

吕王亦庄,赵文智.河西走廊酒泉绿洲农田防护林格局与结构[J].中国沙漠,2023,43(6):237-245.

河西走廊酒泉绿洲农田防护林格局与结构

吕王亦庄^{1,2}, 赵文智^{1,2}

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站/中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学,北京 100049)

摘要: 绿洲农田防护林可以有效保护绿洲免遭风沙危害,但规格过高的防护林体系不仅消耗水资源,而且有助地和减产等负面作用,因此在景观尺度上研究农田防护林空间格局、带斑比及其结构是建立节水型绿洲的基础。酒泉绿洲位于讨赖河流域中游、河西走廊西段,是典型的干旱区绿洲。本文选择酒泉绿洲为研究对象,围绕基于遥感数据提取绿洲防护体系的数据源选择与提取方法、绿洲农田防护林体系格局及其尺度依赖性、农田防护林结构等科学问题,探讨了利用遥感数据提取农田防护林属性的方法、分析讨赖河中游农田防护林的空间格局和结构。研究表明:(1)使用哨兵-2A遥感影像,利用防护林与农作物生长的物候差异,选择合适时间的遥感数据,可以有效提取农田防护林信息,能够真实全面地反映绿洲农田防护林网的带斑比及其分布状况,计算结果与实地调查相符;(2)讨赖河中游酒泉绿洲农田防护林以新疆杨为主,农田中超过80%的林网带斑比为2.50%~7.50%,具有明显的随尺度变化特征,表现为0.1~10 km内尺度效应明显,10~20 km内随幅度增加尺度效应减弱,当幅度大于20 km时尺度效应逐渐消失;(3)农田防护林平均树高17.5 m,平均胸径25.7 cm,整体以通风结构为主,林网完整度指数普遍小于0.40,缺网断带现象明显,林网完整度较低。

关键词: 农田防护林;河西走廊;酒泉绿洲;林网结构;尺度效应

文章编号: 1000-694X(2023)06-237-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00095

中图分类号: S727.2

文献标志码: A

0 引言

在干旱荒漠区,防护体系在维持绿洲稳定和可持续性方面具有不可替代的作用。绿洲防护体系一般是由绿洲边缘防沙体系和农田防护林体系组成的复合系统,防护体系分布格局与区域风沙危害状况、被保护对象在绿洲中的位置等有关。在河西走廊绿洲和荒漠之间的过渡带建立综合防护体系是保护绿洲免遭风沙危害的有效措施,该系统主要由绿洲边缘的乔木防护带、绿洲外围人工种植的植物固沙带,以及封育保护沙丘前沿的天然植被形成的封沙育草带组成^[1]。对于河西走廊临泽北部绿洲防护体系的功能,研究者认为前缘阻沙林带能明显降低风速,是维护绿洲安全的第一道防线;植物固沙带通过增加地表覆盖可以有效降低输沙率^[2-3]。农田防护林建立在绿洲农田中,一般呈网格状或条

带状配置,林网由主林带和副林带构成,主林带间距为林带高度的25~30倍,林带宽6~18 m,多呈“窄林带、小网格”的特征^[4]。

绿洲农田防护林可以有效保护绿洲农田遭受风沙侵害,保证绿洲农业生产稳定。但农田防护林林带的遮阴、林木水分和养分消耗也会造成林缘两侧的农作物减产,即林带的胁地现象。就咸阳市王东沟农田防护林对棉花产量的影响研究表明,林带胁地效应与气候、田间水肥条件、生产水平和树种组成等诸多因素有关,总体上对0.75倍林带高度范围内的棉花产量负作用明显,在0.5H内存在严重的减产效应,一是因为林带的遮阴,二是因为林网对田间水肥的竞争^[5-6]。胡海波等^[7]研究徐州市大庙镇农田防护林带对小麦产量影响认为,农田防护林北侧和西侧树冠遮阴造成的胁地影响较重,越靠近林带影响越大;采取切断林带侧根能明显减少

收稿日期:2022-12-03; 改回日期:2023-02-20

资助项目:中国科学院战略性科技先导专项(XDA23060304)

作者简介:吕王亦庄(1996—),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为生态经济。E-mail: lvwangyizhuang@nieer.ac.cn

通信作者:赵文智(E-mail: zhaowzh@lzb.ac.cn)

林带对农作物的胁迫影响,可以明显降低距林带1H范围内小麦减产幅度,与未切断林带侧根比较小麦平均产量高7.7%。

对于水资源非常宝贵的干旱区而言,农田防护林面积过大会增加绿洲水资源消耗,而防护林面积过小则无法保证农田防护林的防护效益,因此建立水资源经济型的防护体系是绿洲建设的目标。因此,了解绿洲农田防护林结构与空间分布状况是建立资源经济型绿洲防护体系的基础,也是提高绿洲水效益的重要依据。以往对于农田防护林的研究主要在防护林的防护效益、对农田水热条件和土壤改良影响等方面。Caborn^[8]认为,平原或山地的防护林都可以通过林带的遮蔽有效改善局部小气候,缓解强风对农作物和家畜造成损伤;Thomas等^[9]调查表明奥地利东北部农田防护林可以使农田产量增加大约10%;Nuberg等^[10]研究了防护林对小麦的水利用效率和产量的作用,发现防护林可以提高小麦产量并减少早期生长用水;吴鹤吟等^[11]认为农田防护林可以通过林带增加地表粗糙度从而减小风速,其中林带的疏透度对防风效益的影响最为显著。这些研究加深了人们对农田防护林结构与防护效应之间关系的认识,也为促进防护林结构优化配置提供了科学依据。

