2022, 35(1): 115-122
http://www.lykxyj.com

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.013

面向三江保护区植被类型识别的最佳波段组合研究

姜　怡，刘　华，赵　峰*，马永康，刘浩栋

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 国家林业和草原局林业遥感与信息技术重点实验室, 北京　100091)

摘要:［**目的**］针对高分六号影像数据面向植被类型、特别是湿地植被信息识别的最佳波段组合进行研究，为高分六号数据在湿地资源监测中的进一步应用提供参考。［**方法**］以三江国家级自然保护区为对象，基于高分六号影像数据，结合当地植被特点，开展保护区植被类型识别中的最佳波段组合研究。从影像信息特征、最佳指数因子以及光谱特征曲线和地物可分性角度进行综合分析，获取基于 GF6/WFV 数据的三江保护区植被类型识别的最佳波段组合。同时，通过对比实验，利用支持向量机分类方法，对样区的植被类型进行信息提取，证实了结果的可靠性。［**结果**］波段组合 4（R）-5（G）-1（B）识别植被类型精度最高。总体精度为 89.15%，Kappa 系数为 0.8463。［**结论**］波段组合 4（R）-5（G）-1（B）为三江保护区植被类型识别的最佳波段组合。本研究可为东北地区湿地保护区的退耕还湿工程监测提供参考。

关键词: 最佳波段组合；植被类型识别；GF6/WFV 数据；三江保护区

中图分类号: X87　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1001-1498(2022)01-0115-08

随着遥感技术的发展和广泛应用，其在退耕还林（草）[1-3]、退耕还湿[4-5]等生态恢复工程的监测中也发挥了重要作用。除了工程进展和实施效果外，植被类型识别也是工程监测的主要内容。现有的植被类型识别方法多采用不同分类器进行监督分类[6-7]，其中样本选择是监督分类的必要步骤。通过研究最佳波段组合方式，增强影像信息的可判读性，从而实现分类样本的快速获取。

最佳波段组合一直是卫星数据研究的热点问题。对于拥有多波段光谱信息的传感器来说，应用最佳波段组合可细致分析卫星原始数据各波段信息特征以及在各个领域的应用价值[8-9]。如郭力娜等[10]采用最佳指数因子与不同土地利用类型光谱曲线相结合的方法，选取了适用于 Landsat8 OLI 在土地利用类型提取的最佳波段组合为 1-5-7；王平平等[11]在研究 WorldView2 原始波段最佳波段组合的基础上，增加了不同光谱指数，增强岩性信息提取；和晓风等[12]针对湿地类型，从信息量、信息熵、最佳指数 3 个定量指标出发，确定了 GF1 影像最佳波段组合为 4-3-2。此外，最佳波段组合也是一种数据选择方法，许多学者采用最佳波段组合方式来减少冗余信息与噪声[13-15]，进一步提高分类精度。

高分六号卫星是我国首颗精准农业观测卫星，其新增的红边波段能够有效反映植被的光谱信息，可为退耕还湿工程监测，特别是在区分湿地保护区内农作物与湿地植被方面提供有力的数据支持。但目前，利用高分六号数据针对湿地保护区植被信息识别上的研究较少。本研究以三江国家级自然保护区为对象，基于高分六号数据，从制图中的视觉评估角度，开展保护区植被类型识别中的最佳波段组合研究，并对结果进行定量评估。以期为高分六号数据在湿地资源监测中的进一步应用提供参考。

收稿日期：2021-03-15　　修回日期：2021-06-03

基金项目：高分辨率对地观测系统重大专项（21-Y30B02-9001-19/22-2）；中国林业科学研究院资源信息研究所结余资金资助（2017JYZJ16）。

* 通讯作者: 赵峰，博士，副研究员。主要研究方向：湿地资源信息监测。E-mail：zhaofeng@ifrit.ac.cn

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

三江国家级自然保护区位于黑龙江省佳木斯市抚远市和同江市境内，面积 198 089 hm^2，是以沼泽湿地为主要保护对象的自然保护区。2000 年被国务院批准为国家级自然保护区，2002 年被列入《国际重要湿地名录》。保护区内有丰富的湿地资源，土壤肥沃、湿地植被茂密且类型复杂多样。由于历史上多次大规模人口迁入及开荒，原有的大部分湿地被农田侵占，原始湿地资源遭到破坏。为恢复保护区内湿地生态系统功能，保护野生动物与鸟类正常繁衍栖息，自 2016 年起，保护区开始实施“退耕还湿”工程。为方便区划和管理，当地政府将三江自然保护区分为黑龙江流域保护区（面积 106 552 hm^2）；乌苏里江流域保护区（面积 91 537 hm^2）。本研究选择黑龙江流域保护区作为研究区域（图 1）。

