

宁夏盐池县粮食产量波动性及影响因素分析

宋乃平¹, 王 兴^{1,2}, 杨新国¹, 陈 林¹, 王 磊¹

(1. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;
2. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 为了探索农牧交错带农业系统的波动机制, 有效减缓系统波动, 利用多元逐步回归法、经验模态分解法(EMD)和集对分析法(SPA), 分析了宁夏盐池县 1954–2013 年粮食总产量的波动特征及其影响因素。结果表明: (1) 近 60 年盐池县粮食总产量以趋势性增长为主, 其方差贡献率为 82.86%, 同时伴随着显著的波动, 其方差贡献率为 17.14%。存在 3 a、6 a、9 a 准周期波动, 其中 3 a 准周期的波动强度最大。(2) 农业机械总动力和灌溉耕地面积是引起粮食总产量趋势性增加的最主要影响因素, 年降水量是引起粮食总产量 3 a、6 a 准周期波动的主要控制因子, 粮食播种面积、化肥施用量为短期主控因子; 引黄灌溉水量和有效灌溉面积为反向调节因子, 其作用在粮食总产量突变点之后显著大于之前。(3) 加强生态农业建设, 促进气候依赖型农业向水文依赖型转变。

关键词: 粮食产量; 波动性; 影响因素; 宁夏盐池县

中图分类号: F307.11 **文献标志码:** A

Analysis on fluctuation of grain yield and its influencing factors in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region

SONG Nai-ping¹, WANG Xing^{1,2}, YANG Xin-guo¹, CHEN Lin¹, WANG Lei¹

(1. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of system in North-western/Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: To study the mechanism and efficient alleviation of fluctuation in agricultural system of farming-pastoral transitional zone, fluctuation characteristics of gross grain yield from 1954 to 2013 at Yanchi County in Ningxia Hui Autonomous Region and the regulatory factors were analyzed with stepwise multiple regression, empirical mode decomposition (EMD) and set pair analysis (SPA). The results showed that the gross grain yield in Yanchi County was gradually increased during the past 60 years with the variance contribution at 82.86%. The distinct fluctuation in gross yield of grain accounted for 17.14% of variance. Gross grain yield presented the periodic fluctuation with quasi-periods of 3 a, 6 a and 9 a. Magnitude of the 3-year period was the greatest. In addition, the agricultural machinery gross power and irrigable farmland area were two main factors responsible for the gradual increase of gross grain yield. Annual precipitation predominantly regulated 3 a or 6 a quasi-periodic fluctuations of gross grain yield. Grain acreage and fertilizer input rate were the two control factors in short terms. Irrigation water diverted from the Yellow River and effective irrigation area were the negative regulatory factors, showing a significant influence after the occurrence of inflection point became stronger than that before. Furthermore, conversion of agriculture from climate-dependent to hydrology-dependent would be promoted as a result of strengthening the ecological agriculture construction.

Keywords: gross output of grain; fluctuation; influencing factors; Yanchi County of Ningxia Hui Autonomous Region

农牧交错带是对气候变化和人类活动响应的敏感地带, 农牧业生产力的弹性供给与人类社会的刚性需求形成了尖锐的矛盾, 构成了波动性、生态脆弱、人地关系的三大矛盾^[1]。由于农业系统的承载力数倍于牧业生态系统^[2], 农牧交错带从历史时期的以牧为主发展到现代的农牧相若, 乃至农业占据

收稿日期: 2015-11-24
基金项目: 973 前期专项(2012CB723206); 国家科技支撑计划(2011BAC07B03); 宁夏大学 211 建设项目
作者简介: 宋乃平(1963—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事土地利用与生态过程。E-mail: songnp@163.com。

优势。建立面向农牧复合的、稳定高效的农业生态系统是本区发展的突破口^[3-5],也是农牧交错带生态安全的重要保障。农业系统波动性及其成因是其关键科学问题。近几年开展了对全国、省域和区域的粮食生产波动的研究^[6-8]。关于农牧交错带农业系统的研究,主要侧重气候尤其是降水引起的农业生产波动^[9-12],缺乏对影响农业系统波动的多种因素的综合定量分析。宁夏盐池县农业发展经历了上世纪50、60年代的草原开垦,70年代开始的打井灌溉、农业机械和化肥投入,80年代的农业生产责任承包制。90年代的扬黄灌溉工程建设,本世纪的退耕还林,农业发展既具有农牧交错带的普遍性,也具有外部水资源输入的独特性。这些过程对于农业系统尤其是粮食生产具有重要影响,本文以此为例,研究农牧交错带农业系统的波动性及其影响因子,为解决农牧交错带生态问题、选择发展道路提供参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

