

网络出版时间:2020-08-13 16:07 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2021.02.011
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20200812.1408.014.html

陕西省化肥施用时空分异及 面源污染环境风险评价

高莹¹,孙喜军²,吕爽²,张博³

(1 咸阳职业技术学院,陕西 咸阳 712000;2 西安市农业技术推广中心,陕西 西安 710061;
3 陕西省西咸新区沣东新城农业农村局,陕西 西安 710086)

【摘要】【目的】明确陕西省化肥施用现状,科学评价化肥施用环境风险,为该区域农业面源污染防治提供参考。【方法】基于陕西省 1987—2016 年 30 年化肥施用相关统计数据,分析了该省化肥施用时空分异特点,并采用相关分析模型对其化肥施用面源污染环境风险进行评价。【结果】1987—2013 年陕西省化肥施用量、施用强度整体呈现递增趋势,而 2013 年之后全省化肥施用量、施用强度稳中有降。1987—2016 年氮肥比例呈下降趋势,而磷肥和钾肥比例稳步提高,氮磷钾施用比例由 1987 年的 1:0.20:0.06 逐步调整为 2016 年的 1:0.41:0.46。2016 年陕西省化肥施用强度达 799.48 kg/hm²,属于高度过量水平;陕西省化肥施用强度空间分异明显,其中关中化肥施用强度最高,陕南次之,陕北最低。2016 年陕西省总肥施用风险指数为 0.76,化肥施用风险总体属于重度风险等级,其中关中风险最大,陕南次之,陕北最小。【结论】陕西省化肥施用强度高,面源污染环境风险大,且不同区域空间分异明显。在确保作物产量的基础上,为有效实施面源污染环境风险管控,陕北可基本维持现有施肥强度,但在施肥结构上应注意减氮增磷补钾;关中应以降低化肥施用强度为抓手,在减肥的基础上注意稳氮提磷减钾;陕南应在降低化肥施用强度基础上继续优化施肥结构,注意减氮增磷补钾。

【关键词】化肥施用强度;面源污染;环境风险;时空分异;陕西省

【中图分类号】X530.1

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2021)02-0076-09

Spatio-temporal differentiation and non-point source pollution environmental risk assessment of fertilization in Shaanxi

GAO Ying¹, SUN Xijun², LÜ Shuang², ZHANG Bo³

(1 Xianyang Vocational Technical College, Xianyang, Shaanxi 712000, China;

2 Xi'an Agricultural Technology Extension Center, Xi'an, Shaanxi 710061, China;

3 Agricultural and Rural Bureau of Fengdong New City in Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710086, China)

Abstract: 【Objective】 This study clarified the status of fertilizers application and evaluated its environmental risk to improve the control of agricultural non-point pollution in Shaanxi Province. 【Method】 Based on statistical data of fertilizers application in Shaanxi from 1987 to 2016, this study analyzed the characteristics of spatio-temporal differentiation of fertilizers application and used correlation model to evaluate the environmental risk of non-point source pollution of fertilizers application. 【Result】 From 1987 to 2013, fertilizers amount and fertilization intensity in Shaanxi showed an overall increasing trend, while they decreased steadily after 2013. From 1987 to 2016, the rate of nitrogen (N) fertilizer showed a downward

【收稿日期】 2020-01-20

【基金项目】 陕西省重点研发计划项目“秸秆资源在农田土壤的综合利用技术开发与示范”(2018ZDCXL-N-19-1);陕西省创新能力支撑计划项目“苹果枝条资源化利用关键技术集成与示范”(S2019-ZC-XY-0003)

【作者简介】 高莹(1986—),女,山东济宁人,讲师,博士,主要从事农业水肥资源调控研究。E-mail:gyxingkong@126.com

【通信作者】 孙喜军(1985—),男,甘肃庆阳人,农艺师,硕士,主要从事耕地质量保护与提升研究。E-mail:jlusxj@126.com

trend, while the rates of phosphorus (P) and potassium (K) fertilizers increased steadily. The application ratio of N fertilizer, P fertilizer and K fertilizer was gradually adjusted from 1 : 0.20 : 0.06 in 1987 to 1 : 0.41 : 0.46 in 2016. In 2016, the application intensity of fertilizers in Shaanxi reached 799.48 kg/hm² at a highly excess level. The application intensities of fertilizers in different cities showed clear spatial differentiation characteristics with a decreasing order in Guanzhong, South Shaanxi and Northern Shaanxi. In 2016, the risk index of total fertilizer application in the whole province was 0.76 at the serious risk level. The highest risk was in Guanzhong, followed by Southern Shaanxi and North Shaanxi. 【Conclusion】 The fertilization intensity and environmental risk of non-point source pollution in Shaanxi were both high with clear spatial differentiation. On the basis of ensuring crop yield, to effectively control the environmental risk of non-point source pollution, existing fertilization intensity can be basically maintained in Northern Shaanxi, while attention should be paid to reducing N, increasing P and supplementing K in fertilization structure. The key point of Guanzhong is to reduce fertilization intensity while stabilizing N, increasing P and reducing K. For Southern Shaanxi, fertilization structure should be continuously optimized and more attention should be paid to reducing N, increasing P and supplementing K.

