

引用格式:Guo Ziyang, Yang Kang, Liu Chang, *et al.* Seasonal Accuracy Assessments of Three Land Cover Datasets in Pakistan[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(3): 567-575. [郭紫燕, 杨康, 刘畅, 等. 巴基斯坦土地覆盖数据产品季节性精度评价[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(3): 567-575.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.3.0567

巴基斯坦土地覆盖数据产品季节性精度评价

郭紫燕¹, 杨康^{1,2,3}, 刘畅¹, 程亮^{1,2,3}, 李满春^{1,2,3}

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023;

2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏 南京 210023;

3. 中国南海研究协同创新中心, 江苏 南京 210023)

摘要: GlobeLand30-2010(30 m)、FROM-GLC-2010(30 m)和GlobCover-2009(300 m)是3套应用广泛的全球高精度土地覆盖数据产品。以巴基斯坦为研究区,从2009~2011年30 m Landsat-5、Landsat-7多光谱遥感影像共122景选取了夏冬两季各1 000个样本点,评价了3套土地覆盖数据产品的季节性分类精度。结果表明:3套产品在巴基斯坦地区夏冬两季总分类精度差异不大,总体来说GlobeLand30-2010(63.9% vs. 65.6%)与FROM-GLC-2010(59.0% vs. 61.2%)的总精度夏季略高于冬季,GlobCover-2009的总精度冬季略高于夏季(59.5% vs. 59.1%)。此外,3套产品中GlobeLand30-2010对耕地、人造地表和水体有更好的分类效果,FROM-GLC-2010对植被和冰川积雪的分类更为准确,GlobCover-2009对裸地的分类更为准确;3套产品对耕地、裸地和冰川积雪分类更符合冬季的真实情况,对植被、水体分类更符合夏季的真实情况,人造地表分类无明显季节差异。巴基斯坦土地覆盖精度评价的样本点密度应达到1个/1 000 km²。

关键词: 土地覆盖数据产品;精度分析;季节性;样本点;巴基斯坦

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)03-0567-09

1 引言

全球高精度土地覆盖数据产品对指导资源开发,预警生态环境破坏,应对气候变化以及监测地理国情均具有重要意义^[1-5]。目前,随着数据处理技术的发展,已有越来越多的全球高精度土地覆盖数据产品可供免费下载^[6],并用于各方面的研究^[7-14]。这些产品间的全球或区域精度比较作为产品选择与使用的前提,得到越来越多的重视^[15-17]。然而,目前这些产品均为年际产品,仅采用了单时相遥感影像用于制图,难以反映年内土地覆盖类型的动态变化,对描述不同季节土地覆盖情况的适应性有待商榷。近年来已有研究开始关注土地覆盖的

季节性差异^[18-19],但是土地覆盖年际产品在较长时间内仍将被广泛使用。因此,研究分析评价了几套全球高精度土地覆盖数据年际产品的季节性精度。

选取巴基斯坦作为研究区,评价3套全球高精度土地覆盖数据产品在巴基斯坦夏冬两季的精度差异。巴基斯坦总面积796 095 km²,南北气候差异显著,印度河自北向南贯穿全境^[20],境内土地覆盖类型齐全,含耕地、森林、草地、灌木、水体、人造地表、冰川积雪和裸地等多个类型,土地覆盖分类精度评价更为全面客观。同时,巴基斯坦部分土地覆盖类型呈现显著的季节性转换特征,例如受耕作周期影响的耕地和受气候条件影响的冰川等,这对研

收稿日期:2019-03-25;修订日期:2020-05-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0504205)。

作者简介:郭紫燕(1995—),女,江苏连云港人,博士研究生,主要从事土地利用/土地覆盖遥感监测研究。E-mail:guoziyannj@gmail.com

通讯作者:杨康(1986—),男,甘肃庆阳人,博士、副教授,主要从事资源环境遥感研究。E-mail:kangyang@nju.edu.cn

究季节性土地覆盖十分有益。此外,“中巴经济走廊”是“一带一路”旗舰产品^[21],分析巴基斯坦土地覆盖类型及其动态变化,对于监测巴基斯坦地理国情、掌握“中巴经济走廊”态势具有重要意义,是高精度土地覆盖数据产品应用的重要领域。

2 数据与方法

2.1 研究数据

研究选择 GlobCover-2009 (300 m)、FROM-GLC-2010 (30 m) 和 GlobeLand30-2010 (30 m) 3 套全球高精度土地覆盖数据产品进行精度评价,其分

类体系见表 1。

GlobCover-2009 (Global Land Cover Map for 2009) 数据产品由欧洲空间局 (European Space Agency, ESA)、联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 等组织共同参与完成。GlobCover-2009 产品以 2009 年 ENVISAT 卫星的 MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) 影像作为数据源,空间分辨率为 300 m,使用了 LCCS (Land Cover Classification System) 分类体系,采用分层分区的分类方法进行制图,共包含 22 种土地覆盖类型,全球数据总精度约为 73%^[22]。

表 1 3套土地覆盖数据产品分类体系及统一分类体系
Tab.1 Classification system of three land cover datasets and unified classification system