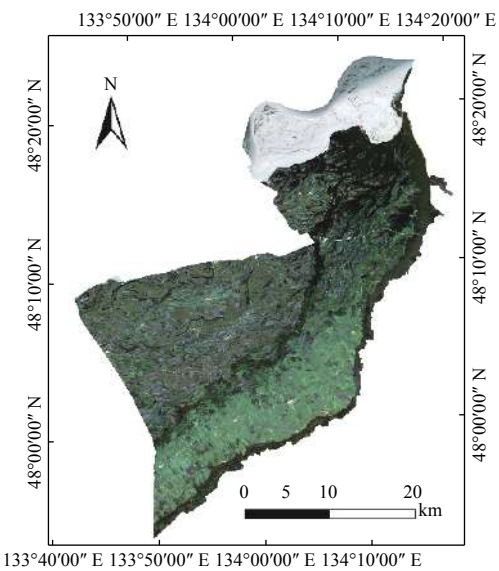


图 1 研究区高分六号影像（RGB=3，2，1）

Fig. 1 Image of GF6 in the study area（RGB=3，2，1）

1.2 数据源

“高分六号”卫星搭载了 8 谱段 CMOS 探测器，首次增加了能够有效反映植被特有光谱特性的“红边”波段（具体参数见表 1）。本实验所用数据下载于陆地观测卫星数据（http://36.112.130.153:7777/#/home），2019 年 9 月 12 号获取，数据经过辐射定标、大气校正以及正射校正最终形成后续研究的遥感数据。此外，样本数据为 2020 年 8 月底到 9 月初实地采集，由于研究区部分地区自然条件复杂，导致某些区域难以进入，故采用无人机进行数据采集作为补充。同时，结合实地考察经验与 google earth 影像选取足够数量的样本点，作为后续实验的基础数据。

表 1 高分六号 WFV 数据

Table 1 GF6/WFV

项目 Project	高分六号WFV数据GF6/WFV
光谱范围 Wavelength range/ um	B1（蓝波段）:0.45～0.52
	B2（绿波段）:0.52～0.59
	B3（红波段）:0.63～0.69
	B4（近红外波段）0.76～0.90
	B5（红边波段1）:0.69～0.73
	B6（红边波段2）:0.73～0.77
	B7（紫波段）:0.40～0.45
	B8（黄波段）:0.59～0.63
空间分辨率Spatial resolution/m	16
幅宽 Width/km	864.2

2 研究方法

从影像信息特征与不同植被类型间可分性两个方面出发，选取标准偏差、信息熵、相关系数以及衍生的波段指数来反映影像信息特征，从整体角度缩小最佳波段组合选取范围；再针对保护区植被类型的光谱特征，利用 J-M 距离方法计算不同植被类型间的可分性，最终确定研究区植被类型识别的最佳波段组合。

2.1 影像信息特征

2.1.1 影像信息量 标准偏差和信息熵是衡量波段信息量的常用方法。标准偏差可以反映图像像元值与总体均值之间的离散程度，而信息熵表达的是图像灰度分布的聚集特征所包含的信息量。标准偏差与信息熵越大，则信息量就越丰富。统计研究区 WFV 传感器 8 个波段的标准偏差、信息熵，最大最小值、均值结果如表 2 所示。

2.1.2 影像波段相关性 相关系数是用以反映变量之间相关关系密切程度的统计指标。对于遥感影像来说，相关系数表达的是波段间的信息重合度。相关系数越大，则两个波段间相关性越大，二者间的冗余度越大，信息重复度越高。统计研究区各波段间的相关系数并绘制相关系数矩阵图（图 2），图中由蓝到红相关性依次增加。考虑到 GF6/WFV 数据原始波段设置并未按照波长长度排列，不利于相关性分析，故图 2 坐标按照中心波长长度重新排

表 2　波段统计信息

Table 2　Statistics of spectral information

波段 Band	中心波长 Central wavelength	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	信息熵 Information entropy
1	0.485	0	5 080	343	147	6.28
2	0.555	0	5 918	605	246	7.26
3	0.660	0	5 503	604	286	7.22
4	0.830	0	6 061	1 837	1 064	9.23
5	0.710	0	6 731	827	337	7.91
6	0.750	0	5 871	1 482	849	8.98
7	0.425	0	3 456	162	87	5.32
8	0.610	0	4 971	641	237	7.23

