

西安地区粮田土壤养分及施肥研究的演化

王小荣^{1*}, 郭鹏飞¹, 赵斯琪², 李 婷¹

¹西安市农业综合执法支队, 陕西 西安

²西安市农业技术推广中心, 陕西 西安

收稿日期: 2025年3月22日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月28日

摘 要

西安作为我国西北地区重要的农业生产基地, 其土壤养分检测与施肥技术对农业发展有重要作用。本文通过文献分析与数据整理, 回顾了西安市土壤养分检测及施肥技术的发展历程, 系统梳理各阶段的技术特征与实施成效。其发展历程可划分为: 1976年~1978年零散测土; 1980年~1986年全国土壤普查; 1995年~2004年测土结合田间试验; 2005年~2018年全国性的测土配方施肥的土壤养分检测及配套科学精准施肥技术的四个阶段。伴随科学技术和时代的发展, 西安地区土壤养分状况发生显著改变, 施肥技术也在逐步由粗放化走向精准化。今后西安地区土壤肥料的发展应深度挖掘田间试验数据, 结合施肥有关参数, 通过培肥地力, 实现优质高产、资源高效、环境友好的土壤状况, 为西安市农业高质量发展奠定良好的地力基础。

关键词

粮田, 土壤养分, 施肥

The Evolution of Research on Soil Nutrients and Fertilization in Grain Fields in Xi'an Area

Xiaorong Wang^{1*}, Pengfei Guo¹, Siqi Zhao², Ting Li¹

¹Xi'an Agricultural Comprehensive Law Enforcement Detachment, Xi'an Shaanxi

²Xi'an Agricultural Technology Extension Center, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 22nd, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

As an important agricultural production base in the northwest region of China, Xi'an's soil nutrient

*第一作者。

文章引用: 王小荣, 郭鹏飞, 赵斯琪, 李婷. 西安地区粮田土壤养分及施肥研究的演化[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 538-546. DOI: 10.12677/hjas.2025.154066

detection and fertilization techniques play a crucial role in agricultural development. Through literature analysis and data collation, this paper reviews the development process of soil nutrient detection and fertilization techniques in Xi'an, systematically sorting out the technical characteristics and implementation effects of each stage. The development process can be divided into four stages: scattered soil testing from 1976 to 1978; the national soil general survey from 1980 to 1986; the combination of soil testing and field experiments from 1995 to 2004; and the soil nutrient detection and supporting scientific and precise fertilization techniques of the national soil testing and formula fertilization from 2005 to 2018. With the development of science and technology and the passage of time, the soil nutrient status in the Xi'an area has changed significantly, and the fertilization techniques are gradually evolving from a rough approach to a more precise one. In the future, the development of soil and fertilizers in the Xi'an area should deeply explore the field experiment data, combine relevant fertilization parameters, and achieve a soil condition with high quality, high yield, high resource efficiency, and environmental friendliness by improving soil fertility, laying a good foundation of soil fertility for the high-quality development of agriculture in Xi'an.

