



黑龙江省讷河市土壤质量与绿色产地适宜性评价

张哲寰^{1,2,3}, 杨佳佳^{1,2,3}, 宋运红^{1,2,3}, 贺鹏飞^{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 130034;
3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 基于东北黑土地 1:250 000 土地质量地球化学调查数据,按照《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)》,对讷河市土壤养分、土壤环境质量、土壤综合质量及绿色产地适宜性进行评价。结果显示讷河市土地肥沃,环境清洁,适合于发展绿色农业:1)土壤养分单指标 N、P、K、有机质、CaO、MgO、Fe₂O₃、S、B、Zn、Mn、Cu、Mo、Co、Ge、V 共 16 项中,除 Cu、Zn 为较缺乏和 Ge、B 缺乏外,其他指标均为丰富和较丰富;土壤养分综合等级以较丰富和中等为主,分布面积分别为 3 666.74 km² 和 2 574.11 km²,占全区面积的 56.94%和 39.97%。2)土壤环境质量以一等(无风险)为主,一等区面积 6 435.78 km²,占全区面积的 99.94%;二等(风险可控)区面积仅 4 km²,占 0.06%。3)全区土壤质量综合等级以优质为主,优质土壤面积 3 806.06 km²,占全区面积的 59.11%;良好级土壤面积 2 574.11 km²,占 39.97%;中等级土壤面积 59.61 km²,占 0.92%;没有四等(差等)和五等(劣等)土壤。4)符合一级绿色食品产地的土壤面积为 6 461.5 km²,占全区面积的 97.5%;符合二级绿色食品产地的土壤面积为 38.1 km²,占全区面积的 0.58%;不符合绿色食品产地的土壤面积为 65.6 km²,占全区面积的 0.99%。

关键词: 绿色产地;土壤养分;土壤环境;土壤质量;讷河市;黑龙江省

EVALUATION ON THE SOIL QUALITY AND SUITABILITY OF GREEN FOOD PRODUCING AREA IN NEHE CITY OF HEILONGJIANG PROVINCE

ZHANG Zhe-huan^{1,2,3}, YANG Jia-jia^{1,2,3}, SONG Yun-hong^{1,2,3}, HE Peng-fei^{1,2,3}

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;
2. Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China;
3. Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects of Liaoning Province, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the 1:250 000 land quality geochemical survey data of black land in Northeast China, the soil nutrients, soil environmental quality, comprehensive soil quality and suitability of green food producing area in Nehe City are evaluated according to the *Soil Quality Geochemical Evaluation Standard* and *Soil Environmental Quality Agricultural Land Soil Pollution Risk Control Standard (Trial)*. The results show that there is fertile land and clean environment in Nehe City, which is suitable for the development of green agriculture. Among the 16 indexes, including N, P, K, organic matter, CaO, MgO, Fe₂O₃, S, B, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, Ge and V, except Cu and Zn are relatively deficient, Ge and B deficient, the others are rich or relatively rich. The comprehensive soil nutrient grades are mainly rich and medium, with distribution areas of 3 666.74 km² and 2 574.11 km², accounting for 56.94% and 39.97% of the total area respectively. The soil environmental quality is dominated by Grade I (risk free), covering an area of 6 435.78 km²,

收稿日期:2021-04-12;修回日期:2021-07-02. 编辑:李兰英.

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).

作者简介:张哲寰(1968—),女,高级工程师,主要从事环境地质研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号,E-mail/601984163@qq.com

accounting for 99.94% of the total; while the Grade II (risk controllable) area is only 4 km², occupying 0.06%. The comprehensive soil quality is largely fine-grade soil, covering 3 806.06 km² and accounting for 59.11% of the total area, with the good-grade of 2 574.11 km² (39.97%) and medium-grade of 59.61 km² (0.92%), no poor- and inferior-grades soil. The soil area conforming to Grade-AA green food production area is 6 461.5 km², accounting for 97.5% of the total area, that conforming to Grade-A 38.1 km² (0.58%), and that does not meet the requirements is 65.6 km² (0.99%).

Key words: green food producing area; soil nutrient; soil environment; soil quality; Nehe City; Heilongjiang Province

0 引言

土壤是人类赖以生存的物质基础,是粮食生产和人类活动的载体,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地质量优劣,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]。由于土地耕作,长期施用化肥、农药及灌溉等因素,会导致土壤理化性质恶化,土地质量下降,进而影响土壤生态系统的结构和功能发生改变,土地生产力下降,生态环境恶化。土壤质量与绿色产地适宜性评价是以影响土壤质量的养分元素、环境元素为主,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^[2-12],旨在为保护耕地、改善种植结构、开发绿色农产品,科学合理施肥,促进农业高质量发展提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 地理概况