序，这样更能表达 GF6/WFV 数据的各波段之间的相关性。

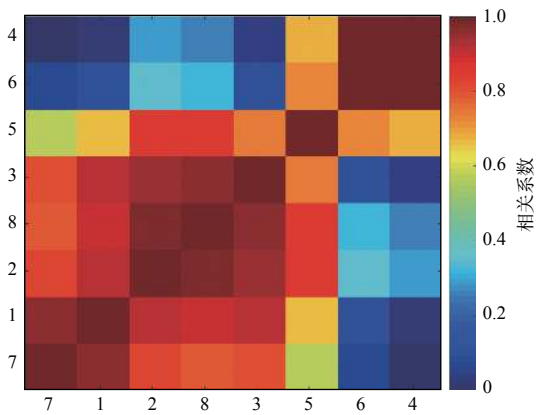


图 2　相关系数矩阵

Fig. 2　Image of correlation coefficient matrix

2.2　最佳指数因子分析

本研究选择应用较为广泛的 *OIF* 指数[16]方法。*OIF* 指数不以单个波段为目标寻找最佳波段组合，而是综合了波段组合内部方差与相关系数，从组合角度评价图像信息量。*OIF* 指数越大，则波段组合信息量越大。其计算公式如下：

$$OIF = \sum_{i=1}^{3} S_i / \sum_{j=1}^{3} |r_{ij}| \tag{1}$$

其中: S_i 为波段 i 的标准差，r_{ij} 为波段 i 与波段 j 之间的相关系数。

从 GF6/WFV 数据的 8 个波段中任意选取 3 个波段组合，共计 56 种组合方式，计算各波段组合的 *OIF* 指数，并按照 *OIF* 数值从大到小排序，结果如表 3 所示。

3　三江保护区植被类型识别的最佳波段组合

3.1　研究区影像信息特征分析

由表 2 可知，从不同波段的中心波长来说，按照波长从短到长依次是 b7>b1>b2>b8>b3>b5>b6>b4，标准偏差从小到大顺序为 b7>b1>b8>b2>b3>b5>b6>b4，信息熵差从小到大顺序为 b7>b1>b3>b8>b2>b5>b6>b4，中心波长长度几乎与信息量呈正相关。信息量总趋势是随中心波长增长而增大，即波长越长，图像反差越大，所含信息量越丰富。其次，由图 2 可知，波段间相关系数出现分块现象，即：b1、b2、b3、b5、b7、b8（简称：一组）以及

表 3　最佳波段指数 *OIF* 值

Table 3　The value of *OIF*

序号 Number	波段组合 Band combination	*OIF* *OIF*	序号 Number	波段组合 Band combination	*OIF* *OIF*	序号 Number	波段组合 Band combination	*OIF* *OIF*	序号 Number	波段组合 Band combination	*OIF* *OIF*
1	4-6-7	924	15	4-7-8	611	29	2-3-6	530	43	3-5-7	264
2	3-4-6	902	16	2-4-7	604	30	6-7-8	520	44	1-3-5	264
3	4-5-6	850	17	3-5-6	592	31	2-6-7	513	45	1-2-5	263
4	4-6-8	837	18	5-6-7	592	32	2-6-8	507	46	2-3-8	240
5	1-4-6	834	19	1-3-4	587	33	1-3-6	503	47	1-5-7	223
6	2-4-6	807	20	2-4-8	585	34	1-6-8	489	48	1-2-8	205
7	4-5-7	685	21	1-4-8	570	35	1-2-6	481	49	1-2-3	202
8	3-4-5	675	22	5-6-8	564	36	1-6-7	471	50	2-7-8	201
9	4-5-8	642	23	1-2-4	562	37	2-3-5	298	51	1-3-8	200
10	1-4-5	629	24	1-4-7	561	38	3-5-8	298	52	2-3-7	197
11	2-4-5	627	25	2-5-6	550	39	2-5-8	294	53	3-7-8	194
12	3-4-7	625	26	1-5-6	548	40	5-7-8	268	54	1-2-7	156
13	3-4-8	617	27	3-6-8	535	41	2-5-7	267	55	1-7-8	155
14	2-3-4	612	28	3-6-7	532	42	1-5-8	265	56	1-3-7	148

b4、b6（简称：二组）。这两组波段组间相关性相对较低，信息重叠程度小，但组内部各波段相关性较高，信息重叠度较大。在最佳波段选择原则中我们认为，最终结果应尽可能选择波段间相关性小的 3 个波段。因此，最佳波段组合不宜以组内部波段组成。

由表 3 可知，*OIF* 指数排名前 6 名波段组合均存在 b4 与 b6。通过前文信息特征分析可知，b4 和 b6 所含信息量虽大，但二者的相关性极高，不宜同时选取。考虑到波段组合的独立性以及信息量，研究决定从所有段组合中选择含有 b4 或 b6（不同时存在）且同时 *OIF* 数值排名位于前 20 的波段组合作为选择范围，用于进一步分析，即 *OIF* 指数排名第 7～26 的波段组合。

