

长春经济区土壤地球化学特征

潘志恒,李 鑫,白荣杰,孙洪翔,李延锋,韩 钊

吉林省地质调查院,吉林 长春 130102

摘 要: 长春经济区可划分为低山丘陵和山前台地平原两个地貌区。自然景观环境要素由东向西呈有规律的渐变,土壤亦由暗棕壤、白浆土—黑土—黑钙土过渡。通过对大量的土壤地球化学资料的分析研究,结果表明:区域景观环境要素控制区域土壤地球化学作用及土壤元素分布,地质构造单元制约成土母质元素分布;元素分布在很大程度上继承母质元素的地球化学特征,不同景观环境中元素分布亦有一定的差异;而且人类生产活动对土壤元素的分布以及土壤性状土壤肥力影响巨大,对此应给予关注。

关键词: 景观环境;土壤;成土作用;地球化学;长春经济区

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.009

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL IN CHANGCHUN ECONOMIC ZONE, JILIN PROVINCE

PAN Zhi-heng, LI Xin, BAI Rong-jie, SUN Hong-xiang, LI Yan-feng, HAN Zhao

Jilin Institute of Geological Survey, Changchun 130102, China

Abstract: The Changchun Economic Zone can be divided into two landform areas: low hills and piedmont terrace plain. The natural landscape environmental elements show a regular gradual change from east to west, with the soil also changing from dark brown soil, albic soil, black soil to chernozem in turn. The results of analysis of a large number of soil geochemical data show that the regional landscape environment controls the regional soil geochemistry and soil element distribution, while the geotectonic units restrict the distribution of elements in soil parent. The element distribution largely inherits the geochemical characteristics of parent elements, with certain variances in different landscape environments. Moreover, human activities have great influence on soil element distribution, soil properties and fertility, which needs much attention.

Key words: landscape environment; soil; pedogenesis; geochemistry; Changchun Economic Zone; Jilin Province

0 引言

岩石风化形成的成土母质,在气候-生物、地形因素的长期综合作用下,随着养分物质的不断积累和肥力的提高,逐渐发育成土壤。成壤过程的实质是土壤元素地球化学分异和再分布过程,不断改变着母质原

有的元素分布格局。不同的时空段内,由于各成土因素组合的不同,成土特性和土壤元素分布具有显著差异性。土壤中元素含量受母质及成土作用中元素的淋溶与淀积作用程度制约^[1-2]。长春地区地处吉林省东部山区与西部平原过渡带,自然景观环境由东向西呈

收稿日期:2020-06-03;修回日期:2020-08-03。编辑:张哲。

基金项目:中国地质调查局东北区国土资源综合调查项目所属“东北平原长春经济区多目标区域地球化学调查与评价”(编号 200020130007)。

作者简介:潘志恒(1967—),男,正高级工程师,从事地球化学调查及矿产勘查工作,通信地址 吉林省长春市高新区明溪路 961 号,E-mail/985670597@qq.com

规律性变化,暗棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、冲积草甸土等土壤类型交错相间组合分布^[3-4]。本文以长春经济区多目标地球化学调查资料为依据,利用表生地球化学理论分析研究成土母质和土壤元素地球化学分布特征及不同景观地球化学环境下成土过程中元素的迁移富集规律。

1 研究区概况

1.1 自然地理

研究区位于吉林省中部,面积 8237 km²。大黑山山脉是本区自然地理分界线,东南部为低山丘陵区,净月和土顶子丘陵区之间为双阳山间盆谷地;西部为山前台地。地势东南高西北低(见图 1)。气候属中温带大陆性半湿润季风气候,年平均降水量 569.6 mm^[5]。年降水量由东南向西北递减,双阳地区年降水量高于农安、德惠地区,年平均相差 100 mm。东南部丘陵区发育阔叶林,西北部台地平原区森林草甸草原植被交错分布。

1.2 景观地球化学环境

根据地貌、自然地理特征,研究区景观环境可划分为低山丘陵区 and 山前台地平原区两个景观区^①。低山丘陵区位于新立城-石头门水库东南部地区,在双阳-新安一带为盆谷地。本区气候湿润,雨量充沛,有利于阔叶林植被生长。成壤母质为花岗岩、碎屑岩、中酸性火山岩、碳酸盐岩风化残坡积物,盆谷地为黄土状堆积物^[6]。土壤分布受地形因素影响比较明显,山地为暗棕壤,山麓地带为白浆土,平原区为黑土,沿河谷阶地分布冲积草甸土(见图 2),土壤呈酸性。土壤水分动态类型为冲洗型,即降水渗水量大于蒸发量;沟谷地为周期性冲洗型,即早季降水下渗,雨季地下水位上返,呈下渗-回返动态;景观环境水迁移类型为酸性氧化水,成土过程中淋溶作用较强。

