

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

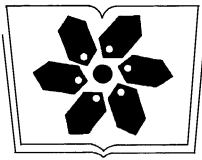
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **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 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈尚,夏涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾彤,任安芝,王帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响·····	刘波,王美珏,谢骏,等 (4866)
Cd^{2+} 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响·····	许丹丹,席貽龙,马杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析·····	吕慎金,杨燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素·····	同小娟,李俊,刘渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响·····	谷艳芳,张莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义·····	施翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究·····	聂建亮,武建军,杨曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征·····	汪智军,梁轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响·····	尹丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化·····	张利敏,王传宽,唐艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴迪,代方舟,严岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨艳,牛建明,张庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介·····	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

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

同小娟, 李俊, 刘渡. 华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素. 生态学报, 2011, 31(17): 4889-4899.

Tong X J, Li J, Liu D. Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 4889-4899.

华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素

同小娟¹, 李 俊^{2,*}, 刘 渡²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程实验室, 北京 100101)

摘要:采用涡度相关法对华北平原夏玉米田进行了连续 4a(2003—2006 年)的碳通量观测,结果表明:夏玉米田生态系统初始量子效率(α)、最大光合速率($P_{\max}$)、暗呼吸速率(R_d)和总初级生产力(GPP)随作物生长发育而变化。在夏玉米生育前期和后期, α 、 $P_{\max}$ 、 R_d 和 GPP 都比较小,其最大值出现在抽穗期/灌浆期。2003—2006 年,夏玉米生长季平均 α 、 $P_{\max}$ 、 R_d 的范围分别为 0.054—0.124 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ 、1.72—2.93 $\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、0.23—0.38 $\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。 α 、 $P_{\max}$ 和 R_d 均随叶面积指数(LAI)增加呈指数增长。2003—2006 年夏玉米生长季 GPP 总量分别为 806.2、741.5、703.0、817.4 $\text{g C}/\text{m}^2$,年际差异较大。玉米田生态系统 GPP 随温度升高呈指数增长。在玉米营养生长阶段, GPP 随 LAI 增加而增大,两者之间的关系可用直角双曲线方程来表示;生殖生长阶段, GPP 随 LAI 降低而下降。相同 LAI 下,生殖生长阶段的 GPP 明显低于营养生长阶段。

关键词:夏玉米田;光合参数;总初级生产力;涡度相关;叶面积指数;气温

Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain

TONG Xiaojuan¹, LI Jun^{2,*}, LIU Du²

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Light-response parameters of plant photosynthesis are important indices characterizing ecosystem productivity. Gross primary production (GPP) is one of the most basic energetic and biogeochemical characteristics of an ecosystem. The study of plant photosynthesis at the canopy and ecosystem scales is improved by using micrometeorological methods such as the eddy covariance technique. To investigate photosynthesis and its light-response characteristics, CO_2 flux was continuously measured using the eddy covariance technique in a summer maize field on the North China Plain from 2003 to 2006. Net ecosystem carbon exchange (NEE) rose with increase in photosynthetically active radiation and their relationship was expressed by a rectangular hyperbola function. Light-response parameters and GPP showed temporal variation and generally peaked at the heading/grain filling stage. The seasonal mean initial light use efficiency (α), maximum photosynthesis rate ($P_{\max}$) and dark ecosystem respiration (R_d) in the summer maize field varied from 0.054 to 0.124 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$, from 1.72 to 2.93 $\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, from 0.23 to 0.38 $\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. Light-response parameters were significantly affected by maize growth. Monthly mean α , $P_{\max}$ and R_d rose exponentially with the increase in leaf area index (LAI). About 50% of the changes in α , $P_{\max}$ and R_d can be ascribed to the variation in LAI . Usually, weak light reaching the ground is mainly composed of scattered light. Under a large LAI , a suitable canopy structure was

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2010CB428404);中央高校基本科研业务费专项资金资助(YX2011-19);北京市重点学科项目(XK100220655)

收稿日期:2010-07-06; 修订日期:2011-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijun@igsrr.ac.cn

advantageous for absorbance of scattered light from all directions and led to a high use efficiency of weak light. In summer, the temperature was high and varied within a narrow range. The influence of temperature on R_d was insignificant. LAI was the main factor controlling R_d . Total seasonal GPP in the maize field was 806.2, 741.5, 703.0 and 817.4 g C/m² in 2003, 2004, 2005 and 2006, respectively. The interannual differences in GPP were largely attributable to climatic variation. Compared with the other years, the low GPP in 2005 was a result of the lower soil water content. Monthly mean GPP increased exponentially with an increase in air temperature ($P < 0.01$). Air temperature explained 34%–51% of GPP variation. During the vegetative growth period, GPP increased significantly with increasing LAI ($P < 0.01$) and the relationship between GPP and LAI was expressed by a rectangular hyperbola function. During the reproductive growth period, GPP decreased exponentially with declining LAI ($P < 0.01$). Under the same LAI , GPP during the reproductive growth period was lower than that during the vegetative growth period, because of the decline in leaf chlorophyll content and the lower air temperature during the reproductive growth period.

Key Words: maize ecosystem; light response parameter; gross primary production; eddy covariance; leaf area index; air temperature

总初级生产力(GPP)是大多数生态系统所需碳和能量的来源^[1]。在过去的几十年里,人们对叶片和个体水平光合作用的生化和生理生态过程有了较深入的了解^[2-4]。微气象学方法,尤其是涡度相关技术的广泛应用促进了冠层和生态系统尺度的光合作用的研究。20 世纪 90 年代中期以来,生态系统水平的 CO_2 通量监测在许多国家相继展开^[5-6]。与此同时,在采用遥感手段联系生态系统水平的生产力和 CO_2 通量测定方面也进行了大量的工作^[7-9]。这些工作为检验 GPP 与各种遥感指数的关系、发展估算生态系统 GPP 的新方法开辟了道路。

生态系统的 GPP 决定于叶面积指数(LAI)、生长季长短及诸多环境因子^[10]。在中高纬度地区, GPP 主要受温度和湿度限制^[10]。温度主要影响与光合作用、呼吸作用有关的酶的动力学过程^[4,11],湿度则主要通过影响植物叶片的气孔导度和叶水势来影响光合作用^[11-12]。在植物生长季内,当温度适宜植物生长时, GPP 主要依赖于辐射^[13]。辐射、温度和湿度对 GPP 和生态系统呼吸的影响最终关系到生态系统净碳交换量的大小。

对于多数生态系统来说, NEE 与光合有效辐射(PAR)之间的关系可用直角双曲线来描述^[14-16]。描述生态系统光合能力的重要参数包括初始量子效率(α)、最大光合速率(P_{max})和生态系统暗呼吸速率(R_d)^[14]。有关生态系统光合参数季节变化和年际变化的研究主要集中于森林和草地^[17-18],农田生态系统的相关研究则较少。

