

中国玉米优势产区生产格局及施肥现状研究

赵希梅¹, 严如玉¹, 向风云¹, 李绪勋¹, 高沁匀¹, 李紫旭¹, 李书月¹, 李继福^{1,2}

(1. 长江大学农学院/农业资源与环境分析测试中心, 湖北 荆州 434025;

2. 中国农业科学院农田灌溉研究所/农业部作物需水与调控重点实验室, 河南 新乡 453002)

摘要: 为明确中国玉米优势产区生产格局变化和玉米施肥研究现状, 以中国知网(CNKI)数据库、中国农村统计年鉴和2023年国家科学施肥指导意见为信息来源, 对我国玉米生产与施肥研究的文献发表量、来源出版物、项目分布、研究机构、种植面积及肥料施用量进行整合分析。统计数据表明, 2012–2022年, 我国玉米种植面积整体呈上升趋势。2018–2021年东北平原地区玉米总产量最高, 平均为11 560 kg/hm²。2012–2022年, 全国玉米产量与施肥研究发表文献年均保持在700篇以上, 2016年文献发表数量最多, 为1 156篇。黄淮海区域累计发表相关文献最多, 占全国发文量的16.7%, 综合优势明显。

关键词: 玉米; 施肥现状; 生产格局; CNKI数据库

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Study on Production Pattern and Fertilization Status in China's Dominant Maize-Producing Areas

ZHAO Xi-mei¹, YAN Ru-yu¹, XIANG Feng-yun¹, LI Xu-xun¹, GAO Qin-yun¹, LI Zi-xu¹, LI Shu-yue¹, LI Ji-fu^{1,2}

(1. College of Agriculture, Yangtze University / Agricultural Resources and Environment Analysis and Testing Center, Jingzhou 434025; 2. Institute of Farmland Irrigation, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Water Demand and Regulation of Ministry of Agriculture, Xinxiang 453002, China)

Abstract: In order to clarify the change of production pattern in China's dominant maize producing areas and the current status of maize fertilization research, the China Knowledge Network(CNKI) database, China Rural Statistical Yearbook and the 2023 National Scientific Fertilization Guidelines as the information sources to integrate and analyze the amount of literature published, source publications, project distribution, research institutes, planting area, and fertilizer application in China's research on maize production and fertilization. Statistical data showed that the overall trend of maize planting area in China was upward from 2012 to 2022, the total maize yield in the North-east Plain region was the highest in 2018–2021, with an average of 11 560 kg/ha. The published literature on maize production and fertilizer research in China remained above 700 articles per year from 2012 to 2022, with the highest number of literature publications was 1 156 in 2016. The Huang-Huai-Hai region had the most accumulated publications, accounting for 16.7% of the national publication volume, with obvious comprehensive advantages.

Key words: Maize; Fertilization status; Production pattern; CNKI database

中国是全球第二大玉米生产国和消费国, 玉米产业健康发展对保障国家粮食安全具有重要意义

义^[1-2]。玉米作为我国第一大粮食作物, 种植区主要分为5个区域, 即东北、黄淮海、西南山地、南方丘陵和西北灌溉产区^[3]。2018–2021年, 中国玉米总产量保持稳定增长, 其中, 2021年玉米产量最高, 达27 255万t^[4]。从种植区域分布来看, 玉米生产呈明显的地域差异。东北平原的黑龙江省总产量位居各省份前列, 为4 149万t。玉米产量增加与品种、生产管理 etc 密不可分, 其中, 施肥可显著提高玉米产量, 尤以氮肥效果最好。因而施用化肥是提高玉米产量的重要保证措施^[5-6]。科学施肥可显著提高玉米产

录用日期: 2023-11-27

基金项目: 农业农村部作物需水与调控重点实验室项目(ZWS 202302)、农业农村部农作物种植补贴项目(J2022015)

作者简介: 赵希梅(2000–), 女, 湖北恩施人, 硕士, 主要从事土壤肥力与作物养分管理研究。

E-mail: 201904487@yangtzeu.edu.cn

李继福为本文通信作者。

E-mail: jifuli@yangtzeu.edu.cn

量和改善品质,过量施肥会导致养分在土壤中富集,这不仅会破坏土壤结构,也会改变玉米生长环境,影响玉米生长发育,导致减产发生^[7]。

自国家“十四五”重点研发系列作物减肥、减药项目实施以来,各玉米主产区积极响应国家政策,开展化肥农药减量增效,实现农药、化肥施用量和施用强度双下降^[8]。目前,我国化肥减量途径主要包括秸秆还田、测土配方施肥、水肥一体化、有机肥资源化利用、改进种植制度和培育耐肥抗逆品种^[9]。王春晓^[10]等对山东地区开展研究发现,减施常规氮肥即 180 kg/hm²时,控释氮肥搭配秸秆还田可显著提高玉米产量。吕梦等^[11]在河南省开展研究有机肥配施氮肥结果显示,减少氮肥,施用 20% 有机肥,显著提高氮素利用效率 40.01% ~ 60.63%,可显著提高玉米产量与品质。目前,针对中国主要农作物“减肥减药”新形势要求下,玉米科学施肥研究显得尤为重要。本研究基于农业农村部种植业管理司提供的科学施肥指导意见、中国农村统计年鉴以及 CNKI 提供的文献可视化计量分析功能,对国内玉米生产和施肥研究进行统计分析,为各地玉米科学施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究数据源于中国知网(CNKI)数据库、2023 年国家科学施肥指导意见和中国农村统计年鉴

(2012–2022 年)。为保证检索文献的查全率与查准率,检索文献选择以“高级检索”进行,选择以“主题”进行检索,检索标准:主题=“玉米”和“产量”和全文=“施肥”,时间跨度=“2012-01-01”至“2022-12-31”,不勾选“中英文扩展”,学科领域=“全选”。

