

华北小麦玉米轮作区耕地地力等级划分及特征

薛彦东¹, 辛景树^{1*}, 任 意¹, 万广华², 张桂兰³, 杨瑞让⁴

(1.全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2.山东省土壤肥料总站, 山东 济南 250100; 3.河南省土壤肥料站, 河南 郑州 450002; 4.河北省土壤肥料总站, 河北 石家庄 050021)

摘 要:华北地区在我国粮食生产中占有举足轻重的地位,小麦玉米轮作是该区域主要种植制度。本文选取华北小麦玉米轮作区为研究区域,从农业部县域耕地地力调查与评价数据库中甄别遴选了23 862个评价样点,采用土壤图、土地利用现状图和行政区划图组合叠置确定了17 945个评价单元,选取了降水量、积温、地貌类型、耕层厚度、耕地质地、有机质、有效磷、速效钾、有效锌、盐渍化程度、灌溉能力等11个指标,运用特尔斐法、模糊评价、层次分析等方法对耕地地力进行了评价。结果表明:华北小麦玉米轮作区1~6级耕地面积分别占总耕地面积的11.29%、19.30%、28.06%、21.57%、11.99%和7.80%。在定量分级的基础上,将本次评价数据与第二次土壤普查数据进行深入对比,结果发现:该区域耕地地力总体水平上升,主要表现为土壤有机质、有效磷、速效钾的含量明显上升。评价结果将为华北地区地力培肥与土壤改良、科学布局作物生产、提升耕地生产能力等提供基础信息和科学依据。

关键词:华北小麦玉米轮作区;耕地地力;等级划分;地力特征

中图分类号:S158.9

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)06-0530-07

doi: 10.13254/j.jare.2015.0146

Characteristics and Gradations of Cultivated Land Fertility for Winter Wheat-Summer Maize Rotation System in North China

XUE Yan-dong¹, XIN Jing-shu^{1*}, REN Yi¹, WAN Guang-hua², ZHANG Gui-lan³, YANG Rui-rang⁴

(1.National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 2.Shandong Provincial Soil and Fertilizer Head Station, Jinan 250100, China; 3.Soil and Fertilizer Station of Henan Province, Zhengzhou 450002, China; 4.Soil and Fertilizer Station of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: North China area is playing a significant role in grain production in China. Winter wheat-summer maize rotation is a major cropping system in this region. Based on the database of county cultivated land survey of soil fertility in Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, total 23 862 samples were selected, 17 945 evaluation units were taken from the superposition of soil map, landuse map and administrative map. 11 evaluation indicators, including precipitation, accumulated temperature, top layer thickness, texture, organic matter, available P, available K, available Zn, salinity and irrigation capacity, were used to evaluate the gradation of the cultivated land fertility. The results showed that the fertility grades from first to sixth of the cultivated land for winter wheat-summer maize rotation system in North China accounted for 11.29%, 19.30%, 28.06%, 21.57%, 11.99% and 7.80%, respectively, and the overall cultivated land fertility upgraded in comparison with the second soil survey. The concentrations of soil organic matter, available P, available K were increasing significantly. In conclusion, this study will provide some basic information and scientific insights into specifically practical fertilization and soil improvement, scientific layout of crop production and adjustment of agricultural structure to promote cultivated land production capacity.

Keywords: winter wheat-summer maize rotation system in North China; cultivated land fertility; gradation; fertility characteristics

土地是人类赖以生存的基础,耕地是土地精华,是农业生产最基本的不可替代的生产资料,耕地

地力的好坏直接影响到农业的可持续发展和粮食安全。耕地地力是指在当前管理水平下,由土壤本身特性、自然条件和基础设施水平等要素综合构成的耕地生产能力^[1]。耕地地力评价是对耕地的生产能力和土壤适宜性进行综合评价,揭示生物生产力的高低和潜在生产力^[2]。近年来,不少学者在耕地地力评价方面进行了有益的尝试,王瑞燕等^[3]、马培云等^[4]、吴

收稿日期:2015-06-09

基金项目:农业部耕地质量保护项目

作者简介:薛彦东(1985—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,主要从事耕地地力评价研究。E-mail: xueyandong@agri.gov.cn

