

# 陕西省人均生态足迹动态变化及驱动模型研究

方 炫<sup>1</sup>, 刘德林<sup>2</sup>, 曹 阳<sup>3</sup>, 李壁成<sup>4</sup>

(1. 宿迁学院, 江苏 宿迁 223800; 2. 河南理工大学 应急管理学院, 河南 焦作 454000;  
3. 南通大学 交通学院, 江苏 南通 226019; 4. 中国科学院大学, 北京 100039)

**摘 要:** 以熊德龙等改进的生态足迹理论为基础, 分析了陕西省 1990—2007 年人均生态足迹的动态变化, 并利用主成分分析和多元线性回归方法, 分析了人均生态足迹驱动力并建立驱动模型。结果表明, 陕西省人均生态足迹从 1990 年的 0.818 hm<sup>2</sup> 上升到 2007 年的 2.854 hm<sup>2</sup>, 人均生态承载力略有下降, 说明陕西省始终处于生态赤字状态。2003 年以后陕西省生产性生态足迹大于消费性生态足迹, 区域生态资源呈输出状态, 社会经济发展对能源产业依赖性更加明显。陕西省人均生态足迹动态变化是人口、经济、环境、技术、土地利用程度等多方面因素综合作用的结果, 经济增长与重工业率提高是生态足迹动态变化的主要驱动因素。

**关键词:** 生态足迹; 驱动模型; 主成分分析; 陕西省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)04-0054-05

中图分类号: F062.2

## Dynamic Changes of Ecological Footprint and Its Driving Model in Shaanxi Province

FANG Xuan<sup>1</sup>, LIU De-lin<sup>2</sup>, CAO Yang<sup>3</sup>, LI Bi-cheng<sup>4</sup>

(1. Suqian College, Suqian, Jiangsu 223800, China; 2. Emergency Management School, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 3. School of Transportation, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China; 4. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Dynamic of ecological footprint and its driving mechanism are of great significance for the regional sustainable development. In this study, the productive ecological footprint per capita of Shaanxi Province during 1990—2007 was calculated according to modified ecological footprint theory by Xiong Delong. Driving factors of per capita ecological footprint was analyzed by using the principal component analysis, and driving model was constructed by using the multivariate linear model. The results showed that: the ecological footprint per capita in Shaanxi Provincial increased from 0.818 hm<sup>2</sup> in 1990 to 2.854 hm<sup>2</sup> in 2007, while ecological carrying capacity per person decreased slightly, and regional development showed ecological deficit. Compared with the traditional consumptive ecological footprint, Shaanxi Province occupied ecological resources of other areas before 2003, but relied on resources outputting for development after 2003. Factors such as population, economy, environment, technology and land use were closely related to ecological footprint per capita. The development of economy and increasing of heavy industry were the main factors that drive the dynamic changes of ecological footprint.

**Keywords:** ecological footprint; driving model; principal component analyze; Shaanxi Province

生态足迹是由加拿大生态经济学家 Rees 教授于 1992 年首先提出并由 Wakernagel 于 1996 年完善的从生物物理学角度定量测度可持续发展的一种方法, 它以维持人类生存和发展的资源消费量和同化人类产生的废弃物所需要的生态生产性面积大小来评价

人类对生态系统的影响<sup>[1-2]</sup>。生态足迹模型和方法自引入中国以后, 由于其具有概念科学明晰、指标全面、易操作且便于不同地区间比较等优点<sup>[3]</sup>, 得到了国内学者的广泛关注和研究<sup>[4-7]</sup>。但此基于全球生态系统的生态足迹模型与方法, 在区域可持续评价应用中存

收稿日期: 2012-07-22

修回日期: 2012-10-02

资助项目: 宿迁市科技支撑项目“基于 GIS 技术的区域农业生态安全预警研究”(S201204); “十一五”国家科技支撑计划重大项目“典型脆弱生态系统重建技术与示范”(2006BCA01A07-2)

作者简介: 方炫(1982—), 女(汉族), 江苏省沭阳县人, 博士研究生, 研究方向为土地景观生态及 3S 技术应用。E-mail: fxnhr@yahoo.com.cn。