台地平原区分布于大黑山山脉以西地区,地形波状起伏,成土母质为中更新世冲洪积黄土状亚砂土、亚黏土^②;农安中西部地区为冲积平原,成土母质为晚更新世亚黏土^③。土壤类型为黑土、黑钙土(见图 2),土壤呈中性-碱性。平均年降水量为 400~500 mm。该地区

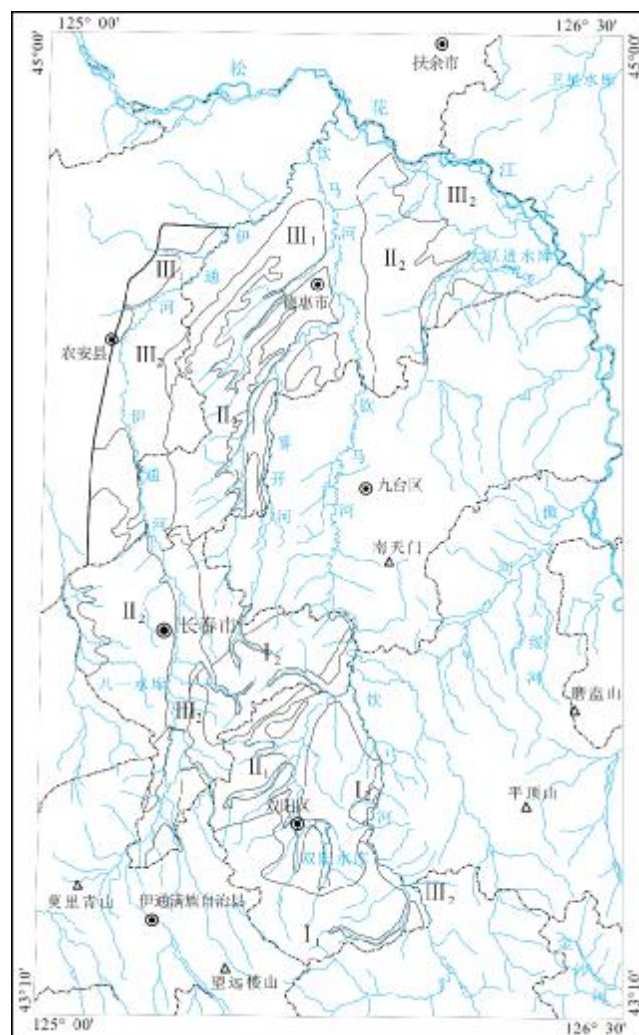


图 1 长春经济区自然地理分区图

Fig. 1 Physical geographic zoning map of Changchun

Economic Zone

I₁—构造剥蚀低山丘陵 (low hills by tectonic denudation); I₂—构造剥蚀丘陵 (hills by tectonic denudation); II₁—构造剥蚀盆谷地 (basin valley by tectonic denudation); II₂—剥蚀堆积台地 (built platform by denudation); III₁—二级阶地 (second terrace); III₂—一级阶地、河漫滩 (first terrace and flood plain)

热量充足,植物生长期长,而水分不足。森林草原植被繁茂,有利于有机质积累。景观环境水迁移类型为中性-弱酸性氧化水,土壤水分动态为非冲洗型,即降水量大体等于蒸发量,土壤淋溶作用微弱。由东向西气候由半湿润向半干旱过渡,土壤钙积作用增强,土壤碱性增大。

①朴清龙. 吉林省景观地球化学研究报告. 1985.

②吉林省第一水文地质大队. 长春市幅(1:20 万)区域水文地质普查报告. 1983.

③吉林省第一水文地质大队. 农安县、怀德县幅(1:20 万)区域地质调查报告. 1984.