*通信作者:辛景树 E-mail: xinjingshu@agri.gov.cn

克宁等^[5]分别引入了模糊数学、系统聚类法、层次分析、人工神经网络(Artificial neural network, ANN)-产量模型、洛伦茨曲线和基尼系数等评价方法及评价模型,实现了耕地地力评价工作的自动化、定量化、多元化。赵亮等^[6]借助 GIS 技术,综合运用模糊评价、专家意见、层次分析等方法对喀斯特地貌区的耕地地力进行了评价与分级。张海涛等^[7]利用 GIS,将层次分析的原理和方法引入耕地地力评价以确定参评因子的权重,对江汉平原后湖地区的耕地自然地力进行了综合评价。鲁明星等^[8]以鄂州市为研究试点区域,借助 GIS 相关空间数据管理技术,综合采用层次分析方法和模糊数学方法进行了耕地地力评价,并就其空间分布进行分析。可见,借助 GIS 技术对耕地地力现状开展调查评价研究,分析耕地地力与土壤各肥力因子的时空变化特征,及时掌握耕地资源的数量、质量及其分布,对于合理利用耕地,切实保护提高耕地地力具有十分重要的意义。

华北小麦玉米轮作区是我国最重要的粮食生产基地之一,是我国冬小麦夏玉米一年两熟粮食主产区,小麦播种面积和总产量超过全国的 1/3,玉米播种面积和总产量约占全国的 1/5,粮食产量约占全国粮食总产量的 1/6,在保障国家粮食安全方面具有举足轻重的作用^[9]。近年来,在农业产业结构调整、地下水超采严重、生态环境恶化的背景下,该区域部分地区小麦、玉米的种植面积虽有所下降,但是基于国家粮食安全的战略考虑和该地区的农业生产条件、种植历史等多方面的原因,小麦玉米轮作体系仍是本地区未来最主要的种植体系。本文对华北小麦玉米轮作区耕地地力进行评价分析,摸清该区域耕地自然与社会经济条件,评估耕地地力水平,发现耕地利用中的主要问题,提升与改良耕地地力,以期为该区域粮食生产及其经济社会的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

华北小麦玉米轮作区主要包括黄河中下游冲积平原、海河平原、晋南盆地,地理坐标介于北纬 32°16′~42°40′,东经 110°15′~119°50′之间。轮作区划分为东西二个独立的区块。东部区块包括河北、河南和山东 3 个轮作区,西部区块为山西轮作区。轮作区热量资源比较丰富,在地域上的分布为南高北低、西高东低,年降水量在 500~800 mm 之间,总体呈东南到西北递减趋势。

轮作区耕地总面积为 1 220.42 万 hm^2 。其中河北轮作区 340.26 万 hm^2 ,占轮作区耕地总面积的 27.88%;河南轮作区 414.23 万 hm^2 ,占 33.95%;山西轮作区 79.72 万 hm^2 ,占 6.53%;山东轮作区 386.21 万 hm^2 ,占 31.64%。主要耕地土壤类型有潮土、褐土、砂姜黑土、棕壤等。其中,潮土 854.26 万 hm^2 ,占轮作区耕地面积的 70%;褐土 200.48 万 hm^2 ,占 16.4%;砂姜黑土 78.88 万 hm^2 ,占 6.5%;棕壤 17.34 万 hm^2 ,占 1.4%。

1.2 数据来源

根据代表性、均匀性、一致性和完整性的评价样点筛选原则,在反复试验成图精度的基础上,按照平均 667 hm^2 1 个样点的密度筛选县域耕地地力评价样点。样点筛选时兼顾土壤类型、行政区划、地貌类型、地力水平等因素,对土壤类型及地形条件复杂的区域,适当加大点位密度,共选取评价样点 23 862 个。

从 2002 年开始,农业部在全国范围内启动了耕地地力调查和质量评价工作。2005 年以来,结合测土配方施肥项目实施,耕地地力调查与质量评价工作覆盖了所有农业县(场)。本次评价属性数据库所遴选的数据均来自 2006—2012 年间的县域耕地地力调查与质量评价汇总数据。收集获取的资料主要有:野外调查资料,包括位置、地形地貌、成土母质、土壤类型、立地条件、土层厚度、耕层质地、耕层厚度、耕地利用现状、灌排条件、施肥水平、气候条件、水文、作物产量及管理措施等;分析化验资料,包括有机质、全氮、有效磷、速效钾等;基础及专题图件资料,包括 1:50 万比例尺的土壤图、土地利用现状图、地貌图、行政区划图、降雨量图、有效积温图等;补充调查资料,包括障碍层类型、障碍层出现位置、障碍层厚度、盐渍化程度等。

