农业资源与环境学报 CSCD核心期刊 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

基于动态QCA东北地区耕地利用生态效率测度及影响因素研究

吴昕雨, 崔佳

引用本文:
吴昕雨, 崔佳. 基于动态QCA东北地区耕地利用生态效率测度及影响因素研究[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1624-1635.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2024.0676

吴昕雨, 崔佳. 基于动态QCA东北地区耕地利用生态效率测度及影响因素研究[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(6): 1624-1635.
WU X Y, CUI J. Measurement of eco-efficiency of cultivated land use and influencing factors in northeast China based on dynamic QCA[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 42(6): 1624-1635.

开放科学 OSID

基于动态QCA东北地区耕地利用生态效率测度及影响因素研究

吴昕雨, 崔佳*

(哈尔滨师范大学经济与管理学院, 哈尔滨 150025)

摘 要:为揭示东北地区近20年耕地利用生态效率的时空变化规律及区域差异,深入考察影响耕地利用生态效率水平的多元组合路径,本研究基于2001—2021年东北地区耕地利用面板数据,运用超效率SBM模型和Dagum基尼系数评价耕地利用生态效率水平与区域差异,并使用动态QCA方法从时间效应和个体效应出发,探究耕地利用生态效率影响因素组态效应的变化。结果表明:2001—2021年东北地区耕地利用生态效率波动上升,年均增长率为1.01%,黑龙江效率水平最高(1.049),吉林效率水平最低(0.897),各地市耕地利用生态效率存在空间非均衡性,呈现东北高、西南低的整体态势;东北地区总体基尼系数整体较大,且大致呈波浪形的变化趋势,超变密度是东北地区耕地利用生态效率差异的主要来源;耕地利用生态效率是多因素共同作用的结果,单个因素无法单独发挥作用来实现高耕地利用生态效率,存在多因素驱动型、自然-经济条件主导型和农业生产-经济条件主导型3种模式驱动高耕地利用生态效率水平,且各城市在耕地绿色发展中并不遵循一致的组态路径。研究表明,东北地区耕地利用生态效率水平整体较高,耕地利用生态效率受自然-经济-农业生产等多因素协同驱动,地方政府应该注重发挥多重因素的协同作用,制定差异化政策措施,全面推动耕地利用生态效率提升。

关键词:东北地区;耕地利用生态效率(ECLU);区域差异;动态QCA

中图分类号:X322;F323.211 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2025)06-1624-12 **doi**: 10.13254/j.jare.2024.0676

Measurement of eco-efficiency of cultivated land use and influencing factors in northeast China based on dynamic QCA

WU Xinyu, CUI Jia*

(School of Economics and Management, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: To reveal the spatio-temporal change pattern and regional differences in the ecological efficiency of cropland utilization in the northeast China in the past 20 years, and examine in depth the multifaceted combinatorial paths affecting the level of eco-efficiency of cultivated land use, based on the panel data of cropland utilization in the region from 2001 to 2021, the study evaluated the level of eco-efficiency of cultivated land use and regional differences by using the super-efficiency SBM model and Dagum; and used the dynamic QCA method to explore the changes of the group effect of factors influencing the eco-efficiency of cultivated land use in terms of the time effect and the individual effect. From 2001 to 2021, the eco-efficiency of cultivated land use in the region fluctuated and risesd, average annual growth rate of 1.01%, with the highest level of efficiency in Heilongjiang(1.049) and the lowest in Jilin(0.897), and the eco-efficiency of cropland use in each city had spatial imbalance, presenting the overall trend of high in the northeast and low in the southwest. The overall Gini coefficient in the region was large, and the trend was roughly in wave type, hypervariable density was the main source of differences in

收稿日期:2024-08-28 **录用日期**:2024-10-09

作者简介:吴昕雨(1998—),女,山西晋中人,硕士研究生,研究方向为耕地利用与管理。E-mail:15935455860@163.com

*通信作者:崔佳 E-mail:ccc13936400919@163.com

基金项目:黑龙江省自然科学基金优青项目(YQ2021D009);哈尔滨师范大学科技创新攀登计划国家自然科学基金培育项目(XPPY202203);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目(2022-KYYWF-0160)

Project supported: Excellent Youth Project of the Natural Science Foundation of Heilongjiang Province(YQ2021D009); Science and Technology Innovation Climbing Project of Harbin Normal University(XPPY202203); Fundamental Research Fund for the Universities of Heilongjiang Province(2022-KYYWF-0160)

the ecological efficiency of cultivated land use in the region. The ecological efficiency of cultivated land use was the result of the joint action of multiple factors, and individual factors could not play a role in realizing the ecological efficiency of high cultivated land use. There were three models of multi-factor-driven model, natural-economic conditions dominant and agricultural production-economic conditions dominant models could be driven by the high cultivated land use eco-efficiency level, and the cities in cultivated land green development did not follow a consistent grouping path. The level of eco-efficiency of cultivated land use in the northeast region was generally high, and eco-efficiency of cultivated land use was driven by the synergy of multiple factors such as nature-economy-agricultural production. Local governments should focus on exerting the synergy of multiple factors, formulating differentiated policies and measures, comprehensively promoting the enhancement of the eco-efficiency of cultivated land use, and promoting the green transformation of cultivated land use.

Keywords: northeast China; eco-efficiency of cultivated land use (ECLU); regional difference; dynamic QCA

耕地是人类生存和发展的基本资源和物质保障，保持耕地可持续发展是保障粮食安全的基础。然而，在我国，耕地资源有限与土地利用粗放的矛盾日益凸显，我国以占世界9%的耕地，养育了世界近1/5的人口，面临着耕地利用高强度、温室气体高排放等突出问题[1]，严重制约耕地利用可持续发展。在农业绿色发展背景下，如何基于组态视角识别自然、农业生产和经济社会等多重因素的协同效应和互动机制，进而在实践中构建提高耕地利用生态效率的多元路径，对保障国家粮食安全、促进耕地绿色可持续发展具有重要参考价值。

生态效率自20世纪90年代被提出后，经过学者们一系列的丰富及深化，已应用至不同的研究领域，成为衡量某领域是否满足可持续发展的重要尺度。随着人地矛盾越来越突出，耕地利用生态效率（ECLU）逐渐成为学者关注的论题。ECLU是衡量耕地利用经济-社会-生态效益的重要指标，侧重耕地利用过程中一定资源要素的投入所能实现的社会经济产出最大化与环境污染最小化的程度[2]。学者们通常基于投入-产出思维建立指标体系，有些学者[3-4]选择农作物播种面积、农业机械总动力、化肥等作为投入指标，选用农业总产值、粮食总产量作为期望产出指标，还有学者[5-6]将耕地利用面源污染与碳排放一同纳入非期望产出指标。近年来学者们对ECLU的研究主要涉及效率测度[7-8]、时空格局[3]、收敛性[9-10]及影响因素[11-12]等方面，研究尺度主要以全国[3]、长江经济带[13-14]、黄河流域[4-5]、粮食主产区[2]为主，多采用DEA模型[3]、SBM-Undesirable模型[15]等对耕地利用效率进行综合测度。针对影响因素的讨论较为丰富，刘涛等[5]利用面板Tobit模型系统分析了2007—2020年黄河下游34个地市耕地绿色利用效率影响因素；汪亚琴等[12]利用地理探测器模型识别影响我国农业生态效率空间分异的主导因子及其交互作用；李红波等[16]利用模糊集定性比较分析方法（fsQCA）探究长江经济带ECLU影响因素组态。尽管如此，学者更多关注的是单个因素影响的“净效应”，忽视了耕地利用受资源、自然、经济社会等多元因素相互依赖协同的基本现实。

