

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20240104003

# 辽西地区光伏种植生产模式可行性分析

## ——以高粱为例

窦爽 李俊志 王晓东 朱晓东 肖继兵

(辽宁省旱地农林研究所, 朝阳 122000)

**摘要:**为综合利用辽西地区丰富的太阳能资源和土地资源,探讨辽西地区光伏种植模式的可行性,在梳理国内外光伏农业研究的基础上,通过分析光伏设施对作物生长发育和产量的影响,以及光伏种植对生态环境、社会经济的作用,发现光伏种植模式可以减少温室气体排放,防风固沙,控制水土流失,并提高土地单位面积产出,增加农民收入。同时选择适宜的作物品种和栽培技术可以降低光伏设施对作物种植带来的不良影响,以抗逆性优良、辽西地区主栽杂粮作物高粱为例,分析光伏设施对高粱种植的影响,为辽西地区光伏种植模式可行性提供科学依据,并为其他地区发展光伏种植提供参考和借鉴。

**关键词:**辽西地区;高粱;光伏种植;效益分析;可行性

## Feasibility Analysis of PV Planting Production Model in Western Liaoning Region : Taking Sorghum as an Example

DOU Shuang, LI Junzhi, WANG Xiaodong, ZHU Xiaodong, XIAO Jibing

(Liaoning Institute of Dryland Agriculture and Forestry, Chaoyang 122000, Liaoning)

由于全球气候变暖和化石资源的不可再生性,太阳能等清洁能源越来越受到各国的重视<sup>[1]</sup>,而太阳能光伏发电系统则最为普遍。20世纪60年代国外学者陆续开展关于太阳能在农业领域的研究<sup>[2]</sup>,随后世界首台光伏水泵的面世<sup>[3]</sup>,拉开了光伏在农业领域应用的序幕。而建设光伏电站需要占用大量土地,因此有学者提出了农光互补(Agrivoltaic或Agrophotovoltaic)这一概念<sup>[4]</sup>,在一块土地上实现光伏和农业种植的双重利用。

辽西地区地处科尔沁沙地南缘,是东北太阳能资源比较丰富的地区之一,具有日照充足、日照时长的特点<sup>[5]</sup>;辽西地区土地资源比较丰富,有荒山、荒地、河道等大量闲置土地<sup>[6]</sup>。在辽西地区将光伏发电与农业种植相结合,构建光伏农业产业体系,既有

助于提高土地利用效率,增加粮食产量,又可以达到节约资源、保护环境的目的。本文通过对国内外光伏农业相关文献进行梳理,分析光伏农业的经济及生态效益和光伏板遮荫对作物的影响,以辽西地区主栽杂粮作物高粱为例,深入分析光伏种植生产模式的可行性,为辽西地区光伏种植模式提供理论支持。

### 1 国内外光伏农业研究进展

**1.1 国外研究进展** 国外学者率先提出将光伏应用到农业生产中的设想。20世纪60年代起,日本、德国、法国、英国、美国、印度、葡萄牙等国家相继开展了太阳能在农、牧业等方面的应用研究,包括木材干燥<sup>[7]</sup>、农业灌溉<sup>[3,8]</sup>、农产品保鲜<sup>[9]</sup>、作物保护、农产品烘干<sup>[10]</sup>、农业照明<sup>[11]</sup>等应用场景,并逐渐呈现出多元化发展趋势,在21世纪初期,德国、法国、日本先后建立起第一批农光互补试点基地。近些年,欧盟国家关于农业光伏的研究项目显著增加,法国的研究处于领先地位<sup>[12]</sup>,法国国家农业科学院的光

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-06-14.5-B16)

