

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.030.

袁杰, 曹广超, 鄂崇毅, 等. 自然生长和人为影响下土壤碳氮含量差异及影响因素[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 163-172, 187.

YUAN Jie, CAO Guangchao, ECHONG Yi, et al. Difference and Influencing Factors of Soil Carbon and Nitrogen contents Under Natural Growth and Human Influence[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 163-172, 187.

自然生长和人为影响下土壤碳氮含量差异及影响因素

袁杰^{1,2,3}, 曹广超^{1,2,3}, 鄂崇毅^{1,2,3}, 刁二龙^{1,2}, 赵美亮^{1,2}, 闫欣^{1,2}

(1.青藏高原地表过程与生态保护教育部重点实验室, 西宁 810008; 2.青海师范大学

地理科学学院 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008; 3.高原科学与可持续发展研究院, 西宁 810008)

摘要: [目的] 深入探讨环青海湖区近 30 年未变动放牧草地和耕地土壤碳氮含量影响因素, 以期为该区土地利用优化管理提供参考。[方法] 基于有幸在该区找到未变动放牧草地和耕地, 采用前期研究工作中的多个指标, 利用一元和多元回归模型进一步分析土壤碳氮含量主导因素。[结果] 该区草地和耕地土壤理化指标基本以 30 cm 土层深度为界发生明显变化; 从回归模型中可以看出, 由于受到人类活动影响, 耕地土壤碳氮含量受土壤理化指标影响较小, 而草地土壤作为未扰动土壤, 在自然发育背景下土壤碳氮主导因素明显多于耕地。[结论] 土地利用变化显著影响了土壤性状, 在该区减少土地扰动能有效减缓土地荒漠化进程。

关键词: 青海湖北部; 土壤碳氮; 差异性; 主导因素

中图分类号: S157; K903

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0163-10

Difference and Influencing Factors of Soil Carbon and Nitrogen Contents Under Natural Growth and Human Influence

YUAN Jie^{1,2,3}, CAO Guangchao^{1,2,3}, ECHONG Yi^{1,2,3},

DIAO Erlong^{1,2}, ZHAO Meiliang^{1,2}, YAN Xin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation,

Ministry of Education, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. Qinghai Province Key

Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, College of Geographical Science, Qinghai

Normal University, Xining 810008, China; 3. Academy of Plateau Science and Sustainability, Xining 810008, China)

Abstract: [Objective] The factors influencing the soil carbon and nitrogen content of unchanged grazed grassland and cultivated land in the Qinghai Lake area for the past 30 years were thoroughly investigated, with a view to providing reference for optimal land use management in the area. [Methods] Further analysis of the dominant factors of soil carbon and nitrogen contents was carried out by using univariate and multiple regression models. [Results] The soil physicochemical indexes of grassland and cultivated land changed obviously with 30 cm soil depth as the boundary. It can be seen from the regression model that soil carbon and nitrogen contents in cultivated land are less affected by soil physical and chemical indexes due to the influence of human activities, while grassland soil, as an undisturbed soil, has significantly more dominant factors on soil carbon and nitrogen than those of the cultivated land under the natural development background. [Conclusion] Land use change significantly affects soil properties, and reducing land disturbance in the area can effectively slow down the process of land desertification.

收稿日期: 2021-11-23

修回日期: 2022-05-11

资助项目: 青海省科技厅自然科学资助项目(2021-ZJ-937Q); 青海省“高端创新人才千人计划”(青人才字[2019]06 号); 祁连山国家公园青海研究中心开放课题(GKQ2019-1); 本科生科技创新项目(qhnuxskj2021049); 青海师范大学校青年基金(17101040024)

第一作者: 袁杰(1989—), 男, 青海西宁人, 博士, 副教授, 研究方向: 地表环境过程。E-mail: yuanjie8903@126.com

通信作者: 曹广超(1971—), 男, 山东苍山人, 教授, 博士生导师, 研究方向: GIS 应用、地表环境过程。E-mail: caoguangchao@qhnu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

Keywords: north of Qinghai Lake; soil carbon and nitrogen; differences; influencing factors; dominant factors

环青海湖区作为青藏高原的重要组成部分,因其海拔高、昼夜温差大、植被覆盖度较低成为全球变化的敏感区和生态系统脆弱区^[1],与此同时该区生态系统肩负着青藏高原东北部乃至内陆的生态安全,是控制西部荒漠化向东蔓延的天然屏障^[2]。土壤作为陆地生态系统中最重要组成因子^[3],不仅能够直观反映出自然因素和人为因素相互作用下所产生的影响,而且土壤巨大的碳容量和天然固碳潜力被认为是陆地生态系统中最经济和环境友好的减缓碳释放途径之一^[4]。土地利用变化是以人类活动和社会经济发展为主导因素,自然环境变化为次要因素发生的土地资源重组和再分配过程,是区域土壤发生变化的主导因素和直观体现^[5]。因人为活动引起碳氮在土壤中的动态变化过程更是成为国内外研究热点。因此,本人前期基于5期遥感影像叠加分析在该区有幸发现近30年未变动放牧草地和耕地,并进行相关分析。分析表明:(1)放牧草地和耕地土壤碳氮含量基本以30 cm为界发生变化,30 cm以上放牧草地土壤碳氮含量显著大于耕地,30 cm以下两者土壤碳氮含量趋于同质性,差异很小^[6];(2)放牧草地土壤黏粒和粉砂组分与土壤碳、全氮呈显著相关,而土壤砂粒组分与其相关性不显著^[2];(3)放牧草地和耕地土壤磁化率、色度、pH在土层深度内与土壤碳氮含量变化趋势一致,基本以30 cm为界发生变化^[7];(4)土壤矿物组成方面放牧草地和耕地以原生矿物石英和钠长石为主,放牧草地土壤除石英含量少于耕地外,其余矿物含量均多于耕地^[8]。通过以上研究成果可以看出,两类土地土壤碳氮含量以30 cm土层为界发生了明显变化并且土壤理化指标(如土壤机械组成、磁化率、色度、矿物组成等)均不同程度影响土壤碳氮大小,但本人已发表相关研究仅限于土壤碳氮含量与土壤理化指标的相关性分析,没有综合进行深入分析:(1)未将研究所涉土壤理化指标全面纳入进行统一分析;(2)分析仅限土壤碳氮含量与各理化指标之间的相关性。基于此,作为本人之前工作的延续,本研究选取能够较为准确解释土壤碳氮含量与各土壤理化指标之间关系的多元回归模型为手段,进一步分析影响土壤碳氮含量的主导因素,不仅是该区以往工作的全面总结,而且可为该区进一步合理利用土地提供参考依据。

