

黄河三角洲新垦耕地年龄及其生产能力指数的遥感监测

汪 潇,左丽君,赵晓丽

(中国科学院遥感应用研究所,北京 100101)

摘要:黄河三角洲是我国重要的土地后备资源集中分布区,对黄河河口滩地的开垦成为了保持山东省乃至全国耕地动态平衡的关键。本文以东营市、垦利县、河口区和利津县作为研究区,利用6期(1984、1995、2000、2004、2008和2010年)TM影像,对黄河三角洲地区的耕地资源动态变化和耕地年龄进行了遥感监测和推定,并利用熵权法以植被指数(EVI和MSAVI)、植被覆盖度(Fv)和温度植被干燥指数(TVDI)为指标因子的耕地生产能力指数构建了评价模型。研究结果表明:在1984-2010年的26年时间里,研究区的耕地动态变化显著,新垦耕地面积达到77 362.33hm²,大部分来源于草地的开垦。其中,耕地年龄在8-12年期间的新垦耕地面积最多,占了新垦耕地面积的34.47%;研究区新垦耕地的生产能力指数呈现随着耕作时间的增加而增加的趋势,耕作时间在2-4年之内的新垦耕地平均生产能力指数,仅有传统耕地平均指数的67.66%;研究区传统耕地的生产能力指数大体上也在随着耕作时间的增加而提高,传统耕地在2010年的平均生产能力指数比1984年提高了76.51%。

关键词:黄河三角洲;耕地年龄;生产能力指数;熵权;遥感

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00461

1 引言

20世纪90年代以来,随着我国经济不断快速发展,耕地资源的供需矛盾更加突出,1998-2005年,全国累计净减少耕地1.14亿亩,平均每年净减少耕地1425万亩^[1]。“中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要”将18亿亩耕地保有量确定为约束性指标,在对城市扩展占用耕地进行严格控制的同时,恢复和开拓新的耕地成为了保持18亿亩红线的重要手段之一。

黄河三角洲是我国三大三角洲之一,是近150年来由黄河所携带的大量泥砂在渤海湾淤积而成的新生陆地^[2]。由于黄河泥沙在入海口沉淀而形成的滩地,以及具有较高的耕地后备资源自然适宜性,使得黄河三角洲成为了除新疆、黑龙江之外的又一个全国重要的土地后备资源集中分布区,成为保障我国耕地动态平衡的关键垦荒区^[3-4]。

由于该区黄河冲淤形成时间较短,具有独特的

自然和社会经济条件,生态环境脆弱,同时土地利用状况变化频繁,石油开采、社会经济发展、生态系统保护等和耕地开垦之间矛盾突出^[5]。因此,探索耕地资源的动态变化,以及新垦耕地和传统耕地之间的生产能力差异,对该区土地资源的合理开发和可持续发展有重要意义。

目前,针对黄河三角洲土地利用变化进行的研究已经开展了很多^[6-11],但是针对新垦耕地的研究却很少,而对新垦耕地年龄,以及生产能力的遥感监测分析则更少。因此,本文尝试以黄河三角洲为研究区,采用长时间序列的遥感数据,对研究区内耕地近30年来的变化过程进行监测和重建,监测耕地变化和推定其耕作年限,构建以遥感指标为主要评价因子的耕地生产能力指数监测和评价体系,以耕地变化监测数据为基础,进行新垦耕地和传统耕地生产能力指数差异的分析。利用遥感手段对耕地变化及其所导致的土地质量和生产能力变化进行监测。

收稿日期:2012-12-26; 修回日期:2013-01-29。

基金项目:国家自然科学基金项目(40901236、41001277)。

作者简介:汪 潇(1980-),男,博士,副研究员,主要研究方向为土地利用、土地覆盖和生态环境遥感。E-mail: wangxiao@irsa.ac.cn

2 研究区数据处理与监测方法

2.1 研究区数据分析处理

黄河三角洲位于黄河入海口处,东经117°31'~119°18'和北纬36°55'~38°16'之间。陆地总面积约7000 km²。地形平坦,土地利用类型主要包括耕地、草地、林地、河渠、建设用地、滩地和海涂等。土壤类型主要有潮土、盐化潮土和盐土^[10]。由于地下水位普遍较高(一般2~3m),而且地下水矿化度高(一般10~40g/L),土地盐碱化现象严重,约70%的土壤受到不同程度的盐渍度的影响。本文选择位于黄河三角洲的东营市、垦利县、河口区和利津县作为研究区。