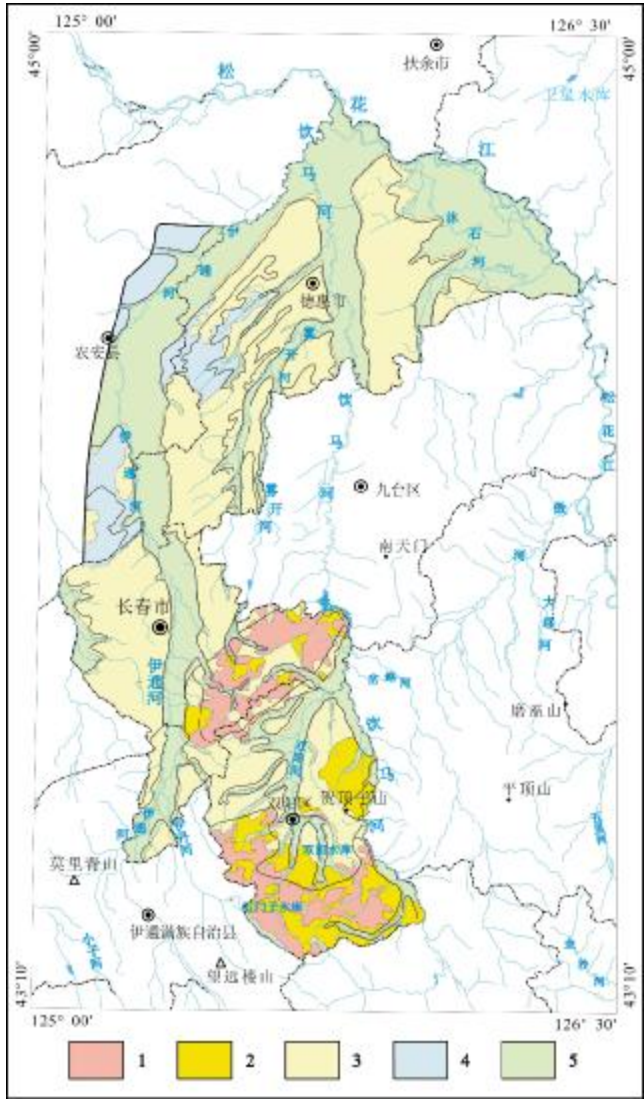


图 2 长春经济区土壤分布图

Fig. 2 Soil distribution map of Changchun Economic Zone
1—暗棕壤 (dark brown soil); 2—白浆土 (albic soil); 3—黑土 (black soil); 4—黑钙土 (chernozem); 5—冲积土、冲积草甸土 (alluvium and alluvial meadow soil)

2 数据来源

土壤地球化学数据来源于《东北平原长春经济区多目标地球化学调查与评价报告》。土壤地球化学调查分表层土壤和深层两层取样^[7-8]。

样品分析采用以 X 射线荧光光谱法为主的配套组合分析方法，分析项目有 Ag、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Br、Cd、Ce、Cl、Ca、Cr、Cu、F、Ga、Ge、Hg、I、La、Li、Mn、Mo、N、Nb、Rb、S、Sb、Se、Sc、Sr、Th、Ti、Tl、V、U、W、Y、Zn、Zr、Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、C。采用国家级土壤标

准物质(GSS-12)进行质量监控^[7]，样品分析质量可靠。

3 土壤地球化学分析

测区土壤元素含量与全国土壤背景值^[9-11]相比，计算浓集系数（表 1）。由表 1 可知：明显偏高的元素 ($k>1.20$)有 Au、Ba、C、Cd、Mn、N、Sn、Sr、Y、Zr，其中 C、N 高出 2 倍以上；略偏高的元素 ($k=1.10\sim1.20$)有 Al、

表 1 长春经济区表层土壤元素浓集系数表
Table 1 Concentration factors of surface soil elements in Changchun Economic Zone