通信作者:肖继兵

伏种植、光伏温室等研究成果突出<sup>[13]</sup>,且法国是第一个实施光伏农业财政支持计划的国家<sup>[14]</sup>,取得了较好的成绩。印度的一项研究表明,与传统农业相比,光伏农业具有巨大的潜力,在不影响农业产出的前提下能将总收入提高到15倍以上,实现土地双重用途,并积极推进村庄电气化<sup>[15]</sup>。德国 Fraunhofer 太阳能系统研究所处于研究前列,开展试点项目研究光伏农业系统对干旱地区及田间作物的影响<sup>[16]</sup>。美国、意大利等国家也有较为系统的研究<sup>[4]</sup>,并将研究重点放在旱地农业上,在辣椒、圣女果等作物生产中取得良好效果<sup>[17]</sup>。截至2020年初,全球农业光伏系统安装数量达2200多套<sup>[12]</sup>,日本是迄今为止安装农业光伏系统最多的国家,并已经确定了适合日本光伏农业环境的120多种作物<sup>[16]</sup>。

**1.2 国内研究进展** 国内学者将光伏应用于农业的研究首先从灌溉方面入手,吴永忠<sup>[18]</sup>较早提出太阳能光伏提水系统可以同节水灌溉相结合,进行农田和人工草场的灌溉。彭梅牙<sup>[8]</sup>报道了转变农业发展方式,推进光伏技术与农业生产的结合,并将其应用于病虫害防治<sup>[19]</sup>、光伏补光等。相较国外研究,国内关于光伏农业这一领域的相关研究仍不够丰富,但也取得了一些成果,如光谱分离技术、槽型聚光技术将太阳光中对植物生长有用的光谱分离,创新性地实现太阳能的综合高效利用<sup>[20]</sup>;光伏+食用菌实现了棚内种菇、棚顶发电的新型生态高效生产方式<sup>[21]</sup>;江浙地区的渔光互补项目<sup>[22]</sup>、山东的光伏+中药材种植项目<sup>[23]</sup>等也都取得了一定的成果。陈健等<sup>[24]</sup>总结分析国内外相关文献,对农业光伏、农光互补和光伏农业等概念进行辨析,指出农业光伏或农光互补是光伏发电与农业各子部门的耦合,两者同属于光伏农业,而光伏农业是我国特有的提法。近些年,我国陆续颁布关于发展光伏产业方面的政策文件,如2012年《太阳能光伏产业“十二五”发展规划》、2016年《太阳能发展“十三五”规划》、2021年《智能光伏产业创新发展行动计划(2021–2025年)》等,鼓励探索光伏农业新兴产业模式,并支持光伏产业跨领域研究,推进农业绿色发展,为发展农光互补模式奠定了良好的政策基础。

## 2 光伏种植中光伏设施对作物的影响

**2.1 光伏设施遮荫对作物生长发育的影响** 光照是植物生长发育的必要条件之一,遮荫对不同作物

生长发育的影响不尽相同,光伏遮荫与普通物体遮荫存在些许差别,但可以借助普通遮荫对作物生长发育的影响来反映光伏遮荫的效果。张吉旺等<sup>[25]</sup>指出对植物遮荫时期的影响显著大于遮荫程度的影响;苗期遮荫显著抑制叶片生长和营养生长,延迟生育;穗期遮荫影响穗分化,降低穗粒重;花粒期遮荫加速叶片衰老死亡,千粒重显著降低。刘博等<sup>[26]</sup>探讨水稻灌浆结实期光照强度下降到超自然光的60%时,水稻生物产量和稻谷产量随光照减弱而降低,光照强度降至自然光的20%时,植株几乎停止生长。孙园园等<sup>[27]</sup>研究结论与之类似。周卫霞等<sup>[28]</sup>研究发现,弱光胁迫明显延缓玉米果穗生长发育,造成果穗缩短变细,穗粒数减少,秃尖严重。光伏板遮荫具有相似的影响,有研究表明,光伏板遮荫对小麦株高及生长发育的影响因品种而异,不同品种小麦在光伏板的影响下,株高有增有减,光合效率降低<sup>[29]</sup>;光伏遮荫使植株茎秆增长,如丹参<sup>[30]</sup>、甘薯<sup>[31]</sup>等,降低SPAD值和光合速率,且南侧光伏板遮荫对各项指标影响更大。赵群法<sup>[32]</sup>研究不同光伏板遮光密度对3种蔬菜的生长和品质的影响,指出适度遮荫可以提高蔬菜的品质和收益。

