

基于CiteSpace对非损伤微测技术在环境领域应用的可视化分析

苏玉如, 王海琴, 覃金苗, 吴 萱, 卢佳妮, 李依静, 宋晓红*

桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年4月26日; 录用日期: 2024年5月27日; 发布日期: 2024年6月30日

摘 要

近年来非损伤微测技术(NMT)在环境领域的应用日益增加, 本文基于Web of Science数据库, 使用CiteSpace分析软件, 以2014~2023年期间NMT技术在环境领域应用的相关文献为信息, 进行知识图谱可视化分析。结果表明, 发文数量呈螺旋式上升、主要发文机构为农业类相关机构或高校, NMT技术在环境领域主要用于植物相关的研究, 研究热点集中于植物修复、植物耐盐抗性研究。本文用CiteSpace信息可视化的方法对NMT技术在环境领域的应用前景和趋势进行了分析和展望。

关键词

非损伤微测技术, CiteSpace, 可视化分析

Visualization Analysis of the Application of Non-Invasive Micro-Test Technology in the Environmental Field Based on CiteSpace

Yuru Su, Haiqin Wang, Jinmiao Qin, Xuan Wu, Jiani Lu, Yijing Li, Xiaohong Song*

College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Apr. 26th, 2024; accepted: May 27th, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

In recent years, the application of Non-invasive Micro-test Technology (NMT) in the environmental field has been increasing. This article used the CiteSpace software to conduct a knowledge mapping visualization analysis based on the relevant literature on the application of NMT in the

*通讯作者。

文章引用: 苏玉如, 王海琴, 覃金苗, 吴萱, 卢佳妮, 李依静, 宋晓红. 基于 CiteSpace 对非损伤微测技术在环境领域应用的可视化分析[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(3): 600-608. DOI: 10.12677/aep.2024.143082

environmental field from 2014 to 2023 sourcing from the Web of Science database. The results showed that the number of publications has been spiraling upward, with the main contributing institutions being agricultural-related organizations or universities. NMT technology was primarily used in environmental research related to plants and the research hotspots were focused on phytoremediation and salt tolerance of plant. This article also analyzed the application prospects and trends of NMT technology in the environmental field by using the information visualization method of CiteSpace.

Keywords

Non-Invasive Micro-Test Technology, CiteSpace, Visualization Analysis

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

非损伤微测技术(non-invasive micro-test technology, NMT)的概念最早在 1974 年被提出[1], 1990 年神经科学家 Lionel F. Jaffe 成功地运用它测定了钙离子流, 从此开启了这门技术的里程碑[2]。NMT 技术于 2005 年被引入我国, 被越来越多的学者所看重并使用。NMT 技术的应用原理是利用电极测量进出样品的离子/分子所产生的电压值/电流值, 得到两点之间的浓度差直流从而得到离子流速, 并通过离子流速的变化来表征生物体生命活动指标。

时至今日, 通过不断地探索、改进和应用, 它从一种钙的专用震动电极衍生出 8 种类型的非损伤技术, 包括扫描极谱电极技术(SPET)、扫描离子选择性电极技术(SIET)、自参比极谱电极技术(SERP)、扫描震动电极技术(SVET)、自参比酶辅助电极技术(SERE)、微电极离子流技术(MIFE)和扫描参比电极技术(SRET) [3]。

相较于传统检测技术, NMT 技术的操作更为简单灵敏, 检测样品范围广, 贴近样品体内生理环境, 实现了在不损伤样品的前提下, 实时反映生物体进化过程中生命活动指标的动态变化, 成为生理功能研究的最佳工具之一[4]。随着人类对环境污染物的认识不断深入, 研究水平从细胞水平向分子水平发展, 而环境污染物对机体的作用特点便是接触剂量较小、长时间内反复接触甚至终生接触, 传统测量方式很难同时满足这两个特点的测量需求, 且传统的检测技术往往需要破坏样品, 样品的生命活动指标、检测出的结果可能存在误差, 因此 NMT 技术在动植物生理相关的研究中具有强大的优势。

