

基于PEST模型的主要发达国家农业气象服务发展及其启示

吕丽莉, 张滨冰, 张勇*, 王喆, 郝伊一

中国气象局气象发展与规划院, 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 北京

收稿日期: 2024年1月24日; 录用日期: 2024年4月20日; 发布日期: 2024年4月30日

摘要

近年来气候变化带来的负面影响对农业生产产生了切实的影响, 各国采取了系统性的措施来更好地应对气候变化的挑战, 确保国家粮食安全和农业可持续发展。文中采用PEST模型系统分析了美国、欧洲和以色列等发达国家/地区及农业特色国家在农业气象服务发展上的最新进展和成功经验, 结论: 1) 在政治方面(Political), 这些国家通过完善法律法规体系和优化政策, 提供了强大的政策支持和法律保障; 2) 在经济方面(Economic), 通过农业气象资金支持和农业气象保险大力推动农业气象服务的发展, 并为农业从业者应对气象灾害提供了充足的资金保障; 3) 在社会方面(Social), 通过打造免费共享的高质量农业气象信息服务系列产品和高度重视农业教育, 扩大了农业气象服务的影响力并提升了农业从业人员的素质; 4) 在技术方面(Technological), 通过建立完善的农业气象观测网络, 研发改进作物生长模拟模型和推广气候智能型农业, 有效地保障了农业气象服务的效率和效益, 并推动了农业的绿色可持续发展。这些经验对于促进我国农业气象服务发展具有重要的借鉴意义, 能够为推动我国农业气象服务高质量发展提供一定的参考。

关键词

PEST模型, 农业气象服务, 发展对比, 启示

The Development of Agricultural Meteorological Services in Major Developed Countries Based on the PEST Model and Its Implications

Lili Lyu, Binbing Zhang, Yong Zhang*, Zhe Wang, Yiyi Hao

CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, Institute for Development and Programme Design, China Meteorological Administration, Beijing

*通讯作者。

文章引用: 吕丽莉, 张滨冰, 张勇, 王喆, 郝伊一. 基于 PEST 模型的主要发达国家农业气象服务发展及其启示[J]. 社会科学前沿, 2024, 13(4): 672-685. DOI: 10.12677/ass.2024.134350

Abstract

In recent years, the negative impact of climate change has had a tangible effect on agricultural production. Various countries have taken systematic measures to better cope with the challenges of climate change, ensuring national food security and sustainable agricultural development. To this end, this article uses the PEST model to systematically analyze the latest developments and successful experiences in the development of agricultural meteorological services in developed countries and countries with agricultural characteristics such as the United States, Europe, and Israel. The conclusions are as follows: 1) Politically, these countries provide strong policy support and legal protection by improving the legal system and optimizing policies; 2) Economically, they provide sufficient financial protection for the vigorous promotion of agricultural meteorological services and agricultural practitioners to deal with meteorological disasters through agricultural meteorological funding support and agricultural meteorological insurance; 3) Socially, by creating a series of free, shared, high-quality agricultural meteorological information service products and emphasizing agricultural education, they have expanded the influence of agricultural meteorological services and improved the quality of agricultural practitioners; 4) Technologically, by establishing a perfect agricultural meteorological observation network, developing improved crop growth simulation models, and promoting climate-smart agriculture, they effectively safeguard the effectiveness and benefits of agricultural meteorological services and promote the green sustainable development of agriculture. These experiences have important implications for the development of agricultural meteorological services in China and can provide certain guidance for the faster and better development of agricultural meteorological services in China.

Keywords

PEST Model, Agricultural Meteorological Service, Development Comparison, Implications

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变化背景下,气象及气候条件对农业生产的影响趋向于复杂和多元,如平均温度的上升和降水模式的变化对全球作物产量和质量的影响,降水减少或蒸散发增加可能导致的水资源短缺对农业生产灌溉的影响,气候变化导致的农业病虫害和农业疾病的改变及极端气象或气候事件频率和强度变化对农业生产的影响等[1]。这也对农业气象服务提出了更高的要求。气象服务是农业生产中的重要组成部分,准确及时的气象信息可以帮助人们预知大雨、大雪、大风、霜冻、冰雹、雷暴等灾害性天气,以便在农业生产活动中及时采取措施,降低农业生产损失,实现趋利避害[2]。美国、欧洲和以色列等农业发达国家/地区,依托自身信息技术、农业科技等优势,在农业气象观测、智慧农业创新发展、农业气象灾害保险服务、作物检测模型应用等方面采取了一系列举措,帮助农民和决策者适应这些变化并取得了一定的成效。

农业气象服务的发展是一项关系到一个国家或地区能否保障自身粮食安全,能否强化农业国际竞争

力的重要基础服务保障能力，因而加强农业气象服务研究提高农业气象服务能力具有重要的理论价值和现实价值。PEST 模型，即，Political (政治)，Economic (经济)，Social (社会)，Technological (科技)四个单词首字母的缩写，是一种可用来分析发达国家如何促进农业气象服务发展的宏观组织环境的重要工具[3] [4]。相关文献分析表明，当前鲜有学者采用 PEST 分析框架对国际农业气象发展的宏观环境进行系统研究和深入分析。因此，本文采用 PEST 分析方法，从政治、经济、社会和技术四个维度系统分析了美国、欧洲及以色列发展农业气象服务的举措，并充分借鉴其经验，针对我国农业气象服务发展的需求，提出了对我国农业气象服务发展的启示，为我国农业气象服务更快更好发展提供了借鉴。

