

农作物分布格局动态变化的遥感监测——以东北三省为例

黄青, 唐华俊, 吴文斌, 李丹丹, 刘佳

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100081)

摘要:【目的】当前对涉及到耕地内部不同作物空间分布及其变化的研究较少。本文旨在探讨大尺度作物种植面积和分布格局遥感提取方法及景观生态学中景观格局指数在作物格局动态变化分析中的应用。【方法】基于2005年和2010年作物生育期内遥感影像全覆盖的MODIS-NDVI数据,利用RS、GIS技术,通过分析东北地区主要作物(水稻、玉米、大豆)的种植结构、物候历及NDVI曲线特征,建立不同作物面积遥感提取模型,提取大尺度农作物空间分布格局信息。同时,利用景观格局指数方法分析农作物格局动态变化特征和变化规律。【结果】与多年平均统计数据比较,基于MODIS遥感数据提取的作物面积信息,2005年和2010年平均精度达到了90%以上;5年间,东北地区主要作物种植结构发生了较大变化。其中大豆平均斑块面积减少,面积年动态度为-4.47%,水稻和玉米平均斑块面积均增加,且5年的变化幅度均超过20%。【结论】成本和收益是作物面积增加或减少的主要原因;用中等分辨率的遥感数据进行大尺度作物面积提取的方法是可行的;景观生态学中格局指数可以用来分析耕地内部作物格局的动态变化规律。

关键词: 遥感; NDVI; 格局变化; 水稻; 春玉米; 大豆; 东北

Remote Sensing Based Dynamic Changes Analysis of Crop Distribution Pattern —Taking Northeast China as an Example

HUANG Qing, TANG Hua-jun, WU Wen-bin, LI Dan-dan, LIU Jia

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agri-Informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】 Recently, researches on identifications and dynamic changes of landscapes and land use types by using remote sensing techniques have been a hot topic. However, the vast majority of studies have taken farmland as a “single” land type; the spatial distribution and variation of different crops inside the farmland have been neglected. This paper aims to explore the extraction methods of large scale crop acreage and distribution pattern by using remote sensing and the application of landscape pattern indices in crop pattern dynamics. 【Method】 Based on the full coverage MODIS images and NDVI data during the crop growing periods of 2005 and 2010, by analyzing the planting structure, phenology calendar and NDVI time series curve characteristics, different area extracting models were established and were used to extract the spatial distribution of main crops (spring maize, soybean and paddy) by using RS and GIS techniques in Northeast China. Meanwhile, some landscape pattern indices were used to describe the characteristics and rules of crop pattern dynamic changes. 【Result】 Compared with the average statistical data of several years, the overall areas extraction accuracies of these two years were more than 90%. The main crop planting structure changed a lot from 2005 to 2010 in Northeast China. Soybean area decreased obviously, its dynamic degree reached -4.47%, and the average patch area reduced by 0.05 km². Change range of paddy and spring maize reached 22.37% and 22.82%, respectively, during the 5 years. And the average patch area also increased. 【Conclusion】 Increasing planting costs and decreasing relative benefits were main reasons for these changes. It is technically feasible for large scale crop acreage extraction by using medium resolution remote

收稿日期: 2012-10-16; 接受日期: 2013-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001246, 40930101)、“948”项目(2011-G6)、国家科技支撑计划项目(2012BAH29B02)、中央级公益性科研院所专项资金、“农业遥感监测与评价示范系统”项目

联系方式: 黄青, E-mail: huangqing@caas.cn. 通信作者唐华俊, E-mail: tanghuajun@caas.cn

sensing data. Landscape ecology pattern index can be used to analyze crop pattern dynamic changes.

Key words: remote sensing; NDVI; pattern change; paddy; spring maize; soybean; Northeast China

0 引言

【研究意义】人类活动正以前所未有的广度和深度改变着区域景观格局和土地利用方式，进行区域景观格局和土地利用方式动态变化研究也日益成为研究热点^[1-3]。但在众多研究中，农田或耕地大都被作为单一景观类型进行各种研究，忽略了耕地内部作物的多样性，研究重点多集中在用遥感手段监测不同景观类型或土地利用类型面积及其相互变化方面，对涉及到耕地内部不同作物空间分布及其变化的研究较少^[4-8]。同时，景观生态学中景观空间格局分析是揭示区域生态状况及空间变异特征的有效手段。通过格局和异质性分析可以把景观的空间特征与时间过程联系起来，从而能够较清楚地对景观内在规律性进行分析和描述^[9-11]。用遥感技术进行耕地内部作物结构识别研究，并用景观格局变化分析法研究不同作物格局动态变化规律，对掌握主要作物时空动态变化及内在规律具有重要意义。【前人研究进展】近年来，借助遥感、地理信息系统及统计模型等先进技术方法与手段，有关景观格局遥感识别技术、景观格局动态变化规律、景观生态分类评价、景观格局与生态环境等方面的研究不断发展，应用领域不断拓展，取得了一系列的研究成果^[1,11-14]。涉及到耕地内部不同作物面积变化研究时，多集中于用较高分辨率的遥感数据进行某种单一作物空间分布的遥感识别，或在某一小区域范围内的试验研究^[15-18]。大区域尺度下分作物空间分布信息的遥感提取及动态变化规律的研究较少，且将景观生态学中不同景观类型数量动态变化指数模型应用到农田耕地内部不同作物动态变化规律的研究还不多见。【本研究切入点】东北是中国最重要的商品粮基地，也是种植结构相对复杂的一个地区。本研究通过分析东北地区主要作物（水稻、玉米、大豆）的种植结构、植被指数和物候历特征，基于 MODIS-NDVI 数据，建

