

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.02.028

王笑丛, 刘成龙, 张健勋. 我国绿色储粮技术应用供需耦合协调的时空演化分析[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(2): 214-219.

WANG X C, LIU C L, ZHANG J X, et al. The spatio-temporal evolution analysis of coupling coordination between supply and demand in application of green grain storage technologies[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(2): 214-219.

我国绿色储粮技术应用供需耦合协调的时空演化分析

王笑丛¹, 刘成龙²✉, 张健勋¹

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食产业技术经济研究所, 北京 100037;
2. 北京国贸东孚工程科技有限公司, 北京 100037)

摘要: 作为保障粮食质量安全的重要手段, 绿色储粮技术正在被大力推广, 评估我国绿色储粮技术应用供给与需求是否协调发展具有重要现实意义。运用耦合协调模型、重心坐标法、灰色关联度模型等方法, 分析了我国31个省份绿色储粮技术应用供需耦合协调的时空特征及其演变规律。研究表明, 我国绿色储粮技术应用水平呈现逐年递增的态势。主产区应用水平最高, 主销区应用水平增长最快, 产销平衡区绿色储粮技术应用水平较为薄弱。东北部和东部地区的应用水平明显高于中部和西部地区。绿色储粮技术应用供需耦合协调水平变化呈优化趋势, 但仍有较大的提升空间。耦合协调度重心向东偏南方向迁移, 与之关系较为密切的因素是基础设施建设投资、科技支撑和粮食企业平均利润。

关键词: 绿色储粮技术; 供需关系; 耦合协调; 时空演变

中图分类号: F320.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)02-0214-06

网络首发时间: 2025-02-13 10:25:22

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250212.1812.011>

The Spatio-temporal Evolution Analysis of Coupling Coordination between Supply and Demand in Application of Green Grain Storage Technologies

WANG Xiao-cong¹, LIU Cheng-long²✉, ZHANG Jian-xun¹

(1. Institute of Grain Industry Technology and Economy, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 2. Beijing Guomao Dongfu Engineering Technology Co. Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: As an important technical approach to ensuring food quality and safety, China is actively promoting the adoption of green grain storage technology. It is of great practical significance to evaluate whether the supply and demand of green grain storage technology are coordinated. Using the coupling coordination model, barycentric coordinate method and grey relational degree model, this paper reveals the spatio-temporal characteristics and evolutionary patterns of coupling coordination between supply and

收稿日期: 2024-10-30; 修回日期: 2024-12-01; 录用日期: 2024-12-02

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“国有粮食企业政策性业务和经营性经营分开的现状、问题和对策”(JY2410)

Supported by: Fundamental Research Funds of the Central Institutes “Current Situation, Problems and Countermeasures of Separating Policy-oriented and Profit-oriented Business in State-owned Grain Enterprises” (No. JY2410)

第一作者: 王笑丛, 女, 1989年出生, 博士, 助理研究员, 研究方向为粮食安全保障战略与产业经济, E-mail: wxc@ags.ac.cn

通信作者: 刘成龙, 男, 1989年出生, 硕士, 研究方向为工程咨询、规划和粮食仓储物流, E-mail: 564032885@qq.com

demand for green grain storage technology across 31 provinces in China. The research shows that the application level of green grain storage technology is increasing year by year. The main grain-producing areas exhibit the highest application levels, the main marketing areas demonstrate the fastest growth, and the application level in the production - marketing balance regions remains relatively weak. The northeastern and eastern regions outperform the central and western regions in terms of application levels. The change of the coupling coordination level between supply and demand in the application of green grain storage technology is trending toward optimization. No province has yet achieved a highly coupled stage, and nearly half of the provinces are in the running-in stage, leaving significant room for improvement. The center of gravity for the coupling coordination degree shifted towards east and south, driven primarily by factors such as infrastructure investment, scientific and technological support, and the average profit of grain enterprises.

