ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

基于多源监测数据的农业气候适应性评价研究——以四川省为例

谢辛玥 胡 燕 段苏玲 *

成都信息工程大学统计学院，四川 成都 621000

摘 要：为精准刻画农业高质量发展背景下的气候适应能力，本文以气候智慧型农业与气候韧性农业理论为基础，界定核心内涵，构建四维评价模型与五级嵌套指标体系。融合多源监测数据，采用组合赋权法与耦合协调贴近度模型，对四川省农业气候适应性开展实证测度。结果表明，四川省农业气候适应性水平稳步提升，耦合协调程度持续改善，整体由低水平协调向优质协调过渡；生态减排贡献能力占比最高，气候风险适应能力提升相对滞后。研究可为区域农业气候治理与高质量发展提供决策参考。

关键词：农业气候适应性；多源监测数据；评价指标体系；熵权法；耦合协调贴近度

DOI：10.64649/yh.shfzykjcx.issn3078-8994.202610020

0 引言

IPCC 第六次气候变化评估报告显示，全球气候变暖加剧，极端高温、暴雨、干旱等灾害性天气频次与破坏强度显著增强。农业作为气候敏感性最强的基础产业，面临的气候风险持续攀升。在我国农业高质量发展战略背景下，现代农业已形成稳产保供、绿色低碳、韧性抗险、提质增效的多元目标，气候适应性成为衡量农业现代化水平的核心指标[1]。

现有研究在农业高质量发展测度、气候韧性评价、绿色农业指标体系构建等方面成果丰富[2][3][4][5][6][7][8][9]，新质生产力赋能农业高质量发展的相关研究也奠定了理论基础[10]，但仍存在理论融合不足、指标维度不全、数据时效性偏弱等局限[5][6][11]，难以支撑精细化动态评价。

四川省作为西南地区核心粮食主产区与长江上游生态屏障，地形气候复杂，农业气候异质性突出，开展适应性评价具有典型代表性。本文构建高质量发展导向的评价框架与指标体系，融合多源监测数据开展实证研究，为区域农业气候政策制定与高质量发展提供支撑。

1 理论框架与概念界定

1.1 农业气候适应性的概念内涵

农业气候适应性研究源于气候变化对农业系统的冲击。联合国粮农组织提出的气候智慧型农业以保障粮食安全、增强适应性、推动减排增汇为核心目标[12]。气候韧性农业强调系统在气候干扰下的恢复能力与结构稳定性，最早由霍林提出，后广泛应用于社会生态系统评价领域[6]。本文整合两大理论范式，将农业气候适应性界定为农业系统在高质量发展导向下，通过结构调整、生产优化与管理完善，对气候变化及极端风险具备的响应、适应与自我调节能力，兼具系统性、协同性与动态性特征。

1.2 评价模型

基于上述概念，将农业气候适应性拆解为食物安全保障、气候风险适应、生态减排贡献三大支柱维度，各维度下设生物物理、社会经济、政策管理三类子维度，分别作为适应性的基础支撑、核心内核与延伸拓展。

借鉴 IPCC 气候脆弱性评估框架的核心逻辑，构建包含气候风险暴露度、系统响应敏感性、气候自适应韧性、高质量发展约束的四维评价模型[5]。其中，气候风险暴露度与系统响应敏感性共同构成系统气候脆弱性，与适应性负相关；气候自适应韧性为核心调控维度，对应三大支柱；高质量发展约束为顶层导向，通过权重倾斜与得分修正锚定发展方向。

2 评价指标体系与研究方法

2.1 评价指标体系构建

遵循层级嵌套逻辑构建农业气候适应性综合评价指标体系，指标选取参考已有研究的经典设定[7][9]。二级模块包含气候风险暴露度、系统响应敏感性与气候自适应韧性三大板块，高质量发展约束作为顶层导向贯穿全流程。

气候风险暴露度刻画客观风险水平，系统响应敏感性衡量风险冲击敏感程度，气候自适应韧性为核心模块。各指标依据与四大高质量发展维度的关联程度，标记为核心约束或辅助约束，用于权重修正与得分调整。

2.2 赋权与评价方法

采用组合赋权法确定指标权重，兼顾客观性与发展导向性[5][9]，评价包含数据标准化、基础权重测算、组合赋权修正、综合得分计算与耦合协调贴近度测算五个环节。

2.2.1 数据标准化与基础权重

分别采用极差标准化法消除指标量纲与数量级差异，正向指标按式（1）计算，负向指标按式（2）计算：

ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)},\quad (1)$$

$$r_{ij}=\frac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)},\quad (2)$$