立不同作物面积遥感提取模型，用遥感影像全覆盖方式，进行大尺度作物种植面积遥感提取研究，同时，将景观生态学中景观格局指数引入到作物格局动态变化的分析中。【拟解决的关键问题】用遥感技术进行大面积作物识别，并利用景观格局和数理统计分析方法分析农作物格局动态变化特征及其变化规律。

1 数据与方法

1.1 数据源与数据预处理

农业部遥感应用中心卫星接收站有 2002 年以来自主接收的 MODIS 全部日数据及合成的不同时间段的 NDVI 数据。本文利用 2005 年和 2010 年每年 5 月中旬到 9 月中旬每日覆盖东北地区的 MODIS 数据，经过辐射定标、几何校正等过程，计算每天的 NDVI 值，并进行每旬的最大值合成，得到 2005 年和 2010 年每年关键生育期内每旬的最大值。利用 MODIS-NDVI 数据，结合农作物生长过程中的植被指数特征，利用不同模型来提取不同作物分布格局信息。

1.2 农作物分布格局遥感提取

图 1 是东北地区春玉米、水稻和大豆一般情况下物候历与植被指数物的对应关系。可以看到，各种作物植被指数在其整个生育期都经历了一个先逐步增加、达到一个最大值后又逐步减少的过程。而且这种对应关系在不同地区、不同年份有所差异。植被指数在不同物候期内的变化及其年际间和区域间的差异，是利用遥感数据获取不同农作物种植面积空间分布信息的理论基础。

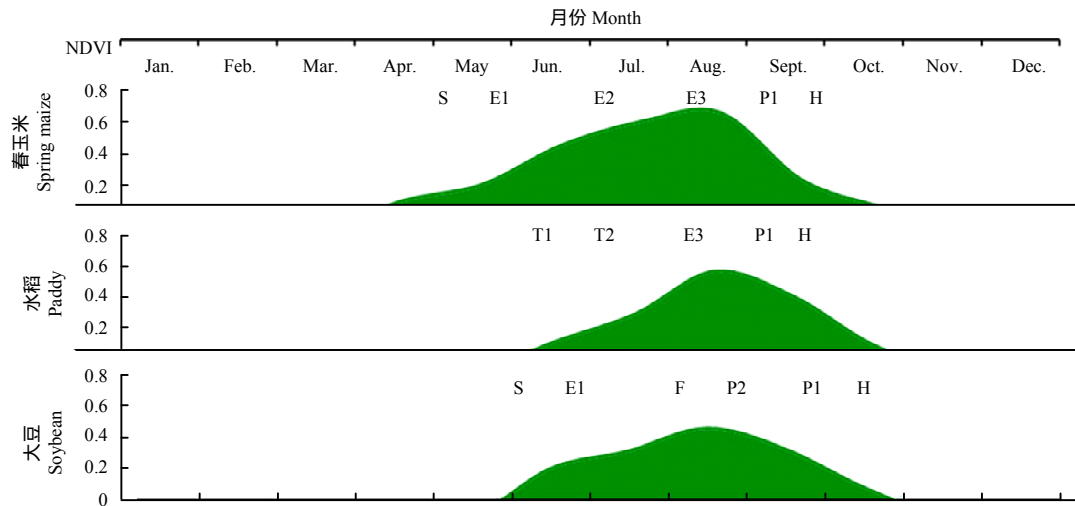
建立不同作物面积提取模型需要几个关键时相的 NDVI 值^[19-20]。本文用 $NDVI_{xy}$ 表示，其中 x 取值范围为 1—12，表示月份，y 取值范围为 1—3，分别表示上、中、下旬，如 $NDVI_{73}$ 表示 7 月下旬的 NDVI 值。

表 1 列出了不同作物一般情况下播种面积空间分

表 1 不同作物面积空间分布提取模型

Table 1 Spatial distribution extraction models of different crops

作物空间分布提取模型 Spatial distribution extraction models	作物类型 Crop types
$NDVI_{51} < T_1, NDVI_{63} > T_2, NDVI_{81} > NDVI_{73}, NDVI_{81} > NDVI_{82}, NDVI_{81} > T_3$	春玉米 Spring maize
$NDVI_{63} < T_4, NDVI_{81} > NDVI_{73}, NDVI_{81} > NDVI_{82}, T_5 < NDVI_{82} < T_6$	大豆 Soybean
$NDVI_{61} < T_7, NDVI_{81} > NDVI_{82}, NDVI_{81} > NDVI_{73}, NDVI_{92} > T_8$	水稻 Paddy