Key words: fertilization intensity; non-point source pollution; environmental risk; spatio-temporal differentiation; Shaanxi

作为粮食的“粮食”,化肥在助推世界粮食增产方面起到了重要作用^[1-2]。然而,伴随粮食产量的稳步提高,我国化肥施用量却越来越大。2016 年我国化肥施用总量(折纯,下同)居全球首位,达 5.98×10^{10} kg,占全球化肥施用总量的 30.30%^[3]。由于化肥的持续过量投入,我国许多地区尤其是农业集约化程度高的地区,已面临严重的地下水硝酸盐污染和河流湖泊水体富营养化问题,农田化肥施用引起面源污染问题的广度和深度已远超欧美发达国家,面临的环境风险和潜在压力更是其他国家无法比拟的^[4-6]。为此,明确化肥施用现状,科学评价化肥施用环境风险,实施精准靶向风险管控,已成为我国农业面源污染防治工作亟需解决的问题之一。

长期以来,基于农业面源污染防治而开展的综合环境风险评价研究备受重视。在评价方法方面,研究者相继开发了 SWAT^[7]、AGNPS^[8]、APEX^[9] 等大型综合数学模型,用以综合模拟和评价农业面源污染。在评价尺度方面,以某一流域^[10]最为常见,中省市县 4 级行政单元^[11-14]也均有涉及。在评价对象方面,主要包含对化肥、畜禽养殖、农业固体废弃物和农村生活等污染源在内的综合评价^[11,14]。化肥是农业面源污染的“元凶”^[15],但以往农业面源污染环境风险评价研究大多以污染源综合评价为主,针对化肥施用进行的专项面源污染环境风险评价直到近几年才开始报道,目前主要涉及河南^[16]、山东^[17]、四川^[18]等农业大省的化肥施用环境风险空间分异特征研究。陕西也是我国农业大省之一,化

肥施用量相对较大,约占全国总量的 4%^[3],但目前针对陕西省及各地市开展的化肥施用专项环境风险评价还鲜有报道。为此,本研究分析了全省化肥施用时空分异特点,并利用化肥施用面源污染环境风险评价模型,评价了化肥施用面源污染环境风险,以为陕西省化肥施用环境风险管控及农业面源污染防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西省横跨黄河、长江两大水系,纵跨中温带季风气候区、暖温带季风气候区和北亚热带季风气候区三个气候带,自然形成陕北、关中、陕南三大区域。南北气候差异较大,降水南多北少,陕南为湿润区,关中为半湿润区,陕北为半干旱区。陕西省年均降水量 340~1 240 mm,年均温度 9~16℃。

1.2 数据来源

1987—2016 年陕西省总肥或氮肥、磷肥、钾肥、复合肥施用量(折纯,下同),耕地面积,播种面积等相关数据来源于《中国统计年鉴》^[19]和《陕西统计年鉴》^[20]。另外,统计年鉴中没有注明复合肥中氮磷钾比例,根据市场调查,将复合肥中氮、磷、钾含量按 1 : 1 : 1 折算处理^[4]。

1.3 化肥施用面源污染环境风险评价方法

化肥施用环境风险指数采用刘钦普^[4]提出的模型进行计算,具体公式如下:

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

式中: R_i 为单质化肥(氮肥、磷肥或钾肥)施用环境风险指数; F_i 为年化肥(总肥或氮肥、磷肥、钾肥)施用强度(kg/hm^2),即单位耕地面积的年化肥施用量^[4]; T_i 为化肥施用强度环境安全阈值(kg/hm^2),即种植作物时不产生面源污染的某种化肥最大施用强度。本研究中,将氮肥施用强度环境安全阈值设定为 $125\text{ kg}/\text{hm}^2$,磷肥和钾肥均设定为 $62.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ^[4]。另按照总肥施用强度 $\leq 250, 250\sim 500, 500\sim 750, 750\sim 1\ 000, 1\ 000\sim 1\ 250$ 和 $>1\ 250\text{ kg}/\text{hm}^2$ 的分级标准^[21],将化肥施用强度分为适量、低度过量、中度过量、高度过量、严重过量、极严重过量 6 个等级。

$$R_i = \sum_i W_i R_i (i = \text{N, P, K}). \tag{2}$$

式中: R_i 为化肥施用环境总风险指数; 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、钾肥的环境风险权重分别为 $0.648, 0.230$ 和 0.122 ^[4]。

由式(1)和式(2)可知, R_i 和 R_i 均介于 $0\sim 1$ 之

间。当 F_i 和 T_i 相等时, $R_i=0.50$,将此值设定为环境风险安全阈值。 F_i 越小, $R_i(R_i)$ 越趋近于 0 ,即化肥施用环境风险越小; F_i 越大, $R_i(R_i)$ 越趋近于 1 ,即化肥施用面源污染环境风险越大。本研究中,按照 $R_i\leq 0.35, 0.35\sim 0.50, 0.50\sim 0.65, 0.65\sim 0.75, 0.75\sim 0.80$ 和 >0.80 的分级标准,将化肥施用风险程度分为安全、尚安全、低度风险、中度风险、重度风险和严重风险 6 个等级^[4]。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2007 对历年化肥施用相关数据进行统计分析和作图,并采用加权平均法求算不同区域平均施肥推荐量。