在景观尺度上研究农田防护林结构及其空间分布是确定包括绿洲在内的农田防护林最佳配置格局的基础。对吉林省农安县前岗乡林网带斑比、优势度、连接度、环度等特征的研究,明确了东北平原林网数量、分布以及成型状况等^[12-13];范志平等^[14]对东北地区农田防护林的研究表明,林网带斑比可以度量林网在农田景观中的比例,林网连接度可以衡量林网成型状况及网格完整程度,这些指标可以用来综合评价农田防护林状况;Deng等^[15]通过分析东北防护林保护区农田防护林密度、连接度、分布均匀性等变化规律,认为林带密度逐渐增加与耕地密度增加没有明显相关性,耕地变化对农田防护林的影响较小;Shi等^[16]对吉林中西部农田防护林网的景观指数进行分类,提出了农田防护林带空间异质性综合评价的方法;对新疆玛纳斯河流域农田防护林空间配置进行研究,结果表明,防护林与农田的带斑比达到3.5%时可以有效促进当地棉花产量,大于3.5%时带斑比与棉花增产不再具有相关性,改善防护林的其他空间结构可以继续增加产量^[17-18]。

采用地面调查的方法获取农田林网的信息不仅费时费力,而且存在取样面积小不能很好反映林网信息的风险。遥感等技术为获取农田防护林网的信息提供了新的方便快捷途径,但通过遥感技术提取农田防护林尚处于发展阶段,已有的提取农田防护林的技术方法较为复杂,也存在数据源获取困难等问题^[19],对于采用哪种遥感数据源、通过哪种方法研究绿洲农田防护林及其尺度依赖关系的研究仍然不足,限制着从景观角度研究农田防护林体系结构和格局,也影响着气候变化和种植结构改变后如何科学建设和管理防护体系的实践^[20]。

河西走廊是中国重要的荒漠绿洲区,也是严重受风沙危害的绿洲区。绿洲建设过程中,沿道路、农田、渠系和村庄等栽植林带,有的地方也交织成网,有效地保障绿洲农业生产,保护了绿洲安全,为区域生态安全和经济发展提供了重要保障^[21-28],但对农田防护林体系的格局和结构了解得并不全面,成为建设节水型绿洲防护体系的知识缺陷^[29-30]。本文选择河西走廊西段的讨赖河流域典型绿洲,围绕基于遥感数据提取绿洲防护体系的数据源选择与提取方法、绿洲农田防护林体系格局及其尺度依赖性、农田防护林结构等,探讨遥感数据提取农田防护林属性的方法、分析讨赖河中游农田防护林的空间格局和结构,旨在为制定荒漠绿洲农田防护林建设的规模和布局提供科学依据。

1 研究区概况和数据处理

1.1 研究区概况

研究区选择在讨赖河流域的酒泉绿洲区。讨赖河发源于托勒牧场,上游蜿蜒于祁连山区,出山后流经嘉峪关市,进入中游酒泉盆地,流域总面积为2.81万km²,主河道全长370 km,多年平均径流量为6.37亿m³。年降水量约为270 mm,年蒸发量1 800~2 500 mm^[31]。讨赖河流域共有6河3坝11条小河沟,主要河流自西向东依次为讨赖河、洪水河、红山河、观山河、丰乐河、马营河。据酒泉气象站观测数据,多年平均气温7.3℃、降水量约84 mm、风速2.3 m·s⁻¹。酒泉绿洲农田主要靠讨赖河引水和少量地下水灌溉,农田防护林主要依赖灌溉生存。在酒泉绿洲的肃州区果园镇雷家下庄以北选择样地调查(图1)。

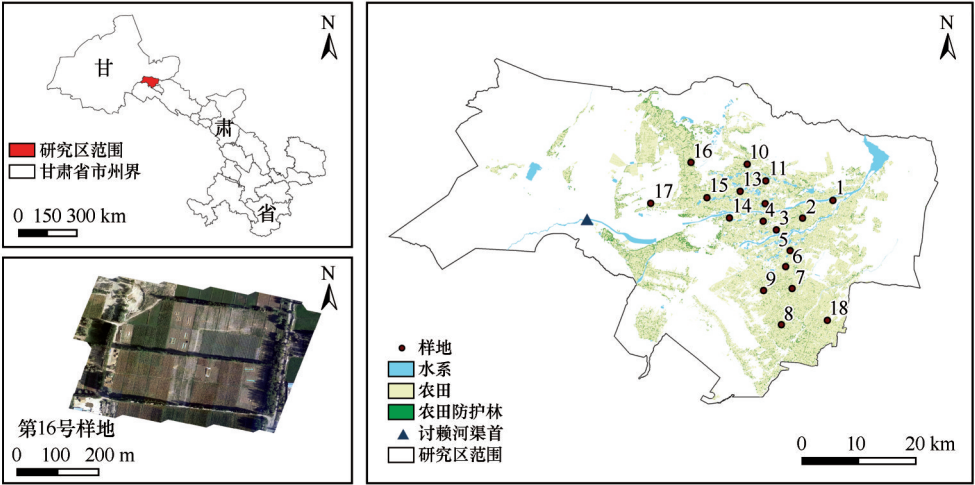


图1 研究区位置及取样点分布

Fig.1 Location of the study area and distribution of sampling points

1.2 数据来源及处理

1.2.1 遥感数据

使用 2020 年哨兵-2A 遥感影像 (Sentinel-2A) 数据根据归一化植被指数 (NDVI) 进行人机交互解译提取农田林网信息^[32-34]。考虑到酒泉绿洲农田防护林树种主要是杨树, 主要种植农作物为玉米的实际, 根据杨树的物候特征和玉米的物候特征, 选定 4、6、8 月的哨兵-2A 遥感影像分别进行人机交互解译, 对比哪个时间影像数据效果最好。选用效果最好时间的影像数据提取农田防护林和农田的信息。通过空间幅度变化来分析景观格局的尺度效

