

# 基于 VOSviewer 可视化分析的黄河三角洲 盐碱农业发展现状、问题与对策研究

于金艺<sup>1</sup>,王海霞<sup>1</sup>,赵佳欣<sup>2</sup>,赵英<sup>1</sup>

(1.鲁东大学 资源与环境工程学院,山东 烟台 264039;2.兰州交通大学 环境与市政工程学院,兰州 730070)

**摘要:**黄河三角洲地理位置优越,农业资源丰富,为其农业发展提供了得天独厚的条件。利用 CNKI 核心合集数据库,以“黄河三角洲”“农业”为关键词进行高级检索,选取 1987—2022 年间发表的 1333 篇文献,利用 VOSviewer 可视化分析软件分析得到“盐碱地”“农作物”“水资源”三组聚类簇关键词,将三组关键词进一步进行可视化分析,从年发文量和研究热点图总结近几年来黄河三角洲盐碱农业研究的现状和热点方向。另外,针对黄河三角洲盐碱农业发展面临的盐碱地利用难度高、农作物种植结构单一、水资源矛盾突出等问题,从土壤改良、种植结构优化、水资源适配与节水技术、生态协同提升的角度提出了具体的对策。本研究可以为黄河三角洲地区盐碱农业发展相关问题提供参考。

**关键词:**盐碱农业;盐碱地开发;VOSviewer;水资源;黄河三角洲

**中图分类号:**F303.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2024)04-0289-12

土壤盐渍化是一个全球性的环境问题,对农业生产、生态系统和人类社会造成了严重影响。随着全球气候变化和人类活动的加剧,土壤盐渍化问题日益突出,成为当前亟待解决的环境难题之一。盐渍化作为黄河三角洲地区农业发展过程中的一大难题,不仅威胁到农业生产的稳定性和可持续性<sup>[1]</sup>,还对区域生态系统的健康和稳定产生了深远影响<sup>[2]</sup>。

黄河三角洲的自然资源禀赋为该区域的农业发展提供了得天独厚的条件。肥沃的土地,充足的水资源以及适宜的气候条件共同为农业生产创造了优越的环境。然而近几年受自然因素和社会因素双重影响,该地区土壤盐渍化程度日益严重。在自然因素方面,特殊的气候让盐分易在土壤表层积累,同时由于海水浸渍,黄河三角洲的地下水位浅且矿化度高,加上黄河水的侧渗和海水的浸润顶托效应,使得该区域土壤盐渍化问题尤为严重<sup>[3]</sup>。在社会因素方面,过度的灌溉和耕作活动导致地下水位的降低和土壤表层盐分的累积,诱发加剧了土壤盐渍化现象<sup>[4]</sup>。这种土壤退化状况进一步降低了作物的产量和品质,加剧了土地

的退化过程,对生态环境造成了严重破坏<sup>[5]</sup>。

黄河三角洲的盐渍化问题与该地区的可持续发展紧密相连。可持续发展理念要求在经济、社会进步与环境保护之间取得平衡。盐渍化问题的存在和恶化,不仅限制了该区域农业经济的发展潜力,也对生态安全带来了挑战。如果不能有效控制和缓解盐渍化进程,黄河三角洲的农业生产体系将面临严峻考验,地区经济发展和生态平衡都将受到严重威胁。

本文利用 CNKI 核心合集数据库,通过关键词检索文献,再利用 VOSviewer 可视化分析软件对黄河三角洲近年来盐碱农业研究热点进行分析。系统解析近年来该地区农业发展现状、问题,从而提出发展策略。

## 1 黄河三角洲地区农业研究现状

### 1.1 农业基本情况

黄河三角洲盐碱地面积约 5933 km<sup>2</sup>,占环渤海滨海盐碱地面积的 59.3%,约占山东省土地面

收稿日期:2024-01-23;修回日期:2024-06-11

基金项目:山东省杰出青年基金项目(ZR2019JQ12)

通信作者简介:赵英(1979—),男,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为土壤水文过程及其调控。E-mail:yzhaosoils@gmail.com

积总面积的4%。该区海拔低、盐度重,但水热资源相对丰富、开发利用潜力大,是开展盐碱地农业科技创新的天然场所。以黄河三角洲的两个主要城市东营市和滨州市为例,根据2017和2022年两市及全国农业用地分布数据(表1)可知,近五年来东营的农用地面积增加了500 km<sup>2</sup>,而滨州

市的农用地则略有减少。与此同时,全国农业用地的降幅较大,从6 448 000 km<sup>2</sup>减少到5 206 950 km<sup>2</sup>。尽管两市耕地面积和占比逐年减少,但其耕地面积占比仍远超全国平均水平,人均耕地面积也略高于全国平均水平。

表1 2017和2021年东营市、滨州市和全国农用地分布

Tab.1 Distribution of agricultural land in Dongying, Binzhou City and the country in 2017 and 2021

类别	东营市		滨州市		山东省		全国	
	2017	2021	2017	2021	2017	2021	2017	2021
农用地面积/km <sup>2</sup>	4280	4780	6350	6290	115 140	117 000	6 448 000	5 206 950
耕地面积/km <sup>2</sup>	2280	2170	4650	3880	76 070	64 000	1 349 000	1 278 620
耕占农用地/%	53.27	45.39	73.23	61.69	66.07	54.70	20.92	24.56
人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	0.106	0.099	0.119	0.099	0.076	0.629	0.097	0.091

注:资料来源于2018年和2022年《东营统计年鉴》《滨州统计年鉴》《中国国土资源统计年鉴》。

## 1.2 黄河三角洲农业文献可视化分析

通过文献发表量年度变化对黄河三角洲农业发展历程进行分析,如图1所示。在1987—2004年期间,每年的发文量不超过30篇,其中1988年文献发表量仅有3篇,文献年增长量低,且增长速度缓慢,说明该阶段我国对于黄河三角洲农业的研究处于缓慢探索阶段。2004—2009年期间随着我国科技进步,文献量增多,但不显著。2009年11月份,国务院正式批复《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》,指出:黄河三角洲发展需要突出土地资源优势,通过政府引导,高效发展农业。该发展规划的制定标志着黄河三角洲地区的

发展上升成为国家战略,是国家区域协调发展策略的重要组成部分,因此在2010年有关黄河三角洲地区农业文献发表量突增。之后随着国家对该地区热度的降低,其农业的研究热度也随之降低。2021年,习近平总书记考察黄河入海口并主持召开深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会,重点强调了开展盐碱地综合利用对于保障国家粮食安全、稳固中国饭碗具有深远的战略意义,同时强调需要加强种质资源、耕地保护和利用等基础领域的研究,加速将科研成果转化为实际生产力。随着国家对黄河三角洲地区关注度越来越高,学者对于该地区农业发展的研究显著增多。

