



# 岩石风化及成壤过程中元素行为研究进展

赵研<sup>1</sup>, 李王成<sup>1,2,3</sup>, 王霞<sup>1</sup>, 赵自阳<sup>1</sup>, 刘学智<sup>1</sup>, 王帅<sup>1</sup>, 董亚萍<sup>1</sup>, 李晨<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**为了解压砂地砾石风化及成壤过程中的元素行为,在查阅文献的基础上,从岩石风化及其影响因素、土壤中微量元素的特征及演化、土壤中微量元素活动性三个方面进行了归纳。通过总结发现,目前国内外对岩石风化的研究多集中在岩石物理特性等方面,对风化过程中元素行为的研究较少;而对土壤元素的研究也多是集中在土壤层面,并没有将风化和成壤有机的结合起来;对土壤微量元素活动性影响因素的研究大多是关于土壤环境和人为开垦的,而针对风化过程对微量元素活动性影响的研究很少,分析各种影响下岩石风化产物对土壤元素迁移和富集的影响方面研究更不多见。因此,如果能深入的探索风化过程中元素的迁移和富集规律,与宁夏当地压砂地结合,进一步探索各种风化产物对微量元素的影响,将风化与成壤系统地结合起来,探索风化作用对土壤中微量元素分布及影响,对土壤发育以及植株生长都有重要的意义。

**关键词:**砾石风化;风化成壤;元素行为;微量元素

在自然界各种复杂环境和条件的影响下,岩石经过复杂的风化作用,形成土壤,土壤的发育与风化作用同时进行。同时,土壤中元素迁移和再分配的过程是土壤发育过程的一部分,因此从岩石风化方面来研究风化成壤过程,可以更好的探索砾石风化成壤过程的元素迁移规律,对土壤发育以及植株生长都有重要的意义。

在我国西北干旱地区,为了减少土壤水分的蒸发,广大劳动人民集结智慧、就地取材,发展了一种以砂石作为覆盖材料的旱作覆盖技术。目前,宁夏地区压砂地的面积逐年增加,截至2016年,当地压砂面积已有6.7万hm<sup>2</sup>。压砂地种植枸杞、红枣、西瓜等作物为当地人民创造的经济收入相当可观,已成为发展地区经济不可或缺的一部分。但是,当地较大的昼夜温差、干旱的气候条件以及寒冷冬季的冻融作用对压砂砾石风化过程中各种元素迁移产生了怎样的影响,从而如何作用于当地土壤发育与作物生长还是未知。

因此,如果能通过研究岩石风化作用,进一步了解风化成壤过程中元素运移状况,从而进一步

研究压砂地压砂砾石对土壤有效态微量元素的丰缺程度,根据研究有效控制元素运移,依据土壤中微量元素丰缺程度的调查结果,结合影响土壤微量元素含量,进行人为调控措施,对于提高土壤质量、改善和增加作物产量、提高产量品质以及人类的身体健康都有着重大的意义。

## 1 岩石风化及其影响因素

### 1.1 岩石风化及其影响因素的研究现状

在自然界多样的生物环境影响下,岩石风化是一个极其繁杂的过程,它不仅是地表土壤的形成过程的参与者,还影响了土壤中微量元素的含量,也是植物生长必需的大量元素和微量元素的主要来源<sup>[2]</sup>。

自1938年,Goldich提出矿物风化系列以来,风化的研究已经进行了半个多世纪。目前,环境温度、岩性、含水率、冻融循环次数等影响因素,都已在国内外学者的探索下取得一定成果。其中,有学者通过对岩石含水率的研究认为,冻融作用随着含水率的增大而增强,从而岩石更易风化<sup>[3]</sup>。在2005年,徐光苗等<sup>[4]</sup>提出,对风化程度起决定性影响的因素,主要有冻融循环次数,岩性,岩石的孔隙率。张全胜等<sup>[5]</sup>认为,岩石风化程度与其冻融循环次数有密切关系。而张丹等<sup>[6]</sup>通过研究不同水热环境下的岩石,认为母岩崩解,受单一的温度变化的影响很小。陈玉超等<sup>[7]</sup>则认为,水分