S-播种; E1-出苗; E2-拔节; E3-抽穗; T1-移栽; T2-分蘖; F-开花; P1-乳熟; P2-结荚; H-收获

S-Sowing; E1-Emergence; E2-Elongating; E3-Earing; T1-Transplanting; T2-Tillering; F-Flowering; P1-Physiological maturity; P2-Pod filling; H-Harvesting

图 1 东北地区主要作物物候历与植被指数的一般对应关系

Fig. 1 General correspondence of phenology calendar and vegetation indices of different crops in Northeast China

布提取模型, 由于不同年份、不同地区、同一物候期植被指数存在差异, 表 1 的一般模型中, NDVI 各阶段的具体数值用 T_N (N 整数) 表示。

东北地区春玉米大约 5 月上旬播种, 5 月中下旬出苗, 6 月下旬开始拔节, 7 月中下旬抽雄, 至 8 月底 9 月初乳熟、成熟。随着春玉米的出苗、拔节到抽雄至成熟, 反映在遥感图像上的 NDVI 值先逐步增大, 达到一个峰值后再逐步变小 (图 1), 根据这一特性, 得到春玉米面积识别一般模型 (表 1)。同理, 通过分析东北地区大豆和一季稻的物候历和植被指数的对应关系, 得到东北地区大豆和水稻的一般提取模型 (表 1)。对于水稻来说, 其移栽前背景信息表现为水体性质, NDVI 很低, 8 月上旬为抽穗期, NDVI 值达到最大。

模型中, 如果像元值同时满足玉米一般提取模型所述条件, 则判断该像元为春玉米。其中, T_N 是不同作物生育期植被指数 NDVI 的阈值 (下同), 其数值大小来源于不同区域植被指数与物候期的一一对应关系, 如 5 月上旬, 玉米的 NDVI 值一般小于 0.2, 6 月下旬, NDVI 值一般大于 0.45, 到了 8 月上旬, 处于抽穗期的玉米 NDVI 可以达到 0.65 以上, 甚至更高, 且 NDVI 同时大于 7 月下旬和 8 月中旬。特别需要说明的是, 由于作物长势的差异, NDVI 值在同一时相、不同地区可能不同, 而每年气候对生育期的

进程亦产生影响。

模型中关键点位的 NDVI 值、 T_N 值要根据每年的物候历及作物光谱特征资料或农情野外监测数据来分区作物设置, 上述只是一般提取模型。在不同年份、不同作物的面积信息提取中, 模型要根据实测数据不断修正。模型分区越小, 提取精度相应较高, 但分区域的阈值往往获取困难^[21-22]。

1.3 作物格局动态变化

本研究尝试将景观生态学中不同景观类型数量动态变化指数模型应用到农田耕地内部不同作物动态变化规律研究中。选取如下景观格局指数^[9,14,23]。

(1) 平均斑块面积 (average patch area) $AA=A_i/n$ 其中, AA 为作物类型 i 的斑块平均面积, A_i 为作物类型 i 的总面积; n 为作物类型 i 的斑块数目。

(2) 作物景观斑块密度指数 (crop landscape patch density index) $PD = \sum Ni / A$

其中, PD 表示斑块密度指数, $\sum Ni$ 表示研究区某作物景观斑块类型 i 的数目, A 表示作物景观斑块类型的面积。此格局指数可以了解研究区内每 km^2 平均作物斑块数 (N)。

(3) 作物景观斑块数量破碎化指数 (crop landscape fragmentation index) $FN=MPS(Nf-1)/Nc$

其中, FN 为某类作物景观斑块类型的景观破碎度指

数, MPS 为整个作物景观的平均斑块面积, Nf 为某类作物景观斑块类型的斑块数目, Nc 为研究区作物总面积与最小斑块面积的比值。此格局指数可以反映某种作物被其它作物景观分割的破碎程度, 其值 (0,1), 数值越大表示被破坏程度越大。

(4) 作物景观分离度指数 (crop landscape isolation index) $Ni = \frac{A}{2Ai} \sqrt{\frac{n}{A}}$

其中, Ni 为作物类型 i 的分离度指数, A 为研究区某作物景观总面积, Ai 为某作物类型 i 的面积, n 为某作物类型 i 的斑块数。此格局指数可以表示某种作物不同斑块个体空间分布的离散 (或集聚) 程度, 分离度越大, 表示斑块越离散, 斑块之间距离越大。

(5) 作物类型变化幅度 (crop types change range)

$$S = \frac{S_{(i,t_2)} - S_{(i,t_1)}}{S_{(i,t_1)}} \times 100\%$$

其中, S 为作物景观变化幅度; $S_{(i,t_1)}$ 和 $S_{(i,t_2)}$ 分别为研究初期 t_1 和末期 t_2 某一作物类型 i 的面积。此格局指数可以表示某种作物在一段时间内的面积变化情况。

(6) 单一作物类型动态度 (crop dynamic degree)

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

其中, K 为研究时段内某一作物景观类型动态度, U_a 、 U_b 分别为研究初期及研究末期某一种作物类型的数量; T 为研究时长 (a)。此格局指数表示研究区某类作物类型的年变化率。