CiteSpace 软件系统是由美国德雷塞尔大学信息科学与技术学院的华人学者陈超美博士开发的, 主要用于科学文献数据的信息可视化计量和分析, 可用于绘制科学和技术领域的知识图谱。在实际应用中, CiteSpace 通过科学高效的算法、简单便捷的操作方式, 直观地展现出某一科学领域中的关键文献、热点研究和前沿方向, 因而被广泛应用于国内外信息科学领域[5]。本文通过利用 CiteSpace, v.6.2.R6 软件, 以文献计量学为核心方法, 利用文献的各种数量特征进行定量分析, 运用统计学和数学方法进行分析, 通过可视化图谱展示 NMT 技术的研究热点、方向和各个结构之间的关系图[6]。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 文献来源与检索

以 Web of Science (WOS)核心合集数据库为检索库, 采用高级检索模式, 检索策略式为((ALL =

(Non-invasive Micro-test Technology)) OR ALL = (Scanning ion selective electrode)) OR ALL = (microelectrode ion flux estimation), 检索时间为 2014 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 13 日, 语言不限。

2.2. 研究方法

将在数据库中检索到的文献以纯文本文件导出, 将 Web of Science 核心数据库中检索到的文献以 download-***txt 格式导入 CiteSpace 软件, 并对导入的文献进行除重与发文量记录, 排除与研究主题无关、重复发表或重复检出的文章以及撤回、勘误类文献, 将除重后的数据导出, 分析发文时间与发文数量并绘制图表。

运用 CiteSpace 软件, 在软件中依次选择关键词、作者和机构后, 以 2014~2023 年为时间跨度, 使用共现分析功能绘制相关科学知识图谱。在可视化图谱中, 共现分析图谱中节点圆圈分别代表作者、机构以及关键词, 节点大小代表节点出现的频率, 节点之间的连线代表其联系合作关系及其紧密程度[7]。当节点类型选择机构(institution)作为节点时, 时间切片设为 1 年, 选择标准设为 G 指数 = 25, 无裁剪; 选择作者(author)作为节点时, 时间切片设为 2 年, 选择标准设为 top N 指数 = 50, 无裁剪; 以关键词(keyword)作为节点时, 时间切片设为 1 年, 选择标准设为 G 指数 = 25, 裁剪方式为 pathfinder。最后分析该领域的研究现状、热点以及发展趋势。中介中心性是 CiteSpace 软件中测度节点在网络图谱中一个重要性指标, 中心度>0.1 表明该节点在研究领域内有重要影响, 中心值越高, 就说明该节点在该领域越重要[8]。

3. 结果与分析

3.1. 年发文量分析

经过检索与筛选之后, 精炼出研究文献与综述文献共 299 篇。年发文量是衡量一个领域活力与潜力的重要指标[9]。如图 1 所示, 2014~2018 年间环境领域内 NMT 技术的相关发文量整体呈大幅上升趋势, 2019~2022 年的年发文量略有回落下降, 但在 2023 年的年发文量又迅速回升, 因此发文量的下降除了正常波动外还可能是一些客观不可抗力因素所导致, 总体是一个螺旋式上升的过程。为了进一步衡量该领域的发文趋势, 绘制趋势线获得函数为 $y = 32.109x^2 - 28.2$ ($R^2 = 0.9971$, y 为年度发文量, x 为年份)。从整体趋势来看, NMT 技术在环境领域越来越受到相关研究人员的认可与重视, 显然具有不小的应用潜力。

