

李俊翰,高明秀. 黄河三角洲季节性干旱区土地利用变化及生态效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):306-310,318.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.078

黄河三角洲季节性干旱区土地利用变化及生态效应

李俊翰,高明秀

(土壤资源高效利用国家工程实验室/山东农业大学资源与环境学院,山东泰安 271018)

摘要:土地利用变化是引发土地生态退化的重要因素。以黄河三角洲季节性干旱区山东省无棣县为例,基于 RS、GIS 技术,采用改进的土地利用变化模型分析 1995—2015 年土地利用变化特征,运用生态系统服务价值评估方法分析土地利用变化的生态效应。结果表明:(1)20 年来,无棣县土地利用呈现耕地、林地、建设用地、盐田及养殖用地面积增加,草地、水域和未利用地面积减少的“四增三减”特征;各地类间呈流转型量大且频繁复杂的关系,土地利用变化较为剧烈,综合变动率达 39.00%。(2)土地生态系统服务价值总量呈先减少后增加、总体减少趋势,年均减少 0.35%;耕地、林地、盐田及养殖用地生态系统服务价值增加,年均增长率分别为 0.26%、0.83%、2.57%,草地、水域、未利用地生态服务价值减少,年均变化率分别为 -1.78%、-2.14%、-1.91%;所有生态系统服务功能的价值量均有所减少,尤以水文调节功能减少量最多。(3)20 年来无棣县万元 GDP 生态价值年均负增长率达 12.94%,说明经济的快速增长及其带来的土地利用变化付出了较高的生态代价。表明无棣县生态系统服务功能变动与土地利用变化密切相关,今后应强化土地生态利用,严控建设用地扩张、加强农地和水域保护、推进未利用地生态开发,维护区域生态平衡。

关键词:土地利用;生态系统服务价值;动态变化;生态效应

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0306-05

土地利用变化既是对经济社会发展所施加作用的映射,又是气候和生态环境变化的重要影响因素,因而成为人类活动与生态系统相互作用机制研究的桥梁和纽带^[1-2]。土地利用变化的生态效应表现为土地生态系统服务的变化,可进行定量评估^[3-6]。随着全球气候和环境变化日益剧烈,土地利用变化及其生态环境效应愈加引发关注,国内外学者从不同时间和空间尺度对土地利用变化及生态系统服务价值进行研究^[5-8]。黄河三角洲是我国重点开发的河口三角洲之一,经济社会快速发展,土地利用/覆盖变化迅速^[9]。黄河三角洲是典型的生态脆弱区^[10],季节性干旱特征明显,在气候持续干旱、黄河时常断流等影响下,人为土地利用变化对该区生态的影响更加强烈。本研究旨在针对经济快速发展过程中季节性干旱区土地利用变化特征及其引致的生态效应间的关系问题,以黄河三角洲山东省无棣县为研究区,借助 RS、GIS 技术和生态系统服务价值测算方法,定量分析近 20 年来研究区土地利用变化与其生态系统服务价值演变的特征和关系,探索引致区域生态变化的土地利用根源,为协调土地利用、经济发展和生态保护的关系提供科学依据。

收稿日期:2017-06-03

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD05B06-5);山东省自主创新与成果转化项目(编号:2014ZZCX07106、2014ZZCX07402);山东省高校“双一流”奖补资金(编号:SYL2017XTTD02);山东农业大学校级项目(编号:2014017)。

作者简介:李俊翰(1993—),男,山东淄博人,硕士研究生,主要从事土地利用变化与生态安全研究。E-mail:junhanl@163.com。

通信作者:高明秀,博士,副教授,硕士生导师,主要从事土地资源利用与生态、盐碱地改良利用等研究。E-mail:mxgao@sda.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

无棣县地处山东省最北部,渤海西南岸,地理坐标 117°31′~118°12′E、37°41′~38°18′N,是京津冀和山东半岛两大经济区的交汇点,国家和山东省黄河三角洲开发等多项战略规划叠加区,县域土地总面积 1 998.12 km²。县域处于陆海缓冲地带,地貌以平原为主,自西南向东北依次为黄泛平原、滨海平原和海岸、滩涂,海拔 0~8 m,自然坡降 1:10 000。无棣县属北温带半湿润大陆性气候区,年均气温 12℃左右,年均降水量 570.1 mm,年均蒸发量 1 285.5 mm,蒸降比 2.3,降水 80%集中在夏季,秋冬春 3 季干旱。淡水资源匮乏,全县工农业生产和居民生活主要依靠引黄供水。地下水水位浅、矿化度高,盐碱地遍布全境,是黄河三角洲生态脆弱区的典型区域。

