

Changes in Crop Planting Structure of Shandan County Based on the Time Window Threshold Method

Yaqun Liu^{1,2}, Wei Song^{2*}, Yong He¹

¹College of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing

²Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: yaqun_liu@163.com, ¹songw@igsnr.ac.cn

Received: Oct. 25th, 2015; accepted: Nov. 16th, 2015; published: Nov. 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Timely and accurately obtaining crop planting structure is crucial for guaranteeing the agriculture sustainable development and national food security. Taking Shandan County in the Heihe River Basin as the study area, we adopted a time window threshold method based on TM/ETM+ image to extract the spatial distribution of barley, wheat, rapeseed and corn of Shandan County in 2007 and 2012. The changes in the crop planting structure and the driving forces behind them were also analyzed. The results show that: 1) the overall accuracy of crop planting structure extraction was 87.20%, with Kappa coefficient of 0.84; 2) the planting area and proportion of barley decreased during 2007-2012, while those of wheat, rapeseed and corn increased. The planting area of other crops slightly increased while the planting proportion of it slightly decreased. The increased wheat, rapeseed and corn were mainly converted from other crops.

Keywords

Time Window Threshold Method, Crops Planting Structure, TM/ETM+ Image, NDVI, Shandan County

基于时间窗口阈值法的山丹县农作物种植结构变化

刘亚群^{1,2}, 宋伟^{2*}, 何勇¹

*通讯作者。

¹重庆交通大学建筑与城市规划学院, 重庆

²中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京

Email: yaqun_liu@163.com, songw@igsnr.ac.cn

收稿日期: 2015年10月25日; 录用日期: 2015年11月16日; 发布日期: 2015年11月18日

摘要

及时准确地获取区域农作物种植结构信息, 对于保障区域农业可持续发展及国家粮食安全都具有重要意义。本文以黑河流域山丹县为研究区, 基于TM/ETM+影像, 利用时间窗口阈值法对山丹县2007和2012年大麦、小麦、油菜和玉米的空间分布进行遥感识别, 并分析其变化。结果表明: 1) 山丹县农作物种植结构提取总体精度87.20%, Kappa系数0.84。2) 2007~2012年, 山丹县大麦的种植面积和种植比例呈下降趋势, 小麦、油菜和玉米的种植面积和种植比例呈增加趋势, 其他农作物的种植面积小幅增加但种植比例下降, 增加的小麦、油菜和玉米主要由其他农作物转移而来。

关键词

时间窗口阈值法, 农作物种植结构, TM/ETM+影像, NDVI, 山丹县

1. 引言

农作物的种植结构是指一个国家或地区的农作物类型、种植面积和种植比例, 反映了人类利用农业生产资源的状况, 是分析不同农作物的数量结构和空间分布特征的重要信息。及时、准确获取农作物种植结构信息, 不仅是农作物长势监测和产量估算的重要基础, 也是区域农业生产管理、农作物结构优化调整的依据, 对农业可持续发展及国家粮食安全都具有重要意义[1]-[4]。

遥感技术具有探测范围广、获取信息速度快、周期短和费用成本低等优点, 已被广泛应用于地表覆盖数据的获取, 为测算农作物种植结构提供了新的技术手段。国内外学者通常运用单一影像法、时间序列影像法和多源数据融合法开展农作物种植结构遥感提取研究。单一影像法一般以高光谱影像为数据源, 根据不同农作物光谱曲线的不同识别农作物的空间分布[5] [6]。也有学者以高空间分辨率影像为数据源, 结合其丰富的纹理和结构特征, 利用面向对象方法进行农作物分类[7]-[9]。时间序列影像法通常以 MODIS、NOAA/AVHRR、SPOT VEGETATION 等高时间分辨率影像为数据源, 利用不同农作物在不同时期的波段值、植被指数等特征参数不同, 对农作物进行识别[10]-[13]。多源数据融合法通常是结合高时间分辨率影像和高空间分辨率影像各自的优点, 进行数据融合后再进行农作物分类, 比如 MODIS 与 TM 影像融合, TM 与 HJ-1 影像进行融合等[14]-[16]。

