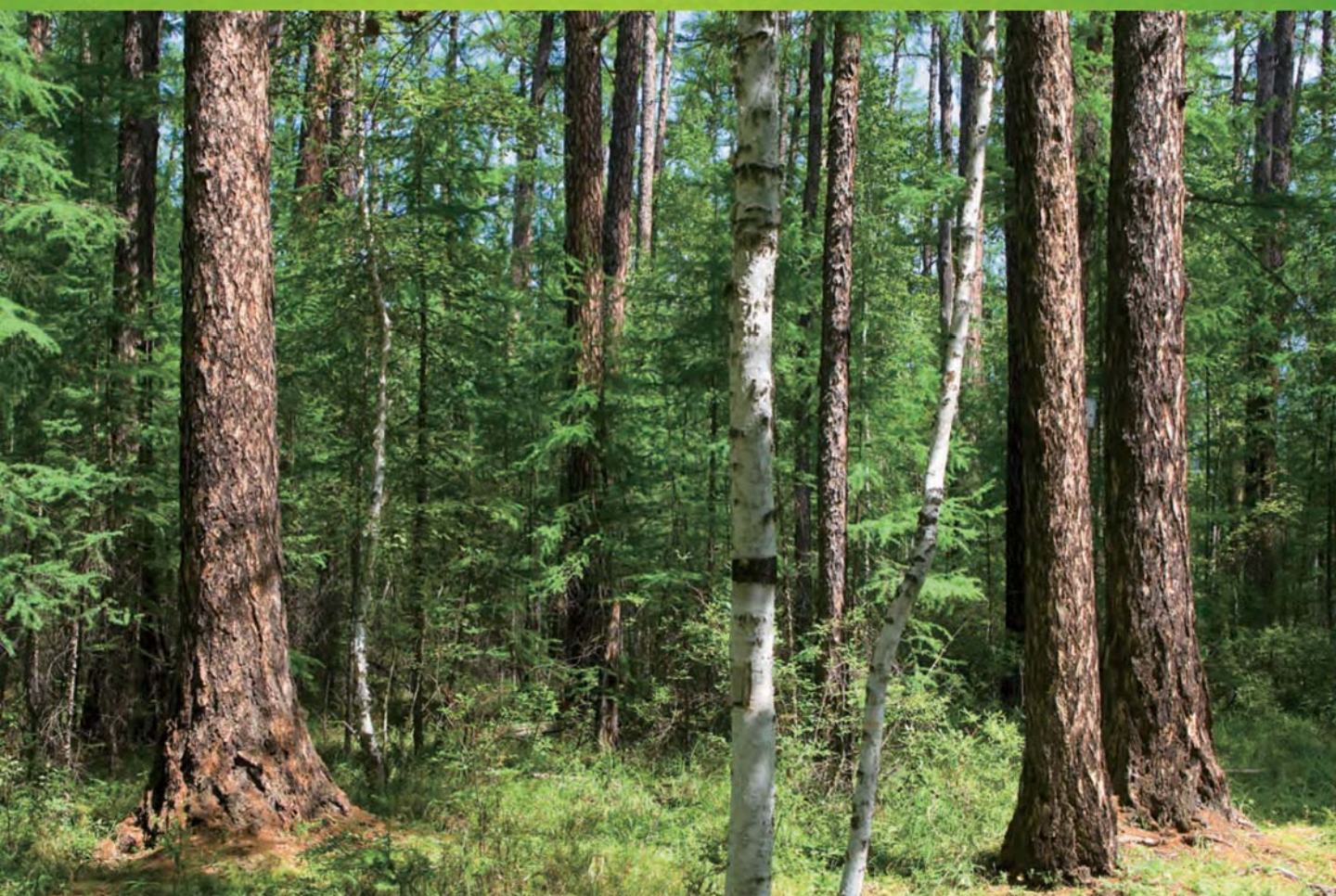


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **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 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH₄ 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)

不同排放源周边大气环境中 NH₃ 浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)

施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N₂O 排放的影响 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)

应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)

青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)

NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)

基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说：兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO₂ 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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

DOI: 10.5846/stxb201208231193

谷岩, 胡文河, 徐百军, 王思远, 吴春胜. 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响. 生态学报, 2013, 33(23): 7399-7407.

Gu Y, Hu W H, Xu B J, Wang S Y, Wu C S. Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7399-7407.

氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合 及氮代谢酶活性的影响

谷 岩¹, 胡文河², 徐百军³, 王思远¹, 吴春胜^{1,*}

(1. 吉林农业大学作物研究中心, 长春 130118; 2. 吉林农业大学农学院, 长春 130118;

3. 松原市宁江区民乐村农民专业合作社, 松原 138000)

摘要:以先玉 420 为试验材料, 研究在大垄双行膜下滴灌种植模式下, 氮素水平对玉米穗位叶光合特征及氮代谢关键酶活性的影响。结果表明: 1) 玉米穗位叶氮素含量、光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、水分利用效率(WUE)、最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(Φ_{PSII})和光化学猝灭(q_p)均以 N3 (300 kg/hm²) 水平最高。2) PEP 羧化酶对氮肥的响应较 RUBP 羧化酶敏感, 氮肥少于 100 kg/hm²才显著降低 RUBP 羧化酶活性。3) 施用氮肥均增加穗位叶硝酸还原酶(NR)和谷氨酰胺合成酶(GS)活性, 以 N3 处理增幅最大, 蛋白水解酶活性则相反。4) 相关分析表明: 穗位叶氮含量与内肽酶和氨肽酶呈现负相关, 与其他各项指标均呈现正相关, 差异显著性因花后不同时期而不同。6) 在供试试验区, 在氮肥施用总量为 300 kg/hm²时, 玉米穗位叶保持较高的光合特性和相关酶活性, 为玉米籽粒产量的形成奠定了基础。

关键词: 玉米; 膜下滴灌; 光合特性; 氮素; 氮代谢酶

Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation

GU Yan¹, HU Wenhe², XU Baijun³, WANG Siyuan¹, WU Chunsheng^{1,*}

1 Crop Research Center, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2 College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

