

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **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 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

## 目 次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响 .....	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例 .....	刘 涛,吴 钢,付 晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高 峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐 雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄 麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈 杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆 军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈 杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性 .....	孟 鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘 强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响 .....	张 科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜 侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究 .....	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用 .....	焦晓林,杜 静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响 .....	张 静,闫 明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张 菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响 .....	常 罡,王开锋,王 智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的似昼夜节律 .....	王鲁平,周 顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李 庆,吴 蕾,杨 刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环 .....	张 帆,高旺盛,隋 鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈 军,李 忠,等 (3209)
<b>专论与综述</b>	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展 .....	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭 强,等 (3240)
<b>研究简报</b>	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究 .....	孙 倩,塔西甫拉提·特依拜,张 飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集 .....	郭术津,孙 军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付 勇,庄 丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征 .....	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙 博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



**封面图说:** 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

**彩图提供:** 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104200521

颜侃, 陈宗瑜. 不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响. 生态学报, 2012, 32(10): 3087-3097.

Yan K, Chen Z Y. Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3087-3097.

## 不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响

颜 侃, 陈宗瑜\*

(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

**摘要:** 选云南玉溪主产烟区红塔区大营街镇、通海县四街镇和峨山县小街镇 3 个不同生态环境下种植烤烟 K326, 探讨烤烟形态和相关生理指标的差异及其影响因子。结果表明: 大营街的烤烟形态性状最好, 四街烤烟形态性状最差。3 个试验点烤烟叶绿素含量、叶绿素 a/b 比值及类黄酮含量均没有显著差异。四街烤烟类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量最高, 而其叶绿素/类胡萝卜素比值最低, 均与其余地点有显著差异。 $P_{\text{max}}$ 、LCP 和 LSP 的大小顺序为四街>大营街>小街。光强在 800—1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内时,  $C_i$ 、 $G_s$  和  $T_r$  为大营街>小街>四街,  $WUE$  为四街>小街>大营街。用灰色关联法对影响烤烟形态及相关生理指标的主要生态因子进行分析, 对 K326 茎高、中部叶面积、类黄酮含量、丙二醛含量和叶绿素含量影响最大的生态因子可能分别是光照度、日平均气温、降水量、UV-B 辐射和日照时数; 而土壤碱解氮含量可能是影响类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量和最大净光合速率的主要因子。

**关键词:** 烤烟; 生态因子; 形态及生理特征; 灰色关联度

## Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco

YAN Kan, CHEN Zongyu\*

College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

**Abstract:** The effects of different ecological conditions on morphological and physiological features in squaring stage of tobacco cultivar K326 (*Nicotiana tabacum* L cv. K326) were investigated under different field conditions. The test fields with different ecological conditions were located at Sijie (S), Dayingjie (D) and Xiaojie (X) in Yuxi City of Yunnan province, respectively. The tobacco planted in D showed best morphological characters. However, the tobacco in S showed worst morphological characters. Flavonoid content, chlorophyll content and ratio of chlorophyll a/b had no significant difference among the three planting sites. Content both of carotenoid and soluble protein was the highest, while ratio of chlorophyll/carotenoid was the lowest in tobacco at S. The order of  $P_{\text{max}}$ , LCP and LSP was test S>test D>test X. When PAR ranging from 800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  to 1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , the order of  $C_i$ ,  $G_s$  and  $T_r$  was test D>test X>test S, and the order of  $WUE$  was test S>test X>test D. In addition, to ascertain the effects of ecological factors on morphological and physiological features of tobacco in different sites, the values of gray association degrees were calculated. The results show that the main ecological factors which influencing stem length, leaf area and contents of flavonoid, MDA and chlorophyll in K326 were light intensity, temperature, precipitation, UV-B radiation and illumination time, while content of alkali-hydrolyzable nitrogen in planted soil was regarded as the major influencing factor on carotenoid soluble protein and rate of  $P_{\text{max}}$  in K326.

基金项目: 国家烟草专卖局《烟叶品牌导向原料体系研究》(110200801034)

收稿日期: 2011-04-20; 修订日期: 2011-11-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zchen191@vip.sohu.com



**Key Words:** tobacco; ecological factor; morphological and physiological characters; gray association degree

云南地处我国西南边陲,纬度低而海拔高,地形变化复杂,兼具低纬高原季风气候和山原气候的特点,使得气候的区域差异和垂直变化十分明显,这一现象与云南所处的纬度和海拔这两个因素密切相关<sup>[1]</sup>。云南特殊的地理位置和地形特点,使得该地区年温差小,日温差大,光照充足,日光中对生物有较大影响的紫外线辐射也较强。云南特殊的气候环境,适宜多种植物的生长。烤烟是云南重要的经济作物之一,其分布的地域和海拔范围较广。地形、海拔引起的光、温、水等因素在垂直层次、地域和时段匹配上的差异性以及由此而形成的不同土壤类型,共同造就了云南烤烟生态环境及其影响的复杂性<sup>[2-5]</sup>。烤烟的生长需要适宜的气候条件和土壤肥力条件,众多生态因子对烤烟的生长和品质有重要的影响,然而,生态因子与烤烟形态及生理特征之间的关系属于灰色关系,很难用简单的统计方法分析各因子间的主次关系,但是却可以通过比较灰色关联度的大小,确定各生态因子中对烤烟形态和生理特征产生影响的主要和次要因素<sup>[6]</sup>。通过研究,比较了在同一产烟区,不同生态环境条件下,烤烟生长过程中形态和生理特征上的差异,并将烤烟现蕾期的形态和光合生理特征与相应的生态因子进行了灰色关联分析,以此探讨各主要气候因子及土壤肥力条件对烤烟生长的作用特点。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理与试验地概况

以烤烟品种 K326 为试验材料,包衣种子,漂浮育苗,大田移栽,行株距 120cm×50cm。试验大田位于玉溪市主产烟区的通海县四街镇(S)、红塔区大营街镇(D)和峨山县小街镇(X)。各试验点 2008 年和 2009 年植烟期(5—8 月)的降水量和气温如表 1。

表 1 各试验点近两年(2008 年和 2009 年)气象状况

Table 1 Meteorological factors during tobacco plant period of 2008 and 2009

试验地 Site	年份 Year	降水 Precipitation/mm				气温 Temperature/℃			
		5 月	6 月	7 月	8 月	5 月	6 月	7 月	8 月
四街(S)	2008	58.5	281.6	203.9	143.8	18.8	19.8	19.7	19.8
	2009	44.5	229.9	115.2	106.3	19.4	20.5	20.9	20.1
大营街(D)	2008	83.8	188.2	273.2	143.4	19.6	20.4	20.1	20.1
	2009	56.1	213.5	133.6	121.4	20.2	21.2	21.7	20.8
小街(X)	2008	66.7	216.8	194.8	126.7	19.6	20.6	20.6	20.6
	2009	32.4	139.6	172.5	124.9	20.1	21.6	21.9	21.2