2 结果与分析

2.1 陕西省化肥施用时空分异

2.1.1 化肥施用时序演变 1987—2016 年陕西省化肥施用量及施用强度的变化见图 1 和图 2。

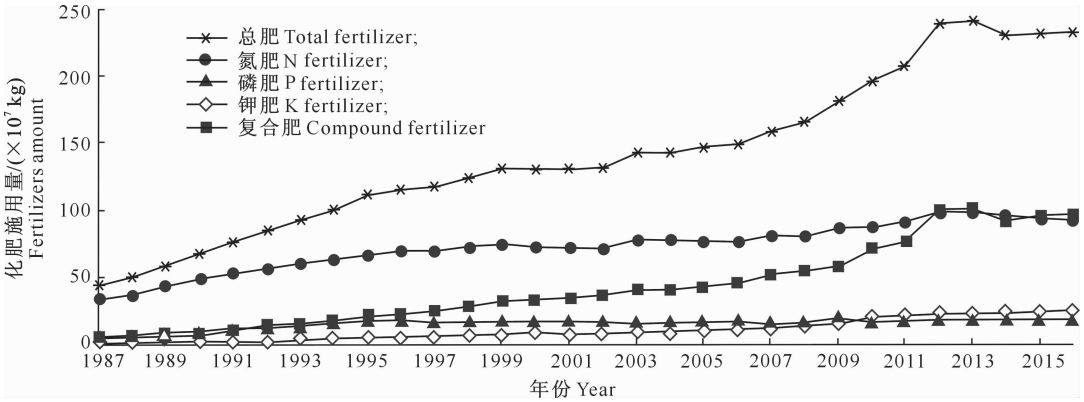


图 1 1987—2016 年陕西省化肥施用量的变化

Fig. 1 Variations of fertilizers amount in Shaanxi during 1987—2016

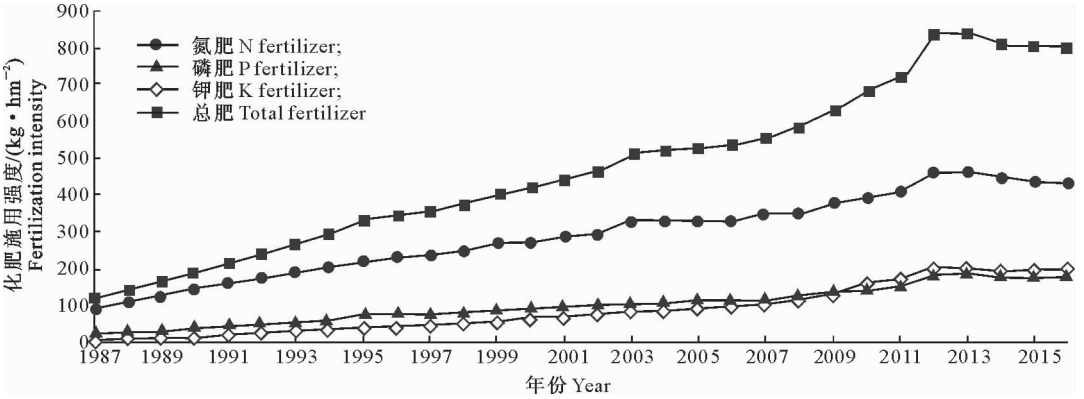


图 2 1987—2016 年陕西省化肥施用强度的变化

Fig. 2 Variations of fertilization intensity in Shaanxi during 1987—2016

由图 1 可知,1987—2013 年陕西省总肥、氮肥、磷肥、钾肥和复合肥施用量整体呈逐年递增趋势,年均增长率分别达到 $6.55\%, 4.14\%, 4.58\%$,

13.87% 和 12.32% 。2013 年之后,各类化肥施用量递增趋势得到抑制,化肥施用量稳中有降。

由图 2 可知,1987—2013 年总肥及氮肥、磷肥、

钾肥施用强度均表现出稳定的递增趋势,分别由 1987 年的 120.21,95.03,19.21,5.97 kg/hm² 逐年增加到 2013 年的 841.98,461.32,181.83,198.83 kg/hm²。而 2013 年之后,各类化肥施用强度出现一定的下降趋势。

从图 3 可知,30 年间氮肥比例表现出下降趋

势,而磷肥和钾肥比例稳步提高,经计算,磷钾比例已分别由 1987 年的 15.87%和 4.76%增长到 2016 年的 21.93%和 24.60%,尤以钾肥比例增长最明显。全省氮肥、磷肥和钾肥的施用结构比例已从 1987 年的 1 : 0.20 : 0.06 逐步调整为 2016 年的 1 : 0.41 : 0.46。