1.2 数据来源与研究方法

1.2.1 土地利用类型划分 参考全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系和土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2007),结合无棣县自然环境与土地利用特征,划分研究区土地利用类型(表 1)。

1.2.2 数据来源及处理 遥感影像(1995 年 8 月 24 日和 2005 年 5 月 15 日 TM 影像、2015 年 4 月 25 日 OLI 影像)数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)。运用 ENVI 5.1 软件,参考无棣县行政区划图和土地利用现状图,进行影像辐射定标、大气校正、裁剪和镶嵌,通过 Kappa 精度检验,运用监督分类、分类后处理等功能进行遥感影像信息提取,形成 3 期土地利用类型图,在 ArcGIS 10.1 中进行数据提取和分类统计。社会经济统计数据来源于滨州市统计年鉴(1996、2006、2016)和 2015

表 1 无棣县土地利用类型

土地利用类型	含义
耕地	指种植农作物的土地,包括每年能保证收获一季的已垦滩地和海涂等,如水田、水浇地、旱地
林地	包括园地和林地
草地	指生长草本植物为主的土地,包括天然牧草地、人工牧草地和其他草地
建设用地	包括商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地和特殊用地
水域	即水域及水利设施用地,指陆地水域,海涂、沟渠、水工建筑物等用地
盐田及养殖用地	将工矿仓储用地中采矿用地的盐田单独列出,并与海水养殖用地合并归类
未利用地	指上述地类以外的其他类型的土地,主要为裸地和盐碱荒地

年无棣县国民经济和社会发展统计公报(<http://www.wudi.gov.cn>)。

1.2.3 研究方法

1.2.3.1 土地利用变化分析 土地利用变化,采用土地利用类型转移矩阵分析土地利用类型结构变化,描述各种土地利用类型间的转化关系^[11];采用土地利用转移概率矩阵研究土地利用结构变化趋势^[12]。设 P_{ij} 为土地利用转移概率矩阵:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} \end{bmatrix} \quad 0 \leq p_{ij} < 1 \text{ 且 } \sum_{j=1}^n p_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, \cdots, n)。$$

(1)

式中: p_{ij} 是 t 时期的第 i 种土地利用类型转变为 $t+1$ 时期的第 j 种土地利用类型的概率。

采用土地利用动态度分析土地利用类型在时间上的变化情况^[13]。其中,单项地类动态度反映某一土地利用类型在时间上的数量变化,鉴于传统模型仅考虑转出而忽略转入的缺陷,本研究采用其改进的计算模型:

$$LUDD_i = \frac{TC_i}{TC_i + S_{ii}} \times 100\%。$$

(2)

即以某地类的总变化量与总变化量和未变化量的和之比计量单项地类动态度。式中: $LUDD_i$ 为研究期内某一土地利用类型的动态度; TC_i 是某一地类的总变化量; S_{ii} 为该地类未发生转移的量。

综合土地利用动态度反映研究期内所有土地利用类型的总体变化,其计算模型:

$$TLUDD = \frac{D_{\text{总}}(I_{\text{总}})}{S_{\text{总}}} \times 100\%。$$

(3)

式中: $TLUDD$ 为综合土地利用类型动态度; $D_{\text{总}}(I_{\text{总}})$ 为研究期

区域内各地类土地利用总减少量(或总增加量); $S_{\text{总}}$ 为区域土地总面积。

1.2.3.2 土地利用生态系统服务价值测算方法 采用 Costanza 等生态系统服务价值评价方法^[4]测算各时期生态系统服务价值量,评价模型为:

$$ESV = \sum_{p=1}^7 (A_p \times VC_p)。$$

(4)

式中: ESV 为研究区年生态系统服务总价值; A_p 为研究区第 p 种土地利用类型的面积($p = 1, 2, \cdots, 7$, 为生态类型); VC_p 为第 p 种土地利用类型的生态系统服务价值当量。

各土地利用类型的贡献率模型为:

$$ESVC_p = \frac{ESV_p}{ESV}。$$

(5)

式中: $ESVC_p$ 为第 p 种土地利用类型在生态系统服务价值中的贡献率; ESV_p 为第 p 个土地利用类型的年生态服务价值。

生态系统服务价值计算以谢高地等的研究成果^[14]为基础。考虑到无棣县位于冀鲁交界处的特殊情况,以 2 省区域修正系数平均值 1.20 作为无棣县价值当量修正系数^[15]。同时,确定无棣县单个生态当量的价值为 476.18 元/hm,适当调整无棣县土地利用类型与陆地生态系统的对应关系^[14-16],使耕地与农田对应,林地取森林和草地的平均值,建设用地生态服务价值为零,未利用地参照荒漠计算,水域与河流湖泊对应,盐田及养殖用地取河流湖泊和荒漠的平均值,计算出无棣县生态系统单位面积生态服务价值(表 2)。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化特征

