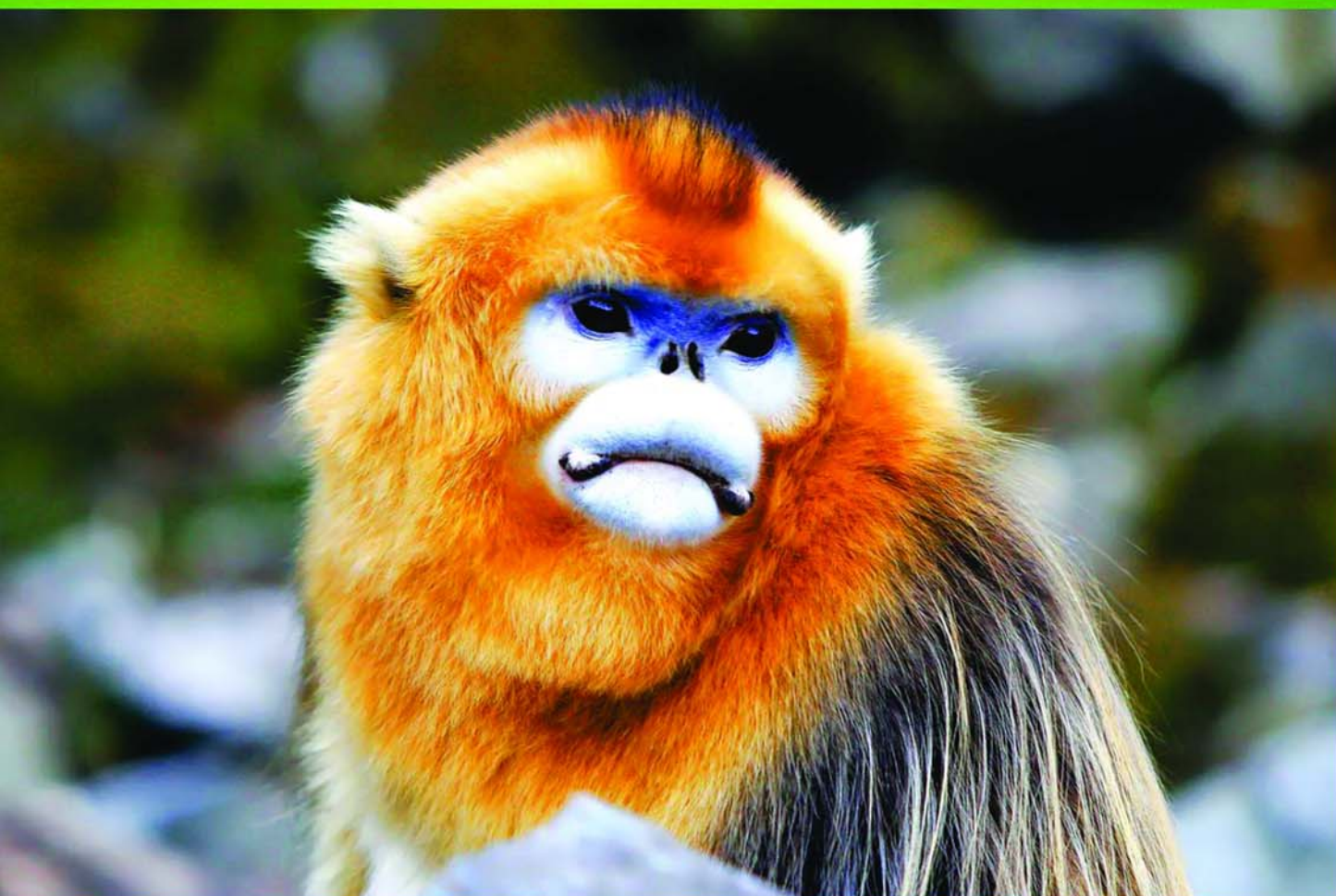


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

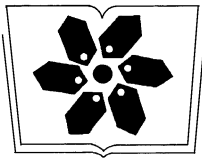
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

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 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012061740

李磊, 李向义, 林丽莎, 王迎菊, 薛伟. 塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应. 生态学报, 2012, 32(2): 0578-0587.

Li L, Li X Y, Lin L S, Wang Y J, Xue W. Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taklamakan desert. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0578-0587.

塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应

李 磊^{1,2,3}, 李向义^{1,3,*}, 林丽莎^{1,3}, 王迎菊^{1,2,3}, 薛 伟^{1,2,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测试验站, 策勒 848300)

摘要: 为了研究玉米对不同荒漠化环境的适应性, 以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲外围不同荒漠化程度下生长的玉米为试验材料, 大田试验为手段, 布置 3 个胁迫水平 (轻度荒漠化、中度荒漠化、重度荒漠化), 研究了玉米的土壤含水率、植株高度、生物量分配、脯氨酸 (Proline)、丙二醛 (MDA)、可溶性糖 (Sugar)、叶绿素 (Chl)、叶绿素荧光参数、比叶面积 (SLA) 等在不同胁迫梯度下的变化特征。结果显示: 随着荒漠化程度的加剧, 玉米生物量、脯氨酸、丙二醛、叶绿素、类胡萝卜素、Chl a/b、叶绿素荧光参数都有不同幅度的下降; 中度荒漠化可溶性糖含量最低, 重度最高, 轻度介于两者之间; Car/Chl、比叶面积和地下生物量占总生物量的比重都随荒漠化程度的加剧, 呈增加趋势。结果表明, 荒漠化环境明显对玉米的生长产生了抑制作用; 随着荒漠化程度的加剧, 玉米植株的光合色素含量降低, PS II 受到影响, 从而影响植株的光合作用, 使玉米物质的积累受到影响; 玉米自身通过在营养器官分配更多的能量和积累调控物质, 并且在形态结构上也会发生某些改变以适应更恶劣的环境。随着胁迫程度的加剧, 对其生长抑制愈严重。

关键词: 玉米; 荒漠化; 生理生态; 塔干沙漠南缘

Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taklamakan desert

LI Lei^{1,2,3}, LI Xiangyi^{1,3,*}, LIN Lisha^{1,3}, WANG Yingju^{1,2,3}, XUE Wei^{1,2,3}

1 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Cele National Station of Observation and Research For Desert-Grassland Ecosystem in Xinjiang, Cele 848300, China

Abstract: Qira Oasis is located on the southern fringe of the Taklamakan Desert, the most arid region in northwest China, where the mean annual precipitation is less than 40 mm but the evaporation can be as high as 2600 mm per year. Implementation of agriculture at Qira Oasis is constrained by multiple environmental factors, e. g. strong sunlight, high temperature, drought, and low soil fertility. As a C₄ plant, maize shows a high photosynthetic rate, better adaptability to salinity and desertification, and stronger competitiveness. To research the adaptability of maize to different severities of desertification, field experiments were performed using Shenyu 2000 (a maize cultivated by Shenyang academy of agriculture sciences) growing in a desertification gradient outside of Qira Oasis and subjected the experimental plots to three stress treatments (mild, moderate, and severe desertification, designated D1, D2, and D3, respectively). D1 was located in marginal farmland in the oasis, D2 in the transitional zone between farmland and desert, and D3 on the desert edge of the