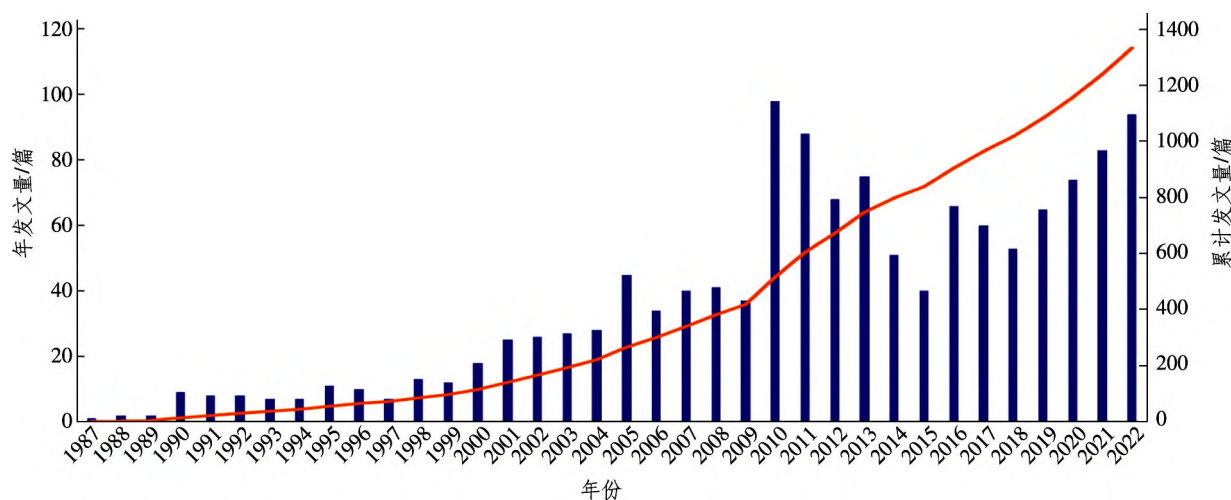


图1 1987—2022年黄河三角洲农业相关发文量

Fig.1 Publications about the agriculture in the Yellow River Delta from 1987 to 2022

本文以中国知网的核心数据集为数据源,选取了1987年1月1日至2022年12月1日期间发表的文献进行统计分析。以“黄河三角洲”和“农业”为关键词,对所有字段进行全面检索,共检索到1333篇文章。将这些文章全部导入 VOSviewer 进行文献可视化分析,结果见图2。为确保分析的准确性,对关键词的频次进行了设定,筛选出现频次超过15次的关键词。经过筛选,最终得到196个关键词,并将其划分为10个聚类簇。在所有聚类簇中,选取了与黄河三角洲地区农业发展关联度较高的3个聚类簇。第一个聚类簇主要涉及“黄河三角洲”“滨海盐渍土”和“开发利用”等关键词,这表明:在黄河三角洲地区,盐碱地作为当地一种特色的土地资源,面积广且年增长面积快,是当地重要的后备土地资源,如何开发利用盐碱地是一个亟待解决的问题。第二个聚类簇主要涉及“盐碱地”“产量”“小麦玉米”“棉花”“种植方式”等关键词。黄河三角洲地区气候和土壤

条件适宜小麦、棉花和水稻等作物的生长,同时小麦、棉花和水稻也是我国重要的粮食和经济作物,因此,黄河三角洲地区种植业发展对于保障粮食安全和促进当地经济发展具有重要意义。但由于土壤盐渍化严重,影响农作物生长,进而导致作物产量下降。因此,要探寻适合当地农作物种植的方法,因地制宜地发展农业,针对不同农作物加以技术的利用,提升作物的品质与产量。第三个聚类簇主要涉及“生态环境”“盐碱地”和“黄河断流”等关键词,这表明:在农业开发的过程中还需高度重视生态环境的保护,黄河的断流会直接影响黄河三角洲地区水资源的供给,由此水资源的可持续利用管理在农业发展过程中占有重要的地位;同时水资源也是生态环境资源的重要组成部分,对生态系统的稳定性和环境的可持续性极其关键。3个聚类簇关键词中都涉及到盐碱地问题,可以看出黄河三角洲其独特的盐碱农业是该地区研究的热点方向。

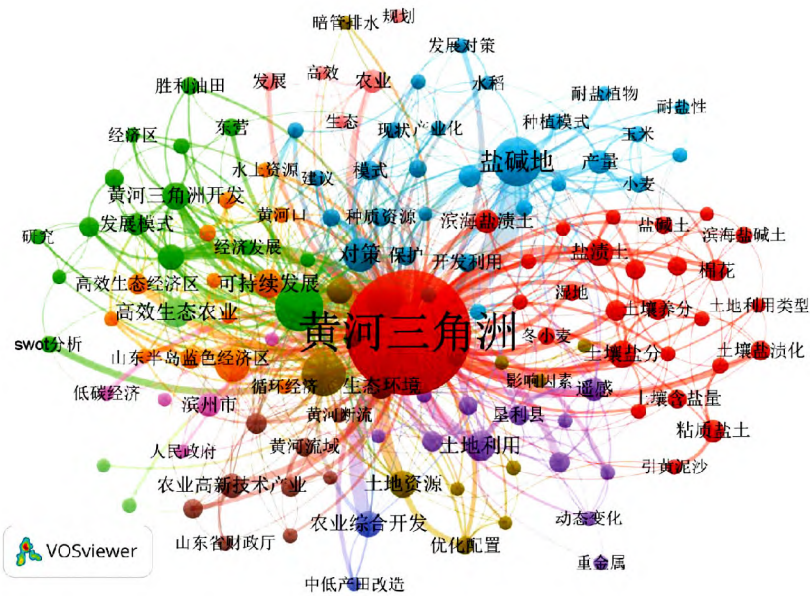


图2 1987—2022年CNKI数据库以关键词“黄河三角洲”“农业”检索的聚类视图

Fig.2 Cluster view of CNKI database searched by keywords “the Yellow River Delta” and “agriculture” from 1987 to 2022

## 2 农业发展特点和面临的问题

通过可视化软件得到三组聚类簇并进行分析,并从中提炼出核心关键词,对其进行深入的可视化分析,结果见图3~5。通过可视化分析结果并结合前人研究发现:土壤盐渍化日益严重<sup>[6-8]</sup>、

农作物产量低且结构模式单一<sup>[9-11]</sup>、水资源矛盾突出<sup>[12-14]</sup>是影响黄河三角洲地区盐碱农业发展的重要因素。

### 2.1 盐碱地利用难度高

以“黄河三角洲”“农业”“盐碱地”为关键词,对所有字段进行全面检索,共检索到218篇文章

章。将这些文章全部导入 VOSviewer 进行文献可视化分析,结果见图 3。为确保分析的准确性,对关键词的频次进行了设定,筛选出现频次超过 15 次的关键词。最终选取关联度较高的 2 个聚类簇。第一个聚类簇焦点凸显了“土壤养分”“土壤盐分”与“耐盐植物”等关键词,可以看出:土壤养分匮乏与盐分过量的现状,对植物生长构成了严峻挑战。而第二个聚类则紧抓“滨海盐碱地”“土壤改良”及“土壤理化性质”等关键词,深入探讨了盐碱地的特性与改良策略。在黄河三角洲这片特色土地上,盐碱地作为独特的自然资源,吸引了众多科研人员的眼光。他们致力于解析盐碱土的理化性质,探索多样化的改良途径,旨在提升土壤肥力,有效降低盐分含量,从而保障作物健康成

