

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

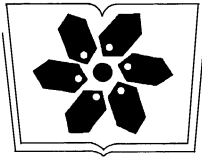
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

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

DOI: 10.5846/stxb201111211776

吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 杨今胜, 董树亭, 刘鹏, 李登海. 施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 0576-0585.

Lü P, Zhang J W, Liu W, Yang J S, Dong S T, Liu P, Li D H. Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0576-0585.

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响

吕 鹏^{1,2}, 张吉旺^{1,*}, 刘 伟¹, 杨今胜³, 董树亭¹, 刘 鹏¹, 李登海³

(1. 作物生物学国家重点实验室/山东农业大学农学院, 泰安 271018; 2. 德州市农业科学研究院, 德州 253015;

3. 山东省玉米育种与栽培技术企业重点实验室, 莱州 261448)

摘要: 选用登海 661 (DH661) 和郑单 958 (ZD958) 为试验材料, 研究了高产条件下施氮时期对高产夏玉米光合特性、产量和氮素利用率的影响。结果表明, 分次施氮尤其是增加花后施氮较拔节期一次性施氮可提高产量 9.3%—18.2%, 氮肥偏生产力提高 10.9%—17.5%。拔节期、大喇叭口期、花后 10 d 按 2:4:4 施氮, DH661 产量可达 14188.9 kg/hm²; 基肥、拔节期、大口期、花后 10d 按 1:2:5:2 施氮, ZD958 产量可达 14529.6 kg/hm²。分次施氮较一次性施氮可延长灌浆期 LAI 高值持续期。花后施氮 20%—40% 较一次性施氮穗位叶 P_n 、 Φ_{PSII} 、NPQ 和 ETR 分别提高了 10.8%—24.1%, 16.6%—25.1%、29.2%—45.3% 和 14.4%—25.8%, 并保持了灌浆期 RuBPCase 和 PEPCase 较高活性, 延缓了叶片衰老, 提高了光能利用率。DH661 较 ZD958 在相同的施氮方式下花后具有更高的光合性能。分次施氮及花后施氮可显著改善两个高产夏玉米品种光合特性, 提高氮素利用率, 提高产量。

关键词: 夏玉米; 施氮时期; 光合特性; 产量

Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions

LÜ Peng^{1,2}, ZHANG Jiwang^{1,*}, LIU Wei¹, YANG Jinsheng³, DONG Shuting¹, LIU Peng¹, LI Denghai³

1 State Key Laboratory of Crop Biology/College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018, China

2 Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253015, Shandong, China

3 Key Laboratory of Breeding and Cultivation Techniques in Maize, Shandong Province Enterprise, Shandong 261448, China

Abstract: Recently, the study of issues related to maize production such as excessive nitrogen application and ineffective application strategies have become common in the pursuit of high yield. Since high nitrogen application rates used to produce high yields wastes resources and causes pollution, nitrogen application for summer maize should be managed scientifically. We studied the effects of timing and rates of nitrogen application on the photosynthetic characteristics, grain yield and nitrogen use efficiency under super-high yield conditions using the maize cultivars Denghai661 (DH661) and Zhengdan958 (ZD958). The results show the yield and nitrogen partial factor productivity of these two cultivars increased 9.3%—18.2% and 10.9%—17.5%, respectively, with an incrementally delayed timing of nitrogen application and especially when nitrogen was applied after anthesis. The yield of DH661 was 14188.9 kg/hm², when the nitrogen fertilizers were applied with a ratio of 2:4:4 at the jointing, male tetrad and grain filling stages, respectively. The yield of ZD958 was 14529.6 kg/hm², when nitrogen fertilizers were applied with a ratio of 1:2:5:2 as the base fertilizer and at the jointing, male tetrad and grain filling stages, respectively. At times applied nitrogen could increase the total nitrogen accumulation

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2009CB118602); 山东省现代农业产业技术体系; 公益性行业 (农业) 科研专项 (HY201203100); 国家粮食丰产科技工程课题 (2011BAD16B09); 山东省玉米良种工程项目 (鲁农良种 2010-6) 资助

收稿日期: 2011-11-21; 修订日期: 2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jwzhang@sdau.edu.cn

(TNA), nitrogen accumulation of grain (NAG), nitrogen harvest index (NHI) and nitrogen partial factor productivity (NPFP) significantly. NAG of DH661 and ZD958 were higher than NAG levels found with other methods of supplying nitrogen when nitrogen was applied using methods the ratios of 2:4:4 and 3:5:2, as described above. NPFP increased 13.0% and 15.8% with nitrogen applied after anthesis compared to a single nitrogen application at the jointing stage for DH661 and ZD958, respectively. The functional duration of the leaf area index was prolonged with the incremental increase of nitrogen application times. After anthesis plants could retain a large photosynthetic area with this nitrogen application method. Net photosynthetic rate (P_n), actual quantum yield of PS II electron transport (Φ_{psII}), non-photochemical quenching (NPQ) and electron transport rate (ETR) of ear leaves increased by 10.8%—24.1%, 16.6%—25.1%, 29.2%—45.3% and 14.4%—25.8%, respectively, with 20%—40% of the nitrogen applied after anthesis compared to a single nitrogen application. This treatment could also keep the activities of RuBPCase and PEPCase at a high level for a longer period of time. The activities of RuBPCase and PEPCase increased by 5.8%—12.8% and 6.9%—17.8%, respectively, when 20%—40% of the nitrogen was applied after anthesis compared to a single nitrogen application at the jointing stage. Applying nitrogen after anthesis increased the solar energy utilization rate as well as protected the leaves and could prolong the functional duration of photosynthesis compared with a single nitrogen application at the jointing stage. P_n of DH661 compared to P_n of ZD958 increased 22.7% and 17.4% at 40 and 54 days after anthesis, respectively. Φ_{psII} of DH661 compared to Φ_{psII} of ZD958 increased by 11.3% at 40 days after anthesis. So DH661 had higher photosynthetic ability than ZD958 under the same nitrogen application method after anthesis. In conclusion, careful timing of nitrogen application and applying nitrogen after anthesis could improve the photosynthetic characteristics, increase nitrogen use efficiency and grain yield of summer maize. Under experimental field conditions, as far as grain yield and nitrogen use efficiency are concerned, the jointing stage (20%), male tetrad stage (40%) and grain filling stage (40%) for DH661 and base fertilizer (10%), jointing stage (20%), male tetrad stage (50%) and grain filling stage (20%) for ZD958 are the optimal nitrogen application stages and ratios.