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技计划项目 (200933125)

收稿日期: 2010-12-06; 修订日期: 2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixy@ms.xjb.ac.cn

transition zone. Each treatment consisted of three experimental plots, arranged in an L arrangement, comprising an area 20 m long and 15 m wide. The distance between each site was about 1 km, and the moderate and severe desertification sites were separated by a 1-meter-wide shrub forest belt of *Calligonum mongolicum*. The soil water content, plant height, biomass allocation, proline, malondialdehyde, soluble sugar, chlorophyll (Chl), chlorophyll fluorescence parameters, and specific leaf area of the maize plants were recorded during the pollination period. Desertification inhibited growth of the maize plants. Growth and photosynthesis parameters showed different rates of decline at different desertification severities. At D3, biomass, proline, malondialdehyde, chlorophyll, carotenoids (Car), Chl a/b, decreased 291.88, 110.38, 50.64, 218.71, 133.26, and 21.35%, respectively, and the chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m , F_v/F_o , and F_m/F_o also decreased by 10.01, 34.37, and 23.36%, respectively, compared with those at D1. The soluble sugar content was lowest in the moderate desertification treatment and highest in the severe desertification condition; at D2, it decreased 8.28%, compared with D3. The Car:Chl ratio, specific leaf area and the ratio between underground biomass and total biomass increased with increasing desertification severity. Compared with D1, these parameters increased 36.68%, 12.86% and 53.04%, respectively. The results indicated that implementation of agriculture at Qira Oasis is a comprehensive and complex environment. For improved adaptation to desertification, maize plants allocate greater energy to vegetative organs, and also alter their vegetative morphology to adapt to an increasingly severe environment. Although maize plants can adapt to desertification conditions by regulation of metabolic processes and metabolite accumulation, these are also primary factors that limit their normal growth and physiology. The effect of different desertification stress gradients on maize mainly reflects the light intensity and pigment and the structure of PS II, which affect photosynthesis and decrease biomass accumulation. The growth of maize is significantly limited by desertification as the level of stress increases.

Key Words: maize; desertification; physicoecological; Taklamakan Desert

目前人类面临日益严重的耕地资源问题^[1]。耕地是干旱地区绿洲农业最重要的自然资源。绿洲耕地的适当利用,有利于绿洲范围的扩大和绿洲生态环境的稳定性;绿洲耕地面积的不适当增加将导致新增农田的可持续利用性差,甚至引起绿洲生态环境的恶性循环^[2]。策勒绿洲位于塔克拉玛干沙漠南缘,由于绿洲人口的增加,对绿洲边缘、绿洲-荒漠过渡带地区新增耕地的需求十分强烈。但由于这一地区极端干旱的环境条件和强烈的风沙作用,绿洲-荒漠过渡带耕地的沙漠化侵袭的现象十分严重,严重影响着农田的生产效率。

玉米作为一种 C_4 植物,玉米具有较高的光合利用效率,对土壤的适应性较好,具有较强的竞争力^[3-4]。国内外有关玉米生理生态的研究大多是控制单一因素如:水分、温度、土壤肥力等^[5-8]。在塔克拉玛干边缘不同荒漠化程度下带来的一系列强光、干旱、土壤肥力低下等综合条件作用下的生理生态响应还鲜有报道。本文以策勒绿洲边缘不同荒漠化程度下农田地块的玉米为研究对象,测定玉米植物体在不同荒漠化程度下的各项生理生化指标、叶绿素荧光动力学参数和形态结构指标,主要目的是研究在塔克拉玛干沙漠南缘强光、干旱、高温、土壤肥力低下、土壤沙化等外部综合胁迫的逆境环境下,生长在不同荒漠化程度下策勒绿洲边缘普通农田玉米的生理生态响应及其变化特征。来探讨影响玉米正常生理生长的主要限制性因子,分析玉米在不同荒漠化程度下自身的生理适应机制,对于指导当地合理利用各种资源,促进当地农民的经济的发展,改善生态环境具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠南缘,策勒绿洲外围。策勒位于昆仑山北麓,塔克拉玛干沙漠南缘,地处 $80^{\circ}03'24''$ — $82^{\circ}10'34''$ E, $35^{\circ}17'55''$ — $39^{\circ}30'00''$ N。土地面积 33147 km^2 ,其中绿洲仅占 1.6%。森林覆盖率为 0.24%,是典型的内陆暖温带荒漠气候。年平均气温 11.9°C ,1 月平均气温 -11.7°C ,7 月平均气温 25.2°C ;极端最高气温 41.9°C ,极端最低气温 -23.9°C 。5 月和 7 月的降雨次数相对较多,但是降雨量很少。绿洲平

原区年平均降水量仅 35.1 mm, 年均蒸发量高达 2595.3 mm, 水分亏值较大。春夏多大风, 风沙灾害频繁。年均 8 级以上大风 3—9 次。年均风速 1.9 m/s, 土壤以风沙土、灌淤土、棕漠土和盐土为主, 土壤沙化严重, 有机质含量低, 养分缺乏。该区环境封闭, 气候极端干旱, 生态环境脆弱, 在西部干旱区环境演变研究中占据极其重要的地位^[9]。

1.2 研究材料与试验设计

本试验以沈阳农科院培育的沈玉系列沈玉 2002 玉米种子为试验材料。于 2010 年 5 月 4 日将玉米种子按统一密度(行距 50cm, 株距 30cm)播种在新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测试验站试验田内, 2010 年 9 月 29 日收获。设 3 种荒漠化程度水平, 即轻度荒漠化(D1)、中度荒漠化(D2)、重度荒漠化(D3), D1 位于策勒绿洲农田边缘, D2 位于农田和荒漠区过渡带, D3 位于荒漠区过渡区边缘; 每个水平设 3 个试验小区, 试验小区呈 L 型排列, 每个试验小区长 15 m, 宽 20 m, 每个水平之间相距大约 1000 m, 中度和重度中间有 1 m 宽的沙拐枣灌木林带隔断。样地施肥、除草、灌溉及日常管理同正常大田。不同荒漠化程度下样地的土壤含水率如表 1 所示, 随着荒漠化程度的加剧土壤的保水持水能力降低。

表 1 不同荒漠化程度下玉米样地的土壤含水率变化情况

Table 1 The changes of soil water content of maize to different severities of desertification

