

陇东耕地净第一性生产力及生态服务价值的时空分异研究

李广^{1,2}, 黄高宝^{3*}, 王琦^{4,5}, 王兴堂², 高珍妮², 刘成忠²

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学信息科学技术学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 5. 中科院寒区旱区环境与工程研究所 青藏高原冰冻圈观测研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为促进甘肃陇东耕地生态系统和经济持续健康发展,该研究采用生产力和生态服务价值的估算方法,对研究区域耕地净第一性生产力(NPP)和生态服务价值的时空分异进行定量分析。结果表明,1997—2005年陇东黄土高原耕地的NPP和生态服务单位面积价值变化不明显,而总量略有上升。同时,耕地的NPP和生态服务单位面积价值在空间分布上有显著的区域差异性,该区域可分成NPP和生态服务价值相对较低的西北区和相对较高的东南区。在西北区,耕地生态服务单位面积价值为7.7万元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),NPP只有3.54 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$);在东南区,生态服务单位面积价值为10.2万元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),NPP为5.94 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。因此,要通过合理调整种植结构和作物布局,充分利用降水资源,以提高研究区耕地的NPP和生态服务价值。

关键词:陇东;耕地;NPP;生态服务价值;时空分异

中图分类号:S181 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2011)06-0018-08

* 自 Holdren 和 Ehrlich 首次提出“生态系统服务”概念,生态系统服务功能的价值评估逐渐受到广泛关注,成为国内外生态学家、经济学家研究的热点^[1-6]。生态系统服务功能是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[2]。农业生态服务功能指特定农业生态系统产生的包括农产品生产经济功能以及影响当前生态环境质量和维持现有农业资源数量的作用,在一定时空条件下可以进行客观量化评估^[7]。由于农业生态系统的优势物种和所处自然环境千差万别,因而其产生的生态服务功能具有明显的时空差异^[8]。

甘肃陇东地区位于甘肃省东部,属黄土高原沟壑立地亚区^[9],是黄土高原土壤侵蚀非常严重的地区之一。而黄土高原是我国西部水土流失最为严重、生态环境极为脆弱的地区之一^[9,10]。由于土质疏松、降水集中、水土流失严重和极度脆弱的生态环境严重制约着该区域的经济可持续发展。在近年来退耕还林还草工作的实施中,大量研究主要集中修复土壤、控制水土流失、彻底改善生态环境等方面,随着植被的建立和恢复,土壤得到修复,水土流失得到控制,生态环境得到改善^[10]。然而甘肃陇东耕地生态系统生产力和生态服务所处位置、作用和空间格局等相关的研究和报道较少。为此,本研究在大量实地调查和查阅相关文献的基础上,根据统计资料,运用生产力和生态系统服务功能评估的相关理论和 GIS(geographic information system)等方法,选择第一性生产力和生态服务功能价值为研究对象,对区域的生产力和生态服务价值进行定量的时空异质性评价,旨在为区域生态环境建设与发展经济的一致性提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

庆阳市位于甘肃省东部,习称“陇东”,位于东经 $106^{\circ}20' \sim 108^{\circ}45'$,北纬 $35^{\circ}15' \sim 37^{\circ}10'$,海拔 885~2 089 m。总面积 27 119 km^2 ,耕地面积 44.4 万 hm^2 ,人口 252 万,辖 1 个市辖区和 7 个县,即西峰区、庆阳、华池、宁县、镇原、合水、正宁和环县。研究区为黄土高原残原沟壑、丘陵沟壑、梁状沟壑地貌,东部为子午岭天然次生林区,年降

* 收稿日期:2010-06-29;改回日期:2010-09-01

基金项目:国家自然科学基金项目(31060178,40771132)资助。

作者简介:李广(1971-),男,内蒙古化德人,教授,博士。E-mail:lig@gsau.edu.cn

* 通讯作者。E-mail:huanggb@gsau.edu.cn

水 600~650 mm,属温凉湿润性气候,土壤为灰褐色森林土;中部为残原沟壑农业区,属温和半干旱性气候,年降水 500~550 mm,多为黑垆土;北部和西北部为梁状丘陵沟壑农牧区,属温凉干旱性气候,年降水 350~450 mm,土壤为黑坊土、黄绵土和粗黄绵土;全区年均温 7~9℃。

