

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

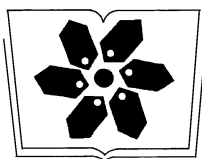
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



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 30 卷 第 22 期

2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征

陈国庆¹, 齐文增¹, 李 振¹, 王纪华², 董树亭¹, 张吉旺¹, 刘 鹏^{1,*}

(1. 山东农业大学农学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东省作物生物学重点实验室, 山东泰安 271018;

2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100001)

摘要:为明确超高产夏玉米冠层高光谱特性, 对不同生育期、不同氮肥处理下普通玉米与超高产夏玉米冠层高光谱特性进行了比较; 对超高产夏玉米冠层高光谱反射率及其衍生的植被指数与干物质积累、叶绿素含量间的相关性进行了分析。结果表明, 不同生育期, 超高产夏玉米近红外波段的高光谱反射率均大于普通玉米, 且在生育后期变化缓慢。开花期与灌浆期之间, 出现“红边平台”现象, 生育后期红边位置“蓝移”变化量显著小于普通玉米。随着施氮量的增加, 超高产夏玉米冠层高光谱反射率及红边位置变化不大, 而红边幅值与红边面积呈逐步增大趋势。在相关性分析中, 由 950、760、810、870nm 构成的各类植被指数及红边幅值、红边面积与超高产夏玉米干物质积累量间的相关性最好, 红边位置 λ_{red} 可用于估算叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素的含量。不同氮肥下, 超高产夏玉米冠层高光谱特征与普通玉米相比具有较大差异, 研究结果能为超高产夏玉米生理特性的研究提供支持。

关键词:超高产夏玉米; 氮素; 高光谱

Analysis of hyperspectral on super high-yielding maize under different nitrogen levels

CHEN Guoqing¹, QI Wenzeng¹, LI Zhen¹, WANG Jihua², DONG Shuting¹, ZHANG Jiwang¹, LIU Peng^{1,*}

1 State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100001, China

Abstract: Agricultural hyperspectral remote-sensing approaches have been proposed for the study of crop growth and development. The objective of this study was to clarify the hyperspectral on super high-yielding summer maize and give support to the study on super high-yielding maize growth. The experiment was conducted in the growing season of summer maize in 2009 at the Corn Research Centre of Huanghuaihai, Shandong Agricultural University. The experiment included two cultivars (DH661 and ZD958) and four levels of nitrogen (N) application (0, 150, 300 and 450 kg/hm² respectively). The differences of hyperspectral canopy reflectance between super high-yielding maize and general maize, the relativity between hyperspectral canopy reflectance and dry matter accumulation, chlorophyll content were analyzed. The results showed that the reflectance at near-infrared wavebands of super high-yielding summer maize was higher than that of general maize and slower change in the later growth period. It was related to the higher dry matter accumulation and chlorophyll content of high-yielding maize in the later growth period. Hyperspectral canopy reflectance of super high-yielding maize showed an increasing trend with the increases of nitrogen fertilizer. The difference under different level was not significant due to the higher fertilizer-bearing and less sensitivity of chlorophyll content to nitrogen fertilizer. The double-peak phenomena for red edge parameters of super high-yielding was similar to that of general maize and showed a decreasing trend with the change of development period. There was a red edge platform' phenomenon for the position of red edge between

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(200803037); 国家科技支撑计划项目(2006BAD02A13-2-2, 2007BAD31B04); 国家自然科学基金项目(30871476, 30900876); 山东省良种工程项目(鲁农良种字 2008-6 号)

收稿日期: 2010-10-05; 修订日期: 2010-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liup@sda.u.edu.cn

flowering period and filling period. It showed that super high-yielding maize had a longer growth vigorous period than that of general maize. The blue shift of position of red edge was similar to that of general maize, but its change was less than that of general maize. Meanwhile, red edge slope (D_{red}) and red edge area (S_{red}) were higher than that of general maize under different nitrogen levels. Some hyperspectral wavebands were chose to calculate RVI (Ratio Vegetation Index), DVI (Difference Vegetation Index) and $NDVI$ (Normalised Difference Vegetation Index), the correlation between the vegetation index and dry matter accumulation above ground and chlorophyll content was analyzed. The results indicated that the correlation between many vegetation index and dry matter accumulation above ground were significant ($r(0.01, 30) = 0.513$). Among these vegetation indices, the $NDVI$ with four bands (760nm, 810nm, 870nm, and 950nm respectively) was the best to predict the dry matter accumulation of super high-yielding maize. The correlation between vegetation index with visible wavebands (510nm, 560nm, and 710nm), near-infrared bands (810nm, 870nm, 950nm), and chlorophyll content was significant. Meanwhile, the significant correlation between position of red edge and chlorophyll content, chlorophyll a content, chlorophyll b content, carotenoid content was showed. The correlation between red edge slop, red edge area, and dry matter accumulation of super high-yielding was significant. The results also showed that red edge slop and red edge area could be used to predict chlorophyll content and chlorophyll a content of super high-yielding maize. Overall, the hyperspectral canopy reflectance had a large difference between super high-yielding maize and general maize. The hyperspectral canopy reflectance and position of red edge of super high-yielding maize were not sensitive with the increases of nitrogen fertilizer. The results could give support to the study of physiological property of super high-yielding maize.