盐池县位于我国北方农牧交错带北缘、宁夏回族自治区东部,地理坐标 $37^{\circ}04' \sim 38^{\circ}10'N$, $106^{\circ}30' \sim 107^{\circ}47'E$,面积约 $6\,650\text{ km}^2$ 。以麻黄山为界,北部为鄂尔多斯高原的组成部分,主要为剥蚀准平原,南部为黄土丘陵区。该县属于典型中温带大陆性气候,年均气温为 8.4°C ,年均无霜期为 160 d ;境内多年平均降水量在 $250 \sim 350\text{ mm}$,从东南向西北递减,县城多年平均降水量为 292 mm 。土壤类型以灰钙土、风沙土、黑垆土为主,还有少量盐碱土。植被类型主要有干草原、荒漠草原、沙生及隐域性的盐生植被和草甸植被。耕地面积 $88\,879\text{ hm}^2$,占全县国土面积的 13.36% 。粮食播种面积占总播种面积的比例从1954年的 82.03% 减少到2013年的 55.32% 。盐池县从上世纪70年代发展井灌,90年代建设扬黄灌溉工程,目前已发展扬黄灌溉面积 $13\,140\text{ hm}^2$,井灌面积 $3\,553\text{ hm}^2$ 。

1.2 资料来源与研究方法

(1) 粮食总产量的影响因子选取与资料来源。粮食生产是农牧交错带农业的主体,因此,选择粮食总产量作为农业系统的特征变量(图1)。影响粮食产量的因素主要有气候、技术进步、物化要素投入、粮食价格等^[13]。农牧交错带的农业主要支撑牧业,

因此,其受气候、水文等自然因子的影响较大,受市场影响很小。鲁欣等^[14]利用主成分分析发现影响宁夏粮食产量的主要因素有:年末实有耕地面积、农作物播种面积、粮食作物播种面积、有效灌溉面积、地膜使用量、旱耕地面积、农牧渔业劳动力。牛创民等^[15]利用主成分分析发现影响盐池县粮食产量的主要因素有:肥料使用量、水浇地面积、农业机械总动力、年平均气温、年日照时数、年降水量、大风日数。本研究借鉴上述研究成果,并结合盐池县旱地农业、自给性农业、人均耕地较多等特点和资料可获得性,选择年降水量、年平均气温、引黄灌溉水量、有效灌溉面积、粮食播种面积、良种率、作物受灾面积、化肥施用量、农业机械总动力、农业劳动力人数、农民人均纯收入作为粮食总产量的影响因子。本研究统计数据来自《盐池县五十年》^①和《盐池县经济要情手册(2011—2013)》^②,气象数据来自盐池县气象局,灌溉数据来自盐池县水务局,其它数据来自盐池县农牧局。

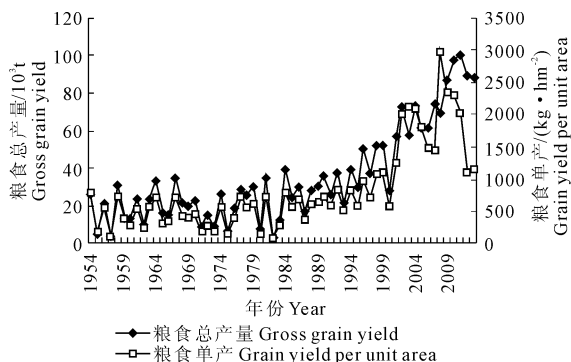


图1 盐池县1954—2013年粮食总产量和单位面积产量

Fig.1 Gross grain yield and yield per unit area of Yanchi County during 1954—2013

(2) 多元逐步回归分析法。用SPSS统计分析软件,以粮食总产量为因变量(Y),与年降水量(X_1)、年平均气温(X_2)、引黄河水量(X_3)、有效灌溉面积(X_4)、粮食播种面积(X_5)、良种率(X_6)、作物受灾面积(X_7)、化肥施用量(X_8)、农业机械总动力(X_9)进行多元回归分析,比较各主要指标对粮食产量的相对重要性。

(3) 经验模态分解法(Empirical Mode Decomposition,简称EMD方法)。适合于分析具有非线性和非平稳特征的时间序列资料。它将时间信号 $X_{(t)}$ 分解成一系列本征模态函数(IMF),每个IMF分量具有

① 盐池县统计局.盐池五十年,2002.

