

# 西安市化肥施用面源污染环境风险评价研究

高莹, 王军利

(咸阳职业技术学院, 陕西 西咸新区 712046)

**摘要:** 专项定量评估化肥施用面源污染环境风险, 精准识别化肥施用面源污染高风险区域, 进而制定有效措施, 对面源污染管控工作至关重要。利用西安市1991—2018年化肥施用相关统计数据, 全面分析了全市化肥施用时空演变和空间分异特征, 并评价了化肥施用面源污染环境风险程度。结果表明: 西安市化肥施用量在经历1991—2014年的快速增长后, 于2015—2018年出现“四连降”; 氮磷钾化肥施用结构比例由1991年的1:0.24:0.13逐步调整为2018年的1:0.34:0.37; 1991—2018年间化肥施用强度随时间递增趋势明显, 2018年化肥施用强度为1991年的3.60倍; 化肥施用环境风险整体增大趋势明显, 总肥风险已由1991年的“高安全”程度上升为2018年的“重度风险”程度。西安市化肥施用面源污染环境风险空间差异明显, 其中长安区为“低度风险”区域, 临潼区、高陵区和鄠邑区为“中度风险”区域, 灞桥区、阎良区和蓝田县为“重度风险”区域, 未央区和周至县为“严重风险”区域。在确保农作物产量基础上, 西安市应从施肥技术、科技攻关、政策法规等层面入手, 制定有效管控措施。

**关键词:** 化肥施用强度; 面源污染; 环境风险; 空间分异; 西安市

**中图分类号:** X530.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2019-SY035-(2020)03-007

农业面源污染, 主要是指在农业生产活动中, 溶解的或固体的污染物(农田中的土粒、氮、磷、农药、重金属及农村家畜粪便与生活垃圾等有机或无机污染物质)从非特定的地域, 在降水和径流冲刷作用下, 通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏进入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等)所引起的水体污染<sup>[1]</sup>。当前, 我国农业面源污染程度较为严重, 过量施用化肥是其主因<sup>[2-3]</sup>。过量化肥施入土壤后, 会直接造成土壤板结、酸化、硝酸盐积累、次生盐渍化等耕地质量下降问题, 残余的氮素、磷素等养分还会通过地表径流、土壤渗漏等方式进入地表水或地下水, 进而引发农业面源污染问题<sup>[4-5]</sup>, 甚至影响人体健康。目前, 由于化肥的持续过量投入, 我国许多地区已面临严重的河流湖泊水体富营养化问题和地下水硝酸盐污染问题<sup>[6]</sup>, 其已严重影响到农业生产的可持续性发展。为此, 定量评估化肥施用面源污染环境风险, 精准识别化肥污染高风险区域, 进而制定有效管控措施, 已成为当务之急。

为避免现场监测化肥施用面源污染耗时费力等困难, 刘钦普<sup>[7]</sup>在前人研究基础上构建了专项的化肥施用面源污染环境风险评价模型。目前, 已有学者将此模型用于对全国<sup>[7]</sup>、四川<sup>[8]</sup>、南水北调中线工程水源地<sup>[9]</sup>等区域的化肥施用环境风险评估, 并初步取得了一定的研究成果。但就研究尺度而言, 现有研究多从国家层面<sup>[7]</sup>、省级层面<sup>[10-12]</sup>或者大的流域层面<sup>[13]</sup>入手去探讨化肥施用环境风险时空分布格局, 很少从市级层面入手去探讨不同县级单元的化肥施用环境风险时空分布。精准识别化肥施用重度风险县级单元, 有助于明晰最基础的化肥施用面源污染重点治理单元, 进而有针对性的制定管控措施。

长期以来, 西安市化肥施用强度一直处于较高水平。以2018年为例, 西安市化肥施用强度(以播种面积为基数)为766.95 kg/hm<sup>2</sup><sup>[14]</sup>, 其不仅远高于全国平均化肥施用强度340.77 kg/hm<sup>2</sup><sup>[15]</sup>, 更高于陕西省平均化肥施用强度561.18 kg/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>, 是全国生态县化肥施用强度值上限值(250 kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[17]</sup>的3倍

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 咸阳职业技术学院科研基金项目(2020KJC01); 陕西省科技厅2020科技计划项目(2020QFY06-07)