1 研究区概况

研究区位于青海省海北州藏族自治州刚察县,属典型高原大陆性气候,具有日照时间长,昼夜温差大,干旱少雨等气候特征;境内冬春两季主导风向为西风,夏秋两季主导风向为东南风^[9]。植被土壤特征在已发表文章中均有叙述,在此不一一赘述。在前期工作中样地选取是基于青海湖流域以1987年为起始年的5期遥感影像的图层叠加,叠加分析后选取该区域在长时间范围内未曾发生变化的放牧草地与耕地作为采样对象。其中草地选取以坐标37°16′43.29″N, 100°17′37.12″E为中心且半径500 m范围内,耕地选取以坐标37°16′42.79″N, 100°17′28.62″E为中心且半径500 m范围内。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集和指标测定

研究区土壤样品采集和相关指标测定方法与前期研究一致。现简要说明:在已确定土壤采集区域通过5点法分别进行土壤样品采集。其中不变放牧地和耕地采样点距分别为30 m×30 m。每个采样点以5 cm深为间隔利用土钻进行取样,钻取至砾石层。最终两类土地利用方式共采集土壤样品120件。所有土壤样品均进行标记后带回实验室进行预处理,排号待测。

文中所涉指标除土壤矿物组成外,其余指标均在青海省自然地理与环境过程重点实验室中完成,其中土壤碳、氮元素含量利用德国Elementar公司Vario ELⅢ元素分析仪测定;土壤磁化率采用由英国Bartington公司生产的MS-2 B型磁化率仪测量;土壤粒度分析所用仪器为英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000型激光粒度仪;土壤色度由日本生产的美能达分光色度计测量;土壤矿物组成样品过300目筛后进行前处理并送至中国科学院青海盐湖研究所分析测试部的日本理学D-max 2000 VPCX射线衍射仪完成。

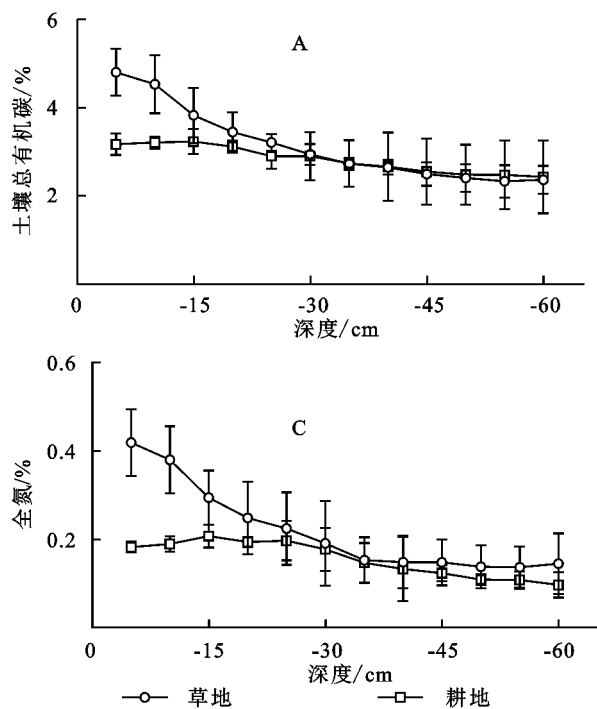
2.2 数据处理与分析

土壤各指标测定完成后利用GraphPad Prism 7进行单因素方差分析(one-way ANOVA)并进行基础图表制作;土壤碳氮含量主导因素分析利用GraphPad Prism 7中多元回归模型模块中的逐步回归分析完成。

3 结果与分析

3.1 未变动草地和耕地土壤碳氮含量垂直变化特征

未变动草地和耕地土壤碳氮含量垂直变化特征见图1。未变动草地和耕地土壤碳氮含量自土壤表层向下均表现出相同变化趋势且以土层深度30 cm为界,界上未变动草地土壤碳氮含量均明显大于未变动耕地,界下未变动草地和耕地土壤碳氮含量差异较



