

基于遥感的黑河中游绿洲区玉米物候及其动态研究

张雨露 (青海师范大学, 青海西宁 810000)

摘要 基于 Savitzky-Golay 滤波, 利用相对阈值法和绝对阈值法, 分析 2001—2016 年黑河中游绿洲区玉米的物候信息, 对玉米的生长季开始日期、生长季结束日期和生长季长度 3 个物候参数开展分析。结果表明, 相对阈值法与绝对阈值法相比, 判断结果更加准确; 2001—2016 年的玉米生长季开始日期大约推迟 14 d, 生长季结束日期大约提前 5 d, 生长季长度大约缩短 20 d; 玉米生长季长度与生长季内积温呈负相关, 随着积温的增加, 生长季长度越来越短。

关键词 黑河中游绿洲区; 玉米物候; 物候参数

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)25-0067-04

Study on Maize Phenology and Dynamics in Oasis Region of the Middle Heihe River Based on Remote Sensing

ZHANG Yu-lu (Qinghai Normal University, Xining, Qinghai 810000)

Abstract Based on Savitzky-Golay filtering, this paper analyzed the phenological information of corn in the middle oasis of Heihe River from 2001 to 2016 by using relative threshold method and absolute threshold method. Three phenology parameters such as corn growing season start date, growing season end date and growing season length were analyzed. The results showed that the relative threshold method was more accurate than the absolute threshold method. The start date of the corn growing season from 2001 to 2016 was delayed for 14 days, and the end of the growing season was about 5 days earlier. The length of the growing season was shortened by about 20 days. The length of the growing season was mainly negatively correlated by the accumulated temperature in the growing season. As the accumulated temperature increased, the length of the growing season became shorter and shorter.

Key words Oasis region of the Middle Heihe River; Corn phenology; Phenological parameters

根据联合国粮农组织的报告, 2017 年全世界仍然有 8.15 亿人处于饥饿的状态^[1]; 在我国, 党的十八大指出要在 2020 年全面建成小康社会, 彻底消除绝对贫困^[2], 在国内外现阶段情况下, 及时而准确的农情信息对于快速识别粮食短缺区和对粮食短缺区域开展广泛而及时的粮食救助都具有重大意义。同时, 国际贸易、农业政策、农产品价格及生产政策都依赖于大范围农情信息这一信息的快速且有效获取, 这样可以降低风险并同时提高市场效率。农作物的物候期信息是最直观、有效且易被获取的农情信息, 全面掌握农作物的物候期信息对于监测农作物生长发育实时状况、实现农作物生长长期过程全监控具有重要意义。物候是指自然界以年为周期重复出现的各种生物现象的发生时间及其与环境条件(气候、水文和土壤)周期性变化的过程^[3], 该研究如无特别说明, 物候期均指农作物物候期^[4-5]。物候的研究历史十分悠久, 从古代到近代都有着多种多样的物候监测方法, 遥感技术应用于农业环境监测之前, 学界通常采用实地观测的方法获取农作物物候信息, 但这种方法需要消耗大量的人力、物力, 不利于大范围的物候监测和物候信息的提取, 而遥感技术为大范围的物候监测并提取作物信息提供了可能^[6]。该研究利用遥感技术的大范围物候信息提取的优势, 通过 NDVI 玉米生长曲线确定阈值, 从而判断玉米生长季开始日期、生长季结束日期和生长季长度^[7], 找出黑河中游绿洲区对玉米物候变化影响最大的气候因子。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 黑河流域地处青藏高原与内蒙古高原的过渡地带, 是我国西北干旱区第二大内陆河流域^[8], 介于

98°00′~101°30′E, 38°00′~42°30′N, 河流长 821 km, 流域面积 $1.3 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[9]。黑河流域南高北低, 地形复杂, 流域主要分为 3 个地貌类型区, 即上游祁连山地、下游阿拉善高原以及中游走廊绿洲平原^[9], 主要行政区包括甘州区、山丹县、临泽县、民乐县、高台县、肃南县、肃州区和金塔县。研究区位于黑河中游绿洲区, 是指黑河干流出山口莺落峡以下至正义峡之间的地势平坦区域, 为典型的温带大陆性气候, 气候干燥, 降水少、蒸发量大; 平均海拔 500~2 500 m, 年相对湿度 52%, 年日照时数 3 085 h; 典型土壤为灰棕荒漠土与灰漠土, 除这些地带性土壤以外, 还有灌淤土(绿洲灌溉耕作土)、盐土、潮土(草甸土)、潜育土(沼泽土)和风沙土等非地带性土壤; 植被为温带小灌木、半灌木荒漠植被; 主要种植的粮食作物有小麦、玉米等, 经济作物以油菜、甜菜为主^[10]。

