

邵一鸣,周志伟,胡振宇,等. 基于文献计量学的垂直农场研究现状分析[J].华中农业大学学报,2020,39(6):144-154.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.06.020

# 基于文献计量学的垂直农场研究现状分析

邵一鸣<sup>1</sup>,周志伟<sup>1</sup>,胡振宇<sup>1</sup>,LU Chungui<sup>2</sup>,李加强<sup>1</sup>

1.南京工业大学建筑学院,南京 210003; 2.英国诺丁汉特伦特大学动物、乡村与环境科学院,NG25 0QF

**摘要** 垂直农场是农业和建筑环境跨学科领域研究的最新方向之一。本文以 CNKI、Scopus 和 Web of Science(WoS)为主要数据来源,以关键词检索精选出国内外相关文献 184 篇,采用文献计量学的方法对其进行定量分析,总结了垂直农场研究的现状、发展趋势以及面临的挑战。结果显示:垂直农场的概念于 1999 年被提出后,前 10 年的发展较为缓慢,发表的相关文献也很少;而 2010 年以后,发展提速,文献数量总体呈上升趋势。但从总体数量还是核心数据库的收录情况来看,相关研究还是非常不足。对 WOS 核心合集数据库中的 21 篇文献分析发现,研究的最新热点不但在农业科技方向,同时也聚焦于环境科学方向,特别是在建筑环境方向大有可为。在对比分析各文献研究内容的基础上对垂直农场的研究热点进一步精炼和总结,并梳理出研究方法。同时,就垂直农场的技术性、经济性和可行性进行了分析,阐述了未来技术的发展方向。

**关键词** 垂直农场;垂直农业;文献计量学;生态设计;数据库;立体绿化;绿色建筑

**中图分类号** S-058 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)06-0144-11

当前世界范围内,人口膨胀以及城镇建设占用了大量的土地,导致了农业耕地和建设用地的矛盾加剧<sup>[1]</sup>。而全球气候变化导致的不确定性的极端气候对传统模式的农业生产影响巨大,引发了人们对食品保障的担忧<sup>[2]</sup>。1999 年,美国哥伦比亚大学 Despommier 教授提出了城市“垂直农场”的概念<sup>[3]</sup>,并致力于倡导以这种全新的生产模式来应对现代社会所面临的一系列挑战。

垂直农场基本思路是把原本单层平铺的农业模式转化为垂直方向多层叠放的模式,集成现代高科技农业的无土栽培、人工 LED 光源、环境控制、可再生能源等技术,在城市建筑物内进行农业生产<sup>[4]</sup>。相较于传统农业,垂直农场的主要优势有:(1)高效利用土地资源,缓和人地矛盾。(2)室内环境可控的模式在极大提高农业生产效率的同时,避免使用农药,保证了食品安全。(3)利用可再生能源和资源循环利用技术,节水节能,极大降低农业生产过程中对环境的污染。(4)建立城市“地产食品供应链”,作为对长距离食品供应链的补充和缓冲。(5)提供全新的就业模式和工作岗位<sup>[5]</sup>。目前,世界范围内已经有上百个技术方案不尽相同的垂直农场建成运行,

其数量每年还在稳步增加<sup>[6]</sup>。然而,对于垂直农场的研究仍处于初级阶段。

近年来,文献计量学发展迅速,利用统计学和数学的方法,研究某一学科在一段时间内的发展脉络和状况已经成为各学术领域的一个重要手段。一个学科文献数量的多少及其变化一定程度上反映了这个学科的发展状况、进展和趋势<sup>[7]</sup>。笔者借助 CNKI、Scopus 以及 Web of Science(WoS)数据库,利用文献计量学方法对世界范围内垂直农场的相关文献进行了检索和定量分析,对国内外垂直农场研究进行分析,探究目前关于垂直农场研究的现状、发展趋势、面临的挑战和研究热点,以期为国内的垂直农场研究提供参考。

## 1 数据来源和研究方法

数据主要来源为三大数据库:CNKI 库是国内权威的中文文献收录全面的数据库;Scopus 数据库广泛收录了世界范围内的英文文献;而美国的 Web of Science 数据库收录了世界自然科学、社会科学、人文科学等领域的一流文献,代表了世界最先进的研究水准。所有文献的检索过程分为 3

收稿日期:2020-05-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51708283;41871189);江苏省自然科学基金项目(BK2017011);高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室(同济大学)2019 年校外开放课题(2019030101)

邵一鸣,博士。研究方向:垂直农场、立体绿化与绿色建筑环境。E-mail: sym19851021@njtech.edu.cn

个步骤。

第1步：对 CNKI 全文数据库中所有中文文献进行篇名搜索。检索词为“垂直农场”或“垂直农业”；第2步：对 Scopus 数据库和 WoS 数据库中所有文献进行篇名搜索。使用的主要检索词为“vertical farm”“vertical farming”以及“vertical agriculture”；第3步：将第2步检索得到的外文文献增加精简范围为 WoS 数据库中的核心合集数据库，得到核心文献。

检索完毕后，借助 Excel 工具将文献的载文量、国家、作者、研究学科以及引文等基本情况进行可视化分析。然后，运用传统文献分析方法，进行描述性分析，发掘关于垂直农场研究发展的趋势、活跃作者、各国研究的热度以及世界垂直农场的研究热点等信息。最后，根据统计的结果，总结世界垂直农场发展的现状并探究研究发展的热点和趋势。另外，将中外垂直农场的研究状况进行对比，为未来的研究者提供借鉴。

## 2 检索结果

### 2.1 中文文献检索

第1步在 CNKI 数据库进行检索后，共计获得 99 条记录。剔除外文文献和不相关文献，得到 66 条符合要求的记录。从文献的发表时间上看（图 1），国内介绍垂直农场最早的一篇文献是 2004 年在《国际生态城市建设论坛文集》上发表的会议论文，篇名为“城市垂直农场——及其在城市持续发展中的意义”。但 2004—2006 年间没有论文发表。2007 年才有第 1 篇关于垂直农场研究的期刊文献发表。其后每年都有文献发表，最多的是在 2015 年，达到 13 篇。往后每年的研究热度有所降低，发表数量保持在 6 篇左右。从作者发文数量上看，作者分布比较分散，没有发文 5 篇以上的作者。发文数量最多的是陈旭铭，共发表了 3 篇相关文献。刘焯、黄曼、王敬华都是各发表 2 篇文献，其余的 54 名作者都仅发表了 1 篇文献。从学科分布上看，国内垂直农场相关研究的学科分布主要集中在农业科技、经济与管理科学以及工程科技，合计占比高达 88.8%。从发表类型上看，绝大多数文献都来自期刊，共 55 篇，占比 83.3%；刊载在报纸上的文献和会议文献均为 4 篇，各占 6.1%；剩下的 3 篇是学术论文，占 4.5%。从发表文献的水平等级上来看，核心及以上期刊为 7 篇，仅占总数的 10.6%。对所有文