Key Words: summer maize (*Zea mays* L.); nitrogen application stages; photosynthetic characteristics; yield

氮作为夏玉米必须营养元素,对器官建成、根冠发育、光合作用和源库关系等有重要影响^[1]。前人关于氮素对玉米光合特性的影响已有大量报道^[2-3]。随施氮量增加,功能叶片的 P_n 、叶绿素含量、可溶性蛋白含量、Hill 反应活性、 Ca^{2+} -ATPase 活性、 Mg^{2+} -ATPase 活性和 PEPCase 活性均不断增大^[4]。在一定范围内,玉米叶片的叶绿素含量和光合速率与叶片含氮量呈正相关,氮素供应失调导致光合能力下降^[5],同时有研究指出,施氮后光系统 II (PS II) 和光系统 I (PS I) 两个光系统性能的改善及二者协调性的提高增强了光合电子传递性能是灌浆期 P_n 升高与产量增加的主要原因^[6]。

目前,我国玉米生产中存在氮肥施用过量,施氮方式不合理的问题^[7]。黄淮海区域典型玉米高产区施氮量为 433.5—556.9 kg/hm²,平均用量 457.9 kg/hm²^[8]。一般生产大田中,农民通常在拔节期一次性施氮,这种方式极易造成“烧苗”,且易造成灌浆期氮素亏缺^[9]。生育后期缺氮可导致叶肉细胞叶绿体结构变差,营养器官氮素再分配率增大,引起叶片早衰,同时伤害 PS II 与 PS I 之间的电子传递链以及 PS II 反应中心供体侧和受体侧,从而造成产量下降^[10]。因此对于高产夏玉米进行科学的氮肥管理已势在必行^[11]。陈国庆等^[12]研究了不同施氮量对高产夏玉米冠层的高光谱特征,但目前关于氮素运筹方式对高产夏玉米光合特性的影响鲜见报道。本试验旨在探明施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响,为高产夏玉米的氮素管理和夏玉米专用缓控释肥的研发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2008—2009 年在山东农业大学试验农场进行。2008 和 2009 年降水量分别为 477.1 和 459.1

mm, 平均气温分别为 22.4℃ 和 23.8℃, 日照时数分别为 770.5 h 和 813.0 h。土壤为棕壤, 其 0—20 cm 土层基础肥力分别为: 有机质 8.81 和 9.21 g/kg, 全氮 0.87 和 0.94 g/kg, 碱解氮 86.9 和 86.9 mg/kg, 速效磷 52.65 和 57.43 mg/kg, 速效钾 129.42 和 113.45 mg/kg。试验材料为郑单 958 (ZD958) 和登海 661 (DH661), 郑单 958 是我国目前第一大主推品种, 登海 661 为 2005 年李登海创造 21043 kg/hm² 夏玉米高产记录的品种^[13]。前茬作物为冬小麦, 6 月 12 日播种, 10 月 5 日收获, 足墒播种, 全生育期无灌溉。种植密度 75000 株/hm², 等行距种植, 行距 60 cm, 小区面积 100 m², 3 次重复, 随机排列。设置 6 个试验处理, T1 为不施氮处理, T2 为一次性施氮处理, T4、T5 为 3 次施氮处理, T6 为 4 次施氮处理, 施氮量为纯氮 360 kg/hm², 肥料为含氮量 46% 尿素, 具体施氮时期及施氮比例见表 1。各处理均施 P₂O₅ 120 kg/hm² (过磷酸钙 857 kg/hm²)、K₂O 240 kg/hm² (氯化钾 400 kg/hm²), 分别于播种前和拔节期各施入 50%, 按高产田进行田间管理。

表 1 施氮时期及施氮比例

Table 1 Nitrogen application stages and nitrogen application ratio

处理 Treatments	基肥 Basal	追肥 Top dressing		
		拔节期 V6	10 叶期 V10	开花后 10 d 10d after anthesis
T1	0	0	0	0
T2	0	100	0	0
T3	0	40	60	0
T4	0	30	50	20
T5	0	20	40	40
T6	10	20	50	20

V6: Vegetative sixth leaf; V10: Vegetative tenth leaf

1.2 测定项目及方法

1.2.1 产量测定

成熟期, 每小区收获 3 行玉米, 共 30 个果穗, 调查穗部性状, 测定出籽率和含水率, 计算产量 (按 14% 折算含水率)。

1.2.2 植株氮素积累测定

成熟期取长势均匀一致的植株 5 株分为叶片、茎鞘、籽粒, 105℃ 杀青, 75℃ 烘干至恒重, 称重后磨粉、测定分析。植株各部位全 N 含量采用半微量凯氏定氮法测定^[14]。

氮素收获指数 (NHI, %) = 籽粒吸氮量 / 植株吸氮量 × 100^[15]

氮肥偏生产力 (NPFP, kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量^[15]

1.2.3 叶面积 (LAI) 及光合色素含量测定

分别于 10 叶期 (V10), 抽雄期 (VT), 花后 14 d, 28 d, 42 d, 收获期 (R6) 测定叶面积, 参照 Arnon^[16] 的方法测定叶片光合色素含量, 测定样品为 2009 年试验材料。