1.2 研究方法

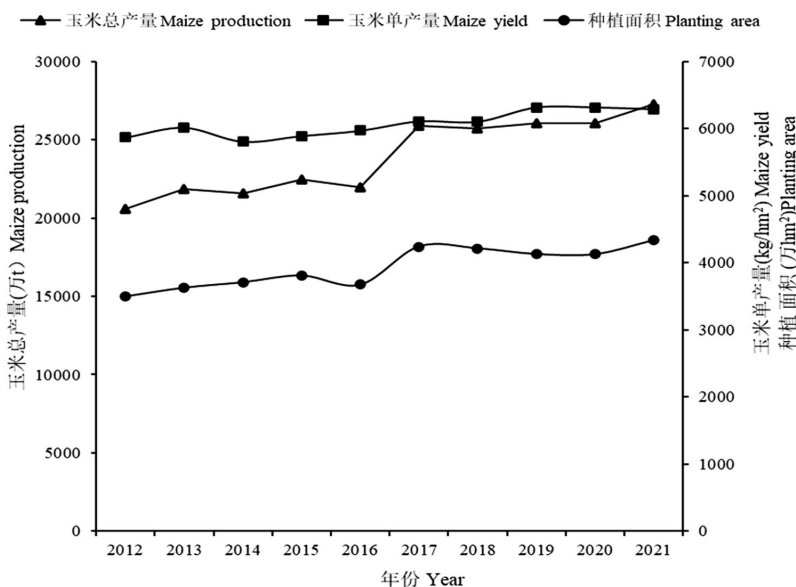
文献计量分析^[12–15]采用数理统计方法,对文献的研究机构、发表期刊、出版年份和关键词等信息进行描述和评价,以获取某一学术领域的研究现状并预测其发展趋势。为了解中国玉米优势产区产量变化及施肥现状,本研究基于中国知网中的计量可视化分析视角,对国内玉米施肥研究的文献增长规律、文献的学科领域分布情况等进行统计。基于《中国农村统计年鉴》中玉米优势产区的产量和种植面积、《2023 年小麦水稻玉米马铃薯春夏季科学施肥指导意见》和《2023 年大豆油菜花生春季科学施肥指导意见》^[16]中各产量水平及对应的肥料用量,运用 Microsoft Excel 2019、VOSviewer 1.6.10、EndnoteX9、Origin 9.0 对数据进行整理、分析和图形绘制。

2 结果与分析

2.1 中国玉米优势产区种植现状

2.1.1 玉米播种面积及产量变化

从 2012–2021 年中国玉米播种面积和产量变化来看(图 1),2012 年我国玉米种植面积、总产、单产分别为 3 502 万 hm²、20 561 万 t、5 869 kg/hm²;2021 年



注:数据均来自《中国农村统计年鉴》。

Note: Data are from the China Rural Statistical Yearbook in previous years.

图1 2012–2021 年中国玉米种植面积、总产和单产变化

Fig.1 Changes in maize planting area, total yield and yield per unit area in China from 2012 to 2021

玉米种植面积、总产、单产分别为4 332万hm²、27 255万t、6 290 kg/hm²。与2012年相比,2021年在种植面积、总产、单产上分别增加829万hm²、6 693万t、421 kg/hm²,增幅分别为23.7%、32.6%、7.2%。

就玉米总产而言,2016–2017年显著增加,2017年达25 907万t,比2016年总产增加3 951万t,增幅为18.0%。2017年玉米种植面积比2016增加563万hm²,2017–2021年种植面积处于稳定上升趋势,尤其以2021年玉米总产达最高,为27 255万t。

2.1.2 玉米优势产区生产格局变化

由《中国农村统计年鉴》可知(表1),2018–2021年我国玉米优势产区种植情况,年平均总产量达到26 279万t,其中,东北平原(黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古)平均总产量占全国总量的44.0%;黄淮海平原地区(北京、天津、河北、山西、山东和河南)占30.3%;西南山地地区(四川、云南、贵州、西藏和重庆)占9.6%;南方丘陵地区(广东、福建、浙江、江西、江苏、安徽、广西、湖北、湖南和上海)占7.1%;西北灌溉地区(甘肃、宁夏、新疆、陕西和青海)占8.8%。这5大地区的玉米平均总产量总计占全国的99.8%,因此,这5大地区即为玉米种植优势产区。

表1 2018–2021年玉米主产区种植情况
Table 1 Planting status in major maize producing region from 2018 to 2021

玉米种植区 Planting region	省 份 Province	玉米产量 Maize production		种植面积 Planting area		玉米单产 Maize yield	
		产量(万 t) Production	变异系数(%) CV	面积(万 hm ²) Area	变异系数(%) CV	单产(kg/hm ²) Yield	变异系数(%) CV
东北平原	黑龙江	3 929.45±209.11	5	604.93±46.60	8	6 505.73±203.76	3
	吉林	3 004.25±165.42	6	428.49±8.30	2	7 009.15±299.52	4
	辽宁	1 837.38±145.86	8	270.29±2.12	1	6 797.93±535.93	8
	内蒙古	2 789.80±137.38	5	388.90±21.37	5	7 179.50±43.03	1
黄淮海	北京	25.78±2.80	11	3.81±0.42	11	6 781.58±8.20	0
	天津	113.45±4.03	4	18.30±0.38	2	6 198.93±217.70	4
	河北	2 011.60±58.44	3	342.93±2.07	1	5 865.93±165.85	3
	山西	969.63±20.22	2	174.44±2.36	1	5 558.45±73.64	1
	山东	2 582.15±31.31	1	388.73±3.77	1	6 642.53±46.31	1
	河南	2 248.3±139.21	6	384.79±5.21	1	5 842.95±357.53	6
	四川	1 069.53±10.27	1	184.72±0.71	0	5 790.08±53.38	1
西南山地	云南	953.15±31.43	3	181.24±4.56	3	5 208.55±51.66	1
	贵州	242.05±18.86	8	54.62±4.24	8	4 433.63±157.34	4
	西藏	2.95±0.34	12	0.48±0.03	7	6 095.80±450.55	7
	重庆	251.63±2.14	1	44.13±0.23	1	5 701.63±23.85	0
南方丘陵	广东	57.28±2.82	5	12.33±0.46	4	4 543.83±225.21	5
	福建	14.03±1.24	9	3.16±0.24	8	4 436.83±66.33	1
	浙江	26.10±4.80	18	5.43±2.07	38	4 386.48±312.62	7
	江西	19.50±2.66	14	4.50±0.69	15	4 338.18±95.26	2
	江苏	304.88±5.69	2	50.76±0.66	1	6 006.70±146.96	2
	安徽	644.78±35.74	6	120.57±5.05	4	5 345.78±78.16	1
	广西	273.28±9.80	4	59.41±1.57	3	4 598.85±76.09	2
	湖北	316.40±8.33	3	75.59±2.24	3	4 186.75±53.20	1
	湖南	220.10±12.97	6	38.20±1.62	4	5 760.23±108.65	2
	上海	1.00±0.26	26	0.14±0.04	26	6 832.05±102.06	1
西北灌溉	甘肃	610.98±24.39	4	101.33±2.76	3	6 028.95±149.01	2
	宁夏	244.40±14.97	6	32.52±2.97	9	7 530.90±252.33	3
	新疆	838.53±184.94	22	104.80±4.72	5	8 642.78±471.74	5
	陕西	603.93±15.18	3	117.96±0.22	0	5 119.50±131.10	3
	青海	13.95±1.69	12	2.09±0.17	8	6 675.60±293.44	4

注:数据均来自《中国农村统计年鉴》。
Note: Data are from the China Rural Statistical Yearbook in previous years.