本研究采用涡度相关技术对华北平原典型夏玉米田 CO_2 通量进行了连续 4a 的观测,目的在于揭示夏玉米田生态系统光合作用的光响应特征及影响因子,探讨夏玉米田总初级生产力的变化特征及对环境因子的响应,为采用模型和遥感方法估算区域乃至全球尺度的农田总初级生产力提供理论依据和数据支持。

1 研究地点和方法

1.1 研究地点概况

碳通量和小气候观测试验在中国科学院禹城农业综合实验站进行(36°57'N,116°36'E,22.0 m)。该站位于暖温带大陆季风气候区。近 40 a 平均气温 13.2℃,1 月和 7 月平均气温分别为-2.4、26.9℃。该站年总辐射量平均为 5242 MJ/m²;历年平均降水量为 585 mm。降水季节分配不均,冬春干旱少雨,6—8 月降水量约占全年的 70%。本研究区土壤母质为黄河冲积物。土壤质地主要为粉砂土、轻壤土和中壤土。土壤有机质含量为 1.21%,pH 值为 7.9—8.0。玉米在 6 月中下旬播种,9 月下旬/10 月上旬收获。玉米品种和田间具体管理措施见表 1。在玉米生长旺季,每周用叶面积仪(Li-Cor 3100, USA)测定其叶面积。

表 1 玉米田间管理
Table 1 Field managements for maize

年份 Year	品种 Variety	播种时间 Sowing date	追肥施量 Applied N after sowing /(kgN·hm ⁻²)	灌溉量 Irrigation/mm	收获时间 Harvest date
2003	鲁单 981	2003-06-14	112.5	60.0	2003-09-27
2004	鲁单 981	2004-06-20	165.0		2004-09-25
2005	丹玉 86	2005-06-18	90.0		2005-10-15
2006	鲁单 9002	2006-06-18	97.5	60.0	2006-09-19

1.2 碳通量与小气候梯度观测

碳通量是由涡度相关系统测定。涡度相关系统主要由 CSAT3 型三维超声风速仪 (Model CSAT3, Campbell Sci. Inc., USA) 和快速响应的 LI-7500 型开路红外 CO₂/H₂O 分析仪 (Model LI-7500, Li-Cor Inc., USA) 组成。上述仪器均与 CR5000 型数据采集器 (Model CR5000, Campbell Sci. Inc., USA) 相连, 昼夜连续自动采集, 每 30 min 输出 1 组平均值。小气候梯度观测系统包括 2 层 AR-100 型 3 杯风速计 (Vector Instruments, UK) 和 2 层 HMP-45C 型温湿度传感器 (Vaisala, Finland)。玉米拔节前, 2 层温湿度传感器高度分别为 2.05 m 和 3.25 m; 拔节后, 2 层温湿度传感器高度则分别为 2.55 m 和 3.75 m。超声风速仪安装高度为 3.6 m。观测期间, 风浪区的长度在 200 m 以上, 较好地满足了微气象梯度观测的要求。光合有效辐射由 Li-190SB 型点状光量子表 (Model Li190SB, Li-Cor Inc., USA) 测定。此外, 测定的项目还包括总辐射、净辐射、降水、土壤温度、土壤水分等。小气候仪器均与 CR23x 型数据采集器 (Model CR23x, Campbell Sci., USA) 相连, 每 30 min 输出 1 组平均值。

1.3 碳通量数据处理

对原始碳通量数据进行二维坐标旋转和 WPL 校正^[19]。对雨天或清晨有露水时采集的通量数据及超出正常范围 ($\pm 3\sigma$) 的异常数据应当剔除。此外, 当夜间摩擦风速小于临界值时, 删除相应的通量数据。本研究中, 玉米生长季临界摩擦风速取 0.18 m/s。对上述被去除的数据和由于仪器故障、停电等原因缺失的数据进行插补, 具体插补方法参见文献^[20]。

1.4 光响应参数和总初级生产力的计算

根据 Michaelis-Menten 动力学, 农田生态系统净碳交换 (NEE) 对 PAR 的响应曲线可由直角双曲线方程描述:

$$NEE = -\frac{\alpha P_{\max} PAR}{\alpha PAR + P_{\max}} + R_d \quad (1)$$

式中, α ($\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$) 是初始量子效率, $P_{\max}$ ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 为最大光合速率 (即 $PAR \rightarrow \infty$ 时净生态系统碳交换的渐进值), R_d ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 表示暗呼吸速率 (即 $PAR \rightarrow 0$ 时净生态系统碳交换值)。 NEE 可由涡度相关仪器测定的碳通量直接获得。 NEE 为正表示农田向大气排放 CO₂, 反之表示农田吸收大气 CO₂。

以 5d 为时间间隔, 将白天筛选后的有效 CO₂ 通量数据和对应的 PAR 之间利用公式 (1) 进行了拟合, 得出不同时期农田生态系统的光响应参数。

总初级生产力 (GPP) 由下式计算得出:

$$GPP = R_{\text{ec}} - NEE \quad (2)$$

式中, R_{ec} 为生态系统呼吸 ($\text{g C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$), 由考虑叶面积指数 (LAI) 后改进的 Q_{10} 模型得出^[21]。

2 结果分析与讨论

2.1 光合作用的光响应特征

在夏玉米主要生长期, 农田生态系统净吸收的 CO₂ (NEE) 随光合有效辐射的增大而增加 (图 1), 两者之

间的关系可用公式(1)来表示。在夏玉米生长季,当 PAR 较低时,随 PAR 升高农田净吸收的 CO_2 增加较快;当 PAR 较高时,随 PAR 升高农田 CO_2 净吸收量的增幅变小,光响应曲线渐趋平缓。本实验中,多数年份夏玉米田净 CO_2 交换量在 PAR 较大时没有光饱和发生现象。Puckridge 和 Ratkowsky^[22]、Wall 和 Kanemasu^[23] 发现小麦冠层 CO_2 交换量随吸收的 PAR 的增加出现了光饱和现象。Baldocchi^[24] 对小麦、玉米田 NEE 研究则发现农田 NEE 与吸收的 PAR 之间呈正线性关系,即农田光合作用没有光饱和发生。这主要是不同研究地点气候土壤、作物品种特性、生长状况不同所致。

图 1 显示,当 PAR 比较小时, NEE 随 PAR 分布比较集中;当 PAR 比较大时, NEE 随 PAR 分布比较离散(图 1)。这说明太阳辐射比较强时,除了 PAR ,还有其他环境因子如饱和差(VPD)、土壤水分含量等对 NEE 也有一定的影响。