Key words: green grain storage technologies; demand and supply; coupling coordination; spatio-temporal migration

当前粮食储藏安全正在从数量安全向数量安全、质量安全、生态安全并重转变,对粮食仓储技术提出了更高要求。绿色储粮技术具有提高储存环节粮食品质、减少损耗、节能减排等作用,是保障库存粮食数量、质量安全的关键点,已经成为推动粮食仓储高质量发展的重要抓手。近年来,国家发改委印发《粮食等重要农产品仓储物流设施建设中央预算内投资专项管理办法》及国家粮食和物资储备局发布《优质粮食工程“六大提升行动”方案》等文件明确制定了绿色储粮等重点政策支持方向,各地紧扣绿色、生态、环保、节能要求,大力开展粮食绿色仓储提升行动^[1],推广应用控温、气调等技术,我国绿色储粮技术应用取得良好成效。为进一步加快技术推广应用,绿色储粮技术应用已被列入各省级耕地保护和粮食安全责任制考核之中^[2],加强了绿色储粮技术应用的机制保障。在此背景下,评估我国绿色储粮技术应用供需匹配关系具有重要的现实意义。

近年来,学者们对绿色储粮技术的类型及使用效果进行了大量研究。左祥莉等^[3]介绍了新型控温技术和新型防虫杀虫技术及其应用效果。陈桂香等^[4]研究发现国内研究更加关注粮食品质变化,侧重储粮害虫、机械通风技术,国外更加关注对虫害霉菌防治技术的研究。然而,这些文献聚焦于具体的技术,对储粮技术的统计分析较少,近期仅韩建军等^[5]评估了我国粮食仓储设施建设与经济发展之间的耦合协调关系,关于绿色储粮技术应用情况评估的研究更是少之又少。绿色储粮技术是当前粮食仓储设

施建设的重要抓手,评估我国绿色储粮技术应用供需匹配情况,可以为绿色储粮技术协调发展提供科学支撑,具有一定的现实意义。基于此,本文采用熵权系数法、耦合协调模型、重心迁移模型、灰色关联度分析等方法,分析绿色储粮技术应用供需耦合协调的时空特征及二者间的耦合关系,并提出绿色储粮技术推广的针对性建议,以期推动粮食仓储设施建设绿色转型和协同动态发展。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究方法

1.1.1 熵权系数法

熵权系数法是一种常见的客观赋权法,在一定程度上可以避免赋权的主观性。运用熵权系数法测算各省份的绿色储粮技术应用供应和需求的综合评价指数得分^[5]。

1.1.2 耦合协调模型

采用耦合协调度反映绿色储粮技术应用供需系统的协调发展水平。耦合协调度大小范围为 $[0,1]$,值越大越协调,可分为4个阶段、10个等级^[6](如表1所示)。

1.1.3 空间自相关法

运用全局莫兰指数(Moran's I 指数)衡量绿色储粮技术应用供需耦合协调度是否有集聚关系^[5],当 $I > 0$,表示存在空间集聚现象;当 $I < 0$,表示存在空间分散现象;当 $I = 0$,表示空间分布相互独立。运用局部莫兰指数衡量局部空间集聚形式,包括本区域和相邻区域耦合协调度均较高(高-高型集聚);本区域和相邻区域耦合协调度均较低

(低-低型集聚); 本区域耦合协调度高, 相邻区域耦合协调度低(高-低型集聚); 本区域耦合协

调度较低, 相邻区域耦合协调度较高(低-高型集聚)。

表 1 耦合协调度分类标准及阶段特征

Table 1 Classification standard and stage characteristics of coupling coordination degree

耦合度 C	等级	耦合协调度	协调水平	耦合度 C	等级	耦合协调度	协调水平
低度耦合	1 级	[0.00,0.09]	极度失调	磨合阶段	6 级	[0.50,0.59]	勉强协调
	2 级	[0.10,0.19]	严重失调		7 级	[0.60,0.69]	初级协调
	3 级	[0.20,0.29]	中度失调		8 级	[0.70,0.79]	中级协调
拮抗阶段	4 级	[0.30,0.39]	轻度失调	高度耦合	9 级	[0.80,0.89]	良好协调
	5 级	[0.40,0.49]	濒临失调		10 级	[0.90,1.00]	优质协调

