不同生态类型区玉米生产技术效率及有偏演进模式

乔 丹，陆 迁

（西北农林科技大学 经济管理学院，陕西 杨凌 712100）

摘 要： 基于2000—2014 年 17 个玉米主产省投入产出面板数据，按照自然地理条件将其划分为北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区、西南山地玉米区和西北灌溉玉米区 4 个生态类型区，采用随机前沿函数模型实证分析不同生态类型区玉米生产技术效率及其影响因素。在此基础上，通过测算不同生态类型区生物化学型技术与机械技术利用效率的变动趋势，定量分析玉米生产技术进步有偏演进模式。结果显示：我国不同生态类型区玉米生产技术效率总体保持较高水平，且呈上升趋势；北方春播玉米区技术效率最高，其次为西北灌溉玉米区、黄淮海平原夏播玉米区；不同生态类型区技术效率的变化主要受城镇化水平、玉米播种比例以及有效灌溉率等因素的影响；我国玉米生产技术进步主要以生化型技术进步模式为主，但不同生态类型区生化型与机械型技术效率存在显著差异。

关键词： 玉米主产区；技术进步；技术效率；生化技术；机械技术

中图分类号： F326.11　　**文献标识码：** A　　**文章编号：**1672－0202(2016)05－0028－09

一、引言

玉米作为我国三大粮食作物之一，在粮食安全战略中具有举足轻重的地位。然而，由于自然灾害频繁、耕地退化严重、饲料粮需求增加及进口激增对国内市场的影响，如何保障粮食安全成为国际与国内社会关注的焦点问题。目前，我国玉米播种面积的提升空间已十分有限，加之生产资料价格上涨引起的成本增加，使得单纯依靠加大要素投入来提高产量受到越来越多的限制，也使得依靠技术进步提高生产效率成为玉米产量增加的主要动力。

内生经济增长理论认为，技术进步是经济增长的源泉，但忽略了要素替代弹性对经济增长的重要性，即忽略了技术进步的偏向性。Hicks[1] 最早提出了资本—劳动替代弹性，探讨有偏技术进步。之后，David 和 Sato 等人[2-3] 采用计量方法证明了技术进步的偏向性。技术进步的内生性表现在生产行为主体加大对丰富要素的利用力度，从而引致有偏性技术进步[4]。我国玉米种植广泛，但不同区域间要素禀赋差异较大，使得玉米生产技术进步存在理论上的有偏性。

玉米生产技术进步的研究主要从以下 3 个方面展开：一是对全国及各省级层面玉米生产效率的测算。例如，2006—2011 年 15 个玉米主产省区的平均技术效率约为 78.5%[5]；2001—2010 年我国玉米主产区全要素生产率增长中技术进步起到了决定性作用，且全要素变化率为负值，下降达 1.3%[6]；2003—2012 年我国玉米生产的技术进步不明显，而技术效率在波动中有所提高，但地

收稿日期：2016－06－18　　**DOI：**10.7671/j.issn.1672－0202.2016.05.004

基金项目：国家自然科学基金项目(71173174)；国家自然科学基金项目(71473197)

作者简介：乔 丹(1989—)，女，山东日照人，西北农林科技大学经济管理学院博士研究生，主要研究方向为区域经济发展。E-mail：qiaodan1124@nwsuaf.edu.cn

区差异明显[7]。省级层面玉米效率的研究发现，吉林省玉米产量的提高主要贡献因素是土地与劳动生产率的增加，但资本利用率较低，且生产率变化年际间波动较大[8-9]。二是玉米生产的技术效率及技术进步的影响因素分析。例如，水利灌溉、经营模式、非农就业、自然灾害、耕地规模及细碎化水平等因素均能对玉米生产技术效率造成影响；品种更新换代、栽培技术、病虫草害防治、机械化、田间管理水平等方面因素能够带来玉米生产的技术进步[10-13]。三是研究方法的创新和改进。近年来，生产前沿面方法在国内得到了广泛应用，如非参数化的 DEA 法和参数化的 SFA 法，也有学者对上述方法进行了改进及与其他方法的联合使用，如采用 DEA-Tobit 方法、二次相对效率方法、变系数随机前沿模型等[14-15]。

综上，现有研究往往基于技术进步中性前提展开，而事实上我国地域广阔、资源环境禀赋差异较大，玉米生产技术进步并不是沿中性技术进步轨迹演进，而是有偏的。且现有对玉米技术进步的研究多是从全国层面或某一省区层面展开，基于不同要素禀赋区域划分的研究则较为少见。因此，本文在玉米生态功能分区的基础上，利用 2000—2014 年统计数据考察不同生态类型区玉米生产技术效率的时空变化趋势，分析导致效率损失的影响因素，探讨不同生态类型区玉米技术进步有偏演进模式，以期为政府粮食生产技术政策创新提供理论与实证依据。

