

# 基于 TM 影像的南方丘陵区早稻估产研究

——以奉新县为例

郭 熙, 黄 俊<sup>1</sup>, 朱安繁<sup>1</sup>, 赖锦春<sup>1</sup>, 谢 文<sup>1</sup>, 赵小敏<sup>1, 2\*</sup>

( 1 江西农业大学 江西省作物生理生态与遗传育种重点试验室, 江西 南昌 330045; 2 南昌师范高等专科学校, 江西 南昌 330029)

摘要: 传统的估产方法难以对水稻种植面积和产量进行及时准确地预测。利用 TM 影像资料, 根据地物光谱特征的差异, 提取稻田种植面积信息, 在此基础上分析早稻像元的植被指数, 与作物单产建立回归方程, 通过检验标准筛选出方程拟合率高的估产模型, 从而预报水稻总产。结果显示: 2009年奉新县早稻实际总产和平均单产与遥感估产的结果相比, 早稻总产误差率为 5.78%, 单产误差率为 1.79%。由此可以看出, 结合 GIS技术和资料进行水稻估产, 既提高了估产精度, 又降低了费用, 具有一定的可靠性和实用性。

关键词: 水稻; 遥感估产; TM 影像; 植被指数

中图分类号: S126 文献标志码: A 文章编号: 1000- 2286(2010)06- 1103- 06

## A Study on Early Rice Yield Estimation Based On TM Image in Southern Hill Regions——A Case Study of Fengxin Country

GUO Xi<sup>1</sup>, HUANG Jun<sup>1</sup>, ZHU An-fan<sup>1</sup>, LAI Jin-chun<sup>1</sup>, XIE Wen<sup>1</sup>, ZHAO Xiaom in<sup>1, 2\*</sup>

( 1 Key Laboratory of Crop Physiology Ecology and Genetic Breeding JAU, Nanchang 330045, China; 2 Nanchang Teachers College, Nanchang 330029, China)

**Abstract** It is difficult to forecast the rice planting area and production accurately and in time by means of traditional estimating methods. By using TM image, the information of paddy area was extracted in accordance with the difference of spectral feature. Based on this analysis on the vegetation index of early rice pixel was carried out combined with crop yields to get high fitting rate of yield estimation model which can pass the touchstone. Compared with the actual condition in Fengxin County in 2009, the results of yield estimation made the error of 5.78% in the total rice production, and 1.79% in the average yield. It can be concluded that application of GIS technology and data in rice yield estimation, not only improves the estimation accuracy, but also reduces the costs with certain reliability and practicality.

**Key words** rice; yield assessment by remote sensing; TM image; vegetation index

水稻产量的预测关系到国家、集体和农民的切身利益, 但传统的预测方法却难以对水稻种植面积和产量进行准确及时地预测<sup>[1-2]</sup>。因此, 利用遥感技术和地理信息系统对水稻进行估产既是一种趋势, 又是保证水稻产量预测的科学性、宏观性和时效性的重要手段<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2010- 05- 04 修回日期: 2010- 10- 26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09)

作者简介: 郭熙 (1974- ), 男, 博士生, 主要从事土壤遥感与信息技术研究, E-mail xig435@163.com \* 通讯作者:

赵小敏, 教授, 博士生导师, E-mail zhxm889@yahoo.com.cn

水稻冠层光谱敏感性波段为 760~ 900 nm、630~ 690 nm、530~ 560 nm<sup>[3]</sup>, 在 TM 影像数据中, 与 TM<sub>4</sub> (740~ 1 070 nm)、TM<sub>3</sub> (580~ 690 nm)、TM<sub>2</sub> (520~ 600 nm) 相对来讲比较一致。因此在本次水稻遥感估产研究中采用 TM<sub>2</sub>、TM<sub>3</sub>、TM<sub>4</sub> 作为鉴别水稻产量的主要波段<sup>[4-5]</sup>。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区域概况

奉新县位于江西省西北部, 东联安义, 南接高安, 西南毗宜丰, 西北邻修水, 北靠靖安, 地处东经 114°45′~ 115°33′, 北纬 28°34′~ 28°52′, 东西长约 78.3 km, 南北宽 32.3 km。

## 1.2 基础数据

为了准确地反映早稻产量空间变异规律, 本次研究主要采用基础数据: ① 2009 年 5 月 10 日奉新县 TM 影像数据; ② 2005 年奉新县土地利用现状图; ③ 奉新县土壤图。