由表1可以看出,2018–2021年东北平原、黄淮海平原、西南山地、南方丘陵、西北灌溉地区的玉米年平均种植面积分别为432万、218万、93万、33万、71万 hm^2 ,年平均总产量分别为2 890万、1 325万、503万、170万、462万t;年平均单产量分别为6 873、6 148、5 445、4 585、6 799 kg/hm^2 。就总产量而言,东北平原最高,其中,黑龙江省种植面积、产量均最高,分别为604万 hm^2 、3 929万t;就单产而言,西北灌溉区的新疆最高,为8 642 kg/hm^2 ;就种植面积而言,东北平原最高,为432万 hm^2 ,南方丘陵最少,为33万 hm^2 ,西南山地和西北灌溉地区玉米种植面积相差不大;就变异系数来看,2018–2021年,东北平原、黄淮海平原、西南山地、西北灌溉地区主产区种植规模和产

量均表现稳定。南方丘陵地区玉米主产区中浙江省种植面积变幅较大,上海市的总产量、种植面积变幅较大;主产区玉米单产变化较稳定。

2.2 玉米产量与施肥研究进展

2.2.1 施肥研究文献发表情况

从2012–2022年中国玉米产量与施肥研究文献数量可知(图2),2012年全国玉米产量与施肥研究文献数量最低,为667篇;2016年玉米产量研究文献达到最高,为1 156篇。2012–2015年,全国玉米产量与施肥研究发表文献年均保持在837篇以上;2016–2022年,年均保持在1 063篇左右,2022年研究文献相对有所下降。5个玉米主产区,黄淮海地区发文数量最多,年均保持在160篇以上。

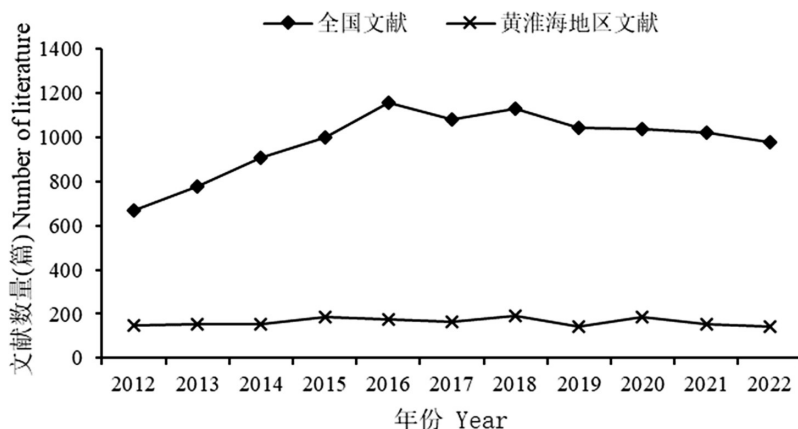


图2 2012–2022年中国玉米产量与施肥研究文献数量

Fig.2 Number of research literature on maize yield and fertilization in China from 2012 to 2022

2.2.2 施肥研究机构分布情况

由表2可知,2012–2022年,东北平原玉米产区的主要研究机构中,吉林农业大学、东北农业大学和沈阳农业大学的相关发文量较多,占主要优势。东北平原科研机构累计发表相关文献1 635篇,占全国发文量的30.4%。

黄淮海地区的中国农业大学和山东农业大学的发文量在全国玉米所发文献中占显著优势,黄淮海科研机构累计发表相关文献1 801篇,占全国发文量的33.5%。南方丘陵地区各研究机构总发文量为303篇,占全国发文量的5.6%。西南山地地区发文机构主要为四川农业大学、贵州大学、西南大学,其中,四川农业大学发文量占西南山地地区发文机构的63.2%,总发文量为307篇,占全国发文量的5.7%。西北灌溉玉米区的主要研究机构中,西北农林科技大学的相关发文量较多,在西北灌溉地区的研究机构中占45.9%,也是2012–2022年全国发文量最多的地区。

2.2.3 文献发表期刊和研究层次

由图3可知,发表玉米产量与施肥文献数量居前10位的期刊依次为农民致富之友、西北农林科技大学、现代农业科技、玉米科学、农业科技通讯、农业与技术、东北农业大学学报、植物营养与肥料学报、山东农业大学学报、种子科技,文献占比分别为6.7%、6.6%、5.2%、4.9%、3.8%、3.5%、3.1%、3.0%、2.9%、2.9%,其中农民致富之友的期刊发文量在全国占比位居首位。

从期刊类型发文占比来看(图4),以应用型期刊为主,主要包括基础与应用基础研究、技术研究、技术开发、开发/行业研究、应用/工程/行业研究等领域。可见玉米产量与施肥的研究中,主要用以指导生产实践。

从项目资金分布情况来看,以国家自然科学基金、国家重点研发计划和国家科技支撑计划为主,三者资助研究文献数量合计占到总量的40.5%,其中国家自然科学基金资助研究文献数量占比位居首

表2 2012–2022年玉米优势产区研究机构

Table 2 Research institutions in dominant maize producing areas from 2012 to 2022

玉米种植区	研究机构	篇数(篇)	比例(%)
Maize planting region	Research institution	No.	Ratio
东北玉米区	吉林农业大学	291	5.41
	东北农业大学	286	5.31
	沈阳农业大学	280	5.20
	内蒙古农业大学	258	4.80
	吉林省农业科学院环境与资源研究所	156	2.90
	黑龙江省农业科学院	107	1.99
	黑龙江八一农垦大学	107	1.99
	吉林省农业科学院	77	1.43
	内蒙古民族大学	73	1.36
黄淮海玉米区	山东农业大学	297	5.52
	中国农业大学	308	5.72
	河南农业大学	232	4.31
	河北农业大学	194	3.61
	中国农业科学院	138	2.56
	中国农业科学院与农业区划研究所	132	2.45
	山西农业大学	159	2.95
	中国农业科学院作物科学研究所	71	1.32
	中国科学院大学	70	1.30
	青岛农业大学	57	1.06
	河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所	49	0.91
	天津农学院	48	0.89
	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	46	0.85
	湖南农业大学	57	1.06
	华中农业大学	47	0.87
南方丘陵玉米区	南京农业大学	83	1.54
	扬州大学	63	1.17
	安徽农业大学	53	0.98
西南山地玉米区	四川农业大学	194	3.61
	贵州大学	62	1.15
	西南大学	51	0.95
西北灌溉玉米区	西北农林科技大学	613	11.39
	甘肃农业大学	166	3.08
	宁夏大学	126	2.34
	石河子大学	110	2.04
	甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所	72	1.34
	甘肃省农业科学院	54	1.00
	兰州大学	53	0.98
	甘肃省农业科学院旱地农业研究所	48	0.89
	河西学院	48	0.89
	新疆农业大学	45	0.84

注:数据均来自中国知网。下表、下图同。

Note: Data are from China Knowledge Network. The same below.