1.3 耕地地力等级划分方法

1.3.1 评价单元划分

考虑评价区域面积、耕地利用管理及土壤属性的差异性,评价单元的划分采用土壤图、土地利用现状图和行政区划图的组合叠置划分法,相同土壤单元、土地利用现状类型及行政区的地块组成一个评价单元,即“土地利用现状类型-土壤类型-行政区划”的格式。其中,土壤类型划分到土属,土地利用现状类型划分到二级利用类型,行政区划划分到县级。通过图件的叠置和检索,共划分评价单元 17 945 个。通过在点位分布图上进行插值形成栅格图,采用加权统计的方法为评价单元图每个图斑的属性数据赋值。

1.3.2 评价指标确定

评价指标的选取主要依据科学性、综合性、主导性、可比性和可操作性原则。本次评价利用 SPSS 统计软件进行了土壤养分等化学性状的系统聚类,聚类结果为土壤养分等化学性状评价指标的选取提供了依据。如图 1 所示,有效铜、有效锰、有效硫、缓效钾、有效铁、全氮、有效钼和有效锌为一组,有效硼、有效磷、有机质和土壤 pH 为一组,速效钾为一组。采用特尔斐法,最终确定气象因素、立地条件、土壤管理、理化性状等 4 个方面 11 个因素作为华北小麦玉米轮作区耕地地力等级划分指标,具体为:降水量、积温、地貌

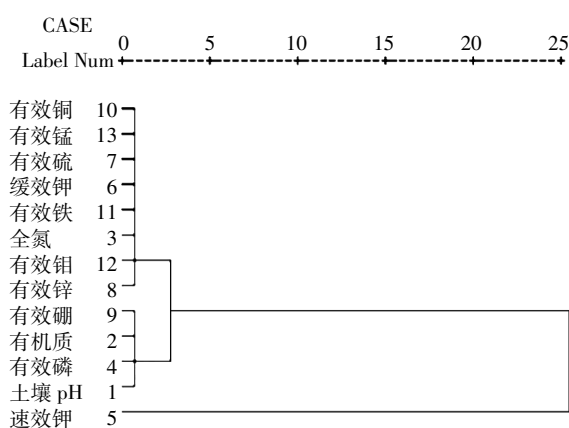


图 1 评价因素聚类分析结果图

Figure 1 The results of clustering analysis of evaluation factors

类型、耕层厚度、耕层质地、有机质、有效磷、速效钾、有效锌、盐渍化程度和灌溉能力。

1.3.3 各因素权重确定

采用特尔斐(Delphi)法与层次分析法(AHP)相结合的方法确定各参评因素的权重,由专家对评价指标及其重要性进行赋值,经统计汇总构成判断矩阵,通过矩阵求得各因素的权重(表 1)。从表 1 中可以看出,对耕地地力指数的权重较高的指标分别是灌溉能力、地貌类型、耕层质地、降水量、积温、有机质。其中,灌溉能力的权重最高,达到 0.142 0,这是由于华北地区地下水超采严重,灌溉能力对于保障耕地综合生产能力具有至关重要的作用;地貌类型权重次之,达到 0.114 3,这是由于华北区微地貌类型多且复杂,造成地貌类型对耕地地力有显著影响;降水量和积温的累计权重达到 0.211 6。

1.3.4 各因素评价隶属度计算

采用模糊评价方法建立各种等级划分指标的隶属度函数,计算其隶属度值。在处理数值型参评因素时,各参评因素的隶属函数综合运用专家意见法与隶属函数法确定(表 2);在处理非数值型参评因素时,各参评因素的隶属函数采用专家意见法直接给出隶属度(表 3)。通过模拟共得到概念型和戒上型 2 种类型的隶属函数,其中,地貌类型、耕层质地、盐渍化程度、灌溉能力、降水量、积温值等描述性的因素构建为