1.2 研究方法

1.2.1 耕地净第一性生产力测算

$$Q_i = B_i \times (1 - r_i) / f_i$$

$$Q_{\text{总}} = Q_i \times S_i$$

式中, Q_i 为净第一性生产力(NPP)(t/hm²·a); $Q_{\text{总}}$ 为总物质质量(t·a); B_i 为经济产量(t/hm²·a); r_i 为经济产量含水率(%); S_i 为第 i 类耕地的面积(hm²); f_i 为经济系数^[11](表 1)。

表 1 农作物经济系数及经济产量含水率

Table 1 Economical coefficient and economical output water ratio of crops

项目 Item	经济系数(下限) Economic coefficient (Lower limit)	经济系数(上限) Economic coefficient (Upper limit)	经济产量含水率 Moisture content of economic yield (%)
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	0.35	0.50	13.0
稻谷 Rice	0.38	0.51	14.0
玉米 <i>Zea mays</i>	0.30	0.40	14.0
薯类 Potatoes	0.33	0.45	13.3
豆类 Beans	0.20	0.30	12.5

1.2.2 生态服务价值测算 结合黄土高原生态脆弱的主要特点,选取了土壤保持、涵养水源、维持营养物质循环、固碳释氧、净化空气 5 类评价指标,推算出生态系统服务功能的价值量,以评价陇东地区的生态效应。

1) 大气调节价值

对植被光合作用吸收二氧化碳和释放氧气进行研究,采用碳税法或者造林成本法进行估算。首先,根据光合作用方程式,植物每生产 1 g 干物质需要 1.63 g CO₂,1.20 g O₂ 计算:

$$V = Q \times E \times P$$

式中, V 为固碳或制氧价值(元); Q 为净第一性生产力(t/hm²·a); E 为固碳或制氧系数; P 为固碳或制氧成本(元/t)。固碳系数 1.63;制氧系数为 1.2;固碳价格为 1 200 元/t;制氧价格为 1 000 元/t[采用瑞典的碳税率 150 美元(折合人民币为 1 200 元/t)]^[12];制氧价格为 1 000 元/t[采用中华人民共和国卫生部网站(<http://www.moh.gov.cn>)]^[12]中 2007 年春季氧气平均价格]^[12]。

2) 水源涵养价值

涵养水源的价值首先采用水量平衡法计算出涵养水源量,然后根据单位面积的水价进行估算:

$$V = R \times W \times \sum (1 - \theta_i) \times S_i$$

式中: V 为涵养水源的价值(元); R 为平均降水量(mm); S_i 为第 i 类耕地的面积(hm²); θ_i 为第 i 类耕地单位面积的径流系数; W 为单位体积水价(元),取 6.110 7 元/t(根据 1993—1999 年《中国水利年鉴》平均水库库容造价为 2.17 元/t,2005 年价格指数为 2.82,即得到单位库容造价)^[12],根据李玉山^[13]黄土高原坡耕地年径流系数一般小于 5%,本研究取 3%。

3) 土壤保持功能价值

运用美国通用土壤侵蚀方程^[14,15]以及结合研究区具体情况各因子计算方法,计算耕地生态系统不同年份保土物质质量,运用机会成本法计算植被保持表土的价值、运用影子价格法计算植被保持养分的价值、运用替代工程法计算植被防止泥沙淤积的价值^[16]:

$$V=V_1+V_2+V_3$$

$$V_1=A \times I = \frac{Q}{M_s \times H} \times P$$

$$V_2 = \sum Q(NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_2/R_3 + MC_3)$$

$$V_3 = 0.24 \times Q \times W/M$$

$$A = A_p - A_r$$

$$A_p = R \times K_s \times LS$$

$$A_r = R \times K_s \times LS \times C \times S$$

式中, V 为耕地的土壤保持价值(元/年); V_1 为减少废弃土地的价值(元/年); V_2 为减少土壤养分损失的价值(元/年); V_3 为减少泥沙淤积的价值(元/年); I 为单位面积收益(元/hm²·a); Q 为减少的土壤侵蚀总量(t); M 为土壤容重(g/cm³), 按 1.34 g/cm³; H 为土层厚度(cm), 按 0.5 m 计算; R_1, R_2, R_3 为磷酸二铵含氮量、磷酸二铵含磷量、氯化钾含钾量(%), 分别取 14%, 15% 和 50%; C_1, C_2, C_3 分别为磷酸二铵、氯化钾化肥、有机质价格(元/t), 分别取 2 400, 2 200 和 320 元/t[采用农业部中国农业信息网(<http://www.agri.gov.cn>)2007 年春季平均价格]; N, P, K, M 分别为土壤中氮、磷、钾和有机质的含量(%); W 为 1 m³ 水库库容的工程费用, 取 0.611 07 元。 A 为土壤保持量(t/hm²·a); A_p 为潜在土壤侵蚀量(t/hm²·a); A_r 为现实土壤侵蚀量(t/hm²·a)。 R 为降水侵蚀力指标; K_s 为土壤可蚀性因子, LS 为坡长坡度因子, C 为地表植被覆盖因子, S 为土壤保持措施因子, 各因子的计算公式见文献[17-19]。由于潜在土壤流失量是指生态系统在没有植被覆盖和水土保持措施情况下的土壤流失量, 因此, 在计算中不考虑地表覆盖因素和水土保持因素, 即 $C=1, S=1$ 。