已有研究为本研究提供了有益参考，在指标选取上虽已考虑环境因素影响，但往往忽略了耕地的碳汇功能，相关研究表明耕地不仅是碳源，更是巨大碳汇[17]。鉴于此，本研究以东北地区为例，通过考虑非期望产出的超效率SBM模型和Dagum基尼系数，综合评价东北地区ECLU及区域差异；并利用动态QCA方法，从组态视角探索影响ECLU水平的组合因素，以期为东北地区耕地生态保护与高质量发展提供政策参考，从而推动耕地资源的可持续利用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东北地区主要包括黑龙江、吉林、辽宁，下辖共34个地级行政区，总面积约为78.73万km^2，地形主要为山地、平原，是全国重要的商品粮生产基地。2021年末东北地区耕地总面积为298 220 km^2，占全国耕地总面积约23.4%，粮食产量为14 205.23万t，占全国粮食总产量的20.7%，东北地区在全国粮食的生产和供给方面承担着重要角色。但随着经济发展，受长期过度开发利用、气候变化等多种因素的影响，东北地区的耕地出现了不同程度的退化问题，同时由于各省份间农业资源禀赋、耕地保护政策等存在差异，使得东北地区耕地绿色利用面临困境。

1.2 数据来源

考虑到数据的可获得性，本研究以2001—2021年东北地区34个地级市的面板数据为基础。原始数据来源于2002—2022年的《黑龙江统计年鉴》《吉林统计年鉴》《辽宁统计年鉴》《中国农村统计年鉴》以及

部分地级市社会统计公报，利用插值法或趋势推演法对部分缺失数据进行补充。

1.3 指标构建

1.3.1 投入产出指标构建

基于ECLU的内涵可知，耕地利用应当既能保证经济和社会效益，又要减少环境污染与资源浪费，耕地的利用是一项多投入、多产出的生产体系。本研究参考以往的研究成果[6]，并考虑东北地区地级市数据的可获得性，以投入、期望产出、非期望产出三个层面来构建ECLU评价体系，如表1所示。

期望产出中的生态产出以农业碳汇总量来表征，具体计算方式参考杨果等[18]的研究。非期望产出指标主要采用耕地利用碳排放量来表征，参考卢新海等[19]、李波等[20]的碳排放系数法，测算农业机械化、灌溉、翻耕以及化肥等使用过程中产生的碳排放量。

1.3.2 影响因素指标构建

耕地利用过程中人地关系的复杂性和动态性决定了ECLU受多种因素的影响。组态理论化的核心过程包括识别可能构成组态的引致条件、探究条件之间如何关联[21]。遵循这一过程，从自然环境条件、农业生产条件、经济社会条件3个维度选取指标，构建影响ECLU的理论模型框架（图1）。指标体系如表2所示。

表1 ECLU评价指标体系

Table 1 ECLU evaluation indicator system

指标类型 Indicator type	变量 Variable	变量说明 Variable description
投入指标	土地投入	农作物播种面积
	劳动力投入	第一产业从业人员
	化肥投入	化肥施用量（实物）
	机械投入	农业机械总动力
	灌溉投入	有效灌溉面积
期望产出	经济产出	农业总产值
	社会产出	粮食总产量
	生态产出	农业碳汇总量
非期望产出	碳排放产出	碳排放总量

1.4 研究方法

1.4.1 超效率SBM模型

生态效率测量方法主要包括DEA模型、随机前沿生产函数模型和生命周期评估等。但这些模型大多基于径向和角度测量，未能充分考虑松弛变量，而且在很大程度上忽略非期望产出对环境造成的负面影响。对此，Tone[22]提出了考虑非期望产出的超效率SBM模型，可以区分和比较有效决策单元（DMU），从

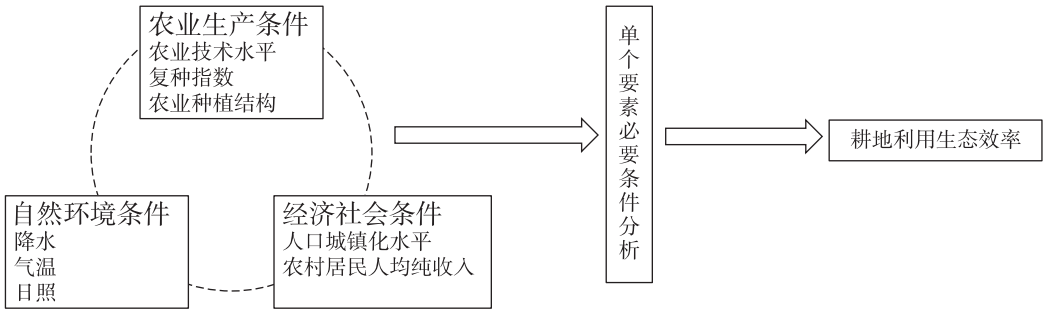

图1 理论分析框架

Figure 1 Theoretical analysis framework

表2 影响因素指标设计

Table 2 Design of influencing factors

变量类别 Variable type	变量 Variable	指标 Indicator	衡量方法 Method of measurement
结果变量	ECLU		利用超效率SBM模型测算
条件变量	自然环境条件	降水（X1）	年均降水量
		气温（X2）	年均气温
		日照（X3）	日照时长
	农业生产条件	农业技术水平（X4）	农业机械总动力/农作物播种面积
		复种指数（X5）	农作物播种面积/耕地面积
		农业种植结构（X6）	粮食作物播种面积/农作物播种总面积
	经济社会条件	人口城镇化水平（X7）	城镇人口/总人口
		农村居民人均纯收入（X8）	历年农村居民人均纯收入

而避免有效DMU信息的丢失。模型如下：

$$\rho^{*}=\min\frac{1+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^{-}}{x_{i0}}}{1-\frac{1}{s_1+s_2}\left(\sum_{r=1}^{s_1}\frac{s_r^{+}}{y_{r0}}+\sum_{w=1}^{s_2}\frac{s_w^{b-}}{z_{w0}}\right)} \tag{1}$$

$$s.t\begin{cases}\sum_{j=1,j\neq 0}^{n}x_{ij}\lambda_j-s_i^{-}\leqslant x_{i0},i=1,2,\cdots,m\\ \sum_{j=1,j\neq 0}^{n}y_{rj}\lambda_j+s_r^{+}\leqslant y_{r0},r=1,2,\cdots,s_1\\ \sum_{j=1,j\neq 0}^{n}z_{wj}\lambda_j-s_w^{b-}\leqslant z_{w0},w=1,2,\cdots,s_2\\ 1-\frac{1}{s_1+s_2}\left(\sum_{r=1}^{s_1}\frac{s_r^{+}}{y_{r0}}+\sum_{w=1}^{s_2}\frac{s_w^{b-}}{z_{w0}}\right)>0\\ \lambda,s^{-},s^{+},s^{b-}\geqslant 0\end{cases}$$