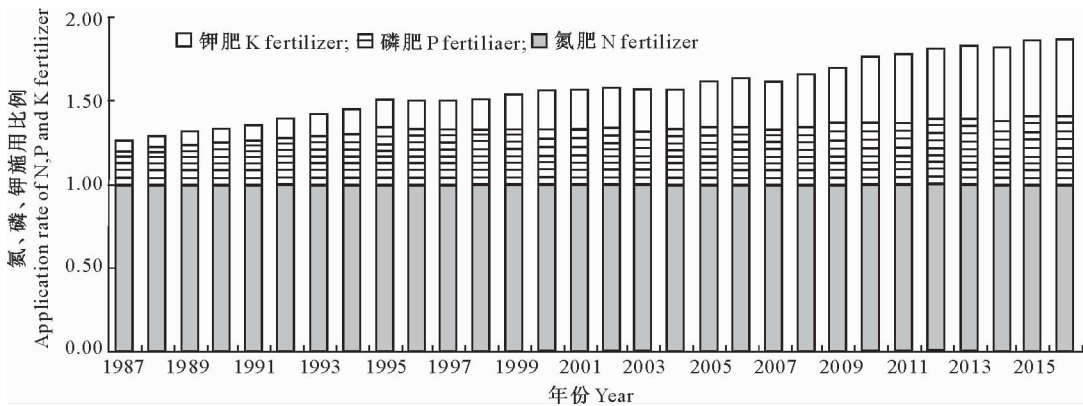


图 3 1987—2016 年陕西省化肥(氮、磷、钾)施用比例变化

Fig. 3 Variations of fertilizers (N,P,K) application rate in Shaanxi during 1987—2016

2.1.2 化肥施用空间分异 由表 1 可知,2016 年陕西省平均化肥施用强度为 799.48 kg/hm²,是全国平均水平(443.53 kg/hm²)的 1.80 倍,总体属高度过量。陕西省不同地区化肥施用强度差异悬殊,其中渭南市各类化肥施用强度最高,榆林市最低,渭南市总肥及单质氮肥、磷肥、钾肥的施用强度分别是榆林市的 7.28,5.48,12.07 和 10.59 倍。按照化肥施用强度分级标准来看,榆林为适量区,商洛为低度

过量区,安康、延安和汉中为中度过量区,西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 5 市化肥施用强度均为高度过量及以上等级。从地理区域来看,关中化肥施用强度最高,陕南次之,陕北最低。由表 1 还可知,陕西省不同区域化肥施用结构差异较大,与全省平均水平相比,陕北磷肥比例稍低,关中基本持平,陕南氮高磷钾低。

表 1 2016 年陕西省化肥施用强度

Table 1 Fertilizers intensity of Shaanxi in 2016

地区 Region	施肥强度/(kg·hm ⁻²) Fertilization intensity				N : P : K
	总肥 Total fertilizer	氮肥 N fertilizer	磷肥 P fertilizer	钾肥 K fertilizer	
榆林 Yulin	198.28	136.18	27.18	34.92	1 : 0.20 : 0.26
延安 Yan'an	625.13	271.62	144.20	209.31	1 : 0.53 : 0.77
西安 Xi'an	1 050.48	613.26	210.51	226.71	1 : 0.34 : 0.37
铜川 Tongchuan	788.79	443.84	208.65	136.30	1 : 0.47 : 0.31
宝鸡 Baoji	854.53	438.78	219.70	196.05	1 : 0.50 : 0.45
咸阳 Xianyang	1 321.75	653.08	310.30	358.37	1 : 0.48 : 0.55
渭南 Weinan	1 443.85	746.13	328.07	369.65	1 : 0.44 : 0.50
汉中 Hanzhong	679.56	373.34	153.76	152.45	1 : 0.41 : 0.41
安康 Ankang	571.57	370.31	91.14	110.12	1 : 0.25 : 0.30
商洛 Shangluo	445.74	262.63	84.56	98.55	1 : 0.32 : 0.38
陕北 North Shaanxi	310.99	171.91	58.08	80.96	1 : 0.34 : 0.47
关中 Guanzhong	1 199.41	624.83	277.08	297.51	1 : 0.44 : 0.48
陕南 South Shaanxi	581.30	344.50	113.41	123.39	1 : 0.33 : 0.36
陕西省 Shaanxi Province	799.48	427.29	176.47	195.72	1 : 0.41 : 0.46

2.2 陕西省化肥施用面源污染环境风险评价

由图 4 可知,陕西省总肥及单质氮、磷、钾肥的面源污染环境风险指数分别从 1987 年的 0.34,

0.43,0.24,0.09 稳步增长到 2012 年的 0.77,0.79,0.74 和 0.76,2012 年后各项指标稳中有降。具体来看,总肥环境风险指数于 1992 年突破安全阈值

