

基于不同评价方法的绿洲棉田土壤质量综合评价

郑琦¹,王海江^{1*},董天宇¹,吕新¹,John A Yunger²,冉丁¹,戴第伟¹

(1.石河子大学农学院,新疆石河子832000;2.伊利诺伊州长州立大学生物系,芝加哥60466)

摘要:【目的】了解新疆绿洲棉田土壤质量状况。【方法】采集新疆主要棉区1355个土壤样品,测定其pH值、含盐量、黏粒量、土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜、有效锌、土壤重金属全量铬、铜、锌、砷、铅、重金属有效铬、有效砷、有效铅、氟乐灵残留量、二甲戊乐灵残留量以及农膜残留量共21项指标,采用模糊综合评价法(FCE)、基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法(N-PI)及土壤综合质量指数评价方法(SQI)分别对绿洲棉田土壤质量进行了综合评价,并对其评价结果进行了比较分析。【结果】新疆绿洲棉田土壤呈碱性,含盐量均值为3.44 g/kg,为轻度盐化土壤,有机质和全氮均偏低,速效磷、速效钾、有效硫及微量元素有效锌、有效铜较为丰富;Cr、Cu、Zn、As、Pb等5种重金属均未超过国家二级标准,但与新疆土壤元素背景值作比较均有累积现象;棉田土壤中重金属有效态Cr、As、Pb、氟乐灵残留及二甲戊乐灵残留量均在适宜范围内,农膜残留量均值为190.98 kg/hm²,农膜污染较为严重。利用FCE法对土壤进行评价,发现绿洲棉田土壤平均质量低;N-PI法对土壤进行综合评价,表明大部分棉田土壤已受轻度污染;利用SQI法进行评价,发现土壤质量综合指标值SQI介于0.31~0.73之间,绿洲棉田土壤综合质量总体中等偏低。不同评价方法得出的评价结果有差异,在本研究中SQI法为最优的评价方法,其评价结果更为客观、科学,符合新疆绿洲棉田土壤质量的实际状况。【结论】新疆棉区土壤质量总体较差,采用通用的评价方法对其进行综合评价,SQI评价法最合理,FCE和N-PI评价法次之。

关键词:棉田;土壤质量;农膜;评价;比较

中图分类号:S158.4;X825

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180004

郑琦,王海江,董天宇,等.基于不同评价方法的绿洲棉田土壤质量综合评价[J].灌溉排水学报,2019,38(3):90-98.

0 引言

土壤是人类生存和发展的物质基础,土壤质量在维护可持续土壤生产力和土壤-植物-动物-人类食物链安全健康中具有重要作用,因此,土壤质量保护是社会经济持续发展和人类生存所面临的一项重要任务^[1-2]。近年来,随着社会经济的发展,人类对土地资源的过度开发利用及不恰当的管理措施等因素导致土壤退化、污染越来越严重^[3-4]。了解土壤质量现状、改善土壤质量及保护土壤环境已迫在眉睫,采用合理的评价方法,适时准确地反映土壤质量,是解决这一问题的基础。

新疆是我国主要的绿洲农业,因其适宜的地理环境和成熟的栽培技术,已成为我国重要的棉花生产基地,按照自然地理位置主要分为东疆、北疆和南疆3个主要产区,其生产规模大,植棉时间长,种植比例高,植棉区棉花种植面积占耕地总面积的60%~70%,个别地区高达80%以上,棉花大面积长期连作现象普遍^[5-7]。随着农药、肥料和农膜的大量使用,新疆棉田土壤质量状况发生了很大的变化。因此,了解绿洲棉田土壤质量状况并对其进行评价势在必行。目前,国内外对新疆绿洲棉田土壤质量评价的研究逐渐增多,也取得了一定的成果。贡璐等^[8]选取了土壤pH值、有机质、全氮、速效磷、速效钾、酶等12个指标,基于因子分析和聚类分析法对新疆阿拉尔垦区不同连作年限的棉田进行了土壤质量评价并划分等级。赵丽莉等^[9]采用综合指数法对新疆巴音郭楞蒙古自治州博湖县耕地进行土壤质量评价,发现博湖县耕地质量主要处于中等水平,且主要受自然因素、土壤理化性质不良、肥力较低、盐渍化程度高和人为因素土壤管理水平低的影响。王雪

收稿日期:2018-01-02

基金项目:国际科技合作项目(2015DFA11660);兵团科技项目(2014AB002);石河子大学校级项目(RCZX20152);兵团重大科技计划项目(2018AA004)

作者简介:郑琦(1992-),女,新疆乌鲁木齐人。硕士研究生,主要从事土壤重金属污染与环境评价等方面的研究。E-mail: 973913270@qq.com

通信作者:王海江(1980-),男,河南偃师人。副教授,硕士生导师,主要从事绿洲水土资源利用方面的研究。E-mail: whj-219@163.com

梅等^[10]结合GIS和土壤质量模糊综合评价法对新疆库车县土壤质量进行了综合评价,得出了库车县耕层土壤质量总体处于中低水平的结论。前人^[11-13]选取砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、锌(Zn)和铜(Cu)等重金属指标,采用单因子污染指数法、内梅罗综合指数法以及地积累指数法等方法对新疆棉田土壤质量进行评价,总结出棉区土壤重金属富集现象明显,具有潜在危害性。以往研究考虑的评价因子多是单方面的,针对新疆棉区棉田土壤理化性质、重金属污染、农药残留和农膜残留多方面因子,综合对土壤质量进行评价的研究还略显不足。