献进行引文分析，数据可视化后得到引文关键词共现图谱（图 2）。可以看出，在所有被引用文献中出现最多的关键词是垂直农业。其他出现频次较多的关键词还有垂直农场、农业生产、农业发展模式、生态环境等。

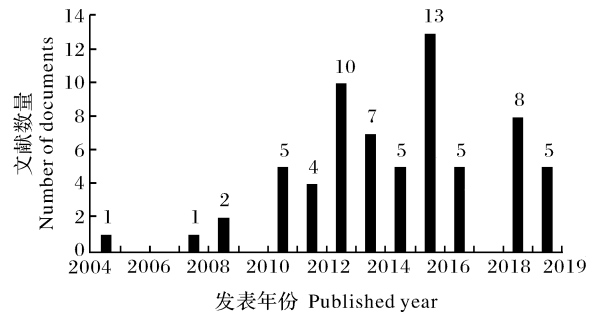


图 1 国内垂直农场文献数量按年度分布

Fig.1 The number of domestic vertical farm documents distributed by year

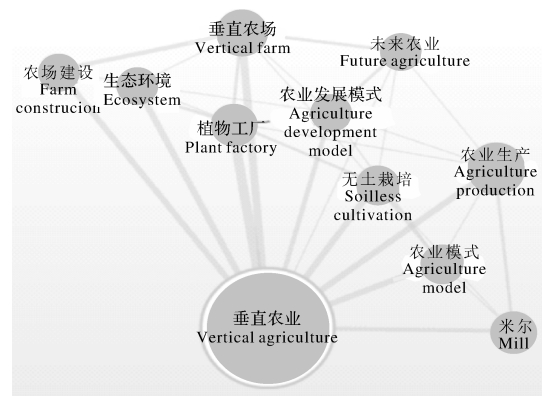


图 2 国内垂直农场文献引文关键词共现图谱

Fig.2 Citation keywords co-occurrence atlas of domestic vertical farm literature

### 2.2 外文文献检索

第2步在 Scopus 数据库进行检索，共计获得 117 篇文献。剔除重复和不相关的文献，得到 84 条符合要求的记录。为了与国内的研究进行更好地对比，将得到的这 84 篇文献同样按发表年代、作者、国家和地区、载文量和载文类型以及学科类别等数据进行分类分析。从文献的发表时间（图 3）上看，被收录的英文文献数量大体呈持续上升趋势。从 2008 年的 5 篇，到 2019 年的 24 篇，增长幅度明显。从作者发文数量上看，活跃度较高的作者是 Despommier(7 篇)、Sivamani(4 篇)、Cho(3 篇)。另外，发表文献 2 篇及以上的作者多达 22 位。文章来源国家或地区的地理空间分布的数量在一定程度上反映了世界范围内各个国家或地区的研究热度分布

情况。从国家和地区发文来看,发文量美国最多,共 20 篇,占总发文量的 23.5%;韩国和英国各发表 9 篇,占 10.7%;其后依次是马来西亚(6 篇,7.1%)、加拿大(5 篇,5.9%)、德国和新加坡(各 4 篇,各 4.8%),中国、荷兰和波兰(各 3 篇,各 3.6%),其余 17 个国家和地区都是 2 篇及以下。从发表类型上看,50%的文献是期刊论文,32.1%是国际会议报告,还包括评述(4.8%)、便签及短评(2.4%)、书籍(1.2%)和信件(1.2%)等,类型较为丰富。从学科分布上看(图 4),涉及的学科领域十分广泛,其中占比 10%以上的学科门类为工程技术(占比 22%)、环境科学(占比 13%)、社会科学(13%)、信息技术(12%)

和农业科学(11%)。其他涉及到的学科领域包括能量学、艺术人类学、物理学和材料学等。

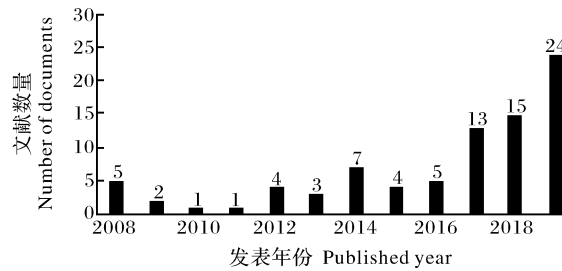


图 3 垂直农场外文文献数量按年度分布  
Fig.3 The number of foreign vertical farm documents distributed by year

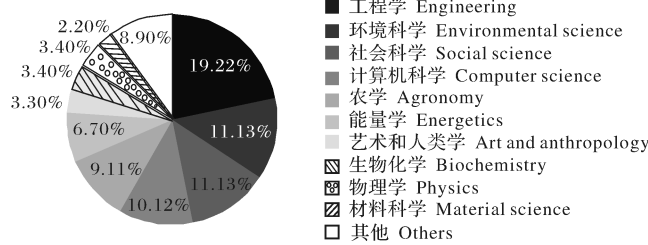
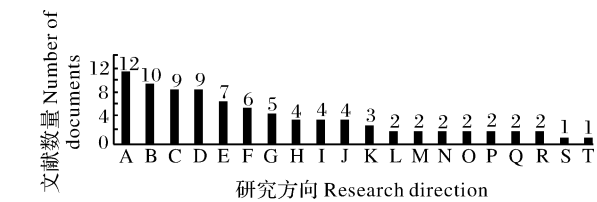


图 4 垂直农场外文文献数量按学科类别划分

Fig.4 The number of foreign vertical farm documents distributed by subject category

### 2.3 WoS 核心合集数据文献检索

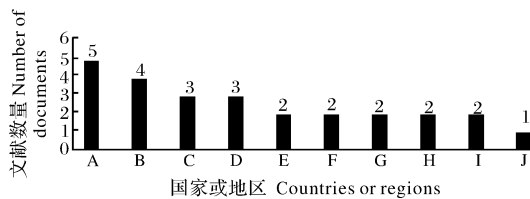
将第 2 步搜集到的英文文献精简检索范围至 WoS 核心合集期刊后,得到核心文献 25 篇。从国家地区发文数量来看(图 5),欧美国家(美国、英国、德国)领先。亚洲国家中,韩国和新加坡居于前列,我国仅 1 篇,居于较后位置。从学科分布来看(图 6),集中分布的学科方向主要有:农业(12 篇,57.1%)、植物科学(10 篇,47.6%)、环境科学(9 篇,42.9%)、工程学(7 篇,33.3%)、食品技术科学(6 篇,28.6%)、地理学(5 篇,23.8%)和商业经济学(4 篇,19%)等。



A.农业 Agriculture;B.植物科学 Plant science; C.环境科学 Environmental science; D.科学技术 Science and technology; E.工程学 Engineering; F.食品科学技术 Food science and technology; G.地理学 Geography; H.商业经济 Business economy; I.建筑结构 Building structure; G.能源燃料 Energy fuel; K.仪器设备 Equipment; L.计算机科学 Computer science; M.渔业 Fishery; N.林学 Forestry; O.政府法规 Government regulations; P.化学 Chemistry; Q.物理学 Physics; R.通信科学 Communication science; S.生物多样性保护 Biodiversity conservation; T.交流学 Communication.

