

文章编号:1001-7380(2018)05-0021-07

基于 Landsat 8 OLI 和 Sentinel-2A 的南京市 各城区绿化差异分析

钟华瀚, 饶永智, 徐丹丹*

(南京林业大学生物与环境学院生态系, 江苏 南京 210037)

摘要:遥感作为多时空技术在全面调查城市绿化现状方面具有优势,遥感在城市绿地调查中的应用也随着遥感技术的发展和遥感影像质量及精度的提高越来越广泛。该研究基于 Sentinel-2A 和 Landsat 8 影像将南京市区域地块分类为绿地、建筑地、农业用地(包括耕种期的农田和非耕种期的裸地)和水体,并针对南京市不同的分区计算人均绿地和绿化率,及其与城市发展之间的关系。结果显示,南京各区绿地率分别为:江宁区 22%,溧水区 27%,浦口区 35%,六合区 28%,栖霞区 24%,雨花台区 33%,建邺区 20%,玄武区 42%,鼓楼区 17%,秦淮区 18%,高淳区 20%;各区人均绿化面积为:江宁区 377 m²/人,溧水区 716 m²/人,浦口区 606 m²/人,六合区 697 m²/人,栖霞区 222 m²/人,雨花台区 173 m²/人,建邺区 67 m²/人,玄武区 63 m²/人,鼓楼区 9 m²/人,秦淮区 13 m²/人,高淳区 362 m²/人。数据反映了绿地率与人均绿化面积可能与不同行政区的规划以及城市化程度有联系。

关键词:城市绿化面积;Landsat 8;Sentinel-2A;监督分类;绿化率;南京市

中图分类号:S732/737

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2018.05.005

Difference analysis of the greenlands of the urban districts in Nanjing City based on Landsat OLI imagery

Zhong Huahan, Rao Yongzhi, Xu Dandan*

(Department of Ecology, College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Along with fast pace of urban sprawl in Nanjing City, Jiangsu Province, urban green ratio (green area ratio to impervious area in a city) and the average green area per person change gradually. Remote sensing, with various spatial and temporal information, has been widely applied in investigating urban greenland. In this study, both Sentinel-2 and Landsat 8 images were used to classify Nanjing City into four classes, i.e., green land, impervious area, agricultural fields (including farmland and bareland) and water body, and then green ratio and average green area per person were compared among 11 districts of Nanjing City. The results showed that green ratio of 11 districts in Nanjing was as follows, 22% in Jiangning District, 27% in Lishui District, 35% in Pukou District, 28% in Luhe District, 24% in Qixia District, 33% in Yuhuatai District, 20% in Jianye District, 42% in Xuanwu District, 18% in Qinhuai District, 20% in Gaochun District, 17% in Gulou District; and average green area per person of 11 districts in Nanjing was as follows, 337 m²/person in Jiangning District, 716 m²/person in Lishui District, 606 m²/person in Pukou District, 697 m²/person in Luhe District, 222 m²/person in Qixia District, 173 m²/person in Yuhuatai District, 67 m²/person in Jianye District, 63 m²/person in Xuanwu District, 13 m²/person in Qinhuai District, 362 m²/person in Gaochun District, 9 m²/person in Gulou District. The data reflects that the green ratio and average green area per person may be related to the planning of different administrative regions and the degree of urbanization.

Key words: Urban green area; Landsat 8; Sentinel-2A; Supervised classification; Green ratio; Nanjing

收稿日期:2018-03-16;修回日期:2018-08-22

基金项目:江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:钟华瀚(1997-),男,广东广州人,大学本科。主要从事生态遥感技术研究以及鳞翅目昆虫生态学研究。

* 通信作者:徐丹丹(1987-),女,江苏南通人,副教授,博士。E-mail: dandan.xu@njfu.edu.cn。

城市绿地是城市结构中的自然生产力主体,具有缓解城市热岛、调节城市气候等方面的作用^[1]。由于绿化的重要性,国家也出台了一些相关政策,对城市绿地进行合理规划。例如:(1)原建设部在2004年11月出台的“关于贯彻《国务院关于深化改革严格土地管理的决定》的通知”中,就提出“鼓励和推广屋顶绿化和立体绿化”^[2]。原建设部城市绿地规划的有关管理条例曾指出,建筑物上的天台绿化面积也应该纳入城市绿化率计算范围^[3]。(2)2006年,全国屋顶、楼顶绿化出现了迅速发展的形势,几乎各省市都开始结合本地实际情况,实施屋顶绿化^[4]。然而目前,一般采用人工普查并结合统计学方法进行城市绿地调查,但是这类方法投入的人力、物力大,而通过遥感则可以更直观地了解到该区域城市绿化率和空间格局^[5-6]。

