doi: 10.11720/wtyht.2022.0035
张哲寰,刘凯,赵君,等.黑龙江省逊克平原土壤质量及绿色产地适宜性评价[J].物探与化探,2022,46(5):1087-1096. http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0035
Zhang Z H, Liu K, Zhao J, et al. Evaluation of the soil quality and the suitability for green food-producing areas in the Xunke Plain, Heilongjiang Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1087-1096. http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0035

黑龙江省逊克平原土壤质量及绿色产地适宜性评价

张哲寰[1,2,3],刘凯[1,2,3],赵君[4],梁帅[1,2,3],魏明辉[1,2,3],刘洋[1,2,3]
(1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034; 2. 自然资源部 黑土地演化与生态效应重点实验室,辽宁 沈阳 110034; 3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室,辽宁 沈阳 110034; 4. 中国地质调查局 西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘 要: 利用 1∶25 万土地质量地球化学调查数据,根据《土地质量地球化学评价规范》和《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》,对逊克平原土壤质量和绿色产地土壤环境质量进行评价。结果显示:逊克平原土地肥沃,环境优良,适合于发展绿色农业。①逊克平原土壤养分 N、P、K、有机质、CaO、MgO、Fe_2O_3、S、B、Zn、Mn、Cu、Mo、Co、Ge、V 16 项中,CaO、MgO、Cu、Zn 为较缺乏,Ge、B 缺乏,其他指标均为丰富和较丰富。土壤养分综合等级以丰富和较丰富为主,面积分别为 6 088 km^2 和 4 984 km^2,分别占全区面积的 44.58% 和 36.5%。②土壤环境质量综合等级以无风险为主,面积 13 600 km^2,占调查区面积的 99.59%;风险可控区面积 56 km^2,占 0.41%。③土壤质量综合等级以优质土壤为主,面积为 11 028 km^2,占全区面积的 80.76%;良好土壤面积 2 072 km^2,占全区的 15.17%;中等土地面积 556 km^2,占 4.07%,没有差等(四等)和劣等(五等)土壤。④逊克平原满足一级(AA 级)绿色产地要求的土壤面积为 13 396.45 km^2,占全区面积的 98.1%;满足二级(A 级)绿色产地要求的土壤面积为 148 km^2,占全区面积的 1.1%;不符合绿色食品产地要求的土壤面积为 112 km^2,占全区面积的 0.8%。逊克平原土壤养分充足,环境清洁,开发绿色食品产地潜力巨大。

关键词:土壤质量;绿色产地;逊克平原;黑龙江省
中图分类号: P632 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2022)05-1087-10

0 引言

土壤是人类赖以生存的物质基础,是农业生产的载体,其质量直接影响农产品质量和人类健康。土壤质量评价是衡量土壤质量优劣、优化土地利用的基本途径,是农业土地资源调查的重要内容和土地规划的重要组成部分[1-3]。土壤耕作中,由于长期施用化肥、农药及灌溉等,会导致土壤理化性质恶化,质量下降,进而影响土壤生态系统的结构和导致土壤功能发生改变,土地生产力下降,甚至于造成生态环境恶化。土壤质量地球化学评价内容是以影响土壤质量的养分指标、环境指标为主,综合考虑与土地利用有关的各种因素而进行的土壤质量地球化学评价[4-11],旨在为农业开发、耕地保护、改善种植结构、提高农产品质量提供科学依据。

1 研究区概况

黑龙江省逊克平原位于小兴安岭北麓,黑龙江中游右岸,隔黑龙江与俄罗斯相望。研究区地形西南高、东北低,南部为小兴安岭的剥蚀丘陵,北部为黑龙江河谷漫滩,中间为岗状山前台地。海拔 70~755 m,平均海拔 203 m。区内河流有黑龙江、逊河、乌云河及结烈河,均属黑龙江水系。研究区气候为温带—寒温带大陆性季风气候。冬季漫长,干燥寒

收稿日期: 2022-01-25; **修回日期**: 2022-06-12
基金项目: 中国地质调查局项目“东北黑土地 1∶25 万土地质量地球化学调查”(121201007000161312)、“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520)
第一作者: 张哲寰(1968-),女,高级工程师,主要从事环境地质研究工作。Email:601984163@qq.com

冷；春季风大，少雨干旱；夏季短暂炎热，昼夜温差较大；秋季降温迅速，常有冻害发生。年日照时数约 2 480 h，有效积温 1 700～2 300 ℃，年平均气温 0.9 ℃，年降水量 450～600 mm，无霜期 90～120 d，适宜农、林生产和植物生长。主要农作物有水稻、玉米、大豆等。

工作区出露的地层由老到新依次有元古宇、寒武系、二叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系及第四系。古近系和新近系在工作区内出露面积最大，其次为第四系，主要沿河流成条带状分布。其他地层在工作区内零星分布（见图 1）。