Key Words: super high-yielding maize; nitrogen; hyperspectral

作物冠层光谱分析对作物生长信息的快速获取,生长诊断及精确管理均具有重要的意义,已经成为作物研究的重要领域。国内外学者已经在小麦^[1-2]、水稻^[3-5]、棉花^[6-7]、油菜^[8-9]等作物上进行了深入研究。在玉米光谱分析方面,谭昌伟等^[10]对不同条件下夏玉米的冠层反射光谱特性进行了分析。张俊华^[11]对不同施肥条件下夏玉米光谱特征与叶绿素含量和 LAI 的相关性进行了研究。赵巧丽^[12]应用冠层反射光谱对玉米 LAI 和地上干物重进行了估测研究。Hatfield 和 Carlson^[13]研究了不同群体结构玉米冠层的光谱。Thenkabail 等^[14]研究了玉米冠层特征与高光谱植被指数的关系。Daughtry 等^[15]研究了玉米叶片和冠层光谱反射率与叶绿素含量的关系。Pattey 等^[16]用高光谱方法来监测玉米长势。以上研究均仅局限于普通玉米品种,但针对超高产夏玉米冠层光谱特征的研究却鲜见报道。

超高产玉米为产量高、抗逆性强、品质好的玉米品种。2005 年李登海利用超高产夏玉米品种 DH661 创造了 19452.9kg/hm² 的全国高产纪录。王永军^[17]研究表明,灌浆特性及良好的冠层结构是其高产的重要原因。2006—2008 年全国共有 80 块高产田单产超过 15000kg/hm²,其中品种和增加密度是其产量突破的重要原因。伴随种植密度的增加,高产田冠层结构的变化动态与普通生产田已发生较大变化。研究超高产夏玉米冠层光谱特性对其高产特性的研究具有重要的意义。本文以超高产夏玉米田为平台,研究超高产夏玉米生长发育过程中的冠层光谱特征及其对氮素的响应,以期对超高产夏玉米高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2009 年在山东农业大学黄淮海区域玉米技术创新中心进行。供试品种为登海 661 (DH661) (该品种于 2005 年创造了单产 19452.9kg/hm² 的夏玉米高产记录,2006 年产量为 18045 kg/hm²,2007 年产量为 18439 kg/hm²) 和郑单 958 (ZD958),6 月 14 日播种,种植密度为 75 000 株/hm²。共设置 4 个氮素(肥料为尿素)水平,分别为 0、150、300、450 kg/hm² 纯氮,分别记为 N0、N10、N20、N30。试验采用裂区设计,重复 4 次。其中氮素水平为主区,品种为裂区,小区长 20m、宽 7.5m。除氮素外施用 P₂O₅ 105.0kg/hm²,K₂O 315 kg/hm²,田

间管理按照高产田的标准进行良好管理。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 冠层高光谱反射率测量

玉米群体冠层光谱测定采用美国 Analytical Spectral Device(ASD)公司生产的 FiledSpecPro FR2500 型背挂式野外高光谱辐射仪。ASD 高光谱仪的波段范围为 350—2500nm,其中 350—1000nm 光谱采样间隔为 1.4nm,光谱分辨率为 3nm;1000—2500nm 光谱采样间隔为 2nm,光谱分辨率为 10nm。光谱获取与农学采样时间同步,选择晴朗无云或少云的天气当日的为 10:00—14:00 时间段进行(太阳高度角大于 45°),测量时探头垂直向下,距冠层垂直高度 1m。每小区测量 3 点,每点重复 20 次,取平均值作为该小区的光谱测量值。

1.2.2 取样方法

在小口期、大口期、开花期、灌浆期、乳熟期期和成熟期取样,取样时间与冠层高光谱反射率测量同步。光谱测定完后,每个小区在光谱测定区域取代表性植株 3 株,破坏性取样进行生物量测定。植株杀青后 80℃ 烘干至恒量,测定植株地上部干物质质量。参照 Arnon 方法叶片叶绿素含量^[20],使用双通道紫外-可见分光光度计(UV-2450 型,日本岛津)比色。

2 结果与分析

2.1 超高产夏玉米与普通玉米干物质积累及叶绿素含量的变化

由图 1 可以看出,随着氮肥的增加,两个夏玉米品种的干物质积累与叶绿素含量均呈现升高的趋势。灌浆期(9 月 9 日)前,DH661 品种的干物质要小于 ZD958,但灌浆期后,DH661 的干物质要大于 ZD958。而超高产品种 DH661 的叶绿素含量要大于 ZD958,特别是在生育后期,差异更明显。