长,实现土地资源的可持续利用。

盐渍化土壤,包括原生和次生盐渍化,严重妨碍了农业的进步<sup>[15]</sup>。黄河三角洲地区拥有丰富的耕地资源,但耕地质量普遍偏低,特别是盐碱地面积高达 5933 km<sup>2</sup>,成为该地区农业发展亟待解决的关键问题。由于黄河三角洲地区的气候特点为春季降雨少且多大风,夏季炎热多雨,秋季随气温降低,降雨量减少,冬季寒冷干燥<sup>[16]</sup>,且该地区的年降水主要集中在夏季,降雨量约在 530~630 mm 之间,而年蒸发量却在 750~2400 mm 之间,远超过降水量<sup>[17]</sup>;同时地下水位较高,因此蒸发促使地下水向上运动,导致盐分在地表聚集,加剧土壤盐碱化。而每年泥沙沉积形成的新的陆地也为盐碱地的形成提供了条件<sup>[18]</sup>。

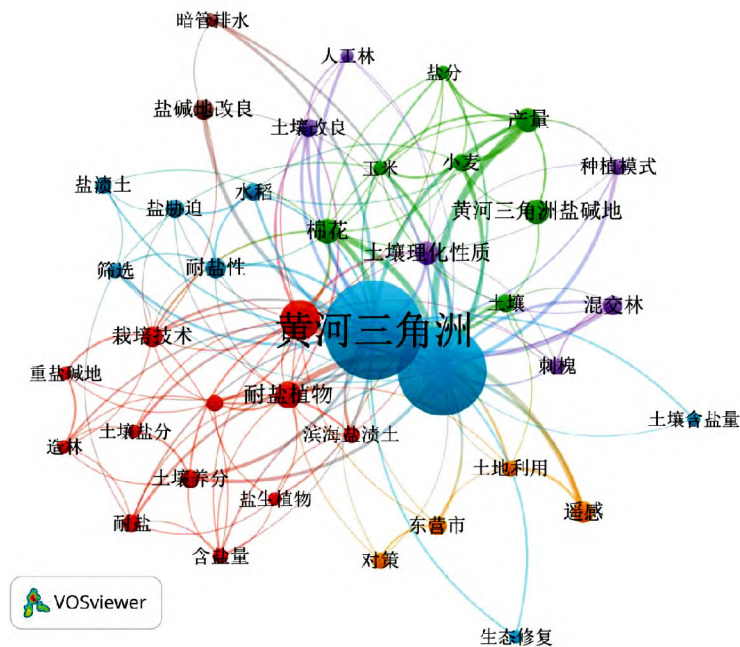


图 3 1987—2022 年 CNKI 数据库以关键词“黄河三角洲”“农业”“盐碱地”检索的聚类视图

Fig.3 Cluster view of CNKI database searched by keywords “the Yellow River Delta”, “agriculture” and “saline soil” from 1987 to 2022

近年来,黄河三角洲地区的盐碱地持续扩张,每年新增的陆地面积约为 10 km<sup>2</sup><sup>[19]</sup>。然而,盐碱土壤的使用价值较低,其土壤含盐量高、土壤结构差、pH 值高、微生物群落种类少且活性低、养分含量低等因素干扰植物吸收土壤中的养分,导致植株生长不良、作物产量低,对当地农业生产造成严重影响<sup>[20—22]</sup>。因此,实现盐碱地农业的高质量发展对该地区的可持续发展至关重要,但同时也面临着重大挑战<sup>[23]</sup>。

## 2.2 农作物种植结构单一

以“黄河三角洲”“农业”“农作物”为关键词,对所有字段进行全面检索,共检索到 169 篇文章。将这些文章全部导入 VOSviewer 进行文献可视化分析,结果见图 4。为确保分析的准确性,对关键词的频次进行了设定,筛选出现频次超过 15 次的关键词。最终选取关联度较高的 2 个聚类簇。第一个聚类簇主要涉及“盐碱地”“种植模

式”和“植物生长生产”等关键词,第二个聚类簇主要涉及“黄河三角洲”“土壤理化性质”“植物功能性状”等关键词,从两个聚类簇可以看出:盐碱土质对农作物生长周期的显著制约,改良盐碱土

壤、筛选耐盐作物以及优化土壤理化性质的紧迫性。为此,探索适配的种植策略,选育耐盐作物品种,挖掘作物经济潜力,成为黄河三角洲农业可持续发展的重要抓手与突破方向。

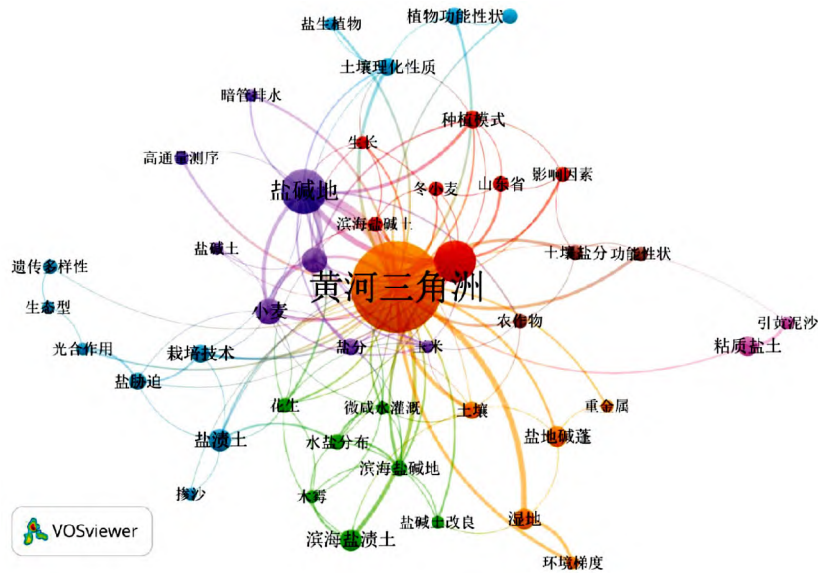


图 4 1987—2022 年 CNKI 数据库以关键词“黄河三角洲”“农业”“农作物”检索的聚类视图

Fig.4 Cluster view of CNKI database searched by keywords “the Yellow River Delta”, “agriculture” and “crops” from 1987 to 2022

黄河三角洲是黄河流域重要的棉花产区,其棉花种植面积占山东省棉花种植面积四分之一以上<sup>[24]</sup>。近几年该地区棉花种植面临着种种困难,首先是自然气候原因,在棉花播种的春季,降雨少且干旱,满足不了棉花出苗时的需水量,春天风大,地表水分蒸发快,盐碱地区盐分聚集到地表,使得棉花的存活率降低<sup>[25]</sup>;其次是人为因素,该地区棉区机械化水平低,大多数区域都采用人工采摘棉花,采摘费用高。国家或地方的农业支持政策和补贴政策调整对农民种植棉花的决策有显著影响,在“十三五”规划期间,国家对棉花的支持政策重心逐渐向以新疆为主的西北内陆棉区转移,对黄河流域和长江流域棉区的政策扶持力度相对减弱,与此同时国家对这些区域的粮油生产政策支持力度持续加大,这种政策导向上的差异进一步影响了农民种植棉花的积极性,促使他们更多地考虑转向粮油作物的种植<sup>[26—27]</sup>。而近几年棉花种植的成本不断增加,同时籽棉的价格持续走低,从 2010 年的  $10.50 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$  降至 2022 年的  $7.8 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[28]</sup>。在这些压力下,农民种植棉花的积极性大幅下降,制约了当地棉花产业的发展。