表 1 耕地地力评价因子及权重

Table 1 Factors and weighting of cultivated land evaluation

指标	权重	指标	权重	指标	权重	指标	权重
有机质	0.098 2	有效磷	0.066 1	速效钾	0.062 5	有效锌	0.044 6
耕层质地	0.111 6	耕层厚度	0.088 4	盐渍化程度	0.060 7	灌溉能力	0.142 0
地貌类型	0.114 3	降水量	0.109 8	积温值	0.101 8		

表 2 数值型参评因素的分级、分值及其隶属度

Table 2 Evaluation standard of numerical factors

评价指标	隶属度评估值								
有机质/g·kg ⁻¹	分值	100	98	95	90	84	78	65	50
	隶属度	1	0.98	0.95	0.9	0.84	0.78	0.65	0.5
有效磷/mg·kg ⁻¹	分值	100	100	100	92	90	85	80	60
	隶属度	1	1	1	0.92	0.9	0.85	0.8	0.6
速效钾/mg·kg ⁻¹	分值	100	100	100	95	87	78	70	60
	隶属度	1	1	1	0.95	0.87	0.78	0.7	0.6
有效锌/mg·kg ⁻¹	分值	100	100	100	98	95	80	70	55
	隶属度	1	1	1	0.98	0.95	0.8	0.7	0.55
耕层厚度/cm	分值	100	100	100	100	90	85	75	60
	隶属度	1	1	1	1	0.9	0.85	0.75	0.6

概念型隶属函数;有机质、有效磷、速效钾、有效锌和耕层厚度等定量因素构建为戒上型隶属函数(表 4)。

1.3.5 耕地地力综合指数

用累加法确定耕地地力的综合指数,具体公式为:

$$IFI=\sum(F_i\times C_i)$$

式中:IFI(Integrated Fertility Index)为耕地地力综合指数; F_i 为第*i*个评价因子的隶属度; C_i 为第*i*个评价因子的组合权重。

应用耕地资源管理信息系统中“专题评价”模块,录入各项评价因子的隶属函数和因子权重,对华北小麦玉米轮作区耕地地力进行评价,用样点数与耕地地力综合指数制作累计频率曲线,采用等距分级法^[1]分别用耕地地力综合指数 $IFI\geq0.91$ 、 $0.89\leq IFI<0.91$ 、 $0.87\leq IFI<0.89$ 、 $0.85\leq IFI<0.87$ 、 $0.83\leq IFI<0.85$ 、 $IFI<0.83$ 将华北小麦玉米轮作区耕地地力划分为 6 个等级。

表 3 非数值型参评因素的分级、分值及其隶属度
Table 3 Evaluation standard of conceptual factors

评价指标			隶属度评估值							
耕层质地	分级	中壤	轻壤	重壤	砂壤	黏土	砂土			
	分值	100	90	90	70	75	50			
	隶属度	1	0.9	0.9	0.7	0.75	0.5			
灌溉能力	分级	充分满足	满足	基本满足	一般满足	不满足				
	分值	100	85	70	50	30				
	隶属度	1	0.85	0.7	0.5	0				
盐渍化程度	分级	无	轻度	中度	重度					
	分值	100	80	60	35					
	隶属度	1	0.8	0.6	0.35					
降水量/mm	分级	1 000~1 200	800~1 000	600~800	400~600					
	分值	100	92	85	78					
	隶属度	1	0.92	0.85	0.78					
≥10℃积温/℃	分级	5 500~6 000	5 000~5 500	4 500~5 000	4 000~4 500	3 500~4 000	3 000~3 500			
	分值	100	100	100	95	92	90			
	隶属度	1	1	1	0.95	0.92	0.9			
地貌类型	分级	侵蚀中山	侵蚀剥蚀中山	黄土覆盖区中山	侵蚀低山	侵蚀剥蚀低山	黄土覆盖区低山	侵蚀丘陵	侵蚀剥蚀丘陵	黄土覆盖区丘陵
	分值	20	20	40	40	40	55	55	55	70
	隶属度	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.55	0.55	0.55	0.7
	分级	海积平原	侵蚀山间平原	侵蚀剥蚀山间平原	侵蚀剥蚀平原	河流阶地	海积冲积平原	冲积海积平原	湖积平原	湖积冲积平原
	分值	70	80	80	80	85	85	90	90	95
	隶属度	0.7	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.9	0.9	0.95
	分级	洪积平原	冲积湖积平原	冲积洪积平原	冲积平原					
	分值	95	100	100	100					
	隶属度	0.95	1	1	1					