2.1.1 土地利用结构变化 从图 1、图 2 可以看出,无棣县土地利用类型在空间上呈阶梯状分布,耕地和林地主要分布

表 2 无棣县各土地利用类型单位面积生态服务价值

生态系统服务功能		生产服务价值[元/(hm ² ·年)]						
一级类	二级类	耕地	林地	草地	建设用地	水域	盐田及养殖用地	未利用地
供给服务	食物生产	571.41	217.14	245.71	0.00	302.85	157.14	11.43
	原材料生产	222.85	954.26	205.71	0.00	199.99	111.43	22.86
调节服务	气体调节	411.42	1 662.81	857.12	0.00	291.42	162.85	34.28
	气候调节	554.27	1 608.52	891.40	0.00	1 177.11	625.70	74.28
	水文调节	439.99	1 602.81	868.55	0.00	10 725.39	5 382.70	40.00
	废物处理	794.26	868.55	754.26	0.00	8 485.46	4 317.01	148.57
支持服务	保持土壤	839.97	1 788.52	1 279.96	0.00	234.28	165.71	97.14
	维持生物多样性	582.84	1 822.80	1 068.54	0.00	1 959.94	1 094.25	228.56
文化服务	提供美学景观	97.14	842.83	497.13	0.00	2 537.07	1 337.10	137.14
合计		4 514.15	11 368.23	6 668.37	0.00	25 913.51	13 353.89	794.26