黑龙江省讷河市位于松嫩平原北部,为大小兴安岭向南部平原过渡的山前高原区,地势北高南低,由东北向西南倾斜,面积 6 674 km²。区内有嫩江的一级支流讷谟尔河自东向西流经全境,属于温带大陆性季风气候区,年平均气温为 1.1℃,年平均降水量为 450 mm,年平均日照时数 2 747 h,无霜期为 120 d。气候特点是积温不足,雨量偏少,无霜期短,昼夜、冬夏温差较大。讷河市是黑龙江省重要的农业基地,有耕地 47.3×10⁴ hm²,占土地面积的 71.0%,主要农作物有玉米、大豆、水稻、马铃薯。区内主要土壤类型有黑土、草甸土、暗棕壤、黑钙土,分布面积分别占全市面积的 44.8%、31.5%、10.7%和 7.2%^[13]。本次调查区面积 6 439.78 km²。

1.2 地质概况

研究区出露的地层主要有第四系亚黏土、亚砂土、中粗砂、含黏土砂砾石和泥炭,分布面积最大;前第四

系有古近系—新近系砂岩、泥岩和砂砾,分布在研究区东北部;白垩系砾岩、砂岩、泥岩,分布在研究区西北和东北部;此外有零星分布的元古宇片岩和更新世玄武岩(图 1)。

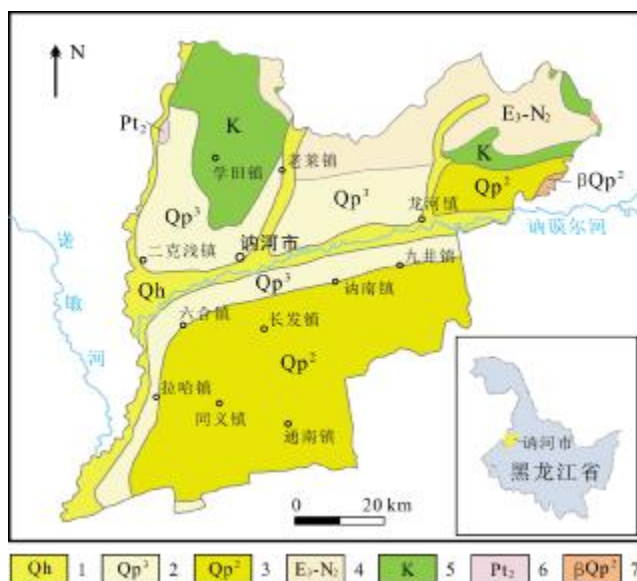


图 1 研究区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

1—第四系全新统 (Quaternary Holocene); 2—第四系上更新统 (Quaternary Upper Pleistocene); 3—第四系中更新统 (Quaternary Middle Pleistocene); 4—古近系渐新统—新近系 (Paleogene Oligocene-Neogene); 5—白垩系 (Cretaceous); 6—元古宇 (Proterozoic); 7—玄武岩 (basalt)

2 样品采集与分析方法

在讷河市境内,依据《多目标区域地球化学调查规范》(DZ/T0258—2014),按照 1 km×1 km 格网,每 1 km² 采集 1 件表层土壤(0~20 cm)样品,全区共采集土样 6 508 件,再按照 2 km×2 km 的格网,将 4 个土样混合组成一个分析样品,共组合表层土壤分析样品 1 627 件。

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。

表 1 土壤元素分析及检出限
Table 1 Analysis methods and detection limits of soil elements

序号	成分	检出限	分析方法
1	Cr	1.8	X 射线荧光光谱法
2	Cu	0.9	X 射线荧光光谱法
3	P	6	X 射线荧光光谱法
4	Pb	1	X 射线荧光光谱法
5	V	4	X 射线荧光光谱法
6	K ₂ O	0.02	X 射线荧光光谱法
7	Cu	0.9	X 射线荧光光谱法
8	As	0.5	原子荧光光度法
9	Hg	0.0003	原子荧光光度法
10	B	1	发射光谱法
11	C _{org}	0.03	容量法
12	N	19	凯氏定氮法
13	Zn	0.3	电感耦合等离子体发射光谱法
14	Fe ₂ O ₃	0.01	电感耦合等离子体发射光谱法
15	CaO	0.02	电感耦合等离子体发射光谱法
16	MgO	0.02	电感耦合等离子体发射光谱法
17	Co	0.6	电感耦合等离子体发射光谱法
18	Mn	0.3	电感耦合等离子体发射光谱法
19	Ni	1.5	电感耦合等离子体发射光谱法
20	S	18	高频燃烧红外吸收法
21	Cd	0.02	等离子体质谱法
22	Ge	0.09	等离子体质谱法
23	Mo	0.06	等离子体质谱法

含量单位:氧化物、有机碳为 10⁻²,Au 为 10⁻⁹,其他为 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/T0295—2016)进行土壤养分质量评价,选择 N、P、K、有机质、CaO、MgO、Fe₂O₃、S、B、Zn、Mn、Cu、Mo、Co、Ge、V 共 16 项指标,以一个混合分析样品所对应的 4 km² 为评价