1.2 数据来源 遥感数据采用的是下载自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 的 MOD13 陆地 3 级标准数据产品(MOD13Q1), 内容为栅格的归一化植被指数, 时间序列是 2001 年 1 月—2016 年 12 月; 气象数据为来自于中国气象数据共享网 (<http://data.cma.cn/>) 张掖站和高台站的日平均气温和降水数据, 时间是 2001—2016 年; 该研究采用的土地利用数据来自于寒区旱区科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn/>) 的“黑河生态水文遥感试验: 黑河流域土地利用覆被数据集(HiWATER: Land cover map of Heihe River Basin)”, 此数据是 30 m×30 m 的 2011—2015 年的月度地表类型覆盖数据。该研究从中提取出 2012—2015 年玉米种植范围, 再将其重分类为 250 m 分辨率的数据, 以与遥感 NDVI 数据的分辨率相匹配。

1.3 研究方法

1.3.1 滤波方法 数据滤波方法中 Savitzky-Golay 滤波(通常简称为 S-G 滤波)最初由 Savitzky 和 Golay 于 1964 年提

作者简介 张雨露(1993—), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向: 全球变化与生态水文。

收稿日期 2018-04-20

出,发表于《Analytical Chemistry》杂志^[11]。之后被广泛地运用于数据流平滑除噪,是一种在时域内基于局域多项式最小二乘法拟合的滤波方法。这种滤波器最大的特点在于在滤波噪声的同时可以确保信号的形状、宽度不变^[12]。

滤波算法的主要思想:通过取点附近固定个数的点拟合一个多项式,多项式在 x_i 的值,就给出了它的光滑数值 $g_i(g_i \in G)$ 。用 n_l 表示 x_i 左边点的个数,用 n_r 表示 x_i 右边点的个数, $p_i(x)$ 表示相对点 x_i 的一个 M 次多项式,用它在最小二乘意义下拟合这 n_l+n_r+1 个点,因此

$$g_i = \sum_{k=1}^M b_k \left(\frac{x-x_i}{\Delta x} \right)^k$$

假设横坐标 x_i 具有 $x_i+1-x_i=\Delta x$ 的均匀间距,设实测数据为 y_i ,为了使得 $p_i(x)$ 拟合测试数据,必须定义系数 b_k ,使得下式达到最优。

$$\min \sum_{i=1}^{i+n_r} [p_i(x_i)-y_i]^2$$

在对源数据进行滤波过后,NDVI 曲线变得平滑,再通过绝对阈值法以及相对阈值法确定玉米生长季开始日期以及生长季结束日期^[13]。

1.3.2 绝对阈值法和相对阈值法。绝对阈值法,就是通过土地利用数据得到的确定的玉米种植范围来确定其固定阈值,再通过阈值确定玉米的物候参数^[13-14],图 1 是绝对阈值法处理过程,这种方法简单,但是受植被空间异质性和植被类型差异的影响较大,所以该研究通过提取 2012—2015 年的土地利用数据得到实际的玉米种植范围内的 NDVI 数据,再通过确定范围里玉米的生长曲线确定相对正确的绝对阈值,最后得出玉米绝对阈值(0.18,0.40)。

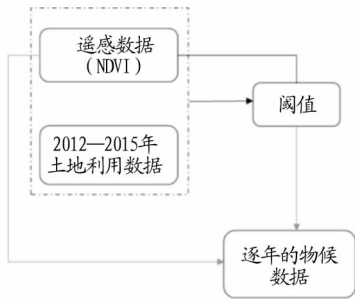


图 1 绝对阈值法玉米阈值确定过程及物候参数判断过程

Fig. 1 Corn threshold determination process by absolute threshold method and phenological parameter judgment process

相对阈值法中,先将滤波后的 NDVI 曲线分成上升与下降 2 个阶段,当 NDVI 阈值超过 NDVI 上升阶段和下降阶段期间 NDVI 最大值和最小值的特定比例时,计算相应的阈值^[15]。该研究利用的动态阈值,根据相关研究^[13],定为上下半年最大和最小值差值的 20%和 50%所对应的时间:

$$NDVI_{SOS} = NDVI_{min} + 0.2 \times (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

$$NDVI_{EOS} = NDVI_{max} - 0.5 \times (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