目前, 我国农作物种植结构遥感提取研究主要集中在同种农作物大面积连片种植的东北平原和华北平原[17]-[19], 而且许多研究只对单一农作物的空间分布进行了识别[20] [21], 但针对耕地地块碎小、种植结构复杂的西北地区的研究还较少。因此, 本文以黑河流域的山丹县为研究区, 基于 TM/ETM+影像, 根据不同农作物的生长期信息的不同, 利用时间窗口阈值法遥感识别不同农作物的空间分布并分析其空间格局的变化。本研究有利于政府和农业生产者快速准确地了解区域农作物生产状况并进行适宜调整, 对维持区域农业可持续发展和保障国家粮食安全具有重要意义, 同时也为耕地地块碎小、种植结构复杂地区的农作物种植结构提取研究提供了有效参考[22] [23]。

2. 研究区概括

山丹县(100°41'~101°42'E, 37°50'~39°03'N)位于黑河流域中游(图 1), 河西走廊中段, 东靠永昌, 西邻民乐, 南以祁连山与青海省为界, 北与内蒙古自治区阿拉善右旗接壤, 东西宽 89 km, 南北长 136 km, 土地总面积 5402.43 km²。全县地形波状起伏, 山川交错, 三面环山, 南面有祁连山, 东南有大黄山, 北部有龙首山, 西南是丘陵地带, 海拔 1550~4441 m。该地区属大陆性荒漠气候和大陆性草原气候, 全年日照时数达 3000~3300 h, 年降水量 160 mm, 降水少而集中, 年蒸发量 300 mm, 年平均气温 5.9℃, 无霜期 110 天, 冬季寒冷, 夏季炎热, 昼夜温差大, 太阳辐射强, 光热资源丰富, 具有发展特色农业的良好气候优势, 适宜于多种农作物的生长和畜牧业的发展, 主要农作物有大麦、小麦、油菜和玉米等。

3. 研究数据与方法

3.1. 数据来源

本研究以 Landsat 5 的 TM 影像和 Landsat 7 的 ETM+ 影像为遥感数据源, 影像空间分辨率均为 30 m, 重返周期 16 天。相关影像下载于美国地质调查局(United States Geological Survey, 简称 USGS), 网站为 <http://glovis.usgs.gov/>, 所下载的影像为经过辐射校正和几何校正的 level 1 产品。覆盖整个山丹县需要 2 幅影像, 其轨道号分别是 133/33 和 133/34, 本研究共下载覆盖主要农作物大麦、小麦油菜和玉米生长期的云少的 TM/ETM+ 影像 20 幅, 并在 ENVI5.1 上对 TM/ETM+ 影像进行波段合成、条带去除和影像镶嵌等预处理。其中 2007 年轨道号为 133/33 和 133/34 的影像各 4 幅, 获取时间分别为 6 月 19 日、7 月 5 日、8 月 22 日和 9 月 23 日; 2012 年轨道号为 133/33 和 133/34 的影像各 6 幅, 获取时间分别为 6 月 8 日、6 月 24 日、7 月 26 日、8 月 11 日、8 月 26 日和 9 月 12 日。

