

# 水稻生物化学参数与高光谱遥感特征参数的相关分析

王秀珍<sup>1</sup>, 黄敬峰<sup>2</sup>, 李云梅<sup>3</sup>, 王人潮<sup>2</sup>

(1 浙江气象科学研究所; 2 浙江大学农业遥感与信息技术研究所; 3 南京师范大学地理科学学院)

**摘 要:** 通过不同氮素营养水平的水稻田田间试验, 研究稻叶生物化学成份(叶绿素、类胡萝卜素、蛋白质、纤维素、淀粉含量)与水稻冠层高光谱遥感特征参数之间的关系, 结果表明, 随着叶位的下移, 叶片叶绿素含量与光谱特征变量之间的相关性明显减弱, 绿峰反射率、红谷反射率、红边波长、蓝边面积和“三边”面积构成的植被指数等变量与上叶叶绿素含量、类胡萝卜素、纤维素、叶鞘淀粉含量之间有良好的相关性, 而蛋白质含量与各种变量的相关系数均非常低。兰边面积、兰边面积和红边面积构成的植被指数与上叶叶绿素含量之间, 红边面积、绿反射峰与红反射峰构成的植被指数与叶鞘淀粉含量之间的相关系数都达到了 0.01 极显著检验水平, 因此, 可利用这些变量建立上叶叶绿素 a、纤维素和叶鞘淀粉含量的估测模型。

**关键词:** 水稻冠层光谱; 遥感特征参数; 生物化学参数; 相关性

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)02-0144-05

## 1 引言

生物化学参数主要指植物体内的各种色素、营养成分及纤维素、半纤维素、木质素、糖、油、淀粉和蛋白质等。在 20 世纪 60 年代和 70 年代, 美国农业部(USDA)的研究人员详细测定和分析了干燥和捣碎的多种植物叶子光谱。精细分析光谱特性后, 获得在 400~2400 nm 光谱范围内大约 42 处对应一定生物化学成份的吸收特征<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代后期, USDA 研究人员开始对那些吸收特征和相应的生物化学参数作相关分析, 并用几个微分光谱和化学成份含量作定量回归分析, 以精确地估计干叶和其它干物质中的生物化学成份含量。这种方法很快被推广到实验室光谱测定干燥和捣碎树叶<sup>[2~4]</sup>, 以及野外测量叶子以至冠层水平上的反射光谱(利用野外光谱仪, 航空成像光谱仪), 以提取生物化学参数的应用中<sup>[4,5]</sup>。

利用干燥和捣碎的植物体的光谱估计植物化学成份已被证明和传统的湿化学分析法所得结果相当。但利用鲜叶光谱分析法估计生物化学成份就困难得多了, 从叶子光谱提升到冠层水平光谱的分析又增加了新的难度<sup>[6]</sup>, 因而也引起广泛关注, 在森林<sup>[7~17,5]</sup>、小麦<sup>[18]</sup>、水稻<sup>[19~21]</sup>、大豆<sup>[22]</sup>、牧草<sup>[23]</sup>进行了许多研究。

对水稻的研究主要有 Lacapra 等研究了受洪水淹没后的水稻高光谱特征<sup>[19]</sup>; 吴长山等研究了高光谱数据与早播稻、晚播稻群体叶绿素密度的相关性, 并建立了回归模型<sup>[20]</sup>, 刘伟东等研究了高光谱数据与水稻叶面积及叶绿素密度的相关性<sup>[21]</sup>。这些研究主要集中在叶绿素, 而对其它生物化学参数研究较少。本研究的目的是分析水稻冠层高光谱数据与水稻叶绿素、类胡萝卜素、蛋白质、纤维素、淀粉含量之间的关系。