图 6 WoS 核心合集期刊垂直农场文献数量按研究方向分布

Fig.6 The number of WoS core collection vertical farm documents distributed by research direction



A.美国 America; B.英格兰 England; C.德国 Germany; D.韩国 Korea; E.加拿大 Canada; F.新加坡 Singapore; G.土耳其 Turkey; H.中国香港 Hong Kong; I.意大利 Italy; J.中国(大陆) China mainland.

图 5 WoS 核心合集期刊垂直农场文献数量国家(地区)分布

Fig.5 The number of WoS core collection vertical farm documents distributed by regions and countries

## 3 分析与讨论

### 3.1 国内外数据的对比分析

从发文时间来看,国内关于垂直农场的研究萌芽于 2004 年,国外有关垂直农场的概念开始引入国内学界。2008 年之后每年都有一定数量的文献发



表,到2015年文献发表数量达到了历年来的最高。说明垂直农场已经愈发地得到国内学界的关注。国际上对于垂直农场的相关研究其实开始的也并不比国内早,2008年后才有持续性上升趋势,但不断加速,近几年屡创新高。可惜的是,国内相关研究热度在2015年达到峰值后反而有较大幅度的回落。

从作者分布和发表文章的等级来看,国内的66篇文献共由58名作者完成,最活跃作者发文3篇,有54人仅发表1篇。这折射出国内研究比较分散,缺少学科的领头人和团队。国内文献进入中国核心期刊的文献数量仅7篇(仅占10.6%),其余相当比例的文章为科普性质,未取得一手数据或取得的一手数据较少,缺少原创的、较深入的量化分析。国外的研究团队则相对集中,除了垂直农场概念创始人Despommier教授为未来垂直农场的发展做出了方向性的指引外,同时有不少团队基于项目实践,取得了许多第一手数据,进行了深入的研究,提供了更加坚实的理论基础。Scopus收录的外文文献中有近1/4都来源于WoS核心合集数据库,证明了其研究质量。

从涉及的学科领域来看,国内外存在一定的差异性。国内由农业科学主导,经管类学科的发文量排名第2,超过了工程类,其他各类总和只有不到12%;国外工程类排名第1,涉及到的学科领域更广,也更加均衡。

### 3.2 研究热点和潜在的研究机会

高频关键词能够反映出—个领域的研究热点。通过对引文关键词分析可以发现,除了“垂直农场”和“垂直农业”两个关键词,其余出现频次最高的关键词为无土栽培、植物工厂、未来农业、生态环境和农业生产等,这些关键词一定程度上也揭示了当前的研究热点和趋势。在对检索得到的所有文章进行梳理之后发现,大部分文献仅仅是科普性的概述类文章,关于垂直农场的开发运营、技术细节、环境影响、资源利用等方面的第一手资料并不多。于是,我们对所有文献进行筛选,检索出中文核心期刊和WoS数据库中的相关文献,对这些文献进行精读和分类,结果如表1所示。

其中,在对表1中相关文献进行研读后发现,国内外关于垂直农场的研究热点主要集中在以下几方面:

1) 技术集成。在垂直农场形式结构方面,刘焯等<sup>[43]</sup>结合农业综合大楼和绿色社区2个设计案例,

以图解形式描述了垂直农场的一般建筑结构。在种植光源选择方面,张莉等<sup>[44]</sup>研究了环境光对植物生长发育的影响以及光照质量对植物生理和形态的影响,发现LED人工光源中波长对比对植物生长有重要意义。龙家焕等<sup>[45]</sup>研究表明不同单色光谱对植物生长发育的影响不同,组合光谱将是今后植物补光中所应用的主流光谱。在资源循环利用方面,Vaughan等<sup>[22]</sup>列举了垂直农场在污水处理方面的作用。垂直农场可以充分利用经过回收处理后的城市污水。一般处理的污水可用于农作物的灌溉,二级处理的污水稀释后添加适量的营养液可以达到垂直农场水培、气培的水质要求<sup>[31]</sup>。在可再生能源利用方面,垂直农场中利用最多的可再生能源是太阳能,使用太阳能光伏、太阳能热是2种最常见的方法<sup>[24]</sup>。Safikhani等<sup>[42]</sup>研究发现,将一座长度为44 m、宽度为11.5 m的垂直农场建筑的屋面装配太阳能电池板,则可以节约12%~22%的电能。在Despommier设计的“Skyfarm”中<sup>[46]</sup>,为建筑物和植物生长每年提供照明需要消耗8 200万kW·h的电能,相当于燃烧45 000 t湿肥料所产生的能量。如果将农场废物中的甲烷产品燃烧,则可以节约一半的能量。在农作物选择方面,Khalil等<sup>[47]</sup>研究表明只要满足一定的温湿度条件,垂直农场几乎可以种植所有的农作物。但是由于建筑楼层的高度、植物生长需要的空间和仪器设备的高度等条件的限制,目前垂直农场生产最常见的产品是生菜、绿叶蔬菜、草药、番茄和草莓等<sup>[27]</sup>。在耕作策略方面,垂直农场的耕作策略不同于传统农业,通常采用水培技术。水培法是一种将植物根部直接浸入营养液中的无土栽培法。相关研究表明,水培法可以充分利用城市污水,所以其节水率可达95%。相比于土壤种植,其产量提高近10倍。此外,水培法营养液中所含的养分比土壤中更多且更好调配<sup>[13,48]</sup>。鱼菜共生系统也是垂直农场研究的关注点之一。徐伟忠等<sup>[49]</sup>从螺旋梯田和无土栽培设施的构建以及耕养技术的管理等方面分析了鱼菜共生技术的构建和应用前景。螺旋梯田式垂直农场模式提高了单位面积的空间利用率,且更符合节省材料和节能的要求。鱼菜共生模式,采用生态平衡原理,是生产安全绿色农产品的有效方法。耕养结合的鱼菜共生技术,结合螺旋式垂直农场模式拥有很好的推广前景。

