

“玉米养分专家系统”在我国的发展 历程及应用效果评价*

魏建林, 崔荣宗*

(山东省农业科学院农业资源与环境研究所 / 农业农村部黄淮海平原农业环境重点实验室 /
山东省环保肥料工程技术研究中心, 济南 250100)

摘要:【目的】简便、快捷并易于被农民操作使用的推荐施肥专家系统的研发与应用将有助于玉米生产。【方法】“玉米养分专家系统”基于大量田间试验数据,利用 QUEFTS 模型模拟不同生态条件下不同目标产量的玉米养分吸收,根据产量反应和农学效率之间的关系,并结合土壤养分平衡计算出该生态条件下的最佳施肥量,同时对田间管理措施给予优化建议。文章从该软件的特点、原理、发展历程、田间应用效果等方面进行了详细阐述。【结果/结论】该软件由国际植物营养研究所(IPNI)研发,自2009年引入中国以来先后升级改版多次,从最初的计算机单机版,依次推出了网页在线版、智能手机微信版等。经过多年、多地的田间试验验证,使用该软件指导玉米生产,相比农民习惯施肥及官方推荐施肥均有改善,可以实现精准施肥、降低肥料投入、提高玉米种植生产收益。随着人工智能与互联网技术的不断融合,“玉米养分专家系统”操作更加简便、精确,具有良好的应用和发展前景。

关键词: 养分专家系统; QUEFTS 模型; 精准施肥; 智能化

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190312

0 引言

玉米是我国重要的粮食作物、饲料作物、经济作物,在农业生产上具有举足轻重的作用。其本身具有高产稳产、抗逆性强、适应性广等特点,对保障我国粮食安全意义重大,因而玉米生产发展迅速,统计资料表明,新中国成立后50多年我国玉米单产提高了4270.5 kg/hm²,增幅为380.1%,年均增加101.85 kg/hm²^[1],玉米单产的提高不仅得益于品种的改良、栽培措施的改进,而且肥料的施用也发挥了不可替代的作用^[2-3]。但当前在实际生产中玉米种植者为追求高产,施用大量化学肥料,研究表明在华北平原许多地区,农

收稿日期: 2019-05-18

第一作者简介: 魏建林(1979—), 硕士、副研究员。研究方向: 土壤肥料与植物营养。Email: wei_jianlin@163.com

※ 通信作者简介: 崔荣宗(1964—), 学士、研究员。研究方向: 土壤肥料与植物营养。Email: 792823846@qq.com

* 基金项目: 国家科技支撑计划专题“华北平原小麦—玉米轮作区域精准施肥技术集成与示范”(2015BDA23B0206); 国家重点研发计划(2018YFD0200600); 国家重点研发计划(2016YFD0200100); IPNI 国际合作项目“山东省基于产量反应和农学效率的小麦玉米推荐施肥”



2019年6月

民在夏玉米上的氮肥用量普遍超过 300 kg/hm^2 ，远远超过达到最高产量时的优化施肥量^[4-5]，降低了肥料利用率^[6-7]，玉米生长无法吸收过量投入的肥料，剩余的养分释放到环境中，带来了严重的生态风险^[8-9]，因过量施肥导致的土壤硝态氮残留现象极为普遍，华北地区小麦—玉米轮作体系多年多点 ($n>500$) 农田土壤硝态氮累积量在 $0\sim 90 \text{ cm}$ 土层中最高达到 $600\sim 900 \text{ kg/hm}^2$ ，平均约 200 kg/hm^2 ^[10]，土壤酸化、盐渍化和土壤板结现象日趋严重，并导致土壤肥力降低。此外，过量施入的氮经过氨挥发、反硝化等过程，大量温室气体排放到大气中，导致空气污染。当前，一些推荐施肥技术已用来提高玉米产量和肥料利用率，例如，基于土壤养分的推荐施肥方法，肥料效应函数法、叶绿素仪或叶色卡法、硝酸盐反射仪法^[11-15]等，但这些方法大多操作复杂、成本高，需要专业人士指导等才能实施，因此，研究开发简便、快捷并易于被农民操作使用的推荐施肥方法成为当前玉米生产上亟待解决的问题。国际植物营养研究所 (IPNI) 最早在印度、菲律宾等亚洲一些主要以小农户为主要经营单元的国家和地区开展了基于作物产量反应和农学效率的水稻、小麦和玉米养分管理和推荐施肥研究，开发了以电脑软件形式面向科研人员 and 农业科技推广人员的不同作物“养分专家系统” (Nutrient Expert, NE)。2009年国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部将“玉米养分专家系统”引入国内^[16]，利用我国多年多点的田间试验数据进行了参数矫正，并进行了大量的田间试验验证，取得了很好的效果，而“玉米养分专家系统”也随之进行多次优化和版本升级，应用越来越广泛。

