

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

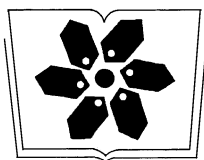
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

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 33 卷 第 3 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201204090497

赵犇, 姚霞, 田永超, 刘小军, 曹卫星, 朱艳. 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数. 生态学报, 2013, 33(3): 0916-0924.

Zhao B, Yao X, Tian Y C, Liu X J, Cao W X, Zhu Y. Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0916-0924.

基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数

赵 犇, 姚 霞, 田永超, 刘小军, 曹卫星, 朱 艳*

(南京农业大学/国家信息农业工程技术中心/江苏省信息农业高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要:快速、准确的监测诊断小麦氮营养状态对于评价小麦长势、指导氮肥运筹并预测籽粒产量均具有重要的意义。基于 2009—2011 年的大田试验, 系统分析了小麦上部 4 张单叶不同叶位的 SPAD 值和归一化 SPAD 指数(NDSPAD_{ij})与氮营养指数的定量关系, 通过简单分组线性回归筛选出在不同年际和不同品种间表现稳定的氮营养指数(NNI)定量方程。结果表明, 小麦上部不同叶位 SPAD 值和 NNI 随施氮量提高而提高, 而 NDSPAD_{ij} 随施氮量的提高而降低。小麦单叶 SPAD 值与 NNI 的关系呈显著正相关, 但这种关系在品种或年份之间不稳定, 对小麦氮素诊断存在风险; 除 NDSPAD₁₂ 外, NDSPAD_{ij} 与 NNI 之间呈显著负相关, 经简单分组线性分析发现 NDSPAD₁₄ 与 NNI 之间在年份和品种之间表现最稳定, 能够较好的定量估算氮营养指数, 从而快速诊断小麦氮素是否亏缺。

关键词:小麦; 氮营养指数; 叶绿素值(SPAD 值); 诊断

Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat

ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, LIU Xiaojun, CAO Weixing, ZHU Yan*

Jiangsu Key Laboratory for Information Agriculture, National Engineering and Technology Center for Information Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Rapid, accurate, and dynamic diagnosis of nitrogen nutrition status is essential for evaluating vigor, for predicting production rates, and for agricultural management of cultivated wheat. To determine the critical nitrogen concentration dilution curve for wheat, two field experiments with different levels of N application (0, 75, 150, 225, 300 and 375 kg/hm²) were conducted in Yizheng, China. According to the procedure in Justes's curve, the dry matter and nitrogen concentrations under different nitrogen treatments could be compared by analysis of variance at the 5% probability level. Based on this curve, we developed a nitrogen nutrition index (NNI). In this index, when NNI=1, nitrogen nutrition was considered to be optimum, NNI>1 indicated excess nitrogen, and NNI<1 indicated nitrogen deficiency. We further investigated relationships between NNI and soil and plant analyzer development (SPAD) chlorophyll meter values and normalized differential SPAD_{ij}(NDSPAD_{ij}) values obtained at the top four leaf positions in wheat. We conducted a linear parallel curve analysis with grouped data to determine if the linear quantitative equation relating NNI to SPAD value or NDSPAD_{ij} showed differences between varieties and/or years. The results showed that the curve had specific biological significance. The relationship between the critical nitrogen concentration and wheat dry matter could be described by the following negative power equations Y16: $N_{enc} = 4.65DM^{-0.44}$ and N13: $N_{enc} = 4.33DM^{-0.45}$. The critical nitrogen curves of the two cultivars of wheat had the same coefficient "b" but different coefficients "a". Y16 had a higher nitrogen

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0797); 国家自然科学基金(30871448, 31201130); 国家 863 计划(2011AA100703); 江苏省科技支撑计划项目(BE2010395, BE2011351); 江苏省自然科学基金(BK2008330, BK2010453, BK2012361); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

收稿日期: 2012-04-09; 修订日期: 2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanzhu@njau.edu.cn

accumulation capacity than N13. The NNI values ranged from 0.37 to 1.28, and increased with higher nitrogen application rates under the different nitrogen levels. The optimum nitrogen level was 150 kg/hm² in 2009–2010, but was 225 kg/hm² in 2010–2011. The SPAD values increased with increasing N application rates, and ranged from 34.3 to 52.8. In contrast, the NDSPAD_{ij} value decreased with increasing nitrogen application rates, which showed that increasing amounts of nitrogen could decrease the differences in SPAD value among the top four single leaves of wheat. The NDSPAD_{ij} values ranged from 0.01 to 0.143. The SPAD value at the top four single leaf positions were significantly positively related to NNI. The correlation coefficients ranged from 0.666 to 0.823. The strongest correlation was between the SPAD value at the top leaf (T1) and NNI, while the weakest correlation was between the SPAD value at the second leaf (T2) and NNI. A linear parallel curve analysis with grouped data approximated the relationship between SPAD and NNI and its differences between varieties and years. This will be useful for diagnoses of wheat nitrogen nutrition. In contrast, NDSPAD_{ij} was significantly negatively related to NNI, except for NDSPAD₁₂. The correlation coefficients ranged from 0.01 to -0.849. The strongest correlation was between NDSPAD₁₄ and NNI, while the weakest correlation was between NDSPAD₁₂ and NNI. A linear parallel curve analysis with grouped data demonstrated the relationship between NDSPAD₁₄ and NNI (NNI = -2.019NDSPAD₁₄ + 1.18, $R = -0.838^{**}$) stably across variety and year differences. This analysis could be used to assess NNI quantitatively and to diagnose wheat nitrogen deficiency quickly.