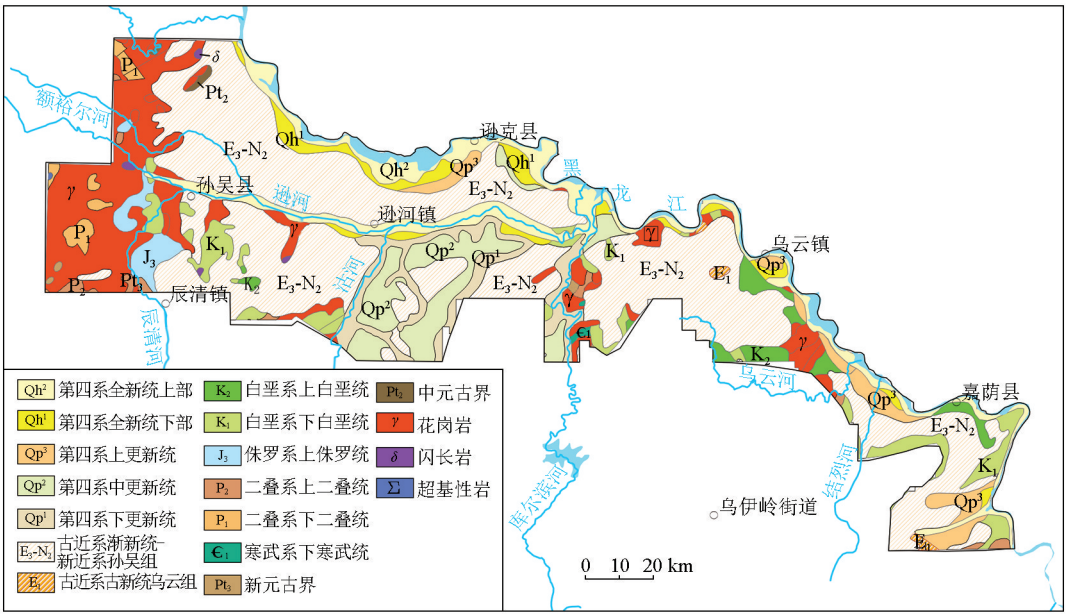

图 1　研究区地质图

Fig. 1　Geological map of the study area

2　数据来源

2.1　样品采集

依据中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范》（DZ/T 0258—2014），使用 GPS 并结合 1∶5 万地形图定位，在逊克平原按网格均布采集表层土壤样品，表层土壤采样深度 0～20 cm，每 1 km^2 采集一个土样，共采集土样 12 258 件，按照 2 km×2 km 的格网，将每个网格的 4 个土样混合成一个分析样品进行分析测试，共组合表层土壤分析样品 3 519 件。

2.2　样品分析与数据处理

土壤样品分析测试由具有 MA 认证资质的自然资源部沈阳矿产资源监督检测中心承担，提取分析方法及检出限见表 1。数据处理和分析利用 Excel、ArcGIS 和 GeolPAS 软件完成。

表 1　土壤中各指标分析方法及检出限

Table 1　Analysis methods and detection limits of soil elements

指标	检出限	分析方法	指标	检出限	分析方法
Cr	1.8	X 射线荧光光谱法（XRF）	Zn	0.3	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
Cu	0.9	X 射线荧光光谱法（XRF）	TFe_2O_3	0.01	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
P	6	X 射线荧光光谱法（XRF）	CaO	0.02	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
Pb	1	X 射线荧光光谱法（XRF）	MgO	0.02	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
V	4	X 射线荧光光谱法（XRF）	Co	0.6	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
K_2O	0.02	X 射线荧光光谱法（XRF）	Mn	0.3	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
Cu	0.9	X 射线荧光光谱法（XRF）	Ni	1.5	电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）
As	0.5	原子荧光光度法（AFS）	S	18	高频燃烧红外吸收法（CS）
Hg	0.0003	原子荧光光度法（AFS）	Cd	0.02	等离子体质谱法（ICP-MS）
B	1	发射光谱法（AES）	Ge	0.09	等离子体质谱法（ICP-MS）
Corg	0.03	容量法（VOL）	Mo	0.06	等离子体质谱法（ICP-MS）
N	19	凯氏定氮法			

注：氧化物、全铁、有机碳含量单位为 10^{-2}；Au 为 10^{-9}；其他元素为 10^{-6}。

3　评价方法与标准

3.1　土壤养分质量评价

依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)进行土壤养分质量评价,选择 N、P、K、有机质、CaO、MgO、Fe_2O_3、S、B、Zn、Mn、Cu、Mo、Co、Ge、V 共 16 项指标,以分析样品所对应的 2 km×2 km 网格为评价单元,依据规范元素养分等级划分标准将土壤养分单指标划分为五等、四等、三等、二等、一等 5 个等级,并赋予相应的分值(f_i),分别为 1、2、3、4、5。在此基础上按下式计算土壤养分地球化学综合得分$f_{养综}$。

$$f_{养综} = \sum_{i=1}^{n} k_i f_i \quad 。$$

式中:$f_{养综}$为氮、磷、钾综合评价得分,$1 \leqslant f_{养综} \leqslant 5$;$k_i$为氮、磷、钾权重,分别为 0.4、0.4 和 0.2;f_i 为氮、磷、钾单指标评价得分。按表 2 确定土壤养分综合等级。

表 2　土壤养分地球化学综合等级划分

Table 2　Comprehensive geochemical classification of soil nutrients

等级	一级(丰富)	二级(较丰富)	三级(中等)	四级(较缺乏)	五级(缺乏)
$f_{养综}$	≥4.5	<3.5~4.5	<3.5~2.5	<2.5~1.5	<1.5

3.2　土壤环境质量评价

依据生态环境部《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)标准,以 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 8 种重金属元素为评价指标,标准中按不同酸碱度给出了土壤污染风险筛选值和管控值,将元素含量实测值与筛选值、管控值比较,并按表 3 确定土壤环境质量单指标评价结果。评价单元土壤环境质量综合评价等级等于单指标环境评价最差的等级。

表 3　重金属单元素污染风险等级划分标准

Table 3　Standard for risk classification of single element pollution of heavy metals

环境等级	一等(无风险)	二等(风险可控)	三等(风险较高)
污染风险	无风险	风险可控	风险较高
划分方法	$C_i \leqslant S_i$	$S_i < C_i \leqslant G_i$	$C_i > G_i$

注:C_i 为土壤中指标 i 的实测浓度;S_i 为污染风险筛选值;G_i 为污染风险管控值。

当土壤中某种重金属含量等于或者低于风险筛选值时,认为农用地土壤污染风险低,一般情况下可以忽略,属于一等(无风险)土地;当土壤中重金属含量高于风险筛选值,且等于或低于风险管控值时,认为可能存在食用农产品不符合质量安全标准等农用地土壤污染风险,属于二等(风险可控)土地;当土壤中重金属含量高于风险管控值时,认为食用农产品不符合质量安全标准等农用地土壤污染风险高,属三等(风险较高)土地。

3.3　土壤质量综合评价

土壤质量综合等级根据评价单元的土壤养分综合等级与土壤环境综合等级按表 4 确定。

表 4　土壤质量地球化学综合等级

Table 4　Comprehensive geochemical grade of soil quality

土壤质量		环境综合等级		
		一等(无风险)	二等(风险可控)	三等(风险较高)
养分综合等级	一等(丰富)	一等	三等	五等
	二等(较丰富)	一等	三等	五等
	三等(中等)	二等	三等	五等
	四等(较缺乏)	三等	三等	五等
	五等(缺乏)	四等	四等	五等

