℃—8℃—8℃—8℃;孕穗期:15℃—17℃—20℃—16℃;抽穗期:16℃—18℃—19℃—15℃;灌浆期:16—19—20—18。对照为相应处理时期外界自然常温(表 1)。低温处理前后,对照和处理品种均在相同的自然条件下栽培,其

表 1 15 个主栽水稻品种处理时期及低温条件

Table 1 Treatment stages and different low temperature stress of 15 major varieties

品种 Species	苗期处理 Seedling stage			孕穗期处理 Booting stage		
	日期 Date	积温/℃ Accumulated Temperature		日期 Date	积温/℃ Accumulated Temperature	
	始/终日期 Start/End	日期 Date	积温/℃ Acc temp	始/终日期 Start/End	日期 Date	积温/℃ Acc temp
吉粳 81	6-2/6-9	56	130	7-14/7-21	119	164
吉粳 83	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	159.8
吉糯 7	5-31/6-7	56	125	7-6/7-13	119	158.6
吉粳 88	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	158.6
吉粳 803	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	158.6
吉粳 105	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	158.6
吉粳 108	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	158.6
平粳 7	5-30/6-6	56	122	7-9/7-16	119	158.6
吉粳 806	6-1/6-8	56	126	7-11/7-18	119	166.3
吉粳 800	6-1/6-8	56	126	7-10/7-17	119	163.2
吉粳 503	5-29/6-5	56	122	7-7/7-14	119	160.5
吉粳 101	5-29/6-5	56	122	7-8/7-15	119	160
吉粳 94	5-29/6-5	56	122	7-8/7-15	119	160
长白 9	5-27/6-3	56	136	7-2/7-9	119	152.1
长白 16	5-28/6-4	56	130	7-5/7-12	119	157.8
品种 Species	抽穗期处理 Heading stage			灌浆期处理 Milky stage		
	日期 Date	积温/℃ Acc Temp		日期 Date	积温/℃ Acc Temp	
	始/终日期 Start/End	日期 Date	积温/℃ Acc Temp	始/终日期 Start/End	日期 Date	积温/℃ Acc Temp
吉粳 81	8-5/8-12	119	182.2	8-18/8-25	131.3	149.4
吉粳 83	8-4/8-11	119	179.8	8-18/8-25	131.3	149.4
吉糯 7	7-31/8-7	119	173.7	8-14/8-21	131.3	174.8
吉粳 88	8-4/8-11	119	179.8	8-18/8-25	131.3	149.4
吉粳 803	8-4/8-11	119	179.8	8-18/8-25	131.3	149.4
吉粳 105	8-2/8-9	119	174.9	8-17/8-24	131.3	154.2
吉粳 108	8-3/8-10	119	177.3	8-17/8-24	131.3	154.2
平粳 7	8-5/8-12	119	182.2	8-18/8-25	131.3	149.4
吉粳 806	8-7/8-14	119	183.1	8-19/8-26	131.3	147.8
吉粳 800	8-6/8-13	119	181.7	8-20/8-27	131.3	147.6
吉粳 503	7-29/8-5	119	173.9	8-14/8-21	131.3	174.8
吉粳 101	7-31/8-7	119	173.7	8-14/8-21	131.3	174.8
吉粳 94	8-1/8-8	119	174.2	8-15/8-22	131.3	170.3
长白 9	7-25/8-1	119	166.7	8-14/8-21	131.3	174.8
长白 16	7-28/8-4	119	172.8	8-14/8-21	131.3	174.8

中苗期取植株的上三叶,孕穗期与抽穗期取倒数第三叶,灌浆期取倒数第二叶(倒数第三叶已经枯萎),

研究过氧化物酶、丙二醛、脯氨酸和叶绿素等生理指标的变化情况和对水稻产量的影响,进而对不同时期水稻的耐冷性进行鉴定,同时利用不同时期各种生理指标的变化情况进行低温冷害诊断。