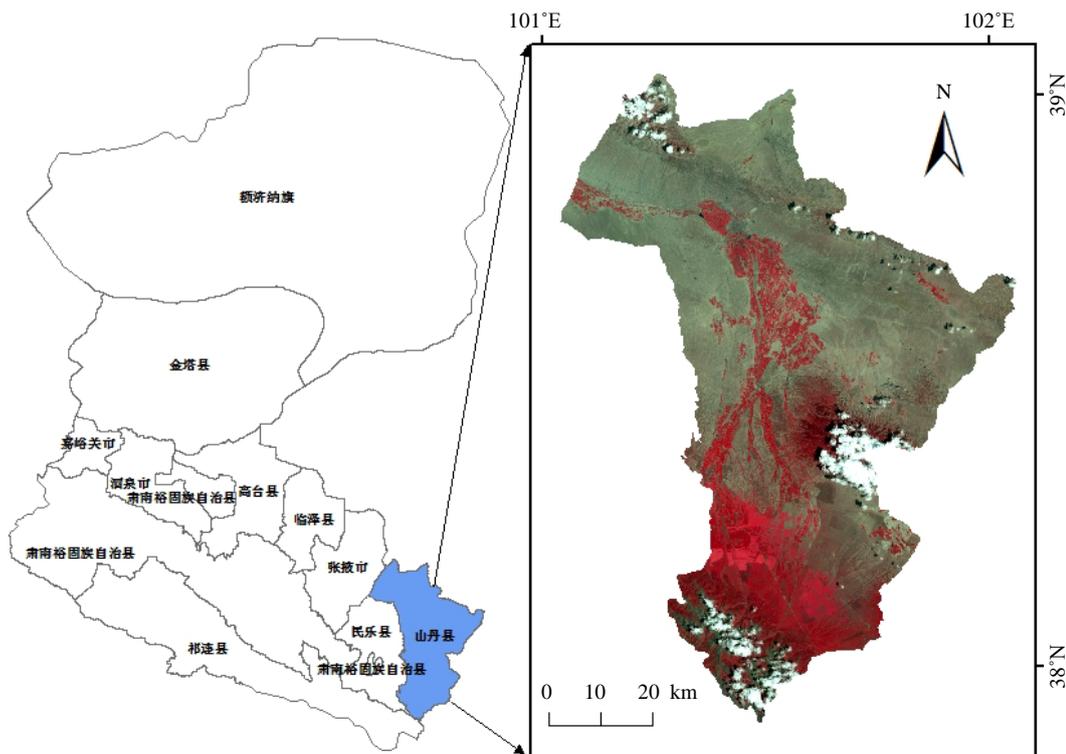


Figure 1. The location of Shandan County of Heihe River Basin
图 1. 黑河流域山丹县的地理位置

本研究的其他基础数据还包括: 1) 山丹县行政边界。2) 2012 年农作物分类样本点和检验样本点, 均来自黑河计划数据管理中心(网站为 <http://heihedata.org/>)的“黑河生态水文遥感试验: 黑河流域土地利用覆被数据集”的 2012 年月度地表类型覆被解译结果(总体精度 92.19%) [24]。

3.2. 研究方法

本研究首先基于 TM/ETM+影像目视解译得到山丹县耕地范围数据, 再反演得到耕地范围的归一化植被指数 NDVI, 然后结合农作物分类样本得到不同时间窗口相应的 NDVI 阈值进行分类, 最后得到 2007 和 2012 年山丹县大麦、小麦、油菜和玉米的空间分布并进行精度验证。

3.2.1. 归一化植被指数 NDVI

植被指数的反映地表植被生长状况的有效特征参量, 根据植被的光谱特征, 将影像的可见光与近红外波段进行组合, 目前已形成了 40 多种植被指数。由于归一化植被指数 NDVI 可以很大程度上消除仪器、太阳角、地形、云阴影和大气条件等带来的影响, 增强了对植被的响应能力, 已成为在植被动态监测中应用最广的植被指数[25]。NDVI 值的范围是 $[-1, 1]$, 无量纲, 其计算公式为:

$$NDVI = \frac{\rho(nir) - \rho(red)}{\rho(nir) + \rho(red)} \quad (1)$$

式(1)中 $\rho(nir)$ 、 $\rho(red)$ 分别为近红外波段和红光波段的反射率, TM/ETM+影像的近红外波段和红光波段分别是第 4 和 3 波段。

3.2.2. 时间窗口阈值法

时间窗口是根据不同农作物的生长期信息, 用以区分农作物的关键时相。不同农作物在同一时间窗口上的长势不同, 使其 NDVI 会有差别, 出苗和收割会分别引起时间窗口上的 NDVI 出现骤增和骤减的现象(图 2)。

大麦和小麦的生长期信息与油菜和玉米有明显不同。大麦和小麦播种期和收割期均比油菜和玉米早, 可选择大麦和小麦的出苗期或收割期将大麦和小麦与油菜和玉米分离开。但出苗期(5 月初)的 TM/ETM+影像受云影响太大, 故选择大麦和小麦的收割期 8 月份为关键时间窗口。

玉米的收割期比油菜晚, 因此选择油菜的收割期 9 月份作为关键时间窗口将玉米和油菜分离开。小麦的播种期和收割期均比大麦稍早, 在 6 月初小麦的 NDVI 大于大麦, 但 6 月份大麦的 NDVI 增加速度大于小麦, 8 月初小麦的 NDVI 小于大麦, 选择 6 月份和 8 月份为关键时间窗口对大麦和小麦进行分离。由于分离出来的四种主要农作物中还存在部分其他农作物, 需要利用其他时间窗口将其他农作物分别从大麦、小麦、油菜和玉米中分离出来。