二、模型设定与数据来源

（一）模型构建及变量说明

关于技术效率的研究，Farrell[16] 最早提出随机前沿分析方法，并得到不断地完善。S. C. Kumbhakar[17] 和 Coelli[18] 将其发展应用于面板数据。本文使用 Battese 和 Coelli[19] 于 1993 年提出的一种能够将随机前沿函数与技术效率影响因素纳入统一模型的估计方法，减少分别估计导致的误差。其一般形式为：

$$Y_{it} = \beta X_{it} + (V_{it} - U_{it}) \quad i = 1,\cdots,N;\ t = 1,\cdots,N \tag{1}$$

式中，X_{it} 表示在 t 年生产单位 i 的投入量对相应年份生产单位 i 的产出量 Y_{it} 的影响；β 为化肥、机械、资本等投入量的系数；V_{it} 与 U_{it} 不相关，表示粮食生产中的非人为随机因素；U_{it} 表示生产过程中单位产出的效率损失项，即单位产出与生产可能性边界的差值。

玉米的随机前沿生产函数以超越对数的形式表示：

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln F_{it} + \beta_2 \ln P_{it} + \beta_3 \ln W_{it} + \beta_4 L_{it} + \beta_5 T + \frac{1}{2}\beta_{11}(\ln F_{it})^2 + \frac{1}{2}\beta_{22}(\ln P_{it})^2 + \frac{1}{2}\beta_{33}(\ln W_{it})^2 + \frac{1}{2}\beta_{44}(\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2}\beta_{55}T^2 + \beta_{12}\ln F_{it}\ln P_{it} + \beta_{13}\ln F_{it}\ln W_{it} + \beta_{14}\ln F_{it}\ln L_{it} + \beta_{23}\ln P_{it}\ln W_{it} + \beta_{24}\ln P_{it}\ln L_{it} + \beta_{34}\ln W_{it}\ln L_{it} + \beta_{15}T\ln F_{it} + \beta_{25}T\ln P_{it} + \beta_{35}T\ln W_{it} + \beta_{45}T\ln L_{it} + V_{it} - \mu_{it} \tag{2}$$

其中，Y 表示各省玉米单位面积的产量，单位为公斤/亩；F 表示单位面积投入的化肥与农家肥费，P 表示单位面积的机械作业与畜力费，W 表示单位面积投入的其他直接费用，以上费用单位均为元/亩；L 代表单位面积所有家庭以及雇佣用工量，单位为日/亩；T 为时间变量，反映时间变化对技术效率的影响。因此，玉米生产特定样本单元的生产技术效率可以表示为：

$$\mathrm{TE}_{it} = \frac{E(Y_{it} \mid U_{it}, X_{it})}{E(Y_{it} \mid U_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-\mu) \tag{3}$$

其中，TE 表示玉米生产单元的技术效率，$E(Y_{it})$ 为生产单元 i 在 t 时期玉米产出的期望，当效率损失项 U_{it} 为 0 时，玉米生产效率达到最大为 1，即生产单元处于完全技术效率水平；当效率损失项 U_{it}

大于0时,玉米生产技术效率介于0与1之间,即生产单元处于技术非效率状态。

玉米生产技术效率受到生物因素、社会经济条件、人力资源水平等因素的影响,借鉴田伟等[20]的研究方法,根据玉米生产技术特点,本文选取农村劳动力平均受教育程度(RZ)、玉米播种比例(BZ)、各省成灾比例(ZH)、城镇化水平(CS)、农村居民人均纯收入水平(SR)以及农田有效灌溉率(GG)作为效率损失的主要影响因素,建立技术效率损失模型如下:

$$m_{it} = \delta_0 + \delta_1 ZH_{it} + \delta_2 CS_{it} + \delta_3 RZ_{it} + \delta_4 SR_{it} + \delta_5 BZ_{it} + \delta_6 GG_{it} \quad (4)$$