式中：ρ^{*}为每个单元的效率值；s_1和s_2分别为期望产出和非期望产出；s_i^{-}、s_r^{+}和s_w^{b-}分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量；m表示指标个数；x_{ij}、y_{rj}、z_{wj}分别表示决策单元j的第i项投入、第r项期望产出、第w项非期望产出；x_{i0}、y_{r0}和z_{w0}分别表示研究单元在某阶段的投入产出值；λ表示权重向量。

1.4.2 Dagum基尼系数

Dagum基尼系数将整体差异分解为组内差异、组间差异及组间超变密度三个部分[23]，弥补其他指数对不同地区间交叉重叠部分忽略的问题，从而实现对总体地区差距贡献的完整识别。本研究采用Dagum基尼系数及其分解方法分析东北地区ECLU空间差异构成和来源，具体计算公式如下：

$$G=\frac{\sum_{j=1}^{k}\sum_{h=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{hr}\right|}{2n^{2}\bar{y}} \tag{2}$$

式中：G为东北地区ECLU的总体基尼系数；k表示区域数量；n表示省份数量；$y_{ji}(y_{hr})$表示$j(h)$地区内省份$i(r)$的ECLU；$n_j(n_h)$表示区域$j(h)$内的省份数量；$\bar{y}$表示ECLU均值。G值越大，表示东北地区ECLU空间差距越大，此外，总体基尼系数G可以进一步分解成区域内差异贡献G_w、区域间差异贡献G_{nb}和超密度贡献G_t三部分，且$G=G_w+G_{nb}+G_t$，具体计算公式参见Dagum[23]的研究。

1.4.3 动态QCA

QCA是组态研究最为常用的方法，在解决复杂因果关系问题中具有独特的优势[24]。传统QCA囿于理论与分析工具，大多滞于截面数据，难以探究时间纵向的组态效应。因此，本研究利用R语言软件打破面板数据与QCA之间的壁垒，使用动态QCA方法来考察影响ECLU的多元组合路径。相比于传统QCA方法，动态QCA方法将从汇总结果、组间结果与组内结果三个维度对组态进行分析，并使用一致性调整距离刻画一致性在时间维度与案例维度上的变动程度[25]。

2　结果与分析

2.1　东北地区ECLU评价

2.1.1　ECLU时序演变特征

2001—2021年东北地区ECLU总体保持在较高水平（图2），年均0.991，2001—2010年表现为波动下降趋势，2011—2021年表现为波动上升趋势，年均增长率为1.01%。分区域看，研究区域ECLU水平表现为黑龙江（1.049）>辽宁（0.995）>吉林（0.897），黑龙江ECLU水平在0.874~1.287范围内波动，年均增长率为1.57%，吉林ECLU水平在0.814~1.033范围内波动，年均增长率为0.96%，辽宁ECLU水平在0.835~1.096范围内波动，年均增长率为0.53%。这表明东北地区ECLU总体水平较高，东北平原是世界三大黑土带之一，土质肥沃，为农作物生长提供良好的生长环境，且耕地种植

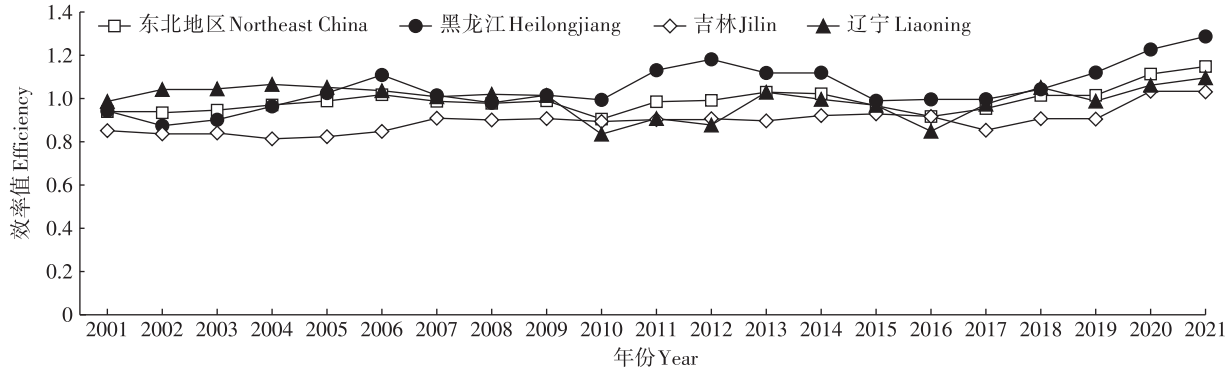

图2　2001—2021年东北地区ECLU时序特征

Figure 2　Temporal characteristics of ECLU in the northeast China from 2001 to 2021

结构不断优化，有助于ECLU的提高。

2.1.2 ECLU空间变化特征

为了直观地呈现2001—2021年东北地区ECLU的时空差异，本研究以5年为间隔期，选取2001、2006、2011、2016年和2021年作为调查年份，将ECLU均值分为4个等级：低效率[0，0.6）、中低效率[0.6，0.8）、中高效率[0.8，1）和高效率[1，∞）。

