

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202008028

承德特色林果资源的生态地球化学过程及其 品质提升意义

卫晓锋¹, 孙厚云^{1,2}, 张 竞³, 李 霞⁴, 樊刘洋¹, 何泽新¹

(1. 北京矿产地质研究院有限责任公司, 北京 100012; 2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 3. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 4. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要:承德南部燕山山地的特色林果资源分布具有明显的地域性,以兴隆—喜峰口断裂为界,“京东板栗”集中于断裂以南片麻岩区,“兴隆山楂”集中于北部白云岩区,厘定主要控制因素对林果资源的品质提升具有重要的意义。文章从地质建造和生态地球化学的视角,分析片麻岩和白云岩建造的元素含量及相关性、研究元素迁聚特征和生物富集性,讨论影响作物品质的主要因素。研究表明:片麻岩建造以斜长石、石英和云母类矿物成分为主,Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、TiO₂、P₂O₅、Mn、Cu、Zn、Ni、Co 元素含量明显高;相应白云岩建造以白云石矿物为主,MgO、CaO 元素含量高;基岩-土壤质量迁移系数(τ)值显示片麻岩建造中 Se、B、V、S、Mn 和 Mo 元素相对 Ti 元素富集;白云岩建造中 Na₂O、P、Ni 元素相对 Ti 元素富集。板栗生物富集系数为 Cu > Zn > Mo > Ni > Mn > Ge > Fe,山楂生物富集系数为 Cu > Zn > Ni > Mn > Ge > Fe > Mo。基于板栗、山楂的品质控制生态地质模型,优选山楂的最适宜区面积为 497.2 km²,板栗的最适宜区面积为 499.01 km²。本研究成果可为地方的农业产业结构优化提供借鉴。

关键词:地质建造;生态地球化学;林果资源;生物富集系数;承德

中图分类号: P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2020)06-0099-10

Eco-geochemical process of characteristic forest fruit resources and its significance of quality improvement in Chengde City

WEI Xiaofeng¹, SUN Houyun^{1,2}, ZHANG Jing³, LI Xia⁴, FAN Liuyang¹, HE Zenxin¹

(1. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources Co., Ltd., Beijing 100012, China; 2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
3. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 4. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: The distribution of characteristic forest and fruit resources in Yanshan Mountain in the south of Chengde is obviously regional, with Xinglong-Xifengkou fault as the boundary, “Jingdong Chestnut” concentrated in gneiss area in the south, and “Xinglong Hawthorn” concentrated in dolomite area in the north, so it is of great significance to determine the main controlling factors for improving the quality of forest and fruit resources. From the perspective of geological formation and eco-geochemistry, this paper analyzes the element content and correlation of gneiss and dolomite formation, studies the characteristics of element migration and biological enrichment, and discusses the main factors affecting crop quality. The results show that: the gneiss formation is mainly composed of plagioclase, quartz and mica minerals, and the contents of Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, TiO₂, P₂O₅, Mn, Cu, Zn, Ni and Co are obviously high. Correspondingly the dolomite

收稿日期: 2020-08-12; 修订日期: 2020-09-06

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160229-01; DD20190822); 河北省重点研发计划项目(192242051)

第一作者: 卫晓锋(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事基础地质和生态地质方面的调查研究工作。E-mail: yanchixiaowei@163.com

formation is mainly composed of dolomite minerals with high contents of MgO and CaO. The mass transfer coefficient (τ) between bedrock and soil shows that Se, B, V, S, Mn and Mo are relatively enriched in gneiss formation, while Na₂O, P and Ni elements are relatively enriched in dolomite formation. The enrichment coefficient of chestnut is Cu > Zn > Mo > Ni > Mn > Ge > Fe, and that of hawthorn is Cu > Zn > Ni > Mn > Ge > Fe > Mo. Based on the ecological geological model of quality control of Chinese chestnut and hawthorn, the most suitable area for screening hawthorn and Chinese chestnut is 497.2 km² and 499.01 km² respectively. The research results can provide reference for the optimization of local agricultural industrial structure.

Keywords: geological formation; eco-geochemistry; forest fruit resources; enrichment coefficient; Chengde

研究发现特色林果产品的品质除了与作物遗传特征、种植技术、气候条件等因素有关,与特殊的地质环境具有密切的相关性^[1-2],尤其是岩石和土壤中特定的地球化学元素,通过基岩层-土壤层-作物之间的元素迁聚过程影响林果生长发育和果实品质^[3-5],对提升果实品质具有重要实践意义。徐小磊等^[6]研究发现安徽宁国市优质山核桃产区的土壤中富集 Fe、Mn、Cu、Mo、Zn、B 微量元素,黄霄等^[7]认为江苏的优质“白玉”枇杷产区土壤中 N、Mg、Fe、P 和 Na 元素含量高,王萍等^[8]发现成土母质的营养元素与天宝香蕉品质有显著关联。

承德南部兴隆—宽城一带处于燕山山地中北部,属于“九山半水半分田”的山区,具有发展林果经济的自然条件优势。该地区种植大量的山楂、板栗、核桃、山杏等果林,其中“京东板栗”“兴隆山楂”是当地名特优农产品,先后获得“国家地理标志产品”认证。通过对“京东板栗”“兴隆山楂”的野外调查,发现其生长分布具有明显的地域性,以密云—喜峰口区域性断裂为界,“京东板栗”集中分布在断裂以南片麻岩变质岩区,“兴隆山楂”集中分布在断裂以北白云岩碳酸盐岩区。

本文从地质建造和生态地球化学视角,研究片麻岩变质岩建造区和白云岩碳酸盐岩建造区的岩石-土壤元素含量,分析元素迁聚和生物富集的生态地球化学过程,探讨不同地质建造的生态地质化学特性对山楂、板栗的品质影响,建立控制品质的产地地质模型,提出农业种植规划与地质资源适宜性优化建议方案。

1 生态地质背景

研究区区域大地构造位置处于华北陆块北缘,地块北缘可以划分为4个次级构造单元:兴蒙造山、内蒙古隆起(内蒙地轴)、燕山构造带和华北克拉通。研究区属于燕山构造带,其位于内蒙古隆起与华北克拉通