4) 营养物质循环功能价值

利用各类作物实际经济产量, 所需营养元素(有机质、N、P、K 的含量等数据)估算各类型作物营养物质的累积量, 然后运用影子价格法, 定量评价耕地生态系统维持营养物质循环的价值。其公式为:

$$V = \sum Q(NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_2/R_3 + MC_3)$$

式中, V 维持营养物质循环的经济价值(元); Q 为净第一性生产力; R_1, R_2, R_3 为磷酸二铵含氮量、磷酸二铵含磷量、氯化钾含钾量(%); N, P, K, M 分别为作物中氮、磷、钾和有机质的含量(%); C_1, C_2, C_3 分别为磷酸二铵、氯化钾化肥、有机质价格(元/t), 取值同上。

5) 净化环境功能价值

农业特别是种植业, 具有降解污染物和清洁环境的显著效应。主要计算农田对 SO₂、NO_x、HF 的吸收和滞尘作用。其公式为:

$$V = Q \times C \times S$$

式中, V 为净化价值(元), Q 为单位面积吸收量; C 为治理成本(元); S 为面积。陇东主要以旱地为主, 取吸收各种污染气体量: SO₂ 为 45 kg/(hm²·a); HF 为 0.38 kg/(hm²·a); NO_x 为 33.50 kg/(hm²·a); 滞尘为 0.95 kg/(hm²·a)。净化 NO_x、SO₂ 的单位成本价值为 0.6 元/kg, HF 为 0.9 元/kg, 削减粉尘成本为 0.17 元/kg^[17]。

2 结果与分析

2.1 耕地净第一性生产力的时空异质性分析

2.1.1 耕地净第一性生产力的时间异质性分析 根据《庆阳市统计年鉴》中各作物单产、总产和播种面积, 运用 NPP 公式计算生产力总量和净第一性生产力(图 1)。可以看出, 1997—2005 年耕地净第一性生产力(NPP)呈波动状态($CV=7.3\%$), 没有明显的上升趋势(图 1)。最小值出现在 2001 年, 耕地 NPP 只有 4.41 t/(hm²·a), 而最大值出现在 2002 年, 达到了 5.54 t/(hm²·a)。同时, 庆阳市耕地各作物的总物质质量波动幅度大于 NPP($CV=9.6\%$), 并且略有上升趋势。总物质质量峰值和谷值出现的时间与 NPP 相吻合, 分别为 2.17×10^6 和 2.90×10^6 t/a(图 1)。

耕地生产力总物质质量的大小取决于 NPP 和耕地面积。在研究期内, NPP 没有显著增加; 在退耕还林还草的条件下, 耕地面积没有减少, 反而呈增加趋势, 趋势方程为: $y=0.8125x+52.918, R^2=0.7914$, 因此研究期内,

陇东黄土高原耕地各作物的总物质量略有上升。1997—2005 年降水量为 362.8~743.3 mm, 平均值为 517.6 mm, 变异系数 21.8%, 可以看出, 在研究期内, 降水量呈不稳定波动情况。通过生产力与降水量的变异分析研究表明, 生产力与降水量相关不显著(图 2)。