应, 即保持遥感影像分辨率不变, 借助 ArcGIS 的空间分析模块从中心点以 100 m 为步长向外逐渐增加正方形边长, 使空间幅度发生改变, 最小幅度为 100 m×100 m, 最大幅度为 90 km×90 km, 用 Fragstats 4.2.1 和 ArcGIS 软件结合实地调查, 计算不同幅度和固定粒度 (2 km) 下的农田防护林格局及其尺度依赖性。

1.2.2 防护林格局参数

针对防护林的景观形态特征, 选择带斑比、完整度指数和疏透度作为格局和结构参数^[35-40], 计算公式及相关参数的含义见表 1。

表 1 农田林带格局结构参数内涵和计算方法

Table 1 Parameter connotation and calculation method of pattern structure of farmland shelterbelts			
指标	因子含义	指标意义	公式
带斑比 P	S_b 代表林网面积, A 代表区域内需要被保护的农田面积	代表防护林的相对丰富度, 数值越大则代表防护林在农田的占比越高	$P = \frac{S_b}{A}$
完整度指数 C	i 代表地类为林地, c_{ijk} 为在临界距离之内的林地 j 与 k 的连接状况; n_i 为景观中林带的条数	代表该地块内防护林网的连续性, 反映防护林形成条带或网状的完整程度, 最大值为 100, 数值越大林网完整度越高	$C = \frac{\sum_{j=k}^n c_{ijk}}{\frac{n_i(n_i - 1)}{2}} \times 100$
疏透度 β	S_l 是林带纵断面透光孔隙总面积, S 为林带纵断面垂直投影总面积	表示林带疏密状况和透风程度的指标。林带间隙越大则疏透度越大, 疏透度达到 1 则代表不存在林带	$\beta = \frac{S_l}{S} \times 100\%$

1.2.3 防护林格局尺度效应分析

选用移动窗口法对不同尺度下的农田防护林面积与农田面积的带斑比、单位面积农田中的林带长度等指标进行尺度效应分析, 在 0~90 km 以 0.1 km 为尺度间隔进行计算 (图 2)。

1.2.4 防护林带结构分级

在研究区选择 18 块样地内 31 条林带进行了实地调查, 并使用无人机航拍结合遥感影像计算带斑比。结合实地调查, 本文划定防护林带疏透度 0~0.3 为紧密结构, 0.3~0.7 为疏透结构, 0.7~1 为通风结

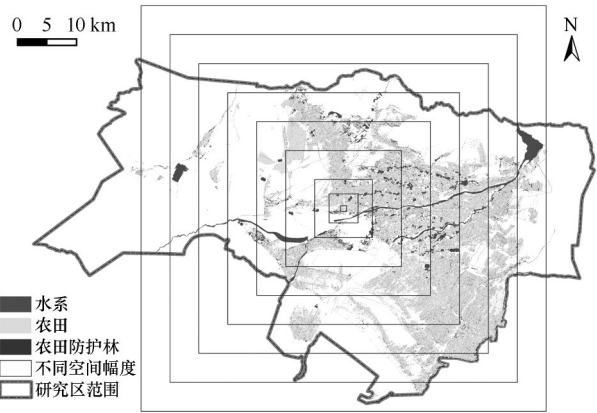


图2 移动窗口法分析农田防护林尺度效应

Fig.2 Scale effect of farmland shelterbelts on moving window method

构。研究区内农田防护林主要由新疆杨组成,平均树高为 17.5 m,平均胸径为 25.7 cm(表 2)。

表 2 实地调查统计结果

Table 2 Statistical results of field survey

样地序号	平均胸径/cm	平均树高/m	带斑比/%	疏透度
1	20.4±1.76	15.7±1.27	7.72	0.78
2	19.7±0.90	16.9±0.26	1.93	0.56
3	23.8±1.83	20.4±0.55	4.09	0.88
4	45.5±3.67	15.0±0.90	2.31	0.85
5	26.9±1.10	13.3±1.53	5.71	0.82
6	22.0±1.17	17.6±1.64	3.70	0.53
7	19.2±0.78	20.9±0.58	11.42	0.24
8	25.8±1.97	20.2±0.84	3.61	0.77
9	24.3±1.06	20.4±0.64	5.48	0.44
10	21.8±1.51	17.2±1.95	2.57	0.69
11	30.8±0.97	20.1±0.53	4.31	0.62
12	24.3±0.51	21.3±1.00	3.81	0.76
13	31.7±1.29	21.9±0.68	3.54	0.84
14	35.1±1.16	18.9±0.62	6.34	0.82
15	22.7±0.95	15.7±0.49	2.35	0.27
16	20.3±0.93	17.2±1.40	12.52	0.25
17	15.4±0.85	14.7±0.57	2.45	0.51
18	32.6±3.18	8.3±0.68	6.88	0.92