作者简介: 高莹(1986—), 女, 山东济宁人, 讲师, 博士, 研究方向: 主要从事农业水肥资源调控研究。

之多。如此高强度的化肥施用,其背后的环境风险不言而喻,但目前有关西安市境内专项的化肥施用面源污染环境风险评价鲜有报道。本文以1991—2018年28年间化肥施用相关统计数据为基础,全面分析了西安市化肥施用面源污染环境风险时序演变和空间分异特征,以期能为西安市面源污染环境风险管控提供一定的决策依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

西安市是陕西省会、关中平原城市群核心城市和西部地区重要的中心城市,全市下辖11区2县(涉及化肥施用的区县为9个,包括灞桥区、未央区、阎良区、临潼区、长安区、高陵区、鄠邑区、蓝田县和周至县),并于2017年代管西咸新区。西安市地处关中盆地中部,北濒渭河,南依秦岭,地理坐标介于 $107^{\circ} 40' E \sim 109^{\circ} 49' E$ 和 $33^{\circ} 42' N \sim 34^{\circ} 44' N$ 之间。该区属暖温带大陆性季风气候区,年均气温 $6.4 \sim 13.4^{\circ}C$ ,年均降水量 $537.5 \sim 1028.4mm$ 。气候总体较为温和,降水充足,光照条件较好,地势平坦,作物产量高,是陕西省农业生产条件最为优越的区域之一。统计数据显示<sup>[14]</sup>,2018年西安市(不含西咸新区,下同)耕地面积为 $21.71 \times 10^4 hm^2$ ;辖区总播种面积为 $30.88 \times 10^4 hm^2$ ,主要种植作物为小麦和玉米,两种作物播种面积占比达到75.39%,其中小麦播种面积为 $13.09 \times 10^4 hm^2$ (面积占比42.40%),玉米播种面积为 $10.19 \times 10^4 hm^2$ (面积占比32.99%)。

### 1.2 数据来源

氮肥、磷肥、钾肥、复合肥和总肥施用量(折纯,下同)以及同期的播种面积、耕地面积等数据均来源于《西安统计年鉴》<sup>[14]</sup>。分析过程中,参考前人研究成果<sup>[7]</sup>和实际调研情况,将复合肥中的氮肥、磷肥、钾肥含量统一按1:1:1折算处理。需要说明的是,由于西安市2017年才开始托管西咸新区,虽然西咸新区也涉及化肥施用,但由于历史数据缺失,暂不将其纳入本次研究范畴。

### 1.3 化肥施用面源污染环境风险评价模型

刘钦普<sup>[7]</sup>提出的化肥施用面源污染环境风险评价模型相关计算公式如下:

$$R_i = \frac{F_i}{F_i + T_i} \quad (i = N, P, K) \quad (1)$$

$$R_t = \sum_i^n W_i R_i \quad (i = N, P, K) \quad (2)$$

式中: $F_i$ 表示年化肥(氮肥、磷肥、钾肥或总肥)施用强度( $kg/hm^2$ ),即单位播种面积上的年化肥施用量。 $T_i$ 表示化肥施用生态环境安全阈值( $kg/hm^2$ ),是指作物种植时可以获得一定目标产量且不损害生态环境的化肥最大施用强度。 $R_i$ 表示化肥(氮肥、磷肥、钾肥或总肥)施用环境风险指数。 $R_t$ 表示化肥施用环境风险总指数。 $W_i$ 为氮肥、磷肥或钾肥的环境风险权重,本研究中氮肥、磷肥、钾肥的风险权重分别取0.648、0.230和0.122<sup>[7]</sup>。