Keywords

Grain Fields, Soil Nutrients, Fertilization

Copyright © 2025 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

西安市的土壤养分检测及施肥技术经历了显著的阶段性演进,可分为四个关键发展阶段:二十世纪八十年代前零星土壤检测的传统经验阶段,本阶段土壤检测工作呈现零散化特征,主要以简易化学分析法测定土壤 pH 值和速效氮含量。受限于检测设备与技术条件,检测数据多用于科研机构基础研究,尚未形成系统的施肥指导体系。在施肥实践中,农户主要依赖有机肥(畜禽粪便、绿肥)与氮肥(硫酸铵)的配合施用,这种传统模式虽维持了基础地力,但存在养分供给不均衡、肥料利用率低等问题;二十世纪八十年代进入土壤普查阶段,1980 年全国第二次土壤普查的开展推动了西安地区首次系统性土壤调查。调查数据显示,该地区呈现“缺磷少氮”的典型特征。基于普查结果,农业部门提出“稳氮增磷”的施肥策略[1],磷肥(过磷酸钙)施用量较前期出现增长现象。这一阶段形成了“有机无机配合,氮磷平衡施用”的技术体系,但钾肥与微量元素的补充尚未得到足够重视;2000 年前后随着精准农业理念的引入,西安农业技术推广站于 1999 年启动土壤养分检测项目。采用原子吸收光谱法等先进检测技术,发现样本存在有效锌、硼等微量元素缺乏现象。施肥技术发展为“有机肥 + NPK + 微肥”的多元配施模式[2],2003 年全市推广配方肥面积增加。这一阶段化肥施用总量较 90 年代增长,但过量施用化肥会导致土壤酸化,如孟红旗等[3]报道,我国农田随着施肥量增加,耕层土壤 pH 呈递减趋势。2005 年农业部测土配方施肥项目的实施标志着西安进入精准施肥新阶段。通过建立土壤样本的养分数据库,结合 GIS 技术绘制了市域尺度的土壤养分空间分布图[4]。施肥技术呈现三大特征:一是智能配肥站实现“一户一策”精准供肥;二是缓控释肥应用面积增加;三是无人机变量施肥技术覆盖率增加。2015~2020 年间肥料利用率提高,粮食作物增产的同时减少了化肥投入量。历经五十余年发展,我国施肥技术逐步提高并走向精准化,西安地区土壤养分状况也发生显著改变。未来需加强土壤-作物系统养分循环研究,基于物联网的智慧施肥技术的发展,实现农业生产与生态保护的协同发展。

2. 西安市概况

西安市位于我国内陆腹地，介于北纬 33°42'~34°44'、东经 107°40'~109°49'之间，东西长 204 km，南北宽 101 km，土地总面积 10,108 km²。以东西走向的秦岭和渭河为骨架，形成南部秦岭山地、北部渭河平原的两大地貌。总的地势特征：南高、北低，高差悬殊；山地、山前洪积扇、黄土台塬和渭河冲积平原等地貌类型均呈条形带状作东西分布[5]。

西安市土壤分布状况因西安市地形原因形成南北两个差异明显的区域，北部的渭河平原以黄褐土、褐土为代表，南部的秦岭山地以黄棕壤、棕壤为代表[1]。据 1980 年~1986 年土壤普查结果表明，全市有 12 个土类，24 个土壤亚类，50 个土属，181 个土种。土壤类型的复杂多样，为区域内农作物的多品种组合种植提供了有利条件。

3. 不同时代土壤养分情况及主导施肥技术

3.1. 1976 年~1978 年

据 1976 年~1978 年陕西省农业勘察设计院组织的全省土壤普查[6]，当时西安市(普查面积 147.30 万亩)速效氮(N) 1.4 mg/kg~130.5 mg/kg，平均 33.7 mg/kg；有效磷(原以 P₂O₅ 计为便于比较折合成 P) 0.14 mg/kg~39.3 mg/kg，平均 4.8 mg/kg。全市极缺氮面积 85.94 万亩，占 58.4%、较缺氮面积 36.85 万亩，占 25.0%；极缺磷面积 69.05 万亩，占 46.9%、较缺磷面积 68.30 万亩，占 46.3%。

1976 年 3 月，在户县城关开展土壤普查试点工作，通过土壤有效磷丰缺指标制定，在该区共选择 90 个有代表性的地块分别采样测定土壤有效磷含量，结果显示，土壤有效磷(P1.1 mg/kg~13.1 mg/kg，均值 5.4 mg/kg)与小麦产量的相关系数为 0.888 达到极显著水平，小麦产量随土壤有效磷的增加而提高。1976 年，蓝田县城关粮棉队开展的作物产量与土壤速效养分的调查，结果显示，夏粮产量与土壤速效养分含量(N23.2 mg/kg~41.6 mg/kg，均值 32.0 mg/kg；P2.9 mg/kg~16.5 mg/kg，均值 11.4 mg/kg)变化关系基本一致，其中与速效氮关系更为密切($P \leq 0.03$)，有效磷在该地影响不大($P \leq 0.25$)。根据当时的土壤测试和实产调查，关中平原速效钾含量较高，一般不考虑施用钾肥，在施肥上提倡加大有机肥施用量和因土施用氮磷肥。