3.2 研究区植被类型光谱特征分析

研究区植被类型丰富，是三江平原原始沼泽的核心和缩影。但由于历史上大规模开荒活动，三江国家级自然保护区内存在大量耕地，占地面积较大，作物类型单一。研究区耕地类型以玉米和水稻为主，沼泽湿地以沼泽化草甸为主。根据研究区植被类型特点，本研究选择沼泽化草甸、玉米、水稻、林地以及草地 5 种植被类型作为研究对象，以前期外业调查数据和谷歌影像作为参考，每种植被类型选择 30 个样本，计算每种植被类型在 8 个波段上的响应值，并绘制不同植被类型的光谱特征曲线，如图 3 所示。

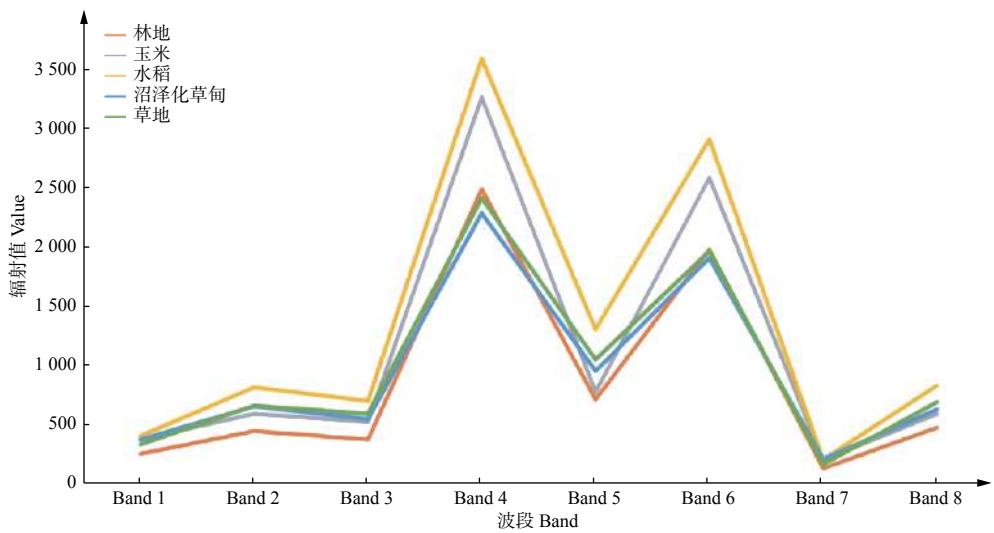


图 3 5 种植被类型的光谱特征曲线

Fig. 3 5 Spectral characteristic curve of planting quilt type

根据图 3 可知，5 种植被类型的光谱响应值的总体走势相近，在单波段区分程度各不相同。其中，红边波段 b5、b6 在植被类型识别中表现优异，尤其是波段 5 对各植被类型区分的综合能力位于前列；b4 和 b6 波段的玉米、水稻比其他植被类型辐射值更高，有利于区分耕地与其他植被类型；可见光波段（b1、b2、b3、b7、b8）的林地辐射值最低而水稻最高，但是 b7 波段对植被类型区分能力极差，为进一步缩小最佳波段选择范围，故最佳波段组合中不考虑第 7 波段。此外，综合考虑到波段间信息量，故最佳波段组合中应包含 b4，不包含 b6 与 b7。

3.3 植被类型可分性分析

J-M 距离是度量不同类别可分性较为有效的方法，公式如下：

$$J_{ij}=\left\{\int_x\left[\sqrt{p(X/\omega_i)}-\sqrt{p(X/\omega_j)}\right]^2dX\right\}^{1/2} \quad (2)$$

式中: $p(X/\omega_i)$ 为条件概率密度，即第 i 个像元属于第 ω_i 个类别的几率。J_{ij} 取值在 0～2 之间，其中，J_{ij} 位于 0. 0～1. 0 之间时，则样本间不具有光谱可分性；J_{ij} 位于 1.0～1.9 之间时，样本间具有一定的光谱可分性，但存在较大程度的重叠；J_{ij} 位于 1.9～2.0 之间时，样本间具有很好的光谱可分性。

通过前期基于 *OIF* 指数的信息量以及植被类型光谱特征的综合分析，从 *OIF* 指数法筛选出的 20 组波段组合中，排除包含波段 6、7 的波段组合，共选出 10 组波段组合，依次计算不同地物类型间的 J-M 距离（结果保留 2 位小数）。结果如表 4 所示。