表 4 参评定量因素类型及其隶属函数
Table 4 Function of the evaluation factors

参评因素	函数类型	隶属函数	a	c	U1	U2
有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	戒上型	$Y=1/(1+A\times(x-C)^2)$	0.005 43	18.22	5.3	18.22
速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	戒上型	$Y=1/(1+A\times(x-C)^2)$	0.000 01	277.3	41	277.3
有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	戒上型	$Y=1/(1+A\times(x-C)^2)$	0.000 102	79.04	3.9	79.04
有效锌/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	戒上型	$Y=1/(1+A\times(x-C)^2)$	0.135 829	2.17	0.22	2.17
耕层厚度/cm	戒上型	$Y=1/(1+A\times(x-C)^2)$	0.000 725	32.42	8	32.42

2 结果与分析

2.1 耕地地力等级数量分析

华北小麦玉米轮作区耕地面积 1 220.43 万 hm^2 , 其中一等地 137.75 万 hm^2 , 占总耕地面积的 11.29%; 二等地 235.57 万 hm^2 , 占 19.30%; 三等地 342.43 万 hm^2 , 占 28.06%; 四等地 263.19 万 hm^2 , 占 21.57%; 五等地 146.28 万 hm^2 , 占 11.99%; 六等地 95.21 万 hm^2 , 占 7.80%。一等地和五等地、六等地所占比例较低, 二等地、三等地和四等地比例较高。耕地资源以三、四等地为主, 达 578 万 hm^2 , 占总耕地面积的 47.36%; 其次为一、二等地, 达 373.32 万 hm^2 , 占总耕地面积的 30.59%; 五、六等地最少, 仅占总耕地面积的 19.79% (图 2)。

2.2 耕地地力等级空间分布及特征

从地力等级的分布地域特征可以看出, 高、低地力等级耕地呈条带状相间分布, 部分地区呈交叉分布

特征(图 2)。一、二等地主要分布在冀中平原、鲁南山前平原、豫中南淮河流域冲积平原、豫北太行山山前平原, 以及晋南临汾、运城盆地中心地带。一、二等地的耕地地力整体水平较高, 集中连片, 地势平坦, 积温充足。这些区域灌溉条件能够得到充分保障, 地貌类型主要分布在冲积海积平原、冲积洪积平原、冲积湖积平原、冲积平原、海积冲积平原。土壤质地以壤土为主, 耕层厚度主要集中在 20~25 cm 和 25 cm 以上两个区间, 无明显的土壤盐渍化倾向。

三、四等地主要分布在冀中冀南低平原区、鲁西北黄河冲积平原、豫中豫东冲积平原、豫东南黄河泛区、豫南湖积平原砂姜黑土区以及晋南汾河、涑水河两岸丘陵地带。三、四等地地势较平坦, 地貌类型主要为冲积平原, 侵蚀丘陵、侵蚀剥蚀山间平原、侵蚀剥蚀丘陵有零星分布。耕层土壤质地适中, 耕性良好, 土壤养分含量多属于中等或较丰富水平, 但农田基础设施略差, 部分土壤砂性大或偏粘重, 灌溉保证率偏低, 干