3.2. 1980 年~1986 年

1980 年~1986 年，西安市农业技术人员有 300 多名，历时 7 年完成了西安市土壤普查工作，分析农化样品 6339 个，剖面土样 1482 个。查清了全市土壤的 12 个土类，24 个亚类，50 个土属，181 个土种的面积、分布及主要理化性质、养分含量、缺素症状和障碍因素等，提出了合理利用的方向、途径和措施，为农业区化、规划、国土整治、指导农业生产和科学种田提供了数据依据。

1980 年~1986 年全市平均有机质 12.1 g/kg (样本数 6283，变异系数 32.2%)；土壤速效氮为 65 mg/kg (样本数 4929，变异系数 34.8%)；有效磷为 9.2 mg/kg (样本数 6289，变异系数 99.8%)；速效钾为 216 mg/kg (样本数 2782，变异系数 50.0%)。全市极缺氮面积 85.94 万亩，占 58.4%、较缺氮面积 36.85 万亩，占 25.0%；缺磷(≤ 10 mg/kg)面积 405.91 万亩，占 67.8%、较缺磷(10 mg/kg~20 mg/kg)面积 154.8 万亩，占 25.9%。基于当时农业生产条件制定的土壤改良策略主要聚焦于有机肥增量施用与氮磷配施技术，尚未形成体系化的培肥技术框架。

3.3. 1995 年~2004 年

1995 年~2004 年西安市农业技术推广中心根据当地农业生产的实际，有计划地组织了全市的土壤养分轮查工作，累计分析土样 4507 个，建立了《西安市农田养分数据库》，通过统计分析，基本摸清了全市耕地肥力现状[7]。

根据统计：1995 年~2003 年西安市耕地平均有机质 14.3 g/kg (变幅 1 g/kg~39 g/kg，变异系数 43.5%)；土壤速效氮为 57.6 mg/kg (变幅 18 mg/kg~99 mg/kg，变异系数 30.4%)；有效磷为 21.5 mg/kg (变幅 3 mg/kg~95 mg/kg，变异系数 79.3%)；速效钾为 172.9 mg/kg (变幅 40 mg/kg~434 mg/kg，变异系数 44.4%)。依据分位数更新了西安市农田养分样本分级表(见表 1)。

Table 1. Classification table of farmland nutrient samples in Xi'an city
表 1. 西安市农田养分样本分级表

指标	样品数 (%)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
极高	>95	>31	>31	>87	>62
较高	75~95	17~31	17~31	69~87	27~62
中上	50~75	14~17	14~17	58~69	16~27
中下	25~50	10~14	10~14	47~58	10~16
较低	5~25	5~10	5~10	27~47	4~10
极低	<5	<5	<5	<27	<4
范围	0~100	1~39	1~39	18~99	3~95
均值		14.3	14.3	57.6	21.5

根据小麦、玉米两料轮作的种植方式，共制定小麦、玉米肥效试验 11 个。试验结果显示：小麦对土壤养分的依赖率在 38.25%~84.08%之间，随着地力水平的提高而增加；纯氮适用量 5.1 kg/亩~12.5 kg/亩、五氧化二磷适用量 4.5 kg/亩~9.1 kg/亩、氧化钾适用量 1.7 kg/亩~8.0 kg/亩。玉米的土壤依赖率为 80%左右，纯氮适用量 6.7 kg/亩~13.0 kg/亩、五氧化二磷适用量 4.7 kg/亩~5.5 kg/亩、氧化钾适用量 5.5 kg/亩左右。结合田间试验结论，依据地力分级法制定的小麦平衡施肥分区指导方案见表 2。

Table 2. Guidance scheme for the zoning of balanced fertilization of wheat in Xi'an city (kg/mu)
表 2. 西安市小麦平衡施肥分区指导方案(kg/亩)

地力分类		高产田	中产田	低产田
产量指标	肥料用量	>400	250~400	<250
水浇地	N	10~12	8~10	7~8
	P2O5	8~10	7~8	5~6
	K2O	6~7	4~5	4
	有机肥	3500	3000	2500
地力指标	肥料用量	>300	150~300	<150
旱地	N	8~10	7~8	6~7
	P2O5	7~8	6~7	5~6
	K2O	4~5	4~5	4
	有机肥	4000	3000	2500