② 盐池县统计局.盐池县经济要情手册(2011—2013),2012—2014.

如下特征:从全局特征上看,极值点数和零点数目相等或者至多相差一个;分别连接其局部极大值和局部极小值所形成的两条包络线的均值在任一点处为零。EMD 分解过程的主要步骤为:从时间序列数据 $X_{(t)}$ 中将具有不同大小时间尺度的模态分离出来,产生一系列本征模态函数分量;逐级进行平稳化处理,把不同周期的波动从原信号中分离出来,最后得到趋势分量。所分解出的 IMF 包含并突出了原信号的局部特征信息,并且各 IMF 分量分别包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信息^[16-17]。

(4) 集对分析(Set Pair Analysis,简称 SPA 方法)。是对两个具有某种关联的集合的同异反关联度分析的方法。两个集合间同异反联系度表达式为:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j$$

(1)

式中, N 为集对特性总数, S 为集对相同的特性数, P 为集对中相反的特性数, F 为集对中既不相同又不相反的特性数, $F = N - S - P$, i 为差异度标示数, $i \in (-1, 1)$, j 为对立度标示数, 一般 $j = -1$ 。而 $a = S/N$, $b = F/N$, $c = P/N$ 分别为组成集对的两个集合在问题 W 背景下的同一度、差异度、对立度。在此基础上,计算同异反指数和各影响因子 IMF 的影响率,结合因子及其相关 IMF 的方差贡献率计算综合影响率。

本研究运用集对分析法对 EMD 分解的粮食总产量及其影响因子的各 IMF 分量的关系进行同异反分析,进而计算各影响因子对粮食总产量波动的影响率^[18]。

2 结果与分析

2.1 粮食总产量与其影响因子的关系

为了进一步分析粮食产量与影响因素之间的关系,利用多元逐步回归进一步分析粮食产量突变前后各因子的影响大小及显著性。结果表明,在 1999 年突变点之前,粮食总产量的显著性影响因子为农业机械总动力、年降水量、气温,三者对粮食总产量的解释量分别为 46.8%, 20%, 3.6% (表 1)。在 1999 年之后,粮食总产量的显著性影响因子为农业机械总动力、年降水量和有效灌溉面积,三者对粮食总产量的解释量分别为 73.9%, 11.7%, 1.2%。粮食总产量突变点前,年降水量和年平均气温的解释量大,三个显著性影响因子的解释量总和较小,剩余解释量高达 29.6%,说明农业系统的半自然特征明显,受环境的影响大,影响因子复杂。粮食产量突变点后,年降水量的解释量减少,年平均气温的解释量为 0,农业机械总动力的解释量大幅增加,有效灌溉面积成为新的显著性影响因子,说明农业系统的人为特征更加明显,在克服自然影响方面有显著改变,特别是机械化程度提高和灌溉面积增加是促进粮食产量上升的最主要驱动因素。影响粮食总产量的气温、降水、作物受灾面积等因子频繁波动,而除粮食播种面积之外的人为投入因子具有较好的稳定性,对于维持农业系统稳定性具有积极作用。这是扬黄灌溉区开发后,盐池县农业系统稳定性增加的内在机理。

表 1 粮食总产量与各影响因子的多元逐步回归分析

Table 1 Multiple regression analyses of gross grain yield and its influencing factors

粮食总产量 Gross output of grain	模型组成 Model terms	参数 P 值 Parameter P value	决定系数 变化量/% R^2 change	自由度 df	模型 P 值 Model P value	决定系数 R^2	方差膨胀因子 Variance inflation factor
突变前 Before mutation point (1954—1999)	截距 Intercept	39752		46	0.029	0.704	
	农业机械总动力 Agricultural machinery gross power	< 0.001	46.8				2.471
	年降水量 Annual precipitation	< 0.001	20.0				1.048
	年平均气温 Mean annual temperature	0.029	3.6				2.514
突变后 After mutation point (2000—2013)	截距 Intercept	- 13925		12	0.013	0.878	
	农业机械总动力 Agricultural machinery gross power	< 0.001	73.9				1.013
	年降水量 Annual precipitation	0.012	11.7				1.013
	有效灌溉面积 Effective irrigated area	< 0.001	1.2				1.013