产品	GlobCover-2009	FROM-GLC-2010	GlobeLand30-2010	统一分类
类型	水田			
	雨林农田	农田	耕地	耕地
	镶嵌型农田(50%~70%)/植被(20%~50%)			
	镶嵌型植被(草原/灌木林/森林)			
	(50%~70%)/农田(20%~50%)			
	开阔阔叶常绿阔叶林或半落叶林(>15%)(>5 m)			
	阔叶落叶林(>40%)(>5 m)			
	封闭型针刺常绿林(>40%)(>5 m)			
	开阔混合阔叶林和针刺林(>15%)(>5 m)	森林	森林	
	镶嵌型森林或灌木丛(50%~70%)/草地(20%~50%)	草地	草地	植被
	镶嵌型草原(50%~70%)/森林或灌木林(20%~50%)	灌木	灌木地	
	(阔叶或针刺,常绿或落叶)灌木丛(>15%)(<5 m)		苔原	
	开放型草本植被(草原,热带稀树草或地衣/苔藓>(>15%))			
	稀疏植被(<15%)			
	定期淹没或淹水的土壤封闭开放草原或木质植被 新鲜,咸水或盐水(>15%)			
	人造表面及相关区域(城市面积>50%)	不透水面	人造地表	人造地表
	裸地	裸地	裸地	裸地
	水体		水体	
	封闭阔叶林或灌木丛永久性淹水-盐水或微咸水(>40%)	水体	湿地	水体
	永久冰雪	积雪冰川	冰川和永久积雪	冰川积雪

FROM-GLC (Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover)-2010 数据产品由清华大学生产,以 Landsat TM /ETM + 影像为数据源,使用最大似然分类器(Maximum Likelihood Classifier, MLC)、随机森林(Random Forest, RF)、支持向量机(Support Vector Machine, SVM)等分类器,通过监督分类的方法制图,是首套 30 m 空间分辨率的全球土地覆盖数据产品,包含 8 种土地覆盖类型,全球数据总精度约为 71.5%^[23]。

GlobeLand30-2010 数据产品由我国国家基础地理信息中心生产,以 Landsat TM /ETM +、MODIS 和 HJ-1 等卫星遥感影像作为数据源,采用基于

像元—对象—知识 (Pixel-Object-Knowledge, POK) 的方法制图,包含 10 种土地覆盖类型,全球数据总精度约为 83.5%^[24-25]。2014 年我国政府将 GlobeLand30-2010 赠送给联合国使用,该数据产品与 FROM-GLC 成为了目前空间分辨率最高的、应用最为广泛的全球土地覆盖数据产品。

2.2 研究方法

2.2.1 统一土地覆盖类型

本研究评价的 3 套高精度土地覆盖数据产品分类体系和类型存在差异,不能直接进行精度比较,因此研究首先统一不同数据产品的土地覆盖类型,归并对应的土地覆盖类型^[26-29],得到耕地、裸地、植

被、人造地表、水体和冰川积雪6个主要土地覆盖类型(表1)。GlobCover-2009数据产品中植被类型详细,其中“镶嵌型植被”等类型无法具体划分森林、草地或灌木,因此,在巴基斯坦植被面积较小,植被内部发生季节间转换的可能性小的前提下,研究将各产品中的森林、草地、灌木和苔原均合并为“植被”类型。此外,FROM-GLC-2010数据产品将湿地划分为水体,为了保持一致,本文将GlobCover-2009和GlobeLand30-2010中的永久性淹水和湿地划分为水体。

2.2.2 土地覆盖分类精度评价

研究共选取2009~2011年30 m Landsat-5、Landsat-7多光谱遥感影像共122景,其中夏季、冬季影像各61景,均覆盖巴基斯坦全境。以样本点为参考数据对土地覆盖数据产品进行精度评价是目前最常用的方法^[30]。研究选择了997个样本点(1000个随机点中去掉3个空值点),利用夏冬两季的遥感影像分别对验证样本点进行目视解译,确定夏冬两季的土地覆盖类型属性,形成两套独立的验证点数据集。此外,为了排除验证样本点个数对精度评价结果的影响,本研究对样本点进行9次分层抽样,以100为间隔,抽取点数为100~900共9组验证样本点,对3套产品、2个季节重复进行精度评价。

研究建立了3套土地覆盖数据与夏冬两季验证点间的混淆矩阵,计算了3套数据在2个季节的总精度(Overall Accuracy, OA, 产品与真值类型相同的点数/样本点数)与Kappa系数,以反映3套数据在不同季节用来描述巴基斯坦土地覆盖真实状况的适应程度。除了总精度,还分别计算了各种土地覆盖类型在2个季节的生产者精度(Produce Accuracy, PA, 产品与真值均为某类型的点数/真值中为某类型的点数)及用户精度(User Accuracy, UA, 产品与真值均为某类型的点数/产品中为某类型的点数),以分析各类型间的混淆情况^[31]。以上4个精度评价指标中,OA和Kappa系数描述待评价数据的总体情况,UA和PA反映各种土地覆盖类型的精度及混淆状况。由UA和PA的概念可知,UA更适合比较同一数据产品不同季节间的差异,而PA更适合比较同一季节不同数据产品间的差异。