从以上可以看出，西安地区农田与 1980 年~1986 年第二次全国土壤普查相比土壤养分发生了较大变化[8]，有机质提高了 2.2 g/kg、土壤速效氮下降了 7.4 mg/kg、有效磷增加了 12.3 mg/kg、速效钾下降了

43.19 mg/kg, 第二次全国土壤普查时制定的土壤养分分级体系已不能有效地指导当时农业生产[9]。

3.4. 2005 年~2018 年

自 2005 年全国性的测土配方施肥项目启动, 全市共布置了 384 个“3414”试验点, 其中, 小麦 188 个, 玉米 195 个和芹菜 1 个, 以相对产量 55%, 75%, 85%和 95%为临界值标准, 获得土壤养分丰缺指标。

采用常规分析方法对全市的土壤基础养分含量进行了测定, 共测得土壤样品 33,339 个, 其中小麦地块 17,312 个, 玉米地块 13,711 个。得到碱解氮 30,629 个, 有效磷 33,202 个和速效钾值 33,301 个。参考表 3 土壤养分指标表丰缺等级划分, 全市小麦地土壤碱解氮、有效磷和速效钾中等水平比例分别为 44.1%、28.9%和 28.0%, 偏低(低和极低)水平比例分别为 33.2%、44.7%和 15.2%, 偏高(高和极高)水平比例分别为 22.7%、26.4%和 56.8%; 玉米地土壤碱解氮、有效磷和速效钾中等水平比例分别为 48.0%、34.6%和 32.3%, 偏低水平比例分别为 31.7%、32.5%和 37.2%, 偏高水平比例分别为 20.2%、32.9%和 30.5%。

Table 3. Indicator table of soil nutrient abundance and deficiency
表 3. 土壤养分丰缺指标表

丰缺等级	相对产量 (%)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷(mg/kg)		速效钾(mg/kg)	
			小麦	玉米	小麦	玉米
极高	>95	>120	>40	>35	>200	>220
高	85~95	90~120	30~40	25~35	150~200	180~220
中等	75~85	60~90	20~30	15~25	100~150	130~180
低	55~75	30~60	10~20	10~15	50~100	80~130
极低	<55	<30	<10	<10	<50	<80

冬小麦 - 夏玉米轮作体系施肥指标的构建基于目标产量 - 土壤养分平衡理论[10], 其中氮素管理采用总量控制 - 分期调控策略, 磷钾养分则依据恒量监控理论制定施肥方案。制定冬小麦推荐施肥量表 4~6:

Table 4. Recommended application rate of nitrogen fertilizer (N) for winter wheat with different target yields in Xi'an city (kg/mu)
表 4. 西安市不同目标产量的冬小麦氮肥(N)推荐用量(kg/亩)

目标产量(kg/亩)	300~400	400~500	500~600
推荐施肥量(kg/亩)	8~10	10~13	13~15

Table 5. Recommended application rate of phosphate fertilizer (P₂O₅) for winter wheat under different soil fertility levels and target yields (kg/mu)
表 5. 不同土壤肥力及目标产量下的冬小麦磷肥(P₂O₅)推荐用量(kg/亩)

肥力等级	土壤有效磷(mg/kg)	目标产量(kg/亩)		
		300~400	400~500	500~600
极高	>40	0	0	0
高	30~40	3~4	4~5	5~6
中等	20~30	5~6	6~7	7~8
低	10~20	7~9	9~10	10~12
极低	<10	10~12	12~14	14~16

Table 6. Recommended application rate of potassium fertilizer (K₂O) for winter wheat under different soil fertility levels and target yields (kg/mu)

表 6. 不同土壤肥力及目标产量下的冬小麦钾肥(K₂O)推荐用量(kg/亩)

肥力等级	土壤速效钾(mg/kg)	目标产量(kg/亩)		
		300~400	400~500	500~600
极高	>200	0	0	0
高	150~200	0	2~3	3~4
中等	100~150	2~3	3~4	4~5
低	50~100	3~4	4~6	6~7
极低	<50	4~6	6~8	8~10

