**附 录**

**一、2010-2021全国农业生产韧性水平测度结果**

本研究基于2010-2021年31个省份的农作物产量数据，采用马尔萨斯朴素生产性框架，从作物多样性角度测算各省份农业生产韧性（见表1）。具体而言，本研究选取谷物、豆类、薯类、油料、水果、蔬菜、肉类、奶类、禽蛋、蜂蜜和水产品等11类农产品年产量，通过LOESS平滑方法处理作物产量时间序列，计算各作物产量相对潜在产量的标准化偏离度，并结合作物间产量波动的协方差关系，综合测算得出农业生产韧性指标结果。为与正常逻辑一致，将该结果取倒数，即农业生产韧性（ARES）数值越大，面临外部冲击时的适应力越高。

**表1 2010-2021全国农业生产韧性水平**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2010年 | 2011年 | 2012年 | 2013年 | 2014年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 2021年 |
| 北京 | 392.14 | 3.18 | 3.43 | 9.04 | 1.24 | 1.49 | 1.53 | 1.56 | 1.62 | 30.77 | 0.56 | 0.06 |
| 天津 | 111.80 | 20.61 | 5.36 | 3.12 | 2.35 | 2.51 | 28.26 | 2.72 | 12.91 | 3.81 | 9.94 | 8.97 |
| 河北 | 13.45 | 26.11 | 55.69 | 204.46 | 5.13 | 5.06 | 5.72 | 2.94 | 11.70 | 30.33 | 23.94 | 24.80 |
| 山西 | 2.16 | 11.86 | 5.85 | 2.96 | 2.53 | 3.84 | 12.07 | 14.96 | 12.01 | 7.19 | 84.78 | 9.46 |
| 内蒙古 | 4.47 | 30.27 | 26.79 | 6.75 | 49.14 | 2.94 | 2.20 | 7.16 | 10.81 | 3.62 | 8.65 | 9.11 |
| 辽宁 | 23.57 | 29.48 | 26.14 | 58.13 | 1.75 | 2.08 | 20.46 | 11.07 | 161.92 | 6.08 | 13.67 | 9.03 |
| 吉林 | 27.67 | 429.97 | 3.51 | 6.12 | 5.49 | 7.95 | 4.22 | 1.42 | 75.17 | 7.29 | 4.58 | 5.18 |
| 黑龙江 | 10.65 | 2.81 | 2.82 | 2.77 | 2.78 | 3.34 | 9.60 | 5.96 | 2.78 | 12.52 | 1.73 | 1.91 |
| 上海 | 4.97 | 3.02 | 2.72 | 3.21 | 2.58 | 5.04 | 3.33 | 72.92 | 7.49 | 4.73 | 1.93 | 1.65 |
| 江苏 | 31.12 | 19.36 | 58.91 | 200.37 | 417.40 | 330.73 | 24.19 | 3.25 | 5.15 | 13.75 | 9.47 | 5.87 |
| 浙江 | 12.00 | 21.65 | 4.53 | 5.98 | 5.31 | 4.70 | 5.66 | 1.12 | 4.18 | 5.53 | 7.63 | 0.33 |
| 安徽 | 10.71 | 12.20 | 14.15 | 7.20 | 3.32 | 2.02 | 1.95 | 1.76 | 2.37 | 5.98 | 14.42 | 2.36 |
| 福建 | 16.42 | 2.90 | 2.18 | 1.30 | 0.90 | 0.71 | 0.72 | 0.92 | 1.55 | 2.48 | 7.63 | 6.48 |
| 江西 | 23.31 | 10.02 | 13.74 | 9.17 | 16.61 | 16.99 | 34.20 | 5.22 | 10.21 | 9.67 | 5.59 | 54.93 |
| 山东 | 25.42 | 19.16 | 6.86 | 3.38 | 2.18 | 2.40 | 4.02 | 1.76 | 2.24 | 4.52 | 36.40 | 2.78 |
| 河南 | 6.68 | 15.01 | 30.78 | 28.26 | 6.64 | 4.63 | 2.54 | 610.29 | 3.71 | 3.43 | 84.73 | 2.11 |
| 湖北 | 3.52 | 6.11 | 13.86 | 7.46 | 6.14 | 4.39 | 34.36 | 4.46 | 14.42 | 8.63 | 3.61 | 5.70 |
| 湖南 | 16.22 | 21.24 | 42.18 | 116.04 | 69.42 | 95.41 | 16.41 | 4.10 | 9.10 | 48.38 | 9.69 | 5.74 |
| 广东 | 6.19 | 32.26 | 6.09 | 4.07 | 2.52 | 1.84 | 1.80 | 2.05 | 2.58 | 5.59 | 19.64 | 4.84 |
| 广西 | 4.16 | 64.89 | 15.42 | 3.58 | 2.92 | 2.25 | 2.36 | 3.55 | 4.71 | 3.85 | 11.78 | 24.17 |
| 海南 | 122.27 | 6.34 | 2.64 | 2.54 | 2.17 | 2.67 | 2.91 | 1.83 | 4.77 | 5.17 | 5.26 | 11.22 |
| 重庆 | 21.39 | 10.07 | 118.38 | 10.53 | 5.72 | 4.32 | 3.91 | 11.09 | 8.54 | 7.14 | 18.36 | 326.92 |
| 四川 | 46.10 | 90.87 | 39.54 | 25.70 | 47.59 | 15.69 | 20.94 | 77.02 | 20.28 | 120.83 | 13.80 | 24.83 |
| 贵州 | 6.41 | 1.85 | 4.43 | 4.25 | 123.83 | 9.12 | 5.38 | 4.09 | 244.18 | 16.76 | 70.95 | 12.77 |
| 云南 | 1.33 | 12.71 | 11.13 | 5.69 | 2.58 | 1.89 | 1.79 | 45.38 | 34.65 | 6.76 | 3.52 | 16.16 |
| 西藏 | 1.90 | 11.35 | 9.07 | 31.36 | 45.27 | 26.37 | 109.36 | 0.96 | 1.75 | 4.08 | 5.27 | 2.73 |
| 陕西 | 52.72 | 31.96 | 8.68 | 6.03 | 5.44 | 3.42 | 7.60 | 33.48 | 28.30 | 19.99 | 12.15 | 4.19 |
| 甘肃 | 5.75 | 4.00 | 2.33 | 1.96 | 1.75 | 1.64 | 5.06 | 6.27 | 9.67 | 4.44 | 3.18 | 2.63 |
| 青海 | 9.46 | 12.62 | 5.81 | 8.90 | 10.88 | 329.39 | 284.70 | 5.96 | 5.43 | 5.39 | 2.76 | 1.82 |
| 宁夏 | 4.34 | 3.83 | 2.26 | 3.36 | 2.60 | 2.15 | 2.41 | 3.21 | 20.65 | 14.11 | 1.57 | 0.96 |
| 新疆 | 2.05 | 1.86 | 4.36 | 4.01 | 3.03 | 2.18 | 2.32 | 7.94 | 4.36 | 5.48 | 3.37 | 4.47 |