3 研究结果与讨论

3.1 巴基斯坦土地覆盖特征

研究经过数据预处理和统一分类,得到3套巴

基斯坦土地覆盖数据产品,获得了巴基斯坦土地覆盖基本情况(图1)。虽然3套产品对巴基斯坦土地覆盖的描述存在差别,但整体上各地类的比例较为一致,这与戴昭鑫等在南美地区得出的结论具有相似性^[32]。巴基斯坦土地覆盖以裸地为主,大约占总面积的40%,显著高于全球水平(GlobCover-2009、FROM-GLC-2010和GlobeLand30-2010依次为50%、30%、44%,全球裸地覆盖率约为16.5%),主要分布在巴基斯坦西南部。裸地、植被(约25%)和耕地(约28%)之和约占巴基斯坦总面积的90%,空间上自西向东的优势土地覆盖类型依次为裸地、植被、耕地。水体大部分集中在印度河和沿海湿地,低于全球水平(约1% vs. 3.6%),人造地表面积较小,低于1%,低于全球水平(GlobCover-2009、FROM-GLC-2010和GlobeLand30-2010依次为0.32%、0.34%、0.71%,全球人造地表覆盖率约为0.66%),集中分布在东部伊斯兰堡和南部沿海卡拉奇附近的城市群。

研究根据2010年夏冬两季遥感影像,对巴基斯坦境内1000个验证样本点进行目视解译,这些样本点在夏冬两季的属性在反映了巴基斯坦土地覆盖的季节差异,因此研究构建冬季—夏季转移矩阵(表2)。在巴基斯坦夏冬两季,土地覆盖类型空间变化主要有耕地—裸地、植被—裸地、水体—裸地和冰川积雪—裸地几种类型。由此可知,巴基斯坦土地覆盖的季节差异主要变现为裸地与其他土地覆盖类型的转变。

表2 巴基斯坦土地覆盖样本点冬季—夏季转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of Pakistan land cover sample points in winter-summer

夏冬	耕地	裸地	植被	水体	人造地表	冰川积雪	夏季总计
耕地	91	26	0	0	0	0	117
裸地	3	437	9	0	0	13	462
植被	2	95	160	2	0	7	266
水体	0	5	0	34	1	0	40
人造地表	0	0	0	0	52	0	52
冰川积雪	0	2	2	0	0	56	60
冬季总计	96	565	171	36	53	76	997

3.2 土地覆盖数据产品分类精度评价

研究生成了3套土地覆盖数据产品GlobCover-2009、FROM-GLC-2010和GlobeLand30-2010在夏冬两季的混淆矩阵,进而评价了3套产品各自的夏冬两季土地覆盖分类精度(表3)。

3套产品夏季与冬季的总精度差别不大,Glob-

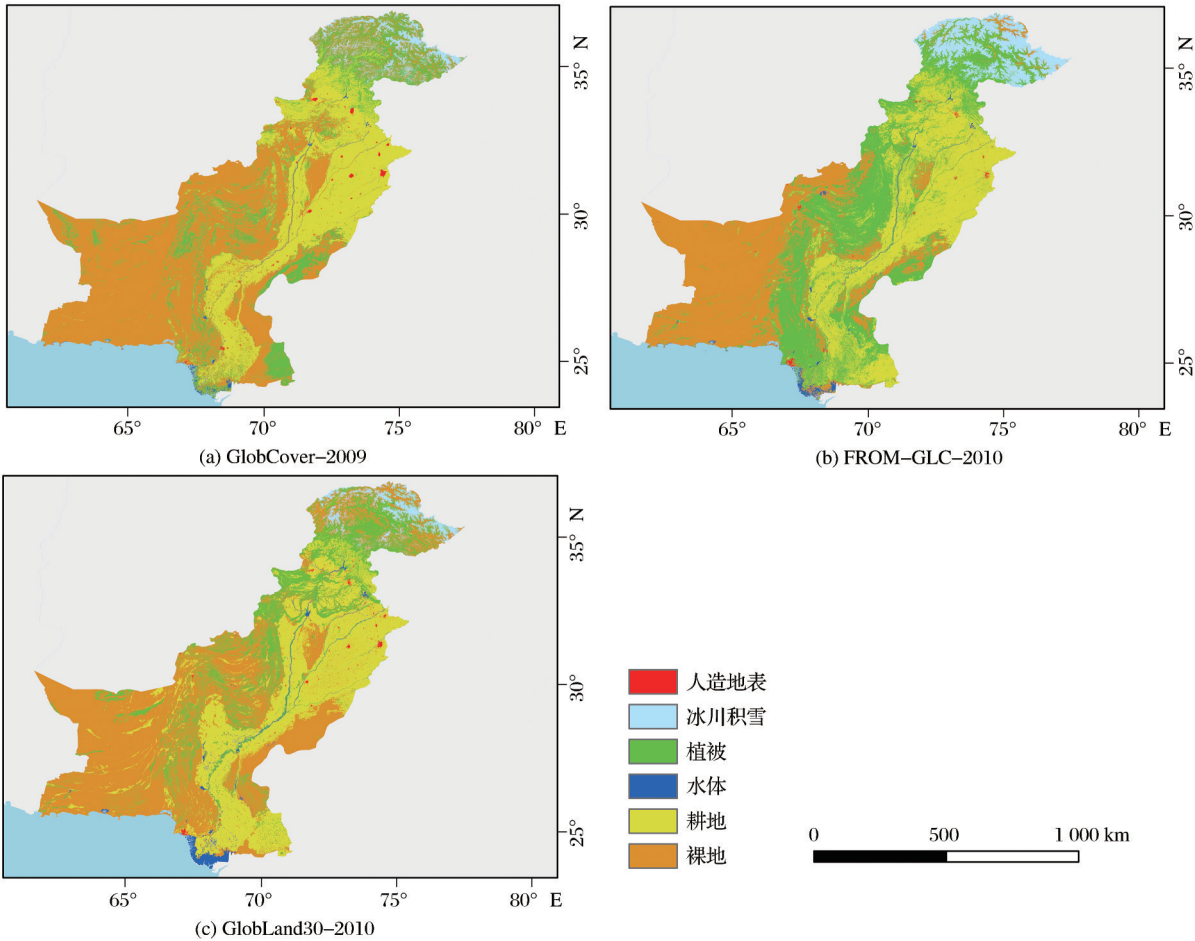


图 1 巴基斯坦土地覆盖情况

Fig.1 Land cover in Pakistan

表 3 巴基斯坦 3 套土地覆盖数据产品 2 季精度分析结果
Table 3 Two seasonal accuracy analysis results of three land cover datasets in Pakistan