1 系统演变历程

“玉米养分专家系统”使用十分简便，在有或没有土壤测试数据情况下都能迅速、准确地对具体玉米生产地块进行施肥推荐。使用者 (农民或当地农技推广人员) 通过运行该软件 (计算机程序或智能手机程序)，在人机问答界面上输入当地的玉米栽培管理、环境条件等相关信息，系统根据这些信息与后台已有的数据库进行运算，然后生成基于农户不同个性信息的当季玉米栽培管理方案，包括种植密度、可获得的目标产量和施肥种类、数量、施用方式等，能方便、有效地指导田间生产。

2009年“玉米养分专家系统”由 IPNI 中国项目部引入中国，其运行基于 Windows 系统和微软办公软件环境，运行界面为英文。主要为中国科研工作者进行研究使用，其数据库依托东南亚国家玉米试验数据，需要结合国内玉米生产实际进行相关参数矫正，该版本当时属“养分专家系统”的内部测试版。

2011年 IPNI 中国项目部和 973 项目“肥料减施增效与农田可持续利用基础研究”课题组发布了“玉米养分专家系统”英文版 V1.0，其运行基于 Windows 系统和微软办公软件环境，运行界面仍为英文。但系统所依托的数据为国内近 10 年来的玉米田间科学试验数据，运算模型相关参数得到了矫正，适用于国内玉米生产指导。

2013年 IPNI 中国项目部和 973 项目“肥料养分持续高效利用机理与途径”课题组发布了“玉米养分专家系统”中文版 V1.0，其运行基于 Windows 系统和微软办公软件环境，

运行界面改为中文，方便国内用户使用。

2016 年国家重点研发项目“肥料养分推荐方法与限量标准”课题组和 IPNI 中国项目部发布了“玉米养分专家系统”Web 版和基于安卓系统的手机版，其运行不再依托 Windows 系统和微软办公软件环境，能够适用于移动设备，使用更加便利。

2017 年国家重点研发项目“肥料养分推荐方法与限量标准”课题组推出了“养分专家”微信公众号，包括玉米在内的多种作物都可以通过该微信公众号程序进行推荐，程序的运行不再需要微软办公软件支持，且数据库在线更新，保证用户在使用时专家系统的参数都是当前最优化的，使用也更加方便。

2 系统运行原理及应用方法

2.1 运行原理

应用“玉米养分专家系统”时需要使用者输入的栽培管理信息，包括农民当季或上季作物施肥情况、秸秆或残留物处理方式、种植密度等；环境条件信息主要有该地块的灌溉条件、土壤肥力指标（如土壤质地和颜色，肥料投入历史）或玉米对化肥氮、磷、钾施用的产量反应（施全量肥料处理与不施某种肥料处理的产量差）等，其运行原理是把土壤养分供应看作一个“黑箱”^[17]，用不施该养分地上部的养分吸收来表征土壤养分供应水平，即土壤基础养分供应。根据玉米施肥后产量上表现出的差异即产量反应和农学效率（施入单位养分所生产的籽粒产量）的比值求算当季的养分需求量，对于最终养分的推荐量，除了考虑产量反应部分的养分需求量外，还要考虑养分供给平衡。该系统不仅考虑了土壤养分供应，还考虑了其他养分来源，如有机肥、秸秆还田、轮作体系、大气沉降和降水等带入的养分。系统流程图及主要界面如下。

