

恩施州耕地土壤剖面理化特征及养分分布变化规律^①

李卫东, 陈永波*, 黄光昱, 张朝阳, 胡百顺, 秦 邦, 刘淑琴, 陈 娥, 熊 倩

(恩施州硒应用技术与产品开发研究院, 湖北恩施 445000)

摘 要: 对恩施州利川市齐岳山蔬菜、汪营粮食、恩施市芭蕉茶叶基地等 3 个观测点土壤剖面的理化特征及养分分布规律进行了研究。3 个观测点土壤容重在 1.23 ~ 1.43 g/cm³ 之间, 为壤土或砂壤土; 电导率 23.57 ~ 38.83 μS/cm, 无盐碱化 pH 4.22 ~ 6.61, 偏酸性或强酸性; 有机质 12.97 ~ 52.88 g/kg、铵态氮 16.09 ~ 31.72 mg/kg、有效磷 1.59 ~ 185.56 mg/kg、速效钾 0 ~ 131.03 mg/kg; 总硒 0.30 ~ 1.32 mg/kg, 有效硒 0.02 ~ 0.23 mg/kg, 属富硒土壤。剖面有效养分从表层到底层呈下降趋势, 绝对系数 R^2 在 0.132 9 ~ 0.939 9 之间, 不同养分差异大, 剖面间分布规律基本一致。该项研究是土壤质量长期监测的基础工作, 目的是监测不同施肥方式对蔬菜、粮食、茶叶基地土壤质量变化的影响, 为修复土壤、提高农产品质量提供参考。

关键词: 恩施州; 土壤剖面; 理化特征; 总硒; 有效硒; 分布规律

中图分类号: S153 **文献标识码:** A

根据 2010—2013 年恩施州耕地质量调查结果, 恩施州现有耕地面积 31.6 万 hm², 其中 pH < 5.5 的强酸性土壤面积达到 50.13%^[1-2]。随着土壤环境污染的加剧, 土壤性质恶化, 微生物生态结构失衡, 造成作物连作障碍^[3], 给农业生产和农产品质量安全造成了严重威胁。硒是维护人体健康的有益元素, 在富硒地区, 植物中的硒主要来源于富硒土壤。恩施州拥有世界唯一的独立硒矿床, 硒储量多达 64 万吨, 以此为中心形成了一个富硒生物圈, 土壤含硒量均值达 0.6 mg/kg^[4], 远高于 0.15 mg/kg 的全国平均水平^[5-8]。但相关研究表明: 在富硒土壤中的农产品很多不能达到富硒标准, 主要是土壤环境的变化造成了硒的有效性降低, 而 Cd、Al、Pb、Cu 等毒害元素的活性增强, 给农产品品质带来危害^[1]。

大量施用化肥、农药、除草剂等农事操作及酸雨等因素对土壤造成的破坏已为科研工作者逐步认识, 各种土壤修复技术也应运而生^[9], 但多种修复技术的应用往往只针对土壤表面, 而忽略了对土壤深层的影响。土壤是地球表面的一层疏松物质, 由岩石风化而成, 能生长植物。土壤的理化性质包括颜色、容重、pH、电导率及有机质、大量元素、中量元素和微量元素等各种养分, 其形成受到母质、气候、生物、地理、时间及人为等因素的影响^[10]。土壤剖面是从地

面向下挖掘所裸露的一段垂直切面, 耕地土壤一般分为耕作层、犁底层、心土层和底土层, 不同层次具有各自的理化性质^[11-13], 土壤垂向剖面是研究成土母质地球化学特征及其成土过程中“地球化学特征”迁移、变化的最佳手段。刘银飞等^[14]研究表明多种微量元素垂向分布受常量元素的控制, As、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn 与土壤中 Fe 等组分具有显著相关性; 梁若玉等^[15]研究表明: 土壤中全硒含量在剖面上的分布呈现出上高下低的规律, 土壤中有有效硒在土壤剖面表现出上高下低、上低下高、上下相近等 3 种趋势。为了了解恩施州土壤质量的变化规律, 对因地制宜采取修复措施提供依据, 我们结合国家土壤质量监测中心的“国家土壤质量长期监测观测”项目, 根据恩施州的特色产业发展, 选取了不同海拔高度的粮食基地(马铃薯)、蔬菜基地(甘蓝)、茶叶基地作为观测点, 按照要求对土壤进行取样、监测, 分析土壤剖面理化特征和养分分布规律, 为长期监测不同施肥方式对土壤质量的变化影响研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样地点