表 4　J-M 距离

Table 4　Jeffreys-Matusita Distance

序号 Number	波段组合 Band combination	林地-玉米 Forest-Maize	林地-水稻 Forest-Paddy	林地-沼泽化草甸 Forest-Swamp meadow	林地-草地 Forest-Grassland	玉米-水稻 Maize-Paddy	玉米-沼泽化草甸 Maize-Swamp meadow	玉米-草地 Maize-Grassland	水稻-沼泽化草甸 Paddy-Swamp meadow	水稻-草地 Paddy-Grassland	沼泽化草甸-草地 Swamp meadow-Grassland
1	3-4-5	2.00	2.00	1.89	2.00	2.00	2.00	2.00	1.88	2.00	1.05
2	4-5-8	2.00	2.00	1.87	2.00	2.00	2.00	2.00	1.95	2.00	0.90
3	1-4-5	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00	1.99	2.00	1.96	1.99	1.75
4	2-4-5	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	1.93	1.99	1.50
5	3-4-8	2.00	2.00	1.83	2.00	1.98	1.88	2.00	1.95	1.99	1.11
6	2-3-4	2.00	2.00	2.00	2.00	1.94	2.00	2.00	1.91	2.00	1.11
7	1-3-4	2.00	2.00	1.99	2.00	1.99	1.89	1.99	1.96	1.99	1.74
8	2-4-8	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00	1.99	2.00	1.47
9	1-4-8	2.00	2.00	1.98	2.00	2.00	1.88	2.00	1.99	1.98	1.76
10	1-2-4	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	1.98	2.00	1.92	1.99	1.30

基于 J-M 距离评估植被类型的可分性结果可知，从 56 个波段组合中初选出的 10 个波段组合在植被类型识别方面均表现优异，仅在区分沼泽化草甸与草地效果不佳，但在其他植被类型间 J-M 距离均大于 1.83，且绝大多数 J-M 距离大于 1.9，验证了筛选结果的可靠性。其中，在不同波段组合中林地、水稻、玉米和草地 4 种植被类型间的 J-M 距离均大于 1.94，表明该 10 个组合在这 4 种植被类型具有较强区分能力。此外，沼泽化草甸与其他植被类型间 J-M 距离相对较低，不宜区分，尤其是沼泽化草甸与草地，J-M 距离最大为 1.76（波段组合 1-4-8），最小仅为 0.90，表明沼泽化草甸与草地的光谱信息十分相近，容易混淆不易区分。

3.4　基于三江保护区植被类型识别的最佳波段组合

由于 J-M 距离方法仅能衡量两种地物类型间的可分性，本研究采用两种方法相结合的综合评估法，进一步确定三江保护区植被类型识别的最佳波段组合。方法一：将各植被类型间的 J-M 距离按大小排序，累加排名次序，统计总排名作为最终分数，总分越小则说明该波段综合排名越高，植被类型识别能力越强（表 5）。方法二：累加不同植被类型两两间 J-M 距离，记为总分，并按总分大小排序，总分越高则表明波段组合综合识别能力越强。综合两种方法结果如表 6 所示。

综合两种方法进行评估的优势在于，如果仅采用方法一进行评估，会产生拉平效应。例如表 4 中的沼泽化草甸与草地，波段组合 1-3-4 的 J-M 距离为 1.74，波段组合 1-4-5 为 1.75，数值相差 0.01，排名相差 1。同样在沼泽化草甸与草地中，波段组合 2-4-5 的 J-M 距离为 1.50，波段组合 1-3-4 为 1.74，数值相差 0.24，但排名仍相差 1。如果仅采用方法二进行评估，则又会出现因为某两种植被类型的 J-M 距离数值过小和过大而过分影响该波段的综合排名现象。故在两种评估方法中同时表现优异的波段组合，才应是我们优选的植被类型识别最佳波段组合。

根据表 6 可知，综合排名第一的波段组合为 1-4-5。本研究根据最佳波段选择原则，在研究区地物光谱特征分析基础上，结合 *OIF* 值排序以及地物类型最大差异的分析，最终确定 1-4-5 波段为研究区植被类型识别的最佳波段组合。

3.5　最佳波段组合验证

为了更加科学地判定波段 1-4-5 为最佳波段组合，本研究选取综合排名第二的波段组合 1-4-8 作为对比数据，以验证最佳波段组合的优越性；并将常用于植被识别的波段组合 2-3-4 作为另一组对比数据。采用在小样本条件下表现较好支持向量机方法对 3 种波段组合分别进行监督分类，获取研究区植被类型分布图。分类结果如图 4 所示。分类精度验证结果如表 7 所示。

由表 7 可知，波段组合 1-4-5 在各植被类型识别精度均表现优异，总体精度和 Kappa 系数最高，故进一步证明波段波段组合 1-4-5 为本研究的最佳波段组合。此外，适合的 RGB 组合方式也是选择最佳波段组合的关键步骤，通过对比发现，R-4、