化肥施用生态环境安全阈值( $T_i$ )设置直接影响到化肥施用面源污染环境风险评价结果的科学性。原环保部2010年印发的《国家级生态乡镇申报及管理规定(试行)》中提出的化肥施用生态环境安全阈值为 $250kg/hm^{2[17]}$ ;刘钦普<sup>[7]</sup>在前期开展的研究中,也将化肥施用生态环境安全阈值确定为 $250kg/hm^2$ 。而就西安市而言,2010—2018年小麦和玉米播种面积之和占全市农作物播种面积比例年均均为78.13%<sup>[14]</sup>,按照作物播种面积和目标产量条件下的施肥推荐量(如表1),加权平均求算的施肥推荐量为 $290.41 kg/hm^2$ 。已有研究表明,化肥施用的生态适宜量要明显低于经济适宜的推荐施肥量,故有学者建议生态农业建设应将推荐施肥量中的氮肥用量降低20%<sup>[8,19]</sup>。参照以上观点,最终求算的西安市主要作物化肥施用生态适宜量为 $258.82 kg/hm^2$ ,其与前述的生态环境安全阈值 $250kg/hm^2$ 极为接近。为方便与全国其他地区开展的研究结果<sup>[7,9]</sup>对比,并警示本地区减少化肥投入,故本研究仍将化肥施用生态环境安全阈值确定为 $250kg/hm^2$ 。另外,鉴于西安市氮磷钾肥推荐施肥结构比例(1:0.44:0.40)比较接近1:0.5:0.5,结合前人研究<sup>[7]</sup>,本研究也将氮肥的生态环境安全阈值设定为 $125kg/hm^2$ ,将磷肥和钾肥的生态环境安全阈值均设定为 $62.5kg/hm^2$ 。

根据以上化肥施用生态环境安全阈值,并结合前人研究<sup>[7]</sup>,本研究者的化肥施用强度分级标准如表2。当 $F_i$ 和 $T_i$ 相等时, $R_i=0.5$ ,将此值设定为环境风

险安全阈值。 $R_i$  ( $R_t$ ) 介于0~1之间,  $R_i$  ( $R_t$ ) 越接近1, 表示风险程度越大。本研究中, 参照前人研究, 将接近于0, 表示风险程度越小;  $R_i$  ( $R_t$ ) 越接近于1, 化肥施用环境风险程度分为6个等级<sup>[7]</sup> (见表3)。

表1 西安市主要作物施肥推荐量

作物	氮肥推荐量 (kg/hm <sup>2</sup> )	磷肥推荐量 (kg/hm <sup>2</sup> )	钾肥推荐量 (kg/hm <sup>2</sup> )	化肥推荐量 (kg/hm <sup>2</sup> )	化肥施用生态适宜 量 (kg/hm <sup>2</sup> )	2010—2018年平均 播种面积 <sup>[14]</sup> (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )
小麦 <sup>[18]</sup>	165.00	97.50	52.50	315.00	252.00	15.36
玉米 <sup>[18]</sup>	150.00	37.50	75.00	262.50	232.50	13.53

表2 化肥(总肥)施用强度分级

化肥施用强度范围 (kg/hm <sup>2</sup> )	强度类型	分级依据
≤250	适量	化肥施用强度不大于安全阈值
250~500	低度过量	化肥施用强度不大于安全阈值的2倍
500~750	中度过量	化肥施用强度不大于安全阈值的3倍
750~1000	高度过量	化肥施用强度不大于安全阈值的4倍
1050~1250	严重过量	化肥施用强度不大于安全阈值的5倍
>1250	极严重过量	化肥施用强度大于安全阈值的5倍以上

表3 化肥施用环境风险指数(R<sup>i</sup>)分级

环境风险指数范围	环境风险程度
≤0.35	安全
0.35~0.50	尚安全
0.50~0.65	低度风险
0.65~0.75	中度风险
0.75~0.80	重度风险
>0.80	严重风险

## 1.4 数据处理

应用Microsoft Excel 2007对西安市历年化肥施用相关数据进行统计分析, 应用ArcGis 10.2绘制全市化肥施用强度空间分布图及化肥施用面源污染环境风险空间分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 西安市化肥施用环境风险时序演变特征

2.1.1 化肥施用时序演变特征 从图1中可以看出, 氮肥、磷肥、钾肥和总肥施用量在1991—2014年间呈现明显的上升趋势, 各类化肥施用量年均增长率分别达到2.36%、3.80%、6.59%和3.25%。2015年之后, 各类化肥施用量开始出现“四连降”的趋势。从图2中可以看出, 在1991—2018年期间, 氮肥在总肥中的比例大体呈波动下降趋势, 其已从1991年的72.56%逐渐下降到2018年的58.64%; 磷肥比例变化相对较为平稳, 基本在16.51%~22.04%之间波动