蔬菜土壤基地观测点: 恩施州利川齐岳山汪营镇

基金项目: 州级人才专项(恩施州财农发[2017]425 号)资助。

* 通讯作者(545529518@qq.com)

作者简介: 李卫东(1961—), 男, 湖北恩施人, 正高职高级农艺师, 主要从事硒资源开发利用研究。E-mail: 360842122@qq.com

林口村三组 24 号, 108°37'E, 30°16'N, 海拔 1 619 m, 表层壤土, 为多年甘蓝、白菜种植基地, 因根肿病严重, 于 2015—2016 年采用机械深翻; 粮食基地观测点: 恩施州利川市汪营镇白泥塘村 2 组, 108°43'E, 30°16'N, 海拔 1 092 m, 表层沙壤土, 为多年马铃薯、玉米种植基地; 茶园观测点: 恩施市芭蕉侗族乡灯笼坝村香树林组, 109°23'E, 30°06'N, 海拔 645 m, 表层壤土, 为多年来茶叶种植基地。

1.2 剖面取样方法

在监测点 2 hm² 范围内确定 3 个土壤剖面点, 每点相隔 0.5 km 以上, 每个剖面深 100 cm, 大小以方便取样为宜, 分 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5 个层次采样, 每层采土壤约 1 kg, 风干后磨细, 过 2 mm 筛, 贮存备用, 取其中 20 g 左右过 0.15 mm 筛, 供总硒测定用。

1.3 理化指标及养分测定

土壤理化性质指标均参照《土壤农业化学分析方法》进行分析测定, 其中土壤容重按环刀法测定, 土壤 pH 按水土比 2.5:1 电位法测定, 电导率用电导率仪法测定, 土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定, 铵态氮、有效磷、速效钾用 HM-GP02 型高智能测土配方施肥仪测定。

土壤总硒按 NY/T 1104-2006《土壤中全硒的测定》标准测定 称取过 0.15 mm 筛的土壤样品 0.1 g(精确到 0.001 g)于微波消解罐中, 加入 HNO₃ 7 ml, HF 1 ml, 消解后在电热板上 150 ℃ 赶酸至 1 ml 以下, 再加 5 ml HCl, 加热挥发至 1 ml 以下, 用 5% HCl 定容至 50 ml, 用氢化物原子荧光法测定。

土壤有效硒的测定: 称取过 2 mm 筛的土壤样品 1.0 g(精确到 0.001 g)于 15 ml 离心管中, 加入 0.1 mol/L 磷酸二氢钾溶液 10 ml, 在超级恒温混匀仪上 30 ℃、1 500 r/min 下振荡 70 min, 3 000 r/min 离心 15 min, 取上清液 5 ml 于微波消解罐中, 加入 HNO₃ 7 ml, 双氧水 1 ml, 消解后在电热板上 150 ℃ 赶酸至 1 ml 以下, 再加 5 ml HCl, 加热挥发至 1 ml 以下, 用 5% HCl 定容至 10 ml, 用氢化物原子荧光法测定。

1.4 数据统计方法

每个取样点所有数据均采用 3 个剖面的平均值来表示, 数据统计分析使用 Excel 2007。

2 结果与分析

土壤剖面容重、pH、电导率、铵态氮、有效磷、速效钾、总硒、有效硒含量测定结果见表 1。

表 1 利川齐岳山蔬菜基地、汪营马铃薯基地、芭蕉茶叶基地观测点土壤剖面的理化性质和养分分布
Table 1 Physicochemical properties and nutrient profile distribution of vegetable soil in Qiyue Mountain, potato soil in Wangying of Lichuan and tea soil in Bajiao