程度 Level	月份 Month	土壤含水率 Soil water content/%				
		0—10cm	10—20cm	20—30cm	30—40cm	40—50cm
轻度 Mild desertification	5	7.90	9.63	8.70	10.24	7.42
	6	11.76	13.10	12.27	7.58	7.27
	7	8.60	9.49	10.10	9.65	9.81
	8	1.78	5.36	5.25	4.94	4.93
中度 Moderate desertification	5	6.80	9.97	8.94	8.14	8.26
	6	11.78	12.21	11.45	8.24	7.49
	7	7.65	9.07	9.34	9.43	7.96
	8	1.62	3.68	4.61	5.22	5.45
重度 Severe desertification	5	0.61	4.44	7.51	8.24	7.38
	6	7.08	9.53	9.25	7.14	7.08
	7	3.61	5.24	7.53	8.07	7.77
	8	1.67	5.04	4.69	5.65	5.39

1.3 取样与参数测定方法

1.3.1 株高、生物量和土壤含水率的测定

2010 年 5—8 月每月初 2—6 号对土壤水分、株高和生物量进行测定。在每块样地选取 3 个长宽皆为 2 m 的实验样方, 在样方内选取 3 株标准株测定生物量, 自基部剪断, 分别取地上部分和地下 0—30 cm 部分生物量, 带回实验室称量鲜重, 烘干并称量干重; 测量样方内的所有植株的株高并记录样方内植株个数; 每月中旬, 在样方内分别用铝盒取 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm 的土壤样品带回实验室称量, 在 120 ℃ 下烘 72 h 至恒重, 计算土壤含水率。

1.3.2 抗逆指标的测定

于 2010 年 8 月上旬北京时间 10:00, 取玉米传粉期健康完全伸展(自上而下第 4 片叶)的叶片, 新鲜叶片立即在低温、遮光条件下带回实验室进行测定。采用 95% 乙醇法测定叶绿素含量^[10]; 脯氨酸含量采用茚三酮法测定^[10]; MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[10]; 可溶性糖用蒽酮发测定^[10], 每个指标 3 个重复。

1.3.3 比叶面积的测定

在 2010 年 8 月上旬将采自玉米植株的健康无损坏叶片立即在低温、遮光条件下带回实验室进行测定。从采集的叶片中随机选取 10 个叶片进行叶面积扫描, 然后在 105 ℃ 下烘 30 min 杀青, 最后在 80 ℃ 烘干至恒质量, 3 个重复。根据以下公式计算叶片的比叶面积(SLA): 比叶面积(SLA) = 叶片面积(cm²)/叶片干重(g)。

1.3.4 叶绿素荧光参数的测定

采用英国 Handysatech 连续激发式荧光仪(Hansatech Ltd., King's Lynn, Northfolk, UK),在 2010 年 8 月上旬天气晴朗无云的天气进行暗适应,然后进行叶绿素荧光诱导曲线及其参数的测定,测定时间为北京时间 13:00,每个梯度 6 个重复。

1.3.5 数据统计与分析

采用 EXCEL、SPSS16.0 统计分析软件进行数据处理与分析。试验处理对各项参数的影响使用单因素方差分析(One-way ANOVA)方法检验,不同荒漠化程度条件下的比较使用 Duncan 多重检验方法, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同荒漠化程度下玉米株高及生物量的变化特征

从图 1 可以看出,不同荒漠化程度下植株高度明显发生了改变,随着胁迫强度的增加植株高度呈降低趋势,5 月份各水平之间达到显著水平($P<0.05$),6 月、7 月和 8 月份各水平之间的差异达到极显著水平($P<0.01$)。随着生长环境的变化,植株生物量积累及其分配特征也发生了明显改变,甚至玉米苗期(5 月)重度地下部分生物量最高,中度次之,轻度最低;地上部分、地下部分生物量的积累均随着土壤荒漠化程度的加剧而减小,地下生物量占总生物量的比重随着荒漠化程度的增加而增加。

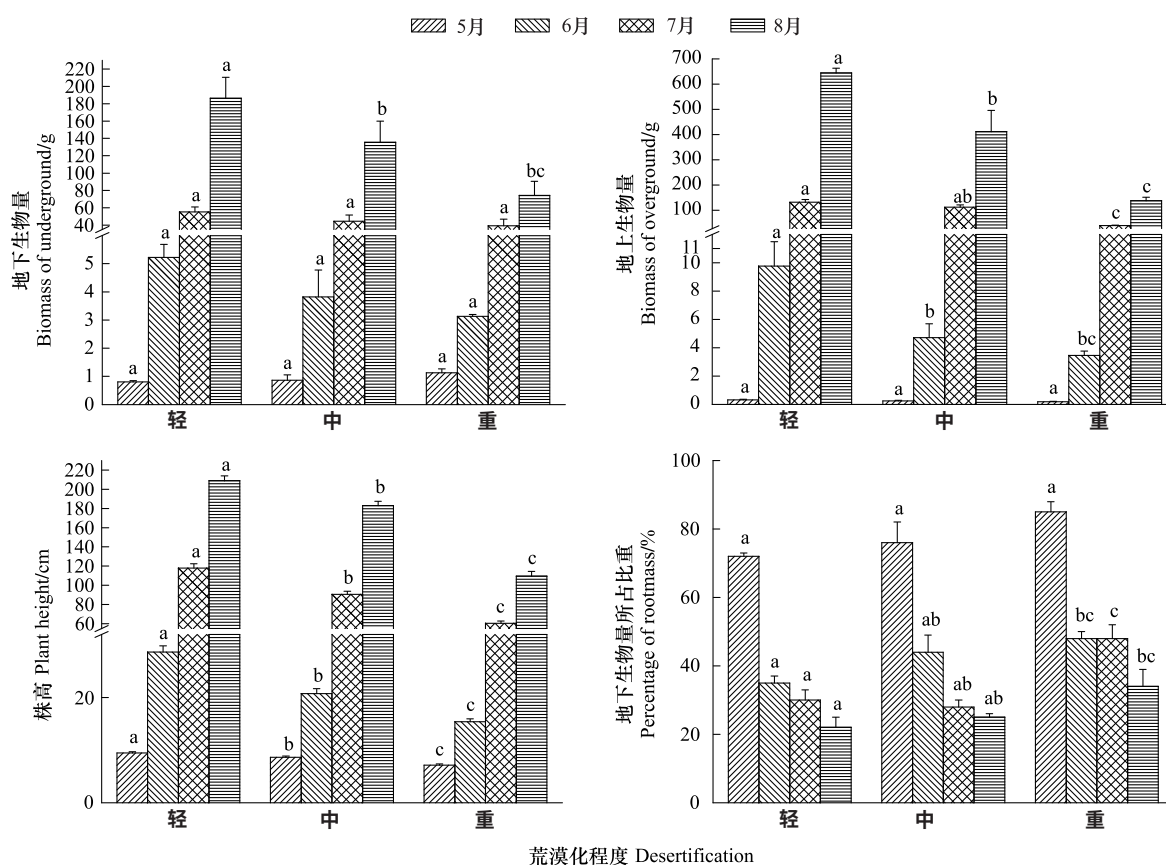


图 1 不同荒漠化程度下玉米生物量的变化特征

Fig. 1 The changes of maize biomass to different severities of desertification

各梯度间标有不同英文字母,表明两者差异显著($P<0.05$)