2. 国际农业发展现状

美国、欧洲、以色列等国家和地区农业发展整体呈现标准化程度强、现代化水平高的特点。美国农业具有规模大、现代化水平高，生产手段机械化、智能化，生产技术化学化、生物化的特点。美国不仅是世界粮食生产大国，同时也是农业的净出口国[5]。欧洲农业具有规模大，种类多样等特点。欧洲的生态农业面积在近年来持续增长，2023 年欧盟农场占地面积达到约 1.62 亿公顷，与 2019 年的 1.38 亿公顷相比增长了 17.4% [6]。以色列农业具有因地制宜，管理先进，经营理念持续创新等特点。以色列全国土地近沙漠面积占国土面积的 67%，但其农业产品占据了 40%的欧洲蔬菜、水果市场，并且向世界 60 多个国家出口农产品、农资装备、传授农业生产技术[7]。随着近年来极端气象气候事件呈现了频发广发、强发并发的特点，对农业生产交易等产生了切实影响，加剧了粮食安全风险，因此不断提供高水平、高质量、个性化的农业气象服务对于适应农业新发展，降低农业风险保障粮食安全来说变得越来越重要。

3. 发达国家农业气象服务发展对比分析

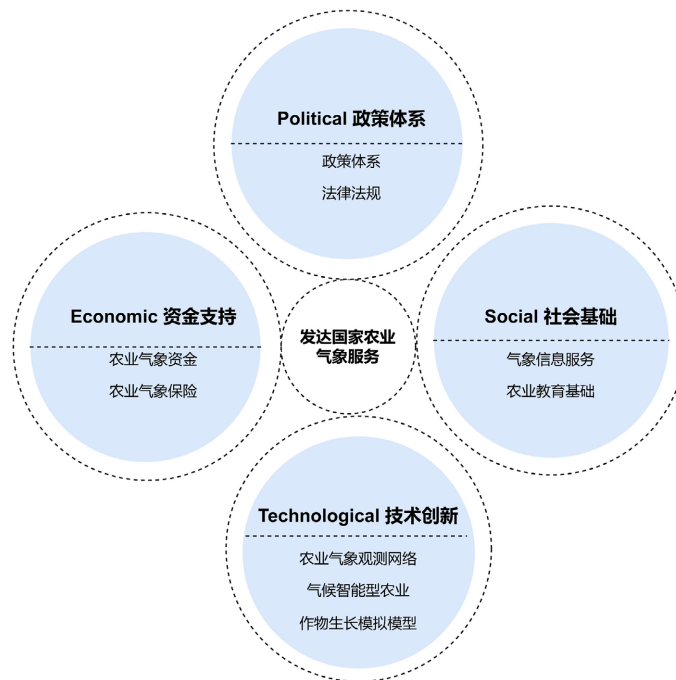


Figure 1. Analysis of the development of agricultural meteorological services in the United States, Europe, and Israel based on the PEST model

图 1. 基于 PEST 模型分析美国、欧洲及以色列农业气象服务发展

本文将基于 PEST 模型对美国、欧洲、以色列的农业气象服务发展进行了分析(图 1): 1) 在政治体系

方面(Political), 主要从政策体系和法律法规方面进行分析; 2) 在资金支持方面(Economic), 主要从农业气象资金支持和农业气象保险方面进行分析; 3) 在社会基础方面(Social), 主要从气象信息服务和农业教育基础方面进行分析; 4) 在技术创新方面(Technological), 主要从农业气象观测网络、作物生长模拟模型及气候智能型农业方面进行分析。

3.1. 优化政策体系(Political)

美国、欧洲及以色列农业气象服务法律法规体系具有不同的侧重点, 由此反映了各自的政策具有不同的优先级和发展战略。从表 1 可知, 美国更侧重于通过法律鼓励科技创新, 通过加强天气预报、干旱监测、预警能力等硬实力为农业气象服务提供更好的技术支撑; 欧盟则提供了较为全面的资金和法律保障以支持农业气象服务的系统化发展, 确保农业气象设备的购买、气象数据收集和分析、农业气象预警服务、农业气象保险以及农民的气象教育和培训等方面均能获得发展保障; 而以色列虽然无明确的农业气象服务相关法规, 但通过现有气象法律体系鼓励科技创新和合作, 积极促进农民、研究机构与农业科技公司开展合作, 以提高农作物产量、节约资源并应对气候变化的挑战。

Table 1. Comparison of agricultural meteorological service policy systems

表 1. 农业气象服务政策体系对比

特点	美国	欧洲	以色列
法律法规	《天气研究和预测创新法案》、《国家综合干旱信息系统重新授权法案》等[8] [9]	《农业改进法案》、《欧洲农业保障基金和欧洲农业发展基金关于农村发展的规定》、《有关欧盟农村发展政策的新规定》等[10] [11] [12]	《气象法》、《气象服务法》、《天气预警法》等[13] [14]
支持内容	强调加强农业气象服务科技创新能力	为农业气象发展明确资金保障和法律保障	无明确的农业气象服务相关法规

3.2. 提供资金支持(Economic)