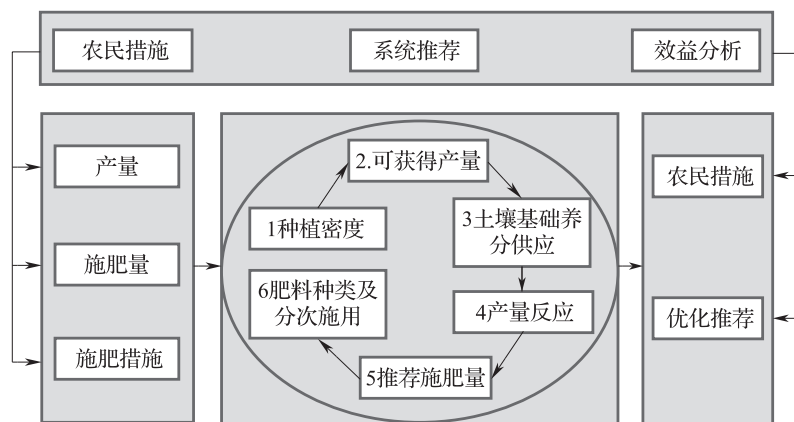


图 1 “玉米养分专家系统”流程
Fig.1 Flow chart of “Maize Nutrition Expert System”

2019年6月

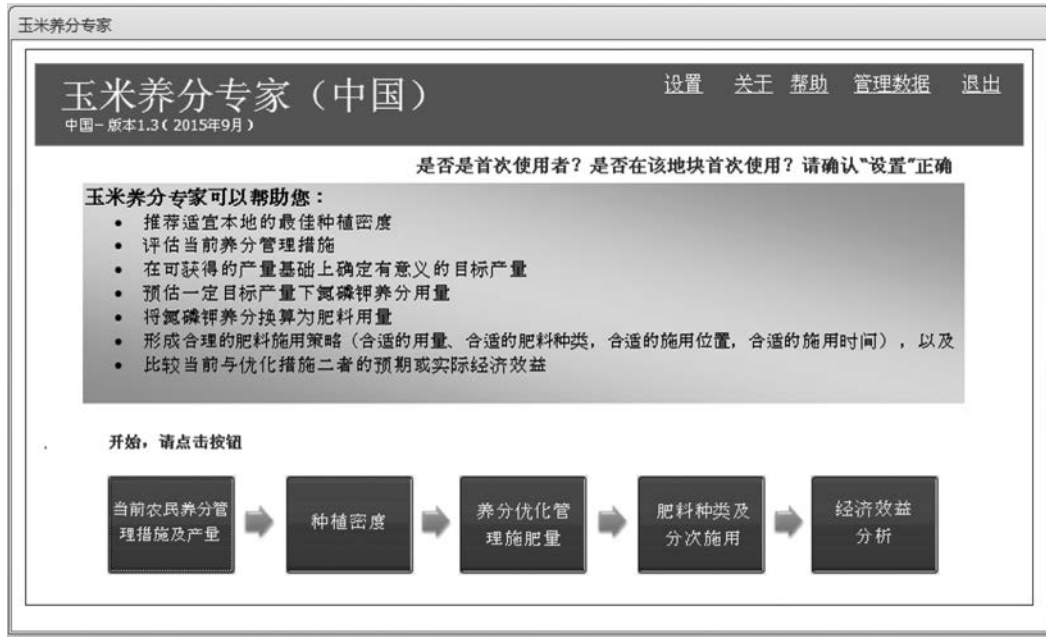


图2 “玉米养分专家系统” (电脑版) 主界面

Fig.2 The main interface of “Maize Nutrition Expert System” (Computer Edition)

