



一种基于Sentinel-2图像纹理特征的不透水面自动 提取方法

摘要

利用遥感技术识别和提取不透水面为参与城市规划的政策制定者提供了有价值的见解，以实现可持续发展和保护环境的目标。在这项研究中，我们开发了一种无需训练样本的自动方法，利用纹理特征提取不透水面。我们在中国选择了三个具有不透水面形态的地点（北京、淮南和金华）来开发和评估拟议的自动方法的性能。从每个地点的Sentinel-2图像中得到的对比度、Gabor小波和二次纹理提取的纹理特征被用来构建其他土地覆盖类型和不透水面的三维纹理特征空间。在特征空间中，不透水地表可以与其他土地覆盖类型清楚地分开，特别是对于裸露土地的混合；因此，在特征空间内利用K-means分类器可以自动提取不透水面。

研究结果表明：（1）Contrast、Gabor小波和二次纹理特征可以有效区分不透水面和裸地，分离度（M指数）分别为1.23、1.24和1.73。这些发现促使我们开发了一种能够准确检测不透水面的自动方法，同时将其土地覆盖的影响降到最低。（2）三个地点的不透水面和透水面绘图的整体准确性为91.15%、89.75%和91.90%。（3）提取不透水面的自动方法比监督方法，包括人工神经网络和基于对象的分类在提取上表现得更好。（4）该自动方法与线性光谱混合分析（LSMA）相比，使用自动方法提取的不透水面在不同的季节都更加稳健。然而，它在不透水面与复杂土地覆盖混合的其他地理区域的有效性必须进一步评估。

数据与方法

研究区

选择了有三种不同不透水面场地聚集模式的地区（图1）。场地A是中国的首都北京，它是世界上最大的城市之一。在过去的二十年里，北京的透水地面逐渐被不透水地面所取代。场地B位于安徽省的中北部。淮南拥有丰富的农业资源，因为它位于第二大平原。在休耕期，不透水面周围有许多裸露的耕地。场地C位于浙江省中部的金华市，盆地为丘陵地带，地势由北向南高。与场地A和B相比，山地的城市化水平较低，裸露土地分布广泛。