小麦种植是黄河三角洲地区农业重要的组成

部分,但是近年来小麦低产突出,其中干旱是主要原因<sup>[29]</sup>。在春季小麦返青期,水分缺乏将导致分蘖减少、穗粒数减少,从而降低产量。干旱还可能导致土壤盐碱化,进一步影响小麦的生长。此外,如果选用的种子不够优良,其抗病性、抗逆性、丰产性等都会受到影响,从而导致小麦低产<sup>[30]</sup>。一些病虫害如小麦条锈病、赤霉病等,也会导致小麦叶片、茎秆、穗部等部位受损,影响植株的光合作用、养分运输等,从而降低小麦的产量和品质<sup>[31]</sup>。

水稻因具有较高的耐盐性,能够在微咸水环境中茁壮成长,这使得拥有广阔种植面积的黄河三角洲地区成为水稻种植的理想之地。然而,水稻种植也面临一系列挑战。在出苗期,水稻田易受红线虫病侵袭,严重影响出苗率<sup>[32]</sup>;夏季,黄河三角洲地区多雨,特别是在水稻的抽穗扬花阶段,高温或连绵阴雨不仅妨碍水稻正常开花,还导致空壳率上升,产量下滑;而收获季节的过量降雨,会引发水稻大面积倒伏,进一步削减产量<sup>[33]</sup>。

### 2.3 水资源矛盾突出

以“黄河三角洲”“农业”“水资源”为关键词,对所有字段进行全面检索,共检索到 138 篇文

章。将这些文章全部导入 VOSviewer 进行文献可视化分析,结果见图 5。为确保分析的准确性,对关键词的频次进行了设定,筛选出现频次超过 15 次的关键词。最终选取关联度较高的 2 个聚类簇。第一个聚类簇主要涉及“生态环境”“黄河断流”和“对策建议”等关键词,第二个聚类簇主要涉及“可持续发展”“可持续利用”“生态高效”等关键词,从两个聚类簇可以看出,黄河出现断流情况,严重影响了黄河三角洲地区生态环境与当地的工农业用水,因此如何科学规划与合理利用水

资源,提高水资源的利用效率,实现水资源的可持续利用是当地农业发展亟待解决的一个问题。

近年来,黄河三角洲地区的农业发展迅速,对水资源的需求持续增长。然而,当地面临严重的水资源短缺问题,已成为农业发展的主要制约因素<sup>[34]</sup>。该地区人均水资源量远低于全国平均水平的 1/6,仅为 300 m<sup>3</sup>。此外,农业灌溉用水受到生态、工业和生活等领域的竞争影响,呈现出逐年减少的趋势<sup>[35]</sup>。这些问题限制了农业的发展,对农业可持续发展构成了挑战。

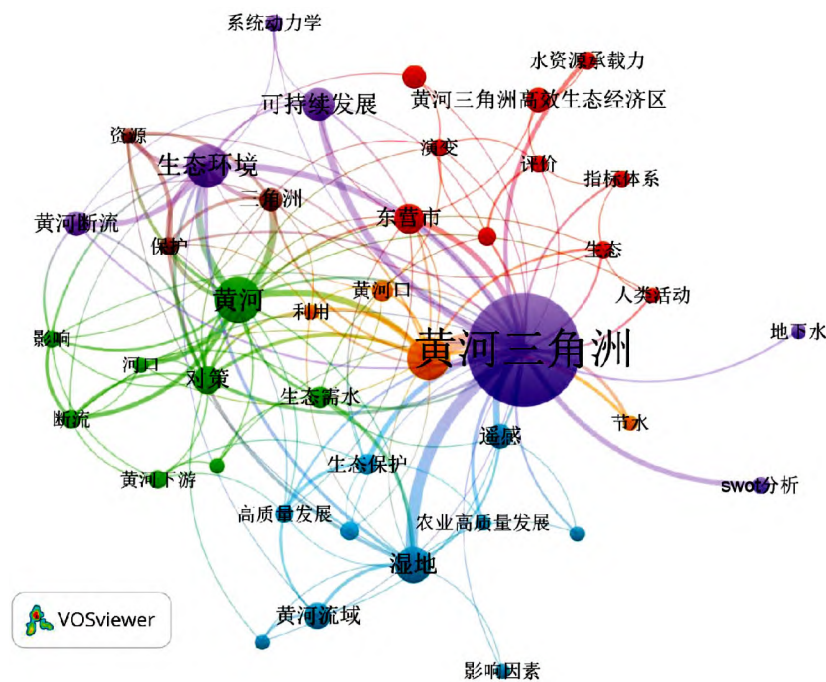


图 5 1987—2022 年 CNKI 数据库以关键词“黄河三角洲”“农业”“水资源”检索的聚类视图

Fig.5 Cluster view of CNKI database with keywords “the Yellow River Delta”, “agriculture” and “water resources” from 1987 to 2022

降水是补充水资源的主要途径之一,但从自然因素角度来看,黄河三角洲地区的年蒸发量大于年降水量,且降雨多集中在夏季,使得该地区水资源的时间分布不均<sup>[36]</sup>。根据黄河三角洲地区气候统计数据发现,黄河三角洲地区的年降水量在近几年呈现出逐年减少的趋势<sup>[37]</sup>。而作为黄河三角洲地区主要水源的黄河,自 20 世纪 70 年代以来,开始出现断流现象,据黄河水利委员会统计,1972 年至 1999 年的 28 年间,黄河有 22 年出现断流,其中 1997 年断流 226 天,断流河道 704 km,从入海口一直上延至河南开封,长时间的断流导致水资源短缺、海水倒灌和地下水位升高等现象<sup>[38]</sup>。从人为因素角度来看,为了有效抑制盐分,人们在种植的初始阶段采用大水漫灌的方式,造成了水资源的严

重浪费<sup>[35]</sup>。此外,人们对水资源的短缺缺乏足够的认识,节约用水的观念也不强烈,导致水资源浪费严重<sup>[39]</sup>。自然因素和人为因素的影响,大大加剧了黄河三角洲地区水资源供需矛盾,制约水资源的有效利用和农业的可持续发展。

### 3 盐碱农业高质量发展对策

黄河三角洲的盐碱地作为中国宝贵的土地资源,其开发利用前必须进行土壤改良,并考虑植物生长特性,以适应盐碱环境。因此,盐碱地综合改造利用是实现盐碱地资源高效利用的关键,而土种互适则是确保改造利用成功并实现可持续发展的基本原则。两者结合起来能够最大限度地发挥

盐碱地的潜在价值,同时保护和改善当地的生态环境。盐碱地综合改造涉及多项措施,包括水利工程、化学处理和生物改良等,旨在改善土壤性质,提升土壤肥力,为农业生产创造适宜条件。土种互适则强调在种植前,应根据土壤盐碱度、质地、水分及气候条件挑选耐盐碱、抗旱且适应性强的作物品种,以确保作物在改良后的盐碱地中良好生长,实现高效的农业生产,并有助于土壤的长期可持续管理。