2 结果

2.1 作物格局信息空间分布结果

根据表 1 不同作物的提取模型, 提取出东北地区

不同作物 2005 及 2010 年空间分布, 通过 ArcGIS 空间计算, 得出作物空间动态变化图, 见图 2。

2.2 作物分布信息精度验证

用中等分辨率遥感影像全覆盖方式, 进行大尺度作物种植面积遥感提取研究, 提取的精度一方面取决于遥感影像的分辨率, 另一方面取决于提取模型中参数阈值的设定。精度验证根据区域的大小主要采取两种方式, 一是小范围内的精度验证, 主要以高分辨率遥感卫星 SPOT 为主要信息源的农业部东北地区作物本底调查数据为相对真值进行验证。二是在区域尺度上, 以省级行政区划为基本单元, 以统计数据作为评价标准, 对分省的各类作物的面积进行精度评价, 本文采用的面积指标是提取年份前后 3 年作物面积的平均值。图 3 以辽宁省春玉米主产县法库县、彰武县、康平县、铁岭县等地区为例, 显示了县域尺度上基于 MODIS 提取的面积与高分辨率图像解译结果对比情况。图 4 和表 2 是东北三省春玉米、水稻、大豆基于 MODIS 提取的面积与多年平均统计面积的对比, 在区域尺度上, 2005 年各种作物提取精度总体达到 87.5%, 2010 年各种作物提取精度总体达到 94.2%。

2.3 作物格局动态变化

表 3 详细列出了东北地区分省、分作物 2005 年和 2010 年不同作物景观变化情况。通过作物景观指数, 可以清楚地了解每种作物空间变化过程。以黑龙江省为例, 5 年间, 水稻的平均斑块面积增大, 斑块密度减小, 水田作物趋于连片、水田斑块向着更有规律分布的方向发展的过程显而易见, 景观破碎化指数和分离度指数的降低反映了水田的离散程度, 说明在格局分布上, 水田向着更有序的方向发展。春玉米作物与水田有着相似的变化规律, 这与

表 2 东北地区各作物总体面积提取精度-与统计数据对比

Table 2 Areas extraction accuracy of three main crops in Northeast China - compared with the statistical data

作物类型 Crop types	统计数据面积		MODIS 提取面积		相对精度	
	Areas from statistical data (10^3hm^2)		Areas extracted by MODIS (10^3hm^2)		Accuracy (%)	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010
春玉米 Spring maize	2959	4065	3420	4185	86.5	97.1
大豆 Soybean	7212	9432	8320	10219	86.7	92.3
水稻 Paddy	4434	4095	4967	3837	89.3	93.3
总计 Total	14605	17592	16707	18241	87.5	94.2

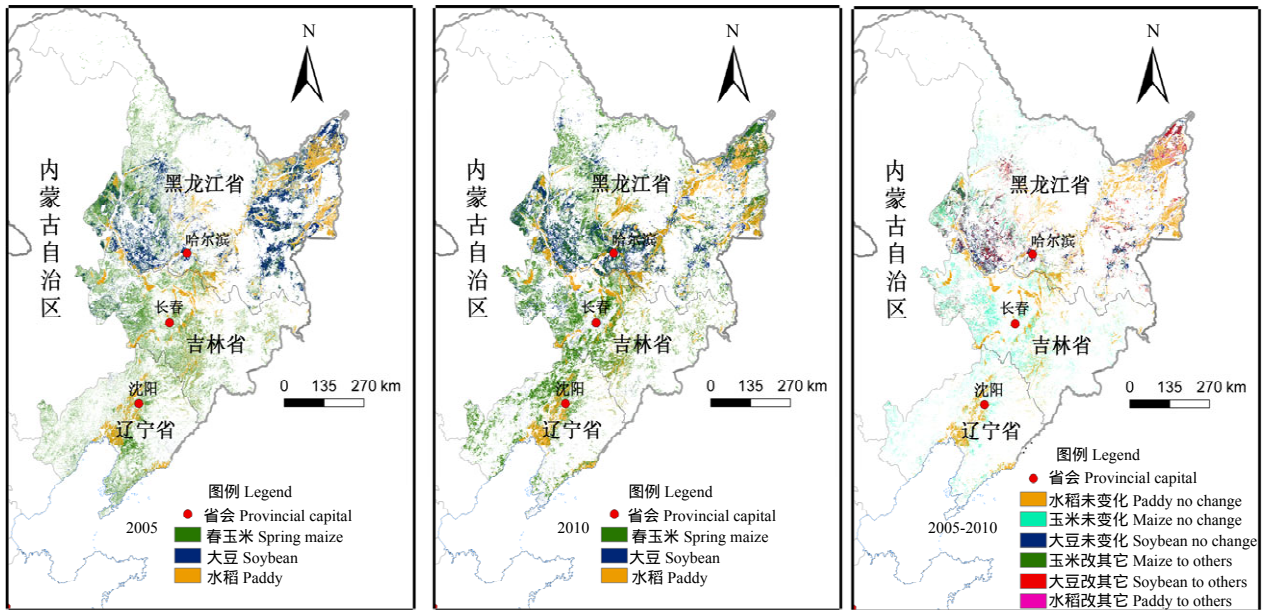
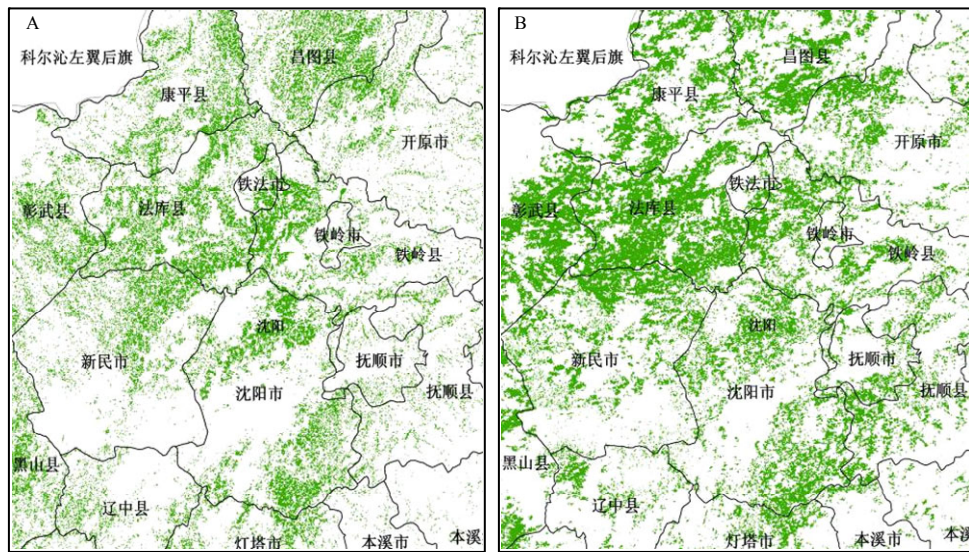