图3显示了东北地区34个地级市ECLU空间变化趋势。研究期间内，东北地区ECLU水平存在显著差异，呈现东北高、西南低的格局。具体而言，低效率

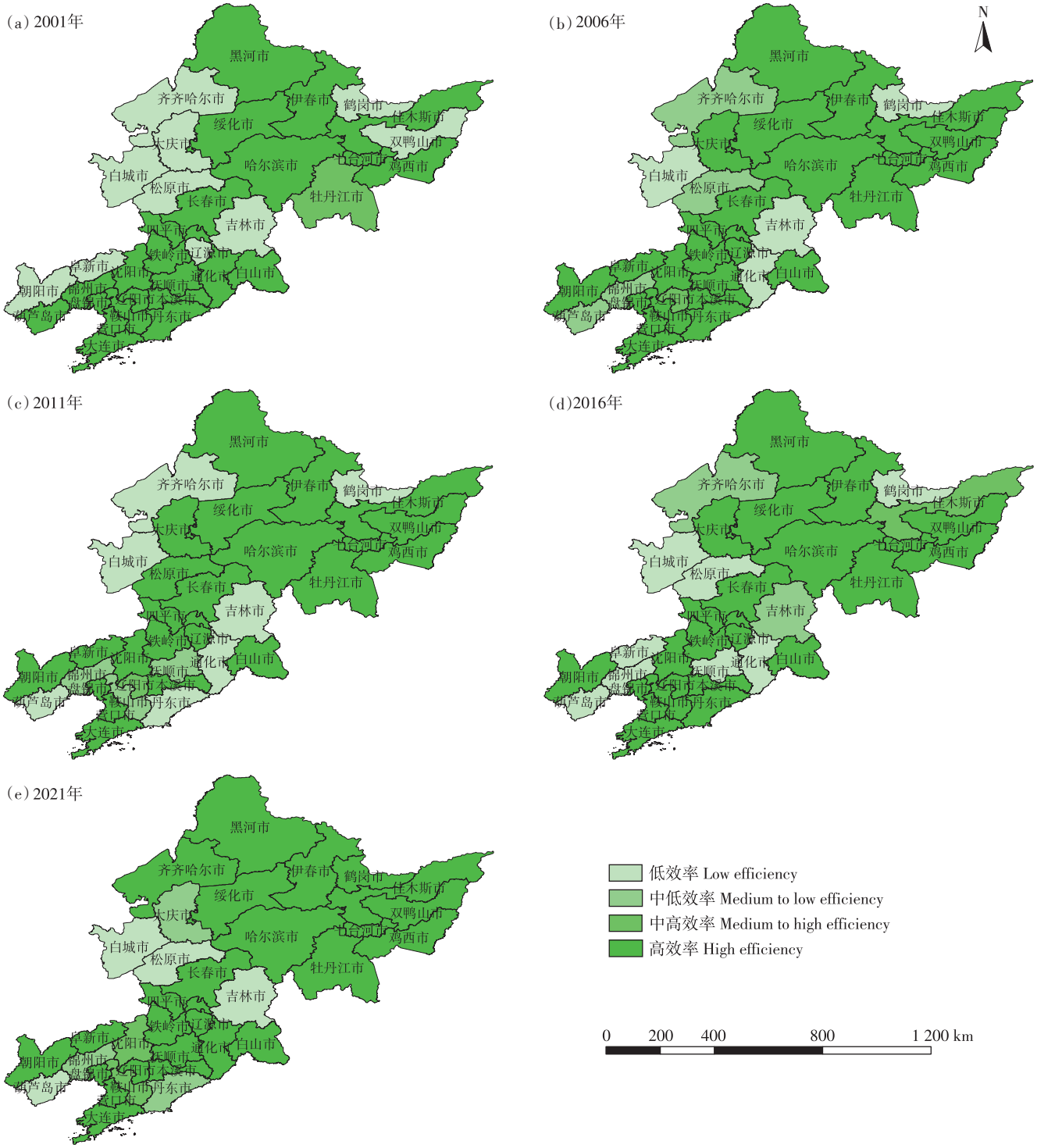

图3 2001—2021年东北地区ECLU空间格局

Figure 3 Spatial characteristics of ECLU in the northeast China from 2001 to 2021

城市由2001年的10个减少至2021年的4个，除葫芦岛市、锦州市、大庆市和白城市ECLU水平呈波动下降外，其余城市均呈上升趋势。值得注意的是白城市ECLU水平一直处于低效率，这是因为白城市地处苏打盐碱地典型分布区，土壤中盐分含量过高，抑制了植物的根系生长，进而影响农作物产量，降低ECLU。

2.1.3 东北地区ECLU区域差异与分解

为刻画2001—2021年东北地区ECLU区域差异及演变趋势，本研究采用Dagum基尼系数及其分解法测算其区域内、区域间及其主要来源分解状况。如表3所示，研究期内总体基尼系数较大，在2004年之前呈下降趋势，在2004年达到观测期内的首个峰值0.220，在2004年之后大致呈“W”形的变化趋势，在0.18附近波动，年均增幅仅为0.58%，变化幅度很小，主要由于东北黑土耕地质量等级较高，且资源利用较为充分。

从区域内基尼系数来看，黑龙江、吉林和辽宁的均值分别为0.175、0.238和0.125。由此可见，吉林ECLU的差异最大，超过东北地区总体基尼系数，黑龙江次之，辽宁最小。各省基尼系数变化趋势呈现出不同的特征。黑龙江基尼系数呈波动下降趋势，由2001年的0.215下降至2021年的0.199，降幅为7.44%，表明黑龙江ECLU差异有缩小趋势；吉林基尼系数大致呈“W”形变化趋势，整体下降18.57%；辽宁基尼系数整体变化较小，但大致呈波动上升趋势，2002年达到波谷0.070，波动变化至2021年的0.201，涨幅为187.14%，表明辽宁ECLU差异不断扩大。

从区域间基尼系数来看，区域间ECLU差距由大到小排序是黑龙江-吉林（0.208）、吉林-辽宁（0.175）、黑龙江-辽宁（0.156），整体呈波动态势。黑龙江-吉林ECLU存在较大差异，黑龙江-辽宁ECLU的差异相对较小。在观测期内，黑龙江-吉林的区域间差异基本呈平缓下降的态势，由2001年的0.244下降至2021年的0.221，而黑龙江-辽宁、吉林-辽宁的区域间差异波动形态几乎重合，呈现上升-下降-上升的变化趋势，变动较为强烈。

从各分解项对基尼系数的贡献率来看，超变密度是东北地区ECLU差异的主要来源，贡献率均值为

表3 东北地区ECLU区域差异来源

Table3 Sources of regional differences in ECLU in the northeast China

年份 Year	总体基尼系数 Overall Gini coefficient	区域内基尼系数 Intra-regional Gini coefficient			区域间基尼系数 Inter-regional Gini coefficient			贡献率 Contribution rate/%		
		黑龙江	吉林	辽宁	黑龙江-吉林	黑龙江-辽宁	吉林-辽宁	区域内差异	区域间差异	超变密度
2001	0.195	0.215	0.280	0.101	0.244	0.163	0.179	30.21	14.71	55.08
2002	0.193	0.253	0.232	0.070	0.248	0.177	0.141	28.17	26.32	45.51
2003	0.187	0.242	0.218	0.088	0.237	0.171	0.147	29.96	25.83	44.21
2004	0.220	0.223	0.262	0.171	0.244	0.200	0.213	32.58	24.20	43.22
2005	0.149	0.188	0.185	0.075	0.191	0.134	0.122	31.06	4.34	64.59
2006	0.151	0.140	0.235	0.083	0.190	0.116	0.149	29.32	32.88	37.80
2007	0.170	0.209	0.214	0.093	0.215	0.154	0.142	31.60	11.48	56.93
2008	0.159	0.188	0.207	0.093	0.199	0.141	0.140	31.68	15.32	53.00
2009	0.159	0.168	0.205	0.116	0.186	0.142	0.152	32.74	12.42	54.83
2010	0.200	0.168	0.207	0.203	0.187	0.196	0.208	33.07	20.38	46.55
2011	0.204	0.222	0.222	0.143	0.231	0.196	0.177	31.97	25.81	42.22
2012	0.216	0.174	0.283	0.166	0.232	0.189	0.216	30.09	32.60	37.30
2013	0.175	0.204	0.246	0.078	0.231	0.144	0.151	30.11	24.50	45.38
2014	0.191	0.196	0.259	0.121	0.231	0.161	0.182	31.21	21.31	47.48
2015	0.168	0.126	0.263	0.130	0.190	0.130	0.187	31.11	7.78	61.11
2016	0.220	0.119	0.276	0.250	0.193	0.194	0.267	32.17	17.25	50.58
2017	0.172	0.123	0.272	0.132	0.195	0.130	0.196	30.36	17.16	52.49
2018	0.137	0.082	0.256	0.082	0.170	0.083	0.164	27.36	20.56	52.09
2019	0.173	0.117	0.273	0.135	0.192	0.133	0.196	29.91	28.93	41.16
2020	0.129	0.122	0.172	0.091	0.148	0.112	0.125	31.27	28.45	40.29
2021	0.219	0.199	0.228	0.201	0.221	0.208	0.220	32.78	24.15	43.06
均值	0.180	0.175	0.238	0.125	0.208	0.156	0.175	30.89	20.78	48.33