基地	土层厚度 (cm)	容重 (g/cm ³)	pH	电导率 (μS/cm)	有机质 (g/kg)	铵态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	总硒 (mg/kg)	有效硒 (mg/kg)	有效硒 (%)
利川齐岳山蔬菜基地	0~20	1.23	6.04	27.47	18.56	29.19	37.32	131.03	0.51	0.08	17.54
	20~40	1.37	6.19	30.70	15.91	20.03	11.73	24.5	0.56	0.08	16.13
	40~60	1.32	6.44	27.17	15.12	20.37	7.62	10.23	0.53	0.08	14.45
	60~80	1.32	6.53	25.23	14.47	18.54	6.35	1.33	0.42	0.07	17.45
	80~100	1.36	6.61	30.97	13.29	21.79	6.33	4.90	0.30	0.09	31.15
	均值	1.23	6.36	28.31	15.47	21.98	13.87	34.40	0.47	0.08	19.35
利川汪营马铃薯基地	0~20	1.31	4.74	31.27	23.78	22.77	185.56	50.97	0.67	0.12	18.36
	20~40	1.46	4.93	29.57	17.90	19.94	30.06	24.00	0.66	0.11	15.95
	40~60	1.42	5.31	24.23	17.11	20.02	10.02	2.80	0.60	0.14	21.96
	60~80	1.40	5.44	30.53	12.97	18.74	4.08	0.00	0.42	0.10	22.83
	80~100	1.43	5.52	31.33	13.07	16.09	5.12	0.00	0.45	0.13	29.49
	均值	1.40	5.19	29.39	16.97	19.51	46.97	15.55	0.56	0.12	21.72
恩施芭蕉茶叶基地	0~20	1.19	4.22	38.83	52.88	31.72	31.84	2.80	1.32	0.23	17.50
	20~40	1.34	4.59	28.30	20.52	21.91	2.99	1.07	0.90	0.13	15.19
	40~60	1.42	5.15	23.57	18.19	22.04	1.59	0.00	0.55	0.08	14.99
	60~80	1.41	5.55	24.11	16.48	20.33	1.99	0.00	0.63	0.10	16.26
	80~100	1.29	5.37	33.45	17.11	20.14	1.66	0.00	0.61	0.12	19.94
	均值	1.33	4.98	29.65	27.03	23.23	8.01	0.77	0.80	0.13	16.78

2.1 土层容重的剖面分布规律

土壤容重也称“土壤假比重”,是一定容积的土壤(包括土粒及粒间的孔隙)烘干后的重量与同容积水重的比值,根据土壤容重可以计算出任何单位土壤的重量,对土壤修复措施的实施有着重要意义。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均容重分别为 1.23、1.40、1.33 g/cm³,不同土壤层次与容重的相关性分别为 $y = 0.001 1x + 1.257$, $R^2 = 0.361 5$; $y = 0.000 9x + 1.35$, $R^2 = 0.250 8$; $y = 0.001 4x + 1.249$, $R^2 = 0.203 6$,呈弱正相关,即表层土容重最小,往深层容重增加,但变化不明显。

2.2 土壤 pH 的剖面分布规律

土壤 pH 对土壤肥力和植物生长具有很大影响,在酸性环境中,Al、Cd、Pb、Fe、Mn 等元素活性增强,对植物产生毒害;在中性或弱碱性环境中,有利于 Ca、Mg、Se 等营养元素的吸收利用,提高农产品的产量和品质。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均 pH 分别为 6.36、5.19、4.98,不同土壤层次与 pH 的相关性分别为 $y = 0.007 4x + 5.918$, $R^2 = 0.956 2$; $y = 0.010 4x + 4.567$, $R^2 = 0.939 9$; $y = 0.016 3x + 3.998$, $R^2 = 0.860 2$,具有良好的相关性,即随着土壤深度增加,pH 呈上升趋势。0~20 cm 的表层土壤由于受到施肥、酸雨等因素的影响较大,酸化程度较为严重,越往深层,影响越小,3 个观测点中,除齐岳山的土壤为 6.0 以上的弱酸性外,汪营、芭蕉均为 pH 5.55 以下的强酸性土壤,芭蕉茶园表层土 pH 达到 4.22。

2.3 土壤电导率的剖面分布规律

土壤电导率是反映土壤水溶性盐的一个重要指标,含盐量越高,电导率越大。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均电导率分别为 28.31、29.39、29.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$,土质良好,没有盐渍化现象。不同土壤层次与电导率的相关性分别为 $y = 0.007 6x + 27.849$, $R^2 = 0.009 6$; $y = -0.074 8x + 34.137$, $R^2 = 0.132 9$; $y = -0.074 8x + 34.137$, $R^2 = 0.132 9$,呈弱正相关,即随着土层的加深,电导率无明显变化。

2.4 土壤有机质含量的剖面分布规律

土壤有机质是指存在于土壤中的所有含碳的有机化合物,含量的多少是衡量土壤肥力高低的一个重要指标,它和矿物质紧密地结合在一起,在一般耕地耕层中只占土壤干重的 0.5%~2.5%。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均有机质含量分别为 15.47、16.97、27.03 g/kg,不同土壤层次与有机

质含量的相关性分别为 $y = -0.059 9x + 19.064$, $R^2 = 0.919 0$; $y = -0.131 8x + 24.87$, $R^2 = 0.884 8$; $y = -0.377 9x + 47.71$, $R^2 = 0.583 7$,相关性良好,即表层土壤有机质高,越往深层有机质含量下降。