1.3 生理指标及其测定方法

(1)粗酶液的提取分别取不同处理的材料叶片于预冷的研钵中,加 1mL 预冷的磷酸缓冲液(pH7.8),在冰浴上研磨成匀浆,加缓冲液冲洗研钵,并使最终体积为 5mL。在 4℃ 条件下 10000 r/min 离心 20 min,上清液即为粗酶液,用于过氧化物酶活性、丙二醛活性和脯氨酸含量的测定。

(2)过氧化物酶、丙二醛、脯氨酸等测定参照郝再彬主编的《植物生理实验技术》^[23],叶绿素测量利用 SPAD502 叶绿素测定仪。

1.4 综合评价方法

品种耐冷的评价不仅与所选择的指标有关,还与该指标对耐冷性的影响程度有关, D 值分析法定量地反映了各品种耐冷特性,对 D 值的最终应用是进行品种耐冷性分级。

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

与耐冷性呈正相关的参数 POD、脯氨酸和叶绿素的隶属函数采用公式:

$$u(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

与耐冷性呈负相关的参数 MDA 隶属函数采用公式:

$$u(x_j) = 1 - (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

式中, D 为各品种在低温胁迫下用综合生理指标体系评价所得的耐冷性度量值; r_j 为各品种第 j 个指标与耐冷系数间的相关系数; $u(x_j)$ 为第 j 个指标的隶属函数值; $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 为所参试品种中第 j 项指标的最大值和最小值。参考薛慧勤等关于花生品种抗旱性综合评价标准^[24],确定水稻品种耐冷分级标准: D 值 ≥ 0.7 为耐冷, $0.4 \leq D$ 值 < 0.7 为中等耐冷, D 值 < 0.4 为不耐冷。

1.5 数据处理

所得试验数据用 SPSS 统计软件进行数学统计分析,多重比较采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 耐冷系数

耐冷系数是指某一品种低温处理产量占对照非处理产量的百分比。该系数能够从生物学的角度反应植物的耐冷能力。低温处理品种产量越高,耐冷系数越大,反之则越小。

2.2 不同生育时期各种生理指标隶属函数及 D 值分析

2.2.1 苗期

苗期 4 种生理指标隶属函数与耐冷系数的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$),从大到小顺序依次是:脯氨酸 > 丙二醛 > 过氧化物酶 > 叶绿素。

表 2 苗期 4 种生理指标隶属函数及 D 值分析

Table 2 Analysis of subordinate function of 4 Physiology Indices and D Value of Seedling Stage

品种 Varieties	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	叶绿素 Chlorophyll	过氧化物酶 POD	D 值 D value	耐冷系数 CTC	耐冷评价 Ass. of CT
吉粳 81	0.9053	0.9110	0.9049	1.0000	0.9206	0.9278	高抗(HR)
吉粳 83	0.8424	1.0000	0.8649	0.8924	0.8913	0.8875	高抗(HR)
吉糯 7	1.0000	0.7070	1.0000	0.7330	0.8502	0.8490	高抗(HR)
吉粳 88	0.6724	0.8529	0.8258	0.7630	0.7705	0.8151	高抗(HR)
吉粳 803	0.7766	0.7562	0.5946	0.8124	0.7282	0.7795	高抗(HR)
吉粳 105	0.5275	0.7343	0.7646	0.7192	0.6788	0.7610	中抗(MR)

续表

品种 Varieties	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	叶绿素 Chlorophyll	过氧化物酶 POD	D 值 D value	耐冷系数 CTC	耐冷评价 Ass. of CT
吉粳 108	0.7544	0.5095	0.6856	0.5698	0.6228	0.7297	中抗 (MR)
平粳 7	0.7103	0.6364	0.5364	0.5143	0.5941	0.6912	中抗 (MR)
吉粳 806	0.6525	0.6070	0.4837	0.4874	0.5529	0.6511	中抗 (MR)
吉粳 800	0.5923	0.4502	0.4563	0.4142	0.4737	0.6243	中抗 (MR)
吉粳 503	0.4942	0.5654	0.0000	0.3425	0.3502	0.5987	低抗 (SR)
吉粳 101	0.4306	0.3517	0.3456	0.0000	0.2800	0.5698	低抗 (SR)
吉粳 94	0.3194	0.1700	0.2814	0.0524	0.2036	0.5366	低抗 (SR)
长白 9	0.2514	0.0000	0.0846	0.2912	0.1547	0.5000	低抗 (SR)
长白 16	0.0000	0.0636	0.1811	0.1842	0.1052	0.3796	低抗 (SR)
相关系数 r^2	-0.925 **	0.936 **	0.898 **	0.910 **	0.983 **		
指标权数 Index weight	0.2521	0.2551	0.2448	0.2480			