注:图中“*”代表在 $p < 0.05$ 水平存在显著差异性,下同。

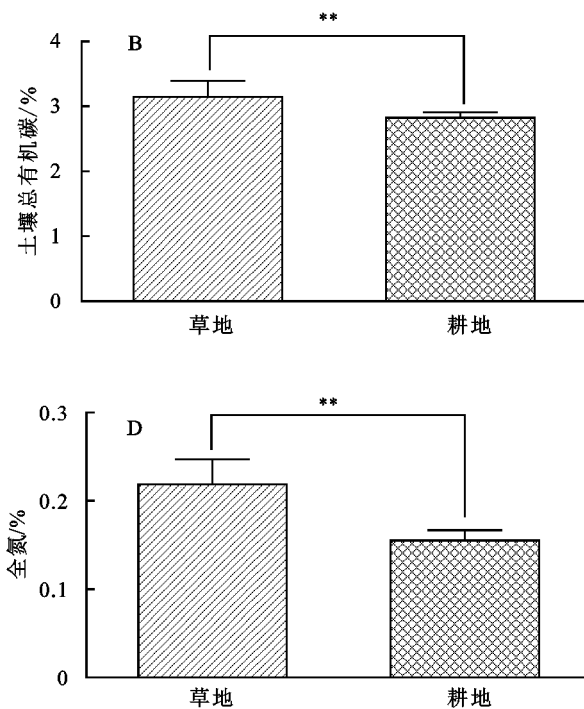
图1 草地和耕地土壤碳氮含量变化特征

3.2 未变动草地和耕地土壤理化指标垂直变化特征

3.2.1 土壤质地变化特征 未变动草地和耕地土壤质地含量垂直变化特征见图2。其中未变动草地土壤黏粒和粉砂含量在采样范围内均明显大于耕地,土壤砂粒含量则是未变动耕地在0—60 cm明显大于未变动草地。与未变动草地和耕地土壤碳氮含量在剖面范围内的差异性一致,两者同样以30 cm为界,土壤质地发生明显差异,其中未变动草地土壤黏粒和粉砂含量在界上明显大于耕地,界下两者土壤黏粒和粉砂含量趋于同质性,有差异但差异性极小;两者土壤砂粒含量变化与粉砂和黏粒含量变化趋势相反,表现出在界上耕地土壤砂含量明显大于草地,界下两者差异不大。此外通过单因素方差分析可见,未变动草地和耕地土壤粉砂和黏粒含量在 $p < 0.05$ 水平存在显著差异,土壤砂含量在 $p < 0.001$ 水平存在极显著差异。综上,可以发现耕地由于长期受到人为扰动,土壤质地中细颗粒组分明显少于草地,土壤粗颗粒组分则明显多于草地,并且这种差异性明显发生在0—30

cm土层。说明在该区域在受人为活动长期干扰下,土地将进一步呈现退化趋势。

3.2.2 土壤矿物变化特征 不变草地和耕地土壤主要矿物成分见图3,耕地土壤石英含量在0—60 cm基本上大于草地且存在显著差异($p < 0.05$);草地土壤方解石含量在10—55 cm土层明显大于耕地且两类用地土壤方解石含量存在显著差异($p < 0.05$);两者土壤钠长石含量基本以30 cm土层为界,界上差异明显,界下差异较小,差异性不显著。不变草地和耕地土壤绿泥石和白云母含量在剖面范围内变化趋势一致,同样基本以30 cm为界,界上草地土壤斜绿泥石和白云母含量明显小于耕地,界下明显大于耕地,但差异性不显著($p > 0.05$)。综上可以看出,土地利用方式的不同,明显改变了相邻土地土壤中的矿物组成成分。其中草地土壤中以次生矿物为主且以绿泥石为主的黏土矿物含量明显高于耕地,耕地土壤以石英矿物为主,且除石英矿物外其余矿物质含量都小于放牧草地。