“玉米养分专家系统”的推荐施肥原则主要基于QUEFTS (QUantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils) 模型的玉米养分需求和基于改进的SSNM (Site-specific Nutrient Management) 实地养分管理技术。QUEFTS模型是应用大量不同来源试验地点的数据分析作物产量与养分吸收之间关系的模型,具有一定普遍性^[18],该模型最大的特点是考虑了氮磷钾养分间的两两交互作用,结合线性—抛物线—平台函数估测不同目标产量下的最佳养分吸收。根据该模型可以依据养分最大积累边界和养分最大稀释边界,求算氮磷钾最佳养分吸收曲线^[19]。目前“玉米养分专家系统”中各参数数据来源于我国2001年至今全国范围内多点的田间试验结果(数据库持续更新中),地上部和籽粒的养分吸收量分别应用QUEFTS模型进行模拟,计算出我国不同种植类型玉米(春玉米和夏玉米)在不同潜在产量和目标产量下的养分吸收曲线^[16]。SSNM是根据土壤养分时空变异优化养分用量,使养分供给和作物需求间达到平衡的一种养分管理方法,能够根据已有的田间数据利用养分模型进行普遍的、灵巧的、适合当地的施肥推荐^[20]。该方法并不是特别针对降低或增加肥料用量,而是在作物需要养分时给予最佳的养分,实现在作物最佳的需肥时间给予最佳的养分用量以达到养分平衡。在“玉米养分专家系统”中推荐施肥和养分管理采用的是“4R”养分管理策略,最大限度地优化养分供给和作物需求间的关系^[21-22],依据作物地上部分产量反应或相对产量来表征土壤肥力进行推荐施肥,并且根据目标产量和种植类型如春玉米和夏玉米、灌溉和降雨等条件给出不同施肥推荐量。该方法考虑前季土壤养分残留、土壤基础养分供应、产量与养分吸收关系等对施肥量进行调整。因而在玉米生产上应用“玉米养分专家系统”,能够达到高产、高效、增加经济效益的效果,从而提高肥料利用率、降低因施肥带来环境风险的目标。

2.2 使用方法

目前较为广泛使用的是微信公众号版“养分专家系统”，以玉米养分推荐为例其使用方法如下。



图 3 微信公众号版“养分专家系统”使用流程

Fig.3 Operation of “Nutrition Expert System” (WeChat Subscription Edition)

系统应用过程中关键是对当前种植地块作物养分产量反应的确定。在“当季作物种植信息”功能模块中，如果这个地块做过减素试验，则根据减素试验结果填写养分的产量反应；如果没有做过减素试验，则系统继续询问是否有土壤测试结果，如果有土壤测试结果，则可对系统后台提供的土壤养分低、中、高等级范围，确定土壤养分状况和养分产量反应；如果没有土壤测试结果，则系统根据最初询问的土壤质地等信息确定土

2019年6月

壤养分状况和养分产量反应。养分产量反应确定后,在“施肥量推荐、肥料种类选择”功能模块中系统根据已经输入的相关信息计算得出当前地块的推荐施肥量,结合当季要施用肥料类型的选择,对该地块在目标产量下玉米种植给出具体施肥方案,包括施肥次数、肥料类型、数量,施肥位置等,对于播种密度也给出合理的建议。

3 系统应用效果评价

自2010年起,“玉米养分专家系统”在国内多个省份进行了推荐施肥田间试验,主要分布于黄淮海夏播玉米区及东北春播玉米区,在新疆地区也有使用效果报道^[23]。从田间应用结果看,与农民习惯施肥(FP)相比,系统推荐施肥(NE)具有一定增产和提高经济效益趋势,表1统计了2010—2014年在华北夏玉米和东北春玉米上单季试验结果情况^[24]。

