

莫碧琴,杨慧,曹建华,等.典型石漠化区不同种植年限桃树下土壤微量元素变化特征[J].中国岩溶,2017,36(1):81-87.
DOI:10.11932/karst20170110

典型石漠化区不同种植年限桃树下 土壤微量元素变化特征

莫碧琴^{1,2},杨慧²,曹建华^{2,4},吕全标^{2,3},朱昊^{2,3},白冰^{2,4}

(1. 桂林理工大学环境科学与工程学院,广西 桂林 541004;

2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西 桂林 541004;

3. 中国地质大学水资源与环境学院,北京 100083;

4. 联合国教科文组织国际岩溶研究中心,广西 桂林 541004)

摘要:为明确石漠化地区不同种植年限果树根系表层土壤微量元素的变化特征,选择桂林市恭城县大岭山村同一农户的不同种植年限桃树(2 a、10 a、20 a)各5棵,以撂荒地(0 a)作为对照,对土壤微量元素铁、铜、锰、锌、硼的全量及有效态变化规律进行研究,并探讨理化性质与微量元素有效态的相关性。结果表明:(1)研究区除全铁的变异系数小于10%,铜、锰、锌、硼的全量及有效态均为中等变异;(2)土壤铁、铜、锌、硼全量种植0~2 a间均增加($P<0.05$),种植2~10 a则下降($P<0.05$),种植10~20 a间铁元素随年限增加而下降($P<0.05$),其余研究元素全量均表现为增加趋势;(3)有效铁、锌、硼在种植0~10 a先增加($P<0.05$),种植10~20 a均有明显下降趋势,有效锰在0~20 a间趋势则与其他元素相反,并且与全量锰保持一致性,因此种植10 a是果树土壤微量元素变化的转折点;(4)不同种植年限果树根系土壤性质的改变(pH值、有机质、全磷的变化)是微量元素有效态含量随时间变化的主要内在原因,而人为活动如施加有机肥是外在原因。在种植10 a后,应重视微肥的施加。

关键词:石漠化区;微量元素;种植年限;含量变化

中图分类号:S158.3

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2017)01-0081-07

0 引言

作为生物调节系统不可缺少的组成部分,微量元素具有重要的生态学意义。微量元素是酶、维生素和生长激素等的重要组成成分,直接参与有机体的代谢活动,对植物生长发育过程、群落动态演替与生态功能发挥具有关键作用^[1]。微量元素对生物体具有双重作用,如果在环境要素中浓度过低,就会对植物和人畜供应不足,抑制生物体生长,如果浓度过高,则会对生物体产生毒害作用,由于微量元素对生物体具有

营养和毒害两重影响,研究其在生态系统中的行为便具有重要意义。

中国岩溶区面积约344.3万km²,占国土面积35.9%。其中西南地区岩溶面积约53.26万km²,是世界上最大的岩溶连续分布片区^[2]。岩溶地区的物质循环以C、H₂O、Ca循环为基本特征^[3],岩溶地区的土壤以岩溶地质条件为背景,与非可溶岩相比,岩溶地质背景对水土流失、石漠化发展过程存在着本底性约束,流失过程受化学、物理和生物作用控制,导致岩溶区成土速率缓慢,土层薄,溶蚀流失量高,水土流

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能1598023-1、桂科合14125008G2G1);国家自然科学基金青年基金(41402326);科技部政府间科技合作项目(10-18);国家留学基金委资助项目(201608450017);中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(201501)

第一作者简介:莫碧琴(1990-),女,硕士研究生,主要从事岩溶土壤研究。E-mail:mo364148098@163.com。

通信作者:曹建华(1963-),男,博士,研究员,主要从事岩溶生态学、岩溶生物地球化学研究。E-mail:jhcaogl@karst.ac.cn。

收稿日期:2016-09-02

失危险程度高,环境容量小、抗干扰能力弱、稳定性低和自我调节能力差,具有天然的高度异质性和脆弱性^[4],是非地带性的脆弱生态带^[5],土壤中微量元素更易流失^[6]。