## 1.3 研究方法

利用 2009 年 5 月 10 日的奉新县 TM 影像数据, 同时叠加奉新县 2005 年土地利用现状图、奉新县土壤图, 将可能是水田的像元提取出来; 然后利用早稻的波段特征将水稻田与水体、村庄、城镇以及单季稻田区别, 得到早稻田像元, 并计算每个像元的植被指数<sup>[3]</sup>; 同时在 2009 年 7 月 4 日—16 日在奉新县早稻田中随机抽取 20 个田块进行验产, 利用将随机抽取的点与其相应早稻田像元的植被指数, 进行数据拟合, 得到早稻产量与植被指数之间的关系; 利用拟合的最佳公式, 得到每个早稻田像元的单产, 最后通过早稻田像元单产和像元面积进行估产, 该技术路线见图 1。

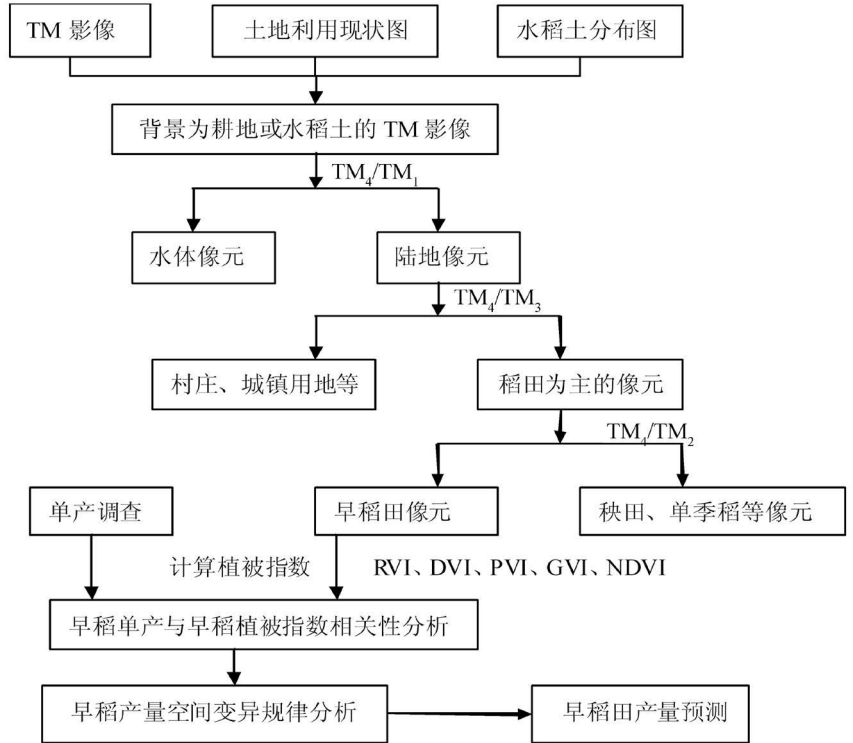


图 1 早稻产量预测研究技术路线<sup>[3]</sup>

Fig 1 The technical routine for predictions of the first season rice production

# 2 数据处理与分析

## 2.1 确定早稻田面积

2.1.1 投影变换 利用 ENV I4 6 软件中的 convertmap projection 工具, 把从中科院遥感地面站购买的影像数据进行投影变换(图 2)。

2.1.2 影像切割 利用 ENV I4 6 中 Mask 工具, 首先导入奉新县县界矢量图层, 作为 Mask 将研究区域影像数据从整幅数据中提取出来(图 3)。

2.1.3 早稻田面积提取 在利用地物光谱特征分析取得各类地物光谱特征的基础上, 利用耕地分布图和水稻田土壤分布图, 运用地物光谱特征的差异, 提取稻田信息<sup>[3]</sup>。

遥感影像图上的混合像元占主要部分, 即单个像元包含多个地物类型<sup>[6]</sup>。在分析奉新 TM 影像的基础上, 得到的水稻像元包含少量晚稻秧田及一些零星菜地, 同时, 由于影像配准的误差, 有些可能为河流、湖泊、坑塘、公路、城镇以及村庄等。因此在利用 TM 影像识别稻田时, 遵循多层提取的技术思路:

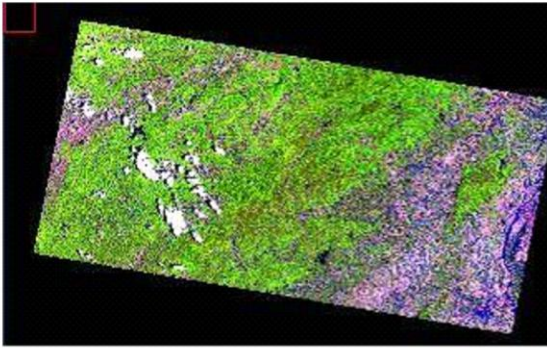


图 2 投影变换后遥感影像图 (TM<sub>5</sub>, TM<sub>4</sub>, TM<sub>3</sub> 合成)

Fig 2 The TM false colour composite (5 4 3) image after projection alteration

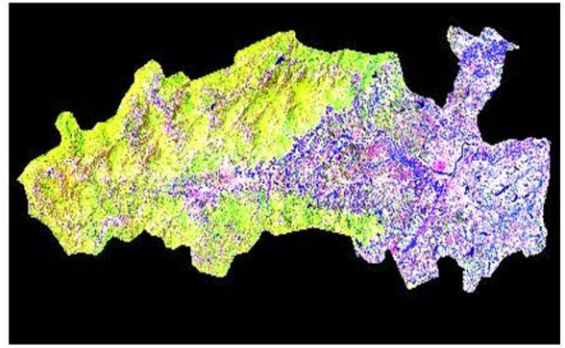


图 3 研究区域提取

Fig 3 The extraction of research area

- (1) 在 TM<sub>4</sub>/TM<sub>1</sub> 比值图像中, 对水体反应很敏感, 利用该比值图像剔除水体像元。
- (2) 对植物和建筑物敏感的是 TM<sub>4</sub>/TM<sub>3</sub> 比值图像, 使用该比值图像将村庄、城镇、部分公路等像元剔除。
- (3) 用 TM<sub>4</sub>/TM<sub>2</sub> 的波段比值图像将秧田和单季稻像元剔除后, 剩下的像元为早稻田像元。

耕地或耕地土壤区域的像元有 533 046 个, 经过识别以后早稻像元个数为 175 643 个, 每个像元面积为 902 m<sup>2</sup> (30.04 m × 30.04 m)。将早稻田像元与各乡镇行政区划图叠加, 并进行区域统计, 可以获得各乡镇的早稻田像元个数。同时委托奉新县农业局和各乡镇政府统计各乡镇早稻播种面积 (表 1)。

表 1 奉新县早稻田调查面积与解译结果对比表

Tab 1 Comparison of the area of first season rice field surveyed and the area from image interpretation km<sup>2</sup>

乡 (镇、场) 名称 The name of the township (or town, filed)	早稻像元个数 Pixel number of rice	早稻面积 TM 解译结果 The results of interpret the early rice area of TM	调查早稻播种面积 Rice acreage survey	误差率 % Error rate
赤岸镇 Chi'an	46 397	4 185.01	4 102.47	2.01
赤田镇 Chitian	25 629	2 311.74	2 249.73	2.76
东风垦殖场 Dongfeng Ken Zhichang	1 260	113.65	103.80	9.49
冯川镇 Fengchuan	1 467	132.32	125.67	5.30
干洲镇 Ganzhou	35 920	3 239.98	3 141.27	3.14
甘坊镇 Ganfang	500	45.10	30.00	50.33
会埠镇 Huibu	23 690	2 136.84	2 034.73	5.02
大港农场 Dagang Fam	36	3.25	2.20	47.60
柳溪乡 Liuxi	286	25.80	13.33	93.48
罗市镇 Luoshi	5 617	506.65	342.00	48.14
农牧渔良种场 Fam'ing fishery Liang Zhong Chang	135	12.18	9.60	26.84
上富镇 Shangfu	3 943	355.66	330.13	7.73
石溪镇 ShixiTown	232	20.93	16.00	30.79
宋埠镇 SongbuTown	22 470	2 026.79	1 996.40	1.52
百丈山 Baizhang	66	5.95	4.00	48.83
仰山乡 Yangshan	387	34.91	22.67	54.00
澡溪乡 Zaoxi	848	76.49	56.67	34.98
澡下镇 Zaoxia	6 465	583.14	519.33	12.29
合计 Total	175 348	15 816.39	15 100.00	4.74