表 1 中文核心期刊和 WoS 期刊文献内容分类

Table 1 Content classification of Chinese core journals and WoS journals

		文献内容 Document content	参考文献 References
概述 General		概念引入 Concept introduction	[3,8-11]
		案例分析 Case studies	[12-13]
技术 Technology	垂直农场整体架构 Structure of vertical farm	结构和建筑材料 Structure and building materials	[14-20]
	光源系统 Light source system	自然光作为照明系统能源 Natural light as the lighting system energy	[21-23]
		太阳能光伏作为照明系统能源 Solar photovoltaic as the lighting system energy	[22-24]
		LED 系统组合光谱 LED system combined spectrum	[13,21,25]
	水资源利用 Water resource utilization	除湿法回收水 Dehumidification method to recover water	[15]
		再循环法回收水 Recycling method to recover water	[15]
	可再生能源 Renewable energy	太阳能替代电能 Solar energy replaces wind energy	[22,24,26]
		风能替代电能 Wind energy replaces solar energy	[22,24,26]
	种植系统 Planting system	作物选择 Crop selection	[15,27]
		水培法和气培法 Hydroponics and aeroponics	[19,28-29]
水产养殖子系统 Aquaculture system		[13,28,30]	
牧业生产 Animal husbandry system		[27,30]	
控制系统 Control system	暖通空调系统 HVAC system	[15,31-32]	
	智能监控系统 Intelligent monitoring system	[15,18,33-34]	
	垃圾处理系统 Waste treatment system	[15,22,31-32]	
经济性和可行性分析 Economic and feasibility analysis	经济性分析 Economic analysis	[5,16,26,28-29,35-38]	
	可行性分析 Feasibility analysis	[5,32,36,39-40]	
环境效益 Environmental benefits	室内物理环境 Indoor physical environment	通风 Ventilation	[13,41]
		光照 Illumination	[13,25]
		温度 Temperature	[31]
		湿度 Humidity	[31]
	城市生态环境 Urban ecological environment	噪声 Noise	[42]
		二氧化碳浓度 Carbon dioxide concentration	[22,26]
		垃圾处理 Waste treatment	[17,22,30-31]
	废水处理 Wastewater treatment	[13,22,30-31]	
	环境净化 Environmental purification	[13,22,25,31]	

2) 经济性或可行性分析。Touliatos 等<sup>[29]</sup> 通过将生菜在直立圆柱中生长与在水平水培系统中生长进行对比,分别测算了两者单位建筑面积的产菜量和种植量之比。结果表明,在不考虑柱间距对单位面积产量的影响时,由于垂直种植法将植物的种植空间扩大到了垂直维度,其单位建筑面积上植物的种植量是水平种植法的 20 倍,所以使用垂直种植法时单位面积的产菜量提高了 13.8 倍。这表明了垂直农业相对于传统的水平生长系统提高了空间利用效率,从而增加了单位面积的产量。Shao 等<sup>[50]</sup> 开发了世界上第一个专门用于垂直农场效益评估的软件,用来模拟评估不同地区、不同类型、不同技术水平等多因素影响下,垂直农场的投资额、投资回报

率、蔬菜产量、水电气消耗量等。在对上海、伦敦、纽约等国际大城市进行模拟评估分析,结果表明,垂直农场应对蔬菜价格高、能源成本低、人力成本高的地区有较强的推广价值,反之则投资回报率没有吸引力。

3) 生态环境效益。Yuan 等<sup>[41]</sup> 将蔬菜建模为多孔介质,通过计算流体力学(CFD)软件模拟,研究了垂直农场对住宅建筑自然通风的影响。研究表明,蔬菜的阻隔率显著地影响了建筑外墙的自然通风性能,调整蔬菜的阻隔率可以改变建筑外墙的通风性能。当 3/4 的建筑外墙被植物覆盖,即阻隔率为 0.75 时,最小下风风速为 0.2 m/s,进风风速为 2.0 m/s,此时外墙的自然通风效果非常有限;当阻

隔率为0.5时,一半的进风气流流失,即进风风速为1.0 m/s,此时外墙通风效果良好。此外,适当改变蔬菜的排列方式和种类,也可以改善具有相同阻隔率的外墙的自然通风性能。施伟<sup>[51]</sup>以江苏省农科院农业综合服务中心改造为例,针对垂直农业表皮建筑本身特征及南京市气候特征进行了模拟分析,研究了垂直农业表皮对室内物理环境的影响。研究表明,以垂直农业表皮进行改造后建筑内部第5层的采光系数从96.48%下降到88.48%,自然采光照度由52.89%提高到97.22%,解决了窗口眩光和室内光线分布不均匀的问题。夏季5层建筑室内风速在1.5 m/s左右,且分布均匀;冬季在窗户全打开的情况下,走道风速较大,但分布比较均匀。

总的来看,在垂直农场的研究热点中,技术集成方向发展最快,涵盖的子方向也最多,相对全面,采用的研究方法主要为实验测试法和案例分析法。对于单项的关键技术,如LED种植灯、水培和气培技术、智能监控技术等,采用实验测试法进行量化测试。对于系统集成则多选择技术综合性集成的案例进行研究分析。经济性和可行性分析方面,目前实际案例中鲜有具体运营成本、能耗和利润的细节数据和较完整的信息披露。全球范围内垂直农场这种新型开发项目还屈指可数,因此相关信息很大程度上涉及了商业秘密。一些研究人员或利用小规模的实验性种植取得实测数据,或利用构建分项统计的数学模型进行模拟分析,对不同类型的垂直农业进行效益评估分析,并以陆续获取的最新数据对其进行验证,从而预测其发展趋势。而对生态环境效益的研究方法主要是通过实验配合计算机模拟软件进行研究,实验作为计算机模拟准确度的验证,而多次重复性的参数化研究则由计算机模拟完成。

伴随着世界上不同地区植物工厂的建成,垂直农场的技术和经济可行性已经部分得到了验证<sup>[52]</sup>。而生态效益也是其相比于传统农业的一大优势,其研究的重点侧重于生态和环境方面。但是目前国内对于其生态环境效益方面的研究还非常缺乏。由于垂直农场主要是以城市建筑为载体,利用竖向空间发展立体种植,所以,从建筑环境的视角去研究垂直农业对于微气候调节、微环境的改善、室内景观品质的提升也是十分必要的<sup>[53]</sup>。目前国内已经有学者正在进行垂直农场对室内环境质量影响的研究,相信很快会有相关的研究成果出现。