**2.2 光伏遮荫对作物产量的影响** 光伏板在作物种植中具有双重效果,一方面是遮荫作用可减缓干旱地区作物受到的干旱、高温胁迫,保水抗旱,另一方面降低雨水丰沛区作物光的利用率<sup>[33]</sup>,影响光合作用,降低作物产量。就前者而言,光伏板集聚雨水和清洗光伏面板的弃水作为水源增加土壤的含水量<sup>[34]</sup>,将干旱区雨水利用率最大化,同时遮荫作用减少水分散失,促进旱地作物产量增加<sup>[35]</sup>。就后者而言,单成钢等<sup>[30]</sup>指出,以丹参为例,生育期日照时数为对照的58%导致产量减少31%,而日照时数达到对照的70%以上对产量几乎没有影响。陈凤等<sup>[29]</sup>以12个小麦品种进行试验,指出光伏遮荫会降低小麦产量,且遮荫强度越大,小麦减产越明显。但早期学者研究表明,遮荫对小麦产量的影响因品种而异,光照强度降低,供试小麦品种结实率均减少,但个别品种千粒重未受显著影响<sup>[36]</sup>。魏来等<sup>[37]</sup>指出光伏板下光照强度变化对甘薯生长有一定的不良影响,但单位面积经济效益显著增加,在生产上可以通过增加种植密度和适当增施肥料等方式进行调控。此外,还有研究指出太阳能电池组件能阻隔部

分紫外线,反射昆虫繁殖需要的蓝紫光,有效减少植物病虫害发生,提高作物品质和产量<sup>[38]</sup>。

### 3 光伏种植的双重效益分析

**3.1 光伏种植的生态效益** 气候变化在全球范围内具有很大影响,2021年3月15日习近平总书记主持召开中央财经委员会第九次会议,会议提出我国力争2030年前实现“碳达峰”,2060年前实现“碳中和”,构建以新能源为主体的新型电力系统,并强调我国坚持走生态优先、绿色低碳的发展道路。事实上,光伏种植模式有利于改善光伏板下的微生态,促进生态修复。魏雯婧等<sup>[33]</sup>通过案例研究发现光伏农业可以获得清洁电力和农业生产的双重效益,还可以保水节水、固土防沙,促进绿色农业高质量发展<sup>[39]</sup>,Leon等<sup>[39]</sup>以光伏番茄系统为例,指出农光互补系统有利于控制CO<sub>2</sub>等温室气体的排放。张庆忠等<sup>[39]</sup>通过对云南、新疆、甘肃等地区的调研发现光伏电站内土壤含水量及肥力、空气湿度、植物种类及多样性、生物量等均有所增加,土壤容重、温度、风速等降低,有利于促进干热河谷地区的生态恢复。光伏电站作为一种机械挡沙措施会对沙漠地区风沙流起到二次分配的作用<sup>[40]</sup>,改变气流方向、降低风速、绝热保温<sup>[4,41]</sup>,使地表水分蒸发率降低,促进地上植物更好地生长,起到防风固沙<sup>[42]</sup>和治理荒漠化<sup>[32]</sup>的作用。

**3.2 光伏种植的经济效益** 光伏种植可充分利用光伏板下空间进行农业生产,形成垂直产业模式,促进产业结构升级,提高土地的综合利用效率,增加收益。华永新等<sup>[43]</sup>指出杭州地区光伏农业种植模式可以实现农民、企业、政府多方共赢,政府建设光伏农业项目拉动投资、增加税收,村集体出租土地增加集体收入,农业公司种植作物并出租电站获取收益,农民到农业公司务农亦得收入。又有研究表明,单位面积土地进行光伏种植模式所得经济效益较农业生产、光伏发电高。Dinesh等<sup>[44]</sup>设计光伏和生菜种植耦合的实验模型,结果表明光伏农业比单独种植生菜的经济价值提高30%以上。Dupraz等<sup>[45]</sup>通过建模实验模拟光伏种植,利用土地当量比(LER,