收稿日期:2018-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51569022)。

第一作者简介:赵研(1994-),女,在读硕士,从事水资源高效利用研究。E-mail:294940026@qq.com。

通讯作者:李王成(1974-),男,博士,硕导,副教授,从事节水灌溉技术与理论、农业水资源高效利用研究。E-mail:liwangcheng@126.com。

迁移是岩石风化的主要原因。同时成玉祥等<sup>[8]</sup>总结得出,高寒地区岩石风化中的主要作用是温差和冻融作用。袁广样等<sup>[9]</sup>通过研究藏东南地区花岗岩和外地岩样的风化变化对比,得出冻融作用在岩石风化中起着主要作用。赵秀峰等<sup>[10]</sup>认为,在岩石风化中,起重要作用是冻融循环,其原因在于,冻融循环导致的水分迁移,为冰分凝增长提供充足水分。吕红波等<sup>[11]</sup>通过研究碳酸岩,模拟干热、湿热、干冷三种气候条件,认为不同气候其溶蚀强度,表现为干冷>干热>湿热。

### 1.2 岩石风化及其元素行为研究现状

元素行为是指元素在各种复杂因素的影响下,发生迁移、富集或者淋失的过程。不同元素的活泼性不同,且部分元素在水中可溶,部分不可溶。

关于岩石风化过程中的元素行为,国内外学者的研究也取得了许多成果。其中,早在1998年,葡萄牙学者 Middelburg 等<sup>[12]</sup>就对葡萄牙利奥沃加盆地花岗岩质岩石中多种元素的行为方面进行了调查研究。研究表明在风化过程中,不活泼元素的绝对浓度会随着其它形式化学物的迁出而增高。近年来,也有一些国内学者针对岩石风化过程中的元素行为展开了一系列研究。其中,郝立波等<sup>[13]</sup>研究了大兴安岭北部的火山岩和残积土壤,通过分析对比发现,在岩石风化成土过程中,导致了土壤中绝大多数元素含量差异明显缩小,其原因是元素的迁移和再分配,使土壤中元素含量趋向均一化。与此同时,王新平等<sup>[14]</sup>通过对贵州中部白云岩的采样研究发现,在风化过程中,微量元素存在可溶性元素部分溶失,不可溶性元素相对富集的现象。

综上所述,在国内外众多学者的钻研下,岩石风化的研究取得了可观的成果。通过他们的研究可知,岩石风化受环境条件的影响较大,气候环境对其风化过程的影响更为显著,尤其是温度和湿度的变化以及冻融循环次数<sup>[15-21]</sup>。与此同时,元素在岩石风化过程中存在明显的均一化现象,其中,可溶性元素部分溶失,不可溶性元素相对富集。但同时也发现冻融循环试验多集中在软质岩,而对吸水性较差的硬质岩的研究相对较少,对宁夏地区压砂砾石风化过程的研究更是少之又少。