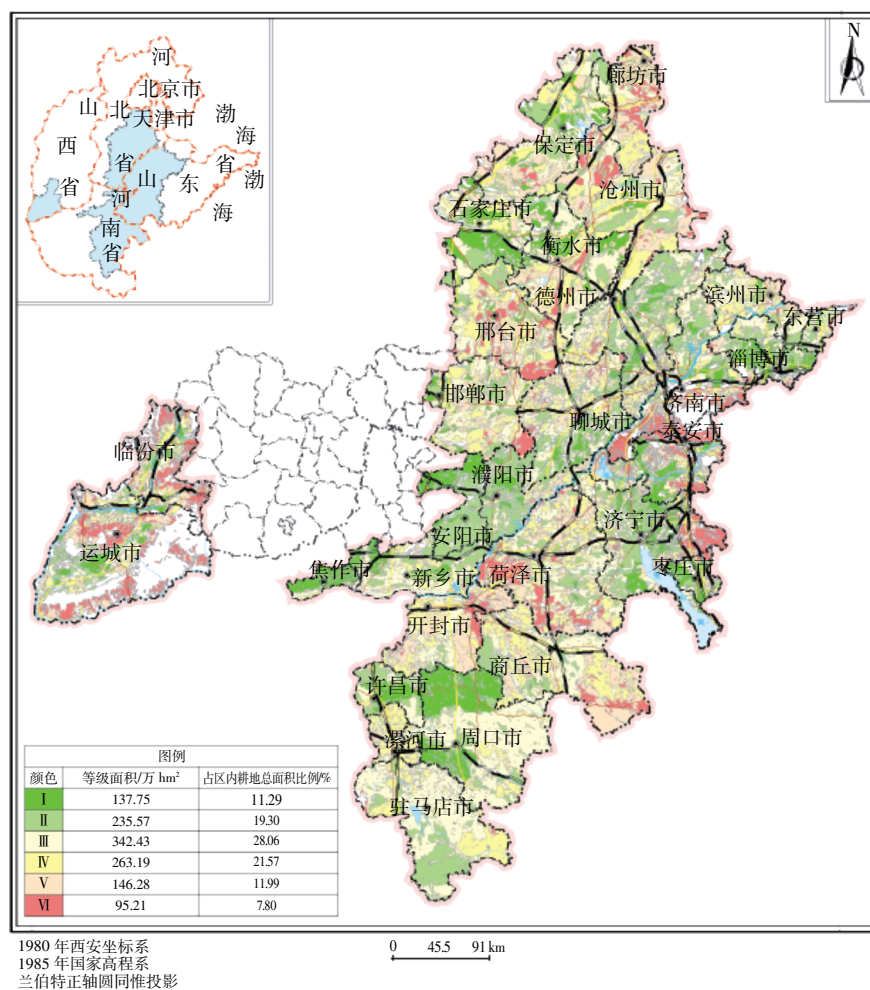


图 2 华北小麦玉米轮作区耕地地力等级分布图

Figure 2 Spatial distribution of cultivated land productivity grade for winter wheat–summer maize rotation system in North China

早年份灌溉无保证。

五、六等地主要分布在冀中海河低平原区、鲁中南丘陵区、豫中郑州—兰考一线黄河古道地区及黄泛地区,以及晋南中低山区。五、六等地地貌类型相对复杂,灌溉能力为一般满足、不满足的比重超过 70%,部分耕地有轻、中度甚至重度盐渍化现象,耕层厚度多在 20 cm 以下。此类耕地应尽可能发展节水灌溉,实施秸秆还田、测土配方施肥、增加有机肥的使用量、进行深耕改土。

2.3 耕地养分变化分析

如表 5 所示,与 20 世纪 80 年代第二次土壤普查时相比,土壤有机质含量明显增加。经过 30 多年的土壤培肥管理,尤其是近年来秸秆还田的推广,华北小麦玉米轮作区耕层土壤有机质含量有明显上升,有机质 $>30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的比例由第二次土壤普查 0.51%下降到 0.04%; $10\sim15$ 、 $15\sim20$ 、 $20\sim30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例由第二次土壤普查时的 43.98%、1.23%和 0.25%分别上升到 61.15%、32.92%和 3.15%,其中, $15\sim20\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例增幅最大,达 31.69%; $6\sim10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例由第二次土壤普查时的 45.31%下降到 2.72%。

土壤有效磷含量明显增加(表 5)。有效磷含量在

$20\sim25$ 、 $25\sim40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $>40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例由第二次土壤普查时的 10.25%、1.37%和 0.12%分别上升到 21.19%、18.69%和 2.74%,其中, $20\sim25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例增幅超过 100%; <10 、 $10\sim15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $15\sim20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例均有一定程度下降,其中, $<10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例仅为 3.86%,较第二次土壤普查时减少了 21.6 个百分点。