2 结果分析

2.1 根据植被物候差异提取农田防护林空间信息

基于遥感影像数据提取农田防护林格局及其

结构的空信息存在的问题主要在于遥感数据的空间分辨率不同,采用空间分辨率过低的影像数据省时省力但可能会忽略地物细节,不能区分条带状的农田防护林与块状农田,当影像空间分辨率较高时可以更好区分林地和农田,但这类遥感影像数据可获得性较低。此外,农田防护林与农作物在植被生长季内表现出相同的遥感特征,如果影像选择时间不当难以区分林带和农作物。本文在酒泉绿洲的肃州区果园镇雷家下庄附近选择样地,样地中农田面积约 7 hm²,长约 290 m,宽约 240 m,以大豆和玉米为主要农作物,整体长势良好。样地中农田防护林由杨树构成,4月上旬展叶,10月上旬落叶,农作物在4月中旬播种,4月下旬逐渐出苗。基于二者的物候差异,选择不同时间提取林带和农田信息,确定提取的最佳时间。

图 3 为样地在 4 月 3 日、6 月 2 日、8 月 1 日的哨兵-2A 遥感影像、对应的 NDVI 影像和植被提取结果,从时序变化可以看出植被范围明显变化,其中 4 月 3 日的遥感影像可以看出明显呈条带状分布在农田周围的农田防护林,因此使用 10 m 分辨率的哨兵-2A 遥感数据,根据 NDVI 遥感影像提取植被范围,并结合人机交互解译,可以较好地提取出农田防护林的分布范围。对 4 月 3 日的遥感影像提取结果进行 Kappa 分析,精度达到 80%。这说明,采用 4 月上旬的遥感影像可以较好地提取农田防护林的空间信息。

2.2 农田防护林格局及其尺度依赖性

由窗口移动法计算不同尺度下农田防护林带斑比、单位面积农田中的林带长度,可以看出随着尺度变化均表现出明显的尺度依赖性。根据曲线的变化特征,将尺度效应分为 3 个区间:在 0.1~10 km 区间,指标随幅度增加而剧烈波动,尺度效应明显;10~20 km 区间,指标随幅度增加逐渐减小,尺度效应渐弱;20~90 km 区间,指标保持稳定,尺度效应逐渐减小至消失。

不同尺度下各指标的变异系数区间相似,尺度依赖性最强的空间幅度均在 0.5 km 以内。带斑比的变异系数为 0.24%~219.67%,峰值出现在 0.4 km,每公顷农田中的林带长度的变异系数为 0.15%~235.17%,峰值出现在 0.1 km(图 4)。

不同尺度区间指标均表现出相似的变化情况,尺度依赖性随幅度增加呈下降趋势,当空间尺度大

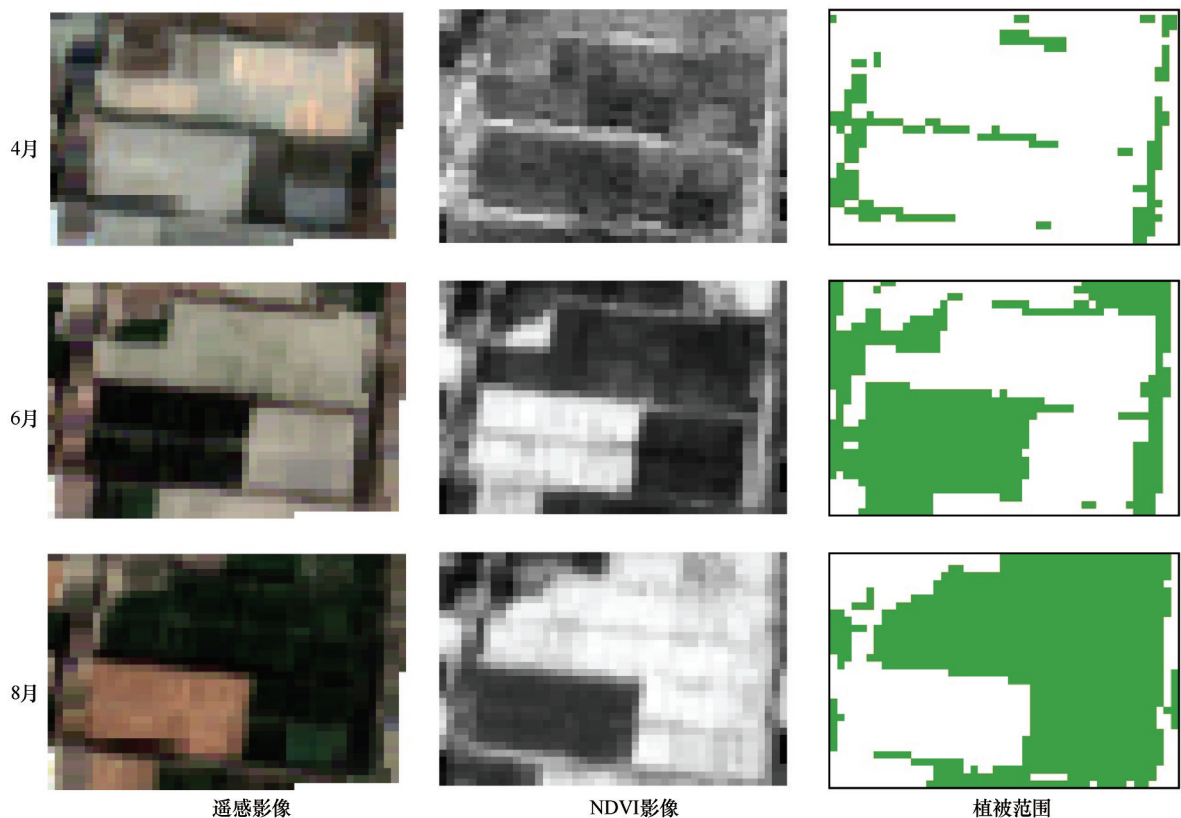


图3 4、6、8月遥感影像及提取的林带信息特征

Fig.3 Remote sensing image and extraction of shelterbelts from April, June and August