的过渡位置,是中新生代陆内造山的产物,在中三叠世以前是整个华北稳定克拉通盆地的一部分^[9-10]。研究区主要出露古太古代遵化群的小关庄组(Ar₂Xgn)和秋花峪组(Ar₂Q)片麻岩,中元古代长城群的常州沟组(Chch)、串岭沟组(Chch)、大红峪组(Chd)和高于庄组(Chg)白云岩、灰岩和含铁锰白云岩^[11]。

研究区地势总体呈现北高南低,地形中等,较深切割,海拔高度一般为500~1 200 m,最高山峰为西北部的雾灵山,高达2 116 m,相对高差一般为100~700 m,最大高差可达1 800 m。区域属于温带大陆性季风气候,春、夏、秋、冬四季分明,夏季炎热,每年7—8月为雨季,年降雨量平均700 mm左右,无霜期150~200 d。水系发育,河谷宽阔,800~1 000 m,分属潮河、滦河,植被发育,覆盖面积可占总面积的40%~50%。

2 样品采集和测试

2.1 样品采集

“京东板栗”集中分布在断裂以南片麻岩变质岩区和“兴隆山楂”集中分布在断裂以北白云岩碳酸盐岩区(图1),即片麻岩和白云岩建造集中分布区,选择天然或者人工露头自下而上分层采集基岩层、风化层、土壤层、作物样品(图2),共计调查14个垂向剖面,采集基岩土壤样品61件,作物样品24件。

①基岩层样品的采集:在同一岩性基岩新鲜面5~10 m内采集3~5处岩石样品,组合成1个样品,样品重量一般为200~300 g。②风化层样品的采集:根据岩石的破碎和风化强度,在风化壳的中间位置5~10 m内采集3~5处风化物样品,组合成1个样品,样品重量一般为200~300 g。采集过程中,尽量采集风化程度相似的样品,确保样品的粗粒和细粒物质保持均匀性。基岩样品和风化层样品除去杂物后送样。③土壤层样品的采集:由于样品分布区多为人工种植区,

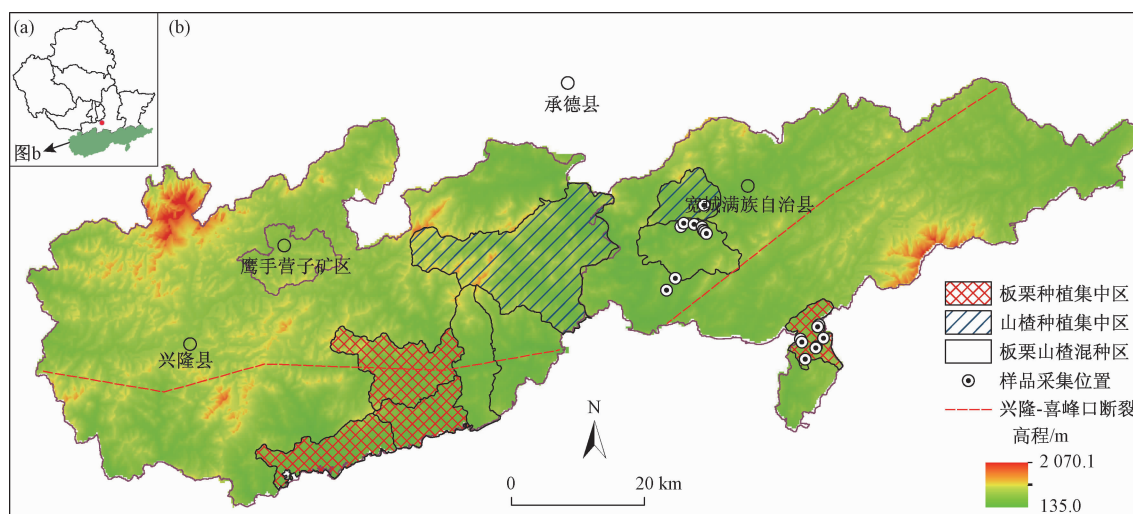


图1 承德燕山山地特色林果种植分布图

Fig.1 Distribution of characteristic forest fruit in Yan Mountains, Chengde

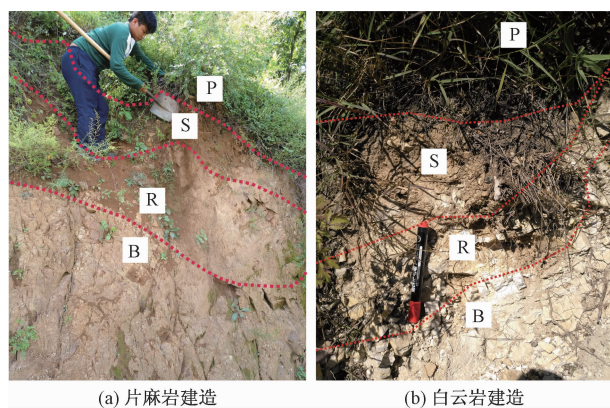


图2 典型剖面及采样示意图

Fig.2 Typical sections and sample plots

P—植被;S—土壤层;R—风化层;B—基岩

为了减少人为施肥等干扰,将顶部腐殖层 10 ~ 20 cm 和外层的黏土剥离,分别在心土层和底土层的新鲜层 5 ~ 10 m 内,采集 3 ~ 5 处土壤样品,混合为 1 个样品,样品原始重量大约 1 kg,土壤样品在自然风干后过筛 -10 目后送样。④农作物样品采集:为了研究片麻岩建造区和白云岩建造区优质林果品的元素富集特征,本次研究配套采集了板栗、山楂和少量核桃作物样品。分别在采样单元内选取 5 ~ 10 棵果树,每株果树纵向四分,从其中一份的上、中、下、内、外各侧均匀采摘,装入聚乙烯自封袋混合成样,样品鲜重为 1 000 ~ 2 000 g。

2.2 分析测试

岩石土壤分析元素 N、P、K₂O、CaO、MgO、S、Fe₂O₃、B、Mn、Cu、Zn、Mo、Cl、SiO₂、Na₂O、Co、Ni、Se、Ge、Al₂O₃ 和 Ti 共 20 项。作物分析元素为 B、Ni、Cu、Zn、