## 2 试验研究方法

### 2.1 田间试验设计

**试验地点:** 位于 30°14'N, 120°10'E, 浙江大学华家池校区的试验农场内。

**试验时间:** 1999 年 6 月 25 日播种, 7 月 24 日移栽, 2000 年 6 月 20 日播种, 7 月 10 日移栽。

**试验处理:** 供试品种是秀水 63; 试验占地 1000 m<sup>2</sup> 小区面积 4 m × 5 m, 4 个重复, 随机排列; 5 个氮素水平处理, 分别施纯氮量 0、45、135、225、315 kg/hm<sup>2</sup>, 即人为地造成严重缺氮、缺氮、适量氮、过量氮、严重过量氮(用 N1、N2、N3、N4、N5 表示), 分别在返青期、拔节期和抽穗始期按 60%、30%、10% 施入, 钾肥在拔节期和抽穗始期分两次等量均匀施入各小区; 行、株距为 0.14 m × 0.17 m, 田埂宽为 25~30 cm, 田间管理按大田管理方式进行。

**测定内容:** 在主要发育期内测定 水稻生物化学参数: 包括叶绿素、淀粉、蛋白质、纤维素含量等; 水稻高光谱测定: 包括水稻田间冠层高光谱测定和不同叶片室内高光谱测定。

### 2.2 光谱测定方法

使用由美国分析光谱仪器公司 (Analytical Spectral Devices 公司) 制造的 ASD 野外光谱辐射仪 (ASD-FieldSpec), 其光谱范围为 350~1050 nm, 色散为 1.4 nm, 光谱分辨率是 3 nm, 有 512 个波段, 视场角为 25°。

选择晴朗无风天气, 分别在水稻分蘖、拔节、孕穗、抽穗和乳熟期测定水稻冠层光谱, 每次测定在北京时间 10:00~11:45。传感器探头垂直向下, 与冠层顶相距约 0.75 m 左右, 观测范围直径为 0.33 m。每个小区内不同点测定 10 次, 取平均值作为该小区的光谱反射值, 每个小区测定前、后都立即进行白板校正。冠层光谱测定后, 取样测定水稻叶片的生物化学参数和室内光谱。

### 2.3 稻叶生物化学参数测定

在不同发育期分别取植株的顶部第一张完全展开叶(简称上叶)、中部叶片(简称中叶)、下部叶片(简称下叶), 测定其生物化学参数: 包括叶绿素 a 含量、叶绿素

收稿日期: 2002-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40171065; 40271078)

作者简介: 王秀珍(1961-), 女, 副研究员, 博士, 从事农业遥感与信息技术应用研究, 浙江省杭州市艮山西路 73 号 浙江省气象科学研究所, 310004。Email: wxz0516@sina.com

b 含量、类胡萝卜素含量、纤维素含量、蛋白氮含量、非蛋白氮含量及叶鞘淀粉含量等。

2.3.1 叶绿素与类胡萝卜素含量测定

取上、中、下叶,用直径为 0.5 cm 的打孔器打 5 片,称重,用混合液(乙醚 乙醇 水=4:5:4:5:1)在暗处进行浸提 24 h,用 722 分光光度计于 440 nm、644 nm 和 662 nm 下比色,根据公式求出叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素以及总叶绿素含量:

$$\begin{aligned} \text{Chla} &= 9.784 \text{ OD}_{662} - 0.990 \text{ OD}_{644} \\ \text{Chlb} &= 21.426 \text{ OD}_{644} - 4.650 \text{ OD}_{662} \\ \text{Car} &= 4.695 \text{ OD}_{440} - 0.268(\text{Chla} + \text{Chlb}) \\ \text{Chlt} &= \text{Chla} + \text{Chlb} \end{aligned}$$

式中 Chla、Chlb、Car、Chlt——叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量和总叶绿素的含量;  $\text{OD}_{440}$ 、 $\text{OD}_{644}$ 、 $\text{OD}_{662}$ ——440 nm、644 nm 和 662 nm 的光密度<sup>[24]</sup>。