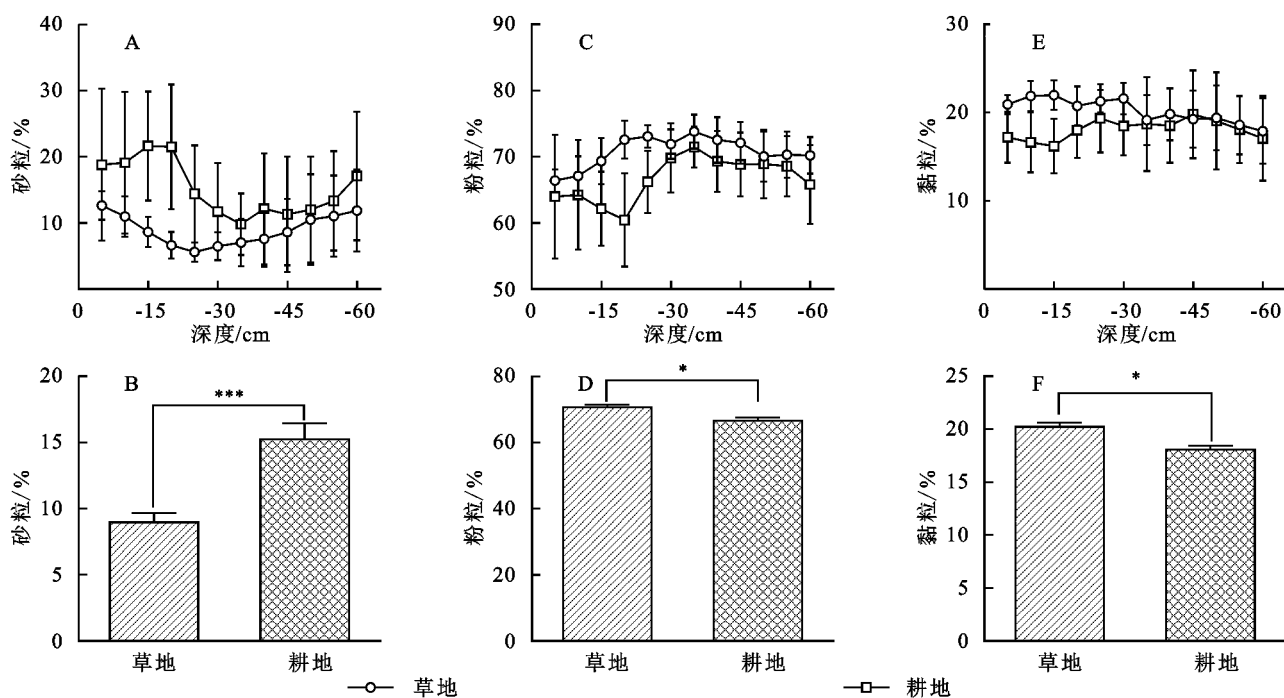


图2 草地和耕地土壤质地含量变化特征

3.2.3 土壤磁化率变化特征 对未变动草地和耕地土壤低频磁化率进行对比分析(图4),可以看出在采样剖面上未变动草地和耕地土壤低频磁化率存在显著差异($p < 0.05$),其中未变动草地土壤低频磁化率自表层向下呈递减趋势,变化趋势稳定。而耕地土壤低频磁化率在采样深度范围内呈先减后增趋势且自15 cm土层向下明显大于未变动草地。经单因素方差分析可见耕地土壤低频磁化率显著大于($p < 0.05$)草地。可以看出由于土地利用方式的不同耕地土壤低频磁化率在剖面上变化较大,这与前文中土壤碳氮、质地及矿物组成变化类似。未变动草地由于长期未收到外力扰动,其土壤理化指标在剖面范围内均表现出平稳的变化趋势,而耕地土壤各理化指标随土层深度变化不平稳。

3.2.4 土壤色度变化特征 土壤色度是土壤最明显特征指标之一,分别为土壤亮度、红度及黄度,3个指标相结合被用于描述土壤发育程度。其中土壤有机质含量越高,亮度值越低;土壤中赤铁矿和针铁矿越高,土壤中红度和黄度含量便越高。从图中可以看出(图5),未变动耕地土壤亮度在采样范围内均大于草地土壤亮度值且随采样深度呈先减后增趋势;相反,未变动草地土壤亮度值随采样深度变化趋势与之相反,两类用地土壤亮度值在剖面范围存在极显著差异。两类用地土壤红度和黄度值在0—60 cm范围内变化趋势一致,均表现为耕地土壤大于草地,其中草地土壤红度值和黄度值均以30 cm土层为界,界上呈

降低趋势,界下无明显增减趋势,耕地土壤红度值和黄度值均自表层呈现随土层深度增加而递减的变化趋势。综上,由于两类用地受到的干扰不同,土壤色度值均存在差异,其中土壤亮度值的变化可以进一步表明草地在30 cm土层以上土壤有机质含量显著大于耕地,土壤红度值因指代土壤磁铁矿,因此与两类土地磁化率变化趋势相符。

3.3 未变动草地和耕地土壤碳氮含量影响因素分析

从上文分析可知,两类土地经过长时间的不同利用方式,自然生长和人为影响下土壤碳氮含量、性状肥力发生了明显的变化。直观表现在土壤碳、氮、质地等代用指标基本以土壤30 cm发生了明显变化。为了进一步分析不同土地利用方式对两类用地类型土壤碳氮主控因素的影响,本研究分别在剖面尺度对土壤碳氮和土壤理化指标之间的相关性进行分析。

3.3.1 草地和耕地土壤碳含量一元线性影响因素分析

分别对草地和耕地土壤总碳与各理化指标进行相关性分析。结果显示,草地土壤碳含量在剖面范围内和众多土壤理化指标存在显著相关性(图6)。其中草地土壤碳含量与土壤粉砂($p < 0.05$)、黏粒($p < 0.01$)、亮度($p < 0.0001$)、黄度($p < 0.0001$)、红度($p < 0.0001$)、低频磁化率($p < 0.0001$)、斜绿泥石($p < 0.0001$)及白云母($p < 0.01$)呈显著相关。

由于受扰动程度不同,与耕地土壤碳含量存在显著相关的理化指标明显少于草地(图7),仅与土壤砂粒($p < 0.05$)、粉砂($p < 0.05$)、黄度($p < 0.001$)、红度($p < 0.001$)呈显著相关。可以看出,在本研究测试土