虽然前人对岩溶地区土壤和植被中的微量元素进行过一些有意义的探索,比如高鹏等^[6]对喀斯特峰丛洼地小流域表层土壤 6 种微量元素 (Pb、Cr、Ni、Cu、Zn、B)的空间异质性进行研究后认为 6 种微量元素含量的差异及变异系数均较大;安玉亭等^[4]对贵州省普定县喀斯特山地 5 种不同类型人工林中的 6 种微量元素(Fe、Mn、Cu、Zn、Co、Mo)的含量与有效态含量进行了研究并分析了土壤有效态含量与有机质含量、pH 等之间的相关性;Yang 等^[7]对亚热带气候条件下桂林毛村岩溶区与碎屑岩区土壤—植被系统中的 6 种微量元素 Cu、Fe、Mn、Ni、Sr 和 Zn 进行了对比研究后认为尽管上述 6 种微量元素的全量岩溶区石灰土高于碎屑岩区红壤,但是有效态含量却比碎屑岩区低。

目前对于岩溶石漠化区不同种植年限果树对微量元素变化特征及影响因素的研究还较少,本研究在前期调查的基础上,发现桂林恭城县大岭山村岩溶石漠化治理区不同种植年限的桃树出现不同程度的桃树流胶病及连作障碍等问题,本文对不同种植年限桃树下微量元素全量及有效态进行测定,分析土壤微量元素 (Fe、Cu、Mn、Zn、B) 随种植年限增加的变化趋势,探索不同种植年限的果树根系土壤有效态与理化性质间的内在关系,为岩溶区石漠化治理过程中元素的迁移转化提供基础数据,以期探明制约当地岩溶地区果树持续种植的机制,为果园土壤科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于桂林市恭城县大岭山村桃园,坐标为

东经 110°47′4″~18″,北纬 24°54′35″~38″。该地区属于亚热带季风气候区,年均气温 19.7℃,年均降水量 1 437.7 mm,年均无霜期 319 d,经济作物以月柿、三华李、桃树为主。研究区为中低山丘陵,成土母质为下石炭统岩关阶石灰岩(查 1:20 万桂林幅水文地质图),岩溶土壤稀薄、缺水易旱,由于长期的人为活动破坏自然植被,大面积陡坡开荒,造成地表裸露,加之土层薄,基岩出露浅,暴雨冲刷,大量水土流失后岩石逐渐凸现裸露,呈现轻度石漠化现象^[8]。

1.2 样品采集

样品采集均在同一片地区,并对调查区域的农户就肥料施用种类、比例、用量及管理进行了调查,研究区样地桃树所施用的化肥主要为氮磷钾复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15),有机肥则主要为禽畜粪便。桃树的基本施肥管理措施见表 1。所采集样品的成土母质基本相同,主要由石炭纪下统岩关阶石灰岩母质发育而成。所采集的样品包括不同种植年限的桃树,0 a(撂荒地)、2 a、10 a、20 a 各 5 个样点。共采集 20 个土样。在相同年限的桃树间选择树体均一,长势相似的树种,并在距离主树干下坡位不同距离处(75 cm,150 cm,225 cm),刨开枯枝落叶层,用小铲子挖取 0~20 cm 根系土土壤样品,混合后得到一个土样。带回实验室自然风干,去除植物根系、落叶、石块等,用研钵研磨后,过 100 目尼龙筛,分别贮存备用送样。其基本理化性质情况见表 2。

1.3 室内实验

土壤经硝酸—高氯酸—盐酸消煮后,利用 ICP-MS 法测试铁、铜、锰、锌、硼的全量,试验过程中均加入国家标准物质土样(GSS-1,GSS-4)进行全程质量控制,并设置试剂空白对照处理,样品送至广东省地质实验测试中心检测,误差范围保持在 1%~6%之间。有效铁、铜、锰、锌、硼含量采用 DTPA (pH7.3)提取^[9]。pH 测定采用水土比 2.5:1 电位法;有机质用外加热重铬酸钾—容量法,全氮用半微量凯氏法,全磷用碱融—钼锑抗法,全钾用碱融—原子吸收法测量^[6]。