3.2.1. 发达国家农业气象资金支持

美国、欧洲及以色列在资金支持方面的策略和目标展现了各自对于农业可持续发展与气候变化挑战的独特应对方式。从表 2 中可知, 美国高度重视农业技术创新和气候智能型商品研发, 通过实施气候智能型商品资助计划(Climate-smart Commodities Funding Opportunity)设立两个不同规模的资金池来促进大型项目和中小型项目的发展, 显示了对不同规模项目的广泛支持[15] [16]。通过截至 2023 年 1 月的资金分配情况可见, 美国在推动其农业部门向更加可持续和气候友好型方向发展方面给予了雄厚的资金支持。这种做法不仅旨在增强美国农业产品的市场竞争力, 也反映了美国在全球农业科技创新中保持领导地位的长期战略。欧洲的共同农业政策(Common Agricultural Policy, CAP)通过两大基金——欧洲农业保障基金(European Agricultural Guarantee Fund, EAGF)和欧洲农村发展农业基金(European Agricultural Fund for Rural Development, EAFRD)——为成员国提供支持, 体现了欧洲在农业可持续发展和环境保护方面的集体努力[17] [18]。《CAP2023-27 战略计划》的资金分配策略, 特别是将 EAGF 和 EAFRD 的一部分预算专门用于支持气候和环境相关的农业活动, 凸显了欧洲对气候变化挑战的应对以及对生态系统保护的重视, 表明了欧洲正在强力推动其农业经济向低碳和气候适应型转型。以色列的农业气象服务资金支持主要来自农业和农村发展部的年度预算, 这反映了该国对农业技术研发及实施精准农业气象服务的重视[19] [20]。虽然以色列的资金投入相比美国和欧洲规模较小, 但其注重技术创新和可持续农业实践的方

向有利于以色列实现减少温室气体排放和保持技术领先地位的双重目标, 展现了一个小国通过科技创新实现大的气候目标的决心。

总体来看, 美国、欧洲和以色列的农业气象服务资金支持策略各有侧重, 但都体现了对农业可持续发展和气候变化挑战的积极响应。美国强调通过技术创新提高农业竞争力, 欧洲着重于农业和环境的整体可持续性, 而以色列集中于技术研发和精准服务, 以提高其农业生产效率和环境友好度。这些多样化的策略不仅反映了不同经济体的优先领域和能力, 也为全球农业可持续发展和气候变化应对提供了多元化的解决方案。

Table 2. Comparison of agricultural meteorological service funding support
表 2. 农业气象服务资金支持对比

特点	美国	欧洲	以色列
资金来源	气候智能型商品资助计划	共同农业政策(CAP)	农业和农村发展部年度预算
资金规模	分为两个资金池, 大型项目资金范围为 500 万美元到 1 亿美元; 中小项目资金范围为约 250,000 美元至 4,999,999 美元。 截至 2023 年 1 月, 大型项目资金池累计资助 28 亿美元, 中小项目资金池累计资助 3.25 亿美元[15] [16]。	CAP2023-27 战略计划提出, EAGF 的 23.6%(约 447 亿欧元)用于支持气候环境相关活动, EAFRD 的 30.7% (约 203 亿欧元)用于支持环境气候相关活动[17] [18]。	每年投入数十亿美元的预算用于农业技术研发。同时, 农业和农村发展部每年拨款 2100 万以色列新谢克尔(约 610 万美元)研究精准农业气象服务[19] [20]。
发展目标	通过持续五年的试点项目提高美国气候智能型商品的研发与生产, 提高美国农业产品竞争力[16]。	推进向低碳和气候适应型经济转型; 恢复、保护和加强与农业和林业有关的生态系统等[18]。	实现可持续的农业生态友好型耕作, 减少温室气体排放, 保持国际领先的农业技术强国地位, 应对气候变化[20]。

3.2.2. 发达国家农业气象保险

Table 3. Design, characteristics, and compensation situation of agricultural meteorological insurance
表 3. 农业气象保险设计、特点和赔付情况

国家	资金来源	开始时间	特点	赔付保障情况
美国	政府提供财政支持	1938 年颁布《联邦农作物保险法》	产品丰富、根据不同地区、作物、投保人等有不同保险合同形式。	2000 年通过的农业风险保障方案, 55%、65%、75% 和 85% 保障水平下的保费补贴率分别达到 64%、59%、55% 和 38%。2021 年美国农业部风险管理署通过疫情期间作物覆盖计划为农业生产者提供 5950 万美元的费用支持, 覆盖 1220 万英亩种植面积[21]。
以色列	农业自然风险保险基金(KANAT)	1967 年开始运作 KANAT	政府通过资助 35% 的多灾种作物保险费和 80% 的自然灾害保险费来补贴部分保险费, 鼓励农民购买保险保护他们的收入。	2021 年, KANAT 向受疾病和害虫、高温、冰雹和风暴影响的蔬菜种植者支付了 6600 万新谢克尔(2100 万美元)的保险补偿[22]。

续表

西班牙	由西班牙农业保险协会 (Agroseguro) 承保的公私合作公司向西班牙所有地区和农民提供补贴农业保险	1978 年以前, 由私营企业经营, 只承保冰雹和火灾对农作物造成的损失。1980 年, 政府通过立法建立联合农业保险计划。	2008 年起, Agroseguro 成为欧洲最大、最全面的国家农业保险计划, 承保 200 多个不同的作物、牲畜、水产养殖和林业计划, 每年产生约 8 亿美元的保费。	2022 年完成了 620 万公顷的农业保险, 签订的保单数量为 40.9 万份, 估算保费 8.59 亿欧元, 生产价值保险约 1629 万欧元, 并处理了约 167 万起索赔, 其中农业生产相关有约 11.7 万起, 畜牧业相关 9.7 万起[23]。
德国	由互助保险公司、私人保险公司、公共保险公司承保。	1733 年推出冰雹保险	作物冰雹风险保险发展成熟, 大约有 14 家保险公司提供冰雹作物保险。	全国农作物总面积的 60% 投保了防冰雹险[24]。
法国	私营化为主体, 农业部给予一定量财政补贴。		超过 70, 000 个农场购买了农作物保险单, 占 400 多万公顷和可用农业面积的 30.5%。	保单的最高补贴水平为 65%, 而免赔额通常为 20% 至 30%。当前, 多风险气候保险政策覆盖了近 31.4% 的农业用地[25]。
匈牙利	私营化为主体, 农业部给予一定量财政补贴。	匈牙利政府基于 CAP 政策及事后支付保险的配套制度, 为主要天气风险作物保险提供补贴, 补贴金额最高可达保险费的 65%	农民的耕地农场面积超过 10 公顷或蔬菜农场超过 5 公顷, 必须买农气保险。	农业保险占匈牙利非寿险保费的 2.85%, 其中 87% 与农作物保险有关[26]。
波兰	私营化为主体, 农业部给予一定量财政补贴。	符合条件的参保人可获得高达其保险费 65% 的援助金额。针对干旱事件, 波兰政府会承担保险公司需要向农业生产者支付的部分赔偿金。	农民如果想要获得赔款, 至少为一半以上农业面积购买保险。	2023 年欧盟委员会根据欧盟国家援助规则批准了一项价值 13 亿欧元的波兰计划, 以支持波兰农业生产者支付蔬菜产品和牲畜物种因飓风、洪水、山体滑坡等不利气候事件而受损的风险保险费[27]。