绿色植物对城市的空气有着净化作用,并且对减热消热、吸收电磁辐射等方面都有效果,我国需要加强对绿地与森林面积方面的保护与治理。遥感技术具有调查速度快、调查面积广和实时监测的特点,因而在城市绿化现状的调查和实施监测方面的研究非常广泛^[7]。20世纪80年代末,就有了对于遥感技术用于调查绿化覆盖率和绿化分布应用研究的思考^[8]。20世纪90年代,遥感在城市绿化调查方面的研究有了飞速的发展^[9]。2004年,以多尺度分割为主要方法,经过样本多边形对象成员函数创建训练样本区,成功获得了大庆市的绿化信息^[10]。卫星遥感技术具有获取数据周期短,工作量小,投入资金少的特点^[11]。陈春林等于2010年利用TM遥感影像对哈尔滨的城市绿地进行了绿地信息提取^[12]。随着遥感技术的推广与应用,我国许多城市利用遥感航片完成了区域绿化的绿化覆盖率、人均公共绿地等指标的测定,其图像较为清晰,但是不能更直观地表现出该区域的绿化面积;北京等城市还就绿化覆盖率与绿化环境效益的相关性作了分析,为城市绿化规划与管理提供了依据^[13]。近年来,具有全天候、低成本等技术优势的无人机技术^[14],以及具有更高精准性的激光雷达影像,也在城市绿化方面有了更多的应用^[15-16]。

此次研究的主要目的是,基于Landsat 8和Sentinel-2A影像,分析快速发展的城市(以南京市为例)中绿地覆盖率和人均绿地面积,是否会随着城市的不断成熟而有所提高,从而为城市规划提供基础信息。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本次研究选取南京市作为研究区。南京市共辖浦口、栖霞、雨花台、玄武、高淳、六合、溧水、建邺、秦淮、鼓楼和江宁共11区(见图1)。南京市这一快速发展的城市,由于建筑用地不断增大,绿化需求也逐渐增加。南京市大部分城区集中在城市的中心地带(见图1)。近年来,随着3个大学城(仙林大学城、江宁大学城和江浦(浦口)大学城)的建成和城市住宅的需求不断增加,南京市建筑地也由主城区向周围不断扩张。

1.2 数据

本文采用的数据源是从美国地质调查局(USGS)官方网站下载的2016-01-24至2018-04-19的15景Landsat 8 OLI影像^[17]以及2017-04-02至2018-04-07的7景Sentinel-2A影像。

本文中采用的各区面积以及人口数等数据信息均来自《南京统计年鉴2016》^[18]。

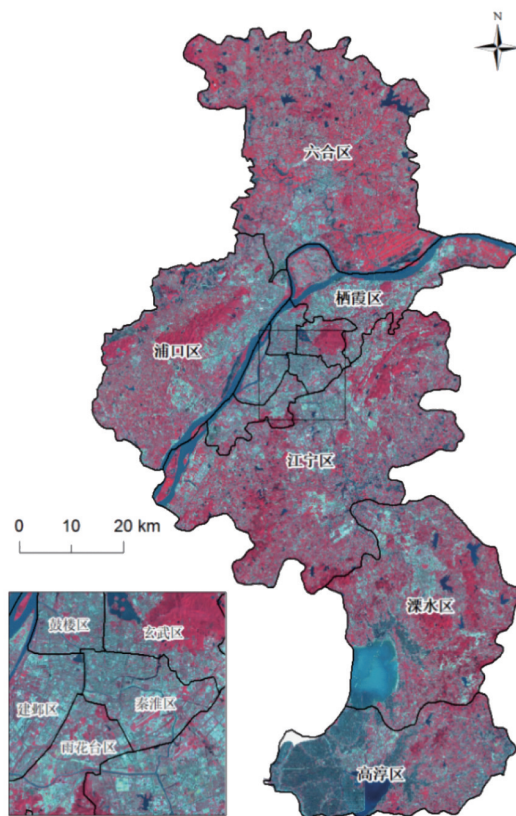


图1 南京市行政区划图(底图为Landsat 8影像,标准假彩色,获取时间为2018年4月19日)