2003—2006 年夏玉米田生态系统平均 α 、 P_{max} 和 R_d 的范围分别在 0.054 — $0.124 \mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ 、 1.72 — $2.93 \text{ mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 0.23 — $0.38 \text{ mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 年际差异明显(表 2)。其中 2006 年玉米田的 α 值比其他年份高

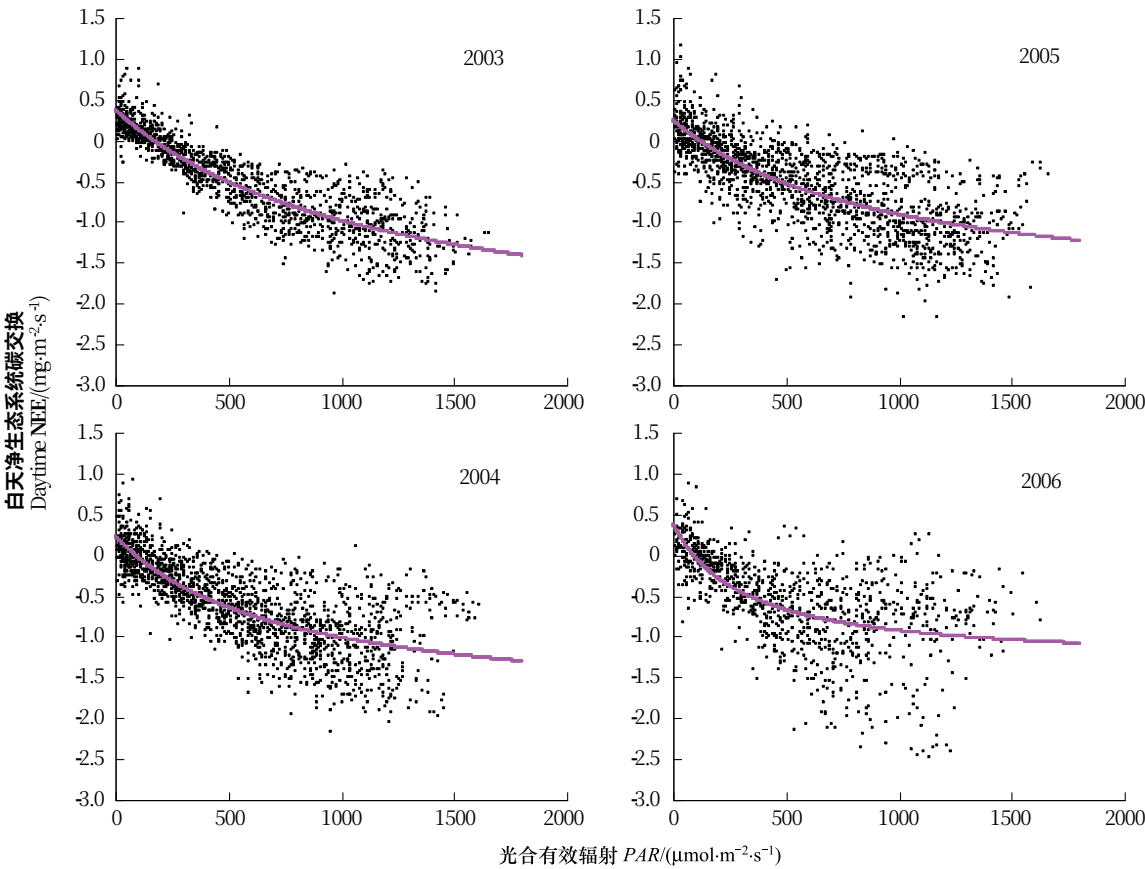


图 1 不同年份夏玉米田 NEE 对 PAR 的响应
Fig. 1 Response of NEE to PAR in the maize field from 2003 to 2006

表 2 夏玉米田光响应参数、气温 (T_a)、光合有效辐射 (PAR)、土壤湿度 (W_s)、最大叶面积指数 (LAI_{max})

年份 Year	初始量子效率 α $/(\mu\text{mol}/\mu\text{mol})$	最大光合速率 P_{max} $/(\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	暗呼吸速率 R_d $/(\text{mg CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	相关系数 r^2	气温 T_a $/^\circ\text{C}$	光合有效辐射 PAR $/(\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})$	土壤湿度 W_s $/(\text{m}^3/\text{m}^3)$	最大叶 面积指数 LAI_{max}
2003	0.057	2.93	0.37	0.813	23.6	158.1	0.160	5.3
2004	0.067	2.15	0.23	0.607	23.8	171.0	0.174	4.1
2005	0.054	2.25	0.24	0.569	24.0	164.8	0.151	4.3
2006	0.124	1.72	0.38	0.419	24.1	162.0	0.163	4.6

出约 1 倍, $P_{\max}$ 则明显偏低。由表 2 可知, 2003 年夏玉米生长季辐射虽然最低, 但由于其 LAI 最大, 因而造成该年 $P_{\max}$ 和 R_d 也最大。2004 年降雨最多, 较多的阴天提高了玉米对弱光的利用效率。

2.2 光合参数的变化特征

2.2.1 α 的变化特征

植物对弱光的利用效率可用 α 来表示。夏玉米田生态系统 α 值的变化特征见图 2。在夏玉米苗期至拔节期, 太阳辐射虽强, 但玉米 LAI 较小, 冠层结构稀疏, α 值较小。拔节后夏玉米冠层变高变密, 对弱光的利用效率随之提高。2003、2004、2005 和 2006 年最大 α 值分别为 0.083、0.099、0.120 和 0.188 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$, 一般出现在 8 月中旬至 9 月初。灌浆后期, 随着下层叶片衰老, 玉米冠层对弱光的利用效率下降。2003—2006 年玉米田平均 α 值范围在 0.054—0.124 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ 。本实验测定的 α 值范围与马瑞等^[25] 在同一地点用光合仪对玉米叶片的观测结果 (0.07—0.12 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$) 接近, 但高于 Baldcchi^[24]、Suyker 等^[26] 和 Miglietta 等^[27]、Glenn 等^[28] 对玉米的观测结果 (0.015—0.041 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$)。不同年份、不同地区在气候环境条件、作物品种特性和田间管理措施上存在差别, 这可能是导致光合参数年际波动和地区差异的主要原因。