1.2.4 净光合速率 (P_n) 及叶绿素荧光参数测定

采用美国 LI-COR 公司 LI-6400 光合测定系统测定净光合速率 (P_n), 开放式气路, 冠层果穗叶附近 CO₂ 浓度 360—380 μmol/mol, 应用系统 LED 光源补光, 光量子通量为 1400 μmol · m⁻² · s⁻¹, 选择晴天条件下 10:00—14:00 测定。2008 年测定时间分别为开花后 10、24、38、52, 2009 年测定时间分别为 10、26、40、54 d。

采用英国 Hansatech 公司 FMS-2 脉冲调制式荧光仪测定叶绿素荧光参数, 包括光适应下的最大荧光 ($F_{m'}$)、稳态荧光 (F_s), 暗适应 30 min 后的初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m)。可得 PS II 的实际光化学效率 Φ_{PSII} 、PS II 的最大光化学效率 (F_v/F_m)、电子传递速率 ETR 及非光化学淬灭系数 NPQ。 $\Phi_{PSII} = (F_{m'} - F_s) / F_{m'}$, $NPQ = F_m / F_{m'} - 1$, $ETR = \Phi_{PSII} \times PFD \times 0.5 \times 0.84$ 。净光合速率与叶绿素荧光参数同时测定。

1.2.5 二磷酸核酮糖羧化酶(RuBPCase)和磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPCase)活力测定

根据 Racker^[17]的方法提取酶液,准确称取叶片 0.5 g,置预冷冻过的研钵中,加少量预冷的酸洗石英砂和 2.5 mL 提取液(0.1 mol/L Tris-HCl pH 值 8.4 缓冲液,内含 10 mmol/L MgCl₂、7 mmol/L β-巯基乙醇、1 mmol/L EDTA、5% 甘油和 1% PVP),冰浴下研磨至匀浆,倒入离心管,4 ℃ 下 15000×g 离心 10 min,上清液即为酶提取液,测定样品为 2009 年试验材料。

RuBPCase 活性测定的反应混合液共 3.0 mL 包括 1 mmol/L Tris-HCl (pH 值 8.0)、0.1 mol/L MgCl₂、50 mmol/L ATP、50 mmol/L DTT、2 mmol/L NADH 和 1 mmol/L EDTA 各 0.3 mL、200 μmol/L NaHCO₃ 溶液 0.1 mL、3-磷酸甘油酸激酶/3-磷酸甘油醛脱氢酶(15 U/15 U)溶液 0.1 mL、蒸馏水 0.8 mL 30 ℃ 恒温水浴 10 min,加 9 mmol/L 的 RuBP 溶液 0.1 mL,最后加酶提取液 0.1 mL 启动反应,立刻在 340 nm 下测定反应混合液吸光度的变化。PEPCase 活性测定根据施教耐等^[18]的方法,反应混合液共 3.0 mL 包括 100 mmol/L Tris-HCl 缓冲液(pH 值 9.2)1 mL、10 mmol/L MgCl₂ 溶液 0.1 mL、10 mmol/L NaHCO₃ 溶液 0.1 mL、1 g/L NADH 溶液 0.3 mL、50 U/mL 苹果酸脱氢酶 0.3 mL、蒸馏水和酶提取液各 0.5 mL 于 28 ℃ 下水浴 10 min,最后加 40 mmol/L PEP 溶液 200 μL 启动反应,立刻在 340 nm 下测定反应混合液吸光度的变化。

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮时期对夏玉米叶面积指数(LAI)的影响

施氮显著提高夏玉米 LAI,分次施氮较 T2 显著提高 LAI。各处理 VT 时期 LAI 达到最大,开花后 T5、T6 LAI 显著高于 T1、T2。DH661 成熟期 T6 的 LAI 较 T1、T2 分别提高了 12.6% 和 7.6%。ZD958 成熟期 T5 的 LAI 较 T1、T2 分别提高了 21.9%、8.1%。可见分次施氮延长了 LAI 高值持续期,延缓了叶片衰老(表 2)。

表 2 施氮时期对夏玉米叶面积指数的影响(2009)

Table 2 Effects of nitrogen application stages on leaf area index of summer maize

品种 Cultivars	处理 Treatments	生育时期 Growth stages					
		10 叶期 V10	抽雄期 VT	花后 14 d 14 days after anthesis	花后 28 d 28 days after anthesis	花后 42 d 42 days after anthesis	成熟期 R6
DH661	T1	3.57b	5.78a	5.70a	5.32b	5.23c	4.77c
	T2	3.75a	5.48b	5.43b	5.27c	5.26c	4.99b
	T3	3.85a	5.73a	5.73a	5.66a	5.45b	5.15ab
	T4	4.08a	5.82a	5.82a	5.64a	5.46b	5.25a
	T5	4.10a	5.90a	5.90a	5.76a	5.61a	5.36a
	T6	4.05a	5.86a	5.85a	5.77a	5.49ab	5.37a
ZD958	T1	3.63a	5.24c	5.22c	4.96b	4.52c	4.16b
	T2	3.47b	5.62b	5.46c	5.09b	4.80b	4.69b
	T3	3.31b	6.06a	5.90a	5.11b	5.05a	4.76ab
	T4	3.74a	5.82b	5.68b	5.16b	5.10a	4.88a
	T5	3.78a	5.79b	5.77a	5.32ab	5.19a	5.07a
	T6	3.68a	6.10a	5.73ab	5.46a	5.05a	4.98a