4. 土壤的营养变化

将四个阶段的土壤养分测试结果进行比较，从图 1~4 中可以明显看出，有机质、碱解氮、有效磷均呈现上升趋势，速效钾在 2000 年前后下降明显，2006 年后略有回升。对照早期数据，根据表 7 西安市土壤养分汇总表，2006 年~2012 年有机质增加了 38.0%、碱解氮增加了 119.3%、有效磷增加了 389.6%、速效钾减少了 11.2%。

Table 7. Summary table of soil nutrients in Xi'an city

表 7. 西安市土壤养分汇总表

年份	样品数 (个)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
1976~1978	-	-	33.7	4.8	-
1980~1985	6339	12.1	62	11	196
1995~2005	4507	14.3	57.6	21.5	172.9
2006~2012	33,339	16.7	73.9	23.5	174

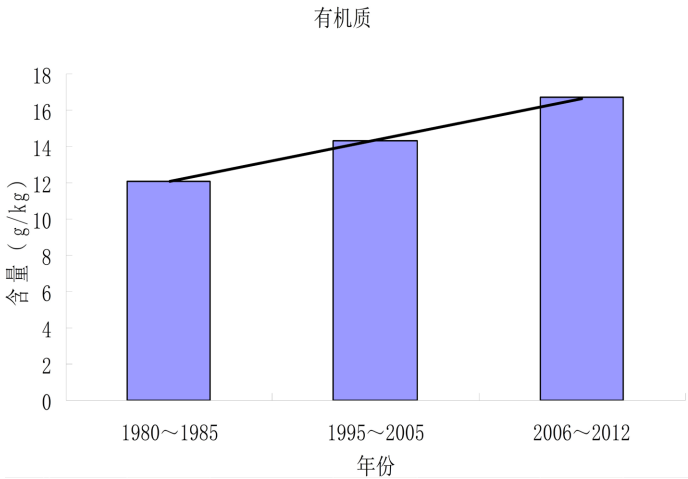


Figure 1. Distribution map of organic matter content
图 1. 有机质含量分布图

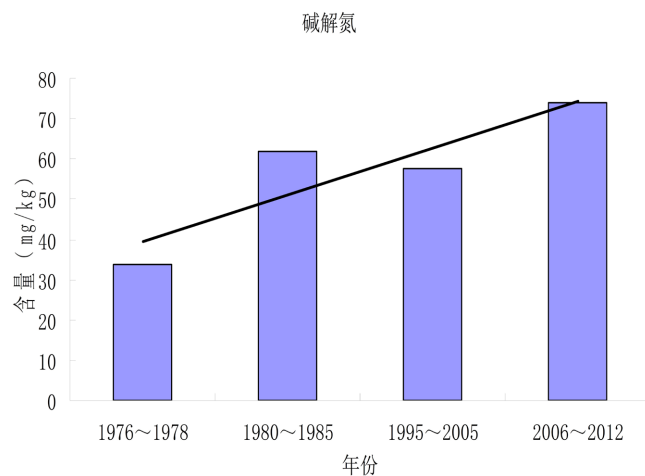


Figure 2. Distribution map of alkaline hydrolyzable nitrogen content
图 2. 碱解氮含量分布图