(1) CTC = Cold Tolerance Coefficient; (2) Ass. of CT = Assessment of Cold Tolerance; * * = 1% 显著水平. 表 3, 表 4, 表 5 下同

2.2.2 孕穗期

孕穗期 4 种生理指标隶属函数与耐冷系数的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 从大到小顺序依次是: 丙二醛 > 叶绿素 > 脯氨酸 > 过氧化物酶。

表 3 孕穗期四种生理指标隶属函数及 D 值分析

Table 3 Analysis of subordinate function of 4 Physiology Indices and D Value of Booting Stage

品种 Varieties	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	叶绿素 Chlorophyll	过氧化物酶 POD	D 值 D value	耐冷系数 CTC	耐冷评价 Ass. of CT
吉粳 81	1.0000	1.0000	0.8943	0.9524	0.9614	0.9931	高抗 (HR)
吉粳 83	0.8353	0.9635	1.0000	1.0000	0.9486	0.9430	高抗 (HR)
吉糯 7	0.7437	0.8935	0.9527	0.8106	0.8499	0.8849	高抗 (HR)
吉粳 88	0.7804	0.8140	0.8290	0.8737	0.8236	0.8390	高抗 (HR)
吉粳 803	0.7517	0.7465	0.7656	0.7733	0.7592	0.8047	高抗 (HR)
吉粳 105	0.6503	0.7142	0.5690	0.7296	0.6642	0.7729	中抗 (MR)
吉粳 108	0.5198	0.6483	0.6479	0.5400	0.5888	0.7457	中抗 (MR)
平粳 7	0.4812	0.6710	0.5136	0.4863	0.5369	0.6990	中抗 (MR)
吉粳 806	0.3737	0.5005	0.5736	0.6728	0.5282	0.6462	中抗 (MR)
吉粳 800	0.4043	0.4403	0.4793	0.6295	0.4869	0.5841	中抗 (MR)
吉粳 503	0.2784	0.4890	0.4000	0.3956	0.3892	0.5362	低抗 (SR)
吉粳 101	0.2077	0.5561	0.4215	0.0000	0.2969	0.4571	低抗 (SR)
吉粳 94	0.3438	0.0000	0.2753	0.3015	0.2324	0.4135	低抗 (SR)
长白 9	0.0576	0.3646	0.0000	0.2440	0.1627	0.2942	低抗 (SR)
长白 16	0.0000	0.1353	0.1735	0.1885	0.1230	0.2890	低抗 (SR)
相关系数 r^2	-0.970 **	0.913 **	0.962 **	0.910 **	0.990 **		
指标权数 Index weight	0.2583	0.2431	0.2562	0.2423			

2.2.3 抽穗期

抽穗期 4 种生理指标隶属函数与耐冷系数的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 从大到小顺序依次是: 叶绿素 > 丙二醛 > 过氧化物酶 > 脯氨酸。

表 4 抽穗期四种生理指标隶属函数及 D 值分析Table 4 Analysis of subordinate function of 4 Physiology Indices and D Value of Heading Stage