四街和小街于 2009 年 4 月 30 日移栽烟苗,大营街于 2009 年 5 月 7 日移栽。各地均按当地烟草公司统一制定的栽培规范,即采用相同的大田优质烟叶生产管理措施进行田间种植。从 3 个试验点主要气候特征表现来看,四街镇烤烟大田期降雨充沛,大营街镇日照充分,小街镇日照时数较少,且该地区空气湿度大,常常出现多雾天气。在烤烟移栽前对各试验大田土壤肥力状况进行分析,其土壤肥力状况见表 2。各土壤肥力指标中,碱解氮和速效磷的变异程度最大。

表 2 各试验点土壤肥力状况

Table 2 Soil fertility of different testing sites

	pH	有机质 Organic matter /(g/kg)	碱解氮 Alkaline hydrolytic N /(mg/kg)	速效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)
四街(S)	6.26	21.03	229.00	96.46	67.15
大营街(D)	7.11	15.31	67.51	20.98	32.28
小街(X)	7.02	24.68	90.30	39.90	62.63
C. V (%)	6.87	23.22	67.79	74.88	35.10

在当地气象站获取烤烟大田生长期的气候资料,从 5 月 18 日起开始观测 UV-B 辐射强度及光照度。UV-B 辐射强度 ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) 采用法国 Cole-Parmer 公司生产的 RADIOMETER 紫外辐射仪(波谱范围 295—395 nm,中心波长 312nm)进行逐日测量,光照度(lx)用上海嘉定学联仪表厂生产的 ZDS-10 型自动量程照度计测量。于每日(阴雨天除外)11:30—12:30 同时测量各试验点的 UV-B 辐射强度和光照度,均读数 5 次,取平均值,同时记录观测时段的天空云层和天气状况等。用求得的平均值衡量当天的 UV-B 辐射强度和光照度。待烤烟生长进入现蕾期后进行农艺性状、生理特征及光响应曲线的测定。各试验点取样分析前(5 月 18 日—7 月 9 日)的气候条件见表 3。可见 UV-B 辐射强度和降水量的变异程度最大。与气候条件相比,土壤肥力的变异程度更大。

表 3 各试验点采样前的气象条件

Table 3 Main meteorological factors of each test sites

试验地 Site	UV-B 辐射日均值 UV-B radiation intensity /( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	光照度日均值 Daylight illumination /(100 lx)	日均气温 Temperature /°C	日照时数 Sunshine duration /h	降水量 Precipitation /mm
四街(S)	0.39	492.41	19.96	243.0	305.4
大营街(D)	0.55	601.55	20.72	243.0	269.6
小街(X)	0.65	517.31	20.95	231.0	182.7
C. V (%)	24.75	10.65	2.52	2.90	24.98

## 1.2 测定方法

### 1.2.1 农艺性状

根据各地烤烟生长的实际情况,于现蕾期对烟株进行农艺性状的观测。测定项目包括茎高、茎围、节间距、叶长和叶宽。其中茎高为茎基部与地表接触处至茎尖生长点之间的高度,茎围为株高 1/3 处茎周长,节间距为 1/3 高度处 6 个节位之间节距的平均值,叶长和叶宽分别测定第 7、9、11 片叶(从下往上数的有效叶片)。参照中国烟草行业标准(YC/T 142-1998,烟草农艺性状调查方法)计算叶面积,即叶面积( $\text{cm}^2$ )= 叶长×叶宽×0.6345。每个试验点随机选取 10 株进行测定,然后取其平均值。

### 1.2.2 光合气体交换参数

于 2009 年 7 月 4 日—9 日选择烤烟大田生长期典型天气(晴天),在 9:00—11:00 用 Li-6400 便携式光合作用测定系统(Li-COR Inc, USA),测定各试验点烟株第 7 片(同上)已完全展开的功能叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )及蒸腾速率( $T_r$ )等光合气体交换参数对 PAR 的响应曲线。测定时,采用开放式气路,叶室温度设定为 25°C,气体流量 500  $\mu\text{mol}/\text{s}$ ,相对湿度控制在 60%—70%。PAR 由 Li-6400-02B LED 红蓝光源提供,设置梯度为 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 400, 200, 100, 50, 20, 0  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,测定前先从 1200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  开始逐渐增加光强进行诱导,诱导结束后再在设定的光强范围内由高往低测,每个光强下稳定后记录 5 组数值,取平均值,每处理重复测定 3 株。采用直角双曲线模型<sup>[7]</sup>拟合各试验点烟叶的净光合速率-光响应曲线。模型表达式为:

$$P_n = \frac{\text{AQY} \times \text{PAR} \times P_{n\max}}{\text{AQY} \times \text{PAR} + P_{n\max}} - R_d \quad (1)$$

式中,PAR 为光合有效辐射;AQY 为表观量子效率; $P_{n\max}$  为最大净光合速率; $R_d$  为暗呼吸速率。

光补偿点(LCP)是净光合速率为 0 时的 PAR 强度,当  $P_n=0$  时,代入 (1) 式即可求得光补偿点:

$$\text{LCP} = \frac{P_{n\max} \times R_d}{\text{AQY} \times (P_{n\max} - R_d)} \quad (2)$$

钱莲文等<sup>[8]</sup>认为,直角双曲线模型以最大净光合速率来估测光饱和点(LSP)时,选取的比例为(78±1)%较为合适。为方便计算,在此以  $P_n$  达到最大净光合速率 75% 时的 PAR 来估计光饱和点:

$$\text{LSP} = \frac{P_{n\max}(0.75P_{n\max} + R_d)}{\text{AQY} \times (0.25P_{n\max} - R_d)} \quad (3)$$

水分利用效率(WUE)计算公式如下:

$$\text{WUE} = P_n / T_r \quad (4)$$

### 1.2.3 生理生化指标

采集用于光合作用测定后的叶片,用低温保鲜盒带回实验室分析生理生化指标。光合色素采用丙酮:无水乙醇(1:1,体积比)浸提-比色法,通过 663,646,470 nm 处吸光值计算叶绿素 a、b 和类胡萝卜素的单位面积含量<sup>[9]</sup>;类黄酮采用 Nogués 等<sup>[10]</sup>的方法,稍作改动,取一定面积的叶片用酸化甲醇(盐酸:甲醇=1:99,体积比)在低温(4℃)黑暗中浸提 24h,以单位面积叶片 300nm 处吸光值表示类黄酮含量( $A_{300}/\text{cm}^2$ );丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[11]</sup>;可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝-G250 比色法,均以单位面积含量表示。