精度指标	季节	GlobCover-2009	FROM-GLC-2010	GlobeLand30-2010
总精度	夏	59.1	61.2	65.6
	冬	59.5	59.0	63.9
Kappa 系数	夏	0.41	0.44	0.52
	冬	0.38	0.40	0.48

Cover-2009 的总精度冬季略高于夏季, FROM-GLC-2010 和 GlobeLand30-2010 的总精度夏季略高于冬季(表 3), 因此 GlobCover-2009 所反映的土地覆盖特征更符合巴基斯坦冬季的真实情况, FROM-GLC-2010 和 GlobeLand30-2010 更符合夏季的真实情况。此外, 3 套产品中, 空间分辨率为 300 m 的 GlobCover-2009 的总精度最低(约 59.3%), 空间分辨率为 30 m 的 FROM-GLC-2010 总精度(约 60.1%)仅略高于 GlobeCover2009, GlobeLand30-2010 总精度最高(约 64.8%)。因此, 巴

基斯坦土地覆盖数据产品的精度随着空间分辨率的提高有所上升(约 1%~6%), 但并不显著。

尽管 3 套产品在夏冬两季的总精度差别不大, 但各个土地覆盖类型在不同数据产品及不同季节的精度差异明显。研究对比了 3 套产品夏冬两季的生产者精度和用户精度(图 2)。

在耕地分类中, 3 套产品的生产者精度 GlobeLand30-2010 分类效果最优, 其次为 GlobCover-2009, FROM-GLC-2010 再次之; 从用户精度来看, 3 套产品夏季均优冬季。在裸地的分类中, 3 套产品的生产者精度 GlobCover-2009 分类效果最优, 其次为 GlobeLand30-2010, FROM-GLC-2010 再次之; 从用户精度来看, 3 套产品裸地分类冬季好于夏季。在植被分类中, 3 套产品的生产者精度 FROM-GLC-2010 最优, GlobeLand30-2010 优于 GlobCover-2009; 从用户精度的角度看, 夏季明显高于冬季, 季节性差异较为显著。在人造地表的分类中, GlobeLand30-2010 分类效果最优, 其次为

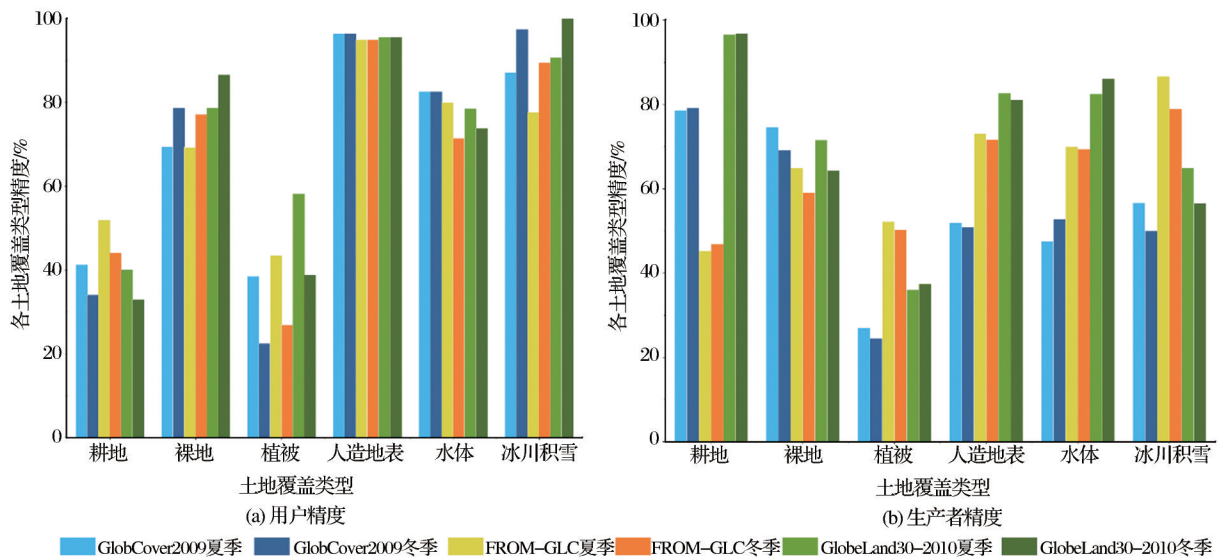


图2 3套土地覆盖数据产品夏冬两季用户精度和生产者精度

Fig.2 User Accuracy (UA) and Producer Accuracy (PA) for three land cover datasets in summer and winter