表 1 恭城桃树基本施肥管理
Table 1 Basic fertilizer management of peach trees in Gongcheng

时期	萌芽前	开花	结果
施肥量/kg	2	0.5	1
肥料品种	有机肥 75%+复合肥 25%	复合肥	复合肥
施肥方式	沟施	表施	表施
管理	整枝修剪、疏枝;果树涂白;除草	喷施农药	

表 2 样地土壤基本理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of sampling soil

年限/a	pH	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
0(撂荒地)	$7.28 \pm 0.42\text{a}$	$82.38 \pm 9.53\text{a}$	$3.90 \pm 0.35\text{a}$	$0.61 \pm 0.05\text{a}$	$18.45 \pm 1.16\text{a}$
2	$7.12 \pm 0.39\text{a}$	$43.64 \pm 8.66\text{b}$	$2.69 \pm 0.31\text{b}$	$0.89 \pm 0.12\text{a}$	$12.83 \pm 2.16\text{b}$
10	$5.12 \pm 0.02\text{b}$	$57.62 \pm 8.02\text{c}$	$2.95 \pm 0.48\text{b}$	$1.64 \pm 0.47\text{b}$	$16.87 \pm 1.56\text{a}$
20	$5.77 \pm 0.55\text{b}$	$62.04 \pm 9.94\text{c}$	$3.06 \pm 0.48\text{b}$	$2.10 \pm 0.48\text{c}$	$10.64 \pm 2.84\text{c}$

注:平均值±标准差;同一列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

1.4 数据处理

所测结果的统计分析使用 EXCEL2010 和 SPSS10.0 软件,并用单因素方差分析(one-way ANOVA)及 Duncan 多重比较法对不同种植年限的桃树土壤微量元素全量以及有效态含量进行差异性检验;土壤理化性质与土壤微量元素有效态的相关性用 Canoco4.5 的 PCA 主成分分析作图分析其相关性。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限土壤微量元素全量总体概况

不同种植年限桃树下土壤铁、铜、锰、锌、硼全量的描述性分析见表 3。土壤微量元素铁、铜、锰、锌、硼全量含量范围分别为 55 252.60~72 038.20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、27.90~43.22 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、494.00~2 596.00

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、194.50~307.70 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、51.00~86.00 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;变异系数分别为 7.84%、13.65%、22.32%、13.27%、13.63%,除全铁属于弱变异,其余均为中等变异^[10],说明铜、锰、锌、硼微量元素随着种植年限增加的变异程度保持一致。根据表 3 中 Yang 等^[7]在桂林毛村自然植被下石灰岩土中测出铁元素含量为 49.96 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、铜元素含量为 33.05 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、锰元素为 1 490 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、锌元素为 190.51 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,本研究结果显示桃树根系表层土壤微量元素全量的均值高于自然植被下的石灰岩土含量,高于全国石灰岩土微量元素含量均值,说明自然条件下经过人工施肥增加了该研究区的土壤的微量元素。但微量元素铜、锰、硼最小值低于全国平均水平,伴随果树生长过程,仍可能出现微量元素缺乏的情况。

表 3 土壤微量元素全量的总体描述性分析

Table 3 Descriptive statistics of total content of soil trace elements

指标	变异系数 %	最小值	最大值	均值	标准差	岩溶植被土壤 ¹	全国均值 ²
		$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$					
全量铁	7.84	55 252.60	72 038.20	61 078.60	4 787.06	49 960.00	3.0×10^4
全量铜	13.65	27.90	43.22	34.93	4.77	33.05	22.00
全量锰	22.32	494.00	2 596.00	1 775.10	521.85	1 490.00	710.00
全量锌	13.27	194.50	307.70	234.90	31.16	190.51	100.00
全量硼	13.63	51.00	86.00	71.07	9.69	—	64.00