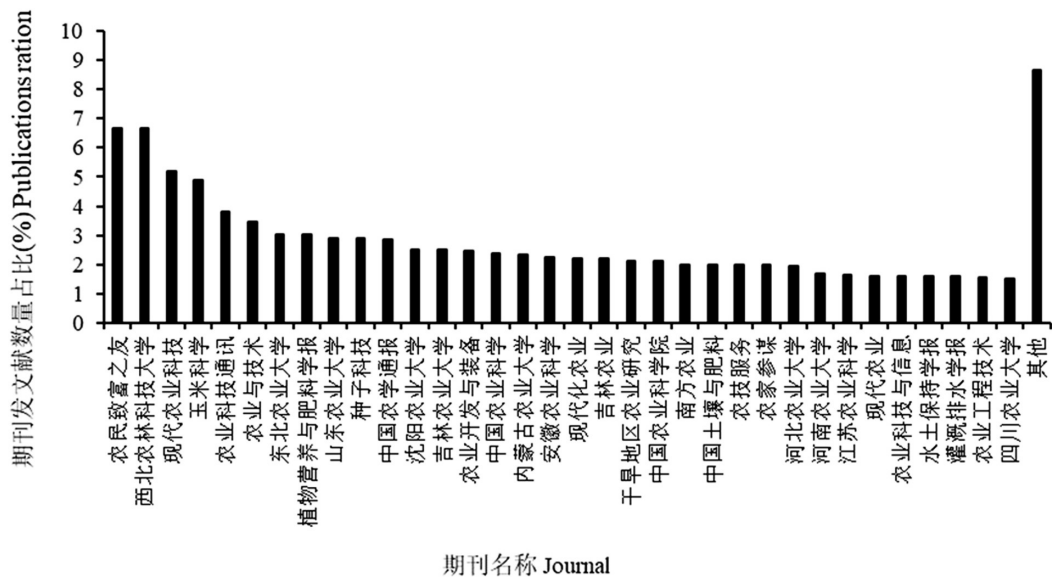
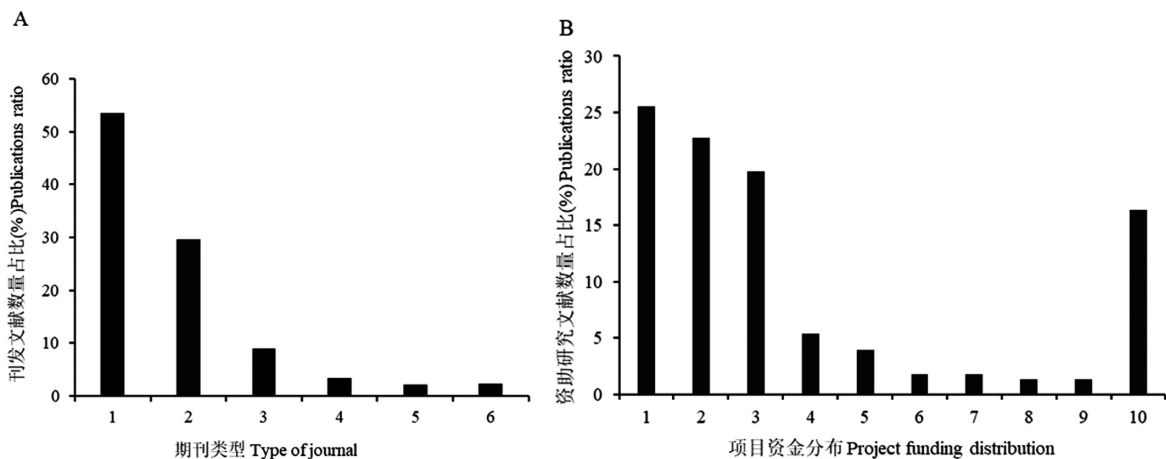


图3 期刊发表玉米产量与施肥研究文献占比

Fig.3 Proportion of research literature on maize yield and fertilization published in journals



注:期刊类型(A)中1为应用基础研究;2为技术研究;3为技术开发;4为开发/行业研究;5为应用/工程/行业研究;6为其他。项目资金分布(B)中1为国家自然科学基金;2为国家重点研发计划;3为国家科技支撑计划;4为现代农业产业技术体系建设专项资金;5为“973”计划;6为“863”计划;7为吉林省科技发展计划项目;8为山西省科技攻关计划;9为内蒙古自治区自然科学基金;10为其他。

Note: Data are from China Knowledge Network. In journal type (A), 1, Applied fundamental research; 2, Technology research; 3, Technology development; 4, Development research–industry research; 5, Applied/Engineering/Industry research; 6, Others. In project funding distribution(B), 1, National Natural Science Foundation of China; 2, National Key Research and Development Program; 3, National Science and Technology Support Program; 4, Special Funds for the Construction of Modern Agricultural Industry Technology System; 5, “973” Program; 6, “863” Program; 7, Jilin Provincial Science and Technology Development Project; 8, Shanxi Provincial Science and Technology Tackling Program; 9, Inner Mongolia Autonomous Region Natural Science Foundation; 10, Others.

图4 发表玉米产量与施肥研究文献的期刊类型和项目资金分布

Fig.4 Types of journals and distribution of project funding for the publication of research literature on maize yield and fertilization on maize yield and fertilization

位,为27.3%;其他项目资金还有现代农业产业技术体系建设专项资金、“937”计划、“863”计划、吉林省科技发展计划项目、山西省科技攻关计划、内蒙古自治区自然科学基金等项目支持。表明提高玉米产量与玉米科学施肥技术及养分综合管理受到国家及各

级地方政府的极大重视,科研投入占比较高。

2.2.4 关键词共现网络情况

由中国知网(CNKI)2012–2022年“玉米产量”和“施肥”文献所得出的期刊论文关键词共现(图5)可知,2012–2016年期刊论文的共现网络关键词为玉

米、氮肥、玉米产量、有机肥、玉米生产等,表明2012–2016年玉米施肥的研究核心以提高玉米产量、提高氮肥利用率、改良栽培技术和改良玉米生产等研究为主;2017–2022年,期刊论文的共现网络关

键词为玉米、产量、玉米产量、栽培技术、施肥、专用肥等,玉米施肥研究涉及专用缓释肥料、氮肥、施氮量、化肥减量等关键词,这表明优化施肥模式、改良栽培方式和优化栽培技术是主要研究核心。