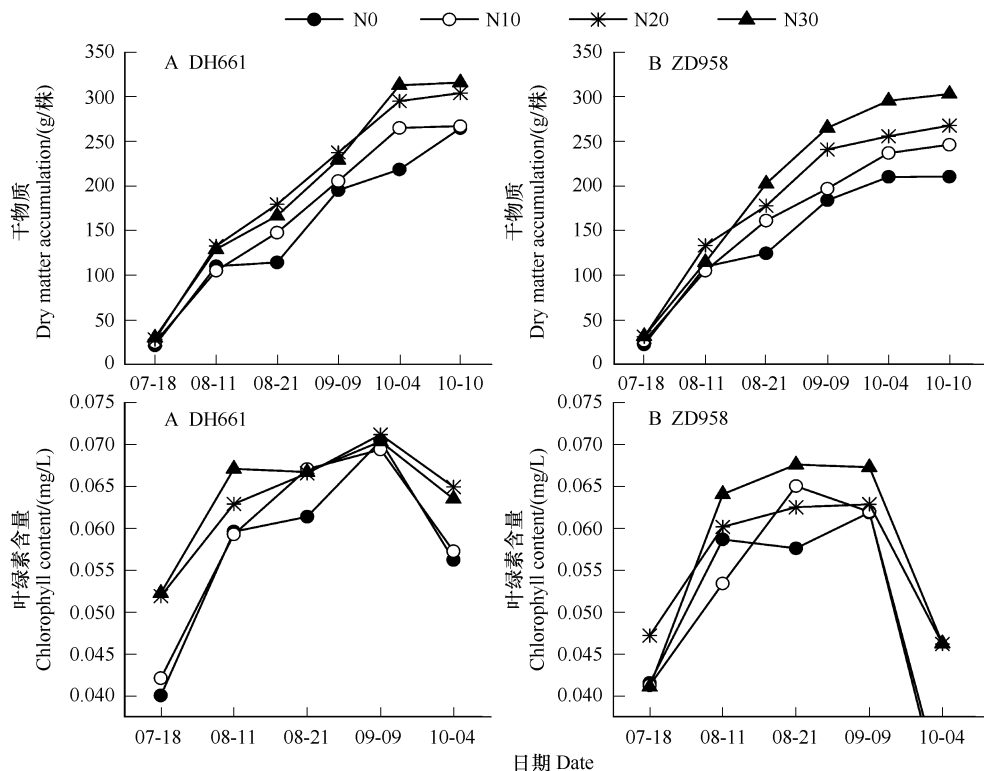


图 1 不同氮肥条件下夏玉米干物质积累与叶绿素含量

Fig. 1 Dry matter accumulation and chlorophyll content of two maize at different nitrogen

2.2 不同生育期超高产夏玉米与普通玉米高光谱反射率变化

以 150 kg/hm² 纯 N 处理下冠层多光谱反射率为例,分析不同生育期超高产夏玉米冠层反射率的变化(图

2)。两个玉米品种冠层反射光谱的形状及随发育期推进的变化趋势相同。在 400—680nm 范围内,开花期(8 月 11 日)后随着生育期的推进高光谱反射率升高,在成熟期(10 月 4 日)之前,两个品种高光谱反射率差异不大,在成熟期,ZD958 反射率略高于 DH661,可能是由于 DH661 在成熟期绿叶面积较大,光合能力较强,对红光和蓝光的吸收较强,其反射率逐渐降低,促使绿色波段形成的反射峰较低。在近红外波段(700—1300nm)的光谱反射率随生育进程变化较大。2 个品种均是开花期(8 月 11 日)冠层反射率达到最大,随后逐渐降低。由图 2 可以看出,在每个生育时期,DH661 的高光谱反射率均大于 ZD958,其差异主要由于超高产夏玉米与普通玉米冠层结构的不同。

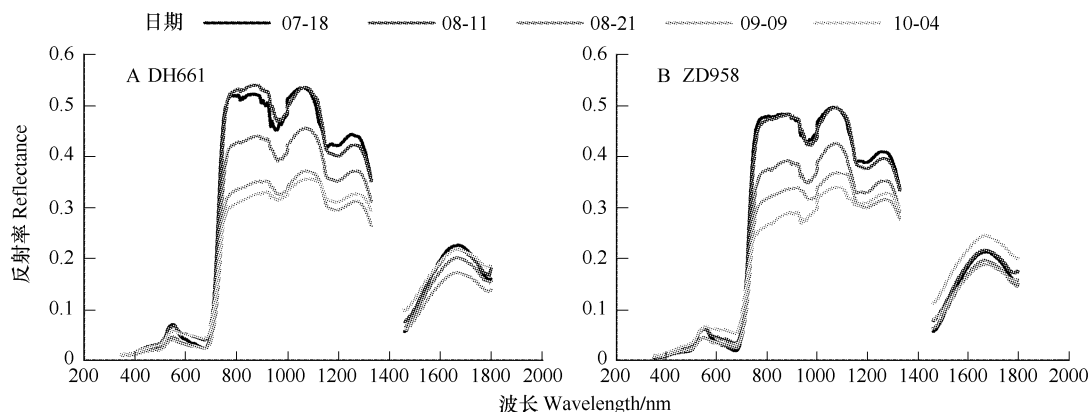


图 2 不同生育期超高产夏玉米冠层高光谱反射率

Fig. 2 Hyperspectra reflectance of super high yield maize at different growth stage

2.3 不同施氮水平下超高产夏玉米与普通玉米冠层高光谱反射率的变化

以开花期为例,分析超高产夏玉米在不同施氮水平下冠层高光谱反射率的特征(图 3)。总体上看,2 个玉米品种冠层高光谱反射率的变化趋势是相同的,随着施氮量的增加,各个波段冠层反射率均呈现升高的趋势。但 DH661 的冠层高光谱反射率要高于 ZD958。以可见光区域 550nm 及近红外区域 800nm 反射率为例, DH661 冠层高光谱反射率与 ZD958 相比分别高 7.5% 和 6.2%。同时,在近红外区域,普通玉米品种 ZD958 在不同施氮水平下的光谱反射率间的差异要明显大于 DH661。