2.3.2 纤维素含量测定

用一定浓度的酸或碱处理植物,可除去其中的糖、淀粉、半纤维素、果胶和蛋白质等,剩余物主要是纤维素,称取样品处理前后的干质量即可算出纤维素的含量(mg/g)。

2.3.3 蛋白氮与非蛋白氮测定

全氮的测定:称取烘干的样品粉末混合催化剂适量和浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,在电炉上加热 2~2.5 h,至溶液呈清晰的淡蓝绿色,冷却后定容至 100 mL,取 10 mL 放入扩散皿外室,内室加入 2 mL 2% 的硼酸。在扩散皿外周涂上特制胶水,盖上毛玻璃并留一狭缝,用注射器注入 5N 的 NaOH 5 mL 的迅速盖好玻璃不使之漏气,轻摇,使得测液与 NaOH 混匀。将扩散皿放入烘箱,0.01823N 的标准盐酸滴定内室中吸收氨后的硼酸,由蓝变为灰紫色终点,记录盐酸用量,根据下式计算

$$\text{N}(\%) = 0.014 \times 0.01823 \times 100 \times \text{滴定盐酸量} \times 100 / (\text{干质量} \times 5)$$

式中 0.014 为 1 毫克当量氮的克数;0.01823 为盐酸的浓度,两个 100 分别为定容量和百分数;分母中的 5 为 NaOH 的浓度。

蛋白氮的测定:称取干样粉末于烧杯中,放在可调温电炉上加热,待有气体放出时,每个烧杯中加入 25 mL  $\text{CuSO}_4$  (120 g  $\text{CuSO}_4$  溶于 2 000 mL  $\text{H}_2\text{O}$  中),搅拌可见白色沉淀产生,冷却过滤(用已烘干称质量的漏斗和滤纸),将残渣反复冲洗至加  $\text{BaCl}_2$  不变浑浊。将残渣和滤纸一起放入烘箱于 60℃ 烘干。将残渣和滤纸一起放入开氏烧瓶中,加入加速剂和 12 mL 的浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  消煮,以下步骤同全氮的测定<sup>[25]</sup>。

$$\text{非蛋白氮} = \text{总氮} - \text{蛋白氮}$$

$$\text{蛋白质}(\%) = 6.25 \times \text{蛋白氮}(\%)$$

2.3.4 叶鞘淀粉含量的测定

采取碘试剂法测定叶鞘淀粉相对含量。取每个处理从上而下第 4 叶的叶鞘量其总长度,将其浸入装有碘试剂(0.01 g I 和 0.5 g KI 溶于 100 mL 水中)的试剂中染色 30 min 后,测其变蓝色部分的长度,着色长度与总长

之比,即得相对淀粉含量:着色长度/总长。

2.4 高光谱数据特征参数及其提取方法

常见的高光谱数据特征参数包括从原始光谱、一阶微分光谱提取的基于高光谱位置变量、基于高光谱面积变量、基于高光谱植被指数变量 3 种类型 19 个特征参数(表 1)。本文将研究这些特征参数与水稻生物化学参数的相关性。

