

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020339

引用格式: 邓小进,井长青,郭文章,等. 准噶尔盆地不同土地利用类型地表反照率研究[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):173-183. (Deng X J,Jing C Q,Guo W Z,et al. Surface albedos of different land use types in the Junggar Basin[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(3):173-183.)

准噶尔盆地不同土地利用类型地表反照率研究

邓小进¹, 井长青¹, 郭文章¹, 闫豫疆², 陈宸¹

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆草地资源与生态重点实验室,乌鲁木齐 830052;
2. 新疆农业大学经济兴贸经济学院,乌鲁木齐 830052)

摘要: 研究准噶尔盆地不同土地利用类型地表反照率特征,为揭示在区域尺度上不同土地利用类型对气候变化的生物地球物理机制提供科学依据。选取 2000—2018 年遥感反演地表反照率数据及 2000 年、2010 年和 2018 年 3 期土地利用数据,运用统计学方法分析准噶尔盆地不同土地利用类型在短波(0.3~2.5 μm)、近红外(0.76~3.0 μm)、可见光(0.35~0.76 μm)地表反照率的时空变化特征及其年际变化趋势。研究结果表明:不同土地利用类型在不同波段的地表反照率具有明显的差异特征,除了二级土地利用类型湖泊和水库坑塘外,其他一级和二级土地利用类型的地表反照率均满足近红外>短波>可见光这一特征;2010—2018 年 3 个波段的不同土地利用类型地表反照率年际变化趋势,在整体上稍显著于 2000—2010 年,且在 2010—2018 年间短波波段的一级土地利用类型均通过了 0.05 的显著性检验;准噶尔盆地 18 a 来土地利用类型地表反照率年际变化速率呈微弱的增长趋势,年际速率变化较小,整体保持稳定。研究结果将为研究区地表分光辐射及能量平衡研究奠定基础。

关键词: 准噶尔盆地;地表反照率;土地利用类型;可见光;近红外;短波

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2021)03-0173-11

0 引言

土地利用/覆被变化(land use/cover change, LUCC)在人类活动对地球表层及全球变化影响中扮演着重要的角色^[1-2],它能有效反映出人类活动对地表植被变化从而对地表反照率因子产生的影响^[3-4]。从而对植物的生长发育等生理过程发挥重要作用,进而引起局地乃至全球陆—气相互作用及气候变化^[5-6]。有研究表明,在地球中高纬度地区,通过 LUCC 引起地表反照率发生改变,局地尺度上产生的辐射强迫绝对值在某些区域已经超出了温室气体的贡献,对陆地与大气之间的能量、水汽循环产生重要的影响^[7-9]。LUCC 改变着地表的粗糙程度,而不同土地覆被类型及变化程度决定着地表反照率的变化,并在不同空间范围产生不同程度的辐射强迫;即使同一种类型 LUCC 在不同空间区域的辐射强迫也有很大的差异性^[10]。近年来,我国土地覆被发生了很大变化,这些动态变化特征对分析区域尺度上的地表反照率特征、定量评估不同类型

LUCC 十分重要。然而,人们对 LUCC 引起区域/局地尺度上地表反照率变化的驱动机理认识尚且不够^[11]。因此,要充分考虑不同土地覆被类型的空间异质性,分析 LUCC 引起地表反照率的时空变化,在区域/局地尺度上加深对土地利用类型变化内在机理及气候效应的了解,同时也为未来区域和全球土地利用决策提供一定的科学依据^[12-13]。

虽然地表反照率的时空变化特征在大区域尺度已经日益受到重视,但大多数研究都基于短波反照率,且多基于全波段辐射观测^[14-15]。而在不同的研究领域,了解不同土地利用类型的地表分光辐射及其地表反照率的特征,对区域下垫面地表能量分配和促进陆面过程模式参数化的发展具有重要的科学意义^[16]。分光辐射是不同光谱波段的反射率,但目前利用分光辐射进行的相关研究尚少,且多基于观测资料来分析分光辐射及其地表反照率变化特征,从而得到一些有意义的成果^[17-19]。有些研究结果只是初步分析了中国区域不同土地利用类型的地表反照率在 2000—2015 年的年际变化趋势,但未分析该时间段内存在土地利用类型反复变化的情况^[20],

收稿日期: 2020-10-28; 修订日期: 2021-03-11

基金项目: 自治区重点实验室开放课题“基于 CoLM 陆面模式与 RS 的新疆天然草地生产力估算研究”(编号: 2020D04037)。

第一作者: 邓小进(1986-),女,硕士,主要研究方向为草地遥感。Email: 576762545@qq.com。

通信作者: 井长青(1986-),女,博士,硕导,主要研究方向为陆面模式与气候变化。Email: jingchangqing@126.com。

本文选取 2000—2010 年和 2010—2018 年 2 个时间段未变化土地利用类型区域对准噶尔盆地展开深入探讨与分析,明确 2 个时间段内土地利用类型产生变化,分析不同土地利用类型在可见光、近红外、短波 3 个波段的地表反照率特征,并对 2 个时间段的年际变化趋势进行分析讨论。研究结果将不仅有助于全面了解准噶尔盆地各土地利用类型不同波段反照率的分光辐射变化特征,而且有助于清楚认知区域气候或陆面模式中能量模块的相关分光辐射变量的反馈响应机制,进而为研究区地表分光辐射及能量平衡研究奠定基础。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

准噶尔盆地位于新疆北部,南依北天山,北接阿尔泰山,地理坐标位于 E82. 0° ~ 93. 5°, N43. 5° ~ 48. 5°。盆地东高西低,海拔 200 ~ 1000 m,为封闭

式内陆盆地,东西长 850 km,最宽 380 km,面积约 $2.25 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。准噶尔盆地气候干燥,年均气温 6 ~ 10 ℃;降水量 100 ~ 250 mm,属温带荒漠气候。盆地中心为古尔班通古特沙漠,是我国第二大沙漠。受西风控制的影响,降水季节分配均匀,冬春降水较多,其独特的植被分布和外貌景观为我国其他荒漠地区所罕见^[21]。从土地利用类型整体来看,准噶尔盆地未利用土地面积最大,约占总面积的 60%,草地次之,为 30%;其中戈壁在未利用土地类型中的面积比例最大,为 40%,低覆盖草地占草地类型面积的 71%。已有研究中针对西北地区地表反照率的研究较少,且多集中在研究积雪和沙漠反照率,而对土地利用类型地表反照率关注更少,因此,研究不同时期土地利用类型地表反照率更具有科学意义。本文利用数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 数据及荒漠草地植被类型分布共同确定准噶尔盆地的地理位置和分布范围,研究区如图 1 所示。