品种 Varieties	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	叶绿素 Chlorophyll	过氧化物酶 POD	D 值 D value	耐冷系数 CTC	耐冷评价 Ass. of CT
吉粳 81	0.9524	0.9101	0.9202	1.0000	0.9464	0.9303	高抗(HR)
吉粳 83	1.0000	0.7327	1.0000	0.8698	0.9046	0.8787	高抗(HR)
吉糯 7	0.8675	1.0000	0.7197	0.9030	0.8694	0.8581	高抗(HR)
吉粳 88	0.6900	0.8764	0.8996	0.7357	0.7988	0.8141	高抗(HR)
吉粳 803	0.7268	0.7577	0.7503	0.8247	0.7650	0.7899	高抗(HR)
吉粳 105	0.7826	0.5215	0.6505	0.6905	0.6645	0.7647	中抗(MR)
吉粳 108	0.6327	0.7189	0.6837	0.5160	0.6361	0.7511	中抗(MR)
平粳 7	0.4729	0.4778	0.5469	0.6259	0.5320	0.7317	中抗(MR)
吉粳 806	0.3791	0.6210	0.4564	0.4698	0.4783	0.6957	中抗(MR)
吉粳 800	0.5449	0.3357	0.4729	0.4790	0.4610	0.6708	中抗(MR)
吉粳 503	0.4102	0.3852	0.3126	0.3937	0.3751	0.6428	低抗(SR)
吉粳 101	0.1725	0.2666	0.2599	0.3231	0.2552	0.5890	低抗(SR)
吉粳 94	0.3415	0.1459	0.3943	0.0000	0.2225	0.5574	低抗(SR)
长白 9	0.2569	0.0000	0.1747	0.2655	0.1783	0.5243	低抗(SR)
长白 16	0.0000	0.3904	0.0000	0.1533	0.1299	0.4546	低抗(SR)
相关系数 r^2	-0.953 **	0.866 **	0.956 **	0.950 **	0.988 **		
指标权数 Index weight	0.2558	0.2325	0.2566	0.2550			

2.2.4 灌浆期

灌浆期 4 种生理指标隶属函数与耐冷系数的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 从大到小顺序依次是: 丙二醛 > 叶绿素 > 脯氨酸 > 过氧化物酶。

表 5 灌浆期四种生理指标隶属函数及 D 值分析Table 5 Analysis of subordinate function of 4 Physiology Indices and D Value of Milky Stage

品种 Varieties	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	叶绿素 Chlorophyll	过氧化物酶 POD	D 值 D value	耐冷系数 CTC	耐冷评价 Ass. of CT
吉粳 81	0.9326	0.9564	0.9562	1.0000	0.9610	0.9355	高抗(HR)
吉粳 83	0.8526	0.9422	1.0000	0.9595	0.9379	0.9100	高抗(HR)
吉糯 7	1.0000	0.7327	0.8760	0.7526	0.8417	0.8645	高抗(HR)
吉粳 88	0.7275	1.0000	0.6985	0.8305	0.8134	0.8350	高抗(HR)
吉粳 803	0.7613	0.7653	0.7282	0.6254	0.7207	0.7993	高抗(HR)
吉粳 105	0.6126	0.6821	0.6501	0.7133	0.6640	0.7655	中抗(MR)
吉粳 108	0.6359	0.5783	0.6633	0.6757	0.6381	0.7402	中抗(MR)
平粳 7	0.6985	0.4200	0.7183	0.3563	0.5500	0.7134	中抗(MR)
吉粳 806	0.3048	0.5554	0.6247	0.5773	0.5140	0.6865	中抗(MR)
吉粳 800	0.5546	0.3620	0.4318	0.4368	0.4471	0.6382	中抗(MR)
吉粳 503	0.4670	0.3256	0.3618	0.3846	0.3853	0.6060	低抗(SR)
吉粳 101	0.4125	0.4778	0.0000	0.4810	0.3428	0.5697	低抗(SR)
吉粳 94	0.2227	0.2767	0.3212	0.0000	0.2060	0.5435	低抗(SR)
长白 9	0.1809	0.0000	0.2763	0.2625	0.1797	0.5037	低抗(SR)
长白 16	0.0000	0.2063	0.2012	0.1930	0.1490	0.3986	低抗(SR)
相关系数 r^2	-0.941 **	0.916 **	0.917 **	0.904 **	0.989 **		
指标权数 Index weight	0.2558	0.2490	0.2493	0.2458			