2.2 粮食总产量及其影响因子波动特征的 EMD 分解

对盐池县近 60 年粮食总产量及其 9 个影响因子的序列进行经验模态(EMD)分解,得到它们各自

的本征模态函数(IMF)分量及其残余分量,再对具有相同频率的波动分量进行相互作用分析。近 60 年盐池县粮食总产量波动可分解为 IMF1、IMF2、IMF3 等 3

个波动分量和 1 个趋势上升的残余量 R 。IMF1 分量是一个 3~4 a 周期的波动,振幅在 - 7 502.26 ~ 6 978.50 t 之间,相对比较均匀,方差贡献率为 11.70%。说明短周期的粮食总产量波动发生普遍,而且是粮食总产量波动中最主要的波动。IMF2 分量是一个 5~7 a 周期的波动,振幅在 - 3 164.99 ~ 3 209.23 t 之间,相对比较均匀且有逐步增加的趋势,方差贡献率为 2.82%。说明该周期的波动发生普遍,在粮食总产量波动中具有中等强度,且影响越来越大。IMF3 分量是一个 9~12 a 周期的波动,振幅在 - 3 052.41 ~ 3 067.65t 之间,且逐步减小的趋势,方差贡献率为 2.61%。说明该周期的波动不常发生,在粮食总产量波动强度较小,且影响越来越小(图 2 和表 2)。残余量 R 是个趋势线,方差贡献率为 82.86%,说明趋势变化是粮食总产量的主要变化特征。反映了盐池县近 60 年的粮食总产量在 2 万 t 的基底上总体上升。

同样,对影响粮食总产量的各因子,即粮食播种面积、有效灌溉面积、引黄灌溉水量、良种率、化肥施用量、农业机械总动力、年降水量、年平均气温、作物受灾面积,分别进行 EMD 分解,结果见表 2。粮食总

产量及其 9 个影响因子均有准 3~4 a 周期的波动分量 IMF1,准 6~7 a 的波动分量 IMF2 和准 9~12 a 的波动分量 IMF2 或 IMF3 也比较普遍。总体来看,自然因子如年降水量、年平均气温的波动分量数目较多,波动分量的方差较大,残余量的方差较小,说明其波动性较强;而经济因子与此相反;粮食播种面积和作物受灾面积的波动分量的方差介于二者之间。

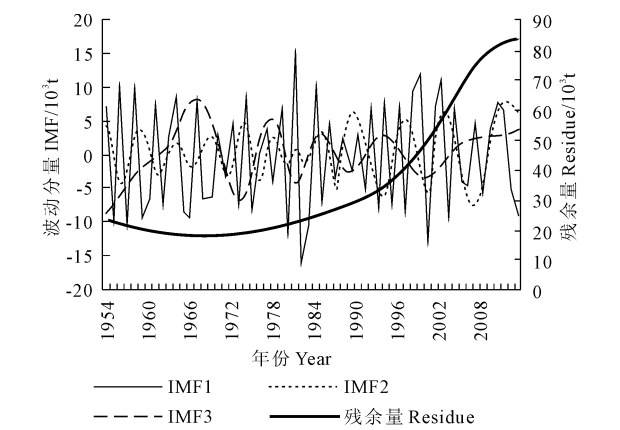


图 2 粮食总产量变化的各 IMF 分量及其残余量 R
Fig.2 IMF and residues of grain yield changes in Yanchi County during 1954—2013

表 2 粮食产量及其影响因子变化的 IMF 分量方差贡献率

Table 2 Variance contribution of IMF in variations of gross grain yield and its influencing factors

