植物生态学报 2006，**30**（2）261～267
Journal of Plant Ecology（formerly *Acta Phytoecologica Sinica*）

水稻叶片气孔导度与冠层反射光谱的定量关系分析

田永超 朱 艳 姚 霞 周昌俊 曹卫星*
（南京农业大学/江苏省信息农业高技术研究重点实验室，南京 210095）

摘 要 研究了不同土壤水氮条件下水稻（*Oryza sativa*）叶片气孔导度与冠层光谱反射特征的量化关系。结果表明，不同水分处理下，水稻不同叶位气孔导度变化趋势为：GsL1 > GsL2 > GsL3 > GsL4。高于 W3 水分条件下，高氮处理的叶片气孔导度高于低氮处理，而低于 W3 水分条件下，高低氮处理条件下叶片气孔导度差异不显著。发现比值指数 *R*（1 650，760）与不同叶位叶片及不同层次叶片气孔导度的相关性大小为：GsL1 > GsL12 > GsL123 > GsL1234 > GsL2 > GsL3 > GsL4（水稻顶部自上而下第一、二、三、四叶以及自上而下顶部 2 张、3 张、4 张叶片的气孔导度值分别表示为：GsL1、GsL2、GsL3、GsL4、GsL12、GsL123 和 GsL1234），而顶 1 叶气孔导度与叶面积指数的乘积（冠层叶片气孔导度）同比值指数 *R*（1 650，760）相关程度更高。*R*（1 650，760）与顶 1 叶和冠层叶片气孔导度之间皆呈极显著的幂函数负相关。利用不同年份的不同水稻试验对两者的监测模型进行了检验，模型的检验误差 *RMSE* 分别为 0.05 和 0.24，表明比值指数 *R*（1 650，760）可以较好地监测不同水氮条件下水稻叶片的气孔开闭特征。

关键词 水稻 气孔导度 反射光谱 植被指数 监测

QUANTITATIVE RELATIONSHIPS BETWEEN CANOPY SPECTRAL REFLECTANCE AND LEAF STOMATAL CONDUCTANCE IN RICE

TIAN Yong-Chao ZHU Yan YAO Xia Zhou Chang-Jun and CAO Wei-Xing*
（*Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture*，*Jiangsu Province*，*Nanjing Agricultural University*，*Nanjing* 210095，China）

Abstract This investigation was conducted to determine the quantitative relationship between leaf stomatal conductance and canopy spectral reflectance of rice crops under different water and nitrogen regimes. Results showed that leaf stomatal conductance on main stem leaves under different water treatments decreased in the following order throughout the growth cycle: GsL1 > GsL2 > GsL3 > GsL4. The leaf stomatal conductance in the high nitrogen treatment was higher than in the low nitrogen treatment when the soil water content was above W3. Below W3, there were no significant differences in leaf stomatal conductance between the high and low nitrogen treatments. It also was found that the correlation between the ratio index *R*（1 650，760）and stomatal conductance averaged over different layer leaves was the following: GsL1 > GsL12 > GsL123 > GsL1234 > GsL2 > GsL3 > GsL4（GsL1，GsL2，GsL3，GsL4，GsL12，GsL123 and GsL1234 denoted the first，second，third，fourth leaf and two leaves，three leaves，four leaves from top）. The best relationship was between canopy stomatal conductance（the product of GsL1 and *LAI*）and *R*（1 650，760）. The ratio index *R*（1 650，760）showed a power relationship with both stomatal conductance of L1 and canopy leaf stomatal conductance with an *RMSE* of 0.05 and 0.24，respectively. It was concluded that the ratio index *R* can be used to monitor leaf stomatal conductance during different growth stages of rice.

Key words Rice，Stomatal conductance，Reflectance spectra，Vegetation index，Monitoring

气孔导度是影响作物蒸散和光合速率进而影响作物产量和品质的重要因子。作物叶片气孔导度的大小是决定光合强度和水分蒸腾强度的主要因素。水分胁迫引起光合产物的减少，首先是由于气孔，而不是内部阻力（Eastin & Sullivan，1984）。同时，作物叶片表面到大气的水分传输是通过蒸腾来完成的，气孔蒸腾是蒸腾的主要形式，气孔导度的监测对于计算蒸腾也有重要作用。因此研究气孔导度的变化规律及其原因，对于寻求提高作物产量，改善水分作用效率有重要意义，而不同环境条件下植物叶片气孔导度的无损实时定量监测技术的研究，对于植物生长监测以及产量和品质预测预报都具有十分重要的意义（张佳华和王长耀，1999，张佳华等，2000）。