3.4　绿色产地适宜性评价

3.4.1　绿色产地土壤环境评价

以分析样品所对应的 2 km×2 km 网格为评价单元,依据农业部《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)、《绿色食品产地环境调查、监测与评价规范》(NY/T 1054—2021)等相关标准[12-14],以 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu 6 种重金属元素为评价指标,利用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法评价土壤污染程度,再结合土壤肥力评价种植绿色农产品的土壤环境适宜性。单项污染指数按下式计算:

$$P_i = C_i / S_i \quad 。$$

式中:P_i 为监测项目的污染指数;C_i 为监测项目的实测值;S_i 为监测项目的评价标准值(见表 5)。

表 5　绿色食品产地土壤环境质量限值

Table 5　Envionmental quality limits for soil in green food production areas　　10^{-6}

项目	旱田			水田		
	pH<6.5	6.5≤pH≤7.5	pH>7.5	pH<6.5	6.5≤pH≤7.5	pH>7.5
镉	≤0.30	≤0.30	≤0.40	≤0.30	≤0.30	≤0.40
汞	≤0.25	≤0.30	≤0.35	≤0.30	≤0.40	≤0.40
砷	≤25	≤20	≤20	≤20	≤20	≤15
铅	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
铬	≤120	≤120	≤120	≤120	≤120	≤120
铜	≤50	≤60	≤60	≤50	≤60	≤60

如果有一项单污染指数大于 1,视为该产地土壤环境质量不符合要求,不适宜发展绿色食品。若单项指数均小于 1,则按照下式计算综合污染指数,

并根据土壤综合污染指数进行分级。

$$P_{综}=\sqrt{\frac{P_{i\max}^2+P_{i\text{ave}}^2}{2}}。$$

式中：$P_{综}$为土壤综合污染指数；$P_{i\max}$为土壤单项污染指数的最大值；$P_{i\text{ave}}$为土壤单项污染指数的平均值。$P_{综}\leqslant 0.7$，为土壤清洁(一级)；$0.7<P_{综}<1.0$，为土壤尚清洁(二级)；$P_{综}>1.0$，为土壤污染。

3.4.2 绿色产地土壤肥力评价

土壤肥力以有机质和全氮含量分级(见表 6)，评价单元的综合肥力为二者中较差的等级。

表 6 土壤肥力等级划分

Table 6 Classification of soil fertility grade

项目	级别	旱田	水田
有机质/10^{-3}	Ⅰ	>15	>25
	Ⅱ	10~15	20~25
	Ⅲ	<10	<20
全氮/10^{-3}	Ⅰ	>1.0	>1.2
	Ⅱ	0.8~1.0	1.0~1.2
	Ⅲ	<0.8	<1.0

3.4.3 绿色产地土壤环境质量适宜性评价

绿色食品产地土壤环境质量适宜性是以土壤环境质量为依据，土壤肥力仅用于等级划分。当土壤环境质量达到一级标准(清洁)，且土壤有机质和全氮含量均在Ⅱ级以上，则判定评价单元符合 AA 级绿色食品产地要求，为适宜区；当土壤环境质量达到一级标准，土壤有机质和全氮含量低于Ⅱ级，则判定评价单元符合 A 级绿色食品产地要求，为较适宜区；当土壤环境质量未达到一级标准，则判定评价单元为不符合绿色食品产地要求，为不适宜区(其他产地)。

4 结果与讨论

4.1 土壤养分评价

土壤养分是植物生长发育必需的物质，是衡量土壤肥力的主要依据，其含量高低直接影响作物的生长发育和果实的产量及品质[15]。逊克平原土壤中 N、P、有机质、S、Mn、Mo 含量以丰富—较丰富为主；K、Fe_2O_3、Co、V 含量以较丰富—中等为主；MgO、CaO、Zn 含量以中等—较缺乏为主；Cu、B、Ge 含量以较缺乏—缺乏为主。

4.1.1 有机质和大量营养元素氮、磷、钾

土壤有机质不仅是植物营养的重要来源，也是微生物活动的能源。逊克平原表层土壤有机质含量范围为 $1.16\times10^{-3}\sim103.96\times10^{-3}$，平均 47.37×10^{-3}，高于东北玉米优势区土壤平均有机质含量(26.65×10^{-3})[16]。全区有机质含量总体处于中等以上水平，丰富—中等土壤占 95.55%，其中有机质含量丰富—较丰富的土壤占 82.43%，面积达 11 256 km^2。

N、P、K 是植物生长发育必需的大量营养元素，也是影响作物产量的主要养分限制因子。逊克平原表层土壤 N、P、K 平均含量分别为 2.31×10^{-3}、0.98×10^{-3}、20.26×10^{-3}，处于丰富—中等水平，丰富—中等土壤面积分别占全区面积的 96.48%、87.17% 和 99.86%，其中 P 较缺乏—缺乏土壤有 1 752 km^2，占全区的 12.83%(见表 7)。

表 7 土壤大量营养元素(指标)含量与评价结果统计

Table 7 Statistical table of content and evaluation results of soil macronutrient elements (indicators)

指标	含量		土壤质量					
	范围值/10^{-3}	平均值/10^{-3}	等级	一等	二等	三等	四等	五等
			含义	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
N	0.29~4.75	2.31	面积/km^2	8460	3032	1684	380	100
			比例/%	61.95	22.2	12.33	2.78	0.73
P	0.20~1.91	0.98	面积/km^2	6604	3112	2188	1408	344
			比例/%	48.36	22.79	16.02	10.31	2.52
K	15.85~24.64	20.26	面积/km^2	228	7300	6108	20	0
			比例/%	1.67	53.46	44.73	0.15	0
有机质	1.16~103.96	47.37	面积/km^2	8424	2832	1792	544	64
			比例/%	61.69	20.74	13.12	3.98	0.47