变化; 钾肥比例总体上呈现波动上升趋势, 其从1991年的9.69%开始不断上升, 2010年以后基本稳定在20%~22%之间。整体来看, 全市氮肥、磷肥和钾肥的施用结构比例已从1991年的1:0.24:0.13逐步调整为2018年的1:0.34:0.37。从图3中可以看出, 28年间氮肥、磷肥、钾肥、总肥施用强度均呈现明显的上升趋势。2018年氮肥、磷肥、钾肥、总肥施用强度分别达到449.70 kg/hm<sup>2</sup>、152.63 kg/hm<sup>2</sup>、164.62 kg/hm<sup>2</sup>和766.95 kg/hm<sup>2</sup>, 其为1991年对应化肥施肥强度的2.91倍、4.03倍、7.97倍和3.60倍。总肥施用强度已由1991年的“适量”强度类型转变为2018年的“高度过量”强度类型, 全市化肥施用强度较大, 化肥过量施用问题较为突出。

2.1.2 化肥施用环境风险时序演变特征 从图4中可以看出, 1991年氮肥风险指数已经越过环境安全临界值0.50, 磷肥风险指数首次高于临界值的年份为1998年, 钾肥风险指数高于临界值始于2002年, 总肥已于1992年突破安全阈值。整体来看, 1991—2018年西安市氮肥、磷肥、钾肥、总肥施用环境风险指数均呈现明显的连续递增趋势, 其中2018年氮肥、磷肥、钾肥、总肥施用环境风险指数分别为0.71、0.78、0.72、0.76, 其对应为1991年各类化肥施用环境风险指数的1.41倍、1.88倍、2.92倍和1.60倍。就总肥环境风险程度而言, 1991年属“尚安全”程度, 1992—2008年属“低度风险”程度,

2009—2016年属“中度风险”程度, 2017—2018年已转变为“重度风险”程度。整体来看, 西安市化肥施用面源污染环境风险整体增大趋势明显。

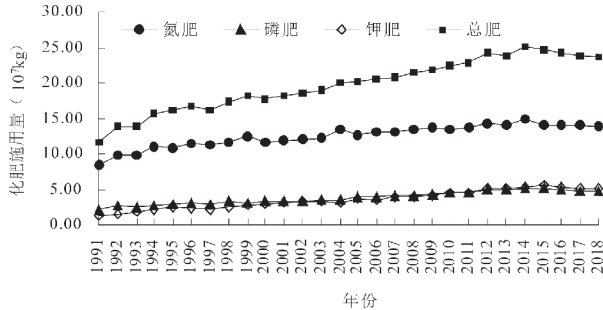


图1 1991—2018年西安市化肥施用量变化

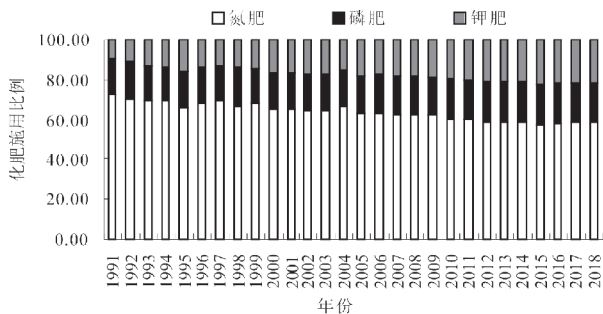


图2 1991—2018年西安市化肥施用结构变化

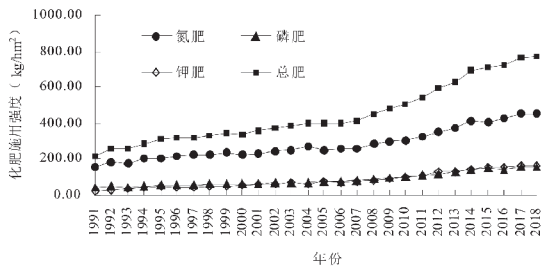


图4 1991—2018年西安市化肥施用环境风险指数变化

## 2.2 西安市化肥施用环境风险空间分异特征

2.2.1 化肥施用空间分异特征 表4为2018年西安市各区县化肥施用情况, 图5为西安市各区县化肥施用强度空间分布情况。从中可以看出, 西安市各区

县化肥施用呈现以下特点:

(1) 化肥施用量空间差异极为悬殊。其中蓝田县的氮肥施用量最高, 周至县的磷肥、钾肥及总肥施用量均为最高, 而未央区的氮肥、磷肥、钾肥、总肥的施用量均为最低。氮肥、磷肥、钾肥、总肥用量最高区县数值分别为最低区县对应数值的315.20倍、260.23倍、198.25倍和258.70倍, 化肥施用量空间差异极为悬殊。

(2) 化肥施用结构不尽相同。未央区的氮肥比例(40.19%)最低, 蓝田县的氮肥比例(69.44%)最高; 蓝田县的磷肥比例(14.30%)最低, 高陵区的磷肥比例(27.72%)最高; 临潼区的钾肥比例最低(13.40%), 而未央区的钾肥比例(36.76%)最高。

(3) 化肥施用强度空间分异明显。未央区的氮肥、磷肥、钾肥、总肥的施用强度均为最大, 长安区的氮肥、磷肥及总肥施用强度均为最低, 临潼区的钾肥施用强度最低。氮肥、磷肥、钾肥、总肥用量最高区县数值分别为最低区县对应数值的10.99倍、20.35倍、32.51倍和14.99倍。根据化肥使用强度分级, 可以将西安市涉及化肥施用的区县分为5类: “低度过量”区包括长安区(化肥施用强度为408.34kg/hm<sup>2</sup>); “中度过量”区包括临潼区、高陵区、鄠邑区(化肥施用强度分别为516.39kg/hm<sup>2</sup>、501.77kg/hm<sup>2</sup>、730.69kg/hm<sup>2</sup>); “高度过量”区包括灞桥区、阎良区(化肥施用强度分别为803.72g/hm<sup>2</sup>、846.02kg/hm<sup>2</sup>); “严重过量”区包括蓝田县(化肥施用强度为1001.79kg/hm<sup>2</sup>); “极严重过量”区包括未央区、周至县(化肥施用强度分别为6120.00kg/hm<sup>2</sup>、1654.70kg/hm<sup>2</sup>)。

表4 2018年西安市化肥使用情况

区县	化肥施用量 (10 <sup>3</sup> kg)				N:P:K
	氮肥	磷肥	钾肥	总肥	
灞桥	3973	1223	1926	7121	1:0.31:0.48
未央	82	47	75	204	1:0.57:0.91
阎良	16669	5206	6366	28240	1:0.31:0.38
临潼	25846	9376	5452	40674	1:0.36:0.21
长安	8788	2719	4520	16026	1:0.31:0.51
高陵	6057	3686	3555	13297	1:0.61:0.59
鄠邑	19231	5960	6560	31751	1:0.31:0.34
蓝田	32543	6683	7510	46737	1:0.21:0.23
周至	25675	12231	14869	52774	1:0.48:0.58
平均	15429	5237	5648	26314	1:0.34:0.37



图5 2018年西安市化肥施用强度空间分布

2.2.2 化肥施用面源污染环境风险空间分异特征

图6为2018年西安市化肥施用面源污染环境风险空间分布格局。总体看来，西安市不同区县化肥施用环境风险空间分异明显。就氮肥施用环境风险而言：长安区、高陵区风险指数分别为0.64和0.65，属“低度风险”区域；临潼区风险指数为0.72，属“中度风险”区域；灞桥区、阎良区、鄠邑区风险指数分别为0.78、0.80、0.78，属“重度风险”区域；未央区、蓝田县、周至县风险指数分别为0.95、0.85和0.87，属“严重风险”区域。就磷肥施用环境风险而言：长安区风险指数为0.53，属“低度风险”区域；灞桥区、阎良区、临潼区、高

陵区、鄠邑区、蓝田县风险指数分别为0.69、0.71、0.66、0.69、0.69、0.70，属“中度风险”区域；未央区、周至县风险指数分别为0.96、0.86，属“严重风险”区域。就钾肥施用环境风险而言：临潼区、长安区风险指数分别为0.53和0.65，属“低度风险”区域；高陵区、鄠邑区、蓝田县风险指数分别为0.68、0.71、0.72，属“中度风险”区域；灞桥区、阎良区风险指数分别为0.78、0.76，属“重度风险”区域；未央区、周至县风险指数分别为0.97、0.88，属“严重风险”区域。就总肥施用环境风险而言，长安区为“低度风险”区域，临潼区、高陵区和鄠邑区为“中度风险”区域，灞桥区、阎良区和蓝田区为“重度风险”区域，未央区和周至县为“严重风险”区域。总体来看，西安市化肥施用环境风险空间分异较为明显，其中未央区、灞桥区、阎良区、蓝田县和周至县等5个区县为全市化肥面源污染高风险区域，需重点关注。尤其未央区，耕地面积（33.33 hm<sup>2</sup>）和播种面积（120 hm<sup>2</sup>）虽极小，但化肥施用面源污染环境风险指数（0.97）极高，需引起相关部门足够重视。