通信作者: 李壁成(1945—), 男(汉族), 陕西省石泉县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持、小流域遥感监测与管理及土地景观生态方面的研究工作。E-mail: bcli@ms.iswc.ac.cn。

在根本性问题,即由消费量定义的传统生态足迹不能真正反映区域人口对当地生态系统产生的压力<sup>[8]</sup>。为此,熊德国等人<sup>[8]</sup>对传统生态足迹理论进行改进,提出了生产性生态足迹概念,即以生产量代替消费量来计算生态足迹。对于区域而言,采用生产性生态足迹比传统消费性生态足迹,能够更真实地了解当地生态系统的持续性。

陕西省在我国具有承东启西的区位优势,在西部大开发中具有重要的战略地位和作用,是我国经济、政治、文化发展的重要省份。但陕西省经济发展总体上在全国处于落后水平,且生态环境问题复杂,经济发展与生态可持续矛盾显著,因此对该区域发展状况进行正确评价是其可持续发展的必要条件。目前有不少关于该地区生态足迹的研究<sup>[9-11]</sup>,但多是单年份静态研究,缺乏长时间序列的动态变化及驱动模型研究。本研究采用生产性生态足迹概念,计算和分析陕西省1990—2007年人均生态足迹的动态变化,并在此基础上综合考虑陕西省社会经济和资源环境等多方面因素,采用主成分分析和多元线性回归方法,分析人均生态足迹与各驱动因子的关系,建立人均生态足迹的综合驱动模型,以期对陕西省可持续发展提供科学依据与对策。

## 1 研究区概况

陕西省位于我国西部地区东部(北纬 $31^{\circ}42'$ — $39^{\circ}35'$ ,东经 $105^{\circ}29'$ — $110^{\circ}15'$ ),东隔黄河与山西省相望,西连甘肃、宁夏两省区,南接四川省和重庆市,北临内蒙古自治区;下辖西安、铜川、宝鸡等10个地级市和杨陵农业高新技术产业示范区、3个县级市和23个市辖区,总面积 $2.06 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。该省自然资源丰富,且在中国区域发展中具有重要的战略地位和作用,但社会发展在我国仍处于相对落后水平。1990年以来,陕西省社会经济快速增长,GDP由1990年的45亿元增加到2007年的2708.9亿元,人民生活水平和城市化水平迅速提高。但与此同时人地矛盾不断加剧,主要表现为人口数量增加,人均消费量显著提高,高耗能的重工业比重明显增加,人均耕地急剧减少,生态环境不断恶化等,加上地理环境复杂以及人类活动历史悠久对环境影响深刻,水土流失、土壤荒漠化等生态问题突出,陕西省社会经济发展与生态可持续矛盾显著。

## 2 研究方法

### 2.1 生态足迹法

根据Wackernagel<sup>[12]</sup>提出的传统生态足迹理论,

生态足迹计算是指将某个确定人口所消耗的所有资源和吸收这些人口所产生的废弃物折算成所需要的生态生产性面积。熊德国等人<sup>[8]</sup>对该生态足迹理论进行扩展与改进,将生态足迹区分为消费性生态足迹和生产性生态足迹。他们指出Wackernagel的生态足迹概念实际上就是消费性生态足迹,由于区域消费量不仅依靠当地还依靠其他区域,不能准确描述当地人口造成的生态压力是作用于当地还是其他区域;而生产性生态足迹能够反映区域人口对当地生态系统的影响,对区域发展的可持续性作出真实评价。

生产性生态足迹是指某个确定人口从生态系统中实际取得的生物产量所需要的生态生产性面积,其公式<sup>[4]</sup>为:

$$ef = EF/n = \sum r_j(aa_i) / \sum r_j(C_i/Y_i) / n \quad (1)$$

式中:ef——人均生态足迹;EF——总的生态足迹; $n$ ——人口数; $i$ ——产品的类型; $j$ ——生态生产性土地的类型,包括耕地、林地、草地、水域、化石能源地、建筑用地; $aa_i$ —— $i$ 种产品折算的生态生产性面积; $C_i$ —— $i$ 种产品的产量; $Y_i$ —— $i$ 种产品的全球平均产量; $r_j$ ——用来将不同类型的生态生产性土地面积调整为具有全球生态系统平均生产力的、可以直接相加的生态系统面积的均衡因子。为了与文献<sup>[13]</sup>中消费性生态足迹对比,均衡因子采用与文献<sup>[13]</sup>一致的世界野生动物基金会(WWF)数据<sup>[13]</sup>。在计算中,生态足迹账户包括生物资源和能源两部分(表1)。生物资源账户分为农产品、动物产品、林产品和水产品4大类,其对应的生物生产性土地类型为耕地、草地、林地和水域;能源账户包括煤炭、石油、天然气和电力等4类,本研究采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准,将煤炭、石油、天然气产量折算成一定的化石燃料地面积,电力生产量折算成建筑用地。

生态容量是指一定区域内所能提供的生态生产性土地,其计算公式<sup>[4]</sup>为:

$$ec = 0.88EC/n = 0.88 \sum a_j r_j y_j / n \quad (2)$$

式中:ec——人均生态容量;EC——总生态容量; $a_j$ —— $j$ 类生态生产性土地的面积;0.88——常数项,世界环境与发展委员会(WCED)“我们共同的未来”的报告中指出,留出12%的生物生产性土地以保护生物的多样性; $y_j$ ——产量因子,本研究产量因子采用Wackernagel计算中国生态足迹时所采用的值。通过比较ef与ec大小,可以度量区域是否处于可持续发展的<sup>[12]</sup>状态,当 $ef < ec$ ,为生态盈余,表明区域处于可持续发展状态;相反,当 $ef > ec$ ,表明生态系统不能满足人们的需求,为生态赤字。

表 1 生态足迹帐户分类

土地类别	选取指标
耕地	小麦、稻谷、玉米、高粱、大豆、棉花、油料、糖料、麻类、蔬菜、烤烟
林地	茶叶、水果、油桐籽、五倍籽、核桃、板栗、花椒
草地	猪肉、牛肉、羊肉、奶类、山羊毛、绵羊毛、羊绒、禽蛋
水域	水产品
化石能源地	煤炭、石油、天然气
建筑用地	电力

## 2.2 生态足迹驱动力模型

根据陕西省社会经济发展特征与资源环境状况,选取人口( $x_1$ 总人口数, $x_2$ 非农人口比重),经济( $x_3$ 人均GDP, $x_4$ 重工业率, $x_5$ 恩格尔系数),资源环境( $x_6$ 单位耕地农药使用量, $x_7$ 单位耕地化肥施用量, $x_8$ 人均耕地面积),技术( $x_9$ 万元GDP能耗, $x_{10}$ 农用机械总动力),土地利用程度( $x_{11}$ 种指数, $x_{12}$ 道路长度)共5个方面的共12个指标对生态足迹驱动力进行分析。以1990—2007年时间序列数据为样本,利用SPSS软件,将这些指标与人均生态足迹进行相关分析,得到各驱动因子与人均生态足迹的关系;对这些驱动因子进行主成分分析,去除冗余信息,得到能反映绝大部分信息(通常累积贡献率大于85%)的前 $n$ 个主成分;最后以陕西省人均生态足迹为因变量,以驱动因子为自变量,建立该区域生态足迹驱动力的多元线性回归模型。

## 2.3 数据来源

本研究生态足迹计算中各类生物资源和能源的产量数据、区域内所能提供的各类生态生产性土地面积以及生态足迹驱动力分析中各指标数据均来自《陕西省1990—2007年统计年鉴》;各类生物资源的全球平均产量来自联合国粮农组织(FAO)数据库。

# 3 结果分析

## 3.1 人均生态足迹时间序列分析

对1990—2007年陕西省人均生态足迹和人均生态容量进行计算。由图1可以看出,陕西省人均生态足迹总体上处于增长趋势,从1990年的 $0.818 \text{ hm}^2$ 上升到了2007年的 $2.854 \text{ hm}^2$ ,增长了2.49倍,从增长速度来看,2000年以前属于缓慢增长阶段,之后为迅速增长阶段;人均生态容量除了1999和2007年略有提高外,基本上呈平缓下降趋势;人均生态赤字变化趋势与人均生态足迹基本一致,2007年增加到了 $2.192 \text{ hm}^2$ ,为人均生态容量的3.31倍,表明自1990年以来陕西省一直处于生态赤字状态,且可持