为了分析黄河三角洲近30年来的耕地时空变化特征并同时兼顾遥感数据获取的可行性,研究数据选取1984年10月5日、1995年9月18日、2000年9月15日、2004年9月10日、2008年10月7日和2010年9月11日共6期TM数据。数据经过几何精纠正处理,用作自1984年以来耕地动态变化过程遥感监测和耕地年龄的推定,同时所有的TM数据都经过定标获得1-5波段、7波段的反射率和6波段的亮温数据,用作耕地生产能力指数相关遥感监测指标的反演。

2.2 耕地动态变化遥感监测方法

本文对研究区1984年以来的耕地变化进行过程重建,并对耕地年龄进行推定。土地利用分类系统采用中国科学院土地利用遥感监测数据库分类系统,包含6个一级类型(耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地),以及25个二级类型,技术路线为采用TM影像对监测前后两期遥感影像的直接对比,通过专家目视解译的方式对土地利用动态信息进行提取,同时,对更新成果进行验证和修改^[12-13]。

2.3 相关指标遥感反演算法

2.3.1 植被指数

植被指数是对地表植被活动简单、有效和经验的度量。通常使用红色可见光通道RED(0.6~0.7μm)和近红外光通道NIR(0.7~1.1μm)的组合来得到各个植被指数,以反映植被的演化信息,植被指数越大则代表植被长势越好,植被指数越小则代

表植被长势越差。

植被指数包含好多种类,其中,增强型土壤调节植被指数(MSAVI)能增强植被信号,最大限度地消除土壤背景的影响,并能宏观真实地反映该地区自然植被地带的界线。但是,MSAVI中包含了土壤和大气互相影响的噪音,减少其中一个噪音可能增加了另一个,而增强型植被指数(EVI)可以同时校正土壤和大气的影[14-15]。因此,本文选用MSAVI和EVI两种植被指数作为土地生产能力指标,计算公式(1)如下:

$$MSAVI = \frac{(2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)})}{2}$$

$$EVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + L} \quad (1)$$

式中,NIR为近红波段反射率;RED为红波段反射率;BLUE为蓝波段反射率;L为条件系数,一般取值为1。

相关的研究^[16]表明,黄河三角洲地区年植被指数与年净初级生产力呈现较好的正相关关系,通过了显著性水平 $\alpha=0.01$ 的F检测, R^2 高达0.97,最低也达0.86,因此,利用植被指数监测耕地生产能力具有可行性。

2.3.2 植被覆盖度

植被覆盖度是植被覆盖状况的良好指示,是地表植被覆盖与环境演变关系研究、土地利用变化与陆地生态系统变化研究等前沿问题研究中的重要研究对象。计算植被覆盖度较为通用的方法是采用混合像元分解法,而混合亚像元又进一步分为高密度、低密度和混合密度亚像元。由于研究区的植被覆盖度较好,因此,本文选取高密度模型进行植被覆盖度(Fv)的计算^[17-18],公式(2)如下:

$$Fv = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_{\infty} - NDVI_0} \quad (2)$$

其中,NDVI_∞是纯植被的植被指数;NDVI₀是纯土壤的植被指数;NDVI是指被求地块或像元点的植被指数。如果研究区NDVI最小值小于0,则取NDVI₀=0.00,且当NDVI小于0.00,Fv取值为0。

2.3.3 温度植被干燥指数

温度植被干燥指数是利用特征空间方法构建的一种经验参数化方法,该指数建立在一些遥感参数,例如,地表温度(Ts)、归一化植被指数(NDVI)等参数的相互关系基础上的。根据特征空间计算出的温度植被干燥指数能够在一定程度上反映土

壤水分的高低状况,通常在遥感研究中替代土壤水分数据来分析某一区域的干旱程度和土壤水分。

NDVI-Ts 构成的特征空间与地表植被覆盖和土壤水分状况有着非常密切的关系。Sandholt^[19]等在研究土壤水分时发现 NDVI-Ts 特征空间中有很多等值线,于是提出了温度植被干燥指数 (Temperature-Vegetation Dryness Index, TVDI) 的概念:

$$TVDI = \frac{T_s - (a_2 + b_2 \times NDVI)}{(a_1 + b_1 \times NDVI) - (a_2 + b_2 \times NDVI)} \quad (3)$$

式(3)中, a_1 、 b_1 是干边拟合方程的系数, a_2 、 b_2 是湿边拟合方程系数。根据研究表明, TVDI 和土壤水分的线性拟合结果经过 t 检验都达到显著, TVDI 值与土壤水分观测值的相关系数 R^2 达到 0.7^[20], 因此, 温度植被干燥指数能够反映土壤水分状况变化趋势, 温度植被干燥指数越大说明土壤水分越少, 反之则说明土壤水分越大。