土壤速效钾含量大幅增加,速效钾在 >150 、 $120\sim150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例由第二次土壤普查时的 8.37%、16.82%分别上升到 20.54%、31.41%,分别上升了 12.17%、14.59%; $80\sim100$ 、 $100\sim120\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例由第二次土壤普查时的 31.24%、40.15%分别下降到 18.15%、23.67%,分别下降了 16.48%、13.09%; $<50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间的比例大幅下降,仅为 0.05%。

3 讨论

华北小麦玉米轮作区一、二等级耕地地面平坦或稍有倾斜,土层深厚,排水良好,易于耕作,土壤养分水平高,保水保肥性能好,利用上几乎没有限制因素,适宜于各种植物生长,是本区高产、稳产农田,也是高标准农田建设和高产创建集中分布区。三、四等级耕地表层存在部分地区耕层较浅、质地不良、农田基础设施较落后等问题,今后应大力实施深耕深松,逐步加深耕作层,实行秸秆还田,改良土壤,在有条件的区域积极发展节水农业,减少灌溉定额,提高水分生产效率。五、六等地改良利用,要结合主要限制因素,区别对待。一是改变利用方式。对中低山地区,受水资源和地形制约而难以实施一般性农田水利设施建设的,可适当采取滴灌形式。黄河故道区土体过砂是最主要的限制因素,可以种植花生等作物,或发展节水灌溉;二是加强基础设施建设。建议对平原区灌溉能力低的,加强农田基础设施建设,积极发展灌溉设施,提高灌溉能力;三是实行耕地定向培育。对耕层浅、养分低的地区,积极推行深耕深松制度,逐步加深耕层厚度、增加活土层,采取增施有机肥、秸秆还田、测土配方施肥等综合培肥措施,培肥耕地土壤,有效增加土壤养分含量。

Lu 等^[10]研究表明秸秆还田是增加土壤碳库最有效的措施之一。本次评价与第二次土壤普查相比,耕地土壤有机质含量有明显的增加,这与已有的研究结果一致^[11-14]。分析原因主要是近年来华北地区实施土壤有机质提升项目,推广秸秆间接或直接还田,增加了土壤碳库。此外,该区域耕地土壤有效磷、速效钾含量也有明显增加,这与农户普遍重视磷肥、钾肥的施

表 5 第二次土壤普查和本次评价中耕地土壤养分变化分析
Table 5 Comparison of nutrient factors in cultivated land soils of this evaluation with that of the second soil survey

土壤养分分级		面积/万 hm^2		所占比例/%	
		第二次土壤普查	本次评价	第二次土壤普查	本次评价
有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	>30	6.17	0.51	0.51	0.04
	$20\sim30$	3.1	38.48	0.25	3.15
	$15\sim20$	15.05	401.8	1.23	32.92
	$10\sim15$	536.78	746.31	43.98	61.15
	$6\sim10$	553.02	33.21	45.31	2.72
	<6	106.3	0.12	8.71	0.01
有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	>40	1.37	33.39	0.12	2.74
	$25\sim40$	16.69	228.06	1.37	18.69
	$20\sim25$	125.19	258.57	10.25	21.19
	$15\sim20$	390.09	369.95	31.96	30.3
	$10\sim15$	376.18	283.38	30.82	23.22
	<10	310.9	47.07	25.48	3.86
速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	>150	102.12	250.63	8.37	20.54
	$120\sim150$	205.3	383.34	16.82	31.41
	$100\sim120$	490.03	288.91	40.15	23.67
	$80\sim100$	381.22	221.51	31.24	18.15
	$50\sim80$	35.53	75.46	2.91	6.18
	<50	6.22	0.57	0.51	0.05

用有关。由此可见,第二次土壤普查以来,秸秆还田、测土配方施肥、增施有机肥等措施对提升土壤养分水平起到了很好的作用。

4 结论

运用特尔斐法、模糊评价、层次分析等方法,选取降水量、积温、地貌类型、耕层厚度、耕层质地、有机质、有效磷、速效钾、有效锌、盐渍化程度、灌溉能力等因素对耕地地力进行评价。华北小麦玉米轮作区耕地地力分为 6 个等级。其中,三等地耕地面积最大,占总耕地面积的 28.06%,其次是四等地,占 21.57%,二等地耕地面积略低于四等地,占 19.30%,一、五、六等地面积相对较小,分别占 11.29%、11.99%、7.80%。与第二次土壤普查结果相比,华北小麦玉米轮作区耕地地力水平整体上升,具体表现为耕层土壤有机质、有效磷、速效钾含量显著提高。其中,有机质含量在 $15\sim 20\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区间增幅最大。