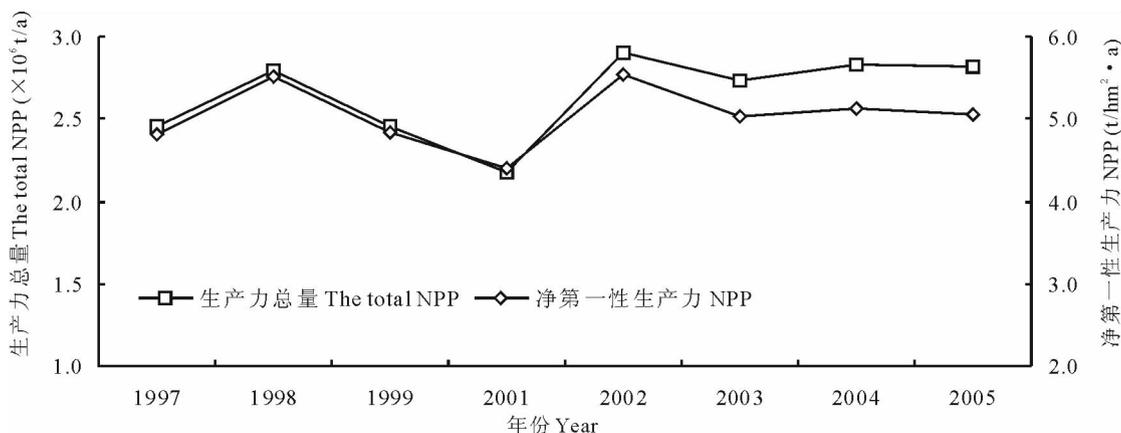


图 1 庆阳市耕地的净第一性生产力和总量动态变化

Fig. 1 Net primary productivity and total net primary productivity (NPP) dynamic change of cultivated land in Qingyang

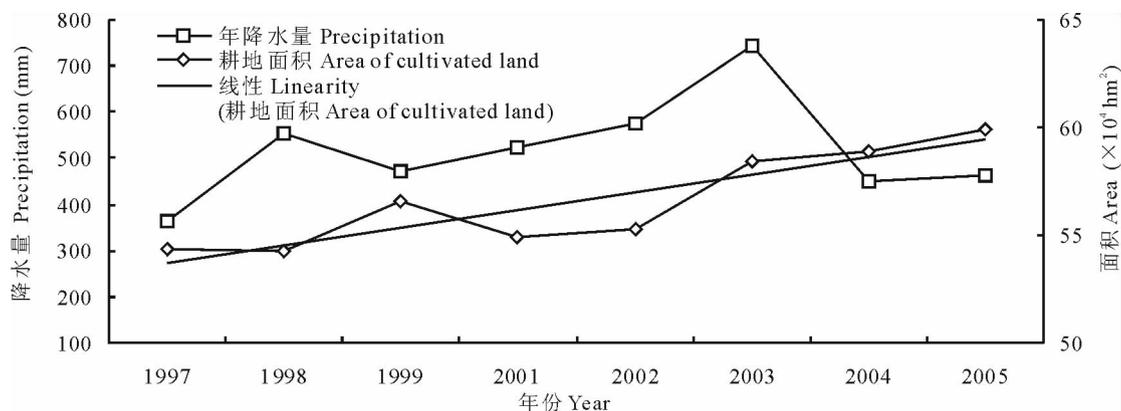


图 2 庆阳市耕地面积与降水量的动态变化

Fig. 2 Dynamic change of precipitation and cultivated land area in Qingyang

2.1.2 耕地净第一性生产力的空间异质性分析 根据陇东各区县 1997—2005 年耕地 NPP 的平均值, 用 GIS 进行分区统计分析(图 3), 庆阳市耕地的 NPP 差异可以分成 2 个区: 一个是生产力相对较低的西北区(环县、镇原、庆城和华池的西北部); 一个是生产力相对较高的东南区(西峰、正宁、宁县、合水和华池的东南部)。西北低值区生产力低下, 耕地平均 NPP 只有 3.54 t/(hm² · a), 变异系数为 11.5%; 而东南高值区生产力相对较高, 耕地平均 NPP 为 5.94 t/(hm² · a), 变异系数为 6.3%。可以看出, 西北低值区生产力只有东南高值区的 59.7%, 变异系数远大于东南高值区, 表明西北低值区生产力低下, 同时生产力极其不稳定。

2.2 生态服务功能价值测算及时空异质性分析

2.2.1 生态服务功能价值测算及时间异质性分析 利用生态服务功能价值的研究方法, 对研究区生态服务价值进行了测算(图 4)。1997—2005 年庆阳市耕地生态服务功能价值总量在波动中略有上升(图 3), 总量从 3.70 × 10⁶ 万元/a 增加到 4.92 × 10⁶ 万元/a; 而生态服务单位面积价值在研究期内从 7.17 万元/(hm² · a) 上升到 8.51 万元/(hm² · a), 表明近年来庆阳市耕地生态服务功能有所改善, 但幅度非常小, 其中总价值增加幅度大于单位面积价值增幅。