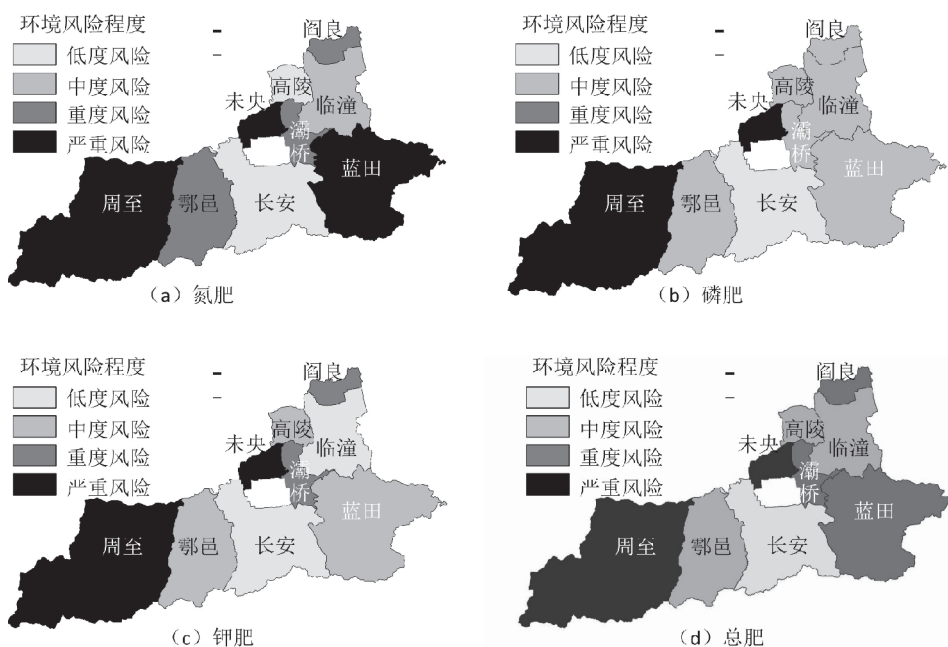


图6 2018年西安市化肥施用环境风险指数空间分布

3 讨论

化肥施用面源污染环境风险评价是基于农业生产活动中施用化肥对生态环境造成污染的可能性的评价<sup>[7]</sup>。本研究所采用的的评价模型中，一个重要

的参数便为化肥施用生态环境安全阈值，其直接影响到化肥施用面源污染环境风险评价结果的科学性。由于数据获取受限等原因，本研究在确定西安市化肥施用生态环境安全阈值（250 kg/hm<sup>2</sup>）时，未能充分考虑西安市各区县详细种植结构和土壤肥

力等因素的县域差异,同时也忽略了其他难以操控的自然因素和人为因素,虽然较为粗糙,但仍具有一定的概括性和广泛性,有利于将不同地区的研究结果直接进行比对。后期依托更为详尽的种植结构和土壤肥力等数据,调整不同县级单元化肥施用生态环境安全阈值,进而实施更为精准的环境风险评价,值得进一步深入关注。

本研究中模型评价结果显示,西安市化肥施用面源污染环境风险指数逐年递增趋势明显,风险指数在不同县域空间上存在着明显的分异特征,这与房珊珊等[9]对南水北调中线工程水源地的研究结果具有一定的相似性。本研究结果显示,1991—2018年西安市化肥施用环境风险指数连续递增趋势明显,1992年突破环境风险安全阈值0.5,2018年增至历史最大值0.76,全市化肥施用环境风险处于“重度风险”程度,其中未央区、灞桥区、阎良区、蓝田县和周至县等5个区县为全市化肥面源污染高风险区域。