## 2 土壤中微量元素的特征及演化

### 2.1 土壤中微量元素的分布特征研究现状

众所周知,植物体内含量或者需要量比较小的元素称为微量元素。虽然微量元素所占比重极小,但却发挥着很大的作用,植物正常生理活动离不开微量元素的参与。

国际上对微量元素的研究开始较早,20世纪30年代就已经开始,但是20世纪80年代前对于微量元素的研究大都集中在植物方面<sup>[22]</sup>;对其它方面研究是从1936年开始,至今取得了丰硕成果。其中,方肇伦等<sup>[23]</sup>研究了我国东北及内蒙古东部地区土壤,探索其中各种元素的含量,以及它们的累积、迁移规律,认为成土母质密切影响微量元素含量。在此之后,对土壤中微量元素的研究逐渐增多,并取得许多有意义的成果。其中,王雪梅等<sup>[24]</sup>则通过对塔里木盆地土壤研究,认为土壤元素组成与其作物品质有协同作用。杨社锋等<sup>[25]</sup>研究红土中多种微量元素发现,其中有少部分微量元素可以在风化带上部显著富集。然而,土壤剖面的表层含量最高,只是一部分微量元素学者的看法。杨瑞东等<sup>[26]</sup>研究了贵阳市碳酸盐岩,红粘土剖面的微量元素分布特征,发现褐色粘土层,具有较高的微量元素含量,紫红色粘土层微量元素含量较低。黄成敏等<sup>[27]</sup>研究了海南岛北部玄武岩,表明受成土母质影响,其母质土壤表现出亲铁元素含量高。同时,刘峥等<sup>[28]</sup>通过研究全国各地不同土壤,其微量元素含量分布发现,我国不同地区土壤微量元素含量有差异,这主要受当地成土母质的影响;余存祖等<sup>[29]</sup>通过研究我国黄土地区多个省市的土样,发现在黄土地区,土壤微量元素呈现锌锰偏低、铜偏高的现状,其分布受成土母质的深刻影响。

综上所述,我国的微量元素地区分布差异较大,尤其是黄土地区,微量元素的分布并不均匀。目前对土壤微量元素的研究只停留在土壤层面进行简单的取样研究,并没有将风化成壤过程紧密的结合起来系统的探索。岩石风化过程中复杂的环境因素对土壤的发展发育有什么影响,还需要进一步探索。

### 2.2 土壤中微量元素活动性影响因素研究现状

在外界复杂因素的影响下,微量元素从岩石到土壤再到植物体的迁移,可能出现活动性降低,

从而影响植物体对其的吸收。目前,对于土壤中微量元素活动性影响因素,我国学者已经做了许多工作,并取得一定的研究成果。

其中,廖金凤等<sup>[30]</sup>认为土壤环境极大的影响微量元素含量,同种作物微量元素含量的差异主要是土壤环境不同。同时,土壤 pH、hE 也会影响微量元素的活动性,大多数微量元素在酸性和还原环境中活动性较强。是以,元素的活动性增添,作物的接收也随之加强。进一步的,土壤有机质等对微量元素吸附固定、累积与迁移都有一定程度提高,从而加强作物的吸收。与此同时,作物中微量元素含量与土壤中微量元素含量,甚至与水溶态含量有密切关系<sup>[31-36]</sup>。

金媛等<sup>[37]</sup>的研究表明,土壤微量元素有效含量,在整体上呈现出表层富集现象,随土层深度的增加而逐渐降低。池红杏在洛川地区的研究表明土壤微量元素含量随土层深度的变化趋势因元素种类而异,这可能与成土母质、地形、土壤类型和土地利用方式等因素有关。影响土壤中微量元素有效态含量的因素复杂,其中以土壤母质类型为主,同时还人为施肥的干扰,以及土壤有机质含量、pH 等多种复杂因素<sup>[38]</sup>。

综上所述,影响土壤中微量元素活动性的因素主要有成土母质、地形地势、土壤类型、土壤环境以及土地利用方式等复杂因素。然而以上对土壤微量元素活动性影响因素的研究大多是关于土壤环境和利用方式的,而针对风化过程对微量元素活动性影响的研究很少,分析各种因素作用下岩石风化产物对土壤元素迁移和富集的影响方面研究成果更不多见。

### 3 结论与展望

在针对岩石风化的研究时,如果能深入的探索风化各个过程中各种元素的迁移和富集规律,与宁夏当地压砂土地结合,同时进一步探索各种风化产物对微量元素的影响,将风化与成壤系统地结合起来,探索风化作用对土壤中微量元素分布及其活动性的影响,进一步研究土壤有效态微量元素的丰缺程度,并有方向的控制微量元素的富集,利用科学技术让元素朝着对土壤可持续发展有利的方向迁移,从而通过研究有效控制元素运移,依据土壤中微量元素丰缺程度的调查结果,结合影响土壤微量元素含量的因素,在微量元素