Mo、Se、Ge、Fe、Mn。分析测试在承德华勘五一四地矿测试研究有限公司进行,Cl、Ti、SiO₂、Al₂O₃ 采用粉末压片 X 射线荧光光谱法,Co、Cu、Mo 采用电感耦合等离子体质谱法,Mn、Ni、P、Zn、Fe₂O₃、K₂O、CaO、Na₂O、MgO 采用电感耦合等离子体发射光谱法,B 采用交流电弧发射光谱法,Se、Ge 采用原子荧光光谱法,N 采用凯氏定氮法,S 采用燃烧-碘量法。

3 基岩层-土壤层生态地球化学特征

3.1 地质建造特征

地质建造泛指在地壳发展的某一构造阶段中,在一定的大地构造条件下所产生的具有成因联系的一套岩石的共生组合^[12]。在相同或相似的光、热、气环境等条件下,不同地质建造类型(如碳酸盐岩建造和花岗岩建造),其土壤地质化学、地貌景观、工程岩组特性、水文地质特征等背景特征和分布规律不同,同类地质建造多具有相同或相似的水土、地质环境条件,形成一定的生态地质环境^[13-14]。

根据 1:25 万承德幅、青龙幅区域地质调查成果,重新编制了研究区地质建造图(图 3)。以近东西向兴隆—喜峰口断裂为界,北部主要为中元古代的碳酸盐建造,南部主要为太古代的片麻岩建造。碳酸盐建造呈近东西向展布于宽城县化皮溜子一带,面积为 516 km²,占 26.4%,主要包括常州沟组(Chch)、串岭沟组(Chchl)、大红峪组(Chd)和高于庄组(Chg)白云岩、白云石灰岩和含铁锰白云岩,局部夹泥岩、黑色粉砂质页岩组合。片麻岩建造呈东西—北东向分布于宽城县板城镇—大东乡,面积为 535 km²,占 27.4%,主

片麻岩建造的矿物成分主要为斜长石(Pl)、钾长石(K)、石英(Q)、黑云母(Bi)、角闪石(Hb)、石榴石(Cr)等,副矿物为磁铁矿、钛铁矿、磷灰石等,风化区

土壤的矿物成分为绿泥石(5% ~ 15%)、蒙脱石(5% ~ 15%)和高岭石(5% ~ 10%), 镁铝镁铁矿物含量较高。碳酸盐建造的矿物主要成分为白云石(Do)、石英(Q), 副矿物为磁铁矿和磷灰石等, 风化区土壤的矿物成分为粉晶白云石(20% ~ 25%), 泥晶白云石(70% ~ 75%)。

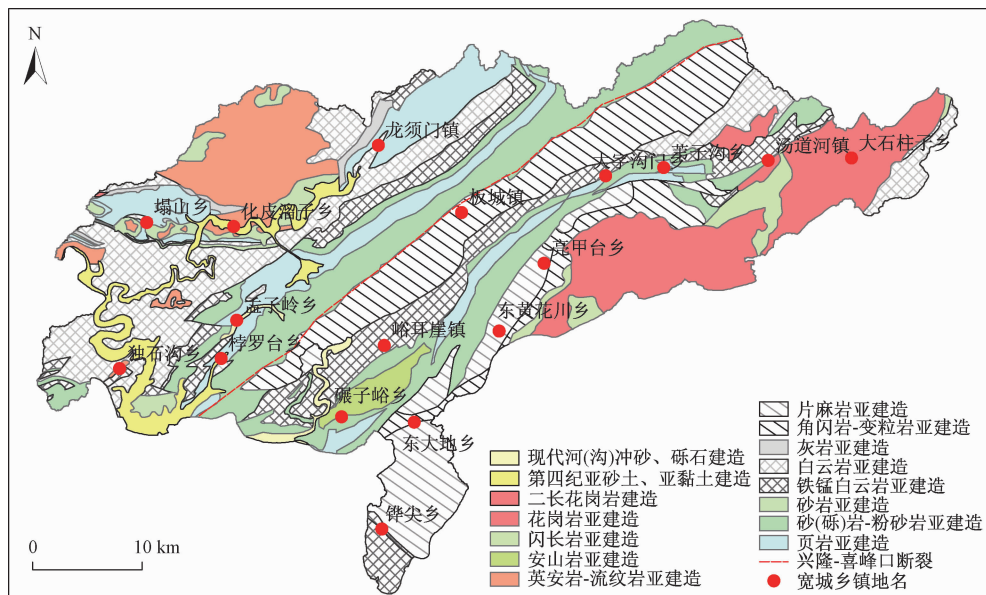


Fig. 3 Geological formation map of the study area

片麻岩建造和白云岩建造元素地球化学分析结果(表1)显示:两类建造岩石矿物成分不同,基岩层及土壤层的元素含量差异明显。

3.3 岩石-土壤元素相关性

片麻建造基岩和土壤元素含量分别提取 2 个主成分,土壤层 PC1 和 PC2 特征值方差分别 48.94% 和 17.13%,基岩 PC1 和 PC2 特征值方差分别 37.02% 和

白云岩建造区土壤元素含量主成分分析提取的 2 个主成分 PC1 和 PC2 特征值方差分别 32.69% 和 17.98%;基岩 PC1 和 PC2 特征值方差分别 36.35% 和 19.65%,亦具有较高的代表性。主成分载荷图中,基岩和土壤元素含量分别提取 2 个主成分,基岩 Cu、Zn、MgO、Ge 和 K₂O 为 1 组,P、Ni、Ti、Mo、Mn 和 B 为 1 组,Se 和 CaO 较为分散。聚类树状图中,B 和 Mn 为第一

组, Zn、K₂O、Mo、Ti、Ni、P 和 Cu 为第二组, MgO 和 Ge 层主成分载荷 Cu、Ni、Se、Ge、V、Ti 和 Fe₂O₃ 为 1 组, 为第三组。CaO 和 Se 与其他元素相关性较弱。土壤 Mo、Zn、CaO 和 MgO 为 1 组, P 和 Mn 为 1 组, K₂O 和 B

表 1 片麻岩和白云岩建造的基岩层和土壤层元素地球化学分析结果

Table 1 Results of geochemistry for bedrock and soil layers of Gneiss and Dolomite formation