其中,m_{it}为效率损失指数,m_{it}值越高,则效率损失越大;δ为待估参数,表示函数中各影响因素变动对技术效率的影响。

借鉴Wu[21]对中国农业生产部门化肥利用效率的测算方法,采用下式简化表示玉米生产函数:

$$\ln Y = \ln f(F, P, W, L; \beta) + v - \mu \quad (5)$$

以化肥利用率来反映玉米生产的生物化学型技术投入状况,保持其他投入要素恒定,此时,生产前沿面函数化肥投入量最低,无效率项μ为0,则有:

$$\ln Y = \ln f(\theta F, P, W, L; \beta) + v \quad (6)$$

其中,化肥利用率 $FE = \min\{\theta: (F, P, W, L) = (\theta F, P, W, L) \mid Y\} \leqslant 1$。结合(5)、(6)两式可以得到:

$$\ln f(\theta F, P, W, L; \beta) - \ln f(F, P, W, L; \beta) + \mu = 0 \quad (7)$$

根据(2)、(7)两式则有:

$$a(\ln\theta)^2 + b\ln\theta + c = 0 \quad (8)$$

其中,$a = \frac{1}{2}\beta_{11}$;$b = \beta_1 + \beta_{12}\ln P + \beta_{13}\ln W + \beta_{14}\ln L + \beta_{15} T + \beta_{11}\ln F$;$c = \mu$

因此,玉米生产中生化型技术利用效率可以用下式表示:

$$\ln FE = \ln\theta = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (9)$$

同理可以测算出玉米生产过程中的机械型技术利用效率。

(二)研究对象与数据来源

我国玉米主要产区集中在东北到西南的狭长弧形地带,北方春播玉米区种植面积占全国种植面积的30%,黄淮海平原夏播玉米区约占全国种植面积的40%左右,西南山地玉米区约占20%左右,西北灌区约占10%左右[22]。因此,本文以北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区、西南山地玉米区和西北灌溉玉米区4个主产区为研究对象。其中,北方春播玉米区包括东北三省、内蒙古、宁夏、山西;黄淮海平原夏播玉米区包括河北、山东、河南、江苏、安徽、陕西;西南山地玉米区包括四川、云南、贵州;西北灌溉玉米区包括甘肃、新疆。

考虑数据可得性、统计口径以及准确性等因素,本文利用中国17个玉米主产省2000年至2014年的统计面板数据。玉米单位面积产量、肥料投入(包括化肥费和农家肥)、机械动力投入(包括机械作业费和畜力费)、用工数量和其他直接物质费用均来自历年的《农产品成本收益资料汇编》。影响玉米种植技术效率的其他因素,例如各省农业种植成灾比例、城镇化水平、农村居民人均纯收入、农村劳动力的受教育水平、农田有效灌溉率以及玉米的种植比例等数据来自于历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》和《新中国60年统计资料汇编》。在数据处理中,为了剔除价格变化的影响,本文对物质费用等数据按相应各省的农业生产资料价格指数进行了平减,农村居民人均纯收入按农村居民消费价格指数进行了平减。

三、测度结果分析

（一）各玉米生态类型区技术效率和技术进步率测算

玉米生产函数的分析结果如表 1 所示，采用的分析软件为 FRONTIER4. 1。γ 值为 0. 9733，且在 99% 的置信区间显著，表明误差项 97. 33% 来源于技术非效率；极大似然值 LR 为 120. 0327 且大于 1% 显著性水平下的卡方值 30. 6，反映出采用随机前沿生产函数较适宜进行技术效率的测度。在玉米前沿生产函数中，每亩土地投入的肥料、机械动力和劳动力的系数估计值为正，且分别在 1% 、5% 和 10% 水平下显著，说明增加肥料、机械动力和劳动力投入与玉米单位面积产量呈正相关关系，有利于玉米单位面积产量的提高；其他物质费用的估计系数为负，在 1% 水平下显著，表明单纯依靠投入其他物质费用并不能提高玉米产量。另外，时间变量的估计系数显著为正，说明随着时间的推移，玉米的单位面积产量在不断增加。

在效率损失模型估计中，农村居民的受教育年限（RZ）对玉米生产效率的影响未达到显著性水平。各地区成灾比例在 1% 统计水平下通过检验，与技术无效项呈正相关关系，反映出自然灾害对玉米生产具有消极作用。如张学林等[23]的研究发现，河南省 2013—2014 年的连续高温干旱，导致玉米生产的严重损失。城镇化（CS）变量的系数为负，在 10% 的统计水平下显著，说明随着城镇化水平的推进，以及经济的迅速发展，有利于加速农业生产技术的转化与吸收，使得玉米生产更加集约化和规模化，促使技术效率不断提高。农村居民纯收入（SR）与技术无效项正相关，且在 10% 水平下显著，一定程度上反映出随着收入水平的提高，农户更倾向于从非农领域获得收入，农业上投入相对减少，玉米技术效率随收入的增加而降低，反映出农业的弱质性，对于从事农业生产的高收入农户而言，扩大其经营规模有利于玉米生产效率的提高[24]，政府应加大对农业技术的补贴与推广，培育新的种粮大户。玉米播种比例（BZ）和有效灌溉率（GG）分别在 5% 和 1% 统计水平下正向显著，说明扩大规模种植以及实施水利基础设施建设有利于农业生产技术效率的改进。