续能力下降。由表2陕西省人均生态足迹的构成可以看出,耕地、草地、林地、化石燃料足迹比重较大(4者之和约占总人均生态足迹的98%以上),1990—1994年表现为:耕地足迹>化石燃料足迹>草地足迹>林地足迹,之后化石燃料足迹代替耕地足迹位置,对总人均生态足迹贡献最大。从这4类生态足迹变化趋势可以看出,除耕地足迹略有减小外,其余3类都呈增加趋势,而增长速度以化石燃料足迹最为突出。

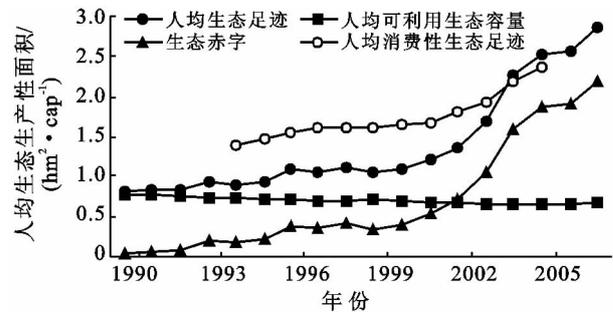


图 1 陕西省 1990—2007 年人均生态足迹和生态容量

注:人均消费性生态足迹数据来自文献[10]。

## 3.2 人均生态足迹驱动模型

3.2.1 人均生态足迹与驱动因子相关分析 人均生态足迹与驱动因子相关分析结果(表3)表明:(1)陕西省人均生态足迹与人口数量、非农人口比重、人均GDP、重工业率、单位耕地农药与化肥施用量、农业机械总动力、复种指数和道路长度等9个因子具有正相关关系。其中,人均GDP和重工业率的相关系数(0.971和0.969)最高,说明经济发展水平和以重工业为主的产业结构是陕西省人均生态足迹增加的最大驱动力。这是因为人均GDP的增加需要消耗大量资源,同时提高了人均消费量;重工业是与轻工业相比能源消耗较大的产业,陕西省发挥能源优势大力发展能源产业及依托能源的重工业,从而增加了人均生态足迹。人口是人类社会活动的主体,人口因素直接影响资源的需求状况,尤其是与人口总数相比非农业人口比重与生态足迹相关系数更大,说明非农人口造成的生态压力比总人口平均水平高,这与非农业人口比农业人口的消费量和消费层次高是分不开的。施用农药和化肥是提高农业生产力的重要措施,但不可避免地造成了对环境的污染和农业生态系统的破坏,单位耕地农药和化肥的施用量越多,人均生态足迹越大。农业机械总动力反映了农业技术投入的程度,其相关系数仅次于人均GDP和重工业率,表明农业机械总动力的提高加快农业生产效率的同时,也严重加剧了农业生态系统的压力。复种指数和道路长度分

别反映了农业用地和城市用地的利用程度,随着土地利用程度的加剧,人均生态足迹不断增加。复种指数与人均生态足迹的相关系数为 0.608,低于道路长度与人均生态足迹的相关系数 0.938,这说明与农业用地程度相比,城市用地程度与对人均生态足迹的影响较大。(2) 陕西省人均生态足迹与恩格尔系数、人均耕地面积、万元 GDP 能耗呈负相关关系。恩格尔系数反映了居民消费的结构与层次,恩格尔系数下降,说明居民消费中食物消费比重下降,消费层次提高,人均生态足迹也相应提高。随着经济的快速发展,陕

西省城市化不断推进,人均耕地面积不断下降,土地生态压力越来越大,人均生态足迹同步增加。万元 GDP 能耗是反映能源使用效率的指标,其下降缘于技术水平的提高。技术进步带来能源利用率的提高,但生态足迹反而增加,这是因为,尽管能源利用率提高在一定程度上缓解了能源消费对生态环境的压力,但随着工业化发展和人们生活水平的提高,能源需求总量不断增加,促进能源的开发与生产,加上能源产业作为陕西省经济增长的重要来源之一,其发展也扩大了能源生产,增加了生态足迹。