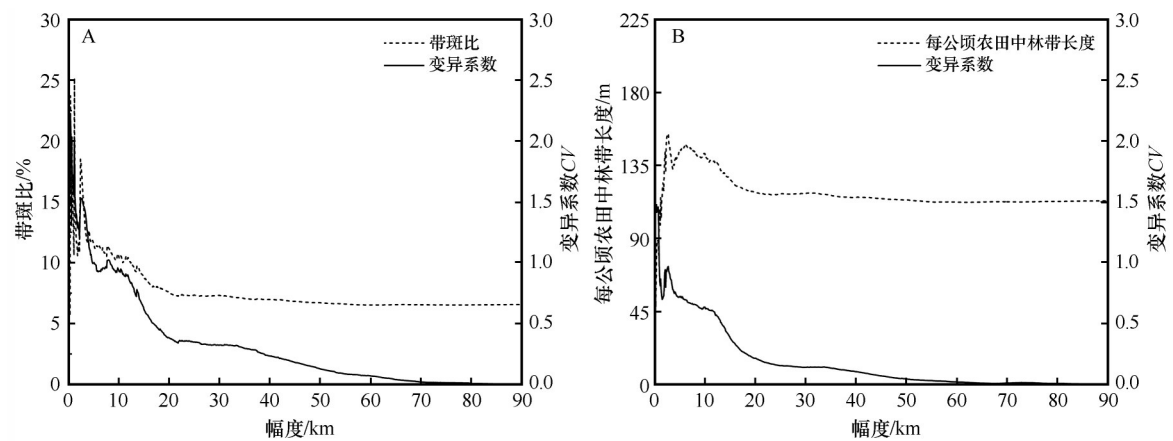


图4 农田防护林结构的尺度效应

Fig.4 Scale effect of farmland shelterbelts structure

于 20 km 时各指标变异系数变化不明显,尺度依赖性逐渐消失。当尺度大于 20 km 时估计标准误差小于 1%,不同尺度间带斑比均值也在 1% 以内变化,这一区间的带斑比平均值为 6.89%(图 4)。

2.3 农田防护林结构特征

研究区内的林带结构通风结构占 54.4%,疏透结构占 33.3%,紧密结构占 18.2%。综合遥感影像和无

人机数据计算 31 条有效林带数据的带斑比,对计算结果进行频率分级统计,其中 77.42% 的数据位于 2.50%~7.50%,整体均值为 5.93%(图 5)。

以 2 km 为粒度对研究区进行随机采样,指标结果分布频率如图 6 所示。

由带斑比的频率分布结果可知,研究区中 81.18% 的带斑比位于 2.50%~7.50%,呈明显集中分布,平均值为 4.39%,与实地调查结果误差小于 2%,

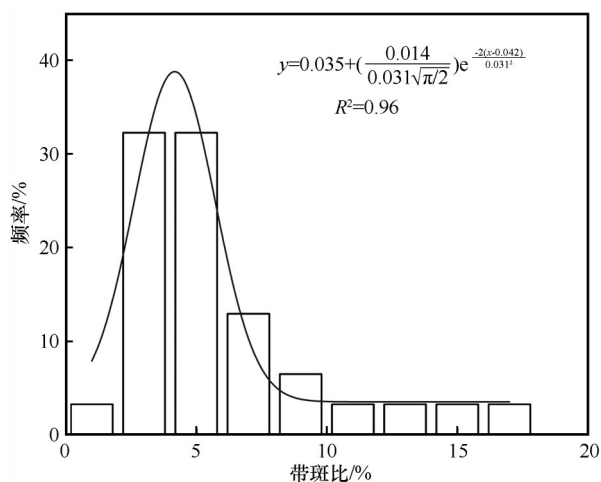


图5 实地带斑比频率分布

Fig.5 Frequency distribution of ratio of belt to patch of field survey

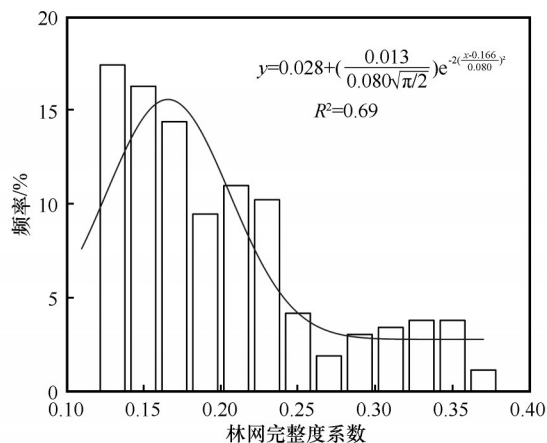
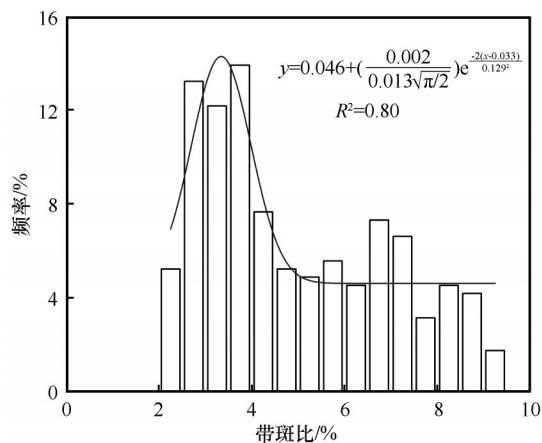