### 1.3 数据处理及分析

运用灰色关联分析法计算形态及生理指标与生态因子间的关联度。以生态因子作为比较数列( $X_i$ ),将受生态因子影响的指标作为参考数列( $X_0$ ),进行灰色关联分析。关联度越大,表明比较数列与参考数列的发展趋势越接近,则比较数列在参考数列中的影响也就越大。计算过程如下<sup>[12]</sup>:

$$X_i(k) = \frac{X'_i(k) - \bar{X}_i}{S_i} \quad (5)$$

式中, $X_i(k)$  为原始数据无量纲化处理后结果, $X'_i(k)$  为原始数据, $\bar{X}_i$  和  $S_i$  分别为同一指标的平均值和标准差。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (6)$$

式中, $\xi_i(k)$  为关联系数, $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$  为两级最小差; $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$  为两级最大差; $\rho$  为分辨系数,通常取 0.5。

关联度( $r_i$ )的计算公式如下:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (7)$$

灰色关联分析和绘图在 Excel 2003 中完成。利用 SPSS17.0 统计分析软件对数据进行简单相关分析(Pearson)和多重比较(LSD 法),以及对光响应曲线进行拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 烤烟 K326 的农艺性状

从表 4 可知,大营街烤烟的长势较好。茎高、茎围、节间距及各叶位叶面积大小顺序均为大营街>小街>四街。3 个试验点烤烟的茎高彼此间差异达到极显著水平。四街烤烟的茎围与大营街的差异极显著。大营街烤烟节间距与四街和小街的差异极显著。各试验点烤烟叶面积差异均达到显著水平,四街烟叶叶面积与大营街和小街的差异极显著,而大营街与小街之间的差异不显著。茎高和光照度有极显著的正相关关系( $P < 0.01$ )。节间距与光照度呈显著正相关( $P < 0.05$ )。第 7 叶叶面积与土壤速效磷含量的负相关性极显著( $P < 0.01$ )。第 9 叶叶面积与土壤碱解氮、速效磷的含量有显著负相关关系( $P < 0.05$ )。

### 2.2 类黄酮和丙二醛含量

各试验点烟叶类黄酮和丙二醛含量见图 1。类黄酮含量为四街>大营街>小街,3 个试验点的含量相差不大,分别为 30.65、30.18 和 29.90  $A_{300}/\text{cm}^2$ ,各试验点之间差异不显著。丙二醛含量为小街>大营街>四街,分别为 12.90、10.04 和 9.51  $\text{nmol}/\text{cm}^2$ ,小街烟叶丙二醛含量与其它两地的差异显著。

表 4 各试验点烤烟 K326 的农艺性状

Table 4 Main agronomical characters of K326 in different testing sites

试验点 Test sites	茎高 Stem length/cm	茎围 Stem girth/cm	节间距 Internodes space/cm	叶面积 Leaf area/cm <sup>2</sup>		
				第 7 叶 the 7 <sup>th</sup> leaf	第 9 叶 the 9 <sup>th</sup> leaf	第 11 叶 the 11 <sup>th</sup> leaf
四街	77.75 Cc	8.05 Bb	3.61 Bb	962.89 Bb	1012.90 Bb	928.62 Bc
大营街	127.50 Aa	9.35 Aa	5.42 Aa	1240.76 Aa	1224.74 Aa	1248.57 Aa
小街	88.90 Bb	8.75 ABab	4.08 Bb	1173.98 Aa	1185.01 Aa	1105.81 Ab

同列中大写字母不同表示差异极显著 ( $P<0.01$ ); 小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )

2.3 光合色素和可溶性蛋白质

由表 5 中可知,大营街叶绿素 a (Chl a)、b (Chl b) 和总叶绿素 (Chl) 含量最高,其次分别为四街和小街,但 3 个试验点的 Chl a、b 以及叶绿素 a/b 比值 (Chla/b) 差异不显著,而四街类胡萝卜素 (Car) 含量最高,与大营街和小街差异显著。四街烟叶的可溶性蛋白含量最高,叶绿素/类胡萝卜素比值 (Chl/Car) 最小,两者均与其余两个试验点有极显著差异。可溶性蛋白与土壤碱解氮含量有显著正相关关系 ( $P<0.05$ )。叶绿素/类胡萝卜素比值与土壤速效磷含量呈显著负相关关系 ( $P<0.05$ )。

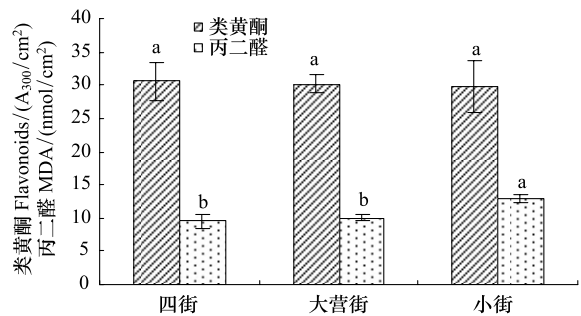


图 1 各试验点 K326 类黄酮和丙二醛的含量

Fig. 1 Contents of flavonoid and MAD of tobacco K326 in different testing sites

表 5 各试验点 K326 光合色素和可溶性蛋白含量

Table 5 Contents of photosynthetic pigments and soluble protein of K326 in different testing sites

试验点 Test sites	叶绿素 a Chlorophyll a /(mg/dm <sup>2</sup> )	叶绿素 b Chlorophyll b /(mg/dm <sup>2</sup> )	总叶绿素 Total chlorophyll /(mg/dm <sup>2</sup> )	类胡萝卜素 Carotenoid /(mg/dm <sup>2</sup> )	可溶蛋白 Soluble protein /(mg/cm <sup>2</sup> )	叶绿素 a/b Chla/b ratio	叶绿素/ 类胡萝卜素 Chl/Car ratio
四街	2.25 Aa	0.80 Aa	3.06 Aa	0.57 Aa	0.62 Aa	2.80 Aa	5.36 Bb
大营街)	2.32 Aa	0.84 Aa	3.15 Aa	0.49 Ab	0.37 Bb	2.77 Aa	6.49 Aa
小街	2.18 Aa	0.76 Aa	2.94 Aa	0.48 Ab	0.40 Bb	2.85 Aa	6.14 Aa

2.4 烟叶的光响应曲线

2.4.1 净光合速率对光强的响应曲线

直角双曲线模型能够很好地对本试验中净光合速率 ( $P_n$ ) 实测值进行模拟,对各处理的模拟均达到极显著水平 ( $R^2=0.994-0.998, P<0.01$ )。图 2 是根据  $P_n$  实测值和预测值绘制出的光响应曲线。图中反映出 PAR 在 0—400  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  为大营街>小街>四街。当  $\text{PAR}>400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  后,大营街和小街烟叶  $P_n$  增长速率放慢,二者保持相近的变化趋势,并且大营街  $P_n$  始终高于小街;四街烟叶的  $P_n$  仍然以较快速度增加,并逐渐高于小街。PAR 在 400—800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  为大营街>四街>小街。PAR  $\geq 800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时,四街烟叶  $P_n$  最高,四街>大营街>小街。