元素	单位	片麻岩基岩层 (n = 8)			片麻岩土壤层 (n = 19)			白云岩基岩层 (n = 11)			白云岩土壤层 (n = 23)		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
SiO ₂	10 ⁻²	51.31	68.54	60.25	54.85	62.20	57.96	37.90	41.06	39.20	53.16	67.84	61.13
Al ₂ O ₃	10 ⁻²	12.17	18.85	15.81	14.69	17.21	15.89	3.10	4.82	3.62	6.15	11.15	9.46
Fe ₂ O ₃	10 ⁻²	2.63	11.24	7.56	6.66	9.31	8.08	1.27	1.96	1.52	3.12	6.08	4.51
MgO	10 ⁻²	0.69	2.90	1.88	1.59	2.64	2.05	4.85	7.18	5.36	3.24	7.14	4.99
CaO	10 ⁻²	0.32	5.68	1.87	0.55	2.50	1.10	13.86	17.74	15.83	5.58	19.69	11.14
Na ₂ O	10 ⁻²	0.29	3.30	2.23	0.99	2.71	1.71	0.05	0.17	0.11	0.21	0.90	0.49
K ₂ O	10 ⁻²	1.47	3.81	2.44	1.84	2.84	2.36	0.49	3.98	1.49	0.91	3.45	2.22
TiO ₂	10 ⁻²	0.15	1.12	0.58	0.56	0.81	0.70	0.18	0.82	0.32	0.41	0.97	0.67
P ₂ O ₅	10 ⁻²	0.11	0.30	0.20	0.10	0.25	0.15	0.03	0.13	0.05	0.05	0.20	0.11
MnO	10 ⁻²	0.02	0.16	0.08	0.06	0.14	0.09	0.01	0.06	0.02	0.03	0.10	0.07
N	10 ⁻⁶	56.00	955.00	182.30	169.00	1 384.00	572.40	67.00	451.00	169.40	176.00	4 243.00	2 151.67
S	10 ⁻⁶	46.50	267.40	109.67	70.40	242.20	154.23	78.09	2 646.00	657.58	200.60	615.30	440.50
Cl	10 ⁻⁶	49.00	156.70	86.13	51.30	208.70	105.34	107.80	178.30	141.10	132.40	182.20	151.63
Cu	10 ⁻⁶	26.20	121.00	50.72	30.98	65.79	47.67	7.05	158.30	39.82	10.28	58.89	29.66
Zn	10 ⁻⁶	41.87	95.27	75.63	55.95	103.20	77.96	12.66	127.40	51.51	26.03	68.48	44.15
B	10 ⁻⁶	3.53	44.02	19.00	9.78	35.77	22.25	24.11	63.06	36.13	37.40	84.21	53.56
Mo	10 ⁻⁶	0.10	2.60	0.54	0.22	0.79	0.56	0.15	3.80	0.93	0.34	2.65	1.34
Ni	10 ⁻⁶	18.56	127.90	64.28	52.78	96.61	69.90	5.68	12.46	7.74	6.26	35.80	19.52
Co	10 ⁻⁶	9.24	42.66	25.28	19.60	30.08	24.63	4.00	13.73	6.05	4.73	25.89	13.54
Se	10 ⁻⁶	0.05	0.22	0.11	0.12	0.45	0.26	0.05	0.14	0.08	0.08	0.49	0.29
Ge	10 ⁻⁶	0.83	1.73	1.24	1.05	1.51	1.32	0.49	2.94	2.12	0.53	3.15	1.65
pH	—	5.04	8.75	—	5.31	6.59	—	8.63	9.42	—	8.30	8.30	—

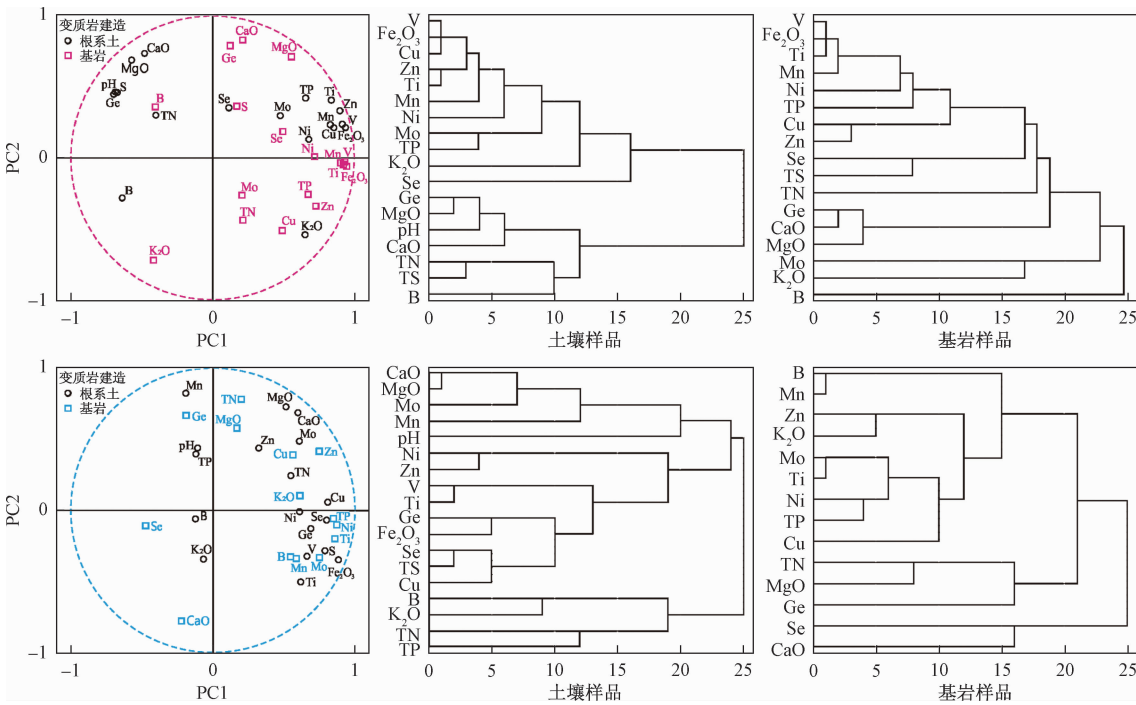


图 4 基岩-土壤元素主成分载荷与系统聚类树状图

Fig. 4 Factor loading analysis and systematic clustering dendrogram of bedrock and soil samples