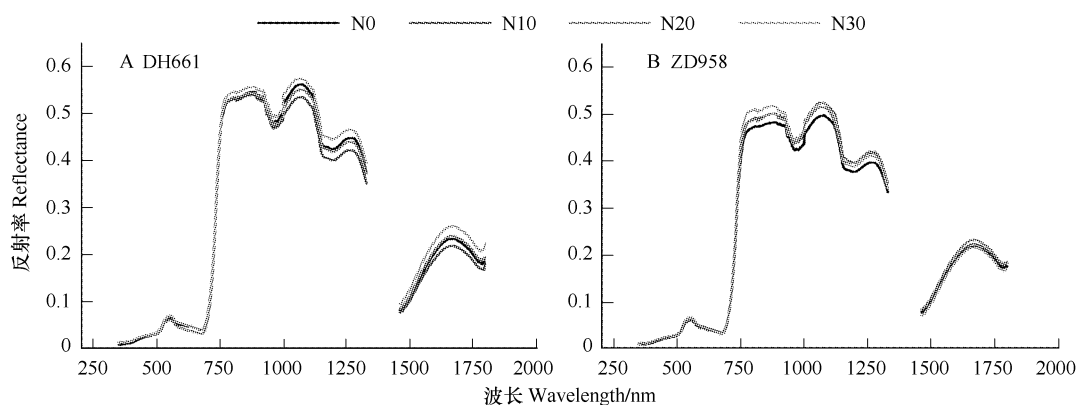


图 3 不同氮水平下玉米开花期的冠层高光谱反射率

Fig. 3 Hyperspectral reflectance of canopy for maize under different nitrogen levels at flowering stage

2.4 不同生育期超高产夏玉米与普通玉米红边参数

以 150 kg/hm² 纯 N 处理下冠层多光谱反射率为例,分析不同生育期红边参数的变化(图 4)。“红边”是指 680—760 nm 的红光区外叶绿素吸收减少部位到近红外高反射肩之间,健康植物的光谱响应陡然增加的这

一窄条带区,是植物所独有的光谱特征,蕴涵着大量的植被信息。描述“红边”的最重要参数有红边位置(λ_{red} ,红边范围内一阶导数光谱最大值所对应的波长)、红边幅值(D_{red} ,又称红边斜率,红边范围内一阶导数光谱的最大值)、红边面积(S_{red} ,680—760nm 之间的一阶导数光谱所包围的面积)。由图 4 可知,超高产夏玉米品种 DH661 与普通玉米品种 ZD958 冠层光谱的红边均具有“双峰”现象,这与前人的研究一致^[18]。随着生育期的推移,“双峰”现象逐渐减弱。DH661 冠层光谱的红边随着生育期的推进变化较小,而 ZD958 冠层光谱的红边变化较大,特别是在成熟期(10 月 4 日)700nm 处光谱反射率陡然升高,明显高于 DH661,可能与成熟期 ZD958 叶片衰亡严重,叶绿素及冠层结构发生变化有关。

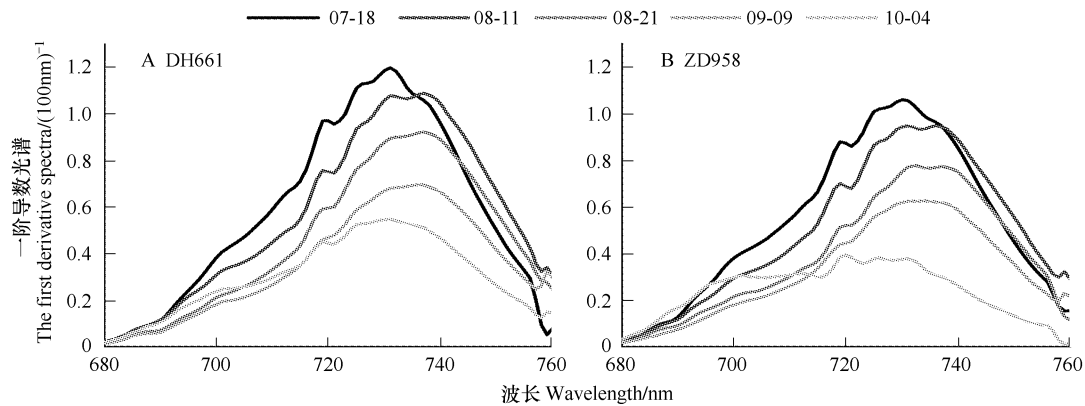


图 4 不同生育期玉米冠层光谱的红边

Fig. 4 The red edge of canopy spectra for maize at different stage

由图 5 可知,2 个品种开花前红边位置的变化是一致的,呈“红移”现象。开花后,ZD958 红边位置迅速呈“蓝移”现象,且变化较大。DH661 品种从 8 月 11 日(开花期)到 8 月 21 日(灌浆期)红边位置保持不变,呈“红边平台”现象,表明超高产夏玉米品种的生长旺盛期要长于普通玉米品种。灌浆期后红边位置开始呈现“蓝移”现象,但变化较缓。由红边幅值及红边面积可以看出,随着生育期的推移,两个品种均呈现降低趋势,成熟期最低,且 DH661 的红边幅值及红边面积均高于 ZD958。