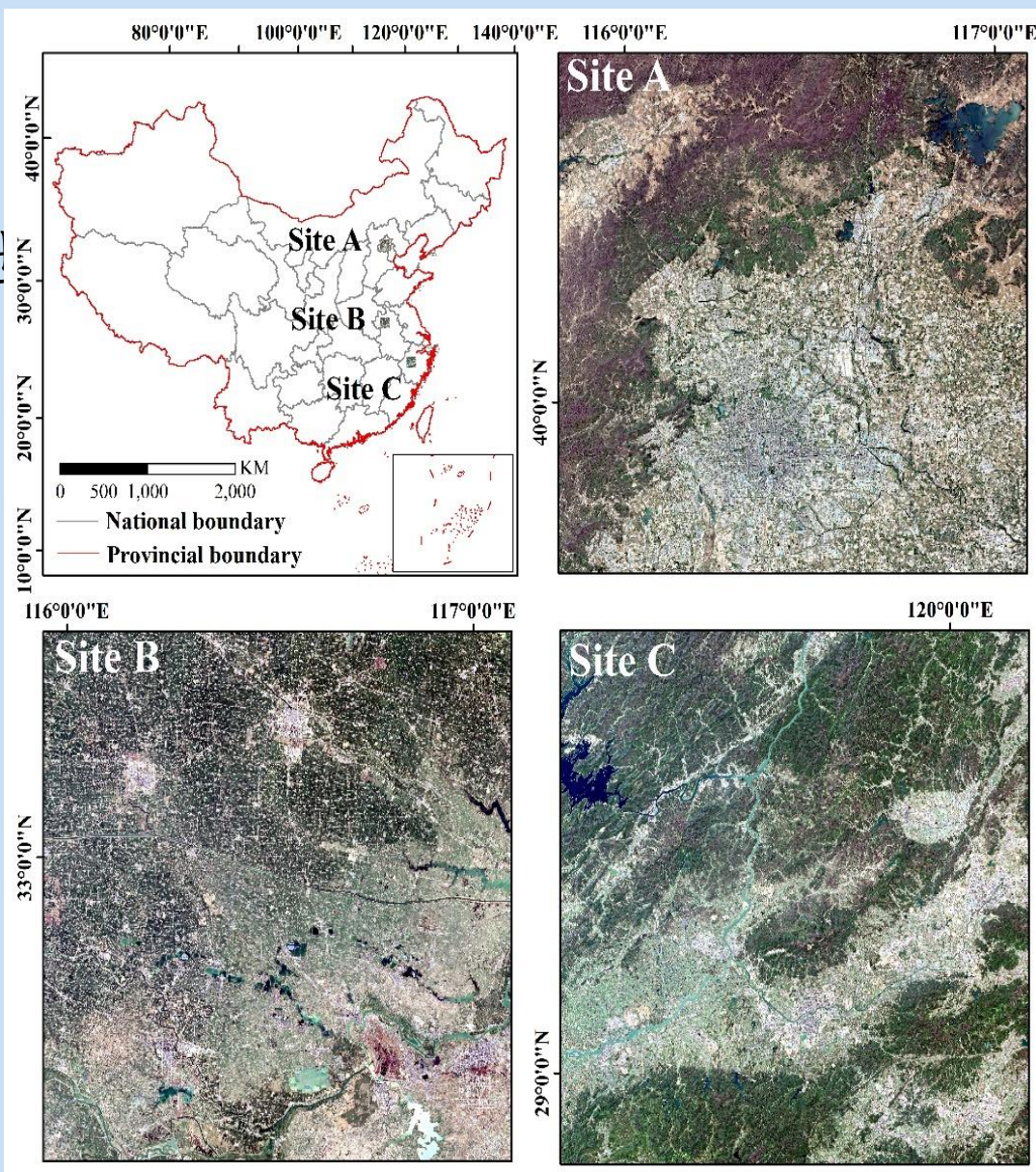


图1 场地A-C的空间位置

数据集

在这项研究中，我们利用了经过辐射和几何校正的Sentinel-2 Level-1C（L1C）产品。L1C产品提供了顶部大气（TOA）反射率数据。在这项研究中，我们选择了2021年3-12月A-C站点的云层覆盖限制为<10%的单一时间影像。具体来说，站点A在5月8日2日10月10日24日和12月13日获得四张图像。B和C站点分别在3月5日和5月6日获得一张图像。这些数据是从哨兵科学数据中心（<https://scihub.copernicus.eu/>）获得的。

为了探索最佳的不透水面纹理特征并定量评估我们提取的不透水面的准确性，我们分别收集了样本和验证数据。在A-C站点共收集了12000个样本和6000个验证数据。

研究方法

为了利用Sentinel-2图像描述三个研究地区四种类型土地覆盖的纹理特性，我们采用了GLCM、Gabor小波和二次纹理分析。

a) GLCM

GLCM是指在图像上某一偏移处共同出现的灰度值的分布。它将图像中不同的像素灰度值组合（灰度级）出现的频率列表。除此之外，它还利用类似灰度等级的空间关系来捕捉纹理的数字特征。我们在研究中使用了七个纹理特征，分别是对比度，同质性，异质性，角二阶矩，能量，熵，方差和相关性。

b) Gabor小波

除了基于统计方法的纹理特征GLCM提取外，还采用基于多尺度和时频分析的Gabor小波法对不透水面和其他土地覆盖的纹理进行区分。不透水面纹理具有很强的规律性和方向性，Gabor小波可以精确捕捉多尺度、多方向的纹理特征。

c) 二次纹理特征

采用GLCM和Gabor两种纹理特征提取方法无法完全解决不透水面和裸露土地的混合问题。由于不透水面的内部排列更规则，而裸露土地的内部更杂乱，GLCM可以更好地描述这一差别。此外，不透水面边缘的灰度与周围环境有很大不同，而裸地边缘的灰度与周围环境的差异较小，Gabor小波可以进行边缘识别并检测灰度频率急剧变化的区域。因此，在这项研究中，我们研究了不透水面和裸露土地的两个不同特征。我们利用Gabor小波对GLCM处理的图像进行二次纹理分析，从而增强了裸地与不透水表之间的差异。

结果与结论

利用K-means分类器下的最佳纹理特征，将影像中的土地覆盖物分为4类。并将森林、水体和裸地合并为透水面，如图2所示。从空间分布的角度来看，站点A的不透水面主要分布在中心建成区，分布面积较大。在站点B，不透水面覆盖了位于东北部和西南部的大部分建成区。它主要集中在较大的城镇，而较小的城镇则呈放射状分布，并由道路连接。相比之下，场地C位于山区，不透水面主要存在于沿河的山谷地区。站点C的不透水面分布更加分散。