元素	测区土壤	中国土壤	k	元素	测区土壤	中国土壤	k
Ag	65	100	0.65	Mo	0.58	1.1	0.53
Al ₂ O ₃	14.22	12.57	1.13	N	1426	640	2.23
As	10.3	9.6	1.07	Na ₂ O	1.59	1.50	1.06
Au	1.7	1.4	1.24	Nb	15.3	16	0.96
B	29.0	41	0.71	Ni	26.1	24.9	1.05
Ba	581	454	1.28	P	586.0	520	1.13
Be	2.1	1.9	1.12	Pb	23.4	23.5	1.00
Bi	0.31	0.31	1.00	Rb	109.7	106	1.03
C	1.54	0.35	4.40	S	179	150	1.19
CaO	1.20	1.30	0.92	Sb	0.69	1.07	0.64
Cd	0.110	0.079	1.39	Sc	10.6	10.8	0.98
Ce	69.3	65.2	1.06	Se	0.220	0.207	1.06
Co	12.4	11.6	1.07	SiO ₂	64.58	65.0	0.99
Cr	57.8	57.3	1.01	Sn	3.1	2.3	1.35
Cu	21.4	20.7	1.03	Sr	181.8	147	1.24
F	462.9	453	1.02	Th	10.7	12.4	0.86
Fe ₂ O ₃	4.53	4.25	1.07	Ti	4265	3800	1.12
Ga	17.3	17	1.02	Tl	0.65	0.58	1.12
Ge	1.33	1.7	0.78	U	2.01	2.72	0.74
Hg	36.1	38	0.95	V	79.6	76.8	1.04
K ₂ O	2.51	2.26	1.11	W	1.83	2.27	0.81
La	36.5	36.8	0.99	Y	27.1	22.1	1.22
Li	31.3	30.6	1.02	Zn	64.4	68	0.95
MgO	1.29	1.23	1.05	Zr	319.4	228	1.40
Mn	749.6	540	1.39	Cl	60	68.0	0.89
Br	3.89	3.63	1.07	I	1.75	2.20	0.80

Au、C、N、P、S、Si 的中国土壤背景值据文献^[10]。含量单位：氧化物为 10⁻²；Hg、Au、Ag 为 10⁻⁹；其他元素为 10⁻⁶。k=测区土壤含量/中国土壤含量。

Be、K₂O、P、S、Ti、Tl、Br;略偏低的元素($k=0.90\sim 0.85$)有 Th、Cl;明显偏低的元素($k<0.85$)有 Ag、B、Ge、Mo、Sb、U、W、I;尤其 Mo、B、Ag、Sb、Ge 含量显著偏低($k<0.80$). 土壤中 C、N 高与 Mo、B、Ag、Sb、Ge 偏低是本区重要土壤地球化学特征.

3.1 成土母质元素含量特征

土壤的形成受基岩、成土母质以及气候、地貌、植被等诸多因素影响. 其中,地质条件是极为重要的初始物质来源,成土母质是形成土壤的物质基础^[12-14]. 本区成土母质类型有基岩风化残坡积、中更新世冲洪积物、上更新世冲洪积物以及现代河流冲积物. 不同地区成土母质元素背景特征列于表 2. 各地区特征如下.

1)土顶子丘陵区残坡积物为中酸性火山岩、石灰岩及花岗岩风化产物,残坡积物继承了原岩中 As、Sb、Br 及铁族元素含量偏高的特征,Ca、Na、Sr 在岩石风化过程中被淋失,含量偏低.

2)净月潭丘陵区残坡积物原岩以花岗岩和酸性火山岩为主,Ga、Hg、Mo、Se、Sn、Zn 等在残坡积物中继承

性偏高,Cr、Mn、Zr、Ca、S、I 元素含量偏低.

3)双阳盆地中更新世冲积物中 I、Se 显著富集,As、Au、Bi、Cr、N、P 弱度富集,这与盆地周围物源区中酸性火山岩有关;C、S、Sr、Zr 弱度贫化.

4)长春-德惠地区中更新世冲洪积物中 Cd、I、Ni、S 弱度富集,C、Ge、Se、P 贫化,其中 P 贫化显著.

5)晚更新世冲积物在农安中西部地区广泛分布,呈宽阔冲积平原地貌. 晚更新世冲积物中 Ca、C、Br、Au、S、Sr、Zr 均高,Ca、C、Sr、Zr 由东向西逐渐增高;Zn、Se、Ag、As、B、Bi、Ce、Fe、Ga、Ge、Nb、Ni、P、Sc、V、W 较低,这与富碳酸盐的环境中元素以碳酸盐形式迁移有关.