1.1.4 重心迁移及标准差椭圆模型

运用重心迁移模型反映绿色储粮技术应用供需系统的空间变化过程^[5], 运用标准差椭圆模型识别重心的位置迁移方向等。

1.1.5 灰色关联度分析

采用灰色关联度模型对绿色储粮技术应用的影响因素进行分析^[6]。

1.2 指标构建

我国绿色储粮技术应用需求主要受到粮食生产端、粮食加工端、粮食消费端的影响, 本文采

用粮食产量、粮食加工量、常住人口数据作为我国绿色储粮技术应用需求指标。绿色储粮技术主要围绕气调储粮、低温储粮。气调储粮可通过抑制粮食呼吸、破坏害虫的生存环境实现杀虫抑霉、延缓粮食品质老化。低温储粮技术通过控制温度和湿度, 提升仓房防潮隔热性能和气密性。本文采用实现气调储粮仓容、实现低温准低温储粮仓容作为我国绿色储粮技术应用供给指标。由此, 建立绿色储粮技术应用供需评价指标体系(如表 2 所示)。

表 2 绿色储粮技术应用供需评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of the supply and demand of green grain storage technology

一级指标	二级指标	单位	数据来源	权重
绿色储粮技术应用需求	粮食产量	万 t	中国统计年鉴	0.347
	粮食加工量	万 t	粮食行业统计资料	0.436
	粮食需求量/人口数量	万人	中国统计年鉴	0.218
绿色储粮技术应用供给	实现气调储粮仓容	万 t	粮食行业统计资料	0.596
	实现低温准低温储粮仓容	万 t	粮食行业统计资料	0.404

1.3 数据来源及说明

本文选取 2017—2021 年我国 31 个省份的绿色储粮技术应用仓容作为研究对象, 分析绿色储粮技术仓容耦合供需状况。其中, 粮食产量数据、人口数据来源于《中国统计年鉴》, 粮食加工量、绿色储粮技术仓容规模数据来源于《粮食行业统计资料》。通过 ArcGIS10.6 软件从行政区数据中提取各个省份的几何重心, 测算各个省份的绿色储粮技术仓容需求重心、供给重心和供需耦合状况。根据粮食生产资源禀赋将我国分为主产区、产销平衡区、主销区, 根据国家统计局划分的经济地带将我国分为东北部、东部、中部、西部,

对比分析绿色储粮技术应用区域差异。

2 结果与分析

2.1 绿色储粮技术应用描述性统计

绿色储粮技术应用数据的描述性统计如表 3 所示。结果显示, 2017—2021 年期间, 两种绿色储粮技术应用仓容的均值均在增加, 说明绿色储粮技术应用水平不断提升; 两种绿色储粮技术应用仓容技术应用的标准差和最大值和最小值的差值也在不断增大, 说明技术应用水平存在较大差异, 且区域差距在不断增大。基于此, 分析技术应用具体区域差距具有一定研究意义。

表 3 绿色储粮技术应用描述性统计
Table 3 Descriptive statistics of green grain storage technology application

年份	实现气调储粮仓容				实现低温准低温储粮仓容			
	均值	标准差	最小值	最大值	均值	标准差	最小值	最大值
2017	101.48	102.36	1	381	364.65	338.04	5	1 652
2018	117.13	120.02	1	465	411.94	388.97	3	1 845
2019	128.23	140.35	0	584	442.74	402.96	4	1 914
2020	133.97	155.82	1	662	478.77	433.36	5	2 099
2021	143.23	166.08	0	692	516.55	453.25	5	2 176

2.2 绿色储粮技术应用供给综合评价分析

绿色储粮技术应用供给综合评价值计算结果如图 1 所示。2017—2021 年我国绿色储粮技术应用水平呈现逐年递增的态势。为了探究绿色储粮技术应用水平的区域差异及空间分布特征，对产销区和各经济地带进行分析。