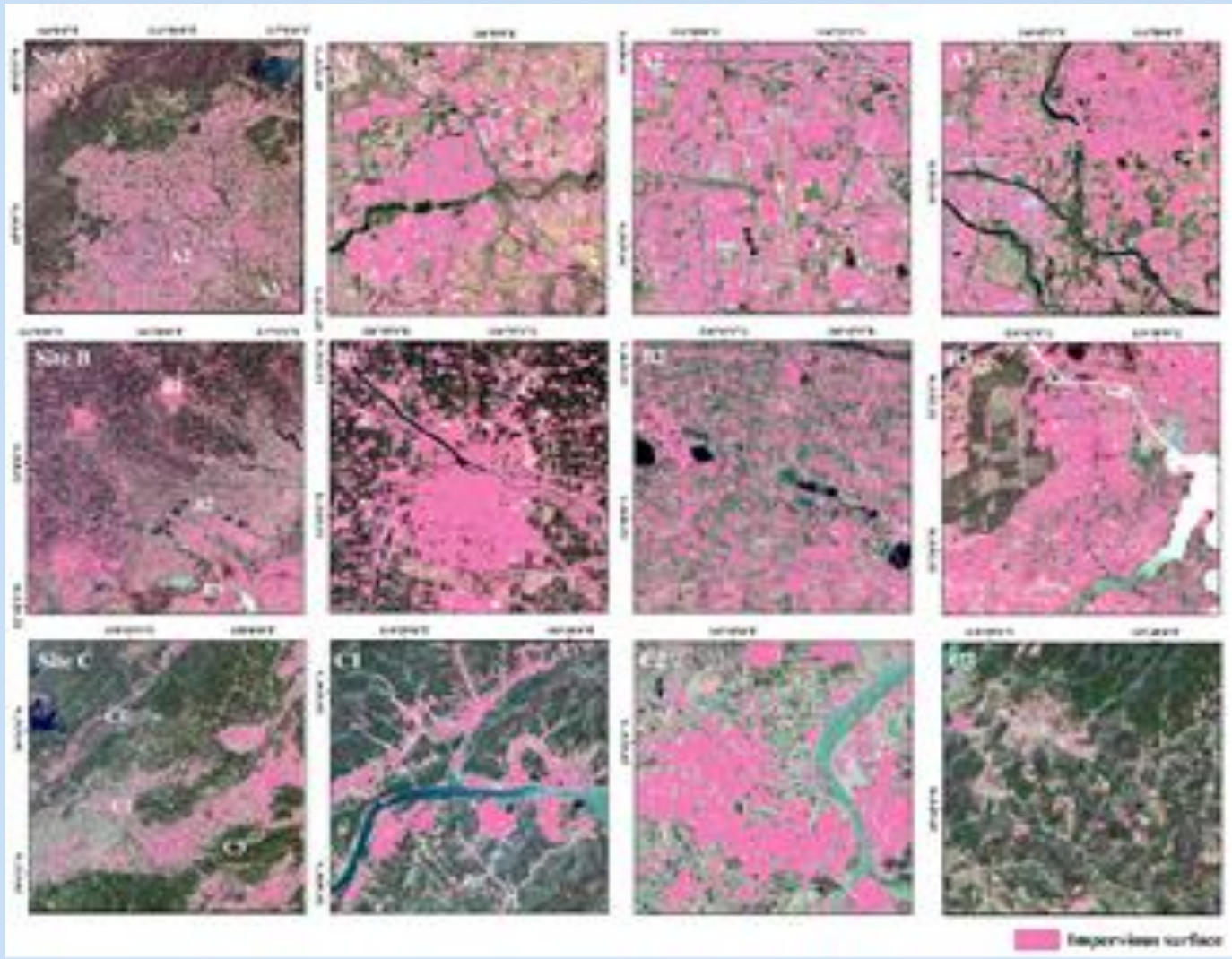


图2 站点A-C站点的不透水面空间分布

如图3所示，自动化方法提取的不透水面的空间分布与ANN提取的空间分布一致。基于对象的方法提取的不透水面面积较小，空间分布分散，说明基于对象的分类方法在区分裸地和不透水面方面有局限性。在没有样本的情况下，不使用训练样本的自动方法的性能与监督分类器的性能相似甚至提取结果更好。