1.3 研究方法

该研究方法总体分为对遥感影像进行预处理、遥感影像的分类、各分区的绿地覆盖率和人均绿化面积的计算以及比较各行政分区之间的绿化差异(见图2),然后统计南京市各分区的水体、植被、城市、山体植被和云的面积。

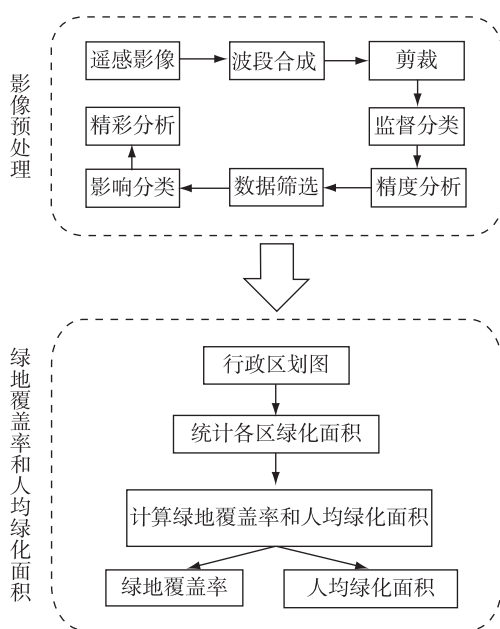


图2 总技术路线

首先对 Landsat 8 的 7 个波段进行波段合成和对 Sentinel-2A 的 4 个波段(蓝、绿、红、近红外)进行波段合成,并对合成后的影像按照南京市所处的区域进行裁剪;其次,对每一副裁剪过的影像进行水体、建筑、绿地、云、裸地、农业用地、阴影多个分类样本的选取,并用 ENVI 软件对影像进行监督分类(最大似然法);之后将得到的分类结果重新分类,合并裸地与农田(合称为农业用地),并将影响分类结果、且存在不稳定的云、阴影去除后,剩余水体、建筑(以下称城市或城区)、绿地与农业用地 4 类;将重新分类的结果进行精度分析,计算出每一分类结果的制图精度(Producer's Accuracy)、用户精度(User's Accuracy)、Kappa 系数以及总体精度(Overall Accuracy);从精度分析表中筛选出每一分类结果精度较高的最佳时间,并将其进行合并。在得到最终精确的分类影像后经过分类后处理,并对最终分类影像重新进行精度分析;然后统计南京市各分区水体、绿地、城市、农业用地类别的像元个数,并由此计算各类所占实际面积。

根据《CJJT-85-2002-城市绿地分类标准》与《城市用地分类与规划建设用地标准 GB-50137-2011》^[19-20],城市用地包括城市和县人民政府所在地镇内的居住用地、商业服务业设施用地、公用设施用地、绿地等;城市绿地则包括公园绿地、生产绿地、防护绿地和附属绿地。也就是说,城市绿地包括城市内的行道树、公园中的观赏植物、景区中的林地以及行政区划内的生产林地等全部绿色植被;于遥感影像而言,等同于遥感影像上的绿色植被去除行政区划内农业用地的部分。

根据遥感影像的分类结果,计算绿化率和人均绿化面积:

$$\text{绿地覆盖率} = \frac{\text{绿地面积}}{\text{城市面积}};$$

$$\text{人均绿化面积}(\text{m}^2/\text{人}) = \frac{\text{绿地面积}}{\text{人口}}$$

2 结果与分析

2.1 分类结果

从通过数据筛选后重新分类的 Landsat 8 影像(见图3)中可以看出,农业用地集中分布在六合区、浦口区、江宁区、溧水区和高淳区以及栖霞区的东部,绿地除城中绿化地和公园外,还包括浦口区的老山、玄武区的紫金山以及栖霞区的栖霞山等天然绿化区。南京市的城市区域,则主要分布在鼓楼区、秦淮区、玄武区、建邺区以及浦口区和栖霞区的长江沿岸。水体的分布则较为集中,除了贯穿整个南京市的长江以外,还可分辨出玄武区的玄武湖,以及散落在城市周边及溧水区等地的水库、湖泊等水体。