同列不同字母表示差异达 5% 显著水平

2.2 施氮时期对功能叶光合色素含量的影响

由表 3 可以看出,施氮处理较 T1 显著提高叶绿素 a 和叶绿素(a+b)含量,开花后施氮处理间花后叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的影响不显著。DH661 和 ZD958 叶绿素 a 和叶绿素(a+b)含量均在花后 14 d T4 处理下达到最大,T4 叶绿素 a 较 T2 分别提高了 12.8% 和 15.4%,叶绿素(a+b)较 T2 分别提高了 11.6% 和 16.4%。花后 28 d 两品种叶绿素(a+b)含量有所下降,在不同的施氮方式下功能叶的叶绿素(a+b)含量差异不显著,两品种变化趋势一致。

表 3 施氮时期对功能叶光合色素的影响(2009)

Table 3 Effects of nitrogen application stages on photosynthetic pigment content of ear leaves

生育时期 Growth stages	处理 Treatments	叶绿素 a Chl a /(mg/g 鲜重)		叶绿素 b Chl b /(mg/g 鲜重)		叶绿素 (a+b) Chl (a+b)/ (mg/g 鲜重)		类胡萝卜素 Carotenoid /(mg/g 鲜重)	
		DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958
10 叶期 V10	T1	3.39c	3.33b	0.76a	0.68c	4.15b	4.01b	0.45a	0.53a
	T2	3.36c	3.42b	0.83a	0.86b	4.19b	4.28a	0.49a	0.51a
	T3	3.72a	3.72a	0.80a	0.94a	4.52a	4.66a	0.50a	0.53a
	T4	3.45b	3.51ab	0.81a	0.88b	4.26b	4.39a	0.49a	0.55a
	T5	3.51b	3.54a	0.80a	0.76c	4.31ab	4.30a	0.49a	0.48a
	T6	3.58b	3.66a	0.84a	0.75c	4.42a	4.41a	0.46a	0.49a
抽雄期 VT	T1	3.48b	3.66b	0.95a	1.21a	4.43b	4.87b	0.48a	0.58ab
	T2	3.51b	3.75b	0.97a	1.04b	4.48b	4.79b	0.54a	0.59a
	T3	3.93a	4.05b	0.73b	1.03b	4.66ab	5.08b	0.45a	0.54b
	T4	3.78ab	4.35a	1.05a	1.20a	4.83a	5.55a	0.51a	0.63a
	T5	3.96a	3.93b	0.82b	1.19a	4.78a	5.12b	0.48a	0.60a
	T6	3.90a	3.93b	0.99a	1.06b	4.89a	4.99b	0.43a	0.56b
花后 14 d 14 days after anthesis	T1	3.45c	4.08a	1.38a	1.34ab	4.83b	5.42b	0.61b	0.63a
	T2	3.75b	3.69b	1.32a	1.26b	5.07b	4.95c	0.66ab	0.65a
	T3	4.20a	3.93a	1.25a	1.41a	5.45a	5.34b	0.55b	0.63a
	T4	4.23a	4.26a	1.43a	1.50a	5.66a	5.76a	0.71a	0.54a
	T5	3.96a	3.45b	1.37a	1.35a	5.33a	4.80c	0.65b	0.65a
	T6	3.87ab	3.99a	1.38a	1.31a	5.25a	5.30b	0.62b	0.66a
花后 28 d 28 days after anthesis	T1	3.63b	3.66a	0.88b	1.00b	4.51b	4.66b	0.54a	0.56a
	T2	3.69b	3.69a	1.04a	1.09a	4.73a	4.78ab	0.62a	0.61a
	T3	3.72b	3.87a	1.11a	1.13a	4.83a	5.00a	0.58a	0.59a
	T4	4.05a	3.81a	1.00a	1.06a	5.05a	4.87a	0.60a	0.59a
	T5	3.72b	3.87a	1.15a	1.20a	4.87a	5.07a	0.61a	0.64a
	T6	3.75b	3.72a	1.08a	1.09a	4.83a	4.81a	0.59a	0.59a

2.3 施氮时期对夏玉米叶片净光合速率的影响

施氮显著提高了叶片净光合速率(P_n)。花后 10 d T3 和 T6 的 P_n 显著高于 T1、T2;施氮后,花后 24 d 左右,DH661 的 T4 较 T1、T2 提高 34.2%、16.0%;ZD958 的 T6 较 T1、T2 提高 27.6%、27.5%。花后 52 d 左右两品种 T5 和 T6 处理 P_n 显著高于 T1、T2,DH661 的 T5 处理较 T1、T2 平均提高 16.8%、13.4%;ZD958 的 T5 处理较 T1、T2 平均提高 41.7%、33.2%(表 4)。

表 4 施氮时期对叶片净光合速率的影响/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Table 4 Effects of nitrogen application stages on net photosynthetic rate of ear leaves

品种 Cultivars	处理 Treatments	2008 年				2009 年			
		开花后天数 Days after anthesis/d				开花后天数 Days after anthesis /d			
		10	24	38	52	10	26	40	54
DH661	T1	19.54c	20.66d	20.76d	19.31b	22.00c	19.73c	18.33b	22.07b
	T2	20.21c	22.34c	22.42c	19.87b	24.01b	24.37b	24.00a	22.77b
	T3	23.31a	24.51b	24.13b	20.55ab	26.68a	24.82b	24.69a	25.67a
	T4	23.41a	25.73a	25.12b	19.78b	24.87b	28.49a	25.91a	26.68a
	T5	22.65b	27.78a	27.15a	21.66a	24.59b	24.45b	24.51a	26.69a
	T6	23.79a	26.22a	26.47a	22.24a	25.91a	26.54ab	25.58a	25.91a
ZD958	T1	20.71d	21.88d	18.34c	16.76c	24.45c	23.43b	14.78c	15.06b
	T2	22.65c	22.53d	18.21c	17.11c	25.45c	22.78b	17.69b	16.76b
	T3	25.77a	25.32c	20.33b	20.46a	32.57a	24.76b	17.81b	18.27b
	T4	23.49b	27.11b	25.45a	20.34a	32.34a	28.32ab	20.63a	23.60a
	T5	23.78b	29.63a	26.31a	19.53b	26.70c	26.99b	19.61a	25.58a
	T6	24.58ab	27.83b	25.42a	19.75ab	30.44b	30.03a	20.02a	24.43a