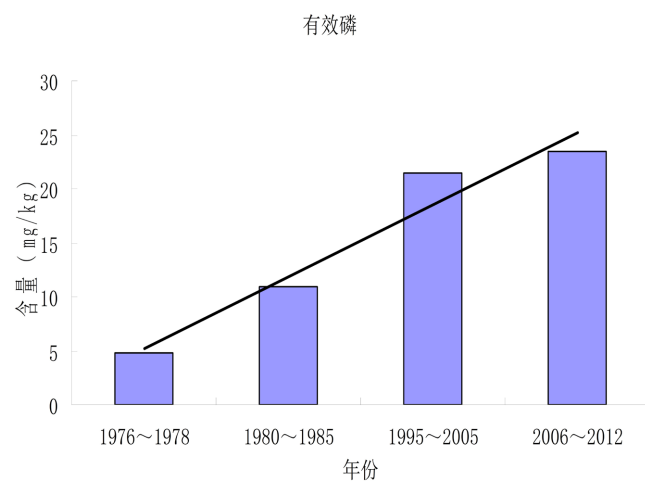


Figure 3. Distribution map of available phosphorus content
图 3. 有效磷含量分布图

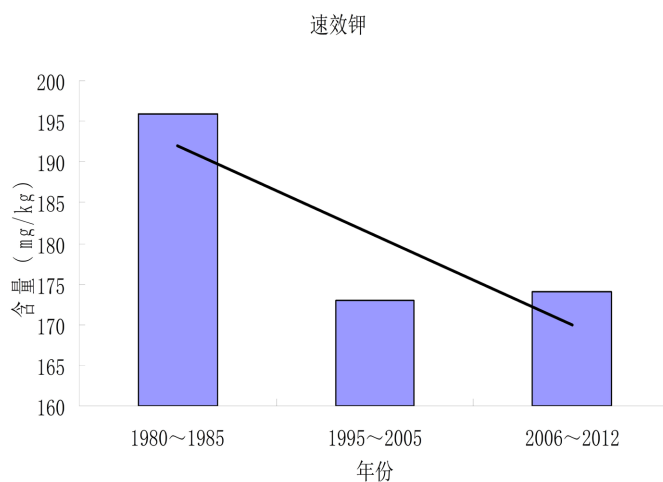


Figure 4. Distribution map of available potassium content
图 4. 速效钾含量分布图

在这四个核心土壤养分指标中,土壤有机质含量作为表征土壤肥力的关键参数,呈现出显著且稳定的上升态势。这一变化趋势与西安区域粮食单产水平的持续增长保持高度同步性,表明西安农业区土壤肥力提升对粮食产能增长具有支撑作用。碱解氮在 1995 年~2005 年略有下降外,1980 年~1985 年、2006 年~2012 年逐步提高,这与当时农业重视程度降低、有机肥投入不足有关;有效磷增加明显的势头在 1995 年~2005 年后放缓,与磷肥大量投入导致的补偿性增长后磷肥缓释及施肥比例调整有关;速效钾在 1995 年~2005 年下降明显与当时的农业生产不重视钾肥施用有关。随着施肥技术的发展,人们开始施用钾肥,这一趋势得以扭转。

5. 施肥研究的发展

1976~1978 年开展的全省土壤普查首次将有机肥施用纳入农业管理范畴。该阶段推行“有机肥为主、化肥为辅”的施肥方针,但受制于土壤测试技术滞后,实际施肥量与土壤实际需求存在偏差。1980~1986 年全国土壤普查进一步验证了氮磷配施的增产效应,然而缺乏基于土壤类型的差异化施肥指导。1995~2004 年间施肥策略转向控氮、稳磷、补钾、配微(Zn、B 等中微量元素)的宏观指导方案。结合田间试验结论,依据地力分级法制定的小麦平衡施肥分区指导方案,但因缺乏系统性的田间试验和土壤测试,土壤养分分级表与作物表现相关性缺乏科学的验证,土壤养分分级表与作物响应的相关系数未能建立精准的定量关系。2005 年启动的全国测土配方施肥项目标志着施肥技术进入系统化阶段[11]。通过“3414”田间试验设计,开展了大量的田间试验和土壤测试,科学而深入进行肥料效应、土壤养分评价的研究,依照目标产量与土壤养分平衡法,制订了小麦等主要作物详细的不同目标产量下肥料推荐用量和土壤养分评价体系,弥补了以往施肥研究的不足,其成果将有效指导今后的施肥工作。