光响应曲线的特征参数见表 6。最大净光合速率

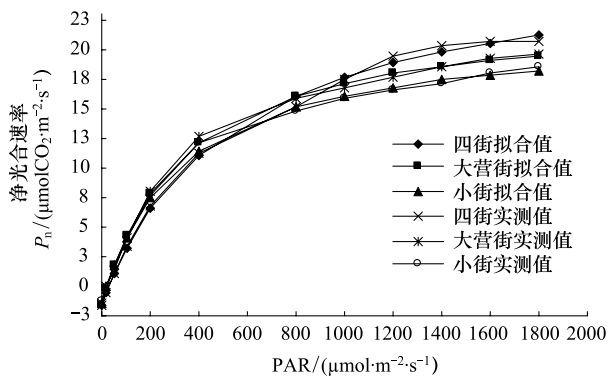


图 2 K326 净光合速率对 PAR 的响应

Fig. 2 Titers of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) to different PAR in K326 leaf



( $P_{nmax}$ )、光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 均为四街>大营街>小街。四街 K326 的  $P_{nmax}$  为  $29.48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 与四街相比, 大营街和小街分别低 15.8% 和 20.7%; 四街 LCP 为  $28.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 大营街和小街比四街分别低了 22.4% 和 32.4%; 四街 LSP 为  $2166.49 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 大营街和小街比四街分别低 34.5% 和 33.7%。最大净光合速率与日平均气温呈极显著负相关关系 ( $P<0.01$ )。小街暗呼吸速率最小, 为  $1.38 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 大营街和四街烟叶的暗呼吸速率较为接近, 分别为  $1.59$ 、 $1.57 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。大营街烟叶的表观量子效率最高, 为 0.0767, 小街烟叶表观量子效率与大营街烟叶表观量子效率相近, 为 0.0740, 四街烟叶的表观量子效率最小, 为 0.0570。表观量子效率与土壤碱解氮含量的负相关关系极显著 ( $P<0.01$ )。

表 6 各试验点 K326 光响应曲线主要参数  
Table 6 Main parameters of photosynthesis of K326 leaf in different testing sites

试验点 Test sites	最大净光合速率 $P_{nmax}$ /( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光补偿点 LCP /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 LSP /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	暗呼吸速率 $R_d$ /( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	表观量子效率 AQY /( $\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{ photon}$ )	$R^2$
四街	29.48 Aa	28.42 Aa	2166.49 Aa	1.57 Aa	0.0570 Aa	0.985—1
大营街	24.81 Bb	22.06 Aab	1419.89 Ab	1.59 Aa	0.0767 Aa	0.996—0.999
小街	23.36 Bb	19.22 Ab	1436.20 Ab	1.38 Aa	0.0740 Aa	0.991—0.999

2.4.2 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度、蒸腾速率及水分利用效率对光强的响应曲线

图 3 为胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 对 PAR 的响应曲线。PAR 在 0—400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 各曲线的斜率变化快,  $C_i$  急剧下降。当 PAR>400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后, 各曲线变化平缓, 大营街 K326  $C_i$  最高, 小街  $C_i$  较低, 但四街却出现波动。在 PAR 为 400—800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 四街  $C_i$  最低, 而后又有所上升, 在 PAR 为 1000—1200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时处于大营街和小街之间, 随后又下降, PAR 在 1600—1800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内时则低于小街。

如图 4 所示, 气孔导度 ( $G_s$ ) 随 PAR 的增加而增大, 在较低 PAR (0—200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 时,  $G_s$  为小街>大营街>四街。PAR>200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后, 大营街  $G_s$  最大, 小街  $G_s$  随 PAR 增强而增加较平缓, 而四街  $G_s$  在 PAR 在 800—1200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时大幅增加, 至 PAR>1200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后又变化平缓, 略有下降。PAR 在 200—1000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $G_s$  为大营街>小街>四街; PAR>1000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 大营街>四街>小街。

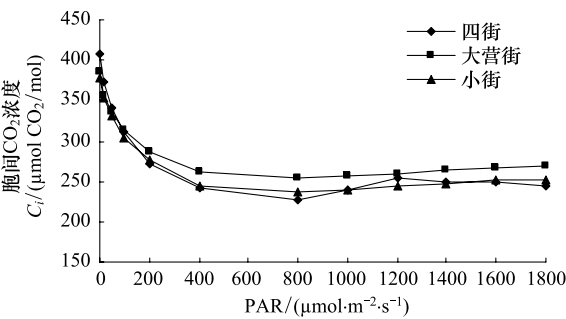


图 3 K326 胞间 CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) 浓度对 PAR 的响应

Fig. 3 Titers of intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ) to PAR in K326 leaf

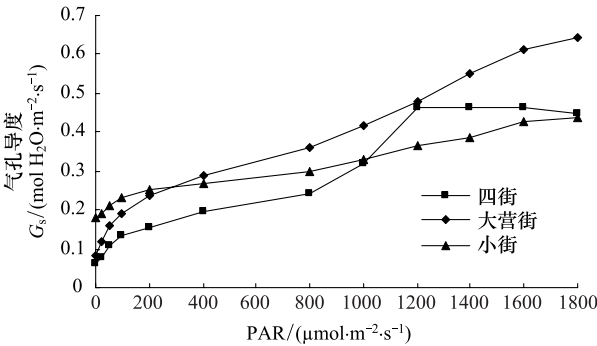


图 4 K326 气孔导度 ( $G_s$ ) 对 PAR 的响应

Fig. 4 Titers of stomatal conductance ( $G_s$ ) to PAR in K326 leaf

蒸腾速率 ( $T_r$ ) 随 PAR 的变化与  $G_s$  的变化相似 (图 5)。PAR 在 0—200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时各试验点 K326 的  $T_r$  增加较快。PAR 在 200—1000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $T_r$  大营街>小街>四街。当 PAR 在 1000—1200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 四街  $T_r$  出现陡增, 之后趋于又平缓。PAR≥1200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $T_r$  大营街>四街>小街。



如图 6 所示, PAR 在 0—400  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时, 水分利用效率 (WUE) 随 PAR 增加而迅速增加, 在 PAR 达到 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  后, WUE 为四街>小街>大营街。大营街和小街 WUE 在 PAR=400—800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时达最大值, 而四街则在 PAR=800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时达最大值。当 PAR>800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  后, 各试验点的 WUE 随光强增加开始缓慢下降。