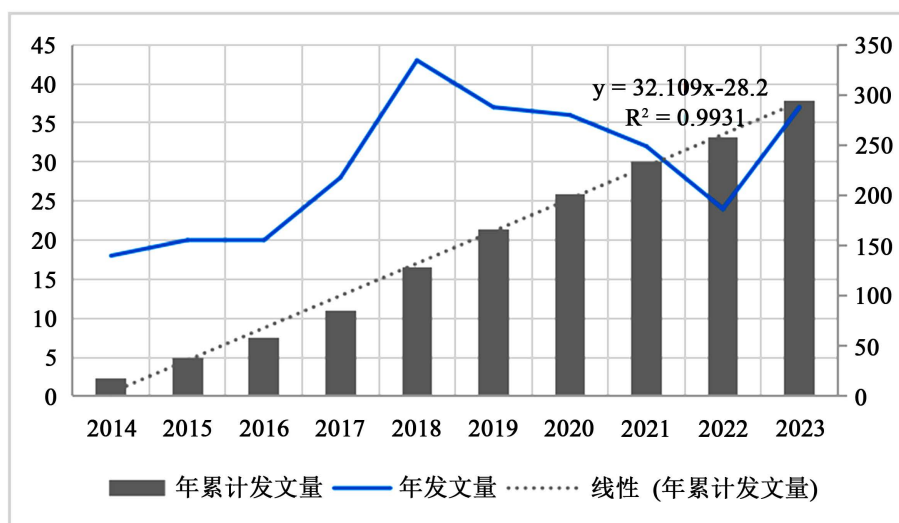


Figure 1. Annual publication volume trend chart

图 1. 年发文量趋势图

3.2. 机构合作共现图谱分析

对 NMT 技术在环境领域应用的相关文献进行机构合作网络共现分析。机构合作共现图谱能够呈现某研究领域的权威机构以及机构之间的合作情况。本研究(图 2)得到的机构合作共现图谱中共有 222 个节点, 318 条连线, 网络整体密度为 0.013。

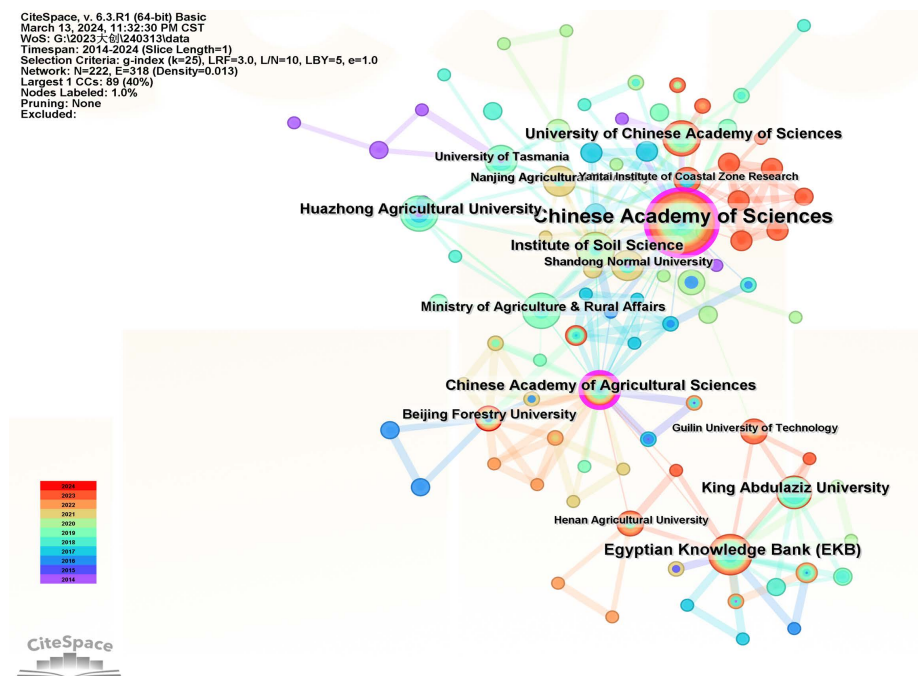


Figure 2. Organization co-occurrence map
 图 2. 机构共现图谱

对文献发表机构进行分析的结果如表 1 所示, 通过图谱与统计表可以发现, 中心度排名第一的机构为中国科学院(Chinese Academy of Sciences), 中心度排名前十的机构中与农林业科学相关的机构居多, 包括中国农业科学院(Chinese Academy of Agricultural Sciences)、北京林业大学(Beijing Forestry University)、农业与农村事务部(Ministry of Agriculture & Rural Affairs)、华中农业大学(Huazhong Agricultural University)。从发文机构的中心度排名与频次可看出, 近 10 年来缺乏持续有较大影响力的机构, 且机构合作共现图谱的网络整体密度相对较小, 说明各个主要机构之间的合作较少, 处于一个比较分散的状态。

Table 1. Statistics of the issuing institutions (sorted by centrality)

表 1. 发文机构统计表(按中心度排序)

序号	频次	中心度	时间	机构
1	33	0.17	2014	Chinese Academy of Sciences
2	12	0.16	2015	Chinese Academy of Agricultural Sciences
3	14	0.08	2015	Egyptian Knowledge Bank (EKB)
4	11	0.04	2016	Institute of Soil Science
5	6	0.03	2014	University of Tasmania
6	9	0.02	2016	Ministry of Agriculture & Rural Affairs