3 Farmer Cooperation, Minle Village Ningjiang District, Songyuan 138000, China

Abstract: Jilin Province is the main maize-producing province in China but frequently suffers from drought. Western parts of the province, such as Baicheng and Songyuan, do not receive sufficient rainfall to support increased agricultural production, which severely limits enhancement of maize yield. A project to install drip irrigation to one million acres was initiated in the province, which is important for improving the drought resistance and yield of maize. Nitrogen, as the most important element for maize growth, has a major impact on yield and physiological characteristics. For maize cultivated with under-mulch drip irrigation with dual lines per ridge, what influence will the nitrogen nutrition level have on photosynthesis by the ear leaf and related physiological characteristics? To address this question, maize Xianyu420 was used as the test material and five nitrogen nutrition levels were applied. Starting from the silking stage, on each morning at 09:00—11:00 for 10 days, six representative plants of uniform growth were selected from each treatment and the following photosynthesis

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31000687); 国家粮食丰产工程资助项目(2011BAD16B10, 2012BAD04B02); 吉林省财政厅农业综合开发科技示范资助项目(松原市玉米优良新品种及大垄双行膜下滴灌技术科技示范); 吉林省科技厅科技支撑计划资助项目(20130305032NY); 吉林省现代农业产业体系资助项目(201203)

收稿日期: 2012-08-23; 修订日期: 2013-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wcs8131587@yahoo.com.cn

parameters were measured: ear leaf net rate of photosynthesis (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (g_s), water use efficiency (WUE), maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), actual photochemical efficiency (Φ_{PSII}), photochemical quenching (q_p), nitrogen content, and the activities of phosphoenolpyruvate (PEP) and ribulose 1,5-biphosphate (RUBP) carboxylase, proteolytic enzymes (endopeptidase and aminopeptidase), nitrate reductase (NR), and glutamine synthetase (GS). The influence of nitrogen level on photosynthesis characteristics and activity of key enzymes involved in nitrogen metabolism in the ear leaf was studied with under-mulch drip irrigation with dual lines per ridge. The results showed that the average values for ear leaf nitrogen content, P_n , T_r , g_s , WUE, F_v/F_m , Φ_{PSII} and q_p were highest in the N3 treatment (300 kg N/hm²). The response of PEP carboxylase activity to nitrogen fertilizer application was more sensitive than that of RUBP carboxylase activity. When nitrogen fertilizer application was less than 100 kg N/hm², RUBP carboxylase activity was significantly reduced. Application of nitrogen fertilizer increased the activity of NR and GS in the ear leaf. And the highest increases in NR and GS activity were recorded in the N3 treatment. Proteolytic activity showed the opposite response. The nitrogen content of the ear leaf was negatively correlated with endopeptidase and aminopeptidase activity, and positively correlated with all other indicators of photosynthetic activity. In the study area, when the total amount of nitrogen fertilizer applied is 300 kg/hm², the ear leaf of maize maintains higher photosynthetic parameters and relevant enzyme activity and provides the foundation for increased grain yield. Adequate supply of nitrogen fertilizer can ensure smooth and efficient activity of enzymes involved in nitrogen metabolism in leaves of maize.

Key Words: maize; under-mulch-drip irrigation; photosynthetic characteristics; nitrogen; nitrogen metabolism enzyme

玉米的产量和品质除受遗传因素影响外,与外界环境和栽培措施密切相关。氮肥作为玉米的主要生命元素,对产量和生理特性的影响较大^[1]。氮素可通过叶绿素而影响 CO₂ 同化^[2] 和 2 个光系统 PS I 和 PS II 的含量与功能^[3],也可通过氮代谢酶系统而影响功能叶片的蛋白质含量^[4],从而影响籽粒灌浆的碳水化合物来源^[5]。有研究表明,叶片氮素含量与光合速率呈显著正相关^[6],而 2 个光系统对氮素的响应不同,缺氮使 PS II 反应中心蛋白降解程度远大于 PS I^[7]。因此,保持玉米生长过程中,尤其是花粒期较高的光合能力与充足的氮素供应,对于保证叶片光合机构免受光氧化破坏和提高产量有重要意义^[8]。

关于施用氮肥对叶片光合性能及氮代谢酶活性的影响,在水稻^[9-10]、小麦^[11-14]、玉米^[15-17]等作物中前人已有许多研究。段巍巍等人^[4]研究表明,氮素提高了穗位叶叶片的 P_n 、叶绿素和可溶性蛋白含量,并通过调节光合电子传递能力和光合羧化酶的活性而影响表观光合速率的高低。赵宏伟等人^[15]通过氮肥施用量对春玉米功能叶片光合作用关键酶活性的研究指出,氮肥用量与 RUBP 和 PEP 羧化酶活性呈现阶段性相关,不同品种相关程度不同。苏凯等人^[18]研究氮素对保绿性玉米穗位叶叶绿素荧光参数的调控表明,适度氮肥处理叶片光系统 II 最大光化学效率和实际光化学效率均高于不施和过量氮肥处理。许多研究表明,叶片硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)活性和蛋白质含量在氮素同化和运转中均起重要作用^[19]。合理施用氮肥可提高叶片 NR 和 GS 活性^[20-21],降低蛋白酶活性^[22]。综上,前人对玉米叶片光合特性和氮代谢等方面做了很多研究,但针对吉林省西部旱区大垄双行膜下滴灌种植方式下,氮肥对玉米穗位叶光合特性及氮代谢相关酶活性的综合影响还鲜见报道。

吉林省是玉米生产的主要省份,也是干旱频繁发生的省份。其中西部白城、松原等地区几乎是“十年十旱”,不具备雨养农业的条件,严重限制了玉米产量的提高。“十二五”期间,吉林省启动千万亩膜下滴灌灌溉工程,对于玉米的抗旱增产稳产有重要的意义。本论文主要探讨氮素水平对玉米穗位叶光合特征及氮代谢关键酶活性的影响,为玉米合理施肥、提高产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验在吉林农业大学西部试验基地(吉林省松原市宁江区民乐村)进行。全年降雨量 423 mm,活动积温

3050 ℃,无霜期 135—140 d。试验地土壤为黑钙土,0—20 cm 土层有机质 1.71%,全氮 1.426 g/kg,全磷 365.74 mg/kg,碱解氮 68.57 mg/kg,速效磷 14.12 mg/kg,速效钾 130.99 79 mg/kg,pH 值 7.25。