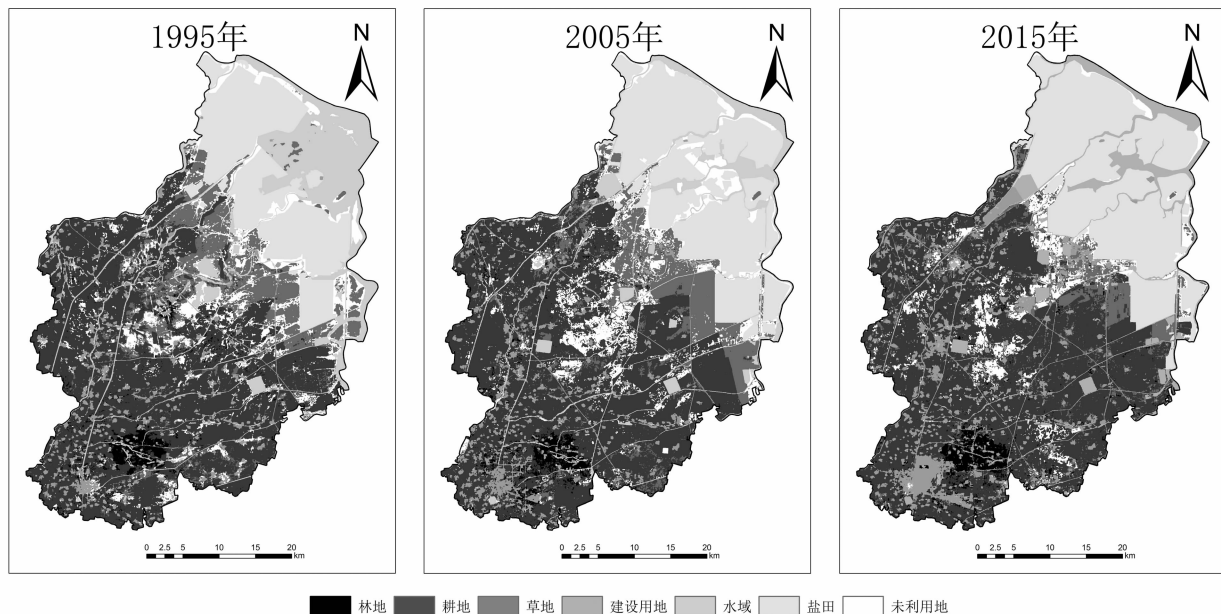


图1 1995—2015 年无棣县土地利用类型分布

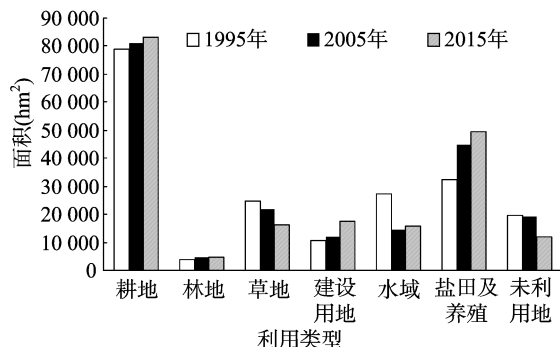


图2 1995—2015 年无棣县土地利用类型结构变化

在县域西南部,水域和盐田及养殖用地主要分布在东北部,未利用地和草地主要分布在二者的过渡地带。1995—2005 年,各土地利用类型变化幅度较大。其中,盐田及养殖用地增幅最大,达 37.53%,也是面积增加最大的地类;林地、建设用地和耕地也各有增加。水域减少面积和减少幅度均最大,为 46.63%;草地、未利用地也有减少。说明此期间无棣县土地利用已进入活跃期,地类结构变化明显。2005—2015 年,建设用地增幅最大,达 43.35%,反映出此阶段城乡建设、工业发展占地迅速增长,农业开发、建设占用使未利用地迅速减少,减幅高达 36.97%;林地减少 4.76%,反映出冬枣过度发展、效益下降,部分开始还枣为耕;农业结构调整和建设占用使草地面积也大量减少,达 25.84%。综合来看,1995—2015 年,无棣县土地利用类型结构发生非常显著的变化,呈现出“四增三减”的变化特征:建设用地、盐田及养殖用地、林地、耕地面积增加,分别增加 6 606.18、16 735.86、660.96、4 039.83 hm^2 ,增幅分别为 61.35%、51.31%、16.63%、5.11%;水域、未利用地、草地大幅减少,分别减少 11 732.85、7 429.59、8 880.39 hm^2 ,减幅分别为 42.70%、38.13%、35.65%。土地利用类型结构的大幅度和频繁变化,反映出人类活动对生态环境的干扰不断加剧。

2.1.2 土地利用流转分析 1995—2015 年无棣县土地利用

类型间的相互转化关系。从表 3 可以看出,各地类间流量较大且关系复杂。20 年来,各地类间均有相互流转关系,转出面积从大到小排序依次为草地>耕地>水域>未利用地>建设用地>林地>盐田及养殖用地,而转入面积从大到小排序依次为耕地>盐田及养殖用地>草地>未利用地>建设用地>水域>林地。

从表 4 可以看出,各地类间流转变化趋势明显,耕地主要转化为草地、建设用地、未利用地、林地,其转移概率分别为 7.07%、6.40%、5.18%、2.80%;林地主要转化为耕地、建设用地,转移概率为 38.54%、11.67%;草地主要转移为耕地、未利用地,转移概率分别为 42.15%、13.90%;水域主要转化为盐田及养殖用地,转移概率为 38.17%;建设用地主要转化为耕地、草地,转移概率分别为 16.16%、4.65%;未利用地主要转化为耕地、盐田及养殖用地、草地,转移概率分别为 32.61%、19.47%、15.94%。

综合分析各地类间流转变化的原因,耕地的减少主要是被建设占用、农业结构调整为林地、盐碱退化为草地和未利用地,耕地增加主要来源于未利用地开发和农业结构调整转化;林地变化主要源于农业结构调整冬枣种植的增减和城乡绿化、植树造林以及城乡建设占用等;草地减少主要原因是垦为耕地、建设用地占用和盐碱退化;建设用地增加的主要来源为占用耕地、林地、草地和开发未利用地等;水域减少的主要原因是气候干旱部分河流干涸、建设占用、盐田及养殖占用;盐田及养殖用地增加主要来源于近海滩涂及浅水域利用;未利用地减少主要是因垦为耕地、草地、建设占用和盐田及养殖利用。根据 Markov 预测原理,未来一段时期,无棣县土地利用仍将面临建设用地扩张和耕地、林地、草地及未利用地减少的风险。

2.1.3 土地利用动态变化 从图 3-A 可以看出,1995—2005 年,土地利用类型动态变化最快的是未利用地和林地,总变化率分别为 87.11%、78.03%;其次是草地、水域、建设用地、耕地,总变化率分别是 75.79%、65.25%、47.49%、37.48%;盐田及养殖用地变化最小,总变化率为 33.94%。

