

基于相邻轨道图像的冬小麦面积提取及长势分析

林 芬, 赵庚星*, 常春艳, 王卓然, 李 慧

(山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘 要:冬小麦是我国北方主要农作物之一,及时掌握冬小麦面积信息及长势情况,能够快速地为农业生产管理者以及财政部门提供决策依据,有利于小麦增产、提高农民收入。本文以山东省滨州、东营市为研究区,通过主成分分析、监督及非监督分类结合的方法提取 ETM+遥感影像的冬小麦信息,以 SPSS 聚类分析法估测滨州市冬小麦长势,用距离加权法构建相邻轨道图像的植被长势分级模型并估测东营市的冬小麦长势。结果显示:小麦提取平均精度约为 93.79%,冬小麦分布呈现“西多东少,南多北少”的特征,一般小麦分布较多的地区长势也较好。基于重叠区距离加权法构建的植被长势分级模型,能够在一定程度上消除相邻轨道遥感图像的时间差异,实现大区域的植被长势分析。

关键词:遥感;冬小麦;面积;长势

中图分类号:TP79

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2016)04-0384-06

doi:10.13254/j.jare.2016.0016

引用格式:

林 芬, 赵庚星, 常春艳, 等. 基于相邻轨道图像的冬小麦面积提取及长势分析[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(4):384-389.

LIN Fen, ZHAO Geng-xing, CHANG Chun-yan, et al. Extraction of Winter Wheat Area and Growth Analysis Based on Remote Sensing Imagery of Adjacent Tracks[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(4): 384-389.

Extraction of Winter Wheat Area and Growth Analysis Based on Remote Sensing Imagery of Adjacent Tracks

LIN Fen, ZHAO Geng-xing*, CHANG Chun-yan, WANG Zhuo-ran, LI Hui

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: Winter wheat is one of the most valuable crops in Northern China, so getting a good knowledge of real-time information of its area and growing situation can help the manager of agricultural production and financial departments to make better decisions, meanwhile it can also increase the output capacity and farmers' income. In this paper, Binzhou City and Dongying City of Shandong Province were taken as the research areas. We extracted the information of winter wheat from ETM+ remote sensing image based on a combined method of principal component analysis, supervised and unsupervised classification. The growing situation of winter wheat in Binzhou was estimated through clustering analysis in SPSS, and winter wheat growing situation in Dongying was predicted by building vegetation growing situation hierarchical model in adjacent tracks using the distance-weighted method. The results showed that the mean extracting precision was 93.79%. There was a clear tendency of its distribution with characteristics of concentrated in the west and in the south other than that in the east and in the north. Also the regions where the wheat was concentrately distributed had better growth in general. We found that the vegetation growing situation hierarchical model built with distance-weighted method in the overlapping areas could eliminate the time differences between two remote sensing images in adjacent tracks to some extent, and it was beneficial for winter wheat growth analysis in large-scale regions.

Keywords: remote sensing; winter wheat; area; growing situations

冬小麦是我国北方主要农作物之一,面积提取是小麦估产、长势监测以及农业资源动态监测的重要前提,也是财政部门制定农业补贴的重要依据。长势分

析可为农业部门提供准确的作物状态信息,以便及时制定水、肥等栽培管理措施,保障小麦产量,提高农民收入^[1]。

20 世纪 70 年代以来,遥感技术迅速发展,为农业生产管理提供了新的科学技术手段。与通过实地调查、统计获取农作物面积的传统方式相比,遥感技术提取作物面积的方法周期短,成本低。农作物遥感长势监测则通过提取作物的植被指数,用其与 LAI(绿

收稿日期:2016-01-13

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD23B0202, 2013BAD05B06-5);国家自然科学基金(41271235)