1.2 试验设计

供试玉米品种为先玉 420。试验采用随机区组设计,3 次重复。将传统的 65 cm 小垄单行种植改为 90 cm 的大垄双行种植方式。垄高 12 cm,垄上行距 40 cm,垄间行距 90 cm。每小区 5 垄。设定 5 个氮肥处理:N0 (0 kg/hm²)、N1 (100 kg/hm²)、N2 (200 kg/hm²)、N3 (300 kg/hm²)、N4 (400 kg/hm²)。整地时施入 75% 的磷肥和钾肥,30% 的氮肥,播种时施入 25% 的磷肥和钾肥,拔节和抽穗各追氮肥 50% 和 20%。用滴管设备进行追肥:计算出各处理用肥量,将肥在大容器中溶解,再将溶液倒入首部的施肥罐中,开启水泵,10—15 min 内肥液全部施入。4 月 25 日进行膜下播种,镇压后进行土壤封闭除草、铺设滴管毛管和覆膜。于玉米出苗 2 片叶时引苗,玉米生长过程中根据土壤墒情适时灌溉,保证各小区灌水一致,选用赤眼蜂防治玉米螟。10 月 3 日收获测产。

1.3 样品采集及测定

从吐丝期开始每隔 10d 于 9:00—11:00,每小区选取长势均匀有代表性的植株 6 株,用 Li-6400 光合测定系统测定穗位叶净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s),并计算水分利用率(WUE);用 FMS2 脉冲制式荧光仪测定穗位叶叶绿素荧光参数,参照刘建新^[23]的方法计算最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(Φ_{psII})、光化学猝灭(q_p)。取下穗位叶,擦干净表面后去除叶脉,一部分在 105 ℃杀青后 80 ℃烘干至恒重后粉碎,用凯氏定氮法测定叶片氮素含量;另外一部分叶片放入液氮中带回实验室,放于-86 ℃冰箱中保存进行以下指标的测定。

磷酸烯醇式丙酮酸(PEP)和核酮糖二磷酸(RUBP)羧化酶活性分别参照 Qi 等^[24]和李合生^[25]方法。蛋白水解酶(内肽酶和氨肽酶)活性参照李晶^[22]的方法;硝酸还原酶活性和谷氨酰胺合成酶参照张志良^[26]的方法。

1.4 数据分析

应用 SPSS 软件进行数据统计和分析;利用 Excel 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 氮素营养水平对玉米穗位叶氮素含量的影响

不同氮素水平处理玉米穗位叶氮素含量如图 1 所示:在不施(N0)和少施(N1)氮肥处理下,玉米花粒期穗位叶氮素含量呈现逐渐降低的动态变化,在花后 0—20 d 降幅较小,21 d 后迅速下降。N2、N3 和 N4 处理,穗位叶氮素含量先升高后降低,最高值出现在花后 20 d。此期,氮素最高含量(N4 处理)比最低含量(N0 处理)增加 70%。在花后 0—20 d,各处理穗位叶氮素平均含量顺序为:N4>N3>N2>N1>N0,但花后 30—50 d 顺序为:N3>N4>N2>N1>N0。

2.2 氮素营养水平对玉米光合特性的影响

2.2.1 气体交换参数

不同氮素水平处理玉米穗位叶气体交换参数如图 2 所示:施入氮肥玉米穗位叶光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)均有不同程度的提高。整个玉米灌浆期穗位叶 P_n 和 T_r 变化趋势类似,除 N0 水平随着时间的推进逐渐降低,其他处理均先升高后降低。花后 30—50 d,N3 处理的平均 P_n 达 32.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,显著高于其他处理。平均穗位叶水分利用效率(WUE)常用 P_n 和 T_r 的比值表示,指作物消耗单位水量所产生的同化物量。从图中可以看出,在灌浆期间,WUE 的变化比较平缓,N3 处理平均 WUE 为 4.64 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,比 N0、N1、N2 和 N4 分别提高 39.2%、28.3%、19.9% 和 6.09%。整个灌浆期间,N3 处理穗位叶 G_s 均显著高于其他处理。

2.2.2 叶绿素荧光特性

F_v/F_m 是暗适应光系统 II 反应中心完全开放时原初光能转换效率^[27];实际光化学效率(Φ_{psII})反映开放

的 PS II 反应中心在有部分关闭的情况下实际原初光能捕获效率,叶片不经过暗适应在光下直接测得^[11]。由图 3 可知,花后不同生育时间玉米穗位叶 F_v/F_m 因氮素营养水平而不同。N0 和 N1 处理 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 均随着花后生育进程的推进逐渐降低。氮肥的增加显著提高了 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} ,但二者在花后变化趋势不同。N2、N3 和 N4 处理的 F_v/F_m 先升高后下降,花后 10 d 最大,平均为 0.84; Φ_{PSII} 呈现降低-升高-降低的变化,花后 10 d 和 20 d 分别为低谷和高峰点。此外,花后 30—50 d, N3 处理的 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 分别比 N2 和 N3 平均增加 6.21% 和 11.1%。光化学猝灭(q_p)的变化趋势与 F_v/F_m 类似。花后 20 d N3 处理穗位叶平均 q_p 比其他各处理分别增加 63.3% (比 N0), 50.9% (比 N1), 8.6% (比 N2), 13.7% (比 N4)。