利用光谱特征来反演作物的生长特征如 *LAI*、

收稿日期：2005-02-23 接受日期：2005-09-21
基金项目：国家“863”计划（2002AA243011）、江苏省自然科学基金（BK2003079）和高校博士点基金（20030307017）
* 通讯作者 Author for correspondence E-mail：caow@njau.edu.cn

生物量等及作物体内的生化成分如叶绿素、氮素、水分等的研究已取得了较大成功(刘伟东等，2000；Thiemann & Kaufmann，2000；Tian *et al*.，2001；Jensen & Lorenzen，1990；Filella & Penuelas，1994)。而叶片气孔开张程度显著影响气孔导度的大小，同时也影响叶片表层超微结构和叶片体内水分状况，因此叶片气孔导度的变化应具有显著的特征光谱，这使得利用特征光谱来反演气孔导度状况成为可能。国外有学者研究表明，部分松树种(*Pinus taeda* 和 *P*. *elliottii* var. *elliottee*)叶片的气孔导度与比值指数(R_{701}/R_{820})呈显著的指数负相关关系，且两者的相关程度高于比值指数(R_{701}/R_{820})与叶片二氧化碳同化率的相关(Carter，1998)。也有研究表明，简单的比值植被指数(*SR*)或归一化植被指数(*NDVI*)与气孔导度存在良好相关关系(Myneni *et al*.，1992；Verma *et al*.，1993)；而 Jaume 等还曾尝试利用荧光特征参数 *Fs*/*Fo* 来无损监测叶片气孔导度，并发现两者的关系可用双曲线函数来很好的拟合(Flexas *et al*.，2002)。国内张佳华等利用 NOAA-AVHRR 数据作为参数，研究了华北平原冬小麦(*Triticum aestivum*)不同生长季节的气孔导度空间分布状况，但其精确度和准确度还需进一步检验(张佳华等，2000)。然而，利用地面遥感光谱定量监测不同水氮条件下作物叶片气孔导度的研究仍鲜有报道。为此，本研究的目的旨在阐明不同水氮处理下水稻叶片气孔导度与冠层光谱特征之间的量化关系，建立基于光谱特征的水稻叶片气孔导度监测模型，以期为作物生长状况和产量品质的遥感监测奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验设计

分别于 2001 和 2002 年在南京农业大学校内试验站进行了 3 个涉及不同水分、氮肥处理的试验。于 2001 年进行了温室盆栽试验。试验用周转箱大小为 0.25 m^2，箱边缘宽 1 cm，深 0.35 m。供试土壤为黄棕壤土，田间持水量为 22.8%，供试水稻品种为‘武香粳 9 号’。试验设 W1、W2、W3、W4 和 W5 等 5 个土壤水分处理，分别相当于田间持水量的 70%、80%、90%、100%和水层管理，5 次重复，随机区组排列。氮肥用量为 200 kg N·hm^{-2}(N_2)，氮磷钾配比为 2:1:2，基肥:蘖肥:促花肥:保花肥为 5:1:2:2，磷钾肥做基肥一次施用。其它管理措施同大田高产栽培。

分别于 2001 年和 2002 年进行了池栽试验。水池面积为 1 m^2，深 80 cm。供试土壤及水稻品种同盆栽试验。2001 年试验设 4 个水分处理(地膜覆盖旱栽法、湿润栽培法、间歇灌溉法、水层灌溉法)和 N1、N3 两个施氮水平(150 kg N·hm^{-2} 和 300 kg N·hm^{-2})。2002 年设 W1、W2、W3 和 W5 等 4 个土壤水分处理(分别为田间持水量的 70%、80%、90%和水层灌溉)和 2 个氮肥处理(同 2001 年)。肥料施用方法同 2001 年盆栽试验。试验为随机区组设计，重复 3 次。

在盆栽试验中，采用每天称重法(定期去除植株重量)控制各处理到达预定的土壤含水量，形成土壤水分梯度。池栽试验中，各水池装入等量土壤，定期采取耕层 20 cm 土壤，测定土壤含水量，按处理要求灌溉和控制土壤含水量，水分处理始于拔节前一周，持续到成熟期结束。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 测定和取样时期