本研究以新疆主要棉区为研究对象,综合考虑新疆绿洲棉区连作现象、人为肥料投入、种植模式和田间管理等因素,选取土壤pH值、含盐量、黏粒量、土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜、有效锌、土壤重金属全量铬、铜、锌、砷、铅、重金属有效态铬、有效砷、有效铅、氟乐灵残留量、二甲戊乐灵残留量以及农膜残留量共21项评价指标,采用模糊综合评价法(FCE)、基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法(N-PI)及土壤综合质量指数评价方法(SQI)分别对棉区棉田土壤质量进行综合评价,并对其评价结果进行比较分析,探讨不同方法对研究区土壤质量的评价合理性,以期新疆绿洲农业建设和土壤环境质量综合治理提供一定理论和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆地处亚欧大陆腹地,地理坐标东经73°40′—96°23′,北纬34°25′—49°10′,属典型的温带大陆性气候,温差大、光热资源丰富,年均日照时间为2 500~3 500 h。降水量少,气候干燥,年均降水量为150 mm左右。各地气温与降水量相差较大,南疆的气温高于北疆,北疆的降水量高于南疆,且在年内各月分布不均,最冷月(1月)平均气温在-20℃以下,最热月(7月)平均气温为33℃以上。

新疆棉区主要分布在塔里木盆地、准葛尔盆地、吐鲁番盆地和哈密盆地周缘,即北疆昌吉回族自治州、博尔塔拉蒙古自治州、南疆阿克苏地区、喀什地区以及东疆哈密地区,根据查阅大量文献和资料(参考新疆统计年鉴),结合种植区域面积与产量选择7个主要棉区:哈密、博乐、昌吉、奎屯、石河子、阿克苏、喀什。棉区以覆膜滴灌为主要的灌溉方式。

1.2 土壤样品的采集及分析

本研究分别于2015年和2016年的9—10月选取连作年限超过10 a的棉田进行采样,采集棉田总数452块,面积均大于3.333 hm²。每块棉田均匀分布3个样点,每个样点设3次重复,各采样点均使用GPS定位,采样深度0~20 cm。具体样点数为:哈密99个、博乐186个、昌吉123个、奎屯303个、石河子236个、阿克苏201个、喀什207个,共计1 355个样点。土样去除植物根系、石块等杂质,经自然风干、研磨过筛以供测定。

土壤理化性质测定包括土壤pH值、含盐量、黏粒量、土壤有机质、全氮量、速效磷量、速效钾量、有效硫量、有效铜量、有效锌量等10个指标;土壤污染物测定主要包括土壤重金属全量铬、铜、锌、砷、铅、重金属有效态铬、有效砷、有效铅、氟乐灵农药残留量、二甲戊乐灵农药残留量、农膜残留量共计11种污染物,具体实验方法参照《土壤农化分析》^[14],对每个土样所测指标进行3次平行测定,结果取其平均值。

1.3 评价指标标准化处理

通过模糊数学中的隶属度函数法对数据进行了标准化处理^[15],以消除量纲的影响^[16]。

1.4 评价指标隶属度及权重的确定

根据新疆棉区土壤质量实际情况对评价指标进行分级^[17-23](表1和表2),采用模糊数学法(隶属度函数)和因子分析法确定各指标的隶属度和权重。

结合棉区评价指标的实际生产意义,有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜、有效锌属于升型隶属度函数,土壤含盐量、铬、砷、铅、有效铬、有效砷、有效铅、氟乐灵、二甲戊乐灵、农膜残留量属于降型隶属度函数,pH值、黏粒量、铜、锌属于梯形隶属度函数,结合各指标的分级标准、最大值、最小值及棉花适宜生长范围确定函数的转折点 U 、 L 、 O_1 和 O_2 ,取值详见表3。

升型隶属度函数表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq U \\ 0.1 + 0.9(x-L)/(U-L) & L < x < U \\ 0.1 & x \leq L \end{cases} \quad (1)$$

降型隶属度函数表达式为:

f(x) = { 0.1 x ≥ U; 1.0 - 0.9(x - L)/(U - L) L < x < U; 1.0 x ≤ L } (2)

梯形隶属度函数表达式为:

f(x) = { 0.1 x ≤ L, x ≥ U; 0.1 + 0.9(x - L)/(O1 - L) L < x < O1; 1.0 O1 ≤ x ≤ O2; 1.0 - 0.9(x - O2)/(U - O2) O2 < x < U } (3)

式(1)一式(3)中:U为函数的上限值;L为函数的下限值;O1和O2为函数的最优质;x为测定值。

表 1 新疆棉区土壤评价指标等级划分

等级	一	二	三	四	五
pH值	6.5~7.0	7.0~7.5	7.5~8.0	8.0~8.5	≥8.5
含盐量/(g·kg ⁻¹)	<5.54	5.54~7.27	7.27~8.66	8.66~13.45	>13.45
有机质量/(mg·kg ⁻¹)	>17	14~17	10~14	6~10	<6
全氮量/(g·kg ⁻¹)	>1	0.75~1	0.75~0.5	0.5~0.25	<0.25
速效磷量/(g·kg ⁻¹)	>35	35~25	25~15	15~5	<5
速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	>220	175~220	130~175	85~130	<85
有效硫量/(mg·kg ⁻¹)	>32	24~28	20~24	16~20	<16
有效铜量/(mg·kg ⁻¹)	>2	1.2~2	0.8~1.2	0.2~0.8	<0.2
有效锌量/(mg·kg ⁻¹)	>7.0	2.0~7.0	1.0~2.0	0.5~1.0	<0.5
氟乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	<0.025	0.025~0.035	0.035~0.045	0.045~0.050	>0.05
二甲戊乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	<0.03	0.03~0.05	0.05~0.07	0.07~0.10	>0.1
农膜残留量/(kg·hm ⁻²)	<60	60~70	70~80	80~90	>90
黏粒量/%	10~40	40~60	0~10	>60	