6. 今后工作展望

国家高度重视农业绿色发展,出台了《到 2025 年化肥减量化行动方案》等支持化肥减量增效、科学施肥的政策。现阶段智能施肥配方决策系统,以及各地在精确施肥、数字化农业方面的成功实践[12],证明了这些技术在农业生产中的可行性。西安市可以借鉴这些成熟的技术与经验,推动本地土壤养分施肥技术的升级。通过精准施肥,能够提高肥料利用率,减少肥料浪费,降低农业生产成本,提升农业经济效益,减少农业面源污染,降低环境治理成本,实现经济效益与环境效益的双赢。通过对西安地区土壤技术发展历程的系统回溯,发现 1980~1986 年全国土壤普查与 2005 年启动的测土配方施肥构成关键转折点,前者构建了覆盖全域的土壤类型-理化性质数据库,后者创新了基于目标产量-土壤养分平衡的精准施肥模型。尽管测土配方施肥取得显著成效,但当前仍面临土壤-作物系统响应模型的时空适配性问题。为深化历史数据应用效能,优化西安市土壤种植条件,指导农业生产,推动施肥策略从“增产导向”向“提质增效”的转型升级,提出以下三个发展方向。

1) 智慧施肥决策系统搭建。借助数字化农业数据库建设思路,通过遥感卫星、无人机、土壤湿度监测设备等,采集土壤及作物生长的动态数据,对土壤类型、理化性状、养分含量等数据进行分类存储,构建一套全面、动态更新的土壤种植数据库。集成作物生长模型、环境信息感知等技术,搭建能实时收集土壤墒情、苗情长势、气象条件等信息,预判作物养分需求走势,制定精准的施肥处方的智慧施肥决策系统。同时,注意定期开展数据和平台维护,应具备自主学习和优化能力,能够根据农民反馈的施肥效果数据,推进数字化施肥管理,借助卫星遥感、无人机航拍等手段,实现精准变量施肥,不断迭代升级施肥模型,提高施肥决策的准确性与科学性。

2) 继续深入挖掘测土配方的田间试验数据,制定详细的田间试验计划,持续开展有机无机配合、机械施肥、水肥一体化等多样化田间肥效试验。采用大数据分析技术,深度挖掘测土配方施肥的历史数据,

明确不同土壤类型、作物品种在不同生长阶段对养分的需求规律,以及肥料的施用效果与环境影响,为施肥模型的优化提供丰富的实践依据:

3) 基于土壤养分供应系数、作物需求比动态参数以及肥料当季利用率预测模型,结合作物生长模型与土壤水分模型,综合考虑土壤、气候、作物等多种因素,通过调整肥料种类、用量、施用时间与方式,实现精准施肥,构建以作物优质高产、资源高效利用、减少环境污染的多目标优化体系。重点完善基于目标产量-土壤养分平衡的精准施肥模型中土壤养分供应系数[13]、作物需求比动态参数及肥料当季利用率预测模型。

参考文献

- [1] 吕爽,王虎,王安. 西安市土壤养分现状评价及动态变化[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3): 194-198.
- [2] 孟红旗,刘景,徐明岗,等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1109-1116.
- [3] 曹婧,陈怡平,江瑶,等. 陕西省农田速效钾时空变化及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2021, 35(5): 296-302.
- [4] 陈楠. 基于 GIS 的中尺度土壤空间分布规律研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2002.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 西安统计年鉴 2008[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [6] 陕西省农业勘察设计院. 陕西农业土壤[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982: 4.
- [7] 王虎,吕爽,王富荣,常庆瑞,王安,等. 西安市耕地地力及适宜性评价[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 2.
- [8] 农业部全国土壤肥料总站. 土壤分析规范[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 12.
- [9] 杨帆,徐洋,崔男,等. 近 30 年中国农田耕层土壤有机质含量变化[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1046-1056.
- [10] 何萍,金继运, Mirasol F. Pampolino, 等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 499-505.
- [11] 晁旭,王杰杰,孟秦宇,等. 陕西省西安市耕地土壤养分地球化学评价[J]. 中国锰业, 2018, 36(4): 58-61.
- [12] 胡轶楠. 基于智能农业的测土配方施肥决策支持系统研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [13] 姜城,金继运. 我国精准农业土壤养分管理技术的发展与对策[C]//中国土壤学会青年工作委员会, 中国植物营养与肥料学会青年工作委员会. 青年学者论土壤与植物营养科学——第七届全国青年土壤暨第二届全国青年植物营养科学工作者学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学院土壤肥料研究所, 2000: 104-111.