表1 2010—2014年“玉米养分专家系统”田间验证试验结果
Table 1 The results of field trials of “Maize Nutrition Expert System” from 2010 to 2014

种植类型	地点	农户数	处理	平均施肥量 (kg/hm ²)			产量 (t/hm ²)	经济效益 (元/hm ²)
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
夏玉米	山东	63	NE	149	34	40	7.8	17 341
			FP	244	54	46	7.8	16 666
	河南	63	NE	156	55	71	9.8	18 129
			FP	211	71	52	9.6	17 620
	河北	112	NE	153	54	61	8.2	14 837
			FP	262	25	21	8.1	14 700
山西	39	NE	159	52	57	9.8	20 162	
		FP	246	38	20	9.7	19 958	
春玉米	黑龙江	43	NE	161	58	79	11.1	17 465
			FP	178	63	51	10.6	16 480
	吉林	61	NE	149	55	67	12.1	22 233
			FP	211	107	90	11.8	20 826
	辽宁	41	NE	179	63	78	12.2	24 465
			FP	229	76	46	11.5	22 754

多年多点单季田间试验结果显示,系统推荐施肥处理与农民习惯施肥处理相比减少氮肥20%~40%左右,同时优化了磷钾养分投入,玉米产量持平或小幅增产,而经济效益有明显的提高。其中在春玉米上的增产增收效果相对夏玉米更为明显。系统推荐施肥处理在不降低玉米产量的前提下,大幅度提高了农田肥料利用率^[25-27],显著降低了温室气体排放量^[28]。河南省沙质潮土区经连续2年田间小区试验表明,系统推荐施肥能够提高沙壤质潮土区夏玉米叶片叶绿素含量,促进氮磷钾的吸收利用,增加干物质积累量,具有增产增收效应^[29]。为验证“玉米养分专家系统”推荐施肥的长期效果,2012—2014

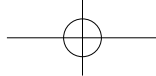


年在东北春玉米及华北地区夏玉米进行了 33 个田间定位试验, 结果显示, 春玉米 3 年的产量系统推荐施肥都显著高于农民习惯处理, 3 年平均高出 0.9 t/hm^2 , 增产幅度为 7.5%。在夏玉米上, 2013 年系统推荐施肥处理的产量显著高于农民习惯施肥, 高出 0.5 t/hm^2 , 2012 年和 2014 年系统推荐施肥和农民习惯施肥玉米产量无显著差异, 但系统推荐处理产量都高于农民习惯施肥处理, 分别高 0.2 t/hm^2 和 0.3 t/hm^2 , 3 年平均高出 0.3 t/hm^2 , 增产幅度为 3.3%^[24]。综上, 采用“玉米养分专家系统”在玉米生产上进行推荐施肥相比农民习惯施肥可以节约氮肥投入, 同时平衡了磷、钾养分, 不仅可以增加产量和经济效益, 提高肥料利用率, 而且降低肥料损失, 减少因施肥带来的环境风险, 在实践上可以用于我国玉米的施肥推荐。