4.1.2 中量营养元素钙、镁、硫

Ca、Mg、S 也是植物生长发育所必需的营养元素。Ca 是构成植物细胞壁的成分，能稳定生物膜结构，缺 Ca 时，植物生长受阻，个头矮小，根系容易腐烂，果实生长发育不良。Mg 是叶绿素的必要成分，植物体内 Mg 的最重要功能是形成叶绿素，同时还是多种酶的活化剂，缺 Mg 会影响作物的产量和品质。S 是蛋白质的组成元素，缺 S 时作物生长受到障碍，植株矮小瘦弱，叶片黄化[17]。

逊克平原土壤表层 CaO、MgO、S 平均含量分别为 0.95×10^{-2}、0.89×10^{-2}、270.93×10^{-6}，其中 S 以丰富—中等为主，面积为 9 380 km^2，占全区面积的

68.69%; CaO、MgO 以较缺乏—缺乏为主,CaO 较缺乏和缺乏面积为 10 776 km^2,占全区面积的 78.91%,MgO 较缺乏和缺乏面积为 13 028 km^2,占全区面积的 95.4%(见表 8); 可见随着氮、磷、钾肥的大量施用和作物产量的不断提高,中量元素缺乏逐渐成为限制作物产量和品质提高的重要影响因素[18]。

表 8　土壤中量营养元素含量与评价结果统计

Table 8　Statistical table of content of nutrient elements in soil and evaluation results

指标	含量		土壤质量					
	范围值	平均值	等级 含义	一等 丰富	二等 较丰富	三等 中等	四等 较缺乏	五等 缺乏
CaO	0.30~1.74	0.95	面积/km^2	0	0	2880	10684	92
			比例/%	0	0	21.09	78.24	0.67
MgO	0.30~1.49	0.89	面积/km^2	0	20	608	10344	2684
			比例/%	0	0.15	4.45	75.75	19.65
S	44~551.5	270.93	面积/ km^2	3224	3392	2764	2200	2076
			比例/%	23.61	24.84	20.24	16.11	15.2

注: Ca、Mg 含量单位为 10^{-2},S 为 10^{-6}。

4.1.3　微量营养元素

逊克平原土壤微量养分元素 Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo、Co、Ge、V 的含量和等级见表 9,其中 Mn、Mo 含量以丰富—较丰富为主,Fe、Co、V 含量以较丰富—中等为主,Zn 以中等—较缺乏为主。土壤中 B、Cu 和 Ge 含量以较缺乏和缺乏为主,B、Cu 和 Ge 较缺乏和缺乏面积之和分别为全区面积的 99.45%、85.53%和 69.3%。

表 9　土壤微量营养元素含量及评价结果

Table 9　Content and evaluation results of soil micronutrients

指标	含量		土壤质量						超出上限
	范围值	平均值	等级 含义	一等 丰富	二等 较丰富	三等 中等	四等 较缺乏	五等 缺乏	
Fe_2O_3	1.41~6.57	4.12	面积/km^2	852	3965	2680	3108	3052	
			比例/%	6.24	29.03	19.63	22.76	22.35	
Mn	180.78~1834	998.27	面积/km^2	11004	852	540	284	104	872
			比例/%	80.58	6.24	3.95	2.08	0.76	6.39
Cu	5.1~28.6	16.53	面积/km^2	45	236	1692	5951	5728	4
			比例/%	0.32	1.73	12.39	43.59	41.94	0.03
Zn	25.21~104.76	63.45	面积/km^2	1348	2492	3300	4316	2180	20
			比例/%	9.87	18.25	24.17	31.61	15.96	0.15
B	12.7~46.21	29.03	面积	4	0	72	5380	8200	
			比例%	0.03	0	0.53	39.40	60.05	
Mo	0.29~1.61	0.91	面积/km^2	8028	4100	1040	380	68	40
			比例/%	58.79	30.02	7.62	2.78	0.50	0.29
Co	5.47~19.36	12.34	面积/km^2	1676	4000	4428	2956	0.50	
			比例/%	12.27	29.29	32.43	21.65	4.36	
V	37.8~118.5	78.29	面积/km^2	1648	3416	3088	3340	2164	
			比例/%	12.07	25.01	22.61	24.46	15.85	
Ge	0.92~1.57	1.25	面积/km^2	212	876	3104	4840	4624	
			比例/%	1.55	6.41	22.73	35.44	33.86	

注: Fe、Mn 含量单位为 10^{-2},其他元素为 10^{-6}。

植物缺 B 时作物不能形成正常花器官,花粉管畸形,花粉粒发育不良,形成“有花无果”或果实质量不佳等现象[19-20]。Cu 能提高叶绿素的浓度增强光合作用,促进蛋白质的合成,作物缺 Cu 将严重影响产量[21-22]。Zn 有促进作物细胞呼吸、碳水化合物代谢及对氧的利用作用,当土壤中严重缺 Zn 时,作物产量大减,甚至绝收,对 Zn 敏感的作物有玉米、水稻、小麦、甘署等,科学施用 Zn 肥,能促进作物生长发育,提高作物结实率和产量,并显著改善产品品质[23]。Ge 是一种具有多种生物活性的微量元素,对人体具有广泛的防病治病等功效,被科学家称为“21 世纪的救命锗”和“生命的奇效元素”[24-26]。因此建议对逊克平原土壤 P、CaO、MgO、Cu、Zn、B、Ge 缺乏区施加相应的微量元素肥料,进行土质改良,以提高农作物的产量和质量。

4.1.4 土壤养分综合

土壤养分综合评价结果见表 10 和图 2。逊克平原土壤综合养分没有缺乏等级,土壤养分综合以丰富为主,面积 6 088 km^2,占总面积的 44.58%;二等土壤面积为 4 984 km^2,占总面积的 36.5%;三等、四等土壤面积分别为 2 084 km^2、500 km^2,分别占总面积的 15.26%和 3.66%,主要分布在逊河以北局部地区以及宝山乡—向阳乡和乌云镇之间;可见逊克平原土壤肥沃,有利于农作物生长,适合发展现代化农业。

表 10 表层土壤养分综合评价结果

Table 10 Comprehensive evaluation results of surface soil nutrients

等级	一等	二等	三等	四等	五等
含义	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
面积/ km^2	6088	4984	2084	500	0
比例/%	44.58	36.5	15.26	3.66	0