Land equivalent ratio<sup>①</sup>)评估光伏农业系统的效率,通过计算得出 $1.35 \leq LER \leq 1.73$ ,表明光伏农业系统可使单位面积土地产出增加35%~73%。同样,Amaducci等<sup>[46]</sup>也得出光伏和玉米耦合的土地当量比大于1的结论,且干旱条件下光伏种植的作物平均产量更高、更稳定。

### 4 以高粱为例探析辽西地区光伏种植生产模式的可行性

**4.1 光伏设施对高粱生长的影响** 高粱是典型的C<sub>4</sub>植物,是中国最早栽培的禾谷类作物之一,具有独特的抗逆性和适应性,喜光、喜温、耐旱、耐贫瘠,在各种环境因子中,光照强度是影响高粱光合作用的主要因素。岳忠孝<sup>[47]</sup>研究了遮荫对高粱旗叶光合作用和产量的影响,指出遮荫处理使高粱旗叶叶比重下降、叶片变薄,叶绿素含量增加,但叶绿素a/b下降,有利于提高作物耐荫性;遮荫使高粱的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度下降,影响CO<sub>2</sub>的同化;在产量方面,遮荫延长高粱籽粒灌浆时间和最大灌浆速率出现的时间,使籽粒的终极生长量有所下降,千粒重降低,导致产量降低。但是遮荫降低蒸腾速率和土壤水分蒸发却有利于作物,因为土壤水分亏缺直接影响根系对无机盐的吸收,使植株早衰,叶片功能期缩短,进而减少有效光合作用的时间,在光伏高粱种植模式中,光伏板遮荫可以抑制土壤水分的散失,达到保水效果。

在光伏设施中种植高粱需要通过计算遮荫面积进一步分析植物与光伏设施的合理距离。可以借鉴其他研究中的计算方式,如单成钢等<sup>[30]</sup>根据光伏板的高度和安装布局等推算出作物生育期内的日照时数,为光伏农业提供了一种遮荫程度的计算方法;黄晓东等<sup>[48]</sup>计算不同的经纬度在某一时刻树木的投影面积以及树冠完全无遮挡时最短的树木间距,为确定树木的合理种植距离提供理论依据。因此,可以计算光伏板对高粱的遮荫程度确定高粱生育期内的光照程度,从而确定最佳的光伏板高度与间距及高粱合理的种植模式。

**4.2 光伏+高粱的效益分析** 高粱在辽西地区的种植面积占全省的70%以上,以高粱为例探析辽西地区光伏种植模式的可行性具有实际意义。但在当前研究中,光伏+高粱生产模式的研究与实践尚显匮乏,仅有一些光伏+玉米的实践,如彰武县“以光

①  $LER = Y_{cropinAV} / Y_{monocrop} + Y_{electricityAV} / Y_{electricityPV}$ , 其中  $Y_{cropinAV}$  = 光伏农业系统中种植作物的产出,  $Y_{monocrop}$  = 土地单纯种植作物的产出,  $Y_{electricityAV}$  = 光伏农业系统中光伏发电产出,  $Y_{electricityPV}$  = 土地单纯用于光伏发电的产出。