壤理化性质指标范围内,土壤质地、色度、磁化率及矿物组成均不同程度影响土壤碳含量大小。其中自然

生长状况下的草地土壤作为原生土壤,受外界干扰较小,其土壤碳含量受多方面因素影响。

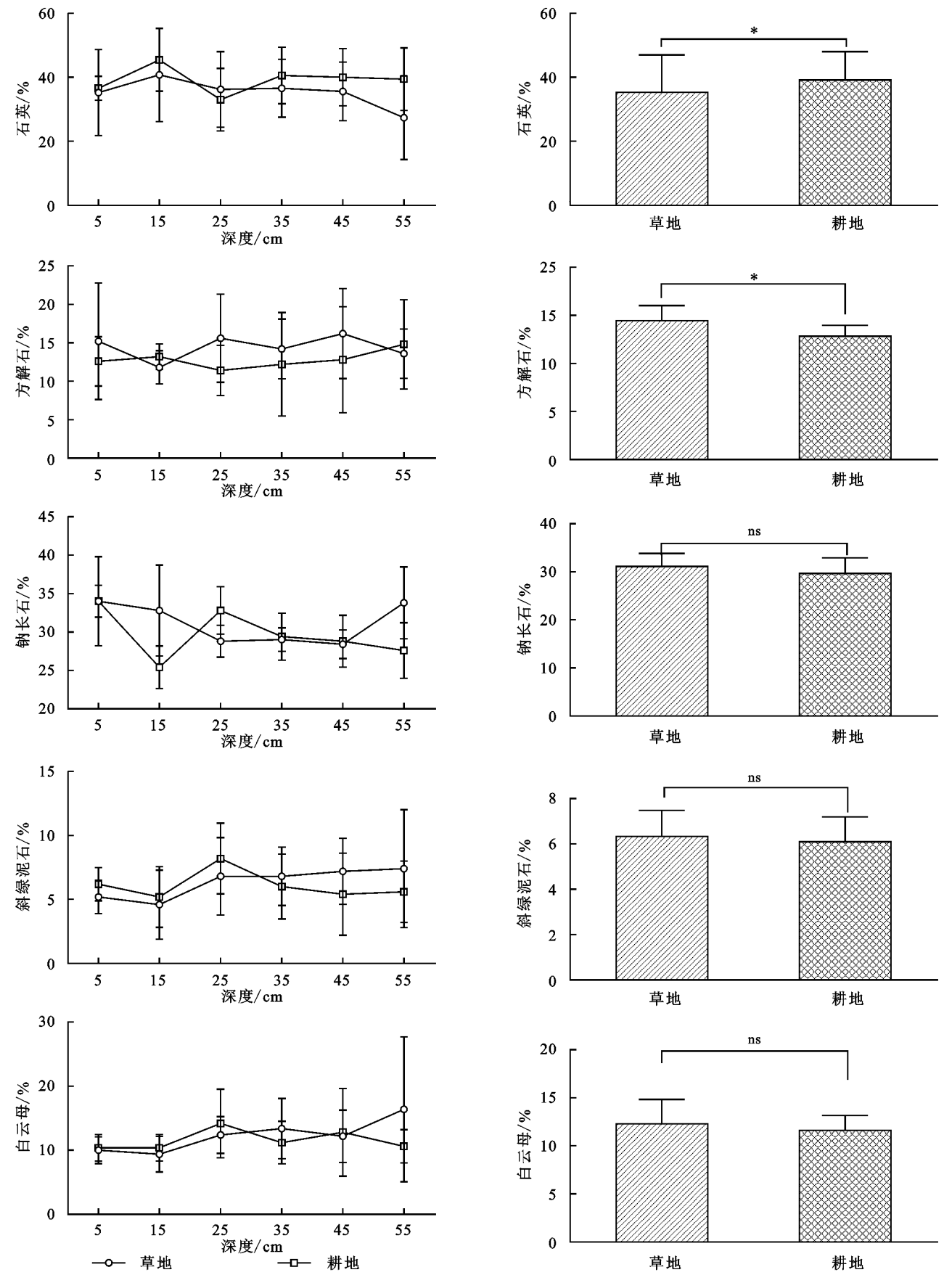


图 3 草地和耕地土壤矿物含量变化特征

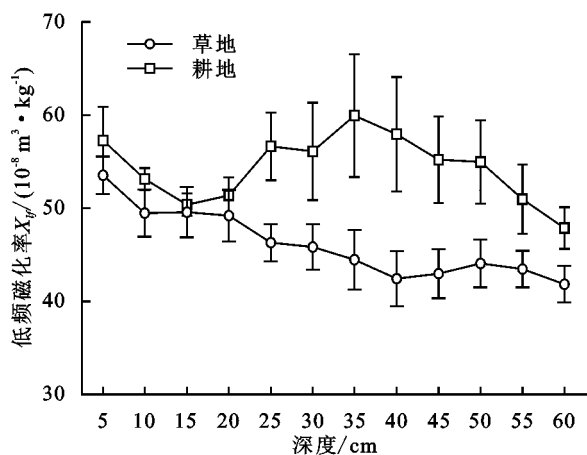


图4 草地和耕地土壤磁化率变化特征

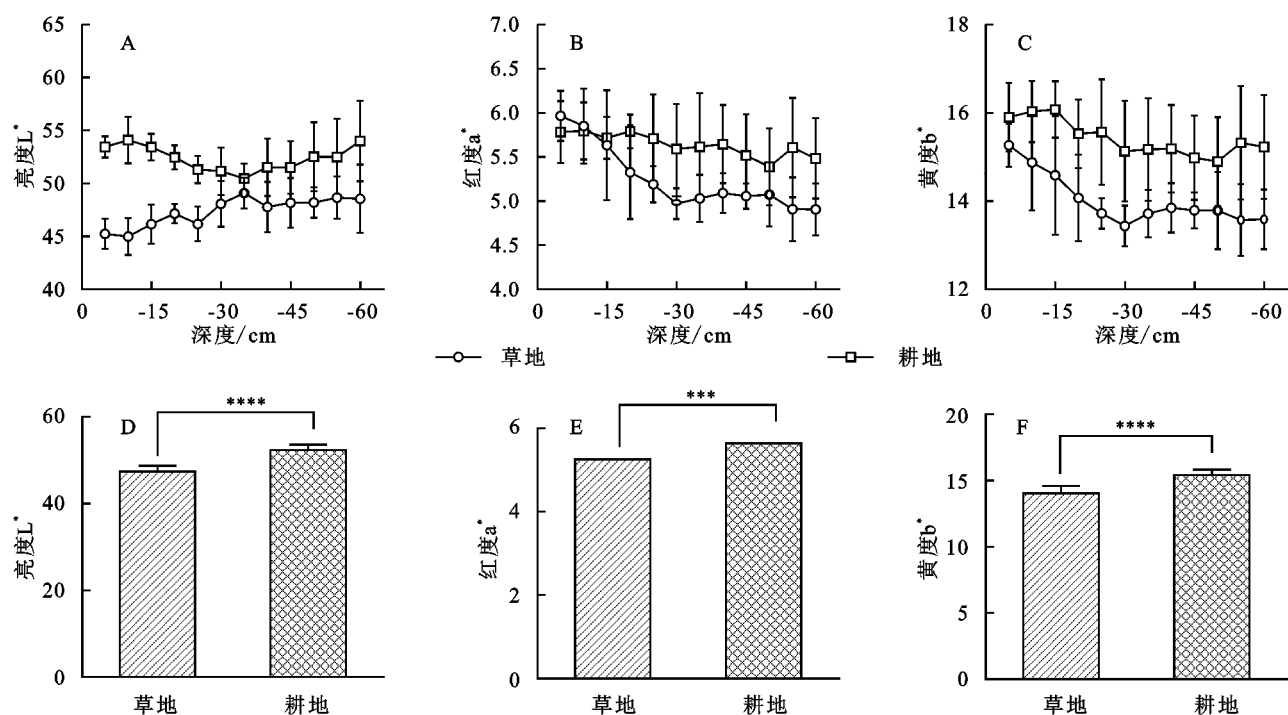


图5 草地和耕地土壤色度变化特征

3.3.3 草地和耕地土壤碳氮含量多元线性主导因素分析 为进一步分析两类土地利用方式土壤碳氮含量主导因素,在上述一元回归模型构建基础上,基于回归分析,分别构建出草地和耕地土壤0—60 cm土层碳氮含量与本研究各理化因子之间的多元线性回归模型(表1)。结果显示,草地土壤碳含量基于土壤红度、黄度、斜绿泥石、石英及黏粒的回归方程达到显著水平($p < 0.001$),能够综合解释64%土壤碳含量的变异;草地土壤氮含量基于方解石、低频磁化率及黏粒的回归方程达到显著水平($p < 0.001$),能够综合解释62%土壤氮含量的变异;耕地土壤碳含量基于土壤亮度、低频磁化率和方解石的回归方程达到显著水平($p < 0.05$),能够综合解释54%土壤碳含量的变异;耕地土壤氮含量基于土壤低频磁化率、斜绿泥