从图4中可以看出,经过数据筛选后重新分类的 Sentinel-2A 的影像在城市、水体部分与 Landsat 8 有较高的一致性,山体植被以及城市中绿地也与 Landsat 8 有较高一致性。

在经过数据筛选重新组合后,如表1,全部分类精度均大于 80%。Landsat 8 与 Sentinel-2A 的 kappa 系数分别为 0.88 与 0.89,分别比未经数据筛选的分类图的 kappa 系数平均值大 27.5%和 17%。其中水体的分类精度最高,达到 1。植被的制图精度均大于 85%,用户精度均大于 90%。

2.2 南京各区绿地覆盖率

从图5中可以看出,玄武区的城市绿地覆盖率最高,达到 42%,而鼓楼区的城市绿地覆盖率只有

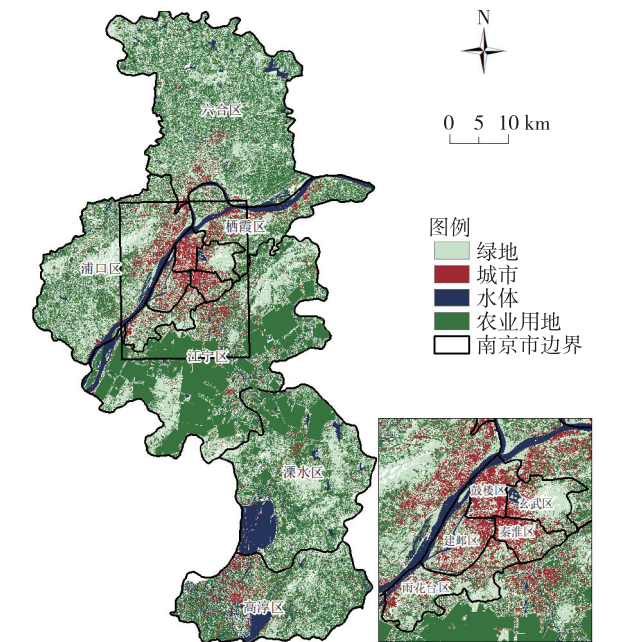


图 3 基于 Landsat 8 影像的南京市地块分类图

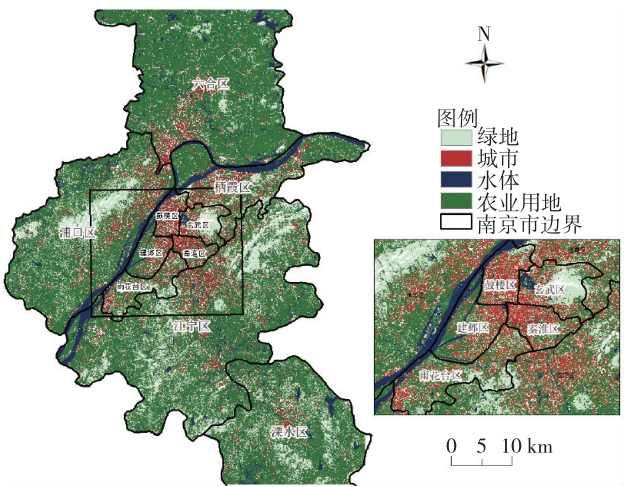


图 4 基于 Sentinel-2A 影像的南京市地块分类图

17%,成为南京绿地覆盖率最低的城区。其中绿地覆盖率高于 30%的有 3 个区(浦口区、雨花台区、玄武区),而低于 20%(含 20%)的有 4 个区(建邺区、鼓楼区、秦淮区、高淳区)。

从图 6 不难看出, Sentinel-2A 的数据与 Landsat 8 具有较高的一致性;玄武区有最大的绿地覆盖率;建邺区、秦淮区、鼓楼区的绿地覆盖率明显低于城市较为分散的行政区。