方差贡献率/% Variance contribution	IMF1(波动周期) Intrinsic mode function 1	IMF2(波动周期) Intrinsic mode function 2	IMF3(波动周期) Intrinsic mode function 3	IMF4(波动周期) Intrinsic mode function 4	残余量 R Residue
粮食总产量 Gross output of grain	11.70(3a)	2.82(6a)	2.61(10a)	—	82.86
粮食播种面积 Grain acreage	15.16(4a)	27.48(7a)	27.09(22a)	22.25(-)	8.01
有效灌溉面积 Effective irrigated area	0.27(3a)	2.16(12a)	6.53(-)	—	91.04
引黄灌溉水量 Irrigation water volume from Yellow river	0.93(3a)	2.18(12a)	—	—	96.88
作物良种率 Rate of fine seeds	0.41(3a)	1.94(10a)	—	—	97.65
化肥施用量 Fertilizer input	1.64(4a)	0.31(12a)	—	—	98.05
农业机械总动力 Agricultural machinery gross power	0.45(3a)	0.43(9a)	—	—	99.10
年降水量 Annual precipitation	70.58(3a)	6.19(6a)	4.65(9a)	11.83(30a)	6.76
年平均气温 Mean annual temperature	23.14(3a)	16.58(7a)	8.98(14a)	51.30(-)	0.00
作物受灾面积 Crops to the affected area	16.92(3a)	10.11(6a)	14.34(12a)	38.59(-)	20.04

注:波动分量 IMF(Intrinsic mode function)各列括号内的数据表示相应的模式函数的准周期。

Note: Number in the brackets expresses the quasi - period of the intrinsic mode function.

2.3 粮食产量波动的成因分析

从表 2 中 EMD 分解的结果看,粮食总产量的波动分量 IMF1 与其 9 个影响因子的 IMF1 的波动周期均为 3~4 a,可以认为它们都是粮食总产量 IMF1 分量的影响因子;粮食总产量波动分量 IMF2 的周期为 6 a,与粮食播种面积 IMF2、年降水量 IMF2、年平均

气温 IMF2、作物受灾面积 IMF2 的波动周期相近,可以认为它们都是粮食总产量 IMF2 分量的影响因子;粮食总产量波动分量 IMF3 的周期为 10 a,与有效灌溉面积 IMF2、引黄灌溉水量 IMF2、农作物良种率 IMF2、化肥施用量 IMF2、农业机械总动力 IMF2、年降水量 IMF3、年平均气温 IMF3、作物受灾面积 IMF3 的

波动周期接近,可以认为它们都是粮食总产量 IMF3 分量的影响因子。将粮食总产量的 3 个波动分量与其对应的影响因子波动分量,运用集对分析方法进行同异反分析,进而求取各影响因子的波动分量对

相应粮食总产量波动分量的影响率(表 3 第 5 列),再求影响因子 i 的 IMF_j 的综合影响率=影响因子 i 的 IMF_j 的影响率 $\times$ 影响因子 i 的 IMF_j 的方差贡献率 $\times$ 粮食总产量 IMF_k 的方差贡献率。

表 3 粮食总产量各 IMF 分量对应的影响因子 IMF 分量的影响率
Table 3 Effect rates by fluctuation component IMF of gross grain yield and its influencing factors in Yanchi County

粮食总产量 IMF1 分量的影响因子 Impact factors of IMF1 of gross output of grain	影响率 Effect rate /%	综合影响率 Comprehensive effect rate/%	粮食总产量 IMF2 分量的影响因子 Impact factors of IMF2 of gross output of grain	影响率 Effect rate /%	综合影响率 Comprehensive effect rate/%	粮食总产量 IMF3 分量的影响因子 Impact factors of IMF3 of gross output of grain	影响率 Effect rate /%	综合影响率 Comprehensive effect rate/%
粮食播种面积 Grain acreage IMF1	0.1731	10.52	粮食播种面积 Grain acreage IMF2	0.1486	3.94			
有效灌溉面积 Effective irrigated area IMF1	0.1382	0.14				有效灌溉面积 Effective irrigated area IMF3	0.2622	0.51
引黄灌溉水量 Irrigation water volume from Yellow river IMF1	0.1231	0.48				引黄灌溉水量 Irrigation water volume from Yellow river IMF3	0.122	0.24
农作物良种率 Rate of fine seeds IMF1	0.1053	0.17				农作物良种率 Rate of fine seeds IMF3	0.1007	0.17
化肥施用量 Fertilizer input IMF1	0.1278	0.86				化肥施用量 Fertilizer input IMF3	0.1630	0.03
农业机械总动力 Agricultural machinery gross power IMF1	0.1417	0.27						
年降水量 Annual precipitation IMF1	0.2009	56.83	年降水量 Annual precipitation IMF2	0.1679	0.99	年降水量 Annual precipitation IMF3	0.2761	2.95
年平均气温 Mean annual temperature IMF1	0.0952	8.84	年平均气温 Mean annual temperature IMF2	0.1123	1.81	年平均气温 Mean annual temperature IMF3	0.2158	1.75
农作物受灾面积 Crops to the affected area IMF1	0.0939	6.37	农作物受灾面积 Crops to the affected area IMF2	0.1510	1.47	农作物受灾面积 Crops to the affected area IMF3	0.1486	1.64