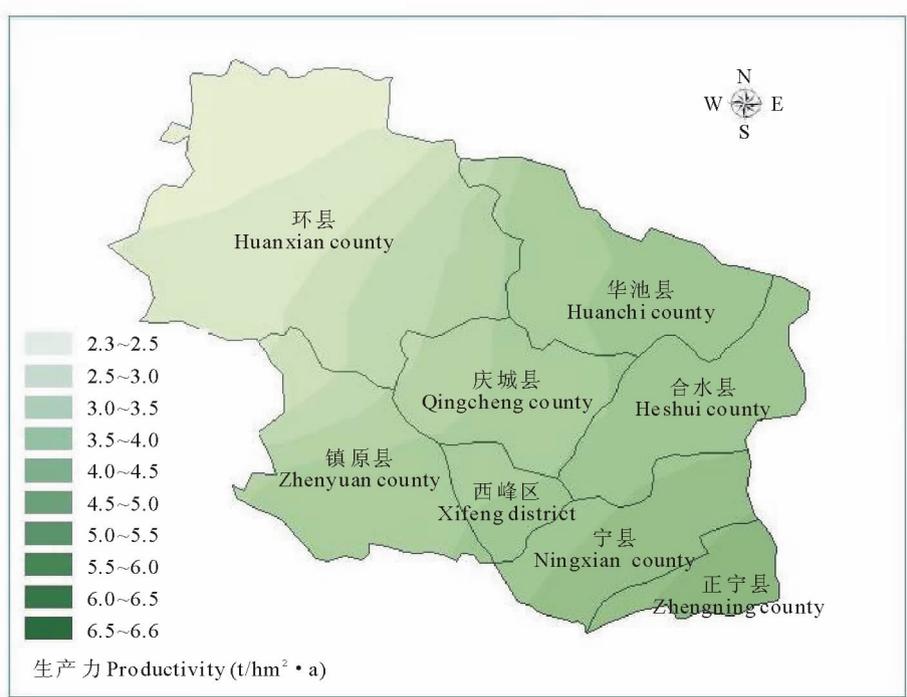


图3 庆阳市耕地的NPP空间分布

Fig. 3 NPP spatial distribution of cultivated land in Qingyang

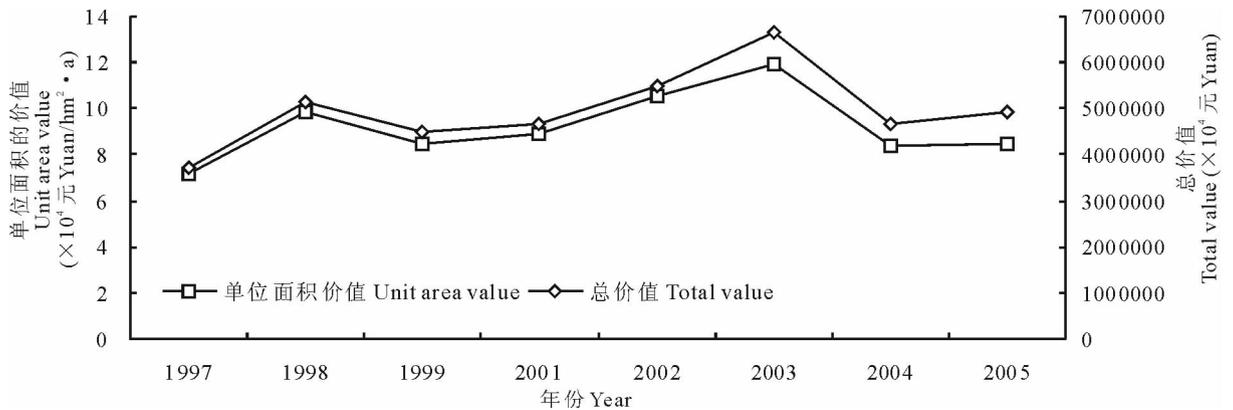


图4 庆阳市耕地生态服务功能价值动态变化

Fig. 4 Dynamic change of ecological service value of cultivated land in Qingyang

从1997—2005年耕地生态服务单位面积价值中,大气调节、土壤保持、涵养水源、营养物质循环和净化空气分别在1.591,3.737,2.576,1.317和0.005万元/(hm²·a)上下波动;大气调节、土壤保持、涵养水源和营养物质循环的变异系数分别为7.3%,21.8%,23.0%,和7.3%,可以看出,大气调节、营养物质循环和净化空气相对比较稳定。而变化最大的是土壤保持和涵养水源,同时在价值总量中所占比例也较大,占总价值的69.37%,表明在庆阳市生态脆弱区,生态服务功能主要以土壤保持和涵养水源为主。