表 1 Landsat 8 OLI 与 Sentinel-2A 分类结果误差、精度分析

影像类型	Landsat 8 OLI				Sentinel-2A			
	错分误差	漏分误差	制图精度	用户精度	错分误差	漏分误差	制图精度	用户精度
水体	0	0	1.00	1.00	0	0	1.00	1.00
绿地	0.08	0.08	0.92	0.92	0.03	0.11	0.89	0.94
城市	0	0.18	0.82	1.00	0.09	0.09	0.91	0.91
农业用地	0.11	0.07	0.93	0.89	0.05	0.09	0.95	0.91
总体精度	0.92				0.93			
Kappa 系数	0.88				0.89			

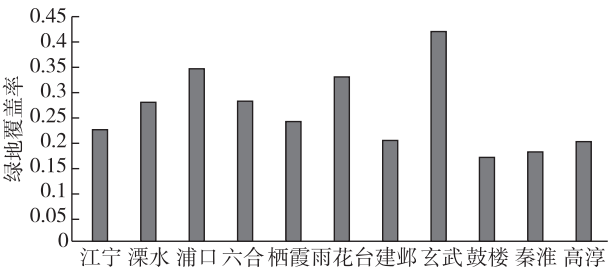


图 5 Landsat 8 南京各区绿地覆盖率

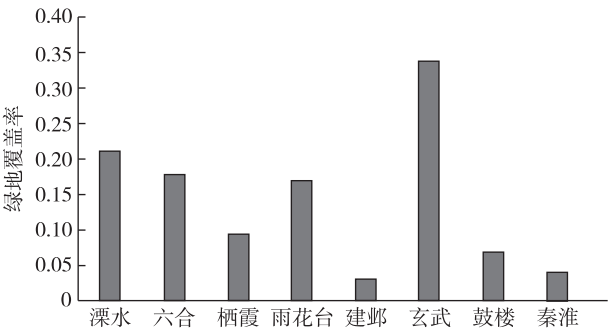


图 6 Sentinel-2A 南京各区绿地覆盖率

2.3 南京各区人均绿地面积

从图 7 中可得,南京各区人均绿地面积差异较大,其中溧水区的人均绿地面积为716.0 m²/人,而鼓楼区仅 8 m²/人。各区中,人均绿化面积大于 300 m²/人的有 5 个区(江宁区、溧水区、浦口区、六合区、高淳区),而其余区均低于 250 m²/人。

图 8 同样反映了 Sentinel-2A 的数据与 Landsat 8 具有较高的一致性;溧水区有最高的人均绿化面积;建邺区、秦淮区和鼓楼区的人均绿化面积则明显低于其他行政区。

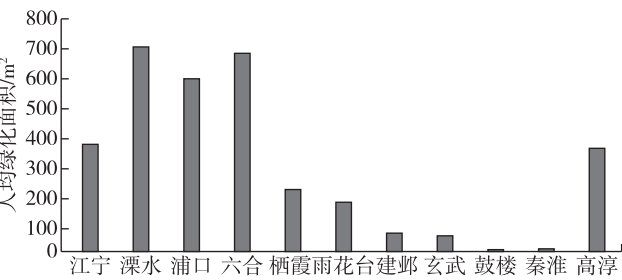


图 7 Landsat 8 南京各区人均绿化面积

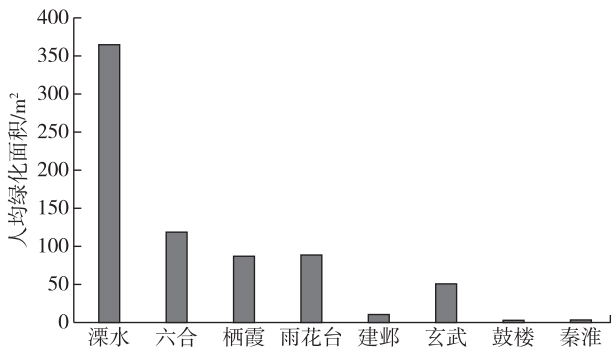


图 8 Sentinel-2A 南京各区人均绿化面积

3 讨论

3.1 城市各地物分类方法

从表 2 中可知,水体的用户精度 (User’s Accura-

cy) 平均值为 0.98, 大于制图精度 (Producer’s Accuracy) 0.77。这是由于水体在近红外波段有强烈的吸收, 因此可以与其他地物有较好的区分, 故在不同时间段均有较好的分类效果。但是某些面积小而分散的水体, 枯水期水深下降, 导致有如图 2 南面的湖泊, 故在分类过程中将其周围一部分较浅的水体分为裸地。