将表 3 中粮食总产量各影响因子各波动分量 IMF 的综合影响率 β_i 求和并规范化处理之后,求取各影响因子对粮食总产量的综合影响率。结果表明,对盐池县粮食总产量波动影响最大的各影响因子依次为年降水量、粮食播种面积、年平均气温和农作物受灾面积,它们对粮食总产量的综合影响率分别为 60.77%、14.46%、12.40% 和 9.48%。这 4 个影响因子对粮食总产量的波动分量的综合影响率之和高达 97.12%。说明盐池县粮食总产量的波动主要受自然因素的影响,其中年降水量的综合影响率起决定作用。

为了更深入地分析粮食总产量各影响因子的作用方向,我们对影响粮食总产量 3 个波动分量 IMF

的各影响因子的同异反指数进行计算(表 4)。粮食总产量各 IMF 分量与影响因子的相应 IMF 分量之间的差异度在 45.62% ~ 66.10% 之间,平均为 53.73%,而相关联的同一度和对立度之和占 46.27%。这说明各影响因子在近一半的年份影响着粮食总产量的波动。综合同异反指数、各因子各 IMF 的方差贡献率和综合影响率来看,年降水量、作物受灾面积、农业机械总动力和粮食播种面积的 IMF 的同一度高于它们的对立度,是推动粮食总产量波动的主控因子;年平均气温、有效灌溉面积、引黄灌溉水量的对立度远大于各自的同一度,是减小粮食总产量波动的反向调节因子;而作物良种率、化肥施用量的同一度与对立度差异在不同波动分量有

所不同,兼有主控和反向调节两方面的作用。

表 4 粮食总产量各波动分量 IMF 与影响因子各相应分量 IMF 的同异反指数
Table 4 Indexes of same, difference, opposition of IMF between gross grain yield and its influencing factors

粮食总产量 波动分量 IMFs of gross output of grain	粮食播种 面积 Grain acreage IMF	有效灌溉 面积 Effective irrigated area IMF	引黄灌溉 水量 Irrigation water volume from Yellow River IMF	作物 良种率 Rate of fine seeds IMF	化肥 施用量 Fertilizer input IMF	农业机械 总动力 Agricultural machinery gross power IMF	年降水量 Annual precipitation IMF	年平均 气温 Mean annual temperature IMF	农作物受 灾面积 Crops to the affected area IMF	
IMF1	同一度 Index of same	0.2881	0.1742	0.1525	0.2895	0.1525	0.3614	0.4746	0.1864	0.3519
	差异度 Index of difference	0.5593	0.4915	0.5763	0.5823	0.6102	0.4562	0.4576	0.5085	0.4757
	对立度 Index of opposition	0.1525	0.3343	0.2712	0.1282	0.2373	0.1824	0.0678	0.4746	0.1724
IMF2	同一度 Index of same	0.2582						0.2203	0.1525	0.3500
	差异度 Index of difference	0.4576						0.6610	0.4915	0.5162
	对立度 Index of opposition	0.2842						0.1186	0.3559	0.1338
IMF3	同一度 Index of same		0.1017	0.2595	0.0105	0.3390		0.1695	0.1525	0.2203
	差异度 Index of difference		0.6271	0.5254	0.5130	0.4915		0.6271	0.5254	0.5932
	对立度 Index of opposition		0.2712	0.2151	0.4765	0.1695		0.2034	0.3220	0.1864