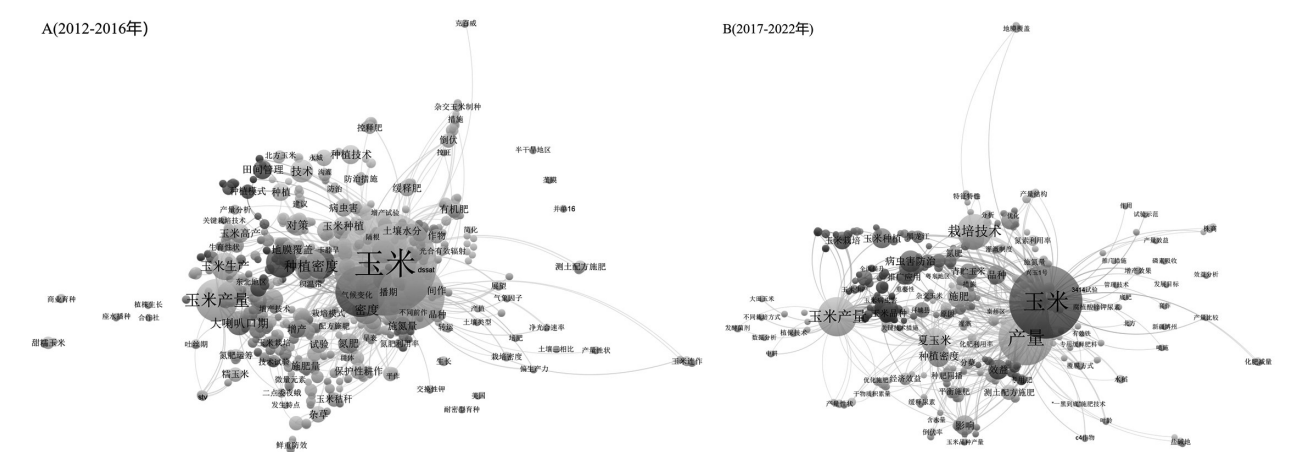


图5 2012–2022年期刊论文关键词共现情况

Fig.5 Keywords co-occurrence of journal papers from 2012 to 2022

2.3 玉米推荐施肥与现状

2.3.1 玉米优势产区的国家推荐施肥量

2023年3月20日,农业农村部种植业管理司、全国农业技术推广服务中心和农业农村部科学施肥专家指导组联合发布了2023年大豆、油菜、花生春

季科学施肥指导意见^[6]和2023年小麦、水稻、玉米、马铃薯春夏季科学施肥指导意见。玉米施肥用量划分东北玉米区、黄淮海玉米区、南方丘陵玉米区、西南山地玉米区以及西北灌溉玉米(表3)。主要农作物科学施肥指导意见要求玉米推荐肥料用量根据地

表3 2023年玉米种植区国家推荐施肥用量

Table 3 Recommended fertilization dosage in maize planting areas in 2023						kg/hm ²
玉米种植区 Maize planting region	玉米产量水平 Maize production	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnMnSO ₄	
东北玉米区	<8 250	90 ~ 108	120 ~ 144	81 ~ 97	—	
	8 250 ~ 10 500	108 ~ 140	144 ~ 186	97 ~ 126	—	
	10 500 ~ 12 000	140 ~ 158	186 ~ 210	126 ~ 142	—	
	>12 000	158 ~ 180	210 ~ 240	142 ~ 162	—	
黄淮海玉米区	<6 000	293 ~ 390	63 ~ 84	95 ~ 126	15 ~ 30	
	6 000 ~ 9 000	390 ~ 439	84 ~ 95	126 ~ 142	15 ~ 30	
	9 000 ~ 12 000	439 ~ 487	95 ~ 105	142 ~ 158	15 ~ 30	
	>12 000	487 ~ 585	105 ~ 126	158 ~ 189	15 ~ 30	
南方丘陵玉米区	7 500 ~ 9 000	201 ~ 251	48 ~ 60	54 ~ 68	—	
	9 000 ~ 10 500	251 ~ 302	60 ~ 72	68 ~ 81	—	
	>10 500	302 ~ 352	72 ~ 84	81 ~ 95	—	
西南山地玉米区	7 500 ~ 9 000	201 ~ 251	60 ~ 75	40 ~ 50	—	
	9 000 ~ 10 500	251 ~ 301	75 ~ 90	50 ~ 60	—	
	>10 500	301 ~ 351	90 ~ 105	60 ~ 70	—	
西北灌溉玉米区	7 500 ~ 9 000	302 ~ 352	81 ~ 95	72 ~ 84	—	
	9 000 ~ 10 500	352 ~ 402	95 ~ 108	84 ~ 96	—	
	>10 500	402 ~ 452	108 ~ 122	96 ~ 108	—	

注:数据均来自2023年农业农村部推荐玉米施肥用量。
Note: All data are from the 2023 Ministry of Agriculture and Rural Development recommended fertiliser application rates for maize.

区和产量水平而定。

(1)在南方丘陵、西南山地、西北灌溉玉米区产量水平一致,在高产($>10\,500\text{ kg/hm}^2$)条件下,西北灌溉玉米区氮肥用量比南方丘陵、西南山地玉米区平均高28.4%~33.4%。

(2)相近玉米产量水平下,华北平原及黄淮海地区的氮肥推荐用量相差较大,黄淮海地区的氮肥推荐用量比华北平原高247.9%~306.5%,华北平原的磷肥推荐用量比黄淮海地区高51.6%~77.1%。

就2021年小麦种植区国家推荐施肥用量整体来看,黄淮海玉米产区氮肥推荐用量普遍高于其他4个

玉米产区,钾肥推荐用量也最高,达 189 kg/hm^2 ;东北玉米产区的磷肥用量最高,达 240 kg/hm^2 。除黄淮海地区施用硫酸锌肥料,其余4个玉米产区不用补施锌肥。

2.3.2 文献研究中玉米产量与实际肥料用量

以2023年玉米施肥指导意见中的玉米种植区为依托,对玉米优势产区(东北平原、黄淮海地区、南方丘陵、西南山地、西北灌溉区)2012–2022年在中国知网(CNKI)发表的玉米产量与施肥用量数据进行整合分析,得到5大玉米优势产区实际平均产量及施肥现状(图6)。