### 3.1 盐碱土壤功能拓展

黄河三角洲盐碱地的改良需要遵循“因地制宜”的原则,根据黄河三角洲的土壤特性、丰富的耐盐碱植物资源和矿产资源,筛选出水利工程措施、生物技术措施、化学措施等适合黄河三角洲地区盐碱地改良的技术<sup>[40]</sup>。

1) 水利工程措施:主要包括土地平整工程、渠道或管道灌溉工程、明沟或暗管排水工程、大面积水体的防渗和截渗工程等技术措施。黄河三角洲地区地势低平、排水不畅,需要建立好的灌排体系,提高黄河三角洲地区的抗灾能力,保证农业生产和水资源的可持续利用。水利工程措施的主要目的是均衡区域土壤水盐、促进土体的垂直或水平排水排盐、降低耕层土壤盐分、控制盐分表聚形成严重盐碱障碍<sup>[41]</sup>。李晓华<sup>[42]</sup>研究表明:暗管排水能显著降低土壤盐分的含量,且在暗管埋设间距为45~50 m时,土壤脱盐效果最优,同时暗管排水可以降低土壤的容重,改善土壤结构,增加土壤有机质,有利于作物的生长发育。从孔维航<sup>[43]</sup>的研究结果可以看出:开挖明沟能提高试验地盐碱土的排盐效率,表层土壤的脱盐效果最明显;同时明沟排盐效率随着距明沟距离的增大而降低,距离明沟越近排盐效率越高,但是随着深度的增加,排盐效果逐渐减弱。李俊杰等<sup>[44]</sup>研究表明:咸水结冰灌溉可以显著改善土壤的结构,增加水分的入渗能力,提高土壤的含水率;同时当灌水量为180 mm时,可以显著降低土壤盐分。在水资源缺乏和盐渍化严重的地区,水利工程措施具有较好的脱盐效果。

2) 化学改良措施:通常是向土壤中添加化学改良剂,如脱硫石膏、腐殖酸等,降低土壤盐度和碱度,改善土壤理化性质<sup>[45]</sup>。东营市周围煤炭资源丰富,且有丰富的油气资源,为该地区化工业提供了充足的能源,同时带动了当地发电企业的发

展。东营区的发电场每天都会产生大量的脱硫石膏,脱硫石膏是FGD的产物,与一般的石膏粉不同,脱硫石膏的成分较为稳定且有害杂质少,是一种重要的工业原料,近几年被广泛应用于盐碱地改良中<sup>[46]</sup>。周宾<sup>[47]</sup>研究表明脱硫石膏能够显著降低土壤pH值、容重和盐分,水稻受到的盐分胁迫降低,各生长指标都有明显的提高。庞喆等<sup>[48]</sup>通过比较脱硫石膏和腐殖酸对盐碱地的改良效果发现,二者都可以有效降低土壤的容重,改善土壤的理化性质,但腐殖酸对于降低土壤含盐量效果更为突出,同时施加腐殖酸处理的水稻千粒重和产量都达到最大。

3) 生物改良措施:筛选培育并应用耐盐性能优良的作物或盐生植物,利用作物的耐盐抗逆能力在盐碱地种植,改善盐碱地土壤质量,降低土面蒸发抑制盐分聚集,排除或者降低耕作层土壤盐分;筛选和应用具有良好生物活性和活化盐碱地养分供应的微生物材料或菌剂,发挥其盐碱地作物抗逆促生和改土降盐、碱的功效<sup>[49]</sup>,或通过添加微生物肥料在生态环境较为脆弱的区域。一般认为生物改良是一种科学环保且能够长期实施的一种措施。黄河三角洲地区拥有较为丰富的耐盐碱植物资源如碱蓬、芦苇、苜蓿、黑麦草等。这些植物资源在盐碱地改良和生态恢复中扮演着重要角色,不仅有助于改善土壤结构,而且还能提高土壤肥力,同时对于维护生物多样性和生态平衡具有重要意义。侯贺贺等<sup>[50]</sup>研究发现:在黄河三角洲盐碱地种植紫花苜蓿,土层的容重和盐分都大幅降低。李炜蕾等<sup>[51]</sup>研究也发现:马铃薯和碱蓬、紫花苜蓿间作除了有效改良土壤外,收获的碱蓬和紫花苜蓿又可以创造一定的经济价值,但是要注意马铃薯和两种盐生植物的间作距离,若距离过近可能造成马铃薯和两种盐生植物之间的养分竞争,造成马铃薯减产。

### 3.2 农业种植结构优化

黄河三角洲地区作物种植对于实现盐碱地综合利用和生态环境改良具有重要意义。通过科学合理的作物种植,可以有效改良盐碱地,提高土地的利用率和产出率。同时,作物的生长可以增加土壤的有机质含量,改善土壤结构,促进生态环境的改善。

1) 从当地的自然条件来看,该地区存在土壤盐渍化、土壤贫瘠、播种期干旱少雨等问题,使得作物出苗率和成活率较低,因此在春季干旱风大

的时候,在播种时尽可能挑选有降雨的天气进行播种。另外,通过深翻、施加有机肥料和石膏等改良剂来降低土壤盐分,改善土壤结构,提高土壤肥力<sup>[52-54]</sup>,采用滴灌、喷灌等节水灌溉技术,减少灌溉用水,同时通过渗灌等方式降低地下水水位,减轻土壤盐渍化<sup>[55]</sup>,为作物生长提供一个较好的生境,提高作物的出苗率,节省补苗产生的种子消耗,降低种植成本<sup>[56]</sup>。

2) 从作物的生长特性出发,根据黄河三角洲盐碱地特殊的地理环境,培育适合该地区生长的优良品种,增加农作物的存活率和产量;同时探索耐盐碱种子的培育技术,利用已经取得的耐盐种质资源优势,进一步广泛收集国内外各种作物的耐盐种质资源,系统全面开展耐盐性鉴定,筛选出优质耐盐作物种质资源,为耐盐作物选育提供遗传背景,在保证种子质量的基础上,降低种子的生产成本<sup>[57]</sup>。同时开展各种宣传活动,吸引各高等院校机构在此落户,为该地区作物种植提供技术支持;同时加大信息技术投入,给农民科普先进的种植生产技术,引导当地农民探索适合地区农作物种植的方式,降低种植成本,提高收入。

3) 从作物的经济效益出发,构建作物生产高效与农产品梯次高值化体系,建立新型现代农业发展模式,通过发展种业、农产品精深加工、绿色投入品生产、智能装备业、等产业,进一步延伸产业链条,打造具有地方特色的盐碱地产业体系。首先,通过培育和推广优质、抗逆、高产的农作物和畜禽品种,提高农业生产效率和农产品品质<sup>[58]</sup>,其次,通过开发具有地方特色的农产品加工品,提高产品的附加值和市场竞争能力<sup>[59]</sup>,再次通过引进和开发智能化的农业装备和技术,提高农业生产效率和质量,降低劳动成本,推动农业现代化进程<sup>[60]</sup>。最后,构建农业生态系统,促进农业与林业、畜牧业、渔业等产业的融合发展,同时推广生态农业模式,如有机农业、绿色农业等,减少化学农药和化肥的使用量,保护农业生态环境。此外,需要政府加大政策扶持力度,确保农民的基本收入不再下降,提高种植农作物的收益,调动农民的种植积极性<sup>[61]</sup>。