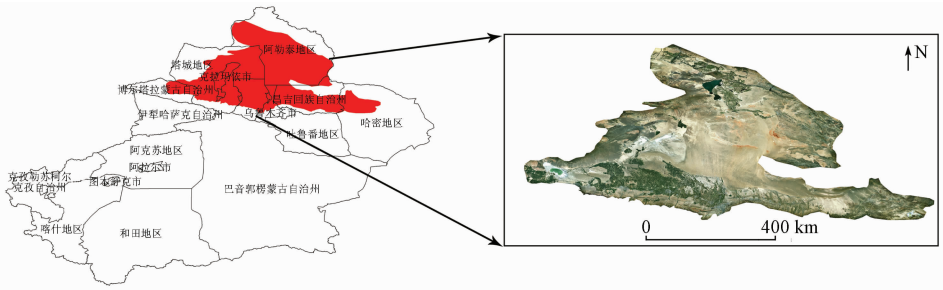


图 1 准噶尔盆地地理位置示意图
Fig. 1 Location of Junggar Basin

1.2 地表反照率产品及数据处理

本文采用 MOD09A1 的 L3、SIN 网格 V006 数据产品,MOD09A1 是 Terra 卫星经过大气辐射和气溶胶校正后的 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 地表反射率产品,为正弦曲线投影,空间分辨率 500 m,8 d 合成,涵盖 1 ~ 7 个波段反射率数据、太阳天顶角、观测天顶角及质量评价数据 (QC)。基于高覆盖、低观测角以及无云、阴影和气溶胶的原则的 MOD09A1 产品,极大地保证了产品的可用性^[22],为地表反照率的反演精度提供了保证。全球范围内的精度检验表明,MODIS 以较高的时间分辨率和空间分辨率,在地表反照率反演中绝对误差在 ± 0.02 左右,相对误差约 10%,能够满足气候模式对地表反照率精度的要求^[23-25]。本文因 2000 年获取的 MOD09A1 数据较少,覆盖不全,故去除 2000 年的原始数据,选取 2001—2018 年共 18 年的地表反照率产品进行相关研究。

对下载后的 MOD09A1 数据集利用 MRT (MO-

DIS Reprojection Tools) 工具进行投影变换、拼接、格式转换等,将 HDF 格式转化为 TIF 格式;利用 6S (second simulation of the satellite signal in the solar spectrum) 辐射传输模型进行 BRDF 模型参数运算^[26-27]等,得到 7 个光谱通道的白空反照率和黑空反照率。白空反照率表示太阳辐射完全漫反射条件的反照率,黑空反照率表示太阳辐射完全直射条件下的反照率;根据 Liang 等^[28]构建的 MODIS 窄波段和宽波段反照率转换公式,利用 IDL 编程进行批处理计算,得到短波 (0.3 ~ 2.5 μm)、近红外 (0.76 ~ 3.0 μm)、可见光 (0.35 ~ 0.76 μm) 的白空和黑空反照率数据,最后采用线性加权法得到真实的地表反照率数据^[29]。

1.3 土地利用数据

土地利用数据源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>) 的 2000 年、2010 年、2018 年共 3 期土地利用现状遥感监测数据,空间分辨率为 1 km。参考徐新良等^[30]对中国土地利

用/覆盖数据分类系统的应用,将准噶尔盆地分为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地 6 个一级类型及 22 个二级类型。为了使研究结果更加准确,将 2000 与 2010 年、2010 与 2018 年 2 个时间段的土地利用类型图进行分析比较,选取土地利用类型未变的区域作为研究对象。

2 统计分析

2.1 年平均地表反照率

为了定量分析各土地利用类型地表反照率及其变化差异,本文将不同波段的地表反照率产品逐月、逐年取平均,得到 2000—2018 年不同波段不同土地覆盖类型的年平均地表反照率,公式为:

α_{band,y,i} = mean_{12} \{ albedo_{band,month,i} \} , (1)

式中: α_{band,y,i} 为不同波段 (band)、不同土地覆盖类型 (i) 的年均地表反照率; albedo_{band,month,i} 为相应波段 band、相应土地覆盖类型 i 的月平均地表反照率。

2.2 地表反照率年变化速率

进一步采用一元线性回归法,拟合准噶尔盆地 2000—2018 年不同波段典型地表覆盖类型反照率的年际变化速率,即倾向值 b^{[31]},其计算公式为:

b = \frac{n \sum_{i=1}^n (i a_i) - (\sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n a_i)}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} , (2)

式中: n 为研究时段的总年数; a_i 为第 i 年平均地表反照率值; b 为倾向值,如果 b > 0,表示地表反照率升高;反之呈降低趋势。b 的绝对值大小反映了地

表反照率年变化的速率。

3 结果与分析

3.1 准噶尔盆地未变化土地利用类型分布格局

由一级土地利用类型分布(表 1、图 2(a))可以看出,准噶尔盆地土地利用类型主要以草地和未利用土地为主。从 2000 年到 2010 年,整个准噶尔盆地土地利用类型变化很小,除研究区的东缘及中部土地利用类型发生变化外,其他区域均无明显变化,整个研究区未变化面积约 2.16 × 10⁵ km²,占总面积的 95.8%。在此期间,耕地面积增加最大(3 104.08 km²),未利用土地面积减少最大(1 806.04 km²)。从 2010—2018 年来看(表 1、图 2(b)),研究区土地利用类型变化较大,未变化区域面积约 1.37 × 10⁵ km²,占总面积的 60.9%。其中耕地面积增加最大(7 666.67 km²),未利用土地面积减少最大(10 763.52 km²)。

表 1 2000—2018 年准噶尔盆地 6 类土地利用类型总面积与净变化

Tab. 1 Area and net area change of 6 land cover types during 2000—2018 (km ²)					
类型	面积			面积变化	
	2000 年	2010 年	2018 年	2000—2010 年	2010—2018 年
耕地	17 622.59	20 726.67	28 393.34	3 104.08	7 666.67
林地	3 466.58	3 391.43	964.55	-75.15	-2 426.89
草地	65 685.41	64 061.11	68 104.03	-1 624.30	4 042.91
水域	2 813.37	2 992.75	3 312.36	179.38	319.62
城乡工矿居民用地	1 389.10	1 610.78	2 760.70	221.68	1 149.92
未利用土地	130 308.95	128 502.91	117 739.40	-1 806.04	-10 763.52

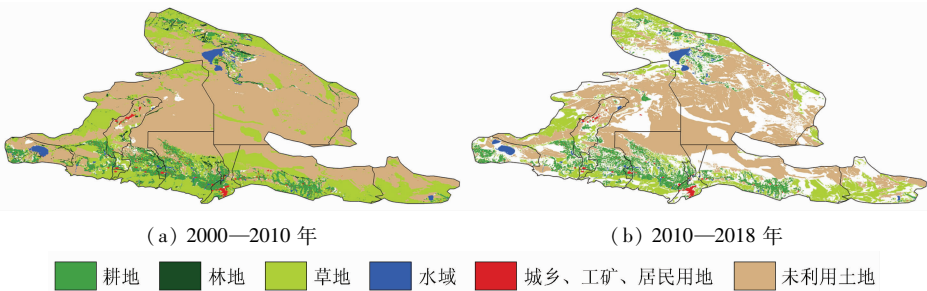


图 2 准噶尔盆地一级土地利用未变化区域土地利用类型分布图
Fig. 2 Distribution map of land types in first-class land use unchanged area of Junggar Basin