2.4 基于熵权的权重评价模型

在构建指标体系的评价中, 不同指标权重的确定是一项关键的内容, 对评价的结果具有重要的影响。利用熵权法确定权重由于其客观合理性, 已在工程技术、社会经济、环境科学等领域得到广泛的应用^[21-23]。一般地, 如果某个指标的信息熵越小, 就表明其熵权值越大, 提供的信息量越大, 在综合评价中所起的作用越大, 则其权重也应越大。反之, 某指标的信息熵越大, 则其熵权越小, 该指标越不重要。熵权法赋权是一种客观赋权方法, 因此, 在本文耕地生产能力指数差异分析中, 将通过对熵的计算确定权重, 就是根据各项评价指标值的差异程度, 确定各评价指标的权重。

在有 m 个评价指标, n 个评价对象的评估问题中, 其原始数据矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

对原始矩阵进行标准化, 对大者为优的收益性指标 r_{ij} 而言:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j \{x_{ij}\}}{\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\}}$$

而对小者为优的成本性指标 r_{ij} 而言:

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\}}$$

公式(4)定义了第 i 个指标的熵:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

式中, $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, $k = 1/\ln n$, 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令

$f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

公式(5)定义了第 i 个指标的熵之后, 第 i 个指标的熵权定义为:

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (5)$$

式中, $0 \leq W_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m W_i = 1$ 。

则各被评价对象的评价值为:

$$I = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix}$$

3 耕地年龄及其生产能力指数的遥感监测分析

3.1 耕地时空动态变化及耕地年龄反演

遥感监测结果表明, 2010 年研究区内耕地总面积为 29.50 万 hm^2 , 自 1984 年以来新开垦耕地 77 362.33 hm^2 , 耕地减少 32 389.00 hm^2 , 耕地净增加了 44 973.33 hm^2 (表 1)。就不同时段来说, 1984 年至 1995 年期间是研究区内耕地增速最慢的时段, 在该时段当中, 耕地年均净增加仅有 42.60 hm^2 , 而 2000–2004 年期间则是新垦耕地增加总量最大和增速最快的时段, 耕地年均净增加面积达到了 5146.16 hm^2 。

从耕地类型说, 草地是研究区监测时间段中最大的新垦耕地来源, 总共有 53 835.79 hm^2 的草地被开垦成为耕地。其次为沼泽地, 共有 18 524.11 hm^2 的沼泽地被开垦为耕地。这两种开垦出来的耕地面积占了新垦耕地总面积的 93.53%。而耕地流失的去处, 绝大部分都流向了城镇建设用地, 有 16 623.38 hm^2 的耕地在 1984–2010 年期间变成了城镇建设用地, 占耕地流失总面积的 51.32%; 其次是水库坑塘, 有 6927.50 hm^2 的耕地变成了水库坑塘。

根据研究区耕地时空动态变化遥感监测的结果, 截止 2012 年, 研究区的耕地年龄可以分为 6 个时段, 分别为: 2 年 < 耕地年龄 < 4 年 (AGE1)、4 年 < 耕地年龄 < 8 年 (AGE2)、8 年 < 耕地年龄 < 12 年

表1 研究区1984-2010年耕地动态变化转移矩阵

Tab.1 Transfer matrix of cultivated land dynamic change from 1984 to 2010 in the study area

1984年类型	2010年类型								
	耕地	有林地	水库坑塘	城镇 建设用地	农村 居民点	工交 建设用地	盐碱地	沼泽地	总计
耕地	—	3627.65	6927.50	16 623.38	1934.23	1458.29	365.75	1452.20	32 389.00
有林地	2138.31	—	—	—	—	—	—	—	2138.31
草地	53 835.79	—	—	—	—	—	—	—	53 835.79
水库坑塘	47.34	—	—	—	—	—	—	—	47.34
海涂	198.16	—	—	—	—	—	—	—	198.16
盐碱地	2618.60	—	—	—	—	—	—	—	2618.60
沼泽地	18 524.11	—	—	—	—	—	—	—	18 524.11
总计	77 362.33	3627.65	6927.50	16 623.38	1934.23	1458.29	365.75	1452.20	109 751.33

(AGE3), 12年<耕地年龄<17年(AGE4), 17年<耕地年龄<28年(AGE5), 28年<耕地年龄(AGE6)(图1)。其中,耕地年龄大于28年的耕地是1984年以来一直耕作的耕地,本文中将这部分耕地(AGE6)定义为传统耕地,1984年之后新增加的耕地定义为新垦耕地(AGE1-AGE5)。