作者简介:林 芬(1991—),女,福建三明人,硕士研究生,主要研究方向为遥感应用与制图。E-mail:linfen5969@126.com

*通信作者:赵庚星 E-mail:zhaogx@sdaa.edu.cn

色植物叶面积指数)等指标关系,间接得到作物长势信息,植被覆盖指数 $NDVI$ 与 LAI 呈明显的正相关关系,能很好反映作物长势^[2]。

国内外关于作物种植面积提取与长势监测已有较多研究。早期主要利用适合大面积监测的气象卫星数据进行播种面积遥感估测,如 Van Dijk A^[3]、Quarmby NA 等^[4]用 AVHRR 数据进行作物面积提取、农情遥感监测和遥感估产。后来随着传感器空间分辨率的提高,MODIS、TM 等数据提取作物播种面积及长势监测的研究逐渐成为热点^[5-8]。黄河三角洲作为我国重要的盐碱中低产田集中分布区,其粮食生产正受到越来越多的关注,及时掌握该区小麦分布及长势信息成为黄河三角洲农业生产管理的客观需求。李敏等^[9]以 CBERS01 和 HJ1B 卫星图像为信息源,采用决策树分类方法提取了 2009 年黄河三角洲地区部分乡镇不同时相棉花信息,并分析了棉花长势分布的时空特征。刘庆生等^[10]以山东省无棣县为研究区,选择关键期 HJ 卫星遥感数据,通过增强性植被指数时序数据分析,采用支持向量机(SVM)方法进行了主要作物种植空间分布信息提取,总体精度超过 93%。总体看,目前基于遥感技术的农作物长势分析研究中,利用同一地区不同时相的遥感图像进行动态监测分析或单景图像内的作物分布与长势对比研究较多,而涵盖不同时期多轨道图像的大尺度相关研究较少,针对黄河三角洲大区域可操作性的冬小麦面积信息获取及长势监测方法仍需进一步探索。

本研究用两景不同时期的相邻遥感图像进行黄河三角洲较大区域的冬小麦面积提取与长势分析,旨在探索不同时期、多轨道图像间的冬小麦长势分析方法。

1 材料与方法

1.1 研究区域与数据

研究区域包括滨州市和东营市的 9 县 3 区,位于渤海西南岸,是黄河三角洲的核心组成部分。处于北纬 $36^{\circ}41' \sim 38^{\circ}16'$,东经 $117^{\circ}15' \sim 119^{\circ}15'$ 之间,属暖温带季风型大陆性气候,冬寒夏热,四季分明。研究区地处平原,地貌类型主要为滨海缓平低地、浅平洼地、缓平坡地、交接洼地和山前倾斜平原。土壤类型以褐土、潮土、盐土为主,粮食作物种植主要为小麦和玉米,盛产小麦、玉米、水稻、棉花及蔬菜,是山东省重要的绿色产品生产基地^[11-12]。

本研究采用的遥感数据是行编号为 34 的两景

相邻 ETM+图像。因第 6 波段为热红外波段,对植被的指示意义较小,空间分辨率较低,所以将其剔除,只用 1、2、3、4、5、7 波段。东营市所在图像成像于 2013 年 3 月 3 日,条带号为 121。滨州市所在图像成像于 2013 年 3 月 26 日,条带号为 122。此时玉米、水稻、棉花均尚未播种,冬小麦处于返青期,十分有利于冬小麦识别。

其他辅助数据主要有:研究区域内已校正过的遥感图像、各县区行政区划图及来自统计部门网站发布的统计数据等。

1.2 图像预处理

遥感图像预处理包括去条带、辐射定标、大气校正、几何精纠正及研究区域裁剪等内容。

根据遥感图像的获取时间与地理位置,选择 SAS (Sub-arctic summer 亚极地夏季热带) 大气模型,对 ETM 图像进行大气校正^[13],在图幅范围内均匀选取 100 个以上控制点,采用 2 次多项式模型、双线性内插重采样方法进行几何精纠正,误差均控制在 1 个像元内。最后用行政区划矢量图层对遥感影像裁剪得滨州市、东营市的 ETM+图像。

研究区遥感图像以 ETM 5、4、3 波段对应 RGB 假彩色合成显示。为进一步突出小麦信息,选取感兴趣区,包含冬小麦及其他多种易与小麦混淆的地物,以此感兴趣区为源,进行直方图线性拉伸增强。