单元,依据规范中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 $f_{\text{养综}}$ 。

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

式中: $f_{\text{养综}}$ 为氮、磷、钾综合评价得分, $1 \leq f_{\text{养综}} \leq 5$; k_i 为氮、磷、钾权重,分别为 0.4、0.4、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 grading 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)
$f_{\text{养综}}$	≥ 4.5	$<3.5 \sim 4.5$	$<3.5 \sim 2.5$	$<2.5 \sim 1.5$	<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》(GB15618—2018)标准,以 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 八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,并按规范给出的表 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 Grading standard for single element pollution risk 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	$C_i \leq S_i$	$S_i < C_i \leq G_i$	$C_i > G_i$

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的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,认为存在食用农产品不符合质量

安全标准的农用地土壤污染风险,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叠加产生,划分以环境综合质量为主要依据,同时结合养分综合质量按表 4 确定.

表 4 土壤质量地球化学综合等级表

Table 4 Comprehensive geochemical grading of soil quality

土壤质量综合等级		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 土壤环境评价

依据农业部《绿色食品产地环境质量》(NY/T391—2013)等相关标准^[14-16],以 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu 六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:

$$P_i=C_i/S_i$$

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.

如果有一项单污染指数大于 1, 视为该产地环境质量不符合要求, 不适宜发展绿色产品. 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.

$$P_{\text{综}}=\sqrt{\frac{P_{\text{imax}}^2+P_{\text{lave}}^2}{2}}$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤综合污染指数, P_{imax} 为土壤单项污染指数的最大值, P_{lave} 为土壤单项污染指数的平均值. $P_{\text{综}}\leq 0.7$, 为土壤清洁; $0.7<P_{\text{综}}<1.0$, 为土壤尚清洁; $P_{\text{综}}>1.0$, 为土壤污染.

3.4.2 土壤肥力评价

土壤肥力以有机质和全氮含量分级(见表 5), 评

表 5 土壤肥力等级划分表

Table 5 Grading of soil fertility of dry and paddy lands

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

价单元的综合肥力为二者中较差的等级.

3.4.3 土壤环境质量适宜性评价

当土壤环境质量达到一级标准, 且土壤有机质和全氮含量达到 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

土壤养分是衡量土壤肥力的主要依据, 其含量高直接影 响作物的生长发育、产量与品质. 依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)从单指标和养分综合两方面评价. 养分单指标中有机质、N、 Fe_2O_3 、Co、V、Mn、S 含量等级以丰富—较丰富为主; K、Mo 含量以较丰富—中等为主; P、CaO、MgO、Cu、Zn 含量以中等—较缺乏为主; B 和 Ge 以较缺乏—缺乏为主.

4.1.1 有机质及大量营养元素氮、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. 研究区土壤表层有机质含量范围为 $15.17\times 10^{-3}\sim 60.68\times 10^{-3}$, 平均 37.07×10^{-3} , 高于东北玉米优势区土壤平均有机质含量 26.65×10^{-3} ^[17]. 全区有机质含量总体以丰富和较丰富为主, 丰富—较丰富的土地占 84.53%, 面积为 5 443.37 km². 有机质在中等以上的土地占全区面积的 98.61%(表 6).

N、P、K 都是植物生长发育所必需的大量营养

元素,也是影响作物产量的主要养分限制因子. 研究区土壤表层 N、P、K 含量平均值分别为 1.90×10^{-3} 、 0.68×10^{-3} 、 20.09×10^{-3} ,属于较丰富—中等水平. N、P、K 含量在中等以上的土地面积分别占全区的 99.77%、73.24% 和 100%. 其中 P 较缺乏—缺乏土地有 $1\,723.61\text{ km}^2$, 占全区的 26.76%.

4.1.2 中量营养元素钙、镁、硫

Ca、Mg、S 是植物生长发育所必需的中量营养元素. 研究区土壤表层 CaO、MgO、S 含量平均值分别为 1.32×10^{-2} 、 1.20×10^{-2} 、 411.36×10^{-6} . CaO、MgO、S 含量在中等以上的土地面积分别占全区的 76.07%、50.89%、99.17%. Ca 较缺乏—缺乏区面积 $1\,540.94\text{ km}^2$, 占全区的 23.93%. Mg 较缺乏—缺乏区面积 $3\,162.55\text{ km}^2$, 占全区的 49.11%. S 较缺乏—缺乏区面积 45.47 km^2 , 占全区的 0.07%(表 7).

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^[18].

4.1.3 微量营养元素

研究区土壤微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo、Co、Ge、V 的含量及土壤质量评价结果见表 8. 其中 Fe、Mn、Co、V 含量以丰富—较丰富为主;Mo 含量以较丰富—中等为主;Cu 和 Zn 含量以中等—较缺乏为主,但 Cu 和 Zn 的有效态为丰富和较丰富^[13];土壤中 B 和 Ge 含量以较缺乏和缺乏为主,B、Ge 较缺乏和缺乏的面积之和分别为全区面积的 95.68%和 81.50%.