3.3.2 草地和耕地土壤氮含量一元线性影响因素分析 对草地和耕地土壤全氮与各理化指标进行相关性分析(图8)。结果显示,土壤氮含量与各理化指标呈显著相关性,与草地碳具有高度的一致性,区别在于土壤氮含量与土壤粉砂($p < 0.01$)和斜绿泥石($p < 0.001$)显著性程度较草地土壤碳显著。与耕地土壤全氮含量存在显著相关的理化指标明显少于草地(图9),仅与土壤粉砂($p < 0.05$)、红度($p < 0.01$)、黄度($p < 0.001$)、方解石($p < 0.05$)呈显著相关。可以看出,土壤总氮受到人类活动的影响同样显著。自然演替下草地土壤作为原生土壤,受外界干扰较小,其土壤全氮含量和受控因素显著高于耕地。

石和石英的回归方程达到显著水平($p < 0.05$),能够综合解释43%土壤氮含量的变异。可以看出,由于土地利用方式的不同,两类土地土壤碳氮含量受控因素同样发生着明显差异。就本研究选取的各理化指标来看,综合回归后拟合度都较高,各理化指标组合可以较为准确的解释0—60 cm土层土壤碳氮的变异情况,因此上述理化指标可以较为准确的预测环青海湖区其他未变动草地和耕地土壤的碳氮变化。

3.4 讨论

如前所述,在该区域本人已经开展了部分研究,明确了人为活动对土壤层界面的扰动深度。在此基础上发现,由于人类活动扰动,两类用地土壤碳氮含量及理化指标数值以30 cm土层深度存在明显差异。上述结果随即引出了本研究尝试解决的科学问题—