误差率 = (解译结果 - 调查面积) / 调查面积 × 100%。

奉新县农业局与各乡镇上报的 2009 年早稻播种面积为 15 100 hm<sup>2</sup>, 与 TM 影像解译的结果 15 816 39 hm<sup>2</sup>, 误差率为 4.74%, 从各乡镇来看, 播种面积越小的乡镇, 误差率越高, 超过 30% 的乡镇有百丈山、甘坊镇、大港农场、柳溪乡、罗市镇、石溪、仰山乡、澡溪乡, 其中最高的是柳溪乡达到了 93.48%; 误差率低于 10% 的有赤岸镇、赤田镇、东风垦殖场、冯川镇、干洲镇、会埠镇、上富镇、宋埠镇, 误差率最低的为宋埠镇, 误差率仅为 1.52%。

### 2.2 早稻田单产估算

运用 2009 年奉新县水稻生长期的 TM 影像资料, 组合成各种形式的植被指数<sup>[8]</sup>, 与 2009 年的水稻单产进行相关性分析, 并选出相关系数最高者与作物单产建立回归方程, 最后基于该回归方程估算出 2009 年的水稻单产。

2.2.1 早稻田植被指数分析 可见光、近红外波段反射与土壤背景之间的差异主要由植被指数来反映, 同时, 植被的生长状况在一定条件下能够用植被指数来定量说明<sup>[9]</sup>。不同的植被指数特点不一样。线性植被指数, 如 DVI 特点是低 LAI 时, 效果较好; LAI 增加时对土壤背景敏感; 比值型植被指数, 如 NDVI、RVI 特点是增强了土壤与植被的反射对比; 垂直型植被指数, 如 PVI 特点是低 LAI 时, 效果较好; LAI 增加时对土壤背景敏感。本次研究采用 RVI、NDVI、DVI、EVI、GVI、SAVI、TSAVI、MSAVI 等 5 种植被指数作为早稻田水稻指标参数构建单产预估模型。它们由红光和近红外波段组合而成, 能较好地反映水稻的生长情况。

2.2.2 早稻田实际产量调查 水稻产量的形成是一个复杂的生物学过程, 为了进一步研究水稻单产与遥感影像波谱特征之间的关系, 利用 GPS 对 20 个抽样点位进行定位, 对照遥感影像图在现场指定区域进行收割, 晾干后, 于第 2 天进行称重, 得到水稻实际单产 (表 2)。

表 2 实际单产调查点位及结果

Tab 2 The real rice yield survey sites and results

序号 Number	田块所在地 Location p bts	Y	X	晾干后质量 /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Dry weight
1	会埠渣村村干州碑小组	616 440 94	3 177 010 94	6 214 40
2	会埠村头村石下组	611 518 73	3 178 148 95	6 560 00
3	罗市梧桐村下街组	607 529 46	3 176 781 21	8 415 00
4	赤田镇谏家村	641 612 86	3 170 025 51	6 566 25
5	赤田镇黄步岗村	642 082 88	3 169 338 30	7 781 75
6	干洲镇溪泮村	641 481 96	3 190 198 73	7 188 00
7	赤岸镇荷塘村	630 054 31	3 164 635 24	6 750 00
8	赤岸镇狮石村庄下边组	629 822 86	3 169 531 63	6 625 50
9	赤岸镇沿里村大段	630 694 67	3 167 400 61	6 600 00
10	赤岸镇沿里村	630 665 19	3 167 412 47	6 813 00
11	上富镇董田村山背组	598 850 88	3 172 708 25	6 649 50
12	宋埠镇青湖村	640 187 30	3 178 935 36	7 519 50
13	宋埠镇榨下村	643 184 39	3 178 971 82	7 249 50
14	干洲镇大角村	635 810 31	3 183 311 72	6 856 00
15	干洲镇岗前村	636 291 02	3 180 818 00	6 708 00
16	宋埠镇三洪村	640 647 53	3 179 015 31	7 230 00
17	赤田镇庄溪村	638 093 71	3 168 739 98	7 412 00
18	赤田镇罗塘村	643 591 92	3 170 152 09	6 980 00
19	赤田镇段里村	646 986 99	3 171 894 69	7 032 00
20	会埠镇渣村	616 130 94	3 175 319 80	6 190 00

2 2 3 早稻单产与植被指数相关性分析 将 20 个抽样点的 GPS 输入 ENV I4 6 软件中, 读取各点位所在像元的各植被指数 (表 3)。

表 3 实际调查单产与各植被指数  
Tab 3 Rice yield per area surveyed really and vegetation index