2.5 不同 N 肥处理下超高产夏玉米与普通玉米红边参数

由图 6 可知,在不同的氮肥处理下,两个玉米品种冠层的红边变化规律相同,没有出现“双峰”减弱或增强的现象。

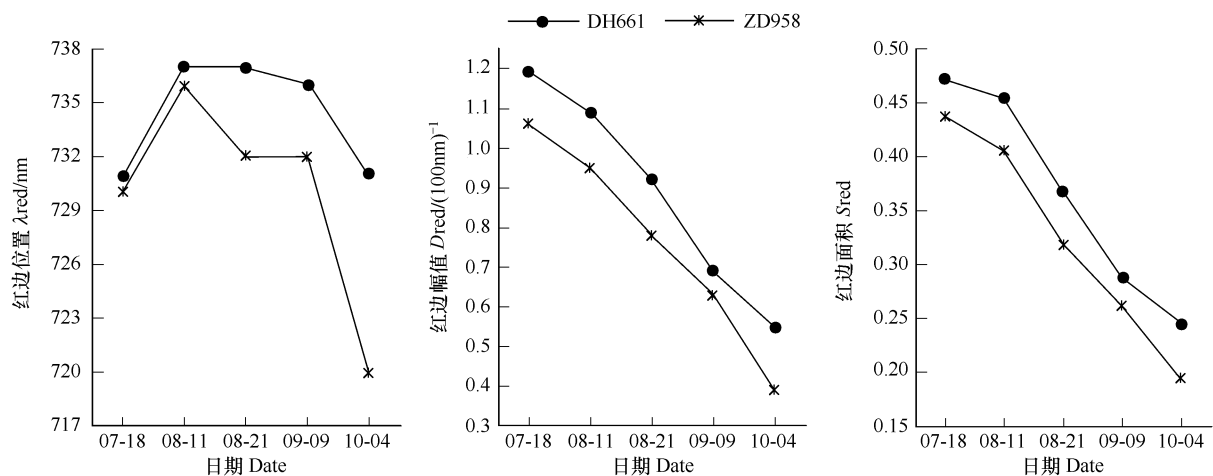


图 5 不同生育期玉米冠层光谱红边参数的变化

Fig. 5 The change of parameters of red edge of canopy spectra with growth for maize

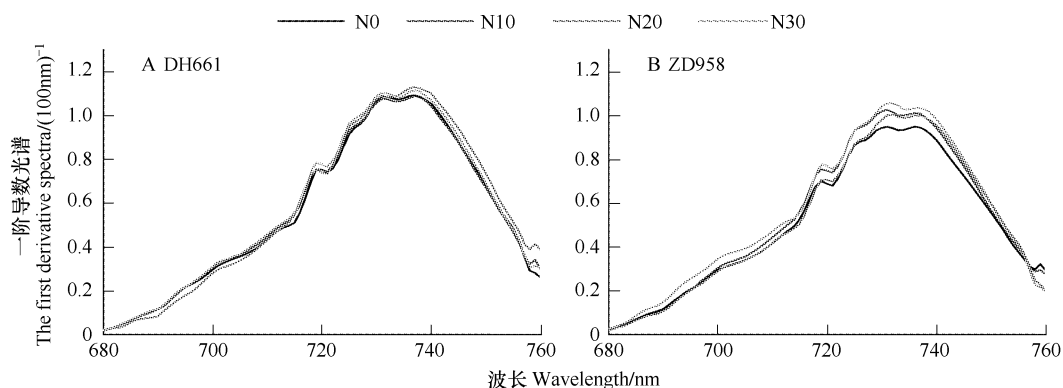


图6 不同氮肥水平玉米冠层光谱的红边

Fig. 6 The red edge of canopy spectra for maize under different nitrogen levels

由图7可以看出,随着施氮量的增加,两个品种的红边位置(λ_{red})基本保持不变。随着施氮量的增加,DH661 的红边幅值(D_{red})与红边面积(S_{red})均呈现稳步升高的趋势。对于ZD958,虽然不同氮肥处理有所变化,但总体上看,其红边幅值(D_{red})与红边面积(S_{red})随着施氮量的增加,呈现升高的趋势。同时,在每个氮肥处理下,DH661 的红边幅值(D_{red})与红边面积(S_{red})均明显高于ZD958。

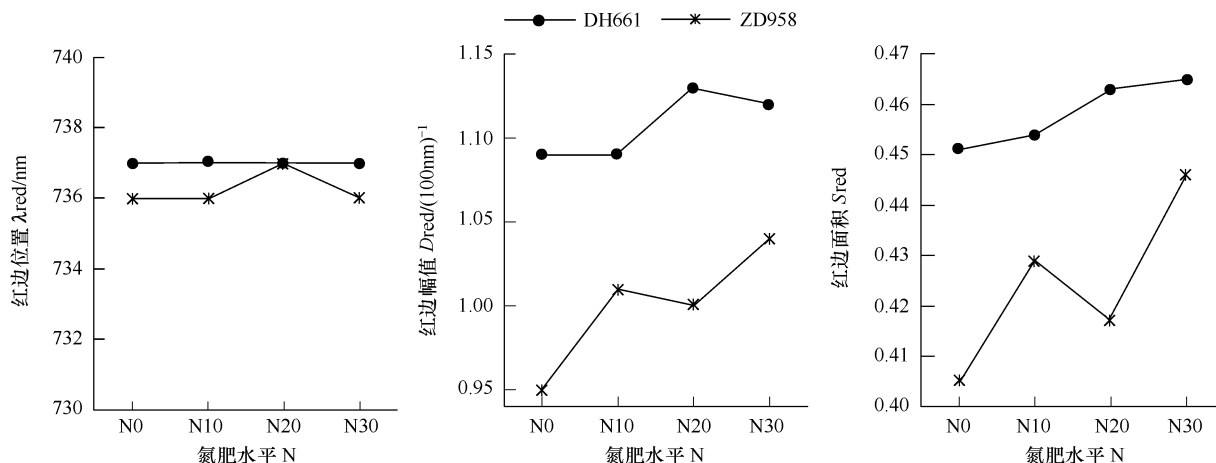


图7 不同氮肥水平玉米冠层光谱红边参数的变化

Fig. 7 The change of parameters of red edge of canopy spectra for maize under different nitrogen level