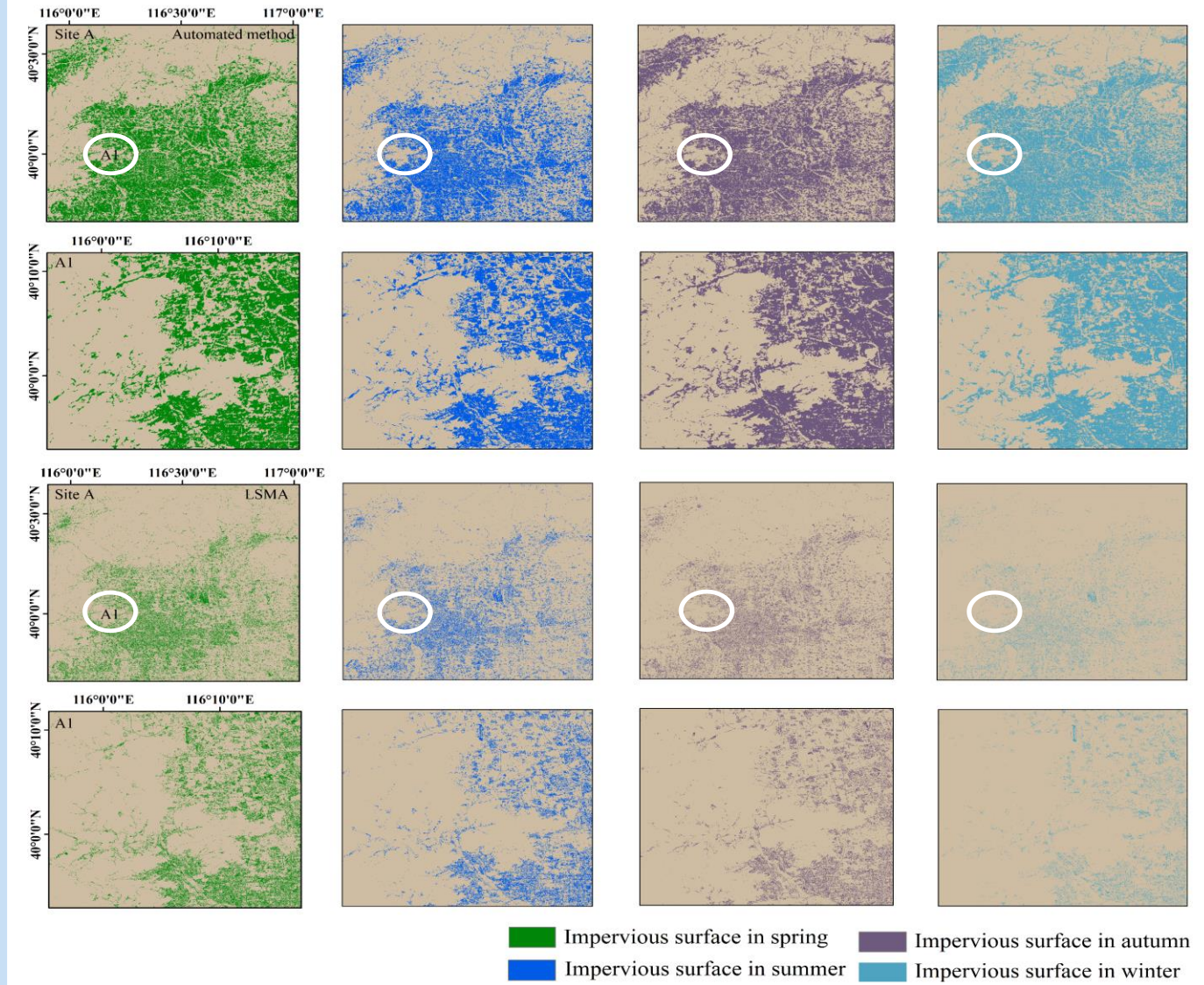


图4 春、夏、秋、冬季节使用自动化方法和LSMA提取不透水面的空间分布比较