综上所述:土地利用类型变化主要发生在 2010 年之后。2000—2010 年间一级地类面积变化趋势较为缓慢,增加或减少幅度远低于 2010—2018 年。从整体来看,2000—2018 年间,整个准噶尔盆地耕地面积一直处于增长趋势,耕地面积相较于其他土地利用类型增加幅度为最大(1.08 × 10⁴ km²);林

地、未利用面积一直趋于减少趋势,未利用土地面积减少最大(1.26 × 10⁴ km²);草地面积在 2000—2010 年处于减少趋势,但在 2010—2018 年间草地面积大幅增加,究其原因,近几年新疆地区实施了退耕还林还草、天然林保护、防沙治沙治碱等一系列生态环境治理工程,使得该区土地利用类型发生了较大的变化。

图 3 为准噶尔盆地各土地利用类型的空间分布格局。从一级土地利用类型来看,耕地主要分布在准噶尔盆地的南部,2000—2010 年间耕地未变化面积为 $1.72 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中二级水田类型面积分布很

少,只有 117 km^2 (图 3(a)); 2010—2018 年未变化耕地面积为 $1.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,二级水田类型面积更少,仅有 6.58 km^2 (图 3(b))。林地主要分布在南部和东北部,2000—2010 年未变化林地面积为

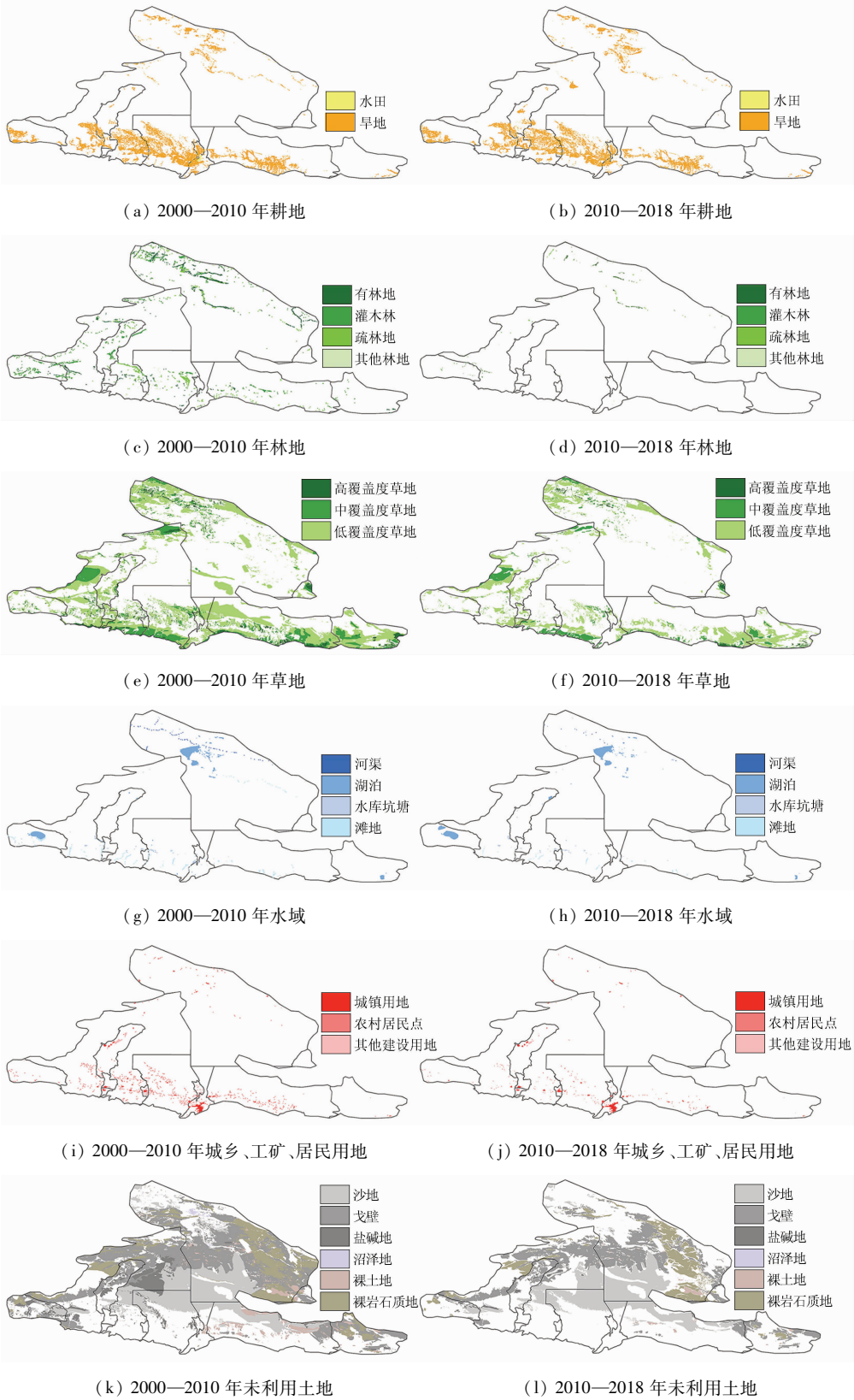


图 3 准噶尔盆地二级土地利用未变化区域土地利用类型分布图

Fig. 3 Distribution of land types in second-class land use unchanged area of Junggar basin

3 327. 25 km²,其中灌木林面积最大,约占整个林地面积的 41. 19%,有林地(32. 54%)次之(图 3(c)); 2010—2018 年间林地未变化面积较少,只有零星分布在北部,面积为 202. 84 km²(图 3(d))。草地分布区域比较广,2000—2010 年未变化草地面积为 6. 34 × 10⁴ km²(图 3(e)), 2010—2018 年未变化草地面积为 3. 17 × 10⁴ km²(图 3(f)); 其中 2 个时间段的低覆盖草地面积最大,中覆盖草地次之,高覆盖草地最少。水域主要以乌伦古湖和艾比湖为主,2000—2010 年面积为 2 617. 80 km²(图 3(g)); 2010—2018 年面积为 2 061. 89 km²(图 3(h))。城乡工矿居民地主要分布在南部,2000—2010 年面积为 1 352. 96 km²(图 3(i)),2010—2018 年面积为