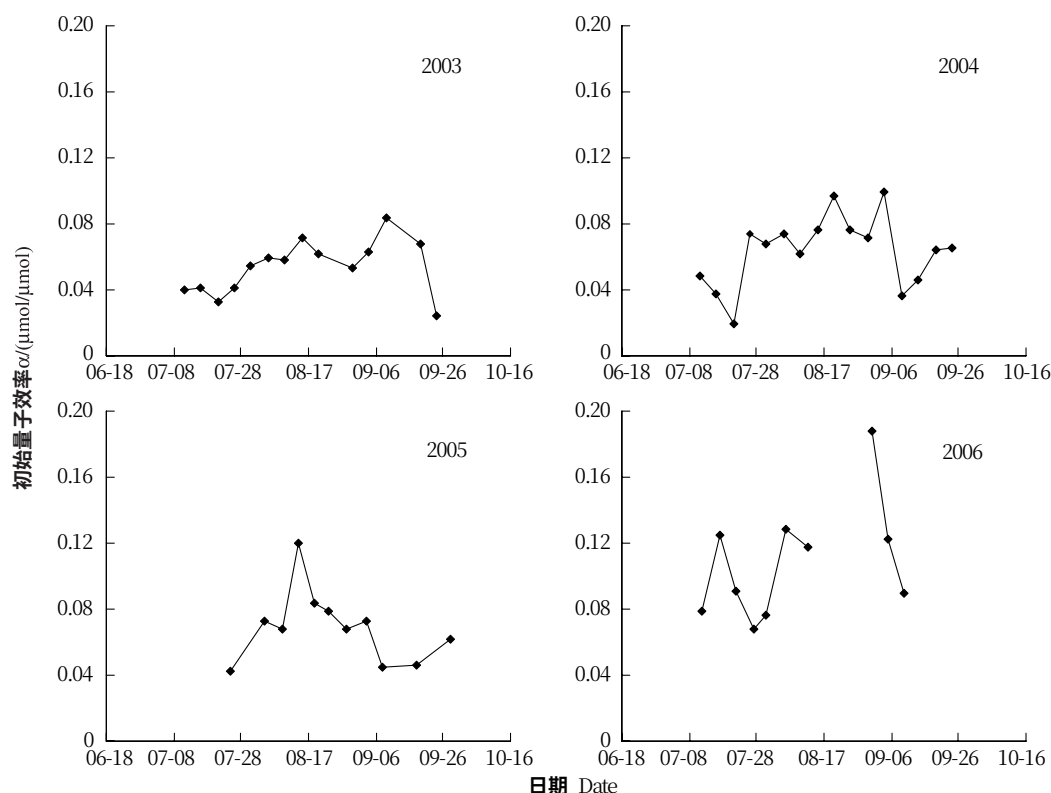


图 2 玉米田 α 值变化特征 (2003—2006 年)

Fig. 2 Seasonal variation of α in the maize field from 2003 to 2006

2.2.2 $P_{\max}$ 的变化特征

植物最大光合速率 ($P_{\max}$) 是植物生理活动旺盛与否的标志之一。夏玉米田生态系统的 $P_{\max}$ 变化特征见图 3。夏玉米苗期 (7 月初) LAI 较小, $P_{\max}$ 较低。进入拔节期, 随着 LAI 增加, $P_{\max}$ 很快上升。最大 $P_{\max}$ 通常出现在 8 月中上旬, 而此时夏玉米的 LAI 也进入最大时期。2003、2004、2005 和 2006 年最大 $P_{\max}$ 分别为 4.07、4.02、3.34 和 6.00 $\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。进入灌浆期, 随着夏玉米下部叶片逐渐衰老脱落, 冠层光合能力下降, $P_{\max}$ 降低。2005 年夏玉米田 $P_{\max}$ 在小范围内波动, 其变化特征不如其它年份明显 (图 3), 可能是该年玉米品种不同于其它年份所致 (表 1)。观测期间夏玉米生长季平均 $P_{\max}$ 范围在 1.72—2.93 $\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 高于 Miglietta 等^[27]、Glenn 等^[28] 对玉米冠层的观测结果。不同地区作物品种、田间管理和气候环境条件的差别可能是导致

上述差异的主要原因。

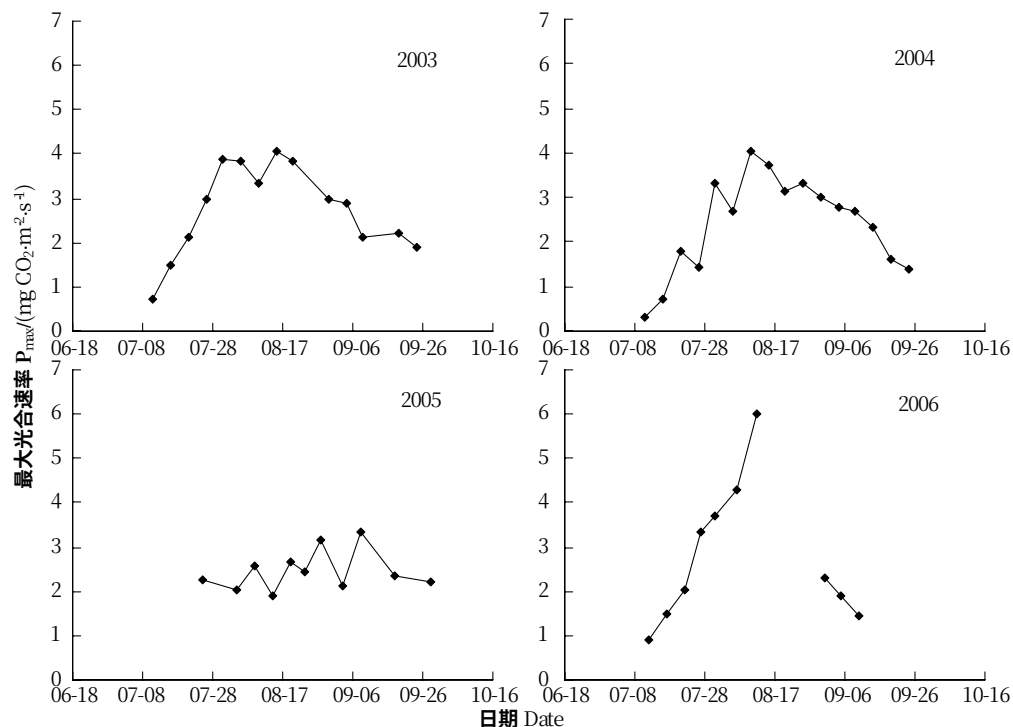


图3 夏玉米田 $P_{\max}$ 变化特征(2003—2006 年)