表 2 1990—2007 年陕西省人均生态足迹构成

hm<sup>2</sup>/人

年份	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	化石燃料用地
1990	0.349 2	0.007 2	0.132 6	0.004 7	0.000 5	0.323 8
1991	0.341 3	0.008 9	0.151 0	0.005 3	0.000 6	0.318 9
1992	0.324 7	0.012 1	0.163 1	0.006 0	0.001 1	0.329 8
1993	0.369 2	0.017 3	0.179 2	0.006 8	0.000 5	0.357 6
1994	0.280 7	0.021 9	0.198 3	0.007 4	0.000 4	0.389 0
1995	0.271 9	0.027 6	0.208 6	0.008 2	0.000 3	0.407 9
1996	0.354 8	0.034 7	0.220 3	0.008 8	0.000 4	0.463 9
1997	0.317 9	0.031 2	0.197 2	0.009 7	0.000 3	0.490 0
1998	0.375 3	0.040 5	0.220 9	0.010 6	0.000 4	0.455 8
1999	0.321 4	0.045 9	0.223 5	0.011 7	0.000 3	0.436 6
2000	0.320 5	0.045 9	0.238 9	0.012 7	0.000 4	0.468 5
2001	0.294 0	0.048 9	0.248 0	0.013 1	0.000 3	0.606 9
2002	0.304 0	0.053 2	0.275 5	0.013 2	0.000 3	0.717 1
2003	0.296 8	0.056 9	0.302 6	0.013 7	0.000 5	1.028 0
2004	0.344 9	0.067 3	0.326 7	0.014 0	0.000 5	1.512 4
2005	0.343 2	0.069 7	0.355 3	0.015 0	0.000 5	1.746 4
2006	0.323 3	0.079 7	0.278 8	0.009 8	0.000 4	1.872 6
2007	0.328 9	0.084 7	0.275 4	0.010 2	0.000 5	2.154 5

表 3 人均生态足迹与驱动因子的相关系数(Person 检验)

项 目	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$
相关系数	0.779**	0.919**	0.971**	0.969**	-0.705**	0.817**	0.856**	-0.830**	-0.608*	0.945**	0.608*	0.938**

注: $x_1$  为总人口数, $x_2$  为非农人口比重, $x_3$  为人均 GDP, $x_4$  为重工业率, $x_5$  为恩格尔系数, $x_6$  为单位耕地农药使用量, $x_7$  为单位耕地化肥施用量, $x_8$  为人均耕地面积, $x_9$  为万元 GDP 能耗, $x_{10}$  为农用机械总动力, $x_{11}$  为复种指数, $x_{12}$  为道路长度。下同。\*表示在 0.01 水平相关显著; \*\*表示在 0.001 水平相关显著。

3.2.2 人均生态足迹驱动因子主成分分析 将上述 12 个驱动因子作为变量,利用 SPSS 软件进行主成分分析。

由表 4 各因子的特征值、主成份的贡献率和累积贡献率可知,主成分  $Z_1$  和  $Z_2$  累计贡献率高达 92.428%,基本可以代替全部信息。从表 5 中主成分因子的载荷系数可以看出,主成分  $Z_1$  除了与复种指数的相关性相对较弱以外,与所有因子都呈强烈的正

相关或负相关,说明了该主成分基本上涵盖了人口、社会经济、资源与环境、技术、土地利用程度的所有状况,包含了原始变量的绝大部分信息。其中人均 GDP、重工业率两因子的载荷系数最高,说明经济增长与产业结构对人均生态足迹的影响最大,此结果与人均生态足迹与驱动因子的相关分析结果一致。主成分  $Z_2$  提取的信息较少,只与反映农业土地利用程度的复种指数具有一定的正相关性。

表 4 特征值及主成份贡献率与累积贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
Z <sub>1</sub>	10.411	86.755	86.755	Z <sub>7</sub>	0.017	0.140	99.880
Z <sub>2</sub>	0.681	5.672	92.428	Z <sub>8</sub>	0.006	0.051	99.930
Z <sub>3</sub>	0.541	4.504	96.931	Z <sub>9</sub>	0.004	0.037	99.967
Z <sub>4</sub>	0.199	1.660	98.591	Z <sub>10</sub>	0.003	0.023	99.990
Z <sub>5</sub>	0.093	0.775	99.366	Z <sub>11</sub>	0.001	0.006	99.996
Z <sub>6</sub>	0.045	0.374	99.740	Z <sub>12</sub>	0.001	0.004	100.000