表 6 土壤大量营养元素(指标)含量及评价结果统计表
Table 6 Contents of major soil nutrient elements and evaluation results

指标	样品数	含量范围	平均值	变异系数	土壤质量等级	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)
有机质	1554	15.17~60.68	37.07	0.21	面积	2064.34	3379.03	906.91	85.67	3.83
					百分比	32.06	52.47	14.08	1.33	0.06
N	1603	0.83~3.01	1.90	0.20	面积	2519.12	2960.37	945.15	15.13	0
					百分比	39.12	45.97	14.68	0.23	0
P	1573	0.34~1.05	0.68	0.18	面积	229.04	1000.3	3486.83	1664	59.61
					百分比	3.56	15.53	54.15	25.84	0.93
K	1543	17.76~22.40	20.09	0.04	面积	12	3583.82	2843.95	0	0
					百分比	0.19	55.65	44.16	0	0

含量单位: 10^{-3} ;面积单位: km^2 .

表 7 土壤中量营养元素含量及评价结果统计表
Table 7 Contents of medium soil nutrient elements and evaluation results

指标	样品数	含量范围	平均值	变异系数	土壤质量等级	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)	超出上限
CaO	1490	0.58~2.06	1.32	0.19	面积	29.42	210.59	4658.82	1540.94	0	
					百分比	0.46	3.27	72.34	23.93	0	
MgO	1615	0.50~1.91	1.20	0.21	面积	0	41.61	3235.61	2991.41	171.14	
					百分比	0	0.65	50.24	46.45	2.66	
S	1595	152.00~673.00	411.36	0.21	面积	5061.09	1033.12	292.1	29.86	15.61	8
					百分比	78.59	16.04	4.54	0.46	0.24	0.12

含量单位:CaO、MgO 为 10^{-2} , S 为 10^{-6} ;面积单位: km^2 .

表 8 土壤微量营养元素含量及评价结果
Table 8 Contents of micro soil nutrient elements and evaluation results

指标	样品数	含量范围	平均值	变异系数	土壤质量等级	一等	二等	三等	四等	五等	超出上限
Fe ₂ O ₃	1607	2.53~7.06	4.90	0.16	面积	2619.11	1648.74	918.19	871.81	381.93	
					百分比	40.67	25.6	14.26	13.54	5.93	
Mn	1591	231.00~1332.00	741.7	0.27	面积	3638.74	1205.61	881.51	517.63	173.24	23.06
					百分比	56.5	18.72	13.69	8.04	2.69	0.36
Cu	1600	10.3~28.7	19.77	0.16	面积	0	247.89	2357.18	2807.98	1022.72	4
					百分比	0	3.85	36.6	43.6	15.88	0.06
Zn	1607	30.9~84.80	58.1	0.16	面积	4	308.99	2251.52	2465.06	1410.2	
					百分比	0.06	4.8	34.96	38.28	21.9	
B	1608	13.30~52.40	31.9	0.22	面积	4	16	258.06	3445.78	2715.94	
					百分比	0.06	0.25	4.01	53.51	42.17	
Mo	1579	0.33~1.93	0.69	0.20	面积	876.9	2923.57	1689.61	736.19	213.51	
					百分比	13.62	45.4	26.24	11.43	3.32	
Co	1612	0.33~1.09	14.7	0.22	面积	3015.14	1353.5	1159.41	820.81	90.91	
					百分比	46.82	21.02	18	12.75	1.41	
V	1604	54.0~143.0	99.9	0.15	面积	4003.2	1299.84	620.77	381.69	134.27	
					百分比	62.16	20.18	9.64	5.93	2.09	
Ge	1595	0.78~1.59	1.17	0.12	面积	173.5	288.43	729.48	1271.2	3977.17	
					百分比	2.69	4.48	11.33	19.74	61.76	

含量单位:Fe₂O₃ 为 10⁻²,其他元素为 10⁻⁶;面积单位:km².

Cu 能提高叶绿素的浓度增强光合作用,促进蛋白质的合成,增强抗逆性,以及对病害的抵抗力,作物缺 Cu 将严重影响产量^[19-20]. 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、甘薯等,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,并显著改善产品质量^[21].

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^[22-23]. Ge 是一种具有多种生物活性的微量元素,一些生物学家发现几乎所有的动物体和植物体都含有 Ge. 随着 Ge 清除自由基、免疫调节抗突变作用、搞肿瘤等生物活性的发现,其在生物上的研究和利用逐渐引起重视^[24-26]. 从植物中获取 Ge 是人体最安全有效的来源,富 Ge 土壤可广泛应用于富 Ge 农产品的

开发. 因此建议对 P、CaO、MgO、Cu、Zn、B、Ge 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.

4.1.4 土壤养分综合

土壤养分综合评价结果见表 9 和图 2. 全区土壤综合养分为一等(丰富)的土壤面积占研究区的 2.23%,主要分布在讷河市北部;二等(较丰富)土壤面积占 56.94%;三等(中等)土壤面积占 39.97%;四等(较缺乏)土壤占 0.86%,分布在讷河市西南,较缺乏面积很小. 全区土壤养分无缺乏等级.