### 3.3 水资源持续高效利用

黄河三角洲地区水资源的合理利用和保护对于保障粮食安全、促进经济发展、维护生态平衡、提高人民生活水平和应对气候变化等方面都具有

重要意义。需要采取有效的措施和方法,提高水资源的利用效率和保护水平,实现水资源与社会、经济的协调发展。

1) 从农业种植结构来看,根据水资源条件,合理安排种植作物和种植比例,推广节水灌溉模式,采用喷灌、滴灌、渗灌等节水灌溉技术,减少灌溉过程中的水分流失,提高灌溉水的利用效率<sup>[62]</sup>。同时,合理安排灌溉时间,避开高温时段,尽量在早晚进行灌溉,减少水分蒸发。适当减少高耗水作物的种植面积,选育和引进耐旱、耐盐、适应性强的作物品种<sup>[63]</sup>,提高作物的抗逆性和适应性,减少对水资源的依赖。增加耐旱、耐盐、适应性强的作物的种植面积<sup>[64]</sup>,提高农业用水利用效率。

2) 从土壤条件来看,根据土壤肥力和作物需求,合理施肥,提高土壤肥力<sup>[65]</sup>,避免过量施肥导致的土壤盐碱化问题,保持土壤健康状态。同时,采用土壤改良剂、土壤结构改善剂等<sup>[66]</sup>,改善土壤结构,增强土壤保水保肥能力。黄河三角洲的土壤多为砂质土或壤质土,土壤较为疏松,孔隙度较大,这使得水分容易渗透和流失<sup>[67]</sup>。因此,在制定灌溉计划时,需要充分考虑土壤质地和结构,合理安排灌溉时间和水量。

3) 从生态环境来看,在盐碱农业开发和生态保护的背景下,黄河淡水的补给显得尤为关键。为了实现水资源的高效利用,必须采取科学合理的分水策略。一方面,要优先保障农业生产对水资源的需求,通过改进灌溉技术、推广节水作物品种等措施,提高水资源的利用效率,确保盐碱地区的农业生产得到稳定发展<sup>[68]</sup>。另一方面,要兼顾生态环境对水资源的需求,加强湿地保护和恢复工作,维护河流、湖泊等水域的生态平衡,为珍稀水生生物和湿地资源提供必要的生存条件。同时,还应建立完善的水资源监测和管理体系,实时掌握水资源动态和生态环境变化情况,及时调整分水方案,确保水资源的合理分配和高效利用<sup>[35]</sup>。通过这些措施的实施,实现盐碱农业开发和生态保护的双赢目标,促进黄河流域的可持续发展。

### 3.4 水资源-土壤-作物耦合关系

在黄河三角洲地区,水资源、盐碱地和作物三者之间存在独特的耦合关系。要实现该地区的农业可持续发展,需要综合考虑三者之间的关系



(图6),采取综合措施进行管理和利用。

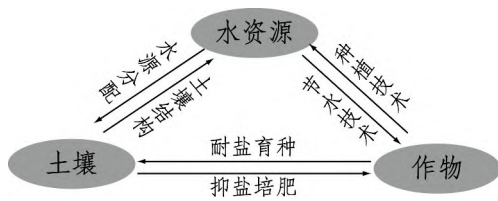


图6 黄河三角洲水资源-土壤-作物耦合关系

Fig.6 The coupling relationship of water resources-soil-crop in the Yellow River Delta

水资源、土壤和作物相互作用形成了一个复杂而动态的系统,对于农业生产力和环境可持续性至关重要。水的可用性直接影响土壤湿度,而土壤湿度对于作物生长至关重要。土壤特性,如质地、结构和有机质含量,影响保水和渗透,从而影响植物获取水分的方式。作物类型及其生根模式也会影响土壤和水的相互作用,不同的作物对水的需求和对土壤健康的影响不同。这种相互关联的关系强调了综合管理实践的重要性,即综合考虑水资源、土壤条件和作物需求的平衡和健康,以确保可持续的农业实践和生态系统保护。

水资源-土壤-作物耦合关系,更细节层面,特别是从机理解析和系统调控的角度,主要体现在根-土-水相互作用过程,是植物生长和生态系统健康的重要方面。根系是植物吸收水分和养分的主要功能器官,其形态、结构及生理性状等直接决定植物从土壤中获取水分和养分的能力和效率,该过程的效率也取决于多种因素,包括土壤成分、湿度水平和根系特征。根作为植物与土壤互作的枢纽,也是植物响应土壤逆境胁迫的“先锋”器官,根可以改变土壤结构,影响保水和流量,而土壤结构的变动也会引起植物根系的相应调整,植物能够通过改变根系结构和功能来应对土壤条件的变化,以保持生长和生存。这些相互作用是动态的,根系对土壤含水量做出反应,进而影响土壤的物理和化学性质。了解这些相互作用对于可持续农业和环境管理至关重要,特别是在气候条件不断变化的背景下。

综上,从盐碱农业综合发展出发,结合黄河三角洲地区的自然条件和经济发展状况,制定长期的盐碱农业发展规划,明确发展目标和重点任务;优化空间布局,根据地形、气候、土壤等自然条件和交通、水利等基础设施状况,合理规划农田布局和种植区域,提高土地利用效率;加强科技创新和

人才培养,加大对盐碱农业科技创新的投入力度,引进和培育高素质的农业科技人才和管理人才,为盐碱农业的可持续发展提供强有力的人才支撑和技术保障;推动产业融合发展,加强农业与旅游、文化等产业的融合发展,拓展农业产业链和价值链,提高农业附加值和综合效益。

## 4 结论

以“黄河三角洲”和“农业”为关键词,进行文献可视化分析,分析得出3个主要聚类簇关键词为盐渍化、农作物种植方式、水资源。根据3组聚类簇关键词进行进一步可视化分析,得出以下结论。

1)以“黄河三角洲”“农业”“盐渍化”为关键词进行可视化分析,结合前人研究发现:由于黄河三角洲独特的气候和位置条件,该地区土壤盐渍化日益严重且面积不断扩大。因此可以根据该地区实际情况,对盐碱地采用水利工程改良、物理改良、化学改良、生物改良等措施进行调控改良。

2)“黄河三角洲”“农业”“作物种植”为关键词进行进一步的可视化分析,结合前人研究发现:由于自然和人为因素的影响,该地区农作物面临着产量低、种植成本高、农业产值不高等问题。针对这些问题,可以通过培育耐盐碱作物品种、改良土壤理化性质、增加技术投入等措施来解决该地区农作物种植问题。

3)“黄河三角洲”“农业”“水资源”为关键词进行进一步的可视化分析,结合前人研究发现:由于自然原因与人文原因等多个因素使得黄河三角洲地区水资源短缺较为严重,因此可以根据该地区种植结构、土壤结构、生态环境等特点采取适当措施来缓解水资源短缺问题。

综上,黄河三角洲盐碱农业的可持续发展要结合黄河三角洲地区的自然条件和经济发展状况,从水、土、植物综合调控出发,制定长期的盐碱农业发展规划,共同推进黄河三角洲盐碱农业稳步发展。

### 参考文献:

- [1] LI Y S, CHANG C Y, WANG Z R, et al. Upscaling remote sensing inversion and dynamic monitoring of soil salinization in the Yellow River Delta, China[J]. Ecological Indicators, 2023, 148: 110087.

