

DOI: 10.5846/stxb201306101626

杨存建, 倪静, 周其林, 程武学, 韩沙鸥. 不同林分郁闭度与遥感数据的相关性. 生态学报, 2015, 35(7): 2119-2125.

Yang C J, Ni J, Zhou Q L, Cheng W X, Han S O. Correlation analysis of canopy density with remote sensing data for different forest stand. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2119-2125.

不同林分郁闭度与遥感数据的相关性

杨存建^{1,*}, 倪 静¹, 周其林², 程武学¹, 韩沙鸥¹

1 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室遥感与 GIS 应用研究中心, 成都 610068

2 四川省遂宁市林业局, 遂宁 629000

摘要: 林分郁闭度与遥感数据的相关性分析是郁闭度遥感估算的基础, 郁闭度遥感是林业遥感的重要方向。以四川省石棉县为例, 就不同林分探讨了其郁闭度与陆地资源卫星专题制图仪 LANDSAT Thematic Mapper (TM, 包括其波段 1 至 7, 分别表示为 TM₁、TM₂、TM₃、TM₄、TM₅、TM₆ 和 TM₇) 数据之间的相关性及其受地形校正的影响。建立了地形数据库和基于 1994 年调查数据的森林资源数据库; 对 1994 年 6 月 26 日成像的 LANDSAT TM 数据进行了几何校正, 并与森林资源数据库配准; 分别利用 Lambert Cosine Correction (LCC) 模型和 Sun Canopy Sensor (SCS) 模型对 TM 数据进行地形校正, 生成 TM-LCC 和 TM-SCS 数据; 将 TM、TM-LCC 和 TM-SCS 各波段数据分别与森林资源数据叠加统计, 得到各小班 TM、TM-LCC 和 TM-SCS 各波段数据的均值和标准差, 并将其添入数据库中, 选取标准差较小的小班共 1194 个作为样本。按优势树种将样本层化为 8 个林分层, 分别计算其郁闭度与 TM、TM-LCC 和 TM-SCS 各波段数据间的相关系数, 并分析其在不同林分不同波段上的差异及其受地形校正的影响。研究表明: 铁杉、冷杉和云杉等林分郁闭度与 TM 部分波段数据的相关性在 0.01 的水平上均为显著; 而桦木、栎类、桉木、软阔类和云南松等林分郁闭度与 TM 数据的相关性在 0.05 的水平上均不显著; TM 的 LCC 校正提高了冷杉、铁杉和软阔等林分郁闭度与 TM₄ 和 TM₅ 的相关性, TM 的 LCC 校正还提高了软阔类林分郁闭度与 TM₇ 的相关性, TM 的 SCS 校正提高了冷杉林分郁闭度与 TM₄ 和 TM₅ 的相关性, 且在 0.01 的水平上均为显著。TM 的 LCC 和 SCS 校正未能明显提高桦木、栎类、桉木、云南松和云杉等林分郁闭度与 TM 数据的相关性。该研究对林分郁闭度遥感具有一定的科学意义和应用价值。

关键词: 郁闭度; 林分; 遥感; 相关性; 小班

Correlation analysis of canopy density with remote sensing data for different forest stand

YANG Cunjian^{1,*}, NI Jing¹, ZHOU Qilin², CHENG Wuxue¹, HAN Shaou¹

1 Research Center of RS&GIS Application, Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China

2 Suining Forest Bureau, Suining 629000, China

Abstract: Correlation analysis of canopy density with remote sensing data for different forest stand is basis for estimating canopy density using remote sensing, which is an important field of forest remote sensing. The relationships of the canopy density with Landsat Thematic Mapper (TM, which includes seven bands represented as TM₁, TM₂, TM₃, TM₄, TM₅, TM₆, and TM₇) data for different forest stand were explored in Shimian County of Sichuan Province of P. R. of China, and how they were influenced by topographically correcting TM using the Lambert Cosine Correction (LCC) model and the Sun Canopy Sensor (SCS) model was also studied here. Firstly, the topographic database and the forest resource GIS database whose data were acquired in 1994 in field were created. Secondly, Landsat TM data acquired on June 26, 1994 were

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40771144); 国家 973 项目 (2009CB421105); 国家 863 项目 (2009AA12Z140)