表 1 高光谱特征参数的定义

Table 1 Definitions of hyperspectral parameters used in this study		
变量	定 义	描 述
基于高光谱位置变量		
1. $D_b$	蓝边内最大的一阶微分值	蓝边覆盖 490 ~ 530 nm, $D_b$ 是蓝边内一阶微分光谱中的最大值
2. $\lambda_b$	$D_b$ 对应的波长	$\lambda_b$ 是 $D_b$ 对应的波长位置(nm)
3. $D_y$	黄边内最大的一阶微分值	黄边覆盖 550 ~ 582 nm, $D_y$ 是黄边内一阶微分光谱中的最大值
4. $\lambda_y$	$D_y$ 对应的波长	$\lambda_y$ 是 $D_y$ 对应的波长位置(nm)
5. $D_r$	红边内最大的一阶微分值	红边覆盖 680 ~ 780 nm, $D_r$ 是红边内一阶微分光谱中的最大值
6. $\lambda_r$	$D_r$ 对应的波长即红边位置	$\lambda_r$ 是 $D_r$ 对应的波长位置(nm)
7. $R_g$	绿峰反射率	$R_g$ 是波长 510 ~ 560 nm 范围内最大的波段反射率
8. $\lambda_g$	$R_g$ 对应的波长	$\lambda_g$ 是 $R_g$ 对应的波长位置(nm)
9. $R_r$	红谷反射率	$R_r$ 是波长 640 ~ 680 nm 范围内最小的波段反射率
10. $\lambda_r$	红谷反射率对应的波长	$\lambda_r$ 是 $R_r$ 对应的波长位置(nm)
基于高光谱面积变量		
1. $SD_b$	蓝边内一阶微分的总和	蓝边波长范围内一阶微分波段值的总和
2. $SD_y$	黄边内一阶微分的总和	黄边波长范围内一阶微分波段值的总和
3. $SD_r$	红边内一阶微分的总和	红边波长范围内一阶微分波段值的总和
基于高光谱植被指数变量		
1. $R_g/R_r$	绿峰反射率( $R_g$ )与红谷反射率( $R_r$ )的比值	
2. $(R_g - R_r)/(R_g + R_r)$	绿峰反射率( $R_g$ )与红谷反射率( $R_r$ )的归一化值	
3. $SD_r/SD_b$	红边内一阶微分的总和与( $SD_r$ )蓝边内一阶微分的总和( $SD_b$ )的比值	
4. $SD_r/SD_y$	红边内一阶微分的总和与( $SD_r$ )黄边内一阶微分的总和( $SD_y$ )的比值	
5. $(SD_r - SD_b)/(SD_r + SD_b)$	红边内一阶微分的总和与( $SD_r$ )蓝边内一阶微分的总和( $SD_b$ )的归一化值	
6. $(SD_r - SD_y)/(SD_r + SD_y)$	红边内一阶微分的总和与( $SD_r$ )黄边内一阶微分的总和( $SD_y$ )的归一化值	

3 结 果

3.1 水稻叶片生物化学参数与基于高光谱位置变量的相关性

由表 2 可见,上叶叶绿素 a 含量和叶绿素总含量与绿峰反射率( $R_g$ )、红边波长( $\lambda_r$ )、红谷反射率( $R_r$ )之间的相关系数都达到了 0.01 极显著性检验水平,上叶叶绿素 a 含量和叶绿素总含量与绿峰反射率( $R_g$ )、红谷反射率( $R_r$ )呈负相关,与红边波长( $\lambda_r$ )呈正相关;上叶叶绿素 b 含量仅与蓝边内最大的一阶微分值( $D_b$ )、绿峰反射率( $R_g$ )之间的相关系数达到了 0.05 显著性检验水

平; 上叶类胡萝卜素与所有的位置变量之间的相关关系均未达到显著性检验水平。中叶叶绿素含量  $a$  与绿峰反射率( $R_g$ )、红边波长( $\lambda$ ) 之间的相关系数达到显著性检验水平, 其相关系数  $r$  值明显小于上叶的, 中叶叶绿素含量  $b$ 、类胡萝卜素与光谱位置变量之间的相关关系均未达到显著性检验水平, 叶绿素总含量与光谱位置变量  $\lambda_b$ 、 $\lambda_c$  之间的相关关系达到显著性检验水平; 下叶色素除叶绿素含量  $b$  外与  $\lambda$  之间的相关系数通过显著性检