(0.50),氮肥环境风险指数于1989年突破安全阈值,磷肥和钾肥环境风险指数分别于1995年和2001年突破安全阈值。1987—2016年,氮肥的环境

风险指数始终大于磷肥和钾肥;2009年之前,钾肥的环境风险指数一直小于磷肥,2009年之后钾肥的环境风险指数开始大于磷肥。

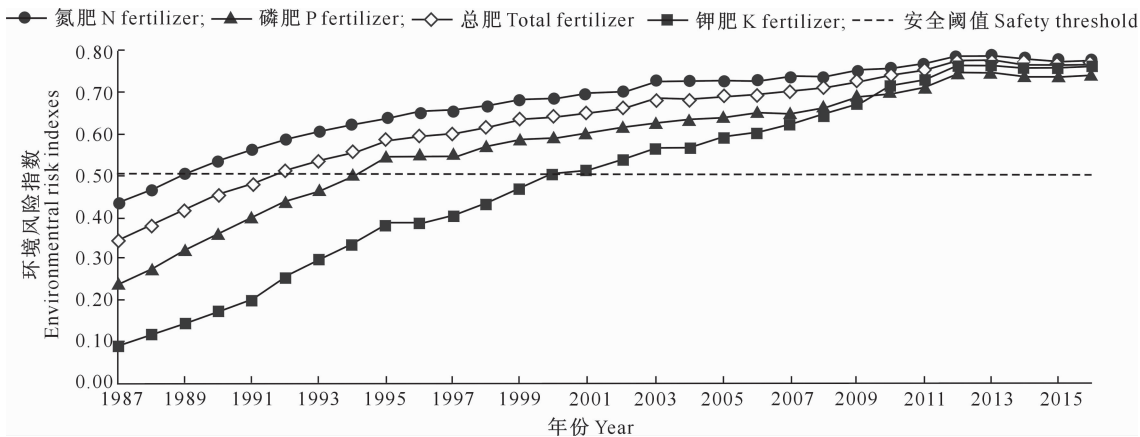


图 4 1987—2016 年陕西省化肥施用环境风险指数的变化

Fig. 4 Variations of environmental risk index of fertilizer application in Shaanxi during 1987—2016

2016 年陕西省化肥面源污染环境安全形势不容乐观,全省化肥总风险指数为 0.76(表 2),处于重度风险等级。其中榆林市化肥总风险指数最小,且是唯一一个化肥总风险指数低于安全阈值的地市;延安市、汉中市、安康市和商洛市化肥施用处于中度

风险等级;西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 5 市化肥施用均处于重度及以上风险等级。具体来看,无论是总肥,还是单质氮肥、磷肥、钾肥,关中地区的各类化肥施用环境风险指数均为最大,陕南次之,陕北最小。

表 2 2016 年陕西省化肥施用环境风险指数

Table 2 Environmental risk index of fertilizer application in Shaanxi in 2016

地区 Region	总风险指数 Total risk index	氮肥风险指数 Risk index of N fertilizer	磷肥风险指数 Risk index of P fertilizer	钾肥风险指数 Risk index of K fertilizer
榆林 Yulin	0.45	0.52	0.30	0.36
延安 Yan'an	0.70	0.68	0.70	0.77
西安 Xi'an	0.81	0.83	0.77	0.78
铜川 Tongchuan	0.77	0.78	0.77	0.69
宝鸡 Baoji	0.78	0.78	0.78	0.76
咸阳 Xianyang	0.84	0.84	0.83	0.85
渭南 Weinan	0.85	0.86	0.84	0.86
汉中 Hanzhong	0.74	0.75	0.71	0.71
安康 Ankang	0.70	0.75	0.59	0.64
商洛 Shangluo	0.65	0.68	0.58	0.61
陕北 North Shaanxi	0.55	0.58	0.48	0.56
关中 Guanzhong	0.83	0.83	0.82	0.83
陕南 South Shaanxi	0.70	0.73	0.64	0.66
陕西省 Shaanxi province	0.76	0.77	0.74	0.76

3 讨论

3.1 陕西省化肥施用空间分异的原因

以 2016 年陕西省化肥施用情况来看,关中化肥施用强度最大,陕南次之,陕北最小,这可能是种植制度和气候条件等因素存在差异所致。关中属暖温带半湿润气候,气候温和,降水较足,光照条件较好,地势平坦,作物产量高,绝佳的农业生产条件促生了农民的种植热情,该地区种植制度以一年两熟为主,

平均复种指数高达 1.48^[20],部分地市如西安市复种指数甚至超过 1.90^[20],区域粮田复种绝大多数已达一年两熟的满负荷状态。此外,近年来关中各种经济附加值高、需肥量大的设施瓜菜和水果种植面积不断扩大。良好的自然条件、较高的作物产量、无间歇的种植制度、较高的复种指数和农民对经济利益最大化的追求,直接导致了关中高强度的化肥投入。陕北较为干旱,整体地貌框架为塬、峁、梁、沟,水土流失严重,耕地肥力较低,种植制度为一年一熟或两

年三熟,复种指数仅为 0.92^[20],主要种植玉米、马铃薯等作物,较低的收益使得农民不愿意投资过多的化肥,故陕北化肥施用强度远低于关中。陕南虽温热多雨,但多为秦巴山地,“九山半水半分田”为其真实写照,耕地坡度大,水土流失风险巨大,土壤质地差,复种指数和化肥投入强度虽高于陕北地区,但远低于关中地区。