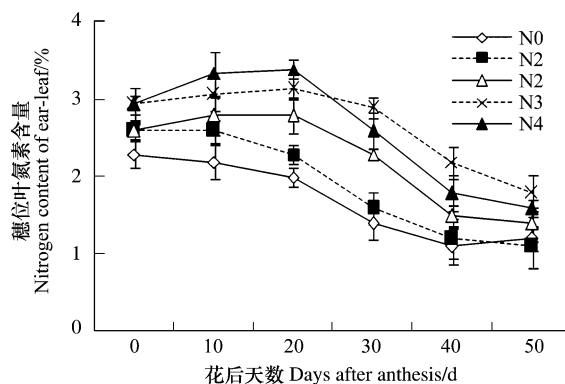


图 1 不同氮素水平处理玉米叶片氮素含量

Fig. 1 The nitrogen content of leaves in different nitrogen treatments of maize

N0: 0 kg/hm²; N1: 100 kg/hm²; N2: 200 kg/hm²; N3: 300 kg/hm²; N4: 400 kg/hm²

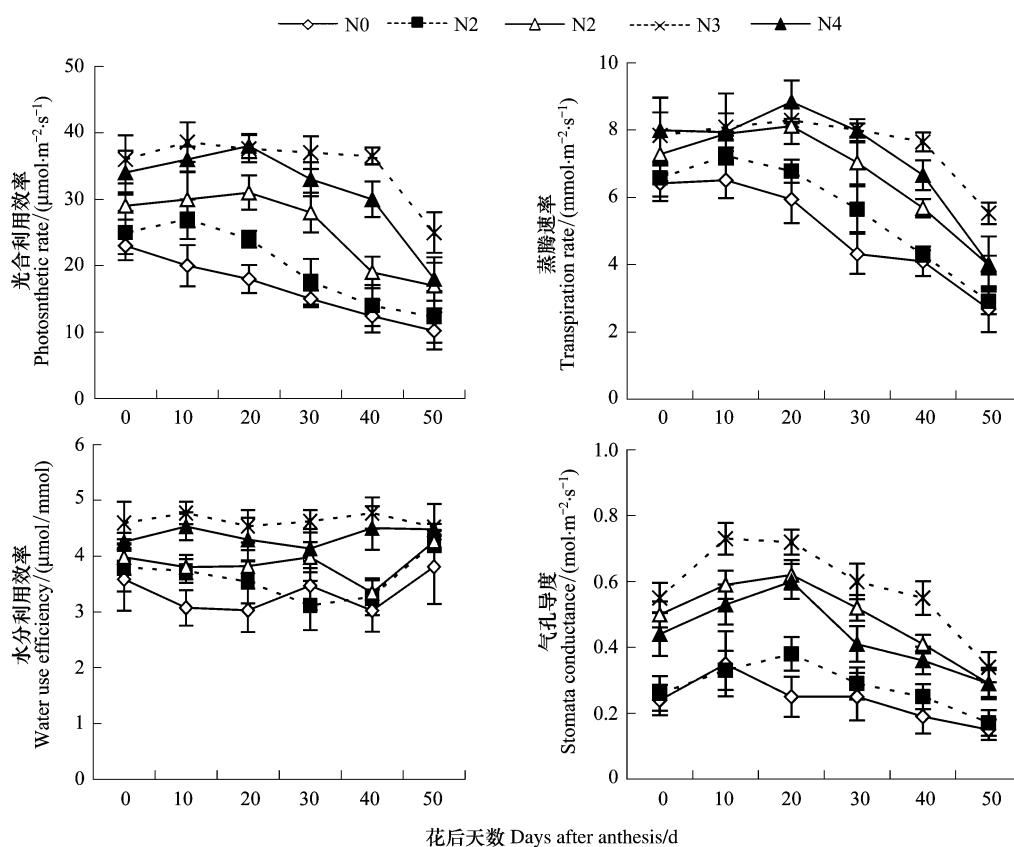


图 2 不同处理玉米叶片气体交换参数和水分利用率的动态变化

Fig. 2 The dynamic change of gas exchange parameters and water use efficiency in different nitrogen treatments of maize

2.2.3 光合作用关键酶活性

PEP 和 RUBP 羧化酶是玉米光合碳同化的关键酶^[15]。从图 4 可以看出,不同氮肥处理 RUBP 羧化酶活性呈现逐渐降低的变化。N2、N3 和 N4 个氮肥处理叶片 RUBP 羧化酶活性无显著差异,均高于 N0 和 N1 处理, N2、N3 和 N4 平均酶活性比 N0 和 N1 平均增加

67.6%。PEP 羧化酶除 N0 处理逐渐降低,其他处理均先升高后降低,最高点各不相同。花后不同处理 PEP 羧化酶平均活性为: N3>N2>N4>N1>N0。

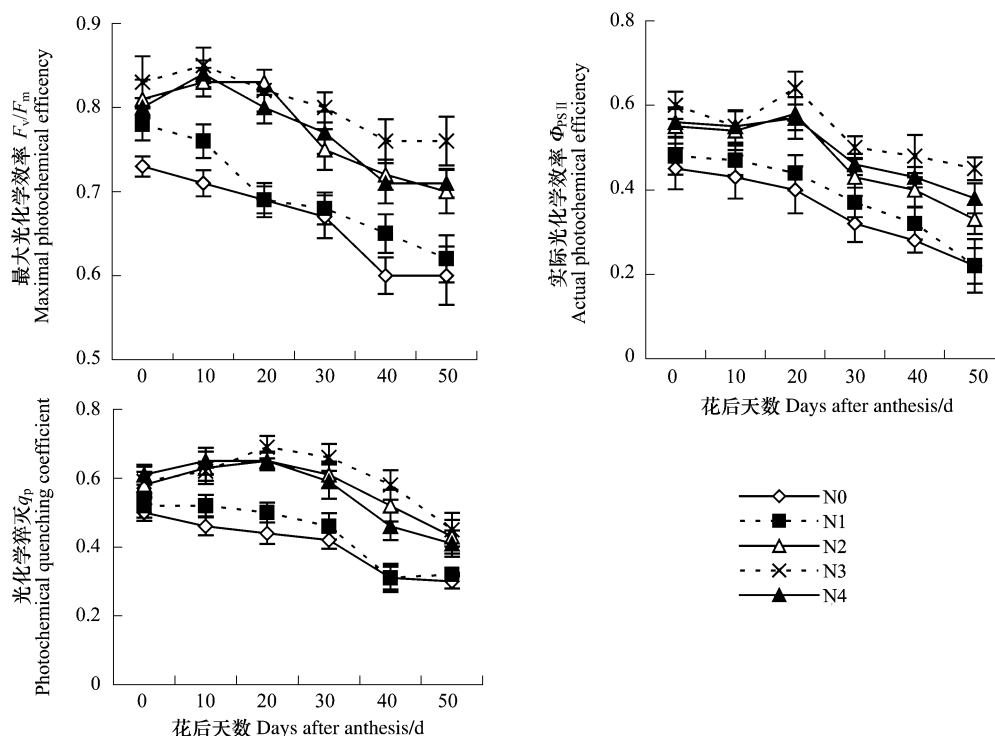


图3 不同氮素水平处理玉米穗位叶叶绿素荧光参数的动态变化

Fig.3 The dynamic change of chlorophyll fluorescence parameters in different nitrogen treatments of maize