注:1.数据来源于杨慧论文^[7];2.数据来源于朱其清论文^[11]。

2.2 不同种植年限土壤微量元素有效态总体概况

不同种植年限桃树土壤铁、铜、锰、锌、硼有效态含量的描述性分析见表 4。土壤有效态铁、铜、锰、锌、硼含量分别为 9.74~84.00 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.02~1.03 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、35.38~285.20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1.48~8.11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.11~0.66 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;变异系数为 72.00%、50.26%、68.36%、39.80%、52.60%,均达到中等变异水平。

土壤微量元素是否缺乏,一般不在于其总量,而主要取决于其有效性。根据中国土壤学会农化专业委员会 1983 年对土壤元素有效态含量进行的分级标准,土壤有效铁临界值为 2.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而研究区的有效铁含量在 9.74~84.00 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,根据土壤有效铁含量 10~50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为中等含量水平的标准^[9],研究区有效铁含量属于中等含量以上水平;分级标准中有效铜临界值为 0.2~0.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,撿

表 4 土壤微量元素有效态的总体描述性分析

Table 4 Descriptive statistics of available content of soil trace elements

指标	变异系数	最小值	最大值	均值	标准差	全国临界值 ²
	%	mg · kg ⁻¹				
有效铁	72.00	9.74	84.00	36.31	26.14	2.50
有效铜	50.26	0.02	1.03	0.58	0.29	20.00 *
有效锰	68.36	35.38	285.20	120.73	82.53	100.00
有效锌	39.80	1.48	8.11	5.28	2.10	50.00 *
有效硼	52.60	0.11	0.66	0.34	0.18	50.00 *

注:标*的适用于石灰性土壤^[12]。

荒地偶见低于 0.2 mg · kg⁻¹,其余种植年限的土壤中有有效铜含量均高于临界值,因此,研究区基本不存在缺铜现象;分级标准中缺锌临界值为 50 mg · kg⁻¹,而研究区有效锌的含量在 1.48~8.11 mg · kg⁻¹之间,因此该研究区缺锌;根据朱其清等^[11]研究发现,石灰土全量硼含量为 20~210 mg · kg⁻¹,有效硼仅占全量硼含量的 0.05%~0.98%,本研究中全量硼与有效硼比例与其研究结果较为一致。而根据全量硼含量<20 mg · kg⁻¹,有效硼含量<0.01 mg · kg⁻¹时土壤会出现缺硼现象的标准,本研究中有效硼最小值为 0.11 mg · kg⁻¹,可判断为不缺硼。

2.3 不同种植年限对土壤微量元素全量及有效态含量的影响

从表 5 中可得到 5 种微量元素随种植年限的变化规律以及差异性检验。微量元素随种植年限增加存在以下复杂的趋势:(1)全量铁在种植 2 a 增加 9.70%后随种植年限的增加又下降,20 a 较 2 a 下降了 16.80%,全量锌在 0 a 到种植 10 a 间先增加 48.67%,全量锰则在种植 0 a 到 10 a 间降低了 48.70%,全量铜在种植 2 a 时增加 28.30%,种植 10

a 再次下降 20.10%。但除全量铁外,全量铜、锰、锌、硼均在种植 20 a 后含量增加 9.17%、48.69%、13.40%、17.73%;且有效锰与全量锰、有效铜与全量铜均具有一致的变化趋势;(2)有效铁、锌、硼在种植 0~10 a 间分别增长 81.63%、49.11%、66.67%,种植 10 a 有利于增加微量元素的有效性,种植 20 a 又下降 26.39%、20.02%、46.67%;(3)全量铁、硼的 0 a、2 a、20 a 三个年限差异显著,种植 10 a 与种植初期差异不显著;全量锌在种植 0~10 a 间均呈显著差异($P<0.05$),全量铜在各种种植年限间差异性均显著($P<0.05$),说明铜元素随种植年限变化大;全量锰在种植初期变化不大,但种植 10 a 与种植初期差异显著;(4)开垦种植 2 a 土壤与撂荒地 0 a 的铁、锌、硼有效态差异不显著,种植 2 a、10 a、20 a 的果树根系土壤中的有效铁、锰差异显著,说明铁、锰元素受年限影响较大,且均在种植 10 a 元素有效态含量最高。有效锌在种植 20 a 时与种植初期差异显著。有效锰、硼在种植 10 a 与其他种植年限差异明显,并达到最高值。有效铜含量稳定,不随种植年限增加而改变,且保持稳定的水平。