1.3 冬小麦面积提取

采用非监督分类法建立研究区主要地类的解译标志,分析地物光谱特征,减少监督分类时的人为主观性,避免小区域类别丢失。对遥感图像进行主成分分析,分析遥感图像的主成分,并将其第一主成分 PC1 加入到分类波段中,以增加分类波段的数量,突出不同地物的影像统计特征,提高小麦提取精度。依据解译标志勾绘训练区,以最大似然法分类后,去孤岛、编辑显示参数,得到研究区的冬小麦分布图。

1.4 冬小麦长势分析方法

1.4.1 长势指标与等级

以 $NDVI$ 作为冬小麦长势监测指标,计算公式为 $NDVI = (ETM_4 - ETM_3) / (ETM_4 + ETM_3)$ (1) 式中: ETM_3 为 ETM+ 遥感影像红光波段的反射率, ETM_4 为近红外波段的反射率,小麦分布区域 $NDVI$ 值越高,表示小麦越茂密,长势越好。

计算滨州市图像的 $NDVI$ 值,用提取的滨州市冬小麦分布区裁剪出滨州市的冬小麦 $NDVI$ 分布图。采用 SPSS 聚类分析,根据 $NDVI$ 像元值的分布特征,将

其划分成若干类别,归类后同一类别的 $NDVI$ 值分布具有高度相似性,可以认为这些小麦的长势属于一个等级。由此,将滨州市冬小麦长势分为 5 个等级,分别为:长势差、长势较差、长势中等、长势较好、长势好。

1.4.2 长势等级划分模型

两景相邻影像具有一部分重叠区,若两景影像的获取时间相近,视作重叠区的小麦长势相同。如图 1 所示,滨州市位于 A 影像,东营市位于 B 影像,把位于 A 影像的重叠区称作 A1,位于 B 影像的重叠区称为 B1。A、B 影像获取时间相差 23 d,两景图像上冬小麦的 $NDVI$ 值存在差异,要比较 A、B 影像上的冬小麦长势时,不能用同一组 $NDVI$ 间断点进行长势分级。A1、B1 代表同一区域,虽然长势分级标准不同,但相同长势等级的冬小麦面积占区内冬小麦总面积的比相同,即相同长势等级的冬小麦累计百分比相同。

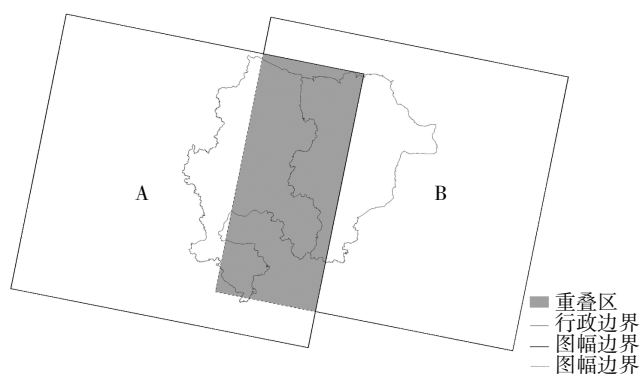


图 1 研究区在遥感影像上的位置分布图

Figure 1 Location of the study area on remote sensing images

表 1 是 B1 冬小麦的 $NDVI$ 值分布,以计算长势较差与长势中等的 $NDVI$ 分级间断点为例: B1 长势较差的冬小麦累积百分比与 A1 相同,应是 29.973 917% (为保证最后结果的精度,文中所有的中间数据均保留原有小数位数),而 $NDVI$ 值 0.253 724~0.315 16 的冬小麦累积百分比是 29.252 44%, $NDVI$ 值 0.253 724~0.317 942 的冬小麦累积百分比是 30.656 820%,因此, B1 长势较差与长势中等的 $NDVI$ 分级间断点在 0.315 16~0.317 942 之间。用距离加权法求间断点,则: 分级间断点 = $0.315\ 16 + (29.973\ 917 - 29.252\ 44) / (30.656\ 82 - 29.252\ 44) \times (0.317\ 942 - 0.315\ 16)$ 。