表 2 金属元素国际二级标准值和新疆背景值

金属元素	铬	铜	锌	砷	铅
国家二级标准(pH>7.5)	250	100	300	25	80
新疆土壤元素背景值	47.60	20.20	61.50	8.80	19.80

表 3 隶属度函数曲线转折点取值

评价指标	U	L	O1	O2	评价指标	U	L	O1	O2
pH值	8.500	6.500	6.500	7.500	铜量/(mg·kg ⁻¹)	100.000	9.730	20.200	-
含盐量/(g·kg ⁻¹)	13.450	5.540	-	-	锌量/(mg·kg ⁻¹)	300.000	30.000	61.500	-
黏粒量/%	60.000	0.000	10.000	40.000	砷量/(mg·kg ⁻¹)	25.000	3.130	-	-
有机质量/(g·kg ⁻¹)	17.000	6.000	-	-	铅量/(mg·kg ⁻¹)	80.000	10.620	-	-
全氮量/(g·kg ⁻¹)	1.000	0.250	-	-	有效铬量/(mg·kg ⁻¹)	6.830	0.020	-	-
速效磷量/(mg·kg ⁻¹)	35.000	5.000	-	-	有效砷量/(mg·kg ⁻¹)	4.830	0.004	-	-
速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	220.000	85.000	-	-	有效铅量/(mg·kg ⁻¹)	7.240	0.070	-	-
有效硫量/(mg·kg ⁻¹)	32.000	16.000	-	-	氟乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	0.050	0.025	-	-
有效铜量/(mg·kg ⁻¹)	2.000	0.200	-	-	二甲戊乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	0.100	0.030	-	-
有效锌量/(mg·kg ⁻¹)	7.000	0.500	-	-	农膜残留量/(kg·hm ⁻²)	90.000	60.000	-	-
铬量/(mg·kg ⁻¹)	250.000	12.580	-	-					

为避免人为打分的主观影响,本研究采用因子分析法确定各评价指标的权重系数。通过因子分析,数据由最大正交旋转法旋转后得到各评价因子主成分的特征值、贡献率及因子载荷矩阵,并由因子载荷矩阵求得各评价指标的权重值(表4)。

1.5 土壤质量评价方法

本研究综合选择土壤理化性质和土壤污染物共21项指标,采用模糊综合评价法(FCE)、基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法(N-PI)^[15,24-25]、土壤综合质量指数评价方法(SQI)分别对新疆主要棉区农田土壤质量进行综合评价。

1.5.1 模糊综合评价法

模糊综合评价法是根据各指标的权重和隶属度计算各样点质量指数值,计算式为:

FCE = Σ (Wi * Ni) (4)

式中:Wi表示第i个因子的权重;Ni代表第i个因子的隶属度;n为评价因子的总数目。

表4 因子分析结果及各评价指标的权重值

评价指标	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	权重值
pH值	0.080	-0.083	0.080	0.952	-0.012	-0.004	0.097	0.017	0.076
含盐量	0.175	-0.198	0.117	-0.264	0.038	-0.455	-0.030	0.071	0.030
黏粒量	0.212	-0.153	0.112	0.013	0.007	0.891	-0.059	-0.015	0.072
有机质量	0.318	0.892	0.155	0.013	-0.010	-0.008	-0.075	-0.123	0.077
全氮量	0.323	0.795	0.257	-0.112	0.113	0.018	0.101	-0.131	0.070
速效磷量	-0.218	0.024	0.085	0.146	0.011	-0.012	0.951	-0.030	0.080
速效钾量	0.058	0.095	0.301	0.042	0.013	-0.027	-0.057	-0.075	0.009
有效硫量	-0.046	0.102	0.114	0.116	0.028	0.021	0.051	0.010	0.003
有效铜量	0.884	0.165	-0.137	0.051	-0.098	0.005	-0.254	-0.004	0.074
有效锌量	0.916	0.039	-0.132	-0.006	-0.017	0.004	-0.002	-0.013	0.070
铬量	0.260	0.124	-0.248	-0.062	-0.093	-0.041	-0.065	0.012	0.013
铜量	-0.051	0.083	0.107	-0.040	0.978	-0.095	0.079	-0.029	0.081
锌量	-0.085	0.102	0.923	-0.090	0.286	-0.113	0.065	-0.013	0.079
砷量	-0.205	-0.319	-0.411	0.445	-0.024	0.169	0.010	-0.031	0.044
铅量	0.209	-0.084	-0.242	0.153	-0.071	-0.058	-0.069	-0.017	0.012
有效铬量	-0.143	0.002	0.074	-0.047	0.210	0.032	-0.043	0.068	0.006
有效砷量	-0.721	-0.181	-0.080	0.106	0.139	0.050	-0.059	0.187	0.051
有效铅量	-0.741	-0.208	-0.071	0.131	-0.028	-0.077	0.172	-0.054	0.053
氟乐灵量	-0.081	-0.163	-0.108	-0.031	0.061	-0.073	-0.026	0.969	0.081
二甲戊乐灵量	-0.098	0.047	0.306	0.001	-0.060	0.195	0.087	0.008	0.013
农膜残留量	-0.066	0.026	-0.031	0.187	-0.098	0.115	0.017	-0.032	0.005
特征值	3.236	1.793	1.545	1.329	1.159	1.124	1.067	1.030	
方差贡献	0.189	0.123	0.143	0.066	0.099	0.046	0.083	0.072	
累积贡献	0.189	0.312	0.454	0.521	0.620	0.666	0.749	0.821	