48.33%；区域内差异次之（30.89%），区域间差异最小（20.78%）。不同的差异来源呈现了不同的变化趋势，区域内差异的贡献率呈现相对平稳的变化趋势，在27.36%~33.07%范围内浮动，区域间差异的贡献率呈现波动上升的趋势，超变密度的贡献率呈现波动下降的趋势。总体而言，东北地区ECLU总体差异主要由超变密度造成的，表明从区域内差异与区域间差异的交互作用出发制定相关政策更有利于实现东北地区耕地资源的可持续发展。

2.2 ECLU影响因素分析

2.2.1 变量校准

动态QCA校准旨在将平板面板数据按照已有理论与具体案例相结合，将原始数据转化为0~1的模糊集，以便R语言能精准识别数据特征。本研究借鉴已有研究[26]，对数据进行统一校准，采用直接校准法，将75%分位数、50%分位数和25%分位数分别设定为完全隶属、交叉点和完全不隶属三个锚定点。具体校准结果见表4。

表4 变量校准

Table 4 Variable calibration

变量 Variable		校准 Calibration		
		完全隶属	交叉点	完全不隶属
结果变量	Y	1.153	1.059	0.721
条件变量	X1	57.755	48.173	40.034
	X2	8.197	5.849	3.640
	X3	2 664.541	2 524.913	2 361.018
	X4	1.004	0.905	0.821
	X5	0.881	0.769	0.666
	X6	0.557	0.432	0.306
	X7	0.648	0.504	0.424
	X8	13 123	8 321.2	3 800

2.2.2 必要性分析

一致性系数大于0.9且覆盖度大于0.5是判断必要条件存在的通用标准[27]，且基于面板数据的动态QCA在进行必要性分析时还需要考虑一致性调整距离，当调整距离大于0.2时，需进一步分析可能存在的时间效应和地区效应。结果如表5所示。

由表5可知，除气温之外，其余7个变量组间一致性调整距离均大于0.2，需要进一步探究。本研究主要考虑“高条件与高结果”的组间一致性调整距离，分析结果如表6所示，除农村居民人均纯收入2014—2021年一致性大于0.9且覆盖度大于0.5，构成高ECLU的必要条件，其余变量虽然一致性系数大于0.9但覆盖度均未超过0.5，表明不构成必要条件。

本研究进一步分析东北地区34个城市组内一致

表5 必要条件分析

Table 5 Necessity condition analysis

条件变量 Conditional variable	高ECLU High ECLU				低ECLU Low ECLU			
	一致性	覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离	一致性	覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离
X1	0.578	0.614	0.344	0.450	0.533	0.498	0.319	0.554
~X1	0.527	0.562	0.393	0.511	0.587	0.550	0.319	0.548
X2	0.522	0.563	0.177	0.712	0.565	0.536	0.182	0.670
~X2	0.570	0.598	0.162	0.712	0.540	0.499	0.187	0.688
X3	0.546	0.574	0.481	0.420	0.584	0.540	0.353	0.469
~X3	0.563	0.606	0.476	0.432	0.539	0.511	0.427	0.505
X4	0.558	0.595	0.466	0.414	0.537	0.503	0.501	0.377
~X4	0.534	0.567	0.506	0.377	0.568	0.531	0.471	0.323
X5	0.602	0.633	0.290	0.463	0.509	0.472	0.383	0.481
~X5	0.498	0.535	0.368	0.517	0.604	0.572	0.329	0.390
X6	0.522	0.554	0.344	0.524	0.588	0.548	0.452	0.530
~X6	0.574	0.613	0.314	0.463	0.522	0.490	0.520	0.615
X7	0.592	0.631	0.201	0.639	0.495	0.465	0.290	0.645
~X7	0.498	0.529	0.270	0.682	0.607	0.567	0.255	0.578
X8	0.579	0.613	0.746	0.292	0.515	0.48	0.780	0.402
~X8	0.509	0.544	0.825	0.377	0.584	0.550	0.766	0.408

注：~表示集合运算非。

Note：~ denotes the set operation non.

性系数（限于篇幅，基于城市的组内一致性系数与组内覆盖度结果留存备索），发现4个条件变量在不同地区的必要性存在差异。降水是白山、本溪高ECLU的必要条件；农业种植结构是辽源、绥化等城市高ECLU的必要条件；农业技术水平是大连、营口高ECLU的必要条件；人口城镇化水平是鞍山、沈阳等城市高ECLU的必要条件。这表明降水、农业种植结构、农业技术水平和人口城镇化水平与ECLU水平的必要关系存在地区效应。

2.2.3 条件组态分析

组态分析是QCA方法的重要组成部分，旨在探究不同前因条件组合对结果变量的影响。判断标准为充分性的一致性水平不低于0.75[21]。根据本研究变量的特点，将一致性阈值设为0.8，频数阈值为2，PRI阈值为0.7[28]，最终涵盖559个案例。组态分析结果如表7所示。

（1）汇总结果

由表7可知，存在4个产生高ECLU的组态，且每个组态一致性均大于0.75，表明条件组态可以视为产生高ECLU的充分条件。根据核心条件可以概括为多因素驱动、自然-经济主导和农业生产-经济主导三种类型。

多因素驱动型对应组态1，自然环境、农业生产条件与经济发展条件呈现相对均衡的状态，以多维联动的形式产生组态效应，共同促进ECLU水平的提高。以日照时长、农业种植结构、人口城镇化水平和农村居民人均纯收入为主共同影响结果。典型案例有鸡西、大庆、盘锦、营口、辽源。例如盘锦以发展现代化大农业为主攻方向，统筹考虑高标准农田建设的土地、气象、资源等各方面因素，推行耕地保护网格化监管，ECLU不断提高。