2001 年水稻盆栽试验中测定及取样时期为水稻拔节期、孕穗期、抽穗期、抽穗后 20 d 及成熟期；2001 年水稻池栽试验中测定及取样时期为有效分蘖临界叶龄期、拔节期和抽穗期；2002 年水稻池栽试验则为拔节期、齐穗期、齐穗后 20 d 和成熟期。

1.2.2 冠层光谱测量及光谱参量的计算

采用美国 Cropscan 公司生产的 MSR-16 型便携式多光谱辐射仪，仪器视场角为 31.1°，该仪器具有 16 个波段，光谱范围为 460 ~ 1 650 nm(Cropscan Inc.，Rochester，MN)。测量选择在晴朗无云或少云的天气进行，观测时间为 10:00 ~ 14:00 之间。测定时将盆栽试验中 4 个周转箱拼成一个 1.5 m^2 大小的植株冠层，探头垂直向下，离水稻冠层顶 1.0 m 左右，分横向和竖向测量，每处理重复测量 5 次，取平均值作为该处理光谱反射率的值。按类似方法测量池栽水稻冠层的反射光谱，按仪器要求校正(Cropscan Inc.，2000)。系统计算了从可见光波段到中红外波段共 16 个波段的所有比值和归一化指数，计算公式如下：

比值指数 $R(\lambda_1,\lambda_2)=\rho\lambda_1/\rho\lambda_2$；

归一化指数 $ND(\lambda_1,\lambda_2)=\dfrac{|\rho_{\lambda1}-\rho_{\lambda2}|}{\rho_{\lambda1}+\rho_{\lambda2}}$

其中，ρ 表示反射率，λ 表示波段。

1.2.3 叶片气孔导度、*LAI*、含水量和叶绿素的测定

与光谱测量同步，利用 LI-6400 型光合作用系统，选取水稻健康主茎，测定顶部 4 张完全展开叶片(自上而下表示为：L1、L2、L3、L4)的气孔导度，光合

有效辐射（*PAR*）控制在 1 200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$。每个小区每个叶位测 3 张叶片，取平均值作为该区该叶位的叶片的气孔导度值。L1、L2、L3、L4 的气孔导度分别表示为 GsL1、GsL2、GsL3 和 GsL4；自上而下顶部 2 张叶片、顶部 3 张叶片、顶部 4 张叶片的气孔导度平均值分别表示为 GsL12、GsL123 和 GsL1234。叶面积用 CI-203 型激光叶面积仪测量，*LAI* 采用干重法计算。叶片含水量采用称重法测定。叶绿素含量采用 SPAD-502 型叶绿素仪测定。

1.3　数据分析与利用

对 2002 年水稻池栽试验叶片气孔导度数据及对应的冠层光谱反射率组成的光谱指数进行统计分析，建立监测模型。分别利用 2001 年水稻盆栽试验和 2001 年水稻池栽试验的数据对监测模型进行检验。模型检验方法采用观察值与模拟值之间的决定系数 R^2 和均方差根 *RMSE*（Root mean square error）进行。

2　结果分析

2.1　不同水氮条件下不同叶位水稻叶片气孔导度的变化特征

不同水氮条件显著影响水稻植株的生长，不同叶位叶片气孔导度也发生了相应的变化。同一氮素水平下，水稻顶 1 叶气孔导度随土壤水分含量的增加而增加，不同水分处理下，水稻叶片叶位气孔导度变化趋势为：GsL1 > GsL2 > GsL3 > GsL4，各生育期表现基本一致。在水分处理初期，W3、W4 和 W5 处理下 L1、L2 的气孔导度远高于 L3 和 L4 的气孔导度，而在 W1 和 W2 处理下，L2、L3 和 L4 气孔导度远小于 L1 的气孔导度（图 1 为 N2 条件下的资料）。另外，当高于 W3 处理的水分条件时，高氮处理的叶片气孔导度高于低氮处理，而低于 W3 水分处理条件下，高低氮处理条件下叶片气孔导度差异不显著（图 2A）。