最终确定 2007 年的时间窗口为 6/19、7/5、8/22、9/23, 2012 年的时间窗口为 6/8、6/24、7/26、8/11、8/26、9/12。由于不同年份 TM/ETM+影像受云的影响程度不一样, 因此 2007 年和 2012 年的时间窗口存在一些差异。根据不同农作物对多个时间窗口进行组合, 并结合农作物分类样本设定各时间窗口的阈值, 建立 2007 和 2012 年山丹县大麦、小麦、油菜和玉米的空间分布提取模型, 在 ENVI5.1 上利用决策树(decision tree)分类器识别不同作物的空间分布(图 3)。

3.2.3. 精度评价

精度评价是对分类结果进行评价, 确定分类的精度和可靠性。比较常用的精度评价方法是利用混淆矩阵评价分类结果的制图精度和用户精度, 并计算得到总体精度和 Kappa 系数[26]。其中制图精度是指假定地表真实为 A 类, 分类器能将一幅图像的像元归为 A 的概率, 是正确分类为 A 类的像元数与地表真实为 A 类像元数的比值。用户精度是指假定分类器将像元归到 A 类时, 相应的地表真实类别是 A 的概率,

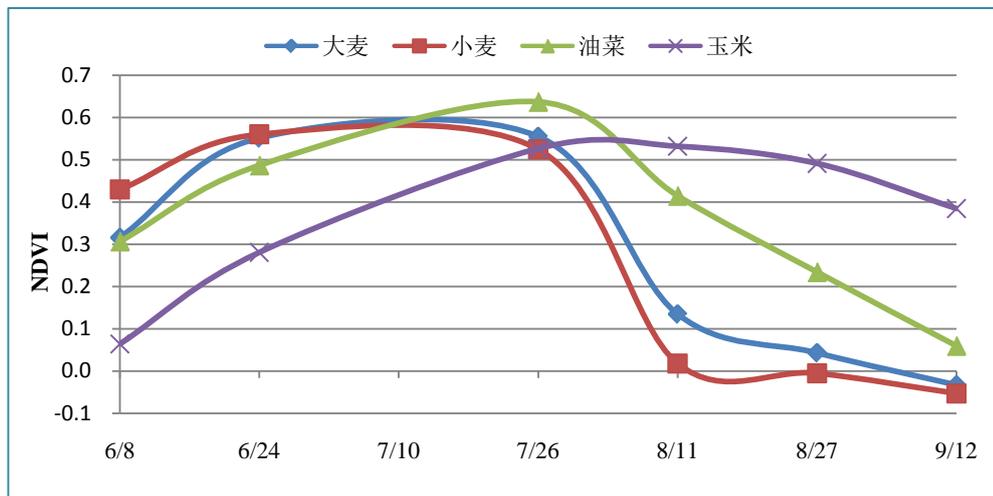
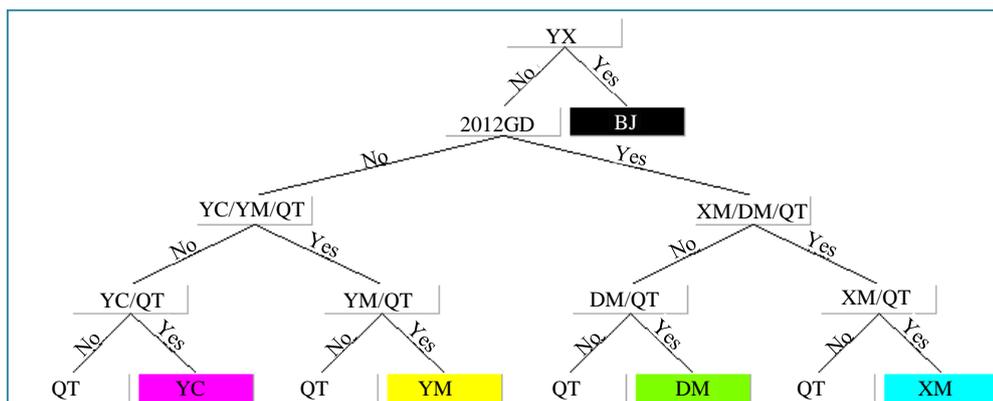