FROM-GLC-2010, GlobCover-2009 再次之。人造地表的精度季节波动很小。水体的生产精度 GlobeLand30-2010 最高, 其次为 FROM-GLC-2010, GlobCover-2009 再次之; 从用户精度来看, 3 套产品夏季均好于冬季。在冰川积雪的分类中, 生产者精度 FROM-GLC-2010 最高, 其次为 GlobeLand30-2010, GlobCover-2009 再次之; 从用户精度的角度看, 3 套产品冬季优于夏季。

综上, GlobCover-2009 能较好地刻画裸地的覆盖情况, FROM-GLC-2010 能较好地刻画植被和冰川积雪的覆盖情况, GlobeLand30-2010 对耕地、人造地表和水体有更好的表达效果。3 套土地覆盖数据产品中各类型对季节的适用性较为一致, 耕地、裸地和冰川积雪的分布更符合冬季的真实情况, 而植被、水体更符合夏季的真实情况, 人造地表分布无明显的季节差异 (表 4)。

研究将 3 套土地覆盖数据产品在巴基斯坦的精

表 4 巴基斯坦不同土地覆盖类型使用产品和季节

Table 4 Recommended datasets and seasons for different land cover types in Pakistan

土地覆盖类型	最优土地覆盖数据产品			更适用季节	
	GlobCover-2009	FROM-GLC-2010	GlobeLand30-2010	夏	冬
耕地			✓		✓
裸地	✓				✓
植被		✓		✓	
人造地表			✓	—	—
水体			✓	✓	
冰川积雪		✓			✓

度评价结果 (夏冬两季平均精度) 与全球精度进行比较。GlobCover-2009、FROM-GLC-2010 和 GlobeLand30-2010 在巴基斯坦的总精度均低于其全球精度 (73% vs. 59.3%^[22], 71.5% vs. 60.1%^[23], 83.5% vs. 64.8%^[24])。而从不同土地覆盖类型来看, GlobCover-2009、FROM-GLC-2010 和 GlobeLand30-2010 人造地表在巴基斯坦的用户精度均高于全球精度 (96.4% vs. 63.6%, 95.0% vs. 30.8%, 95.6% vs. 86.9%); 从水体在巴基斯坦的用户精度来看, FROM-GLC-2010 低于全球 (75.7% vs. 80.6%), GlobCover-2009 和 GlobeLand30-2010 高于全球 (82.6% vs. 74.1%, 95.4% vs. 92.1%); 从裸地在巴基斯坦的用户精度来看, GlobCover-2009 低于全球 (74.0% vs. 88.1%), FROM-GLC-2010 和 GlobeLand30-2010 高于全球 (73.2% vs. 62.7%, 82.7% vs. 77.3%); 从冰川积雪在巴基斯坦的用户精度来看, FROM-GLC-2010 低于全球 (83.6% vs. 95.6%), GlobCover-2009 和 GlobeLand30-2010 高于全球 (92.3% vs. 74.1%, 76.2% vs. 75.8%)。耕地和植被在统一分类时进行了类型归并, 因此无法与产品类型的全球精度进行比较。3 套全球土地覆盖数据产品在巴基斯坦的精度评价结果中, 总精度均有所下降 (>10%), 各类型精度上也都与全球精度有所偏差 (人造地表精度均有所升高, 其他类别因产品而异)。巴基斯坦土地覆盖的特殊性是造成这些偏差的原因之一, 例如巴基斯坦的裸地覆盖率显著高于全球水平 (约 40% vs. 14.6%), 植被覆盖率显著低于全球水平 (约 25 vs. 53.2%)^[23] 等, 正确

分类不同土地覆盖类型在产品生产中的难易程度不同,因此各种土地覆盖类型的比例会影响土地覆盖数据产品的精度。巴基斯坦土地覆盖类型在不同季节变化显著,从用户精度看,植被夏季比冬季精度高约16%,冰川积雪冬季比夏季高约11%,在这种季节差异下,年际土地覆盖产品生产时使用单一时相影像带来的误差更加明显。此外,相对于全球精度验证,本研究在巴基斯坦区域选择了更加密集的验证样本点(约1个/800 km²,FROM-GLC-2010的全球验证样本共38 664个,约1个/2 000 km²)^[33],这也给精度评价结果带来一定影响。

3.3 验证样本点个数对季节性精度评价结果影响

土地覆盖数据产品精度评价结果受样本点数量

量的影响(图3)。

当样本点个数小于700时,土地覆盖数据产品总精度会随验证样本点数量的变化产生较为剧烈的波动,3套产品夏冬两季分类精度波动的平均值为3.4%,其中精度差异最大是冬季的GlobeLand30-2010(约8%)。当样本点个数大于700时,各产品总精度逐渐趋于稳定,3套产品夏冬两季分类精度波动的平均值为0.7%。由此推测,巴基斯坦土地覆盖分类精度评价合理的验证样本点个数为700个,因此研究选择的1 000个样本点足以反映各种土地覆盖数据产品在巴基斯坦的精度特征。在今后验证土地覆盖数据产品分类精度时,每1 000 km²应至少选择1个样本点。