表 3 1995—2015 年无棣县土地利用类型转移矩阵

土地类型	土地利用类型 (hm ²)							转出合计
	耕地	林地	草地	建设用地	水域	盐田及养殖用地	未利用地	
耕地	60 660.18	2 210.85	5 590.17	5 061.96	1 407.87	20.61	4 094.28	18 385.74
林地	1 531.98	1 735.83	134.46	464.04	49.68	0.54	58.41	2 239.11
草地	10 497.78	263.16	5 547.69	1 229.22	1 496.52	2 411.19	3 462.75	19 360.62
建设用地	1 740.60	97.20	501.03	8 145.18	135.36	26.82	122.04	2 623.05
水域	2 200.68	177.48	1 143.18	603.00	10 486.71	11 546.64	1 318.77	16 989.75
盐田及养殖用地	100.08	0.00	5.94	56.61	717.03	31 553.73	183.51	1 063.17
未利用地	6 354.45	151.38	3 105.45	1 814.40	1 450.44	3 793.23	2 816.01	16 669.35
转入合计	22 425.57	2 900.07	10 480.23	9 229.23	5 256.9	17 799.03	9 239.76	77 330.79

表 4 1995—2015 年无棣县土地利用类型转移概率矩阵

土地类型	转移概率 (%)						
	耕地	林地	草地	建设用地	水域	盐田及养殖用地	未利用地
耕地	76.74	2.80	7.07	6.40	1.78	0.03	5.18
林地	38.54	43.67	3.38	11.67	1.25	0.01	1.47
草地	42.15	1.06	22.27	4.93	6.01	9.68	13.90
建设用地	16.16	0.90	4.65	75.64	1.26	0.25	1.13
水域	8.01	0.65	4.16	2.19	38.17	42.02	4.80
盐田及养殖用地	0.31	0.00	0.02	0.17	2.20	96.74	0.56
未利用地	32.61	0.78	15.94	9.31	7.44	19.47	14.45

2005—2015 年,变化最快的是未利用地、草地,总变化率分别为 87.37%、80.94%;其次是林地、建设用地、水域、耕地,总变化率分别为 73.58%、56.06%、45.52%、37.61%;盐田及养殖用地变化最小,仅为 17.25%。1995—2015 年,无棣县 7 种用地类型动态度由大到小依次为未利用地>草地>林地>

水域>建设用地>耕地>盐田及养殖用地。

从图 3-B 可以看出,无棣县综合土地利用动态度 1995—2005 年、2005—2015 年分别为 36.34%、31.00%,反映土地利用变化剧烈程度有逐渐缓和的趋势;1995—2015 年为 39.00%,说明 20 年来无棣县土地利用变化较为剧烈。

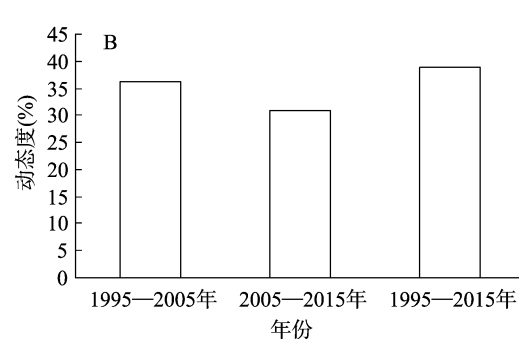
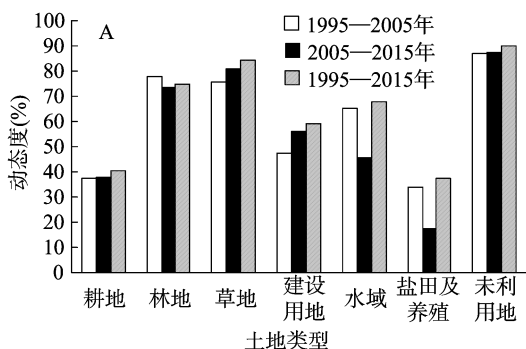


图3 1995—2015 年无棣县土地利用动态度

2.2 土地利用的生态效应分析

2.2.1 土地生态系统服务价值总量变化 从表 5 可以看出, 1995—2015 年, 无棣县土地生态系统服务价值总量呈下降趋势, 总值从 173 116.15 万元减少到 161 124.26 万元, 损失 11 991.89 万元, 年均损失率达 0.35%。从时间段来看, 1995—2005 年, 无棣县土地生态系统服务价值总量减少 17 172.80 万元, 年均损失 0.99%; 2005—2015 年无棣县土地生态系统服务价值总量有所增加, 10 年间共增长 5 180.91 万元, 年均增长 0.33%。说明前 10 年经济发展中对生态的重视严重不足, 后 10 年随着对生态环境问题重视而有所改善。