验水平。上、中、下叶色素含量与  $\lambda_b$ 、 $D_y$ 、 $\lambda_c$ 、 $D$  的相关关系都未达到显著性检验水平,  $\lambda_c$ 、 $R_g$ 、 $R_r$  与上叶叶绿素含量  $a$  和总叶绿素含量之间的相关性较好, 但随着叶位的下移, 明显减弱。  $\lambda_c$  与中叶叶绿素总含量和下叶叶绿素  $a$ 、下叶叶绿素总含量之间的相关性达到显著性检验水平, 在 10 个光谱位置变量中,  $\lambda_c$ 、 $R_g$ 、 $R_r$ 、 $\lambda$  与不同层位上的叶片色素之间存在一定的相关性。

表 2 叶片生物化学参数与高光谱位置变量之间的相关分析

Table 2 Correlation analyses between chemical contents of leaves and the location variables of hyperspectra											
位置变量类型	$D_b$	$\lambda_b$	$D_y$	$\lambda_c$	$D_r$	$\lambda$	$R_g$	$\lambda_g$	$R_r$	$\lambda$	
上叶	Chla	- 0.374	0.212	0.27	0.171	0.072	0.601**	- 0.676**	- 0.144	- 0.641**	0.023
	Chlb	- 0.403*	0.032	0.34	0.13	- 0.219	0.162	- 0.493*	- 0.013	- 0.266	0.195
	Chlt	- 0.424	0.167	0.324	0.173	- 0.029	0.500*	- 0.678**	- 0.111	- 0.567**	0.089
	Car	- 0.148	- 0.021	0.12	- 0.036	0.006	0.19	- 0.227	- 0.308	- 0.182	- 0.294
中叶	Chla	- 0.067	0.113	- 0.072	0.198	0.198	0.430*	- 0.426*	- 0.227	- 0.32	- 0.262
	Chlb	- 0.11	- 0.032	0.065	0.105	- 0.027	0.033	- 0.208	- 0.127	- 0.051	0.07
	Chlt	0.226	- 0.152	- 0.251	- 0.19	0.211	0.214	0.129	- 0.447*	0.094	- 0.70**
	Car	- 0.086	0.068	- 0.027	0.176	0.129	0.312	- 0.373	- 0.204	- 0.242	- 0.158
下叶	Chla	0.157	- 0.191	- 0.174	- 0.283	0.177	0.248	0.052	- 0.363	0.047	- 0.512**
	Chlb	0.044	- 0.14	- 0.06	- 0.131	- 0.017	0.062	- 0.002	- 0.187	0.119	- 0.21
	Chlt	0.244	- 0.269	- 0.238	- 0.386	0.183	0.158	0.195	- 0.403	0.147	- 0.702**
	Car	0.126	- 0.181	- 0.143	- 0.244	0.121	0.037	- 0.318	0.071	- 0.432*	
蛋白质	- 0.078	- 0.014	0.014	0.012	- 0.12	0.157	- 0.146	- 0.217	0.065	- 0.384	
纤维素	0.11	- 0.143	- 0.019	- 0.001	- 0.253	- 0.623**	0.495*	0.019	0.589**	0.106	
叶鞘淀粉	0.283	0.069	- 0.276	0.052	0.466*	0.227	0.065	- 0.169	- 0.252	- 0.058	
累积施氮量	- 0.378	0.256	0.243	0.242	- 0.036	0.620**	- 0.700**	- 0.187	- 0.600**	- 0.14	

注: 蛋白质、纤维素和叶鞘淀粉的样本数 ( $n$ ) 为 20; 累积施氮量样本数 ( $n$ ) 为 25, 下同。

由表 2 可见, 蛋白质含量与高光谱位置变量之间的相关系数都未达到显著性检验水平; 纤维素含量与红边波长、红谷反射率之间相关系数达到了极显著性检验水平, 与绿峰反射率之间的相关系数达到了显著性检验水平; 叶鞘淀粉含量与  $D_r$  之间的相关系数达到了显著性检验水平; 累积施氮量与绿峰反射率、红边波长、红谷反射率之间的相关系数达到了极显著性检验水平。