从表 2 可以看出, 绿地分类精度高的有 2018-04-19, 2018-04-03, 2017-12-12, 2017-11-26, 2017-10-25, 2017-02-27 这 6 幅影像, 均在初春和秋冬季节, 因为这些季节获得的遥感影像对绿地的分类不易受到农作物的影响。农作物和绿地植被的光谱特征相似^[21], 分类时极易混淆, 但是南京地区大部分农作物 5 月中上旬播种, 10 月上旬成熟收割。如 2017-12-12 数据所示, 此时绝大部分农作物已成熟并已被收割, 耕地变为裸地, 很大程度上减少了绿地植被的分类。尽管如此, 再分类后, 江宁区与溧水区中有一部分农田被误分为绿地, 需要经过分类后处理。

从表 2 中还可得出, 城市分类精度高的有 2017-05-18 的图像, 分类精度低的则有 2017-02-11, 2016-01-24 这 2 幅图像, 其中出现了在春夏精度较

表 2 南京地区地物 Landsat 8 分类精度

Landsat 8	制图精度				用户精度				总精度	Kappa
	水体	绿地	城市	农业用地	水体	绿地	城市	农业用地		
18-04-19	0.78	0.89	0.82	0.95	1.00	0.94	0.75	0.89	0.90	0.85
18-04-03	0.78	0.92	0.82	0.89	1.00	0.89	0.90	0.85	0.88	0.81
17-12-12	1.00	0.97	0.64	0.86	1.00	0.90	0.78	0.88	0.89	0.83
17-11-26	0.78	0.94	0.64	0.82	1.00	0.87	0.70	0.82	0.84	0.75
17-10-25	0.78	0.92	0.64	0.86	1.00	0.89	0.78	0.81	0.85	0.77
17-10-09	0.89	0.81	0.64	0.89	1.00	0.91	0.70	0.78	0.83	0.74
17-07-21	0.78	0.69	0.73	0.77	1.00	0.81	0.67	0.68	0.74	0.60
17-05-18	0.78	0.83	0.73	0.91	1.00	0.88	0.89	0.80	0.85	0.77
17-02-27	0.78	0.86	0.73	0.93	1.00	0.91	0.89	0.82	0.87	0.80
17-02-11	0.67	0.72	0.64	0.70	1.00	0.84	0.39	0.69	0.70	0.55
17-01-26	0.67	0.70	0.82	0.75	0.86	0.84	0.56	0.70	0.73	0.60
16-12-09	0.78	0.69	0.73	0.82	1.00	0.83	0.57	0.73	0.76	0.63
16-03-28	0.67	0.78	0.82	0.70	1.00	0.72	0.82	0.70	0.74	0.60
16-03-12	0.67	0.69	0.82	0.82	0.86	0.83	0.69	0.72	0.76	0.63
16-01-24	0.78	0.64	0.64	0.80	1.00	0.96	0.37	0.70	0.72	0.58
平均值	0.77	0.80	0.74	0.82	0.98	0.86	0.68	0.77	0.80	0.69
最大值	1.00	0.97	0.82	0.95	1.00	0.96	0.90	0.89	0.90	0.85
最小值	0.67	0.64	0.64	0.59	0.86	0.72	0.37	0.68	0.70	0.55
标准差	0.08	0.10	0.10	0.09	0.05	0.07	0.16	0.07	0.07	0.10

高而秋冬精度较差的现象。由于城市建筑与裸地光谱特征相似^[22],在农作物成熟收割后的休耕或轮作期间,从 2016-01-24 的数据中可以看出,此时城市周边有大片裸地的产生,导致难以准确计算城市面积。而从 2017-05-18 的数据中可以看出,此时由于农作物开始耕种,裸地数量减少,使得城市的制图精度以及用户精度都有了一定的提升。