3.2 陕西省化肥施用面源污染问题

本研究结果表明,陕西省化肥施用环境风险指数连年稳增,1992 年总肥风险指数突破安全阈值 0.50,2012 年增至历史最大值 0.77,此后稳中略有下降,2016 年化肥施用总风险指数为 0.76,全省化肥施用环境风险属于重度风险等级。其中关中风险等级最高,属于严重风险等级;陕南、陕北化肥施用环境风险等级相对关中较低,分别属于中度风险和低度风险。目前,陕西省化肥过量施用导致的面源污染问题已经显现出来,其中关中地区最为引人注目,过量施用化肥已经造成了不同程度的地表水和地下水水体污染。张妍等^[22]研究表明,渭河流域关中段地表水硝酸盐(以氮计,下同)质量浓度为 1.3~35.7 mg/L,平均为 8.6 mg/L,与国家生活饮用水卫生标准(GB 5749—2006)规定的硝酸盐质量浓度上限值(10 mg/L)相比,点位超标率达 32.4%。罗大成等^[23]研究表明,在粮食生产大县西安市蓝田县,丰水期(9 月)0~20 m 饮用井水中硝酸盐平均质量浓度为 22.34 mg/L,硝酸盐最高质量浓度可达标准值(以氮计,地下水上限值为 20 mg/L)的 3 倍以上,点位超标率高达 50%。硝酸盐与人体健康关系密切,饮用水中硝酸盐质量浓度超标会导致胃癌、

结直肠癌等多种癌症发病率升高^[24]。已有研究报道,浙江省沙颍河流域氮肥施用和农田灌溉造成沿岸土壤、地下水和蔬菜硝酸盐积累,紧邻沙颍河的癌病高发村庄土壤、地下水以及蔬菜中硝态氮积累量均明显高于全区平均水平,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^[25]。此外,目前过量施用钾肥影响饮用水水质的事件虽鲜有报道,但临床医学已发现,过量 K⁺ 进入人体,容易引发高钾血症,轻者导致心率失常、机体乏困,重者会直接导致致死性心脏骤停^[26]。本研究中,陕西省钾肥环境风险指数于 2001 年突破安全阈值 0.50,2012 年达到最大值 0.77,2016 年为 0.76,仍属于重度风险等级,需引起高度警惕。综上,陕西省过量施用化肥存在巨大环境安全和人体健康风险。为此,针对陕西省不同区域化肥施用环境风险,实施靶向管控兼具现实必要性和紧迫性。

3.3 陕西省化肥施用风险管控策略

制定陕西省化肥施用风险管控策略时,应在确保农作物产量的基础上分区精准实施。就陕西省作物种植情况来看:陕北主要农作物为玉米和马铃薯;关中为小麦和玉米;陕南为小麦、玉米、马铃薯、油菜和水稻。2012—2016 年陕北、关中和陕南主要作物播种面积分别占各区域农作物播种总面积的 54%,74%和 62%。根据不同区域主要作物播种面积(表 3)^[20,27]和施肥推荐量^[28-33](表 4),加权求不同区域平均施肥推荐量如表 5 所示。其中陕北总肥推荐量为 376.32 kg/hm²,关中为 317.04 kg/hm²,陕南为 280.69 kg/hm²。

表 3 2012—2016 年陕西省不同区域主要作物的平均播种面积(×10³ hm²)

Table 3 Average planting areas of main crops in different regions of Shaanxi during 2012—2016

区域 Region	小麦 Wheat	玉米 Corn	马铃薯 Potato	油菜 Rape	水稻 Rice
陕北 North Shaanxi	—	224	229	—	—
关中 Guanzhong	923	676	—	—	—
陕南 South Shaanxi	154	229	136	139	109

注:“—”表示某作物播种面积占比较小或无面积,分析过程中暂不考虑,下同。
Note:“—” indicates the crop was not included due to small area,the same below.

表 4 陕西省主要作物施肥推荐量

Table 4 Recommended amount of fertilization for main crops in Shaanxi kg/hm²

作物 Crop	氮肥 N fertilizer			磷肥 P fertilizer			钾肥 K fertilizer		
	陕北 North	关中 Guanzhong	陕南 South	陕北 North	关中 Guanzhong	陕南 South	陕北 North	关中 Guanzhong	陕南 South
小麦 Wheat	—	150	105	—	120	85	—	50	60
玉米 Corn	203	175	128	115	75	78	75	63	60
马铃薯 Potato	135	—	105	60	—	45	165	—	135
油菜 Rape	—	—	158	—	—	75	—	—	63
水稻 Rice	—	—	165	—	—	75	—	—	90

在确保作物产量的基础上,陕西不同区域减肥控险策略如下:陕北地区施肥强度可基本维持现状,但应进一步优化施肥结构,注意减氮增磷补钾;关中应以降低化肥投入为抓手,逐步调减化肥施用量,在施肥结构调控方面要注意稳氮提磷减钾;陕南地区应在减量的基础上继续优化施肥结构,注意减氮增磷补钾。需要指出的是,在计算不同区域推荐施肥

量和施肥比例过程中,由于受数据获取途径限制,本研究只粗略考虑了陕西省三大区域主要作物施肥情况,未能全方位考虑不同地区土壤肥力和详细的种植结构。同时,本研究只针对三大区域提出了宏观施肥调控建议,依托更详细种植数据、实施更精准的县域尺度化肥施用环境风险管控值还需进一步探讨。

表 5 陕西省不同区域平均施肥推荐量

Table 5 Recommended fertilizers amount in different regions of Shaanxi					kg/hm ²
区域 Region	氮肥 N fertilizer	磷肥 P fertilizer	钾肥 K fertilizer	总肥 Total fertilizer	N : P : K
陕北 Noth Shaanxi	168.62	87.20	120.50	376.32	1 : 0.52 : 0.71
关中 Guanzhong	160.57	100.98	55.50	317.04	1 : 0.63 : 0.35
陕南 South Shaanxi	130.00	72.58	78.11	280.69	1 : 0.56 : 0.60