4 总结

随着我国信息时代的到来以及耕地集约化程度的增加, 田间养分精准管理必将朝着智能化与信息化方向发展, 陈小虎等^[30]、李言胜等^[31]曾分别依托测土配方数据进行过智能手机版专家系统的开发, 但未见有相关应用情况的报道。“玉米养分专家系统”在我国当前农户种植地块分散、地力差异大的情况下, 能够通过电脑或智能手机根据作物、气候、地力等相关信息来进行准确推荐施肥, 并在多个地区得到了大面积应用和版本的不断优化升级, 这是精准化施肥技术的一大突破。但是在实践应用中仍然存在操作繁琐、用户体验差的问题, 其中主要体现在当地环境信息、农民种植习惯信息等采集输入操作繁琐上, 另外需要使用者自行判断土壤质地、颜色等也存在一定误判的可能。而实际上对于某一种植田块的相关生态环境信息, 比如坐标经纬度、气候条件、土壤类型、土壤肥力状况目前已经形成了较为完善的数据库, 如果能够实现不同部门间数据共享, “玉米养分专家系统”将这些数据库加入后台, 直接根据种植地块经纬度调用当地的气候信息、土壤类型、地力分级等数据库, 则能大大简化软件操作, 并且提高准确度。另外, 随着农业信息技术的广泛普及, 对于种植地块的历史种植信息也会收集、积累, 如果“养分专家系统”后台能够直接调用分析这些信息数据, 也能简化软件的人工输入操作, 提高效率。随着人工智能与互联网技术的不断融合, 深入挖掘农业大数据和不断提升机器学习能力, 能够实现专家系统自学习、自组织、自适应等功能。相信“玉米养分专家系统”操作会更加简便, 更加人性化, 而对于施肥推荐结果也会更加精确。

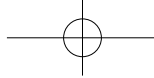
农业生产是一个复杂的系统过程, 肥料施用只是其中的一个环节, 未来农业的发展越来越需要多学科协作。将来服务于农业生产的专家系统将从单一学科、单一功能、专业性的小型专家系统向多学科、多功能、综合性的大型农业知识专家系统发展, “养分专家系统”会是大专家系统中的一个必不可少的模块。同时大专家系统将会结合多媒体、超媒体的新技术, 实现智能对接、图文并茂的人性化界面, 甚至成为人机能够直接语音对话交流的智能“机器人”, 或者直接与耕地、施肥、植保自动化机械关联, 进行精准自动化作业。期望通过“养分专家系统”的开发和应用, 推动我国新时代农业生产的信息化、精准化和现代化的长足发展。



2019年6月

参考文献

- [1] 李少昆, 王崇桃. 我国玉米产量变化及增产因素分析. 玉米科学, 2008, 16(4): 26~30.
- [2] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1136~1143.
- [3] 曾希柏, 李菊梅. 中国不同地区化肥施用及其对粮食生产的影响. 中国农业科学, 2004, 37(3): 387~392.
- [4] He P, Li S T, Jin J Y, et al. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-Central China. *Agronomy Journal*, 2009, 101(6): 1489~1496.
- [5] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and ground water nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environment Pollution*, 2006, 143(1): 117~125.
- [6] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 2008, 45(5): 915~924.
- [7] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展. 中国农业科学, 2008, 4(2): 450~59.
- [8] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(9): 3041~3046.
- [9] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍, 等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 492~497.
- [10] 朱兆良. 中国土壤氮素研究. 土壤学报, 2008, 45(5): 778~783.
- [11] 杨俐苹, 自由路, 王贺, 等. 测土配方施肥指标体系建立中“3414”试验方案应用探讨——以内蒙古海拉尔地区油菜“3414”试验为例. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 1018~1023.
- [12] Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Current nitrogen management status and measures to improve the intensive wheat-maize system in China. *Ambio*, 2010, 39(5/6): 376~384.
- [13] 串丽敏, 何萍, 赵同科. 作物推荐施肥方法研究进展. 中国农业科技导报, 2016, 18(1): 95~102.
- [14] 赵士诚, 何萍, 仇少君, 等. 相对SPAD值用于不同品种夏玉米氮肥管理的研究. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1091~1098.
- [15] Pasuquin J M, Saenong S, Tan P S, et al. Evaluating N management strategies for hybrid maize in Southeast Asia. *Field Crops Research*, 2012, 134: 153~157.
- [16] 徐新朋, 魏丹, 李玉影, 等. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1458~1467.
- [17] 何萍, 金继运, F. pampolino Mirasol, 等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 499~505.
- [18] Smaling E, Janssen B H. Calibration of QUEFTS, a model predicting nutrient uptake and yields from chemical soil fertility indices. *Geoderma*. 1993, 59(1/4): 21~44.
- [19] Dobermann A, Cassman K G. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*. 2002, 247(1): 153~175.
- [20] Dobermann A, Witt C, Dawe D, et al. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Research*, 2002, 74(1): 37~66.
- [21] Dobermann A, Cassman K G, Mosier A R, et al. Environmental dimensions of fertilizer N: what can be done to increase nitrogen use efficiency and ensure global food security. *Washington D C, USA: Island Press*, 2004: 261~278.
- [22] Dobermann A, Cassman K G, Mamaril C P, et al. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, 1998, 56(1/2): 113~138.
- [23] 崔磊, 张炎, 李青军, 等. 养分专家系统推荐施肥对新疆玉米产量及经济效益的影响. 江西农业, 2019, 151(2): 23~24.
- [24] 何萍, 徐新朋, 周卫, 等. 基于产量反应和农学效率的作物推荐施肥方法. 北京, 科学技术出版社, 2018, 1: 94~98.
- [25] 魏建林, 谭德水, 郑福丽, 等. 养分专家系统推荐施肥对小麦玉米产量、效益及养分平衡的影响. 山东农业科学, 2018, 50(2): 87~92.
- [26] 包红静, 邢月华, 刘艳, 等. 养分专家系统推荐施肥对玉米产量及肥料利用率的影响. 辽宁农业科学, 2016(2): 74~76.
- [27] 侯云鹏, 孔丽丽, 尹彩侠, 等. 养分专家系统推荐施肥对吉林省玉米产量、养分吸收和利用的影响. 吉林农业大学学报, 2013, 35(5): 563~567.
- [28] 孙彦铭, 赵姗姗, 韩宝文, 等. 基于养分专家系统的农田养分管理技术在小麦玉米农田温室气体减排中的应用效