锁沙”,即在光伏板下闲置荒漠化土地种植玉米,长势良好<sup>[49]</sup>。在植物特性上,高粱与玉米同为C<sub>4</sub>植物,能高效利用光源,对生长环境的适应性也较为相似,高粱具有较低的CO<sub>2</sub>补偿点,几乎没有光呼吸,因此具有较高的光合效率。在固碳能力上,Li等<sup>[50]</sup>对北方9种农作物进行研究,指出高粱、玉米等C<sub>4</sub>作物的固碳能力强于C<sub>3</sub>作物,高固碳能力可以减少温室气体,改善生态环境,且作物本身具有较好的水土保持效应。在产量上,高粱较玉米更为耐旱,在严重干旱情况下,高粱产量高于玉米<sup>[51]</sup>,在青贮产量上,不同品种的饲用甜高粱总产量较青贮玉米高<sup>[52]</sup>,因此,在特定地域内,高粱效益高于玉米。在全面推动乡村振兴的背景下,光伏种植这一产业模式有利于促进农业产业转型升级,提高单位面积土地的经济价值,增加农民收入<sup>[30,33,43]</sup>,且符合低碳环保的绿色能源潮流,具有较好的推广前景<sup>[21,37-38]</sup>。

**4.3 光伏设施对机械化种植的影响** 光伏列间种植高粱影响机械化种植及收获,需要从高粱的栽培模式及光伏设施架设的位置上进行研究。路文辉等<sup>[53]</sup>研发出一种适用于农田及农耕机械化的光伏支架系统,但是目前也仅适用于常用拖拉机、起垄机和播种机,尚且不能使用大型联合收割机。为了能更充分利用光资源,还可以为光伏系统安装太阳光追踪装置,鞠振河<sup>[54]</sup>将可调支架优化系统技术用于光伏电站系统,改善光伏支架的接收角度,提高光伏系统发电效率。张庆忠等<sup>[38]</sup>建议光伏板支架预留2m以上高度,阵列间预留3m以上的空间,以有效满足植物的光合需求。在农光互补模式中,需要兼顾光伏和种植的协调性,而小型机械是目前较为适宜的方式,既可以满足现代机械化种植收获的需求,又可以减少劳动力成本,促进节本增效。

## 5 结语与展望

农光互补是一个跨学科的研究问题,光伏种植是一种新的生产模式。从生态系统角度看,光伏种植是一种可行的绿色低碳发展方式,可以提高太阳能资源及土地资源的利用率,减少温室气体排放,积极应对气候变化对农业生产的影响;从经济效益角度看,光伏种植的产出效益往往高于单一种植模式的产出效益。辽西地区荒山、荒坡、河道等闲置土地多,光资源丰富,高粱固碳能力和抗逆性强,具有发展光伏种植模式的潜力。在大力推进乡村振兴的背

景下,光伏种植模式有利于推动农业产业转型升级,可以为辽西地区的农业生产带来更多收益,助力乡村振兴。

光伏种植模式具有良好的发展前景,但需要进一步的理论分析与试验,一方面需要挖掘适应弱光生长的基因型,从作物本身找到破解弱光生长的突破口,另一方面需要试验合理的种植模式,了解光能分布与太阳高度角的变化关系以及光照与高粱的种植行向、光伏板的安装方向的关系,通过研究高粱生长期间不同节气的光照特点,结合高粱的生长规律,合理确定光伏设施的倾斜角度、安装密度与高度、高粱的种植方向与密度等指标,以实现生产效益最大化,同时为光伏农业系统提供理论支持和实践基础。此外,仍需进一步开发适应于光伏列阵或其他间作模式的小型机械,促进农业生产机械化水平的提高。

## 参考文献

- [1] Fernandes L, Ferreira P. Renewable energy scenarios in the Portuguese electricity system. *Energy*, 2014, 69: 51-57
- [2] Jarach M. An overview of the literature on barriers to the diffusion of renewable energy sources in agriculture. *Applied Energy*, 1989, 32 (2): 117-131
- [3] Katzman M T, Matlin R W. The economics of adopting solar energy systems for crop irrigation. *American Journal of Agricultural Economics*, 1978, 60: 648-654
- [4] Weselek A, Ehmann A, Zikeli S, Lewandowski I, Högy P. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2019, 39: 1-20
- [5] 袁帅. 辽西低山丘陵区光伏电场工程水土流失特点及防治措施. *水土保持应用技术*, 2019 (2): 29-31
- [6] 信乃途. 中国北方旱区农业研究. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [7] Anon. The solar energy society survey of research on applications of solar energy to agriculture, horticulture, animal husbandry, and forest products. *Solar Energy*, 1965, 9 (2): 87-94
- [8] 彭梅牙. 新余市大力发展光伏农业. *南方农机*, 2012 (2): 4-6
- [9] Mekhilef S, Faramarzi S Z, Rahman S, Menghini S. The application of solar technologies for sustainable development of agricultural sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 18: 583-594
- [10] Gorjian S, Singh R, Shukla A, Mazhar A R. Chapter 6 on-farm applications of solar PV systems. *Photovoltaic Solar Energy Conversion: Technologies, Applications and Environmental*, 2020: 147-190
- [11] Bey M, Hamidat A, Benyoucef B, Nacer T. Viability study of the use of grid connected photovoltaic system in agriculture: case of algerian