2.5 土壤铵态氮含量的剖面分布规律

铵态氮是易于被植物吸收的速效氮肥,齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均含量分别为 21.98、19.51、23.23 mg/kg,根据土壤养分速测通用丰缺参考指标,处于中低水平。不同土壤层次与铵态氮肥相关性分别为 $y = -0.081 4x + 26.871$, $R^2 = 0.377 8$; $y = -0.072 8x + 23.88$, $R^2 = 0.907 4$; $y = -0.072 8x + 23.88$, $R^2 = 0.907 4$ 。汪营、芭蕉 2 个观测点具有良好的相关性,均以 0~20 cm 的表层最高,向深层呈下降趋势;齐岳山观测点因两年前曾用机械深层翻挖土壤,将底层上翻,相关性较差,即底层铵态氮含量也较高。

2.6 土壤有效磷含量的剖面分布规律

土壤中的有效磷是指能为当季作物吸收利用的磷,其含量是土壤磷素供应的指标。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤有效磷的平均含量分别为 13.87、46.97、8.01 mg/kg,整体处于中低等水平,但表层分别为 37.32、185.56、31.84 mg/kg,齐岳山、芭蕉观测点为中等水平,汪营观测点为极高等水平。不同层次与有效磷的相关性分别为 $y = -0.336 8x + 34.078$, $R^2 = 0.641 8$; $y = -1.934 3x + 163.03$, $R^2 = 0.612 1$; $y = -0.306 8x + 26.422$, $R^2 = 0.529 7$,相关性较好,即表层以下含量迅速下降。

2.7 土壤速效钾含量的剖面分布规律

速效钾包括水溶性钾和交换性钾,能被植物根吸收,土壤速效钾以土壤胶体所吸附的交换性钾为主,其总量占到速效钾的 90%~95% 以上,因此,也有直接以交换性钾的测定结果作为速效钾。土壤钾元素主要取决于土壤钾背景值和外源钾。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均含量分别为 34.40、15.55、0.77 mg/kg,整体处于极低等水平,表层分别为 131.03、50.97、2.8 mg/kg,分别为中、低和极低水平。不同土壤层次与速效钾的相关性分别为 $y = -1.377 2x + 117.03$, $R^2 = 0.633 1$; $y = -0.629 7x + 53.336$, $R^2 = 0.804 2$; $y = -0.033 4x + 2.775$, $R^2 = 0.742 8$,有较好的相关性,即表层以下随着深度增加迅速下降。

2.8 土壤总硒含量的剖面分布规律

总硒反映了土壤中硒的贮量,包括水溶态、可交换态、结合态、元素态、残渣态等,与植物含硒量有一

定的相关性。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤总硒的平均含量分别为 0.47、0.56、0.80 mg/kg，均达到富硒土壤的标准。随着土层加深，总硒含量呈下降的趋势，不同层次与总硒的相关性分别为 $y = -0.0028x + 0.632$, $R^2 = 0.7044$; $y = -0.0034x + 0.764$, $R^2 = 0.8347$; $y = -0.0085x + 1.309$, $R^2 = 0.7002$ 。

2.9 土壤有效硒的剖面分布规律

土壤有效硒是植物可以直接吸收利用的硒，主要包括硒酸盐、亚硒酸盐和有机硒小分子，为水溶态和可交换态，与植物含硒量具有良好的相关性。齐岳山、汪营、芭蕉 3 个观测点 0~100 cm 土壤的平均含量分别为 0.08、0.12、0.13 mg/kg，占总硒含量的 19.35%、21.72%、16.78%。有效硒含量随土壤深度变化不大，相关性分别为 $y = 9 \times 10^{-5}x + 0.0757$, $R^2 = 0.1125$; $y = 5 \times 10^{-5}x + 0.117$, $R^2 = 0.0100$; $y = -0.0013x + 0.207$, $R^2 = 0.4636$ 。

3 结论

本研究探索了恩施州利川市齐岳山蔬菜基地、汪营马铃薯基地、恩施市芭蕉茶叶基地 3 个观测点土壤容重、电导率、pH 等理化特征与有机质、速效氮、有效磷、速效钾、总硒、有效硒含量等养分在剖面中的分布变化规律。在表层到底层的 0~100 cm 以内，容重在 1.19~1.43 g/cm³ 之间，电导率在 23.57~38.53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间，分布比较均匀一致，受人为活动影响小，土层深度与数值变化呈弱正相关；pH 表层最低，随着深度增加而升高，恩施州土壤酸化严重，不仅表现在耕作层，也表现在耕层以下的土体中。有机质、铵态氮、有效磷、速效钾、总硒表层最高，随着土层深度增加而迅速下降，土层深度与含量呈良好的相关性，说明表层受施肥、耕作等人为因素影响很大。总硒在 0.30~1.20 mg/kg 之间，有效硒在 0.08~0.23 mg/kg 之间，占总硒的 14.15%~31.15%，剖面有效硒的含量随深度变化较小。