图6 2 km粒度下景观结构指数的频率分布

Fig.6 Frequency distribution of indexes at 2 km grain

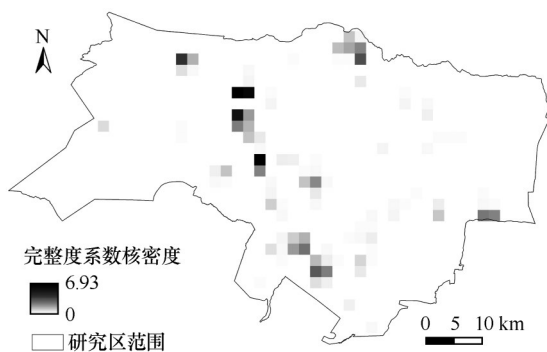
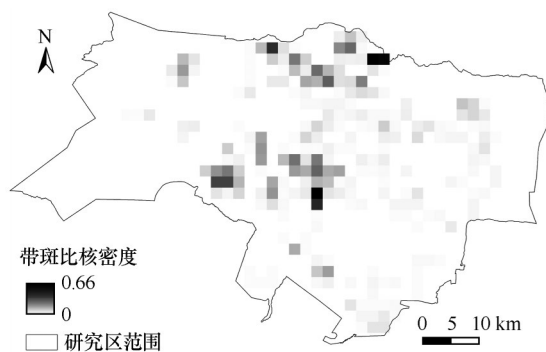


图7 防护林结构核密度分布

Fig.7 Nuclear density distribution of shelterbelts structure

3 讨论

以往对于绿洲农田防护林的调查多采用实地调查,如朱教君等^[41]在内蒙古察右中旗选择252 m×

基本一致;由林网完整性指数的分级结果可知,研究区内绝大多数农田防护林完整性指数在0.40以内,整体完整性较差,普遍存在林网断带的情况,没有形成连续性较好的条带状结构,这一结果也在实地调查中得到验证。

根据采样结果,对2 km粒度下的景观结构指数进行核密度分析。由图7可以看出,在渠首和湿地附近带斑比和完整性指数出现聚集,其他位置有零散分布的峰值。

以讨赖河渠首为起点,以5 km为步长,对不同距离下的农田防护林带斑比和完整性进行统计分析。由图8可知,带斑比在距离渠首10 km以内时处于较高水平,随后在10~55 km范围内波动变化,完整性指数在不同距离上都保持波动,与渠首没有明显的距离关系。

150 m和359 m×246 m样地、李永平等^[42]在陕北榆林风沙区选择150 m×500 m的样地,都进行过农田防护林的实地调查,但这种调查方法主要反映农田防护林结构和防风效益之间的关系,受到工作量和

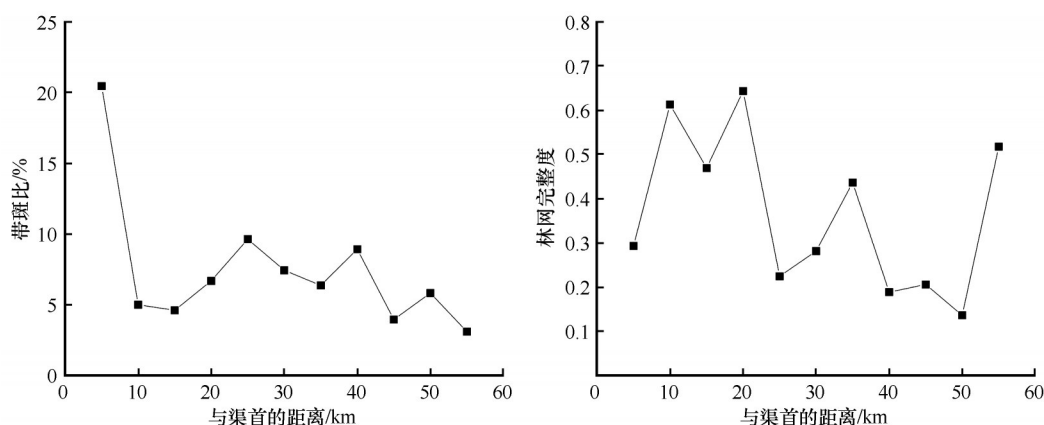


图8 防护林结构与渠首的距离关系

Fig.8 Correlation of shelterbelts structure and distance from the head of the canal

样地大小的限制,不能反映当地绿洲防护林带斑比及其分布格局,也不能从水资源分配的角度考虑农田防护林的实际分布情况。实地调查获得数据真实性强,能够有效反映农田防护林生长状况、林带疏透度等,但调查的样地面积有限,很难反映大尺度农田林网的信息^[43-45]。

目前研究中对于遥感影像的选择主要是MODIS数据和Landsat卫星影像,其中MODIS数据分辨率为500 m、重访周期为1天,Landsat卫星影像分辨率为30 m、重访周期为16天,二者时空分辨率较低均无法有效观测到农田防护林实际分布,也不能及时反映农田防护林和农作物随时间的变化情况。哨兵-2A遥感影像数据空间分辨率为10 m,重访周期为5天,能够更好地保证遥感影像时效性和准确性,从而能够进行大尺度景观格局的计算。

使用10 m分辨率的哨兵-2A遥感数据,采用窗口移动法计算不同尺度下的带斑比,其中81.18%位于2.50%~7.50%,平均值为4.39%,与实地调查结果误差小于2%,也进一步说明采用10 m分辨率的哨兵-2A遥感数据调查绿洲农田林网是可行的。在提取农田防护林的过程中,本文从防护林与农作物的物候差异入手,通过生长期的差异能够有效提高农田防护林的空间信息。这一方法可以进一步对河西走廊其他绿洲农田防护林进行量化研究。