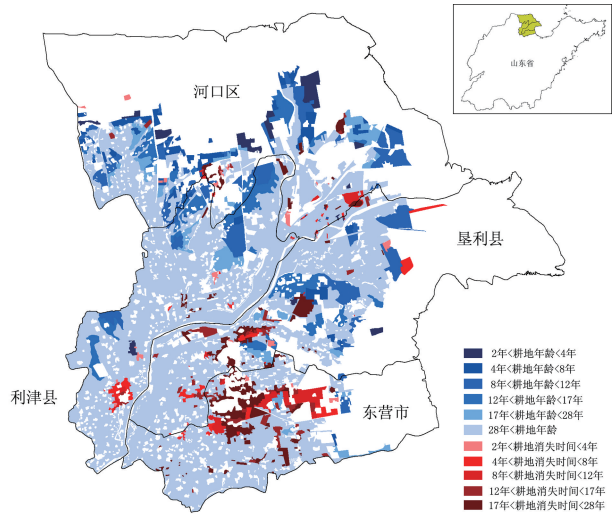


图1 研究区耕地动态变化分布图

Fig.1 Distribution map of cultivated land dynamic polygons

在1984-2010年共26年的监测期间内,研究区的传统耕地呈现持续加速减少的趋势(图2),2010年研究区的传统耕地留存比例仅有87.04%。与此同时,新垦耕地规模不断扩大,2010年新垦耕地占了总耕地的26.23%。在新垦耕地当中,AGE3的新垦耕地面积最多,达到了25 435.09hm²,占研究区新垦耕地面积的34.47%。新垦耕地大多分布于沿海地带,呈现出由内陆向沿海拓展的趋势,而减少的传统耕地大多位于城镇周边,研究区的城镇扩展是传统耕地减少的最主要的因素。

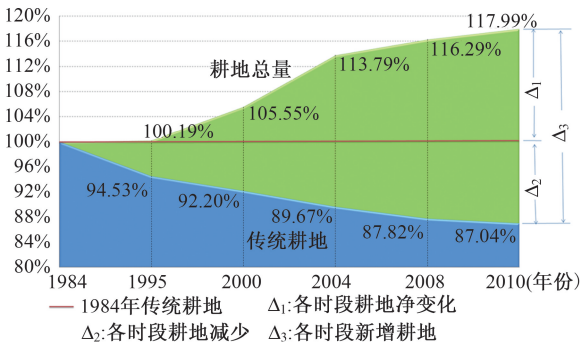


图2 不同时期传统耕地留存比例图

Fig.2 Retention ratio of traditional cultivated land in different periods

3.2 遥感监测指标的熵和熵权分析

为对比分析不同年龄段耕地的生产能力差异,本文将AGE1-AGE6间6个年龄段的耕地分布作为独立的研究对象,基于研究区耕地动态变化矢量数据,提取出2010年不同年龄段耕地所对应的EVI、MSAVI、Fv、TVDI栅格数据。以EVI、MSAVI、Fv、TVDI作为4个评价指标,用不同耕地年龄的EVI、MSAVI、Fv、TVDI栅格数据每一个像元值则为一个评价对象,构建出6个原始数据矩阵。根据熵权法公式计算出各个遥感监测指标在不同耕地年龄下的熵(H)和熵权(W)(表2),因此,研究区耕地的生产能力指数(Index)可由以下公式计算得出:

$$Index_{AGE} = EVI \times W_{EVI} + MSAVI \times W_{MSAVI} + Fv \times W_{Fv} + TVDI \times W_{TVDI}$$

式中,EVI、MSAVI、Fv、TVDI分别为不同年龄段耕地所对应的遥感参数栅格数据,熵权值W则为表2中所示。Index值越大,则代表生产能力越高;反

之 Index 值越小,代表生产能力越低。

同时,为对比分析传统耕地在不同时期的生产能力差异,本文还分别将2010年留存下来的传统耕地,既 AGE6 年龄段的耕地分别在 1984、1995、

2000、2004、2008 和 2010 年的生产能力作为独立的研究对象,构建出 6 个原始数据矩阵,计算出留存的传统耕地的各个遥感监测指标在不同时期下的熵 (H)和熵权(W)(表3)。

表2 2010年不同年龄段耕地的遥感监测指标熵及熵权

Tab.2 Entropies and entropy weights of remote sensing monitoring indicators of newly-reclaimed land at different ages in 2010