收稿日期: 2013-06-10; **网络出版日期:** 2014-07-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangcj2008@126.com

geometrically corrected by using topographic maps, and matched well with the forest resource database. Thirdly, TM-LCC and TM-SCS were respectively obtained by topographically correcting TM using LCC model and SCS model. Fourthly, the mean and standard deviation of each band of TM, TM-LCC and TM-SCS for each forest sub-compartment were calculated by overlaying the forest resource GIS data with each band of TM, TM-LCC and TM-SCS, and were added into the attribute table of the forest resource database. 1194 sub-compartment samples of relatively lower standard deviation were selected from the forest resource database. Finally, the samples were stratified into eight forest stands according to their dominant tree, and the correlation coefficients of canopy density with each band of TM, TM-LCC and TM-SCS were calculated for each forest stand. It was shown that the correlation coefficients differ along with different band and different forest stand. Correlation coefficients of canopy density with TM₂, TM₃, TM₄, TM₅ and TM₇ for *Tsuga chinensis*, with TM₄, TM₅ and TM₇ for *Abies fabri*, and with TM₁ for *Picea asperata* stand were significant at the 99% level of confidence. The highest is the correlation coefficient of canopy density with TM₅ for *Tsuga chinensis* stand, which is -0.324. The correlation coefficient of canopy density with TM₁ for *Tsuga chinensis* stand is significant at the 95% level of confidence. The correlation coefficients of canopy density with each band of Landsat TM for *Betula*, *Quercus*, *Alnus cremastogyna*, soft broadleave and *Pinus yunnanensis* stand were not significant at the 95% level of confidence. The correlation coefficients of canopy density with TM₄ and TM₅ for *Tsuga chinensis*, *Abies fabri* and soft broadleave were enhanced by topographically correcting TM₄ and TM₅ using the LCC model, which are respectively -0.394, -0.374, -0.209, -0.210, 0.545 and 0.577, and significant at the 99% level of confidence. The correlation coefficient of canopy density with TM₇ for soft broadleave was enhanced by topographically correcting TM₇ using the LCC model (from 0.051 to 0.513), and significant at the 99% level of confidence. The correlation coefficients of canopy density with TM₄ and TM₅ for *Abies fabri* was enhanced by topographically correcting TM₄ and TM₅ using CSC model (from -0.170 to -0.213 and from -0.181 to -0.207), and significant at the 99% level of confidence. The correlation coefficients of canopy density with Landsat TM for *Betula*, *Quercus*, *Alnus cremastogyna*, *Pinus yunnanensis* and *Picea asperata* were not significantly enhanced by topographically correcting Landsat TM using the models of LCC and SCS. The study is of important value to stand canopy density remote sensing.

Key Words: canopy density; forest stand; remote sensing; correlation; sub-compartment

森林郁闭度是树冠投影面积与林地面积的比值,它是森林资源调查的重要因子之一,是区分有林地、疏林地与无林地的重要指标,也是衡量森林资源优劣的一项指标。其变化影响着林分内各生态因子的变化^[1]。从地面获取森林郁闭度费钱费工费时。如何快速低成本获取森林郁闭度是一个急需解决的问题。森林郁闭度与遥感数据之间的相关性分析是解决该问题的关键基础,对此,国内外学者已开展了一些探索性的研究。如李崇贵和赵究文研究发现:在陆地卫星专题制图仪 LANDSAT Thematic Mapper (TM, 包括其波段 1 至 7, 分别表示为 TM₁、TM₂、TM₃、TM₄、TM₅、TM₆ 和 TM₇) 中, TM₅、TM₇、TM₄-TM₃/TM₄+TM₃、TM₄-3、(TM₄+TM₅-TM₂)/(TM₄+TM₅+TM₂)、TM₇/TM₃ 和 TM₄/TM₂ 等对郁闭度有重要解释作用^[2]。刘大伟和孙国清研究发现:森林郁闭度与 TM₅、TM₇ 和 缨帽湿度指数有较好相关性^[3]。蔡学成和杨永彰在贵州省的研究表明,中巴卫星遥感数据(包括其波段 1 至 5, 分别表示为 B₁、B₂、B₃、B₄ 和 B₅) 中的 B₁、B₂、B₃ 和 B₅ 及其派生数据(B₄-B₃)/(B₄+B₃)、B₄-B₃ 和 B₄/B₃ 等对森林郁闭度有响应,结合少量地面实测样地,可以实现森林郁闭度的多元遥感估算^[4]。高云飞与李智广等的研究表明,郁闭度与 SPOT 的红、绿波段相关性较高,而与近红外波段的相关性较低^[5]。这些研究在一定程度上揭示了森林郁闭度与遥感数据及其派生数据之间的相关性特征,但是,不同林分郁闭度与遥感数据的相关性特征如何? 是否存在差异? 地形校正对其是否存在影响? 这些都是森林郁闭度遥感估算的基础科学问题。