自然-经济主导型对应组态2，表示在复种指数和农业技术水平核心缺失的情况下，降水和日照直接影响粮食作物的生长发育，通过人口城镇化水平的不断提高和农业种植结构的不断优化可以提高ECLU。典型案例有白山、七台河、鸡西、鹤岗、双鸭山、佳木斯、齐齐哈尔、黑河和伊春等。例如黑河市温度适中，光照充裕，为大豆生产提供良好的气候环境，成为我国最大的大豆生产地级市，近年来国家出台了一系列大豆支持政策，大豆单位面积产量不断提高，提高了

表6 调整距离大于0.2的组间数据

Table 6 Inter-group data with adjustment distance greater than 0.2

年份 Year	X1		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度
2001	0.531	0.595	0.870	0.503	0.677	0.517	0.536	0.560	0.287	0.724	0.449	0.666	0.046	0.887
2002	0.470	0.505	0.562	0.518	0.611	0.542	0.470	0.653	0.314	0.674	0.464	0.619	0.077	0.939
2003	0.678	0.716	0.190	0.460	0.677	0.471	0.526	0.561	0.349	0.705	0.472	0.638	0.052	0.917
2004	0.438	0.541	0.685	0.563	0.898	0.521	0.898	0.544	0.323	0.648	0.483	0.619	0.069	0.863
2005	0.717	0.730	0.381	0.612	0.891	0.615	0.878	0.658	0.365	0.682	0.468	0.675	0.081	0.957
2006	0.466	0.661	0.242	0.552	0.664	0.586	0.666	0.614	0.380	0.583	0.516	0.718	0.111	0.933
2007	0.467	0.602	0.547	0.560	0.741	0.612	0.692	0.647	0.384	0.559	0.501	0.649	0.170	0.881
2008	0.473	0.641	0.594	0.630	0.674	0.533	0.650	0.561	0.430	0.554	0.535	0.666	0.276	0.837
2009	0.583	0.611	0.597	0.601	0.684	0.597	0.703	0.597	0.473	0.623	0.562	0.741	0.363	0.881
2010	0.723	0.503	0.172	0.490	0.716	0.623	0.707	0.578	0.408	0.437	0.540	0.505	0.497	0.669
2011	0.249	0.435	0.724	0.569	0.826	0.522	0.719	0.552	0.423	0.441	0.554	0.580	0.693	0.634
2012	0.801	0.496	0.353	0.486	0.866	0.623	0.770	0.599	0.446	0.436	0.505	0.559	0.694	0.560
2013	0.825	0.638	0.348	0.676	0.709	0.668	0.646	0.619	0.603	0.604	0.539	0.667	0.896	0.644
2014	0.266	0.653	0.532	0.572	0.343	0.763	0.428	0.755	0.647	0.588	0.617	0.640	0.931	0.644
2015	0.455	0.676	0.312	0.524	0.400	0.682	0.435	0.691	0.712	0.548	0.686	0.613	0.944	0.581
2016	0.789	0.579	0.341	0.502	0.354	0.641	0.419	0.644	0.694	0.500	0.729	0.596	0.969	0.535
2017	0.242	0.619	0.576	0.525	0.227	0.696	0.433	0.781	0.701	0.490	0.710	0.595	0.972	0.543
2018	0.599	0.697	0.450	0.603	0.210	0.773	0.414	0.785	0.742	0.534	0.673	0.605	0.984	0.570
2019	0.728	0.660	0.910	0.651	0.237	0.740	0.567	0.726	0.634	0.524	0.725	0.679	0.993	0.567
2020	0.766	0.731	0.989	0.667	0.257	0.869	0.560	0.836	0.651	0.607	0.805	0.684	0.996	0.655
2021	0.788	0.606	0.965	0.572	0.175	0.719	0.371	0.745	0.841	0.561	0.782	0.603	0.998	0.572

表7 组态分析结果

Table 7 Configuration analysis results

条件变量 Conditional variable	高ECLU High ECLU				低ECLU Low ECLU			
	组态1	组态2	组态3	组态4	组态1	组态2	组态3	组态4
X1	⊗	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	●
X2	●	⊗	⊗	⊗	●		⊗	⊗
X3	●	●	●	⊗	●	●	●	⊗
X4		⊗	●	●	●	●	●	●
X5	●		●	●		●	⊗	●
X6	●	⊗	⊗	⊗	●	●	⊗	●
X7	●	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
X8	●	●	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗
一致性	0.893	0.908	0.922	0.864	0.852	0.844	0.850	0.844
PRI	0.782	0.841	0.822	0.767	0.734	0.710	0.760	0.708
覆盖度	0.173	0.159	0.038	0.155	0.091	0.081	0.062	0.058
唯一覆盖度	0.05	0.039	0.006	0.031	0.012	0.002	0.031	0.038
组间一致性调整距离	0.088	0.098	0.064	0.118	0.103	0.103	0.142	0.162
组内一致性调整距离	0.317	0.152	0.262	0.317	0.365	0.390	0.402	0.377
总体一致性	0.881				0.845			
总体PRI	0.801				0.752			
总体覆盖度	0.160				0.165			

注：● 和 ⊗ 表示核心条件存在和缺失；● 和 ⊗ 表示边缘条件存在和缺失；空白表示存在与缺失亦可。

Note: ● and ⊗ indicate existence and absence of core conditions; ● and ⊗ indicate the existence or absence of edge condition; blank indicates that conditions are optional.

农户种植大豆的积极性，实现了ECLU的不断提升。

农业生产-经济主导型对应组态3和组态4，表示在自然环境不利于农业生产的情况下，以高复种指数和高农村居民人均纯收入为核心条件，辅以合理的农业种植结构，能够促进ECLU水平的提升。该路径的典型案例主要出现在黑龙江，例如绥化市积极推进绿色生产模式，建设现代农业科技示范基地，提升粮食产能，让更多绥化优质农产品走出黑龙江、走向全国，农民经济效益不断提升，促进耕地利用经济与生态效益双提升。

整体来看，组态1的覆盖度最高，表明该组态在东北地区大部分城市提升ECLU具有广泛的适用性；而组态3的覆盖度最低，说明这种发展路径可能适合部分城市。4条组态路径的唯一覆盖度均不高，说明各城市实现ECLU高水平发展的路径依赖性不强。

(2)组间结果

由表7可以看出，4个组态的调整后组间一致性距离都小于0.2，说明不存在显著的时间效应。图4展示了组态在时间维度上的变化趋势，弥补了过往截面组态在时间纵轴上的不足，2001—2021年间，4个组态的一致性水平均在0.8上下波动，表明4个组态2001—2021年具有较好的解释力度。

(3)组内结果

由表7可以看出，除组态2之外其余三条组态调整后组内一致性距离都大于0.2，表明各组态的解释力度在各省存在明显差异，进一步对组内覆盖率差异进行综合考察，可以反映每个组态所解释的地区分布情况，如表8所示。

由表8可以看出，组态1、组态3与组态4对吉林的解释力更强，吉林地处温带半湿润区，气候资源相对优越，使农作物生产力较高，辅以城镇化进程的不断推进，从而有较高的ECLU。组态2对黑龙江解释力更强，黑龙江作为我国第一产粮大省，在高强度农业机械化使用造成农业面源污染的问题下，大力发展智慧农业，不断普及绿色理念，注重化肥农药的合理使用，有效促进ECLU的提高。