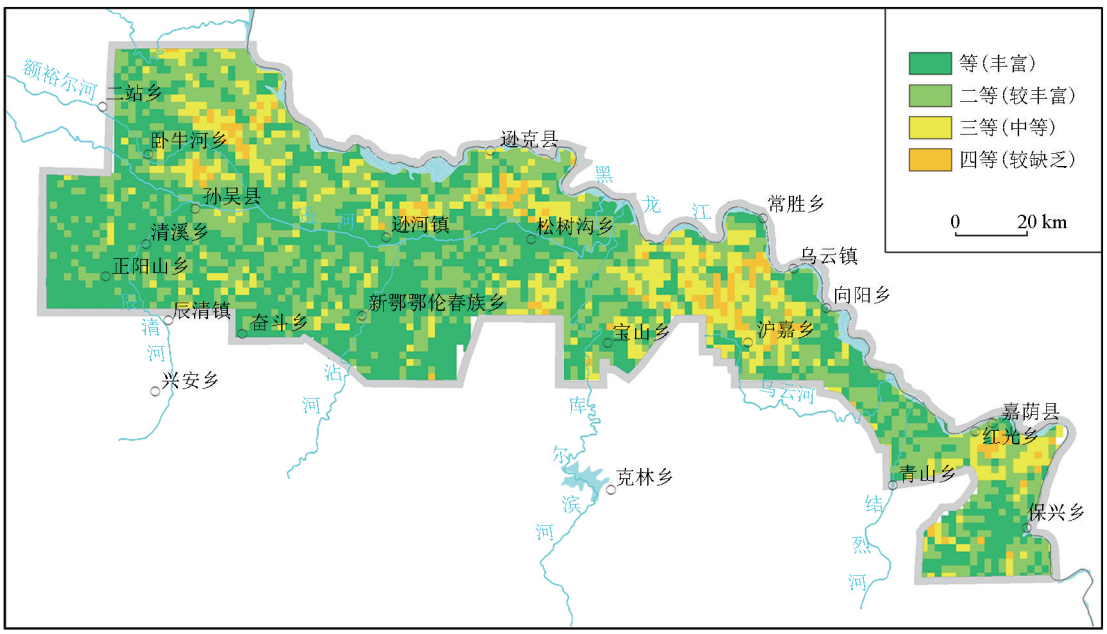

图 2 逊克平原土壤养分综合等级评价

Fig. 2 Comprehensive grade evaluation map of soil nutrients in Xunke Plain

4.2 土壤环境评价

土壤环境单指标评价结果见表 11。土壤中 Hg、Pb 二项土壤环境质量等级均为一等(无风险),Cu、Zn、Ni、As、Cd、Cr 6 项土壤环境质量为一等(无风险)的土壤分别占全区面积的 99.97%、99.85%、99.97%、99.82%、99.85%、99.97%。可见,逊克平原重金属元素在土壤中基本处于安全水平,仅局部有二等(风险可控)土壤,零星点状分布在孙吴县清溪乡西部、逊克县宝山乡和沪嘉乡、嘉荫县红光乡—保兴乡等地(图 3)。全区没有三等(风险较高)土壤。

表 11 土壤环境单指标评价结果

Table 11 Single index evaluation results of soil environment

元素	一等(无风险)		二等(风险可控)	
	面积/km^2	比例/%	面积/km^2	比例/%
Ni	13652	99.97	4	0.03
Hg	13656	100		
As	13632	99.82	24	0.18
Pb	13656	100		
Cr	13652	99.97	4	0.03
Cu	13652	99.97	4	0.03
Cd	13636	99.85	20	0.15
Zn	13636	99.85	20	0.15
环境综合	13600	99.59	56	0.41

4.3 土壤质量综合评价

土壤质量地球化学综合等级是土壤养分和土壤环境的综合反映,逊克平原土壤质量综合等级均在中等以上,没有四等(差等)和五等(劣等)土壤,其中一等(优质)土壤面积 11 028 km^2,占全区的 80.76%;二等(良好)土壤面积 2 072 km^2,占全区的 15.17%;三等(中等)土壤面积 556 km^2,占全区的 4.07%(见图 4)。