2.2　不同水氮条件下水稻生长参数的变化特征

不同水氮长期胁迫下，显著影响生长参数如叶面积指数、叶绿素含量（用 *SPAD* 值表示）和叶片含水率的变化，水稻叶片的气孔导度及叶片冠层反射光谱特性同样发生显著变化（图 2 ~ 4，以拔节期为例）。结果表明，随着土壤水分的升高，叶片的气孔导度、叶面积指数、叶片含水量和 *MSAVI*2（Qi *et al*.，1994）均增加，而叶片叶绿素含量和 *R*（1 650，760）则下降，不同氮素水平下变化趋势基本一致；随着施氮量的增加，W3 和 W5 处理条件下，叶绿素含量、含水量和叶面积指数均增加，而 W1 和 W2 处理条件下不明显，各生育期表现基本一致。

2.3　水稻叶片气孔导度与冠层反射光谱的定量关系

分析了各生育时期水稻叶片气孔导度与表 1 中光谱参数及系统计算的 120 个比值和归一化指数的关系。结果发现 1 650 nm 波段与 760 nm 波段反射率的比值与顶 1 叶气孔导度有良好的幂函数负相关关系（图 5），而 2.2 中虽然发现 *MSAVI*2 与叶片气孔导度随水分处理变化的趋势一致，但两者并无良好相关关系，可能是因为两者随水分梯度变化的幅度不一致所致。而仅有比值指数 *R*（1 650，760）能很好的反应叶片气孔导度的变化。这表明前人所提出的这些植被指数虽然对于估测特定生物变量有一定作

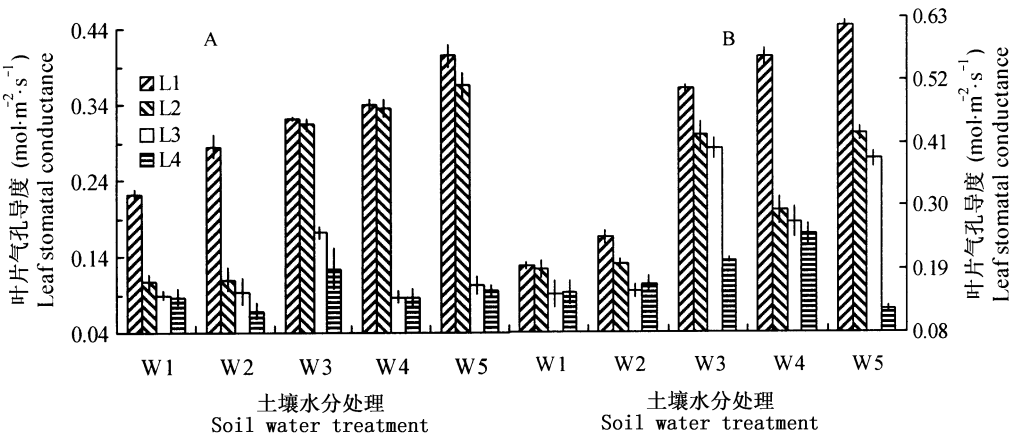

图 1　拔节期（A）、灌浆期（B）不同水分条件下水稻不同叶位叶片的气孔导度

Fig.1　Leaf stomatal conductance in different leaf positions at jointing (A) and filling (B) of rice under varied water treatments

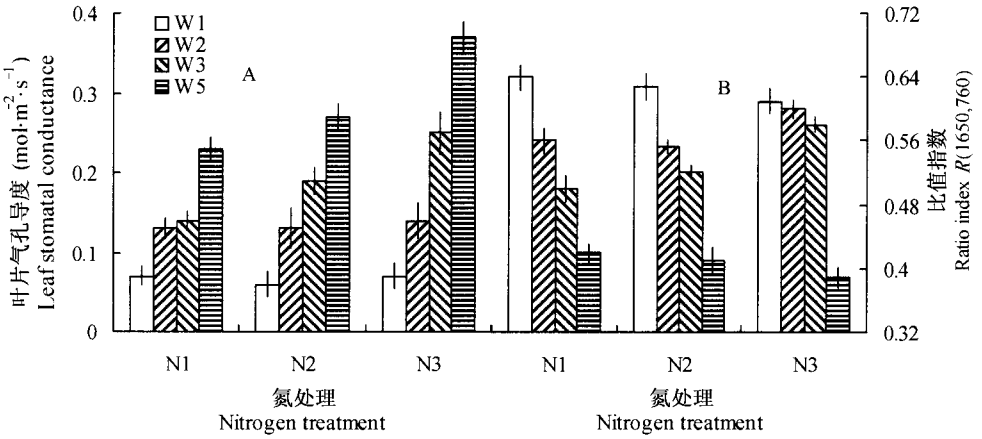

图2 拔节期不同水氮条件下水稻叶片的气孔导度(A)和比值指数 $R(1\,650,760)$(B)