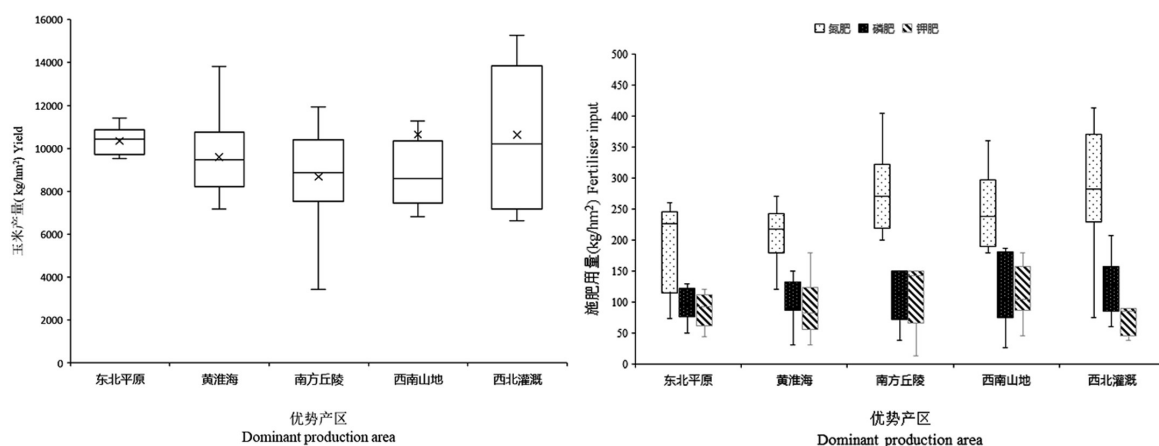


图6 2012–2022年文献研究中玉米产量与实际肥料用量

Fig.6 Maize yield and actual fertilizer input in literature studies from 2012 to 2022

(1)东北地区玉米平均产量为 $10\,353\text{ kg/hm}^2$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为195.7、95.5和 87.1 kg/hm^2 。

(2)黄淮海地区玉米平均产量为 $9\,597\text{ kg/hm}^2$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为209.4、101.1和 92.5 kg/hm^2 。

(3)南方丘陵地区玉米平均产量为 $8\,685\text{ kg/hm}^2$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为277、152.3和 141 kg/hm^2 。

(4)西南山地玉米平均产量为 $10\,652\text{ kg/hm}^2$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为246.6、144.8和 114 kg/hm^2 。

(5)西北灌溉区玉米平均产量为 $10\,630\text{ kg/hm}^2$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为285.9、126.4和 83.8 kg/hm^2 。

其中,东北平原地区,在N、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为210.0、90、 90.0 kg/hm^2 时玉米可达 $10\,479.0\text{ kg/hm}^2$ 的产量^[17]。黄淮海地区河南省开展缓释氮、磷、钾合理施肥对夏玉米生理特性及产量的影响研究发现,在N、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为180.0、30.0、 30.0 kg/hm^2

时,玉米产量可达 $9\,500.0\text{ kg/hm}^2$ ^[18]。江苏省开展氮肥减施对玉米产量的影响研究发现,在N、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为405.0、135.0、 135.0 kg/hm^2 时,玉米产量可达 $11\,000.0\text{ kg/hm}^2$ ^[19]。

上述数据表明,各地区玉米的肥料施用量有较大差异,在同等产量水平下,玉米主产区的实际氮、磷、钾肥用量与国家推荐施肥用量仍存在一定差异。从文献研究中5大优势产区平均施肥量与产量来看,东北平原的氮肥用量比国家推荐施肥量高16.7%~32.9%;黄淮海的钾肥用量要比国家推荐施肥量低18.3%~31.7%;南方丘陵的磷肥高出国家推荐施肥量的66.6%~42.1%。同时,不排除产量水平及施肥量的差异受种植管理、农田环境、土壤类型和肥力、玉米种植品种、农民施肥习惯和施肥技术等因素影响。

3 结论与讨论

当前,玉米产量与施肥技术的研究核心仍是优化玉米施肥模式、减肥增效及改良栽培技术。2012–2022年,全国玉米施肥研究文献年均保持在

600篇以上,整体发文量呈缓慢上升后下降并趋于平稳趋势。玉米产量与施肥主要研究发文量中,黄淮海区域累计发表相关文献最多,综合优势表现更明显。2012–2022年,玉米主产区实际产量水平的肥料用量与国家推荐的产量水平施用量仍存在一定差异。其中,东北平原的氮肥用量比国家推荐施肥量高16.7%~32.9%;黄淮海的钾肥用量要比国家推荐施肥量高216.7%~250.0%;南方丘陵的磷肥高出国家推荐施肥量的66.6%~42.1%。综上所述,为了提高玉米产量和施肥效率,需要不断探索和研究适合当地的栽培方式和施肥技术,优化资源配置,采取科学的管理措施,从而实现稳产增收的目标。

由《中国农村统计年鉴》数据可知,2016年我国玉米种植规模上升趋势最大,2016–2021年全国平均种植面积达4 119万 hm^2 ,与2012年最低种植规模相比,增加617万 hm^2 ,种植规模处于上升趋势。2018–2021年,浙江省种植面积变化最大,2021年种植面积下滑到2.8万 hm^2 ,比4年平均种植面积降低93.9%。2016年我国玉米总产量实现跨越式增长,之后呈稳步增加趋势。研究表明,这与我国玉米生长期气候总体适宜及种植结构的调整有关,通过调整种植结构,能够实现作物与水土资源的优化配置,提高农业用水效率,保障粮食安全^[20]。总体而言,2012–2022年,中国玉米生产格局基本处于稳定状态,有力保障了我国粮食安全。

研究表明,西北旱作玉米区氮肥25 cm深施模式能更好地提高玉米干物质积累量及产量^[21–22]。张旻^[23]等研究显示,在东北平原黑土区玉米秸秆还田模式下,配合施用大量氮肥,玉米产量可达11 017 kg/hm^2 。陈磊^[24]等在探讨连续减施氮肥对玉米生长及根际土壤氮素供应的研究中发现,高肥力地区实行小麦–玉米轮作短期减少氮肥用量可提高氮肥利用率。

随着人民生活水平的提高,玉米的品质和质量越来越受到消费者的关注和追求,这就促进了玉米种植技术的不断提高和品质的持续优化^[25]。同时,在玉米生产过程中,应同时注意减少对环境的污染和提高肥料利用率。已有研究表明,适宜的施氮水平确实可影响玉米对氮、磷和钾的吸收量,并提高玉米产量构成因子的有效穗数和穗粒数,从而提高玉米产量。施肥并不是越多越好,过量的肥料可能导致负面影响^[26–28]。在北京市(黄淮海)开展的玉米主产区化肥用量调查发现,氮肥施用量平均施氮量在250 kg/hm^2 ,这与本研究中玉米种植区国家推荐施肥用量相比,低于施肥标准,表明北京市局部地区施肥