设长势分级间断点的 $NDVI$ 值为 X , X 在 $NDVI_1 \sim NDVI_2$ 之间, $NDVI_1$ 、 X 、 $NDVI_2$ 对应的冬小麦累积百分比分别是 P_1 、 P_A 、 P_2 , 已知 P_A , 则确定 $NDVI$ 长势分级间断点的长势分级模型为:

表 1 冬小麦的 $NDVI$ 值分布

Table 1 $NDVI$ distribution of winter wheat

B1 冬小麦的 $NDVI$ 值	B1 累计百分比/%	A1 累计百分比/%	A1 长势
0.253 724	0.000 145		
⋮	⋮		
0.273 421	12.831 892	13.382 146	差
0.276 203	13.655 495		
⋮	⋮		
0.315 16	29.252 44	29.973 917	较差
0.317 942	30.656 82		
⋮	⋮		
0.354 116	51.263 668	51.819 036	中等
0.356 899	53.011 879		
⋮	⋮		
0.376 377	65.218 177	66.282 598 35	较好
0.379 16	66.954 341		
⋮	⋮		
0.607 335	100.000 000	100	好

$$X = NDVI_1 + (P_A - P_1) / (P_2 - P_1) \times (NDVI_2 - NDVI_1) \quad (2)$$

1.5 精度验证方法

以统计部门发布的同年滨州、东营统计年鉴中冬小麦的实际播种面积为依据,评价各县区冬小麦的面积提取精度。

基于东营、滨州遥感图像重叠区,用东营市冬小麦的长势分级和长势分级模型反推算滨州市冬小麦的长势分级,将其与滨州原来的长势分级作比较,列出误差混淆矩阵,若两者的相似度高于 90%,且 Kappa 系数高于 0.8,则认为基于重叠区距离加权长势分级模型估测相邻遥感图像的植被长势分级方法可行。

2 结果与分析

2.1 冬小麦分布与提取精度

图 2 为获取的 2013 年黄河三角洲冬小麦长势分级图,显示区域内冬小麦的分布状况。研究区冬小麦分布不均,空间上呈现“西多东少,南多北少”的特征,自西南部内陆至东北部沿海呈明显的递减趋势,集中分布在邹平县、惠民县、阳信县、博兴县、滨城区及广饶县。研究区各县(区)冬小麦面积提取精度见表 2,总体看,内陆县区的小麦面积提前精度均高于沿海县(区),其中以垦利县精度最低。

2.2 冬小麦长势

从整个研究区看(表 3),2013 年 3 月份黄河三角

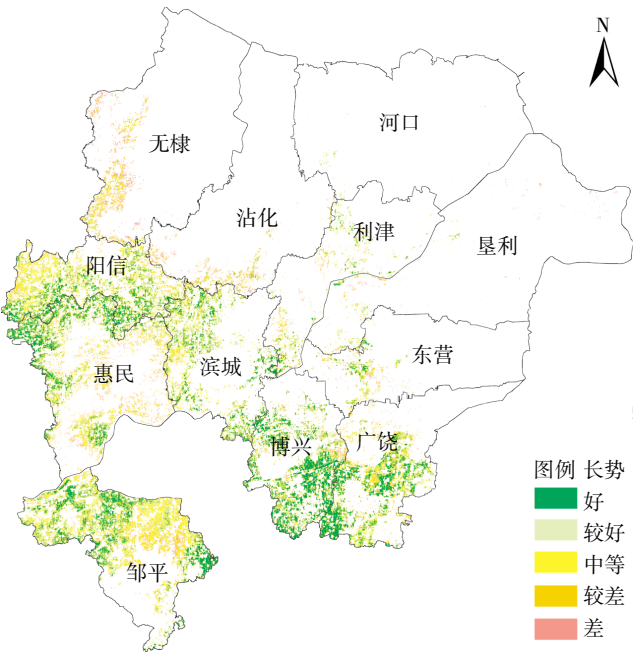


图 2 黄河三角洲冬小麦长势分级图

Figure 2 Winter wheat growth classification map in the Yellow River delta

表 2 黄河三角洲各县(区)的冬小麦面积提取精度

Table 2 Winter wheat area extraction precision of each county in the Yellow River delta