表 5 不同种植年限根系土壤微量元素全量及有效态差异/mg · kg⁻¹

Table 5 The significance test of both total contents and available contents of soil trace elements under peach trees with different planting ages

年限/a	全量铁	全量铜	全量锰	全量锌	全量硼
0	60554.05±2009.73a	29.49±1.02a	2097.80±151.36a	234.40±16.60a	70.40±8.44a
2	67058.47±4724.81b	41.15±2.33b	1977.00±411.61a	274.24±23.42b	80.86±5.22b
10	60931.72±1411.33a	32.86±0.76c	1076.74±197.99b	199.98±5.06c	60.04±7.36c
20	55770.15±449.46c	36.18±2.86d	2098.20±332.34a	230.98±16.87a	72.98±3.99ab
年限/a	有效铁	有效铜	有效锰	有效锌	有效硼
0	12.39±3.35a	0.39±0.34a	64.28±28.63a	3.71±2.14a	0.20±0.08a
2	15.72±3.32a	0.61±0.31a	42.36±7.79a	4.27±1.85a	0.24±0.13a
10	67.43±15.74b	0.57±0.15a	225.84±55.79b	7.29±1.04b	0.60±0.05b
20	49.63±17.24c	0.73±0.29a	150.43±42.331c	5.83±1.44ab	0.32±0.08a

注:平均值±标准差;同一列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

不同的微量元素受种植年限影响差异较大,例如,0 a 到 2 a 间,全量铁受到开垦年限影响较大,开垦前期都存在一个快速增长期,这种变化趋势与张成娥^[13]的研究结果一致。而后期都存在一个趋于平稳期。经变化率估算,表层土壤铁含量在 2 a 为快速增长期,10 a 后趋于平稳,研究与邹元春^[14]研究结果一致。邹元春等^[14]的研究也表明长期的开垦会致使氧化铁活化度降低,铁元素不易迁移,在表层积聚,因此长期种植桃树也可能使铁元素的钝化,相比种植 10 a,种植 20 a 的果树土壤有效铁降低了 26.3%。

2.4 不同种植年限土壤微量元素有效态与土壤基本理化性质的 PCA 分析

影响不同种植年限果树根系土壤微量元素有效态的内在因素有成土母质、土壤 pH、有机质含量等^[15]。PCA 是利用降维的思想,目的是在损失很少信息的基础上简化数据和揭示变量之间的关系^[16]。用 PCA 预测不同种植年限土壤样品中的 5 种微量元素有效态与土壤基本理化性质相关关系,在 Canoco4.5 软件中以微量元素有效态为环境因子,土壤基本理化性质为物种变量进行 PCA 分析,相关性结果如图 1 所示。有效铁、锰、锌、硼与全磷呈正相关关系,与 pH 呈负相关关系;有机质、全氮、全钾仅与有效铜呈负相关关系,对铁、锰、锌、硼微量元素有效态影响不大。

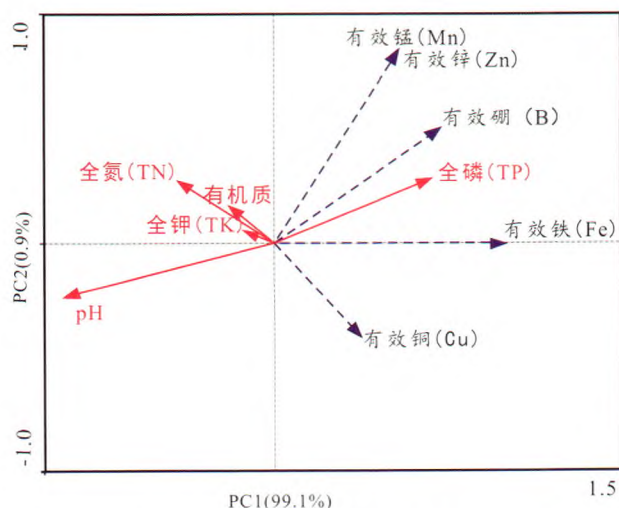


图 1 土壤微量元素有效态与基本理化性质 PCA 分析图

Fig. 1 PCA diagram of available contents of trace elements and soil basic physical and chemical properties