2.2 不同荒漠化程度下玉米脯氨酸(Pro)、丙二醛(MDA)和可溶性糖含量的变化特征

脯氨酸被认为是植物在逆境条件下的产生并积累的一种小分子渗透调节物质。大多数植物遭受逆境胁迫后,体内脯氨酸含量升高,抗逆能力增加,但也有少数植物在逆境条件下,脯氨酸的含量变化不大。从图 2

可知,脯氨酸含量随着荒漠化胁迫强度的增加而降低,轻度脯氨酸含量明显高于中度和重度,中度次之,重度含量最低,轻度和中度的 Pro 的含量比重度增加了 110.38% 和 46.47%,中度和重度之间差异不显著 ($P>0.05$),其他水平之间差异极显著 ($P<0.01$)。在所有生理指标中,MDA 的变化是比较活跃的。MDA 是细胞膜脂过氧化作用的主要产物,其含量可表示膜脂过氧化作用的程度,常被当作植物体受害的指标。从在不同荒漠化条件下生长的玉米叶片的 MDA 的含量来看,随着强度的增大 MDA 的含量呈降低趋势,即轻度丙二醛含量明显高于中度和重度,中度次之,重度含量最低。轻度和中度 MDA 的浓度分别比重度增加了 50.64% 和 6.27%,中度和重度之间差异不显著,其他水平间差异极显著 ($P<0.01$)。糖含量是植物体内的碳素营养状况以及农产品的品质性状的重要指标,外界环境的条件的变化也会影响可溶性糖的积累。从图 2 可以看出,玉米可溶性糖的含量随着荒漠化胁迫程度的加剧变化情况不一,在重度荒漠化条件下生长的玉米可溶性糖的含量最高,中度含量最少,轻度居于两者之间,轻度和重度的可溶性糖含量分别比中度多 1.75% 和 8.28%,中度和重度之间差异显著 ($P<0.05$)。

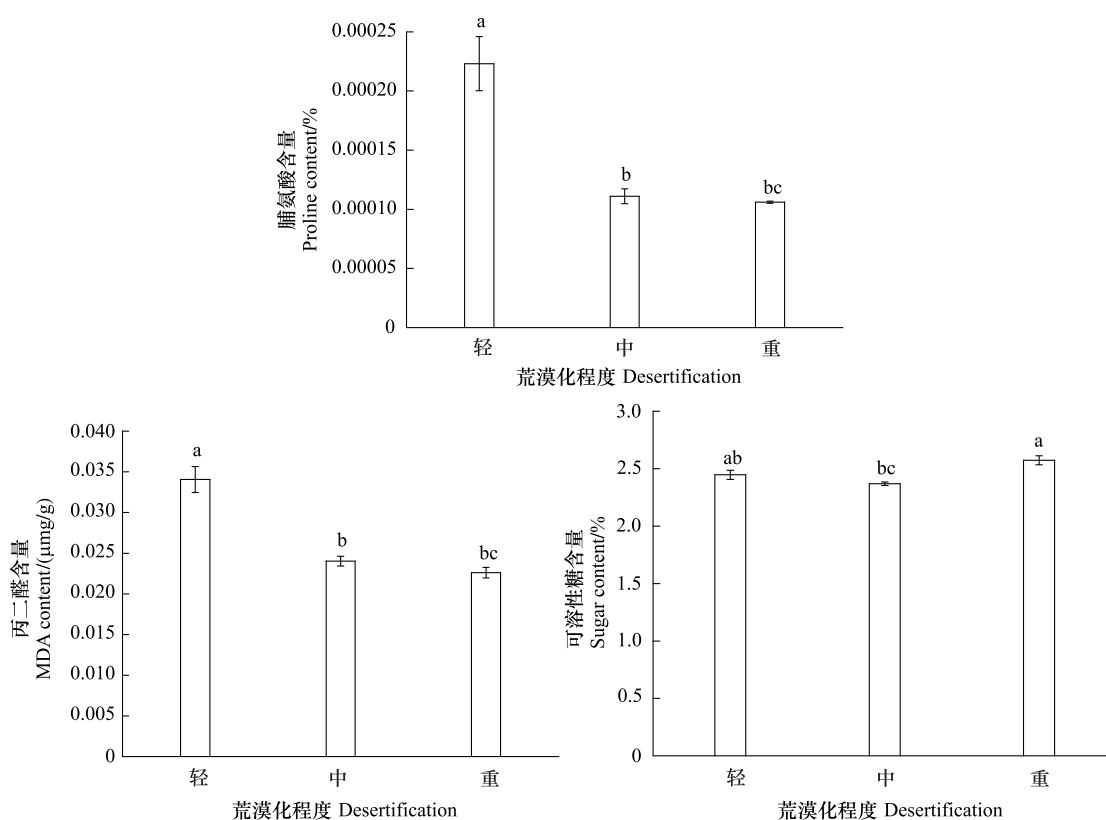


图 2 不同荒漠化程度下玉米生理指标的变换特征

Fig. 2 The changes of maize physiological index to different severities of desertification

2.3 不同荒漠化程度下玉米叶绿素含量和叶绿素荧光动力学参数的变化特征

叶绿素含量的变化对光合作用产生直接影响,用不同荒漠化程度下叶绿素含量的变化,可以指示植物对荒漠化程度的敏感性。由图 3 可知,玉米植株叶片中 Chl a、Chl b、Car 的含量在胁迫梯度上表现出相似的变化特点,都随着胁迫的加强呈明显降低趋势。在不同水平条件下,Chl a 的含量轻度和中度比重度增加 234.30% 和 76.73%,Chl b 的含量轻度和中度比重度增加 175.53% 和 57.94%,Car 的含量轻度和中度比重度增加 133.26% 和 58.75%,3 种色素不同胁迫间的差异均达到极显著水平 ($P<0.01$)。Chl a/b 随着荒漠化程度的加剧也呈明显下降趋势,轻度和中度分别比重度增加了 21.35% 和 11.94%,达到极显著水平 ($P<0.01$)。相反,Car/Chl 随着胁迫程度的加剧呈增加趋势,3 个水平之间均达到极显著水平 ($P<0.01$)。随着荒漠化胁迫程度的加剧,如图 3 所示,PS II 最大光化学量子效率 (F_v/F_m)、PS II 的潜在活性 (F_v/F_o) 和开放的 PS II 捕