地区	小麦像元数	提取面积/hm ²	统计面积/hm ²	精度/%
滨州市 滨城区	273 976	24 518.66	25 533	96.03
惠民县	476 408	42 634.70	44 267	96.31
阳信县	409 233	36 623.08	34 867	94.96
无棣县	144 356	12 918.71	14 267	90.55
沾化县	89 712	8 028.51	8 933	89.87
博兴县	354 303	31 707.28	30 333	95.47
邹平县	624 988	55 931.43	53 200	94.87
东营市 东营区	61 358	5 491.05	5 267	95.75
河口区	10 518	941.28	1 000	94.13
垦利县	41 872	3 747.21	4 267	87.82
利津县	94 958	8 497.98	8 733	97.31
广饶县	340 034	30 430.32	32 933	92.40

洲长势差的冬小麦占小麦总面积的 14.35%，长势较差的占 19.47%，长势中等的为 24.23%，长势较好的 15.79%，长势好的占 26.16%，呈现“西好东差，南好北差”的特点，一般小麦分布较多的地区长势也较好。

从市域角度分析(表 3)，滨州市冬小麦长势差、较差、中等、较好、好的小麦分别占全市小麦总面积的 13.84%、18.53%、25.04%、16.91%、25.68%；东营市冬小麦长势差、较差、中等、较好、好的小麦分别占全市小麦

表 3 黄河三角洲冬小麦长势等级比例

Table 3 Proportion of winter wheat growth grades in the Yellow

		River delta					
县(区)	比重	差	较差	中等	较好	好	合计
滨城区	总比重/%	0.71	1.72	2.43	1.78	2.74	9.38
	县区内比重/%	7.58	18.34	25.91	18.94	29.23	100
惠民县	总比重/%	2.82	3.30	3.76	2.50	3.93	16.31
	县区内比重/%	17.29	20.21	23.08	15.34	24.08	100
阳信县	总比重/%	0.99	2.68	4.03	2.93	3.38	14.01
	县区内比重/%	7.06	19.15	28.75	20.91	24.13	100
无棣县	总比重/%	2.26	1.24	1.05	0.28	0.10	4.93
	县区内比重/%	45.80	25.17	21.34	5.72	1.97	100
沾化县	总比重/%	1.31	0.71	0.62	0.21	0.22	3.07
	县区内比重/%	42.79	23.23	20.10	6.83	7.05	100
博兴县	总比重/%	1.26	1.68	2.03	1.43	5.73	12.13
	县区内比重/%	10.35	13.89	16.78	11.82	47.16	100
邹平县	总比重/%	1.89	3.71	6.41	4.60	4.78	21.39
	县区内比重/%	8.82	17.34	29.98	21.51	22.35	100
东营区	总比重/%	0.54	0.59	0.41	0.18	0.38	2.10
	县区内比重/%	25.93	28.35	19.36	8.39	17.97	100
河口区	总比重/%	0.20	0.07	0.05	0.02	0.02	0.36
	县区内比重/%	54.52	20.06	13.99	5.22	6.21	100
垦利县	总比重/%	0.60	0.36	0.23	0.09	0.15	1.43
	县区内比重/%	41.89	25.31	15.89	6.19	10.72	100
利津县	总比重/%	0.64	0.99	0.74	0.31	0.57	3.25
	县区内比重/%	19.80	30.36	22.77	9.45	17.62	100
广饶县	总比重/%	1.13	2.41	2.47	1.47	4.16	11.64
	县区内比重/%	9.70	20.68	21.22	12.63	35.77	100