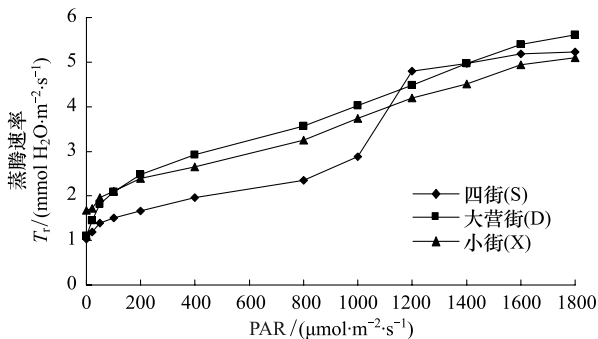


图 5 K326 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 对 PAR 的响应

Fig. 5 Titers of transpiration rate ( $T_r$ ) to PAR in K326 leaf

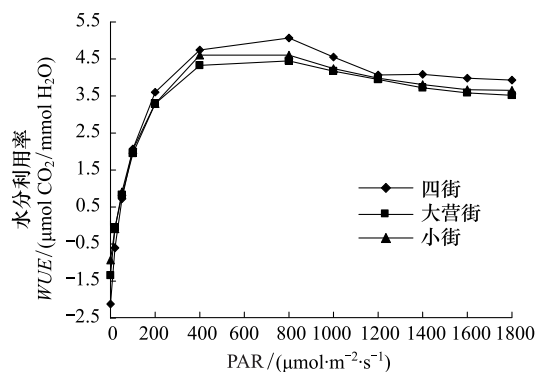


图 6 K326 水分利用效率 (WUE) 对 PAR 的响应

Fig. 6 Titers of water use efficiency (WUE) to PAR in K326 leaf

烤烟叶片通过改变气孔的开度来控制与外界的  $\text{CO}_2$  和水汽交换, 从而调节光合速率和蒸腾速率, 以适应环境条件的变化。从图 4 中可以看出, 四街  $G_s$  在 PAR=1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时出现了陡增, 之后又有所下降的现象, 这导致其  $T_r$  和  $C_i$  也出现陡增 (图 3, 图 5), 但  $P_n$  并未出现波动, 进而导致 WUE 在 PAR=1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时出现缓慢下降。总体来看, 3 个试验点的烤烟的光合参数都存在如下特征: 当  $G_s$  随着 PAR 的不断增加,  $T_r$  也随之增加,  $C_i$  逐渐稳定。但由于 PAR 能够激活 RuBP 羧化酶的活性, 因此在一定光强下  $P_n$  还会逐渐增加。而与  $T_r$  相比,  $P_n$  增加的速率相对减慢, 这导致了 WUE 在较高 PAR 下的下降 (图 6)。

由以上各光合参数对光强的响应曲线可以得知, 在 800—1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  光强范围内, 烤烟 WUE、 $G_s$ 、 $T_r$  和  $C_i$  等参数变化趋势稳定, 尤其是 WUE 和  $C_i$ , 不同地点烤烟的同一参数在此光强范围内均有明显的区分度。因此, 光强在 800—1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内, 烤烟光合作用参数的大小, 较能反映出光合作用的特点。本试验中, 以 800—1000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  光强下的光合参数进行比较,  $C_i$ 、 $G_s$  和  $T_r$  为大营街>小街>四街, WUE 为四街>小街>大营街。

## 2.5 形态及生理特征与生态因子的关系

将主要的形态及生理特征与生态因子进行灰色关联分析, 结果见表 7。

表 7 形态及生理特征与生态因子的灰色关联度

Table 7 Grey correlation degrees of morphological and physiological characters with ecological factors

	茎高 Stem length	第 9 叶面积 The 9 <sup>th</sup> leaf area	类黄酮 Flavonoid	丙二醛 MDA	叶绿素 Chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid	可溶性蛋白 Soluble protein	$P_{n\max}$
UV-B 辐射 UV-B radiation	0.603	0.769	0.518	0.798	0.486	0.469	0.457	0.480
光照度 Daylight illumination	0.998	0.713	0.520	0.636	0.699	0.522	0.556	0.510
日照时数 Sunshine duration	0.572	0.571	0.731	0.471	0.814	0.632	0.589	0.662
日均气温 Daily mean temperature	0.620	0.832	0.491	0.739	0.510	0.453	0.446	0.460
降水量 Precipitation	0.528	0.506	0.829	0.488	0.746	0.707	0.658	0.745
有机质 Organic matter	0.456	0.519	0.511	0.722	0.575	0.537	0.579	0.515
碱解氮 Alkaline hydrolytic N	0.561	0.455	0.805	0.566	0.532	0.889	0.990	0.836
速效磷 Available P	0.574	0.463	0.781	0.556	0.514	0.841	0.926	0.806
速效钾 Available K	0.452	0.575	0.598	0.595	0.483	0.617	0.661	0.595

通过对关联度进行排序,可以得知各生态因子对形态及生理特征影响作用的大小,排序越靠前表明影响作用越大。

茎高:光照度>日均气温>UV-B 辐射>速效磷>日照时数>碱解氮>降水量>有机质>速效钾。

中部叶叶面积:日均气温>UV-B 辐射>光照度>速效钾>日照时数>有机质>降水量>速效磷>碱解氮。

类黄酮:降水量>碱解氮>速效磷>日照时数>速效钾>光照度>UV-B 辐射>有机质>日均气温。

丙二醛:UV-B 辐射>日均气温>有机质>光照度>速效钾>碱解氮>速效磷>降水量>日照时数。

叶绿素:日照时数>降水量>光照度>有机质>碱解氮>速效磷>日均气温>UV-B 辐射>速效钾。

类胡萝卜素:碱解氮>速效磷>降水量>日照时数>速效钾>有机质>光照度>UV-B 辐射>日均气温。

可溶性蛋白:碱解氮>速效磷>速效钾>降水量>日照时数>有机质>光照度>UV-B 辐射>日均气温。

最大净光合速率:碱解氮>速效磷>降水量>日照时数>速效钾>有机质>光照度>UV-B 辐射>日均气温。

### 3 讨论

在不同生态环境条件下,烤烟的形态性状存在明显差异,即在大营街的生态环境条件下,烤烟的生长状况最好,四街的形态性状最差。各试验点烤烟的茎高及上部叶叶面积组间差异都达到了极显著的水平。形态特征与生态因子的灰色关联分析表明,光照度、日平均气温和 UV-B 辐射对烤烟茎高和中部叶叶面积的影响较大。研究表明,随着光强减弱,烤烟株高有增加趋势,茎围则逐渐减小,节间变长<sup>[13-14]</sup>。本试验得出的结论与之部分相反,自然环境中烤烟茎高和节间距,以及叶面积,均与光照度呈正相关关系,这种差异可能与自然环境中生态因子作用的复杂性有关。灰色关联分析的结果也表明,除光照度外,日平均气温和 UV-B 辐射也是影响烤烟茎高和叶面积的主要因素。UV-B 辐射对植物形态存在负面影响,增强 UV-B 辐射常导致植物叶面积减少和植株矮化,叶片是对 UV-B 辐射增强表现较敏感的植物器官。为了适应 UV-B 增强,除了减少叶面积外,叶片厚度也会有所增加。增强 UV-B 辐射使植物激素活性改变和细胞分裂减缓,从而节间生长缩短导致了株高降低<sup>[15]</sup>。对烤烟的研究结果表明,在自然环境条件下减弱 UV-B 辐射后,烤烟的株高、节间距和叶面积呈现增加的趋势<sup>[16]</sup>。从烤烟形态指标测定的结果来看,大营街的生态环境条件对烤烟形态特征形成的优势较为有利。