获激发能的效率(F_m/F_o)明显下降。本试验中, F_v/F_m 轻度和中度比重度增加了 10.01% 和 4.17%,轻度和重度差异达到显著水平($P<0.05$),其他水平不显著($P>0.05$); F_v/F_o 轻度和中度比重度增加了 34.37% 和 12.11%,轻度和重度差异显著($P<0.05$),其他水平不显著($P>0.05$); F_m/F_o 轻度和中度比重度增加了 23.36% 和 8.23%,轻度和重度差异显著($P<0.05$),其他水平不显著($P>0.05$)。

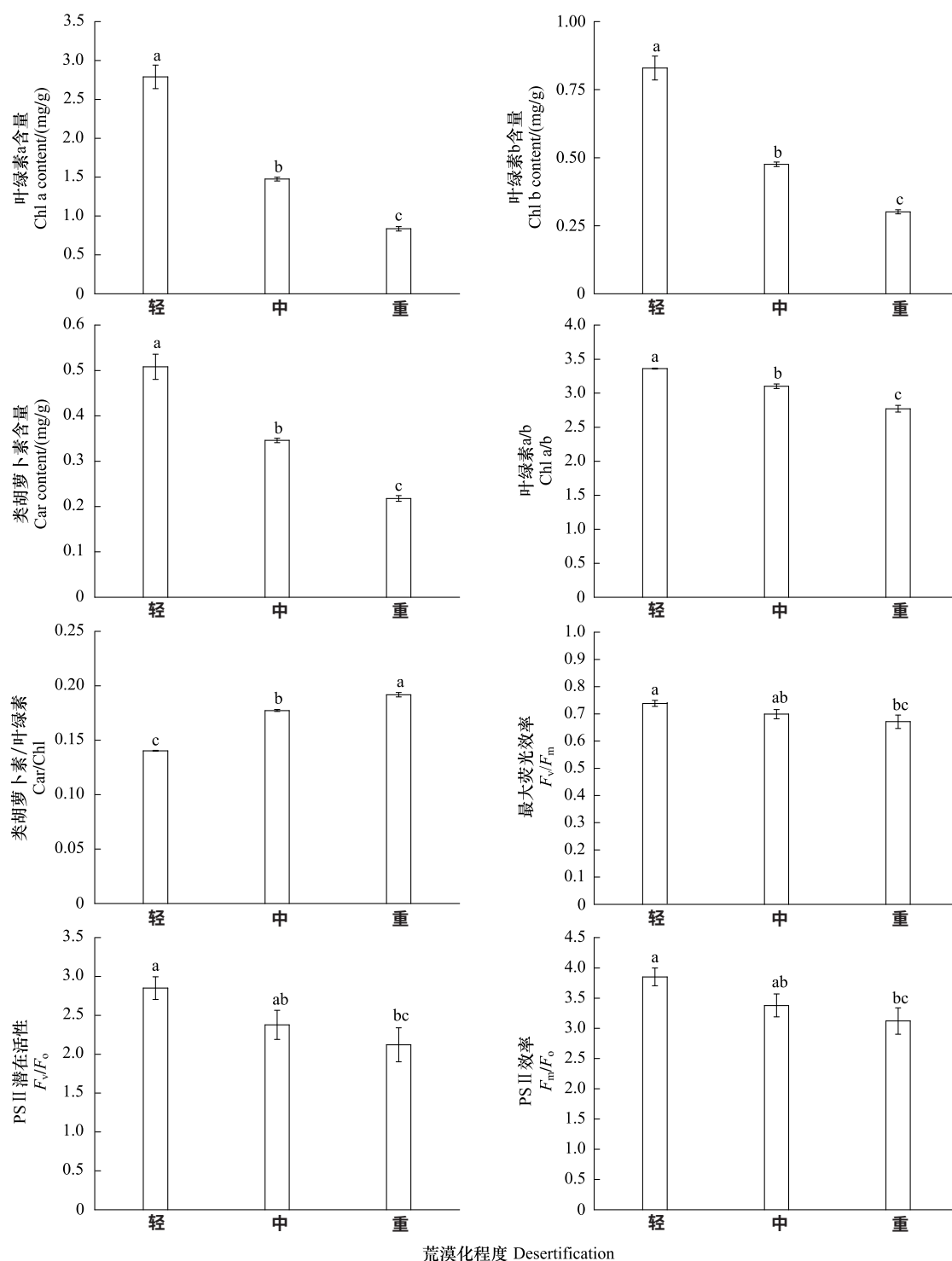


图3 不同荒漠化程度下玉米叶绿素和荧光参数变化特征

Fig.3 The changes of maize chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameter to different severities of desertification

2.4 不同荒漠化程度下玉米比叶面积的变化特征

比叶面积 (specific leaf area, SLA) 是植物叶片重要的性状之一, 能反映植物对不同生境的适应特征。不同荒漠化程度下生长的玉米比叶面积差异如图 4 所示, 从图中可以看出, 随着胁迫的增加呈增加趋势, 轻度和中度分别比重度减小了 12.86% 和 4.11%, 轻度和中度之间差异显著 ($P < 0.05$), 其他水平之间差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 不同荒漠化程度下玉米植株生物量的积累特征

土壤的沙化会造成土壤养分含量、土壤持水能力的降低, 对玉米产生干旱胁迫; 另外塔克拉玛干边缘策勒绿洲光照强烈、温度高和大风天气, 均会形成对植物的胁迫。土壤养分、水分、高温和强光胁迫是影响植物生长的重要因素, 在各种胁迫下会对玉米植物体物质的积累产生影响。当植物体的生长处于逆境时, 地上与地下生物量的合理分配有利于增加植物适应能力。通常, 植物在逆境胁迫下通过增大地下部分生物量的比例来吸取更多的营养物质以适应外部环境。前人研究发现, 植物体的生物量分配对土壤的肥力具有可塑性。在肥力低下时植物根生物量比增大, 以利于吸收营养^[11-12]; 植物在受到干旱胁迫时, 根部获得更多的同化物质, 以利

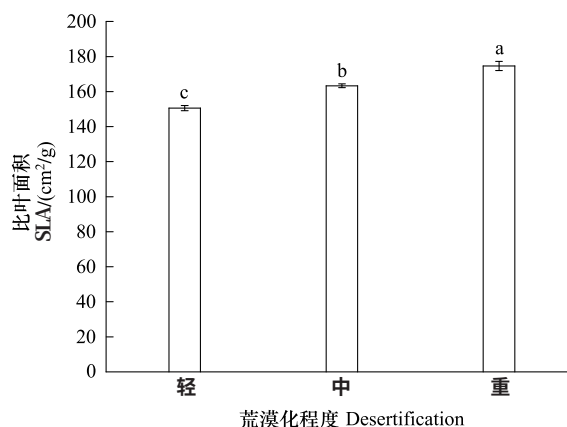


图 4 不同荒漠化程度下玉米比叶面积的变化特征

Fig. 4 The changes of maize specific leaf area to different severities of desertification