总面积的 16.58%、23.56%、20.74%、10.97%、28.15%，滨州市冬小麦的总体长势优于东营市。

从县(区)角度看(表 3)，博兴县的小麦长势最好，县内 47.16%左右的小麦长势好，长势好与较好的小麦比重接近 60%；其次为广饶县，长势好的小麦为 35.77%，长势好与长势较好的比重接近 50%；再次为滨城区、阳信和邹平。邹平县冬小麦约占黄河三角洲小麦总面积的 21.39%，是三角洲地区冬小麦分布最密集的县。小麦长势良好的县区均位于黄河三角洲南部，光热条件好，水资源丰富，灌溉设施齐全，地貌类型以山前倾斜平原为主，土壤肥力高，几乎无盐渍化，是黄河三角洲的粮食主产区。河口、无棣、沾化、垦利等县区，土壤盐渍化严重，冬小麦呈均匀、稀疏的点状分布，总体长势差，长势差与长势较差的比重均超过 65%，与海相邻的地区几乎无小麦分布。

2.3 长势分级方法的可行性

依据东营市冬小麦的长势分级，用长势分级模型

再逆推得滨州市冬小麦的长势分级,以先前聚类分析得到的滨州市冬小麦长势分级作为标准,评价逆推结果的精度,列出误差混淆矩阵(表 4)。

表 4 误差混淆矩阵

Table 4 The confusion matrix of error

项目	等级	逆推得到的滨州市各级长势小麦比重/%					总计
		差	较差	中等	较好	好	
滨州市各级长势小麦比重/%	差	13.31	0.53	0	0	0	13.84
	较差	0	16.71	1.82	0	0	18.53
	中等	0	0	23.05	1.99	0	25.04
	较好	0	0	0	15.2	1.71	16.91
	好	0	0	0	0	25.68	25.68
总计		13.31	17.24	24.87	17.19	27.39	100

逆推结果总精度达到 93.95%,Kappa 系数约为 0.92,逆推出的滨州市小麦长势分级与 SPSS 分析的长势分级高度相似。所以,基于重叠区距离加权长势分级模型估测相邻遥感图像的植被长势分级方法可行。

3 讨论

本研究结合主成分分析、非监督与监督分类的冬小麦信息提取方法,与以往的单种分类方法相比^[14],提高了分类精度,除沾化、垦利外的其他县(区)冬小麦的提取精度均在 90%以上,垦利、无棣及沾化提取精度较低的可能原因是:县内盐碱土大量分布,多数土地不利于冬小麦生长,长势偏差且种植面积小,光谱特征不明显,易受混合像元干扰。

以往在植被长势分析研究中,多为同一地区单一时相的作物分布与长势比较,或是同一地区不同时相的植被长势监测,一般只使用相同行列号的遥感影像^[15-17]。本研究使用两景相近时期的 ETM+相邻轨道图像,在一定程度上克服了相邻轨道图像间的光谱反射率差异,实现了中尺度、大区域的冬小麦长势分析,使滨州市、东营市的冬小麦长势得以比较。整个研究区从西南至东北,逐渐靠近渤海,冬小麦分布由多变少,长势由好变差,此结果与相关研究相同^[18-19]。土壤含盐量与离渤海远近有明显的关系,越靠近渤海,土壤盐分含量越高,冬小麦种植范围及长势显著受到土壤盐分状况的影响,随着土壤含盐量的升高,冬小麦种植面积呈现骤减趋势,长势也逐渐变差。

基于重叠区距离加权长势分级模型估测相邻遥感图像的植被长势分级方法可行,但仍存在不足。其一,虽然使用了两景获取时间不同的遥感图像,但其目的是消除时间差异,使更广大地区的冬小麦长势得