4.2 土壤环境评价

土壤环境单指标评价结果见表 10. 八项重金属中 Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Cd 七项指标环境质量等级为一等(无风险). Ni 环境质量一等区面积占研究区的 99.94%,二等(风险可控)区面积仅 4 km²,占 0.06%,分布在龙河镇北.

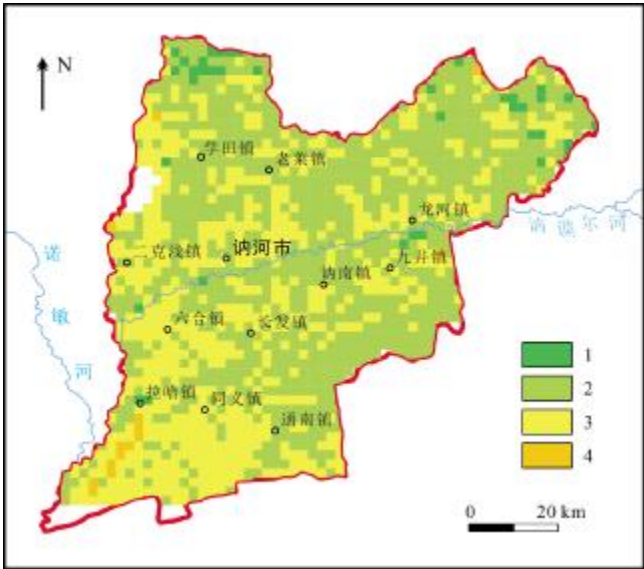


图 2 讷河市土壤养分综合等级评价图

Fig. 2 Comprehensive grade evaluation of soil nutrients in Nehe City

1— 一等(丰富)(Grade-I, rich); 2— 二等(较丰富) (Grade-II, relatively rich); 3— 三等(中等) (Grade-III, medium); 4— 四等(较缺乏) (Grade-IV, deficient)

表 9 表层土壤养分综合评价结果
Table 9 Comprehensive evaluation results of topsoil nutrients

等级	一等 (丰富)	二等 (较丰富)	三等 (中等)	四等 (较缺乏)	五等 (缺乏)
面积/km ²	143.32	3666.74	2574.11	55.61	0
比例/%	2.23	56.94	39.97	0.86	0

土壤环境综合评价结果见图 3. 全市 99.94%的土地环境综合质量为一等(无风险)的土地面积为 6 435.78 km²,受 Ni 的影响,有 0.06%的土地为二等(风险可控),面积 4 km²,分布在龙河镇,全市无三等(风险较高)的土壤分布.

4.3 土壤质量地球化学综合评价

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. 评价结果显示讷河市有一等(优质)土地 3 806.06 km²,占全区面积的 59.11%;二等(良好)土地面积 2 574.11 km²,占研究区的 39.97%;三等(中等)土地 59.61 km²,占研究区的 0.92%. 全市没有四等(差等)和五等(劣等)土地分布(见图 4).

4.4 绿色食品产地土壤环境质量适宜性评价

4.4.1 土壤环境

绿色产地土壤环境质量评价结果:土壤环境质量

表 10 土壤环境单指标评价结果表
Table 10 Single index evaluation results of soil heavy metals

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	6435.78	99.94	4	0.06
Hg	6439.78	100	—	—
As	6439.78	100	—	—
Pb	6439.78	100	—	—
Cr	6439.78	100	—	—
Cu	6439.78	100	—	—
Cd	6439.78	100	—	—
Zn	6439.78	100	—	—
环境综合	6435.78	99.94	4	0.06

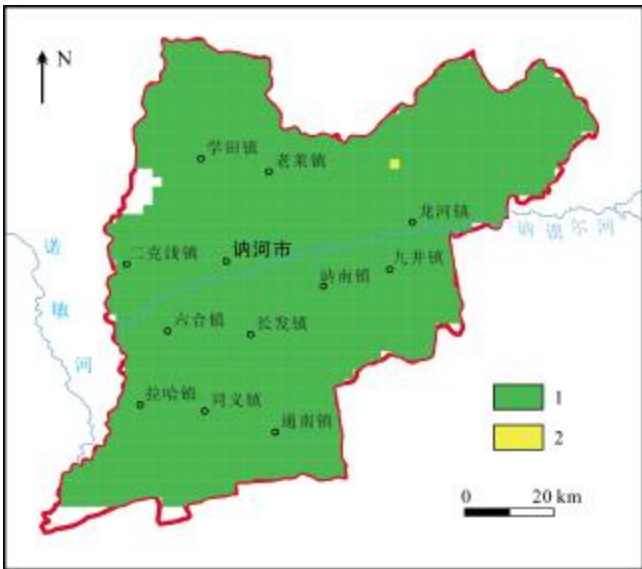


图 3 讷河市土壤环境综合等级评价图

Fig. 3 Comprehensive grade evaluation of soil environment in Nehe City

1— 无风险(risk free); 2— 风险可控(risk controllable)

一级(清洁),面积为 6 497.61 km²,占 98.05%;二级(尚清洁),面积为 8 km²,占 0.12%.