Fig.2 Stomatal conductance on the first leaf from top (A) and canopy ratio index $R(1\,650,760)$ (B) at jointing of rice under varied water and nitrogen treatments

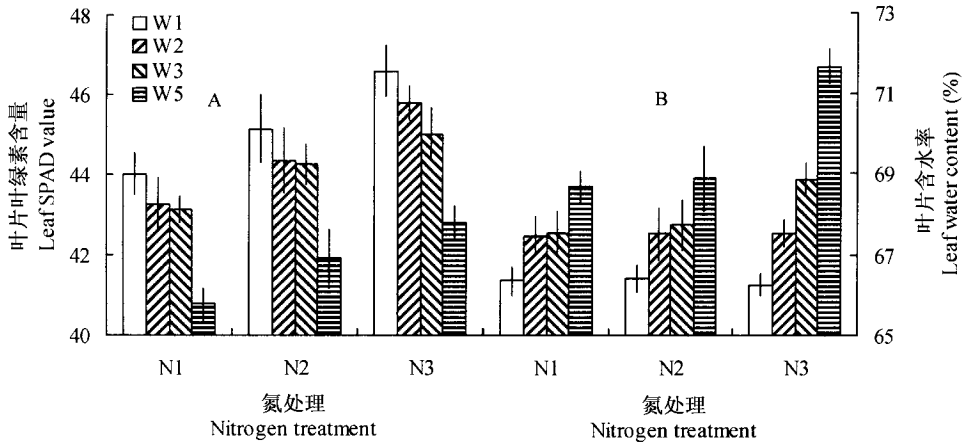

图3 拔节期不同水氮条件下水稻叶片叶绿素含量(A)和含水量(B)

Fig.3 Leaf chlorophlly content (*SPAD* value) on the first leaf from top (A) and canopy leaf water content (B) at jointing of rice under varied water and nitrogen treatments

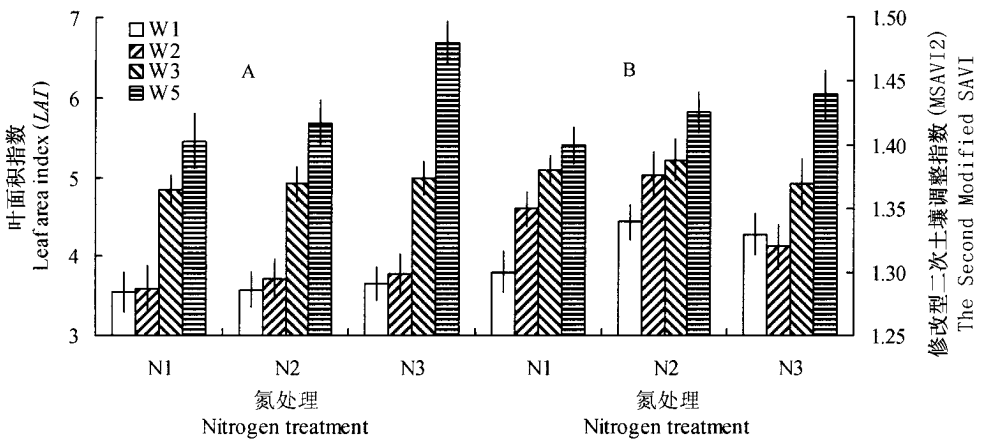

图4 拔节期不同水氮条件下水稻叶面积指数(A)和修改型二次土壤调整指数(B)

Fig.4 Leaf area index (*LAI*) (A) and the second modified *SAVI*2 (*MSAVI*2)(B) at jointing of rice under varied water and nitrogen treatments

表 1　不同层次水稻叶片气孔导度与冠层反射光谱的相关性（$n = 35$）

Table 1　Correlation coefficient between canopy reflectance and leaf stomatal conductance of different leaf layers in rice（$n = 35$）

		GsL1	GsL2	GsL3	GsL4	GsL12	GsL123	GsL1234
R(1 650，760)	拔节期 Jointing	0.88**	0.63**	0.32	0.11	0.86**	0.83**	0.77**
	抽穗期 Heading	0.86**	0.68**	0.30	0.17	0.84**	0.78**	0.74**
	灌浆期 Filling	0.87**	0.66**	0.28	0.23	0.85**	0.82**	0.78**