Fig. 3 Seasonal patterns of $P_{\max}$ in the maize field from 2003 to 2006

2.2.3 R_d 的变化特征

夏玉米田暗呼吸速率(R_d)的变化特征见图4。 R_d 前期随 LAI 的增加而增加,后期随 LAI 的下降而减少。

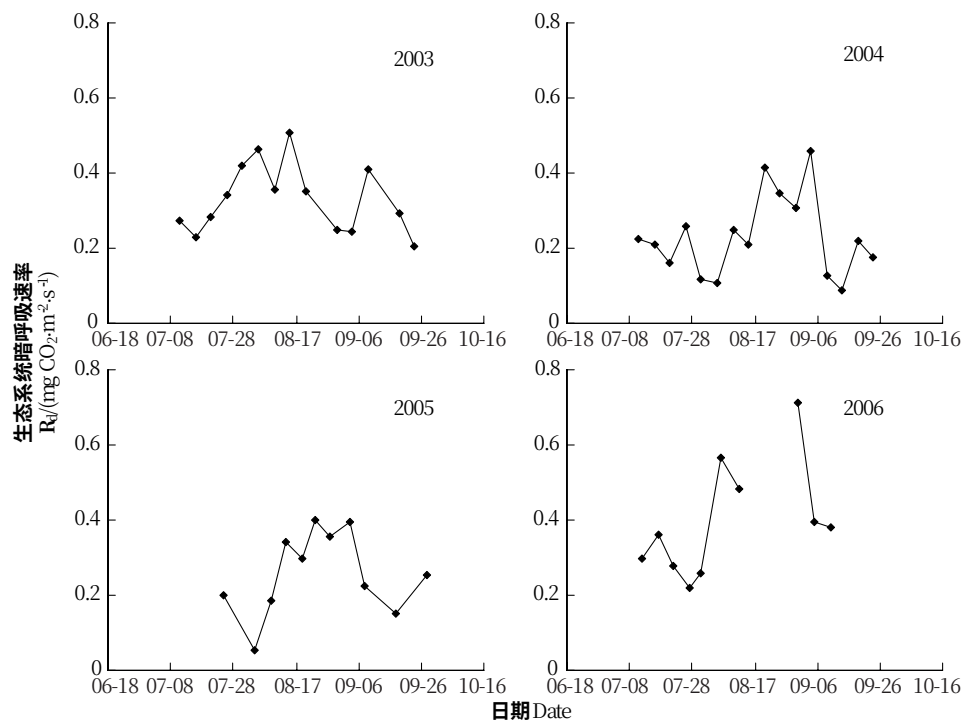


图4 夏玉米田 R_d 变化特征(2003—2006 年)

Fig. 4 Seasonal variation of R_d in the maize field from 2003 to 2006

2003、2004、2005 和 2006 年最大 R_d 分别为 0.510、0.461、0.399 和 0.714 $\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 一般出现在 8 月中旬—9 月初。2003—2006 年平均 R_d 范围在 0.23—0.38 $\text{mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与 2004、2005 年相比, 2003 和 2006 年夏玉米生长季 LAI 比较大(表 2), 地上植株和植物根系的呼吸速率较大, 因而 R_d 较高。

2.3 光合作用的变化特征

夏玉米田总初级生产力(GPP)的变化特征见图 5。玉米出苗后, 随 LAI 增加, 冠层光合能力不断增加, 到 8 月上中旬 GPP 达到最大。之后, 随着叶片衰老, GPP 不断下降, 到成熟时下降到较低水平。观测期间夏玉米田最大 GPP 范围在 15.40—25.66 $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 低于 Turner 等^[29]和 Suyker 等^[26,30]在玉米田的观测结果。2003、2004、2005 和 2006 年玉米生育期平均 GPP 分别为 7.61、7.57、5.86、8.88 $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。4a 中, 2006 年玉米季温度最高, 其 GPP 也最大(表 2 和图 5)。与其他年份相比, 2005 年 GPP 最低。这主要是 2005 年较低的土壤水分抑制了作物的生长造成的(表 2 和图 5)。2003、2004、2005 和 2006 年玉米季 GPP 总量分别为 806.2、741.5、703.0、817.4 $\text{g C}/\text{m}^2$, 年际差异较大。与 Suyker 等^[30]在春玉米田的观测结果相比, 本实验观测的夏玉米田 GPP 总量较小。这主要是不同研究中玉米品种、土壤与气候条件等存在差异造成的。