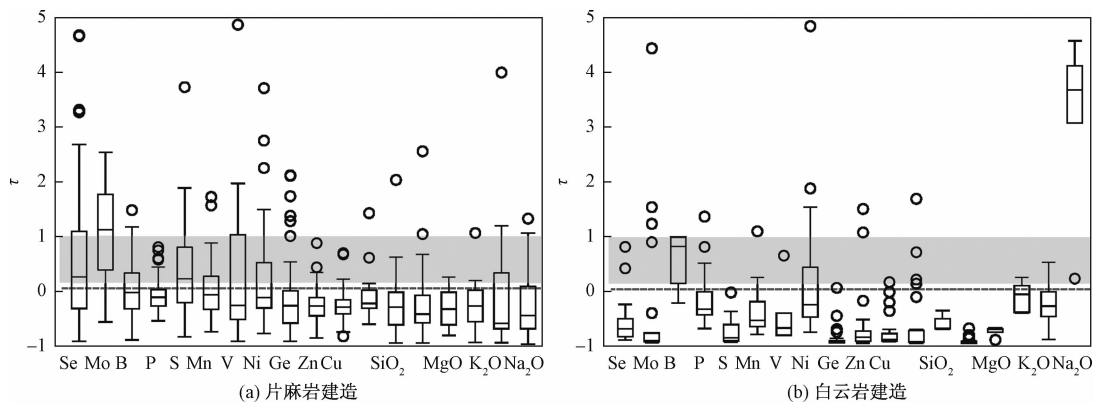
图5 不同建造区基岩-土壤元素质量迁移系数 τ 箱线图

Fig. 5 Statistical boxplot of mass transfer coefficient in different geological constructions

元素较为分散。聚类树状图 V、Fe₂O₃、Cu、Zn 和为第一组, Mn、Ni、Mo、P、K₂O 和 Se 为第二组, Ge 和 MgO、CaO、S、B 为第三组。

综上所述,片麻岩建造风化成壤过程中铁族元素相关关系显著, Fe₂O₃、Ti、Mn、Ni 和 P 呈明显相关性,白云岩建造中 Cu、Ni、V、Ti 和 Fe₂O₃ 相关性明显,具有明显继承性。

3.4 岩石-土壤元素质量迁移特征

化学损耗分数(CDF)主要反映岩石风化成土过程中岩石-土壤层元素的绝对含量变化,当活动性较强的元素发生淋滤流失作用后会使得样品中“不活动性元素”(或惰性元素)浓度相对增加,不能真实地反映岩石化学风化过程中元素的淋失、富集状态,对活动向较强元素的迁聚特征表征存在偏差。为消除这一影响,可以选用某种“不活动元素参照系”来确定风化岩土体元素成分相对于新鲜母岩的迁移活动性,利用质量平衡方程来计算元素的质量迁移系数 τ ^[15-17],其计算公式如下:

$$\tau_{ij} = \frac{[X_i]_{\text{weathered}}}{[X_i]_{\text{parent}}} \times \frac{[X_j]_{\text{parent}}}{[X_j]_{\text{weathered}}} - 1 \quad (1)$$

式中: $[X_i]$ 、 $[X_j]$ ——元素浓度;

i 、 j ——参照元素和待计算元素;

weathered、parent 分别表示土壤和未风化新鲜基岩。

若 $\tau_{ij} < 0$, 表示元素 j 相对迁移淋失; $\tau_{ij} = 0$, 表示元素 j 既不发生淋失也不产生次生富集, 为惰性元素; $\tau_{ij} > 0$, 表示元素 j 发生次生富集。 τ_{ij} 值合理性取决于参照元素的选取和参照体成土母岩的确定, 常用的参照元素有 Ti、Zr、Sc、Al₂O₃、REE 等^[15-17]。本文选取惰性元素 Ti 进行元素 τ_{ij} 值的计算。

由图 5 所示, 以 Ti 为参照元素, 片麻岩建造 Se、B、

V、S、Mn 和 Mo 为相对强活动元素, 风化过程中表现为于土壤层中富集, 其他元素总体表现为相对 Ti 亏损, 基岩-土壤质量迁移系数 τ 值呈 Se > B > V > P > Mo > Mn > CaO > S > Ni > Fe₂O₃ > 0 > Cu > SiO₂ > Na₂O > K₂O > Ge > Al₂O₃ > Zn > MgO 特征, CaO、Cu 和 Fe₂O₃、V、Mn 和 Ni 元素迁移系数 τ 值变异系数(Cv)较大, 相对惰性元素 Ti 活动差异波动较大。白云岩区基岩-土壤质量迁移系数 τ 值呈 Na₂O > P > Ni > 0 > V > K₂O > Al₂O₃ > Mn > S > Se > B > SiO₂ > Fe₂O₃ > Ge > Mo > Zn > MgO > Cu > CaO 特征, 白云岩风化成壤过程中元素分异特征弱于白云岩区, 但各元素间分散程度较大, Na₂O、P、Ni 元素相对 Ti 元素富集, 其它元素相对 Ti 元素贫化亏损, 可能与白云岩风化过程中夹层黏土矿物释放, Na₂O 含量升高; 铁锰质白云岩铁族元素 Ni 富集, 难风化的原岩岩石副矿物磷灰石原位聚集有关。Cu、Mo、Zn、Ge 元素和 Fe₂O₃ 主要以矿物晶格、铁锰氢氧化物形态存在, 在白云石风化水解过程中矿物晶格破坏致 Cu、Mo、Zn、Ge 和 Fe₂O₃ 元素与 CaO 和 MgO 协同淋滤流失, 故白云岩中 Fe₂O₃、Ge、Mo、Zn、MgO、Cu、CaO 淋滤亏损程度依次增大。