(4)非高ECLU组态分析

考虑到QCA方法的因果非对称性，本研究还对低ECLU组态进行检验，共有4条组态路径，如表7所示。经济社会条件在4个组态路径中均为缺失状态，

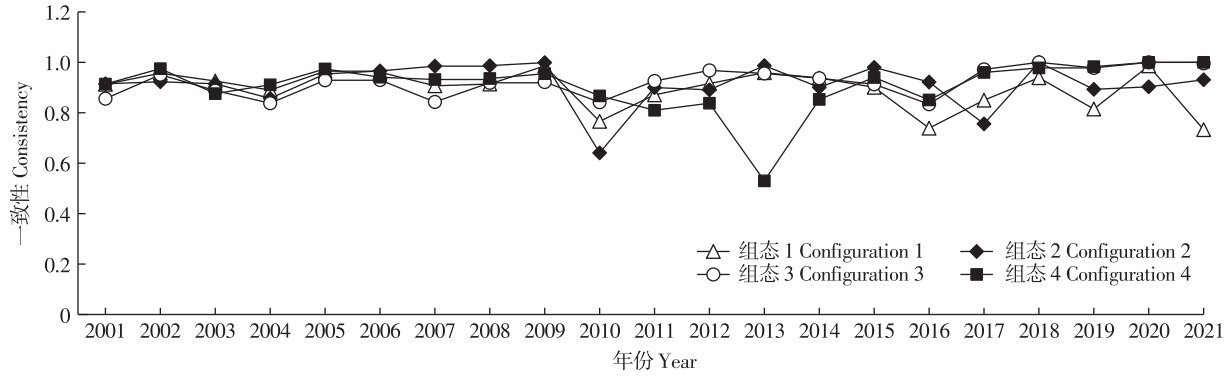

图4 组间一致性变化图

Figure 4 Plot of change in consistency between groups

表8 地区组态覆盖度均值

Table 8 Mean value of area grouping coverage

解 Solution	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning
组态1	0.043	0.219	0.114
组态2	0.142	0.140	0.026
组态3	0.074	0.146	0.020
组态4	0.092	0.178	0.022

说明城镇人口的非农迁移与农村居民低收入水平会对ECLU水平产生抑制作用。组态1与组态2较为相似，表明在城市化水平和农村居民人均收入水平较低、但农业技术水平较高的情况下，很难提高粮食产量，进而影响ECLU的提高。

比较产生高低ECLU的组态发现，实现高ECLU与低ECLU的前因条件具有非对称性，并不能根据高ECLU路径的对立面直接推导低ECLU路径。另外，对比高低效率组态路径可以发现，日照时长、复种指数、人口城镇化水平和农村居民人均纯收入对ECLU有普遍影响。

（5）稳健性检验

主要遵循“当轻调QCA操作后其结果不发生实质性改变则可认为结果稳健”的建议开展检验。本研究通过提高一致性阈值（从0.80调整为0.85）、提高案例频数（从2调整为5）、提高PRI阈值（从0.70调整为0.75）三种方式进行稳健性检验[29]，发现组态路径并未发生实质性改变，与原组态存在清晰的子集关系，可以认为结果稳健。

3 讨论

3.1 实践启示

（1）在多因素驱动模型所能解释的城市，要注重措施的整体谋划，要在巩固区域农业生产条件和耕地资源禀赋优势的基础上，进一步探索耕地集约节约利用新路径，借助区域、科技、人才等优势，打造数据智能平台，推动智慧农业的发展，从而实现耕地利用的提质增效。

（2）在自然-经济条件主导这一模型所能解释的城市，要充分利用自然资源环境，以市场为导向，发挥优势特色产业，应用先进的科技手段积极引导农民优化调整种植结构，适当增加经济作物面积，加快转变农业生产方式，不断促进农民致富增收，进一步提升耕地利用效率。

（3）在农业生产-经济条件主导这一模型所能解释的城市，在耕地利用的过程中，要抓住城镇化和农业现代化带来的机遇，积极推进城乡融合发展，同时注重培养低碳农业意识，尽量减少农业机械过度使用所增加的碳排放和农业面源污染，促进耕地利用低碳化发展。

3.2 不足与展望

本研究以地级市为研究单元，将农业碳汇总量作为期望产出对2001—2021年东北地区ECLU水平及区域差异进行研究，兼顾了多种因素协同效应对ECLU水平的影响，弥补了以往对耕地利用复杂因果关系讨论不足的问题，具有较强的理论及实践意义。但仍有一定局限性：①本研究主要以东北地区34个城市2001—2021年面板数据为研究对象，后续研究可扩大样本量，考虑与其他粮食产区进行对比分析，以深化对提高ECLU的路径探索；②本研究主要从自然环境、农业生产和经济社会三个维度选取变量作为驱动因素，未考虑其他方面影响ECLU的因素，后续可以尝试纳入其他变量，充分揭示ECLU的影响因素。

4 结论

（1）2001—2021年东北地区耕地利用生态效率波动上升，黑龙江>辽宁>吉林；东北地区各地市耕地利用生态效率存在空间非均衡性，呈现东北高、西南低的整体态势。

（2）2001—2021年东北地区总体基尼系数整体较大，且大致呈波浪型的变化趋势，区域内黑龙江耕地利用生态效率基尼系数呈波动下降趋势、吉林耕地利用生态效率基尼系数大致呈“W”形变化趋势、辽宁耕地利用生态效率基尼系数整体较小但大致呈波动上升趋势，总体差异的主要来源是超变密度 。

（3）从面板数据的组态分析来看，耕地利用生态效率是多种条件协同作用的结果，在条件组合的充分性分析中发现共有4条组态路径，可提炼为3种模型，分别为多因素驱动型、自然-经济条件主导型和农业生产-经济条件主导型。4条组态不存在时间效应但存在明显的地区效应，各城市实现耕地利用生态效率高水平发展的路径依赖性不强。

参考文献：

[1] 彭俊杰. 新型城镇化进程中保障粮食安全的现实困境与协调路径[J]. 创新科技, 2019, 19(10): 62-69. PENG J J. The realistic dilemma and coordination path of guaranteeing food security in the process of new-type urbanization[J]. *Innovation Science and Technology*, 2019, 19(10): 62-69.

[2] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率区域差异与空间收敛[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 477-493. LIU M B, ZHANG A L, WEN G H. Regional differences and spatial convergence in the ecological efficiency of cultivated land use in the main grain producing areas in the Yangtze region[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(2): 477-493.

[3] KUANG B, LU X H, ZHOU M, et al. Provincial cultivated land use efficiency in China: empirical analysis based on the SBM-DEA model with carbon emissions considered[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 151: 119874.

[4] ZHOU X, WU D, LI J F, et al. Cultivated land use efficiency and its driving factors in the Yellow River basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 144: 109411.