### 3.3 存在问题与挑战和解决的途径或预期

垂直农场的概念自诞生起,同样伴随着质疑、甚至是批评的声音。目前,垂直农场面临的挑战主要来自3个方面,即:技术性、经济性和可行性以及对室内环境和城市环境的影响。挑战和解决的途径或预期分析如表2所示。

技术性方面,垂直农场所包含的多种技术,如光源系统、可再生能源、水资源循环利用、种植系统和控制系统等经过长久的发展已经成熟,完全可以整合入垂直农场中。所以,技术手段已经不再是垂直农场发展的主要障碍。

经济性和可行性方面,虽然垂直农场理论上可以种植各种农作物,但是出于成本考虑,垂直农场大多选择生长速度快且含水率大的叶菜类经济作物。而马铃薯和小麦等粮食作物生长周期长且经济性低,不适合在垂直农场中种植。因此,作物的选择对垂直农场的经济性方面具有明显的影响。目前垂直农场能耗大、运营成本高的问题将会随着技术的进步而逐步得到缓解或彻底解决,如人工光源能效提升、价格降低<sup>[54-59]</sup>,甚至是当人类核聚变发电取得突破后彻底得到解决。届时,垂直农场的优势——节地、高产将得到极大的彰显,在性价比方面将一举击败传统耕作方式。

对室内环境的影响方面,有正面影响也有负面影响。正面影响有对室内二氧化碳、颗粒物和部分可挥发性有机物的吸收和吸附作用,提高了室内空气质量;绿色生态设计对人视觉的放松作用;窗口的遮阳和光线调节作用等。不利的包括:室内湿度有一定幅度的升高,尤其是夏季环境湿度已经较高的情况下,进一步的升高对人的舒适度有一定影响,吸水性强的物品容易发霉损坏<sup>[56,59]</sup>;水循环系统有一定噪音,对静谧性要求高的空间不宜使用<sup>[42,60]</sup>;可能会引起少量过敏体质的人群的不适<sup>[47,60]</sup>;人工光源的散热会提高室内温度,于夏季炎热地区来说是不利因素<sup>[56,61-62]</sup>。不利因素的解决途径主要是利用多系统协同工作,抵消负面影响<sup>[42,46-47,58-62]</sup>。

对城市环境的影响方面,可能产生的负面影响主要是垂直农场所排出的废气、废水、废物、废热等对城市环境的影响。解决的途径主要有三个:(1)通过合理调配、多次利用等方式,减少废弃物的产生<sup>[22,30-31]</sup>;(2)通过技术手段,使废弃物循环再利用<sup>[48,60,63-65]</sup>;(3)利用城市的废弃物处理基础设施对剩余的废弃物进行处理<sup>[47,56]</sup>。



表 2 垂直农场目前面临的问题和挑战以及可能的解决途径

Table 2 Current problems and challenges facing vertical farming and possible solutions

问题与挑战 Problems and challenges	解决途径或预期 Solution or expectation	参考文献 References
缺少自然光,LED 种植灯能耗大 Lack of natural light, while LED planting lights consume a lot of energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 提高 LED 种植灯的发光效率 Improve the efficiency of LED growth lights</li> <li>● 利用风能和太阳能等可再生能源进行发电 Use renewable energy such as wind and solar energy to generate electricity</li> <li>● 使用更有效的无电极感应灯等紧凑型荧光照明 Use more efficient compact fluorescent lighting such as electrodeless induction lamps</li> </ul>	[54-55]
能耗和经济性 Energy consumption and economy performance	<p>现代化温室、人工种植光源、养分输送系统、作物生长平台的投资成本较高,技术性工人人力成本较高 Modern greenhouses, artificially growth light sources, nutrient delivery systems, and crop growth platforms have high investment costs, and labor costs for skilled workers are also high</p>	[56-57]
相比于传统农业,植物生长所需的土地、光照、高于环境浓度的二氧化碳和水都需要投入,成本更高 Compared with traditional agriculture, the land, light, CO <sub>2</sub> enrichment and water for vertical farming require investment	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 将垂直农场整合到当前的基础设施中 Integrate vertical farms into the current infrastructure</li> <li>● 利用城市中已经存在的未使用区域,例如空置和无人居住的建筑 Use existing unused areas in the city, such as vacant and uninhabited buildings</li> </ul>	[46,58-59]
对室内环境的影响 Impact on the indoor environment	植物蒸腾作用会排出大量的水蒸气,增加了室内的湿度 Plants' transpiration emits a lot of water vapor, which may increase indoor humidity	[56,59]
垂直农场中的器械运作会产生一定的噪音 The operation of the equipment in the vertical farm generates a certain amount of noise	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 配备机械压缩除湿机,不仅可以吸收植物蒸腾时排除的水蒸气,降低室内湿度。而且除湿机吸收的水分可以用于垂直农场的灌溉和种植,节约了用水 Equipped with a mechanical compression dehumidifier, the vertical farm can not only absorb the water vapor emitted during plants' transpiration so as to reduce indoor humidity, but also use it for irrigation</li> <li>● 植物本身可以帮助吸收噪声,同时植叶片能够降低声反射 Plants themselves can help absorb noise, while plants' leaves can reduce sound reflection</li> <li>● 通过采用一些缓冲构造,降低噪声的发生 By adopting some buffer structures, the occurrence of noise can be reduced.</li> </ul>	[42,60]
当垂直农场位于办公和居住环境中,人可能由于植物产生过敏现象 When the vertical farm is located in the office or residential environment, it may cause allergy	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 采用滴灌的方法,不仅可以减少蒸发和深层排水,达到节水的目的,还以消除许多通过与叶子片接触而传播的疾病 The drip irrigation method can not only reduce evaporation and deep drainage to achieve the purpose of water saving, but also eliminate many diseases that are transmitted through contact with leaves</li> </ul>	[47,60]
LED 种植灯会产生热量,提高室内温度 LED growth lights generate heat which increases indoor temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用更有效的无电极感应灯等紧凑型荧光照明 Use compact fluorescent lighting such as more efficient electrodeless induction lamps</li> <li>● 利用智能检测系统对室内空调系统进行更有效地控制和监测 Use the intelligent detection system to more effectively control and monitor the indoor air conditioning system</li> </ul>	[56,61-62]