表 5 方法一排名

Table 5 Rank of method 1

波段组合 Band combination	林地-玉米 Forest-Maize	林地-水稻 Forest-Paddy	林地-沼泽化草甸 Forest-Swamp meadow	林地-草地 Forest-Grassland	玉米-水稻 Maize-Paddy	玉米-沼泽化草甸 Maize-Swamp meadow	玉米-草地 Maize-Grassland	水稻-沼泽化草甸 Paddy-Swamp meadow	水稻-草地 Paddy-Grassland	沼泽化草甸-草地 Swamp meadow-Grassland	总分 Total Score	排名 Rank
1-4-5	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	15	1
2-4-8	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5	15	1
1-4-8	1	1	3	1	1	5	1	1	3	1	18	2
2-4-5	1	1	1	1	1	2	1	4	2	4	18	2
1-3-4	1	1	2	1	2	4	2	2	2	3	20	3
1-2-4	1	1	1	1	2	3	1	5	2	6	23	4
2-3-4	1	1	1	1	4	1	1	6	1	7	24	5
4-5-8	1	1	5	1	1	1	1	3	1	9	24	5
3-4-5	1	1	4	1	1	1	1	7	1	8	26	6
3-4-8	1	1	6	1	3	5	1	3	2	7	30	7

G-5、B-1 为 RGB 最佳组合色彩显示（图 4）。

4 结论

基于 GF6/WFV 影像，从影像特征和类间可分性角度出发，对标准偏差、信息熵和相关系数等指标进行分析，通过最佳指数因子方法确定各个波段组合的信息量；再结合典型植被类型光谱特征曲线、J-M 距离等确定了研究区典型植被类型识别的最佳波段组合，并得到如下结论：

（1）对于 GF6/WFV 数据，从可见光到近红外各波段信息量总体为上升趋势，其中 b4 波段信息熵与标准偏差最大，b7 最小，说明 b4 包含信息量最多而 b7 最少；依据波段间相关性可分为两组：b1、b2、b3、b7、b8（一组）和 b4、b6（二组）。两组波段组内相关性高，信息冗余度高，组间相关性低，冗余程度低。对于影像特征分析可知，在后续研究中，只有从两组中分别选取适当波段进行组合，才能保证最终波段组合的独立性。

（2）单一的波段选择方法具有一定局限性，综合方法可以实现方法间优势互补。*OIF* 指数可评估波段组合整体信息含量，初步筛选信息丰富的波段组合；光谱特征曲线从单波段角度评估各类型的可分性；J-M 距离从组合角度评价不同波段组合对植被类型的区分能力。综合以上 3 个角度可获得最终的最佳波段组合。

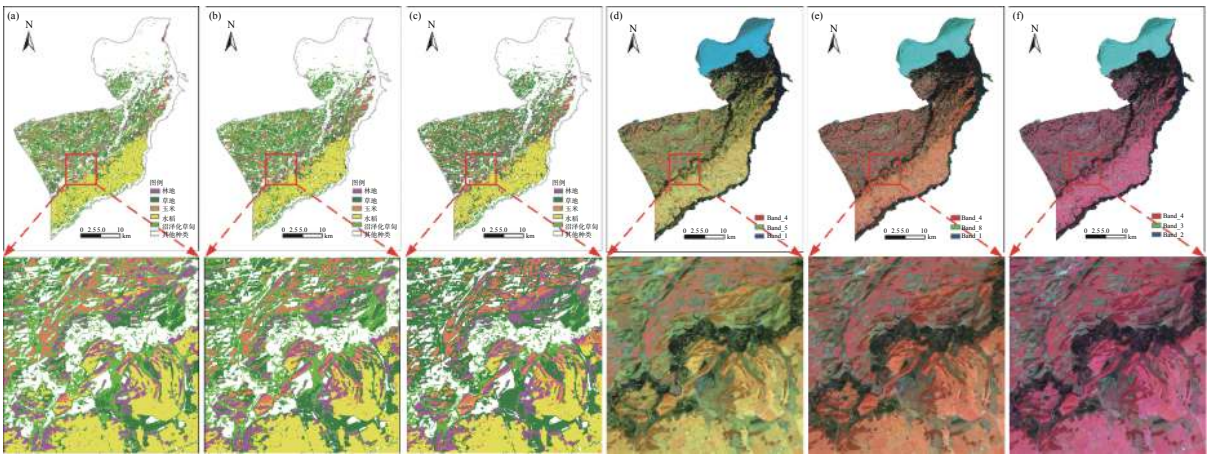
表 6 波段组合综合排名

Table 6 Comprehensive rank of band combinations

波段组合 Band combination	方法二得分 Score of method 2	方法二排名 Rank of method 2	方法一排名 Rank of method 1	综合排名 Overall
1-4-5	19.67	1	1	1
1-4-8	19.60	2	2	2
2-4-8	19.43	4	1	3
1-3-4	19.54	3	3	4
2-4-5	19.40	5	2	5
1-2-4	19.18	6	4	6
2-3-4	18.96	7	5	7
3-4-5	18.81	8	6	8
4-5-8	18.71	10	5	9
3-4-8	18.75	9	7	10