在知识发现方面,国内外学者已开展了一些有益的探索。如李德仁提出了基于空间数据库的知识发现理论框架^[6],杨存建等开展了森林碳密度空间分布特征^[7]、树种分布特征^[8]、地类分布特征^[9]和土地利用模式

等方面的知识发现研究^[10],李明阳等在生物量空间分布特征知识发现方面开展了研究^[11],邸凯昌提出了一种探测性归纳学习的知识发现方法^[12],库向阳等提出了土壤侵蚀关联规则的知识发现方法^[13]。这些研究为知识发现提供了可借鉴的方法。我国已进行了多次森林资源一类清查和森林资源二类调查,积累了大量的调查数据。卫星遥感技术出现至今,已累积了大量的遥感数据。如何将这两类数据协同起来,开辟发现森林郁闭度遥感知识的新途径,这又是一个值得探讨的科学问题。为此,本文以四川省石棉县为例,以同期地面调查数据和 LANDSAT TM 数据为基础,探讨林分郁闭度遥感知识的发现方法,研究不同林分郁闭度与遥感数据的相关性差异及其受地形校正影响等科学问题。

1 试验区与数据

试验区为四川省石棉县,其位置为东经 101°55′—102°31′,北纬 28°51′—29°31′。境内以山地为主,岭谷相间。境内海拔高差达 5000 m,最高海拔达 5793 m,最低海拔为 790 m。境内河流纵横,大渡河从中穿过。其气候属于中纬度亚热带湿润气候。年降雨量约 800 mm,年均气温约 17 ℃。该县森林资源丰富,拥有贡嘎山国家级自然保护区和栗子坪省级自然保护区。该县主要有铁杉(*Tsuga chinensis*)、冷杉(*Abies fabri*)、云杉(*Picea asperata*)、桦木(*Betula*)、栎类(*Quercus*)、桤木(*Alnus cremastogyne*)、软阔类和云南松(*Pinus yunnanensis*)等八大林分类型。

所使用的数据有森林资源二类调查(1994年)数据、LANDSAT TM 数据(1994年6月26日成像)和 1:5 万的地形数据。森林资源数据包括林班和小班界线数据(即林相图数据)和小班因子数据。这些数据均为按技术规程在野外调查取得。小班内部树种与郁闭度相对一致,其大小在 1 hm²以上,相当于 9 个以上的 TM 象元区域。其小班因子主要有小班编号、地类、优势树种、郁闭度、小班蓄积量、地貌和土壤类型等。通过扫描、几何校正、拼接、数字化建库以及小班因子数据连接,建立森林资源数据库。通过数字化地形图建立基础地理数据库和数字高程模型 Digital Elevation Model(DEM)。对 LANDSAT TM 进行了几何校正,并与 DEM 和森林资源数据库进行了配准,其误差在 1 个像元内。

2 研究方法

研究方法如图 1 所示。

为了探讨地形校正对林分郁闭度与遥感数据相关性的影响,本文利用朗伯体余弦模型(Lambert Cosine Correction(LCC) model)和太阳-冠层-传感器模型(Sun Canopy Sensor(SCS) model)分别对 LANDSAT TM 数据进行地形校正,并得到校正后的数据,分别表示为 TM-LCC 和 TM-SCS。

LCC 模型算法为^[4]:

$$L_{LCC} = L_0 / \cos i \quad (1)$$

式中, L_{LCC} 代表校正后的亮度值,即 TM-LCC; L_0 代表校正前的观测亮度值,即 TM; i 为入射角。

$$\cos i = \cos \theta \cos \beta + \sin \theta \sin \beta \cos(\lambda - \omega) \quad (2)$$