从目前掌握的情况来看,过量施用化肥也确实对西安市生态环境造成了一定程度的不良影响。一方面,化肥(尤其是氮肥)的过量施用已经造成了土壤的酸化现象。从上世纪80年代至今,西安市分布面积最大的耕作土壤——塿土,其土壤pH下降了0.55个单位<sup>[21-22]</sup>,土壤出现了一定的酸化。另一方面,化肥的过量施用,已经引起了地下水和地表水的污染。程智慧等<sup>[22]</sup>的研究表明,由于过量施肥,西安市菜田土壤硝态氮、铵态氮在深层土壤中累积明显,同时伴随灌溉、降水的淋洗作用,浅层地下水受到明显污染,其中部分点位浅层地下水硝态氮浓度达到30mg/L之多,超过国家生活饮用水硝态氮标准(20 mg/L)。邓林等<sup>[23]</sup>通过对关中盆地225个潜水样点进行采样分析发现,关中盆地地下水硝酸盐含量普遍较高,其中周至县、鄠邑区等地硝态氮浓度已超过20 mg/L,并明确指出过量施肥和灌溉渗漏是造成地下水硝酸盐含量高的主要原因。罗大成等<sup>[24]</sup>研究表明,西安市农业大县蓝田县丰水期饮用井水中硝酸盐含量达22.34 mg/L,点位超标率高达50%。硝酸盐与人体健康关系密切,饮用水中硝酸盐超标会导致胃癌、结直肠癌等多种癌症发病率升高<sup>[25]</sup>。相关研究已经表明,癌病高发村庄居民存在突出的饮水和蔬菜硝酸盐暴露健康风险<sup>[26]</sup>。目前,

西安市虽无因化肥过量施用导致饮用水硝酸盐污染进而引发癌症的实例,但必须引起足够重视,做到防患于未然。

今后一段时间,在确保农作物一定产量基础上,西安市应从以下三方面努力,以切实降低化肥施用面源污染环境风险。

(1) 施肥技术方面。以“控总量(化肥施用总量)、调结构(化肥施用结构)、降强度(化肥施用强度)”为切入点,以高风险区域(未央区、灞桥区、阎良区、蓝田县和周至县等5个区县)为重点突破口,积极推进“化肥施用量零增长”行动,大力推广测土配方施肥、水肥一体化等精准施肥技术,进一步优化氮磷钾配比、调整施肥结构,同时改表施、撒施等施肥方式为机械深施,大力实施有机肥替代化肥行动,不断提高化肥使用率,降低化肥施用强度和化肥施用总量。

(2) 科技攻关方面。一方面要积极应用现代化技术,大力培育高产良种。由于高产良种对环境条件要求较低,其可用较低的化肥投入获取较高的产出,从侧面间接减少化肥投入。另一方面,要积极引进、研发新型肥料。“套餐肥”是指能满足作物不同生长阶段和不同方面营养需求的系列肥料组合,其核心是将几种肥料按照不同作物在不同时期对养分的需求,科学搭配、精准配方,最终达到有的放矢、全面营养和高效施肥的目的<sup>[27]</sup>。笔者前期在西安市辖区参与开展的肥效试验<sup>[27]</sup>表明,施用“套餐肥”可以同时实现“减肥”、增产、提质、增效目的,这就为“套餐肥”的推广应用奠定了一定理论基础。所以,应以养分全面协调、可缓释可控释、作物易吸收等为切入口,积极引导肥料企业针对不同作物研发新型系列专用“套餐肥”,确保实现化肥减量增效。

(3) 政策法规层面。一是进一步强化化肥流通管理。全面规范化肥生产、销售和施用管理,试点对化肥施用时间、施用数量等进行限制和规范。二是改革现有的化肥补贴政策,适当提高化肥价格,充分发挥价格在管控化肥面源污染中的“杠杆”作用。三是探索建立农业面源污染监测网络,将化肥施用面源污染作为其中的一项重要内容进行监测,并适时进行风险评估。四是积极贯彻落实“土十条”,严格实施土壤污染防治法,坚决做到

有法必依、执法必严、违法必究。

#### 4 结论

(1) 1991—2018年西安市化肥施用面源污染环境风险指数随时间连续递增趋势明显, 1992年突破环境风险安全阈值0.5, 2018年增至历史最大值0.76, 化肥施用面源污染环境风险已由1991年的“尚安全”程度上升为2018年的“重度风险”程度。