通过 2 种方法的确定得出玉米的物候生长季开始日期(SOS,start of season)、生长季结束日期(EOS,end of season)及生长季长度(LOS,length of season,该研究用 Length 直接表

示)作为物候判识参数^[13,16]。

2 结果与分析

2.1 玉米物候参数及验证 通过 2 种方法得出各自的 2001—2016 年玉米物候参数,利用中国气象数据共享网的农作物生长发育和田间土壤湿度旬值数据集中张掖地区的春玉米数据进行验证。表 1 是 2 种方法 SOS、EOS 与实际张掖地区春玉米出苗日期、成熟日期的误差。

表 1 玉米物候参数结果与实际物候天数误差

Table 1 The error of corn phenological parameter and actual phenological days

年份 Year	1MSOS 误差 1MSOS error	1MEOS 误差 1MEOS error	2MSOS 误差 2MSOS error	2MEOS 误差 2MEOS error
2001	-14	—	-5	—
2002	-15	-7	-3	4
2003	-13	—	2	—
2004	—	-4	—	5
2005	-10	-11	2	-3
2006	—	-1	—	5
2007	—	-2	—	5
2008	—	-4	—	8
2009	-9	-6	6	2
2010	-8	-1	5	4
2011	2	0	16	4
2012	2	1	13	5
2013	0	-4	13	-1
2014	—	—	—	—
2015	—	—	—	—
2016	—	—	—	—

注:1M 为绝对阈值法玉米,2M 为相对阈值法玉米

Note: 1M represented absolute threshold method corn, 2M represented relative threshold method corn

由表 1 可知,2 种方法比较结果表明,相对阈值法 SOS、EOS 与实际物候天数之间的差距较小,所以对玉米物候期反映较好的是相对阈值法,提取出的结果相对稳定,特别是在 EOS 的提取结果中相对阈值法具有更好的准确度,下文仅对相对阈值法下的结果进行分析。

2.2 2001—2016 年玉米物候参数变化趋势性分析 从整体变化的趋势看,10 年的趋势性变化在研究区表现十分明显(图 2)。从研究区的范围趋势上看,SOS 整体呈推迟趋势,EOS 整体处于提前趋势,LOS(生长季长度)缩短表现在研究区的大部分区域,整体上 SOS 每 10 年推迟了 14 d 左右,EOS 每 10 年提前了 5 d 左右,LOS 天数每 10 年缩短了 20 d 左右,这些趋势都是相匹配的;从空间变化上来说,在研究区的东北部和南部也就是高台县和张掖市甘州区,物候参数变化幅度较大,而在中部临泽县地区变化幅度较小。

从图 3 可以看出,研究区玉米的物候参数变化都具有较好的显著性,SOS 显著推迟,EOS 显著提前,LOS 显著缩短,并都通过了显著性检验。

2.3 玉米物候变化影响因素分析 从图 4、5、6 中可以看到玉米的生长季开始日期、生长季结束前日期和生长季长度对气温变化都有一定的响应关系,SOS 随着气温升高而推迟,EOS 和 LOS 随着气温的升高而缩短,由于气温升高变热,植物生长发育速率加快,导致成熟日期提早来临以及生长季长度缩短,而 SOS 的变化相反,这可能跟地膜覆盖有关。降水

变化对物候参数影响较小,在此区域降水影响不明显;另一方面 LOS 天数与积温呈现较好的一致性,生长季积温高,LOS 越短,生长季积温低,LOS 变长(图 7),这是积温对作物