从产销区来看，我国主产区绿色储粮技术应用水平呈现逐渐递增的态势，且整体高于主销区和产销平衡区。我国主销区综合评价值增长幅度最大，从 2017 年的 0.166 提高至 2021 年的 0.294，甚至在 2021 年综合评价值略高于主产区。产销平衡区综合评价值明显低于主产区和主销区，且增速较小，应加强绿色储粮技术的应用和推广。

从经济地带来看，我国东北部和东部地区的综合评价值明显高于中部和西部地区，东北部地区在 2018 年综合评价值有明显提升，东部地区综合评价值在 2019 年之后超过东北部地区，差距在不断拉大。中部地区的综合评价值明显高于西部地区，且呈现小幅递增态势。西部地区的综合评价值最小，且增长不明显。

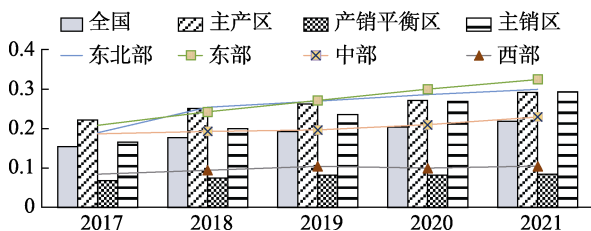


图 1 2017—2021 年绿色储粮技术应用供给综合评分
Fig.1 Comprehensive score of green grain storage technology application from 2017 to 2021

2.3 耦合协调度分析

我国绿色储粮技术应用供需耦合协调水平变化呈优化趋势，但优化幅度有限，转变主要集中在

在勉强协调等级和轻度失调等级，供需耦合协调水平仍有较大的提升空间。

尚没有省份的耦合协调度处于高度耦合阶段。2017 年 10 个省份处于磨合阶段，到 2021 年处于磨合阶段的省份增至 15 个省份，增幅较大。与 2017 年相比，中级协调省份增加 1 个，初级协调省份增加 1 个，勉强协调省份增加 3 个。

处于拮抗阶段的省份由 2017 年 10 个省份减少到 2021 年 8 个省份。与 2017 年相比，濒临失调省份减少 6 个，轻度失调省份增加 4 个，转变幅度较大。

处于低度耦合水平的省份由 2017 年 11 个省份减少到 2021 年 8 个省份。与 2017 年相比，中级失调省份减少 2 个，严重失调省份减少 1 个。

2.4 耦合协调度的空间关联性分析

本文运用 ArcGis10.6 空间统计分析模块计算了全局自相关检验值 (Moran's *I* 指数) (如表 3 所示)，2017—2021 年 Moran's *I* 指数均大于 0，*P* 值均小于 0.05，*Z* 值均大于 1.96，通过了显著性检验，表明绿色储粮技术应用供需耦合协调度的空间分布具有正向相关性，存在集聚效应。

表 4 绿色储粮技术应用供需全局 Moran's *I* 指数
Table 4 Global Moran's *I* index of green grain storage technology application

变量	2017	2018	2019	2020	2021
Moran's <i>I</i>	0.192	0.188	0.183	0.191	0.200
<i>Z</i>	2.412	2.376	2.325	2.408	2.508
<i>P</i>	0.016	0.017	0.02	0.016	0.012

采用局部 Moran's *I* 指数探究相邻城市局部空间集聚程度，局部空间集聚分布格局较为稳定，仅有局部地区发生小范围变化。高-高型集聚区主要集中在东北部地区，江苏、浙江、福建、山东

等东部地区和安徽、江西、湖北、湖南等中部地区。低-低型集聚区主要集中在北京、天津等东部地区和云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等西部地区，区域差异较为显著。高-低型集聚区主要集中在山西、上海、海南、重庆、贵州。低-高型集聚区主要集中在河北、广东、广西、四川。