**：$p < 0.01$

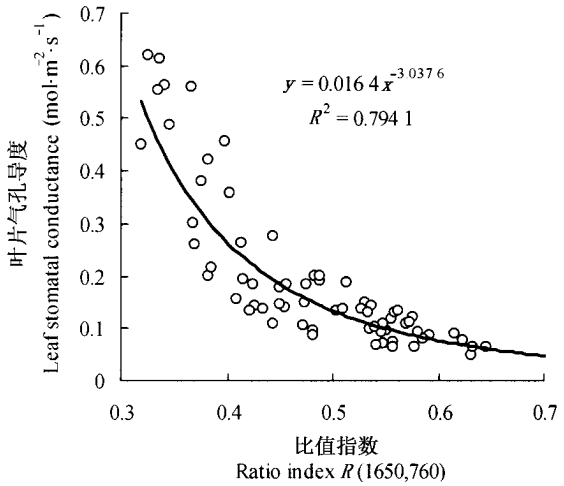

图 5　水稻顶 1 叶气孔导度与比值指数 R(1 650，760)之间的关系

Fig.5　Relationship between stomatal conductance of first leaf from top in rice and ratio index R(1 650，760)

用，如 *PRI*(Penuelas *et al*.，1995)对光合效率、红边对叶绿素敏感等，但对本试验条件下的水稻叶片气孔导度并不敏感。

进一步分析了比值指数 R(1 650，760)与不同叶位叶片及不同层次叶片在不同生育期气孔导度的相关关系（表 1）（$n = 35$），结果发现，比值指数 R(1 650，760)与水稻不同叶位叶片及不同层次叶片气孔导度的相关性大小为：GsL1 > GsL12 > GsL123 > GsL1234 > GsL2 > GsL3 > GsL4；比值指数 R(1 650，760)与顶 3 叶和顶 4 叶气孔导度相关并不显著，而与其它层次叶片相关均达到显著或极显著水平，各生育期表现一致。表明冠层光谱对顶部功能叶特别是顶 1 叶的气孔导度较敏感，而对冠层下部叶片敏感度较低，冠层反射光谱主要受顶部几张叶片的组分含量、功能和结构影响。

2.4　水稻冠层气孔导度与冠层反射光谱的定量关系

冠层叶片气孔导度对于大面积（航空、航天尺度）遥感监测有重要意义，它是植物水分监测、光合生产力调查的重要手段。因此，进一步研究了比值指数 R(1 650，760)与顶部 4 张叶片和各层次叶片气孔导度平均值和叶面积指数的乘积的关系，结果发现其相关性顺序和 R(1 650，760)与不同叶位叶片及不同层次叶片气孔导度的相关性一致。其中顶 1 叶和叶面积指数的乘积（即近似为冠层叶片气孔导度）与 R(1 650，760)呈极显著相关关系，同样以幂函数拟合效果最好（图 6），相关性高于比值指数 R(1 650，760)与叶片气孔导度的相关，这可能是因为试验中光谱参数来源于冠层反射光谱值，对植物冠层生长参数更敏感的原因。

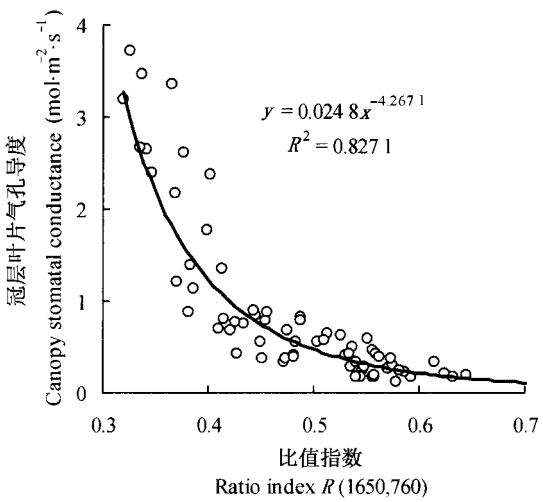

图 6　水稻冠层叶片气孔导度与比值指数 R(1 650，760)之间的关系

Fig.6　Relationship between canopy leaf stomatal conductance of rice and ratio index R(1 650，760)