影响发育的最直观体现。由此可见,在该区域内温度是对玉米物候变化影响最大的气候因子,生长季积温和 LOS 天数呈负相关。

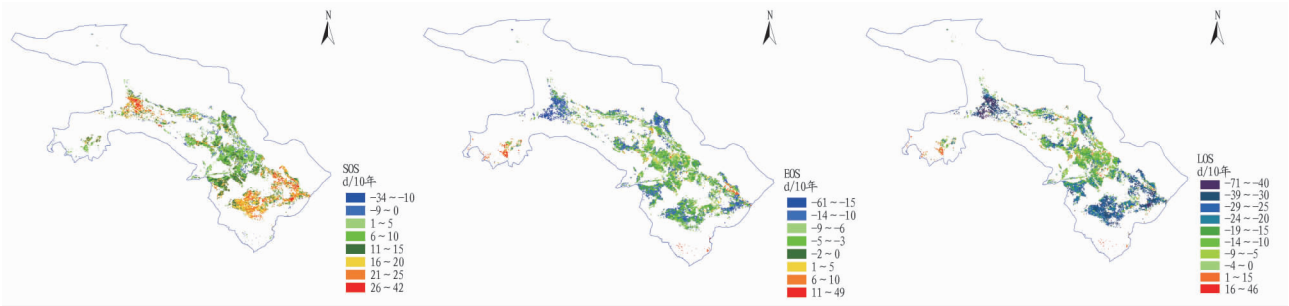


图 2 2001—2016 年玉米物候参数变化空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of corn phenological parameters from 2001 to 2016

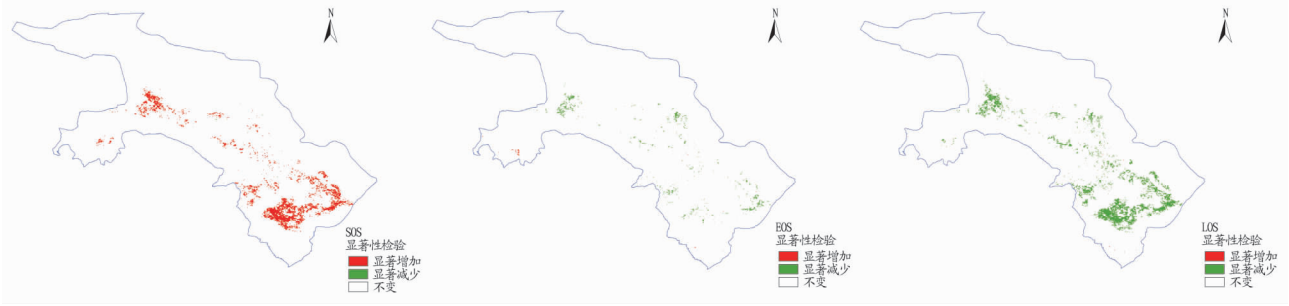


图 3 2001—2016 年玉米物候参数变化显著性分析

Fig. 3 Significant analysis of corn phenological parameters change from 2001 to 2016