由此可见, 高光谱位置变量中, 绿峰反射率、红边波长、红谷反射率等变量与叶片一些生物化学成份之间存在着相关关系。叶片色素含量与  $D_b$ 、 $\lambda_b$ 、 $D_y$ 、 $\lambda_c$ 、 $D_r$  的相关关系均未达到显著性检验水平, 说明其含量的变化并没有引起上述高光谱位置变量的变化。

3.2 水稻生物化学参数与基于高光谱面积变量的相关性

由表 3 可见, 上叶 Chla、Chlb 含量和 Chlt 与蓝边面积之间的相关关系达到极显著检验水平, 上叶 Chlb 含量和 Chlt 与黄边面积之间的相关关系达到显著检验水平, 上叶类胡萝卜素与所有的高光谱面积变量之间的相关关系均未达到显著检验水平。中叶、下叶色素含量、蛋白质、纤维素与所有的高光谱面积变量之间的相关关系未达到显著检验水平。叶鞘淀粉与红边面积之间的相关关系达到显著检验水平, 累积施氮量与兰边面积和黄边面积之间的相关关系达到显著检验水平。因此, 可用

表 3 叶片生物化学参数与高光谱面积变量之间的相关分析

Table 3 Correlation analyses between chemical contents of leaves and the area variables of hyperspectra				
叶片部位	光谱变量类型	$SD_b$	$SD_y$	$SD_r$
上叶	Chla	- 0.606**	0.352	0.262
	Chlb	- 0.578**	0.453*	- 0.210
	Car	- 0.256	0.145	0.033
	Chlt	- 0.658**	0.426*	0.113
中叶	Chla	- 0.298	0.093	0.101
	Chlb	- 0.251	0.166	- 0.136
	Car	0.106	- 0.222	0.016
	Chlt	- 0.298	0.125	0.22
下叶	Chla	0.003	- 0.155	0.012
	Chlb	- 0.099	0.006	- 0.231
	Car	0.131	- 0.244	- 0.019
	Chlt	- 0.03	- 0.109	- 0.065
蛋白质	- 0.24	0.158	- 0.356	
纤维素	0.315	- 0.063	- 0.407	
叶鞘淀粉	0.275	- 0.355	0.623**	
累积施氮量	- 0.659**	0.403*	0.006	

蓝边面积、黄边面积变化反映上叶 Chla、Chlb、Chlt 和累积施氮量的变化, 用蓝边面积反映上叶 Chla、Chlb、Chlt 和累积施氮量的变化, 用黄边面积反映上叶 Chlb、Chlt 和累积施氮量的变化, 用红边面积反映叶鞘淀粉含量的变化。

3 3 水稻生物化学参数与基于高光谱植被指数变量的相关性

由表 4 可见, 上叶 Chla、Chlb、Chlt 与  $SD_r$ 、 $SD_b$  和  $SD_r$ 、 $SD_y$  构成的比值与归一化植被指数之间的相关关系达到极显著检验水平, 中叶 Chla、Chlt 与  $SD_r$ 、 $SD_b$  构成的比值植被指数之间的相关关系达到显著检验水平。而下叶色素含量与植被指数之间的相关关系都未达到显著检验水平。随着叶位的下移, 叶片色素含量与光谱植被指数变量之间的相关性明显减弱。