除人为活动外,土壤碳氮含量就本研究区而言主导因素到底有哪些? 基于此,分别对土壤碳氮和相关理化

指标进行了一元线性和多元回归模拟,可以看出人类活动对土壤性状产生了显著影响。

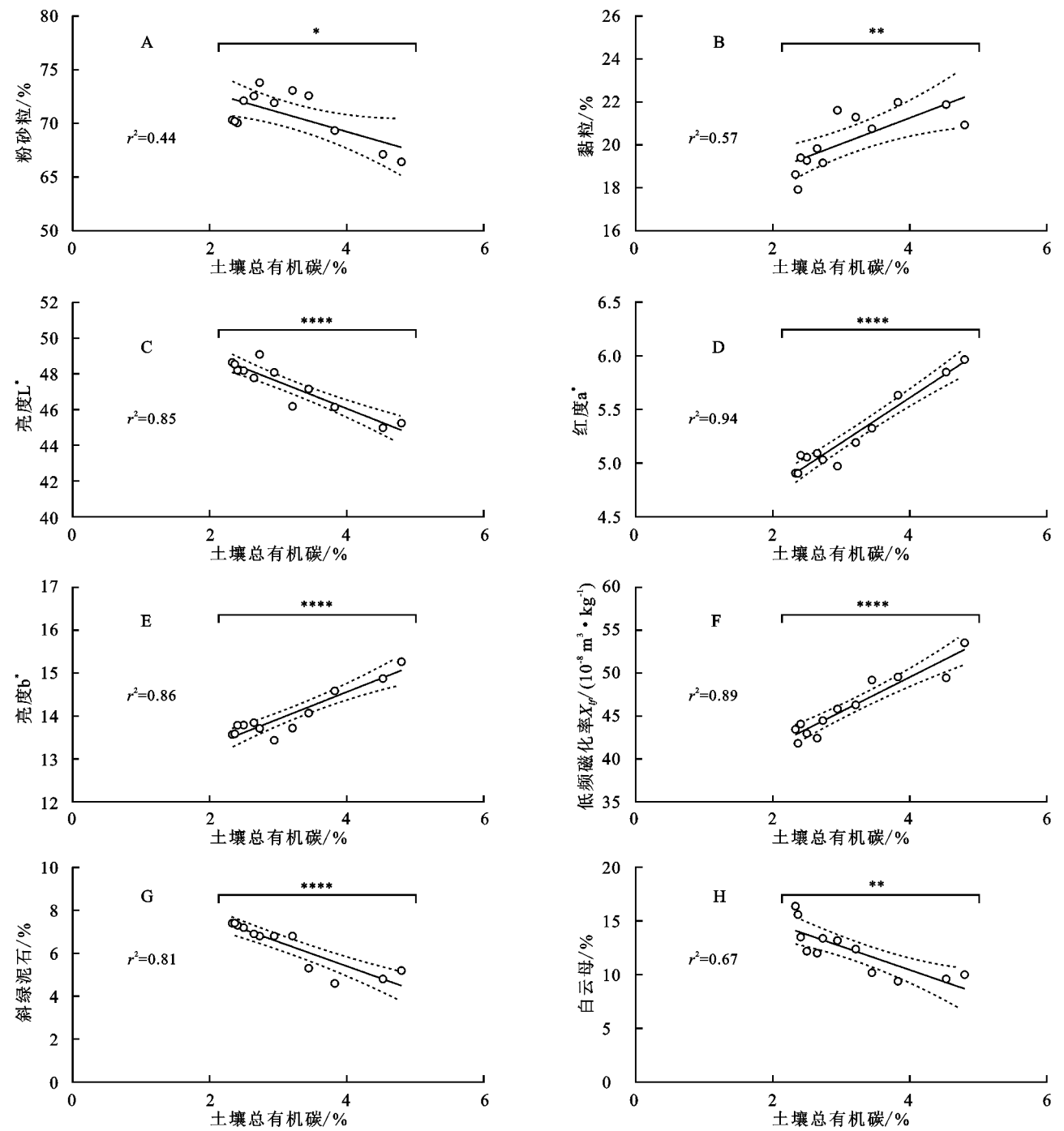


图 6 草地土壤碳含量相关性分析

本研究参与分析影响土壤碳氮含量指标可以概括为土壤颗粒组成、土壤色度、土壤磁化率及土壤矿物组成。经前文分析:土壤质地方面,草地土壤碳含量与土壤粉砂级颗粒组成($4 \sim 63 \mu\text{m}$)呈正相关,和砂粒级($>63 \mu\text{m}$)存在负相关(图 6),可以看出土壤碳含量大小与土壤颗粒粗细有直接关系。草地土壤氮含量与土壤粉砂级颗粒组成($4 \sim 63 \mu\text{m}$)呈负相关,和黏粒级($<4 \mu\text{m}$)存在负相关(图 8),可以进一

步看出土壤氮含量的大小同样与土壤中细颗粒组分有直接关系,这与颜送宝等人对青藏高原不同土地利用方式下土壤碳氮与土壤性状之间的分析结果一致^[10]。如上所述,草地土壤作为自然生长发育的土壤与耕地土壤以土层 30 cm 为界发生极大差异,界上草地土壤细颗粒组分显著大于耕地,土壤碳氮含量亦显著大于耕地,再次证明土壤碳氮含量和土壤质地组成存在极大的关系。与自然生长下草地土壤不

同,耕地土壤由于长期受到人为扰动的影响,以土壤层 30 cm 为界,界上土壤粗颗粒组分($>63\ \mu\text{m}$)明显多于草地,从耕地土壤颗粒组分与土壤碳氮相关性