美国、欧洲及以色列通过构建成熟的农业气象保险体系加强气象灾害风险转移能力。从表 3 中可知, 美国政府通过《联邦农作物保险法》和农业风险保障方案为农民提供了丰富的农业保险产品, 并通过高比例的保费补贴降低了农民的保险成本, 从而促进了保险的普及和农民收入的稳定。以色列通过农业自然风险保险基金提供保费补贴, 强调了政府在减少自然灾害影响方面的作用。与美国和以色列相比, 大多数欧洲国家的农业保险由私营企业承保, 政府提供财政补贴, 农民资源购买, 只有希腊和塞浦路斯的农业风险保险为公共和强制性的。总体来看, 农业气象保险在不同国家/地区有不同的资金来源和特点, 但总的来说, 政府都提供了财政补贴以鼓励农民购买保险降低气象灾害造成的损失, 提高风险抵抗能力。美国通过政府财政支持和保险补贴政策减轻农民负担, 以色列通过 KANAT 基金提供有针对性的补贴, 而欧洲则采用了更多样化的方法, 既有政府补贴, 也有强制性公共保险和私营保险的结合, 以适应不同成员国的需要。这些差异反映了各国根据自身特点和政策目标设计的保险系统, 以满足其农业生产在面对气象灾害和气候风险时的独特需求。

3.3. 提升社会基础(Social)

3.3.1. 发达国家农业气象信息服务

美国及欧洲持续提供免费、品种繁多且用户友好的农业气象信息服务产品, 不断累积扩大拳头产品的全球影响力。从表 4 可知, 美国农业气象服务产品具有全面性和全球覆盖度高的特点, 定期免费发布

产品服务于本国农业生产者、全球农业研究者和大宗农产品从业者。这些服务产品一方面为农业生产和研究提供了重要的天气信息和农业气候分析，另一方面增强了全球农业社区对美国农业气象服务的依赖和认可。欧洲虽然也会发布全球农业气象服务产品，但更多产品主要围绕区域服务。通过联合研究中心 (Joint Research Centre, JRC) 发布的《MARS Bulletin》系列产品专注于评估天气对欧洲地区粮食产量的影响，同时也关注其他欧洲邻国如俄罗斯、乌克兰等的气候变化和作物生长情况。这种服务不仅提高了欧洲内部对气象信息的利用效率，也为周边国家的农业生产提供了参考和帮助。以色列虽然在农业气象服务产品的对外公开程度上不及美国和欧洲，但其服务的精细化和技术化同样值得关注。以色列利用高科技和创新技术将气象服务无缝融入农业生产环节，提高农业生产效率，特别是在水资源管理、干旱监测和作物适应性研究方面展现出领先的科技优势。以色列的农业气象服务产品虽主要服务于国内，但其创新精神和技术应用能力对全球同样具有一定的示范和影响力[7]。总体来看，这三个地区在农业气象信息服务方面各有侧重，美国和欧洲的服务在全球和区域层面上展现出其广度和深度，而以色列则凸显了科技创新在提升农业生产效率中的作用。

Table 4. Comparison of agricultural meteorological service reports

表 4. 农业气象信息服务对比

特点	美国	欧盟
产品报告	《每日美国农业天气要点》《干旱中的美国农业》《每周天气和作物公告》《每周国际天气和作物亮点》《世界农业供需估计》等[27] [28]	《MARS Bulletin》系列，主要包括《JRC MARS Bulletin-Crop monitoring in Europe》和《JRC MARS Bulletin-Global outlook》等两大系列[29] [30]
服务目标	提供全美及全球范围的农业气象信息，服务本国及全球农业研究者和大宗农产品从业者	主要涉及欧洲及其邻国的农业气象、粮食产量和作物生长状况等，部分涉及全球

3.3.2. 发达国家农业教育基础

Table 5. Comparison of agricultural education

表 5. 农业及农业教育对比

特点	美国	欧洲	以色列
政策基础	《莫里尔法案》和《史密斯-休斯法案》明确农业教育是公立教育系统的重要内容[31]；国家农业教育计划提供资源支持[32]；东北气候中心设立气候适应奖学金等[33]；	拥有完备的农业教育法律体系，如《联邦职业教育法》和《农业培训局法》[34] [35]；《CAP 2021-2027》重视农业职业教育，提供财政激励[18]；	政府基本承担教育机构的开支，教育支出高于 OECD 国家平均水平[36]；高度重视基础教育阶段的农业教育，制定农业教育课程大纲[37]；
实施策略	提供经济援助和资源支持；与社区合作提供完整系统的农业课程；鼓励学习应对气候变化的知识；	与农场合作开设针对性课程；高校与农业培训网全方位合作；普及农民职业教育；	建立农业教育农场；鼓励科研院所、农业公司和农民合作；推动农业科技技术及新品种研发
教育特色	促进了农业专业和其它相关学科如市场、管理、物流、金融等领域的综合掌握；提高了农业从业者应对气候变化的能力；	强化了实践性教育和理论知识相结合；提供了面向气候友好型农业运作方式的财政支持；	建立了创新和盈利的农业科技生态系统；增强了农业科技强国的地位；改变了农业种植、灌溉等方式；