Figure 2. NDVI time window of different crops in Shandan County in 2012

图 2. 2012 年山丹县不同农作物的 NDVI 时间窗口



注：YS 表示原始影像、GD 表示耕地、BJ 表示影像的背景、DM 表示大麦、XM 表示小麦、YC 表示油菜、YM 表示玉米、QT 表示其他农作物

Figure 3. Decision tree for crop classification in Shandan County

图 3. 山丹县农作物分类决策树

是正确分类为 A 类的像元数与分类为 A 类像元数的比值。总体精度是分类正确的像元总数与分类像元总数的比值。

本研究以标准的分类图为真实参考源，验证样本来源于黑河计划数据管理中心的“黑河生态水文遥感试验：黑河流域土地利用覆被数据集”（该数据集由实地调研数据对 2012 年的分类结果进行精度评价，总体精度达到 92.19%），从 2012 年 6 月的地表类型覆被解译结果中随机选取大麦、小麦、油菜、玉米和其他作物的验证样本点，与本研究 2012 年农作物分类结果进行比较。由于 2007 年无验证样本点数据，只对 2012 年的解译结果进行精度评价。

4. 结果与分析

4.1. 农作物分类结果精度评价

将选取的大麦、小麦、油菜、玉米和其他农作物的验证样本各 50 个与 2012 年山丹县农作物分类结果进行比较，建立混淆矩阵评价分类结果的精度，得到各类农作物的错分误差、漏分误差、制图精度和

用户精度(表 1)。油菜的制图精度为 92.00%，只存在 8.00%的漏分。玉米与其他各类农作物的错分很小，其用户精度高达 93.02%，但制图精度较低，存在 20.00%的漏分。由于生长期接近，小麦和大麦的错分和漏分情况主要发生二者内部之间。农作物分类结果的总体精度达 87.20%，Kappa 系数 0.84，基本满足民乐县种植结构提取研究的需求。

4.2. 农作物种植的空间分布

山丹县 2007 和 2012 年主要农作物空间分布变化明显(图 4)。2007 年大麦主要集中种植在山丹县北部的中心，2012 年大麦的种植范围南移，分散种植在山丹县的中部。小麦的种植范围也由山丹县的北部向南部偏移。油菜和玉米的种植向西北偏移，集中种植在山丹县的西南角。

4.3. 农作物种植结构变化

2007~2012 年，山丹县大麦的种植面积和种植比例均呈现下降趋势，小麦、油菜和玉米的种植面积和种植比例均呈增加趋势(图 5 和图 6)。其中，大麦的种植面积由 2007 年的 $11.53 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 下降到 2012 年的 $7.92 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，下降了 $3.61 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，下降幅度为 31.30%；种植比例由 2007 年的 10.92% 下降到 2012 年的 7.41%，下降了 3.51%。小麦、油菜和玉米的种植面积分别由 2007 年的 $2.13 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $5.04 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $2.32 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加到 2012 年的 $4.32 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $5.45 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $4.62 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，分别增加了 $2.19 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $0.41 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $2.30 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，增加幅度分别为 102.74%、8.23% 和 99.08%；种植比例分别由 2007 年的 2.02%、4.77% 和 2.20% 增加到 2012 年的 4.04%、5.10% 和 4.32%，分别增加了 2.02%、0.33% 和 2.12%。其他农作物的种植面积增加了 $0.05 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，但种植比例下降了 0.96%。

农作物经济效益是引起种植结构变化的最主要原因，山丹县种植的玉米以经济作物制种玉米为主，大麦以经济作物啤酒大麦为主，但玉米和油菜的经济效益均高于大麦，因此在比较收益的驱动下，农户更愿意种植经济效益高的玉米和油菜，而大麦的种植面积下降。经济作物的价格随市场波动很大，收益高但风险也大，然而国家对粮食作物一直实行价格保护和种植补贴政策，同时农村生活水平不断提高使农民的人均粮食消费量增加，这是粮食作物小麦在经济效益较低的情况下种植面积却仍呈现增加趋势的原因。

气候变化也在一定程度上影响农作物种植结构的变化，气温升高使喜温作物玉米和油菜的种植面积均上升，喜寒作物大麦的种植面积下降，玉米和油菜的种植范围向海拔低气温高的山丹县西南转移，大麦和小麦的种植范围向海拔高气温低的山丹县南边转移。

4.4. 农作物种植转移

2007~2012 年间，山丹县农作物种植类型转移主要发生在四种主要农作物与其他农作物之间，而大麦、小麦、油菜和玉米相互间的转移较少(表 2)。大麦、小麦、油菜和玉米分别有 $6.77 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $1.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $3.56 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $1.95 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 转移为其他农作物，分别占各农作物总转出面积的 71.19%、85.64%、77.06% 和 86.28%。其他农作物转入大麦、小麦、油菜和玉米的面积分别为 $4.95 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $1.92 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $4.52 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $3.95 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，分别占 2012 年各农作物种植面积的 62.50%、44.44%、82.94% 和 85.50%。四种主要农作物相互间的转出转入较少，其中较明显的是大麦有 $2.03 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 转出为小麦，占大麦转出面积的 21.95%，占 2012 年小麦种植面积的 46.99%。