序号 Number	单产 Per unit area yield	TM <sub>3</sub>	TM <sub>4</sub>	RVI	DVI	NDVI	GVI	SAVI
1	6 214.4	22	36	1.636 36	14	0.241 38	- 12 916 47	0.358 97
2	6 560	19	36	1.894 74	17	0.309 09	- 10 195 65	0.459 46
3	8 415	24	51	2.125 00	27	0.360 00	- 12 637 60	0.536 42
4	6 566.25	28	47	1.678 57	19	0.253 33	- 14 094 59	0.377 48
5	7 781.75	23	48	2.086 96	25	0.352 11	- 4 191 61	0.524 48
6	7 188	23	42	1.826 09	19	0.292 31	- 5 042 72	0.435 11
7	6 750	24	42	1.750 00	18	0.272 73	- 9 964 62	0.406 02
8	6 625.5	26	45	1.730 77	19	0.267 61	- 3 976 60	0.398 60
9	6 600	33	48	1.454 55	15	0.185 19	- 14 420 82	0.276 07
10	6 813	17	28	1.647 06	11	0.244 44	- 15 515 97	0.362 64
11	6 649.5	16	27	1.687 50	11	0.255 81	- 10 672 23	0.379 31
12	7 519.5	20	38	1.900 00	18	0.310 34	- 8 945 40	0.461 54
13	7 249.5	27	50	1.851 85	23	0.298 70	- 10 483 21	0.445 16
14	6 856.00	30	52	1.733 33	22	0.268 29	- 11 934 01	0.400 00
15	6 708.00	25	42	1.680 00	17	0.253 73	- 12 241 39	0.377 78
16	7 230.00	21	41	1.952 38	20	0.322 58	- 6 070 03	0.480 00
17	7 412.00	32	53	1.656 25	21	0.247 06	- 7 366 02	0.368 42
18	6 980.00	24	39	1.625 00	15	0.238 10	- 9 087 62	0.354 33
19	7 032.00	29	50	1.724 14	21	0.265 82	- 9 129 69	0.396 23
20	6 190.00	23	39	1.695 65	16	0.258 06	- 14 208 32	0.384 00

再把 20 个点位的实际单产与这 20 点位所在像元的各植被指数进行相关性分析, 同时建立回归方程, 如表 4

表 4 水稻单产与植被指数相关性与回归方程

Tab 4 The correlation and regression equations between Rice yield per area and vegetation index

	回归方程 Regression equation	R <sup>2</sup>
RVI	$y = 4.8669x^2 - 15.245x + 18.5860$ $y = 3.8473e^{0.3346x}$	0.639 7 0.528 5
DVI	$y = 9.7541x^2 - 269.1x + 8.4548$ $y = 5.479e^{0.0129x}$	0.629 1 0.494 2
NDVI	$y = 78.541x^2 - 34.937x + 10.5080$ $y = 4.9046e^{1.2674x}$	0.686 9 0.518 1
GVI	$y = 7.5809e^{0.0086x}$ $y = -5.1223x^2 - 39.788x + 7.1497$	0.158 2 0.154 8
SAVI	$y = 35.330x^2 - 23.378x + 10.4890$ $y = 4.900e^{0.8537x}$	0.631 9 0.497 8

从表 4 中可以看出, 水稻单产与植被指数之间相关性较强, 除 GVI 外均达到极显著相关, 最好的是 NDVI 达到 0.686 9, 其次是 SAVI, DVI, RVI, 最低的是 GVI (相关性不显著)。从拟合方程的形式来讲, 二阶回归方程比指数方程的相关系数均高于指数方程, 其拟合程度更高。

从拟合方程的形式来讲,二阶回归方程比指数方程拟合程度更高。

利用产量与 NDVI 的二阶回归方程:  $y = 78\ 541x^2 - 34\ 937x + 10\ 508\ 0$  对奉新县所有早稻田像元进行拟合,得到奉新县早稻田各像元的单产,如图 4

根据拟合结果,奉新县早稻田像元单产最低为 6 060.78 kg/hm<sup>2</sup>,最高为 8 520.27 kg/hm<sup>2</sup>,用像元面积乘以各像元的单产,得到全县早稻总产 106 020.6 t 计算得出全县早稻平均单产为 6 756.6 kg/hm<sup>2</sup>。

根据奉新县农业局 2009 年 10 月份数据,2009 年奉新县早稻总产为 100 232 t 播种面积为 15 100.00 hm<sup>2</sup>,平均单产为 6 638 kg/hm<sup>2</sup>。与应用遥感技术估产的结果相比,早稻总产误差率为 5.78%,单产误差率为 1.79%。