缺乏的地区采取根据需要配置微肥的措施,对于提高土壤质量、压砂土地持久发展、提高作物品质以及人类的身体健康都有着重大的意义。

### 参考文献:

- [1] 廖金凤. 土壤环境对作物中微量元素含量的影响[C]//中国化学会. 中国化学会第六届全国微量元素研究和进展学术研讨会论文集. 北京:中国化学会,2004:3.
- [2] 郝立波,马力,赵海滨. 岩石风化成土过程中元素均一化作用及机理:以大兴安岭北部火山岩区为例[J]. 地球化学,2004(2):131-138.
- [3] 刘芳. 川藏铁路片岩冻融风化特征研究[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- [4] 徐光苗,刘泉声. 岩石冻融破坏机理分析及冻融力学试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(17):3076-3082.
- [5] 张全胜,杨更社,任建喜. 岩石损伤变量及本构方程的新探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2003(1):30-34.
- [6] 张丹,张平松,施斌,等. 采场覆岩变形与破坏的分布式光纤监测与分析[J]. 岩土工程学报,2015,37(5):952-957.
- [7] 陈玉超,杨更社,范建兵. 寒区边坡冻融灾害及其分类探讨[J]. 山西建筑,2006(14):82-83.
- [8] 成玉祥,段玉贵,李格辉,等. 岩石冻融风化作用积累泥石流源试验研究[J]. 灾害学,2015,30(2):46-50.
- [9] 袁广祥,向彦军,杨志法. 藏东南波密地区岩石风化速率及其影响因素分析[J]. 工程地质学报,2010,18(2):191-196.
- [10] 赵秀峰,曹景洋,罗惠芬. 岩土热物理性质室内测试方法探讨[J]. 安徽地质,2016,26(1):61-64,68.
- [11] 吕洪波,苏德辰,章雨旭,等. 中国不同气候带盐风化作用的地貌特征[J]. 地质论评,2017,63(4):911-926.
- [12] Middelburg J J,郑作平. 花岗岩质岩石风化过程中影响主要元素、次要元素和微量元素活动性的化学过程[J]. 地质地球化学,1991(2):22-30,35.
- [13] 郝立波,马力,赵海滨. 岩石风化成土过程中元素均一化作用及机理:以大兴安岭北部火山岩区为例[J]. 地球化学,2004(2):131-138.
- [14] 王新平,季宏兵,王世杰. 黔中白云岩风化剖面淋溶实验及其元素地球化学特征[J]. 地质论评,2007(6):830-838.
- [15] 乔国文,王运生,杨新龙. 高寒山区岩体冻胀冰劈破坏试验[J]. 山地学报,2014,32(5):579-586.
- [16] 刘铁庚. 蒸发作用比淋滤作用更容易使岩石风化[C]//中国矿物岩石地球化学学会,中国科学院地球化学研究所. 中国矿物岩石地球化学学会第12届学术年会论文集. 中国矿物岩石地球化学学会、中国科学院地球化学研究所,2009.
- [17] 吕洪波,苏德辰,章雨旭,等. 中国不同气候带盐风化作用的地貌特征[J]. 地质论评,2017,63(4):911-926.
- [18] 莫彬彬,连宾. 长石风化作用及影响因素分析[J]. 地学前缘,2010,17(3):281-289.
- [19] 王仕军. 湿度变化对岩石风化产生的影响[J]. 价值工程,2017,36(2):109-110.
- [20] 赵光涛,李玉虎,张译丹,等. 西安明城墙砖石表面风化因