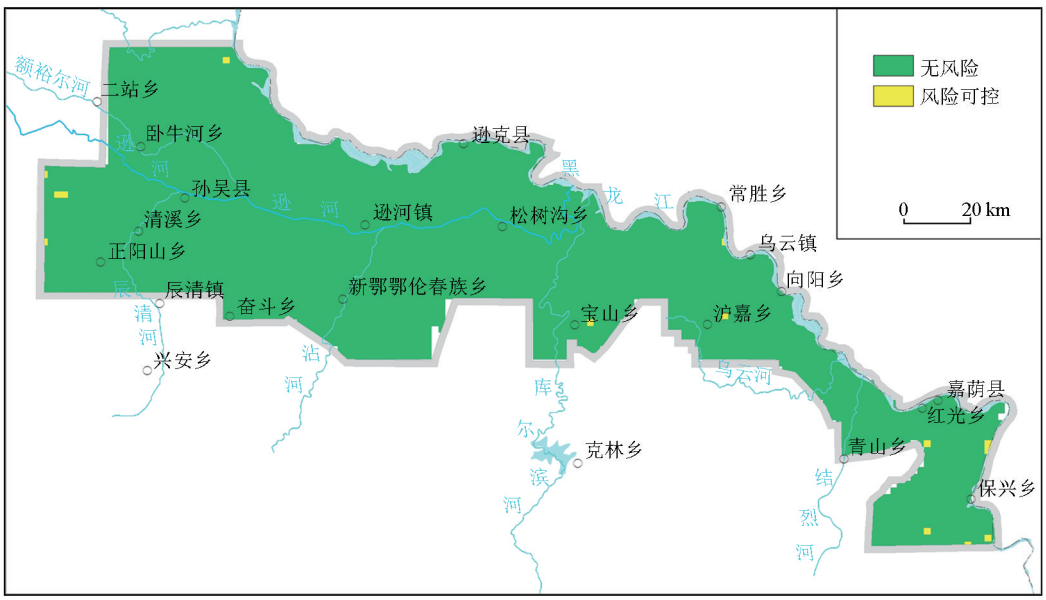

图 3　逊克平原土壤环境综合等级评价

Fig. 3　Comprehensive grade evaluation map of soil environment in Xunke plain

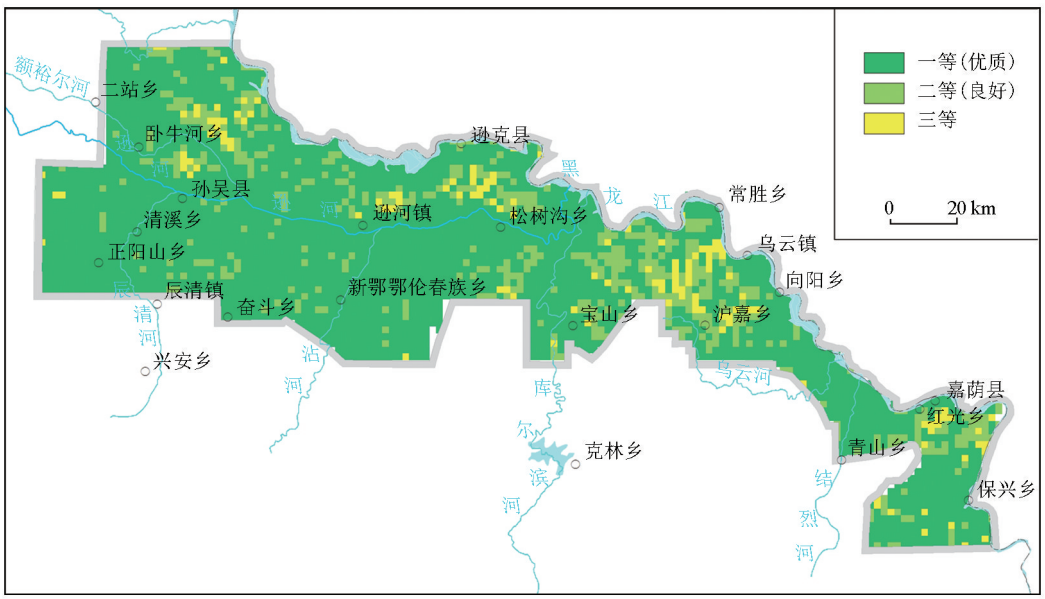

图 4　逊克平原土壤质量综合等级评价

Fig. 4　Comprehensive grade evaluation map of soil quality in Xunke plain

4.4　绿色产地土壤环境质量适宜性评价

4.4.1　绿色产地土壤环境评价

逊克平原绿色产地土壤环境质量综合评价结果达到一级(清洁)的土壤面积为 13 540 km^2,占 99.15%;二级(尚清洁)土壤面积为 72 km^2,占 0.53%,主要受 As、Cd、Cr、Cu、Pb 的影响;局部受到轻度污染的土壤面积 44 km^2,占 0.32%。

4.4.2　绿色产地土壤肥力评价

逊克平原土壤肥力较高,一级(肥力高)土壤面积为 13 152 km^2,占 96.31%;二级(肥力较高)土壤面积为 360 km^2,占 2.64%;三级(肥力一般)土壤面积为 144 km^2,仅占 1.05%。

4.4.3　绿色产地土壤环境质量适宜性

逊克平原土壤环境质量满足绿色食品产地要求的土壤达到 99.15%,其中满足一级(AA 级)绿色食品产地标准的土壤面积为 13 392 km^2,占全区面积的 98.07%;满足二级(A 级)绿色食品产地标准的土壤面积为 148 km^2,占全区面积的 1.08%;不符合绿色食品产地要求的三级(其他产地)土壤面积为 116 km^2,占全区面积的 0.85%。逊克平原土壤环境质量绝大部分达到一级标准,是一块宝贵的发展绿色食品前景广阔的洁净土地资源(见图 5)。

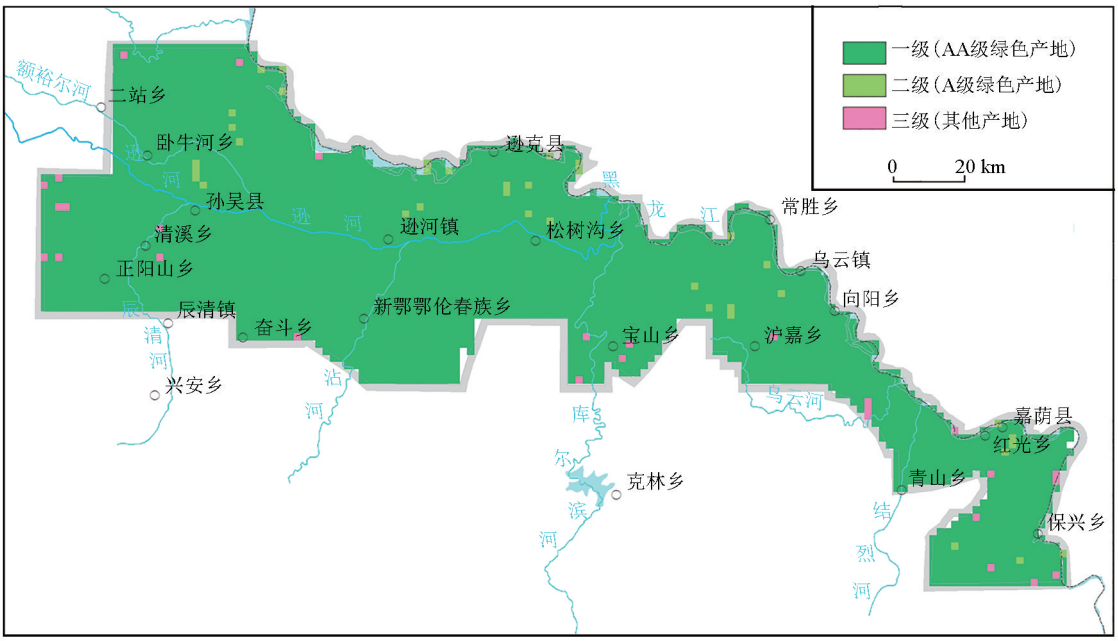

图 5 逊克平原绿色产地环境质量评价

Fig. 5 Environmental quality assessment map of green producing areas in Xunke plain