表 1　随机前沿函数与效率损失模型估计结果

项目	待估参数	估计值	T 值	项目	待估参数	估计值	T 值
常数项	β_0	8. 5966	5. 0693	$\ln W_{it}\ln L_{it}$	β_{34}	0. 2428***	3. 1325
$\ln F_{it}$	β_1	0. 6211*	1. 7479	$T\ln F_{it}$	β_{15}	-0. 0403***	-2. 7878
$\ln P_{it}$	β_2	0. 2389**	2. 1559	$T\ln P_{it}$	β_{25}	0. 0163*	2. 1414
$\ln W_{it}$	β_3	-2. 0776***	-3. 6052	$T\ln W_{it}$	β_{35}	0. 0048	0. 5077
$\ln L_{it}$	β_4	0. 9807***	2. 7022	$T\ln L_{it}$	β_{45}	-0. 0005	-0. 0424
T	β_5	0. 1139***	2. 7580	效率损失模型参数估计			
$(\ln F_{it})^2$	β_{11}	0. 0362	0. 1248	常数项	δ_0	0. 3728	0. 6280
$(\ln P_{it})^2$	β_{22}	-0. 0914	-1. 0173	ZH	δ_1	0. 0176***	2. 5670
$(\ln W_{it})^2$	β_{33}	-0. 1690	-0. 9205	CS	δ_2	-0. 0056*	-1. 8678
$(\ln L_{it})^2$	β_{44}	-0. 1443	-1. 6002	RZ	δ_3	-0. 0429	-0. 5467
T^2	β_{55}	-0. 0018	-1. 2502	SR	δ_4	0. 0000*	1. 7281
$\ln F_{it}\ln P_{it}$	β_{12}	-0. 0531	-0. 4093	BZ	δ_5	-3. 9240**	-2. 1495
$\ln F_{it}\ln W_{it}$	β_{13}	0. 5023***	3. 7279	GG	δ_6	-2. 9276***	-3. 0414
$\ln F_{it}\ln L_{it}$	β_{14}	-0. 3469***	-3. 3324	Sigma-squared		0. 1164***	2. 9181
$\ln P_{it}\ln W_{it}$	β_{23}	0. 0874	0. 8755	Gamma		0. 9733***	110. 2961
$\ln P_{it}\ln L_{it}$	β_{24}	-0. 0577	-0. 8432	Log likelihood function		217. 5295	

注：* 、** 、*** 分别表示在 10% 、5% 、1% 水平上显著。

随机前沿分析中,技术进步率是时间变量的弹性。因此,进一步分析北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区、西南山地玉米区以及西北灌溉玉米区4个玉米主产区的平均技术效率与技术进步率,结果如表2所示。从表2中可以看出,2000—2014年间,我国各玉米生态类型区技术效率均具有较高水平,其中北方春播玉米区年均技术效率最高,年均技术为0.936;其次为西北玉米灌溉区,年均技术效率为0.900,黄淮海平原夏播玉米区,年均技术效率为0.895;最低是西南山地玉米区,年均技术效率为0.832。不同区域玉米生产技术进步率呈现出不同的变动趋势:北方春播玉米区和黄淮海平原夏播玉米区的技术进步率变化趋势较为相似,技术进步率在2000—2014年间先减小后增大,2008年为拐点。这主要是由于随着市场化改革的深入,各地的推广服务部门被推向市场或撤销,导致农技人员离岗或流失,一些地方的农技推广甚至出现了推广技术网络遭到破坏、无人进行技术指导的被动局面,制约了农技推广工作的发展。此外,农产品种植比较效益差,也在一定程度上影响了农户的良种、化肥等投入力度。西北灌溉区玉米平均技术进步率呈现出缓慢上升的趋势,这与西北地区进行的小型水利设施建设改革等一系列配套措施密不可分,同时西北地区也是全国最大的玉米制种基地,具有率先采用新品种的地理区位优势。西南山地玉米区玉米种植的进步率在2004年出现拐点,由负转正,反映出此地区技术进步率的不断改进,但技术效率的提高仍然任重而道远。