美国、欧洲及以色列通过积极培养复合型农业人才，不断提高农业从业人员的素质。从表 5 可知，

美国通过《莫里尔法案》和《史密斯-休斯法案》将农业教育纳入公立教育系统，并通过国家农业教育计划和东北气候中心的气候适应奖学金等措施提供了经济援助和资源支持，促进了农业知识与相关领域知识的综合掌握。欧洲也通过大量政策支持和财政激励普及职业教育。与此同时，欧盟高校与农业培训网的合作以及与农场合作开设的针对性课程，强化了实践性教育与理论知识的结合。以色列则高度重视基础教育阶段的农业教育并制定了农业教育课程大纲，建立了农业教育农场，鼓励科研院所、农业公司和农民之间的合作，鼓励多样化人才投身农业开展多元化创新，推动农业科技技术及新品种研发。总体来看，美国强调资源支持与气候适应，欧盟突出政策驱动与实践教育的结合，而以色列则侧重于科技创新和基础教育，各取所长，共同推动了全球农业教育的进步。农业从业人员素质的提升不仅有助于提高对气象信息、气象灾害风险的利用和应对能力，而且有助于促进农业可持续发展和向气候友好型转化。

3.4. 加强技术创新(Technological)

3.4.1. 发达国家农业气象观测网络

Table 6. Comparison of agricultural meteorological observation network

表 6. 农业气象观测网络对比

国家	观测系统	站点个数/数据来源	建立年限
美国	自动地面观测系统	1500	1990 至今
	合作气象站	10,600	1776 至今
	美国垦务局农业气象网络	94	1983 至今
	高原地区气候中心农业自动天气数据网络	350	2016 至今
	雨量站	超过 3783	
	水资源数据站点	1,731,113	
	美国干旱监测		2000 至今
	国家综合干旱信息系统		2006 至今
	飓风天气服务		
	长期生态站点	28	1980 至今
	土壤气候分析网络(SCAN)试点计划	超过 200	1991 至今
欧洲	陆地地面站	15,000 个自动站, 8000 个手动站	
	哥白尼计划	超过 5000	2003 至今
	英国天气和气候站	270 个自动站, 多个手动站	
	德国观测站	2000	1900 至今
	德国雨量站	3992	1900 至今
	德国物候观测站	1082	1900 至今
	欧洲干旱观察站	哥白尼计划提供数据	2012 至今
	欧洲森林火灾信息系统	哥白尼计划提供数据	1998 至今
	欧洲洪水意识系统		2002 至今
	欧盟土壤观测站	欧盟统计局提供数据	2020 至今
	欧洲土壤数据中心		
	土地利用和覆盖区域框架调查	超过 250,000 个采集站	2009 至今

美国、欧洲及以色列通过建立全面发达的农业气象观测网络强化了精密观测能力。从表 6 中可知，美国农业气象观测网络由多种系统组成，涵盖自动地面观测系统、合作气象站和农业气象网络等，历经多年发展形成了当前结构复杂的观测体系。这种多层次、广泛分布的观测网络确保了覆盖面广、数据多元，能够精确地为农业生产提供各类气象信息。欧洲观测站点数量庞大，观测网络更加强调跨国合作与数据共享，这在预防和应对跨境自然灾害方面尤为重要。此外，哥白尼计划等先进项目的融入也令欧洲在应用卫星遥感技术进行农业气象观测方面具有一定领先性。以色列虽然未在表 6 中具体列出，但发展了适应其特殊气候条件的高效观测网络，使得以色列在农业水资源管理、干旱监测、作物病虫害预警等方面具有优势[7]。综合来看，美国、欧洲及以色列均高度重视农业气象观测网络的建设和运行。美国的观测网络具有全面性和多样性的特点，能为不同需求提供丰富的数据源；欧洲侧重构建整合性强的观测网络；而以色列则构建了适应其干旱、半干旱气候特征的观测网络。

3.4.2. 发达国家作物生长模拟模型

美国、欧洲及以色列广泛开发作物生长模拟模型，并将作物生长模拟模型与数据库管理系统相结合，形成了多种管理、模拟和决策支持系统，这些模型和系统为农业研究和农业决策提供了重要的工具。美国、欧洲、以色列的作物生长模拟模型的应用领域和专业特点都有所不同(表 7)。总体而言，美国凭借其强大的科研实力，开发了涵盖多种作物的模拟模型，并整合成农业科技转化决策支持系统(DSSAT)，为农业决策提供了有力的支持。欧洲的 MCYFS 系统则更注重模拟与决策支持的整合，不仅包含作物模型，还结合了数据管理和分析工具，为农业生产提供了全方位的模拟与决策支持。以色列的 Wheat Sim 模型则专注于小麦作物的模拟，体现了其在特定作物研究上的深度。

Table 7. Comparison of crop growth simulation models
表 7. 作物生长模拟模型对比

特点	美国	欧洲	以色列
作物模拟模型	CERES (禾本科作物模型)、GOSSYM (棉花模型)、SOYGRO (大豆模型)	SUCROS (简单通用的作物模型)、WOFOST (世界粮食研究模型)	Wheat Sim
系统	DSSAT (农业科技转化决策支持系统)	MCYFS (作物产量预测系统)	
应用领域与特点	整合多种作物模型，支持农业决策与管理，提高生产效率与可持续性[38]	模型具有通用性，适用于多种作物，支持农业研究与决策。MCYFS 提供作物产量预测服务，发布月度分析报告与产量预测地图[39]	针对小麦作物的模拟模型，用于优化栽培管理与产量预测[7]