3.2 土壤元素含量特征

为客观地反映土壤中元素含量,分区域统计不同类型土壤元素平均含量,结果列于表 3. 由表 3 可知:

1)土顶子丘陵区暗棕壤和白浆土中 As、Sb、B、La、Mn、Mo、Si、W 元素均偏高,反映了母质组分特征. Au 在成壤过程中淋失,含量偏低. 两者不同的是,暗棕壤

表 2 长春经济区成土母质元素背景特征表

Table 2 Background characteristics of soil parent materials in Changchun Economic Zone

母质类型	高背景元素($k_1>1.10$)	低背景元素($k_1<0.90$)
土顶子丘陵区残坡积	As、C、Co、Fe、Hg、Mn、N、S、Sb、Sc、(V、Nb、Ti、Cr)	Ca、Na、Sr
净月潭丘陵区残坡积	Hg、Mo、N、Se、Sn、Zn、(C、Ga)	Ca、Cr、Mn、P、Zr、I、(S)
双阳盆地冲洪积物	Bi、Au、P、N、Se、I、Zn、(Ag、As)	C、Ca、S、Sr、Br、Zr
长春-德惠台地冲洪积物	Ca、S、I、Ni	Se、C、Ge、P
农安中西部冲积物	C、Ca、S、Au、Br、(Sr、Zr)	Se、Hg、Zn、Ag、As、B、Bi、Ce、Fe、Ga、Ge、Ni、Nb、P、Sc、V、W

k_1 =成壤母质平均值/区域土壤基准值. 据文献[15].

表 3 长春经济区土壤地球化学特征表

Table 3 Soil geochemical characteristics of Changchun Economic Zone

地区	土壤类型	偏高元素($k_2>1.10$)	偏低元素($k_2<0.90$)
净月潭丘陵区	暗棕壤	B、Mn	Cu、Hg、Mg、Ni、P、S、Sn
	白浆土	Au、B、Cd、Pb、U、W、Ga、Cl、Br	Ca、Cu、Hg、Mg、Ni、P、Sc、Se
土顶子丘陵区	暗棕壤	As、Cd、Hg、La、Mn、Mo、N、Nb、Sb、Si、W	Au
	白浆土	As、B、Bi、Cd、Mn、Mo、Nb、Sb、Sc、Si、V、W、Cl、(La)	Au、Ca、S、Br、I
双阳盆地	黑土	Au、B、(Se)	C、Ca、N、Na、S、Cl
长春-德惠台地	黑土	Hg、I、(Ca)	Mo、Cl
农安中西部	黑钙土	Ca、Zr、Br、I、(Sr)	Fe、Mo、Nb、Pb、Se、U、W、Tl、Cl、(Ti、Zn、V、Mn)

注:()中元素为略微偏高或偏低元素. k_2 =不同类型土壤平均值/全区平均值.

Cd、N 偏高;白浆土中 Bi、Co、Sc、V、Cl 偏高,Ca、S、Br、I 偏低.

2)净月潭丘陵区暗棕壤和白浆土中 B 相对偏高,Cu、Hg、MgO、N、P 偏低.此外,暗棕壤中富 Mn 而低 Sn,白浆土中 Au、Cd、Pb、U、W、Ga、Cl、Br 高,CaO、Sc、Se 低.

3)双阳盆地与长春-德惠台地黑土,由于成壤母质沉积所处景观条件的差异,土壤元素含量也有所不同.双阳盆地黑土中 Au、B 偏高,C、CaO、N、Na₂O、S、Cl 偏低;长春-德惠台地黑土则 CaO、Hg、I 偏高,Mo、Cl 偏低,不同程度地受钙积作用的影响.

4)黑钙土元素含量明显受钙积作用的影响.黑钙土中以 CaO 高为典型特征,并伴有 Zr、Sr、Br、I 含量偏高.Fe、Mo、Nb、Se、W、U、Ti、Zn、Pb、V、Mn、Cl 等元素含量低.

3.3 成壤过程中元素富集特征

表层土壤与深层土壤平均含量比值列于表 4.以表层土壤与深层土壤比值作为富集系数研究成壤过程中元素富集特征,不同类型土壤成壤富集特征列于表 5.从表 5 可以总结出:

1)本区各类土壤中 C、Ca、Cd、Hg、N、P、S、Se、Br 元素均为富集元素,其中 C、N、P、S、Se 为强度富集,这些元素的表层富集除生物积累作用外与农田施入化肥农药也有很大关系.Zr 在成壤过程中残留富集于表层土壤,在暗棕壤、白浆土中富集较明显.Ca 在黑钙土中强烈富集.

2)Ag、B、Be、Mg、Al、Fe、Ni、F、Cl、I 等元素在各类土壤成壤过程中贫化.Ag、B、Be、Mg、Ni、Cl、I 贫化强,Fe、Al、F 贫化较弱.

3)Si、Nb 元素在东南部针阔叶林景观区土壤中富集,丘陵区土壤中 Mn、Sr、Ce、W、Ba 等元素不同程度富集.