表 5 主成分载荷系数

主成分	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>
Z <sub>1</sub>	0.965	0.991	0.945	0.899	-0.930	0.923	0.991	-0.980	-0.877	0.982	0.691	0.962
Z <sub>2</sub>	-0.137	0.112	0.303	0.333	0.220	0.039	-0.059	0.122	0.274	0.121	-0.479	0.244

3.2.3 人均生态足迹驱动模型 以陕西省人均生态足迹为因变量,所选 12 个驱动因子为自变量,建立多元线性回归模型,研究各驱动因子对人均生态足迹变化的影响机理。为消除量纲影响,将各变量经过标准化处理,建立的模型为:

$$Y = 1.105X_1 - 0.0131X_2 + 0.192X_3 + 0.280X_4 + 0.087X_5 - 0.193X_6 - 0.146X_7 + 0.093X_8 + 0.863X_9 + 0.446X_{10} + 0.100X_{11} + 0.283X_{12} \quad (3)$$

统计分析结果表明,模型拟合效果很好,且具有显著性,充分说明陕西省人口、经济、技术发展、资源环境、土地利用程度这 5 大方面因素对人均生态足迹的变化具有强烈的驱动作用。而各因子系数的大小不能简单地认为是表明了生态足迹与各因子的关系,这是因为多元线性回归模型反映的是在人均生态足迹的动态变化中多个因素共同作用的结果。

## 4 结果讨论

本研究中陕西省人均生态足迹为生产性生态足迹,与文献[13]中的陕西省人均消费性生态足迹对比,可以对陕西省区域发展的公平性进行评价。两种人均生态足迹总值对比如图 1 所示,1990—2003 年,生产性生态足迹小于消费性生态足迹,说明这期间陕西省占用了其它地区生态资源;2004 年以后生产性生态足迹大于消费性生态足迹,生态资源总体上呈输出状态。进一步将各类型生态性生态足迹与消费性生态足迹大小进行比较可以判断<sup>[13]</sup>,2004 年以后两种人均生态足迹的差距主要来自能源消费足迹明显小于能源生产足迹,表明 2004 年以后陕西省能源开发、能源生产与输出的力度明显加大,一定程度上反映了陕西省经济发展对能源产业的依赖性增强。

陕西省人均生态足迹驱动模型研究不仅考虑了社会经济方面的因素,而且还考虑了资源与环境方面

的因素。研究结果表明,随着人口的增加、经济增长、重工业比重增加,居民消费水平的提高,生态环境的破坏与资源紧张,科技水平提高及其投入增加,土地利用程度的加剧,陕西省人均生态足迹不断增加。鉴于此,可以从人口增长的控制,产业结构和消费结构调整,生态环境保护等方面来控制生态足迹。对于科技进步而人均生态足迹增加的问题,是因为能源需求量增加以及能源产业发展造成的能源生产足迹的增加作用,超过了科技进步提高能源利用率带来的缓解生态压力的作用。因此,必须进一步加强科技发展,提高资源能源利用率,提高科技缓解生态压力的作用;还应当认识到,依靠粗放型的能源产业确实对陕西省近些年经济增长发挥重大作用,但同时也成为生态足迹大幅度提高重要来源,今后必须加大科技投入,提高节能减排意识,发展生态、高效的集约型产业,以减缓生态足迹的增加。

## 5 结论

(1) 陕西省 1990—2007 年人均生态足迹呈增长趋势,且人均生态足迹需求始终高于生态容量。陕西省发展处于不断加剧的不可持续状态,社会经济发展与生态环境矛盾日益尖锐。

(2) 陕西省社会经济与资源环境诸多因素对其人均生态足迹动态变化具有驱动作用,其中经济增长和重工业率是最大驱动力。

(3) 根据陕西省人均生态足迹及其动态变化驱动模型研究,实现该地区可持续发展,必须转变经济增长模式,提高资源利用效率,使当地能源成为真正优势;控制人口增长,提高居民可持续发展意识,建立资源高效和生态环保的消费模式,在不降低生活水平前提下减少生态足迹;建立清洁生产、生态农业等循环经济。