1.5.2 基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法

基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法是运用内梅罗污染指数法分别计算对土壤有正效应的土壤指标(土壤肥力指标)的综合质量指数和对土壤有负效应的土壤指标(pH值、含盐量、黏粒、重金属、农药残留、农膜残留)的综合质量指数,采用加权求和的方法最终求得土壤质量综合指数,计算式为:

$$N-PI = W_{SFI} \sqrt{\frac{SFI_{Min}^2 + SFI_{Ave}^2}{2}} \cdot \frac{n-1}{n} + W_{PI} \sqrt{\frac{PI_{Max}^2 + PI_{Ave}^2}{2}} \quad (5)$$

1.5.3 土壤综合质量指数法

土壤综合质量指数法是以土壤各评价指标对土壤综合质量的正面和负面两方面不同的影响为基本依据,结合各评价指标的分级标准,综合土壤理化性质和污染物对土壤质量进行综合评价,计算式为:

$$SQI = \begin{cases} 0 & PI_{Ave} > 1 \\ \sqrt{(SFI_{Min}^2 + SFI_{Ave}^2) / (PI_{Max}^2 + PI_{Ave}^2)} & 0.3 < PI_{Ave} \leq 1 \\ \sqrt{SFI_{Min}^2 + SFI_{Ave}^2} & PI_{Ave} \leq 0.3 \end{cases} \quad (6)$$

式(5)、式(6)中: SFI 为土壤肥力指数,计算方法为: SFI =土壤肥力的实测值 S /各肥力指标的分级标准 S_i ,有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜及有效锌 S_i 取值为新疆棉田土壤主要养分含量分级中高级标准(见表1), SFI_{Min} 为 SFI 最小值, SFI_{Ave} 为 SFI 均值; PI =土壤污染物的实测值 C /国家土壤环境质量标准中的二级标准值 C_i ,由于土壤pH值、盐分、黏粒量在一定范围内对土壤质量产生负极影响,故按照土壤污染物计算,结合新疆石灰性碱性、含盐量高的土壤特点,pH的 C_i 取值为8.5,盐分的 S_i 取值为新疆棉田土壤盐分分级标准中最大限值,为13.45 g/kg,黏粒量的 S_i 取值为棉花最适宜生长的黏粒量范围的最大限值,为40%;由于重金属有效态未有相关标准,故其 C_i 值取其最大值,氟乐灵、二甲戊乐灵、农膜残留量的 C_i 值取为新疆棉区土壤评价指标等级划分建议中的最大限值。

1.6 土壤质量评级标准

结合FCE评价结果和SQI评价结果划定土壤质量指数(FCE、SQI)评价标准(表5),N-PI评价法的结果参照综合污染指数评价标准(表6)。

1.7 数据统计分析

采用Excel、SPSS17.0对数据进行作图及统计分析。

表5 土壤质量指数评价标准		
等级	指数(<i>I</i>)	土壤综合质量等级
I	$I \leq 0.45$	极低
II	$0.45 < I \leq 0.65$	低
III	$0.65 < I \leq 0.85$	中
IV	$I > 0.85$	高

注 *I* 代表 FCE、SQI 指数值。

表6 综合污染指数评价标准		
指数(<i>I</i>)	污染等级	污染水平
$I \leq 0.7$	安全(IV)	清洁
$0.7 < I \leq 1$	警戒线(III)	尚清洁
$1 < I \leq 2$	轻污染(II)	已受污染
$2 < I \leq 4$	重污染(I)	受重度污染

注 *I* 代表 N-PI 指数值。

2 结果与分析

2.1 各评价指标的统计分析

绿洲棉田土壤质量评价指标的统计特征见表 7。由表 7 可知,从研究区土壤理化性质指标来看,土壤 pH 值在 6.990~8.930 之间,变异系数为 4.320%,变异程度小,属碱性土壤;土壤含盐量最大值为 10.150 g/kg,最小值为 0.520 g/kg,变异系数为 93.075%,变异较大,属于中等变异程度,土壤平均含盐量为 3.437 g/kg,属于轻度盐化土壤;土壤黏粒量范围为 4.200%~69.900%,平均值为 26.429%,属中等变异;土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜和有效锌质量分数分别为 11.868 g/kg、0.526 g/kg、22.054 mg/kg、299.715 mg/kg、244.172 mg/kg、2.443 mg/kg 和 4.987 mg/kg,各指标的变异系数介于 32.270%~63.032%,呈中等变异强度,参照新疆棉区土壤评价指标等级划分建议(表 1),研究区有机质和全氮均属于三级水平,其他养分均较为丰富。