- [2] YU J B, LI Y Z, HAN G X, et al. The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72: 589-599.
- [3] 赵英, 于金艺, 胡秋丽, 等. 黄河三角洲盐碱地根土水交互过程及其调控[J]. *鲁东大学学报(自然科学版)*, 2023, 39(2): 97-106.
- [4] 孙盛楠, 严学兵, 尹飞虎. 我国沿海滩涂盐碱地改良与综合利用现状与展望[J]. *中国草地学报*, 2024, 46(2): 1-13.
- [5] 陈雪, 钟天颖, 于欢, 等. 黄河三角洲盐碱区耕地后备资源开发适宜性评价: 以黄河岛为例[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 51(6): 1052-1057.
- [6] 杨清, 范晓梅, 王林林, 等. 基于贝叶斯最大熵的黄河三角洲土壤含盐量空间分布预测[J]. *土壤*, 2024, 56(2): 406-414.
- [7] 张红军, 王强, 许艳, 等. 黄河三角洲盐渍化土壤改良脱盐规律及效果评价[J]. *环境工程*, 2023, 41(2): 683-686.
- [8] SHI T G, QI S Z. Environmental hazards in the yellow river delta, Shandong Province of China [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 518: 4712-4715.
- [9] 秦基皓, 安振, 张梦坤, 等. 黄河三角洲盐碱地不同复种模式产量和效益比较[J]. *山东农业科学*, 2019, 51(8): 34-37.
- [10] 杨欣. 山东省棉花生产技术效率及影响因素研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [11] SUN Y P, CHEN X B, SHAN J J, et al. Nitrogen mitigates salt stress and promotes wheat growth in the Yellow River Delta, China [J]. *Water*, 2022, 14(23): 3819.
- [12] 王开荣, 张凌燕, 窦身堂, 等. 黄河三角洲水资源承载力与生产力布局协调关系研究[J]. *中国水利*, 2022(16): 10-13.
- [13] BO L J, LI Y, LUO J F, et al. Effects of fertilization on yield and its components of several crops in saline soil in Yellow River Delta [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018(5): 44-48.
- [14] ZHU W, YANG J S, YAO R J, et al. Soil water-salt control and yield improvement under the effect of compound control in saline soil of the Yellow River Delta, China [J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 263: 107455.
- [15] QI J, SUN K X, PAN Y H, et al. Effect of ridging shapes on the water-salt spatial distribution of coastal saline soil [J]. *Water*, 2023, 15(16): 2999.
- [16] ZHANG H L, WANG F Q, ZHAO H, et al. Evolution of habitat quality and analysis of influencing factors in the Yellow River Delta wetland from 1986 to 2020 [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 10: 1075914.
- [17] 戴肖杰, 范晓梅, 闵彤. 基于时空融合技术的高精度遥感蒸散计算[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(25): 10688-10700.
- [18] 师长兴. 1976年以来黄河口泥沙淤积与扩散分析[J]. *人民黄河*, 2020, 42(9): 41-45.
- [19] 刘欣欣, 陈沈良, 李鹏, 等. 1996—2020年黄河口清水沟流路海岸线动态演变及其与水沙量的关系研究[J]. *海洋通报*, 2022, 41(4): 436-450.
- [20] ADEM G, METIN T, USTUN S, et al. The yield responses to crop bioremediation practices on haplustepl and fluvaquent saline-sodic soils [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2020, 51(21): 2639-2657.
- [21] LI S L, LI L X, WANG Z G, et al. Impacts of corn straw compost on rice growth and soil microflora under saline-alkali stress [J]. *Agronomy*, 2023, 13(6): 1525.
- [22] 董红云, 朱振林, 李新华, 等. 山东省盐碱地分布、改良利用现状与治理成效潜力分析[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(5): 134-139.
- [23] 董合忠, 迟宝杰, 代建龙, 等. 黄河三角洲盐碱地作物生态高效生产策略与技术[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(3): 38-41.
- [24] MAO W B, KANG S Z, WAN Y S, et al. Yellow River sediment as a soil amendment for amelioration of saline land in the Yellow River Delta [J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 27(6): 1595-1602.
- [25] ZHOU S, GAO Y, ZHANG J P, et al. Impacts of saline water irrigation on soil respiration from cotton fields in the north China plain [J]. *Agronomy*, 2023, 13(5): 1197.
- [26] 王桂峰, 魏学文, 孙玮琪, 等. 完善内地主产棉区棉花补贴机制的思考与建议: 以山东省为例[J]. *中国棉花*, 2017, 44(8): 8-11.
- [27] 徐勤青, 魏学文, 孙玮琪, 等. 山东棉花生产现状及高质量发展路径探讨[J]. *中国棉花*, 2022, 49(8): 5-8.
- [28] 王桂峰, 魏学文, 孙玮琪, 等. 山东省棉花生产下滑的原因分析及建议[J]. *棉花科学*, 2018, 40(3): 50-52.
- [29] 张辉. 咸水替代对小麦干旱胁迫后生长及土壤水盐运移的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [30] 文佩. 黄河三角洲盐渍化土壤氮转化过程及冬小麦幼苗氮利用研究[D]. 烟台: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2018.
- [31] 齐思泉, 邢茂德. 鲁中地区小麦病虫害绿色防控技