(2) 西安市化肥施用面源污染环境风险空间分异明显。长安区为“低度风险”区域; 临潼区、高陵区 and 鄠邑区为“中度风险”区域; 未央区、灞桥区、阎良区、蓝田县和周至县等5个区县为全市化肥施用面源污染高风险区域, 环境风险均处于“重度风险”以上等级, 需重点关注。

(3) 在确保农作物一定产量基础上, 西安市应从施肥技术、科技攻关、政策法规3个层面努力, 以切实降低化肥施用面源污染环境风险。

#### 参考文献

- [1] 祁俊生. 农业面源污染综合防治技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2009: 1-2.
- [2] Fischer G, Winiwarter W, Ermolieva T, et al. Integrated modeling framework for assessment and mitigation of nitrogen pollution from agriculture: Concept and case study for China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2010, 136(1): 116-124.
- [3] Velthof G L, Oudendag D, Witzke H P, et al. Integrated assessment of nitrogen emission from agriculture in EU-27 using MITERRA-Europe[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2009(38): 402-417.
- [4] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [5] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(18): 3596-3605.
- [6] 向平安, 周燕, 黄璞, 等. 氮肥面源污染控制的绿税激励措施探讨—以洞庭湖区为例[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 330-337.
- [7] 刘钦普. 中国化肥面源污染环境风险时空变化[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(7): 1247-1253.
- [8] 田若衡, 黄成毅, 邓良基, 等. 四川省化肥面源污染环境风险评估及趋势模拟[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(11): 1739-1751.
- [9] 房珊珊, 杨琨, 强艳芳, 等. 南水北调中线工程水源地

- 化肥施用时空分布特征及其环境风险评价[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(1): 124-136.
- [10] 刘钦普. 河南省化肥使用环境风险时空特征分析[J]. *生态经济*, 2014, 30(10): 175-178.
- [11] 刘钦普. 山东省化肥使用时空分异及潜在环境风险评价[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 208-214.
- [12] 刘钦普. 安徽省化肥面源污染环境风险分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(6): 876-881.
- [13] 刘钦普. 淮河流域化肥施用空间特征及环境风险分析[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(9): 1512-1518.
- [14] 西安市统计局. 西安统计年鉴2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 270-310.
- [15] 国家统计局. 中国统计年鉴2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 265-267.
- [16] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 227-263.
- [17] 中华人民共和国环境保护部. 关于印发《国家级生态乡镇申报及管理规定(试行)》的通知[EB/OL]. [2012-05-24]. [http://www.daishan.gov.cn/art/2012/5/24/art\\_1377979\\_11650178.html](http://www.daishan.gov.cn/art/2012/5/24/art_1377979_11650178.html).
- [18] 王虎, 吕爽, 同延安, 等. 西安市土壤养分丰缺指标及推荐施肥指标体系[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 74-80.
- [19] 骆世明. 中国生态农业制度的构建[J]. *中国生态农业学报*, 2018(5): 759-770.
- [20] 西安市土壤普查办公室. 西安土壤[M]. 西安: 西安地图出版社, 1988: 54-55.
- [21] 王虎, 吕爽, 王富荣, 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: 47-48.
- [22] 程智慧, 刘旭新, 董志刚, 等. 西安蔬菜主产区土壤硝态氮累积现状与蔬菜产品、浅层地下水氮素污染调查研究[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(1): 188-192.
- [23] 邓林, 王文科, 杨晓婷, 等. 关中盆地地下水硝酸盐含量的空间变异特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(10): 152-155.
- [24] 罗大成, 卢新卫, 任春辉, 等. 蓝田县农村居民饮用地下水硝态氮污染及健康风险评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(4): 95-99.
- [25] Gulis G. An Ecologic Study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia[J]. *Environmental Research*, 2002, 88(3): 182-187.
- [26] 陈云增, 陈志凡, 马建华, 等. 沙颍河流域典型癌病高发区土壤硝态氮对地下水和蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(3): 247-255.
- [27] 孙喜军, 吕爽, 王安, 等. 套餐肥对设施番茄产量及品质的影响[J]. *农学学报*, 2018, 8(12): 67-72.