同时,在运用较高精度的 Sentinel-2A 卫星影像

处理时,由于上述物候等原因,同样也导致了个别地物分类不准确的现象。如表 3 中,2018 年 4 月 7 日植被都因收到农作物的影响使得植被的制图精度以及用户精度都相对偏低,而 2018 年 2 月 26 日由于裸地还未开始耕种,此时的植被分类精度有所提升。同样地,从 2017 年 3 月 23 日的数据中不难看出,裸地的存在影响了城市分类的精度。

表 3 南京地区地物 Sentinel-2A 分类精度

Sentinel-2A	制图精度				用户精度				总精度	Kappa
	水体	绿地	城市	农业用地	水体	绿地	城市	农业用地		
18-04-07	1.00	0.74	0.78	0.91	1.00	0.87	0.82	0.82	0.85	0.77
18-03-28	0.89	0.85	0.72	0.87	1.00	0.79	0.93	0.82	0.84	0.76
17-03-23	1.00	0.78	0.61	0.91	1.00	0.95	0.73	0.78	0.83	0.74
18-02-26	1.00	0.85	0.61	0.93	1.00	0.88	0.92	0.81	0.86	0.79
17-12-18	1.00	0.74	0.83	0.89	1.00	0.80	0.88	0.84	0.85	0.78
17-12-11	0.89	0.74	0.83	0.74	1.00	0.80	0.83	0.78	0.81	0.72
17-04-02	0.78	0.81	0.83	0.89	1.00	0.85	0.88	0.82	0.85	0.77
平均值	0.94	0.79	0.75	0.88	1.00	0.85	0.86	0.81	0.84	0.76
最大值	1.00	0.85	0.83	0.93	1.00	0.95	0.93	0.84	0.86	0.79
最小值	0.78	0.74	0.61	0.74	1.00	0.79	0.73	0.78	0.81	0.72
标准差	0.08	0.05	0.09	0.06	1.00	0.05	0.06	0.02	0.02	0.02

由于浦口区的老山、玄武区的紫金山等较大型山体所造成的阴影以及少量云的遮蔽作用会形成部分无法分类的区域,导致植被面积小于真实值,使绿地率也小于真实值。

3.2 南京各区绿地覆盖率和人均绿化面积

首先,南京各行政区当中,玄武区的绿地覆盖率最高,达 42%,其中最主要的原因是玄武区面积较小(75.7 km²),且其行政区域内的紫金山国家森林公园、玄武湖等自然风景区,大大增加了其植被面积。而对于城市其他区域较为集中的行政区(建邺区、鼓楼区、秦淮区)绿地覆盖率则明显减少,主要原因可能是近年来经济不断发展,在不断城市化的过程中,忽略了生态城市的概念,规划过程中忽略了城市绿地的建设,导致城区植被面积较少,使得绿地覆盖率最高仅有 20%。

其次,六合区虽面积较大(1 472.1 km²),但是耕地数量多、自然林植被数量少,导致了其绿地覆盖率偏低;高淳区也仅有 20%的绿地覆盖率,且耕地集中。

再次,浦口区与江宁区虽也在城市化扩张的版图中,但是其分别拥有的老山国家森林公园、汤山

风景区的自然资源,使得其植被面积得到一定的保证,并且将来也能保持一个平稳的趋势。

3.3 Landsat 8 OLI 与 Sentinel-2A 结果对比

图 5,6 以及图 7,8 中显示玄武区无论在 Landsat 8 OLI 的结果中(42%),还是 Sentinel-2A 的结果中(34%)均为最高水平;而建邺区均为最低水平(Landsat 8 OLI 的结果中为 20%,Sentinel-2A 的结果为 3%)。而人均绿化面积则同样在 2 种结果中均为溧水区为最大值(Landsat 8 OLI 的结果为 870 m²/人;Sentinel-2A 的结果为 364 m²/人),这说明 2 者在数据趋势上拥有较高的一致性。但是由于 Sentinel-2A 分辨率(10 m×10 m)明显高于 Landsat 8 OLI 的分辨率(30 m×30 m),且本文中所选用的 Sentinel-2A 影像并未覆盖全年中多个物候这 2 个原因,导致运用 Sentinel-2A 所得出的结果中仅分布趋势与 Landsat 8 OLI 拥有较高的一致性。