2.5　模型的检验

分别利用不同年份盆栽试验中不同生育期和不同时段（抽穗期和灌浆期测定当天，测定了 10:00、12:00和 14:00 这 3 个时段的叶片气孔导度）顶 1 叶和冠层叶片气孔导度与光谱数据以及池栽试验中不同生育期顶 1 叶和冠层叶片气孔导度与光谱数据检验了水稻顶 1 叶和冠层叶片气孔导度的监测模型（图 7、8），实测值和模拟值之间的 R^2 分别为 0.96 和 0.98，表明两个监测模型均具有较高的预测精度；实测值和模拟值间的 *RMSE* 值分别为 0.05 和 0.24，表明模型预测的准确度也较高，但从图 5 中可看出，顶 1 叶气孔导度的预测值稍偏低一些，可能存在一定的系统误差，应用时应适当校正，而冠层叶片气孔导

度预测结果较好。这表明不同土壤水氮条件下冠层叶片气孔导度对冠层反射光谱影响更大，两者之间关系更密切和稳定。

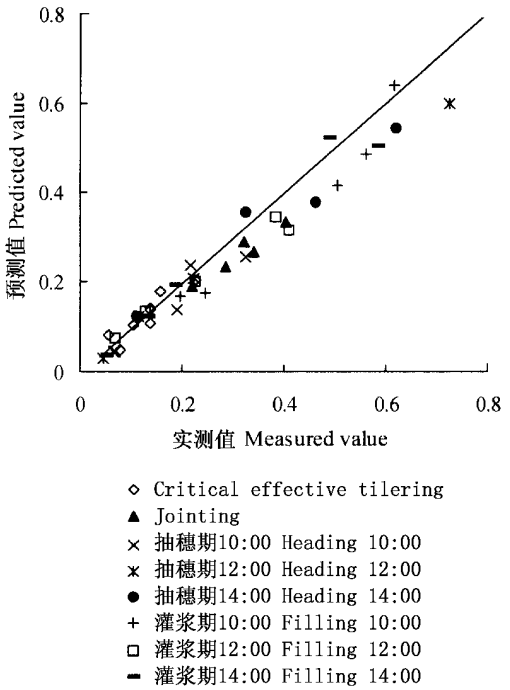

图7 水稻顶1叶气孔导度实测值与预测值的比较

Fig.7 Comparison of measured with predicted stomatal conductance of the first leaf in rice under different soil water and nitrogen conditions

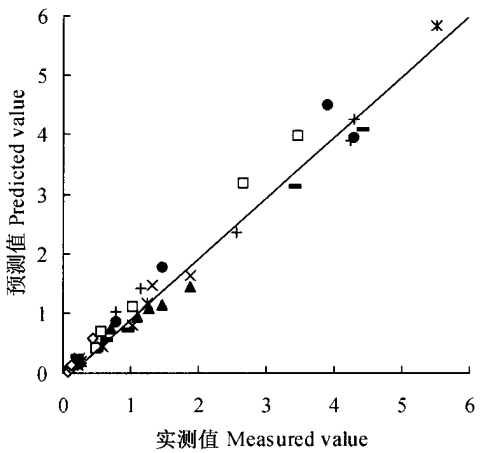

图8 水稻冠层叶片气孔导度实测值与预测值的比较

Fig.8 Comparison of measured with predicted canopy leaf stomatal conductance of rice under different soil water and nitrogen conditions

图例见图7 Ledgends see Fig. 7

3 讨论与结论

分析发现，比值指数 R(1 650，760) 和修改型二次土壤调整指数(*MSAVI2*)分别与叶片气孔导度随土壤水分处理呈相同和相反变化趋势，比值指数 R(1 650，760)与叶片气孔导度呈显著幂函数负相关关系，而 *MSAVI2* 与叶片气孔导度相关性并不显著；其它光谱植被指数与叶片气孔导度随不同水分处理变化趋势不同，不存在显著相关关系，这可能是因为1 650 nm 波段对叶片水分状况敏感(Tian *et al*.，2001)，760 nm 波段主要是反应叶片内部结构信息，而气孔导度的大小显著影响叶片水分蒸腾和叶片超微结构，两者的比值能很好的反应气孔导度大小的原因。同时，比值指数 R(1 650，760)与水稻顶部功能叶气孔导度以及冠层叶片气孔导度均有较高相关性，这表明比值指数 R(1 650，760)是反映水稻叶片气孔导度状况的良好植被指数，且与冠层叶片气孔导度的相关程度最高，说明冠层叶片气孔开闭状况显著影响冠层反射光谱特征，通过获取冠层反射光谱特征可迅速准确的定量监测叶片冠层气孔导度。