Key Words: wheat; nitrogen nutrition index; SPAD; diagnosis

氮素是作物生长发育的主要营养元素,其吸收、同化与运转直接影响着作物的生长发育状况。通过植株氮营养状况进行合理的氮肥运筹能有效提高作物产量并减少环境污染^[1-4]。氮营养指数(NNI)是基于作物临界氮浓度稀释模型,具有合理的生物学意义,可以定量地反映作物体内氮营养状况,当 NNI=1,表明作物体内氮素营养水平处于最佳状态;高于1为氮营养过剩;低于1则氮营养不足。但传统的计算 NNI 的方法需要破坏性取样,获取作物实际的生物量,且要进行室内化学分析获取氮浓度,从而计算临界氮浓度,一定程度上具有滞后性^[5]。叶绿素仪(Soil and plant analyzer development, SPAD-502)具有快速、简便和无损的特点,常被用来快速无损的监测诊断作物氮素营养^[6-8]。前人基于作物高产条件下建立的 SPAD 值与产量的关系确定了适宜 SPAD 值^[9-12],但仅能在固定生育时期进行诊断,不具有动态性。近年来利用 SPAD 值来估算作物 NNI 从而快速无损诊断氮素营养状况已经在小麦、玉米、茅草等作物上被应用^[13-15],但这种关系易受到外界环境和品种特性的影响。Debaeke 用小麦顶1叶相对 SPAD 值(RSPAD)代替 SPAD 值与 NNI 建立关系,以消除环境的影响,结果表现比较稳定^[15],但 RSPAD 值的计算需要高氮处理作为对照,因此在实际应用中具有局限性。目前,国内外对于 SPAD 值和氮营养指数的关系研究大多集中在单张叶片水平,而对不同叶位构建的归一化 SPAD 指数(Normalized differential SPAD_{ij}, NDSPAD_{ij})与 NNI 之间关系研究较少,未见报道。与 RSPAD 值相比,计算 NDSPAD_{ij} 更加方便,有实际应用前景。因此,有必要构建基于不同叶位 SPAD 值的 NNI 估算模型,以简便、快速、无损诊断氮素营养。

本文旨在 2a 大田试验的基础上,基于上部 4 张不同叶位构建的归一化 SPAD 指数估算小麦氮营养指数,以期构建普适性较好,准确性较高的氮营养指数模型,为精确无损诊断小麦氮素状况及推荐施肥提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本研究共进行了 2 个小麦田间试验,涉及到不同年份、品种类型和施氮水平,具体试验设计描述如下:

试验 1

于 2009—2010 年在仪征新集试验站(位于仪征市,119°10',32°16')进行。试验田土壤有机质 18.9 g/kg,碱解氮 100 mg/kg,有效磷 34 mg/kg,速效钾 90 mg/kg,供试品种为扬麦 16(中蛋白含量,约 14.9%)和宁麦 13

(低蛋白含量,约 10.2%),设置 5 个施氮水平 0(N0)、75 kg/hm²(N1)、150 kg/hm²(N2)、225 kg/hm²(N3)、300 kg/hm²(N4),基追比为 5:5,基肥于播种前施入,追肥在拔节时施入。播种方式为人工条播,小区面积为 30 m²,行距 25 cm,重复 3 次,基本苗为 180 万株/hm²。结合整地一次性施用 96 kg/hm² P₂O₅ 和 120 kg/hm² K₂O,磷钾肥全部做基肥。其他栽培管理措施同一般高产田。该试验资料用于小麦临界氮浓度稀释模型的检验。

试验 2

于 2010—2011 年在仪征新集试验站进行。试验田土壤有机质 13.5 g/kg,碱解氮 66 mg/kg,有效磷 43 mg/kg、速效钾 82 mg/kg,供试品种为扬麦 16 和宁麦 13,设置 6 个施氮水平 0(N0)、75 kg/hm²(N1)、150 kg/hm²(N2)、225 kg/hm²(N3)、300 kg/hm²(N4)、375 kg/hm²(N5),基追比为 5:5,基肥在播种前施入,追肥在拔节时施入。播种方式为人工条播,小区面积为 30m²,行距 25cm,重复 3 次,基本苗为 240 万株/hm²。结合整地一次性施用 96 kg/hm² P₂O₅ 和 120 kg/hm² K₂O,磷钾肥全部做基肥。其他栽培管理措施同一般高产田。该试验资料用于小麦临界氮浓度稀释模型的建立。

1.2 SPAD 值测定和计算方法

在拔节期、孕穗和开花期每个小区取代表性植株 20 株,测量 20 个主茎顶 1 叶到顶 4 叶的 SPAD 值,每张叶片测定 3 个位置(叶尖、中部和根部),计算 3 个位置的平均值作为该叶的 SPAD 值。不同叶位的归一化 SPAD 指数(NDSPAD_{ij})的计算公式为:

$$\text{NDSPAD}_{ij} = (\text{SPAD}_i - \text{SPAD}_j) / (\text{SPAD}_i + \text{SPAD}_j) \quad (1)$$