4 结语

(1)在南京 11 个行政规划区中,玄武区的绿地率最高(42%),其次是江宁区(39%),鼓楼区绿地覆盖率最低(仅为 17%)。绿地率差异反映了各区

所拥有的自然资源、在城市化发展中对生态的关注度等信息。南京各区绿化人均面积差异较大,其中溧水区人均绿化面积最大,达 $869.5 \text{ m}^2/\text{人}$,其次为六合区 $656.5 \text{ m}^2/\text{人}$,鼓楼区仅有 $8.7 \text{ m}^2/\text{人}$,为全南京最低人均绿化面积。

(2)运用数据筛选将不同年份不同季节,分类精度较高的结果相结合,能够避免因光谱特征相类似而导致的精度较低的问题。由于物候的不同,在对植被进行分类时会被有相似光谱特征的农作物所影响,而对城市进行分类时,裸地会对其精度产生影响。因此,将裸地被耕种时城市的分类结果以及农作物成熟收割后城市的分类结果筛选出来,重新组合,会得到精度显著提高的分类结果,且此方法与卫星图像本身分辨率无关。

致谢 南京林业大学对本次研究提供了经费支持,谨此致谢。

参考文献:

- [1] 孔繁花,尹海伟,刘金勇,等.城市绿地降温效应研究进展与展望[J].自然资源学报,2013,28(1):171-181.
- [2] 王超跃.我国土地管理制度的现状、问题及对策研究[J].山西农经,2016,7(5):65-45.
- [3] 李雪峰.改革土地管理制度促进城镇化发展[J].黑龙江科技信息,2016(2):252.
- [4] 夏李添姣.园林艺术的设计手法在屋顶绿化中的应用[D].石家庄:河北师范大学,2016.
- [5] 肖荣波,周志翔,王鹏程,等.3S技术在城市绿地生态研究中的应用[C]//中国生态学会全国会员代表大会.2004:71-76.
- [6] 王 焘.城市园林绿化事业发展政策的再思考[J].中国园林,1992(3):26-32.
- [7] 袁东升.应用遥感技术进行城市绿化现状调查的研究[J].中国园林,2001,17(5):74-76.
- [8] 刘梦飞.应用航空遥感技术分析城市绿化状况的方法与程序[J].中国园林,1986(1):8.
- [9] 黄广耀,邓良炳.城市绿化调查中的遥感与制图研究——以广州市绿化调查为例[J].中山大学学报论丛,1990(4):91-98.
- [10] 黄慧萍,吴炳方,李苗苗,等.高分辨率影像城市绿地快速提取技术与应用[J].遥感学报,2004,8(1):68-74.
- [11] 宣 勇,谢炳庚,姜端午.高分辨率遥感数据在城市绿化调查中的应用[J].国土资源科技管理,2004(1):74-77.
- [12] 陈春林,刘继生,韩 阳,等.基于 TM 影像的哈尔滨老城区城市绿地信息提取研究[J].产业与科技论坛,2010,9(5):85-88.
- [13] 周坚华,黄顺忠.三维量遥感调查:一种估算城市绿化环境效益的新方法[J].上海建设科技,1995(4):41-42.
- [14] 饶 君,李云鹏,陈立涛.浅谈无人机低空摄影技术在城市绿化遥感测定中的应用[J].江西测绘,2012(2):16-17,23.
- [15] CAYNES R J C, MITCHELL M G E, WU D S, et al. Using high-resolution LiDAR data to quantify the three-dimensional structure of vegetation in urban green space[J]. Urban Ecosystems, 2016, 19(4): 1-17.
- [16] LIU Y Q, MENG Q Y, ZHANG J H, et al. An effective Building Neighborhood Green Index model for measuring urban green space[J]. International Journal of Digital Earth, 2016, 9(4):387-409.
- [17] USGS. Landsat Missions. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- [18] 南京市统计局.南京统计年鉴 2017[Z].2018.
- [19] 中华人民共和国建设部.城市绿地分类标准[Z].2002.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市用地分类与规划建设用地标准[Z].2010-12-24.
- [21] 钱永兰.遥感图像光谱差异增强与农作物识别[R].2005-12.
- [22] 董 婷.基于分层分类法提取城市裸地信息[J].测绘地理信息,2016,41(4):56-61.