（3）经过多指标的综合评估，在 56 个波段组合中，波段组合 4（R）-5（G）-1（B）是三江保护区植被类型识别的最佳波段组合。其中林地、水稻、玉米、草地 4 种植被类型类间具有较强的可分性，但沼泽化草甸与其他植被类型间 J-M 距离相对较低，尤其与草地间存在部分混淆情况。

本研究基于 GF6/WFV 影像对识别三江保护区



（a）波段组合 4-5-1 分类结果；（b）波段组合 4-8-1 分类结果；（c）波段组合 4-3-2 分类结果；（d）波段组合 4-5-1 影像（RGB）；（e）波段组合 4-8-1 影像（RGB）；（f）波段组合 4-3-2 影像（RGB）

(a) Classification results of band combination 4-5-1;(b) Classification results of band combination 4-8-1;(c) Classification results of band combination 4-322;(d) Image of band combination 4-5-1(RGB) ;(e) Image of band combination 4-8-1(RGB) ;(f) Image of band combination 4-3-2(RGB)

图 4　波段组合分类结果

Fig. 4　Classification results of band combination

表 7　3 种波段组合分类结果评价

Table 7　Classification accurary of 3 kinds of band combination

类型 Class	波段组合 1-4-5 Band combination 1-4-5		波段组合 1-4-8 Band combination 1-4-8		波段组合 2-3-4 Band combination 2-3-4	
	制图精度 Mapping accuracy	用户精度 User accuracy	制图精度 Mapping accuracy	用户精度 User accuracy	制图精度 Mapping accuracy	用户精度 User accuracy
草地 Grassland	86.24	87.97	94.49	73.94	96.92	57.71
水稻 Paddy	87.02	99.11	78.55	99.83	78.4	99.4
林地 Forest	92.57	83.77	88.06	89.78	97	90.57
玉米 Maize	93.35	84.31	92.86	70.57	93.1	69.63
沼泽化草甸 Swamp meadow	97.61	77.69	87.23	74.89	61.11	87.37
总体精度 Overall accuracy/%	89.15		83.75		79.07	
Kappa 系数 Kappa coefficient	0.846 3		0.754 8		0.714 9	

植被类型的最佳波段组合进行了研究，研究结果中最佳波段组合 1-4-5 中包含近红与红边两个波段，前人研究表明，该两个波段在植被生物量[17]、健康评估[18] 和树种[19-22]、农作物识别[23-24] 中发挥了巨大的作用，有助于提高植被信息的提取精度。故本研究提出的最佳波段组合在植被相关的目视解译和分类等方面具有可靠性，对于三江平原的植被类型快速识别具有参考价值。GF6 号卫星作为我国自主研发的传感器，其新增加的波段包含紫波段、黄波段以及两个红边波段 4 个特殊波段，本研究从原始波段组合角度分析了植被类型识别方面的最佳波段组合，在今后的研究中可以从指数进一步挖掘新增波段在植被方面的应用。

参考文献：

［1］ Mao Dehua, Luo Ling, Wang Zongming, *et al*. Conversions between natural wetlands and farmland in China: A multiscale geospatial analysis[J]. The Science of the Total Environment, 2018, 634: 550-560.

［2］ 张怀清, 郑　曼, 蒋　娴. 基于ArcGIS Engine的退耕还林决策支持系统研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21（Z1）：65-68.

［3］ 刘文超, 刘纪远, 匡文慧. 陕北地区退耕还林还草工程土壤保护效应的时空特征[J]. 地理学报, 2019, 74（9）：1835-1852.

［4］ Zhu Bingmiao, Zhu Xun, Zhang Ran, *et al*. Study of multiple land use planning based on the coordinated development of wetland farmland: A case study of Fuyuan City, China[J]. Sustainability, 2019, 11(1): 271.

［5］ 黄　妮, 刘殿伟, 王宗明, 等. 基于GIS的三江平原退耕还湿空间决策分析[J]. 地理科学, 2009, 29（6）：874-879.