表2 各玉米生态类型区技术效率和技术进步率

年份	北方春播玉米区		黄淮海平原夏播玉米区		西南山地玉米区		西北灌溉玉米区	
	技术效率	技术进步率	技术效率	技术进步率	技术效率	技术进步率	技术效率	技术进步率
2000	0.858	0.018	0.881	0.013	0.804	-0.001	0.862	0.005
2001	0.932	0.019	0.908	0.017	0.766	-0.006	0.824	0.002
2002	0.963	0.018	0.895	0.014	0.841	-0.008	0.854	0.008
2003	0.954	0.019	0.731	0.011	0.723	-0.004	0.878	0.003
2004	0.921	0.012	0.896	0.005	0.801	-0.012	0.779	0.003
2005	0.940	0.011	0.839	0.005	0.883	0.001	0.896	0.002
2006	0.929	0.012	0.880	0.009	0.787	0.003	0.884	0.004
2007	0.912	0.015	0.900	0.010	0.843	0.007	0.888	0.004
2008	0.967	0.009	0.940	0.006	0.958	0.008	0.961	0.004
2009	0.897	0.013	0.945	0.014	0.878	0.007	0.935	0.007
2010	0.932	0.017	0.931	0.016	0.880	0.011	0.960	0.009
2011	0.962	0.016	0.916	0.012	0.758	0.011	0.958	0.009
2012	0.964	0.017	0.942	0.012	0.885	0.011	0.953	0.011
2013	0.954	0.020	0.912	0.015	0.818	0.011	0.941	0.015
2014	0.957	0.024	0.912	0.022	0.863	0.017	0.931	0.021
均值	0.936	0.016	0.895	0.012	0.832	0.004	0.900	0.007

(二)各玉米生态类型区技术有偏演进模式分析

诱致性技术变迁理论最早由速水佑次郎与弗农·拉坦提出,其认为每个国家由于资源禀赋不同,因而农业生产增长应根据各自丰富的资源禀赋替代匮乏的资源从而实现粮食生产技术进步,并提出生物化学型技术进步与机械型技术进步类型以突破资源条件限制。根据该理论,将农业技术进步类型划分为生化型技术与机械型技术,进一步考察4个玉米生态类型区不同技术进步类型技术效率和技术进步率变化差异;以机械动力投入作为机械技术代理变量,以肥料投入作为生化

技术代理变量，考察我国四大生态类型区玉米机械技术和生化技术利用效率。测算结果如表 3 所示。结合表 3 与图 2 的分析结果可以发现，我国 4 个玉米生态类型区的生化型技术利用效率均高于机械型技术利用效率，因此，我国玉米生产技术进步模式主要以生化型技术进步为主。其中，北方春播玉米区的生化技术利用效率最高，年均利用效率达 0.942。由此反映出生化型技术进步是提高技术效率的主要技术进步模式，是我国玉米生产技术进步有偏演进的主要方向。

表 3　各玉米生态类型区生化技术和机械技术的利用效率

年份	北方春播玉米区		黄淮海平原夏播玉米区		西南山地玉米区		西北灌溉玉米区	
	生化技术	机械技术	生化技术	机械技术	生化技术	机械技术	生化技术	机械技术
2000	0.866	0.693	0.872	0.636	0.536	0.450	0.897	0.537
2001	0.944	0.689	0.916	0.643	0.581	0.417	0.862	0.650
2002	0.967	0.685	0.888	0.617	0.614	0.528	0.879	0.693
2003	0.961	0.676	0.720	0.585	0.613	0.505	0.846	0.754
2004	0.923	0.621	0.872	0.741	0.601	0.519	0.794	0.673
2005	0.909	0.643	0.763	0.629	0.527	0.582	0.803	0.673
2006	0.900	0.622	0.806	0.639	0.517	0.467	0.876	0.667
2007	0.887	0.727	0.799	0.645	0.607	0.491	0.881	0.686
2008	0.892	0.752	0.803	0.744	0.635	0.492	0.910	0.703
2009	0.864	0.716	0.872	0.741	0.663	0.593	0.898	0.745
2010	0.902	0.762	0.834	0.672	0.678	0.578	0.950	0.727
2011	0.924	0.714	0.768	0.668	0.730	0.533	0.943	0.629
2012	0.915	0.713	0.796	0.693	0.785	0.503	0.923	0.736
2013	0.931	0.716	0.799	0.701	0.812	0.516	0.935	0.733
2014	0.942	0.734	0.811	0.712	0.821	0.534	0.940	0.739