2010年	H_{EVI}	H_{MSAVI}	H_{Fv}	H_{TVDI}	W_{EVI}	W_{MSAVI}	W_{Fv}	W_{TVDI}
AGE1	0.996094	0.995081	0.989834	0.997222	0.179429	0.225954	0.466991	0.127627
AGE2	0.997337	0.996541	0.995686	0.998726	0.227412	0.295370	0.368423	0.108794
AGE3	0.997080	0.996315	0.994166	0.998020	0.202513	0.255573	0.404590	0.137325
AGE4	0.998907	0.997038	0.996192	0.997853	0.109206	0.295900	0.380429	0.214465
AGE5	0.997293	0.996518	0.995243	0.998958	0.225806	0.290496	0.396790	0.086909
AGE6	0.998401	0.998081	0.997703	0.999362	0.247776	0.297324	0.355967	0.098933

表3 2010年留存的传统耕地在不同时期的遥感监测指标熵及熵权

Tab.3 Entropies and entropy weights of remote sensing monitoring indicators of traditional cultivated land in different periods

AGE6	H_{EVI}	H_{MSAVI}	H_{Fv}	H_{TVDI}	W_{EVI}	W_{MSAVI}	W_{Fv}	W_{TVDI}
1984年	0.998621	0.998621	0.995387	0.999741	0.180696	0.180696	0.604641	0.033967
1995年	0.997436	0.997436	0.996107	0.999195	0.260940	0.260940	0.396178	0.081941
2000年	0.996499	0.996179	0.996068	0.998578	0.276194	0.301427	0.310201	0.112177
2004年	0.995756	0.996236	0.991759	0.999755	0.257307	0.228211	0.499640	0.014842
2008年	0.999431	0.998791	0.997252	0.999431	0.111659	0.237304	0.539378	0.111659
2010年	0.998401	0.998081	0.997703	0.999362	0.247776	0.297324	0.355967	0.098933

3.3 研究区耕地生产能力指数差异

研究区耕地生产能力指数差异分析分为横向对比分析和纵向对比分析。横向对比分析为2010年不同年龄段耕地之间的生产能力指数差异对比分析;纵向对比分析为传统耕地在不同时期的生产能力指数对比分析,为了方便计算,本文只选择2010年留存下来的传统耕地进行纵向对比分析。

3.3.1 不同年龄段耕地生产能力指数差异分析

2010年研究区耕地生产能力指数(Index)较高的耕地大多分布于东营市、垦利县和利津县的黄河河道两旁,生产能力指数较低的耕地多分布于河口区,并且集中分布在河口区的沿海区域(图3)。

根据不同年龄段耕地生产能力指数的区间分布状况(图4)可以看出,生产能力指数绝大部分分布在0.1-0.6这个区间当中,因此,本文将耕地生产能力指数划分为极低、低、中、中高、高和极高这6个等级,分别对应生产能力指数区间为: $\text{Index} < 0.2$ 、 $0.2 \leq \text{Index} < 0.3$ 、 $0.3 \leq \text{Index} < 0.4$ 、 $0.4 \leq \text{Index} < 0.5$ 、 $0.5 \leq \text{Index} < 0.6$ 和 $0.6 \leq \text{Index}$ 。

不同年龄段耕地的生产能力指数有着明显的差别,对于 AGE1 年龄段的耕地来说,生产能力指数

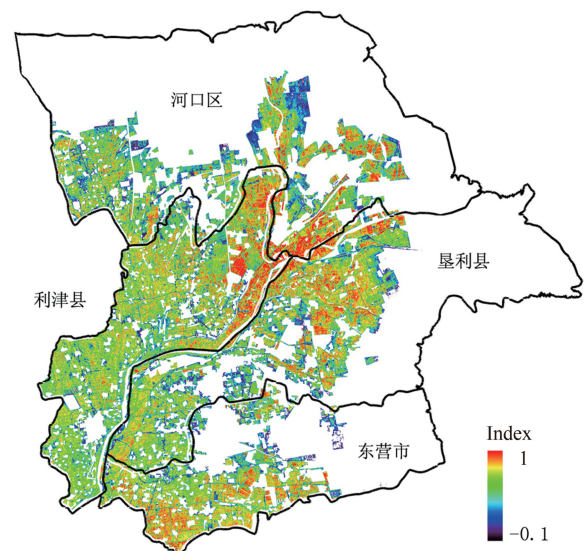


图3 研究区2010年耕地生产能力指数空间分布图

Fig.3 Distribution map of cultivated land productivity index in 2010

在中高级以上的耕地仅有 25.73%,而 AGE6 年龄段的耕地,中高级以上生产能力指数的耕地达到了 79.33%(图5)。就生产能力指数平均值而言,AGE1 年龄段的耕地平均生产能力指数也仅是 AGE6 年龄