式中,SPAD_i 和 SPAD_j 分别代表小麦主茎顶 1 叶到顶 4 叶中第 *i* 叶位和 *j* 叶位的 SPAD 值,*i* 和 *j* 的值为 1 到 4,且 *i* < *j*。

1.3 小麦植株氮含量的测定

与叶位 SPAD 值测量同步,在小麦生长各关键时期每小区取代表性植株 20 株,按器官分离,105 °C 杀青 30 min,80 °C 烘干后称重,粉碎后使用半微量凯氏定氮法测定小麦植株不同组织器官(茎、叶、穗)全氮含量(%)。各器官氮积累量(kg/hm²)=器官含氮量(%)×干物重(kg/hm²)。所有器官氮积累量相加得到地上部植株氮积累量。植株氮含量(%)=植株氮积累量(kg/hm²)/植株干物重(kg/hm²)。

1.4 小麦氮营养指数的计算方法

根据临界氮浓度稀释曲线,Lemaire 等人建立了氮素营养指数(NNI)的模型^[16]:

$$\text{NNI} = N_a / N_{\text{enc}} \quad (2)$$

式中,*N_a* 为作物地上部氮浓度的实测值(%);*N_{enc}* 为以相同地上部干物重根据临界氮浓度模型求得的临界氮浓度值(%)。

1.5 数据分析

采用 Excel 软件完成全部数据处理和作图,SPSS11.0 统计软件进行统计分析。

1.6 小麦氮营养指数回归检测

使用 GenStat 软件的简单分组线性回归^[14]来检测不同叶位 SPAD 值和归一化 SPAD 指数(NDSPAD_{ij})与氮营养指数(NNI)之间拟合曲线在不同年份或品种之间差异是否显著。曲线拟合的方程为:

$$Y = aX + b \quad (3)$$

式中,*Y* 为反应变量(NNI),*X* 为解释变量(单叶 SPAD 和归一化 SPAD 指数 NDSPAD_{ij}),*a* 和 *b* 是待估参数。

2 结果与分析

2.1 小麦植株氮营养指数的确定

作物体内的氮浓度随地上干物重的增长而降低,作物地上部分的含氮量 *N* 与地上干物重 *DM* 间的关系可用幂函数方程 $N = aDM^{-b}$ 表示,获得最大地上干物重所需的最低氮浓度值为临界氮浓度。根据 Justes 等人提出的计算临界氮浓度稀释曲线方法^[17],本文利用试验 1 和 2 的数据分别构建了扬麦 16 和宁麦 13 的临界氮浓度稀释曲线模型(图 1),并通过简单线性分组分析,发现临界氮浓度稀释模型在不同年份之间保持稳定(表

1),但品种间有明显差异,因此可以使用同一形式的曲线分别拟合扬麦 16 和宁麦 13 临界氮浓度稀释模型。

$$\text{扬麦 16: } N_{\text{cnc}} = 4.65\text{DM}^{-0.44} \quad R^2 = 0.99 \quad (4)$$

$$\text{宁麦 13: } N_{\text{cnc}} = 4.33\text{DM}^{-0.45} \quad R^2 = 0.95 \quad (5)$$

式中, N_{cnc} 为小麦临界氮浓度(%),DM 为地上部干物重(t/hm^2)。

利用临界氮浓度稀释模型(式 4,式 5)计算了 2 个品种不同氮素水平下氮营养指数动态变化(图 2),结果显示,随着施氮水平的提高,氮营养指数不断上升,其值范围在 0.37—1.28 之间,其中 2010 年 N2 处理($150 \text{ kg}/\text{hm}^2$)和 2011 年 N3 处理($225 \text{ kg}/\text{hm}^2$)氮营养指数在 1 附近变化,可以认为此时施氮量较为适宜。而 N0 处理下,由于小麦没有追施氮肥,小麦返青以后氮营养指数逐渐下降,在开花期到达最低值。在低氮处理下(N1 处理)小麦在返青期已经表现出氮素不足,在返青和拔节之间追施氮肥后,小麦在拔节期后氮营养指数会有所提高,但由于追氮量较少,氮素供应不足,氮营养指数在孕穗和开花后再又慢慢下降。而在高氮和适宜氮肥处理下(2009—2010 年 N3 处理和 2010—2011 年 N2 处理),在返青期基本上没有出现氮亏缺,所以追施氮肥以后氮营养指数都大于或等于 1,且随生育进程出现轻微的上下波动,说明这些小区的氮肥充足,甚至过量。综上,氮营养指数是一个较好小麦植株氮营养状况诊断的指标。

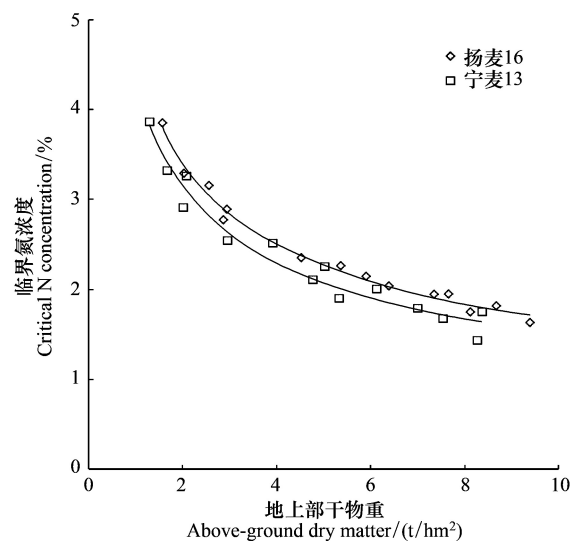


图 1 小麦地上部干物重临界氮浓度稀释曲线

Fig. 1 The critical nitrogen concentration dilution curve in the above-ground dry matter of wheat