图 2 东北地区 2005、2010 年主要作物空间分布及格局动态变化

Fig. 2 Spatial distribution of spring maize, paddy and soybean in Northeast China in 2005 and 2010 and changes between years



A : 高分辨率遥感图像解译面积 ; B : MODIS 遥感提取面积 A: Areas obtained from high resolution images; B: Areas obtained from MODIS data

图 3 春玉米面积县域尺度精度验证

Fig. 3 Accuracy validation of spring maize distribution at county scale

经济利益的刺激和国家扶持政策密切相关，也有自然因素分析认为，水稻面积的增加和温度上升有关^[24]。而大豆在空间上的分布变化特征正好相反，5年间，大豆平均斑块面积减少，斑块密度增加，大豆田块向着更离散的方向发展的过程得以清楚显

现，这种景观空间结构的破碎化不利于农田整体生态功能的稳定。表 4 同时列出了东北三省水稻、玉米及大豆总体格局指数变化，通过这些指数表征的意义，东北三省不同作物时间及空间上的动态变化规律一目了然。

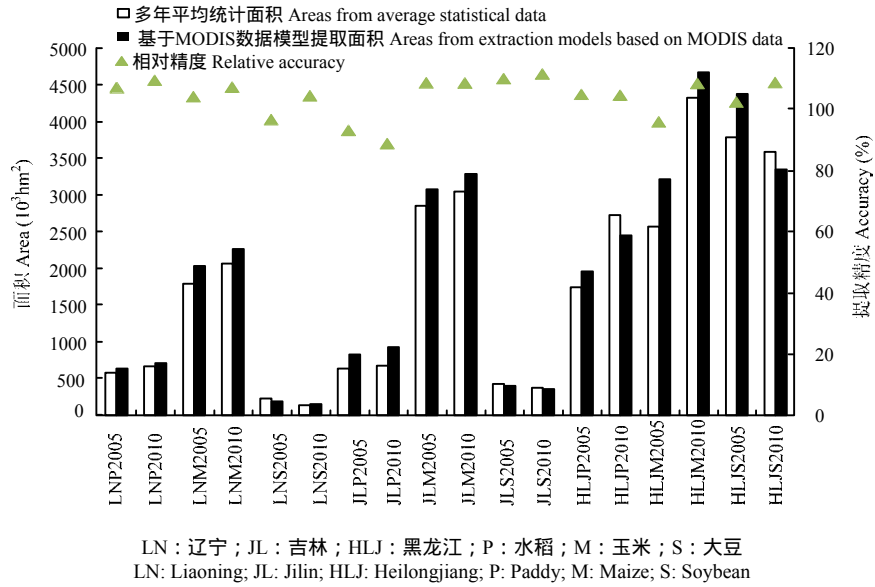


图 4 分省、分作物遥感面积提取精度-与统计数据对比

Fig. 4 Area extraction accuracy of three main crops in different provinces - compared with the statistical data

表 3 东北三省 2005、2010 年不同作物景观格局指数动态变化

Table 3 Dynamic changes of crop landscape pattern in Northeast China from 2005 to 2010