将影响粮食总产量各因子的综合影响率和同异反指数的分析结果综合起来看,盐池县粮食生产将长期受年降水量的影响而发生波动,作物受灾面积也是推动粮食总产量波动的主要因子。年平均气温对粮食总产量波动的影响虽然较大,且其反向调节作用主要发生在粮食总产量突变点之前的气温较低时期。粮食总产量突变点之后的反向调节作用主要依靠有效灌溉面积。推动粮食总产量波动的因子较多,而且年降水量、作物受灾面积和粮食播种面积等几个控制因子是相互关联的,主要是由于降水量引起的;而控制波动的因子较少。因此,盐池县粮食总产量的稳定需要引黄灌溉水量、作物良种率、化肥施用量等因子的作用,使它们由中性变为正因子。

3 讨论与结论

(1) 盐池县粮食总产量近 60 年的变化表现为趋势性上升和波动两个方面。趋势性上升是粮食总产量变化的主流,其方差贡献率在 80% 以上,波动性虽然是次要趋势,但其方差贡献率比全国、黄淮海平原和其它地区要大很多。粮食总产量存在 3 a、6 a 和 10 a 准周期的波动,其中 3 a 准周期的波动是最主要的波动。

(2) 农业机械总动力对粮食总产量的解释量最

高,其主要作用是促使盐池县粮食总产量趋势性上升,对粮食总产量波动分量的解释很小,反映了农牧交错带依靠广种薄收推进粮食总产量增长的粗放发展路径。1999 年之后,有效灌溉面积成为影响粮食总产量的显著性因子,由其带动和激发的化肥施用量、良种率等的改善是推动粮食总产量突破性上升的关键因子。

(3) 对粮食总产量波动影响最大的依次为年降水量、粮食播种面积、年平均气温和作物受灾面积,它们对粮食总产量的综合影响率分别为 60.77%、14.46%、12.40% 和 9.48%。年降水量、粮食播种面积和作物受灾面积是推动粮食总产量波动的主控因子;粮食播种面积成为仅次于降水量推动粮食总产量波动的第二个主要因子,反映了种植业随着降水量弹性调整的机会性特点。年平均气温、有效灌溉面积、引黄灌溉水量是减小粮食总产量波动的反向调节因子。气温对粮食总产量波动的贡献显著,但是在位于长城沿线的盐池县,气候变暖对于打破气温对粮食生产的限制、稳定粮食产量起到了显著作用。水浇地占总耕地面积的比例由 1971 年前不足 1%,1993 年前不足 5%,到 2002 年首次超过 10%,2013 年达到 15.23%,使得有效灌溉面积和引黄灌溉水量成为粮食总产量波动的有效反向调节因子。

总体来说,由于盐池县 85% 的耕地为旱地,以降水量为主要控制因子的粮食产量波动将长期存在。因此,一是要通过节水灌溉、集雨农业、覆膜、作物结构调整等,将气候依赖型农业向水文依赖型农业转变;二是要因地制宜发展高产农田,将部分低产田退耕,特别是将持水能力弱的沙土地退耕。加强对中高产田的投入,保证粮食生产面积的稳定。三是加强防风固沙以减少蒸发和水分无效消耗。加强农田防护林建设,并且利用景观技术,在农田集中区的周边,特别是上风方向建立固沙防风系统。

参 考 文 献:

[1] 孙 武,侯 玉,张 勃.生态脆弱带波动性、人口压力、脆弱度之间的关系[J].生态学报,2000,20(3):369-373.
[2] 赵松乔.察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡带地区的经济地理调查[J].地理学报,1953,19(1):43-60.
[3] Viglizzo E F. Agroecosystems stability in the Argentine Pampas[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1986,16(1):1-12.
[4] 高旺盛.北方农牧交错带农业系统生产力研究方法分析[J].农业系统科学与综合研究,2002,18(4):279-282.
[5] 张新时.我国必须走发展人工草地和草地农业的道路[J].科学对社会的影响,2010,(3):18-21.
[6] 刘会玉,林振山,张明阳.基于 EMD 的我国粮食产量波动及其成因多尺度分析[J].自然资源学报,2005,20(5):745-751.
[7] 王树涛,李新旺,门明新,等.基于改进灰色关联度法的河北省粮食波动影响因素研究[J].中国农业科学,2011,44(1):176-184.