用量还有上升空间^[29]。在陕西省(西北灌溉)开展的减量施氮对渭北旱地玉米产量的调查发现,施底肥150~180 kg/hm^2 ,能显著提高玉米产量和子粒品质。东北平原地区以养分专家推荐施肥量开展试验发现,氮肥、磷肥、钾肥使用量为228、107、96 kg/hm^2 ,玉米产量为9 534 kg/hm^2 。刘见^[30]等在河南省开展氮肥减量对玉米产量和水分利用效率的研究显示,氮、磷、钾肥施肥量分别为225、75、75 kg/hm^2 ,玉米子粒产量提高7.8%。徐峰^[31]等在黄淮海地区开展不同品种缓控释肥对玉米产量性状、养分吸收及子粒品质的影响发现,氮肥施用量为228 kg/hm^2 时,玉米产量可达9 458 kg/hm^2 ,与国家推荐施肥用量相比,磷、钾肥用量仍较高,说明黄淮海地区的氮肥有减施空间。

玉米施肥量与产量之间的关系还受到其他因素影响,如品种、气候、土壤肥力状况、管理水平等。因此,各地区应根据实际情况,综合考虑各种因素,制定科学的施肥方案,以提高玉米产量和品质。

参考文献:

- [1] 王晓光,史桂清,刘春阁,等. 中国青贮玉米产业现状及发展趋势[J]. 农学学报,2023,13(7):20–24.
WANG X G, SHI G Q, LIU C G, et al. Present situation and development trend of silage maize industry in China[J]. Journal of Agriculture, 2023, 13(7): 20–24. (in Chinese)
- [2] 仇焕广,李新海,余嘉玲. 中国玉米产业: 发展趋势与政策建议[J]. 农业经济问题,2021(7):4–16.
QIU H Z, LI X H, YU J L. China's maize industry: development trend and policy recommendations[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021(7): 4–16. (in Chinese)
- [3] 农业农村部种植业管理司. 2023年春季主要农作物科学施肥指导意见[EB/OL]. [2023–03–20]. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/202303/t20230314_6423039.htm.
- [4] 丰智松,曹寒冰,付浩然,等. 我国东北地区春玉米科学施肥评价[J]. 中国土壤与肥料,2022(3):52–60.
FENG Z S, CAO H B, FU H R, et al. Scientific fertilization evaluation of spring maize in Northeast China[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2022(3): 52–60. (in Chinese)
- [5] 赵泽州,王晓玲,李鸿博,等. 生物质炭基肥缓释性能及对土壤改良的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(5):886–897.
ZHAO Z Z, WANG X L, LI H B, et al. Research progress on slow-release performance and soil improvement of biochar-based fertilizer[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(5): 886–897. (in Chinese)
- [6] 汤明尧,沈重阳,陈署晃,等. 新疆小麦、玉米的产量和氮磷钾肥利用效率[J]. 中国农业科学,2022,55(14):2762–2774.
TANG M Y, SHEN C Y, CHEN S H, et al. Yield and N, P, K fertilizer use efficiency of wheat and maize in Xinjiang[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(14): 2762–2774. (in Chinese)
- [7] 韩晓增,邹文秀. 东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望

- [J]. 土壤学报, 2021, 58(6): 1341–1358.
- HAN X Z, ZOU W X. Research footprint and technology development prospect of black soil protection and utilization in Northeast China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(6): 1341–1358. (in Chinese)
- [8] 虞继权. 高原玉米栽培化肥减量增效技术模式探究[J]. 南方农业, 2019, 13(9): 24–28.
- YU J Q. Study on technical model of fertilizer reduction and efficiency improvement in plateau maize cultivation[J]. *South China Agriculture*, 2019, 13(9): 24–28. (in Chinese)
- [9] 周卫, 丁文成. 新阶段化肥减量增效战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(1): 1–7.
- ZHOU W, DING W C. Study on the strategy of fertilizer reduction and efficiency increase in the new stage[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(1): 1–7. (in Chinese)
- [10] 王春晓, 宋朝玉, 朱凯丽, 等. 秸秆还田配施氮肥对玉米产量和光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2022, 31(11): 1415–1421.
- WANG C X, SONG C Y, ZHU K L, et al. Effects of straw returning combined with nitrogen fertilizer on yield and photosynthetic characteristics of maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2022, 31(11): 1415–1421. (in Chinese)
- [11] 吕梦, 黄明, 侯园泉, 等. 减氮配施有机肥对豫西旱区玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 玉米科学, 2023, 31(4): 158–164.
- LÜ M, HUANG M, HOU Y Q, et al. Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on maize yield and nitrogen use efficiency in arid area of western Henan[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2023, 31(4): 158–164. (in Chinese)
- [12] 李继福, 何俊峰, 陈佛文, 等. 中国棉花生产格局与施肥研究现状——基于CNKI数据计量分析[J]. 中国棉花, 2019, 46(4): 17–24, 28.
- LI J F, HE J F, CHEN F W, et al. Research status of cotton production pattern and fertilization in China: Econometric analysis based on CNKI Data[J]. *Chinese Cotton*, 2019, 46(4): 17–24, 28. (in Chinese)
- [13] 甘国渝, 邹家龙, 陈曦, 等. 中国油菜生产格局与施肥研究现状[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(1): 5–11.
- GAN G Y, ZOU J L, CHEN X, et al. Research status of rapeseed production pattern and fertilization in China[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(1): 5–11. (in Chinese)
- [14] 严如玉, 甘国渝, 赵希梅, 等. 我国水稻优势产区生产格局及施肥现状研究[J]. 中国稻米, 2023, 29(3): 1–8.
- YAN R Y, GAN G Y, ZHAO X M, et al. Study on production pattern and fertilization status of rice in advantageous rice producing areas in China[J]. *Chinese Rice*, 2023, 29(3): 1–8. (in Chinese)
- [15] 严如玉, 赵希梅, 向风云, 等. 中国小麦优势区域生产格局及施肥现状研究[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(2): 230–241.
- YAN R Y, ZHAO X M, XIANG F Y, et al. Research on the production pattern and fertilization status in China's dominant regions of wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(2): 230–241. (in Chinese)
- [16] 农业农村部种植业管理司. 2023年春季主要农作物科学施肥指导意见[EB/OL]. [2023-03-20]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6423039.htm.
- [17] 李前, 秦裕波, 尹彩侠, 等. 滴灌施肥模式对玉米产量、养分吸收及经济效益的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(8): 1604–1616.
- LI Q, QIN Y B, YIN C X, et al. Effects of drip irrigation on yield, nutrient uptake and economic benefits of maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(8): 1604–1616. (in Chinese)
- [18] 王丹丹, 李岚涛, 韩本高, 等. 养分专家系统推荐施肥对夏玉米生理特性及产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 107–117.
- WANG D D, LI L T, HAN B G, et al. Effects of systematic fertilization recommendation by nutrient experts on physiological characteristics and yield of summer maize[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(1): 107–117. (in Chinese)
- [19] 傅鹏霄, 王珏, 李广浩, 等. 不同栽培模式对江苏省夏玉米产量和氮素利用的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1151–1159.
- FU P X, WANG J, LI G H, et al. Effects of different cultivation modes on yield and nitrogen utilization of summer maize in Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37(5): 1151–1159. (in Chinese)
- [20] 殷琳琳, 尹心安. 中国主要粮食作物种植结构调整区域优先序研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 856–863.
- YIN L L, YIN X A. Research on regional priorities of planting structure adjustment of major grain crops in China[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2020, 56(6): 856–863. (in Chinese)
- [21] 吴元奇, 王伟, 赵丽, 等. 施氮量与密度对西南地区主栽青贮玉米品种产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(5): 99–107, 115.
- WU Y Q, WANG W, ZHAO L, et al. Effects of nitrogen application rate and density on yield and quality of main silage maize cultivars in Southwest China[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2022, 30(5): 99–107, 115. (in Chinese)
- [22] YANG K J, CHI Y X, FU J, et al. Effects of nitrogen and water stress on the rehydration, endogenous hormonal regulation and yield of maize[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2023, 209(1): 161–175.
- [23] 张畅, 高燕, 张延, 等. 秸秆还田对东北黑土碳氮磷钾化学计量特征及玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(1): 31–44.
- ZHANG Y, GAO Y, ZHANG Y, et al. Effects of residue return on stoichiometric characteristics of soil carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, and the maize yield in black soil of Northeast China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(1): 31–44. (in Chinese)
- [24] 陈磊, 宋书会, 云鹏, 等. 连续三年减施氮肥对潮土玉米生长及根际土壤氮素供应的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1482–1494.
- CHEN L, SONG S H, YUN P, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction on maize growth and rhizosphere soil nitrogen supply in fluvo-aquic soil for three consecutive years[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(9): 1482–1494. (in Chinese)