5. 结论与讨论

高空间分辨率和高光谱影像是种植结构提取的有效数据源，但均无法免费获取，难以获取区域的影像。高时间分辨率的影像可很好捕捉不同农作物物候期的差异，但空间分辨率太低，不适合耕地地块碎

Table 1. Accuracy assessment of crop classification in Shandan County in 2012
表 1. 2012 年山丹县农作物分类结果精度评价

农作物类型	错分误差/%	漏分误差/%	制图精度/%	用户精度/%
大麦	13.73	12.00	88.00	86.27
小麦	12.77	18.00	82.00	87.23
油菜	11.54	8.00	92.00	88.46
玉米	6.98	20.00	80.00	93.02
其他农作物	17.54	6.00	94.00	82.46

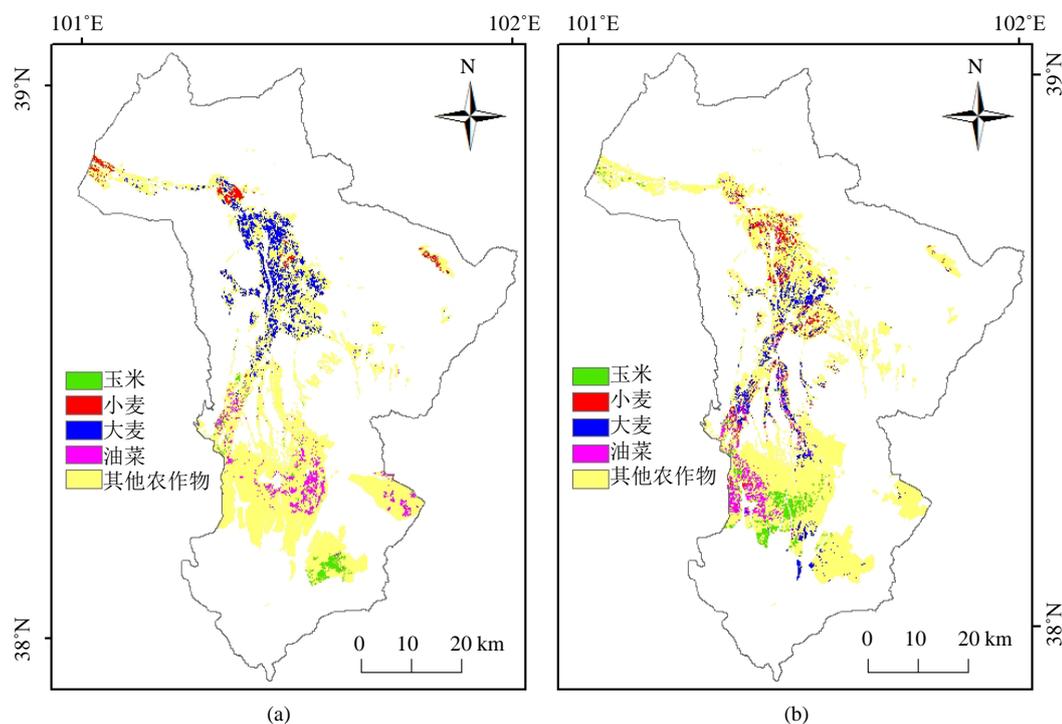


Figure 4. Spatial distribution of crops in Shandan County in 2007 (a) and 2012 (b)
图 4. 2007 年(a)和 2012 年(b)山丹县农作物空间分布

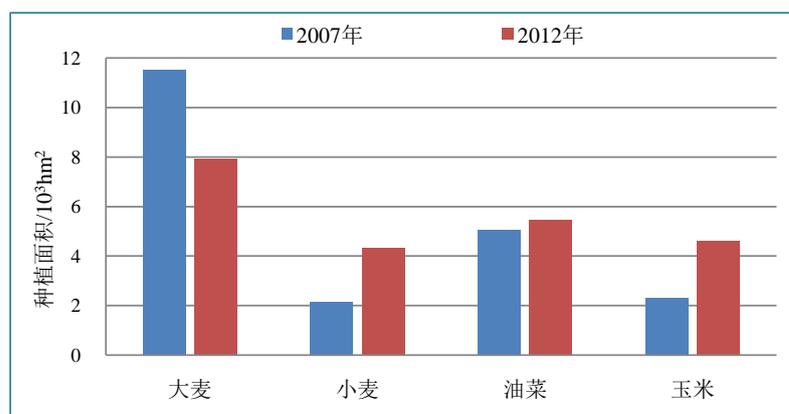


Figure 5. Crop planting area of Shandan County in 2007 and 2012
图 5. 2007 和 2012 年山丹县农作物种植面积