4)Cu 在除黑钙土以外的暗棕壤、白浆土、黑土中贫化.

5)V、Co、Ge、As、Mn、Pb 在台地疏林草原景观区黑土、黑钙土中贫化.

6)Zn、Sc、Ge、Th、Bi、Ga、Li、Ti、Nb、Cr 在黑钙土中贫化,Mo、W 在黑钙土的贫化较黑土更为强烈.

4 结论

1)地质构造单元制约成土母质元素分布.由于土

表 4 长春经济区表层与深层土壤元素平均含量比值
Table 4 Average element content ratios of surface soil to deep soil in Changchun Economic Zone

元素	表层土壤	深层土壤	比值	元素	表层土壤	深层土壤	比值
Ag	65	76	0.86	MgO	1.29	1.56	0.83
Al ₂ O ₃	14.22	15.76	0.9	Mn	749.6	754.4	0.99
As	10.3	10.9	0.95	Mo	0.58	0.62	0.97
Au	1.74	1.7	1.01	N	1427	465	3.07
B	29.0	38.7	0.75	Na ₂ O	1.59	1.59	1
Ba	581	572	1.02	Nb	15.3	14.2	1.06
Be	2.1	2.5	0.85	Ni	26.1	30.4	0.86
Bi	0.31	0.31	1	P	586.1	453.8	1.29
Br	3.89	2.45	1.59	Pb	23.4	24.5	0.96
C	1.54	0.44	3.5	Rb	109.6	111.1	0.99
CaO	1.20	0.96	1.25	S	179	56	3.21
Cd	0.108	0.067	1.61	Sb	0.69	0.71	0.97
Ce	69.3	68.3	1.01	Sc	10.6	10.6	0.99
Cl	60.21	74.71	0.81	Se	0.223	0.078	2.86
Co	12.38	12.52	0.99	SiO ₂	64.58	63.01	1.02
Cr	58	58	1	Sn	3.1	2.9	1.08
Cu	21.4	21.7	0.99	Sr	181.8	184.0	0.99
F	463	507	0.91	Th	10.7	10.6	1.01
Fe ₂ O ₃	4.53	4.87	0.93	Ti	4265	4397	0.97
Ga	17.3	16.94	1.02	Tl	0.65	0.64	1.02
Ge	1.33	1.40	0.95	U	2.0	2.1	0.96
Hg	36.1	20.6	1.75	V	79.6	82.0	0.97
I	1.75	2.78	0.63	W	1.82	1.85	0.98
K ₂ O	2.51	2.59	0.97	Y	27.1	26.8	1.01
La	36.5	34.7	1.05	Zn	64.4	60.4	1.07
Li	31.3	32.3	0.97	Zr	319.4	306.5	1.04

含量单位:氧化物为 10⁻²,Hg、Au、Ag 为 10⁻⁹,其他元素为 10⁻⁶.

顶子丘陵区净月丘陵区残坡积物所处地质构造、母岩岩石组合不同,母质中元素组合差异较大.台地冲洪积物与农安中西部冲积物中元素组合亦反映了不同沉积环境的地球化学差异性.

2)土壤中元素的分布在很大程度上继承了母质元素的地球化学特征,同时在成壤过程中发生明显的元素富集与贫化现象.在自然成土作用(生物积累、胶体吸附作用)和人为因素的作用下,Ca、N、P、C、S、Se、Hg、

表 5 长春经济区土壤成壤过程中元素富集贫化特征表

Table 5 Element enrichment and depletion characteristics during pedogenesis in Changchun Economic Zone