- dairy farms. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 63: 333-345
- [12] Schindele S, Trommsdorff M, Schlaak A, Oberfell T, Weber E. Implementation of agrophotovoltaics : Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 2020, 265: 114737
- [13] 陈健, 王玲俊. 农光互补的研究综述及展望. *江苏农业科学*, 2022, 50 ( 5 ): 1-9
- [14] Chalgybayeva A, Gabnai Z, Lengyel P, Pestisha A, Bai A. Worldwide research trends in agrivoltaic systems—a bibliometric review. *Energies*, 2023, 16: 6-11
- [15] Malu P R, Sharma U S, Pearce J M. Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2017, 23: 104-110
- [16] Toledo C E E, Scognamiglio A. Agrivoltaic systems design and assessment : a critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision ( three-dimensional agrivoltaic patterns ). *Sustainability*, 2021, 13 ( 12 ): 1-38
- [17] Barron-Gafford G A, Pavao-Zuckerman M A, Minor R L, Sutter L F, Barnett-Moreno I, Blackett D T, Thompson M, Dimond K, Gerlak A K, Nabhan G P, Macknick J E. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2019, 2 ( 9 ): 848-855
- [18] 吴永忠. 太阳能光伏提水技术. *内蒙古水利*, 2002 ( 2 ): 68-69
- [19] 隆旺夫. 太阳能在农业上的应用. *北京农业*, 2011 ( 25 ): 42
- [20] 吴长锋. 我光伏农业创新成果荣获国际金奖. *科技日报*, 2015-05-18 ( 5 )
- [21] 汤俊超, 吴宜文, 张姚, 曹庆穗, 吴照学, 夏礼如, 鲍恩财. 浅谈“光伏+农业”产业的发展模式. *中国农学通报*, 2022, 38 ( 11 ): 144-152
- [22] 陈健, 王玲俊. 我国光伏农业的发展阶段与地域分布. *安徽农业科学*, 2022, 50 ( 8 ): 246-249
- [23] 陈杰, 雷书彦, 陶芬, 黄金周. 光伏农业研究与发展路径. *中南农业科技*, 2022, 43 ( 6 ): 189-192
- [24] 陈健, 王玲俊. 光伏与农业结合的相关概念辨析. *中国林业经济*, 2021 ( 6 ): 38-41
- [25] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 刘鹏. 大田遮荫对夏玉米光合特性的影响. *作物学报*, 2007 ( 2 ): 216-222
- [26] 刘博, 韩勇, 解文孝, 李建国, 刘军, 高岐. 灌浆结实期弱光对水稻产量、生理及品质的影响. *中国稻米*, 2008 ( 5 ): 36-40
- [27] 孙园园, 孙永健, 陈林, 徐徽, 马均. 不同播期和抽穗期弱光胁迫对杂交稻生理性状及产量的影响. *应用生态学报*, 2012, 23 ( 10 ): 2737-2744
- [28] 周卫霞, 李潮海, 刘天学, 李潮海. 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响. *生态学报*, 2013, 33 ( 14 ): 4315-4323
- [29] 陈凤, 郭明明, 樊继伟, 全彩霞, 李亮, 李强, 任立凯, 浦汉春, 孙中伟, 王康君. 不同小麦品种生长发育及产量对光伏板遮荫的响应. *麦类作物学报*, 2017, 37 ( 12 ): 1581-1588