表 1 临界氮浓度稀释曲线的简单分组线性分析

Table 1 Simple grouping linear analysis of the dilution curves for critical nitrogen concentration

分组因子 Grouping factor	品种 Variety		年份 Year		干物重×品种 Dry matter×Variety		干物重×年份 Dry matter×Year		残差 Residual	
	df	MS	df	MS	df	MS	df	MS	df	MS
临界氮浓度	1	0.08 *	1	0.024 ^{ns}	1	0.0005 ^{ns}	1	0.0005 ^{ns}	24	0.018

df 为自由度, Degree of freedom; MS 为均方, Mean square; * 5% 水平下差异显著; ns 差异不显著

2.2 小麦上部不同叶位 SPAD 值及归一化 SPAD 指数变化规律

2.2.1 小麦上部不同叶位 SPAD 值变化规律

以试验 1 和 2 为例,综合分析了小麦上部 4 张单叶不同叶位 SPAD 值的随年份、氮肥水平和品种的变化规律。结果表明(表 2),相同生育期内小麦叶片 SPAD 值在不同年份之间差异不显著,而且均在孕穗期小麦 SPAD 值到达最大值;在拔节期 2 个品种之间 SPAD 值有显著差异,而在孕穗和开花期差异不显著,表明用叶片 SPAD 值评价小麦氮的营养状况可能需要因品种而异;随着氮肥水平的提高,小麦叶片 SPAD 值逐渐增大,但在较高水平氮肥处理之间变化较小或者无变化,说明施氮有利于提高 SPAD 值,但过量施用氮肥会导致叶片 SPAD 值达到饱和;小麦拔节到开花期顶 1 叶到顶 4 叶 SPAD 差值从 8.1 升高到 15.5,呈现逐渐增大的趋势,这是由于开花期小麦顶 4 叶逐渐衰老,叶片中氮含量转移到顶部 3 张叶片中。

2.2.2 小麦不同叶位归一化 SPAD 指数变化规律

以试验 1 和 2 为例,综合分析了不同叶位归一化 SPAD 指数 NDSPAD_{ij} 随年份、氮肥水平和品种的变化规律。结果表明(表 3),相同生育期内小麦 NDSPAD_{ij} 在不同年份之间差异显著,2011 年显著高于 2010 年,从拔节到开花 NDSPAD_{ij} 逐渐增大,2009—2010 年增加了 60%,而 2010—2011 年增加了 71.4%;在品种之间 NDSPAD_{ij} 变化不大;随着施氮量提高 NDSPAD_{ij} 逐渐缩小,说明增施氮肥缩小了小麦顶部 4 张叶片 SPAD 值