具体分析不同产区生化型技术效率与机械型技术效率变动趋势可以发现，我国不同生态类型区玉米生物化学型技术与机械技术利用效率存在较大差异。北方春播玉米区生化技术与机械技术利用效率总体均呈上升趋势，这主要是由于北方春播玉米区温度适宜粮食作物生长，地势平坦，土壤肥沃，是中国玉米的主产区和重要的商品粮基地。因此，进一步加大对玉米生产的投入、扩大地膜覆盖面积以及不断加大玉米新品种研发将有利于该地区玉米技术利用效率的不断提高。黄淮海平原夏播玉米区生化技术利用效率呈现震荡趋势，而机械技术利用效率则在波动中缓慢提高，之所以呈现这一特点与该地区的种植制度有很大关系，其主要采用玉米小麦两茬复种的种植模式，适合于机械化水平高的作业方式，从而获得较高产量。而西南山地玉米区，生化技术和机械技术利用效率均呈缓慢上升趋势，生化技术的利用效率从 2000 年的 0.536 上升到 2014 年的 0.821，机械技术的利用效率从 2000 年的 0.450 上升至 2014 年的 0.534。这与该地区复杂多变的地理气候条件和种植制度密切相关，由于土地贫瘠、经济落后，农户对玉米生产的种子、化肥投入缺乏，丘陵山区难以推广机械化技术，因此，加大推进杂交种植、育苗移栽等生化技术进步将有利于该区域玉米产量的提高。在西北灌溉玉米区，生化技术和机械技术的利用效率总体上呈上升趋势，其中生化技术利用效率在 0.794 ~0.950 之间波动，2010 年此地区生化技术的利用效率达到最高，机械技术的利用效率从 0.537 逐渐提高至 0.7 以上的水平，2009 年达到最高水平 0.745，反映出西北灌区具有较大的增产潜力，同时加大生化型技术与机械型技术的投入有利于该区域玉米产量的提高。总体而言，根据诱致性技术变迁机理，玉米生产技术进步模式的选择应基于不同生态类型区域特点，符合要素配置规律。