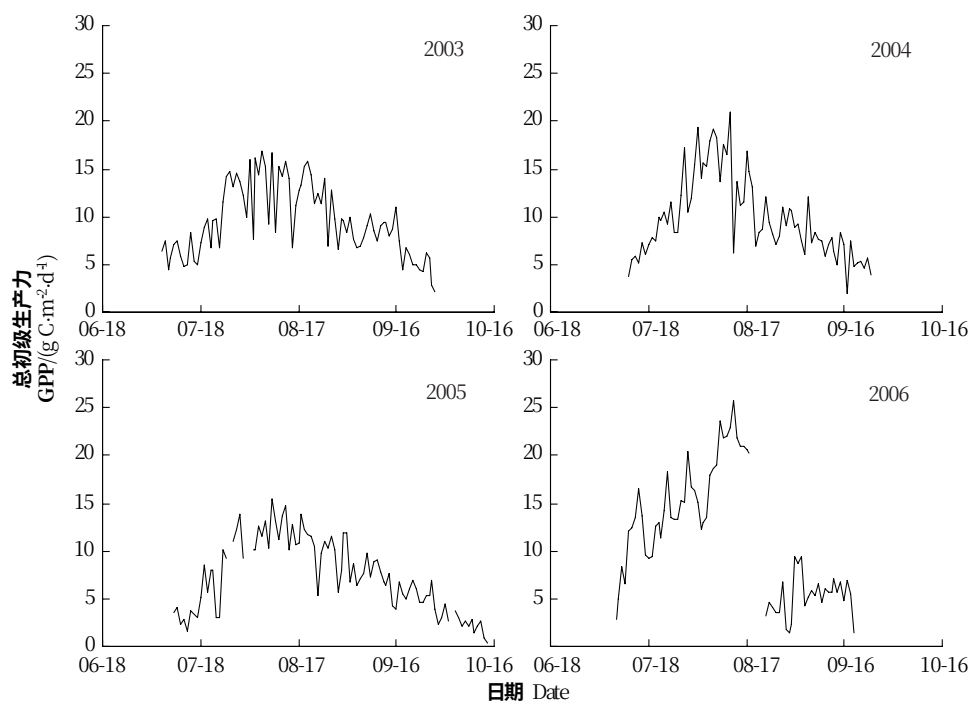


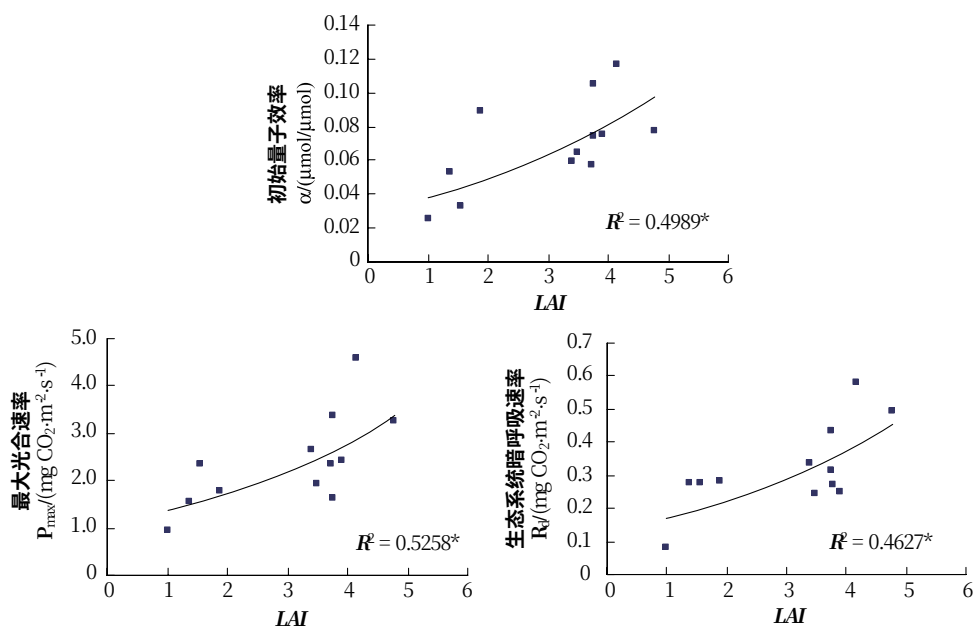
图 5 夏玉米田 GPP 变化特征(2003—2006 年)

Fig. 5 Seasonal variation of GPP in the maize field from 2003 to 2006

2.4 光合参数、 GPP 的影响因子

2.4.1 LAI 对光合参数的影响

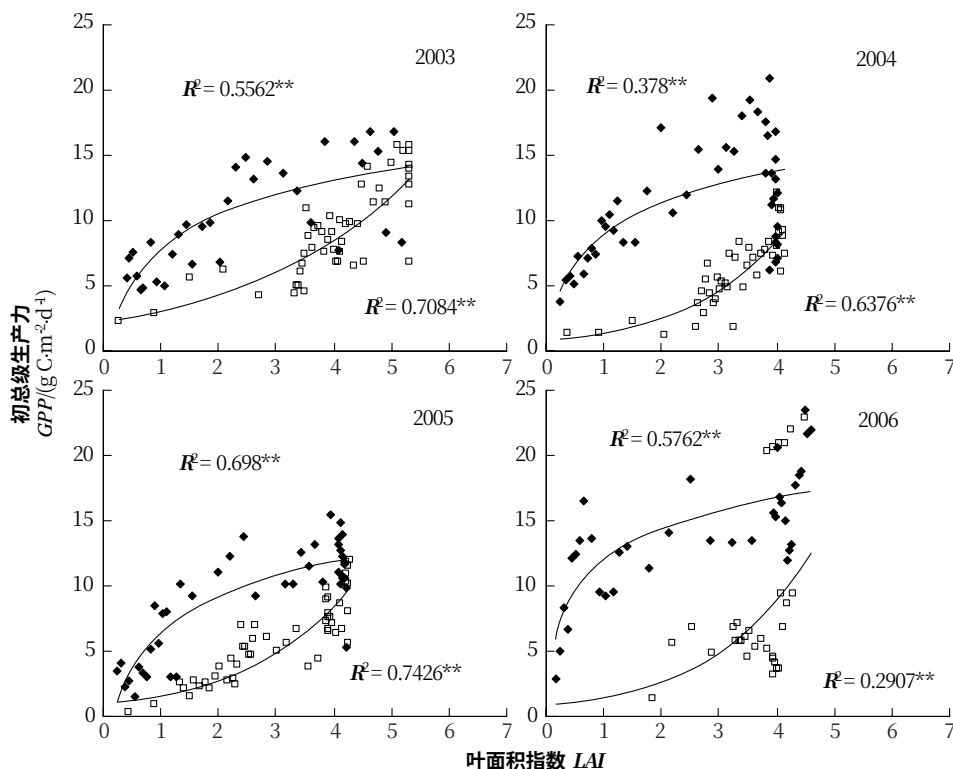
实验结果表明, 夏玉米田生态系统月平均 α 、 $P_{\max}$ 和 R_d 均随 LAI 增加呈指数增长(图 6)。在夏玉米田, 约 50% 的 α 、 $P_{\max}$ 和 R_d 变化可由 LAI 来解释(图 6)。与本研究结果类似的是: 冬小麦田^[20]和向日葵冠层^[31]的 α 值也随 LAI 增加而增大。不过前者 α 值与 LAI 呈线性关系^[20], 后者 α 值与 LAI 的关系可由直角双曲线方程描述^[31]。通常, 到达地表的弱光主要由散射光构成。 LAI 小时玉米植株低矮, 冠层结构稀疏, 对散射光的吸收较少。 LAI 较大时, 良好的冠层结构有利于植物吸收来自各个方向的散射光^[20]。因此, 长时间维持较高的 LAI 对提高生态系统光合作用和碳吸收具有重要的作用。李俊等^[20]的研究表明, 农田生态系统呼吸与温度具有明显的相关关系。本实验中, 夏玉米生长季气温较高且变化范围较小, R_d 对温度的响应不明显, LAI 则成为影响 R_d 的主要因子(图 6)。

图 6 α , $P_{\max}$, R_d 与 LAI 的关系Fig. 6 Relationship between monthly α , $P_{\max}$, R_d and LAI in the maize field

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$; 图中数据点为 2003—2006 年 7—9 月各月数据拟合得出

2.4.2 LAI 对 GPP 的影响

实验结果表明(图 7), 夏玉米田生态系统的 GPP 随 LAI 增加而增加, 二者关系在营养生长期阶段可用直

图 7 玉米田 GPP 与 LAI 的关系(2003—2006 年)Fig. 7 Relationship between GPP and LAI in the maize field from 2003 to 2006

◆: 表示营养生长期阶段, □: 表示生殖生长期阶段; ** : $P < 0.01$

角双曲线方程来表示 ($P < 0.01$), 生殖生长阶段可用指数方程来表示 ($P < 0.01$) (图 7)。相同 LAI 下, 夏玉米营养生长阶段的 GPP 大于生殖生长阶段。究其原因可能与夏玉米生殖生长阶段叶片叶绿素含量降低^[32] 以及 9 月份温度下降有关。Suyker 等^[30] 发现营养生长至生殖生长中期玉米田 GPP 随 LAI 增加呈曲线增长, 生殖生长后期呈线性增长; 大豆营养生长期和生殖生长期的 GPP 均随 LAI 增加线性增长。在草地生态系统也发现了 GPP 与 LAI 间具有类似的正线性相关关系^[33-35]。