于吸收土壤中的水分应对水分的亏缺, 这种分配格局对于干旱环境具有极强的适应能力^[13-14]; 在光强升高时, 紫茎泽兰根生物量比重增大^[15]。这说明, 不同器官之间生物量分配与植物对外界条件的适应能力密切相关^[16-17], 当外部环境良好时, 植物分配更多的同化物质在地上部分, 以积累更多的有机物; 当处于逆境胁迫时植物常常把更多的能量分配在地下部分, 以吸取更多的营养维持正常的生理过程, 植物的这种分配策略使植物体生物量具有可塑性, 增加植物体对外界的适应。就本试验来看, 不同荒漠化胁迫梯度下的植株高度、总生物量以及生物量的分配特征发生了变化。植株高度是生物量的一种侧面反映^[18], 随着荒漠化胁迫程度的加剧植株高度呈下降趋势, 各胁迫水平间的植株高度差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。与轻度积累的总生物量相比, 中度和重度积累的总生物量减少, 但是地下生物量占总生物量的比重却升高, 在玉米苗期 (5 月) 重度的地下生物量占总生物量的比例甚至占到 85.2%, 说明荒漠化环境对植物物质的积累产生了相应的胁迫, 随着逆境胁迫的加剧对植株物质质量的积累影响越严重。不同生境生长的玉米, 自身也产生了相应的生物量的分配对策, 提高地下部分生物量占总生物量的比重, 把更多的物质能量分配在营养器官以吸收更多的营养物质满足正常的生理生长需要, 玉米的这种生物量的分配特征也增大了不同荒漠化程度下的适应能力。

3.2 不同荒漠化程度下玉米植株生理指标的变化特征

逆境胁迫会影响植物正常的生长代谢过程。当植物受到荒漠化胁迫时, 植物的生理代谢过程和某些生理指标发生一定程度的改变。在逆境条件下植物会通过调节体内的脯氨酸、丙二醛、可溶性糖等渗透物质以减轻伤害。脯氨酸是一种有机溶质渗透调节物质, 高等植物在受到逆境胁迫时会积累大量的脯氨酸。大量的研究表明, 植物体在受到逆境胁迫时叶片脯氨酸的含量会增加^[19-20]; 有研究结果报道当胁迫强度超过植物体所能够忍耐的限度是会引起植物体内脯氨酸的迅速下降^[21]。本试验中, 随着荒漠化胁迫程度的加剧玉米植株叶片脯氨酸的含量下降, 轻度和中度、重度之间差异极显著 ($P < 0.01$), 中度和重度之间差异不显著 ($P < 0.05$), 可能是中度荒漠化程度的强度已经超出了植物体所能够耐受的限度。MDA 可以表示膜脂氧化的程度, 植物受到环境胁迫时, 细胞膜膜脂过氧化作用的增强, 生物膜的通透性增大, 其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。齐健等研究发现随着胁迫的加剧 MDA 的含量显著增加^[22-24], 随着荒漠化程度的加剧玉米植

株的 MDA 含量降低说明了胁迫程度与膜脂过氧化负相关。荒漠化胁迫程度增强玉米的膜脂过氧化程度降低,可能是玉米植株对恶劣的环境的生理适应机制,自身防御荒漠化造成的伤害,使植物体不易受到胁迫影响。可溶性糖作为一种渗透调节物质通常是植物体内碳水化合物运输和利用的主要形式。本试验轻度和中度荒漠化程度下可溶性糖的含量差异不显著,重度胁迫下可溶性糖含量达到一个较高水平,有试验证实植物为了更好的适应逆性环境会主动积累一些可溶性糖^[25-26],本试验也证明这一点。这说明植物在处于逆境胁迫时会通过自身的生理调节来适应外部环境。

3.3 不同荒漠化程度下玉米植株的叶绿素荧光参数的变化特征

叶绿素参与光合作用中光能的吸收、传递和转化,是光合作用中的最重要的色素分子。某些逆境条件下,会影响叶绿素的合成,促进已合成的叶绿素分解,使其含量下降^[27]。关于在逆境胁迫下叶绿素增加或者减少的研究结果有所不同,有人研究沙地云杉生态型在干旱胁迫下叶绿素 a、叶绿素 b、和总叶绿素含量开始逐渐升高,后随胁迫强度的增加叶绿素含量下降^[28];紫茎泽兰在高温胁迫下叶片叶绿素含量下降^[29];韩亚琦等研究发现在盐胁迫下柃栎色素含量显著降低^[30]。这与本试验结果基本相同,随着荒漠化程度的加剧,玉米植株叶片的光合色素遭到破坏,叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量均下降。玉米植株叶片的叶绿素含量随逆境胁迫降低幅度较大,三种胁迫之间的叶绿素含量达到极显著水平($P < 0.01$)。叶绿素 a/b 值出现下降趋势,说明捕光色素复合体 II(LHCII)在结构中的含量升高^[31],叶绿素 a/b 的降低可以增加叶片对光能的捕获,加大有机物质的积累,是一种玉米对荒漠化程度的补偿效应;Car/Chl 值升高,类胡萝卜素在总色素中的比重增加,有利于保护光合机构,防止叶绿素的光氧化破坏,这也是玉米适应荒漠化环境的一种生理机制。叶绿素荧光参数可以反映 PS II 供体侧和受体侧电子传递的变化情况^[32]。在逆境条件下,过剩的光能量得不到耗散时,会引起光系统 II 的损伤^[33]。叶绿素荧光与光合作用密切相关,叶绿素荧光动力学可以反映各种胁迫对光合作用的影响^[34-36]。在不同的荒漠化程度下,PS II 最大光化学量子效率(F_v/F_m)、PS II 的潜在活性(F_v/F_o)和开放的 PS II 捕获激发能的效率(F_m/F_o)下降,相邻两个胁迫之间差异不显著,说明不同的荒漠化环境对玉米的光能吸收转化机构影响较小,植物体自身有一套光合作用保护机制。玉米在重度胁迫下情况下仍可生长,进行正常的光合作用,这说明玉米具有一定的适应荒漠化环境的能力。

3.4 不同荒漠化程度下玉米植株的形态结构的变化特征

比叶面积(SLA)可以反映植物获取资源的能力,揭示外界资源的变化情况。有报道低 SLA 的植物能更好的适应资源贫瘠和干旱的环境,高 SLA 的植物保持体内营养的能力较强^[37];韦兰英等研究发现土壤理化性质对植物 SLA 作用方式和程度是不同的,部分植物 SLA 随水肥的增加而增加,部分却呈下降趋势,影响植物 SLA 的因素较为复杂,可能是外部环境因子综合影响的结果^[38]。本试验中,随着逆境胁迫程度的加剧 SLA 逐渐增加,在不同荒漠化程度下各个水平之间差异显著($P < 0.05$),这可能是玉米对不同荒漠化环境的一种适应策略,关于玉米比叶面积对不同荒漠化环境的响应还待进一步研究。