以比较,所以仍属于单时相的长势分析,获得的小麦长势差异是相对于研究区域范围内而言的,要想获得更客观的长势分级结果可以利用遥感影像数据与地面实测的植被长势信息及冬小麦各生长周期的长势参数结合进一步探索^[20]。其二,此方法的使用前提需尽可能地保证相邻遥感影像重叠区的小麦长势相同。3 月份的冬小麦处于返青-拔节期,生长迅速,若相邻遥感图像的获取时间差过大,则重叠区内的小麦长势可能发生变化,此外,小麦的生长还易受施肥、灌溉习惯的影响。因此,基于重叠区距离加权长势分级模型要求两景影像的获取时间宜尽可能接近。

4 结论

(1)滨州、东营各县(区)冬小麦获取平均精度为 93.79%。小麦主要分布在滨州市的邹平县、惠民县、阳信县、博兴县、滨城区和东营市的广饶县,呈现“西多东少,南多北少”的特征。

(2)2013 年 3 月份黄河三角洲的冬小麦长势差、长势较差、长势中等、长势较好、长势好的比例依次为 14.35%、19.47%、24.23%、15.79%、26.16%,总体呈现“西好东差,南好北差”的特点,长势由好到差的县区依次是:博兴、广饶、滨城、阳信、邹平、惠民、利津、东营区、垦利、沾化、无棣、河口。

(3)冬小麦分布与长势状况与离渤海的远近显著相关,距离渤海越近,冬小麦分布越少,长势越差。

(4)距离加权法逆推出的滨州市长势分级与 SPSS 分析的长势分级相比较,相似度高达 93.95%,Kappa 系数为 0.92。因此,基于重叠区的距离加权长势分级模型估测相邻遥感图像植被长势的分级方法可行。

参考文献:

- [1] 张 军. 基于 MODIS 遥感数据的山东省济宁市冬小麦面积估算研究[D]. 南京:南京大学, 2012.
ZHANG Jun. Estimation of winter wheat area in Jining city, Shandong Province with MODIS remote sensing data[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012. (in Chinese)
- [2] 李卫国, 赵春江, 王纪华, 等. 基于卫星遥感的冬小麦拔节期长势监测[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 523-527.
LI Wei-guo, ZHAO Chun-jiang, WANG Ji-hua, et al. Monitoring the growth condition of winter wheat in jointing stage based on land sat TM image[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(3): 523-527. (in Chinese)
- [3] Van Dijk A. A crop condition and crop yield estimation method based on NOAA/AVHRR satellite data[D]. Columbia: University of Missouri, 1986.