(下转第 63 页)

(2) 耕作措施对玉米产量效应。旋耕耕作体系表现了较强的储水能力,增大了土壤的储水库容,为后期玉米的生物量累积创造了良好的水土环境。旋耕处理的玉米产量最高,与对照相比增加了31.2%,其次为打茬播种处理,产量比对照增加了13%,免耕处理的玉米产量最低,与对照相比产量降低了20.4%。

## 4 结论

在黑龙江省风沙土区不同的耕作措施对玉米的生长发育有较大影响,旋耕耕作体系及打茬播种处理均对玉米生长及后期产量有较大促进作用。免耕措施在初期干旱条件下适宜进行播种,利于作物生长,但在春季较湿润的气候条件下,没有优势,甚至还不如常规播种,故对免耕措施的蓄水保墒效应只能作出初步的评价。该试验周期仅为1a,受气象因素影响较大,应随作物生长发育进行长期定位试验的分析和监测,可以更加准确地了解原垄卡种耕作技术的实用性,提出合理的利用改良措施,并能够进行推广和应用。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 陈源泉. 中国农作制度研究进展[M]. 辽宁 沈阳:辽宁科学技术出版社,2008.  
[2] 李成军,吴宏亮,康建宏,等. 玉米保护性耕作措施水温

效应及其产量效果分析[J]. 玉米科学,2010,18(3):129-133.

- [3] 李取生,李晓军,李秀军. 松嫩平原西部典型农田需水规律研究[J]. 地理科学,2004,24(1):109-114.  
[4] Dahiya R, Ingwersen J, Streck T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling[J]. Soil & Tillage Research, 2007,96(1/2):52-63.  
[5] 陈凤,蔡焕杰. 秸秆覆盖条件下玉米需水量及作物系数的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2004,23(1):41-43.  
[6] 张英普,何武全,韩健. 玉米不同生育期水分胁迫指标[J]. 灌溉排水,2001,20(4):18-20.  
[7] 原万坤,刘庆华,黑龙江西部风沙土区玉米覆膜喷节水效果试验研究[J]. 东北农业大学学报,2010,41(10):57-60.  
[8] 黄春艳,王宇,黄元炬,等. 不同耕作模式对玉米田杂草发生规律的影响[J]. 玉米科学,2010,18(4):103-107.  
[9] 洪晓强,赵二龙. 秸秆覆盖对农田土壤水分及玉米生长的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(8):177-179.  
[10] 张强,晋清源,杨晋玲,等. 旱地玉米地膜覆盖施肥技术的研究[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(2):27-31.  
[11] 卜玉山,苗果园,邵海林,等. 对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J]. 作物学报,2006,32(7):1090-1093.  
[12] 王喜庆,李生秀,高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J]. 作物学报,1998,24(3):348-353.

(上接第58页)

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics, 1997, 20(1):3-24.  
[2] 杨开忠,杨咏,陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展,2005,15(6):630-636.  
[3] 徐中民. 可持续发展定量研究的几种新方法评介[J]. 中国人口·资源与环境,2000,10(2):60-64.  
[4] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部12省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报,2001,56(5):599-610.  
[5] 秦耀辰,牛树海. 生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进[J]. 资源科学,2003,25(1):1-8.  
[6] 陈成忠,林振山. 中国1961—2005年人均生态足迹变化[J]. 生态学报,2008,28(1):338-344.  
[7] 蔡春苗,尚金城. 哈尔滨市生态系统供需水平和发展能

力动态[J]. 应用生态学报,2009,20(1):163-169.

- [8] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J]. 地理科学进展,2003,22(6):618-626.  
[9] 林波,薛惠锋,蔡琳,等. 陕西省2004年生态足迹计算与分析[J]. 西北林学院学报,2007,22(3):174-178.  
[10] 张青峰,孟凡相,吴发启. 黄土高原分省区生态足迹分析[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4):205-209.  
[11] 张瑜英,李占斌. 基于生态足迹模型的陕西省生态容量定量评估[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(1):6-11.  
[12] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.  
[13] 于文良,王伯铎,吴良兴. 陕西省可持续发展能力变化趋势和影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(6):14-18.