类黄酮含量在各试验点间没有显著差异,小街丙二醛含量最高,并且与其余两地差异显著。与类黄酮、丙二醛含量关联度最大的生态因子分别是降水量和 UV-B 辐射。类黄酮是主要的紫外吸收物质,较强的 UV-B 辐射,可导致细胞膜脂过氧化,类黄酮含量增加可对植物细胞起保护作用。通常随 UV-B 辐射强度的增强,植物类黄酮含量增加<sup>[16-18]</sup>。在本试验 3 个不同 UV-B 辐射强度下,各地点烤烟的类黄酮含量却较为接近,并没有显著差异。灰色关联度排序表明,降水量与类黄酮的关联度远大于 UV-B 辐射。除了作为主要的紫外吸收物质外,类黄酮还是抗氧化物质,在水分胁迫时,植物类黄酮的含量增加以对自身起保护作用<sup>[19]</sup>。丙二醛的含量变化与逆境胁迫有关,含量越高则细胞膜的损伤程度越高。本研究中,UV-B 辐射与丙二醛含量的关联度最大,这表明在大田期前中期,UV-B 辐射对烤烟可能存在一定的胁迫作用。在 3 个试验点,烤烟丙二醛的含量随类黄酮含量增加而减少,与 UV-B 辐射强度呈正相关关系。而四街丙二醛含量最少,表明四街烟叶细胞膜受到的损伤低于大营街和小街,这或许是因为四街所含的类黄酮高于大营街和小街,同时受到的 UV-B 辐射强度也较低,所以细胞膜受到的伤害小。同样,小街丙二醛含量最高,则可能是因为小街 UV-B 辐射最强,并且具有保护作用的类黄酮含量较少,使得膜的损伤程度较大。

叶绿素 a/b 比值可反映出光合作用的不同特性,通常在弱光下,叶绿素 a/b 比值较低<sup>[20]</sup>,因此,叶绿素 a/b 比值低可认为是对低光强的适应。而在 3 个试验点,叶绿素 a/b 比值并没有显著差异,这表明叶绿素对各地光强的适应性没有差异。类胡萝卜素可防止强光伤害,能对叶绿素起到保护作用,四街叶绿素/类胡萝卜素比值最小,并与其他两试验点有显著差异,由此可知,四街烤烟具有较好的光合色素保护能力。灰色关联分析表明,日照时数和降水量与叶绿素含量的关联度较大;土壤碱解氮、速效磷的含量可能是影响类胡萝卜素和可溶性蛋白的主要生态因子。充足的降水能够维持土壤含水量,土壤干旱会导致烤烟缺水。研究表明,干旱胁

迫会降低叶绿素的含量<sup>[21,22]</sup>,因此,叶绿素的稳定性也被认为是对于干旱耐受性的重要指标<sup>[23]</sup>。日照时数的多少决定了植物接受光能的多少,充足的日照时数有利于物质的合成和个体的发育。如果日光不足,烤烟会出现细胞分裂慢,机械组织发育差,植株细软纤弱,叶肉变薄,干物质少,单位叶面积重量轻<sup>[24]</sup>。土壤中充足的氮和磷能为类胡萝卜素和可溶性蛋白的合成提供物质和能量基础。研究表明,适当提高施氮和施磷水平有利于类胡萝卜素含量增加<sup>[25-26]</sup>,并且促进作物蛋白质的合成<sup>[27-28]</sup>。

比较3个试验点烤烟光补偿点到光饱和点的光强范围可知,四街烟叶对光强的适应范围最广,大营街烟叶次之,小街烟叶最小。四街烟叶表观量子效率最低,表明它对弱光的利用能力不强,较为适应高光照强度。小街烟叶暗呼吸速率最小,暗呼吸速率低更有利于光合产物的积累。水分利用效率是对光合作用能力的综合反映,它也能体现植物对环境的适应能力<sup>[29-30]</sup>。在 $PAR > 800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后,各试验点烟叶的水分利用效率随光强增加开始缓慢下降。WUE同时受净光合速率和蒸腾速率的影响,净光合速率和蒸腾速率都随光强增加不断增加,可以认为,水分利用效率降低是由于蒸腾速率的增加大于光合速率增加所造成的。蒸腾速率受到气孔导度的调节,即气孔导度也会对烟叶水分利用效率产生影响,这也使得各地烟叶对环境的适应能力产生了差异。对影响光合速率的生态因子进行关联度排序得知,土壤碱解氮、速效磷的含量,以及降水量是与光合速率关联度较大的生态因子。土壤充足的氮、磷含量能够促进叶片光合作用的进行。研究表明,叶片中糖类物质的不断积累会对光合作用产生抑制,而缺氮则会加剧这种抑制效应<sup>[31]</sup>,适当增施氮肥能够提高光合速率,延缓叶片衰老<sup>[32-33]</sup>。为植物提供充足的磷能够提高 $\text{CO}_2$ 的同化效率<sup>[34]</sup>。降水量可通过改善土壤含水量和空气湿度对光合作用产生影响,土壤水分充足有利于气孔的张开,蒸腾速率随之增加,净光合速率也增大。水分不足会影响气孔行为特征,最大净光合速率会随着干旱胁迫的加剧而降低<sup>[35-36]</sup>。

综上所述,云南特殊的气候类型及地形特点,使得即使在同一产烟区,烤烟种植的气象和土壤条件都会产生较大的差异。在同一产烟区的不同生态条件下,由于受到各生态因子或其综合效应的影响,烤烟K326形态特征及相关生理指标存在一定差异。对各主要的生态因子进行灰色关联排序,结果反映出不同生态因子对烤烟形态及相关生理指标的作用强度各不相同,就光合色素和光合速率而言,土壤碱解氮、速效磷含量和大田前中期的降水量是重要的影响因素。烤烟主要形态性状受气象条件的影响作用比受土壤条件的影响作用大。由于气象因子的不可调控性,在烤烟种植区划及管理,应当更加重视水分条件。同时结果还表明,在该地区变异程度较大的UV-B辐射条件,与烤烟光合作用参数的关联度较低,低纬高原UV-B辐射对作物影响的研究有待深入。