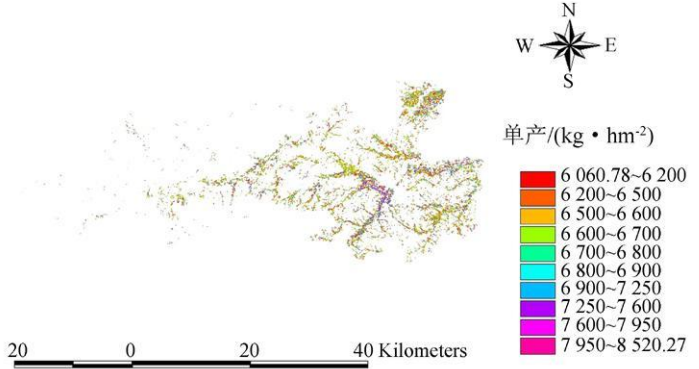


图 4 奉新县 2009 年早稻单产分布

Fig. 4 Distribution of first season rice yield per area in Fengxin County in 2009

### 3 结论与讨论

本研究利用 2009 年奉新县 TM 遥感影像和早稻产量调查相结合,识别提取奉新县早稻播种面积,经过识别以后早稻像元面积为 15 816.39 hm<sup>2</sup>,奉新县农业局上报面积为 15 100 hm<sup>2</sup>,从整个研究区域来讲,误差率为 4.74%,解译精度较高,但有些乡镇误差较大,最大的是柳溪乡,为 93.48%。而存在误差的主要原因是遥感影像的像元是规则方块大小(30.04 m × 30.04 m),而实际生产中田块不规则,导致不少像元为混合像元,越是山区丘陵地区,田块越不规则,混合像元也越多<sup>[10]</sup>。混合像元在解译过程中很容易就成为早稻田像元,从而造成解译结果大于实际播种面积。柳细乡、仰山乡、甘坊镇等几个乡镇由于处于山区,田块小,面积小而且不平整,所以造成解译面积与实际的相差较大。误差较大的几个乡镇由于水稻田较少,在进行解译时,其结果不会影响整体。

本研究根据样点产量调查与 TM 影像处理后各植被指数进行相关性分析,NDVI 与早稻产量相关性最高。根据两者建立的拟合方程,计算得出奉新县早稻田早稻总产误差率为 5.78%,单产误差率为 1.79%。

因此,运用 TM 资料,结合 GIS 技术和资料进行水稻估产,既提高了估产精度,又降低了费用,具有一定的可靠性和实用性。在遥感估产中,水稻种植面积解译识别是一个世界级技术难题。早稻种植面积解译识别误差率在 13% 左右。早稻产量预测的准确性为 85% 左右。尽管本研究中早稻种植面积识别误差率已经控制在 5% 以内,但是并没有解决混合像元解译技术难题。在今后研究中将进一步采用多源、高光谱遥感影像对水稻种植与单产进行更加精确的研究。

#### 参考文献:

[1] 赖格英, 杨星卫. 南方丘陵地区水稻种植面积遥感信息提取的可行性分析 [J]. 遥感技术与应用, 1998, 9(13): 1-7

[2] 孙华生, 黄敬峰, 李波, 等. 中国水稻遥感信息获取区划研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4039-4047.

[3] 王人潮, 黄敬峰. 水稻遥感估产 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. 6-8, 142-145

[4] 王人潮, 陈铭臻, 蒋亨显. 水稻遥感估产的农学机理研究: 不同氮素水平的水稻光谱特征及其敏感波段的选择 [J]. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 15-22

[5] 王人潮, 朱德峰. 水稻单产遥感估测建模研究 [J]. 遥感学报, 1998, 2(2): 119-124.

[6] 吴波, 张良培, 李平湘. 非监督正交子空间投影的高光谱混合像元自动分解 [J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(11): 1392-1397

[7] 唐延林, 黄敬峰, 王人潮. 水稻不同发育时期高光谱与叶绿素和类胡萝卜素的变化规律 [J]. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 61-68

[8] 吕长春, 王忠武, 钱少猛. 混合像元分解模型综述 [J]. 遥感信息, 2003(3): 55-60

[9] 焦险峰, 杨邦杰, 裴志远, 等. 基于植被指数的作物产量监测方法研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 104-108

[10] 黄春燕, 王登伟, 陈冠文, 等. 基于高光谱植被指数的棉花地上生物量估算模型研究 [A] // 中国科协 2005 年学术年会“新疆现代农业论坛”论文专集, 2005