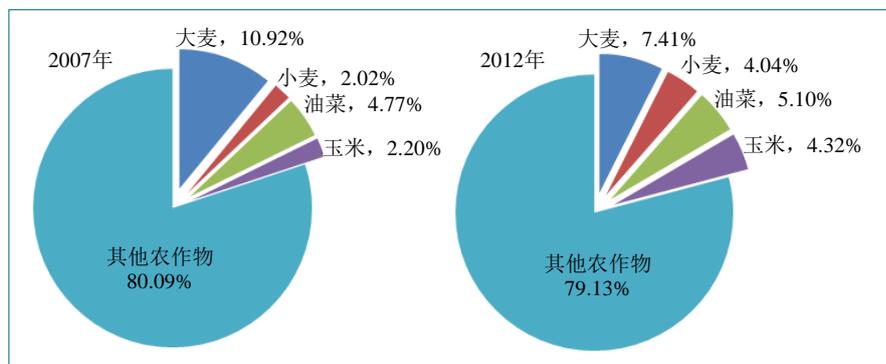


Figure 6. Crop planting structure of Shandan County in 2007 and 2012

图 6. 2007 和 2012 年山丹县农作物种植结构

Table 2. Conversion matrix of crop type in Shandan County from 2007 to 2012

表 2. 2007~2012 年山丹县农作物种植类型转移矩阵

	2012 年转入面积/ 10^3 hm^2						合计
	大麦	小麦	油菜	玉米	其他农作物	其他地类	
2007 年 转出面积 / 10^3 hm^2							
大麦	2.28	2.03	0.29	0.12	6.77	0.02	11.53
小麦	0.1	0.18	0.06	0.06	1.67	0.05	2.13
油菜	0.41	0.11	0.42	0.42	3.56	0.12	5.04
玉米	0.05	0.05	0.14	0.06	1.95	0.07	2.32
其他农作物	4.95	1.92	4.52	3.95	65.14	4.01	84.49
其他地类	0.11	0.03	0.02	0.01	5.45	390.6	396.22
合计	7.92	4.32	5.45	4.62	84.54	394.88	501.72

小的山丹县的种植结构提取研究。因此，本研究选用 TM/ETM+影像作为数据源(16 天的时间分辨率可体现不同作物生长期的差异，30 m 的空间分辨率可很大程度消除混合像元带来的误差)，利用时间窗口阈值法对 2007 和 2012 年山丹县的大麦、小麦、油菜和玉米的空间分布进行遥感识别，并结合验证样本对分类结果进行精度评价，总体精度 87.20%，Kappa 系数 0.84。

2007~2012 年之间，山丹县的小麦、油菜和玉米的种植面积和比例均增加，大麦的种植面积和比例下降，引起这种农作物种植结构变化的主要原因是经济效益、气候变化。一方面，油菜和玉米经济效益高于大麦；另一方面，气温升高为喜温作物油菜和玉米的种植提供了更有利的自然条件。粮食作物价格保护和种植补贴政策，同时农民人均粮食消费量增加，使经济效益较低的小麦的种植面积仍呈增加趋势。油菜和玉米的种植范围向海拔低气温高的山丹县西南边转移，大麦和小麦的种植范围向海拔高温度低的山丹县南边转移。

然而 TM/ETM+影像受云的影响较大，许多时相的影像无法应用，目前仍没有普遍适用的有效的去云方法，如果可以对影像的云进行有效处理，能被利用的影像数目增加可更好地体现不同农作物的生长差异，将进一步提高农作物种植结构的精度。

致 谢

国家自然科学基金重大研究计划集成项目(项目编号：91325302)与国家自然科学基金青年基金(项目编号：41501192)联合资助。

参考文献 (References)