表 7 各评价指标的统计特征值

评价指标	最大值	最小值	平均值	标准差	偏度系数	峰度系数	变异系数%
pH 值	8.930	6.990	7.870	0.340	-0.239	0.137	4.320
含盐量/(g·kg ⁻¹)	10.150	0.520	3.437	3.199	1.680	2.419	93.075
黏粒量/%	69.900	4.200	26.429	14.697	0.608	-0.352	55.609
有机质/(g·kg ⁻¹)	32.240	2.730	11.868	4.988	0.782	0.587	42.029
全氮量/(g·kg ⁻¹)	1.320	0.110	0.526	0.219	0.727	0.206	41.635
速效磷量/(mg·kg ⁻¹)	89.330	2.140	22.054	13.901	1.290	2.192	63.032
速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	497.360	89.500	299.715	96.718	0.014	-0.710	32.270
有效硫量/(mg·kg ⁻¹)	385.940	15.500	244.172	103.441	-0.518	-0.733	42.364
有效铜量/(mg·kg ⁻¹)	5.860	0.003	2.443	1.433	0.071	-0.638	58.657
有效锌量/(mg·kg ⁻¹)	20.120	0.020	4.987	2.699	0.932	3.484	54.121
铬量/(mg·kg ⁻¹)	131.390	12.580	47.404	30.079	0.526	-1.189	63.452
铜量/(mg·kg ⁻¹)	87.820	9.730	41.019	17.548	-0.028	-0.738	42.780
锌量/(mg·kg ⁻¹)	110.000	30.000	68.297	14.575	0.305	-0.257	21.341
砷量/(mg·kg ⁻¹)	38.890	3.130	11.083	5.724	2.164	5.519	51.647
铅量/(mg·kg ⁻¹)	26.860	10.620	17.955	3.200	0.291	-0.308	17.822
有效铬量/(mg·kg ⁻¹)	6.830	0.020	0.534	0.471	1.309	2.715	88.202
有效砷量/(mg·kg ⁻¹)	4.830	0.006	1.777	1.009	0.273	0.022	56.781
有效铅量/(mg·kg ⁻¹)	7.240	0.070	2.733	1.507	-0.015	-0.727	55.141
氟乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	0.198	0.005	0.025	0.024	0.261	2.719	96.000
二甲戊乐灵量/(mg·kg ⁻¹)	0.127	0.004	0.021	0.017	0.590	0.708	80.952
农膜残留量/(kg·hm ⁻²)	364.510	71.560	190.976	59.044	0.465	-0.184	30.917

从土壤污染物指标来看,研究区土壤重金属 Cr、Cu、Zn、As 和 Pb 均值分别为 47.404、41.019、68.297、11.083 和 17.955 mg/kg,均低于国家土壤环境质量二级标准,将其均值与新疆土壤元素背景值作比较可知,研究区重金属 Cr 和 Pb 均值略低于新疆土壤背景值,Cu、Zn、As 均值均高于新疆土壤背景值;重金属有效态 Cr、As、Pb 均值分别为 0.534、1.777、2.733 mg/kg;氟乐灵农药残留量在 0.005~0.198 mg/kg 之间,二甲戊乐灵农药残留量在 0.004~0.127 mg/kg 之间,均值分别为 0.025、0.021 mg/kg,均在适宜范围内,但是个别土壤农药残留量较高^[23];新疆棉区农膜残留污染严重^[26],在本研究中,农膜残留量范围为 71.560~364.510 kg/hm²,均值为 190.976 kg/hm²。土壤中各污染物指标的变异系数均在 10%~100%之间,其中 Pb 变异系数相对较小,为 17.822%,有效 Cr、氟乐灵和二甲戊乐灵变异系数相对较大,分别为 88.202%、96.000%和 80.952%,均表现中等变异。

2.2 各评价指标样点等级分布

图 1 和图 2 是各评价指标的样点等级分布图。参照新疆棉区土壤评价指标等级划分建议(表 1),指标等级越高土壤质量的状况越不好。由图 1 可知,棉区大部分棉田土壤 pH 值为三级和四级,符合新疆石灰性碱

性土壤的特点,而土壤含盐量和黏粒量状况较为良好,大多数样点在适宜范围内,一方面反映出新疆种植棉花的农田土壤物理性状相对较好,另一方面也说明膜下滴灌技术的应用明显降低了棉田耕层土壤含盐量^[27-28];土壤养分指标中,大部分土壤有机质、全氮、速效磷均为中低水平,速效钾和有效硫较丰富,这主要由于新疆成土母质中钾和硫本身就很丰富^[27];棉区棉田土壤中的污染状况见图1和图2,土壤中的二甲戊乐灵农药残留量的状况良好,基本无污染,而个别样点中的氟乐灵残留量较大,土壤质量状况较差,棉区土壤农膜污染严重,残留量几乎全部超标,土壤重金属均有明显的富集现象,尤其是重金属铜、锌和砷,个别土壤样点的砷超过了国家土壤环境质量二级标准,而造成棉区污染的主要因素跟施肥^[29]、喷洒农药和除草剂^[30-31]以及大量使用农膜^[26,32-33]等有关,因此应当适当减少化肥、农药、农膜等农用品的投入,加强农膜回收的力度,有效改善土壤环境质量。