2.5 耦合协调度的重心迁移分析

根据重心迁移模型测算出 2017 年到 2021 年绿色储粮技术应用供需耦合协调度重心迁移结果如表 4 所示。耦合协调度重心向东偏南方向迁移，由 2017 年位于东经 113.858°E、北纬 33.566°N 移动到 2021 年的东经 114.006°E、北纬 33.461°N，向东迁移 0.148°，向南迁移 0.105°。探究其原因，可能是东北部地区作为我国重要产粮区，加大了粮食仓储设施的建设。同时，经济发展较好的东南沿海城区加大了资金投入，绿色储粮技术应用水平明显提升。

从椭圆的分布范围上看，2017—2021 年，其

X 轴标准差增加 1.25%，Y 轴标准差减少 0.3%，标准差椭圆面积增大了 1%，表明耦合协调度在东西方向上扩张、南北方向上收缩，呈现向东北方向迁移态势。

2.6 耦合协调度影响因素分析

采用灰色关联度分析绿色储粮技术应用供需耦合协调度的影响因素及其关联度的强弱（如表 5 所示）。各个因素与耕地资源面积变化的关联度大小依次是粮油科技项目地方财政拨款、粮食产业当年固定资产投资、粮食仓储设施建设投资额、粮食企业平均利润、粮油科技项目国家财政拨款、产业结构、从业人员总数、地区生产总值、粮食产业工业总产值、第一产业产值。可见，与绿色储粮技术应用供需耦合变化关系最为密切的因素是基础设施建设投资、科技支撑、粮食企业平均利润；较强影响因素是产业结构、从业人员总数、地区生产总值、粮食产业工业总产值；影响较弱的因素是第一产业产值。

表 5 耦合协调度重心迁移计算结果

Table 5 Calculation result of gravity center transfer of coupling coordination degree

年份	重心 X 坐标(°E)	重心 Y 坐标(°N)	椭圆面积	椭圆旋转角	椭圆 X 轴长度	椭圆 Y 轴长度
2017	113.858	33.566	343.421	59.905	12.468	8.768
2018	113.994	33.614	343.947	58.124	12.558	8.718
2019	113.967	33.598	347.797	58.302	12.622	8.771
2020	113.991	33.489	347.537	58.296	12.631	8.758
2021	114.006	33.461	346.765	58.291	12.624	8.744

表 6 各影响因素的关联系数

Table 6 Correlation coefficient of each influencing factor

一级指标	二级指标	关联系数	一级指标	二级指标	关联系数
经济环境	地区生产总值/亿元	0.758	粮食产业基础	粮食企业平均利润/亿元	0.909
	第一产业产值/亿元	0.665		粮食产业工业总产值/万元	0.758
产业结构	第三产业产值/地区生产总值/元	0.762		从业人员总数/人	0.760
科技支撑	粮油科技项目国家财政拨款/万元	0.863	基础设施建设	粮食仓储设施建设投资额/万元	0.912
	粮油科技项目地方财政拨款/万元	0.928		粮食产业当年固定资产投资/亿元	0.912

3 结论与建议

3.1 结论

我国绿色储粮技术应用水平呈现逐年递增的态势。主产区绿色储粮技术应用水平整体高于主销区和产销平衡区，主销区绿色储粮技术增长相较迅速，产销平衡区绿色储粮技术应用水平相较

薄弱。我国东北部和东部地区的绿色储粮技术应用水平明显高于中部和西部地区，东部地区增速最大，中部地区的应用水平明显高于西部地区，西部地区的应用水平最小，且增长不明显。这可能是由于主产区和东北部地区更加重视粮食基础设施建设，主销区和东部地区大多为经济发达地区，而西部地区经济相对薄弱。

我国绿色储粮技术应用供需耦合协调水平变化呈优化趋势。尚没有省份的耦合协调度处于高度耦合阶段；近一半的省份处于磨合阶段，且省份数量增加较多。优化转变主要集中在勉强协调等级和轻度失调等级，供需耦合协调水平仍有较大的提升空间。这可能与政府的绿色储粮技术推广和宣传政策有关。