665. 22 km²(图 3(j))。未利用土地分布最广,面积也最大,2000—2010 年未变化面积为 1. 28 × 10⁵ km²,占整个区域的 56. 9%(图 3(k)); 2010—2018 年面积为 8. 59 × 10⁴ km²,占整个区域的 38. 2%,其中二级戈壁类型在 2 个时间段内面积最大,沼泽地面积最小(图 3(l))。总体而言,2010—2018 年土地利用类型变化相较于 2000—2010 年比较剧烈,且未变化土地利用类型面积小于 2000—2010 年。

3.2 各土地利用类型地表反照率

本文选取 2000—2010 年及 2010—2018 年 2 个时间段的 22 种土地利用类型地表反照率的均值来定量分析准噶尔盆地土地利用类型的地表反照率特征(图 4、图 5)。

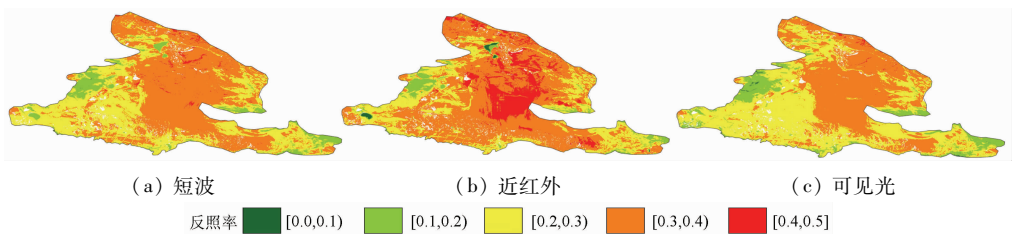


图 4 2000—2010 年均地表反照率空间分布
Fig. 4 Spatial distributions of annual averaged surface albedo from 2000 to 2010

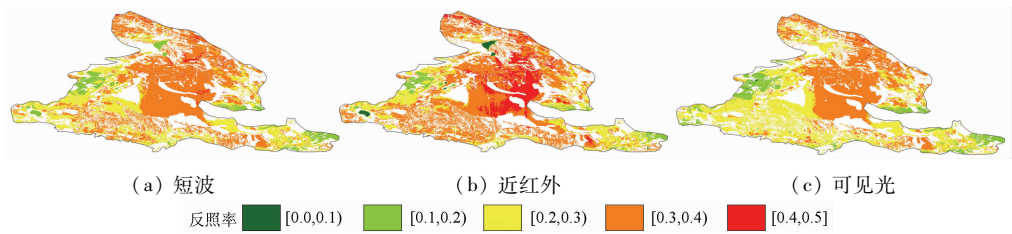


图 5 2010—2018 年均地表反照率空间分布
Fig. 5 Spatial distributions of annual averaged surface albedo from 2010 to 2018

在 2000—2010 年间,短波、近红外、可见光土地利用类型总辐射地表反照率年均值分别为 0. 302, 0. 327 和 0. 283; 在 2010—2018 年间,3 种不同波段地表反照率年均值分别为 0. 307,0. 329 和 0. 283。2 个时间段反照率值均满足近红外 > 短波 > 可见光。用同属一级类型的各土地利用类型地表反照率的均值代表一级类型地表反照率特征,从一级类型来看,2000—2010 年,3 种不同波段的一级分类地表反照率最大值都是未利用土地,其中近红外波段的地表反照率值最高(0. 332),其次是短波(0. 308)和可见光(0. 290)。在短波波段和近红外波段,最小值都是水域,分别为 0. 206 和 0. 172; 在可见光波段,最小值是城乡工矿居民用地,为 0. 232。2010—2018 年,在短波波段,最大值是未利用土地(0. 315),最小值是水域(0. 170); 在近红外波段,最大值是耕地(0. 345),最小值是水域(0. 111); 在可见光波段,最大值是未利用土地(0. 299),最小值是城乡、工矿、居民用地(0. 210)。整体而言,2 个时间段 3 种

不同波段地表反照率空间变化趋势基本一致,一级分类地表反照率的最大值与最小值所对应的土地利用类型也相同,且 2 个时间段内地表反照率均满足近红外 > 短波 > 可见光的特点。由此表明,3 种不同波段的地表反照率中,近红外和可见光波段地表反照率决定着短波地表反照率的最大值与最小值; 而且近红外波段反照率值最大,说明损失的能量最多。

从准噶尔盆地二级土地利用类型地表反照率的大小来看(图 6),2000—2010 年间的 22 种土地利用类型的地表反照率变化的空间格局与 2010—2018 年间基本一致,除了湖泊和水库坑塘类型外,其他土地利用类型 3 个波段地表反照率也均满足近红外 > 短波 > 可见光这一特征。在 2000—2010 年期间,短波、近红外、可见光波段地表反照率最小值所对应的土地利用类型分别为湖泊(0. 184)、湖泊(0. 134)、城镇用地(0. 187); 3 种波段地表反照率最大值所对应的土地利用类型分别为裸土地(0. 335)、沙地

(0.365)、裸土地(0.315)。在 2010—2018 年间,短波、近红外、可见光地表反照率最小值所对应的土地利用类型和 2000—2010 年间的相同,分别为湖泊(0.162)、湖泊(0.096)、城镇用地(0.197);3 种不同波段地表反照率最大值所对应的土地利用类型都是裸土地,分别为 0.348,0.383 和 0.320。整体而

言: 2000—2010 与 2010—2018 年间同种波段所对应的土地利用类型地表反照率差值较小,相同的土地利用类型在短波、近红外及可见光波段地表反照率值差异也比较明显,这充分说明地表反照率的空间异质性。