4 结论

塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲外围不同荒漠化程度下的农田是一个综合的复杂的环境。其恶劣的环境影响玉米生物量的积累,导致能量分配策略的改变;而且影响叶绿素的合成及促进分解使其含量降低,导致叶绿素荧光动力学曲线参数值降低,影响玉米的正常光合作用;玉米作为一种 C_4 植物,在外部胁迫下,通过积累各种调控物质,调节自身的生理代谢过程;在外部形态结构也会发生改变以适应外部环境,具有极强的适应性。但环境综合试验中,无法对单一因子进行控制,有些植物生理反应特点的机制尚不确定,仍需要进行深入研究。

致谢:朱军涛博士和王淑智同学对文章写作和整理给予帮助。

References:

- [1] Li X B. A review of the international researches on land use/land cover change. Acta Geographica Sinica, 1999, 14(46):553-558.
- [2] Feng Z M, Liu B Q, Yang Y Z. A study of the changing trend of chinese cultivated land amount and data reconstructing:1949—2003. Journal of

- Natural Resources, 2005, 20(1): 35-43.
- [3] Yin L J, Zhu L. A preliminary study on C₃ and C₄ plant in the northeast steps and their ecological distribution. Journal of Applied Ecology, 1990, 1(3): 237-242.
- [4] Zhang J W. C₄ plants, one of the ways of desertification control. Arid Zone Research, 2006, 23(3): 384-387.
- [5] Liu S T, Jiang D F, Dong X W, Zhao Y X. Effect of different soil water changing developments on physiological supersession of summer corn. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(1): 67-68.
- [6] Zhang X, Zhao M, Li L L, Li X H. Effects of temperature on physiological and biochemical traits of maize. Maize Sciences, 2002, 10(3): 60-62.
- [7] Wang Y M, Wang P. Effect of different NP ratio on physiological index and yield of maize in semi-arid region of northwest. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(6): 79-83.
- [8] Wang L Y, Zhao K F. Some physiological response of *Zea mays* under salt-stress. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(2): 264-266.
- [9] Zhang C Y, Halik W, Ma Y, Abliz A. Entironment externalities analyse of typical arid areas land use change-make Qira oasis in Xinjiang province for example. Yunnan Geographic Environmengt Research, 2007, 19(1): 28-33.
- [10] Li H S. Plant Physiological Biochemical Experiment Principles and Techniques. Beijing: Higher Education Press, 1999: 131-261.
- [11] Wang M L, Feng Y L, Li X. Effects of soil phosphorus level on morphological and photosynthetic characteristics of *Ageratina adenophora* and *Chromolaena odorata*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 602-606.
- [12] Wu C, Wang Z Q, Fan Z Q, Sun H L. Effects of nitrogen stress on nutrient uptake by *Fraxinus mandshurica* seedling and their biomass distribution. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 2034-2038.
- [13] Liu C L, Wang W Q, Cui J R, Li S Y. Effects of drought stress on photosynthesis characteristics and biomass allocation of *Glycyrrhiza uralensis*. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 142-145.
- [14] He H B, Li Y. Study on measures of biomass allocation of two desert halophyte species under drought and salt stress. Arid Zone Research, 2008, 25(2): 242-247.
- [15] Wang J F, Feng Y L. The effect of light intensity on biomass allocation, leaf morphology and relative growth rate of two invasive plants. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6): 781-786.
- [16] Ge J L, He J Q, Sun X F, Chen Q. Ecological responses of the invasive alien plant *Solidago canadensis* to changes of soil water content. Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica, 2010, 30(3): 575-585.
- [17] Gong J R, Huang Y M, Ge Z W, Duan Q W, You X, An R, Zhang X S. Ecological responses to soil water content in four hybrid *Populus* clones. Journal of Plant Ecology, 2009, 33(2): 387-396.
- [18] Wang J, Cheng J M, Wan H E, Fang F. Fractal relations between aboveground biomass and plant height of *Aneurolepidium dasystachys*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(8): 1623-1627.
- [19] Cao B, Song L H, Xie Y J. Effects of soil drought stress on seedlings growth and physiology of *Ailanthus altissima*. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(9): 11-13.
- [20] Hu X L, Li Y H, Chen D L, Feng C J, Yang J M. Physiological responses of three colored-leaf species of *Prunus* under NaCl stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(2): 370-376.
- [21] Zhou Z B, Xu X W, Yang L Y. Physiological response and high-temperature resistance of three species of psammophytes under high-temperature stress. Arid Land Geography, 2005, 28(6): 824-830.
- [22] Qi J, Song F B, Liu S Q. Some physiological response of roots and leaves of *zea mays* seedling to drought-stress. Ecology and Environment, 2006, 15(6): 1264-1268.
- [23] Jiang Y B, Wang C Z, Cui G W. Physiological responses of *Medicago sativa* L. cv. Zhaodong to high temperature. Acta Agrestia Sinica, 2009, 17(6): 803-806.
- [24] Sun J, Li J, Guo S R, Li J, Li J. Physiological responses of different tolerance spinach to seawater stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(4): 737-744.
- [25] Li Y F, Li Y H, Wang Z H, Guan N, Feng C J, Yang J M. Effect of soil drought stress on leaf coloration-emerging of *Prunus cistenena* cv. Pissardii. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3678-3684.
- [26] Guan Z Y, Chen F D, Chen S M, Wang B. Morphological and physiological changes of chrysanthemum inflorescence under NaCl stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(8): 1624-1629.
- [27] Li W, Cao K F. Effects of drought stress on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of *Terminthia paniculata* grown under different light level. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(2): 266-275.
- [28] 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.
- [29] Wang W J, Li W X, Zu Y G, Wang X P, He H S. Differences in pigments and chlorophyll fluorescence parameters between stems and lesves of *Eupatorium adenophorum* under different temperature treatments. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5424-5433.
- [30] Han Y Q, Tang Y D, Zhang S Y, Li X Y, He Z. Photosynthesis inhibition of two varieties of *Quercus aliena* in salt stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 583-587.
- [31] Jeon M W, Ali M B, Hahn E J, Paek K Y. Photosynthetic pigments, morphology and leaf gas exchange during ex vitro acclimatization of micropropagated CAM *Doritaenopsis* plantlets under relative humidity and air temperature. Environmental and Experimental Botany, 2006, 55(1/2): 183-194.