续表2 Continued Table 2

问题与挑战 Problems and challenges	解决途径或预期 Solution or expectation	参考文献 References
垂直农场会产生大量固体废弃物 Vertical farms generate a lot of solid wastes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 农作废物产生的含甲烷可作为垂直农场的燃料,充分燃烧后可提供日常生产所需的能量 The methane contained in agricultural waste can be used as fuel for vertical farms, and after full combustion, it can provide energy for daily production</li> </ul>	[47,56]
水培法废水的替换,如直接排入城市管网会造成污染 The replacement of hydroponic wastewater, such as direct discharge into the urban pipe network, may cause pollution	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 采用鱼菜共生、水产养殖和蛭养殖等种植模式,将污水、废水中的营养物质和有机废物作为鱼类等的食物,从而回收利用废水 Use fish-vegetable symbiosis, aquaculture, leech farming and other planting modes to use the nutrients and organic waste in sewage and wastewater as food for fish, so as to recycle wastewater</li> <li>● 使用生物修复技术和其他技术(尚待完善)使其恢复到接近饮用水的质量 Use bioremediation technology and other technologies (to be perfected) to restore the quality close to drinking water</li> <li>● 利用智能检测系统对室内空调系统进行更有效地控制和监测 Use the intelligent detection system to more effectively control and monitor the indoor air conditioning system</li> </ul>	[48,60,63-65]
垂直农场通风系统会将室内温室气体排放到室外 Vertical farm ventilation system will emit greenhouse gases from indoor to outdoor	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 垂直农场的增加可以缓解耕地压力,退耕还林后,可以平衡吸收更多的温室气体 The increase of vertical farms can alleviate the pressure on cultivated land. After returning farmland to forests, it can absorb more greenhouse gases in a balanced manner</li> </ul>	[55,62,66]

综上,垂直农场所涉及的关键技术目前已经基本成熟,不存在大的障碍。制约其发展的关键因素是经济性及效费比。通过慎重选择作物品种以及不断提升设备和系统的能效,将极大提升垂直农场的性价比。至于如何应对垂直农场对环境可能产生的不利影响,一方面应通过系统协同工作,抵消一部分负面影响;另一方面则需要通过技术手段对废弃物进行收集和循环利用。

## 4 结 论

垂直农场研究相对于其他已经成熟的研究领域来说,是一个相对年轻的新兴领域,存在着相当大的潜力等待挖掘。垂直农场研究需要多学科参与,数据表明目前国内的大部分发表文献的研究内容仍停滞在概念推广阶段,对于农业技术和经济可行性的研究先于对生态环境、建筑环境方面,而对后者的研究才刚刚起步。目前国际上高水平的研究热点主要在3个方面,即:技术集成、经济性或可行性分析、生态环境效益。技术方面的研究涵盖较为全面,而经济性分析和对环境的影响方面还存在一定的不确定性,亟待研究。相较于国外研究的广泛性和均衡性,国内的研究还存在着一定的差距。我们应把握国际最新研究动态,努力开展多学科的合作,促进研究的

深入和方向的转变,理论和实践双管齐下,在垂直农场的研究领域取得突破。

## 参考文献 References

- [1] 王洋,李东波,齐晓宁. 现代农业与生态农业的特征分析[J]. 农业系统科学与综合研究,2006(2):157-160. WANG Y, LI D B, QI X N. Analyses on features of modern agriculture and eco-agriculture[J]. System sciences and comprehensive studies in agriculture, 2006(2): 157-160 (in Chinese with English abstract).
- [2] 杰克·罗尼克. 为什么说垂直农场能解决粮食短缺问题? [J]. 人类居住,2010(3):28-29. JACK R. Why vertical farms could be the solution to food shortages? [J]. Human settlements, 2010(3):28-29(in Chinese).
- [3] 李启凤,王宇欣,韩梦宇. 世界垂直农业发展案例分析与展望 [J]. 农业工程,2013,3(6):64-67. LI Q F, WANG Y X, HAN M Y. Cases study and prospect analysis of vertical farming[J]. Agricultural engineering, 2013, 3(6): 64-67 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张玮,张莉. 立体农场——未来城市与生态发展新模式[J]. 城市环境设计,2012(10):245. ZHANG W, ZHANG L. Vertical farm-new model of future urban and eco-development[J]. Urban environmental design, 2012(10):245(in Chinese).
- [5] 陈旭铭. 垂直农业在城市发展所面临的问题与策略研究[J]. 生态经济,2013(3):136-139. CHEN X M. Prospect and strategies of the development of vertical farm in Chinese cities[J]. Industrial survey, 2013(3): 136-139 (in Chinese with English