绿色储粮技术应用供需耦合协调度的空间分布具有正向相关性，存在集聚效应。局部空间集聚分布格局较为稳定，高-高型集聚区主要集中在东北部地区、东部地区和中部地区，低-低型集聚区主要集中在东部地区和西部地区，区域差异较为显著。耦合协调度重心向东偏南方向迁移。

3.2 建议

继续推进“粮食绿色仓储提升行动”。作为保障粮食质量安全的重要手段，我国大多省份绿色储粮技术应用供需耦合处于磨合阶段，技术推广应用仍有较大的提升空间，应顺应国家绿色低碳高质量发展新要求，以推进“科技兴粮”“绿色储粮”为主抓手，加快仓储设施升级、提升绿色储粮水平。

促进绿色储粮技术区域协调发展。绿色储粮技术应用区域差异明显，产销平衡区技术应用明显弱于主产区和主销区，中部和西部地区技术应用明显弱于东北部和东部地区，应健全市场机制、合作机制、扶持机制，积极推进这些区域绿色储粮技术应用，扭转区域发展差距拉大的趋势，形成共同发展的新格局。


不断加大绿色仓储基建投资。粮食仓储设施建设投资额、国家财政拨款和地方财政拨款是促进绿色储粮技术应用供需耦合协调的重要因素。对于供需耦合协调度低的地区，尤其是西部地区，应通过加大国家以及地方政府资金投入，促进其绿色储粮技术应用，实现绿色储粮技术应用的全国性供需平衡。

参考文献：

- [1] 国家粮食和物资储备局. 关于印发优质粮食工程“六大提升行动”方案的通知: 国粮规[2021]236号[A/OL]. (2021-11-13) [2025-01-22]. [https://www.lswz.gov.cn/html/zcfb/2021-11/17/](https://www.lswz.gov.cn/html/zcfb/2021-11/17/content_268266.shtml)

content_268266.shtml.

National Food and Strategic Reserves Administration. Notice on Issuing the "Six Major Improvement Actions" Plan for High Quality Grain Engineering: National Grain Regulations[2021] No.236[A/OL]. (2021-11-13) [2025-01-22]. [https://www.lswz.gov.cn/html/zcfb/2021-11/17/](https://www.lswz.gov.cn/html/zcfb/2021-11/17/content_268266.shtml) content_268266.shtml.

- [2] 欧阳洁. 储备粮如何保质保鲜[N]. 人民日报, 2024-07-02(003).
OU Y J. How to preserve the quality and freshness of grain reserves[N]. People's Daily, 2024-07-02(003).
- [3] 左祥莉, 马文斌, 张汉宜, 等. 现代绿色储粮新技术的研究现状——以武汉国家稻米交易中心有限公司为例[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(5): 19-25.
ZUO X L, MA W B, ZHANG H Y, et al. The current research status of new technologies for modern green grain storage—Take Wuhan national rice trading center Co., Ltd.[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(5): 19-25.
- [4] 陈桂香, 侯嘉, 赵一青. 基于知识图谱的绿色储粮技术研究可视化分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(10): 3180-3188.
CHEN G X, HOU J, ZHAO Y Q. Visualization analysis of green grain storage technology based on knowledge graph[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(10): 3180-3188.
- [5] 韩建军, 张梦琪, 郭志涛, 等. 我国粮食仓储设施建设与经济发展耦合协调的时空演化分析[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 210-217.
HAN J J, ZHANG M Q, GUO Z T, et al. Spatial-temporal evolution analysis of coupling and coordination between grain storage facility construction and economic development in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 210-217.
- [6] 陈超, 邓黍心. 休闲农业供需耦合协调评价及影响因素研究——以江苏省为例[J]. 华东经济管理, 2020, 34(8): 17-25.
CHEN C, DENG S X. Study on the evaluation of coupling coordination between supply and demand of leisure agriculture and its influencing factors: A case study of jiangsu province[J]. East China Economic Management, 2020, 34(8): 17-25. 

备注：本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lswz.ljjournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。