本文仅从恩施州不同栽培作物的 3 个观测点对土壤的部分理化特征和主要养分元素在剖面中的分布变化规律进行了探索，初步了解了观测点土壤的理化特征和养分分布变化规律，为恩施州耕地土壤质量

监控和改良技术研究提供参考。今后还需要进一步研究土壤中大量元素、中量元素和微量元素总量及有效成分含量在土壤剖面中的分布和变化规律，以期对合理改良土壤、测土配方施肥、提高作物产量和品质起到积极的指导作用。

参考文献：

- [1] 杨远恒, 杨再辉, 周富忠, 等. 恩施州土壤酸化情况调查及对策建议[J]. 土壤肥料, 2017(16): 64-67
- [2] 向永生, 周富忠, 黄飞跃, 等. 恩施州耕地土壤资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2013
- [3] 尹彦舒, 崔曼, 崔伟国, 等. 大蒜连作障碍形成机理的研究进展[J]. 生物资源, 2018, 40(2): 141-147
- [4] 李卫东, 万海英, 朱云芬, 等. 恩施州天然硒资源特征及其开发利用研究进展[J]. 生物技术进展, 2017, 7(5): 545-550
- [5] 郭宇. 恩施地区硒的地球化学研究及富硒作物栽培实验研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2012
- [6] 杨良策, 李明龙, 杨延安, 等. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 环境资源与工程, 2015, 29(6): 825-829, 848
- [7] 王锐, 余涛, 曾庆良, 等. 我国主要农耕区土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. 生物技术进展, 2017, 7(5): 359-366
- [8] 郭宇, 鲍征宇, 马真真, 等. 湖北恩施地区土壤-植物系统中 Se 元素的地球化学特征[J]. 地质通报, 2012, 31(10): 151-155
- [9] 刘明浩, 花发奇. 现代土壤修复技术综述[J]. 科技创新导报, 2012(15): 120-121
- [10] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [11] 林治家, 王珍英, 胡航. 湖南省典型石灰岩土壤剖面中微量元素的垂向分布特征[C]. 中国地质学会 2015 年学术年会论文摘要汇编
- [12] 周国华, 马生明, 喻劲松, 等. 土壤剖面元素分布及其地质、环境意义[J]. 地质与勘探, 2002(6): 70-75
- [13] 王海容, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 广东省典型花岗岩成土剖面元素垂向分布特征[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 619-628
- [14] 刘银飞, 孙斌斌, 贺灵, 等. 福建龙海土壤垂向剖面元素分布特征[J]. 物探与化探, 2016, 40(4): 713-721
- [15] 梁若玉, 和娇, 史雅娟, 等. 典型富硒农业基地土壤硒的生物有效性与剖面分布分析[J]. 环境化学, 2017, 36(7): 1588-1595

Physicochemical Characteristics and Nutrient Profile Distribution of Cultivated Lands in Enshi Prefecture

LI Weidong, CHEN Yongbo*, HUANG Guangyu, ZHANG Chaoyang, HU Baishun, QIN Bang,
LIU Shuqin, CHEN E, XIONG Qian

(Research Institute of Enshi Selenium Application Technology and Product Development, Enshi, Hubei 445000, China)

Abstract: The physicochemical characteristics and nutrient profile distribution of vegetable soil in Qiyue mountain, grain soil in Wangying of Lichuan City and tea soil in Bajiao of Enshi City were studied. For the three observed points, soil bulk density was between 1.23–1.43 g/cm³, texture was loam or sandy loam, conductivity was 23.57–38.83 μS/cm with no salinization, pH was 4.22–6.61 with slightly or strongly acidity, organic matter was 12.97–52.88 g/kg, ammonium nitrogen was 16.09–31.72 mg/kg, available phosphorus was 1.59–185.56 mg/kg, available potassium was 0–131.03 mg/kg, total selenium was 0.30–1.32 mg/kg and available selenium was 0.02–0.23 mg/kg with Se-enrichment. The available nutrients were decreased with the increase of soil depth with the correlation coefficient R^2 of 0.132 9–0.939 9, great difference existed in different nutrients but with the similar profile distribution. The purpose of this study is to monitor the effects of different fertilization methods on soil quality changes in vegetable, grain and tea bases, and to lay a foundation for soil restoration and improvement of agricultural product quality.

Key words: Enshi prefecture; Soil profile; Physicochemical properties; Total selenium; Available selenium; Distribution