- abstract).
- [6] 戴菲,赵文睿,陈宏. 探索垂直农业与都市景观结合的方式:新加坡垂直农场的研究与启迪[J].城市建筑,2019,16(8):128-132. DAI F, ZHAO W R, CHEN H. Exploring the methods vertical agriculture combines with urban landscape: research and enlightenment of Singapore vertical farming[J]. Urbanism and architecture, 2019, 16(8):128-132(in Chinese with English abstract).
- [7] 杨思洛,邱均平. 国内外科学计量学研究进展与趋势分析(2012—2016)(二)[J]. 评价与管理, 2019, 17(4): 17-26. YANG S L, QIU J P. Research progress and trend analysis of scientometrics at home and abroad (2012—2016)(2) [J]. Evaluation & management, 2019, 17(4):17-26(in Chinese).
- [8] EPTING S. Participatory budgeting and vertical agriculture: a thought experiment in food system reform[J]. Journal of agricultural & environmental ethics, 2016, 29(5):737-748.
- [9] WON-IL L. The blue ocean strategy in the agricultural industry convergence: focused on the scenario planning of the 'vertical farm' in Gyeonggi Province[J]. Journal of Korea technology innovation society, 2011, 14(4):983-999.
- [10] LA ROSA D, BARBAROSSA L, PRIVITERA R, et al. Agriculture and the city: a method for sustainable planning of new forms of agriculture in urban contexts[J]. Land use policy, 2014, 41:290-303.
- [11] WALDRON D, BROTHAS L, ROAF S, et al. Vertical farms: historic development, current state and future directions: 33rd International on Passive and Low Energy Architecture Conference: Design to Thrive. PLEA 2017[C]. [S.l.: s.n.], 2017: 168-175.
- [12] WANG X B. The vertical farm of creative design in Beijing 798 industrial heritage blocks[J]. Industrial construction, 2014, 44: 40-44.
- [13] 李鹏,张玺玲,张建国,等. 垂直农场的概念形成与技术支撑体系研究[J]. 世界农业, 2016(5): 48-52. LI P, ZHANG X L, ZHANG J G, et al. Research on concept formation and technical support system of vertical farm [J]. World agriculture, 2016(5):48-52(in Chinese).
- [14] HELBERG J, KLOECKER M, SABANTINA L, et al. Growth of *Pleurotus Ostreatus* on different textile materials for vertical farming[J/OL]. Materials, 2019, 12(14): 2270 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/ma12142270>.
- [15] BEACHAM A M, VICKERS L H, MONAGHAN J M. Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards [J]. Journal of horticultural science & biotechnology, 2019, 94(3):277-283.
- [16] JU J, JI Y, PARK J, et al. The role of cover material in soil water retention and growth of *tropaeolum majus* and *fragaria* spp by vertical farming using hanging baskets in urban agriculture [J]. Journal of environmental science international, 2018, 27(5):291-297.
- [17] 최정심. Development of the ecocycle vertical farming module (EVFM)[J]. Journal of Korea intitute of spatial design, 2016, 11(6):183-191.
- [18] 이행우, KIM Y, 이재일. A study on u-residential space service of ubiquitous vertical farm[J]. Journal of the Korean housing association, 2012, 23(5):51-60.
- [19] 王敬华,贾敬敦. 芝加哥都市垂直农场模式及其启示[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(5):75-79. WANG J H, JIA J D. Pattern of vertical farm in Chicago and its revelation[J]. Journal of agricultural science and technology, 2013, 15(5):75-79 (in Chinese with English abstract).
- [20] 宋晨晖,梁关生,熊明,等. 现代设计理念及其在垂直农场上的应用[J]. 艺术百家, 2013, 29(S2):159-162. SONG C H, LIANG G S, XIONG M, et al. Modern design conception and its application in vertical farm[J]. Hundred schools in arts, 2013, 29(S2):159-162(in Chinese with English abstract).
- [21] FRANCHETTI B, NTOUSKOS V, GIULIANI P, et al. Vision based modeling of plants phenotyping in vertical farming under artificial lighting[J/OL]. Sensors, 2019, 19(20): 4378 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/s19204378>.
- [22] MARTIN G, CLIFT R, CHRISTIE I. Urban cultivation and its contributions to sustainability: nibbles of food but oodles of social capital[J/OL]. Sustainability, 2016, 8: 409 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/su8050409>.
- [23] 양우창. A study on the introduction of LED lighting to vertical farm for urban agriculture[J]. Journal of the Korean society of design culture, 2015, 21(2):335-345.
- [24] CICEKLI M, BARLAS N T. Transformation of today greenhouses into high technology vertical farming systems for metropolitan regions[J]. Journal of environmental protection and ecology, 2014, 15(4):1779-1785.
- [25] SONG X P, TAN H T W, TAN P Y. Assessment of light adequacy for vertical farming in a tropical city[J]. Urban forestry & urban greening, 2018, 29:49-57.
- [26] AL-CHALABI M. Vertical farming: skyscraper sustainability? [J]. Sustainable cities and society, 2015, 18:74-77.
- [27] MALOCHLEB M. Vertical farming to gain ground[J]. Food technology, 2019, 73(9):10-11.
- [28] KHANDAKER M, KOTZEN B. The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates [J]. Aquaculture research, 2018, 49(4):1454-1468.
- [29] TOULIATOS D, DODD I C, MCAINSH M. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics[J]. Food and energy security, 2016, 5(3):184-191.
- [30] 허준호, SUH K. Modelling of a base big data analysis using R method for selection of suitable vertical farm sites: focusing on the analysis of pollutants[J]. Journal of Korea multimedia society, 2016, 19(12):1970-1980.
- [31] DESPOMMIER D. The verticalfarm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations[J]. Journal fur verbraucherschutz und lebensmittelsicherheit, 2011, 6(2): 233-236.
- [32] 陈旭铭. 广州发展建设城市垂直农场的前景探讨[J]. 广东农业

- 科学,2012,39(17):229-232. CHEN X M. Prospect of the development and construction of urban vertical farm in Guangzhou[J]. Guangzhou agricultural science,2012,39(17):229-232(in Chinese with English abstract).
- [33] HUH J.Implementation of lightweight intrusion detection model for security of smart green house and vertical farm[J/OL]. International journal of distributed sensor networks,2018,14(4):1550147718767630 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.1177/1550147718767630>.
- [34] SIVAMANI S,BAE N,CHO Y. A smart service model based on ubiquitous sensor networks using vertical farm ontology[J/OL]. International journal of distributed sensor networks,2013,16(14):95 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.1155/2013/161495>.
- [35] PARK J,KIM H,KIM J,et al. A comparative study of ginseng berry production in a vertical farm and an open field[J/OL]. Industrial crops and products,2019,140(12):1116 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111612>.
- [36] ZHANG H, ASUTOSH A, HU W. Implementing vertical farming at university scale to promote sustainable communities:a feasibility analysis[J/OL]. Sustainability,2018,10(12):4412 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/su10124429>.
- [37] EAVES J,EAVES S.Comparing the profitability of a greenhouse to a vertical farm in Quebec[J]. Canadian journal of agricultural economics,2018,66(1):43-54.
- [38] GRAHAM T,WHEELER R.Mechanical stimulation controls canopy architecture and improves volume utilization efficiency in bioregenerative life-support candidate crops[J/OL]. Open agriculture,2017,2(1):0004 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0004>.
- [39] SPECHT K,ZOLL F,SCHUEMANN H,et al.How will we eat and produce in the cities of the future? From edible insects to vertical farming:a study on the perception and acceptability of new approaches [J/OL]. Sustainability,2019,11(16):4315 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/su11164315>.
- [40] JUERKENBECK K,HEUMANN A,SPILLER A.Sustainability matters:consumer acceptance of different vertical farming systems[J/OL]. Sustainability,2019,11(15):4052 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/su11154052>.
- [41] YUAN C,SHAN R,ADELIA A S,et al. Effects of vertical farming on natural ventilation of residential buildings[J].Energy and buildings,2019,185:316-325.
- [42] SAFIKHANI T,ABDULLAH A M,OSSEN D R,et al. A review of energy characteristic of vertical greenery systems[J]. Renewable and sustainable energy reviews,2014,40:450-462.
- [43] 刘焯. 垂直农业初探[D].天津:天津大学,2010. LIU Y. A study on vertical farm[D]. Tianjin:Tianjin University,2010(in Chinese with English abstract).
- [44] 张莉,喻晓鹏,黄依婷,等. LED人工补光在植物照明中的应用及发展趋势[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2019,37(1):50-55. ZHANG L,YU X P,HUANG Y T,et al. Application and development trend of artificial LED lighting in plant lighting[J]. Journal of Foshan University(natural science edition),2019,37(1):50-55(in Chinese).
- [45] 龙家焕,浦敏,黄志午,等. 光谱调控植物生长发育的研究进展[J]. 照明工程学报,2018,29(4):8-16. LONG J H,PU M,HUANG Z W,et al. Research progress of spectral regulation of plant growth and development[J]. Journal of lighting engineering,2018,29(4):8-16(in Chinese with English abstract).
- [46] DESPOMMIER D. Vertical farms, building a viable indoor-farming model for cities[J]. Field actions science report,2019,2019(special issue 20):68-73.
- [47] KHALIL H I,WAHHAB K A. Advantage of vertical farming over horizontal farming in achieving sustainable city, Baghdad city-commercial street case study:4th Scientific Conference for Engineering and Postgraduate Research,PEC 2019[C].[S.l.]:Institute of physics publishing,2020.
- [48] DESPOMMIER D. Vertical farming using hydroponics and aeroponics[M]. Boca Raton:CRC Press,2017:313-328.
- [49] 徐伟忠,陈银华,曹鹏飞. 垂直农场式鱼菜共生系统的构建及耕作技术[J]. 现代园艺,2019(13):72-74. XU W Z,CHEN Y H,CAO P F. Construction and cultivation technique of vertical farm fish and vegetable symbiosis system[J]. Contemporary horticulture,2019(13):72-74(in Chinese).
- [50] SHAO Y M,HEATH T,ZHU Y. Developing an economic estimation system for vertical farms[J]. International journal of agricultural and environmental information systems,2016,7(2):26-51.
- [51] 施伟. 既有建筑改造中的垂直农业表皮应用及其对室内物理环境的影[D]. 南京:南京大学,2016. SHI W. Study on the application of vertical agricultural skin and its influence on indoor physical environment of existing buildings-reconstruction design of comprehensive agricultural service center[D]. Nanjing:Nanjing University,2016(in Chinese with English abstract).
- [52] 张晓慧,周增产,王峻峰,等. 植物工厂关键技术的研究与应用[J]. 北方园艺,2010(4):204-207. ZHANG X H,ZHOU Z C,WANG J F,et al. Research and application of key techniques in plant plants[J]. Northern horticulture,2010(4):204-207(in Chinese).
- [53] YUAN C,SHAN R,ADELIA A S,et al. Effects of vertical farming on natural ventilation of residential buildings[J]. Energy and buildings,2019,185:316-325.
- [54] O SULLIVAN C A,MCINTYRE C L,DRY I B,et al. Vertical farms bear fruit[J]. Nature biotechnology,2020,38(2):160-162.
- [55] DESPOMMIER D. Farming up the city:the rise of urban vertical farms[J]. Trends in biotechnology,2013,31(7):388-389.
- [56] AL-KODMANY K. Thevertical farm:exploring applications for peri-urban areas[J]. Modeling and optimization in science and technologies,2020,17:203-232.
- [57] TAN G,HENG A,BIN M H,et al. Implementation of lean manufacturing principles in a vertical farming system to reduce dependency on human labour[J]. International journal of advanced trends in computer science and engineering,2020,9(1):512-520.
- [58] KIM H G,PARK D H,CHOWDHURY O R,et al. Location-