3 讨 论

3.1 土壤微量元素对种植果树不同年限的响应

果树根系土壤微量元素的含量变化是自然与人类活动综合作用的结果。果树土壤循环主要分为地上部分(大气圈及土壤圈)及地下部分(土壤圈及岩石圈),而土壤循环在整个果树生态系统地下及地上微量元素中起着决定性作用,也是微量元素由地下周转到地上的物质基础。果树根系地上部分(土壤圈与大气圈的交流)的微量元素输入方式主要有:(1)果树从土壤中吸收的微量元素;(2)果树的凋落物及果实归还到地表的微量元素;(3)大气干湿沉降的微量元素通过穿透雨和树干流等形式输入到枯枝落叶层;(4)人工施肥。根据地上部分的输入可知,地下部分的微量元素输出到地上占主要部分^[17]。

总体上,随着年限的增加,全量铁、铜、锌、硼均表现为先下降后回升趋势,形成地下部分的微量元素循环系统(从岩石圈到土壤圈后为果树根系吸收后又再次回到土壤圈)。导致这种变化可能的原因是:(1)石灰岩风化及矿物的分解:种植初期,0~2 a 土壤中的微量元素主要来自于石灰岩化学溶蚀及风化成土过程^[18]。由于水热状况的改变使得土壤矿质元素的溶蚀与风化作用均加强,微量元素释放得以加快^[18],微量元素在从矿物晶格中释放,化学形态发生改变,并以离子状态进入土壤溶液,从而易于被果树所吸收,因此种植初期土壤微量元素含量下降,其中 Mn 元素尤其明显;(2)经调查农户长期施用复合肥同时施加了有机粪肥,有机肥料尤其是鸡粪中的全铜、全锌及有效铜、有效锌含量高^[19],通过沟施的有机肥经过根系的再分布,可以补充土壤中由果树带走的部分微量元素。崔德杰等^[20]也指出长期施用有机肥可增加土壤微量元素的含量;在种植前期由于果树生长旺盛,对微量元素需求大,因此保持一定的平衡。种植 10~20 a 间,则果树生长迟缓,微量元素迁移缓慢,则表现土壤微量元素全量及有效态的增加;(3)随着种植年限增加,土壤生物从环境中吸收并富集微量元素,死亡后把微量元素归还给土壤^[17],其中铜元素全量及有效铁均在 20 a 增加;(4)种植初期 0~2 a,果树树龄较小,凋落物较少,果实亦较少,在早期对微量元素利用率较低,除锰外其他元素全量及有效态均增加,保证了果树的生产力。种植 10 a 时,果树树龄正值生长旺盛,果实较多,地下部分微量元素铜、锰、锌、硼有效态被果树充分利用,因此出现最低值。当果树种植 20 a,树龄较大,果实减少,凋落物增加并在土壤

生物作用下不断分解,铁、铜、锌、硼等微量元素得以释放,重新回到了土壤,微量元素全量再次增加。

3.2 土壤理化性质对土壤微量元素的影响

土壤有机质具有离子交换和配合能力,可与某些微量元素形成稳定的可溶或难溶性的配合物,在富含有机质的土壤上,一些微量元素比如铜常被固定,因钝化而变得难以被植物吸收,有效态含量降低^[21],本研究也得到了类似的结论,即土壤有机质含量与土壤有效铜含量呈负相关关系。这可能是由于有机质的强烈吸附而降低了铜的有效性。与其他微量元素相比,pH 对铜的有效性的影响较小。但土壤中氮素水平是调节植物铜营养的重要因素,施加氮肥会导致植物体内铜水平下降,这也与本研究中有有机质、全氮与有效铜含量呈负相关关系的结论一致。