- [32] Li P M, Gao H Y, Strasser R J. Application of the fast chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosynthesis study. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2005, 31(6): 559-566.
- [33] Cao Y, Wang G X, Zhang D. Effects of drought stress on the growth and chlorophyll fluorescence of reed seedlings. *Arid Land Geography*, 2008, 31(6): 862-869.
- [34] Liang W B, Xue S G, Shen J H, Wang P. Effects of manganese stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Phytolacca americana*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 619-625.
- [35] Sun X Z, Zheng C S, Wang X F. Effects of high temperature stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of cut flower chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* 'Jinba'). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2149-2154.
- [36] Shi G W, Song J, Gao B, Yang Q, Fan H, Wang B S, Zhao K F. The comparison on seedling emergence and salt tolerance of *Suaeda salsa* L. from different habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 138-143.
- [37] Wilson P, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 155-162.
- [38] Wei L Y, Shangguang Z P. Relation between specific leaf areas and leaf nutrient contents of plants growing on slopelands with different farming-abandoned periods in the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2526-2535.

参考文献:

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域-土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. *地理学报*, 1999, 51(6): 553-558.
- [2] 封志明, 刘宝勤, 杨艳昭. 中国耕地资源数量变化的趋势分析与数据重建: 1949—2003. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 35-43.
- [3] 殷立娟, 祝玲. 东北草原区的 C₃、C₄ 牧草及其生态分布的初步研究. *应用生态学报*, 1990, 1(3): 237-242.
- [4] 张经纬. 荒漠化防治的另一途径-C₄ 植物. *干旱区研究*, 2006, 23(3): 384-387.
- [5] 刘树棠, 姜德峰, 东先旺, 赵永学. 土壤水分变化动态对夏玉米生理代谢的影响. *玉米科学*, 2003, 11(1): 67-68.
- [6] 张旭, 赵明, 李连禄, 李学会. 温度对玉米生理生化特性的影响. *玉米科学*, 2002, 10(3): 60-62.
- [7] 王雁敏, 王平. 西北半干旱地区不同氮磷配施对玉米生理指标及产量的影响. *西北农业学报*, 2008, 17(6): 79-83.
- [8] 王丽燕, 赵可夫. 玉米幼苗对盐胁迫的生理响应. *作物学报*, 2005, 31(2): 264-266.
- [9] 张春铁, 瓦哈甫·哈力克, 马燕, 阿不都克依木·阿布力孜. 典型干旱区土地利用变化的生态环境外部性分析——以策勒绿洲为例. *云南地理环境研究*, 2007, 19(1): 28-33.
- [10] 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, 1999: 131-261.
- [11] 王满莲, 冯玉龙, 李新. 紫茎泽兰和飞机草的形态和光合特性对磷营养的响应. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 602-606.
- [12] 吴楚, 王政权, 范志强, 孙海龙. 氮胁迫对水曲柳幼苗养分吸收、利用和生物量分配的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2034-2038.
- [13] 刘长利, 王文全, 崔俊茹, 李帅英. 干旱胁迫对甘草光合特性与生物量分配的影响. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 142-145.
- [14] 贺海波, 李彦. 干旱、盐胁迫条件下两种盐生植物生物量分配对策的研究. *干旱区研究*, 2008, 25(2): 242-247.
- [15] 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 781-786.
- [16] 葛结林, 何家庆, 孙晓方, 陈谦. 入侵植物加拿大一枝黄花对土壤水分变化的生态学响应. *西北植物学报*, 2010, 30(3): 575-585.
- [17] 龚吉蕊, 黄永梅, 葛之威, 段庆伟, 尤鑫, 安然, 张新时. 4 种杂交杨对土壤水分变化的生态学响应. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 387-396.
- [18] 王静, 程积民, 万惠娥, 方锋. 厚穗宾草地上部生物量与株高的分形关系. *西北植物学报*, 2005, 25(8): 1623-1627.
- [19] 曹兵, 宋丽华, 谢应吉. 土壤干旱胁迫对臭椿苗木生理指标的影响. *东北林业大学学报*, 2008, 36(9): 11-13.
- [20] 胡晓立, 李彦慧, 陈东亮, 冯晨静, 杨建民. 3 种李属彩叶植物对 NaCl 胁迫的生理响应. *西北植物学报*, 2010, 30(2): 370-376.
- [21] 周智彬, 徐新文, 杨兰英. 三种固沙植物对高温胁迫的生理响应及其抗热性研究. *干旱区地理*, 2005, 28(6): 824-830.
- [22] 齐健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应. *生态环境*, 2006, 15(6): 1264-1268.
- [23] 姜义宝, 王成章, 崔国文. 肇东苜蓿对高温的生理响应. *草地学报*, 2009, 17(6): 803-806.
- [24] 孙锦, 李娟, 郭世荣, 李军, 李晶. 不同菠菜品种对海水胁迫的生理响应差异. *西北植物学报*, 2008, 28(4): 737-744.
- [25] 李云飞, 李彦慧, 王中华, 关楠, 冯晨静, 杨建民. 土壤干旱胁迫对紫叶矮樱叶片呈色的影响. *生态学报*, 2009, 29(7): 3678-3684.
- [26] 管志勇, 陈发棣, 陈素梅, 王斌. NaCl 胁迫对菊花花序形态及生理指标的影响. *西北植物学报*, 2009, 29(8): 1624-1629.
- [27] 李伟, 曹坤芳. 干旱胁迫对不同光环境下的三叶漆幼苗光合特性和叶绿素荧光参数的影响. *西北植物学报*, 2006, 26(2): 266-275.
- [28] 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.
- [29] 王文杰, 李文馨, 祖元刚, 王晓鹏, 贺海升. 紫茎泽兰茎和叶片色素及叶绿素荧光相关参数对不同温度处理的响应差异. *生态学报*, 2009, 29(10): 5424-5433.
- [30] 韩亚琦, 唐宇丹, 张少英, 李向应, 何志. 盐胁迫抑制榉栎 2 变种光合作用的机理研究. *西北植物学报*, 2007, 27(3): 583-587.
- [32] 李鹏民, 高辉远, Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光和作用研究中的应用. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31(6): 559-566.
- [33] 曹昀, 王国祥, 张聊. 干旱对芦苇幼苗生长和叶绿素荧光的影响. *干旱区地理*, 2008, 31(6): 862-869.
- [34] 梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 王萍. 锰胁迫对垂序商陆光和特性及叶绿素荧光参数的影响. *生态学报*, 2010, 30(3): 619-625.
- [35] 孙宪芝, 郑成淑, 王秀峰. 高温胁迫对切花菊‘神马’光合作用与叶绿素荧光的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2149-2154.
- [36] 史功伟, 宋杰, 高奔, 杨青, 范海, 王宝山, 赵可夫. 不同生境盐地碱蓬出苗及幼苗抗盐性比较. *生态学报*, 2009, 29(1): 138-143.
- [38] 韦兰英, 上官周平. 黄土高原不同退耕年限坡地植物比叶面积与养分含量的关系. *生态学报*, 2008, 28(6): 2526-2535.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Tklamakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

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