- [30] 单成钢, 王宪昌, 张教洪, 马炳鹏, 李桂祥, 倪大鹏, 朱彦威, 王志芬. 光伏-丹参生产模式下的光照变化及其对丹参生长的影响. *山东农业科学*, 2018, 50 ( 10 ): 73-79
- [31] 魏来. 农光互补系统中甘薯生长发育特征研究. 杭州: 浙江大学, 2017
- [32] 赵群法. 不同光伏板遮光密度对生菜、黄瓜、番茄生长发育研究. 郑州: 河南农业大学, 2019
- [33] 魏雯婧, 罗久富, 杨路培, 桑亚博, 罗小林, 隋欣. 农业光伏互补开发与盈利模式研究. *太阳能学报*, 2023, 44 ( 3 ): 457-464
- [34] 周茂荣, 王喜君. 光伏电站工程对土壤与植被的影响——以甘肃河西走廊荒漠戈壁区为例. *中国水土保持科学*, 2019, 17 ( 2 ): 132-138
- [35] Elamri Y, Cheviron B, Lopez J M, Dejean C, Belaud G. Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems : Application to irrigated lettuces. *Agricultural Water Management*, 2018, 208 ( 30 ): 440-453
- [36] 史忠良, 马爱萍, 仇松英, 徐开杰, 刘曙东, 奚亚军. 光照强度对小麦不同品种结实率及千粒重的影响. *山西农业科学*, 1998 ( 4 ): 16-18
- [37] 魏来, 余明艳, 覃楠楠, 黄冲平, 谢颖, 孙文波, 吴列洪, 王伟忠, 王国新. 农光耦合系统对田间光照条件和甘薯生长的影响. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2019, 45 ( 3 ): 288-295
- [38] 张庆忠, 李明. 金沙江干热河谷地区光伏特色农业发展对策研究——以云南省元谋县为例. *价值工程*, 2022, 41 ( 24 ): 31-33
- [39] Leon A, Ishihara K N. Assessment of new functional units for agrivoltaic systems. *Journal of Environmental Management*, 2018, 226: 493-498
- [40] 赵鹏宇, 高永, 党晓宏, 辛静, 刘斌, 娜仁格日勒, 丁延龙. 乌兰布和沙漠东北缘光伏电站表层土壤颗粒空间异质特征. *内蒙古林业科技*, 2016, 42 ( 2 ): 11-14
- [41] 高晓清, 杨丽薇, 吕芳, 马丽云, 惠小英, 侯旭宏, 李海玲. 光伏电站对格爾木荒漠地区土壤温度的影响研究. *太阳能学报*, 2016, 37 ( 6 ): 1439-1445
- [42] 王祯仪, 汪季, 高永, 党晓宏, 蒙仲举. 光伏电站建设对沙区生态环境的影响. *水土保持通报*, 2019, 39 ( 1 ): 191-196
- [43] 华永新, 覃舟, 唐洪兴. 杭州地区光伏农业典型模式与发展对策. *浙江农业科学*, 2021, 62 ( 1 ): 233-236
- [44] Dinesh H, Pearce J M. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54: 299-308
- [45] Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, Ferard Y. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use : Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 2011, 36 ( 10 ): 2725-2732
- [46] Amaducci S, Yin X, Colauzzi M. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*, 2018, 220: 545-561
- [47] 岳忠孝. 灌浆期遮荫对高粱旗叶光合特性与籽粒产量形成的影响. 太原: 山西大学, 2020
- [48] 黄晓东, 王玉洁, 石恒华, 杨焱. 树木树冠阴影面积与种植间距的编程计算分析研究. *北京农学院学报*, 2013, 28 ( 1 ): 50-52