4.4.2 土壤肥力

绿色产地土壤肥力以全氮和有机质为评价指标,评价结果:一级(肥力高)面积为 6 546.02 km²,占 98.78%;二级(肥力较高)面积为 19.27 km²,占 0.29%.

4.4.3 土壤环境质量适宜性

讷河市土壤环境质量绿色产地适宜性评价结果显

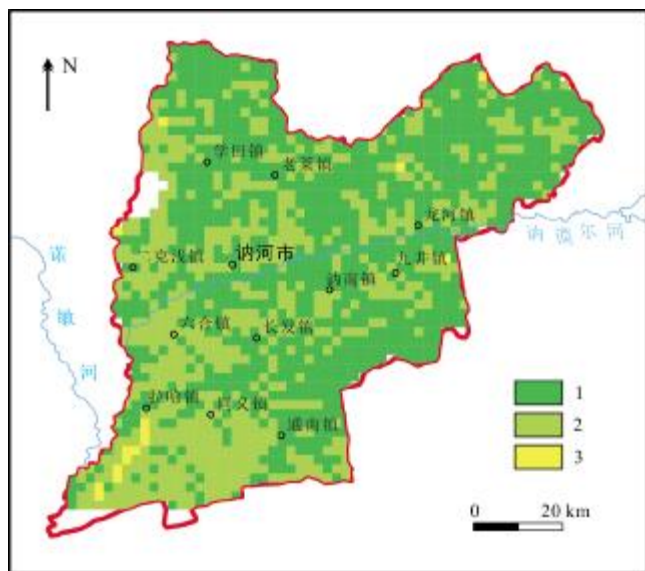


图4 讷河市土壤质量地球化学综合等级评价图

Fig. 4 Comprehensive geochemical grade evaluation of soil quality in Nehe City

1—一等(优质)(Grade-I, fine); 2—二等(良好)(Grade-II, good); 3—三等(中等)(Grade-III, medium)

示:符合绿色食品产地一级(AA级)要求的土壤面积为 6 461.5 km²,占全区面积的 97.5%;符合绿色食品产地二级(A级)要求的土壤面积为 38.1 km²,占全区面积的 0.58%;不符合绿色食品产地三级(其他产地)要求的土壤面积为 65.6 km²,占全区面积的 0.99%。土壤环境质量绝大部分达到一级标准,是养分充足、环境洁净的土地资源,开发绿色食品产地前景广阔(见图5)。

5 结论及建议

1)讷河市土壤养分总体良好,土质肥沃,适合农作物的生长。土壤养分单指标 N、有机质、Fe₂O₃、Co、V、Mn、S 含量以丰富—较丰富为主,K、Mo、CaO、MgO 含量以较丰富—中等为主,P、CaO、MgO、Cu、Zn 含量以中等—较缺乏为主,Ge 和 B 含量以较缺乏—缺乏为主。建议对 P、CaO、MgO、Cu、Zn、B、Ge 缺乏地块适量施加相应的肥料,改良土壤,以提高农作物的产量和质量。全区土壤养分综合等级以较丰富和中等为主,面积分别占 56.94%和 39.97%,全区无养分综合缺乏等级土壤。

2)讷河市土壤环境质量好,全区无污染风险较高的土地分布。土壤环境质量一等(无风险)区占全区的 99.94%;土壤环境质量二等(风险可控)区仅 4 km²,占

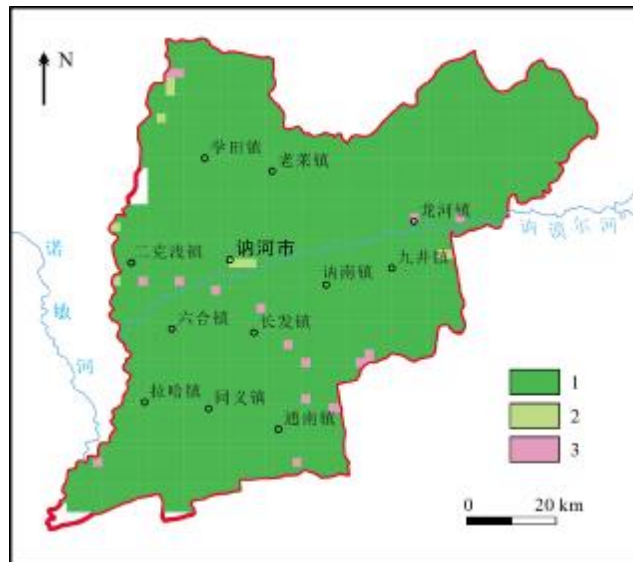


图5 讷河市绿色食品产地适宜区环境质量评价图

Fig. 5 Environmental quality evaluation of green food producing suitable area in Nehe City