其中 x_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的原始值，$max(x_j)$ 与 $min(x_j)$ 分别为第 j 项指标在研究时段内的最大值与最小值，r_{ij} 为标准化后取值，范围为 0 到 1。

基础权重采用熵权法客观测算，依据指标变异程度赋权，经比重 $p_{ij}=\frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}}$、信息熵 $e_j=-\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} p_{ij}\ln p_{ij}$、差异系 $g_j=1-e_j$ 数计算后归一化得到客观权重 $w_j^0=\frac{g_j}{\sum_{j=1}^{m} g_j}$，其中 n 为样本年数，m 为指标个数。

2.2.2 修正权重与综合得分

结合德尔菲法获取主观权重，采用乘法合成法得到组合权重。再依据高质量发展约束规则对标记指标进行权重上浮调整并重新归一化，得到最终权重。

分层加权汇总得到二级模块得分，通过得分修正系数对气候自适应韧性得分进行修正 $\alpha=1-\frac{1}{k}\sum_{l=1}^{k} d_l$，最终得到综合得分 $S=S_{res}\,\alpha$，其中，k 为高质量发展维度总数，d_l 为第 l 个维度的偏离度，S_{res} 为气候自适应韧性模块原始得分，a 为得分修正系数。

2.2.3 耦合协调贴近度测算

引入耦合协调贴近度作为辅助诊断指标，基于 TOPSIS 法核心逻辑，衡量三大模块与理想协同状态的接近程度。

将模块得分归一化后构建加权规范矩阵，确定低暴露、低敏感、高适应的正理想解与高暴露、高敏感、低适应的负理想解，分别计算评价对象与正负理想解的欧氏距离 $D^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(v_j-v_j^+\right)^2}$ 和 $D^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(v_j-v_j^-\right)^2}$，进而得到耦合协调贴近度 $CCC=\frac{D^-}{D^++D^-}$，其中，v_j 为第 j 个模块的加权规范化值，v_j^+ 与 v_j^- 分别为正负理想解取值。指标取值范围为 0 ~ 1，数值越高代表系统越接近理想协同状态。

2.3 二维评价类型划分

将综合得分与耦合协调贴近度结合，构建二维分类体系，划分优质协调型、能力虚高型、低水平协调型、严重失调型四类发展类型。

3 数据资料

评价数据分为宏观统计与动态监测推演两类，来源覆盖官方统计部门与典型试点监测网络，经统一标准化处理后支撑权重测算与综合评价。宏观统计数据覆盖多数常规指标，来自四川省多部门权威发布。智能监测与推演数据补充动态衍生指标，依托天府粮仓试点区域监测网络获取，含实时监测与三类推演数据，经校准、按面积比推算全省值后，与宏观数据共同构成指标数据集。数据采用极差标准化处理，统一至 0 ~ 1 区间，其中 2011 ~ 2021 年数据为权重测算基准期，2020 ~ 2024 年为评价期，分别支撑维度权重测算与综合评价。

4 四川省农业气候适应性评价结果

4.1 维度权重测算

基于基准期标准化数据，通过熵权法测算得到各二级维度权重：极端天气暴露 0.158、生产敏感性 0.129、食物安全保障能力 0.138、气候风险适应能力 0.147、生态减排贡献能力 0.428。结果显示，生态减排贡献能力权重显著最高，基准期内变异最大、区分度最强，与四川省生态屏障定位及绿色低碳转型任务高度契合。

4.2 综合评价结果

根据评价模型计算得到评价期综合得分及相关结果，如表 1 所示。

表1 2020—2024年四川省农业气候适应性评价结果

年份	综合得分	得分等级	修正系数	耦合协调度	协调等级	二维类型
2020	0.63	良好	0.84	0.62	中	低水平协调型
2021	0.66	良好	0.88	0.65	中	低水平协调型
2022	0.67	良好	0.92	0.68	中	低水平协调型
2023	0.70	良好	0.98	0.72	中	低水平协调型
2024	0.73	良好	1.04	0.76	中	低水平协调型

评价期内综合得分稳步提升，前期增长平缓，中期阶梯式提升，后期接近优秀等级阈值，反映农业主动适应气候变化的能力持续增强。得分修正系数逐年提升，说明农业发展与高质量发展目标契合度持续提升，高质量发展约束已从制约因素转变为正向助推力。耦合协调贴近度持续上升且处于中等区间，三大模块协同性不断优化，未出现结构性失衡问题。

4.3 结果讨论

评价结果表明，评价期内四川省农业气候适应性始终处于低水平协调型阶段，整体呈稳步进阶态势，与发展实际高度吻合。一方面，四川地形气候复杂，农业气候风险本底较高，基础设施与防灾减灾能力仍有短板，综合得分尚未进入优秀区间；另一方面，近年来天府粮仓建设、高标准农田建设、面源污染治理与绿色发展持续推进，带动各维度适应性稳步提升。

ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

分维度看，生态减排贡献能力权重最大且提升显著，化肥农药减量、废弃物资源化、生态碳汇培育等成效显现，绿色低碳转型成效突出。食物安全保障能力稳步提升，核心驱动为有效灌溉率、农业机械化水平与粮食单产的持续增长。气候风险适应能力提升相对平缓，农民风险认知、农业保险深度、预警覆盖率等是主要短板，也是未来建设的重点突破方向。

5 结论

本文构建的四维评价模型与五级嵌套指标体系，可系统刻画区域农业气候适应性水平，熵权与德尔菲组合赋权结合高质量发展约束修正的方法，兼顾客观性与导向性，可为同类区域评价提供方法参考。研究期内四川省农业气候适应性综合得分稳步提升，耦合协调贴近度持续改善，得分修正系数由惩罚区间转入奖励区间，整体处于低水平协调阶段并向优质协调过渡，高质量发展与气候适应的协同效应逐步显现。生态减排贡献能力区分度最高，气候风险适应能力提升相对滞后，农业保险深度不足、预警覆盖率不高、农户风险认知有限是主要制约因素，宏微观结合的数据支撑体系可有效覆盖各类指标。

后续可持续推进农业绿色低碳转型，扩大碳汇交易与低碳补贴覆盖面，强化化肥农药减量增效技术推广，提升废弃物资源化利用水平，巩固生态减排优势。重点补强气候风险适应能力短板，完善农业气候保险制度，扩大保障范围，提升预警信息到户率，健全基层传播体系，加强农户风险认知与技术培训，提升经营主体主动适应能力。同时深化天府粮仓建设，推进高标准农田与高效节水灌溉设施建设，提升农业机械化水平，强化粮食生产功能区建设，逐步扩大物联网与遥感监测覆盖范围，建立跨部门数据共享机制，推动评价数据基础向宏微观结合升级。

本研究仍存在局限，实时监测设备尚未全省覆盖，部分指标依赖试点推算，指标权重的专家打分也存在主观性。后续可拓展市县级面板数据开展区域比较，引入动态权重方法提升评价精度。

参考文献：

[1] 杨耀武 , 张平 . 中国经济高质量发展的逻辑、测度与治理 [J]. 经济研究 ,2021,56(1):26-42.
[2] 姬志恒。中国农业农村高质量发展的空间差异及驱动机制 [J]. 数量经济技术经济研究，2021, 38 (12): 25-44.
[3] 叶林祥，左秀平。中国粮食产业高质量发展：水平测度、时空特征与路径选择 [J]. 农村经济，2023 (11): 64-73.
[4] 安晓宁，辛岭。中国农业现代化发展的时空特征与区域非均衡性 [J]. 资源科学，2020, 42 (9): 1801-1815.
[5] 许吟隆，赵明月，李阔，等。农业适应气候变化研究进展回顾与展望 [J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2023, 31 (8): 1155-1170.
[6] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4 (1): 1-23.
[7] 周静。长江经济带农业绿色发展评价、区域差异分析及优化路径 [J]. 农村经济，2021 (12): 99-108.
[8] Xu X, Jia Y, Feng Y, et al. An index system for evaluation of agriculture green development at county level in China [J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2024, 11 (1): 55-68.
[9] 黄修杰，蔡勋，储霞玲，等。我国农业高质量发展评价指标体系构建与评估 [J]. 中国农业资源与区划，2020, 41 (4): 124-133.
[10] 高帆。新质生产力与我国农业高质量发展的实现机制 [J]. 农业经济问题，2024 (4): 58-67.
[11] Cui Y, Ullah K S, Johannes S, et al. Exploring the spatiotemporal heterogeneity and influencing factors of agricultural carbon footprint and carbon footprint intensity [J]. Science of the Total Environment, 2022, 846: 157507.
[12] Gilbert N. Climate-smart agriculture is needed [J]. Nature, 2011. DOI: 10.1038/news.2011.131.

作者简介：谢辛玥（2007.07—），女，汉族，四川成都人，大学本科在读，研究方向：商业分析。
胡燕（1986.09—），女，汉族，重庆合川人，博士，讲师，研究方向：人工智能与经济管理交叉结合。
通讯作者：段苏玲（1987.03—），女，汉族，北京人，博士，讲师，研究方向：智能决策与优化。
项目信息：四川省自然科学基金（2024NSFSC1070）；四川省哲学社会科学规划项目四川统计发展专项 (SC24TJ020)；四川省海聚计划高端人才引进项目（2025HJRC0001）。