5 结论及建议

1)逊克平原土壤养分充足,土质肥沃。土壤养分单指标 N、P、有机质、S、Mn、Mo 含量以丰富—较丰富为主; K、Fe_2O_3、Co、V 含量以较丰富—中等为主; CaO、MgO、Zn 含量以中等—较缺乏为主; Cu、B、Ge 含量以较缺乏—缺乏为主。建议对 CaO、Zn、MgO、Cu、Ge、B 缺乏区适量施加相应的肥料,进行土壤改良,以提高农作物的产量和质量。全区土壤养分综合等级以丰富和较丰富为主,面积分别占全区面积的 44.58%和 36.5%,全区无养分缺乏等级土壤。

2)逊克平原土壤环境质量好,全区没有风险较高的土壤分布。一等土壤面积为 13 600 km^2,比例为 99.59%;二等土壤面积仅有 56 km^2,比例为 0.41%。

3)逊克平原土壤质量地球化学综合等级以优质为主,有一等(优质)土壤面积 11 028 km^2,占研究区面积的 80.76%;二等(良好)土壤面积 2 072 km^2,占研究区面积的 15.17%;三等(中等)土壤面积 556 km^2,占研究区面积的 4.07%;没有差等(四等)和劣等(五等)土壤。

4)逊克平原土壤环境质量满足一级(AA 级)绿色食品产地的土壤面积为 13 392 km^2,占全区面积的 98.07%; 满足二级(A 级)的土壤地面积为 148 km^2,占全区面积的 1.08%; 不符合绿色食品产地的三级(其他产地)土壤面积为 116 km^2,占全区面积的 0.85%。逊克平原土壤优质,环境清洁、养分充足,适合于发展现代农业,开发绿色食品产地前景广阔。

5)为进一步保护和提高土地生产能力,建议:①积极推广保护性耕作,增加土壤肥力; ②实施测土配方,科学施肥; ③深耕细作,增加耕层厚度; ④实行秸秆还田,增加土壤有机肥; ⑤加大耕地保护宣传,增强耕地保护意识,严格控制优质土地占用。

参考文献(References):

[1] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论[M]. 北京:高等教育出版社,1999:56-307.
Ni S X. Introduction to land types and land evaluation[M]. Beijing:Higher Education Press, 1999:56-307.

[2] 任家强,汪景宽,杨晓波,等. 辽河中下游平原土地质量地球化学评价及空间分布研究[J]. 沈阳大学学报,2011,37(4):208-211.
Ren J Q, Wang J K, Yang X B, et al. Geochemical evaluation and spatial distribution of land quality in the middle and lower reaches of Liaohe Plain[J]. Journal of Shenyang University, 2011, 37(4): 208-211.

[3] 潘志恒,李鑫,白荣杰,等. 长春经济区土壤地球化学特征[J]. 地质与资源,2020,29(6):564-569.
Pan Z H, Li X, Bai R J. Geochemical characteristics of soil in Changchun Economic Zone[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6):564-569.

[4] 杨忠芳. 现代环境地球化学[M]. 北京:地质出版社,1999.
Yang Z F. Modern environmental geochemistry[M]. Beijing:Geo-

logical Publishing House, 1999.

[5] 孙淑梅,张连志,闰冬. 吉林省德惠—农安地区土地质量地球化学评估[J]. 现代地质,2008,22(6):998-1002.
Sun S M,Zhang L Z,Run D. Geochemical evaluation of land quality in Dehui-Nong'an area of Jilin Province[J]. Modern Geology, 2008, 22(6):998-1002.

[6] 刘国栋,崔玉军,刘立芬,等. 土地质量地球化学评价方法研究与应用:以黑龙江省宏胜镇为例[J]. 现代地质,2017,31(1):167-176.
Liu G D,Cui Y J,Liu L F,et al. Research and application of geochemical evaluation method of land quality:A case study of Hongsheng Town, Heilongjiang Province[J]. Modern Geology, 2017, 31(1):167-176.

[7] 梁红霞,史春鸿. 当涂县土地质量地球化学评估[J]. 安徽地质,2014,24(2):122-126.
Liang H X, Shi C H. Geochemical evaluation of land quality in Dangtu County[J]. Geology of Anhui, 2014,24(2):122-126.

[8] 于成广,杨忠芳,杨晓波,等. 土地质量评估方法研究与应用:以盘锦市为例[J]. 现代地质,2012,26(5):873-878.
Yu C G,Yang Z F,Yang X B,et al. Research and application of land quality evaluation method:A case study of Panjin City[J]. Modern Geology, 2012,26(5):873-878.

[9] 刘军保,黄春雷,岑静. 土地质量地球化学评估方法研究:以慈溪市为例[J]. 资源调查与环境,2010,21(1):50-59.
Liu J B,Huang C L,Cen J. Study on geochemical evaluation method of land quality:A case study of Cixi City[J]. Resource Survey and Environment, 2010,21(1):50-59.

[10] 王增辉,王存龙,赵西强,等. 山东省黄河下游流域土地质量地球化学评估及方法研究[J]. 物探与化探,2013,37(4):743-748.
Wang Z H,Wang C L,Zhao X Q,et al. Geochemical evaluation and method of land quality in the lower Yellow River Basin of Shandong Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013,37(4):743-748.

[11] 戴慧敏,刘凯,宋运红,等. 东北地区黑土退化地球化学指示与退化强度[J]. 地质与资源,2020,29(6):510-517.
Dai H M,Liu K,Song Y H,et al. Geochemical indicators and degradation intensity of black soil degradation in Northeast China[J]. Geology and Resources, 2020,29(6):510-517.

[12] NY/T 391—2021 绿色食品产地环境质量[S].
NY/T 391—2021 Environmental quality of green food producing areas[S].

[13] NY/T 1054—2021 绿色食品产地环境调查、监测与评价规范[S].
NY/T 1054—2021 Code for environmental investigation, monitoring and evaluation of green food producing areas [S].

[14] NY/T 5295—2015 无公害农产品产地环境评价准则 [S].
NY/T 5295—2015 Environmental assessment criteria for producing areas of pollution-free agricultural products [S].