1—AA级绿色食品产地(Grade-AA green food producing area); 2—A级绿色食品产地(Grade-A green food producing area); 3—其他产地(other areas)

全区面积的 0.06%,对于农业生产的影响较小。

3)讷河市土壤质量地球化学综合等级以优质为主,土壤环境清洁、养分充足,有一等(优质)土地 3 806.06 km²,占全区的 59.11%;二等(良好)土壤面积 2 574.11 km²,占全区的 39.97%;三等(中等)土壤面积 59.61 km²,占 0.92%;没有四等(差等)和五等(劣等)土壤。

4)讷河市是发展优质绿色农业良好基地。全市土壤符合一级绿色食品产地(AA级)要求的土壤面积为 6 461.5 km²,占调查区总面积的 97.5%;符合二级绿色食品产地(A级)要求的土壤面积为 38.1 km²,占总面积的 0.58%;不符合绿色食品产地要求的三级(其他产地)土壤面积为 65.6 km²,占总面积的 0.99%。

5)为进一步维护和提高土地的生产能力,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]. 2版. 北京: 高等教育出版

- 社, 1999: 56–307.
- Ni S X. An introduction to land classification and evaluation[M]. 2nd ed. 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]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(2): 208–211.
- Ren J Q, Wang J K, Yang X B, et al. Geochemical land quality evaluation and space distribution in the Liao Middle-downriver plain [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2011, 42(2): 208–211.
- [3]宋运红, 张哲寰, 杨凤超, 等. 黑龙江海伦地区垦殖前后典型黑土剖面主要养分元素垂直分布特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 543–549.
- Song Y H, Zhang Z H, Yang F C, et al. Vertical distribution of major nutrient elements in typical black soil sections in Hailun, Heilongjiang Province: Before and after reclamation[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 543–549.
- [4]马逸麟, 谢长瑜, 胡晨琳, 等. 江西省吉泰盆地土地质量评价[J]. 物探与化探, 2015, 39(2): 387–395.
- Ma Y L, Xie C Y, Hu C L, et al. Land quality evaluation of the Jitai Basin in Jiangxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 387–395.
- [5]孙淑梅, 张连志, 闫冬. 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, Yan D. Experimental study on method and technique of land quality geochemical assessment [J]. Geoscience, 2008, 22(6): 998–1002.
- [6]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, 130.
- Liang H X, Shi C H. Geochemical assessment of land quality of Dangtu County[J]. Geology of Anhui, 2014, 24(2): 122–126, 130.
- [7]于成广, 杨忠芳, 杨晓波, 等. 土地质量地球化学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, 909.
- Yu C G, Yang Z F, Yang X B, et al. Study and application on land quality geochemical assessment methods: Taking Panjin City as an example[J]. Geoscience, 2012, 26(5): 873–878, 909.
- [8]刘军保, 黄春雷, 岑静, 等. 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, 31(1): 50–59.
- Liu J B, Huang C L, Cen J, et al. Study on land quality geochemical assessment methods: Taking Cixi City as an example[J]. Resources Survey & Environment, 2010, 31(1): 50–59.
- [9]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. Land quality geochemical assessment and method research based on geochemical data obtained from the downstream basin of the yellow river in Shandong [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2013, 37(4): 743–748.
- [10]张景华, 欧阳渊, 陈远智, 等. 基于无人机遥感的四川省昭觉县农业产业园土地适宜性评价[J]. 中国地质, 2021, 48(6): 1710–1719.
- Zhang J H, Ouyang Y, Chen Y Z, et al. Land suitability evaluation of agricultural industrial park based on UAV remote sensing in Zhaojue County of Sichuan Province[J]. Geology in China, 2021, 48(6): 1710–1719.
- [11]姜华, 唐晓华, 杨利亚, 等. 基于土地资源的市县级多要素国土空间开发适宜性评价研究——以湖北省宜昌市为例[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1776–1792.
- Jiang H, Tang X H, Yang L Y, et al. Suitability evaluation of land space development based on land resources: A case study of Yichang City in Hubei Province[J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1776–1792.
- [12]刘孜, 黄行凯, 徐宏林, 等. 湖北宜昌鸦鹊岭地区岩石-土壤元素迁移特征及柑橘种植适宜性评价[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1853–1868.
- Liu Z, Huang X K, Xu H L, et al. Migration characteristics of elements in the rock-soil system and suitability evaluation of orange planting in Yaqueling area, Yichang, Hubei Province[J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1853–1868.
- [13]张哲寰, 宋运红, 赵君, 等. 黑龙江省讷河市土壤某些微量元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2019, 28(4): 378–382.
- Zhang Z H, Song Y H, Zhao J, et al. Trace element geochemistry of the soil in Nehe City, Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2019, 28(4): 378–382.
- [14]中华人民共和国农业部. NY/T391—2013 绿色食品产地环境质量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T391—2013 Green food: Environmental quality for production area [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [15]中华人民共和国农业部. NY/T1054—2021 绿色食品产地环境调查、监测与评价规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T1054—2021 Green food: Specification for field environmental investigation, monitoring and assessment[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [16]中华人民共和国农业部. NY/T5295—2015 无公害农产品产地环境评价准则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T5295—2015 Environmental assessment criteria for producing areas of pollution-free agricultural products[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2015. (in Chinese)
- [17]全国农业技术推广服务中心, 农业部耕地质量监测保护中心, 吉林省土壤肥料总站. 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 Center for Agricultural Technology Extension (Promotion), Cultivated Land Quality Monitoring and Protection Center of the Ministry of Agriculture, Jilin Soil and Fertilizer General Station. Monographic evaluation of cultivated land quality in corn dominant area of northeast China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017:

129. (in Chinese)
- [18] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 123-139.
- Zhejiang Agricultural University. Plant nutrition and fertilizer [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991: 123-139. (in Chinese)
- [19] 蒋德安. 植物生理学实验指导[M]. 四川: 成都科技大学出版社, 1999: 22-23.
- Jiang D A. Plant physiology experimental guidance [M]. Sichuan: Chengdu University of Science and Technology Press, 1999: 22-23. (in Chinese)
- [20] 唐明灯, 吴龙华, 李宁, 等. 修复植物香薷堆肥对缺铜土壤上冬小麦生长和铜吸收的初步研究[J]. 土壤, 2006, 38(5): 614-618.
- Tang M D, Wu L H, Li N, et al. Preliminary study on effect of *Elsholtzia splendens* compost on plant growth and Cu uptake by winter wheat in a Cu-deficient upland soil [J]. Soils, 2006, 38(5): 614-618.
- [21] 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 integrated control measures of zinc deficiency crops in soil [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(7): 185. (in Chinese)
- [22] 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 121-122.
- Cai Q S. Plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2014: 121-122.
- [23] 刘万华, 邵凤成, 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(S1): 5-7.
- Liu W H, Shao F C, Liu S J, et al. Current situation of Boron deficiency in farmland soils in Wuqing District and measures for Boron supplementation [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2009, 15 (S1): 5-7. (in Chinese)
- [24] 刘艳, 侯龙鱼, 赵广亮, 等. 锗对植物影响的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 931-937.
- Liu Y, Hou L Y, Zhao G L, et al. Mechanism and application of germanium in plant growth [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(8): 931-937.
- [25] Rosenberg E. Germanium: Environmental occurrence, importance and speciation [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2009, 8(1): 29.
- [26] 孔涛, 曲韵笙, 朱连勤. 微量元素锗的生物学功能[J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(1): 59-60.
- Kong T, Qu Y S, Zhu L Q. Biological function of trace element germanium [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2007, 24(1): 59-60.

(上接第 174 页/Continued from Page 174)

- [20] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 177-181.
- Qin J Z. Source rocks in China [M]. Beijing: Science Press, 2005: 177-181. (in Chinese)
- [21] 杨时杰. 辽西建昌地区中—新元古界原生油气藏成藏条件分析[J]. 海相油气地质, 2013, 18(3): 12-18.
- Yang S J. Conditions of hydrocarbon accumulation in Meso-Neoproterozoic primary oil reservoirs in Jianchang area, western Liaoning [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18(3): 12-18.
- [22] 张守鹏, 边雪梅, 郝运轻. 燕山地区中、上元古界地层结构与油气保存条件分析[J]. 地层学杂志, 2007, 31(S2): 599-604.
- Zhang S P, Bian X M, Hao Y Q. The Middle-Upper Proterozoic stratigraphic structure of the Yanshan area and analysis of the conditions for oil and gas storage [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(S2): 599-604.
- [23] 马满兴, 慕德梁, 李正达. 建昌盆地中新元古界石油地质条件研究[J]. 特种油气藏, 2013, 20(2): 60-64.
- Ma M X, Mu D L, Li Z D. Study on petroleum geology conditions of Middle-Upper Proterozoic Erathem in Jianchang basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 60-64.
- [24] 王铁冠, 龚剑明. 中国中—新元古界地质学与油气资源勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(6): 1-9.
- Wang T G, Gong J M. Meso-Neoproterozoic geology and petroleum resources prospect in China [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(6): 1-9.
- [25] 张涛, 李永飞, 孙守亮, 等. 冀北—辽西地区洪水庄期海洋氧化还原环境的不均一性[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 257-264.
- Zhang T, Li Y F, Sun S L, et al. Heterogeneity of marine redox environment during the sedimentary period of Hongshuizhuang Formation in northern Hebei-western Liaoning [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 257-264.
- [26] 宗文明, 孙求实, 李晓海, 等. 辽宁凌源牛营子盆地辽凌地 1 井北票组生烃潜力分析[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 350-356.
- Zong W M, Sun Q S, Li X H, et al. Hydrocarbon generation potential of Beipiao Formation from LLD1 well in Niuyingzi Basin, western Liaoning. [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 350-356.