［6］ 王雅慧, 陈尔学, 郭　颖, 等. 高分辨率多光谱遥感影像森林类型分类深度U-net优化方法[J]. 林业科学研究, 2020, 33（1）：11-18.

［7］ 姚　博, 张怀清, 刘　洋, 等. 面向对象CART决策树方法的湿地遥

感分类[J]. 林业科学研究, 2019, 32（5）：91-98.
[8] 戴昌达, 雷莉萍. TM图像的光谱信息特征与最佳波段组合[J]. 环境遥感, 1989（4）：282-292.
[9] Wang Chunxing, Ma Nan, Ming Yanfang, *et al*. Classification of hyperspectral imagery with a 3D convolutional neural network and J-M distance[J]. Advances in Space Research, 2019, 64(4): 886-899.
[10] 郭力娜, 李 帅, 张梦华, 等. 最佳波段组合的城市土地利用类型提取[J]. 测绘科学, 2019, 44（8）：161-167.
[11] 王平平, 田淑芳. 基于 WorldView2 数据的岩性信息增强方法——以内蒙古扎嘎乌苏地区为例[J]. 国土资源遥感, 2016, 28（4）：176-184.
[12] 和晓风. 基于GF-1遥感湿地类型提取研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
[13] Xie Fuding, Li Fangfei, Lei Cunkuan, *et al*. Unsupervised band selection based on artificial bee colony algorithm for hyperspectral image classification[J]. Applied Soft Computing, 2019, 75: 428-440.
[14] Wang Mingwei, Wu Chunming, Wang Lizhe, *et al*. A feature selection approach for hyperspectral image based on modified ant lion optimizer[J]. Knowledge-Based Systems, 2019, 168: 39-48.
[15] 魏芳洁. 高光谱图像波段选择方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
[16] 马 娜, 胡云锋, 庄大方, 等. 基于最佳波段指数和J-M距离可分性的高光谱数据最佳波段组合选取研究——以环境小卫星高光谱数据在东莞市的应用为例[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25（3）：358-365.
[17] Frampton W J, Dash J, Watmough G, *et al*. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, 82: 83-92.
[18] Adelabu S, Mutanga O, Adam E. Evaluating the impact of red-edge band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 95: 34-41.
[19] 梁志国, 隋 傲, 于 颖, 等. 高分六号遥感数据在有林地识别中的应用[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48（5）：35-39.
[20] Peng L, Liu K, Cao J, *et al*. Combining GF-2 and RapidEye satellite data for mapping mangrove species using ensemble machine-learning methods[J]. International Journal of Remote Sensing, 2020, 41(3): 813-838.
[21] Madonsela S, Cho M A, Mathieu R, *et al*. Multi-phenology WorldView-2 imagery improves remote sensing of savannah tree species[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017, 58: 65-73.
[22] 张沁雨, 李 哲, 夏朝宗, 等. 高分六号遥感卫星新增波段下的树种分类精度分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21（10）：1619-1628.
[23] 魏梦凡. 基于Sentinel-2A卫星遥感影像的开封市冬小麦种植面积提取技术研究[D]. 开封: 河南大学, 2019.
[24] 梁 继, 郑镇炜, 夏诗婷, 等. 高分六号红边特征的农作物识别与评估[J]. 遥感学报, 2020, 24（10）：1168-1179.

Optimal Band Combination for Vegetation Type Recognition in Sanjiang Nature Reserve

JIANG Yi, LIU Hua, ZHAO Feng, MA Yong-kang, LIU Hao-dong

(1. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; Key Laboratory of Forestry Remote Sensing and Information System of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: [**Objective**] To find the best band combination of GF6 image data for the identification of vegetation types, especially wetland vegetation information, so as to provide reference for the further application of GF6 data in wetland resources monitoring. [**Method**] Taking Sanjiang Nature Reserve as example and basd on the GF6 data, the research mentioned above was conducted combing with the features of local vegetation. From the perspective of image information characteristics, the best index factor, the spectral characteristic curve and the separability of ground objects, the best band combination for vegetation type identification in Sanjiang Nature Reserve based on GF6 data were obtained. At the same time, through comparative experiment, the support vector machine classification method was used to extract the vegetation type information of the sample area, and the reliability of the results was confirmed. [**Result**] The band combination of 1-4-5 showed the highest accuracy in vegetation classification with 89.15% overall accuracy and 0.8463 Kappa coefficient. [**Conclusion**] The band combination of 4(R)-5(G)-1(B) is the optimal band combination for vegetation classification in Sanjiang Nature Reserve. This study can provide a reference for monitoring the returning farmland to wetland project in northeast China.

Keywords: Optimal band selection; vegetation type recognition; GF6/WFV data; Sanjiang Nature Reserve

（责任编辑：彭南轩）