土壤有机质对铁、锌的影响均较为复杂,比如因为有机质的分解时产生大量的可溶性低分子有机物,对铁有很强的络合能力,易于与水溶性铁络合而提高其有效性;而在高湿度的石灰土上,有机质分解时产生大量 CO₂,会造成土壤中重碳酸盐累积,使得有效铁降低^[22]。同样,土壤有机质所含的锌,通过分解、释放,可成为植物可以吸收利用的有效态,通常,土壤锌的有效性随土壤有机质含量的增加而提高;而另一方面,锌可以同有机质络合而被固定成为植物不能利用的锌。比如,与胡敏酸络合的锌是不溶性的,而与富里酸络合的锌是可溶的。这可能也是本研究中有有效铁含量、有效锌含量均与有机质的相关关系不显著的原因之一。

土壤 pH 是土壤的基本性质之一,影响着土壤中各种养分的有效性、土壤的保肥能力,及土壤微生物的活力等^[18]。研究表明,土壤微量元素的有效性与酸碱度的关系因元素种类而异,以阳离子形态存在的元素和硼的有效性随着土壤 pH 值的降低而加大,以阴离子形态存在的微量元素则随着土壤 pH 的提高,有效性增大。土壤 pH 值从 5 上升到 8 时,植物吸收的硼、锰、锌、铁、铜减少^[12],这也与本研究的结论一致。比如铁,随着 pH 值的增加,活性 Fe³⁺ 下降,每增加一个 pH 单位,溶液中活性铁减少近千倍。可溶性铁随 pH 升高而降低^[22]。同样,在碱性土壤中,锌的有效性很低,每当土壤 pH 值增加一个单位,锌的溶解度即降低 100 倍。另外,土壤中磷的水平会影响铁、锰的有效性,其原因可能是会产生磷酸盐沉淀,不利于果树对微量元素的吸收与利用。这可能也是本研究中有有效铁、锰含量与土壤全磷呈现正相关关系的原因。

4 结 论

(1)研究区除全量铁的变异系数小于 10%,有效铁及铜、锰、锌、硼的全量及有效态含量均为中等变异,果树根系表层土壤微量元素全量的均值高于自然植被下的石灰岩土含量,高于全国石灰岩土微量元素含量均值,说明总体上施肥增加了该研究区的土壤的微量元素;

(2)土壤铁、铜、锌、硼全量在种植 0~2 a 间均增加($P<0.05$),种植 2~10 a 则下降($P<0.05$),铁元素在种植 10~20 a 间随年限增加而下降($P<0.05$),其余元素全量均表现为增加趋势;

(3)有效铁、锌、硼在种植 0~10 a 先增加,种植 10~20 a 之间果树土壤微量元素有效态均有明显的下降趋势,有效锰趋势则与前者相反,并且与全量锰保持一致性,因此种植 10 a 是果树生长的转折点;

(4)不同种植年限果树根系土壤性质的改变(pH 值的变化、有机质、全磷的增加)是微量元素有效态含量随时间变化增加的主要内在原因,而人为活动如施加有机肥是外在原因。因此在种植 10 a 后,应重视微肥的施加,从而保证系统内微量元素的营养平衡和果树生产力稳定。

参考文献

- [1] 漆良华,张旭东,彭镇华,等.不同植被恢复模式下中亚热带黄壤坡地土壤微量元素效应[J].应用生态学报,2008,19(4):735-740.
- [2] 袁道先,刘再华,林玉石,等.中国岩溶动力系统[M].北京:地质出版社,2002:1-10.
- [3] 袁道先.岩溶与全球变化研究[J].地球科学进展,1995,10(5):471-474.
- [4] 安玉亭,薛建辉,吴永波,等.喀斯特山地不同类型人工林土壤微量元素含量与有效性特征[J].南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(3):65-70.
- [5] 彭晚霞,王克林,宋同清,等.喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J].生态学报,2008,28(2):811-820.
- [6] 高鹏,付同刚,王克林,等.喀斯特峰丛洼地小流域表层土壤微量元素的空间异质性[J].生态学杂志,2013,32(8):2133-2139.
- [7] Yang H, Lu M G, Cao J H. Trace elements of the soil - plant systems in subtropical karst and clasolite areas in Guilin, Guangxi, China[J]. Environ. Earth Sci., 2015,73(10):6269-6269.
- [8] 刘顺风,杨如军.喀斯特地区土地石漠化和生态环境建设:以广西恭城瑶族自治县为例[J].现代农业科技,2013(4):266-267.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学与分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999:197-213.
- [10] 葛剑平,郭海燕,仲莉娜.地统计学在生态学中的应用(I):基本理论和方法[J].东北林业大学学报,1995(2):88-94.