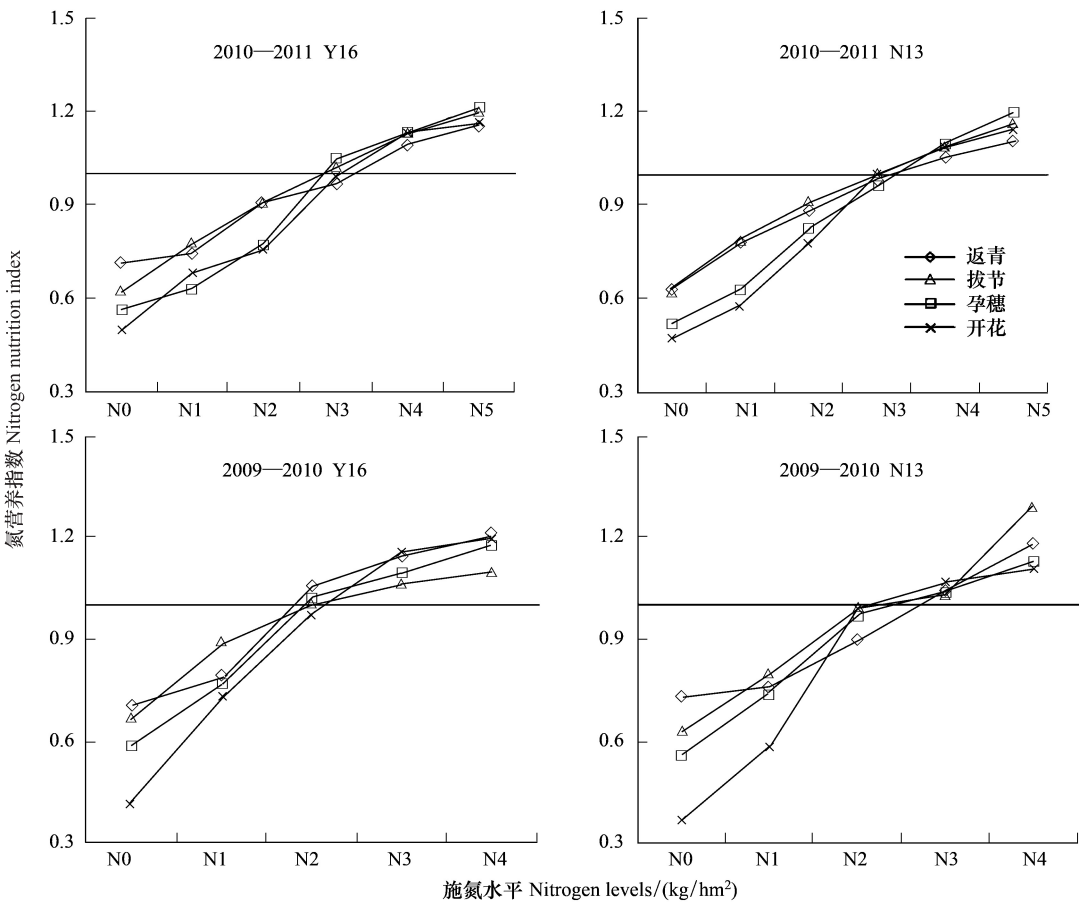


图2 不同氮肥水平下小麦氮营养指数动态变化

Fig. 2 Dynamic change of the nitrogen nutrient index under different nitrogen fertilizer levels in wheat

的差距;在各生育期不同叶位之间以NDSPAD₁₄最高,NDSPAD₁₂和NDSPAD₂₃最低,说明顶1叶与顶4叶SPAD值差异最大,小麦上层3张叶片SPAD值相比顶4叶变化较小,这与表1的不同叶位SPAD值变化规律结果相同。

表2 小麦不同叶位SPAD值变化规律

	拔节期	孕穗期	开花期
	Jointing stage	Booting stage	Anthesis
2009—2010	43.7a	46.3a	42.5a
2010—2011	42.5a	45.9a	43.7a
扬麦16	42b	45.5a	44.6a
宁麦13	44a	46.6a	45.2a
N0	34.3d	34.2d	33.5e
N1	39.4c	41.9c	40d
N2	43.9b	48.1b	45.3c
N3	45.9b	51.3a	50b
N4	48.4a	51.5a	52.3a
T1	46.6a	50.14a	50.2a
T2	44.3ab	48.2ab	48.4ab
T3	42.6b	46.6b	46.3b
T4	38.5c	39.4c	34.7c

不同的小写字母表示在5%水平上显著差异,T1为顶1叶,T2为顶2叶,T3为顶3叶,T4为顶4叶

表3 小麦不同叶位归一化SPAD指数变化规律

Table 3 Changes of Normalized differential SPAD_{ij} at different leaf position in wheat

	拔节	孕穗	开花
	Jointing	Booting	Anthesis
2009—2010	0.05b	0.06b	0.08b
2010—2011	0.07a	0.08a	0.12a
扬麦16	0.06a	0.08a	0.11a
宁麦13	0.06a	0.06a	0.09a
N0	0.143a	0.13a	0.16a
N1	0.08b	0.1a	0.12ab
N2	0.04c	0.06b	0.1bc
N3	0.03cd	0.03b	0.08cd
N4	0.01d	0.03b	0.06d
NDSPAD ₁₂	0.03d	0.02c	0.02c
NDSPAD ₁₃	0.05c	0.04c	0.04c
NDSPAD ₁₄	0.11a	0.13a	0.2a
NDSPAD ₂₃	0.02d	0.02c	0.02c
NDSPAD ₂₄	0.08b	0.11ab	0.18ab
NDSPAD ₃₄	0.06bc	0.1b	0.16b

2.3 小麦上部不同叶位的 SPAD 值及归一化 SPAD 指数与植株氮营养指数关系

2.3.1 小麦不同叶位 SPAD 值与植株氮营养指数的定量关系

以 2009—2011 的试验资料为例,定量分析从拔节到开花小麦上部 4 张单叶的 SPAD 值与 NNI 之间的关系(表 4)。结果表明,不同叶位的 SPAD 值与 NNI 之间呈显著正相关,相关系数(R)在 0.666—0.823 之间,其中以顶 1 叶的 SPAD 值与 NNI 之间的相关系数最为显著,其次为顶 3 叶和顶 4 叶的,顶 2 叶的相关性最差。

表 4 小麦不同叶位的 SPAD 值与 NNI 的定量关系

Table 4 The quantitative relationship between SPAD value at different leaf position and nitrogen nutrition index in wheat

叶位 Leaf position	定量关系 Quantitative relationship	R	SD
T1	$NNI = 0.034SPAD - 0.77$	0.823 **	0.14
T2	$NNI = 0.028SPAD - 0.432$	0.666 **	0.16
T3	$NNI = 0.03SPAD - 0.446$	0.804 **	0.15
T4	$NNI = 0.022SPAD + 0.067$	0.816 **	0.15

* 5% 水平下的显著性; ** 1% 水平下的显著性; ns 差异不显著

对不同叶位单叶 SPA 值与 NNI 拟合曲线进行简单分组线性回归,分组因子为年份和品种,以检验不同叶位 SPAD 值与 NNI 之间的关系在不同年份或不同品种之间是否存在差异(表 5)。结果显示,顶 1 叶,顶 2 叶和顶 4 叶 SPAD 值与 NNI 的拟合曲线截距 b 在不同年份之间差异显著($P < 0.05$),顶 3 叶 SPAD 值与 NNI 的拟合曲线斜率 a 在年份之间差异显著($P < 0.05$),说明在不同年份之间顶 1 叶到顶 4 叶 SPAD 值与 NNI 之间的关系具有不稳定性,因此,使用单叶的 SPAD 值来估算小麦植株氮素营养状况可能存在风险。