- [25] LIU W, LIU Y, LIU G, et al. Estimation of maize straw production and appropriate straw return rate in China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, 328: 107865.
- [26] 刘熙明,王滢渺,田洪涛,等. 秸秆还田方式与施氮量对秸秆腐解及玉米氮素利用的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(10): 15–26.
- LIU X M, WANG Y M, TIAN H T, et al. Effects of straw returning methods and nitrogen application rates on straw decomposition and nitrogen utilization of maize[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(10): 15–26. (in Chinese)
- [27] 李 荣,勉有明,侯贤清,等. 施氮对还田秸秆腐解及养分释放、土壤肥力与玉米产量的影响[J]. *作物学报*, 2023, 49(7): 2012–2022.
- LI R, MIAN Y M, HOU X Q, et al. Effects of nitrogen application on straw decomposition and nutrient release, soil fertility and maize yield[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49(7): 2012–2022. (in Chinese)
- [28] 姜春霞,刘化涛,张 伟,等. 减量施氮对鲜食玉米产量、氮素利用及土壤硝态氮含量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(12): 61–67.
- JIANG C X, LIU H T, ZHANG W, et al. Effects of reduced nitrogen application on fresh maize yield, nitrogen utilization and soil nitrate nitrogen content[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2022(12): 61–67. (in Chinese)
- [29] 丰智松,曹寒冰,付浩然,等. 我国东北地区春玉米科学施肥评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(3): 52–60.
- FENG Z S, CAO H B, FU H R, et al. Evaluation of scientific fertilization of spring maize in Northeast China[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2022(3): 52–60. (in Chinese)
- [30] 刘 见,宁东峰,秦安振,等. 氮肥减量后移对喷灌玉米产量和水氮利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(3): 42–49.
- LIU J, NING D F, QIN A Z, et al. Effects of postponing nitrogen fertilizer reduction on maize yield and water and nitrogen use efficiency under sprinkler irrigation[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(3): 42–49. (in Chinese)
- [31] 徐 峰,钟 文,胡 昕,等. 不同品种缓控释肥对玉米产量性状·养分吸收及籽粒品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(24): 172–174.
- XU F, ZHONG W, HU X, et al. Effect of different varieties of slow and controlled release fertilisers on maize yield traits–nutrient uptake and kernel quality[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(24): 172–174. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

(上接第92页)

- SONG Z Q, WANG L, LIU X H, et al. Diversities of firmicutes in four hot springs in Yunnan and Tibet[J]. *Biotechnology*, 2015, 25(5): 481–486, 436. (in Chinese)
- [32] 许小虎,车宗贤,赵 旭,等. 长期施用绿肥对小麦玉米间作土壤微生物的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2023, 41(1): 33–44.
- XU X H, CHE Z X, ZHAO X, et al. Effects of long-term application of green manure on soil microorganisms in wheat maize intercropping[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(1): 33–44. (in Chinese)
- [33] 雷吉琳,李乃荟,陈 硕,等. 芽孢杆菌活化土壤残留磷的机制及影响因素[J]. *磷肥与复肥*, 2022, 37(2): 16–22.
- LEI J L, LI N H, CHEN S, Strategies and influence factors in activating soil legacy phosphorus by *Bacillus* spp.[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2022, 37(2): 16–22. (in Chinese)
- [34] SHI Y, DELGADO-BAQUERIZO M, LI Y, et al. Abundance of kinless hubs within soil microbial networks are associated with high functional potential in agricultural ecosystems[J]. *Environment International*, 2020(142): 105869.
- [35] 宁 琪,陈 林,李 芳,等. 被孢霉对土壤养分有效性和秸秆降解的影响[J]. *土壤学报*, 2022, 59(1): 206–217.
- NING Q, CHEN L, LI F, et al. Effects of *Mortierella* on nutrient availability and straw decomposition in soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, 59(1): 206–217. (in Chinese)
- [36] OFITI N O. E, ZOSSO C U, et al. Warming promotes loss of subsoil carbon through accelerated degradation of plant-derived organic matter[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2021, 156: 108185.
- [37] BODDY L, HISCOX J. Fungal ecology: principles and mechanisms of colonization and competition by saprotrophic fungi[J]. *Microbiology Spectrum*, 2016, 4(6): 1–13.
- [38] 陈建英,罗超越,邱慧珍,等. 不同施氮量对半干旱区还田玉米秸秆腐解及养分释放特征的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2020, 38(1): 101–106.
- CHEN J Y, LUO C Y, QIU H Z, et al. Effects of application of different nitrogen levels on decomposition characteristics and nutrient release of returning straw[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(1): 101–106. (in Chinese)
- [39] CHEN C, CHEN H Y H, CHEN X, et al. Meta-analysis shows positive effects of plant diversity on microbial biomass and respiration[J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 1332.
- [40] 南丽丽,谭杰辉,郭全恩. 黄土高原半干旱区轮作休耕模式对土壤真菌的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(23): 8582–8592.
- NAN L L, TAN J H, GUO Q E. Effects of fallow rotation modes on soil fungal communities in semi-arid area of the Loess Plateau, Northwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(23): 8582–8592. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)