3 讨论和结论

水稻从种子发芽到成熟均有可能发生低温冷害,鉴于东北地区水稻生育期气象条件的特点,苗期、孕穗期、抽穗期和灌浆期低温对该地区水稻生产影响较大。其中,苗期日平均气温过低易得立枯病,造成烂秧,降低成苗率,延迟生育期;孕穗期低温往往容易造成水稻空壳率大幅上升,降低单位面积产量;而抽穗期和灌浆期往往降低水稻的灌浆速率、稻米品质。因此,对水稻该4个时期进行耐冷评价,为选育优良耐冷品种具有重要生产意义。

研究表明,在低温胁迫条件下植物体内过多积累活性氧自由基,引起膜脂过氧化导致低温伤害,同时积累了大量的膜脂过氧化产物丙二醛,因而丙二醛的产生量是鉴别逆境胁迫对生物膜危害程度的一个重要指标。脯氨酸是重要的渗透调节物质和营养物质,它的增加积累能提高细胞的保水能力、对细胞的生命物质及生物膜起保护作用。一般认为,脯氨酸是具有低温保护效应的物质,高浓度的脯氨酸是抗冻性提高的重要原因之一^[25-26]。本试验中,在4个不同生育时期丙二醛和脯氨酸与耐冷系数均表现出相对较高的相关系数,间接反映了各个时期实验处理温度已经使水稻受到低温胁迫,同时,结合各个品种的耐冷系数证明处理温度适中。

低温胁迫可对水稻整个代谢和生理过程造成不可逆伤害,可使膜透性增加,叶绿素合成受抑制和破坏叶绿体结构,导致光合能力下降。低温可增加冷敏感植物和耐冷植物发生光抑制^[27-28]。本实验中,叶绿素含量降低幅度与耐冷系数之间的相关性在苗期相对较弱,在孕穗期、抽穗期和灌浆期均表现较强,我们推测这个可能与叶绿素的合成时期主要在苗期之后有关,苗期叶绿素含量的合成受到抑制在后期的发育阶段可以得到补偿,然而,孕穗期、抽穗期和灌浆期低温抑制了叶绿素的合成,但在后期的生长发育阶段很难得到补偿,也正因为如此,在水稻发育的中后期,具有良好光合作用的倒三片叶是决定水稻产量的关键因素。

过氧化物酶在保护酶系统中主要起到酶促降解 H_2O_2 的作用,从而降低逆境胁迫下代谢过程中

产生的有害物质对植物细胞的伤害,因此表现出一定的抗逆性。一般情况下,细胞内的活性氧与防御系统之间保持着平衡^[29]。本实验中,过氧化物酶变化与耐冷系数之间的相关性相对较低,但是均达到了极显著水平,过氧化物酶活性是水稻低温胁迫下非常重要的一个生理修复指标,在水稻抵御低温逆境过程具有重要作用。植物的耐冷特性是受其生理生化特征综合作用的客观表现,因此,单一耐冷指标难以判断植物对低温的综合适应能力。本研究运用隶属函数加权综合评判方法 D 值法,对丙二醛、过氧化物酶、脯氨酸和叶绿素4个生理生化指标参数进行综合分析,4种生理指标 D 值在苗期、孕穗期、抽穗期和灌浆期与耐冷系数之间具有良好的一致性,比其中任何一个单一指标均能更好地反映水稻品种的耐冷性。根据以上所述三级标准将15个品种进行分类,每类均含5个品种,与生产实际相吻合。

综上所述,植物的耐冷性与植物的保护酶活性以及植物体内的渗透调节物质的浓度变化紧密相关,过氧化物酶、丙二醛、叶绿素和脯氨酸等生理指标在不同时期的低温胁迫下的变化幅度综合表现可以有效客观反映水稻的耐冷性,并对水稻耐冷性进行有效分类。

References:

- [1] Wang H Y, Zhang S Z, Xiong J H, Kunihiro Y, Horisue N. Relationship between anther length and cold tolerance of rice (*Oryza sativa* subsp. japonica) Southwest. China Journal of Agricultural Sciences, 1988, 1 (2): 65-67.
- [2] Yamamoto T, Nishimura M. Relation between the tolerance to the sterility type of cool injury and the amount of bleeding water in rice plant. Japan Journal of Breeding, 1986, 36: 147-154.
- [3] Murata T, Tatsumi Y. Ion leakage in chilled plant tissues//Lyons J M, Graham D, Raison J K, eds. Low Temperature Stress in Crop Plants: the Role of the Membrane. New York: Academic Press, 1979: 141-151.
- [4] Chen S N, Liang B, Zhang S J, Zhou H C. The relationship between the cold resistance of rice seedlings in Yunnan plateau and the scavenging systems of activated oxygen. Acta Metallurgica Sinica, 1995, 17(4): 1-3.
- [5] Jiang L X, Ji S T, Li S, Wang L M, Han J J, Wang L L, Zhu H X, Ji Y H. Relationships between rice empty grain rate and low temperature at booting stage in Hei long jiang Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(7): 1725-1730.
- [6] Wang P, Zhang C J, Chen G X, Wang J, Shi D W, Lu C G. Effects of low temperature on lipid peroxidation and fatty acid composition of flag leaf in rice (*Oryza sativa* L.). Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(4): 568-572.
- [7] Verbruggen N, Hermans C. Proline accumulation implants: A review. Amino Acids, 2008, 35(4): 753-759.

- [8] Lu B B, Yuan Y Z, Zhang C F, Ou J Q, Zhou W, Lin Q H. Modulation of key enzymes involved in ammonium assimilation and carbon metabolism by low temperature in rice (*Oryza sativa* L.) roots. *Plant Science*, 2005, 169(2): 295-302.
- [9] Liu E E, Zong H, Guo Z F, Li Y C. Effects of drought, salt and chilling stresses on proline accumulation in shoot of rice seedlings. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2000, 8(3): 235-238.
- [10] Wang J, Zhang C J, Chen G X, Wang P, Shi D W, Lu C G. Responses of photosynthetic functions to low temperature in flag leaves of rice genotypes at the milky stage. *Rice Science*, 2006, 13(2): 113-119.
- [11] Hetherington S E, He J, Smillie R M. Photoinhibition at low temperature in chilling-sensitive and -resistant plants. *Plant Physiology*, 1989, 90: 1609-1615.
- [12] Wang G L, Guo Z F. Effects of chilling stress on photosynthetic rate and the parameters of chlorophyll fluorescence in two rice varieties differing in sensitivity. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(4): 381-383.
- [13] Morsy M R, Jouve L, Hausman J F, Hoffmann L, Stewart J M. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164(2): 157-167.
- [14] Tanida M. Catalase activity of rice seed embryo and its relation to germination rate at a low temperature. *Breeding Science*, 1996, 46: 23-27.
- [15] Kar M, Mishra D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 1976, 57: 315-319.
- [16] Wang C G, Wang X, Cang J, Yang L J. Effect of low temperature stress on cold resistance ability of rice seedlings. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2004, 35(2): 205-207.
- [17] Liu D Y, Wang W X. Effect of H_2O_2 on activities of catalase and peroxidase in rice seedlings. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(3): 320-324.
- [18] Feng C J, Luo X Y, Sha W, Wang F G. Effect of low temperature stress on SOD、POD activity and proline content of alfalfa. *Pratacul Tural Science*, 2005, 22(6): 29-32.
- [19] Benson E E, Lynch P T, Jones J. The detection of lipid peroxidation products in cryoprotected and frozen rice cells; consequences for post-thaw survival. *Plant Science*, 1992, 85(1): 107-114.
- [20] Wang P, Zhang C J, Chen G X, Wang J, Shi D W, Lu C G. Effects of low temperature on lipid peroxidation and fatty acid composition of flag leaf in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4): 568-572.
- [21] Cao X Q. The effect of membrane-lipid prooxidation on cell and body. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 1986, (2): 17-23.
- [22] Geng L Q, Wang J Y, Chen W F. Influence of Low Temperature on Grain Weight during Booting and Grain Filling Period. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2009, 40(2): 131-134.
- [23] Hao Z B, Cang J, Xu Z. *Plant Physiology Experiment Technology*. Harbin: Harbin Press, 2002.
- [24] Xue H Q, Sun L Z, Gan X M. Study on comprehensive assessment and mechanism of drought resistance in peanut cultivars. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, 17(1): 83-87.
- [25] Li Y B, Yang S Q, Ren G X, Feng Y Z, Zhang Q, Li P. Changes analysis in physiological properties of several gramineous grass species and cold-resistance comparison on under cold stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1341-1347.
- [26] Xin Z, Browse J. Eskimol mutants of Arabidopsis are constitutively freezing-tolerant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95(7): 7799-7804.
- [27] Zeng N Y, He J X, Zhao W, Liang H G. Changes in components of pigments and proteins in rice photosynthetic membrane during chilling stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2000, 20(1): 8-14.
- [28] Chen S N, Zou X J, Liang B. Electronmicroscope observation on membrane system of leave cells of some varieties of rice sedings with different cold-resistance. *Plant Physiology Communications*, 1997, 33(3): 191-194.
- [29] Prasad T K. Mechanism of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease activities. *Plant Journal*, 1996, 10(6): 1017-1026.