式中, θ 是像元所在平面的坡度角; β 为太阳天顶角; λ 为太阳方位角; ω 为像元所在平面的坡向角。

SCS 模型算法为^[5]:

$$L_{SCS} = L_0 \cos \beta \cos \theta / \cos i \quad (3)$$

式中, L_{SCS} 为 SCS 模型校正后的亮度值,即 TM-SCS; θ 为坡度角, β 为太阳天顶角, i 为入射角。

将森林资源数据库与 TM、TM-LCC 和 TM-SCS 进行叠加统计,从而得到各小班各波段遥感数据及其地形校正数据的均值与标准差,并以此作为小班的遥感特征数据,将其添加至森林资源数据库中。选取标准差较

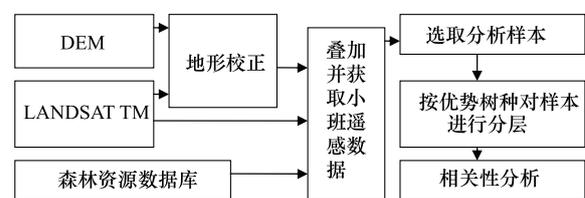


图 1 基于空间数据库的林分郁闭度与遥感数据的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis of forest stand canopy density with TM data based on spatial database

小的小班作为样本,共 1194 个小班。按优势树种对样本进行层化,共分 8 个林分层,各层名(样本数)分别为:铁杉(166)、冷杉(468)、云杉(174)、桦木(95)、栎类(141)、桤木(35)、软阔类(25)和云南松(90)。在每一林分层上,基于小班对象,对郁闭度与遥感数据进行相关性分析,揭示其相关性及其受地形校正的影响。在此基础上,分析不同林分间的差异。

3 结果

3.1 铁杉、冷杉和云杉等林分郁闭度与 TM 部分波段数据的相关性显著

铁杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 1 所示。从表 1 中可以看出,铁杉林分郁闭度与遥感数据 TM2、TM3、TM4、TM5 和 TM7 在 0.01 的水平上呈显著负相关,与 TM1 在 0.05 的水平上呈显著负相关。LCC 校正提高了其郁闭度与 TM4 和 TM5 的相关性。SCS 校正降低了其郁闭度与各波段的相关性。

表 1 铁杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Tsuga chinensis* stand

遥感数据 Remote sensing data	专题制图仪波段 1 Thematic Mapper1 (TM1)	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	-0.177 *	-0.251 **	-0.254 **	-0.321 **	-0.324 **	-0.270 **
朗伯体余弦校正 Corrected by Lambert Cosine Correction (LCC 校正)	-0.048	-0.092	-0.082	-0.394 **	-0.374 **	-0.245 **
太阳-冠层-传感器校正 Corrected by Sun Canopy Sensor (SCS 校正)	0.083	0.047	0.047	-0.257 **	-0.219 **	-0.091

** 在 0.01 水平上显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关

冷杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 2 所示。从表 2 中可以看出,冷杉林分郁闭度与遥感数据 TM4、TM5 和 TM7 在 0.01 的水平上呈显著负相关,与 TM3 在 0.05 的水平上呈显著负相关,与其余波段相关性不显著。LCC 校正和 SCS 校正均提高了其郁闭度与 TM4 和 TM5 的相关性。

表 2 冷杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Abies fabri* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	0.001	-0.081	-0.112 *	-0.170 **	-0.181 **	-0.180 **
LCC 校正 Corrected by LCC	-0.029	-0.049	-0.062	-0.209 **	-0.210 **	-0.178 **
SCS 校正 Corrected by SCS	-0.001	-0.029	-0.044	-0.213 **	-0.207 **	-0.171 **

** 在 0.01 水平上显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关

云杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 3 所示。从表 3 中可以看出,云杉林分郁闭度与遥感数据 TM1 在 0.01 的水平上呈显著正相关,而与其他波段数据的相关性均不显著。LCC 校正和 SCS 校正未明显提高其郁闭度与各波段数据的相关性。

表 3 云杉林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Picea asperata* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	0.205 **	0.138	0.062	0.101	0.066	0.047
LCC 校正 Corrected by LCC	-0.046	-0.032	-0.061	0.048	-0.001	-0.034
SCS 校正 Corrected by SCS	-0.025	-0.008	-0.037	0.096	0.046	-0.001