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20231225003

# 北京小麦生产现状与提升思考

王拯 高新欢 任立平 张胜全 叶志杰 陈兆波

(北京市农林科学院杂交小麦研究所,北京 100097)

**摘要:**从种植面积、品种更替、单产水平等方面总结了自1949年以来北京小麦生产的变化,分析了北京小麦生产面积由1976年最高的20.80万 $\text{hm}^2$ 减少至2019年8200 $\text{hm}^2$ 的政策背景,以及北京城市发展需求变化对小麦生产的影响。对20世纪90年代北京小麦平均产量就达到394.87 $\text{kg}/667\text{m}^2$ 的国内领先水平,而之后近30年一直在350 $\text{kg}/667\text{m}^2$ 徘徊,没有大幅增长的原因进行了分析,如区域发展不平衡、水资源缺乏制约、种植主体和经济效益等。最后,结合目前最新政策、品种和技术,提出精准补贴、品种技术配套、规模化示范、优特种植等提升北京小麦生产水平的思考和具体推进方法。

**关键词:**京郊农业;小麦;生产;问题;对策

## Current Situation and Improvement Thinking of Wheat Production in Beijing

WANG Zheng, GAO Xinhuan, REN Liping, ZHANG Shengquan, YE Zhijie, CHEN Zhaobo

(Institute of Hybrid Wheat, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097)

小麦是我国主要的粮食作物,2023年全国播种面积2307万 $\text{hm}^2$ ,总产量1345.5亿 $\text{kg}$ ,平均产量389.0 $\text{kg}/667\text{m}^2$ <sup>[1]</sup>。北京是北部冬麦区重要的组成部分,该区域在冬小麦研究和生产中占有重要的地位,曾是北部冬麦区重要的种源基地<sup>[2]</sup>。近些年随着北京城市化发展加快,京郊小麦种植面积大幅缩水,最少时为8200 $\text{hm}^2$ ;小麦单产水平也出现了下降,2023年平均产量为358.6 $\text{kg}/667\text{m}^2$ ,低于全国平均水平。分析导致出现目前这种情况的原因,其中有区域差异原因,也有政策变化、城市化的影响,同时,品种更新、种植技术和种植主体变化等也是重要影响因素。

通过对近年来北京小麦生产情况进行总结,分析存在的问题并提出改进思路,对改善现状、提升小麦生产水平有重要意义。

### 1 北京小麦生产现状与变化

**1.1 北京地理气候条件与小麦生产特点** 北京位于39.4°~41.6°N之间,气候为暖温带半湿润半干旱季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促。年平均气温10~12℃,全年无霜期180~200d,西部山区较短。北京地势西北高、东南低,年均降雨量600 $\text{mm}$ ,为华北地区降雨较多的地区之一,但年际间差异较大<sup>[3]</sup>。

北京小麦播种期为10月上中旬,收获日期为翌年6月中下旬,生长时间240~250d。秋旱是影响

通信作者:陈兆波

[49] 北青网. 从“谈沙色变”到“点沙成金”辽宁彰武交出一份兼具“颜值”和“产值”的答卷. (2023-08-19) [2024-01-04]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1774617428426111595&wfr=spider&for=pc>

[50] Li T, Zhang F, Jiao Y, Zhang M J, Matomela N. Study on carbon sequestration capacity of typical crops in Northern China. *Journal of Plant Biology*, 2019, 62: 195-202

[51] 山仑,徐炳成. 论高粱的抗旱性及在旱区农业中的地位. *中国农业*

科学, 2009, 42 (7): 2342-2348

[52] 李宁,张元,熊海谦,常海滨. 不同饲用甜高粱品种与青贮玉米产量、品质的比较试验. *江苏农业科学*, 2020, 48 (3): 180-184

[53] 路文辉,刘志馨,顾浩,周静伟,张馨丹. 分布式农田用光伏支架系统研究. *南方农机*, 2021, 52 (5): 18-19

[54] 鞠振河. 光伏电站中可调支架系统经济技术分析. *可再生能源*, 2012, 30 (6): 103-106

(收稿日期: 2024-01-04)