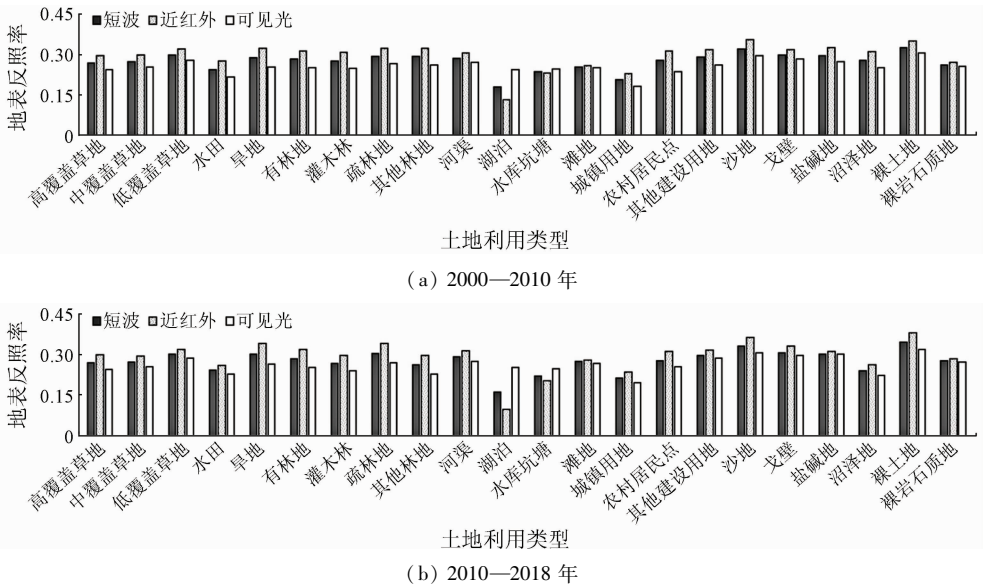


图 6 各土地利用类型地表反照率统计值

Fig. 6 Statistical values of surface albedo for each land use type

3.3 2000—2018 年各土地利用类型地表反照率变化趋势

从 2000—2010 年间准噶尔盆地各土地利用类

型年均地表反照率年际变化趋势来看(表 2),不同土地利用类型在各波段地表反照率变化趋势各不相同,一级和二级土地利用类型地表反照率的变化趋

表 2 2000—2010 各土地利用类型地表反照率年际变化趋势值

Tab. 2 Annual variation trend value of surface albedo of each land use type from 2000 to 2010

一级类型(编号)	二级类型(编号)	可见光斜率		近红外斜率		短波斜率	
		一级类	二级类	一级类	二级类	一级类	二级类
耕地(1)	水田(11)	-0.001 4	0.001 18	0.000 1	0.001 53	-0.000 9	0.001 09
	旱田(12)		-0.001 41		0.000 05		-0.000 88
林地(2)	有林地(21)	-0.000 5	-0.000 03	0.000 4	0.000 43	-0.000 3	-0.003 81
	灌木林(22)		-0.000 80		0.000 22		-0.000 51
	疏林地(23)		-0.000 59		0.000 63		-0.000 33
	其他林地(24)		-0.000 82		0.000 13		-0.000 71
草地(3)	高覆盖(31)	-0.000 5	-0.000 88	-0.000 1	-0.000 14	-0.000 5	-0.000 77
	中覆盖(32)		-0.001 03		-0.000 49		-0.001 04
	低覆盖(33)		-0.000 28		0.000 01		-0.000 30
水域(4)	河渠(41)	-0.001 4	-0.000 55	-0.001 8 * ①	-0.000 51	-0.002 5 *	-0.000 95
	湖泊(42)		-0.001 62		-0.002 63 *		-0.003 28 *
	水库坑塘(43)		-0.000 97		-0.000 67		-0.001 37
	滩地(46)		-0.001 39		0.000 46		-0.000 73
城乡、工矿、居民用地(5)	城镇用地(51)	-0.001 4	-0.000 95	-0.000 5	-0.000 61 *	-0.001 2	-0.001 12
	农村居民点(52)		-0.001 21		-0.000 08		-0.000 85
	其他建设用地(53)		-0.003 59		-0.001 52		-0.002 81 *
未利用土地(6)	沙地(61)	-0.001 0	-0.000 94	-0.000 2	-0.000 53	-0.000 8	-0.000 93
	戈壁(62)		-0.000 87		-0.000 07		-0.000 69
	盐碱地(63)		-0.003 31		-0.000 50		-0.002 15 *
	沼泽地(64)		-0.000 57		0.000 51		-0.000 47
	裸土地(65)		-0.000 12		-0.000 11		-0.000 07
	裸岩石质地(66)		-0.000 33		-0.000 10		-0.000 28

① * 表示通过 0.05 的显著性检验。

势也不同。在可见光波段,一级和二级土地利用类型均未通过 0.05 的显著性检验。在近红外波段,一级土地利用类型水域和二级土地利用类型湖泊、城镇用地通过 0.05 的显著性检验,分别以每年 0.001 8, 0.002 63 和 0.000 61 速度在减少,其他土地利用类型均未有显著趋势。在短波波段,一级土地利用类型只有水域通过了显著性水平检验,并以每年 0.002 5 的速度显著减少;二级土地利用类型的湖泊、其他建设用地、盐碱地的地表反照率速率都具有显著的减少趋势,其中湖泊的减少速度最快,为 (0.003 28), 剩余的土地利用类型都未通过 0.05 的显著性检验。在 2000—2010 年间,各土地利用类型的地表反照率在可见光、近红外、短波 3 种波段的地表反照率变化趋势均不显著,准噶尔盆地地表反照率的年际变化趋势基本保持平稳。

从 2010—2018 年各土地利用类型地表反照率的年际变化趋势来看(表 3),在可见光波段,只有滩地和沙地通过 0.05 的显著性校验,分别以每年

0.003 19,0.004 62 的速度显著减少,其他土地利用类型均未通过 0.05 的显著性校验。在近红外波段,一级土地利用类型除了水域通过了 0.05 显著性检验,以每年 0.008 4 的速度显著减少之外,其他类型均未有显著的变化趋势;二级土地利用类型只有河渠和湖泊通过了 0.05 的显著性水平检验,并分别以每年 0.004 35,0.009 14 的速度减少,其他土地利用类型均没有通过显著性校验。在短波波段,一级土地利用类型均通过 0.05 的显著性校验,其中在水域类型减少最快,以每年 0.004 7 的速度在减少;二级土地利用类型只有水库坑塘通过了 0.05 的显著性校验,以每年 0.003 18 的速度显著减少,其他土地利用类型没有显著的减少趋势。综合来看,2010—2018 年的各土地利用类型地表反照率年际变化斜率值整体要高于 2000—2010 年,这充分说明 2010—2018 年土地利用类型变化频繁于 2000—2010 年。

表 3 2010—2018 各土地利用类型地表反照率年际变化趋势值
Tab.3 Annual variation trend value of surface albedo of each land use type from 2010 to 2018

一级类型(编号)	二级类型(编号)	可见光斜率		近红外斜率		短波斜率	
		一级类	二级类	一级类	二级类	一级类	二级类
耕地(1)	水田(11)	-0.003 2	-0.004 18	-0.001 3	-0.001 94	-0.002 2 * ^①	-0.003 05
	旱田(12)		-0.003 23		-0.001 29		-0.002 22
林地(2)	有林地(21)	-0.004 7	-0.005 23	-0.002 6	-0.002 92	-0.003 7 *	-0.004 09
	灌木林(22)		-0.002 44		-0.001 69		-0.002 04
	疏林地(23)		-0.003 31		-0.001 72		-0.002 50
	其他林地(24)		-0.005 88		-0.003 09		-0.004 41
草地(3)	高覆盖(31)	-0.003 9	-0.005 29	-0.002 3	-0.002 80	-0.003 1 *	-0.004 05
	中覆盖(32)		-0.002 68		-0.001 48		-0.002 06
	低覆盖(33)		-0.004 27		-0.002 47		-0.003 36
水域(4)	河渠(41)	-0.001 6	-0.006 79	-0.008 4 *	-0.004 35 *	-0.004 7 *	-0.005 60
	湖泊(42)		-0.001 44		-0.009 14 *		-0.004 97
	水库坑塘(43)		-0.002 98		-0.003 05		-0.003 18 *
	滩地(46)		-0.003 19 *		-0.002 17		-0.002 65
城乡、工矿、居民用地(5)	城镇用地(51)	-0.002 0	-0.002 06	-0.001 1	-0.000 97	-0.001 5 *	-0.001 45
	农村居民点(52)		-0.003 58		-0.002 14		-0.002 82
	其他建设用地(53)		0.000 70		-0.000 53		0.000 18
未利用土地(6)	沙地(61)	-0.003 6	-0.004 62 *	-0.002 1	-0.002 37	-0.002 9 *	-0.003 53
	戈壁(62)		-0.003 01		-0.002 03		-0.002 50
	盐碱地(63)		-0.004 21		-0.006 03		-0.005 12
	沼泽地(64)		-0.003 10		-0.003 22		-0.003 20
	裸土地(65)		-0.004 16		-0.002 52		-0.003 34
	裸岩石质地(66)		-0.002 43		-0.001 43		-0.001 91