2.4.3 温度对 GPP 的影响

温度主要通过影响光合作用酶动力学过程来影响生态系统光合作用, 进而影响生态系统碳收支^[4,11]。农田生态系统光合作用与气温具有显著的正相关关系 (图 8)。玉米是喜温作物, 其 GPP 随气温的升高呈指数增加 (图 8)。2003、2004、2005 和 2006 年日平均气温分别可以解释夏玉米田生态系统 GPP 变化 43%、51%、34% 和 35%。温度较低时, 由于辐射强度比较弱, 光合作用会受到抑制。温度较高时, 太阳辐射比较强, 参与光合作用的酶活性较大, 于是提高了作物冠层的光合能力。张雷明等^[36] 对温带针阔混交林的研究也发现了类似的现象。

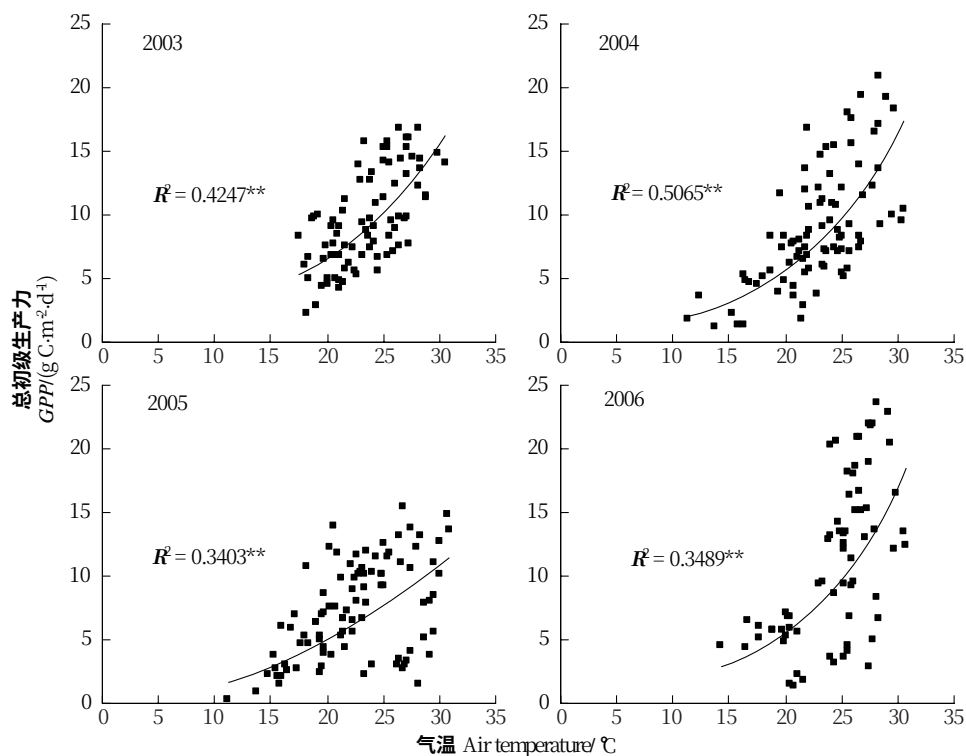


图 8 玉米田 GPP 与气温的关系 (2003—2006 年) (**; $P < 0.01$)

Fig. 8 Relationship between GPP and LAI in the maize field from 2003 to 2006

3 结论

在玉米田生态系统 CO_2 净吸收量随 PAR 的增加而增大, 两者关系可用直角双曲线方程来表示。光合参数和 GPP 随作物生长发育不断变化, 其峰值一般出现在玉米抽穗期/灌浆期, 且年际变化显著。2003—2006 年光合参数 α 、 P_{max} 、 R_d 范围分别在 0.054 — $0.124 \mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ 、 1.72 — $2.93 \text{ mg } CO_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 0.23 — $0.38 \text{ mg } CO_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; GPP 季节总量范围在 703.0 — $817.4 \text{ g C}/\text{m}^2$ 。

玉米田光合参数、 GPP 与 LAI 的相关性显著。 α 、 P_{max} 和 R_d 随 LAI 的增加呈指数增长。在玉米营养生长阶段, GPP 随 LAI 增加而增大, 两者之间的关系可用直角双曲线方程来表示; 生殖生长阶段, GPP 随 LAI 的降低而下降, 相同 LAI 下, 生殖生长阶段的 GPP 明显低于营养生长阶段。玉米田生态系统 GPP 随温度升高呈指数增长。

References:

- [1] Gilmanov T G, Verma S B, Sims P L, Meyers T P, Bradford J A, Burba G G, Suyker A E. Gross primary production and light response parameters of four Southern Plains ecosystems estimated using long-term CO₂-flux tower measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17 (2): 1071, doi:10.1029/2002GB002023.
- [2] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [3] Harley P C, Thomas R B, Reynolds J F, Strain B R. Modelling photosynthesis of cotton grown in elevated CO₂. *Plant Cell and Environment*, 1992, 15(3): 271-282.
- [4] Tuzet A, Perrier A, Leuning R. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant Cell and Environment*, 2003, 26(7): 1097-1116.
- [5] Baldocchi D, Valentini R, Running S, Oechel W, Dahlman R. Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 1996, 2(3): 159-168.
- [6] Aubinet M, Grelle A, Ibrom A, Rannik Ü, Moncrieff J, Foken T, Kowalski A S, Martin P H, Berbigier P, Bernhofer C, Clement R, Elbers J, Granier A, Grünwald T, Morgenstern K, Pilegaard K, Rebmann C, Snijders W, Valentini R, Vesala T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research*, 2000, 30: 113-175.
- [7] Hall F G, Townshend J R, Engman E T. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51(1): 138-156.
- [8] Running S W, Baldocchi D D, Turner D P, Gower S T, Bakwin P S, Hibbard K A. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(1): 108-127.
- [9] Wylie B K, Johnson D A, Laca E, Saliendra N Z, Gilmanov T G, Reeds B C, Tieszen L L, Worstell B B. Calibration of remotely sensed, coarse resolution NDVI to CO₂ fluxes in a sagebrush-steppe ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(2): 243-255.
- [10] Falge E, Baldocchi D, Tenhunen J, Aubinet M, Bakwin P, Berbigier P, Bernhofer C, Burba G, Clement R, Davis K J, Elbers J A, Goldstein A H, Grelle A, Granier A, Gudmundsson J, Hollinger D, Kowalski A S, Katul G, Law B E, Malhi Y, Meyers T, Monson R K, Munger J W, Oechel W, Kyaw T P U, Pilegaard K, Rannik Ü, Rebmann C, Suyker A, Valentini R, Wilson K, Wofsy S. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113(1/4): 53-74.
- [11] Greco S, Baldocchi D D. Seasonal variations of CO₂ and water vapour exchange rates over a temperate deciduous forest. *Global Change Biology*, 1996, 2(3): 183-197.
- [12] Baldocchi D. Measuring and modelling carbon dioxide and water vapour exchange over a temperature broad-leaved forest during the 1995 summer drought. *Plant Cell and Environment*, 1997, 20(9): 1108-1122.
- [13] Carrara A, Janssens I A, Yuste J C, Ceulemans R. Seasonal changes in photosynthesis, respiration and NEE of a mixed temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 126(1/2): 15-31.
- [14] Ruimy A, Jarvis P G, Baldocchi D D, Saugier B. CO₂ fluxes over plant canopies and solar radiation: a review. *Advances in Ecological Research*, 1995, 26: 1-68.
- [15] Hollinger D Y, Kelliher F M, Schulze E D, Bauer G, Arneth A, Byers J N, Hunt J E, McSeveny T M, Kobak K I, Milukova I, Sogatchev A, Tatarinov F, Varlargin A, Ziegler W, Vygodskaya N N. Forest-atmosphere carbon dioxide exchange in eastern Siberia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, 90(4): 291-306.
- [16] Falge E, Baldocchi D, Olson R, Anthoni P, Aubinet M, Bernhofer C, Burba G, Ceulemans R, Clement R, Dolman H, Granier A, Gross P, Grünwald T, Hollinger D, Jensen N O, Katul G, Keronen P, Kowalski A, Lai C T, Law B E, Meyers T, Moncrieff J, Moors E, Munger J W, Pilegaard K, Rannik Ü, Rebmann C, Suyker A, Tenhunen J, Tu K, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 107(1): 43-69.
- [17] Xu L L, Zhang X Z, Shi P L, Yu G R. Establishment of apparent quantum yield and maximum ecosystem assimilation on Tibetan Plateau alpine meadow ecosystem. *Science in China Series D (Earth Sciences)*, 2004, 34(Supp. II): 125-130.
- [18] Zhang L M, Yu G R, Sun X M, Wen X F, Ren C Y, Fu Y L, Li Q K, Li Z Q, Liu Y F, Guan D X, Yan J H. Seasonal variations of ecosystem apparent quantum yield (α) and maximum photosynthesis rate ($P_{\max}$) of different forest ecosystems in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 137(3/4): 176-187.
- [19] Webb E K, Pearman G, Leuning R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1980, 106(447): 85-100.
- [20] Li J, Yu Q, Sun X M, Tong X J, Ren C Y, Wang J, Liu E M, Zhu Z L, Yu G R. Carbon dioxide exchange and the mechanism of environmental