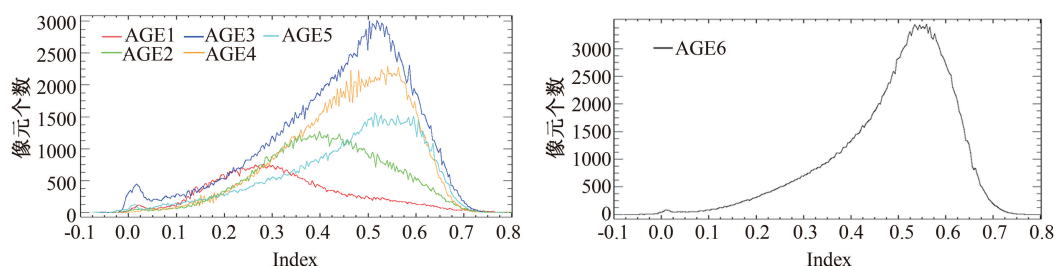


图4 2010年不同年龄段耕地生产能力指数直方图

Fig.4 Histogram of cultivated land productivity index at different ages in 2010

段的耕地的67.66%。但是耕作时间在8年以上的新垦耕地,即AGE3、AGE4和AGE5年龄段的耕地则与传统耕地生产能力指数相差不多,AGE3年龄段的耕地平均生产能力指数是AGE6年龄段的耕地的92.57%。

土壤盐碱化是制约黄河三角洲农业生产的最主要的制约因素,自上世纪80年代以来,就在黄河三角洲地区开展了盐碱地改良。而最为常见的改良措施就是深沟排碱,即将耕地整理为长条形台田,各条田之间挖深约2m的排盐沟,排盐沟顶宽约3~5m,条田整好后,引黄河水灌溉洗盐^[24]。因此,新开垦的耕地周边会有一圈排盐沟,在指标反演过程中会影响到植被指数的数值,从而降低新垦耕地的生产能力指数。而随着耕作时间的加长,盐碱地改造逐步完成,排盐沟也被填平,这也就造成了耕作时间在8年以上的新垦耕地的生产能力指数与传统耕地相差不多。

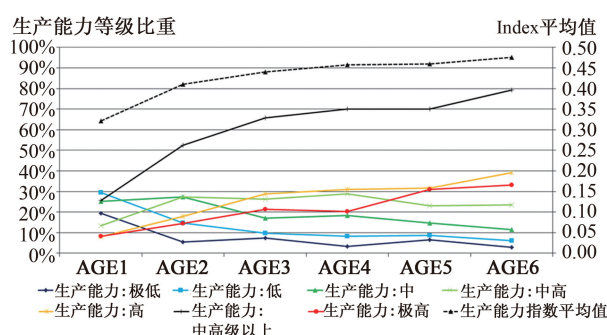


图5 不同年龄段耕地生产能力等级分布图

Fig.5 Productivity levels of cultivated land at different ages

针对AGE1-AGE6这6类不同年龄段的耕地来说,不论是中高级以上生产能力指数的耕地比重还是耕地的生产能力指数平均值,最终的结果都是AGE1 < AGE2 < AGE3 < AGE4 < AGE5 < AGE6。说明研究区的耕地生产能力指数呈现随着耕作时间的增加而增加的趋势,即耕作时间越久的耕地其

生产能力指数越高,而耕作时间越短的耕地其生产能力指数越低。

3.3.2 不同时期的传统耕地生产能力指数差异分析

2010年留存下来的传统耕地在1984、1995、2000、2004、2008和2010年的耕地生产能力指数分布如图6所示。1984、2008和2010年3个时期的生产能力指数分别呈正态分布于0.25、0.40和0.55附近,而1995、2000和2004年的生产能力指数分布范围则较为平均和广泛。

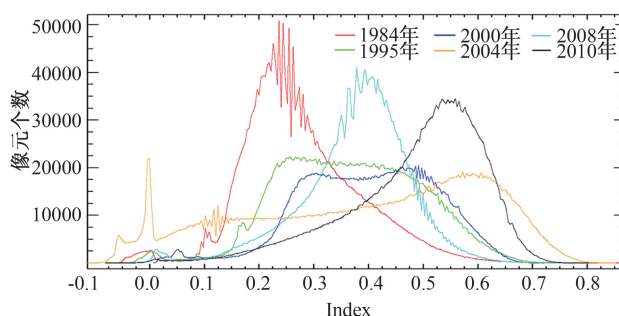


图6 传统耕地在不同时期的生产能力指数直方图

Fig.6 Histogram of productivity index of traditional cultivated in different periods