本文通过移动窗口法对讨赖河中游绿洲农田防护林的尺度效应进行了计算,当空间幅度大于20 km时尺度效应逐渐消失,可以认为研究尺度达到20 km时能够较好反映研究区农田防护林格局的基本情况。在此基础上,本文对研究区的绿洲防护林结构特征进行深入分析,发现讨赖河中游的绿洲

农田防护林与东北防护林保护区和新疆玛纳斯河流域相比^[15,17],林网带斑比介于二者之间,但林网完整度明显弱于东北防护林保护区,与新疆玛纳斯河流域相似,这可能是西北干旱区绿洲农田林网的特点。带斑比、优势度、连接度、环度等指标能够充分反映林网数量、分布以及成型状况,在宏观描述绿洲农田防护林结构时具有较好的普适性,也便于对比不同地区的农田林网现状,而当只存在农田防护林和农田两种景观组分时,指标间相关性较高,可以用完整度和带斑比概括。

4 结论

使用哨兵-2A遥感影像结合防护林与农作物生长的物候差异可以有效提取农田防护林空间信息,也能够真实全面地反映绿洲农田防护林网的带斑比及其分布状况。

根据实地调查,讨赖河中游农田防护林以新疆杨为主,平均树高约17.5 m,平均胸径为25.7 cm,以通风结构为主,林网完整度指数普遍小于0.40,网状或带状结构完整度较低;

通过遥感影像计算得知,研究区中超过80%的带斑比分布在2.50%~7.50%,依赖性特征明显,表现在0.1~10 km内尺度效应明显,10~20 km内随幅度增加尺度效应减弱,当幅度大于20 km时尺度效应逐渐消失。

致谢:魏乐民协助野外调查工作,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] Su Y, Zhao W, Su P, et al. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: a case study in Hexi Corridor, northwest

- China[J].Ecological Engineering,2007,29:117-124.
- [2] Zhao W, Hu G, Zhang Z. Shielding effect of oasis-protection systems composed of various forms of wind break on sand fixation in an arid region: a case study in the Hexi Corridor, north-west China[J].Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology,2008,33:119-125.
 - [3] 何志斌,赵文智,屈连宝.黑河中游绿洲防护林的防护效应分析[J].生态学杂志,2005(1):79-82.
 - [4] 刘钰华.新疆绿洲防护林体系[J].干旱区资源与环境,1995(4):187-192.
 - [5] 刘康,陈一鹏.农田防护林效益及其对农作物产量的影响[J].水土保持通报,1993(5):39-43.
 - [6] 刘康,朱玉伟,孙万忠,等.新疆杨农田防护林胁地影响的研究[J].新疆环境保护,1996(4):36-43.
 - [7] 胡海波,张金池,王殿平,等.徐淮平原农田防护林带(网)对小麦产量的影响[J].南京林业大学学报,1997(4):3-7.
 - [8] Caborn J M. The influence of shelter-belts on microclimate[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1955, 81:112-115.
 - [9] Thomas G, Josef E, Enno B, et al. Landscape structures (hedgerows) as adaptation measure to climate change in semi-arid regions[C]//Sustainable Development and Bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, 2009.
 - [10] Nuberg I, Mylius S. Effect of shelter on the yield and water use of wheat[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2002,42(6):773-780.
 - [11] 吴鹤吟,张淑艳.农田防护林防护效益研究综述[J].现代农业科技,2018(19):177-178.
 - [12] Liu C, Zheng Z, Cheng H, et al. Airflow around single and multiple plants[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 252:27-38.
 - [13] 周新华,孙中伟.试论林网在景观中布局的宏观度量与评价[J].生态学报,1994(1):24-31.
 - [14] 范志平,关文彬,曾德慧,等.东北地区农田防护林高效多功能经营的指标体系及标准研究[J].应用生态学报,2001(5):701-705.
 - [15] Deng R, Wang W, Li Y, et al. Analysis of changes in shelterbelt landscape in northeast China[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 15(5): 11655-11668.
 - [16] Shi X, Li Y, Deng R. A method for spatial heterogeneity evaluation on landscape pattern of farmland shelter belt networks: a case study in midwest of Jilin Province, China[J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(1):48-56.
 - [17] Li X, Liu L, Xie J, et al. Optimizing the quantity and spatial patterns of farmland shelter forests increases cotton productivity in arid lands[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2020, 292:106832.
 - [18] 杨书雅,杨会巾,刘丽娟,等.玛纳斯河流域绿洲农田防护林景观格局评价[J].生态学杂志,2017(6):1690-1698.
 - [19] Yang Z, Dong J, Qin Y, et al. Integrated analyses of PALSAR and Landsat imagery reveal more agroforests in a typical agricultural production region, North China Plain[J]. Remote Sensing, 2018, 10(9):1323.
 - [20] 朱教君.防护林学研究现状与展望[J].植物生态学报,2013,37(9):872-888.
 - [21] Robert G. Trees as technology: planting shelterbelts on the Great Plains[J]. History and Technology, 2009, 25:325-341.
 - [22] Brandle J R, Hodges L, Zhou X H. Windbreaks in North American agricultural systems[J]. Agroforestry Systems, 2004, 61:65-78.
 - [23] Chendev Y G, Sauer T J, Gennadiev A N, et al. Accumulation of organic carbon in chernozems (Mollisols) under shelterbelts in Russia and the United States[J]. Eurasian Soil Science, 2015, 48(1):43-53.
 - [24] Torita H, Satou H. Relationship between shelterbelt structure and mean wind reduction[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 145(3/4):186-194.
 - [25] Thevs N, Streng E, Aliev K, et al. Tree shelterbelts as an element to improve water resource management in Central Asia[J]. Water, 2017, 9(11):842.
 - [26] Plate E J. Aerodynamics of shelter belts[J]. Agricultural Meteorology, 1971, 8(3):203-222.
 - [27] Cleugh H A. Effects of windbreak structure on wind flow[J]. Agroforestry Systems, 1998, 41(1):55-84.
 - [28] Kort J, Collins M, Ditsch D. A review of soil erosion potential associated with biomass crops[J]. Biomass & Bioenergy, 1998, 14(4):351-359.
 - [29] 封斌,高保山,麻保林,等.陕北榆林风沙区农田防护林结构配置与效益研究[J].西北林学院学报,2005(1):118-124.
 - [30] 刘丽霞,王辉,孙栋元,等.绿洲农田防护林系统土壤蒸发特征研究[J].干旱区资源与环境,2008(1):162-166.
 - [31] 孙旭,高岗,刘静,等.河套灌区两类农田防护林防护效益对比研究[J].林业资源管理,2009(4):85-91.
 - [32] Mu S, Li B, Yao J, et al. Monitoring the spatio-temporal dynamics of the wetland vegetation in Poyang Lake by Landsat and MODIS observations[J]. Science of The Total Environment, 2020, 725:138096.
 - [33] Dronova I, Gong P, Wang L. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115:3220-3236.
 - [34] Li J, Wang X, Bai L, et al. Quantification of lateral seepage from farmland during maize growing season in arid region[J]. Agricultural Water Management, 2017, 191:85-97.
 - [35] 姜凤岐,周新华,付梦华,等.林带疏透度模型及其应用[J].应用生态学报,1994(3):251-255.
 - [36] 关文彬,李春平,李世锋,等.林带疏透度数字化测度方法的改进及其应用研究[J].应用生态学报,2002(6):651-657.
 - [37] 朱金兆,贺康宁,魏天兴.农田防护林学[M].北京:中国林业出版社,2010:71-109.
 - [38] 曹新孙,姜凤岐,雷启迪.自由林网对农田地形的影响[J].生态学报,1981(2):112-116.