- control in a farmland ecosystem in North China Plain. *Science in China Series D (Earth Sciences)*, 2006, 36 (Supp. I): 210-223.
- [21] Tong X J, Li J, Zhang X S, Yu Q, Qin Z, Zhu Z L. The mechanism and bio-environmental controls of ecosystem respiration in a cropland in the North China Plains. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2007, 50(5): 1347-1358.
- [22] Puckridge D W, Ratkowsky D A. Photosynthesis of wheat under field conditions. IV. The influence of density and leaf area index on the response to radiation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1971, 22(1): 11-20.
- [23] Wall G W, Kanemasu E T. Carbon dioxide exchange rates in wheat canopies. Part I. Influence of canopy geometry on trends in leaf area index, light interception and instantaneous exchange rates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1990, 49(2): 81-102.
- [24] Baldocchi D. A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C₃(wheat) and an open C₄(corn) crop: II. CO₂ exchange and water use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1994, 67(3/4): 291-321.
- [25] Ma R, Yu Q, Xie X Q, Li Y S. Physiological responses of summer maize to meteorological factors. *Progress in Geography*, 1998, 17(Supp.): 268-275.
- [26] Suyker A E, Verma S B, Burba G G, Arkebauer T J, Walters D T, Hubbard K G. Growing season carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 124(1/2): 1-13.
- [27] Miglietta F, Gioli B, Hutjes R W A, Reichstein M. Net regional ecosystem CO₂ exchange from airborne and ground-based eddy covariance, land-use maps and weather observations. *Global Change Biology*, 2007, 13(3): 548-560.
- [28] Glenn A J, Amiro B D, Tenuta M, Stewart S E, Wagner-Riddle C. Carbon dioxide exchange in a northern Prairie cropping system over three years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(7/8): 908-918.
- [29] Turner D P, Urbanski S, Bremer D, Wofsy S C, Meyers T, Gower S T, Gregory M. A cross-biome comparison of daily light use efficiency for gross primary production. *Global Change Biology*, 2003, 9(3): 383-395.
- [30] Suyker A E, Verma S B, Burba G G, Arkebauer T J. Gross primary production and ecosystem respiration of irrigated maize and irrigated soybean during a growing season. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 131(3/4): 180-190.
- [31] Luo Y Q, Hui D F, Cheng W X, Coleman J S, Johnson D W, Sims D A. Canopy quantum yield in a mesocosm study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 100(1): 35-48.
- [32] Viña A, Gitelson A A, Rundquist D C, Keydan G, Leavitt B, Schepers J. Monitoring maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing. *Agronomy Journal*, 2004, 96(4): 1139-1147.
- [33] Flanagan L B, Wever L A, Carlson P J. Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland. *Global Change Biology*, 2002, 8(7): 599-615.
- [34] Xu L K, Baldocchi D D. Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 123(1/2): 79-96.
- [35] Li S G, Asanuma J, Eugster W, Kotani A, Liu J J, Urano T, Oikawa T, Davaa G, Oyunbaatar D, Sugita M. Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*, 2005, 11(11): 1941-1955.
- [36] Zhang L M, Yu G R, Sun X M, Wen X F, Ren C Y, Song X, Liu Y F, Guan D X, Yan J H, Zhang Y P. Seasonal variation of carbon exchange of typical forest ecosystems along the eastern forest transect in China. *Science in China Series D (Earth Sciences)*, 2006, 36 (Supp. I): 45-59.

参考文献:

- [17] 徐玲玲, 张宪洲, 石培礼, 于贵瑞. 青藏高原高寒草甸生态系统表现量子产额和表观最大光合速率的确定. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2004, 34(增刊 II): 125-130.
- [20] 李俊, 于强, 孙晓敏, 同小娟, 任传友, 王靖, 刘恩民, 朱治林, 于贵瑞. 华北平原农田生态系统碳交换及其环境控制机制. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2006, 36(增刊 I): 210-223.
- [25] 马瑞, 于强, 谢贤群, 李运生. 夏玉米生理因子对气象要素响应模拟. *地理科学进展*, 1998, 17(增刊): 268-275.
- [36] 张雷明, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发, 任传友, 宋霞, 刘允芬, 关德新, 闫俊华, 张一平. 中国东部森林样带典型生态系统碳收支的季节变化. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2006, 36(增刊 I): 45-59.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil $\delta^{15}\text{N}$ under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

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 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 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