参考文献:

- [1] 王怀义, 张思竹, 熊建华, Kunihiro Y, Horisue N. 水稻花药长度与耐寒性的关系. *西南农业学报*, 1988, 1(2): 65-67.
- [4] 陈善娜, 梁斌, 张蜀君, 周恒苍. 云南高原水稻幼苗的抗冷性与其活性氧清除系统的关系. *云南植物研究*, 1995, 17(4): 1-3.
- [5] 姜丽霞, 季生太, 李帅, 王连敏, 韩俊杰, 王煦煦, 朱海霞, 纪仰慧. 黑龙江省水稻空壳率与孕穗期低温的关系. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1725-1730.
- [9] 刘娥娥, 宗会, 郭振飞, 黎用朝. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响. *热带亚热带植物学报*, 2000, 8(3): 235-238.
- [12] 王国莉, 郭振飞. 低温对水稻不同耐冷品种幼苗光合速率和叶绿素荧光参数的影响. *中国水稻科学*, 2005, 19(4): 381-383.
- [16] 王晨光, 王希, 苍晶, 杨丽娟. 低温胁迫对水稻幼苗抗冷性的影响. *东北农业大学学报*, 2004, 35(2): 205-207.
- [17] 刘大永, 王维香. 过氧化氢对水稻幼苗中 CAT 和 POD 活性的影响. *作物学报*, 1998, 24(3): 320-324.
- [18] 冯昌军, 罗新义, 沙伟, 王凤国. 低温胁迫对苜蓿品种幼苗 SOD、POD 活性和脯氨酸含量的影响. *草业科学*, 2005, 22(6): 29-32.
- [20] 王萍, 张成军, 陈国祥, 王静, 施大伟, 吕川根. 低温对水稻剑叶膜脂过氧化和脂肪酸组分的影响. *作物学报*, 2006, 32(4): 568-572.
- [22] 耿立清, 王嘉宇, 陈温福. 孕穗-灌浆期低温对水稻粒重的影响. *沈阳农业大学学报*, 2009, 40(2): 131-134.
- [23] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. *植物生理实验技术*. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 2002.
- [24] 薛慧勤, 孙兰珍, 甘信民. 花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(1): 83-87.
- [25] 李轶冰, 杨顺强, 任广鑫, 冯永忠, 张强, 李鹏. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较. *生态学报*, 2009, 29(3): 1341-1347.
- [27] 曾乃燕, 何军贤, 赵文, 梁厚果. 低温胁迫期间水稻光合膜色素与蛋白水平的变化. *西北植物学报*, 2000, 20(1): 8-14.
- [28] 陈善娜, 邹晓菊, 梁斌. 水稻不同抗冷性品种幼苗叶细胞膜系统的电镜观察. *植物生理学通讯*, 1997, 33(3): 191-194.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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