- based intelligent robot management service model using RGPS with AoA for vertical farm[M/OL]. JEONG H, OBAIDAT S M, YEN N. *Advances in computer science and its applications: lecture notes in electrical engineering*. Springer, Berlin; Heidelberg, 2014: 309-314. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41674-3\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41674-3_44).
- [59] AL-KODMANY K. The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city[J/OL]. *Buildings*, 2018, 8(2): 24 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/buildings8020024>.
- [60] AVGOUSTAKI D D, XYDIS G. Indoor vertical farming in the urban nexus context: business growth and resource savings[J/OL]. *Sustainability*, 2020, 12(5): 1965 [2020-05-30]. <https://doi.org/10.3390/su12051965>.
- [61] SPECHT K, SPECHT K, SIEBERT R, et al. Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings[J]. *Agriculture and human values*, 2014, 31(1): 33-51.
- [62] TABLADA A, KOSORIĆ V, HUANG H, et al. Architecture-quality of the productive façades integrating photovoltaic and vertical farming systems: survey among experts in Singapore [J]. *Frontiers of architectural research*, 2020, 9(2): 301-318.
- [63] THOMAIER S, SPECHT K, HENCKEL D, et al. Farming in and on urban buildings: present practice and specific novelties of zero-acreage farming (Z-Farming) [J]. *Renewable agriculture and food systems*, 2015, 30(1): 43-54.
- [64] TROMBADORE A, PALUDI B, DOSTUNI M, et al. The energy of the green: green facades and vertical farm as dynamic envelope for resilient building: International Conference on Climate Resilient Cities - Energy Efficiency and Renewables in the Digital Era 2019, CISBAT 2019[C]. [S.l.]: Institute of Physics Publishing, 2019.
- [65] TOLGA A C, GAMSIZ B, BASAR M. Evaluation of hydroponic system in vertical farming via fuzzy EDAS method[J]. *International conference on intelligent and fuzzy systems*, 2019/2020, 1029: 745-752.
- [66] DESPOMMIER D. Advantages of the vertical farm[J]. *Springer optimization and its applications*, 2012, 56: 259-275.

## Bibliometrics-based review of vertical farm

SHAO Yiming<sup>1</sup>, ZHOU Zhiwei<sup>1</sup>, HU Zhenyu<sup>1</sup>, LU Chungui<sup>2</sup>, LI Jiaqiang<sup>1</sup>

1. *School of Architecture, Nanjing Tech University, Nanjing 210003, China;*

2. *School of Animal, Rural and Environmental Sciences, Nottingham Trent University  
Brackenhurst Campus Southwell Nottinghamshire, Nottingham NG25 0QF, UK*

**Abstract** Vertical farms are one of the latest research directions in the interdisciplinary field of agriculture and the building environment. This article uses CNKI, Scopus and Web of Science (WoS) as databases, and selects 184 domestic and foreign related literatures by searching keyword. The bibliometrics methods are used to quantitatively analyze them, and summarize the current status and development trend of vertical farm research and the challenges. The results showed that the development of the first 10 years was relatively slow, and there were few related literatures published after the concept of vertical farms was proposed in 1999. After 2010, the development has accelerated, and the number of literatures has shown an overall upward trend. But regardless of the overall number or the inclusion of the core database, related research is still very insufficient. An analysis of 21 documents in the WoS core collection database found that the latest research focus is not only in the direction of agricultural science and technology, but also in the direction of environmental science, especially in the direction of the building environment. Based on comparatively analyzing the research content of various literatures, the research hotspots of vertical farms are further refined and summarized, and research methods are sorted out. At the same time, the technical, economic and feasibility of vertical farms are analyzed, and the direction of future technology development is elaborated.

**Keywords** vertical farm; vertical farming; bibliometric; ecological design; database; vertical greening; green building

(责任编辑:张志钰)