表 5 小麦不同叶位 SPAD 值与 NNI 拟合曲线的简单分组线性回归

Table 5 Simple linear regression with groups of the fitted curve between SPAD value at different leaf position and nitrogen nutrition index in wheat

参数 Parameter	影响因子 Impact factor	均方 Mean square MS			
		T1	T2	T3	T4
a	年份	0.04ns	0.1 *	0.1 *	0.01ns
	品种	0ns	0.02ns	0.01ns	0.01ns
b	年份	0.08 **	0.22 **	0.05ns	0.05 *
	品种	0ns	0.02ns	0.01ns	0.024 *
残差 Residual		0.016	0.02	0.02	0.01

ns 差异不显著

2.3.2 小麦不同叶位归一化 SPAD 指数($NDSPAD_{ij}$)与植株氮营养指数关系

以 2009—2011 的 2 年试验资料为例,定量分析不同叶位归一化 SPAD 指数($NDSPAD_{ij}$)与 NNI 之间的关系(表 6)。结果表明,除了 $NDSPAD_{12}$ 与 NNI 之间关系差异不显著外,其他叶位组合 $NDSPAD_{ij}$ 与 NNI 之间关系都显著负相关,相关系数在 0.01—0.849 之间,其中尤其以 $NDSPAD_{14}$ 与 NNI 之间相关系数最为突出(图 3)。

表 6 小麦不同叶位 $NDSPAD_{ij}$ 与 NNI 的定量关系

Table 6 The quantitative relationship between Normalized differential $SPAD_{ij}$ at different leaf position and nitrogen nutrition index in wheat

不同叶位归一化 SPAD $NDSPAD_{ij}$	定量关系 Quantitative relationship	R	SD
$NDSPAD_{12}$	$NNI = 0.1 NDSPAD_{12} + 0.868$	0.01ns	0.2
$NDSPAD_{13}$	$NNI = -2.537 NDSPAD_{13} + 0.982$	-0.313 *	0.204
$NDSPAD_{14}$	$NNI = -2.019 NDSPAD_{14} + 1.18$	-0.849 **	0.12
$NDSPAD_{23}$	$NNI = -4.022 NDSPAD_{23} + 0.952$	-0.401 *	0.204
$NDSPAD_{24}$	$NNI = -1.76 NDSPAD_{24} + 1.095$	-0.794 **	0.13
$NDSPAD_{34}$	$NNI = -1.945 NDSPAD_{34} + 1.082$	-0.791 **	0.127

对 NDSPAD_{ij} 与 NNI 拟合曲线进行简单分组线性回归, 分组因子为年份和品种, 检验 NDSPAD_{ij} 与 NNI 之间关系在不同年份或不同品种之间是否存在差异 (表 7)。结果表明, NDSPAD_{14} 与 NNI 拟合曲线参数 (a 、 b) 在不同品种和年份之间差异不显著, 其他叶位组合拟合曲线参数都存在不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$), 说明 NDSPAD_{14} 与 NNI 之间关系在不同年份和品种之间表现稳定, 因此, 可以使用 NDSPAD_{14} 估算小麦植株氮营养状况。

表 7 小麦不同叶位 NDSPAD_{ij} 与 NNI 拟合曲线的简单分组线性回归分析

Table 7 Simple linear regression with groups of the fitted curve between Normalized differential SPAD_{ij} at different leaf position and nitrogen nutrition index in wheat

参数 Parameter	影响因子 Impact factor	均方 Mean square MS					
		NDSPAD_{12}	NDSPAD_{13}	NDSPAD_{14}	NDSPAD_{23}	NDSPAD_{24}	NDSPAD_{34}
a	年份	0.61 **	0.347 **	0.015ns	0.464 **	0.098 *	0.096 *
	品种	0.049ns	0.005ns	0.005ns	0.048ns	0.022ns	0.03ns
b	年份	0.091ns	0.077ns	0.037ns	0.014ns	0.094ns	0.031ns
	品种	0.018ns	0.011ns	0.016ns	0.004ns	0ns	0.001ns
残差 Residual		0.053	0.05	0.015	0.046	0.017	0.021

3 讨论

3.1 小麦不同叶位 SPAD 值变化

SPAD 值代表了作物叶片叶绿素的相对含量, 其与作物氮素含量的高低密切相关, 本研究表明, 2 个品种单叶 SPAD 值随施氮水平提高而提高, 但在高氮处理之间差异不显著, 说明过量施氮使得叶片中 SPAD 值达到饱和, 这与前人在水稻^[18]、小麦^[15]和棉花^[19]等作物的研究结果相同。2 个品种不同叶位 NDSPAD_{ij} 值随施氮水平提高而下降, 这是因为在低氮条件下, 小麦生理上较年轻的上三叶从生理上较老的顶 4 叶夺得氮素, 顶 4 叶失氮叶色褪淡, 形成较大的叶色差异。而在高氮条件下, 小麦冠层上三叶氮素营养得到满足, 对顶 4 叶的竞争减少, 顶 4 叶得到了积累氮素的机会, 与上三叶的叶色差异缩小^[20], 王绍华和屈卫群分别在水稻^[20]和棉花^[21]上也发现了类似的规律。