① * 表示通过 0.05 的显著性检验。

从图 7 来看,不同波段的 22 种土地利用类型地表反照率特征差异明显。在草地类型中,2000—2010 年、2010—2018 年 3 个波段的土地利用类型所对应地表反照率均满足:低覆盖草地 > 中覆盖草地 > 高覆盖草地。耕地均满足旱田 > 水田。林地在 2000—2010 年间,各波段土地利用类型地表反照率

满足疏林地 > 其他林地 > 有林地 > 灌木林,分布比较集中;但在 2010—2018 年间,各土地利用类型分布相对零散,且反照率值满足疏林地 > 有林地 > 灌木林 > 其他林地。在水域类型中,各波段土地利用类型地表反照率均满足河渠 > 滩地 > 水库坑塘 > 湖泊;但在可见光波段,4 种土地利用类型分布相较

于短波、近红外波段分布比较密集,且地表反照率值比较接近,由此说明,水域下属的4种土地利用类型所对应地表反照率在可见光波段分光辐射区别较小。未利用土地在2个时间段差异变化较大,没有

一定的规律性;由此可见,同种波段不同土地利用类型地表反照率不同,不同波段同种土地利用类型地表反照率也存在明显的差异,这充分说明地表反照率具有一定的空间异质性。

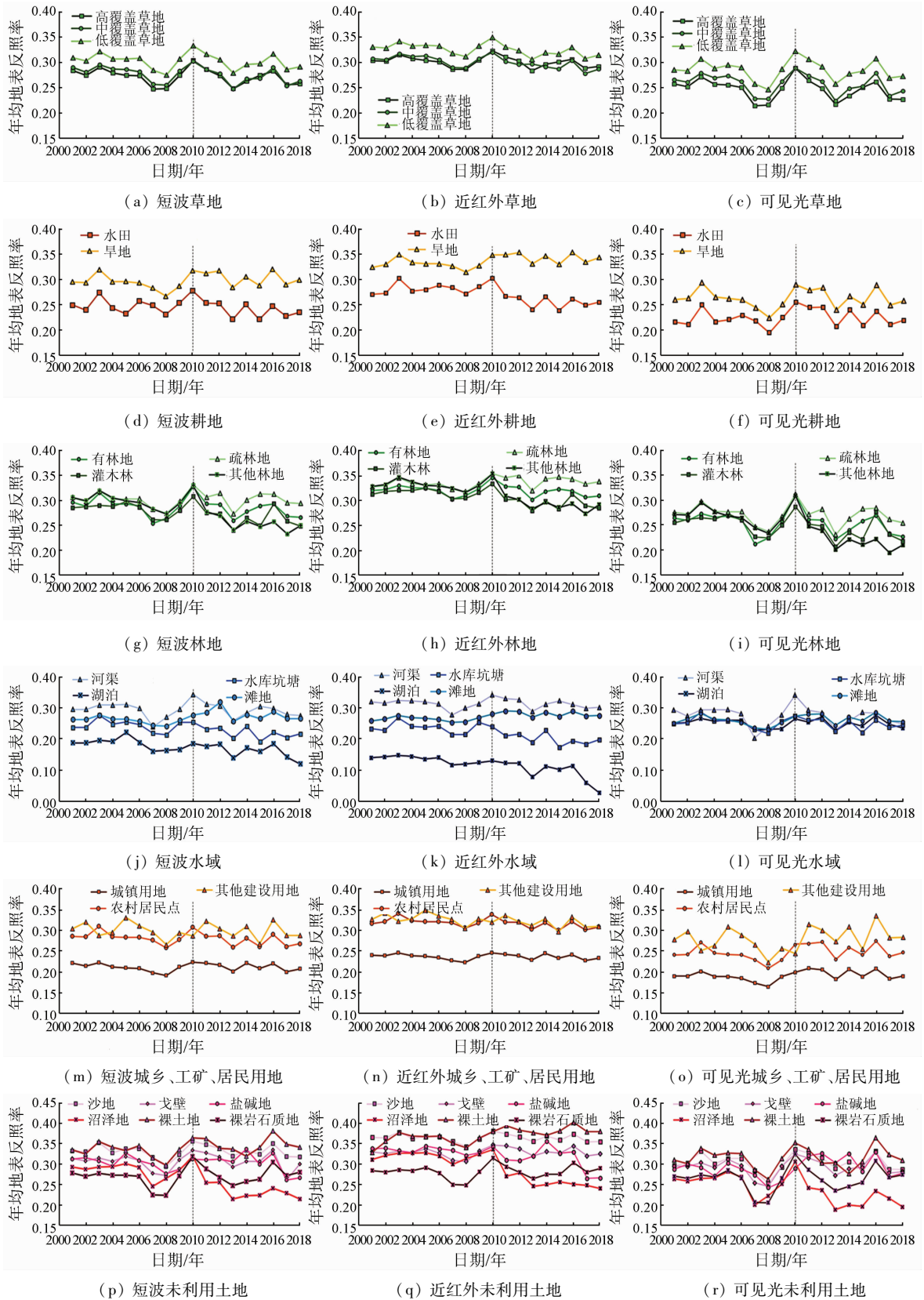


图 7 各土地利用类型不同波段反照率的年际变化趋势

Fig. 7 Annual variation trend of surface albedo in different bands for each type of land use