- 素分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 54-58.
- [21] 杨红瑾. 宁夏长城原全新世黄土—土壤元素地球化学特征与成壤环境演变研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [22] 张立娟. 热带土壤剖面风化成壤过程中的元素地球化学特征[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [23] 方肇伦, 宋达泉, 叶炳. 东北及内蒙古东部的土壤微量元素[J]. 土壤学报, 1963(2): 22-34.
- [24] 王雪梅, 柴仲平, 毛东雷. 不同质地耕层土壤有效态微量元素含量特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 189-192.
- [25] 杨社锋, 方维萱, 胡瑞忠, 等. 老挝南部安东花岗闪长岩砖红土型风化壳分带及微量元素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2006(5): 46-51.
- [26] 杨瑞东. 贵阳地区碳酸盐岩风化红粘土剖面稀土、微量元素分布特征[J]. 地质评论, 2008(3): 409-418, 438.
- [27] 黄成敏, 龚子同. 海南岛北部玄武岩上土壤发育过程的定量研究[J]. 地理科学, 2000(4): 337-342.
- [28] 余存祖, 彭琳, 刘耀宏, 等. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤学报, 1991(3): 317-326.
- [29] 刘铮, 唐丽华, 朱其清, 等. 我国主要土壤中微量元素的含量与分布初步总结[J]. 土壤学报, 1978(1): 138-150.
- [30] 廖金凤. 海南地带性土壤微量元素含量及其地理分布[J]. 地域研究与开发, 2003(6): 66-68, 93.
- [31] 余存祖, 彭琳, 刘耀宏, 等. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤学报, 1991(3): 317-326.
- [32] 刘铮, 唐丽华, 朱其清, 等. 我国主要土壤中微量元素的含量与分布初步总结[J]. 土壤学报, 1978(2): 138-150.
- [33] 杨霖, 朱同彬, 谢银财, 等. 岩溶区原始林土壤微量元素含量与有效特征[J]. 中国岩溶, 2018(1): 59-66.
- [34] 张立娟. 热带土壤剖面风化成壤过程中的元素地球化学特征[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [35] 马云涛, 龚庆杰, 韩东昱, 等. 安山岩风化过程中元素行为——以豫西熊耳山地区为例[J]. 地质与勘探, 2015, 51(3): 545-554.
- [36] 王军广, 李晨晨, 赵志忠, 等. 海南岛砖红壤中微量元素含量及其分布特征研究[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2010, 23(2): 188-192, 228.
- [37] 金媛, 陈良超, 冉隆贵, 等. 陕南茶园土壤微量元素有效性评价研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 153-161.
- [38] 池红杏. 洛川不同土地利用方式下土壤微量元素分布研究[J]. 地下水, 2011, 33(6): 136-138.

## Research Progress of Element Behavior in Rock Weathering and Soil Formation

ZHAO Yan<sup>1</sup>, LI Wang-cheng<sup>1,2,3</sup>, WANG Xia<sup>1</sup>, ZHAO Zi-yang<sup>1</sup>, LIU Xue-zhi<sup>1</sup>, WANG Shuai<sup>1</sup>, DONG Ya-ping<sup>1</sup>, LI Chen<sup>1</sup>

(1. Ningxia University School of Civil and Hydraulic Engineering, Yinchuan 750021, China; 2. Water-saving Irrigation and Water Resource Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; 3. Modern Agricultural Water Resources in Arid Areas and Efficient Use of Engineering Research Center of Ministry of Education, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In order to understand the behavior of elements in the process of rock weathering and soil formation, based on literature review, we summarized three aspects from rock weathering and its influencing factors, the characteristics and evolution of trace elements in soil, and the factors influencing the activity of trace elements in soil. Through the summary, at home and abroad to study rock weathering mainly focused on rock physical properties, research on the behavior of elements during weathering and less; Research on soil elements are mostly concentrated in the soil level, not the weathering and pedogenic organic combination; Mostly on the soil environment the reclamation and human factors research on soil trace element mobility effects, and for weathering effect on trace element mobility rarely. The effects of weathering products on the migration and enrichment of soil elements under various factors were analyzed.

**Keywords:** rock weathering; soil formation; element behavior; trace element

欢 迎 投 稿