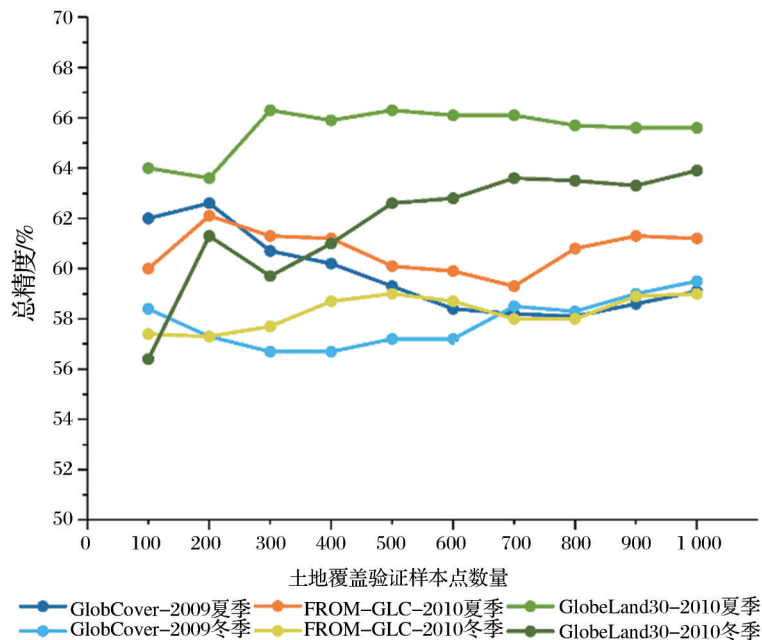


图3 不同分层采样点数下3套土地覆盖数据产品在夏冬两季的总精度

Fig.3 Total accuracy of three land cover datasets using different stratified sampling points in summer and winter

4 结 论

从土地覆盖制图的角度,GlobeLand30-2010、FROM-GLC-2010和GlobCover-2009 3套土地覆盖数据产品在巴基斯坦地区夏冬两季总分类精度差异不大,GlobeLand30-2010(63.9% vs. 65.6%)与FROM-GLC-2010(59.0% vs. 61.2%)的总精度夏季略高于冬季,GlobCover-2009的总精度冬季略高于夏季(59.5% vs. 59.1%)。此外,土地覆盖数据产品在描述不同的土地覆盖类型时精度有所差别,除人造地表外,各种土地覆盖类型的用户精度均有明显差别,尤其是植被和裸地夏冬两季的分类精度差别很大。因此,在巴基斯坦的土地覆盖制图中,应

当充分考虑土地覆盖的季节性特征。

从土地覆盖产品使用的角度,3套产品中GlobeLand30-2010对耕地、人造地表和水体有更好的分类效果,FROM-GLC-2010对植被和冰川积雪的分类更为准确,GlobCover-2009对裸地的分类更为准确;3套产品对耕地、裸地和冰川积雪分类更符合冬季的真实情况,对植被、水体分类更符合夏季的真实情况,人造地表分类无明显的季节差异。总的来说,在使用2010年巴基斯坦土地覆盖数据产品时,若需要全分类的产品可选择总精度最高的GlobeLand30-2010;若需要某一土地覆盖类型的产品可根据生产者精度评价结果进行选择。

目前,全球高精度土地覆盖数据产品均为年际产品,而本研究的精度评价结果显示年内土地覆盖类型存在季节性差异。因此,在未来的土地覆盖制图和产品使用中,应当充分考虑土地覆盖类型的季节性变化及其对产品精度的影响。在制图中,可以针对不同季节分别进行土地覆盖制图,在同一年生产两套或多套数据产品,或者在制图时设置反映季节变化的土地覆盖类型,例如常绿植被和季节型植被等。在产品使用中需要对备选产品进行季节性精度评价,再根据实际情况选用合适的土地覆盖数据产品。此外,在精度评价时,为排除验证样本点数量对结果的影响,应多次抽样以确保使用足够数量的样本点,例如在巴基斯坦,验证样本点密度应达到1个/1 000 km²以上。

参考文献(References):