省份 Provinces	作物 Crops	年份 Year	作物景观格局指数 Crop landscape pattern indices			
			平均斑块面积 Average patch area (km ²)	作物景观斑块密度指数 Crop landscape patch density index (N/km ²)	作物景观斑块数量破碎化指数 Crop landscape fragmentation index	作物景观分离度指数 Crop landscape isolation index
辽宁 Liaoning	稻谷 Paddy	2005	0.775	12.900	0.0142	8.085
		2010	0.902	11.090	0.0139	7.325
	玉米 Maize	2005	0.266	37.590	0.0500	4.309
		2010	0.819	12.210	0.0400	2.415
	大豆 Soybean	2005	0.172	58.017	0.0041	57.354
		2010	0.201	49.662	0.0031	71.701
吉林 Jilin	稻谷 Paddy	2005	0.493	20.288	0.0120	11.738
		2010	0.533	18.752	0.0127	10.677
	玉米 Maize	2005	0.348	28.758	0.0474	3.750
		2010	0.967	10.341	0.0326	2.236
	大豆 Soybean	2005	0.353	28.308	0.0061	28.560
		2010	0.260	38.481	0.0132	39.657
黑龙江 Heilongjiang	稻谷 Paddy	2005	0.592	16.902	0.0151	10.013
		2010	0.795	12.573	0.0128	7.351
	玉米 Maize	2005	0.215	46.428	0.0381	10.127
		2010	0.621	16.099	0.0293	4.537
	大豆 Soybean	2005	0.701	14.273	0.0160	4.122
		2010	0.626	15.974	0.0208	6.311
东北三省 Northeast	稻谷 Paddy	2005	0.620	16.697	0.0138	9.945
		2010	0.744	14.138	0.0131	8.451
China	玉米 Maize	2005	0.276	37.592	0.0452	6.062
		2010	0.802	12.883	0.0340	3.063
	大豆 Soybean	2005	0.409	33.533	0.0087	30.012
		2010	0.362	34.705	0.0124	39.223

表 4 东北三省 2005—2010 年不同作物面积的变化幅度及动态度

Table 4 Change range and dynamic degree of different crops in Northeast China from 2005 to 2010 (%)

作物类型 Crop	辽宁省 Liaoning province		吉林省 Jilin province		黑龙江省 Heilongjiang province		东北三省 Northeast China	
	变化幅度	动态度	变化幅度	动态度	变化幅度	动态度	变化幅度	动态度
	Change range	Dynamic degree	Change range	Dynamic degree	Change range	Dynamic degree	Change range	Dynamic degree
水稻 Paddy	12.03	2.41	12.27	2.45	29.97	5.99	22.37	4.47
春玉米 Spring maize	11.32	2.26	6.82	1.36	45.40	9.08	22.82	4.56
大豆 Soybean	-18.99	-3.80	-10.81	-2.16	-23.56	-4.71	-22.36	-4.47

从表 4 可以清楚地看到东北三省 2005—2010 年 5 年间各种作物类型面积的变化幅度及年动态度情况。3 个省的水稻和玉米面积均呈增加趋势,而大豆减少趋势则非常明显。3 个省中,黑龙江各种作物动态度变化均为最大,其中春玉米面积在 5 年中变化幅度达 45%,水稻面积增加了近 30%,而大豆则减少了 24%。而吉林省的各种作物变化幅度相对较小。

3 讨论

本文尝试利于 MODIS-NDVI 数据提取东北地区不同年份农作物格局信息。研究表明,在农作物生长期中,获取多时相的 MODIS 数据,根据农作物物候历及时序 NDVI 曲线特征,确定提取不同作物种植面积的模型和阈值,最终通过中等分辨率 MODIS 数据获取作物空间分布特征的技术和方法是可行的。目前关于利用遥感技术进行地表覆盖监测时,除了前面提到的绝大部分学者都将耕地作为单一土地利用类型对待外,国内外学者也有利用不同遥感信息源监测农作物分布特征的研究,如冯锐等^[25]、邬明权等^[26]用 MODIS 数据提取水稻面积, Gusso 等^[27]、陈健等^[28]利用 MODIS 提取冬小麦、大豆种植信息,以上研究大都关注的是某一种作物的提取方法,没有充分考虑在作物种类分布较复杂情况下的提取方法。也有学者用 MODIS 和 ETM 等中高分辨率遥感数据融合的方法提取了东北地区的主要作物^[29],但对农业来说,由于其季节性很强,在生长季内获取全覆盖的高分辨率图像尤为困难,同时经济代价也相对较大,这对每年的动态变化研究提出了较高要求。也有学者利用波谱分析技术进行作物遥感分类^[30],但其 NDVI 曲线特征的提取需大量的地面样本实测数据,虽然精度可能会有所提高,但大区域内样本点的获取也相对困难。在农业部农情遥感监测中,每年都需要获取作物动态变化分布情况,因此本文提出的这种快速、大范围作物面积提取方法尤其适用于对作物面积动态变化需求较大

的农情遥感监测。另一方面,本文将景观生态学中景观格局动态变化分析方法引入到作物格局动态变化分析中,借助前人提出的数理统计方法可以很好地描述耕地内部作物结构变化情况。因此本研究的思路和方法是对前人研究的一个有益补充和完善。

本研究虽然可以在大范围内、利用免费的 MODIS 数据,快速提取出作物分布面积格局信息。但是,中国地域类型复杂,农业生产覆盖面积大、季节性强、区域差异大、农业种植结构极其复杂,模型提取中阈值的设定关系到提取的精度,怎样在作物面积提取前及时更新各地区每年的物候信息、关键点位的 NDVI 值、 T_N 是作物面积提取模型中参数设计本地化的基础;另一方面,由于 MODIS 分辨率较低加上本文对 MODIS 混合像元问题考虑不多,提取的斑块面积直接影响景观格局指数的分析,有待今后进一步提高完善。