片麻岩与白云岩风化过程中元素质量迁移特征存在较明显差异, P 和 Ni 元素在片麻岩与白云岩风化过程中均表现为富集, 且 P 在白云岩区土壤中富集程度较高, Ni 在片麻岩区土壤中富集程度较高。Na₂O 在片麻岩区土壤中表现为淋滤流失, 在白云岩区土壤中明显富集, 可能与白云岩区土壤中存在 Na₂O 外源迁入有关。Se、B、V、S、Mn、Mo、Fe₂O₃ 与 CaO 在片麻岩区土壤中相对 Ti 富集; 在白云岩中相对淋滤流失。Cu、SiO₂、Ge、Zn、MgO、Al₂O₃ 和 K₂O 在片麻岩和白云岩风化过程中均相对 Ti 元素亏损, 白云岩中 Cu、SiO₂、Ge、Zn 和 MgO 淋滤流失程度高于片麻岩区, 片麻岩中

Al_2O_3 和 K_2O 流失程度则强于白云岩,与片麻岩中长石矿物含量较高,风化过程中 Al_2O_3 和 K_2O 淋滤流失有关。元素质量迁移系数 τ 与 CDF 分析值得到的元素迁移损耗值大小顺序基本一致,即 τ 的绝对值(负值越小或者正值越大)越大的元素,在成土母岩与土壤之间分异越明显。

4 对林果品质影响过程

4.1 作物营养元素的吸收过程

元素生物富集系数(B_{ef})可表征土壤中元素含量分布对食物链影响程度,客观反映了农产品从土壤环境中吸收或摄取微量元素的能力^[18-19]。其计算方法为:

$$B_{\text{ef}} = \frac{[X_i]_{\text{plant}}}{[X_i]_{\text{soil}}} \quad (2)$$

式中: $[X_i]_{\text{plant}}$, $[X_i]_{\text{soil}}$ ——作物样品和土壤样品中元素 i 的含量。

按照生物富集系数的大小,可将作物对土壤元素

的摄取强度分为 4 个等级: $B_{\text{ef}} > 1.0$ 时为强烈摄取, $1.1 < B_{\text{ef}} \leq 1.0$ 时为中等摄取, $1.01 < B_{\text{ef}} \leq 1.1$ 为微弱摄取, $B_{\text{ef}} < 1.01$ 时为极弱摄取。

根据生物富集系数统计箱线图(图 6)显示,研究区板栗样品中微量元素富集系数值 $\text{Cu} > \text{B} > \text{Mo} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Se} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Ge}$, 山楂样品中 $\text{Mo} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Se} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Ge}$, 核桃样品中 $\text{Mo} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{Ge}$ 。板栗样品相对山楂和核桃样品具有较高的 Cu、B、Ni、Se、Ge 和 Mn 元素生物富集系数, Cu、B 元素属于中等摄取, Ni、Se、Ge、Mn 元素属于微弱摄取,而山楂和核桃中的 Cu 元素属于中等摄取,其余元素均为微弱摄取。但是核桃样品 Zn 和 Mo 元素摄取强度显著高于板栗样品和山楂样品,山楂样品 Fe 摄取强度高于核桃样品和板栗样品。不同的植物对元素的吸收摄取程度具有明显差异,土壤本底养分含量和科学合理的人为施肥对作物的品质具有重要的影响。

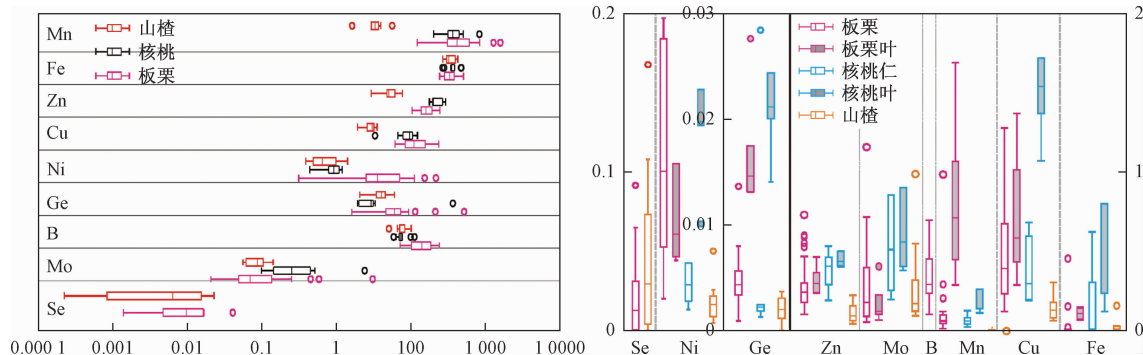


图 6 不同经济作物的元素含量(左)及生物富集系数(右)

Fig. 6 Contents of elements in different Cash crop (left) and enrichment coefficient (right)

4.2 影响品质的生态地质模型

已有研究表明,板栗是一种高锰作物,需锰量比其他果树多,Fe 和 Mn 对板栗的生长是不可或缺的^[20]。山楂适宜于碱性土壤生长, Cu、Zn 含量较高有利于提升其药用功效^[21],因此,土壤中富含特定的微量元素对林果资源的品质具有较强的影响。根据承德南部一带片麻岩建造和白云岩建造的生态地球化学过程,构建了林果资源的生态地质模型(图 7):

(1) 板栗的产地成土母岩以太古代片麻岩建造为最佳,山楂产地以中元古代白云岩碳酸盐建造为最佳。

(2) 片麻岩建造区地貌多以山岗地和丘陵地貌,坡向朝南,坡角小于 15° , 利于板栗生长;白云岩建造区的地貌多中低山,坡向超南,坡度多为 $15^\circ \sim 25^\circ$, 满足山楂生长。

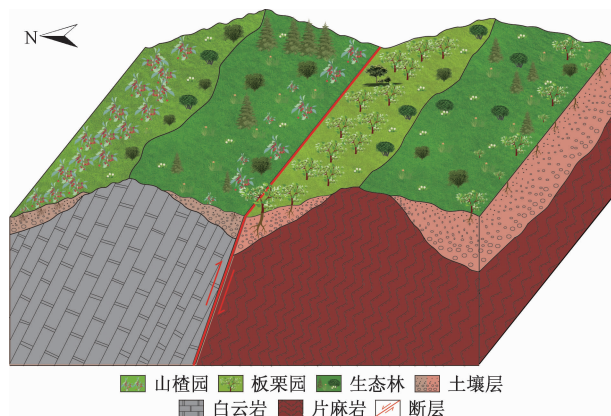


图 7 研究区板栗和山楂原产地生态地质模型

Fig. 7 Eco-geological model of Chinese chestnut and Hawthorn in the study area

(3) 片麻岩建造的黑云斜长片麻岩、黑云母二长

变粒岩为最好,岩石风化程度较强,地表风化后就地成壤,形成厚度较大的疏松母质层,适宜深根板栗生长。白云岩建造中碳酸盐矿物易溶解,其岩石中的酸不溶物含量较低,成壤物质比例较低,造成土壤层较薄,适宜浅根的板栗生长。