总体来看(图4),1997—2005年生态服务功能没有特别大的变化,从发展趋势上看,生态系统略有向良好的、安全的态势发展,但是在目前这种状态下到底是否安全,尚缺乏一个确定的安全阈值^[19],因此难以判断。

2.2.2 生态服务功能价值的空间异质性分析 生态服务价值总量取决于耕地面积和生态服务单位面积价值,在已知耕地面积的情况下,生态服务单位面积价值是生态服务价值总量的决定因素。为此,对1997—2005年生态

服务单位面积价值取其平均值,并运用 GIS 工具对生态服务单位面积价值空间异质性进行分析表明,生态服务价值分布情况与生产力的分布情况基本一致(表 2,图 5),可以看出,生态服务单位面积价值空间差异显著,从东南向西北方向逐渐递减。在东南区,平均生态服务单位面积价值为 10.2 万元/(hm²·a),最大值为 11.0 万元/(hm²·a);在西北区,平均生态服务单位面积价值为 7.7 万元/(hm²·a),最小值只有 6.8 万元/(hm²·a)。

表 2 庆阳市耕地生态服务单位面积价值量

Table 2 Ecological service value of cultivated land of unit area in Qingyang

×10⁴ 元 Yuan/(hm²·a)

评价指标 Evaluating indicator		年份 year							
		1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005
大气调节 Gas regulation function	固定二氧化碳 Fixing CO ₂	0.942	1.077	0.948	0.863	1.083	0.984	1.002	0.990
	释放氧气 Releasing O ₂	1.520	1.738	1.530	1.392	1.747	1.588	1.616	1.597
土壤保持 Soil conservation	减少废弃土地 Reducing waste land	0.088	0.135	0.115	0.128	0.140	0.181	0.109	0.112
	减少土壤养分 Reducing soil nutrient	1.503	2.289	1.953	2.175	2.380	3.078	1.860	1.910
	减少泥沙淤积 Reducing sediment deposition	1.029	1.566	1.337	1.489	1.629	2.107	1.273	1.308
涵养水源 Water resources conservation		1.774	2.702	2.305	2.567	3.171	3.634	2.196	2.255
维持营养物质循环 Nutrient cycle conservation		1.254	1.438	1.267	1.153	1.447	1.317	1.337	1.321
合计 Total		7.17	9.87	8.51	8.91	10.52	11.91	8.40	8.51

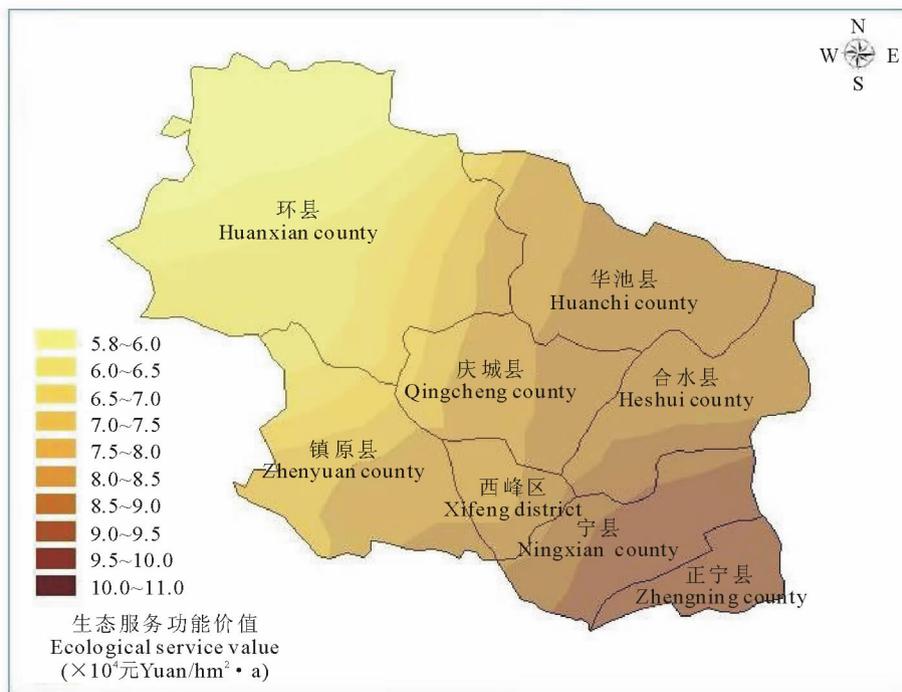


图 5 庆阳市耕地生态服务功能价值的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of ecological service value of cultivated land in Qingyang