参考文献:

- [1] 农业部. NY/T 1634—2008 耕地地力调查与质量评价技术规程[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1634—2008 Rules for soil quality survey and assessment[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2008. (in Chinese)
- [2] 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤, 1997(3): 113–120.
- [3] 王瑞燕, 赵庚星, 陈丽丽. 基于 ANN—产量的耕地地力定量评价模型及其应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 113–118.
WANG Rui-yan, ZHAO Geng-xing, CHEN Li-li. Evaluation model of cultivated land fertility using artificial neural network and productivity and its application[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 2008, 24(1): 113–118. (in Chinese)
- [4] 马培云, 王帅, 李洪兴, 等. 基于洛伦茨曲线和基尼系数的耕地质量空间差异程度分析: 以忠县耕地地力评价结果为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(1): 60–66.
MA Pei-yun, WANG Shuai, LI Hong-xing, et al. Analysis of the spatial differences cultivated land quality based on lorenz curve and Gini coefficient: A case study of Zhongxian County[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, 37(1): 60–66. (in Chinese)
- [5] 吴克宁, 曹志宏, 梁流淘, 等. 基于基尼系数的耕地质量差异程度分析: 以广东南方稻田耕地地力结果为例[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 165–169.
WU Ke-ning, CAO Zhi-hong, LIANG Liu-tao, et al. Analyzing the differences of the regional cultivated land quality based on Gini coefficient analysis: A case study in Guangdong Province[J]. *Resources Science*, 2007, 29(3): 165–169. (in Chinese)
- [6] 赵亮, 韦学成, 黄国椅, 等. 喀斯特地貌区耕地地力评价与分级[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 232–241.
ZHAO Liang, WEI Xue-cheng, HUANG Guo-yi, et al. Evaluation and gradations of cultivated land fertility in Karst area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 2013, 29(8): 232–241. (in Chinese)
- [7] 张海涛, 周勇, 汪善勤, 等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 219–223.
ZHANG Hai-tao, ZHOU Yong, WANG Shan-qin, et al. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu-farm of Jiangnan plain[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 2003, 19(2): 219–223. (in Chinese)
- [8] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树, 等. 基于 GIS 的华中丘陵区耕地地力评价研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 96–101.
LU Ming-xing, HE Li-yuan, WU Li-shu, et al. Evaluation of the farmland productivity of hilly region of central China based on GIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 2006, 22(8): 96–101. (in Chinese)
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 华北小麦玉米轮作区耕地地力[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
National Agro-Technical Extension and Service Center. Cultivated land productivity for winter wheat–summer maize rotation system in North China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015. (in Chinese)
- [10] Lu F, Wang X K, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland[J]. *Global Change Biology*, 2009(15): 281–305.
- [11] 董若征. 河北省冬小麦–夏玉米轮作区土壤养分变化与供肥能力[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
DONG Ruo-zheng. Soil nutrients change and supply capability in the rotation system of winter wheat and summer maize in Hebei Province[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2012. (in Chinese)
- [12] 李九五. 近 25 年来山东省三种主要类型土壤有机质及氮、磷、钾养分变化特征研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
LI Jiu-wu. Changes of soil organic matter and nutrients in three soils of Shandong province over 25 years[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [13] 易玉林. 河南省土壤养分状况研究[J]. 河南科学, 2012, 30(7): 882–886.
YI Yu-lin. Soil nutrients status in Henan Province[J]. *Henan Science*, 2012, 30(7): 882–886. (in Chinese)
- [14] 杨治平. 山西省小麦–玉米轮作系统养分资源综合管理研究[D]. 太原: 山西大学, 2012.
YANG Zhi-ping. Integrated plant nutrient management for wheat–maize rotation system in Shanxi[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2012. (in Chinese)