[15] 耿增超,戴伟. 土壤学[M]. 北京:科学出版社,2011:146.
Geng Z C,Dai W. Soil science[M]. Beijing:Science Press, 2011:146.

[16] 全国农业技术推广中心. 东北玉米优势区耕地质量专题评价[M]. 北京:中国农业出版社,2017:129.
National Agricultural Technology Extension Center . Special evaluation of cultivated land quality in maize dominant areas of Northeast China[M]. Beijing:China Agricultural Press, 2017:129.

[17] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]北京:中国农业出版社,1991:123-130.
Zhejiang Agriculture University. Plants nutrition and fertilizer [M]. Beijing:China Agricultural Press,1991:123-130.

[18] 张俊伶,张福锁,廖红,等. 植物营养学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2021:112.
Zhang J L, Zhang F S, Liao H, et al. Plantsnutrition[M]. Beijing:China Agriculture University Press,2021:112.

[19] 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2014:121-122.
Cai Q S. Plant physiology[M]. Beijing:China Agricultural University Press,2014:121-122.

[20] 刘万华,邵凤城,刘淑君,等. 武清区农田土壤缺硼现状与补硼措施[J]. 天津农业科学,2009,15(增刊):5-7.
Liu W H,Shao F C,Liu S J,et al. Current situation of boron deficiency in farmland soil and boron supplement measures in Wuqing District [J]. Tianjin Agricultural Science, 2009,15(S):5-7.

[21] 蒋德安. 植物生理学实验指导[M]. 成都:成都科技大学出版社,1999:22-23.
Jiang D A. Experimental guidance of plant physiology[M]. Chengdu:Chengdu University of Science and Technology Press, 1999:22-23.

[22] 唐明灯,吴龙华,李宁,等. 修复植物需堆肥对缺铜土壤上冬小麦生长和铜胡收的初步研究[J]. 土壤,2006,38(5):614-618.
Tang M D,Wu L H,Li N,et al. Preliminary study on the effects of Repairing Plant Elsholtzia compost on the growth and copper harvest of Winter Wheat in copper deficient soil[J]. Soil, 2006,38(5):614-618.

[23] 郑利伟. 土壤缺锌作物典型症状及综合防治措施[J]. 现代农业科技,2009(7):185.
Zheng L W. Typical symptoms and comprehensive control measures of soil zinc deficiency crops[J]. Modern Agricultural Science and technology, 2009(7):185.

[24] 徐德海. 化学元素知识简明手册[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
Xu D H. Concise handbook of chemical element knowledge[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2012.

[25] 叶铁林,徐宝财. 化学元素的奇妙世界[M]. 北京:化学工业出版社,2016.
Ye T L,Xu B C. The wonderful world of chemical elements[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2016.

[26] 袁宏,赵利,王茂丽,等. 西藏拉萨至曲水拉萨河沿岸农用地土壤硒锗空间分布与评价[J]. 土壤,2020,52(2):427-432.
Yuan H,Zhao L,Wang M L,et al. Spatial distribution and evaluation of selenium and germanium in agricultural soil along Lhasa River from Lhasa to Qushui, Tibet[J]. Soil, 2020,52(2):427-432.

Evaluation of the soil quality and the suitability for green food-producing areas in the Xunke Plain, Heilongjiang Province

ZHANG Zhe-Huan[1,2,3], LIU Kai[1,2,3], ZHAO Jun[4], LIANG Shuai[1,2,3], WEI Ming-Hui[1,2,3], LIU Yang[1,2,3]

(1. *Shenyang Center of China Geological Survey*, *Shenyang* 110034, *China*; 2. *Key Laboratory for Evolution and Ecological Effect in Black Land*, *Ministry of Natural Resources*, *Shenyang* 110034, *China*; 3. *Key Laboratory for Evolution and Ecological Effect in Black Land of Liaoning Province*, *Shenyang* 110034, *China*; 4. *Xi'an Center of Geological Survey*, *CGS*, *Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: As per the Specification of Land Quality Geochemical Assessment and the Soil Environment Quality-Risk Control Standard for Soil Contamination of Agricultural Land (Trial), this study evaluated the soil quality of the Xunke Plain and the soil environmental quality of the plain as green food-producing areas using the 1∶250 000 geochemical survey data of land quality. The results show that the Xunke Plain has fertile land and an excellent environment and is suitable for the development of green agriculture. ①The Xunke Plain is rich or highly rich in 16 soil nutrients (i.e., N, P, K, organic matter, CaO, MgO, Fe_2O_3, S, B, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, Ge, and V) except for CaO, MgO, Cu, and Zn, which are deficient, and Ge and B, which are highly deficient. This plain mainly has soil nutrients of highly rich and rich comprehensive grades, which cover an area of 6,088 km^2 and 4,984 km^2, respectively, accounting for 44.58% and 36.5% of the total area of the plain, respectively. ②This plain mainly has the soil environmental quality of risk-free comprehensive grade, which covers an area of 13,600 km^2, accounting for 99.59% of the total area of the plain. The portion with controllable risk covers an area of 56 km^2, accounting for 0.41%. ③This plain mainly has soil quality of excellent comprehensive grade, which covers an area of 11,028 km^2, accounting for 80.76% of the total area of the plain. The land portion with high-quality soil quality has an area of 2,072 km^2, accounting for 15.17%, and that with moderate soil quality covers an area of 556 km^2, accounting for 4.07%. There is no poor (fourth grade) or inferior (fifth grade) soil in the plain. ④The soil of the Xunke Plain meeting the requirements of Class-I (AA) and Class-II (A) green food-producing areas has an area of 13,396.45 km^2 and 148 km^2, respectively, accounting for 98.1% and 1.1% of the total area of the plain, respectively. The soil that is unsuitable to be used as green food-producing areas has an area of 112 km^2, accounting for 0.8% of the total area of the plain. Overall, the Xunke Plain enjoys sufficient soil nutrients and a clean environment and has great potential for developing as green food-producing areas.

Key words: soil quality; green origin; Sunke Plain; Heilongjiang Province

(本文编辑:蒋实)