- [1] 吴炳方, 范锦龙, 田亦陈, 等. 全国作物种植结构快速调查技术与应用[J]. 遥感学报, 2004(6): 618-627.
- [2] 胡琼, 吴文斌, 宋茜, 等. 农作物种植结构遥感提取研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1900-1914.
- [3] Zhang, Y., Li, X.B. and Song, W. (2014) Determinants of Cropland Abandonment at the Parcel, Household and Village Levels in Mountain Areas of China: A Multi-Level Analysis. *Land Use Policy*, **41**, 186-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.05.011>
- [4] Song, W., Chen, B.M. and Zhang, Y. (2014) Land-Use Change and Socio-Economic Driving Forces of Rural Settlement in China from 1996 to 2005. *Chinese Geographical Science*, **24**, 511-524. <http://dx.doi.org/10.1007/s11769-013-0633-6>
- [5] 方红亮, 田庆久. 高光谱遥感在植被监测中的研究综述[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(1): 65-72.
- [6] 张苗, 蒋志荣, 马明国, 等. 基于 CASI 影像的黑河中游种植结构精细分类研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(2): 283-289.
- [7] 张永庭, 严瑾, 杨雪茹. 高分辨率卫星遥感在引黄灌区农作物种植结构调查中的应用[J]. 农业科学研究, 2012, 33(2): 13-16.
- [8] 王利民, 刘佳, 杨玲波, 等. 基于无人机影像的农情遥感监测应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 136-145.
- [9] 刘克宝, 刘述彬, 陆忠军, 等. 利用高空间分辨率遥感数据的农作物种植结构提取[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 21-26.
- [10] 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[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 17-22.
- [11] 张霞, 焦全军, 张兵, 等. 利用 MODIS-EVI 图像时间序列提取作物种植模式初探[J]. 农业工程学报, 2008(5): 161-165.
- [12] Lloyd, D. (1990) A Phenological Classification of Terrestrial Vegetation Cover Using Shortwave Vegetation Index Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 2269-2279. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169008955174>
- [13] Verbeiren, S., Eerens, H., Piccard, I., Bauwens, I. and Van Orshoven, J. (2008) Sub-Pixel Classification of SPOT-VEGETATION Time Series for the Assessment of Regional Crop Areas in Belgium. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **10**, 486-497. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2006.12.003>
- [14] 蔡学良, 崔远来. 基于异源多时相遥感数据提取灌区作物种植结构[J]. 农业工程学报, 2009(8): 124-130.
- [15] 马丽, 顾晓鹤, 徐新刚, 等. 地块数据支持下的玉米种植面积遥感测量方法[J]. 农业工程学报, 2009(8): 147-151.
- [16] 郝鹏宇, 牛铮, 王力, 等. 基于历史时序植被指数库的多源数据作物面积自动提取方法[J]. 农业工程学报, 2012(23): 123-131.
- [17] 黄青, 唐华俊, 周清波, 等. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测[J]. 农业工程学报, 2010(9): 218-223.
- [18] 李正国, 杨鹏, 周清波, 等. 基于时序植被指数的华北地区作物物候期/种植制度的时空格局特征[J]. 生态学报, 2009(11): 6216-6226.
- [19] 郝卫平, 梅旭荣, 蔡学良, 等. 基于多时相遥感影像的东北三省作物分布信息提取[J]. 农业工程学报, 2011(1): 201-207.
- [20] 顾晓鹤, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. MODIS 与 TM 冬小麦种植面积遥感测量一致性研究——小区域实验研究[J]. 遥感学报, 2007(3): 350-358.
- [21] 崔方宁, 宋晓宇, 孙宝生, 等. 基于多时相 TM 影像的冬小麦面积变化监测[J]. 遥感信息, 2012(5): 89-95.
- [22] 宋伟. 1998-2007 年中国耕地数量及其结构变化研究[J]. 经济地理, 2011(10): 1698-1702.
- [23] Song, W. and Pijanowski, B.C. (2014) The Effects of China's Cultivated Land Balance Program on Potential Land Productivity at a National Scale. *Applied Geography*, **46**, 158-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.11.009>
- [24] Zhong, B., Ma, P., Nie, A.H., Yang, A.X., Yao, Y.J., Lu, W.B., Zhang, H. and Liu, Q.H. (2014) Land Cover Mapping Using Time Series HJ-1/CCD Data. *Science China Earth Sciences*, **57**, 1790-1799. <http://dx.doi.org/10.1007/s11430-014-4877-5>
- [25] 郭妮. 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象, 2003(4): 71-75.
- [26] Congalton, R.G. (1991) A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, **37**, 35-46. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)