- 术[J].农业科技通讯,2022(10):203-204.
- [32] PHYU M H, WATANABE K, THAUNG M. Geostatistical analysis of the rice insect pests and their natural enemy species in an intensive rice-growing field in Nay Pyi Taw, Myanmar [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2023, 33(2):133-154.
- [33] HUANG J, ZHOU L M, ZHANG F M, et al. Precipitation concentration in Jiangsu province, southeast China and its indicating function on the fluctuation of rice yield [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2019, 131:1249-1258.
- [34] SUN Y P, CHEN X B, LUO Y M, et al. Agricultural water quality assessment and application in the Yellow River Delta [J]. *Agronomy*, 2023, 13(6):1495
- [35] 左强, 吴训, 石建初, 等. 黄河三角洲滨海盐碱地可持续利用的水土资源约束与均衡配置策略 [J]. *中国工程科学*, 2023, 25(4):169-179.
- [36] LI X Z, ZHOU X, LIU W G, et al. Oxygen isotopic composition of bulk carbonates in recent sediments from Lake Kuhai (NW China) and implications for hydroclimatic changes in headwater areas of the Yellow River on the northeastern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 134:150-159.
- [37] 宋德彬. 黄河三角洲地区近50年气温和降水的演变特征及R/S分析 [D]. 烟台:中国科学院烟台海岸带研究所, 2016.
- [38] 杨伟, 陈沈良. 黄河三角洲河口区滨海湿地面积动态变化与影响因素分析 [J]. *海洋科学*, 2011, 35(7):61-66.
- [39] PAN B, HAN M, LI Y L, et al. An analysis on the trend of sustainable utilization of water resources in Dongying City, China [J]. *Water Resources*, 2021, 48:158-166.
- [40] SHI X Y, WANG H J, SONG J H, et al. Impact of saline soil improvement measures on salt content in the abandonment-reclamation process [J]. *Soil and Tillage Research*, 2021, 208:104867.
- [41] 田冬, 桂丕, 李化山, 等. 不同改良措施对滨海重度盐碱地的改良效果分析 [J]. *西南农业学报*, 2018, 31(11):2366-2372.
- [42] 李晓华. 黄河三角洲农田暗管排盐效果研究 [D]. 泰安:山东农业大学, 2016.
- [43] 孔维航. 黄河三角洲区域盐碱土水盐运移规律及工程排盐技术研究 [D]. 泰安:山东农业大学, 2022.
- [44] 李俊杰, 屈忠义, 杨威, 等. 咸水结冰灌溉下盐碱地土壤水热盐动态迁移特征分析 [J]. *水土保持学报*, 2023, 37(2):377-384.
- [45] 王志国, 刘洋, 代朋, 等. 滨海盐碱地综合改良技术研究 [J]. *农家参谋*, 2022(22):24-26.
- [46] WANG P J, LIU Q, FAN S L, et al. Combined application of desulfurization gypsum and biochar for improving saline-alkali soils: a strategy to improve newly reclaimed cropland in coastal mudflats [J]. *Land*, 2023, 12(9):1717.
- [47] 周宾. 添加脱硫石膏对苏打盐碱土理化性质及水稻产量的影响 [J]. *山西农业科学*, 2022, 50(3):386-390.
- [48] 庞喆, 王启龙, 李娟. 不同土壤改良剂对陕北低洼盐碱地土壤理化性质及水稻产量和经济效益的影响 [J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(6):174-180.
- [49] EGAMBERDIEVA D. *Pseudomonas chlororaphis*: a salt-tolerant bacterial inoculant for plant growth stimulation under saline soil conditions [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2012, 34:751-756.
- [50] 侯贺贺, 王春堂, 王晓迪, 等. 黄河三角洲盐碱地生物措施改良效果研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2014(7):1-6.
- [51] 李炜蓄, 丁习武, 王晓婷, 等. 间作盐生植物对马铃薯产量、盐碱地改良和经济效益的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2023(6):92-96.
- [52] 闫晓宇. 滨海盐碱地棉花秸秆还田与翻耕对土壤理化性质和微生物群落结构的影响 [D]. 泰安:山东农业大学, 2021.
- [53] 陈慧. 有机物料对苏打型盐碱土的改良效果研究 [D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2023.
- [54] 王宏伟, 包红霞, 李扬, 等. 不同施用模式下脱硫石膏对苏打型盐碱地改良效果研究 [J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2024, 39(1):44-48.
- [55] 陈兵, 孔宪辉, 余渝, 等. 南疆盐碱地棉花微量多次滴水控盐增温成苗节水增产新技术 [J]. *中国棉花*, 2023, 50(2):40-42.
- [56] DING Z L, KHEIR A M S, ALI O A M, et al. A vermicompost and deep tillage system to improve saline-sodic soil quality and wheat productivity [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 277:111388.
- [57] KALHORI N, NULIT R, GO R, et al. Selection, characterizations and somatic embryogenesis of Malaysian salt-tolerant rice (*Oryza sativa* cv. MR219) through callogenesis [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2016, 19(1):157-163.
- [58] AHMAR S, GILL R A, JUNG K H, et al. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: recent advances and future outlook [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(7):2590.
- [59] FATICA S. Taxation and the quality of institutions: asymmetric effects on FDI [J]. *Munich Personal RePEc*

- Archive, 2010; 24212.
- [60] MDODA L, OBI A, NCOYINI-MANCIYA Z, et al. Assessment of profit efficiency for spinach production under small-scale irrigated agriculture in the Eastern Cape Province, South Africa [J]. *Sustainability*, 2022, 14: 2991.
- [61] 李首涵, 杨萍, 李忠德, 等. 基于 DEA-SBM 模型的黄河三角洲现代农业生态效率评价 [J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(13): 98-103.
- [62] DOU X S. A critical review of groundwater utilization and management in China's inland water shortage areas [J]. *Water Policy*, 2016, 18(6): 1367-1383.
- [63] HAN J, WANG C Q, DENG S H, et al. China's sponge cities alleviate urban flooding and water shortage: a review [J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2023, 21: 1297-1314.
- [64] XU Z H, CAI X M, YIN X N, et al. Is water shortage risk decreased at the expense of deteriorating water quality in a large water supply reservoir? [J]. *Water Research*, 2019, 165: 114984.
- [65] DOSSA K, YEHOUESSI L W, LIKENG-LI-NGUE B C, et al. Comprehensive screening of some west and central African sesame genotypes for drought resistance probing by agromorphological, physiological, biochemical and seed quality traits [J]. *Agronomy*, 2017, 7(4): 83.
- [66] 徐征和, 傅新. 黄河三角洲农业水土资源高效利用调查与分析 [J]. *山东水利*, 2021(2): 4-6.
- [67] ZIETLOW K J, MICHALSCHECK M, WELTIN M. Water conservation under scarcity conditions: testing the long-run effectiveness of a water conservation awareness campaign in Jordan [J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2016, 32(6): 997-1009.
- [68] 赵英, 王海霞, 王毅, 等. 黄河流域农业水资源高效利用与优化配置研究 [J]. *中国工程科学*, 2023, 25(4): 158-168.

## The Current State, Challenges, and Strategies of Salt-Alkali Agriculture in the Yellow River Delta Using VOSviewer for Visualization Analysis

YU Jinyi<sup>1</sup>, WANG Haixia<sup>1</sup>, ZHAO Jiabin<sup>2</sup>, ZHAO Ying<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China;

2. College of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The Yellow River Delta boasts superior geographical location and abundant agricultural resources, offering unparalleled conditions for agricultural development. Utilizing the CNKI Core Collection Database, an advanced search was conducted using the keywords “the Yellow River Delta” and “agriculture”, selecting 1333 publications from between 1987 and 2022. The three clusters of keywords “saline-alkali land”, “crops”, and “water resources” were revealed by using VOSviewer visualization software. Further visualization analysis of these three clusters was performed. The analysis of annual publication volumes and research hotspot maps summarized the current state and key directions of research on saline agriculture in the Yellow River Delta in recent years. Additionally, in response to the challenges of high difficulty in utilizing saline-alkali land, a monotonous crop planting structure, and prominent water resource conflicts facing the development of saline agriculture in the Yellow River Delta, specific countermeasures were proposed from the perspectives of soil improvement, optimization of planting structure, water resource adaptation and water-saving technologies, and ecological synergy enhancement. This study provides reference for issues related to the development of saline agriculture in the Yellow River Delta region.

**Keywords:** saltine-alkali agriculture; saline land improvement; VOSviewer; water resources; the Yellow River Delta  
(责任编辑 李秀芳)