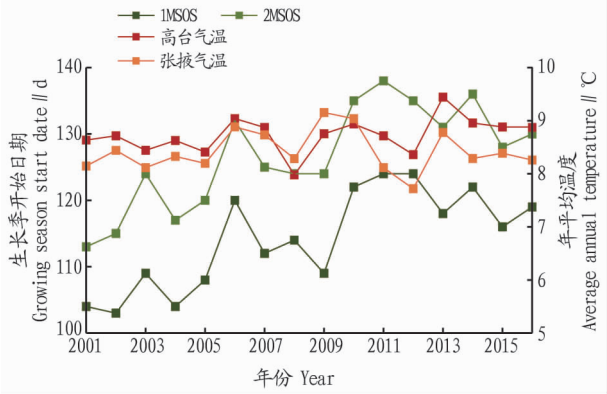


图 4 气温对玉米 SOS 的影响

Fig. 4 Effect of temperature on corn SOS

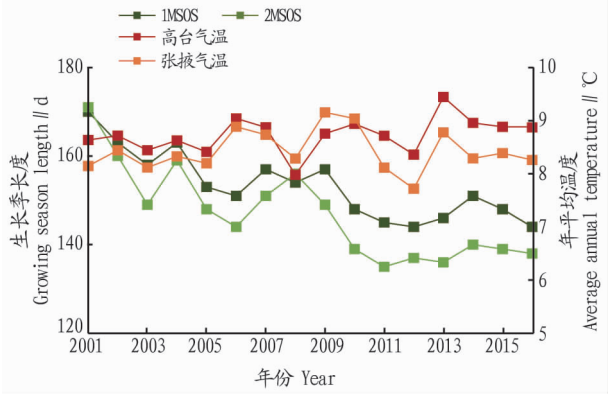


图 6 气温对玉米 LOS 的影响

Fig. 6 Effect of temperature on corn LOS

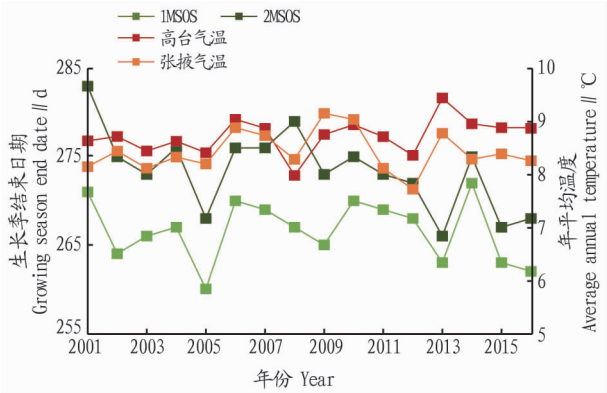


图 5 气温对玉米 EOS 的影响

Fig. 5 Effect of temperature on corn EOS

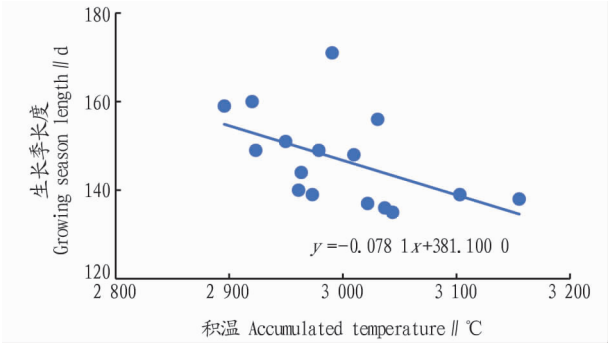


图 7 生长季平均积温与 LOS 关系拟合

Fig. 7 Approximate relationship between average accumulated temperature and LOS in growing season

3 结论

以黑河中游绿洲区作为研究区,在 2001—2016 年时间段内对该区域内玉米物候参数和物候期进行了提取,并分析时空变化趋势,分析气候因子对玉米物候期的影响,得出以下结论。

(1)整体上,玉米 SOS 每 10 年推迟了 14 d 左右,EOS 每 10 年提前了 5 d 左右,LOS 每 10 年缩短了 20 d 左右,这些趋势都是相匹配的;从空间变化上来说,在研究区的东北部和南部也就是高台县和张掖市甘州区,物候参数变化幅度较大,而在中部临泽地区变化幅度较小。

(2)SOS 随着气温升高而增加,EOS 和 LOS 随着气温升高而减小。由此可见,在该区域内温度是对玉米物候变化影响最大的气候因子,生长季积温和 LOS 天数呈负相关。

参考文献

- [1] FAO. 联合国粮食及农业组织 2017 年报告[R]. 2017.
- [2] 中国共产党第十八次全国代表大会报告[R]. 2012.
- [3] MENZEL A. Phenology: Its importance to the global change community [J]. *Climatic change*, 2002, 54(4): 379–385.
- [4] 赵虎. 作物物候期及长势遥感监测若干问题研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2010.

(上接第 43 页)

- [14] 李鹏,谢敏. 基于文献计量学的国内乡村景观评价[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(9): 1606–1609.
- [15] 郑文俊. 乡村景观美学质量评价[J]. *福建林业科技*, 2013, 40(1): 148–153.
- [16] 刘建英. 乡村景观评价研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [17] 俞孔坚. 自然风景质量评价研究: BIB-LCJ 审美评判测量法[J]. *北京林业大学学报*, 1988, 10(2): 1–11.
- [18] 林方喜,潘宏. 福建乡村景观资源评价研究[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(9): 25–26, 29.
- [19] 陈梓茹,傅伟聪,朱志鹏,等. 基于 VRM 与 SBE 法的闽西乡村景观资源的评价研究: 以张地村、涵前村、南坑村为例[J]. *现代园艺*, 2015(8): 18–22.
- [20] 肖国增,周艳丽,安运华,等. 乡村景观功能评价综述[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(11): 1741–1744.
- [21] 孙瀚南,赵芯,王宇泓,等. 基于 VR 全景图技术的乡村景观视觉评价偏好研究[J]. *北京林业大学学报*, 2016(12): 104–112.
- [22] 李羽佳. ASG 综合法景观视觉质量评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [23] 彭慧,吕亭,薛红琳,等. 土地生态评价研究综述[J]. *国土资源科技管理*, 2013, 30(6): 28–35.
- [24] 景贵和. 土地生态评价与土地生态设计[J]. *地理学报*, 1986, 41(1): 1–7.
- [25] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [26] 丁维,李正方,王长永,等. 江苏省海门县农村生态环境评价方法[J]. *生态与农村环境学报*, 1994, 10(2): 38–40.
- [27] 王伟,杨豪中,陈媛,等. 乡村生态景观的构建与评价研究[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 47(3): 448–452.
- [28] 刘婧超. 秦岭北麓西安段生态旅游型乡村景观评价体系研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [29] 王仰麟. 景观生态分类的理论方法[J]. *应用生态学报*, 1996, 7(S1): 121–126.
- [30] 肖禾. 不同尺度乡村生态景观评价与规划方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [31] 谢旻. 基于生态敏感性评价的乡村景观规划设计: 以浙江乐清下山头村为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.