** 在 0.01 水平上显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关

3.2 地形校正提高了软阔类林分郁闭度与 TM 数据的相关性

软阔类林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 4 所示。从表 4 中可以看出,软阔类林分郁闭度与遥感数据的相关性均不显著。LCC 校正使郁闭度与 TM4、TM5 和 TM7 均在 0.01 的水平上呈显著正相关。SCS 校正使其郁闭度与 TM5 和 TM7 均在 0.05 的水平上呈显著正相关,由此可见地形校正对其相关性有较大改善。

表 4 软阔类林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for soft broadleave stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	0.084	0.013	-0.004	-0.041	0.036	0.051
LCC 校正 Corrected by LCC	0.266	0.323	0.312	0.545 **	0.577 **	0.513 **
SCS 校正 Corrected by SCS	0.212	0.262	0.249	0.395	0.446 *	0.405 *

** 在 0.01 水平上显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关

3.3 桦木、栎类、桤木和云南松等林分郁闭度与遥感数据的相关性均不显著

桦木林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 5 所示。从表 5 中可以看出,桦木林分郁闭度与遥感数据的相关性在 0.05 的水平上不显著。LCC 校正和 SCS 校正未明显提高其郁闭度与各波段遥感数据的相关性。

表 5 桦木林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data TM for *Betula* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	0.018	0.003	-0.041	-0.003	0.002	-0.006
LCC 校正 Corrected by LCC	0.041	0.051	0.041	0.039	0.061	0.065
SCS 校正 Corrected by SCS	0.057	0.069	0.059	0.029	0.065	0.086

栎类林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 6 所示。从表 6 中可以看出,栎类林分郁闭度与遥感数据的在 0.05 的水平上相关性均不显著。LCC 校正和 SCS 校正未明显提高其郁闭度与各波段数据的相关性。

表 6 栎类林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Quercus* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	-0.053	-0.056	-0.073	-0.083	-0.075	-0.074
LCC 校正 Corrected by LCC	0.034	0.034	0.032	-0.003	0.021	0.023
SCS 校正 Corrected by SCS	0.049	0.052	0.050	0.016	0.042	0.043

桤木林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 7 所示。从表 7 中可以看出,桤木林分郁闭度与遥感数据的在 0.05 的水平上相关性均不显著。LCC 校正和 SCS 校正未明显提高其郁闭度与各波段数据的相关性。

表 7 桤木林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Alnus cremastogyne* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before Correction	0.139	0.078	0.099	0.006	0.038	0.032
LCC 校正 Corrected by LCC	-0.089	-0.084	-0.080	-0.133	-0.116	-0.113
SCS 校正 Corrected by SCS	-0.129	-0.138	-0.134	-0.246	-0.198	-0.189

云南松林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数如表 8 所示。从表 8 中可以看出,云南松林分郁闭度与遥感数据的在 0.05 的水平上相关性均不显著。LCC 校正和 SCS 校正未明显提高其郁闭度与各波段数据的相关性。

表 8 云南松林分郁闭度与遥感数据之间的相关系数

Table 8 Correlation coefficients of canopy density with remote sensing data for *Pinus yunnanensis* stand

遥感数据 Remote sensing data	波段 1 TM1	波段 2 TM2	波段 3 TM3	波段 4 TM4	波段 5 TM5	波段 7 TM7
校正前 Before correction	0.010	-0.047	-0.017	-0.072	-0.035	-0.023
LCC 校正 Corrected by LCC	-0.015	-0.019	-0.007	-0.069	-0.032	-0.008
SCS 校正 Corrected by SCS	0.017	0.011	0.020	-0.014	0.025	0.031

4 结论与讨论

本文提出了基于空间数据库的林分郁闭度遥感知识发现的有效技术方法。在积累有同期调查数据和遥感数据的其它区域,可用该方法发现其林分郁闭度遥感知识,以及其它林分因子(如蓄积量和生物量等)的遥感知识。该研究开拓了协同地面调查数据与遥感数据发现遥感知识的新途径,这对遥感知识的获取具有重要意义。