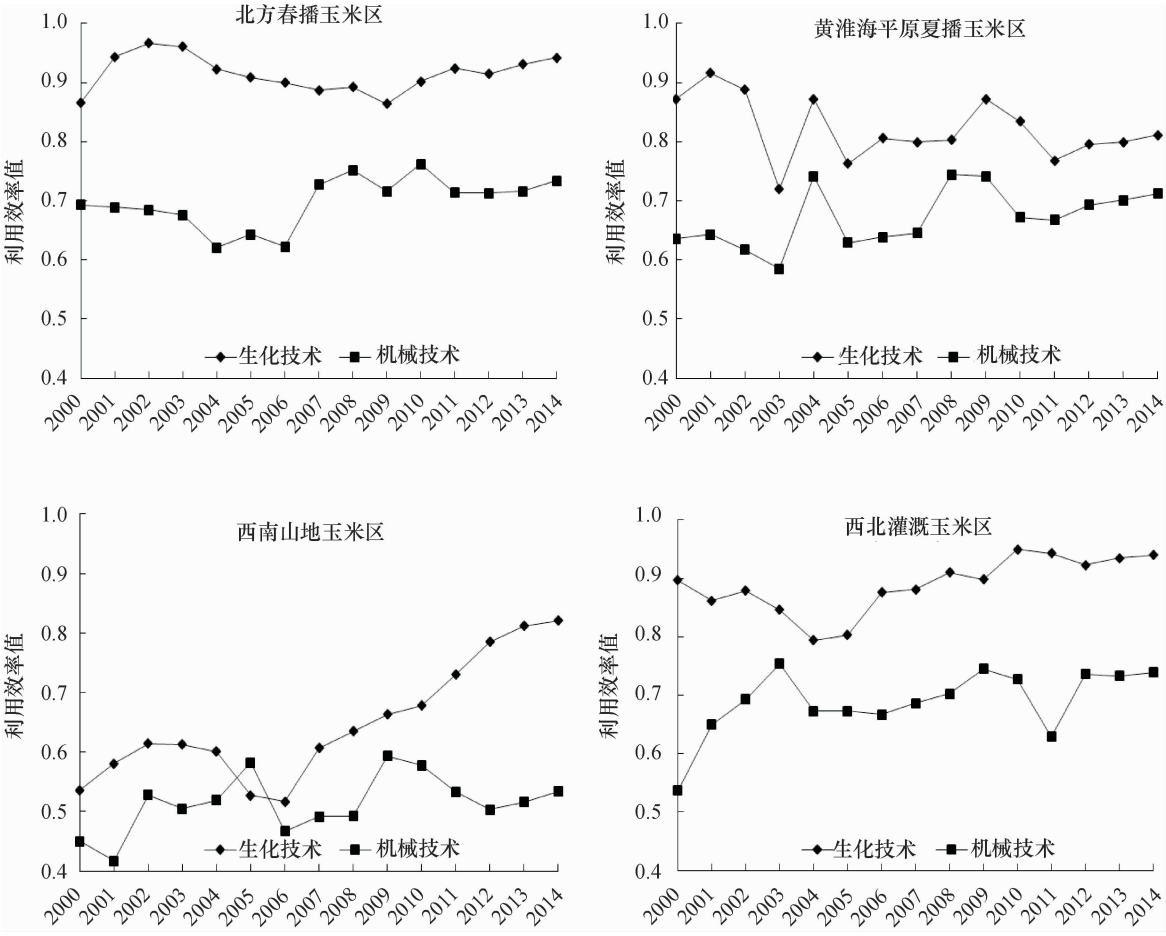


图2 各玉米生态类型区生化技术和机械技术利用效率

四、结论与启示

突破资源环境束缚，提高技术效率水平是保障我国粮食安全的根本途径。本文通过建立随机前沿函数模型测算2000—2014年北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区、西南山地玉米区和西北灌溉玉米区四大生态类型区玉米生产技术效率，分析影响技术效率的主要因素，并对各区域玉米生产过程中生化型技术和机械型技术利用效率进行估计，探讨不同区域玉米生产技术进步模式，得出以下结论：

（1）样本期内我国玉米生产技术效率平均达0.8以上，且随时间推移呈不断增加趋势，仍具有进一步提升的空间。由于玉米种植地域生产条件差距较大，不同生态类型区玉米技术效率差异显著。北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区内玉米生产的技术效率较高，大多年份技术效率均为0.85以上，这意味着农业技术利用较为充分，依靠挖掘现有技术潜力不易取得生态效率方面的较大改进，通过农业技术创新提高玉米产量是这一地区未来的发展方向。西北灌溉玉米区内玉米生产技术效率较高且呈持续改进趋势，说明此地区内玉米的种植技术和生产要素配置较好，随着近年来水利设施建设投入的不断增加，西北灌溉玉米区的技术效率将不断提高。西南山地玉米区受地形和气候的限制，玉米的生产技术效率总体呈下降态势，肥料、机械畜力利用效率处于较低水平，因此，应通过加强信息交流、技术推广和田间管理等措施，充分利用和挖掘现有技术潜力，提高

区内玉米生产技术效率。

（2）玉米前沿生产函数的计算结果表明，肥料、机械动力和劳动力投入有利于玉米单产水平的提高，而其他直接费用则抑制了玉米单产水平的持续增加。效率损失模型的估计结果显示，自然灾害、农户收入与玉米技术效率变动呈负相关关系，而城镇化水平、玉米种植规模和有效灌溉率是提高玉米生产技术效率的主要因素。因此，政府应加大对粮食作物生产的补贴，增加粮食生产的比较收益，提高农户的劳动积极性。此外，加大基础设施的投入，增加农机补贴力度有利于实现玉米产业的良性可持续发展。

（3）我国玉米生产技术进步以生化型技术进步模式为主，不同生态类型区玉米生化技术和机械技术的利用效率存在显著差异。除西南山地玉米区外，其他三区内玉米生产的生化技术利用效率呈缓慢增加态势，机械技术利用效率提高速度略快于生化技术。根据不同生态类型区地理气候特点，北方春播玉米区应同时加大生化型与机械型技术推广力度，黄淮海平原夏播玉米区应加大机械型技术的推广力度，西南山地玉米区着重推行生化型技术，暂缓推行机械型技术，而西北灌溉机械技术的利用效率还存在一定的提升空间，增加现代农业机械的研究和应用，推广使用机械技术是提高西北灌溉区玉米生产能力的有效途径。总体而言，政府应在加大生化型技术进步研发投入的基础上，根据不同区域特点，推行适合本生态类型区的技术进步模式。

参考文献：

[1]HICKS J R. Marginal productivity and the principle of variation [J]. Economica, 1932,(35): 79 - 88.

[2]DAVID P A, VAN DE KLUNDERT T. Biased efficiency growth and capital-labor substitution in the US, 1899 - 1960 [J]. The American Economic Review, 1965, 55(3):357 - 394.