从完整数据可以看出，我国各省份农业生产韧性在样本期内呈现明显的年度波动特征，反映了农业系统在面对气候变化、自然灾害等外部冲击时的即时响应能力。从测算设计来看，本研究所构建的农业生产韧性指标通过捕捉作物产量相对于长期趋势的偏离程度来测度系统对外部冲击的响应强度。当与基准作物相关性较低的作物产量发生波动时，会导致韧性指标出现较大数值。这一方法特征使得测度结果在面对极端自然灾害或农业结构调整等冲击时呈现明显的年度波动性，能够精准捕捉农业生产系统的即时响应能力。Zampieri等(2020)在评估欧洲作物生产韧性时采用了相同的测算逻辑，同样观察到数据的显著波动特征，并使用稳健统计方法进行处理，符合国际同类研究惯例。因此，本研究正文表1采用各地区农业生产韧性的中位数进行展示，能更准确反映区域农业生产韧性的中心趋势。

**二、我国九大区域农业生产韧性绝对*β*收敛**

为进一步分析不同农业产区的收敛差异，本文基于文中式（3）对九大农业产区分别进行绝对*β*收敛检验，表2中（1）-（9）列分别展示东北平原区、云贵高原区、北方干旱半干旱区、华南区、四川盆地及周边地区、长江中下游地区、青藏高原区、黄土高原区、黄淮海平原区共九大区域生产韧性绝对*β*收敛结果（见表2）。结果表明，除东北平原和长江中下游以外的七个产区均达到1%的显著性水平，农业生产韧性呈现显著的绝对β收敛特征。其中四川盆地及周边地区、黄淮海平原区和北方干旱半干旱区收敛最快，这些地区大多面临自然资源约束、地形地貌复杂、农业基础设施相对薄弱等问题。然而，其较快的收敛速度正是国家政策扶持和市场机制优化所带来的结构性响应能力的体现。通过政策引导下的农业结构调整、节水技术推广和抗灾能力建设，这些区域的农业系统在克服自身限制的同时，韧性提升的边际效应显著，从而加速向更稳定的状态收敛。而东北平原区和长江中下游地区的收敛系数未达到统计显著性。一种可能的解释是，东北平原区作为我国重要的粮食主产区，其农业生产系统的高度集约化使得生产韧性接近稳态，边际改善空间有限，其结构性响应更倾向于维持既有高水平韧性，而非快速追赶（胡江峰、黄庆华，2024）。长江中下游农业资源条件优越，但内部存在较大经济异质性。下游地区侧重高科技产业和外向型产业，而中游地区发展相对滞后且不平衡（黄玲玲，2024），这种省份间经济增长路径分化导致区域整体上难以形成显著的绝对*β*收敛效应。在九大区域的绝对*β*收敛检验中，由于部分区域样本量较小导致t值异常。鉴于此，本研究在呈现结果时重点关注收敛系数的符号、大小及其统计显著性，显著性检验结果稳健可靠。