铁杉林分郁闭度与 TM2、TM3、TM4、TM5 和 TM7,冷杉林分郁闭度与 TM4、TM5 和 TM7,以及云杉林分郁闭度与 TM1 等的相关性均在 0.01 的水平上显著相关;冷杉林分郁闭度与 TM3,以及铁杉林分郁闭度与 TM1 等的相关性,均在 0.05 的水平上显著相关。桦木、栎类、桤木、软阔类和云南松等林分的郁闭度与各波段数据的相关性在 0.05 的水平上均不显著。

不同林分,其郁闭度与遥感数据之间的相关性存在差异。这些差异可能为林分垂直结构的差异所致,尤其是来自于林下灌木与草本层的影响。这是因为遥感信息不仅有上层优势树种的信息,而且还包含有下层灌木和草本层的信息。该县铁杉、冷杉和云杉林分的上层优势明显,其遥感信息主要为上层林分信息,因而其郁闭度与部分遥感数据存在显著相关性。桦木、栎类、桤木、软阔类和云南松等林分,多具有乔灌木的垂直结构,其遥感信息还混杂有丰富的下层信息,因而其郁闭度因下层信息的加入而与遥感数据的相关性不显著。

地形校正对提高森林郁闭度与遥感数据之间的相关性,因林分因波段而异。LCC 校正和 SCS 校正提高了冷杉林分郁闭度与 TM4 和 TM5 的相关性;LCC 校正使软阔类林分郁闭度与 TM4、TM5 和 TM7 在 0.01 的水平上显著相关,其相关系数均在 0.5 以上;SCS 校正使软阔类林分郁闭度与 TM5 和 TM7 在 0.05 的水平上显著相关;LCC 校正提高了铁杉林分郁闭度与 TM4 和 TM5 的相关性。LCC 校正和 SCS 校正未能明显提高桦木、栎类、桤木、云南松和云杉等林分郁闭度与遥感数据的相关性。

该研究揭示了不同林分郁闭度与遥感数据之间的相关性,以及地形校正对这些相关性的影响。该研究丰富了林分郁闭度的遥感知识,这对林分郁闭度遥感具有重要的应用价值。

致谢: 该项研究得到中国科学院地理科学与资源研究所刘纪远、邵全琴和陶福祿等的支持,在此表示感谢!

参考文献 (References):

- [1] 朱教君,康宏樟,胡理乐. 应用全天空照片估计林分透光孔隙度(郁闭度). 生态学杂志, 2005, 24(10): 1234-1240.
- [2] 李崇贵,赵宪文. 森林郁闭度定量估测遥感比值波段的选择. 林业科学, 2005, 41(4): 72-77.
- [3] 刘大伟,孙国清,庞勇,蔡玉林. 利用 LANDSAT TM 数据对森林郁闭度进行遥感分级估测. 遥感信息, 2006, (1): 40-42.
- [4] 蔡学成,杨永彰. 基于中巴资源卫星数据的森林郁闭度估测研究. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 10961-10962.
- [5] 高云飞,李智广,杨胜天,刘宪春,曹勇. 基于 SPOT5 影像的郁闭度反演方法. 水土保持研究, 2012, 19(2): 267-270.
- [6] 李德仁,王树良,史文中,王新洲. 论空间数据挖掘和知识发现. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, 26(6): 491-499.

- [7] 杨存建,倪静,张洋,牟琳. 四川石棉森林碳密度空间数据知识挖掘及分布特征分析. 地球信息科学学报, 2011, 13(5): 579-584.
- [8] 杨存建,王琴,吴贵蜀,任平,倪静. 基于地理信息技术的树种分布知识的挖掘与发现——以四川省石棉县为例. 自然资源学报, 2012, 27(1): 17-24.
- [9] 杨存建,王琴,任平,吴贵蜀. 基于空间数据库的地类知识的发现. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 733-739.
- [10] 杨存建,张增祥,王思远. 基于空间数据库的土地利用模式知识的发现. 遥感信息, 2001, (4): 4-7.
- [11] 李明阳,张向阳,吴文浩,刘方. 森林生物量空间知识挖掘方法应用研究——以河南西峡县为例. 林业资源管理, 2011, (5): 53-59.
- [12] 邸凯昌,李德仁,李德毅. 用探测性的归纳学习方法从空间数据库发现知识. 中国图象图形学报, 1999, 4(11): 924-929.
- [13] 库向阳,许五弟,薛惠锋. 矢量空间数据库中关联规则的挖掘算法研究. 计算机应用, 2004, 24(8): 47-49.