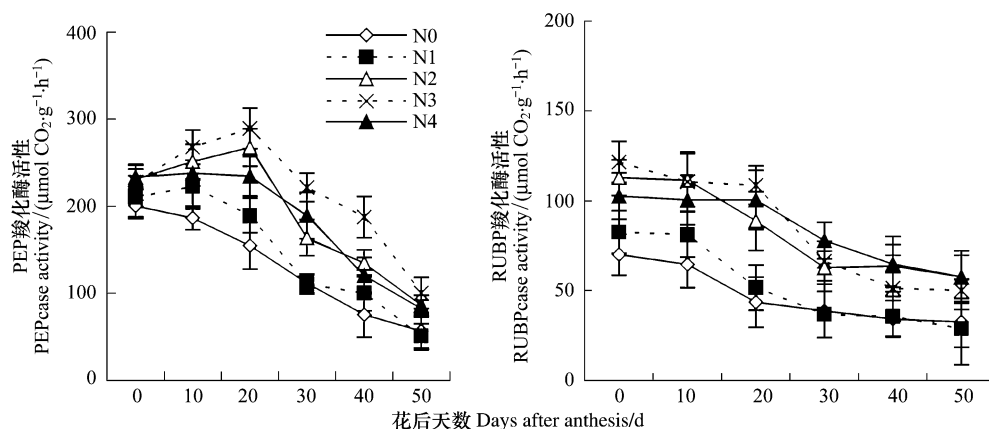


图4 不同氮素水平处理玉米穗位叶 PEP 和 RUBP 羧化酶活性的动态变化

Fig.4 The dynamic change of activity of PEPcase and RUBPcase in different nitrogen treatments of maize

2.3 氮代谢关键酶活性

2.3.1 硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性 硝酸还原酶(NR)是植物同化 NO_3^- 过程中的关键酶,其活性高低与植物体内氮同化能力密切相关;谷氨酰胺合成酶(GS)是处于氮代谢中心的多功能酶,其活性的提高可带动氮代谢运转增强,促进氨基酸的合成和转化^[22]。从图 5 可以看出,花后 N4 和 N0 处理穗位叶 NR 活性逐渐降低;N1、N2 和 N3 先升高后降低,在花后 20 d 达最高点,此时 N3 比其他个处理分别增加 39.6% (比 N0), 22.9% (比 N1), 7.2% (比 N2), 13.6% (比 N4)。N0、N1 和 N2 花后玉米穗位叶 GS 活性呈现单峰曲线,而 N3 和 N4 为降低—升高—降低的变化。其中 N2 和 N3 处理的最高点比其他处理晚。各处理平均 GS 活性为: N3

>N2>N4>N1>N0。

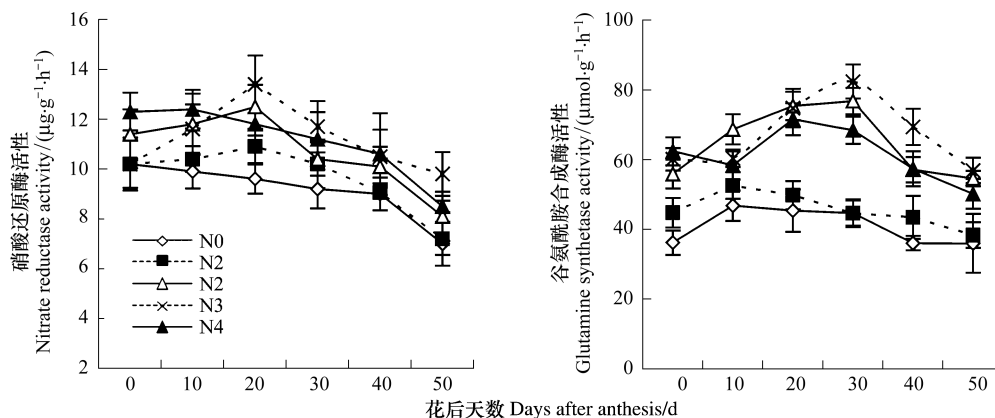


图5 不同氮素水平处理玉米穗位叶硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的动态变化

Fig.5 The dynamic change of activity of nitrate reductase and glutamine synthetase in different nitrogen treatments of maize

2.3.2 蛋白水解酶的影响

蛋白水解酶的活性高低决定着蛋白质的降解程度。内肽酶水解蛋白质中间部分的肽键成小肽;氨肽酶作为外肽酶从氨基末端逐步降解氨基酸残基^[22]。不同氮素水平处理玉米穗位叶蛋白水解酶的影响如图6所示:增施氮肥有效降低了穗位叶蛋白水解酶的活性。花后各处理平均内肽酶和氨肽酶活性均为:N0>N1>N2>N4>N3。对于穗位叶内肽酶活性,N0和N1处理在花后20d迅速升高,即蛋白降解能力开始加强,而其他3个处理在花后30d活性迅速升高;氨肽酶活性则呈现逐渐增加的动态变化。

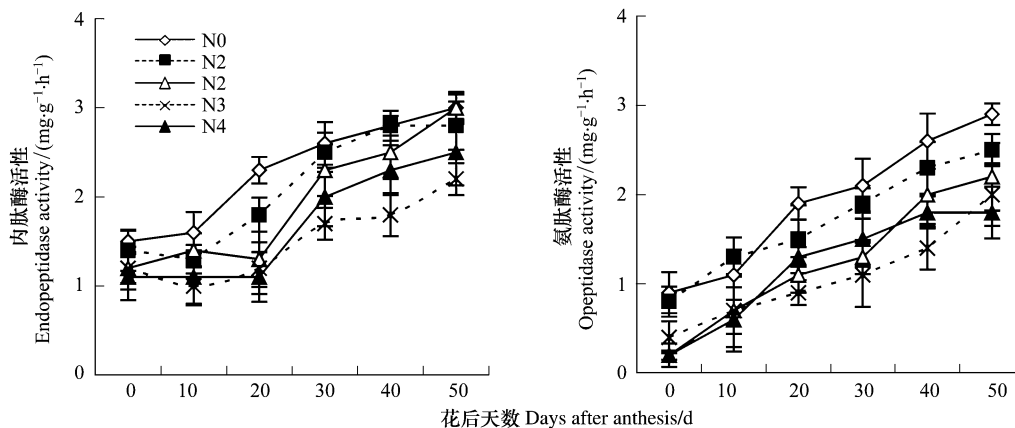


图6 不同处理玉米穗位叶蛋白水解酶活性的动态变化

Fig.6 The dynamic change of activity of proteolytic enzyme in different nitrogen treatments of maize