3.4.3. 发达国家气候智能型农业

气候变化的负面影响如天气系统多变、农业生态系统边界变化、入侵作物和害虫以及更频繁的极端天气事件等已经对农业产生了切实的影响。在面对气候变化对农业带来的挑战时，各发达国家的发展思路和具体实现措施都所差异，但普遍而言，各国都聚焦于科技创新和资源整合，通过发展气候智能型农业推动农业生态化绿色可持续发展(表 8)。总体而言，美国以其政府推广、多方参与的策略，引领了气候智能型农业的推广与实施。通过与高校、农场等合作伙伴的紧密合作，美国不仅提升了普通群众对气候智能型农业的认知，还通过资助计划等方式，为农业相关利益者提供了实质性的支持。欧洲则更加注重资源整合与创新生态系统的建设，在地平线 2020 计划的支持下构建了多元网络 Smart Agri Hubs，为农业创新生态系统的培育奠定了坚实基础。除此之外欧洲还开展多样化的研究项目，探索气候智能型农业的

解决方案。以色列以其独特的沙漠农业和高科技研发而闻名于世，近年来通过智能技术研发推动农业生态化绿色可持续发展，建立可持续、再生的气候智能型农业。从 2019 年到 2023 年，以色列拥有的气候智能型农业科技从 212 家上涨到 784 家，这些公司累计积累资金从 9.5 亿美元上涨到 25 亿美金。同时，以色列还着力打造高科技物联网系统，其大数据管理的精准农业物联网，让以色列实现了农业气候相关部门、研究机构和智慧农业公司的连接，促进了农业气候服务资源的共享和互动[40]。

Table 8. Comparison of climate smart agriculture

表 8. 气候智能型农业对比

国家	发展思路	具体工作/项目
美国	与高校、气候智能型农场、森林牧场等合作	与高校和农业相关利益者合作，启动“仿佛你在那里”(as if you were there)项目，采用 360°摄影和视频提供了互动体验，让普通群众能够虚拟参观和学习气候智能型农场的运作模式[41] [42]。
	提供政策支持与资金支持	发布《关于应对国内外气候危机的行政命令》，要求农业部和有关部门制定计划鼓励农业相关利益者采用气候智能型农业，并推出气候智能型商品资助计划，累计资助约 32 亿美元[43] [16]。
欧盟	整合数字创新中心、能力中心等资源	资助 2000 万欧元开展 Smart Agri Hubs 项目，汇集了欧洲农业食品领域超过 164 个合作伙伴，建立多元化网络。Smart Agri Hubs 通过 40 个数字创新中心(Digital Innovation Hub)、2000 个能力中心(Competence Hub)帮助欧洲近 200 多万个农场实现数字化[44] [45]。
	开展多个项目，创新生态系统建设	探索“关爱土壤就是关爱生命(Caring for soil is caring for life)”提出到 2030 年使 75% 的欧洲土壤更加健康以减缓气候变化[46]。
	开发气候智能决策支持工具	开展 AGROMIX 和 MIXED 项目，建立欧洲混合农业和农林复合系统(Mixed Farming and Agroforestry Systems, MiFAS)降低农林系统的温室气体排放，优化农业生产能力[47] [48]。 STARGATE 基于当前农业系统的脆弱性和气候智能型农业的需求开发气候智能决策支持工具，帮助农民和利益相关者更好地适应当地和区域气候[49]。
以色列	研发智能技术，提高农业生产力	Netafim 研发的精密灌溉系统与传统的洪水灌溉相比，用水量减少了 50%，温室气体排放量减少了高达 90%，使平均作物产量提高了 50%。
	建设大数据管理的精准农业物联网	Svensson 推出的“气候之家”服务可以通过气候计算机减少 80%至 90%的人工工作，为“植物赋权”设定最佳生长环境参数，切实提高产量[50]。
		实现农业气候相关部门、研究机构和智慧农业公司的连接，促进了农业气候服务资源的共享和互动。 实现农业设施手机远程管理，提高生产效率，降低人力成本，通过传感器监控的数据随时了解温度、湿度、太阳辐射等气象数据，以及植物、动物的需求和疫情病害，精准施测，提早预防[40]。

4. 结论与启示

4.1. 结论

本文基于 PEST 模型对美国、欧洲及以色列的农业气象服务发展水平进行了分析，形成结论如下。

在政治体系(Political)方面，通过不断完善法律法规体系，优化政策，提高和促进了农业气象服务能力，帮助农民和决策者更好地应对气候变化的挑战。美国和欧洲通过发布与农业气象服务相关的法规，为农业气象设备的研发升级、农业气象服务以及农民的气象教育和培训等提供了法律保障和资金保障。以色列虽然没有明确的农业气象服务法律法规，但其相对完善的气象法律体系为农民、研究机构与农业科技公司之间的合作提供了鼓励和支持，推动了高科技农业的发展。

在资金支持(Economic)方面，通过农业气象资金支持和农业气象保险投入大量资金推动了农业气象服务的发展和应用，提高了农业利益相关者对气候变化的适应能力。美国、欧洲和以色列通过大量的资金支持提高农业气象服务水平，发展可持续的生态友好型农业。同时，通过构建成熟的农业气象保险体系帮助农民应对气候变化及极端天气带来的风险，应对气候变化和实现可持续农业发展。

在社会基础(Social)方面，通过打造农业气象信息服务系列产品不断扩大影响力，同时高度重视农业教育，积极培养复合型农业人才。持续不断地提供免费、全面且用户友好的农业气象信息服务产品，成为全球农业气象服务研究者和农业大宗商品从业者的重要信息源。同时，通过构建完备的农业教育法律体系和实践体系，提升农业教育的完整性和实操性。