续表

7	10	0.01	2014	Huazhong Agricultural University
8	8	0.01	2015	Beijing Forestry University
9	6	0.01	2018	Nanjing Agricultural University
10	5	0.01	2018	Henan Agricultural University

3.3. 作者合作共现图谱分析

对 NMT 技术的相关文献进行作者合作共现分析，作者合作共现图谱能够呈现某研究领域的核心作者以及作者之间的合作情况。本研究得到的作者合作共现图谱如图 3 所示，共有 106 个节点，172 条连线，网络整体密度为 0.0309。

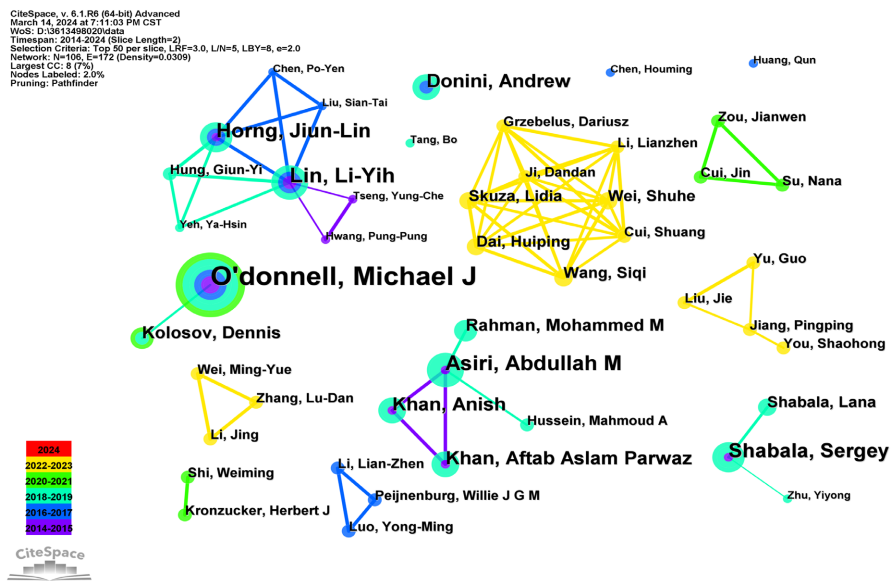


Figure 3. Co-occurrence map of authors' collaboration
图 3. 作者合作共现图谱

发文量居前 3 位的作者(表 2)分别是 Michael J O'donnell (12 篇)、Abdullah M Asiri (9 篇)、Sergey Shabala (7 篇)。网络整体密度较低，可以看出发文作者的合作关系主要为内部合作，不同团队之间的合作几乎没有。从频次上看，2018 年以后涌现出了几个新的、较为活跃的团队。总体而言，近十年来该领域虽然缺乏具有领军性的研究团队，但也有不少新鲜血液的注入，发展前景是可观的。

Table 2. Statistics of authors who published articles (sorted by frequency)

表 2. 发文作者统计表(按频次排序)

序号	频次	时间	作者
1	12	2014	Michael J O'donnell
2	9	2014	Abdullah M Asiri
3	7	2018	Sergey Shabala
4	6	2014	Andrew Donini

Top 4 Keywords with the Strongest Citation Bursts

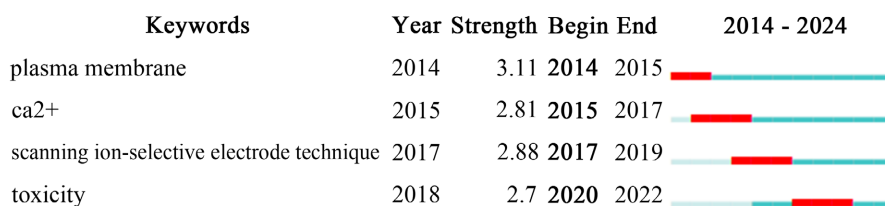


Figure 5. Keyword burst analysis chart

图 5. 关键词 burst 分析图

Table 3. Keyword statistics table (sorted by centrality)

表 3. 关键词统计表(按中心度排序)