2.4 穗位叶氮含量与光合及氮代谢相关酶活性的关系

从表1可以看出,玉米花后各时期穗位叶氮含量与叶绿素、气体交换参数(P_n 、 T_r 和 G_s)、叶绿素荧光参数(F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 和 q_p)、PEP和RUBP羧化酶、硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶等均呈现正相关,与内肽酶和氨肽酶呈现负相关,差异显著性因花后不同时期而不同。说明玉米穗位叶蛋白水解酶活性的降低,促进了花后叶片的氮素同化,有利于叶片氮素的合成和积累。

3 讨论

延长花后功能叶片的光合作用持续时间和较高的光合速率是作物获得高产的重要保障^[28]。增施氮肥有效增加了花后玉米穗位叶氮素含量,延长了玉米叶片光合功能持续期,提高了花后光合物质的生产能力。各处理玉米穗位叶的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和水分利用效率(WUE)均因不同氮肥量的

施入而有不同程度的提高,以 N3 处理最显著,在生育中后期仍能保持较高的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 WUE 值。但在时间上,以上指标并不完全同步。叶子飘等人^[29]根据叶片气孔导度的机理模型,也指出冬小麦在不同环境条件下,叶片气孔导度和光合速率并不同步。

表 1 花粒期穗位叶氮素含量与光合及氮代谢相关酶活性的关系

Table 1 Correlationship between nitrogen content and photosynthetic index and relevant enzyme activity of nitrogen metabolism in ear-leaf at different stage after anthesis

因素 Factor	开花后天数 Days after anthesis/d					
	0	10	20	30	40	50
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.8918 **	0.9376 **	0.9818 **	0.9226 **	0.9010 **	0.9569 **
光合速率(P_n) Photosynthetic rate	0.8945 **	0.8810 **	0.9776 **	0.9993 **	0.9792 **	0.8930 **
蒸腾速率(T_r) Transpiration rate	0.8565 **	0.8144 **	0.3619	0.8391 *	0.7849 **	0.8926 **
水分利用效率(WUE) Water use efficiency	0.8620 **	0.3627	0.6948 *	0.7791 **	0.7084 **	0.5849
气孔导度(G_s) Stomata conductance	0.5486	0.4675	0.8057 **	0.8167 **	0.8681 **	0.8568 **
最大光化学效率(F_v/F_m) Maximal photochemical efficiency	0.7136 **	0.8359 **	0.7074 **	0.9960 **	0.8324 **	0.8989 **
实际光化学效率(Φ_{PSII}) Actual photochemical efficiency	0.7776 **	0.8427 **	0.7951 **	0.9793 **	0.4431	0.3759
光化学猝灭系数(q_p) Photochemical quenching coefficient	0.3795	0.8524 **	0.8556 *	0.9427 **	0.7885 **	0.7667 **
PEP 羧化酶 PEPcase activity	0.6746 *	0.5969	0.6434 *	0.9768 **	0.4528	0.6825 *
RUBP 羧化酶 RUBPcase activity	0.6028 *	0.6238 *	0.9157 **	0.8289 **	0.3623	0.5651
硝酸还原酶(NR) Nitrate reductase activity	0.2087	0.8771 **	0.6375 *	0.8914 **	0.8113 **	0.4937
谷氨酰胺合成酶(GS) Glutamine synthetase activity	0.8564 **	0.3559	0.7911 **	0.8771 **	0.5161	0.4401
内肽酶(EP) Endopeptidase activity	-0.7589 **	-0.7770 **	-0.9212 **	-0.5268	-0.8798 **	-0.6917 *
氨肽酶(AP) Opeptidase activity	-0.5112	-0.6141 *	-0.4246	-0.8869 **	-0.7670 *	-0.6456 *

*, ** 表示差异分别达 5% 和 1% 显著水平

叶绿素荧光参数在测定叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递等方面具有独特的作用^[27]。在荧光诱导动力学参数中,可变荧光(F_v)和最大荧光(F_m)的比值表示 PS II 最大光合量子产量,即最大光化学效率^[14]。实际光化学效率(Φ_{PSII})是 PS II 的有效量子产量,是植物叶片光合电子传递速率的相对指标;光化学猝灭系数(q_p)代表 PS II 反应中心开放部分的比例,反应 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学反应的份额^[14]。 F_v/F_m 不受物种的影响,受环境条件及胁迫状态影响较大^[30]。在不施和低氮处理中(N0 和 N1),花后 10 d F_v/F_m 最高,此后即迅速降低,成熟期仅为 0.6。而 N3 处理玉米穗位叶 F_v/F_m 一直保持在 0.75 以上。说明 N3 处理下,光系统 II 在玉米生育中后期仍然具有完整的功能保证有效的利用捕获的光能。在叶绿素荧光参数中, Φ_{PSII} 和 q_p 的降低说明光合电子传递受到了抑制,PS II 光能转换效率降低,过剩激发能增加^[32]。蔡瑞国对小麦的研究中指出,小麦灌浆期旗叶中光能的吸收和利用之间存在着矛盾,过剩的光能会使叶片产生光抑制或光破坏,加速叶片的衰老^[11]。在本研究中,花后 30—50 d,各氮肥处理玉米穗位叶 F_v/F_m 的平均降幅为 8.44%,而 CO_2 同化速率(P_n)的降幅为 57.24%,证实了蔡瑞国的研究结果。此外,若 PS II 和 PS I 之间电子传递受阻导致 2 个光系统失衡,叶片的光合速率也会相应的下降^[31]。