- [1] Yu Hao, Zhang Bai, Wang Zongming, *et al.* Land Cover Change and Its Driving Forces in the Republic of Korea Since the 1990s [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(11): 1755-1763. [于皓, 张柏, 王宗明, 等. 1990~2015年韩国土地覆被变化及其驱动因素 [J]. *地理科学*, 2017, 37(11): 1755-1763.]
- [2] Cheng Weimin, Gao Xiaoyu, Ma Ting, *et al.* Spatial-temporal Distribution of Cropland in China based on Geomorphologic Regionalization During 1990~2015 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 73(9): 1613-1629. [程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的1990-2015年中国耕地时空特征变化分析 [J]. *地理学报*, 2018, 73(9): 1613-1629.]
- [3] Qiao X N, Yang Y J, Zhang H B. Accessing Lucc and Ecosystem Service Value in Weigan River Basin [M]. Boca Raton: Crc Press-Taylor & Francis Group, 2016.
- [4] Ye Yu, Li Jun, Lu Yuhao, *et al.* Comparing Data Sources in Six Global Data Sets of Historical Land Cover Historical Land Cover [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition)*, 2019, 55(6): 786-795. [叶瑜, 李俊, 卢钰洁, 等. 六个全球历史土地覆盖数据集数据来源的对比分析 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(6): 786-795.]
- [5] Jiang P H, Cheng L, Li M C, *et al.* Impacts of Lucc on Soil Properties in the Riparian Zones of Desert Oasis with Remote Sensing Data: A Case Study of the Middle Heihe River Basin, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 506(2015): 259-271. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.11.004.
- [6] Yang Limin, Zhu Zhiliang, *et al.* The Status Quo and Expectation of Global and Local Land Cover and Land Use RS Research [J]. *Journal of Natural Resources*, 1999, 4(4): 340-344. [杨立民, 朱智良, 等. 全球及区域尺度土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望 [J]. *自然资源学报*, 1999, 4(4): 340-344.]
- [7] Grekousis G, Mountrakis G, Kavouras M, *et al.* An Overview of 21 Global and 43 Regional Land Cover Mapping Products [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(21): 5309-5335. doi:10.1080/01431161.2015.1093195.
- [8] Yang Y B, Jiang N, Cheng S S. A Study on Time-space Character of Urban Heat Island Effect and Relations with Lucc Based on Remote Sensing [M]. Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering, 2007.
- [9] Liu Lulu, Cao Wei, Shao Quanqin, *et al.* Different Characteristics of Land Cover Changes in Source Regions of the Yangtze River and the Yellow River in the Past 30 Years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(2): 311-320. [刘璐璐, 曹巍, 邵全琴, 等. 近30年来长江源区与黄河源区土地覆被及其变化对比分析 [J]. *地理科学*, 2017, 37(2): 311-20.]
- [10] Wang K, Zhang Q, Chen Y D, *et al.* Effects of Land-Use/Cover Change on Hydrological Processes Using a Gis/Rs-based Integrated Hydrological Model: Case Study of the East River, China [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2015, 60(10): 1724-1738. doi:10.1080/02626667.2014.949723.
- [11] Wang J, Zhang F, Kung H T, *et al.* Linkage Analysis of Land Use/Cover Patterns and Hydro-chemical Characteristics in Different Seasons in Ebinur Lake Watershed, China [J]. *Water*, 2017, 9(11): 21. doi:10.3390/w9110888.
- [12] Niu Zhenguo, Shan Yuxiu, Zhang Haiying, *et al.* Accuracy Assessment of Wetland Categories from the Glob Cover 2009 Data Over China [J]. *Wetland Science*, 2012, 10(4): 389-395. [牛振国, 单玉秀, 张海英, 等. 全球土地覆盖 Glob Cover 2009 数据中的中国区域湿地数据精度评价 [J]. *湿地科学*, 2012, 10(4): 389-395.]
- [13] Li Q Y, Sun Y W, Yuan W L, *et al.* Streamflow Responses to Climate Change and Lucc in A Semi-arid Watershed of Chinese Loess Plateau [J]. *Journal of Arid Land*, 2017, 9(4): 609-621. doi:10.1007/s40333-017-0095-2.
- [14] Zhang Guangchuang, Wang Jie, Liu Dongwei, *et al.* Analysis and Evaluation of The Ecological Sensitivity in the Middle Reaches of the Syr Darya River based on GIS [J]. *Arid Zone Research*, 2020, 37(2): 506-513. [张广创, 王杰, 刘东伟, 等. 基于gis的锡尔河中游生态敏感性分析与评价 [J]. *干旱区研究*, 2020, 37(2): 506-513.]
- [15] Liu Qionghuan, Zhang Yili, Liu Linshan, *et al.* Accuracy Evaluation of the Seven Land Cover Data in Qiangtang Plateau [J]. *Geographical Research*, 2017, 36(11): 2061-2074. [刘琼欢, 张懿锂, 刘林山, 等. 七套土地覆被数据在羌塘高原的精度评价 [J]. *地理研究*, 2017, 36(11): 2061-2074.]
- [16] Ran Youhua, Li Xin, Lu Ling, *et al.* Accuracy Evaluation of