- [39] 曹新孙,姜凤歧,朱廷耀.对“三北”农田防护林建设的几点意见[J].林业科技通讯,1980(3):16-19.
- [40] 沈言俐,杨诗秀,段新杰,等.防护林带的排水及耗水作用初步分析[J].灌溉排水,1999(2):38-40.
- [41] 朱教君,姜凤歧,范志平,等.林带空间配置与布局优化研究[J].应用生态学报,2003(8):1205-1212.
- [42] 李永平,冯永忠,杨改河.北方旱区农田防护林防风效应研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(6):92-98.
- [43] 葛玉祥,毕广有.平原地区杨树农田防护林生态功能评价[J].防护林科技,2018(5):41-42.
- [44] 常学向,赵文智.荒漠绿洲农田防护树种二白杨生长季节树干液流的变化[J].生态学报,2004(7):1436-1441.
- [45] 邓荣鑫,张树文,李颖.基于田间尺度的东北农田防护林防护效应分析[J].生态学报,2009(9):1756-1762.
- [46] 宗萍萍,鲍玉海,杨吉华,等.黄泛沙地小网格农田防护林网防护效应的研究[J].水土保持学报,2005(6):112-115.

The structure and pattern of farmland shelterbelts in Jiuquan Oasis of Hexi Corridor

Lv Wangyizhuang^{1,2}, Zhao Wenzhi^{1,2}

(1. Chinese Ecosystem Network Research Linze Inland Basin Research Station / Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Farmland shelterbelts can provide effectively protection for farmlands against wind storms. However, completely constructed shelterbelt systems not only need much water resource, but also have some negative influences like land threaten and yield reduction. Thus, studying the spatial distribution of farmland shelterbelts, its structure, and the ratio of belt to patch at landscape scale is the basis of building water-saving oases. Jiuquan oasis, located in the middle course of Taolai River in western Hexi Corridor, is a typical arid oasis. In this paper, Jiuquan oasis was selected as the research object to study the method of data source selection and oasis protection system extraction based on remote sensing, the pattern and scale dependence of oasis farmland shelterbelts system, farmland shelterbelt structure and some other scientific problems. Then, the method of extracting farmland shelterbelts' attributes from remote sensing was discussed, and the spatial pattern and structure of farmland shelterbelts in the study area was analyzed. The results showed: (1) the Sentinel-2A remote sensing images combined with the phenological difference between shelterbelts and crop could extract farmland shelterbelts effectively, and reflect the ratio of belt to patch and its distribution truly and comprehensively. The calculated results were consistent with the field survey. (2) the farmland shelterbelts in the middle course of Taolai River were dominated by *Populus alba* var. *pyramidalis*. More than 80% of farmland shelterbelts had the ratio of belt to patch between 2.50%–7.50% and had obvious scale effect. The scale effect was obvious within 0.1–10 km, and decreased within 10–20 km with the increasing extent, and disappeared gradually when the extent was greater than 20 km. (3) the farmland shelterbelts had an average tree height of 17.5 m and an average DBH of 25.7 cm. The overall shelterbelts were dominated by ventilating structure, and the phenomenon of lacking network and broken belts was obvious. The integrity of shelterbelt networks was low, where the integrity index was below 0.4 generally.

Key words: farmland shelterbelts; Hexi Corridor; Jiuquan oasis; structure of shelterbelts network; scale effect