在技术创新(Technological)方面，通过构建完善的农业气象观测网络，不断研发改进作物生长模拟模型及大力推广气候智能型农业，提高农业生产效率，推动农业的绿色可持续发展。通过建立全面且发达的农业气象观测网络收集和分析大量的农业气象数据并且注重开发作物生长模拟模型，为农业生产、产量预报、科研和政策制定提供了重要的参考依据。同时，通过发展气候智能型农业来提高农产品的产量和质量，并推动农业的绿色可持续发展。

4.2. 启示

美国、欧洲及以色列的农业气象服务发展水平在全球位居前列，其农业气象服务报告及农业气象服务技术有着较强的全球影响力，这主要得益于他们在政策、经济、社会、科技等方面全方位的保障与支持。我国自 20 世纪 80 年代起，农业气象业务服务体系逐步完善，农业气象服务能力得到了飞速发展，但 2000 年以后，农业气象服务能力开始逐渐显现出与国家现代农业发展新需求和新要求的不适应性，农业气象服务能力发展开始滞后于国家现代农业发展进程。这与我国农业气象服务在政策、经济、社会、科技等方面面临了一系列挑战有着密切联系，如在顶层设计方面，在“十三五”、“十四五”期间均未出台相关农业气象发展专项规划；在投入力度方面，近年来全国性或区域性重大农业气象业务建设项目少，对基层气象为农服务投入支持力度锐减等等。因此，参考美国、欧洲及以色列的农业气象服务发展经验，结合我国农业气象发展实情，可从以下四个方面加强我国农业气象发展：

1) 在政策体系方面(Political)，从顶层设计、项目建设、机构设置、人才政策等方面全方位谋划营造支持农业气象发展的环境。在“十五五”期间制定新时期农业气象高质量发展专项规划，确立指导思想和发展导向，设立未来 5 到 10 年的中长期发展目标，明确完善农业气象业务体系、提升服务能力的任务举措。

2) 在资金支持方面(Economic)，建立“气象 + 现代农业”的融入式发展机制，推进气象与现代农业在政策措施、建设项目等方面的深入合作，加大对农业气象业务与服务研究与应用的资金支持力度。发展农业气象保险，整合政府部门、学术机构、保险公司等多方力量，集结各领域的专家和学者，通过跨

学科的研究和实践,探索和创新农业气象保险的理论和技术。

3) 在社会基础方面(Social),建立核心产品清单制度,构建以用户效益反馈、动态评估为导向的农业气象产品准入退出机制。通过持续不断地免费及时更新报告,逐步形成国内外影响力,力争成为继美国、欧洲之后的第三大权威来源。依托国家现代农业产业园、科技园和创业园,推进产学研用协同创新机制,引导和利用农业企事业单位、高校、科研机构的优势资源,加强人才培养和农业气象技术创新。

4) 在技术创新方面(Technological),基于2023年中央一号文件重启的全国农业气候资源精细化普查和全国农业气候区划,不断优化站网布局,为提高气候利用率和因地制宜的服务能力打下坚实基础。适应国家农业生产布局结构,明确不同区域、省农业气象服务重点,因地制宜予以支持。结合新型业务技术体制改革和农业气象队伍现状,调整优化农业气象业务服务布局。

基金项目

中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室开放研究课题,气象条件对重点行业经济产出的影响研究(No.2023013);中国气象局政策研究气象软科学课题,世界气象中心发展路径、运行机制研究(2024ZDIANXM14);中国气象局气象发展与规划院专项研究项目,世界气象中心发展路径及运行机制研究(JCYJ20230103)。

参考文献

- [1] IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report (AR6).
- [2] IPCC (2023) Climate Change 2023: Summary for Policymakers (AR6).
- [3] 姚望. 基于 SWOT-PEST 分析范式的中国“走出去”战略环境研究[J]. 经济论坛, 2006(22): 54-57+64.
- [4] 于波, 范从来. 我国先进制造业发展战略的 PEST 嵌入式 SWOT 分析[J]. 南京社会科学, 2011(7): 34-40.
<https://doi.org/10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2011.07.017>
- [5] USDA (2022) USDA ERS—Ag and Food Sectors and the Economy.
<https://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/ag-and-food-sectors-and-the-economy/>
- [6] European Commission (2023) Result Indicators Dashboard.
https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardCapPlan/result_indicators.html
- [7] 杨彪. 以色列农业转型发展研究(1948-2020) [D]: [博士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [8] Congress of Government (2023) Weather Research and Forecasting Innovation Act of 2017.
<http://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/353>
- [9] Congress of Government (2023) National Integrated Drought Information System Reauthorization Act of 2018.
<http://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/2200>
- [10] Congress of Government (2023) Agriculture Improvement Act of 2018.
<http://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/2/text>
- [11] Regulation of EU (2023) No 1305/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on Support for Rural Development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and Repealing Council Regulation (EC) No 1698/2005, (EC). <https://www.legislation.gov.uk/eur/2013/1305/contents>
- [12] Regulation of EU (2023) No 1306/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on the Financing, Management and Monitoring of the Common Agricultural Policy and Repealing Council Regulations (EEC) No 352/78, (EC) No 165/94, (EC) No 2799/98, (EC) No 814/2000, (EC) No 1290/2005 and (EC) No 485/2008.
<http://data.europa.eu/eli/reg/2013/1306/oj/eng>
- [13] State of Israel (2023) National Action Plan on Climate Change 2022-2026.
<https://www.gov.il/en/departments/publications/reports/implementation-plan>
- [14] Israel Meteorological Service (2023) Questions and Answers. <https://ims.gov.il/en/node/318>
- [15] American Society of Agronomy (2023) Climate Change.
<https://www.agronomy.org/science-policy/issues/climate-change>
- [16] Partnerships for Climate-Smart Commodities (2023) FAQs.