- [5] 崔凯. 基于遥感技术的作物物候监测方法及动态变化分析研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [6] 蒙继华,杜鑫,张森,等. 物候信息在大范围作物长势遥感监测中的应用[J]. *遥感技术与应用*, 2014, 29(2): 278–285.
- [7] 张明伟. 基于 MODIS 数据的作物物候期监测及作物类型识别模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [8] ZHAO W Z, LIU B, ZHANG Z H. Water requirements of maize in the middle Heihe River basin, China [J]. *Agricultural water management*, 2010, 97(2): 215–223.
- [9] ZHU G F, SU Y H, FENG Q. The hydrochemical characteristics and evolution of groundwater and surface water in the Heihe River Basin, northwest China [J]. *Hydrogeology journal*, 2008, 16(1): 167–182.
- [10] 王瑶,赵传燕,田凤霞,等. 黑河中游春小麦需水量空间分布[J]. *生态学报*, 2011, 31(9): 2374–2382.
- [11] SAVITZKY A, GOLAY M. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures [J]. *Analytical chemistry*, 1964, 36(8): 1627–1639.
- [12] 雷林平. 基于 Savitzky-Golay 算法的曲线平滑去噪[J]. *电脑与信息技术*, 2014, 22(5): 30–31.
- [13] 王彦芳. 干旱区植被格局、动态及其对气候水文响应研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [14] 张亚秋,吴文福,王刚. 基于逐步改变阈值方法的玉米种子图像分割[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 200–204.
- [15] 王宏,李晓红,莺歌,等. 基于 NOAA NDVI 的植被生长季模拟方法研究[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(6): 21–32.
- [16] 刘宇霞. 植被物候变化遥感反演及生态系统碳循环作用机理[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2017.
- [32] 郭彦丹. 基于景观功能评价的乡村发展模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [33] 张茜,刘文平,宇振荣. 乡村景观特征评价方法: 以长沙市乔口镇为例[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1537–1547.
- [34] 谢花林,刘黎明. 乡村景观评价研究进展及其指标体系初探[J]. *生态学报*, 2003, 22(6): 97–101.
- [35] 庄云翔. 沈阳地区乡村景观评价研究: 以沈阳地区某村落为例[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [36] 孔瑞华. 地域性视角下的长沙地区乡村景观评价研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [37] 蔡洁,李世平,董霁虹,等. 文登市乡村景观评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2015(2): 70–77.
- [38] 贺靓. 辽宁省赫图阿拉村乡村景观综合评价研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [39] 宁友华. 基于 AVC 理论的工业遗址景观综合评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [40] 陈威. 景观新农村: 乡村景观规划理论与方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [41] 谢志晶,卞新民. 基于 AVC 理论的乡村景观综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(2): 266–269.
- [42] 王秋鸟,邓华峰. 基于 AVC 的乡村景观综合评价研究: 以三岔村为例[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(3): 298–303.
- [43] ONATE J J. Agro-environmental schemes and the European agricultural landscape: the role of indicators as valuing tools for evaluation[J]. *Landscape ecology*, 2000, 15: 27–28.
- [44] YANG Q J, LI B, LI K. The rural landscape research in Chengdu's urban-rural integration development [J]. *Procedia engineering*, 2011, 21: 780–788.
- [45] TANG I C, SULLIVAN W C, CHANG C Y. Perceptual evaluation of natural landscapes [J]. *Environment and behavior*, 2015, 47(6): 595–617.
- [46] COOK E A, VAN LIER H N. Landscape planning and ecological networks [C]. Elsevier: ISOMUL, 1994.
- [47] PINTO-CORREIA T, KRISTENSEN L. Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural [J]. *Landscape and urban planning*, 2013, 120: 248–256.
- [48] HIYAMA N, KAMADA M, NAKAGOSHI N. Ecological and social evaluation of landscape in a rural area with terraced paddies in southwestern Japan [J]. *Landscape and urban planning*, 2005, 73(1): 60–71.