- [11] 朱其清,尹楚良,唐丽华,等.石灰岩土中微量元素的含量与分布[J].土壤学报,1984,21(1):58-69.
- [12] 沈其荣.土壤肥科学通论[M].北京:高等教育出版社,2010:50-75.
- [13] 张成娥,郑粉莉.林地开垦后坡面土壤元素的时空变化特征[J].应用生态学报,2002,13(6):672-674.
- [14] 邹元春,吕宪国,姜明.不同开垦年限湿地土壤铁变化特征研究[J].环境科学,2008,29(3):814-818.
- [15] 秦莹,娄翼来,周丹,等.沈阳市郊不同年限蔬菜温室土壤有效态微量元素分布特征[J].土壤通报,2009,40(3):648-652.
- [16] 唐会周,明建.5种市售脐橙果实香气成分的主成分分析[J].食品科学,2011,32(20):175-180.
- [17] 姜勇.森林生态系统微量元素循环及其影响因素[J].应用生态学报,2009,20(1):197-204.
- [18] 刘雪云,李晓忠,周志宇,等.不同开垦年限西藏草地中量、微量元素含量变化特点[J].中国草地学报,2010,32(6):70-75.
- [19] 崔德杰,张继宏,关连珠,等.长期施肥及覆膜栽培对土壤锌各形态及其有效性影响的研究[J].土壤通报,1994,25(5):207-209,215.
- [20] 崔德杰,王维华,张坤普.有机肥料对土壤锌、铜、锰的影响[J].莱阳农学院学报,1996,13(1):17-20.
- [21] 姜勇,张玉革,梁文举,等.耕地土壤中交换态钙镁铁锰铜锌相关关系研究[J].生态环境,2003,20(2):160-163.
- [22] 吴礼树.土壤肥科学[M].北京:中国农业出版社,2004:233-240.

Variation of soil trace elements under peach trees with different planting ages in typical rocky desertification areas

MO Biqin^{1,2}, YANG Hui², CAO Jianhua^{2,4}, LYU Quanbiao^{2,3}, ZHU Hao^{2,3}, BAI Bing^{2,4}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

3. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. The International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract In order to identify the variation of trace elements of peach orchard soil with different tree ages in typical rocky desertification areas, this work selected the peach trees with planting age of two years, ten years, and twenty years, five pieces each, as the study object. Compared with the abandoned agricultural land(zero year), we analyzed the vibrations of the content of Fe, Cu, Mn, Zn, and B in the soils, and established the relationship between the content of available trace elements and their physicochemical properties. The results show that, (1) The total content of trace elements belong to a medium variation level except the total content of Fe. (2) The total contents of Fe, Cu, Zn and B increase when planting age reaches 2 a, but decrease between 2 a and 10 a ($P < 0.05$). The total content of Fe decreases with growing ages ($P < 0.05$), but the tendency of the rest trace elements is opposite between planting 10 year and 20 year ($P < 0.05$). (3) The content of soil available Fe, Zn, and B increase between planting 0 year and 10 years ($P < 0.05$), but decrease in 20 years. The content of soil available Mn is opposite, which keeps consistency with the total content of Mn. Thus, planting 10 year is a turning point. (4) Changes of the soil property for different planting ages of the fruit trees (the change of pH, organic matter, and total phosphorus) are the main internal reasons for that the available content of trace elements change with time and human activity, such as applying organic fertilizer, is the main external cause. So after planting 10 year, attention should be focused on the application of fertilizer of trace elements.

Key words karst rocky desertification area, soil trace elements, planting years, content change

(编辑 吴华英)