PEP 和 RUBP 羧化酶是光合碳同化中重要的两种酶^[15]。叶片在衰老或遭到胁迫时两种酶降解速度显著加快,PEP 羧化酶对氮肥的响应较 RUBP 羧化酶敏感。不施(N0)或极少量的氮肥施入(N1)才显著降低 RUBP 羧化酶活性;而 PEP 羧化酶则不同,只有 N3 处理活性最高,即适宜的氮肥施用量才能使 PEP 羧化酶充分活化,改善叶片的光合碳同化能力。此外,赵宏伟^[15]等人在对春玉米光合作用关键酶活性的研究中,从吐丝期—灌浆期—成熟期,PEP 羧化酶活性一直呈现逐渐降低的变化,而在本研究中,在花后 20 d 以后 PEP 羧化酶活性才开始下降。可能因为在膜下滴灌的种植模式下,作物对氮肥的吸收率和利用率要高于传统种植模式,使得作物穗位叶 PEP 羧化酶活性下降缓慢。

硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)是植物氮素代谢中的关键酶,其活性高低与土壤的供肥能力密

切相关^[33]。氮肥不足和过量均限制 NR 和 GS 活性的提高,促进了内肽酶和氨肽酶活性的增加^[22]。有研究表明,在一定范围内,随着施氮量的增加,GS 活性变化不明显^[34]。但本试验中,N3 处理显著增加了 NR 和 GS 活性,NR 活性在花后 20 d 差异最显著。而 GS 活性在花后 30 d 差异最显著。增施氮肥蛋白质水解酶的降低,说明玉米花后叶片的氮素同化能力增强,蛋白质的降解能力减弱,有利于叶片蛋白质的积累,可有效延缓叶片的早衰。

合理的氮肥可保证玉米叶片氮代谢酶机制的畅通和高效运转。在氮素低于 200 kg/hm²时,由于前期缺肥,不利于营养体的生长和发育,进而影响玉米中后期穗位叶的功能和生理特性。此时如果再不能保证后期的追肥量,则难以发挥氮肥的补偿效应;而施氮量达到 400 kg/hm²,也会使作物对氮肥的吸收达到饱和状态,同样限制了光合作用和酶活性的提高。在本文大垄双行膜下滴灌的种植模式下,氮肥的供应强度和利用效率比传统种植方式有了较大的提高,更应该施入适宜氮肥(300 kg/hm²),使玉米生育后期功能叶片仍具有较强的光捕获能力和光化学效率,改善功能叶片的光合性能,延缓光合器官的衰老,为玉米产量的提高奠定良好基础。

References:

- [1] Shanguan Z P, Shao M G, Dyckmans J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, 2000, 156(1): 46-51.
- [2] Rufty T W, Huber S C, Volk R J. Alterations in leaf carbohydrate metabolism in response to nitrogen stress. *Plant Physiology*, 1988, 88(3): 725-730.
- [3] Berges J A, Charlebois D O, Mauzerall D C, Falkowski P G. Differential effects of nitrogen limitation on photosynthetic efficiency of photosystems I and II in microalgae. *Plant Physiology*, 1996, 110(2): 689-696.
- [4] Duan W W, Li H L, Xiao K, Li Y M. Effects of nitrogen fertilizer on photosynthesis and its physiological and biochemical characteristics in ear-leaf of maize. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(1): 26-29.
- [5] Mae T, Kai N, Makino A, Ohira K. Relation between ribulose biphosphate carboxylase content and chloroplast number in naturally senescing primary leaves of wheat. *Plant and Cell Physiology*, 1984, 25(2): 333-336.
- [6] Sage R F, Percy R W. The nitrogen use efficiency of C₃ and C₄ plants. II. Leaf nitrogen effects on the gas exchange characteristics of *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retroflexus* (L.). *Plant Physiology*, 1987, 84(3): 959-963.
- [7] Kolber Z, Falkowski P G. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion in photosystem II. *Plant Physiology*, 1988, 88(3): 923-929.
- [8] Lu C M, Lu Q T, Zhang J H, Kuang T Y. Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photochemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52(362): 1805-1810.
- [9] Makino A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. *Plant Physiology*, 2011, 155(1): 125-129.
- [10] Li Y, Sun Y J, Cheng H B, Zheng H Z, Yang Z Y, Jia X W, Liu S J, Hu R, M J. Effects of nitrogen application strategy and cultivation model on the performances of canopy apparent photosynthesis of *Indica* Hybrid Rice Eryou 498 during filling stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(9): 1650-1659.
- [11] Cai R G, Zhang M, Yin Y P, Wang P, Zhang T B, Gu F, Dai Z M, Liang T B, Wu Y H, Wang Z L. Photosynthetic characteristics and antioxidative metabolism of flag leaves in responses to nitrogen application in wheat during grain filling. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 53-62.
- [12] Ma D H, Zhao C X, Wang Y F, Wu G, Lin Q. Effects of nitrogen fertilizer rate and postanthesis soil water content on photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4896-4901.
- [13] Sun X S, Li Q, Zhao C X, Zhai Y J, Wu G, Jaleel C A. 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): 1428-1437.
- [14] Wu W M, Chen H J, Li J C, Wei F Z, Wang S J, Zhou X H. Effects of nitrogen fertilization on chlorophyll fluorescence parameters of flag leaf and grain filling in winter wheat suffered waterlogging at booting stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(6): 1088-1096.
- [15] Zhao H W, Zou D T, Fu C Y. Effect of application levels of nitrogen fertilizer on activity of key enzyme in photosynthesis and Pn of spring maize. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(3): 161-164.
- [16] Yang L, Zhao H W, Liu J H. Effects of different nitrogen application on GS activity and yield in different quality spring maize varieties. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38(3): 320-324.
- [17] Singaram P, Kamalakumari K. Effect of continuous manuring and fertilization on maize grain quality and nutrient soil enzyme relationship. *Madras Agriculture*, 2000, 86(1/3): 51-54.
- [18] Su K, Hao Y B, Wang G, Liu S K, Yang J S, Dong S T, Zhang J W, Liu P. Effects of nitrogen regulation on yield and photosynthetic characteristics of different stay-green maize. *Shandong Agricultural Sciences*, 2011, (9): 71-75.
- [19] Gao L, Ye M B, Zhang R X, Xu L L. Endopeptidases in wheat flag leaves during aging. *Acta Physiologica Sinica*, 1998, 50(2): 183-188.