4 讨论

目前由人类活动造成陆表覆被变化对其影响的效应仍具有不确定性^[32]。不同土地利用类型地表反照率之所以存在差异,主要是因为地物光谱特性是随着时间、地点和环境的变化而变化,对于任一特定地表特征也不可能存在有一种唯一不变的光谱值^[33]。在 2000—2010 年间,准噶尔盆地土地利用类型变化很小,绝大部分土地利用类型的地表反照率没有显著的变化趋势,整体保持稳定;但从 2010 年开始,准噶尔盆地的土地利用类型发生了较大的变化,人类活动频繁导致土地利用变化加剧,而土地利用变化能显著影响着辐射强迫效应^[34],这与本文在 2010—2018 年的各土地利用类型地表反照率年际变化斜率值整体高于 2000—2010 年有一定的关系,究其原因主要是在 2010 年国务院发布“全国主体功能区规划”的通知后,国家实施的一系列重大战略决策等因素,对土地利用变化产生深刻的影响^[35],这也与新疆社会经济迅速发展密不可分。

本文以遥感数据为支撑,从 2000—2010 年和 2010—2018 年 2 个时间段来分析准噶尔盆地不同土地利用类型在不同波段的地表反照率变化特征,相对于以往只对单一波段进行分析,更有利于对不同波段土地利用类型间转换的辐射收支、能量平衡、气候效应进行评估。观测资料表明^[36],中国北方地区明显变暖,而植被覆盖差的未利用土地和人类活动较多的区域气温升高更为明显^[37],准噶尔盆地分布着面积最大的古尔班通古特沙漠,未利用土地面积大,地表反照率值最高,LUCC 的影响具有较强的区域代表性,对区域气候的响应也更为敏感。对准噶尔盆地分光辐射特征的研究,有利于陆表覆盖变化产生的气候效应进行探究,也更有利于地表反照率的参数化和陆面过程模式的发展。地表反照率的影响因子众多,但本研究只是从土地利用变化面积的幅度上来分析地表反照率的变化特征,却没有分析各土地利用类型对地表反照率的贡献率,也未深入探讨产生这些差异的驱动因素及其内在机理,因而在以后研究中,要综合了解陆表覆盖变化引起地表辐射收支与能量平衡的影响,并全面分析土地覆被变化引起的辐射特征及其时空变化机制。

5 结论

本文基于 MODIS 地表反照率数据,通过分光辐射研究了准噶尔盆地 2000—2010 年和 2010—2018

年短波、近红外、可见光波段各土地利用类型地表反照率的时空变化特征及其年际变化趋势,得到如下结论:

1) 2000—2010 年间不同波段各土地利用类型地表反照率的变化空间格局整体与 2010—2018 年间保持一致,不同土地利用类型地表反照率特征差异也比较明显,除了湖泊和水库坑塘类型外,其他土地利用类型地表反照率均满足近红外 > 短波 > 可见光这一特性。

2) 2000—2010 年间不同波段不同土地利用类型地表反照率变化趋势均不显著。其中在可见光波段,一级和二级土地利用类型均未通过 0.05 的显著性检验,且各土地利用类型分光辐射年际变化速率较小,基本保持稳定。2010—2018 年间 3 个波段各土地利用类型年际变化速率整体显著于 2000—2010 年间,且短波波段的一级土地利用类型均通过了 0.05 的显著性检验。

3) 准噶尔盆地土地利用类型主要以草地和未利用土地为主,除了草地类型面积在 2000—2010 年间减少后又在 2010—2018 年间增加外,其他土地利用类型在 2 个时间段均保持一致增长或减少趋势;整体而言,2010—2018 年间土地利用类型变化较剧烈于 2000—2010 年间。

在未来的研究中,有待对 LUCC 在区域尺度上对气候变化的影响进行深入探讨。

参考文献 (References):

- [1] Lawler J J, Lewis J D, Nelson E, et al. Projected land - use change impacts on ecosystem services in the United States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111 (20): 7492 - 7497.
- [2] 刘纪远, 宁 佳, 匡文慧. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789 - 802.
Liu J Y, Ning J, Kuang W H. Temporal and spatial patterns and new features of land use change in China from 2010 to 2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 73(5): 789 - 802.
- [3] Betts R A, Falloon P, Goldewijk K K, et al. Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and largescale temperature change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 142(2 - 4): 216 - 233.
- [4] Prestele R, Arneth A, Bondeau A, et al. Current challenges of implementing anthropogenic land - use and land - cover change in models contributing to climate change assessments[J]. Earth System Dynamics, 2017, 8(2): 1 - 28.
- [5] 翟 俊, 刘荣高, 刘纪远, 等. 1990—2010 年中国土地覆被变化引起反照率改变的辐射强迫[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 875 - 885.
Zhai J, Liu R G, Liu J Y, et al. Radiative forcing over China due to albedo change caused by land cover change during 1990—2010