表 4 叶片生物化学参数与高光谱植被变量之间的相关分析

Table 4 Correlation analyses between chemical contents of leaves and the vegetation indices of hyperspectra							
光谱变量类型	$R_g$ $/R_r$	$(R_g - R_r) / (R_g + R_r)$	$SD_r$ $/SD_b$	$SD_r$ $/SD_y$	$(SD_r - SD_b) / (SD_r + SD_b)$	$(SD_r - SD_y) / (SD_r + SD_y)$	
上叶	Chla	0.373	0.397	0.805**	-0.658**	0.741**	-0.500*
	Chlb	-0.022	-0.077	0.585**	-0.555**	0.446*	-0.431*
	Carl	0.161	0.131	0.331	-0.227	0.253	-0.163
	Chlt	0.264	0.261	0.806**	-0.687**	0.708**	-0.526**
中叶	Chla	0.163	0.135	0.490*	-0.368	0.375	-0.175
	Chlb	-0.013	-0.086	0.352	-0.285	0.167	-0.137
	Carl	0.024	0.013	0.057	0.084	-0.041	0.219
	Chlt	0.109	0.063	0.470*	-0.36	0.322	-0.171
下叶	Chla	-0.031	-0.037	0.14	0.04	0.053	0.16
	Chlb	-0.201	-0.244	0.136	-0.05	0.009	0.066
	Car	-0.021	-0.035	-0.027	0.183	-0.085	0.273
	Chlt	-0.086	-0.104	0.143	0.013	0.041	0.135
蛋白质		-0.314	-0.351	0.161	-0.203	0.101	-0.093
纤维素		-0.468*	-0.502*	-0.549*	0.411	-0.592**	0.242
叶鞘淀粉		0.670**	0.675**	0.081	0.12	0.047	0.195
累积施氮量		-0.086	-0.104	0.143	0.013	0.041	0.135

纤维素含量与  $(SD_r - SD_b) / (SD_r + SD_b)$  之间相关系数达到了极显著性检验水平, 与  $R_g/R_r$ 、 $(R_g - R_r) / (R_g + R_r)$ 、 $SD_r/SD_b$  之间的相关系数达到了显著性检验水平; 叶鞘淀粉含量与  $R_g/R_r$ 、 $(R_g - R_r) / (R_g + R_r)$  之间的相关系数达到了极显著性检验水平; 蛋白质含量、累积施氮量与高光谱植被指数变量之间的相关系数都未达到显著性检验水平。

4 讨 论

从水稻生物化学参数与高光谱特征变量的相关分析中可知, 随着叶位的下移, 叶片叶绿素含量与光谱特征变量之间的相关性明显减弱; 红边波长、绿峰反射率和红谷反射率与叶绿素、类胡萝卜素、纤维素、叶鞘淀粉含量之间有较好的相关性, 而蛋白质含量与各种变量的相关系数均非常低。 $SD_r$ 、 $SD_b$  和  $(SD_r - SD_b) / (SD_r + SD_b)$  与上叶叶绿素含量之间,  $SD_r$ 、 $R_g/R_r$  和  $(R_g - R_r) / (R_g + R_r)$  与叶鞘淀粉含量之间的相关系数都达到了 0.01 极显著检验水平。不同的生物化学参数, 需要用不同的高光谱特征变量反映。在高光谱特征变量中, 与水稻生物化学参数相关性最好的变量是植被指数变量, 这说明植被指数变量在一定程度上可消除一些背景因子的干扰; 其次是位置变量和面积变量。选用绿峰反射率、红谷反射率、红边波长、蓝边面积和“三边”面积构成的植被指数等变量建立上叶叶绿素

含量、纤维素等成份的估算模型。由于本研究未充分考虑背景光谱对特征参数的影响, 需要做进一步工作来证实这些不同参数在不同环境条件下的敏感性。

[参 考 文 献]

[1] Curran P J. Remote sensing of foliar chemistry[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 30: 271~ 278

[2] Wesman C A, Aber J D, Peterson D L, et al. Remote sensing of canopy chemistry and nitrogen cycling in temperate forest ecosystems[J]. Nature, 1988, 335: 154~ 156

[3] Card D H, Peterson D L, Matson P A, et al. Prediction of leaf chemistry by the use of visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 26: 123~ 147.

[4] Peterson D J, Aber J D, Matson P A, et al. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24, 85~ 108

[5] Wesman C A, Aber J D, Peterson D L. An evaluation of imaging spectrometry for estimating forest canopy chemistry[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10: 1293~ 1316

[6] Yoder B J, Pettigrew-Crosby R E. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentration from reflectance spectra (400~ 2500 nm) at leaf and canopy scales[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 53: 199~ 211.