本研究中水稻冠层叶片气孔导度监测模型建立在不同水氮处理及不同生育时期的基础之上，并利用不同水分处理试验下的气孔导度日变化数据以及不同水氮管理方式试验数据对模型进行了检验，因而部分消除了水氮、生育时期和日变化的影响，表明结果具有较好的可靠性和普适性；同时，1 650 和 760 nm 波段均位于大气窗口内，受大气干扰较小，高空遥感也可选用这些波段(Lillesand & Kiefer，1994)。因此，比值指数 R(1 650，760)与冠层群体叶片气孔导度的定量化关系也为今后高空大面积作物的气孔导度估测奠定了一定基础。但本文水稻叶片气孔导度监测模型是建立在单一水稻品种之上的，因此本文的研究结果还需要在不同类型品种，特别是不同叶色和株型品种上作进一步的检验和完善。

参 考 文 献

Carter GA (1998). Reflectance wavebands and indices for remote estimation of photosynthesis and stomatal conductance in pine canopies. *Remote Sensing of Environment*, 63, 61 – 72.

Cropscan Inc. (2000). *Data Logger Controller, User's Guide and Technical Reference*. Cropscan Inc., Rochester, MN.

Eastin JD, Sullivan CJ (1984). Environmental stress influences on plant persistence, physiology, and production In: Tesar MB ed. *Physiological Basis of Crop Growth and Development*. ASA, Madison, 201 – 238.

Filella I, Penuelas J (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1459 – 1470.

Flexas J, Escalona JM, Evain S, Gulias J, Moya I, Osmond CB, Medrano H (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (F_s)

measurements as a tool to follow variations of net CO_2 assimilation and stomatal conductance during water-stress in C_3 plants. *Physiologia plantrum*, 114, 231 – 240.

Jensen A, Lorenzen B (1990). Radiometric estimation of biomass and nitrogen content of barley grown at different nitrogen levels. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1809 – 1820.

Lillesand TM, Kiefer RW (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation* 3rd Edn. John Wiley & Sons, Inc.

Liu WD (刘伟东), Xiang YQ (项月琴), Zheng LF (郑兰芬), Tong QX (童庆禧), Wu CS (吴长山) (2000). Relationships between rice *LAI*, CH.D and hyperspectra data. *Journal of Remote Sensing* (遥感学报), 4, 279 – 283. (in Chinese with English abstract)

Myneni RB, Ganapol BD, Asrar G (1992). Remote sensing of vegetation canopy photosynthetic and stomatal conductance efficiencies. *Remote Sensing of Environment*, 42, 217 – 238.

Penuelas J, Filella I, Gamon JA (1995). Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytologist*, 131, 291 – 296.

Qi J, Chehbouni A, Muete AR, Kerr YH, Sorooshian S (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remot Sensing of Environment*, 48, 119 – 126.

Thiemann S, Kaufmann H (2000). Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field spectrometer and IRS-1C satellite data in the Mecklenburg lake district. *Germany Remote Sensing of Environment*, 73, 227 – 235.

Tian Q, Tong Q, Guo X, Zhao C (2001). Spectroscopic determination of wheat water status using 1650-1850 nm spectral absorption features. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2329 – 2338.

Verma SB, Sellers PJ, Walthall CL, Hall FG, Kim J, Goetz SJ (1993). Photosynthesis and stomatal conductance related to reflectance on the canopy scale. *Remote Sensing of Environment*, 44, 103 – 116.

Zhang JH (张佳华), Fu CB (符淙斌), Wang CY (王长耀) (2000). Study on stomatal conductance distribution of winter wheat in regional scale using remote sensing information. *Acta Meteorologica Sinica* (气象学报), 58, 347 – 353. (in Chinese with English abstract)

Zhang JH (张佳华), Wang CY (王长耀) (1999). Water deficit crop yield model based on remote sensing and crop photosynthesis. *Journal of Hydraulic engineering* (水利学报), 8, 35 – 39. (in Chinese with English abstract)

责任编委：李凤民　责任编辑：刘丽娟