3 讨论

耕地生态系统是典型的人工生态系统,过去人们在农业生产中注重农业生态系统的直接服务价值(生产力),却忽略整个生态系统至关重要的生产副产品和环境调节功能^[21-24]。同时,对耕地生态系统生产力和生态服务价值的研究,除确保粮食安全之外,对生态环境,特别是对土壤保持、涵养水源和大气调节等,服务功能具有较大贡献。

生态服务功能价值的大小取决于耕地的 NPP,为此提高耕地 NPP 是提高生态服务功能的根本所在。甘肃陇东黄土高原属于旱作农业区,水和肥是制约系统生产力的 2 个主导因素^[28]。在肥力不变的条件下,耕地的 NPP 主要受降水因素的影响^[25]。通过对降水量与 NPP 分析,降水量与 NPP 之间决定系数($R^2=0.255\ 977$)较低。2003 年降水量达到最大,为 743.3 mm,NPP 不是最大值,为 5.03 t/(hm²·a),而 1997 年降水量最小,仅为 362.8 mm,可 NPP 为 4.82 t/(hm²·a),高于 2001 年 NPP 最小年份的 4.41 t/(hm²·a),表明生产力不仅取决于年降水量,而且还取决于降水的季节分配等因素,这与徐为根等^[29]及李广和黄高宝^[30]研究结果一致。陇东黄土高原耕地的 NPP 平均值为 5.04 t/(hm²·a),仅为陕西榆林市榆阳区 NPP(10.82 t/hm²·a)的 50%^[11],生产力低下,生态功能服务价值也不高,说明生产力是生态服务价值的决定因素。而生产力受土地利用科技投入、种植结构和土地集约利用程度的影响^[31]。因此,通过合理调整种植结构和作物布局,充分利用降水资源,以提高耕地的 NPP 和生态服务功能。

本研究仅对庆阳市耕地的生产力和生态服务价值进行了计算,考虑的影响因素都是一般性质,并未对自然、经济、社会过程中的突发事件进行分析,由此而产生的损失也未计算。同时耕地的 NPP 和生态服务价值总量略有上升趋势,反映出庆阳市耕地利用结构是基本合理的,利用是可持续的,但影响土地合理性和可持续性的因素很多。因此,有待于进一步更加深入地研究影响其合理性机制,对整个庆阳市的耕地利用变化及其生态安全进行科学合理地评价,为陇东地区经济发展提供有力保障。

4 结论

在测评过程中,耕地的 NPP 和生态服务价值计算考虑到不同作物之间参数的差异,根据不同作物确定相应参数,根据不同气候特点进行推算同一作物不同年份参数,如实际土壤侵蚀量等,力求使测算结果更能反映区域的实际情况。主要结论有:

1)在研究期内,陇东黄土高原耕地 NPP 和生态服务单位面积价值变化不明显,而总量略有上升。通过对生产力和生态服务价值分析,可以看出,近年来陇东黄土高原耕地的 NPP 总量略有提高,并且生态服务功能有所改善,表明近年来陇东生态环境有向安全态势发展趋势。

2)耕地 NPP 和生态服务价值在空间分布上存在显著差异。生产力分布趋势与生态服务价值基本一致,从东南向西北方向逐渐递减,可以分成 2 个区:东南区和西北区。而西北区生产力和生态服务价值低下,同时生产力极不稳定。

参考文献:

- [1] 江小雷,岳静,张卫国,等.生物多样性,生态系统功能与时空尺度[J].草业学报,2010,19(1):219-225.
- [2] 侯扶江,徐磊.生态系统健康的研究历史与现状[J].草业学报,2009,18(6):210-225.
- [3] Costanza R, Arge R, Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.
- [4] Heal G. Valuing ecosystem services[J]. Ecological Economics, 2000, 35(3): 24-30.
- [5] Serafy S E. Pricing the invaluable: the value of the world's eco-system services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 25-27.
- [6] 侯扶江,南志标,任继周.作物一家畜综合生产系统[J].草业学报,2009,18(5):211-234.
- [7] 王勇,骆世明.农业生态服务功能评估的研究进展和实施原则[J].中国生态农业学报,2008,16(1):212-216.
- [8] 王伟,陆健健.生态系统服务功能分类与价值评估探讨[J].生态学杂志,2005,24(11):1314-1316.
- [9] 詹昭宁.中国森林立地分类[M].北京:中国林业出版社,1989.
- [10] 成克武,吴丽娟,王清春.陇东地区生态环境建设问题的探讨[J].北京林业大学学报,2002,24(1):101-104.
- [11] 莫宏伟,刘礼英,任志远.农牧交错区耕地净第一性生产力动态变化研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):15-20.
- [12] 郭浩,王兵,马向前,等.中国油松林生态服务功能评估[J].中国科学 C 辑(生命科学),2008,38(6):565-572.
- [13] 李玉山.黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J].自然资源学报,2001,16(5):427-432.
- [14] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from crop land east of the Rocky Mountains[A]. Agriculture

- Handbook 282[M], Washington, D. C.; U. S. Department of Agriculture, 1965.
- [15] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning[A]. Agriculture Handbook 537[M], Washington, D. C.; U. S. Department of Agriculture, 1978; 58.
- [16] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估[M]. 中国环境科学, 1999, 19(3):247-252
- [17] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [18] 谢红霞, 李锐, 杨勤科, 等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.
- [19] 李双才, 罗利芳, 张科利, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕对土壤侵蚀影响的模拟研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 74-77, 81.
- [20] 马新辉, 任志远, 孙根年. 城市植被净化大气价值计量与评价——以西安市为例[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 180-182.
- [21] 谢红霞, 任志远, 李锐. 区域生态服务价值时空异质性研究——以铜川市城郊区为例[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 212-217.
- [22] 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.
- [23] 陈源泉, 高旺盛. 农牧交错带农业生态服务功能的作用及其保护途径[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(4): 110-115.
- [24] 盛婧, 陈留根, 朱普平. 稻麦轮作农田生态系统服务功能价值评估[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1541-1545.
- [25] 李光录, 高存芳. 黄土高原南部土地生产力及其与侵蚀的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 42-46.
- [26] 陈奇伯, 王克勤, 齐实, 等. 黄土丘陵区坡耕地水土流失与土地生产力的关系[J]. 生态学报, 23(8): 1463-1469.
- [27] 史东梅, 刘立志. 紫色土坡耕地生产潜力及水土流失治理[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(2): 132-136.
- [28] 钟良平, 邵明安, 李玉山. 农田生态系统生产力演变及驱动力[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 510-515.
- [29] 徐为根, 吴洪颜, 张仁祖. 用多元积分回归方法分析降水对小麦产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2004, 24: 24-27.
- [30] 李广, 黄高宝. 基于 APSIM 模型的降水量分配对旱地小麦和豌豆产量影响的研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 342-347.
- [31] 王科明, 石惠春, 周伟, 等. 干旱地区土地利用结构变化与生态服务价值的关系研究——以酒泉市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 124-128.

Spatial-temporal distribution of the ecological service value and NPP of cultivated land on Longdong Loess Plateau

LI Guang^{1,2}, HUANG Gao-bao³, WANG Qi^{4,5}, WANG Xing-tang²,
GAO Zhen-ni², LIU Cheng-zhong²

(1. Gansu Provincial Key laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 5. Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The heterogeneity in spatial-temporal scale of the net primary productivity (NPP) and ecological service value was studied to keep a healthy ecological system of cultivated land by using methods related to the ecological system service and productivity assessment. The changes in NPP and the unit area value of ecological service were not distinct with the total increasing from 1997—2005. The spatial distribution of NPP and ecological service value was very obvious and divided into the lower value in the northwest area and the higher value in the southeast area. The unit area value of ecological service was about 10.2×10^4 yuan/(ha·a) and NPP was about 5.04 t/(ha·a) in the southeast area, while in the northwest area, they were 7.7×10^4 yuan/(ha·a) and 3.54 t/(ha·a) respectively. The NPP and ecological service value would be improved by using precipitation resources with rational and high efficiency under the conditions of optimal crop layout and adjusted plant structure.

Key words: Longdong; cultivated land; NPP; ecological service value; spatial-temporal distribution