3.2 小麦氮营养指数 (NNI) 变化

由 Lemaire 等人提出的 NNI , 是基于作物临界氮浓度构建的能动态描述作物氮营养状况的指标。国外 STICE 和 CERES-Rape 等模型利用氮营养指数定量计算作物体内氮素亏缺大小, 以模拟氮素对作物生长过程的影响 (光合作用、叶面积指数、分蘖)^[22-23]; Colnenne 等进一步建立了 NNI 与油菜的生长速率、叶面积指数、氮素利用率以及产量的定量关系, 从而定量诊断因氮营养胁迫对作物各项生长指标造成的损失^[24]。本研究中 NNI 的范围为 0.37—1.25, 随着施氮量的提高, NNI 总体上上升, 说明 NNI 可以反映作物体内氮素状态; 随着生育期的推移, 在氮肥不足的情况下小麦的 NNI 呈逐渐下降的趋势, 说明小麦生长过程中氮素需求增加导致氮亏缺程度加重; 而在氮肥充足的环境里小麦 NNI 均大于或等于 1, 说明小麦生长氮素供应充足并不存在氮亏缺现象, 但由于 NNI 在大田环境中不容易直接得到, 需要破坏性取样且进行室内分析测试才能计算得到, 因此, 本文发展了一种快速计算 NNI 从而诊断作物氮营养状态的方法。

3.3 小麦不同叶位 SPAD 值和归一化 SPAD 指数 (NDSPAD_{ij}) 与植株氮营养指数的关系

本文建立了不同叶位 SPAD 值和归一化 SPAD 指数 (NDSPAD_{ij}) 与 NNI 之间的关系, 通过简单分组线性分析结果表明, 小麦上部不同叶位 SPAD 值与 NNI 之间都呈显著正相关, 相关系数 R 的范围在 0.666—

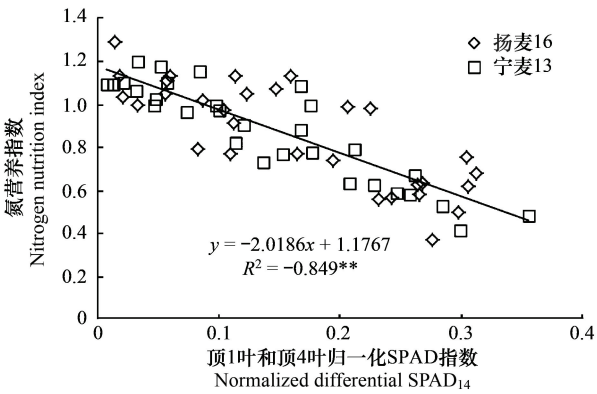


图 3 小麦 NDSPAD_{14} 与 NNI 的定量关系
Fig 3 Quantitative Relationship between nitrogen nutrition index and Normalized differential SPAD₁₄ in wheat

0.823,其中以顶1叶 SPAD 值与 NNI 的相关系数 R 最高,但是这种关系在不同年份或品种间表现不稳定,不能被用来诊断小麦氮素营养状态,这与 Debaeke 和 Rozbicki 等人在不同地区对小麦单叶 SPAD 值与 NNI 之间关系的研究结果相同^[15,25]。为了减轻品种和环境对 SPAD 值与 NNI 关系的影响,本文构建了归一化 SPAD 指数(NDSPAD_{ij})与 NNI 之间关系,结果发现两者之间呈显著负相关(除 NDSPAD_{12} 外),相关系数 R 的范围在 $-0.849-0.01$,以 NDSPAD_{14} 与 NNI 的相关系数 R 最高表现最佳($\text{NNI} = -2.019\text{NDSPAD}_{14} + 1.18$, R 为 -0.849),且不受品种和环境的影响,因此,可以用 NDSPAD_{14} 来估算小麦植株 NNI。相比前人利用作物上层叶片氮含量^[26-28],SPAD 值^[29]和遥感^[30]等方法估算 NNI,本文仅测量小麦植株主茎顶1叶和顶4叶 SPAD 值,计算 NDSPAD_{14} 估算小麦植株 NNI,避免了植株破坏性取样,且不受品种、土壤和天气等因素的影响,方法简单快捷准确。但需要指出的是,本研究结果是在同一个生态点两年的试验基础上得出的,还需要利用不同生态区和不同品种的数据加以进一步测试和检验。

References:

- [1] Nkoa R, Desjardins Y, Tremblay N, Querrec L, Baana M, Nkoa B. A mathematical model for nitrogen demand quantification and a link to broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*) glutamine synthetase activity. *Plant Science*, 2003, 165(3): 483-493.
- [2] Jeuffroy M H, Meynard J M. Azote: production agricole et environnement // Morot-Gaudry J F, ed. *Assimilation de l'azote Chez les Plantes*, Reims: INRA, 1997: 369-380.
- [3] Ney B, Oury A. Integrated physiological and agronomic modelling of N capture and use within the plant. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(370): 809-823.
- [4] Fu Q L, Yu J Y, Chen Y X. Effect of nitrogen application on dry matter and nitrogen partitioning in rice and nitrogen fertilizer requirements for rice production. *Journal of Zhejiang University*, 2000, 26(4): 399-403.
- [5] Lemaire G, Jeuffroy M H, Gastal F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(4): 614-624.
- [6] Arregui L M, Lasa B, Lafarga A, Iraneta I, Baroja E, Quemada Q. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24(2): 140-148.
- [7] Ladha J K, Tirol-Padre A, Punsalan G C, Castillo E, Singh U, Reddy C K. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. *Agronomy Journal*, 1998, 90(1): 33-40.
- [8] Dwyer L M, Stewart D W, Gregorich E, Anderson A M, Ma B L, Tollenaar M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995, 75(1): 179-182.
- [9] Hawkins J A, Sawyer J E, Barker D W, Lundvall J P. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. *Agronomy Journal*, 2007, 99(4): 1034-1040.
- [10] Ziadi N, Brassard M, Bélanger G, Claessens A, Tremblay N, Cambouris A N, Nolin M C, Parent L. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*, 2008, 100(5): 1264-1273.
- [11] Scharf P C, Brouder S M, Hoelt R G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North Central USA. *Agronomy Journal*, 2006, 98(3): 655-665.
- [12] Prost L, Jeuroy M H. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development*, 2007, 27(4): 1-10.
- [13] Duru M. Evaluation of chlorophyll meter to assess nitrogen status of cocksfoot sward. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(2): 275-286.
- [14] Noura Z. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*, 2008, 100(5): 1264-1273.
- [15] Debaeke P, Rouet P, Justes E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, 29(1): 75-92.
- [16] Lemaire G, Gastal F, Salette J. N uptake and distribution in plant canopies // *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer: Berlin, 1997, 25: 3-45.
- [17] Justes E, Mary B, Meynard J M, Huche L T. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany*, 1994, 36(4): 42-53.
- [18] Liu Z J, Sang D Z, Liu C L, Wang J C, Yang J C, Zhu Q S. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen

- use efficiency. *Scinetia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [19] Liu Z J, Sang D Z, Liu C L, Wang J C, Yang J C, Zhu Q S. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency. *Scinetia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [20] Wang S H, Cao W X, Wang Q S, Ding Y F, Huang P S, Ling Q H. Positional distribution of leaf color and diagnosis of nitrogen nutrition in rice plant. *Scientia Agriculture Sinica*, 2002, 35(12): 1461-1466.
- [21] Qu W Q, Wang S H, Chen B L, Wang Y H, Zhou Z G. SPAD value of cotton leaves on main stem and nitrogen diagnosis for cotton growth. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 1010-1017.
- [22] Nadine B, Bruno M, Dominique R, Marie H J, Françoise R, Bernard N, Philippe G, Florence D B, Rodrigo A, Carolyne D, Guy R, Nicolas B, Sylvie R, Xavier T, Daniel P, Pierre C, Jean-Marie M, Jean M M, Richard D. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomy for Sustainable Development*, 1998, 18(5/6): 311-346.
- [23] Gabrielle K B, Denoroy P, Gosse G, Justes E, Andersen M N. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. *Field Crops Research*, 1998, 57(1): 95-111.
- [24] Colnenne C, Meynard J M, Roche R, Reau R. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy*, 2002, 17(1): 11-28.
- [25] Rozbicki J, Samborski S. Relationship between SPAD readings and NNI for winter triticale grown on light soil // *Proceedings of the 11th Nitrogen Workshop*. Reims: INRA, 2001: 519-520.
- [26] Gastal F, Farrugia A, Hacquet J. The Nitrogen Nutrition Index of grass can be evaluated through determination of N concentration of upper leaves // *Proceedings of the 11th Nitrogen Workshop*. Reims: INRA, 2001: 449-450.
- [27] Farrugia A, Gastal F, Scholefield D. Assessment of the nitrogen status of grassland. *Grass and Forage Science*, 2004, 59(2): 113-120.
- [28] Gonzalez-Dugo V, Durand J L, Gastal F, Picon-Cochard C. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian rye-grass wards under water deficit. *Australian Journal of Agriculture Research*, 2005, 56: 1260-1276.
- [29] Pedro M E, Monica G A, Maria A M. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crop Research*, 2012, 129(11): 46-58.
- [30] Houlès V, Guérif M, Mary B V. Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations. *European Journal of Agronomy*, 2007, 27(1): 1-11.

参考文献:

- [4] 傅庆林, 俞劲炎, 陈英旭. 氮素营养对水稻干物质和氮分配的影响及氮肥需求量. *浙江大学学报*, 2000, 26(4): 399-403.
- [15] 王绍华, 曹卫星, 凌启鸿. 水稻叶色分布特点和氮素营养诊断. *中国农业科学*, 2002, 35(12): 1461-1466.
- [18] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 王志琴, 杨建昌, 朱庆森. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [19] 罗新宁, 陈兵, 张巨松, 蒋平安, 娄善伟, 彭小峰, 何嘉林. 棉花氮素和 SPAD 叶位分布规律研究. *棉花学报*, 2009, 21(5): 427-430.
- [21] 屈卫群, 王绍华, 陈兵林, 王友华, 周治国. 棉花主茎叶 SPAD 值与氮素营养诊断研究. *作物学报*, 2007, 33(6): 1010-1017.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China	Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies	OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP)	LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
Progress and perspectives of ecosystem services management	ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model	BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area	XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed	LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China	LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island	RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests	GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve	LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City	CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection	HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County	FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas	PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation	DONG Ying, SHI Lei (809)
Ecological protection and well-being	LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi	WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains	JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe	LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features	CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of <i>Eucalyptus</i>	ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to submergence and drought alternation	WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	
.....	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《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 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 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