## References:

- [1] Chen Z Y. Yunnan climate introduction. Beijing: China Meteorological Press, 2001:1-7.
- [2] Lu Y H. Research advance in effects of ecological conditions on tobacco leave quality. Chinese Tobacco Since, 2007, 28(3):43-46.
- [3] Huang Z Y, Zhu Y, Deng Y L, Huang W, Ni X. Influence of climate during field growing season on quality of tobacco leaf in Yunnan Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(4):440-445,449.
- [4] Shen G C, Shi H Z, Yang X Y, Zhou K X, Xie Z F, Zhang D G, Ji D M, Hou T. Effects of altitude on quality and economic characters in burley tobacco mid-maturing variety and early maturing variety. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(5):1262-1266.
- [5] Mu B, Yang J S, Li M H. Relationship between aroma and taste of flue-cured tobacco leaves and elevation in Dalou Mountainous Region of Northern of Guizhou. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(4):148-151.
- [6] Li Q, Liang Z S, Dong J E, Fu L L, Jiang C Z. Grey correlation for main climatic factors and quality of Danshen (*Salvia miltiorrhiza* Bunge). Acta Ecologica Sinica, 2010,30(10):2569-2575.
- [7] Sun X S, Lin Q, Zhao C X, Zhai Y J, Wu G, Cheruth Abdul Jaleel. Effects of nitrogen application rate on light-response curves of flag leaves in super-high yielding winter wheat at grain filling stage. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3):1429-1437.
- [8] Qian L W, Zhang X S, Yang Z J, Han Z G. Comparison of different light response models for photosynthesis. Journal of Wuhan Botanical Research, 2009, 27(2):197-203.
- [9] Zhou Q. Guidance of plant physiological and biochemical experiment. Beijing: China Agriculture Press, 1995:36-39.
- [10] Nogués S, Allen D J, Morison J I L, Baker N R. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in

- droughted pea plants. *Plant Physiology*, 1998, 117(1): 173-181.
- [11] Hilal M, Rodríguez-Montelongo L, Rosa M, Gallardo M, González J A, Interdonato R, Rapisarda V A, Prado F E. Solar and supplemental UV-B radiation effects in lemon peel UV-B-absorbing compound content seasonal variation. *Photochemistry and Photobiology*, 2008, 84(6): 1480-1486.
- [12] Ren Y Z, Dong X G, Wang Z G. Influential factors of evapotranspiration based on grey relational analysis. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(12): 376-379.
- [13] Zheng M, Zhou J H, Huang Y. Effects of illumination intensity on growth of tobacco seedling and content of metabolites. *Crop Research*, 2009, 23(3): 181-183.
- [14] Qiao X R, Guo Q Y, Liu G S, Wang F. Effects of light intensity on growth and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(3): 76-79.
- [15] Liu B, Wang C, Jin J, Liu J D, Zhang Q Y, Liu X B. Responses of soybean and other plants to enhanced UV-B radiation. *Soybean Science*, 2009, 28(6): 1097-1100.
- [16] Chen Z Y, Zhong C, Wang Y, Jian S F, Yan K. Effects of reduced ultraviolet-B radiation on morphology, photosynthesis and some other physiological and biochemical characteristics in tobacco. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5799-5809.
- [17] Liang B, Zhou Q. Effect of enhanced UV-B radiation on plant flavonoid. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(3): 191-194.
- [18] Zhong C, Chen Z Y, Mao Z C, Dong C W H. Effects of attenuated ultraviolet-B radiation on soluble protein, photosynthetic pigments and flavonoids in tobacco leaves. *Guihaia*, 2010, 30(4): 501-506.
- [19] Li L Z, Zhang D G, Xin X P, Yan Y C, Yang G X, Li J, Wang X. Photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* under different soil moisture grades in Hulunber prairie. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5271-5279.
- [20] Chen J Y, Yang Y Q. Growth Development and physiological characters of *Sarcococca ruscifolia* Stapf under weak-light. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(8): 1646-1652.
- [21] Nikolaeva M K, Maevskaya S N, Shugaev A G, Bukhov N G. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, 57(1): 87-95.
- [22] Han R H, Lu X S, Gao G J, Yang X J. Photosynthetic physiological response of alfalfa (*Medicago sativa*) to drought stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5229-5237.
- [23] Arunyanark A, Jogloy S, Akkasaeng C, Vorasoot N, Kesmla T, Nageswara-Rao R C, Wright G C, Patanothai A. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2008, 194(2): 113-125.
- [24] Liu G S, Qiao X R, Wang F, Yang C, Guo Q Y. Effects of Light Intensity on Photosynthetic Capabilities, Growth and Quality of Flue-cured Tobacco. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(9): 1833-1837.
- [25] Cui J Y, Zhou J, Wang G Q, Ma Y H, Guan J, He Y Q. Study on the relationship between photosynthetic pigment of leaves and level of nitrogen in the buddha's seat stage of winter radish on red upland soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(7): 380-384.
- [26] Naeem M, Khan M M A, Moinuddin, Idrees M, Aftab T. Phosphorus ameliorates crop productivity, photosynthetic efficiency, nitrogen-fixation, activities of the enzymes and content of nutraceuticals of *Lablab purpureus* L. *Scientia Horticulturae*, 2010, 126(2): 205-214.
- [27] Wang X D, Yu Z W, Shi Y, Wang X Y. Effects of phosphorus on activities of enzymes related to nitrogen metabolism in flag leaves and protein contents in grains of wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(3): 339-344.
- [28] Cai J, Jiang D, Dai T B, Cao W X. Effects of nitrogen application rates on nitrogen uptake and use, protein accumulation, and grain yield in malting barley. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(11): 2116-2121.
- [29] Yan H L, Zhang X M, Xu H, Liu Y. Photosynthetic characteristics responses of three plants to drought stress in Tarim Desert Highway shelterbelt. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2519-2528.
- [30] He Q, Li J Y, Shen Y B, Chen X Y, Shang F H, Hu L, Zhang Z Y. Difference in  $\delta^{13}\text{C}$  and gas exchange parameters among *Populus tomentosa* clones. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 144-150.
- [31] Araya T, Noguchi K, Terashima I. Effect of nitrogen nutrition on the carbohydrate repression of photosynthesis in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Plant Research*, 2010, 123(3): 371-379.
- [32] Sun H, Wang Y F, Wang M L, Zhao C X. Effects of nitrogen fertilizer rate on senescence characteristics and yield of different peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2671-2677.
- [33] Wang D, Yu Z W, Li Y Q, Shi G P. Effects of nitrogen fertilizer rate on photosynthetic character, sucrose synthesis in flag leaves and grain yield of strong gluten wheat Jimai 20. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 903-908.
- [34] Campbell C D, Sage R F. Interactions between the effects of atmospheric  $\text{CO}_2$  content and P nutrition on photosynthesis in white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell and Environment*. 2006, 29(5): 844-853.