- [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(7): 875–885.
- [6] Steffen W, Rockström J, Richardson K, et al. Trajectories of the Earth system in the anthropocene[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(33): 8252–8259.
- [7] Betts R A. Biogeophysical impacts of land use on present – day climate; Near – surface temperature change and radiative forcing[J]. *Atmospheric Science Letters*, 2000, 2(1–4): 39–51.
- [8] Hansen J, Sato M, Ruedy R. Radiative forcing and climate response [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(1997): 6831–6864.
- [9] Brovkin V, Raddatz T, Reick C H, et al. Global biogeophysical interactions between forest and climate [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(7): 251–254.
- [10] Barnes C A, Roy D P. Radiative forcing over the conterminous united states due to contemporary land cover land use albedo change [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(9): 1–6.
- [11] Myhre G, Myhre A. Uncertainties in radiative forcing due to surface albedo changes caused by land – use changes [J]. *Journal of Climate*, 2003, 16(10): 1511–1524.
- [12] Myhre G, Kvalevåg M M, Schaaf C B. Radiative forcing due to anthropogenic vegetation change based on modis surface albedo data [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(21): 1–4.
- [13] Davin E L, Noblet – Ducoudré N, Friedlingstein P. Impact of land cover change on surface climate; Relevance of the radiative forcing concept [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(13): 1–5.
- [14] 李振朝, 韦志刚, 文 军, 等. 黄土高原典型塬区冬小麦地表辐射平衡各分量特征分析 [J]. *太阳能学报*, 2009, 30(1): 12–18.
- Li Z C, Wei Z G, Wen J, et al. Analysis of land – surface radiation characteristic in winter – wheat field over the loess plateau mesa in China [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2009, 30(1): 12–18.
- [15] 郑志远, 韦志刚, 李振朝, 等. 敦煌荒漠戈壁地区裸土地表反照率参数化研究 [J]. *大气科学*, 2014, 38(2): 297–308.
- Zheng Z Y, Wei Z G, Li Z C, et al. Study of parameterization of surface albedo of bare soil over the Gobi desert in the Dunhuang region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2014, 38(2): 297–308.
- [16] 杨佳希, 李振朝, 韦志刚, 等. 稀疏植被地表分光辐射及其反照率特征研究 [J]. *太阳能学报*, 2017, 38(3): 852–859.
- Yang J X, Li Z C, Wei Z G, et al. Characteristics of solar spectral radiation and corresponding albedo in sparse vegetation region [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2017, 38(3): 852–859.
- [17] 邹基玲, 季国良. 藏北高原太阳总辐射和地表反射率的分光辐射 [J]. *太阳能学报*, 1996, 17(12): 113–117.
- Zou J L, Ji G L. The spectral characteristics of global radiation and surface albedo on Northern Tibetan plateau [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 1996, 17(12): 113–117.
- [18] Zheng Z Y, Dong W J, Li Z C, et al. Observational study of surface spectral radiation and corresponding albedo over Gobi, desert, and bare loess surfaces in northwestern China [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(3): 883–896.
- [19] 郑志远, 韦志刚, 李振朝, 等. 敦煌戈壁秋初太阳分光辐射及其反照率特征 [J]. *太阳能学报*, 2012, 33(11): 1938–1942.
- Zheng Z Y, Wei Z G, Li Z C, et al. Characteristics of solar spectral radiation and albedo during early autumn in Dunhuang Gobi [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2012, 33(11): 1938–1942.
- [20] 刘亲亲, 崔耀平, 刘素洁, 等. 中国不同土地利用类型分光辐射地表反照率研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2019, 34(1): 46–56.
- Liu Q Q, Cui Y P, Liu S J, et al. Study on surface albedo of spectral radiation of different land use types in China [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2019, 34(1): 46–56.
- [21] 许 鹏. 新疆草地资源及其应用 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993: 205.
- Xu P. Grassland resources and its application in Xinjiang [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Press, 1993: 205.
- [22] Vermote E F, Kotchenova S Y. MOD09(surface reflectance) user’s guide [EB/OL]. (2008–3) [2012–7]. <http://modis-sr.ltdri.org>.
- [23] Wang K, Liu J, Zhou X, et al. Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(D5): 1–9.
- [24] Lucht W, Schaaf C B, Strahler A H. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2000, 38(2): 977–997.
- [25] Liang S L. Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: Methods and preliminary results [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(1–2): 149–162.
- [26] 王开存, 刘晶淼, 周秀骥, 等. 利用 MODIS 卫星资料反演中国地区晴空地表短波反照率及其特征分析 [J]. *大气科学*, 2004, 28(6): 941–952.
- Wang K C, Liu J M, Zhou X J, et al. Retrieval of the surface albedo under clear sky over China and its characteristics analysis by using MODIS satellite data [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2004, 28(6): 941–952.
- [27] 陈爱军, 卞林根, 刘玉洁, 等. 应用 MODIS 数据反演青藏高原地区地表反照率 [J]. *南京气象学院学报*, 2009, 32(2): 222–229.
- Chen A J, Bian L G, Liu Y J, et al. Using MODIS data to retrieve albedo over the Qinghai – Tibet plateau [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2009, 32(2): 222–229.
- [28] Liang S, Shuey, C J, Rasse A L, et al. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II [J]. *Validation, Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(1): 25–41.
- [29] Lewis P, Barnsley M J. Influence of the sky radiance distribution on various formulations of the earth surface albedo [C]//*Proceedings of the 6th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*. France: ISPRS, 1994, 707–715.
- [30] 徐新良, 庞治国, 于信芳, 等. 土地利用/覆被变化时空信息分析方法及应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2014: 90–108.
- Xu X L, Pang Z G, Yu X F, et al. Spatial – temporal pattern analysis of land use/cover [M]. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press, 2014: 90–108.
- [31] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999, 43–47.
- Wei F Y. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: Meteorological Press, 1999, 43–47.

[32] 郑瑜晗,黄 麟,翟 俊. 陆地表层覆盖变化对地表反照率影响的四国对比[J]. 遥感学报 2020,24(7):917-932.
Zheng Y H,Huang L,Zhai J. Impacts of land cover changes on surface albedo in China,the United States,India and Brazil[J]. Journal of Remote Sensing,2020,24(7):917-932.

[33] Cao M,Prince S D,Tao B,et al. Regional pattern and interannual variations in global terrestrial carbon uptake in response to changes in climate and Atmospheric CO₂ [J]. Telus,2010,57(3):2010-217.

[34] 唐希颖,崔耀平,李 楠,等. 2000—2015 年北京市土地利用强度及其辐射反馈评估[J]. 遥感技术与应用,2020,35(3):587-595.
Tang X Y,Cui Y P,Li N,et al. Land use intensity and radiation feedback in Beijing from 2000 to 2015[J]. Remote Sensing Technology and Application,2020,35(3):587-595.

[35] 樊 杰. 中国主体功能区划方案[J]. 地理学报,2015,70(2):186-201.
Fan J. Draft of major function oriented zoning of China[J]. Acta Geographica Sinica,2015,70(2):186-201.

[36] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):238-244.
Zuo H C,Lyu S H,Hu Y Q. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years[J]. Plateau Meteorology,2004,23(2):238-244.

[37] 杨续超,张镱锂,刘林山,等. 中国地表气温变化对土地利用/覆被类型的敏感性[J]. 中国科学(D 辑:地球科学),2009,39(5):638-646.
Yang X C,Zhang Y L,Liu L S,et al. Sensitivity of surface air temperature change to land types in China[J]. Science in China Series D:Earth Sciences,2009,39(5):638-646.

Surface albedos of different land use types in the Junggar Basin

DENG Xiaojin¹, JING Changqing¹, GUO Wenzhang¹, Yan Yujiang², CHEN Chen¹

(1. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, Urumqi 830052, China; 2. School of Economics and Busines, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: This study focuses on the surface albedo characteristics of different land use types in the Junggar Basin, aiming to provide a scientific basis for the revealment of the biogeophysical mechanisms of different land use types on a regional scale. Based on the surface albedo data during 2000-2018 obtained through remote sensing inversion and the land use data of 2000, 2010, and 2018, this study analyzed the temporal and spatial variation characteristics and interannual variation trend of the surface albedos for short wave (0.3~2.5 μm), near infrared (0.76~3.0 μm) and visible light (0.35~0.76 μm) of different land use types in the Junggar Basin. It will provide a scientific basis for the understanding of the albedo characteristics of different land use types and reveal the impacts of cover change on climate change on a regional scale. The results are as follows. The surface albedos of different land use types have distinctly different characteristics for different wavebands. The surface albedos of the first- and second-level land use types are in the order of near infrared > short wave > visible light, except for the second-level land use types of lakes and reservoirs. For the interannual change trend, the surface albedos of different land use types for the three bands during 2010—2018 are slightly higher than that during 2000—2010. Moreover, all the first-level land use types in the short waveband during 2010—2018 passed the significance test of $p=0.05$. The interannual variations of surface albedos of land use types in the Junggar Basin over the past 18 years showed a weak growth trend in terms of the variation rate and were slight and stable on the whole in terms of the rate variation. The results of this study will lay a foundation for the research into the surface spectral radiation and energy balance of the study area.

Keywords: Junggar Basin; surface albedo; land use types; visible light; near-infrared; shortwave

(责任编辑: 李 瑜)