4 结论

4.1 本文以东北地区为例,获取了春玉米、水稻及大豆 2005 和 2010 年的空间分布图,与多年平均统计数据比较,总体精度达到了 90%以上,这是作物动态变化研究的基础。

4.2 2005—2010 年 5 年间,东北地区主要作物种植结构发生了较大变化。其中大豆面积减少趋势非常明显,年动态度达到了 -4.47%,且平均斑块面积减少了 0.047 km²,说明大豆景观破碎化程度增加,景观结构向着不稳定的方向发展。种植成本增加,相对效益下滑是大豆面积减少的主要原因。水稻和玉米作物 5 年的变化幅度分别达到了 22.37%和 22.82%,且其平均斑块面积都在增加,种植结构日益转向收益较高的玉米、水稻等作物的趋势较为明显。

References

- [1] 刘颂,郭菲菲,李倩.我国景观格局研究进展及发展趋势.东北农业大学学报,2010,41(6):144-151.

- Liu S, Guo F F, Li Q. Research status and development trend of landscape pattern in China. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, 41(6): 144-151. (in Chinese)
- [2] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展. *资源科学*, 2011, 33(6): 1195-1203.
Zhang J H, Feng Z M, Jiang L G. Progress on studies of land use/land cover classification systems. *Resources Science*, 2011, 33(6): 1195-1203. (in Chinese)
- [3] 郝慧梅, 郝永利, 任志远. 近 20 年关中地区土地利用/覆盖变化动态与格局. *中国农业科学*, 2011, 44(21): 4525-4536.
Hao H M, Hao Y L, Ren Z Y. Analysis on dynamic and pattern of land use/cover change in Guanzhong area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(21): 4525-4536. (in Chinese)
- [4] Rogan J, Chen D M. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 2004, 61: 301-324.
- [5] Garedeu E, Sandewall M, Söderberg U, Campbell B M. Land-use and land-cover dynamics in the central rift valley of Ethiopia. *Environmental Management*, 2009, 44(4): 683-694.
- [6] 祝锦霞, 郭庆华, 王珂. 湿地高分辨率遥感影像的变化检测. *中国农业科学*, 2012, 45(21): 4369-4376.
Zhu J X, Guo Q H, Wang K. Change detection on wetlands using high spatial resolution imagery. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(21): 4369-4376. (in Chinese)
- [7] 李存军, 王纪华, 刘良云, 宋晓宇, 王人潮. 利用多时相 Landsat 近红外波段监测冬小麦和苜蓿种植面积. *农业工程学报*, 2005, 21(2): 96-101.
Li C J, Wang J H, Liu L Y, Song X Y, Wang R C. Land cover mapping of winter wheat and clover using multi-temporal Landsat NIR band in a growing season. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(2): 96-101. (in Chinese)
- [8] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 周清波, 陈仲新. 农作物空间格局遥感监测研究进展. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2879-2888.
Tang H J, Wu W B, Yang P, Zhou Q B, Chen Z X. Recent progresses in monitoring crop spatial patterns by using remote sensing technologies. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(14): 2879-2888. (in Chinese)
- [9] 邬建国. 景观生态学 - 格局、过程、尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007. (in Chinese)
- [10] Frondoni R, Mollo B, Capotorti G. A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 100: 117-128.
- [11] 冉盈盈, 王卷乐, 张永杰, 李玉洁, 周玉洁. 鄱阳湖地区土地覆盖空间分布格局与景观特征分析. *地球信息科学学报*, 2012, 14(3): 327-337.
Ran Y Y, Wang J L, Zhang Y J, Li Y J, Zhou Y J. Quantitative analysis on spatial distribution of land cover pattern and landscape features in Poyang Lake region. *Journal of Geo-Information Science*, 2012, 14(3): 327-337. (in Chinese)
- [12] 俱军, 张洪程, 陆建飞. 江苏省水稻生产 30 年地域格局变化及影响因素分析. *中国农业科学*, 2012, 45(16): 3446-3452.
Nai J, Zhang H C, Lu J F. Regional pattern changes of rice production in thirty years and its influencing factors in Jiangsu province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(16): 3446-3452. (in Chinese)
- [13] 占车生, 乔晨, 徐宗学, 尹剑. 基于遥感的渭河关中地区生态景观格局变化研究. *资源科学*, 2011, 33(12): 2349-2355.
Zhan C S, Qiao C, Xu Z X, Yin J. Ecological landscape patterns in Guanzhong part of the Weihe River basin based on remote sensing. *Resources Science*, 2011, 33(12): 2349-2355. (in Chinese)
- [14] 肖笃宁, 王根绪, 王让会. 中国干旱区景观生态学研究进展. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2003.
Xiao D N, Wang G X, Wang R H. Progress of landscape ecology in arid land of China. Urumuqi: Xinjiang People's Press, 2003. (in Chinese)
- [15] Omkar S N, Senthilnath J, Mudigere D, Manoj K M. Crop classification using biologically-inspired techniques with high resolution satellite image. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2008, 36(2): 175-182.
- [16] Turner M D, Congalton R G. Classification of multi-temporal SPOT-XS satellite data for mapping rice fields on a West African floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19: 21-41.
- [17] 徐新刚, 李强子, 周万村, 吴炳方. 应用高分辨率遥感影像提取作物种植面积. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 17-23.
Xu X G, Li Q Z, Zhou W C, Wu B F. Classification application of QuickBird imagery to obtain crop planting area. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(1): 17-23. (in Chinese)
- [18] 韩立建, 潘耀忠, 贾斌, 朱秀芳, 刘旭艳, 王双, 张锦水. 基于多时相 IRS-P6 卫星 AWIFS 影像的水稻种植面积提取方法. *农业工程学报*, 2007, 23(5): 137-143.
Han L J, Pan Y Z, Jia B, Zhu X F, Liu X L, Wang S, Zhang J S. Acquisition of paddy rice coverage based on multi temporal IRS-P6 satellite AWIFS RS data. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(5):