[7] Blackburn G A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyperspectral approaches[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 273~ 285

[8] Curran P J, Dungan J L, Gholz H L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine[J]. Tree physiology, 1990, 7: 33~ 48

[9] Curran P J, Windham W R, Gholz H L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine II[J]. Tree physiology, 1995, 15: 203 ~ 206

[10] Demarez V, Gastellu-Etcheberry J P. A modeling approach for studying forest chlorophyll content[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71, 226~ 238

[11] Johnson L F, Hlavka C A, Peterson D L. Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the Oregon transect[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 47: 216~ 230

[12] Johnson L F, Billow C R. Spectrometric estimation of total nitrogen concentration in Douglas-fir foliage[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17: 489~ 500

[13] Martin M E, Aber J D. High spectral resolution remote sensing of forest canopy lignin, nitrogen, and ecosystem processes[J]. Ecological Applications, 1997, 7: 431~ 443

[14] Blackburn G A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 657~ 675

- [15] 浦瑞良, 宫 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [16] 浦瑞良, 宫 鹏. 森林生态化学与 CASI 高光谱分辨率遥感数据的相关分析[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 115~ 123.
- [17] Zagolski F, Pinel V, Romier J, et al. Forest chemistry with high spectral resolution remote sensing[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17: 1107~ 1128.
- [18] Munden R, Curran P J, Catt J A. The relationship between red edge and chlorophyll concentration in the Broadbalk winter wheat experiment at Rothamsted[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15: 705~ 709.
- [19] Lacapra V C, Melack J M, Gastil M, et al. Remote sensing of foliar chemistry of inundated rice with imaging spectrometry [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55: 50~ 58.
- [20] 吴长山, 项月琴, 郑兰芬等. 利用高光谱数据对作物群体叶绿素密度估算的研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 228~ 231.
- [21] 刘伟东, 项月琴, 郑兰芬等. 高光谱数据与水稻叶面积及叶绿素密度的相关分析[J]. 遥感学报, 2000, 4(4): 279~ 283.
- [22] Chappelle E W, Kim M S, McMurtrey J E. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids in soybean leaves[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 39: 239~ 247.
- [23] Pinar A, Curran P J. Grass chlorophyll and the reflectance red edge[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17: 351~ 357.
- [24] 杨振德. 分光光度计测定叶绿素含量的探讨[J]. 西农业大学学报, 1996, 15(2): 145~ 150.
- [25] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术[M]. 中国科学技术出版社, 1993.

## Correlation between chemical contents of leaves and characteristic variables of hyperspectra on rice field

Wang Xiuzheng<sup>1</sup>, Huang Jingfeng<sup>2</sup>, Li Yumei<sup>3</sup>, Wang Renchao<sup>2</sup>

(1. Institute Zhejiang Meteorology, Hangzhou 310004, China;

2. Institute of Agricultural Remote Sensing & Information Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

3. The College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract** The canopy spectra under different levels of nitrogen was used to study the nutritional status of nitrogen. The aim is to find out the relationship between bio-chemical parameters (chlorophyll-a content, chlorophyll-b content, chlorophyll content, sum nitrogen, protein content, fibre content, sheath amylum) and the characteristic variables of hyperspectra on rice field. The results show that the correlation between chlorophyll-a and chlorophyll content and the characteristic variables of hyperspectra is reduced while the position of the leaves are shifting from top to bottom. There are relationships between the characteristic variables of hyperspectra (such as the green peak or red valley of reflectivity, the red edge position, the blue edge area and the vegetation indices), and chlorophyll-a content and chlorophyll content of up leaves and fibre content, and sheath amylum in leaves. However, the relationship between the characteristic variables of hyperspectra and protein content in leaves cannot be found.

**Key words** canopy spectra of rice; characteristic variable of hyperspectra and bio-chemical parameters; correlation