2.6 超高产夏玉米冠层反射特征与干物质积累及叶绿素含量的相关性

参考多光谱波段,从高光谱波段中选择部分波段,进一步对其组合构成的比值植被指数、归一化植被指数及差值植被指数与地上部干物质积累量的相关性进行分析(图8)。结果表明,不同植被指数与地上部干物质积累量均达到了较好的相关性,绝大多数植被指数的相关性均达到了显著水平($r(0.01, 30) = 0.513$)。总体上看,与归一化植被指数($NDVI$)的相关性最好,其次是差值植被指数(DVI)。从图8中可以看出,由950、760、810、870nm构成的各类植被指数与超高产夏玉米地上部干物质积累量的相关性达到了极显著水平。由叶绿素含量与各植被指数的相关性(图9),可见光波段(510、560、710)与近红外波段(810、870、950)构建的各类植被指数与叶绿素含量的相关性较高。其中以 $RVI(510, 560)$ 、 $RVI(510, 710)$ 、 $RVI(760, 810)$ 、 $RVI(760, 870)$ 、 $DVI(610, 680)$ 、 $DVI(760, 950)$ 、 $NDVI(510, 710)$ 、 $NDVI(760, 810)$ 表现较好,相关系数达到了0.8以上。

2.7 超高产夏玉米红边参数与干物质积累、叶绿素含量的相关性

进一步对各红边参数与干物质积累量、叶绿素含量间的相关性进行分析(表1)。结果表明,红边位置

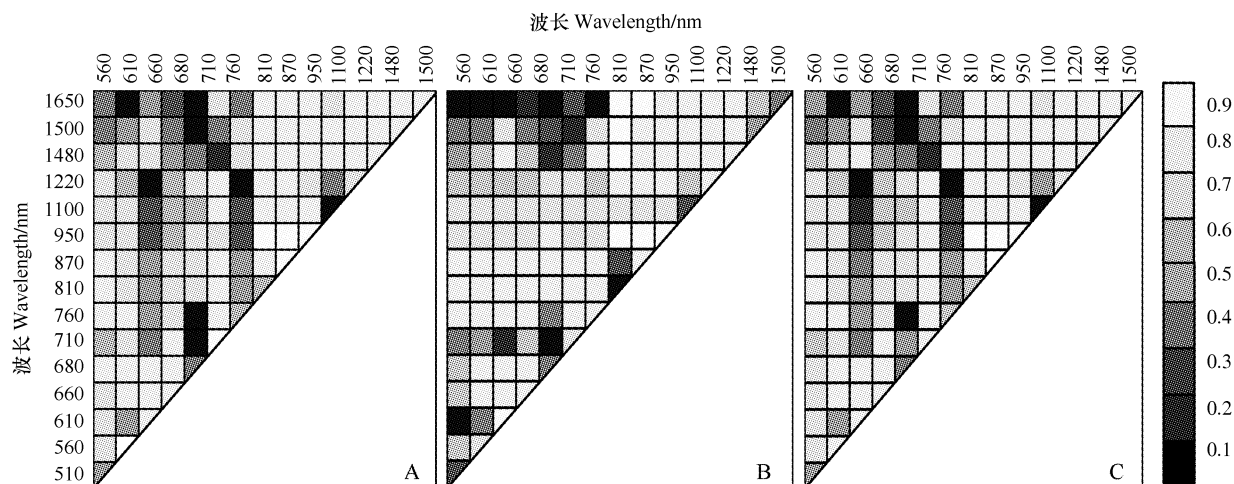


图8 DH661 地上部干物质积累量与比值植被指数(A)、差值植被指数(B)及归一化植被指数(C)的相关系数
Fig.8 Correlation coefficients of above-ground dry matter accumulation to *RVI*(A), *DVI*(B) and *NDVI*(C) of DH661

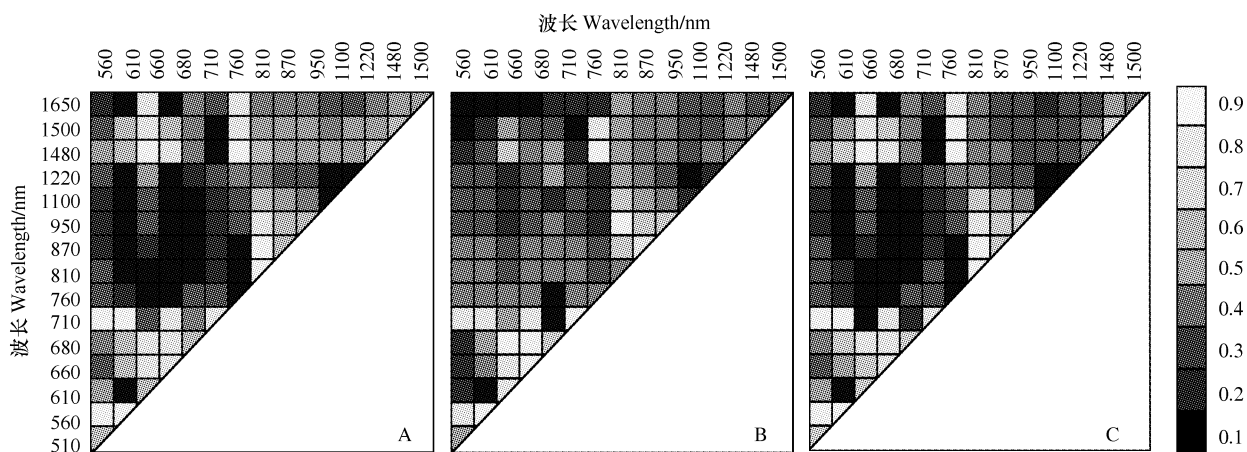


图9 DH661 叶绿素含量与比值植被指数(A)、差值植被指数(B)及归一化植被指数(C)的相关系数
Fig.9 Correlation coefficients of chlorophyll content to *RVI*(A), *DVI*(B) and *NDVI*(C) of DH661