总体来说,除去2008年,随着时间的推移传统耕地的平均生产能力指数是逐步提高的(图7)。传统耕地在1984年的生产能力指数最低,在2010年

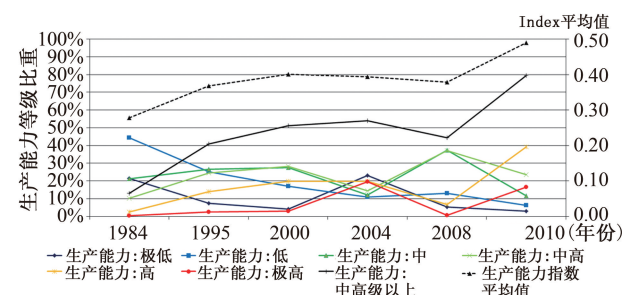


图7 传统耕地在不同时期的生产能力等级分布图

Fig.7 Productivity levels of traditional cultivated land in different periods

的生产能力指数最高,2010年的平均生产能力指数比1984年提高了76.51%。从1984-2000年,传统耕地的生产能力指数稳步提升,在2000-2008年期间生产能力指数略有下降,而到了2010年,传统耕地的生产能力指数则有较大幅度的提升。

传统耕地在2008年的生产能力平均值较2004年下降了3.85,中高级以上生产能力指数的耕地比重更是比2004年减少了9.73%。但是,2008年的生产能力指数绝大部分分布在中级和中高级,其生产能力指数在低级以下的耕地面积比重比2004年低了15.57%,体现出2004年生产能力指数较差的耕地在2008年生产能力指数有了明显的提升。传统耕地2008年生产能力指数偏低的一个主要原因是数据时相。1995、2000、2004和2010年数据时相都为9月中旬,而1984年和2008年的数据时相为10月上旬,随着作物成熟和收割,导致了传统耕地在2008年生产能力指数较2004年偏低。而传统耕地在1984年整体生产能力指数水平就很低,因此,时相对于传统耕地1984年的生产能力指数影响不显著。

4 结论

(1)由于受到耕地“占补平衡”和确保18亿亩耕地红线政策的影响,黄河三角洲地区的耕地增加明显。2010年研究区耕地总面积为29.50万 hm^2 ,自1984年以来,新开垦耕地77 362.33 hm^2 ,耕地减少32 389.00 hm^2 ,耕地净增加了44 973.33 hm^2 。在1984-2010年期间,研究区的传统耕地呈现持续加速减少的趋势,与此同时,新垦耕地规模却不断扩大。在新垦耕地当中,新垦耕地年龄在8-12年期间的耕地面积最多,达到了25 435.09 hm^2 ,占研究区新垦耕地面积的34.47%。从耕地来源的类型上来说,草地是研究区监测时间段中最大的新垦耕地来源。而传统耕地的减少主要是因为经济发展导致的城镇建设用地对耕地的占用。

(2)将土壤调节植被指数和增强型植被指数、植被覆盖度和温度植被干燥指数作为指标因子,以熵权法构建的耕地生产能力指数评价模型能够快速监测和反映研究区耕地生产能力变化状况。耕地的生产能力指数呈现随着耕作时间的增加而增加的趋势。研究区的盐碱地改良措施是影响生产能力指数的最主要因素,新开垦的耕地周边的排