- <https://www.usda.gov/climate-solutions/climate-smart-commodities/faqs>
- [17] European Parliament (2023) Common Agricultural Policy: How Does the EU Support Farmers? <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20210916STO12704/common-agricultural-policy-how-does-the-eu-support-farmers>
- [18] Common Agricultural Policy (2023) CAP 2023-27. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_en
- [19] Ministry of Agriculture (2023) Israel Innovation Authority to Award NIS 9 Million in Grants to Food Security Startups. <https://www.gov.il/en/departments/news/agriculture26012022>
- [20] OECD (2023) Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2021: Addressing the Challenges Facing Food Systems. https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2021_2d810e01-en
- [21] USDA (2023) Producers with Crop Insurance to Receive Premium Benefit for Cover Crops. <https://rma.usda.gov/News-Room/Press/Press-Releases/2022-News/Producers-with-Crop-Insurance-to-Receive-Premium-Benefit-for-Cover-Crops>
- [22] Times of Israel (2023) Global Warming Caused NIS 300 Million of Agricultural Damage in 2021. <https://www.timesofisrael.com/global-warming-caused-nis-300-million-of-agricultural-damage-in-2021-report/>
- [23] Agroseguro (2023) La Junta General de Accionistas de Agroseguro aprueba las cuentas de ejercicio 2022. <https://agroseguro.es/wp-content/uploads/2023/03/10.-Nota-de-prensa-JGA-2023.pdf>
- [24] Reyes, C.M., Agbon, A.D., Mina, C.D., *et al.* (2017) Agricultural Insurance Program: Lessons from Different Country Experiences. PIDS Discussion Paper Series, No. 2017-02, Philippine Institute for Development Studies (PIDS), Quezon City. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/173579/1/pidsdps1702.pdf>
- [25] Mohring, N., Dalhaus, T., Enjolras, G., *et al.* (2020) Crop Insurance and Pesticide Use in European Agriculture. *Agricultural Systems*, **184**, Article ID: 102902.
- [26] Koroseczné, D.R., Pavlin, R., Parádi-Dolgos, A. and Sipiczki, Z. (2017) Crop Insurance Market in Hungary. *International Journal of Business and Management*, **5**, 70-79.
- [27] USDA (2023) Agricultural Weather. <https://www.usda.gov/oce/weather-drought-monitor>
- [28] USDA (2023) WASDE Report. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>
- [29] EU Space Data for Sustainable Farming (2023) FaST Platform. Digital Services for EU Agriculture. <https://fastplatform.eu/>
- [30] European Commission (2023) JRC Publications Repository. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/search?query=MARS&sort=relevance>
- [31] FFA (2023) Future Farmers of America. <https://www.ffa.org/about/>
- [32] National FFA Organization (2023) Agricultural Education. <https://www.ffa.org/agricultural-education/>
- [33] Climate Adaptation Fellowship (2023) Climate Adaptation Fellowship. <https://www.adaptationfellows.net/mission>
- [34] BBIG (2023) Germany—Vocational Training Act. https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_isn=26096
- [35] 王韵晨. 欧洲农业大国农民教育对我国新型职业农民培育的启示[J]. 现代化农业, 2020(4): 52-53. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-0254.2020.04.029>
- [36] OECD (2023) Education at a Glance 2021: Israel. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c63e99a9-en/index.html?itemId=/content/component/c63e99a9-en>
- [37] Gulati, A., Zhou, Y., Huang, J., *et al.* (2021) From Food Scarcity to Surplus: Innovations in Indian, Chinese and Israeli Agriculture. Springer, Singapore.
- [38] Jones, J.W., Tsuji, G., Hoogenboom, G., Hunt, L., Thornton, P., Wilkens, P. and Singh, U. (1998) Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT v3. *European Journal of Agronomy*, **18**, 235-265.
- [39] Van der Velde, M. and Nisini, L. (2019) Performance of the MARS-Crop Yield Forecasting System for the European Union: Assessing Accuracy, In-Season, and Year-to-Year Improvements from 1993 to 2015. *Agricultural Systems*, **168**, 203-212.
- [40] Tamar, M. and Hagit, S. (2023) Israel's State of Climate Tech 2023: Innovating towards a Better Planet. Israel Innovation Authority.
- [41] USDA Climate Hubs (2023) The Role of Climate-Smart Agriculture in Climate Adaptation and Mitigation in the Northeast. <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northeast/topic/role-climate-smart-agriculture-climate-adaptation-and-mitigation-northeast>

-
- [42] USDA Climate Hubs (2023) “As If You Were There” 360° Demonstrations. <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northeast/project/360>
- [43] The White House (2023) Executive Order on Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/01/27/executive-order-on-tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad/>
- [44] European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme (2023) MED-GOLD Project. <https://www.med-gold.eu/project/>
- [45] SmartAgriHubs (2023) About Us. <https://www.smartagrihubs.eu/about>
- [46] European Commission (2023) Caring for Soil Is Caring for Life. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/caring-soil-caring-life_en
- [47] European Commission (2023) AGROforestry and MIXed Farming Systems—Participatory Research to Drive the Transition to a Resilient and Efficient Land Use in Europe. <https://cordis.europa.eu/project/id/862993>
- [48] European Commission (2023) Multi-Actor and Transdisciplinary Development of Efficient and Resilient MIXED Farming and Agroforestry-Systems. <https://cordis.europa.eu/project/id/862357>
- [49] STARGATE (2023) STARGATE Project. <https://www.stargate-h2020.eu/project/>
- [50] Israel Meteorological Service (2022). <https://ims.gov.il/en/stations>