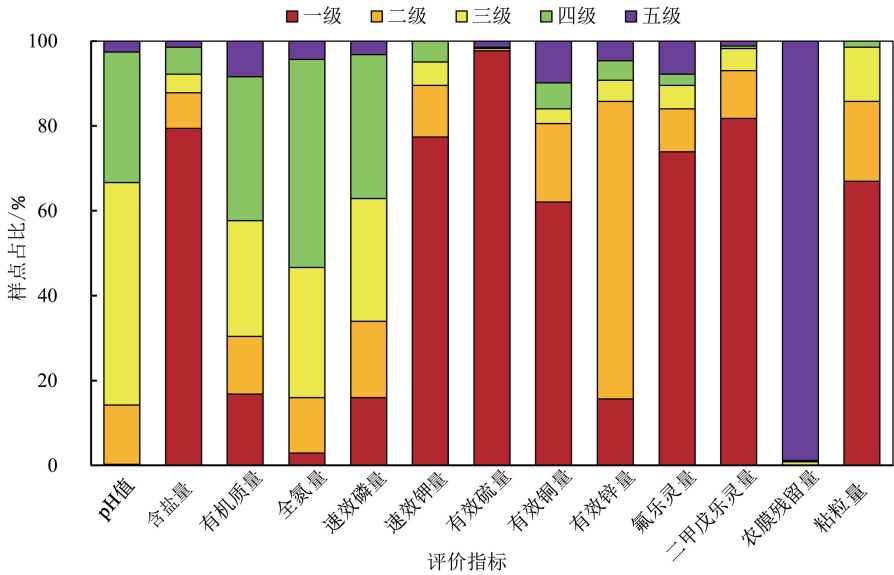


图1 样点理化性质及农药残留指标等级分布图

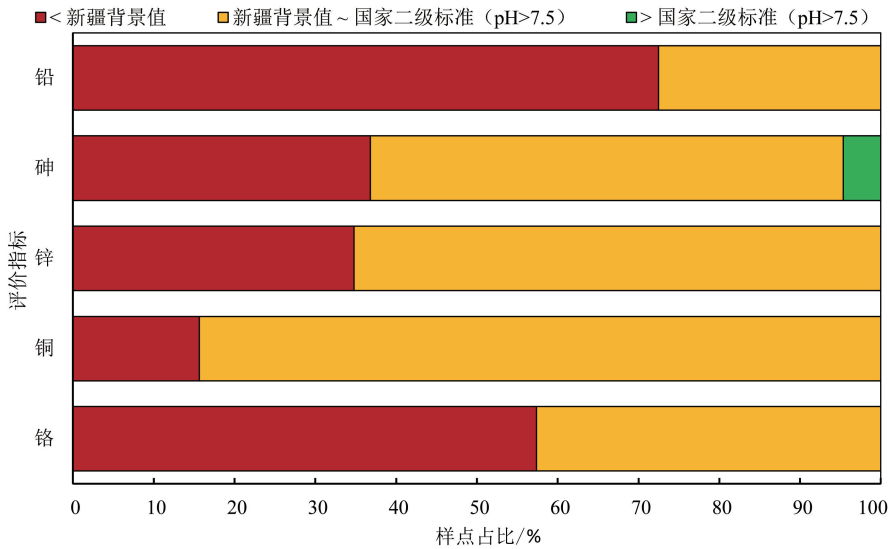


图2 样点重金属指标等级分布图

2.3 绿洲棉田土壤质量综合评价

2.3.1 模糊综合评价法评价

通过模糊综合评价法(FCE)对绿洲棉田土壤质量进行评价的结果见表8和表9。从表8可知,棉田土壤质量FCE值在0.39~0.68之间,均值为0.53,呈中等变异,在土壤质量评价中FCE值越大,等级越高,说明土壤综合质量越好,因此依据土壤质量指数评价标准(表5),绿洲棉田土壤平均质量低,为Ⅱ级;由表9可知,在采集的土壤样品中,土壤质量极低的样点占4%,土壤质量高的样点占12%,大多数样点土壤质量为中等偏

低水平,属土壤质量评价标准的Ⅱ级和Ⅲ级,分别占有样品的53%和31%,表明采用模糊综合评价法对绿洲棉田土壤质量进行评价,土壤质量总体中等偏低。

表 8 不同评价方法的指数统计特征值					表 9 不同评价方法的样点等级分布				
评价方法	变化范围	均值	标准差	变异系数	等级	I	II	III	IV
FCE	0.39~0.68	0.53	0.06	0.11	FCE	0.04	0.53	0.31	0.12
N-PI	0.85~2.39	1.40	0.27	0.19	N-PI	0.01	0.79	0.20	0.00
SQI	0.31~0.73	0.57	0.25	0.44	SQI	0.11	0.37	0.33	0.19

2.3.2 基于内梅罗综合污染指数的加权综合污染指数法评价

利用式(5)对绿洲棉田土壤质量进行评价得出,绿洲棉田*N-PI*均值为1.40,范围为0.85~2.39,变异系数为19%,呈中等变异。根据综合污染指数评价标准(表6),*N-PI*值越小说明土壤越安全,即土壤质量越好,反之,越差。本研究棉田土壤样点在不同评价标准等级分布的比例大小顺序为:Ⅱ(79%)>Ⅲ(20%)>Ⅰ(1%)>Ⅳ(0%)。综上所述,采用*N-PI*评价方法对绿洲棉田土壤质量进行综合评价得出,研究区土壤平均质量差,已受轻度污染,从棉田土壤样点的等级分布来看,大部分样点*N-PI*值都在1~2之间,说明绿洲棉区土壤整体受到污染。

2.3.3 土壤综合质量指数法评价

根据SQI评价法对绿洲棉田土壤质量进行计算(表8、表9),并结合土壤质量指数评价标准(表5)对其结果进行评价及等级分级,结果表明,棉区土壤质量综合指标值*SQI*介于0.31~0.73之间,土壤平均质量水平较低,均值为0.57,呈中等变异,大部分样点的土壤质量分布在评价标准等级的Ⅱ级(37%)和Ⅲ级(33%),只有少数的土壤样点质量极好(19%)或极差(11%)。总而言之,绿洲棉区土壤质量总体处于一般水平。

2.4 不同土壤质量评价方法比较分析

由表8和表9可知,3种评价方法的评价结果基本一致,绿洲棉区土壤质量平均水平均较低(Ⅱ级),大部分样点的土壤质量等级都为质量分级标准中的Ⅱ级和Ⅲ级,说明这3种评价方法均有一定的合理性,但是相比之下,也有一定的差异。*SQI*评价结果的变异系数明显高于其他2种方法:

SQI(44%)>*N-PI*(19%)>*FCE*(11%);不同评价方法之间相关性也不同(表10),*FCE*评价法、*N-PI*评价法、*SQI*评价法与本身以外的其他2种方法评价结果的相关系数分别为0.07、0.18、0.17,其中*SQI*评价法的评价结果与*FCE*评价法、*N-PI*评价法的评价结果均呈显著相关性,*FCE*评价法的评价结果与*N-PI*评价法的评价结果之间无密切相关关系,说明*SQI*评价法与其他2种方法均具有一定的关联性。