- [35] Liu G, Zhang G C, Liu X. Responses of *Cotinus coggygia* var. *cinerea* photosynthesis to soil drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7):1697-1701.
- [36] Kong D Z, Yu H F, Li Y H, Tian Y Y. Effect of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of *Chrysanthemum morifolium*. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(11):103-108.

#### 参考文献:

- [1] 陈宗瑜. 云南气候总论. 北京:气象出版社,2001:1-7.
- [2] 陆永恒. 生态条件对烟叶品质影响的研究进展. *中国烟草科学*,2007,28(3):43-46.
- [3] 黄中艳,朱勇,邓云龙,黄伟,倪霞. 云南烤烟大田期气候对烟叶品质的影响. *中国农业气象*,2008,29(4):440-445,449.
- [4] 沈广材,史宏志,杨兴有,周开旭,谢子发,张定贵,靳冬梅,侯涛. 海拔高度对白肋烟中熟早熟品种经济性状和品质的影响. *西南农业学报*,2009,22(5):1262-1266.
- [5] 穆彪,杨键松,李明海. 黔北大娄山区海拔高度与烤烟烟叶香味味的关系研究. *中国生态农业学报*,2003,11(4):148-151.
- [6] 李倩,梁宗锁,董娟娥,付亮亮,蒋传中. 丹参品质与主导气候因子的灰色关联度分析. *生态学报*,2010,30(10):2569-2575.
- [7] 孙旭生,林琪,赵长星,翟延举,吴钢,Cheruth Abdul Jaleel. 施氮量对超高产冬小麦灌浆期旗叶光响应曲线的影响. *生态学报*,2009,29(3):1429-1437.
- [8] 钱莲文,张新时,杨智杰,韩志刚. 几种光合作用光响应典型模型的比较研究. *武汉植物学研究*,2009,27(2):197-203.
- [9] 邹琦. 植物生理生化指导. 北京:中国农业出版社,1995:36-39.
- [12] 任玉忠,董新光,王志国. 基于灰色关联分析的参考作物腾发量影响因素分析. *中国农学通报*,2010,26(12):376-379.
- [13] 郑明,周冀衡,黄勇. 光照强度对烤烟烟苗生长和代谢产物含量的影响. *作物研究*,2009,23(3):181-183.
- [14] 乔新荣,郭桥燕,刘国顺,王芳. 光强对烤烟生长发育及光合特性的影响. *华北农学报*,2007,22(3):76-79.
- [15] 刘兵,王程,金剑,刘居东,张秋英,刘晓冰. UV-B 辐射增强对大豆等植物生理生态特性的影响. *大豆科学*,2009,28(6):1097-1100.
- [16] 陈宗瑜,钟楚,王毅,简少芬,颜侃. 减弱 UV-B 辐射对烤烟形态、光合及生理生化特性的影响. *生态学报*,2010,30(21):5799-5809.
- [17] 梁滨,周青. 2007. UV-B 辐射对植物类黄酮影响的研究进展. *中国生态农业学报*, 15(3):191-194.
- [18] 钟楚,陈宗瑜,毛自朝,董陈文华. 滤减 UV-B 辐射对烟叶可溶性蛋白、光合色素和类黄酮的影响. *广西植物*,2010,30(4):501-506.
- [19] 李林芝,张德罡,辛晓平,闫玉春,杨桂霞,李瑾,王旭. 呼伦贝尔草甸草原不同土壤水分梯度下羊草的光合特性. *生态学报*,2009,29(10):5271-5279.
- [20] 陈菊艳,杨远庆. 遮光对野扇花生生长特性和生理指标的影响. *西北植物学报*,2010,30(8):1646-1652.
- [22] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,杨秀娟. 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 对干旱胁迫的光合生理响应. *生态学报*,2007,27(12):5229-5237.
- [24] 刘国顺,乔新荣,王芳,杨超,郭桥燕. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响. *西北植物学报*,2007,27(9):1833-1837.
- [25] 崔键也,周静,王国强,马友华,关静,何园球. 红壤旱地不同施氮量对冬萝卜莲座期光合色素的影响. *中国农学通报*,2006,22(7):380-384.
- [27] 王旭东,于振文,石玉,王小燕. 磷对小麦旗叶氮代谢有关酶活性和籽粒蛋白质含量的影响. *作物学报*,2006,32(3):339-344.
- [28] 蔡剑,姜东,戴廷波,曹卫星. 施氮水平对啤酒大麦植株氮素吸收与利用及籽粒蛋白质积累和产量的影响. *作物学报*,2009,35(11):2116-2121.
- [29] 闫海龙,张希明,许浩,刘英. 塔里木沙漠公路防护林 3 种植物光合特性对干旱胁迫的响应. *生态学报*,2010,30(10):2519-2528.
- [30] 何茜,李吉跃,沈应柏,陈晓阳,尚富华,胡磊,张志毅. 毛白杨杂种无性系叶片  $\delta^{13}\text{C}$  差异与气体交换参数. *植物生态学报*,2010,34(2):144-150.
- [32] 孙虎,王月福,王铭伦,赵长星. 施氮量对不同类型花生品种衰老特性和产量的影响. *生态学报*,2010,30(10):2671-2677.
- [33] 王东,于振文,李延奇,史桂萍. 施氮量对济麦 20 旗叶光合特性和蔗糖合成及籽粒产量的影响. *作物学报*,2007,33(6):903-908.
- [35] 刘刚,张光灿,刘霞. 土壤干旱胁迫对黄栌叶片光合作用的影响. *应用生态学报*,2010,21(7):1697-1701.
- [36] 孔德政,于红芳,李永华,田彦彦. 干旱胁迫对不同品种菊花叶片光合生理特性的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*,2010,38(11):103-108.

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology .....	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis .....	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation .....	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation .....	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo ( <i>Fargesia robusta</i> ), one of the giant panda's staple bamboos .....	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province .....	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin .....	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang .....	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone .....	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> .....	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest .....	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang .....	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains .....	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco .....	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis .....	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water .....	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe .....	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth .....	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth .....	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province .....	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China .....	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages .....	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser ( <i>Mergus squamatus</i> ) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province .....	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains .....	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters ( <i>Phodopus roborovskii</i> ) .....	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen .....	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season .....	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice ( <i>Oryza Sativa</i> L.) .....	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
<b>Review and Monograph</b>	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria .....	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes .....	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K. ....	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
<b>Scientific Note</b>	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing .....	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009 .....	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang .....	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin .....	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system .....	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

# 《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 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 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:100071	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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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