(λ_{red})与叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素之间均有很好的相关性,达到了显著水平。而红边幅值(D_{red})、红边面积(S_{red})与干物质积累之间有很好的相关性,达到了极显著水平。另外,红边幅值(D_{red})、红边面积(S_{red})与 DH661 的叶绿素总量及叶绿素 a 之间达到了显著相关,而与 ZD958 之间的相关性不显著。因此,可用红边参数 D_{red} 、 S_{red} 来估算超高产夏玉米干物质积累量,用红边位置 λ_{red} 估算叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素的含量。

3 讨论

超高产夏玉米紧凑的株型、耐密性,底层叶片对光的弱敏感性以及生育后期的高保绿性^[17]都决定了其冠层高光谱特性与普通玉米冠层高光谱特性的差异。王永军^[17]研究表明,超高产夏玉米冠层结构紧凑,生育后期叶面积衰亡小,叶片保绿性强。从本文研究结果看,在不同生育期,特别是在生育后期,超高产夏玉米冠层高光谱反射率均高于普通玉米品种,因此良好的冠层结构及生育后期较高的叶绿素含量是其冠层光谱特性与普通玉米差异的重要原因。而在不同的密度及不同的种植模式(大小行距、等行距)下,超高产夏玉米冠层高光谱反射率是否还遵循这一规律,仍需进一步的研究。

表 1 红边参数与干物质积累、叶绿素含量的相关系数 (n = 30)

Table 1 Correlation coefficients of the parameter of red edge to dry matter accumulation (DM), chlorophyll content (n = 30)

	DM Dry matter		叶绿素 a + b 含量 Chlorophyll (a + b) content		叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content		叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content		类胡萝卜素含量 Carotenoid content	
	DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958	DH661	ZD958
红边位置 Position of red edge (λ_{red})	0.05	-0.31	0.69 **	0.75 **	0.58 *	0.72 **	0.73 **	0.76 **	-0.69 **	-0.79 **
红边幅值 Red edge slope (D_{red})	-0.88 **	-0.83 **	-0.47 *	0.20	-0.51 *	0.22	-0.42 *	0.16	-0.12	-0.60 **
红边面积 Red edge area (S_{red})	-0.88 **	-0.84 **	-0.49 *	0.14	-0.52 *	0.17	-0.44 *	0.10	-0.08	-0.52

在不同的 N 肥处理下,超高产夏玉米冠层的高光谱反射率均高于普通玉米。随着施氮量的增加,超高产夏玉米冠层在近红外区域的高光谱反射率呈增大的趋势,这与前人的研究结果相同^[19]。但随着施氮量的增加,超高产夏玉米品种冠层的高光谱反射率在可见光区域及近红外区域并没有发生较大的变化。郭曼^[19]研究表明在可见光区域(400—760nm)玉米叶片光谱反射率与叶片含氮量具有相关性。而随着施氮量的增加,超高产夏玉米叶片的含氮量并没有显著增加,表明超高产夏玉米与普通玉米相比对施氮反应不敏感。因此,在不同施氮量下玉米冠层光谱特性方面,超高产夏玉米与普通玉米的差异,可能与超高产夏玉米较强的耐肥性有关。

红边处在红光区域和近红外区域的过渡地带,包含信息量非常丰富,许多研究者对此区域光谱进行了分析计算^[7,18,20]。本研究表明,开花后,超高产夏玉米品种的红边位置与普通玉米品种存在明显的差异。超高产夏玉米红边“蓝移”变化较缓慢,且在开花期与灌浆期之间存在“红边平台”现象,而唐延林^[21]研究表明普通玉米不存在这一现象。其原因可能是由于超高产夏玉米的生长旺盛期要明显长于普通玉米,其主要表现为叶片平均饱和光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度均高于普通玉米^[17]。超高产夏玉米红边幅值及红边面积随着施氮量的增加呈上升趋势,表明红边幅值及红边面积可监测超高产夏玉米含氮量的变化。

由各波段组合的植被指数、红边参数与干物质积累、叶绿素含量间的相关性结果可知,950、760、810、870nm 构成的各类植被指数与干物质积累的相关性最好,可用于超高产夏玉米地上部干物质积累的估算。而红边位置(λ_{red})可用于估算超高产夏玉米叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素的含量。

4 结论

超高产夏玉米的冠层高光谱特性与普通玉米相比存在较大差异,特别是在生育后期差异更明显。同时,超高产夏玉米冠层高光谱反射率与红边位置随着施氮量的增加表现为弱敏感性。研究结果对超高产夏玉米生理特性的研究提供了支持。但本研究只是在一个生态区完成,在不同的生长条件或种植模式下,超高产夏玉米冠层高光谱的特性是否遵循这一规律仍需进一步研究。

References:

- [1] Li Y X, Zhu Y, Dai T B, Tian Y C, Cao W X. Quantitative relationships between leaf area index and canopy reflectance spectra of wheat. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8): 1443-1447.
- [2] Tian Y C, Zhu Y, Cao W X, Dai T B. Relationship between canopy reflectance and plant water status of wheat. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 2072-2076.
- [3] Cheng Q, Huang J F, Wang R C, Tang Y L. Correlation analysis of simulated MODIS vegetation indices and rice leaf area index and leaf chlorophyll content. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1363-1367.
- [4] Kimura R, Okada S, Miura H, Kamichika M. Relationships among the leaf area index, moisture availability, and spectral reflectance in an upland rice field. Agricultural Water Management, 2004, 69(2): 83-100.
- [5] Shibayama M, Akiyama T. Seasonal visible, near-infra-red and mid-Infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry

- biomass. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 27(2): 119-127.
- [6] Zhu Y, Wu H B, Tian Y C, Yao X, Zhou Z G, Cao W X. Estimation of dry matter accumulation in above-ground part of cotton by means of canopy reflectance spectra. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 105-109.
- [7] Tang Y L, Wang X Z, Huang J F, Kong W Z, Wang R C. The Hyperspectra and their Red Edge Characteristics of Cotton(I). *Cotton Science*, 2003, 15(3): 146-150.
- [8] Zhang X H, Liu S M, He B B. Analysis on hyperspectral characteristics of rape at different nitrogen levels. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2007, 43(3): 245-249.
- [9] Wang Y, Wang F M, Huang J F. The models for estimation of dry biomass from different components of rapeseed using canopy spectral data. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2004, 16(2): 79-83.
- [10] Tan C W, Guo W S, Zhu X K, Li C Y, Wang J H. Canopy spectral reflectance characteristics of summer maize under different conditions. *Transactions of the CSAE*, 2008, 234(9): 131-135.
- [11] Zhang J H, Zhang J B, Jia K L. Correlation between summer maize spectral reflectance and leaf chlorophyll, LAI under different fertilizations. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(7): 1461-1467.
- [12] Zhao Q L, Zheng G Q, Duan S F, Dai T B. Estimation of LAI and aboveground dry biomass in maize based on canopy spectral reflectance. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1): 219-222.
- [13] Hatfield J L, Carlson R E. Light Distribution on Three Corn Canopy Structures. Beijing: Agriculture Press, 1981.
- [14] Thenkabail P S, Simth R B, Pauw E D. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing Environment*, 2000, 71(2): 158-182.
- [15] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S, De Colstoun E B, McMurtrey J E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(2): 229-239.
- [16] Pattery E, Strachan I B, Boisvert J B, Desjaradins R L, McLaughlin N B. Detecting effects of nitrogen rate and weather on corn growth using micrometeorological and hyperspectral reflectance measurement. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(2): 85-99.
- [17] Wang Y J. Mechanisms of Synchronous Improvements on Population Quality and Individual Function of Super High-yielding Maize. Taian: Shandong Agricultural University, 2008.
- [18] Tang Y L, Wang X Z, Wang R C. Study on the hyperspectral and their red edge characteristics of corn. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2003, 22(3): 189-194.
- [19] Guo M, Chang Q R, Cao X R. Initial study of different nitrogen levels on summer corn's spectral characteristics. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2008, 36(11): 123-129.
- [20] Huang C Y, Wang D W, Zhang Y X. Estimation of cotton canopy chlorophyll density and leaf area index based on red-edge parameters. *Transactions of the CSAE*, 2005, 29(supp. 2): 137-141.
- [21] Tang Y L, Huang J F, Wang X Z, Wang R C, Wang F L. Comparison of the characteristics of hyperspectra and the red edge in rice, corn and cotton. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(1): 29-35.

参考文献:

- [1] 李映雪, 朱艳, 戴廷波, 田永超, 曹卫星. 小麦叶面积指数与冠层反射光谱的定量关系. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1443-1447.
- [2] 田永超, 朱艳, 曹卫星, 戴廷波. 小麦冠层反射光谱与植株水分状况的关系. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2072-2076.
- [3] 程乾, 黄敬峰, 王人潮, 唐延林. MODIS 植被指数与水稻叶面积指数及叶片叶绿素含量相关性研究. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1363-1367.
- [6] 朱艳, 吴华兵, 田永超, 姚霞, 周志国, 曹卫星. 基于冠层反射光谱的棉花干物质积累量估测. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 105-109.
- [7] 唐延林, 王秀珍, 黄敬峰, 王人潮. 棉花高光谱及其红边特征(I). *棉花学报*, 2003, 15(3): 146-150.
- [8] 张雪红, 刘绍民, 何蓓蓓. 不同氮素水平下油菜高光谱特征分析. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(3): 245-249.
- [9] 王渊, 王福民, 黄敬峰. 油菜不同组分生物量光谱遥感估算模型. *浙江农业学报*, 2004, 16(2): 79-83.
- [10] 谭昌伟, 郭文善, 朱新开, 李春燕, 王纪华. 不同条件下夏玉米冠层反射光谱响应特性的研究. *农业工程学报*, 2008, 234(9): 131-135.
- [11] 张俊华, 张佳宝, 贾科利. 不同施肥条件下夏玉米光谱特征与叶绿素含量和 LAI 的相关性. *西北植物学报*, 2008, 28(7): 1461-1467.
- [12] 赵巧丽, 郑国清, 段韶芬, 戴廷波. 基于冠层反射光谱的玉米 LAI 和地上干物重估测研究. *华北农学报*, 2008, 23(1): 219-222.
- [17] 王永军. 超高产夏玉米群体质量与个体功能研究. 山东农业大学博士论文, 2008.
- [18] 唐延林, 王秀珍, 王人潮. 玉米高光谱及其红边特征分析. *山地农业生物学报*, 2003, 22(3): 189-194.
- [19] 郭曼, 常庆瑞, 曹晓瑞. 不同氮营养水平与夏玉米光谱特性关系初报. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(11): 123-129.
- [19] 黄春燕, 王登伟, 张煜星. 基于棉花红边参数的叶绿素密度及叶面积指数的估算. *农业工程学报*, 2005, 29(增刊2): 137-141.
- [20] 唐延林, 黄敬峰, 王秀珍, 王人潮, 王福林. 水稻、玉米、棉花的高光谱及其红边特征比较. *中国农业科学*, 2004, 37(1): 29-35.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 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	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

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