[3]SATO S, WADA M. Relations between intramolecular energy transfer efficiencies and triplet state energies in rare earth β-diketone chelates[J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 1970, 43(7): 1955 - 1962.

[4]ACEMOGLU D. Diversity and technological progress [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2011: 319 - 356.

[5]高建凯. 中国 15 个主产省区玉米生产技术效率研究[J]. 西部论坛,2013,(6):69 - 75.

[6]杨国庆,刘天军. 入 WTO 以来中国玉米生产效率评价——来自全国 15 个省的面板数据分析[J]. 广东农业科学,2013, (3):217 - 221.

[7]李首涵. 中国玉米生产技术效率、技术进步与要素替代——基于超对数随机前沿生产函数的分析[J]. 科技与经济,2015, 28(6):52 - 57.

[8]张宏,王振华,姜会明. 玉米生产的投入产出效率分析——基于吉林省玉米生产的实证研究[J]. 吉林农业大学学报,2011, 33(6):698 - 702.

[9]赵贵玉,张越杰,葛世萍. 黑龙江省玉米生产效率研究[J]. 玉米科学,2009,(4):139 - 143.

[10]吴天龙. 收入非农化、土地规模化对农户粮食生产技术效率的影响——以河北省农户玉米生产为例[J]. 科技与经济,2015, (4):46 - 50.

[11]王琛,吴敬学. 我国玉米产业生产技术效率与其影响因素研究——基于 2001—2011 年的省级面板数据[J]. 中国农业资源与区划,2015, (4):23 - 32.

[12]王巍. 黑龙江省玉米产量变化与相关因素的分析[J]. 黑龙江农业科学,2012,(7):28 - 31.

[13]郭志超. 我国玉米生产函数及技术效率分析[J]. 经济问题,2009, (11):74 - 78.

[14]赵红雷,贾金荣. 中国玉米生产技术效率分析:2001—2008——基于随机前沿生产函数[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版),2011, (5):56 - 61.

[15]赵贵玉,王军,张越杰. 基于参数和非参数方法的玉米生产效率研究——以吉林省为例[J]. 农业经济问题,2009, (2):15 - 21 + 110.

[16]FARRELL M J. The measurement of productive efficiency [J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series A

(General), 1957, 120(3): 253 - 290.
[17]KUMBHAKAR S C, GHOSH S, MCGUCKIN J T. A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms[J]. Journal of Business & Economic Statistics, 1991, 9(3): 279 - 286.
[18]BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics, 1995, 20(2): 325 - 332.
[19]BATTESE G E, COELLI T J. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data[J]. Journal of Econometrics, 1988, 38(3):387 - 399.
[20]田伟,李明贤,谭朵朵. 基于SFA的中国棉花生产技术效率分析[J]. 农业技术经济,2010,(2):69 - 75.
[21]WU YANRUI. Chemical fertilizer use efficiency and its determinants in China's farming sector implications for environmental protection[J]. China Agricultural Economic Review, 2011, 3(2):117 - 130.
[22]王淑萍. 我国玉米种植产区的划分[J]. 养殖技术顾问, 2010, (6):74.
[23]张学林,宋志平,刘天学,等. 高温干旱对河南局部玉米生长发育和产量的影响及管理对策[J]. 河南农业, 2016,(1):56 - 57.
[24]邵飞,陆迁,王昕. 我国玉米产业技术进步的福利效应分析[J]. 科技进步与对策,2011,14:78 - 82.

Analysis of Biased Technical Progress Model in Different Maize Production Ecological Zones

QIAO Dan, LU Qian
(*College of Economics and Management*, *Northwest A&F University*, *Yangling* 712100, *China*)

Abstract: Based on the panel data of 17 major maize production provinces from years 2000 to 2014 which were divided into four ecological zones according to the natural and geographical conditions, a stochastic frontier function model was used to estimate the technology efficiency and analyze non-efficiency factors, and then we measured the biochemical and mechanical technology using efficiency in maize production process. The results show that the overall technical efficiency demonstrates an upward trend: the northern spring maize area is the highest, followed by the northwest irrigation maize area and the Huang-Huai-Hai Plain summer maize area. Technical efficiency in different areas is mainly influenced by urbanization level, maize planting area, and effective irrigation ratio. Maize production technology progress in China is mainly advanced by biochemical technology and there exist significant differences in different technology using efficiency among these four areas.

Key Words: maize production zones; technology progress; technical efficiency; biochemical technology; mechanical technology