表 10 不同评价方法评价结果相关系数			
评价方法	FCE	N-PI	SQI
FCE	1.00	0.07	0.18**
N-PI	-	1.00	0.17**
SQI	-	-	1.00

注 **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 讨 论

绿洲棉田土壤呈碱性、轻度盐化、有机质和全氮低、速效磷、速效钾、有效硫、有效铜和有效锌丰富的特点,这与朱敏等^[34-35]研究结果一致;重金属Cu、Zn和As均有富集现象,农膜残留污染严重,任利民^[36]、张江华^[26]在对新疆重金属及农膜的研究中得出相同结论。与前人研究^[8,13]相比,本研究综合土壤理化性质、重金属污染、农药及农膜多方面因子对绿洲棉田土壤质量进行评价研究,评价结果更全面、准确,具有生产实际意义。

本研究分别采用*FCE*、*N-PI*和*SQI*3种评价方法对研究区土壤质量进行综合评价,从评价结果整体来看,3种方法评价结果较为相似,均表明棉区土壤质量状况较差,但不同方法的评价结果间也具有差异性。*FCE*评价法中因子的选择、权重和隶属度的确定是其关键,使用不同的方法确定权重和隶属度对指标信息的表达有所不同,并且可能会降低某个限制因素的影响力,在本研究中,采用主成分分析法和模糊数学法确定各个指标的权重及隶属度,新疆主要棉区在空间位置上较为离散,属于不同区域,气候温度等环境存在差异,使用主成分在权重赋值过程中使得一些污染程度较重但离散程度较小的指标被赋予较低权重,导致部分结果失真,例如棉区土壤农膜残留污染严重,而在指标权重和隶属度的计算中,其对土壤环境综合质量的影响受到强烈限制,因此与其他2种方法相比,尽管该方法能够反映出每个指标对研究目标的整体影响,但是针对单一指标的影响考虑不全面;*N-PI*评价法全面反映了土壤养分、物理性质及土壤污染物状况,突出较低养分、较差物理性质及最大污染物对环境质量的影响和作用,在计算中单独予以体现,但是该方法过于关

注土壤限制因素的作用,在本研究中使棉区大部分样点评价结果等级较低(Ⅱ级,样点等级分布比例:79%),灵敏度不够高,评价结果较为片面;本研究中SQI评价结果依据新疆农田基础条件划为不同的 PI_{Ave} 范围段内,体现土壤的综合属性,且取0.3和1为 PI_{Ave} 限制值,当 PI_{Ave} 为0.3时,土壤中各污染指标均无超标情况,在计算公式中当 $0.3 < PI_{Ave} \leq 1$ 时,以分子和分母的数学公式即充分利用评价指标的信息,避免参评指标过高或者过低对土壤质量的影响,又能综合考虑到研究区土壤实际状况,该方法能够较好地体现出土壤理化性状和土壤环境污染物对土壤质量的综合影响和相互作用,同时也遵循了土壤依靠其自身理化性状对土壤污染有一定承载范围的规律^[20];在3种方法的评价结果中,SQI评价结果的变异系数最大,说明土壤质量综合指数法相对拉开了棉田土壤质量在棉区空间分布上的差异性,较好地体现了绿洲棉田的空间演化,新疆地域辽阔,3个主要棉区气候降水、灌溉、耕作措施及经济发展水平等条件的差异性造成整个棉区的综合质量空间变异较大^[37],且SQI评价结果与其他两种方法的相关性最好,因此作者认为采用该方法对新疆绿洲棉区土壤质量进行评价更符合研究区的实际情况,综上所述,对绿洲棉区棉田土壤综合质量的评价方法中,SQI评价法最为合理,依次为FCE评价法、N-PI评价法。

4 结 论

1)绿洲棉田土壤呈现出碱性,轻度盐化,有机质与全氮总体偏低,速效磷、速效钾、有效硫及微量元素有效锌、有效铜较为丰富;棉区土壤中重金属Cu、Zn、As均有累积现象,但均未超出国家土壤质量二级标准,个别土壤样点中氟乐灵农药残留量较高,研究区农膜残留量远大于国家农膜残留量标准限值(75 kg/hm^2),污染严重。

2)采用不同评价方法对新疆棉田土壤质量进行综合评价,棉区土壤综合质量等级均较低,各样点的土壤质量分布主要在评价标准等级的Ⅱ~Ⅲ级水平。

3)研究中土壤综合质量指数法(SQI)评价结果更为客观、全面,PI的取值能够将新疆棉田土壤实际条件在评价方法中得以体现。

参考文献:

- [1] 曹志洪. 中国土壤质量[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [2] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3 557-3 564.
- [3] OBADE V D P, LAL R. Soil quality evaluation under different land management practices [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(11): 4 531-4 549.
- [4] WANG X, XU Y. Soil heavy metal dynamics and risk assessment under long-term land use and cultivation conversion [J]. Environmental Science & Pollution Research, 2015, 22(1): 264-274.
- [5] 赖先齐. 中国绿洲农业学[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [6] 田笑明, 李雪源, 吕新, 等. 新疆棉作理论与现代植棉技术[M]. 北京:科学出版社, 2016.
- [7] 韩春丽, 刘娟, 肖春华, 等. 新疆绿洲连作棉田土壤微量元素含量的时空变化研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1 194-1 201.
- [8] 贡璐, 张海峰, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 4 136-4 143.
- [9] 赵丽莉, 盛建东, 武红旗, 等. 博湖县耕地地力评价及其影响因素分析[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1 954-1 960.
- [10] 王雪梅, 杨美玲, 康璇. 基于GIS的库车县耕地土壤质量综合评价[J]. 中国农学通报, 2015, 31(29): 123-128.
- [11] 麦尔耶姆·亚森, 买买提·沙吾提, 尼格拉·塔什甫拉提, 等. 渭干河-库车河绿洲土壤重金属分布特征与生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 226-233.
- [12] 文雯, 侯振安, 闵伟, 等. 石河子垦区耕地土壤重金属调查及评价研究[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(1): 137-144.
- [13] 邓红, 林海荣, 张泽, 等. 绿洲连作棉田土壤重金属富集特征及评价[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 92-98.
- [14] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 1980.
- [15] 周王子, 董斌, 刘俊杰, 等. 基于权重分析的土壤综合肥力评价方法[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(6): 81-86.
- [16] 徐建华. 计量地理学[M]. (第一版). 北京:高等教育出版社, 2006: 81-83.
- [17] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. (第三版). 北京:中国农业出版社, 2010.
- [18] 易海艳, 马刘峰, 林宁, 等. 新疆叶尔羌河流域棉田土壤养分分析与评价[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 393-396.
- [19] 张炎, 王讲利, 付明鑫, 等. 新疆棉田土壤养分评价指标的建立[C]//中国科协2005年学术年会“新疆现代农业论坛”论文集, 2005.
- [20] 陈怀满, 等. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [21] 徐建明. 土壤质量指标与评价[M]. 北京:科学出版社, 2010.
- [22] 土壤环境质量标准, GB15618—2008[S].
- [23] 农业标准出版研究中心. 最新中国农业行业标准. 第9辑. 植保分册[M]. 北京:中国农业出版社, 2014.
- [24] 刘衍君, 汤庆新, 白振华, 等. 基于地质累积与内梅罗指数的耕地重金属污染研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 174-178.
- [25] 陈雨艳, 杨坪, 余恒, 等. 基于环境监测的区域环境质量综合评价体系[J]. 中国环境监测, 2015, 31(4): 68-74.

- [26] 张江华. 新疆棉田土壤中地膜残留污染现状调查分析及其发展趋势预测[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2010.
- [27] 新疆维吾尔自治区土壤调查办公室. 新疆土壤[M]. 北京:科学出版社, 1996: 23-28.
- [28] 陈文玲, 冉圣宏, 刘韬韬. 不同灌溉方式棉田土壤含盐量的分布特征:以玛纳斯河中游灌区为例[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 33-38.
- [29] 王美, 李书田. 肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 466-480.
- [30] 杨再磊. 新疆棉田土壤中三种农药残留量测定方法建立及分布特征研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2014.
- [31] 李军. 田普防除棉田杂草表现[J]. 中国棉花, 2015, 42(10): 42-43.
- [32] 汤明尧, 赖波, 赵泽. 新疆棉田施肥现状调查与评价[J]. 新疆农业科技, 2016(2): 48-50.
- [33] 邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7): 47-54.
- [34] 朱敏, 梁智, 徐万里, 等. 新疆绿洲棉田土壤养分时空分布特点[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(5): 1 076-1 081.
- [35] 张丹, 罗格平, 许文强, 等. 新疆耕地土壤养分时空变化[J]. 干旱区地理(汉文版), 2008, 31(2): 254-263.
- [36] 任力民, 贾登泉, 王飞. 新疆农田土壤重金属含量调查与评价[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(9): 1 760-1 764.
- [37] 张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清. 天山山地表层土壤重金属的污染评价及生态风险分析[J]. 地球科学进展, 2014, 29(5): 608-616.

Evaluating Soil Quality of the Cotton Fields in Oasis of Xinjiang Using Different Methods

ZHENG Qi¹, WANG Haijiang^{1*}, DONG Tianyu¹, LYU Xin¹, John A Yungert², RAN Ding¹, DAI Diwei¹

(1.College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2.Biology Department, Governors State University, Chicago 60466, USA)

Abstract:【Objective】The purpose of this paper is to compare different methods for evaluating soil quality of the cotton field in Xinjiang.【Method】We collected 1 355 soil samples from different cotton fields in Xinjiang and measured their pH, salinity, clay particle, soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, available sulfur, available copper, available zinc, soil heavy metals (total amount of Cr, Cu, Zn, As, Pb), bioavailability of heavy metals (Cr, As, Pb), Trifluralin, Pendimethalin and plastic film residue. We then analyzed the quality of all soil samples using the fuzzy comprehensive evaluation method (FCE), the internal ROM and weighted comprehensive pollution index method (N-PI), and the integrated soil quality index evaluation method (SQI), respectively.【Result】The soils in the cotton fields were alkaline and moderately saline, with an average pH of 7.870 and an average salinity of 3.440 g/kg. Organic matter and total nitrogen in all soils were generally low, whereas the available phosphorus, potassium, sulfur, zinc and copper were relatively high. The contents of Cr, Cu, Zn, As and Pb were within the national standard, but there has been an accumulation in Cr, Cu and Zn in all soil samples. The available Cr, As and Pb, as well as Trifluralin residues and Pendimethalin were within the national standard range. Plastic film pollution was a serious concern, with the average residual amount of the film reaching 190.980 kg/hm². The FCE evaluated the soil quality to be low, and the N-PI method revealed most soils had been moderately polluted. The comprehensive index value of the soil quality was between 0.310 and 0.730, and the comprehensive quality of the soils was generally low. Different evaluation methods could give different results. In this study, SQI appeared to be the most suitable method as it was more objective, scientific and in line with actual soil quality of the cotton fields in Oasis of Xinjiang.【Conclusion】Soil quality in Xinjiang cotton fields is poor. Among all methods used to evaluate the soil quality, the SQI method is the most reasonable, followed by FCE and N-PI method.

Key words: cotton field; soil quality; plastic film; evaluation; comparison

责任编辑:陆红飞