从用地类型来分析, 1995—2015 年, 耕地、水域和盐田及养殖用地始终对无棣县土地生态系统服务价值贡献率最高, 林地和未利用地贡献率最小, 建设用地贡献为零。20 年间, 耕地、林地和盐田及养殖用地的生态系统服务价值有所增加, 年均增长率分别为 0.26%、0.83%、2.57%, 草地、水域和未

利用地生态服务价值有所减少, 年均变化率分别为 -1.78%、-2.14%、-1.91%。依据用地类型生态价值总量变化大小排序依次为水域>盐田及养殖用地>草地>耕地>林地>未利用地, 而年均变化率大小依次为盐田及养殖用地>水域>未利用地>草地>林地>耕地。

2.2.2 土地生态系统服务价值结构变化 1995—2015 年, 无棣县土地生态系统服务价值结构也发生了明显变化, 从表 6 可以看出, 水文调节和废物处理对生态系统服务价值总量的贡献度较大, 原材料生产、食物生产和气体调节贡献度较小。1995—2005 年, 各单项服务功能价值都在减少, 其中水文调节减少最多, 原材料生产减少最少。减少量由大到小依次为水文调节>废物处理>气候调节>提供美学景观>维持生物多样性>气候调节>保持土壤>食物生产>原材料生产。2005—2015 年, 各单项服务功能价值有增有减。水文调节增加最多, 维持生物多样性增加最少, 增加量由大到小依次

表 5 1995—2015 年无棣县生态系统服务经济价值总量及其变化

土地类型	1995 年		2005 年		2015 年		1995—2005 年		2005—2015 年		1995—2015 年	
	价值总量 (万元)	贡献率 (%)	价值总量 (万元)	贡献率 (%)	价值总量 (万元)	贡献率 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)
耕地	35 682.51	20.61	36 576.52	23.46	37 506.15	23.28	894.01	0.25	929.63	0.25	1 823.64	0.26
林地	4 518.80	2.61	5 533.55	3.55	5 270.20	3.27	1 014.75	2.25	-263.35	-0.48	751.4	0.83
草地	16 609.78	9.59	14 412.08	9.24	10 688.01	6.63	-2 197.70	-1.32	-3 724.07	-2.58	-5 921.77	-1.78
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水域	71 201.15	41.13	37 998.79	24.37	40 797.22	25.32	-33 202.36	-4.66	2 798.43	0.74	-30 403.93	-2.14
盐田及养殖用地	43 556.25	25.16	59 903.21	38.41	65 905.13	40.9	16 346.96	3.75	6 001.92	1	22 348.88	2.57
未利用地	1 547.64	0.89	1 519.19	0.97	957.54	0.59	-28.45	-0.18	-561.65	-3.7	-590.1	-1.91
总计	173 116.15	100	155 943.35	100	161 124.26	100	-17 172.80	-0.99	5 180.91	0.33	-11 991.89	-0.35

表 6 1995—2015 年无棣县土地生态系统服务价值构成及变化

生态系统 服务功能	1995 年		2005 年		2015 年		1995—2005 年		2005—2015 年		1995—2015 年	
	服务价值 (万元)	比例 (%)	服务价值 (万元)	比例 (%)	服务价值 (万元)	比例 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)	变化量 (万元)	年均变化率 (%)
食物生产	6 582.04	3.80	6 437.52	4.13	6 508.19	4.04	-144.52	-0.22	70.67	0.11	-73.85	-0.06
原材料生产	3 610.74	2.09	3 551.60	2.28	3 516.02	2.18	-59.14	-0.16	-35.58	-0.10	-94.72	-0.13
气体调节	7 446.69	4.30	7 218.84	4.63	6 866.80	4.26	-227.85	-0.31	-352.04	-0.49	-579.89	-0.39
气候调节	12 660.84	7.31	11 875.49	7.62	11 810.36	7.33	-785.35	-0.62	-65.13	-0.05	-850.48	-0.34
水文调节	53 382.68	30.84	46 172.17	29.61	49 289.81	30.59	-7 210.51	-1.35	3 117.64	0.68	-4 092.87	-0.38
废物处理	46 187.56	26.68	40 580.87	26.02	43 054.67	26.72	-5 606.69	-1.21	2 473.80	0.61	-3 132.89	-0.34
保持土壤	11 912.20	6.88	11 715.56	7.51	11 163.38	6.93	-196.64	-0.17	-552.18	-0.47	-748.82	-0.31
维持生物多样性	17 392.90	10.05	16 138.97	10.35	16 161.87	10.03	-1 253.93	-0.72	22.90	0.01	-1 231.03	-0.35
提供美学景观	13 940.54	8.05	12 252.36	7.86	12 753.17	7.92	-1 688.18	-1.21	500.81	0.41	-1 187.37	-0.43
合计	173 116.15	100.00	155 943.35	100.00	161 124.26	100.00	-17 172.80	-0.99	5 180.91	0.33	-11 991.89	-0.35