盐沟会影响到植被指数的反演,从而降低新垦耕地的生产能力指数。而随着耕作时间的加长,盐碱地改造逐步完成,排盐沟也被填平,从而导致耕地生产能力指数的逐步增大。

(3)研究中使用了多期数据进行了耕地生产能力指数时间序列的监测,在监测过程中,数据时相的不一致性会对最终结果造成较大的影响。同时,研究中对生产能力指数的监测和分析也未考虑种植制度,这势必会影响最终监测结果。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部.2005年中国国土资源公告[EB].2005.
- [2] 刘高焕,汉斯.德罗斯特.黄河三角洲可持续发展图集[M].北京:测绘出版社,1997.
- [3] 鲍文东,田成敏,赵奎庆.黄河三角洲地区耕地后备资源开发利用分析探讨[J].广东土地科学,2004,3(3):21-26.
- [4] 张甘霖,吴运金,赵玉国.基于的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J].农业工程学报,2010,26(4):1-8.
- [5] 吴大千,王仁卿,高甦,等.黄河三角洲农业用地动态变化模拟与情景分析[J].农业工程学报,2010,26(4):285-290.
- [6] 叶庆华,刘高焕,田国良,等.黄河三角洲土地利用时空复合变化图谱分析[J].中国科学辑,2004,34(5):461-474.
- [7] 赵庚星,林戈.黄河口耕地遥感动态监测及其生态环境安全分析[J].水土保持学报,2004,18(2):37-40.
- [8] 王红,宫鹏,刘高焕.黄河三角洲土地利用土地覆盖变化研究现状与展望[J].自然资源学报,2004,19(1):110-118.
- [9] 王小钦,王钦敏,刘高焕,等.黄河三角洲土地利用/覆盖格局与演化分析[J].水土保持学报,2006,20(5):158-161.
- [10] 周文佐.近黄河三角洲及其驱动因素分析[J].农业工程学报,2010,26(1):341-345.
- [11] 吴大千,刘建,贺同利,等.基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J].农业工程学报,2009,25(8):256-261.
- [12] 刘纪远,张增祥,徐新良,等.世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J].地理学报,2009,64(12):1411-1420.
- [13] 张增祥,赵晓丽,汪潇,等.中国土地利用遥感监测[M].北京:星球地图出版社,2012.
- [14] Huete A R, Justice C, Liu H Q. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS[J]. Remote Sensing of Environment,1994,49(3):224-234.
- [15] Liu H Q, Huete A R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise[J]. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing,1995,33(2):457-465.
- [16] 蒋蕊竹,李秀启,朱永安,等.基于MODIS黄河三角洲湿地

- NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征[J].生态学报, 2011,31(22):6708-6716.
- [17]秦伟,朱清科,张学霞,等.植被覆盖度及其测算方法研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(9):163-170.
- [18]杨宏兵,董霁红,陈建清,等.植被覆盖度模型研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(12):7580-7585.
- [19]Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sens. Environ., 2002,79(3):213-244.
- [20]姚春生,张增祥,汪潇.使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J].遥感技术与应用,2004,19(6):473-478.
- [21]罗军刚,解建仓,阮本清.基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用[J].水利学报,2008,39(9):1092-1104.
- [22]张保祥,万力,余成,等.基于熵权与GIS耦合的DRASTIC地下水脆弱性模糊优选评价[J].现代地质,2009,23(1):150-156.
- [23]倪九派,李萍,魏朝富,等.基于AHP和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009,25(5):202-209.
- [24]宋玉民,张建锋,邢尚军,等.黄河三角洲重盐碱地植被特征与植被恢复技术[J].东北林业大学学报,2003,31(6):87-89.

Monitoring of Newly-reclaimed Land Cultivation Age and Its Productivity by Remote Sensing in Yellow River Delta

WANG Xiao*, ZUO Lijun and ZHAO Xiaoli

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Yellow River Delta is the mainly distribution region of land reserve resources in China. The reclamation at the estuary of the Yellow River beach is becoming the key point of maintaining cultivated land dynamic balance in Shandong Province, even the whole nation. Taking Dongying City, Kenli County, Hekou District and Lijin County as a study area, this paper monitored the dynamic change and retrieved the cultivation age of cultivated land in Yellow River Delta, using TM images of 6 different periods (1984, 1995, 2000, 2004, 2008 and 2010). Based on cultivation age data, an assessment model of cultivated land productivity was built up by entropy weight method. This model used vegetation index (EVI and MSAVI), vegetation coverage (Fv) and temperature-vegetation dryness index (TVDI) as factors indicating land productivity. Results show that: significant dynamic changes of cultivated land had been occurred from 1984 to 2010 in the study area. During 26 years, 77362.33 ha newly-reclaimed cultivated land, most of which came from grassland, had been reclaimed. In the newly-reclaimed cultivated land, the land at cultivation age during 8 to 12 years had most area, which accounted for 34.47%. The newly-reclaimed cultivated land productivity in the study area presented that productivity increased with the cultivation time increased. Average productivity of newly-reclaimed cultivated land at age during 2 to 4 years had lowest productivity, which was only 67.66% of traditional cultivated land. The traditional cultivated land productivity in the study area also presented that productivity increased with the cultivation time increased. Average productivity of traditional cultivated land in 2010 had increased 76.51% than in 1984.

Key words: Yellow River Delta; cultivation age; land productivity index; entropy weight method; remote sensing

Corresponding author: WANG Xiao, E-mail: wangxiao@irsa.ac.cn