- [4] Quarmby N A, Townshend J R G, Settle J J, et al. Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13(3):415-425.
- [5] 黄 青,王利民,滕 飞.利用 MODIS-NDVI 数据提取新疆棉花播种面积信息及长势监测方法研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2):213-217.
- HUANG Qing, WANG Li-min, TENG Fei, et al. MODIS-NDVI based monitoring of cotton planting areas and growth condition in Xinjiang[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(2):213-217. (in Chinese)
- [6] 付 斌,吕志群,国殿波.基于 SPOT 数据的棉花种植面积监测研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2008(6):148-149.
- FU Bin, LV Zhi-qun, GUO Dian-bo. Monitoring study of cotton sown area based on SPOT [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2008(6):148-149. (in Chinese)
- [7] 黄 青,李丹丹,陈仲新,等.基于 MODIS 数据的冬小麦种植面积快速提取与长势监测[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(7):163-167.
- HUANG Qing, LI Dan-dan, CHEN Zhong-xin, et al. Monitoring of planting area and growth condition of winter wheat in China based on MODIS data [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(7):163-167. (in Chinese)
- [8] 谭昌伟,王纪华,赵春江,等.利用 Landsat TM 遥感数据监测冬小麦开花期主要长势参数[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(5):224-230.
- TAN Chang-wei, WANG Ji-hua, ZHAO Chun-jiang, et al. Monitoring wheat main growth parameters at anthesis stage by Landsat TM[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(5):224-230. (in Chinese)
- [9] 李 敏,赵庚星,李百红.基于遥感的乡镇级棉花面积提取与长势监测研究[J]. *山东农业大学学报*, 2011, 42(3):533-538.
- LI Min, ZHAO Geng-xin, LI Bai-hong, et al. The study of cotton area extraction and growth monitoring using remote sensing at township level [J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 2011, 42(3):533-538. (in Chinese)
- [10] 刘庆生,黄 翀,刘高焕,等.基于关键期 HJ 卫星数据提取无棣县作物种植面积[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(26):284-290.
- LIU Qing-sheng, HUANG Chong, LIU Gao-huan, et al. Planting area extraction of a crop key growth period in Wudi County based on HJ satellite data[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(26):284-290. (in Chinese)
- [11] 东营区地方志编纂委员会. *东营区志(1998-2005)*[M]. 东营:方志出版社, 2005:212-213.
- The Compilation Committee of Dongying District Local Chronicles. *Dongying District local chronicles(1998-2005)*[M]. Dongying: Fangzhi Press, 2005:212-213. (in Chinese)
- [12] 邢尚军,张建锋. *黄河三角洲土地退化机制与植被恢复技术*[M]. 北京:中国林业出版社, 2006:38-51.
- XING Shang-jun, ZHANG Jian-feng. *Land degradation mechanism and vegetation restoration in the Yellow River delta* [M]. Beijing: China Forestry Press, 2006:38-51. (in Chinese)
- [13] 邓书斌. *ENVI 遥感图像处理*方法[M]. 北京:科学出版社, 2010:302-317.
- DENG Shu-bin. *ENVI remote sensing image processing methods*[M]. Beijing: Science Press, 2010:302-317. (in Chinese)
- [14] 权文婷,王 钊.冬小麦种植面积遥感提取方法研究[J]. *国土资源遥感*, 2013, 25(4):8-15.
- QUAN Wen-ting, WANG Zhao. Researches on the extraction of winter wheat planting area using remote sensing method[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2013, 25(4):8-15. (in Chinese)
- [15] 熊勤学,黄敬峰.利用 NDVI 指数时序特征监测秋收作物种植面积[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1):144-148.
- XIONG Qin-xue, HUANG Jing-feng. Estimation of autumn harvest crop planting area based on NDVI sequential characteristics[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(1):144-148. (in Chinese)
- [16] 宋晓宇,王仁红,杨贵军,等.高分辨率遥感影像中冬小麦长势空间异质性特征分析[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(7):192-199.
- SONG Xiao-yu, WANG Ren-hong, YANG Gui-jun, et al. Winter wheat growth spatial variability character analysis based on remote sensing image with high resolution[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(7):192-199. (in Chinese)
- [17] 贾玉秋. *基于物候差异分析的冬小麦长势监测*[D]. 郑州:河南大学, 2014:12-16.
- JIA Yu-qiu. *Growth monitoring of winter wheat based on the analysis of phenological differences*[D]. Zhengzhou: Henan University, 2014:12-16. (in Chinese)
- [18] 王卓然,赵庚星,高明秀,等.黄河三角洲典型地区春季土壤水盐空间分异特征研究——以垦利县为例 [J]. *农业资源与环境学报*, 2015, 32(2):154-161.
- WANG Zhuo-ran, ZHAO Geng-xing, GAO Ming-xiu, et al. Characteristic of soil water and salt spatial variations in the spring in typical Yellow River delta areas of Kenli County [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(2):154-161. (in Chinese)
- [19] 贾吉超,赵庚星,高明秀,等.黄河三角洲典型区域冬小麦播种面积变化与土壤盐分关系研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(5):1200-1208.
- JIA Ji-chao, ZHAO Geng-xing, GAO Ming-xiu, et al. Study on the relationship between winter wheat sowing area changes and soil salinity in the typical area of the Yellow River delta[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(5):1200-1208. (in Chinese)
- [20] 李卫国,李 花,王纪华,等.基于 Landsat/TM 遥感的冬小麦长势分级监测研究[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(1):92-95.
- LI Wei-guo, LI Hua, WANG Ji-hua, et al. A study on classification and monitoring of winter wheat growth status by landsat/TM image[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(1):92-95. (in Chinese)