土 壤	富集元素		微弱富集元素	微弱贫化元素	贫化元素	
	$k_3 > 2$	$k_3 = 2.0 \sim 1.10$	$k_3 = 1.10 \sim 1.05$	$k_3 = 0.95 \sim 0.90$	$k_3 = 0.90 \sim 0.80$	$k_3 < 0.8$
净月丘陵区暗棕壤、白浆土	S、C、N	Ca、Cd、Cr、Hg、Mn、Nb、P、Se、Si、Zr、Br、Au	Ce、Pb、Sr、Th、Ba、Co、Rb、W、La、	B、U、V、Zn、Sb、Ag	Al、Be、F、Fe、Li、Sn、I	Mg、Ni、Cu、Cl
土顶子低山丘陵区暗棕壤、白浆土	C、Cd、N、S	Ca、Ga、La、Hg、Mo、Na、Nb、P、Sb、Se、Si、Sn、Tl、Y、Zn、Br	As、Ba、K、Ce、Mn、Sr、W、Zr	Pb、Rb、U	Ag、Al、Au、B、F、Mg、Ni、Cu、Fe	Be、I
双阳盆地黑土	C、N、S、Se	Bi、Ca、Cr、Hg、Nb、Si、Ti、Zr、Br	Cd、La、Mo、P、Th、Tl	Al、Cu、Fe、Li、Na、U、Zn	As、Be、Mn、Mg、Ni、Sb、F	Ag、B、Cl、I
长春-德惠山前台地黑土	C、N、S、Se	Ca、Cr、Hg、P、Sn、Br、Cd	Zr	Ag、Al、Co、Cu、F、Fe、Ge、Li、Mo、U、W、V	Mg、Be、As、Mn、Ni、Pb、Sb	Cl、I、B
农安中西部冲积平原黑钙土	C、Ca、N、S、Se	Cd、Hg、P、Sn、Tl、Zr、Br	Na、Sr	Ag、Ce、Co、Ge、Mn、Sb、Sc、Th、Zn	Al、Au、Bi、F、Ga、Li、Pb、Ti、U、V、Nb	As、B、Fe、Be、Cr、Mg、Mo、Ni、W、Cl、I

k_3 =表层土壤平均值/深层母质平均值

Cd、Br 等元素富集^[16]。Fe、Al、Ag、B、Be、Mg、Ni、F、I 等元素在成土过程中被淋失贫化。不同成土环境中土壤元素富集或贫化有一定的差异,如暗棕壤、白浆土中 Si、Mn 富集,而黑土、黑钙土中 Mn 贫化。

3)根据工作区营养元素的分布特点及养分丰缺现状,提出相应的施肥规划。基本原则是丰富区适量施肥,中等区中量施肥,缺乏区重点施肥。根据本区土壤中微量元素全量和有效态含量分布的特点,建议施用微量元素肥料,增加土壤中微量元素的含量,促进该地区农业的可持续发展^[17-18]。

4)土壤环境质量评价是研究生态地球化学特征的重要内容,对于提高提高农作物的产量和质量、防止土壤及农作物的重金属污染具有重要意义^[19-21]。长春经济区总体环境质量符合国家土壤环境质量标准,优良的生态环境为社会经济发展奠定了良好的基础。因此要保护好环境,依托优良生态环境大力发展绿色产业,将生态环境的巨大价值转化为较高经济效益,为区域经济、社会、生态环境良性循环和协调发展提供保障。

参考文献:

[1]王云,魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1995:1-12.
[2]张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:72-73.
[3]吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998: 51-58.
[4]吉林省土壤肥料总站. 吉林土种志[M]. 长春:吉林科技出版社, 1997:13-14.

[5]吉林省统计局. 吉林统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2002:4.
[6]吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1988:100-499.
[7]中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250000)[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
[8]中华人民共和国国土资源部. DZ/T0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
[9]魏复盛,陈静生,吴燕玉. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:87-91.
[10]鄯明才,顾铁新,迟清华,等. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探,1997,21(3):161-167.
[11]熊毅,李庆逵. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1987:517-536.
[12]陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2005:14-18.
[13]刘希瑶. 辽西南部地区土壤地球化学特征及评价[J]. 地质与资源, 2019,28(5):170-476.
[14]李家熙,吴功建,黄怀曾,等. 区域地球化学与农业和健康[M]. 北京:人民卫生出版社,2000:206-208.
[15]孟宪玺,李生智. 吉林省土壤元素背景值研究[M]. 北京:科学出版社,1995:101-102.
[16]杨忠芳,朱立,陈岳龙. 现代环境地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1999:206-208.
[17]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):382.
[18]陆继龙,周永昶,周云轩. 吉林省黑土某些微量元素环境地球化学特征[J]. 土壤通报,2002,33(5):365-368.
[19]杨忠芳,成杭新,奚小环,等. 区域生态地球化学评价思路及建议[J]. 地质通报,2005,24(8):687-693.
[20]肖桂义,秦爱华. 多目标区域地球化学调查与评价文集[M]. 北京:地质出版社,2011:327.
[21]杨忠芳,余涛,冯海艳,等. 区域生态地球化学评价数据的统计方法[J].地质通报,2005,26(11):1405-1412.