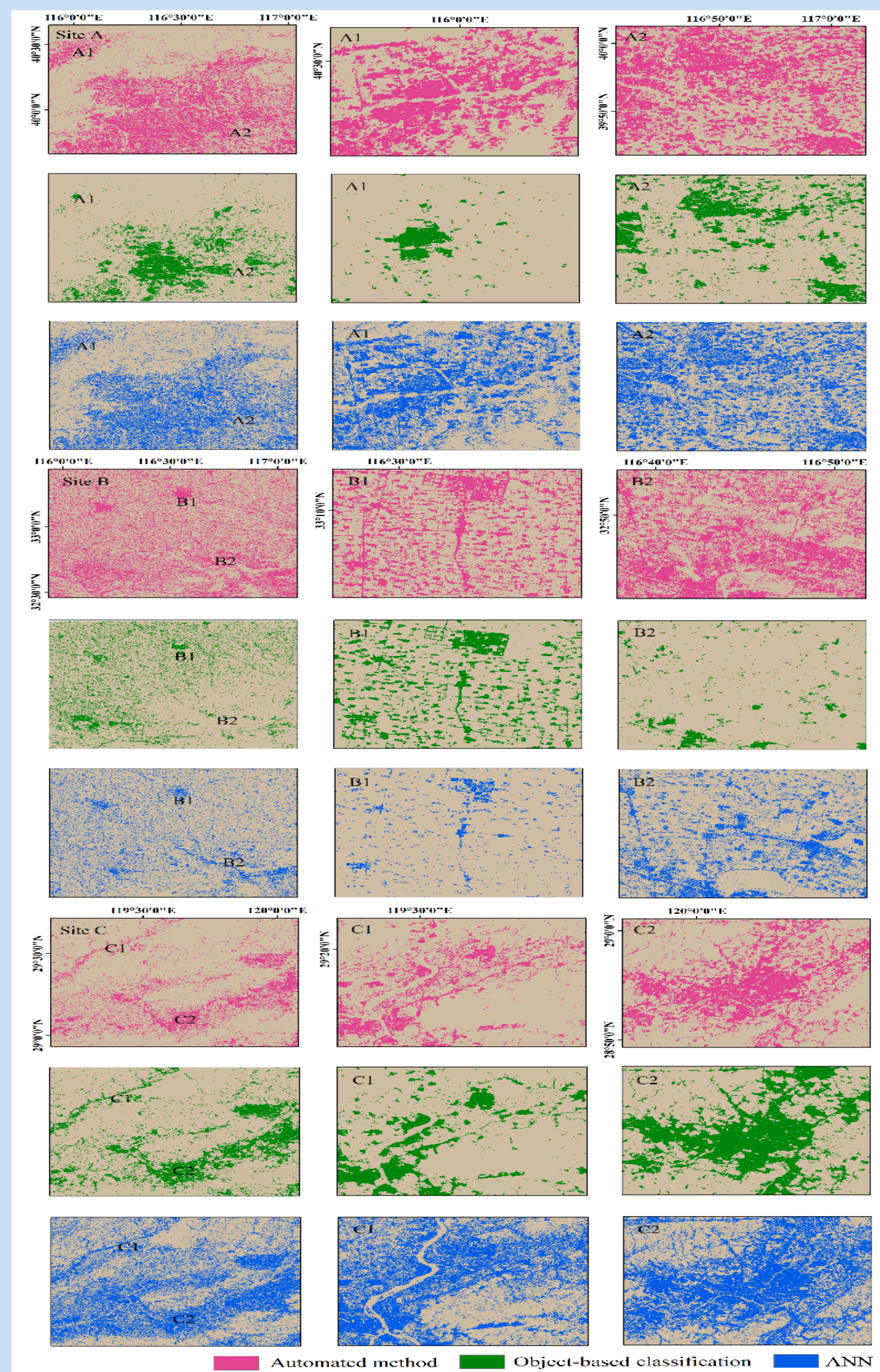
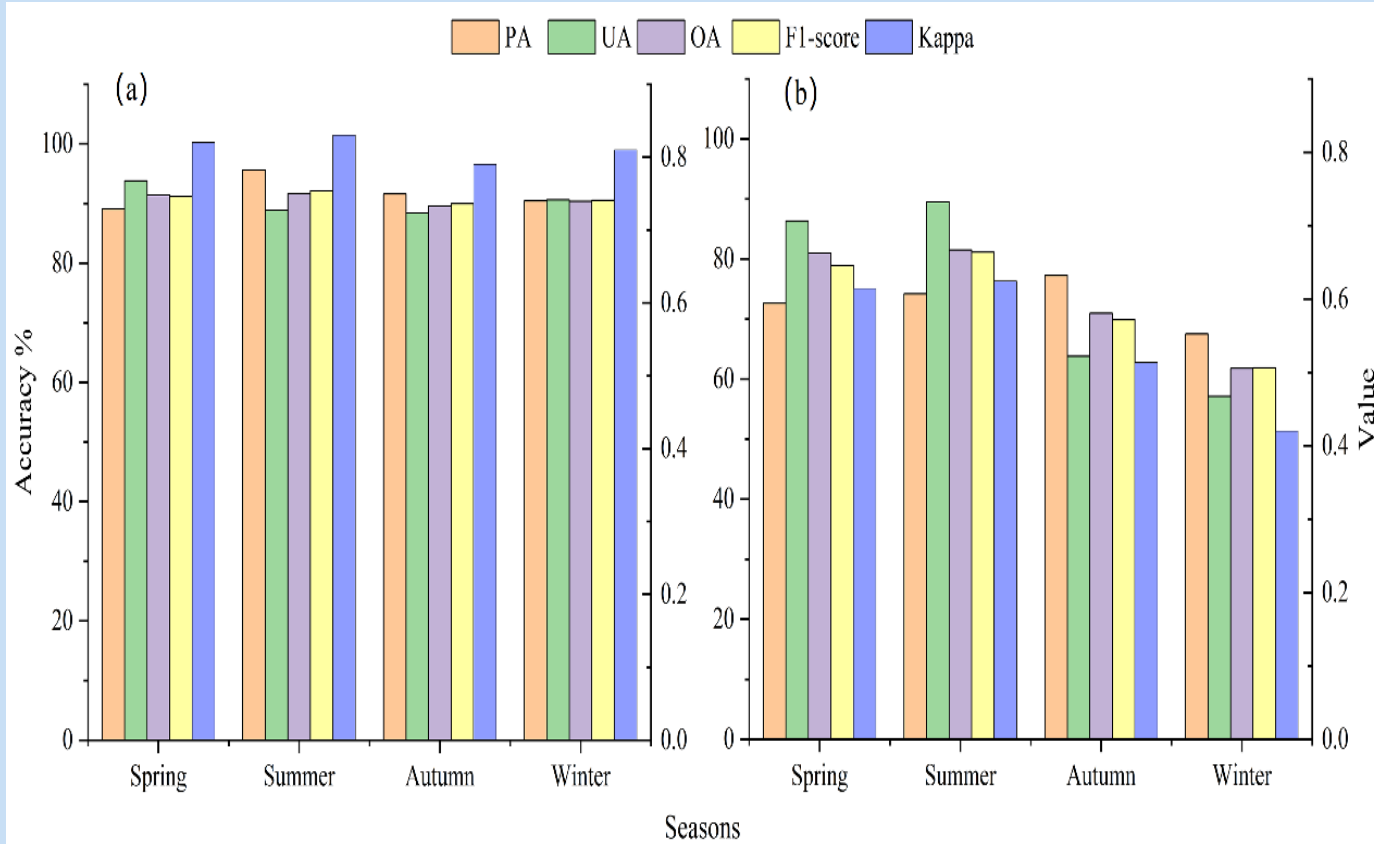