- the Four Remote Sensing based Land Cover Products over China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(3): 490-500.[冉有华, 李新, 卢玲, 等. 四种常用的全球1km土地覆盖数据中国区域的精度评价[J]. 冰川冻土, 2009, 31(3): 490-500.]
- [17] Wu Wenbin, Yang Peng, Zhang Li, *et al.* Accuracy Assessment of Four Global Land Cover Datasets in China [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(12): 167-173, 407.[吴文斌, 杨鹏, 张莉, 等. 四类全球土地覆盖数据在中国区域的精度评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 167-173, 407.]
- [18] Li C, Gong P, Wang J, *et al.* The First All-season Sample Set for Mapping Global Land Cover with Landsat8 Data [J]. *Science Bulletin*, 2017, 62(7): 508-515. doi: 10.1016/j.scib.2017.03.011.
- [19] Zhou T, Zhao M, Sun C, *et al.* Exploring the Impact of Seasonality on Urban Land Cover Mapping Using Multi-season Sentinel-1a and GF-1 WFV Images in a Subtropical Monsoon-Climate Region [J]. *International Journal of Geo-information*, 2018, 7(1): 16. doi:10.3390/ijgi7010003.
- [20] Li Xiaomeng, Ma Yue, Sun Yonghua, *et al.* Flood Hazard Assessment in Pakistan at Grid Scale [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2013, 15(2): 314-320.[李晓萌, 马玥, 孙永华, 等. 基于格网的洪水灾害危险性评价分析——以巴基斯坦为例[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(2): 314-320.]
- [21] Wu Liang, Qin Qi, Zhang Dan, *et al.* Indian Ocean Passages and Their Geopolitical Impacts on China [J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(11): 1510-1520.[吴良, 秦奇, 张丹, 等. 印度洋通道及其对中国地缘环境影响[J]. 地理科学进展, 2018, 37(11): 1510-1520.]
- [22] Bicheron P, Defourny P, Brockmann C. Globcover: Products Description and Validation Report [M]. *Levallois-Perret: MEDIAS-France*, 2008.
- [23] Gong P, Wang J, Yu L, *et al.* Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat Tm and ETM+ Data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(7): 2607-2654. doi: 10.1080/01431161.2012.748992.
- [24] Chen Jun, Liao Anping, Chen Jin, *et al.* 30 Meter Global Land Cover Data Product-Globe Land 30 [J]. *Geomatics World*, 2017, 24(1): 1-8.[陈军, 廖安平, 陈晋, 等. 全球30 m地表覆盖遥感数据产品——Globe Land 30[J]. 地理信息世界, 2017, 24(1): 1-8.]
- [25] Chen J, Chen J, Liao A, *et al.* Global Land Cover Mapping at 30m Resolution: A Pok-based Operational Approach [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 103(2015): 7-27. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002.
- [26] Ma Jingzhen, Sun Qun, Xiao Qiang, *et al.* Accuracy Assessment and Comparative Analysis of GlobeLand30 Dataset in Henan Province [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2016, 18(11): 1563-1572.[马京振, 孙群, 肖强, 等. 河南省globeland30数据精度评价及对比分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(11): 1563-1572.]
- [27] Song Hongli, Zhang Xiaonan, *et al.* Precision Validation of Multi-sources Land Cover Products Derived from Remote Sensing [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2018, 30(3): 26-32.[宋宏利, 张晓楠, 等. 国家尺度异源土地覆被遥感产品精度评价[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(3): 26-32.]
- [28] Yang Yongke, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi, *et al.* Comparison and Assessment of Large-scale Land Cover Datasets in China and Adjacent Regions [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2014, 18(2): 453-475.[杨永可, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价[J]. 遥感学报, 2014, 18(2): 453-475.]
- [29] Song Hongli, Zhang Xiaonan, *et al.* Precision Analysis and Validation of Multi-sources Landcover Products Derived From Remote Sensing in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(22): 207-214, 96-97.[宋宏利, 张晓楠, 等. 中国区域多源土地覆被遥感产品精度分析与验证[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 207-214, 96-97.]
- [30] Stehman S V, *et al.* Sampling Designs for Accuracy Assessment of Land Cover [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(20): 5243-5272. doi: 10.1080/01431160903131000.
- [31] Huang Yabo, Liao Shenbao. Regional Accuracy Assessments of the First Global Land Cover Dataset at 30-meter Resolution: A Case Study of Henan Province [J]. *Geographical Research*, 2016, 35(8): 1433-1446.[黄亚博, 廖顺宝. 首套全球30 m分辨率土地覆被产品区域尺度精度评价——以河南省为例[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1433-1446.]
- [32] Dai Zhaoxin, Hu Yunfeng, Zhang Qianli, *et al.* Agreement Analysis of Multi-source Land Cover Products Derived from Remote Sensing in South America [J]. *Remote Sensing Information*, 2017(2): 137-148.[戴昭鑫, 胡云锋, 张千力, 等. 多源卫星遥感土地覆被产品在南美洲的一致性分析[J]. 遥感信息, 2017(2): 137-148.]
- [33] Yu Le, Wang Jie, Li Xuecao, *et al.* A Multi-resolution Global Land Cover Dataset Through Multisource Data Aggregation [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 44(8): 1646-1660.[俞乐, 王杰, 李雪草, 等. 基于多源数据集成的高分辨率全球地表覆盖制图[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(8): 1646-1660.]

Seasonal Accuracy Assessments of Three Land Cover Datasets in Pakistan

Guo Ziyang¹, Yang Kang^{1,2,3}, Liu Chang¹, Cheng Liang^{1,2,3}, Li Manchun^{1,2,3}

(1.School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2.Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology,

Nanjing University, Nanjing 210023, China;

3.Collaborative Innovation Center for the South Sea Studies, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Global land cover datasets play an important role in the fields of ecology, climate and resources. GlobeLand30-2010 (30 m), FROM-GLC-2010 (30 m) and GlobCover-2009 (300 m) are three global high-precision land cover datasets with a wide range of applications. In order to judge whether these data sets are sufficient to describe the real situation of land cover in different seasons, the inter-seasonal accuracy of the aforementioned three global land cover datasets using Pakistan as a representative study area was evaluated. A total of 1 000 land cover sample points were selected from 122 Landsat-5, Landsat-7 multi-spectral remote sensing images during 2009~2011 to generate summer and winter land cover classifications. The results show that the accuracies of summer and winter land cover classifications are different in Pakistan. The overall land cover classification accuracies of GlobeLand30-2010 (65.6% vs. 63.9%) and FROM-GLC-2010 (61.2% vs. 59.0%) in summer are slightly higher than those in winter. The overall accuracy of GlobCover-2009 (59.5% vs. 59.1%) in winter is slightly higher than that in summer. GlobeLand30-2010 performs best in classifying cropland, impervious surface, and water body, FROM-GLC-2010 performs best in classifying vegetation, glaciers, and snow, and GlobCover-2009 performs best in classifying bare land. The classification of cropland, bare land, glaciers, and snow in the three datasets is more in line with the real situation in winter than in summer; the classification of vegetation and water bodies is more in line with the real situation in summer; there is no obvious seasonal difference in impervious surface. There should be at least one sample point per 1 000 square kilometers.

Key words: Land cover datasets; Accuracy assessment; Seasonal change; Sample points; Pakistan