- 137-143. (in Chinese)
- [19] 杨小唤, 张香平, 江东. 基于 MODIS 时序 NDVI 特征值提取多作物播种面积的方法. *资源科学*, 2004, 26(6): 17-22.
Yang X H, Zhang X P, Jiang D. Extraction of multi-crop planting areas from MODIS data. *Resources Science*, 2004, 26(6): 17-22. (in Chinese)
- [20] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, Shibasaki Ryosuke, 周清波, 张莉. 基于 NDVI 数据的华北地区耕地物候空间格局. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 552-560.
Wu W B, Yang P, Tang H J, Ryosuke S, Zhou Q B, Zhang L. Monitoring spatial patterns of cropland phenology in North China based on NOAA NDVI data. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 552-560. (in Chinese)
- [21] 林文鹏, 王长耀, 储德平, 牛铮, 钱永兰. 基于光谱特征分析的主要秋季作物类型提取研究. *农业工程学报*, 2006, 22(9): 128-132.
Lin W P, Wang C Y, Chu D P, Niu Z, Qian Y L. Extraction of fall crop types based on spectral analysis. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(9): 128-132. (in Chinese)
- [22] 黄青, 唐华俊, 周清波, 吴文斌, 王利民, 张莉. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 218-223.
Huang Q, Tang H J, Zhou Q B, Wu W B, Wang L M, Zhang L. Remote-sensing based monitoring of planting structure and growth condition of major crops in Northeast China. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(9): 218-223. (in Chinese)
- [23] 黄青. 塔里木河干流景观格局与生态水文过程的耦合分析[D]. 乌鲁木齐: 中国科学院新疆生态与地理研究所, 2007.
Huang Q. Coupling relations between landscape pattern and eco-hydrology process in inland river basin in arid zone - taking Tarim River as an example[D]. Urumqi: Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, 2007. (in Chinese)
- [24] 陈佑启, 姚艳敏, 何英彬, 石淑琴, 李志斌. 中国区域性耕地资源变化影响评价与粮食安全预警研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.
Chen Y Q, Yao Y M, He Y B, Shi S Q, Li Z B. *China Regional Arable Land Resources Change and Impact Assessment and Food Security Early Warning Analysis*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010. (in Chinese)
- [25] 冯锐, 张玉书, 钱永兰, 于文颖, 纪瑞鹏, 武晋雯, 陈鹏狮. 基于多时相 MODIS 数据的东北地区一季稻面积提取. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2570-2576.
Feng R, Zhang Y S, Qian Y L, Yu W Y, Ji R P, Wu J W, Chen P S. Extraction of single cropping rice area in Northeast China based on multi-temporal MODIS data. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(11): 2570-2576. (in Chinese)
- [26] 邬明权, 王长耀, 牛铮. 利用多源时序遥感数据提取大范围水稻种植面积. *农业工程学报*, 2010, 26(7): 240-244.
Wu M Q, Wang C Y, Niu Z. Mapping paddy fields in large areas based on time series multi-sensors data. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(7): 240-244. (in Chinese)
- [27] Gusso A, Formaggio A R, Rizzi R, Adami M, Rudorff B F T. Soybean crop area estimation by MODIS/EVI data. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2012, 47(3): 425-435.
- [28] 陈健, 刘云慧, 宇振荣. 基于时序 MODIS-EVI 数据的冬小麦种植信息提取. *中国农学通报*, 2011, 27(1): 446-450.
Chen J, Liu Y H, Yu Z R. Planting information extraction of winter wheat based on the time-series MODIS-EVI. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(1): 446-450. (in Chinese)
- [29] 郝卫平, 梅旭荣, 蔡学良, 杜建涛, 刘勤. 基于多时相遥感影像的东北三省作物分布信息提取. *农业工程学报*, 2011, 27(1): 201-207.
Hao W P, Mei X R, Cai X L, Du J T, Liu Q. Crop planting extraction based on multi-temporal remote sensing data in Northeast China. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1): 201-207. (in Chinese)
- [30] 陈思宁, 赵艳霞, 申双和. 基于波谱分析技术的遥感作物分类方法. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 154-160.
Chen S N, Zhao Y X, Shen S H. Crop classification by remote sensing based on spectral analysis. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(5): 154-160. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)