序号	频次	中心度	时间	关键词
1	7	0.36	2017	heavy metals
2	10	0.35	2014	acid
3	10	0.3	2015	Ca ²⁺
4	14	0.27	2014	arabidopsis
5	16	0.22	2015	nanoparticles
6	22	0.2	2014	plasma membrane
7	8	0.19	2016	electrode
8	20	0.15	2016	plants
9	25	0.14	2014	expression
10	19	0.13	2016	accumulation

3.4.2. 关键词聚类分析

为了能更准确的反应 NMT 技术在环境领域的研究热点，使用 CiteSpace 对关键词进行了聚类分析(图 6)。关键词聚类可以呈现相关研究领域的结构体系，判断领域内新兴的理论动向和涌现的新课题。每个聚类代表了一个研究主题，每个聚类的颜色代表不同时间段，聚类中的关键词反映了该主题的核心内容[13]。

本研究中关键词被分为 7 大类，分别为#0 吸附(adsorption)、#1 多类型细胞(rich cell)、#2 氧化应激(oxidative stress)、#3 氢离子流(H⁺ flux)、#4 摄取机制(uptake mechanisms)、#5 保卫细胞(guard cell)、#6 导电聚合物(conducting polymers)、#7 大麦(hordeum vulgare)。

根据本研究的特点即研究某技术在某领域的应用，因此该聚类图更多反应的是不同时间段 NMT 技术在环境领域内的研究内容与方向。通过聚类分析可知#0 吸附(adsorption)、#1 多类型细胞(rich cell)、#2 氧化应激(oxidative stress)、#7 大麦(hordeum vulgare)这四个聚类是近年来的主要内容，说明研究者的关注热点在植物对逆境的抗性。有研究表明，世界上近 20%的耕地和近 33%的灌溉农田正在遭受盐碱化，高盐度的土壤所引起的次生效应，会导致植物活性氧产生过多，引起氧化应激损伤[14]。利用 NMT 可以从新的角度解释植物的耐盐机制，如盐胁迫作用下植物对 Na⁺、H⁺的吸收规律与含量，NMT 技术是植物耐盐筛选的可靠方法，对培育耐盐植物新品种也具有一定帮助[15]。

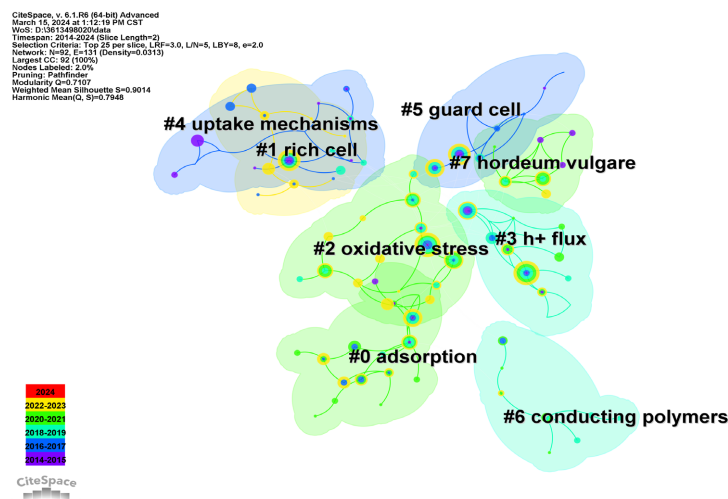


Figure 6. Keyword clustering map
 图 6. 关键词聚类图谱

4. 结论与展望

本研究采用 CiteSpace 软件对 2014~2023 年 Web of Science 数据库中关于 NMT 技术在环境领域应用相关的 322 篇文献进行文献计量学分析及可视化分析,直观地展示了近 10 年 NMT 技术在环境领域应用的研究概况,并对其研究热点及研究趋势形成了基本认识。研究结果显示,近 10 年相关文献数量总体呈现螺旋式上升趋势;机构合作共现图谱呈现节点众多但节点间联系较少,表明该领域内研究机构众多但彼此之间合作较少;作者合作网络共现分析图谱显示,该领域内作者众多,虽然多数作者之间的联系合作较为松散,但 5 年涌入了一些较有影响力的新团队;关键词共现分析和聚类图谱揭示了领域的研究热点,高频关键词植物、重金属、富集等表明研究热点主要在于植物修复、植物抗性等方面;最新突现关键词毒性(toxicity),表明 NMT 技术在环境领域应用的未来的发展有可能会趋向于毒性机制的研究并形成新的热点。