4 结 论

1)1987—2013 年陕西省化肥施用量、施用强度整体呈递增趋势,2013 年之后全省化肥施用量、施用强度稳中有降。1987—2016 年氮肥比例表现出下降趋势,而磷钾比例稳步提高,氮磷钾施用比例已经由 1987 年 1 : 0.20 : 0.06 逐步优化调整为 2016 年的 1 : 0.41 : 0.46。

2)2016 年陕西省化肥施用强度达 799.48 kg/hm²,属于高度过量水平。陕西省各地市化肥施用强度表现出明显的空间分异特点,其中关中化肥施用强度最高,陕南次之,陕北最低。

3)2016 年陕西省化肥施用总风险指数为 0.76,属于重度风险等级。各地市化肥施用环境风险空间分异明显,其中关中各类化肥风险指数均最大,陕南次之,陕北最小。对照施肥推荐标准,在确保作物产量的基础上,陕北可基本维持目前施肥强度,但在施肥结构上应注意减氮增磷补钾;关中应把降低施肥强度作为突破口,施肥结构注意稳氮提磷减钾;陕南应在降低化肥施用强度基础上继续优化施肥结构,注意减氮增磷补钾。

[参考文献]

[1] 张福锁. 科学认识化肥的作用及合理利用 [J]. 农机科技推广, 2017(1):38-40.
Zhang F S. Scientific understanding of the function and rational utilization of chemical fertilizer [J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2017(1):38-40.

[2] 张福锁. 没有化肥就没有现在的农业 [J]. 黑龙江粮食, 2017(8):49-50.
Zhang F S. Without fertilizer, there would be no agriculture now [J]. Journal of Heilongjiang Grain, 2017(8):49-50.

[3] 国家统计局. 国际统计年鉴 2018 [M]. 北京:中国统计出版社,

2019.
National Bureau of Statistics. International statistical yearbook 2018 [M]. Beijing:China Statistics Press, 2019.

[4] 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.
Liu Q P. Distribution of fertilizer application and its environmental risk in different provinces of China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18):3596-3605.

[5] 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.
Zhang W L, Wu S X, Ji H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I : estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7):1008-1017.

[6] 向平安, 周 燕, 黄 璜, 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.
Xiang P A, Zhou Y, Huang H, et al. Discussion on the green tax stimulation measure of nitrogen fertilizer non-point source pollution control—using the Dongting Lake Area [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(2):330-337.

[7] Wang Z H, Zhao D Z, Cao B, et al. Research on simulation of non-point source pollution in Qingjiang River Basin based on SWAT model and GIS [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(1):57-61.

[8] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价 [J]. 生态学报, 2011, 31(16):4568-4578.
Tian Y W, Huang Z L, Xiao W F, et al. Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16):4568-4578.

[9] 尹黎明, 潘剑军, 王秀英. APEX 模型在淮河中上游坡面尺度的适宜性研究 [J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2):1-7.
Yin L M, Pan J J, Wang X Y. Applicability of APEX model for