图3 自动方法、基于对象分类和ANN在站点A-C的不透水面的空间分布比较

在本研究中，为了确保自动方法在不同季节的稳健性，我们将其应用于其他季节：春季、夏季、秋季、冬季来提取不透水面（图4）。结果分析表明，在春季、夏季、秋季和冬季，用自动方法提取的不透水面的空间分布几乎没有差异。图5中各季节的对比结果显示了这一优势，总体精度分别为91.40%、91.67%、89.60、90.36%。另一方面，我们还应用最广泛使用的LSMA来提取不透水面。结果显示，季节性影响对使用LSMA提取的不透水面有根本性的影响。利用春天和夏天的影像比秋天和冬天的影像提取不透水面分布更准确，总体精度分别为80.99%、81.50、70.95%、61.75%。相反，所提出的自动方法在提取不透水面的过程中不受植被变化的影响，在不同季节可以获得同样好的提取结果。

图5 自动方法和LSMA的精度比较

参考文献

1. Al-Janobi, A. (2001). Performance evaluation of cross-diagonal texture matrix method of texture analysis. PATTERN RECOGNITION, 34, 171-180
2. Arnold, C.L., & Gibbons, C.J. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. Journal of the American Planning Association, 62, 243-258
3. Beibei, H.E., Youzhao, L.I.U., & Rong, D. (2006). Structural analysis on quantitative changes of cultivated land and economic growth. Journal of anhui agricultural university., 33, 440-444