[8] 蒋尚明,金菊良,许 浒,等.基于经验模态分解和集对分析的粮食单产波动影响分析[J].农业工程学报,2013,29(4):213-221.
[9] 孙 武,吴 薇.内蒙古高原东南部降水驱动的农业系统波动性分析[J].植物生态学报,2002,26(1):23-28.
[10] 宋乃平,张凤荣.鄂尔多斯农牧交错土地利用格局的演变与机理[J].地理学报,2007,62(12):1299-1307.
[11] 李 亚,何彤慧,璩向宁.盐池县气候要素对农牧业的影响评价及产业调适研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):82-86.
[12] 孙特生,李 波,张新时.北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例[J].生态学报,2012,32(19):6156-6167.
[13] 刘会玉,林振山,张阳明.基于 EMD 的我国粮食产量波动及其成因多尺度分析[J].自然资源学报,2005,20(5):745-751.
[14] 鲁 欣,秦大庸,刘 俊,等.宁夏粮食产量主要影响因素分析[J].灌溉排水学报,2006,25(6):65-70.
[15] 牛创民,温学飞,王 峰.基于因子分析法的盐池县粮食生产影响因素分析[J].水土保持研究,2010,17(6):278-282.
[16] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hibert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1998,454:903-955.
[17] 张明阳,王克林,刘会玉,等.基于 EMD 的洪涝灾害成灾面积波动的多时间尺度分析[J].中国农业气象,2005,26(4):220-224.
[18] 蒋尚明,金菊良,许 浒,等.基于经验模态分解和集对分析的粮食单产波动影响分析[J].农业工程学报,2013,29(4):213-221.

(上接第 227 页)

[15] Farquharson R, Baldock J. Concepts in modeling N₂O emissions from land use[J]. Plant and Soil, 2008,309(1):147-167.
[16] 郑建初,张岳芳,陈留根,等.稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响[J].生态学报,2012,32(19):6138-6146.
[17] 张 贺,郭李萍,谢立勇,等.不同管理措施对华北平原冬小麦田土壤 CO₂ 和 N₂O 排放的影响研究[J].土壤通报,2013,44(3):653-659.
[18] 王海飞,贾兴永,高 兵,等.不同土地利用方式土壤温室气体排放对碳氮添加的相应[J].土壤学报,2013,50(6):1172-1182.
[19] 黄光辉,张明园,陈 阜,等.耕作措施对华北地区冬小麦田 N₂O 排放的影响[J].农业工程学报,2011,27(2):167-173.
[20] 赵建波,迟淑筠,宁堂原,等.免耕条件下小麦田 N₂O 排放及影响因素研究[J].水土保持学报,2008,22(3):196-200.
[21] Shelp M L, Beauchamp E G, Thurtell G W. Nitrous oxide emissions from soil amended with glucose alfalfa or corn residues[J]. Communi-cations in Soil Science and Plant Analysis, 2000,41(4):310-317.
[22] 李英臣,候翠翠,李 勇,等.免耕和秸秆覆盖对农田土壤温室气体排放的影响[J].生态环境学报,2014,23(6):1076-1083.
[23] 马二登,马 静,徐 华,等.稻田还田方式对麦田 N₂O 排放的影响[J].土壤,2007,39(6):870-873.

[24] 蔡祖聪,徐 华,马 静.稻田生态系统 CH₄ 和 N₂O 排放[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009:67-115.
[25] 封 克,殷士学.影响氧化亚氮形成与排放的土壤因素[J].土壤学进展,1995,23(6):35-40.
[26] 熊正琴,邢光熹,鹤田治雄,等.冬季耕作制度对农田氧化亚氮排放的贡献[J].南京农业大学学报,2002,25(4):21-25.
[27] Hansen S, Mahlum J E, Bakken L R. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic[J]. Soil Biology and Bio-chemistry, 1993,25(5):621-630.
[28] 郑循华,王明星,王跃思.华东稻麦轮作生态系统的 N₂O 的排放研究[J].应用生态学报,1997,8(5):495-496.
[29] 朱永官,王晓辉,杨小茹,等.农田土壤 N₂O 产生的关键生物过程及减排措施[J].环境科学,2014,35(2):792-800.
[30] 石洪艾,李倬军,尤孟阳,等.不同土地利用方式下土壤温度与土壤水分对黑土 N₂O 排放的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(11):2286-2292.
[31] 齐玉春,董云社.土壤氧化亚氮产生排放及其影响因素[J].地理学报,1999,11(6):534-541.
[32] 贺 非,马友华,杨书运,等.不同施肥技术对单季稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响研究[J].农业环境科学学报,2013,32(10):2093-2098.