2.4 施氮时期对夏玉米叶片叶绿素荧光参数的影响

分次施氮 PS II 实际光化学效率 (Φ_{PSII})、非光化学猝灭系数 (NPQ) 及电子传递速率 (ETR) 较 T1、T2 显著提高, PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) 差异不显著, 两品种变化趋势一致。T4、T5、T6 处理 Φ_{PSII} 显著高于 T1、T2。两品种 T4、T5、T6 处理 NPQ 和 ETR 显著高于 T1、T2。NPQ 在花后 38 d 左右, DH661 的 T4 处理较 T1、T2 平均提高了 75.0%、54.8%, ZD958 的 T5 处理较 T1、T2 提高了 70.6%、28.3%。ETR 在花后 38 d 左右, DH661 和 ZD958 的 T5 较 T1、T2 平均提高了 49.5%、26.6% 和 19.9%、16.0% (表 5)。

表 5 施氮时期对叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 5 Effects of nitrogen application stages on chlorophyll fluorescence parameters of ear leaves

年份 Year	开花后天数 Days after anthesis/d	处理 Treatments	PS II 实际 光化学效率 Φ_{PSII}		PS II 最大 光化学效率 F_v/F_m		非光化学 猝灭系数 NPQ		电子传递速率 ETR	
			DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958
2008	24	T1	0.44b	0.40c	0.75b	0.72b	0.49d	0.47d	95.2c	86.5d
		T2	0.45b	0.43c	0.80a	0.75a	0.54c	0.60c	97.3c	93.0c
		T3	0.52ab	0.50b	0.79a	0.78a	0.60b	0.67b	112.5b	108.2b
		T4	0.56a	0.57a	0.77a	0.77a	0.64b	0.80a	121.1a	123.3a
		T5	0.57a	0.55a	0.78a	0.79a	0.75a	0.79a	123.3a	119.0a
		T6	0.57a	0.53ab	0.79a	0.77a	0.74a	0.73ab	123.3a	114.6a
	38	T1	0.40c	0.47c	0.74a	0.75a	0.43d	0.45d	86.5c	101.7c
		T2	0.47b	0.49c	0.73a	0.74a	0.54c	0.50c	101.7b	106.0c
		T3	0.49b	0.50b	0.75a	0.75a	0.67b	0.58b	106.0b	108.2c
		T4	0.59a	0.57a	0.73a	0.77a	0.75a	0.64ab	127.6a	123.3a
		T5	0.60a	0.58a	0.75a	0.78a	0.77a	0.66a	129.8a	125.5a
		T6	0.58a	0.56a	0.77a	0.75a	0.76a	0.67a	125.5a	121.1a
2009	26	T1	0.49b	0.38c	0.75a	0.75a	0.53c	0.42c	89.9c	69.7d
		T2	0.48b	0.47b	0.77a	0.76a	0.56c	0.60b	88.1c	86.3c
		T3	0.54ab	0.55ab	0.78a	0.76a	0.63b	0.77a	99.1b	100.9a
		T4	0.55a	0.50b	0.78a	0.77a	0.61b	0.79a	100.9b	91.8b
		T5	0.59a	0.58a	0.79a	0.77a	0.79a	0.83a	108.3a	106.5a
		T6	0.58a	0.53b	0.76a	0.75a	0.72a	0.72ab	106.5a	97.3b
	40	T1	0.43c	0.45c	0.78a	0.73b	0.49c	0.40c	78.9c	82.6c
		T2	0.51b	0.46c	0.81a	0.72b	0.50c	0.63b	93.6b	84.4c
		T3	0.53b	0.56a	0.79a	0.81a	0.76b	0.73a	97.3b	102.8a
		T4	0.63a	0.50b	0.80a	0.78a	0.86a	0.78a	115.6a	91.8b
		T5	0.64a	0.52ab	0.81a	0.79a	0.80a	0.79a	117.5a	95.4b
		T6	0.62a	0.49b	0.79a	0.78a	0.81a	0.78a	113.8a	89.9b

NPQ: non-photochemical quenching; ETR: and electron transport rate

2.5 施氮时期对夏玉米叶片 PEPCase 和 RuBPCase 活性的影响

开花后 PEPCase 和 RuBPCase 活性呈先升高后降低的趋势。开花前分次施氮显著提高了开花期 PEPCase 和 RuBPCase 活性, 开花期 ZD958 的 T3 处理 PEPCase 和 RuBPCase 活性显著高于 T1、T2。花后施氮后 PEPCase 和 RuBPCase 活性显著提高。DH661 在 T5 处理下, PEPCase 和 RuBPCase 活性分别在花后 28、14 d 达到峰值, 且显著高于其他处理, ZD958 与 DH661 的变化趋势一致。花后 42 d, DH661 在 T4、T5、T6 下 PEPCase 活性显著高于 T1、T2, 平均提高了 83.8% 和 20.6%; T4、T5、T6 下 RuBPCase 活性较 T1、T2 平均提高了 26.6% 和 15.5% (表 6)。