[5] 刘涛, 尚晓菲, 苏原原, 等. “双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 291-299. LIU T, SHANG X F, SU Y Y, et al. Green utilization efficiency, convergence, and influencing factors of cultivated land in lower Yellow River under “double carbon” target[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(1): 291-299.

[6] FENG L, LEI G P, NIE Y. Exploring the eco-efficiency of cultivated land utilization and its influencing factors in black soil region of northeast China under the goal of reducing non-point pollution and net carbon emission[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2023, 82(4): 94.

[7] 吴昊玥, 孟越, 黄瀚蛟, 等. 中国耕地低碳利用绩效测算与时空分异[J]. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1148-1163. WU H Y, MENG Y, HUANG H J, et al. Estimation and spatio-temporal divergence of the low-carbon performance of cropland use in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(5): 1148-1163.

[8] YIN Y Q, HOU X H, LIU J M, et al. Detection and attribution of changes in cultivated land use ecological efficiency: a case study on Yangtze River Economic Belt, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 137: 108753.

[9] QIU G J, XING X N, CONG G Q, et al. Measuring the cultivated land use efficiency in China: a super efficiency MinDS model approach[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 20(1): 583.

[10] LV T G, FU S F, ZHANG X M, et al. Spatiotemporal evolution and convergence of agricultural eco-efficiency in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2023, 131: 103438.

[11] KE N, ZHANG X P, LU X H, et al. Regional disparities and influencing factors of eco-efficiency of arable land utilization in China[J]. *Land*, 2022, 11(2): 257.

[12] 汪亚琴, 姚顺波, 侯孟阳, 等. 基于地理探测器的中国农业生态效率时空分异及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2021, 32(11): 4039-4049. WANG Y Q, YAO S B, HOU M Y, et al. Spatial-temporal differentiation and its influencing factors of agricultural eco-efficiency in China based on geographic detector[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(11): 4039-4049.

[13] KE X L, ZHANG Y, ZHOU T. Spatio-temporal characteristics and typical patterns of eco-efficiency of cultivated land use in the Yangtze River Economic Belt, China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2023, 33(2): 357-372.

[14] 范正根, 邓超, 范雨琪, 等. “双碳”目标视角下耕地利用生态效率测度及其时空特征：以长江中下游粮食主产区为例[J]. 生态经济, 2023, 39(11): 119-127. FAN Z G, DENG C, FAN Y Q, et al. Measurement of eco-efficiency for cultivated land use and its spatial-temporal characteristics from the perspective of “double carbon” target: taking the main grain producing areas in the mid and lower reaches of the Yangtze River as an example[J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(11): 119-127.

[15] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素：基于180个地级市的实证研究[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 608-619. ZHANG L X, ZHU D L, XIE B P, et al. Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 608-619.

[16] 李红波, 杨和平, 王韬, 等. 长江经济带耕地利用生态效率时空分异及组态路径研究[J]. 中国土地科学, 2024, 38(1): 114-124. LI H B, YANG H P, WANG T, et al. Spatial-temporal differentiation of ecological efficiency of cultivated land use and its configuration paths in the Yangtze River Economic Belt[J]. *China Land Science*, 2024, 38

(1)：114-124.

[17] 陈丽，郝晋珉，王峰，等. 基于碳循环的黄淮海平原耕地固碳功能研究[J]. 资源科学，2016，38(6)：1039-1053. CHEN L，HAO J M，WANG F，et al. Carbon sequestration function of cultivated land use system based on the carbon cycle for the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Resources Science*，2016，38(6)：1039-1053.

[18] 杨果，陈瑶. 中国农业源碳汇估算及其与农业经济发展的耦合分析[J]. 中国人口·资源与环境，2016，26(12)：171-176. YANG G，CHEN Y. China′s agriculture carbon sink estimation and its coupling analysis with agricultural economy development[J]. *China Population，Resources and Environment*，2016，26(12)：171-176.

[19] 卢新海，匡兵，李菁. 碳排放约束下耕地利用效率的区域差异及其影响因素[J]. 自然资源学报，2018，33(4)：657-668. LU X H，KUANG B，LI J. Regional differences and its influencing factors of cultivated land use efficiency under carbon emission constraint[J]. *Journal of Natural Resources*，2018，33(4)：657-668.

[20] 李波，张俊飚. 基于我国农地利用方式变化的碳效应特征与空间差异研究[J]. 经济地理，2012，32(7)：135-140. LI B，ZHANG J B. Study on carbon effects and spatial differences based on changes in China′s agricultural land use[J]. *Economic Geography*，2012，32(7)：135-140.

[21] 陈丹玲，卢新海，张超正，等. 组态视角下协同创新驱动城市土地绿色利用效率提升的路径选择[J]. 中国人口·资源与环境，2022，32(10)：103-111. CHEN D L，LU X H，ZHANG C Z，et al. Path selection of improving urban land green use efficiency driven by collaborative innovation from the perspective of configuration[J]. *China Population，Resources and Environment*，2022，32(10)：103-111.

[22] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*，2002，143(1)：32-41.

[23] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. *Empirical Economics*，1997，22(4)：515-531.

[24] 谢文栋，王峰. 多重制度压力如何影响地方政府环境治理绩效：基于地级市面板数据的动态QCA分析[J]. 中国行政管理，2024(1)：28-42. XIE W D，WANG F. A configurational exploration of how institutional pressures affect local governments′ environmental governance performance：a longtitudinal QCA on prefecture-level cities[J]. *Chinese Public Administration*，2024(1)：28-42.

[25] 张放. 影响地方政府信息公开的因素：基于省域面板数据的动态QCA分析[J]. 情报杂志，2023，42(1)：133-141. ZHANG F. Determinants of local governments′ information disclosure：a dynamic QCA analysis based on provincial panel data[J]. *Journal of Intelligence*，2023，42(1)：133-141.

[26] 方芳，张立杰，赵军. 制度组态视角下提升农业绿色全要素生产率的多元路径探析：基于动态QCA的面板数据分析[J]. 中国农村经济，2024(2)：44-66. FANG F，ZHANG L J，ZHAO J. Multiple paths of agricultural green total factor productivity improvement from the perspective of institutional grouping：a panel data analysis based on dynamic QCA[J]. *Chinese Rural Economy*，2024(2)：44-66.

[27] SCHNEIDER C Q，WAGEMANN C. Set-theoretic methods for the social sciences：a guide to qualitative comparative analysis[M]. Cambridge：Cambridge University Press，2012.

[28] 杜运周，贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA)：管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界，2017，33(6)：155-167. DU Y Z，JIA L D. Group perspective and qualitative comparative analysis(QCA)：a new path for management research[J]. *Journal of Management World*，2017，33(6)：155-167.

[29] 戴万亮，林小燕. 什么样的环境要素组合有利于实现高区域创新效率：基于WSR方法论[J]. 科技进步与对策，2024，41(23)：52-62. DAI W L，LIN X Y. What combination of environmental factors favors achieving high regional innovation efficiency：an exploration based on the Wuli-Shili-Renli systems approach[J]. *Science & Technology Progress and Policy*，2024，41(23)：52-62.