综上所述,目前 NMT 技术在植物方面应用居多,在植物细胞的离子/分子流与植物特定功能的研究中,特别是在重金属的植物修复与植物耐盐抗性方面,发挥着重要作用[16],随着环境的变化,污染物的种类也越发多样,基于 NMT 技术在植物方面的研究基础,不仅可用于筛选植物中对某种污染物低富集或超富集的物种,同时也将用于深入研究毒理机制方面的内容。随着各个机构与学者之间开展更为密切的合作及交叉学科的发展,NMT 技术在未来将越来越广泛的应用于环境领域,发挥更加重要作用。

参考文献

- [1] Jaffe, L.F. and Nuccitelli, R. (1974) An Ultrasensitive Vibrating Probe for Measuring Steady Extracellular Currents. *The Journal of Cell Biology*, **63**, 614-628. <https://doi.org/10.1083/jcb.63.2.614>
- [2] Kühtreiber, W.M. and Jaffe, L.F. (1990) Detection of Extracellular Calcium Gradients with a Calcium-Specific Vibrating Electrode. *The Journal of Cell Biology*, **110**, 1565-1573. <https://doi.org/10.1083/jcb.110.5.1565>
- [3] 季丹丹, 魏树和, 王嗣淇. 非损伤微测技术及其在环境科学领域的应用[J]. 生态学杂志, 2015, 34(10): 2951-2955.
- [4] Han, M., Yang, H., Yu, G., et al. (2022) Application of Non-Invasive Micro-Test Technology (NMT) in Environmental Fields: A Comprehensive Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **240**, Article 113706. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113706>
- [5] 侯剑华, 胡志刚. CiteSpace 软件应用研究的回顾与展望[J]. 现代情报, 2013, 33(4): 99-103.
- [6] 杨彬, 刘中梅. 国内环境监测数据研究热点、前沿与趋势——基于 CiteSpace6.2 的可视化分析[J]. 黑龙江生态工

- 程职业学院学报, 2023, 36(5): 14-20+55.
- [7] 李科科, 于文兵, 李硕奇, 等. 基于 CiteSpace 软件的大学生社交焦虑研究的热点与前沿趋势分析[J]. 中国全科医学, 2022, 25(33): 4217-4226.
- [8] 陈冉, 杨皓然, 史会连, 等. 1991-2021 年肝硬化营养研究热点及趋势可视化分析[J]. 中国全科医学, 2022, 25(32): 4091-4098.
- [9] 李廷洋, 侯越, 勾文峰, 等. 基于 CiteSpace 对氨基酸辐射防护研究的可视化分析[J/OL]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090282>, 2024-03-13.
- [10] 宋浩然, 张玉强, 谷娜, 等. 基于 CiteSpace 对人工智能在骨创伤研究的可视化分析[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1581.R.20240306.0915.014.html>, 2024-03-15.
- [11] Yen, H.-J., *et al.* (2019) Toxic Effects of Silver and Copper Nanoparticles on Lateral-Line Hair Cells of Zebrafish Embryos. *Aquatic Toxicology*, **215**, Article 105273. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105273>
- [12] Zhang, Y., *et al.* (2020) Physiological Responses of *Arthrobacter* sp. JQ-1 Cell Interfaces to Co-Existed Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate (DEHP) and Copper. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **205**, Article 111163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111163>
- [13] 袁茂阳. 我国健康城市研究的现状和热点分析[J]. 中国健康教育, 2019, 35(10): 898-902.
- [14] Cirillo, V., Masin, R., Maggio, A. and Zanin, G. (2018) Crop-Weed Interactions in Saline Environments. *European Journal of Agronomy*, **99**, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.009>
- [15] Ni, L., *et al.* (2020) Calcium/Calmodulin-Dependent Protein Kinase OsDMI3 Positively Regulates Saline-Alkaline Tolerance in Rice Roots. *Plant Signaling & Behavior*, **15**, Article 1813999. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1813999>
- [16] 吕杰, 苗璐, 蔡蕊, 等. 非损伤微测技术在植物根系生长发育研究中的应用[J]. 生物技术, 2013, 23(1): 89-93.