- slope scale in the Middle and Upland Huaihe River [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2012, 10(2): 1-7.
- [10] 周亮,徐建刚,孙东琪,等.淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制[J].环境科学,2013,34(2):141-148.
Zhou L, Xu J G, Sun D Q, et al. Spatial heterogeneity and classified control of agricultural non-point source pollution in Huaihe River Basin [J]. Environmental Science, 2013, 34(2): 141-148.
- [11] 吴义根,冯开文,李谷成.我国农业面源污染的时空分异与动态演进[J].中国农业大学学报,2017,22(7):186-199.
Wu Y G, Feng K W, Li G C. Spatial-temporal pattern and dynamic evolution of agricultural non-point source pollution in China [J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(7): 186-199.
- [12] 熊昭昭,王书月,童雨,等.江西省农业面源污染时空特征及污染风险分析[J].农业环境科学学报,2018,37(12):2821-2828.
Xiong Z Z, Wang S Y, Tong Y, et al. Analysis on spatio-temporal characteristics of agricultural non-point sources pollution and pollution risk in Jiangxi Province, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(12): 2821-2828.
- [13] 黄红兰,曾斌,王胜,等.赣州市农业面源污染的区域空间分异性研究[J].江西农业大学学报,2010,32(4):835-841.
Huang H L, Zeng B, Wang S, et al. A preliminary study on spatial differences of agricultural non-point source pollution in Ganzhou City, Jiangxi Province [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2010, 32(4): 835-841.
- [14] 董宇虹,敖天其,黎小东,等.濠溪河泸县境内农业面源污染综合评价[J].四川农业大学学报,2012,30(4):456-462.
Dong Y H, Ao T Q, Li X D, et al. Comprehensive evaluation on the agricultural non-point source pollution of Laixi River in Lu County [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2012, 30(4): 456-462.
- [15] 左喆瑜.农户对环境友好型肥料的选择行为研究—以有机肥及控释肥为例[J].农村经济,2015(10):72-77.
Zuo Z Y. Study on farmers' choice of environmentally friendly fertilizers — taking organic fertilizers and controlled release fertilizers as examples [J]. Rural Economy, 2015(10): 72-77.
- [16] 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.
Liu Q P. A research on spatial-temporal features of environmental risk from chemical fertilization utilization in Henan Province [J]. Ecological Economy, 2014, 30(10): 175-178.
- [17] 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.
Liu Q P. Spatio-temporal differentiation and environmental risk assessment of fertilization in Shandong Province, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(7): 208-214.
- [18] 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):143-155.
- Tian R H, Huang C Y, Deng L J, et al. Environmental risk assessment and trend simulation of non-point source pollution of chemical fertilization in Sichuan Province, China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 143-155.
- [19] 国家统计局.中国统计年鉴2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [20] 陕西省统计局.陕西统计年鉴2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
Shaanxi Province Bureau of Statistics. Shaanxi statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [21] 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.
Liu Q P. Environmental risk analyses of non-point source pollution from fertilization in Anhui Province, China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(6): 876-881.
- [22] 张妍,张鑫,毕直磊,等.渭河流域关中段地表水硝酸盐氮污染现状及其源解析[J].安全与环境学报,2018,18(6):342-347.
Zhang Y, Zhang X, Bi Z L, et al. Nitrate nitrogen pollution and source trace in the surface water of Guanzhong area, Shaanxi, in the Weihe River Basin [J]. Journal of Safety and Environment, 2018, 18(6): 342-347.
- [23] 罗大成,卢新卫,任春辉,等.蓝田县农村居民饮用地下水中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.
Luo D C, Lu X W, Ren C H, et al. Nitrate nitrogen pollution of drinking groundwater and its health risk assessment for rural residents in Lantian County, China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(4): 95-99.
- [24] 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.
- [25] 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.
Chen Y Z, Chen Z F, Ma J H, et al. Effects of soil nitrate nitrogen on the nitrate accumulation in groundwater and vegetables in a typical high cancer incidence area of Shaying River Basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(3): 247-255.
- [26] 刘洪君.高钾血症引起室性心律失常抢救成功1例分析[J].中国医药指南,2010,8(17):151.
Liu H J. Analysis of one of successful rescue of ventricular arrhythmia caused by hyperkalemia [J]. Guide of China Medicine, 2010, 8(17): 151.

watermelon [J]. Contemporary Eco-Agriculture, 2006, 15(1): 106-108.

[35] 燕勇飞,何景春. 生物有机肥在西瓜上的应用研究 [J]. 现代农业科技, 2012(14): 215-216.

Yan Y F, He J C. Application of bio-organic fertilizer on watermelon [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2012(14): 215-216.

[36] 李庆伟,张亚菲,王应君,等. 有机肥对西瓜品质和产量的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2015(2): 33-36.

Li Q W, Zhang Y F, Wang Y J, et al. Effects of organic fertilizer on watermelon quality and yield [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2015(2): 33-36.

[37] 陈 钢,宋桥生,吴礼树. 不同供氮水平对西瓜产量和品质的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(4): 472-475.

Chen G, Song Q S, Wu L S. Effects of different nitrogen supply levels on yield and quality of watermelon [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(4): 472-475.

[38] 曾令涛,王东升,王祯祎,等. 蚯蚓堆肥与益生菌配施对土壤肥力及微生物特性的影响 [J]. 土壤, 2016, 48(6): 1100-1107.

Zeng L T, Wang D S, Wang Z W, et al. Effects of worm-composting combined with probiotics on soil fertility and microbial characteristics [J]. Soils, 2016, 48(6): 1100-1107.

(上接第 83 页)

[27] 方玉川,常 勇,黑登照. 2016 年陕西省马铃薯产业发展现状、存在问题及建议 [C]//中国作物学会. 2017 年中国马铃薯大会论文集. 北京:中国作物学会, 2017: 138-141.

Fang Y C, Chang Y, Hei D Z. Development status, existing problems and suggestions of potato industry in Shaanxi Province in 2016 [C]//China Crop Society. China potato conference proceedings in 2017. Beijing: China Crop Society, 2017: 138-141.

[28] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.

Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6.

[29] 王圣瑞. 陕西省和北京市主要作物施肥状况与评价 [D]. 北京:中国农业大学, 2002.

Wang S R. Fertilization status and evaluation of main crops in Shaanxi and Beijing [D]. Beijing: China Agricultural University, 2002.

[30] 同延安, Ove E, 张树兰, 等. 陕西省氮肥过量施用现状评价 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239-1244.

Tong Y A, Ove E, Zhang S L, et al. Evaluation of over-application of nitrogen fertilizer in Shaanxi Province [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1239-1244.

[31] 张福锁,陈新平,陈 清,等. 中国主要作物施肥指南 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2009.

Zhang F S, Chen X P, Chen Q, et al. Fertilization guidelines for major crops in China [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009.

[32] 张福锁,陈新平,崔振岭,等. 主要作物高产高效技术规程 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2010.

Zhang F S, Chen X P, Cui Z L, et al. Technical regulations for high yield and high efficiency of main crops [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010.

[33] 王小英,陈占飞,胡 凡,等. 陕西省农田化肥投入过量与不足的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 159-165.

Wang X Y, Chen Z F, Hu F, et al. Study on the excessive and insufficient of chemical fertilizer inputs on farmland in Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(6): 159-165.