(4)片麻岩建造区的土壤为褐土,属于沙质壤质,pH 为 5.31 ~ 6.59,属于中酸性,适宜喜酸板栗生长;白云岩建造的土壤多为石灰性褐土,土壤质地为壤土,pH 为 8.09 ~ 8.30,适宜偏碱性山楂生长。

(5)片麻岩建造中,黑云母、角闪石等暗色矿物含量高,随着矿物不断风化水解,Fe、Mn 等铁族元素元素不断被释放出来,使得土壤中富含 Fe、Mn 元素,利于喜锰的板栗生长;白云建造区的土壤中 Zn、Ca 元

素,利于优质山楂成长。

4.3 种植结构优化建议

在特色林果资源的开发规划中,充分利用土壤中有作物的有益元素分布和酸碱度、有机质含量差异,因地制宜地种植各种农作物,合理施用各种肥料,实现现代化的农业生产的科学管理,科学提升特色林果资源的品质。因此根据板栗、山楂的生态地质模型,进行种植结构优化调整,对宽城县一带板栗、山楂等优质林果资源种植区规划进行优化,初步提出山楂、板栗最适宜种植区(图 8)。山楂的最适宜区面积为 497.2 km²,占宽城总面积的 19.6%,板栗的最适宜区面积为 499.01 km²,占总面积的 19.7%。

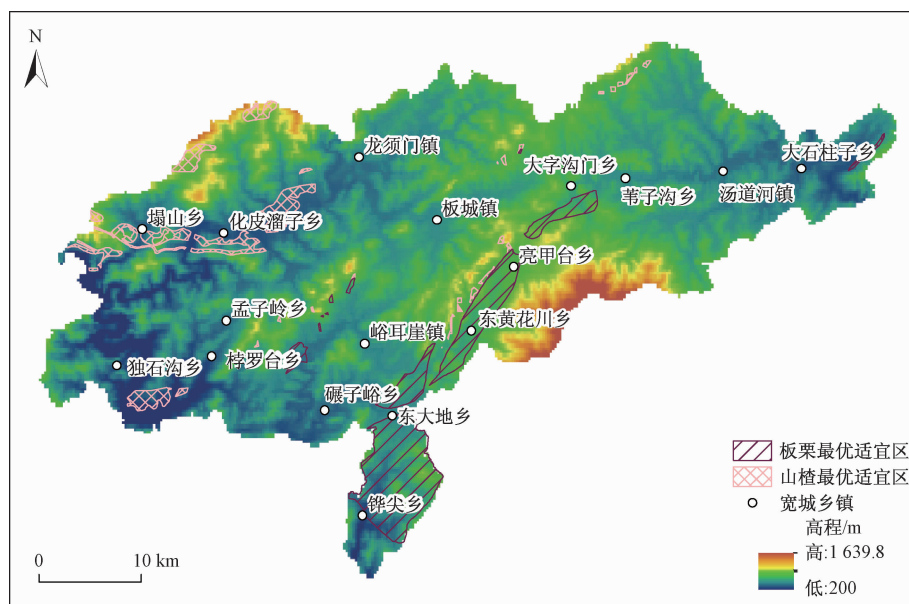


图 8 研究区板栗和山楂最优适宜区划分图

Fig.8 The most suitable division map of Chinese chestnut and Hawthorn in study area

5 结论

(1)片麻岩建造岩石类型为黑云斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、磁铁石英岩,矿物成分主要为斜长石(Pl)、钾长石(K)、石英(Q)、黑云母(Bi)、角闪石(Hb)、石榴石(Cr);白云岩建造白云岩、白云石灰岩和含铁锰白云岩,矿物主要成分为白云石(Do)、石英(Q)。

(2)片麻岩建造的 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、TiO₂、P₂O₅、Mn、Cu、Zn、Ni、Co 元素含量明显高于白云岩建造,相应白云岩建造 MgO、CaO 元素含量高于片麻岩建造。主成分分析和 Pearson 相关性系统聚类分析显示片麻岩 Ti、Mn、Fe、Co、Ni 与 P 呈相关关系明显,白云岩 Cu、

Ni、Ti 和 Fe₂O₃相关性显著。

(3)片麻岩建造的基岩-土壤元素质量迁移系数 τ 值呈 Se > B > V > P > Mo > Mn > CaO > S > Ni > Fe₂O₃ > O > Cu > SiO₂ > Na₂O > K₂O > Ge > Al₂O₃ > Zn > MgO, Se、B、V、S、Mn 和 Mo 元素相对 Ti 元素富集;白云岩区基岩-土壤质量迁移系数 τ 值呈 Na₂O > P > Ni > O > V > K₂O > Al₂O₃ > Mn > S > Se > B > SiO₂ > Fe₂O₃ > Ge > Mo > Zn > MgO > Cu > CaO 特征, Na₂O、P、Ni 元素相对 Ti 元素富集。

(4)生物富集系数 BFC 系数显示:板栗富集系数为 Cu > Zn > Mo > Ni > Mn > Ge > Fe, 山楂富集系数为 Cu > Zn > Ni > Mn > Ge > Fe > Mo。建立板栗、山楂的品质控制生态地质模型,筛选山楂的最适宜区面积为

497.2 km², 板栗的最适宜区面积为 499.01 km²。

参考文献 (References):