2.6 施氮时期对夏玉米产量和氮素积累利用的影响

分次施氮可以显著提高夏玉米籽粒产量及氮素在植株和籽粒中的积累。T2 较 T1 增产不显著, 平均 2a

试验结果 DH661 在 T5 处理产量最高,较 T1、T2 和 T3 分别平均增产 15.7%、14.5% 和 8.3%;ZD958 在 T6 处理产量最高,较 T1、T2 和 T3 分别平均增产 21.6%、17.4% 和 6.4%。分次施氮同时提高了植株总氮素积累量和籽粒吸氮量,其中对于籽粒吸氮量的提高更加显著,从而提高了氮素收获指数,DH661 和 ZD958 分别在 T5 和 T4 处理下籽粒吸氮量达到最大,较 T1、T2、T3 分别平均提高 61.8%、51.4%、36.4% 和 54.9%、21.9%、12.2%。分次施氮较一次性施氮显著提高了氮肥偏生产力,DH661 的 T3、T4、T5 较 T2 平均提高 10.9%、14.4%、13.6%,ZD958 的 T3、T4、T5 较 T2 平均提高 15.6%、14.3%、17.5% (表 7)。

表 6 施氮时期对叶片 PEPCase 和 RuBPCase 活性的影响

Table 6 Effects of nitrogen application stages on activities of PEPCase and RuBPCase in ear leaves

品种 Cultivars	处理 Treatments	PEPCase 活性 PEPCase activity /($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{鲜重} \cdot \text{min}^{-1}$)				RuBPCase 活性 RUBPCase activity /($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{鲜重} \cdot \text{min}^{-1}$)			
		开花后天数 Days after anthesis /d				开花后天数 Days after anthesis/d			
		0	14	28	42	0	14	28	42
DH661	T1	21.10c	19.84c	17.99c	16.75d	8.74b	10.82c	8.22c	6.53c
	T2	23.90ab	29.31b	33.96b	25.74c	11.98a	11.27c	8.74c	7.15bc
	T3	25.23a	31.62ab	27.92b	19.18d	12.04a	8.06d	12.11a	7.41b
	T4	23.67b	34.10a	32.42b	30.10b	9.59b	15.58a	9.10b	8.30a
	T5	22.53b	28.23b	43.25a	34.03a	7.03c	12.85b	12.26a	8.20a
	T6	25.29a	28.15b	31.77b	28.27bc	8.53b	13.62b	10.01b	8.31a
ZD958	T1	21.46c	22.27d	30.97c	21.44c	4.94d	6.01c	5.55c	5.05b
	T2	24.64b	23.92d	30.69c	24.44b	6.96bc	10.58b	5.57c	4.70c
	T3	29.98a	32.10b	30.25c	25.49b	8.65a	11.47b	5.93c	7.72a
	T4	26.39b	39.39a	32.11bc	26.10b	6.62c	13.34a	8.59a	7.77a
	T5	24.37b	28.84c	38.10a	24.84b	7.10b	11.85b	8.64a	4.68c
	T6	25.31b	28.53c	35.69b	29.28a	7.60b	11.10b	6.62b	5.75b

表 7 施氮时期对夏玉米产量和氮素积累利用的影响

Table 7 Effects of nitrogen application stages on grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize

品种 Cultivars	处理 Treatments	籽粒产量 Grain yield /(kg/hm^2)		总氮素积 累量 TNAA /(kg/hm^2)		籽粒吸氮 量 NAAG /(kg/hm^2)		氮素收获指数 NHI		氮肥偏 生产力 NPFP /(kg/kg)	
		2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年
		2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年	2008 年	2009 年
DH661	T1	12097.4c	12306.5d	280.6d	285.7d	174.1d	176.1e	62.04c	61.7bc	—	—
	T2	12247.1c	12428.7d	312.9c	320.1c	185.5d	188.5e	59.26d	58.9c	34.0c	34.5c
	T3	12835.8b	13250.4c	331.4c	341.9c	212.0c	203.5d	63.96c	59.5c	35.7b	36.8b
	T4	13772.1a	13588.8b	362.9b	373.2b	246.7b	245.4c	67.98b	65.7b	38.3a	37.7b
	T5	14057.1a	14188.9a	395.2a	407.6a	277.3a	289.3a	70.15a	71.0a	39.0a	39.4a
	T6	13894.5a	14103.3a	379.2b	390.5a	249.6b	271.8b	65.84bc	69.6a	38.6a	39.2a
ZD958	T1	11741.8d	12129.9d	268.7e	269.2d	160.4c	181.0e	59.71c	67.2b	—	—
	T2	12272.3c	12447.3d	300.5d	303.0c	212.8b	221.2d	70.82a	73.0a	34.1c	34.6c
	T3	13660.4b	13631.1c	343.3c	334.3b	232.2b	239.4d	67.64b	71.6ab	37.9b	37.9b
	T4	14395.3a	14201.8ab	386.5a	378.4a	259.7a	269.2a	67.20b	71.1b	40.0a	39.4a
	T5	14238.3a	14022.5b	373.2b	364.9a	264.7a	250.4c	70.92a	68.6b	39.6a	38.9ab
	T6	14504.5a	14529.6a	383.8a	375.6a	266.6a	258.2b	69.47a	68.7b	40.3a	40.4a

TNAA: Total nitrogen accumulation amount; NHI: Nitrogen harvest index; NPFP: Nitrogen partial factor productivity; NAAG: Nitrogen accumulation amount of grain

3 讨论

禾谷类作物生育后期的光合性能直接影响到籽粒产量^[19]。施用氮素是调控作物生长和光合生产率的重要手段之一^[4]。本试验在不改变总施氮量的前提下,通过调节不同的施氮时期及追施比例,研究了不同施氮

方式对籽粒产量、氮素积累与利用、光合特性的影响。本研究结果表明,氮素分 3—4 追施较一次性施入可提高籽粒产量 9.3%—18.2%,植株氮素积累量提高 16.0%—28.6%,氮肥偏生产力提高 10.9%—17.5%。

玉米冠层通过影响其内部的水、热、气等微环境影响着群体的光合效率和生物产量^[20]。吕丽华等^[2]研究指出,适当的施氮量可构建玉米高效合理的冠层结构。本研究表明,随花前施氮次数及施氮量的增加可提高抽雄期叶面积指数最大值,同时花后施氮延缓了花后植株下部叶片的衰老和脱落,延长了 LAI 高值持续期,在籽粒灌浆期保持了较高的光合面积。