**表2 九大区域农业生产韧性绝对*β*收敛**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **（1）** | **（2）** | **（3）** | **（4）** | **（5）** | **（6）** | **（7）** | **（8）** | **（9）** |
| *ln(ARES0)* | 0.030 (0.71) | -0.095\*\*\* (-4.31) | -0.133\*\*\* (-3.23) | -0.065\*\*\* (-160.12) | -0.397\*\*\* (-9.30e+12) | -0.027 (-0.44) | -0.114\*\*\* (-1.25e+14) | -0.114\*\*\* (-1.33e+14) | -0.171\*\*\* (-2.87) |
| 常数项 | 0.454 (0.29) | 1.367 (0.92) | 0.513 (0.89) | -0.808 (-0.49) | 1.330 (1.06) | 0.025 (0.07) | 1.205 (1.26) | 0.871 (0.65) | -0.432 (-0.48) |
| year | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| *N* | 33 | 33 | 44 | 33 | 22 | 77 | 22 | 22 | 55 |
| R2 | 0.354 | 0.337 | 0.276 | 0.375 | 0.495 | 0.111 | 0.799 | 0.646 | 0.199 |

注：括号内为稳健估计的t统计值，\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%及10%的水平上显著。

**三、稳健性检验**

为验证条件*β*收敛模型估计结果的稳健性，本文从控制变量扩展、样本结构调整两个维度对条件*β*收敛进行稳健性检验。控制变量扩展方面，本文进一步控制可能影响农业生产韧性收敛的遗漏变量。从农业基础条件角度，增加农村人力资本变量（*APE*）。从农业科技发展维度，纳入农业科技专利数量（*PAT*）。从农业承灾角度，加入农业保险保费变量（*INS*）。为进一步考虑极端天气冲击的影响，用极端低温（*LTE*）和极端降雨（*RAI*）表征。相应的回归结果见表1第（1）至（4）列。样本结构调整方面，本文识别并排除可能干扰估计结果的特殊样本。第（5）列为剔除具有政治和经济特殊性的直辖市样本，以消除行政层级差异的潜在影响。第（6）列进一步排除2019年及之后的数据，以规避非洲猪瘟疫情和突发公共卫生事件对农业生产韧性产生的短期非典型冲击。

**表3 *β*收敛稳健性检验估计结果**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **变量** |  | | | | | |
| **（1）** | **（2）** | **（3）** | **（4）** | **（5）** | **（6）** |
| *ln(ARES0)* | -0.103\*\*\* (-3.82) | -0.099\*\*\* (-3.62) | -0.106\*\*\* (-3.29) | -0.096\*\*\* (-3.28) | -0.091\*\*\* (-5.09) | -0.093\*\*\* (-5.83) |
| *RGDP* | 0.063 (0.69) | 0.097 (1.03) | 0.054 (0.56) | 0.139 (1.14) | 0.061 (0.75) | -0.070 (-0.82) |
| *PLA* | 0.004 (0.06) | 0.008 (0.07) | 0.078 (0.78) | 0.071 (0.62) | 0.018 (0.30) | -0.087 (-0.92) |
| *EDU* | -0.026 (-0.28) | 0.042 (0.37) | 0.050 (0.38) | -0.073 (-0.43) |  |  |
| *TAM* |  | -0.072 (-1.26) | -0.020 (-0.23) | 0.042 (0.49) | 0.051 (0.61) | 0.040 (0.60) |
| *FER* |  | -0.001 (-0.01) | 0.082 (0.79) | 0.074 (0.70) | 0.104 (1.11) | 0.126 (1.14) |
| *PAT* |  | -0.000 (-1.43) | -0.000 (-0.37) | -0.000 (-0.65) |  |  |
| *FAC* |  |  | 0.045 (1.40) | 0.030 (0.73) | 0.023 (0.68) | 0.025 (0.77) |
| *PLA* |  |  | -0.108 (-1.38) | -0.096 (-1.36) | -0.113\* (-1.67) | -0.060 (-1.11) |
| *DIS* |  |  | 0.118\* (1.77) | 0.125\* (1.88) | 0.100 (1.41) | 0.095 (1.20) |
| *FLO* |  |  | -0.062\*\* (-2.09) | -0.074\*\*\* (-2.73) | -0.074\*\* (-2.27) | -0.049 (-1.59) |
| *INS* |  |  | -0.000 (-0.74) | -0.000 (-0.38) |  |  |
| *LTE* |  |  |  | -0.002 (-0.27) |  |  |
| *RAI* |  |  |  | -0.004 (-1.29) |  |  |
| 常数项 | 0.051 (0.15) | -0.131 (-0.28) | -0.691 (-1.08) | -0.350 (-0.54) | -0.476 (-0.81) | -0.438 (-0.73) |
| year | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| *N* | 341 | 341 | 341 | 341 | 297 | 279 |
| R2 | 0.039 | 0.041 | 0.052 | 0.056 | 0.060 | 0.040 |

注：括号内为稳健估计的t统计值，\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%及10%的水平上显著。

观察表3可以看出，进一步控制更多可能影响因素以及样本结构调整后，估计结果*ln(ARES0)*前的回归系数均在1%显著水平上为负，结果显著性和符号方向保持一致，验证了条件*β*收敛结论的稳健性，表明本文关于中国农业生产韧性存在条件*β*收敛特征的结论可靠。