为水文调节>废物处理>提供美学景观>食物生产>维持生物多样性。保持土壤减少最多,原材料生产减少最少,减少量由大到小依次为保持土壤>气体调节>气候调节>原材料生产。1995—2015 年,各单项服务功能价值都在减少。其中水文调节减少量最多,原材料生产减少量最少;减少速度最快的是提供美学景观,年均减少 0.43%,减少速度最慢的是食物生产,年均减少 0.06%。

2.3 土地利用变化与生态服务价值变动的关系

对比 1995—2015 年无棣县土地利用变化特征与生态系统服务价值变动趋势,可以发现,无棣县土地利用结构变化导致生态系统服务价值变化,二者之间联系紧密,呈现相同的步调。而生态系统服务价值的变化则影响整个区域的生态效益,对区域土地利用结构形成新的反馈。

结合无棣县社会经济统计数据(表 7)发现,1995—2015 年,无棣县人口总体上呈不断增长趋势,人均生态价值呈现不断减少但变化速度逐渐放缓趋势,共减少 813.42 元/人,年均负增长率为 1.07%;全县 GDP 保持快速增长,共增长 236.12 亿元,年均增长率达 14.45%,而万元 GDP 生态价值持续减少,由 1995 年的 10 177.32 元/万元减少至 2015 年的 636.53 元/万元,年均负增长率达 12.94%,仅低于 GDP 增长率 1.51 百分点。可见在经济快速增长、土地利用状态频繁变动的同时,无棣县付出了较高的生态代价。

3 结论与讨论

1995—2015 年,无棣县土地利用类型变化较为剧烈,呈现“四增三减”的特征,即耕地、林地、建设用地、盐田及养殖用地面积增加,草地、水域和未利用地面积减少。各地类间流

表 7 1995—2015 年无棣县万元 GDP 和人均生态服务价值

年份	生态服务 价值 (万元)	人口 (万人)	GDP (亿元)	人均生 态价值 (元)	生态 价值 (元/万元)
1995	173 116.15	41.22	17.01	4 199.81	10 177.32
2005	155 943.35	44.03	71.11	3 541.75	2 192.99
2015	161 124.26	47.58	253.13	3 386.39	636.53
1995—2005	-17 172.80	2.81	54.10	-658.06	-7 984.33
2005—2015	-5 180.91	3.55	182.02	-155.37	-1 556.46
1995—2015	-11 991.89	6.36	236.12	-813.42	-9 540.79

转量较大、关系复杂,且呈现较明显的流转变化趋势,20 年来无棣县土地利用变化较为剧烈,综合变动率为 39.00%。

20 年来,无棣县土地生态系统服务价值总量呈先减少后增加、总体为减少趋势;耕地、林地、盐田及养殖用地生态系统服务价值增加,草地、水域和未利用地生态服务价值减少,各单项服务功能价值都在减少;万元 GDP 生态价值和人均生态价值持续减少,经济的快速增长和土地利用的频繁变化付出了较高的生态代价。

无棣县生态系统服务功能变动与土地利用变化密切相关,土地利用结构变化导致生态系统服务价值变化,生态系统服务价值的变化影响区域生态效益。今后应强化土地生态利用,严控建设用地扩张,加强农地和水域保护,推进未利用地生态开发,维护区域生态平衡。

参考文献:

[1] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学,2015,37(9):1740-1746.

消失。具体而言,施用包膜尿素可以有效延长氮的释放时间,有助于在较长时间内维持较高的微生物量氮和较低的碳氮比,不同包膜尿素对微生物量氮的影响较大,而对土壤微生物量碳几乎没有影响。

与施用普通尿素相比,尽管不同膜材包膜尿素在不同时段对 FDA 水解酶、脱氢酶和脲酶的影响会有细微的区别,但施用不同的包膜尿素不仅对这些酶的活性没有负面作用,还能缓解尿素施用对它们造成的不利影响,维持其活性的相对稳定。

通过本试验可以看出,在黑土中施用这 3 种不同膜材包被的尿素,不仅能够延长尿素的肥效,还能在一定程度上缓解常规尿素施用对土壤生物活性造成的不利影响。

参考文献:

- [1] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等. 我国新型肥料发展的战略研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [2] 王 晶,解宏图,张旭东,等. 施肥对黑土土壤微生物生物量碳的作用研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):118-120.
- [3] 王光华,金 剑,徐美娜,等. 植物、土壤及土壤管理对土壤微生物群落结构的影响[J]. 生态学杂志,2006,25(5):550-556.
- [4] 邱莉萍,刘 军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.
- [5] Doran J W. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Madison: Soil Society of America Special Publication,1994:3-234.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:146-195.
- [7] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry,2004,36(1):5-7.
- [8] Tabatabai M A. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties [M]. Madison: Soil Science Society of American,1994:775-833.
- [9] Adam G, Duncan H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils[J]. Soil Biology and Biochemistry,2001,33(7/8):943-951.
- [10] 刘兴斌,武志杰,陈利军,等. 膜材及喷膜工艺对尿素包膜效果的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(4):380-384.
- [11] 赵剑豪,王晓青,曾 军,等. 聚丁二酸丁二醇酯在堆肥条件下的生物降解性能研究[J]. 功能高分子学报,2004,17(4):666-670.
- [12] 扈 蓉,陈丽琼,黄开胜,等. PLA 在受控堆肥条件下的生物降解行为研究[J]. 塑料科技,2012,40(8):68-71.
- [13] 王校常,陆 琴,李腊梅,等. 太湖地区典型水稻土 FDA 水解酶活性的剖面分布特征[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(6):834-839.
- [14] Dick R. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health [M]// Pankhurst C E, Doube B M, Gupta V V S R. Biological indicators of soil health. New York: CAB International,1997:121-156.
- [15] 刘 叶,邹 立,刘 陆,等. FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性[J]. 环境科学,2013,34(10):3818-3824.
- [16] 马星竹. 长期施肥土壤的 FDA 水解酶活性[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2010,36(4):451-455.
- [17] 李 猛,聂洪光,张淑红,等. 有机肥配施氮肥设施菜田 FDA 水解酶活性与肥力相关性研究[J]. 园艺学报,2016,43(5):907-917.
- [18] Nayak D R, Babu Y J, Adhya T K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeris Endoaquept planted to rice under flooded condition [J]. Soil Biology and Biochemistry,2007,39(8):1897-1906.
- [19] Quilchano C, Maraño T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils[J]. Biology Fertility of Soils,2002,35(2):102-107.
- [20] Machulla G. Soil microbial indicators and their environmental significance[J]. Journal of Soils Sediments,2003,3(4):229.
- [21] Sajjad M H, Lodhi A, Azam F. Changes in enzyme activity during the composition of plant residues in soil [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences,2002,5(9):952-955.
- [2] 王 成,魏朝富,邵景安,等. 区域生态服务价值对土地利用变化的响应——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 应用生态学报,2006,17(8):1485-1489.
- [3] Tolessa T, Senbeta F, Kidane M. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia[J]. Ecosystem Services,2017,23:47-54.
- [4] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1989,387(1):3-15.
- [5] 谢高地,鲁春霞,肖 玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报,2003,21(1):50-55.
- [6] 张 骞,高 明,杨 乐,等. 1988—2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J]. 生态学报,2017,37(2):566-575.
- [7] Radford K G, James P. Changes in the value of ecosystem services along a rural-urban gradient: a case study of Greater Manchester, UK [J]. Landscape and Urban Planning,2013,109(1):117-127.
- [8] 刘 英,岳 辉. 基于 TM/OLI 影像的杨凌示范区土地利用动态变化研究[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(4):1-3,7.
- [9] 张成扬,赵智杰. 近 10 年黄河三角洲土地利用/覆盖时空变化特征与驱动因素定量分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),2015,51(1):151-158.
- [10] 常春艳,赵庚星,李 晋,等. 黄河三角洲典型生态脆弱区土壤退化遥感反演[J]. 农业工程学报,2015,31(9):127-132.
- [11] 赵哲远,马 奇,华元春,等. 浙江省 1996—2005 年土地利用变化分析[J]. 中国土地科学,2009,23(11):55-59,54.
- [12] 井云清,张 飞,张 月. 基于 CA-Markov 模型的艾比湖湿地自然保护区土地利用/覆被变化及预测[J]. 应用生态学报,2016,27(11):3649-3658.
- [13] 乔伟峰,盛业华,方 斌,等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究,2013,32(8):1497-1507.
- [14] 谢高地,甄 霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [15] 谢高地,肖 玉,甄 霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.
- [16] 曾 杰,李江风,姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. 应用生态学报,2014,25(3):883-891.

(上接第 310 页)