前人研究指出^[21-22],增施氮肥能提高小麦叶片叶绿素含量,增强 PS I 和 PS II 的电子传递能力,延长叶片的叶绿素含量缓降期和光合速率高值持续期,改善光合性能;也有研究指出施氮后灌浆期叶片叶绿素含量的变化不是 P_n 提高的主要原因,而两个光系统性能的改善及二者间协调性的提高增强了光合电子传递链的性能是灌浆期 P_n 升高与产量增加的主要原因^[6]。本研究表明,施氮可提高叶片叶绿素含量,但不同施氮方式对叶绿素含量影响不显著,而分次施氮可显著提高 Φ_{psII} ; 3:5:2, 2:4:4 和 1:2:5:2 的分次施氮方式较拔节期一次性施氮都可显著提高非光化学猝灭系数及电子传递速率,从而有效提高了叶片对光能的利用,同时增强了叶片对于光破坏的防御机制,有效调节了光合性能。

植物叶片吸收的光能被天线色素激发为电能后,主要以光化学反应、热耗散和荧光 3 种形式耗散;分配在光化学反应方向的光合电子流主要直接用于 4 个方面:碳同化、光呼吸、氧的还原反应(Mehler 反应)和氮代谢^[23-24]。本研究表明,两品种 2:4:4 分次施肥处理下,花后 26 d 净光合速率及花后 14 d 光合羧化酶活力均表现为低于 3:5:2 分次施肥处理,其原因在于花后施氮在促进光合电子羧化速率的同时提高了氧化速率,但供氮过多造成叶片氮代谢旺盛,光合产物的输出率降低,造成光合产物对光合器官的反馈抑制^[25]。提高花后施氮比例后较多的呼吸耗能参与了氮代谢,但花后施氮 20%—40% 较拔节期一次性施氮可显著延长了光合速率高值持续期,同时 PEPCase 和 RuBPCase 活性分别提高了 5.8%—12.8% 和 6.9%—17.8%。

本研究发现,登海 661 作为创造夏玉米高产纪录的新品种较目前第一大主推品种郑单 958 在开花后具有更好的叶片保绿性。开花后登海 661 较郑单 958 具有更高的 LAI、 P_n 、 Φ_{psII} 和光合羧化酶活力,在花后 40 d 和 54 d 登海 661 的 P_n 较郑单 958 平均提高了 22.7% 和 17.4%;同时登海 661 较郑单 958 具有更强的叶片保护机制,花后 40 d 登海 661 的 Φ_{psII} 较郑单 958 平均提高了 11.3%。由此可见,在相同的施肥方式下登海 661 较郑单 958 具有更高的光合性能,这可能是其产量潜力更高的原因之一。

分次施氮有利于构建夏玉米合理冠层,提高了 PS II 实际光化学效率及电子传递速率,增强了叶片保护机制,有效调节了光合性能。适当增加花后施氮比例有利于促进植株氮代谢的同时,延长了光合速率高值持续期,并使光合关键酶活性保持较高水平。因此,分次施氮显著提高了叶片的光合性能,进而提高了籽粒和氮素利用率。在实际生产中,高产田较一般生产田需要更多的肥料投入来获得高产,建议在高产地块控制施氮量在 240—360 kg/hm²^[26],根据两品种产量及花后光合特性登海 661 可采用 2:4:4 的施氮方式,郑单 958 可采用 3:5:2 或 1:2:5:2 的施氮方式。

References:

- [1] Mi G H, Chen F J, Chun L, Guo Y F, Tian Q Y, Zhang F S. Biological characteristics of nitrogen efficient maize genotypes. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(1): 155-159.
- [2] Lü L H, Zhao M, Zhao J R, Tao H B, Wang P. Canopy structure and photosynthesis of summer maize under different nitrogen fertilizer application rates. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(9): 2624-2632.
- [3] Wang J Z, Zhang C N, Zhao H J, Li F L, Yang Y J, Ma P F. Effects of different fertilization methods on chlorophyll fluorescence parameters and yield of summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(3): 479-483.
- [4] Duan W W, Zhao H M, Guo C J, Xiao K, Li Y M. Responses of photosynthesis characteristics to nitrogen application rates in summer maize (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 949-954.
- [5] Guan Y X, Lin B, Ling B Y. The interaction effects of growth light condition and nitrogen supply on maize (*Zea mays* L.) seedling photosynthetic