- [20] Paula M M, Ligia M L, Isabel M S, Carvalho H G, Cullimore J C. Expression of the plastid-located glutamine synthetase of *Medicago truncatula*. accumulation of the precursor in root nodules reveals an in vivo control at the level of protein import into plastids. *Plant Physiology*, 2003, 132(1): 390-399.
- [21] Richardson M D, Cabrera R I, Murphy J A, Zaurov D E. Nitrogen-form and endophyte-infection effects on growth, nitrogen uptake, and alkaloid content of Chewings fescue turf grass. *Journal of Plant Nutrition*, 1999, 22(1): 67-79.
- [22] Li J, Ji B, Shang W N, Chen L T, Wei L, Wei S. Effects of density and nitrogen on relevant enzyme activity of nitrogen metabolism and nutritional quality of grain in triticale. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5): 1063-1068.
- [23] Liu J X, Wang J C, Wang X, Wang R J. Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of *Lolium perenne* seedlings under NaHCO_3 stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3461-3466.
- [24] Qi Q G, Li K, Li G, Li C Y, Cao G J. Influences of nitrogen level on carbon metabolism of spring maize. *Agricultural Science and Technology*, 2010, 11(4): 34-36.
- [25] Li H S. The Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2005: 134-140.
- [26] Wang W G, Li L R. A simplified purification method of RuBP carboxylase from spinach leaves. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1980, 6(3): 257-262.
- [27] Wei L, Xiong Y C, Ma B L, Ma C, Zhang H Q, Shao Y, Li P F, Chen Z G, Wang T C. Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(9): 2524-2531.
- [28] Thomas H, Morgan W G, Thomas A M, Ougham H J. Expression of the stay-green character introgressed into *Lolium temulentum* Ceres from a senescence mutant of *Festuca pratensis*. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 1999, 99(1/2): 92-99.
- [29] Ye Z P, Yu Q. Mechanism model of stomatal conductance. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 772-782.
- [30] Jiang D, Dai T, Jing Q, Cao W, Zhou Q, Zhao H, Fan X. Effects of long-term fertilization on leaf photosynthetic characteristics and grain yield in winter wheat. *Photosynthetica*, 2004, 42(3): 439-446.
- [31] Pfaanschmig T, Bräutigam K, Wagner R, Dietzel L, Schröter Y, Steiner S, Nykytenko A. Potential regulation of gene expression in photosynthetic cells by redox and energy state: approaches towards better understanding. *Annals of Botany*, 2009, 103(4): 599-607.
- [32] Santos C V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 2004, 103(1): 93-99.
- [33] Tischner R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant Cell and Environment*, 2000, 23(10): 1015-1024.
- [34] Singletary G W, Doehler D C, Wilson C M, Muhitch M J, Below F E. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. *Plant Physiology*, 1990, 94(3): 858-864.

参考文献:

- [4] 段巍巍, 李慧玲, 肖凯, 李雁鸣. 氮肥对玉米穗位叶光合作用及其生理生化特性的影响. *华北农学报*, 2007, 22(1): 26-29.
- [10] 李旭毅, 孙永健, 程宏标, 郑洪帆, 杨志远, 贾现文, 刘树金, 胡蓉, 马均. 氮肥运筹和栽培方式对杂交水稻 II 优 498 结实期群体光合特性的影响. *作物学报*, 2011, 37(9): 1650-1659.
- [11] 蔡瑞国, 张敏, 尹燕桦, 王平, 张体彬, 顾锋, 戴忠民, 梁太波, 邬云海, 王振林. 小麦灌浆过程中旗叶光合及抗氧化代谢与氮素营养关系研究. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 53-62.
- [12] 马东辉, 赵长星, 王月福, 吴钢, 林琪. 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合特性和产量的影响. *生态学报*, 2008, 28(10): 4896-4901.
- [13] 孙旭生, 林琪, 赵长星, 翟延举, 吴钢, Jaleel C A. 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): 1428-1437.
- [14] 武文明, 陈洪俭, 李金才, 魏凤珍, 王世济, 周向红. 氮肥运筹对孕穗期受渍冬小麦旗叶叶绿素荧光与籽粒灌浆特性的影响. *作物学报*, 2012, 38(6): 1088-1096.
- [15] 赵宏伟, 邹德堂, 付春艳. 氮肥施用量对春玉米光合作用关键酶活性和光合速率的影响. *玉米科学*, 2006, 14(3): 161-164.
- [16] 杨亮, 赵宏伟, 刘锦红. 氮素用量对春玉米功能叶片谷氨酰胺合成酶活性及产量的影响. *东北农业大学学报*, 2007, 38(3): 320-324.
- [18] 苏凯, 郝玉波, 王贵, 刘少坤, 杨今胜, 董树亭, 张吉旺, 刘鹏. 氮肥调控对不同保绿性超高产夏玉米产量及光合特性的影响. *山东农业科学*, 2011, (9): 71-75.
- [22] 李晶, 吉彪, 商文楠, 陈龙涛, 魏玲, 魏湜. 密度和氮素水平对小黑麦氮代谢相关酶活性和子粒营养品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(5): 1063-1068.
- [23] 刘建新, 王金成, 王鑫, 王瑞娟. 外源 NO 对 NaHCO_3 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节. *生态学报*, 2012, 32(11): 3461-3466.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2005: 134-140.
- [26] 王维光, 李立人. 菠菜二磷酸核酮糖 (RuBP) 羧化酶简化提纯研究. *植物生理学报*, 1980, 6(3): 257-262.
- [27] 卫丽, 熊友才, Ma B L, 马超, 邵阳, 张慧琴, 李朴芳, 程正国, 王同朝. 不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化. *生态学报*, 2011, 31(9): 2524-2531.
- [29] 叶子飘, 于强. 植物气孔导度的机理模型. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 772-782.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zebrafish *Danio rerio* XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH₄ uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N₂O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 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

本期责任副主编 王德利

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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 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