- [1] 刘亚斌, 郭素娟. 迁西地区 39 份板栗种质叶片的功能性状多样性[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(4): 8-14. [LIU Y B, GUO S J. Leaf functional traits of 41 chestnut germplasms in Qianxi region[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(4): 8-14. (in Chinese)]
- [2] 于长文, 许启慧, 马贵东, 等. 河北青龙板栗生长气象条件分析与气候品质认证[J]. 农学学报, 2020, 10(3): 93-101. [YU C W, XU Q H, MA G D, et al. Growth meteorological condition analysis and climate quality certification of Qinglong chestnut in Hebei[J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(3): 93-100 (in Chinese)]
- [3] 李瑞敏, 侯春堂, 刘永生, 等. 农业地质地球化学评价的理论与方法初探[J]. 地质科技情报, 2005, 24(4): 83-86. [LI R M, HOU C T, LIU Y S, et al. Preliminary study on theory and method of geochemistry evaluation of agro-geology [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(4): 83-86. (in Chinese)]
- [4] 高琳, 龙怀玉, 刘鸣达, 等. 农业地质背景与特色农作物品质相关性研究进展[J]. 土壤通报, 2011, 42(5): 1263-1267. [GAO L, LONG H Y, LIU M D, et al. Review on the relationship between agro-geological background and crop quality [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(5): 1263-1267. (in Chinese)]
- [5] 汪振立, 邓通德, 王瑞敏, 等. 岩石-土壤-脐橙系统中稀土元素迁聚特征[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1382-1394. [WANG Z L, DENG T D, WANG R M, et al. Characteristics of migration and accumulation of rare earth elements in the rock-soil-navel orange system[J]. Geology in China, 2009, 36(6): 1382-1394. (in Chinese)]
- [6] 徐小磊, 戴圣潜, 刘家云, 等. 安徽宁国地区岩-土系统元素迁移及其农业地质环境效应[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2005, 30(2): 168-176. [XU X L, DAI S Q, LIU J Y, et al. Movement of elements in a rock-soil system and the effects of a geological environment on agriculture in the Ningguo region, Anhui Province[J]. Earth Science, 2005, 30(2): 168-176. (in Chinese)]
- [7] 黄霄, 姚丹, 陆爱华, 等. 江苏不同产地白玉枇杷果实品质与果实和土壤中矿质元素含量的相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 85-92. [HUANG X, YAO D, LU A H, et al. Correlation analysis on fruit quality of Eriobotrya japonica 'Baiyu' from different locations in Jiangsu Province with mineral element contents in fruit and soil[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2018, 27(2): 85-92 (in Chinese)]
- [8] 王萍, 王涛, 赖树钦. 特色农业成土母质的元素特征及其对作物的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2007, 36(4): 417-421. [WANG P, WANG T, LAI S Q. Elements characteristics of parent rocks in the characteristic agriculture and their effects on crops[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2007, 36(4): 417-421. (in Chinese)]
- [9] DAVIS G A, ZHENG Y D, CONG W, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China[J]. Geological Society of America Memoirs, 2001, 194: 171-197.
- [10] 张长厚, 宋鸿林. 燕山板内造山带中生代逆冲推覆构造及其与前陆褶冲带的对比研究[J]. 地球科学, 1997, 22(1): 33-36. [ZHANG C H, SONG H L. Mesozoic thrust-nappe structures in the Yan Mountains intraplate Orogenic belt and their correlation with Foreland fold-and-thrust belts [J]. Earth science, 1997, 22(1): 33-36. (in Chinese)]
- [11] 朱更新, 孙立新, 杨世有, 等. 承德幅 1:25 万区域地质调查报告[R]. 河北: 河北地质调查研究院, 2001. [ZHU G X, SUN L X, YANG S Y et al. 1:25,000 regional geological survey (Chengde) [R]. Hebei: Hebei Institute of Geological Survey, 2001. (in Chinese)]
- [12] 地质矿产部地质辞典办公室. 地质大辞典[M]. 北京: 地质出版社, 2005. [Geological dictionary Office of the Ministry of Geology and mineral resources. Geological dictionary [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese)]
- [13] 李正积. 农业地质背景系统概念及其应用[J]. 四川地质学报, 1991, 11(1): 63-69. [LI Z J. Concept and application of agricultural geological background system[J]. Journal of Sichuan Geology, 1991, 11(1): 63-69. (in Chinese)]
- [14] 杨忠耀. 农业地质背景及其控制因素[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1991, 11(2): 205-214. [YANG Z Y. A study on the agricultural geological background and its controlling factors[J]. Journal of Guilin college

- of geology, 1991, 11(2): 205 – 214. (in Chinese)]
- [15] MACLEAN W H. Mass change calculations in altered rockseries[J]. Mineralium Deposita, 1990, 25(1): 44 – 49.
- [16] CHADWICK O A, BRIMHALL G H, HENDRICKS D M. From a black to a gray box—a mass balance interpretation of pedogenesis [J]. Geomorphology, 1990, 3: 369 – 391.
- [17] OESER R A, STRONCIK N, MOSKWA L, et al. Chemistry and microbiology of the Critical Zone along a steep climate and vegetation gradient in the Chilean Coastal Cordillera [J]. Catena, 2018, 170: 183 – 203.
- [18] 周东晓,彭渤,王勤,等. 扬子地台西缘下寒武统黑色页岩土壤元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2020, 39(1): 59 – 71. [ZHOU D X, PENG B, WANG Q, et al. Elemental geochemical characteristics of soils derived from the lower-cambrian black shales in the western Yangtze platform, china [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2020, 39(1): 59 – 71. (in Chinese)]
- [19] 廖启林,刘聪,蔡玉曼,等. 江苏典型地区水稻与小麦字实中元素生物富集系数初步研究. [J]. 中国地质, 2013, 40(1): 331 – 341. [LIAO Q L, LIU C, CAI Y M, et al. A preliminary study of element bioconcentration factors within milled rice and wheatmeal in some typical areas of Jiangsu Province [J]. Geology in China, 2013, 40(1): 331 – 341. (in Chinese)]
- [20] 张丽娟,李彦慧,潘海泉. 施肥对水果品质影响的研究进展 [J]. 河北林果研究, 1999, 14(2): 185 – 189. [ZHANG L J, LI Y H, PAN H Q. Research advances in fertilization effects on the quality of fruits [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 1999, 14(2): 185 – 189. (in Chinese)]
- [21] 杨明霞,刘伟,温映红,等. 山西‘泽州红’山楂古树生境土壤化学特性研究 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(5): 171 – 176. [YANG M X, LIU W, WEN Y H, et al. The soil chemical characteristics analysis of ‘Zezhouhong’ ancient hawthorn trees in Shanxi [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(5): 171 – 176. (in Chinese)]