- 果. 中国土壤与肥料, 2015(5): 13~18.
- [29] 王宜伦, 苏瑞光, 刘举, 等. 养分专家系统推荐施肥对潮土夏玉米产量及肥料效率的影响. 作物学报, 2014, 40(3): 563~569.
- [30] 陈小虎, 蒋佐升, 黄铁平, 等. 主要农作物推荐施肥智能手机专家系统的开发应用. 作物研究, 2014, 28(5): 527~532.
- [31] 李言胜, 王萌, 叶全, 等. 测土配肥专家系统及其移动客户端的设计与实现. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2018, 35(3): 231~235.

Development and application of the Maize Nutrition Expert System

Wei Jianlin, Cui Rongzong^{*}

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science / Key Laboratory of Agro-Environment of Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Shandong Provincial Engineering Research Center of Environmental Protection Fertilizers, Jinan 250100, China)

Abstract: [**Purpose**] This paper introduces the development and application of the Maize Nutrition Expert System: a computer software system for guiding the application of maize fertilizer. [**Method**] The development of the Maize Nutrient Expert System is based on a large number of field trial data. The QUEFTS model is used to simulate the optimal nutrient uptake of maize under different ecological conditions, according to the relationship between yield response and agronomic efficiency, and the soil nutrient balance. The best fertilization amount is recommended under different conditions, which would optimize the field management measures. This paper finally summarizes the characteristics, principles, development history and field application effects of the software. [**Result/Conclusion**] The software was developed by the International Plant Nutrition Institute (IPNI). Since it is introduced in China in 2009, it has been upgraded and re-edited many times. From the initial computer version, it has launched the online version of the webpage, smart phone WeChat version, etc. After years of field trials, the results show that comparing to farmers' traditional fertilization, the software can achieve more accurate fertilization recommendations, reduce fertilizer input, and increase maize planting production income. Therefore the software has good application prospects. With the continuous integration of artificial intelligence and Internet technology, the operation of “Maize Nutrient Expert System” will be more convenient and accurate, with good application and development prospects.

Key words: Nutrient Expert System; QUEFTS model; precise fertilization; intelligent