- traits and metabolism of carbon and nitrogen. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 152-158.
- [6] Li G, Gao H Y, Liu P, Yang J S, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of nitrogen fertilization on photosynthetic performance in maize leaf at grain filling stage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 536-542.
- [7] Ma W Q, Li J H, Ma L, Wang F H, Sisák I, Cushman G, Zhang F S. Nitrogen flow and use efficiency in production and utilization of wheat, rice, and maize in China. *Agricultural Systems*, 2009, 99(1): 53-63.
- [8] Li H H, Ye Y L, Wang G L, Huang Y F. Wheat and corn production, fertilizer application and soil fertility status of typical high-yield areas. *Henan Science*, 2009, 27(1): 59-63.
- [9] Zhao B, Dong S T, Zhang J W, Liu P. Effects of controlled-release fertilizer on yield and nitrogen accumulation and distribution in summer maize. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(10): 1760-1768.
- [10] Müller P, Li X P, Niyogi K K. Non-photochemical quenching: a response to excess light energy. *Plant Physiology*, 2001, 125(4): 1558-1566.
- [11] Yu H, Yang G H, Wang Z J. Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 266-273.
- [12] Chen G Q, Qi W Z, Li Z, Wang J H, Dong S T, Zhang J W, Liu P. Analysis of hyperspectral on super high-yielding maize under different nitrogen levels. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6035-6043.
- [13] Wang C T, Li S K, Han B T. Approaches to high-yielding and yield potential exploration in corn. *Science and Technology Review*, 2006, 24(4): 8-11.
- [14] He Z F. Analysis Technique for Grain Quality of Cereals and Oils. Beijing: Agriculture Press, 1985: 31-41, 57-59.
- [15] Shi Y, Yu Z W, Wang D, Li Y Q, Wang X. Effects of nitrogen rate and ratio of base fertilizer and topdressing on uptake, translocation of nitrogen and yield in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(12): 1860-1866.
- [16] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 1949, 24(1): 1-15.
- [17] Racker E. Ribulose diphosphate carboxylase from spinach leaves // Colowick S P, Kaplan N O, eds. *Methods in Enzymology*. New York: Academic Press, 1962, 5: 266-270.
- [18] Shi J N, Wu M X, Cha J J. The study on PEPCase of plant I. Comparison of PEPCase separating and aberrance structure characteristics. *Journal of Plant Physiology*, 1979, 5(3): 225-236.
- [19] Khan M N A, Murayama S, Ishimine Y, Tsuzuki E, Nakamura I. Physio-morphological studies of F1 hybrids in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, 1998, 1(4): 231-239.
- [20] Li S K, Wang C T. The methods of obtaining and expressing information of crop plant shape and population structure. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 1997, 1(3): 250-256.
- [21] Lawlor D W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(370): 773-787.
- [22] Yang Q, Li Y M, Xiao K, Du Y H. Effect of different amount of nitrogen on flag leaf senescence and yield components of wheat. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002, 25(4): 20-24.
- [23] Evans J R, Poorter H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, 2001, 24(8): 755-767.
- [24] Li H D, Gao H Y. Effects of different nitrogen application rate on allocation of photosynthetic electron flux in *Rumex K-1* leaves. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2007, 33(5): 417-424.
- [25] Walker D A. Regulatory mechanism in photosynthetic carbon mechanism // Horecker B L, Stadtman E R. *Current Topic in Cellular Regulation*. New York: Academic Press, 1976: 230-241.
- [26] Lü P, Zhang J W, Liu W, Yang J S, Su K, Liu P, Dong S T, Li D H. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of summer maize under super-high yield conditions. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(4): 852-860.

参考文献:

- [1] 米国华, 陈范骏, 春亮, 郭亚芬, 田秋英, 张福锁. 玉米氮高效品种的生物学特征. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 155-159.
- [2] 吕丽华, 赵明, 赵久然, 陶洪斌, 王璞. 不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化. *中国农业科学*, 2008, 41(9): 2624-2632.
- [3] 王俊忠, 张超男, 赵会杰, 李付立, 杨亚军, 马培芳. 不同施肥方式对超高产夏玉米叶绿素荧光特性及产量性状的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 479-483.

- [4] 段巍巍, 赵红梅, 郭程瑾, 肖凯, 李雁鸣. 夏玉米光合特性对氮素用量的反应. 作物学报, 2007, 33(6): 949-954.
- [5] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响. 作物学报, 2000, 26(6): 152-158.
- [6] 李耕, 高辉远, 刘鹏, 杨吉顺, 董树亭, 张吉旺, 王敬峰. 氮素对玉米灌浆期叶片光合性能的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 536-542.
- [8] 李欢欢, 叶优良, 王桂良, 黄玉芳. 典型高产区小麦玉米产量、肥料施用及土壤肥力状况. 河南科学, 2009, 27(1): 59-63.
- [9] 赵斌, 董树亭, 张吉旺, 刘鹏. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响. 作物学报, 2010, 36(10): 1760-1768.
- [11] 鱼欢, 杨改河, 王杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 266-273.
- [12] 陈国庆, 齐文增, 李振, 王纪华, 董树亭, 张吉旺, 刘鹏. 不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征. 生态学报, 2010, 30(22): 6035-6043.
- [13] 王崇桃, 李少昆, 韩伯棠. 玉米高产之路与产量潜力挖掘. 科技导报, 2006, 24(4): 8-11.
- [14] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术. 北京: 农业出版社, 1985: 31-41, 57-59.
- [15] 石玉, 于振文, 王东, 李延奇, 王雪. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收转运及产量的影响. 作物学报, 2006, 32(12): 1860-1866.
- [18] 施教耐, 吴敏贤, 查静娟. 植物磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶的研究 I. PEP 羧化酶同工酶的分离和变构特性的比较. 植物生理学报, 1979, 5(3): 225-236.
- [20] 李少昆, 王崇桃. 作物株型和冠层结构信息获取与表述的方法(综述). 石河子大学学报: 自然科学学报, 1997, 1(3): 250-256.
- [22] 杨晴, 李雁鸣, 肖凯, 杜艳华. 不同施氮量对小麦旗叶衰老特性和产量性状的影响. 河北农业大学学报, 2002, 25(4): 20-24.
- [24] 李海东, 高辉远. 不同施氮量对杂交酸模叶片光合电子流分配的影响. 植物生理与分子生物学报, 2007, 33(5): 417-424.
- [26] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 杨今胜, 苏凯, 刘鹏, 董树亭, 李登海. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 852-860.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005	HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
Combined effects of elevated O ₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat	ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
Resource and Industrial Ecology	
The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland	GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau	CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation	WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions	LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
Urban, Rural and Social Ecology	
The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component	LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study	DAI Yanan, HE Xinguang (595)
The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress	ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake	SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil	WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
Effects of CA and EDTA on growth of <i>Chlorophytum comosum</i> in copper-contaminated soil	WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
Research Notes	
Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay	ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
Variations of <i>Leymus chinensis</i> community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors	TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in <i>Larix olgensis</i> Henry. seedlings	WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元