结果再次证明土壤碳氮含量大小与土壤颗粒组分有明显联系,并且就分析结果来看土壤颗粒越细,土壤碳氮含量越高。

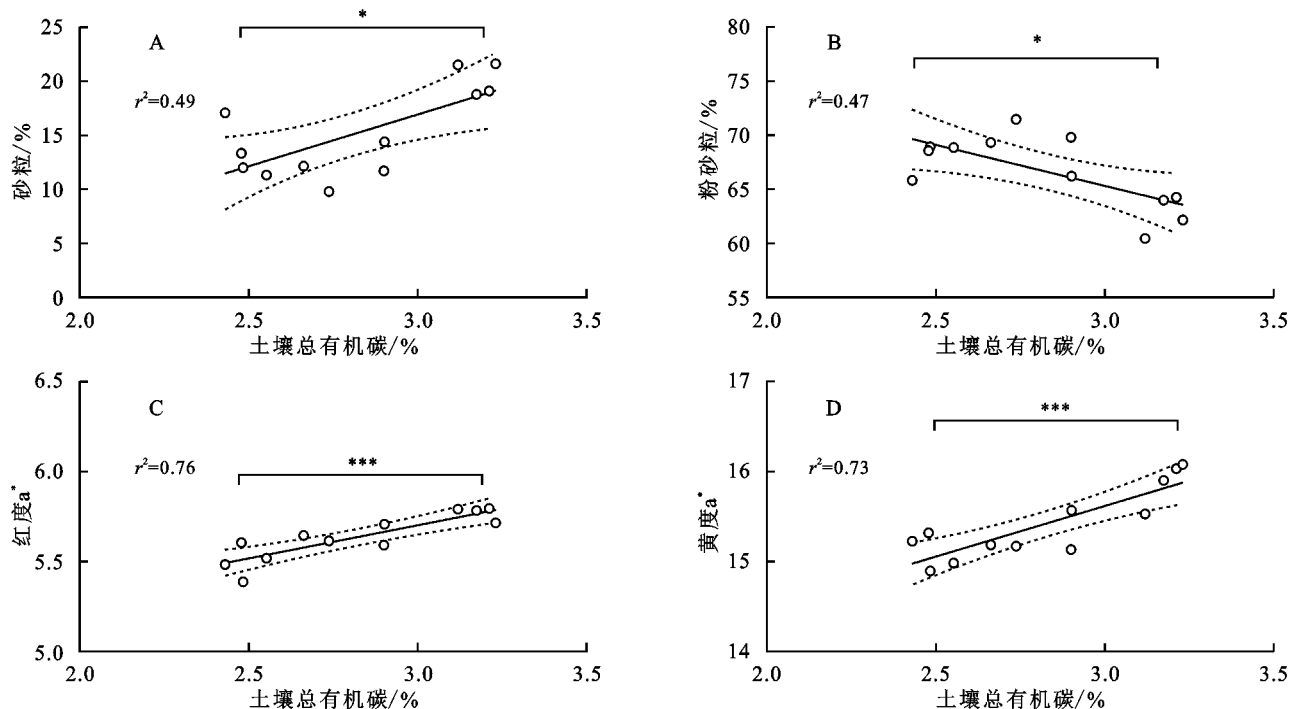


图7 耕地土壤碳含量相关性分析

土壤色度方面,两类土地碳氮含量均与红度和黄度呈显著正相关关系,但亮度作为土壤有机质含量的替代指标仅与未变动草地土壤碳氮含量存在相关关系,与耕地土壤碳氮含量无相关关系。分析结果更进一步体现出人类活动对土壤的影响。亮度值与土壤有机质含量存在显著相关关系,土壤中有机质含量越高亮度值越低^[11]。结合图1,6,8,可以看出未变动草地土壤经过长期发育,其0—30 cm 土层有机质组分得以积累与耕地在30 cm 为界存在明显差异性,因此草地土壤碳氮含量与土壤亮度呈显著负相关。相反,耕地土壤常年受人类活动扰动,尤其是30 cm 以上土层无法进行土壤有机质的生物积累,直接影响其土壤碳氮的聚集,因此亮度值和土壤碳氮无显著相关性。红度和黄度作为土壤中赤铁矿和针铁矿的代用指标,是土壤内在成分的反映,均与铁氧化物含量的变化有关^[12]。对于成壤作用强的土壤其红度和黄度值便更高。此外,局地气候和土壤通气性同样影响上述两类矿物组分,从分析结果来看(图6),草地土壤由于受人类活动扰动较小,土层发育好,土壤结构优于耕地,因此草地土壤碳氮含量与红度和黄度的相关性整体要优于耕地土壤。

此外,通过分析发现草地土壤碳氮含量与磁化率

和矿物组成具有相同的相关关系,即草地土壤碳氮含量均与低频磁化率、斜绿泥石及白云母存在不同程度相关关系。而耕地碳氮方面,仅耕地土壤氮含量与其方解石存在显著相关性。

从上文分析中可以看出未变动草地和耕地土壤矿物组成存在异同,组成方面均存在原生矿物石英和钠长石,次生矿物方解石、白云母、斜绿泥石、白云石及菱铁矿,说明在该区域刚开始发育土层时,区域内成土母质岩性相同。但后期,区域内土地利用方式发生变动,人为干扰下(耕作、浇灌)两类用地矿物成分随之发生变化,主要表现在未变动草地次生矿物明显多于耕地,尤其是黏土矿物显著高于耕地,这同样与图3分析结果一致,即未变动草地细颗粒组分明显多于耕地。此外耕地土壤中的次生矿物(如云母类)很容易在每年漫灌时被土壤中剩余水分淋溶分解,研究结果中矿物组成仅方解石与耕地土壤氮含量存在相关性,而方解石主要是在成壤作用下发生淋溶淀积结晶而成^[13],这从另一方面能够说明耕地土壤受到人为漫灌作用较草地强烈。综上,耕地土壤中一方面缺少细颗粒组分,一方面次生矿物容易被长年水解,因此表现出在耕地类型中土壤碳含量与矿物成分无显著相关性。与矿物组成相似,耕地土壤碳含量同样和

低频磁化率无显著相关性,这同样与耕地土壤中缺少细颗粒组分有关,低频磁化率受控于超顺磁性矿物,

而耕地中缺少 SP 颗粒,因此其两者之间的相关性同样不显著。

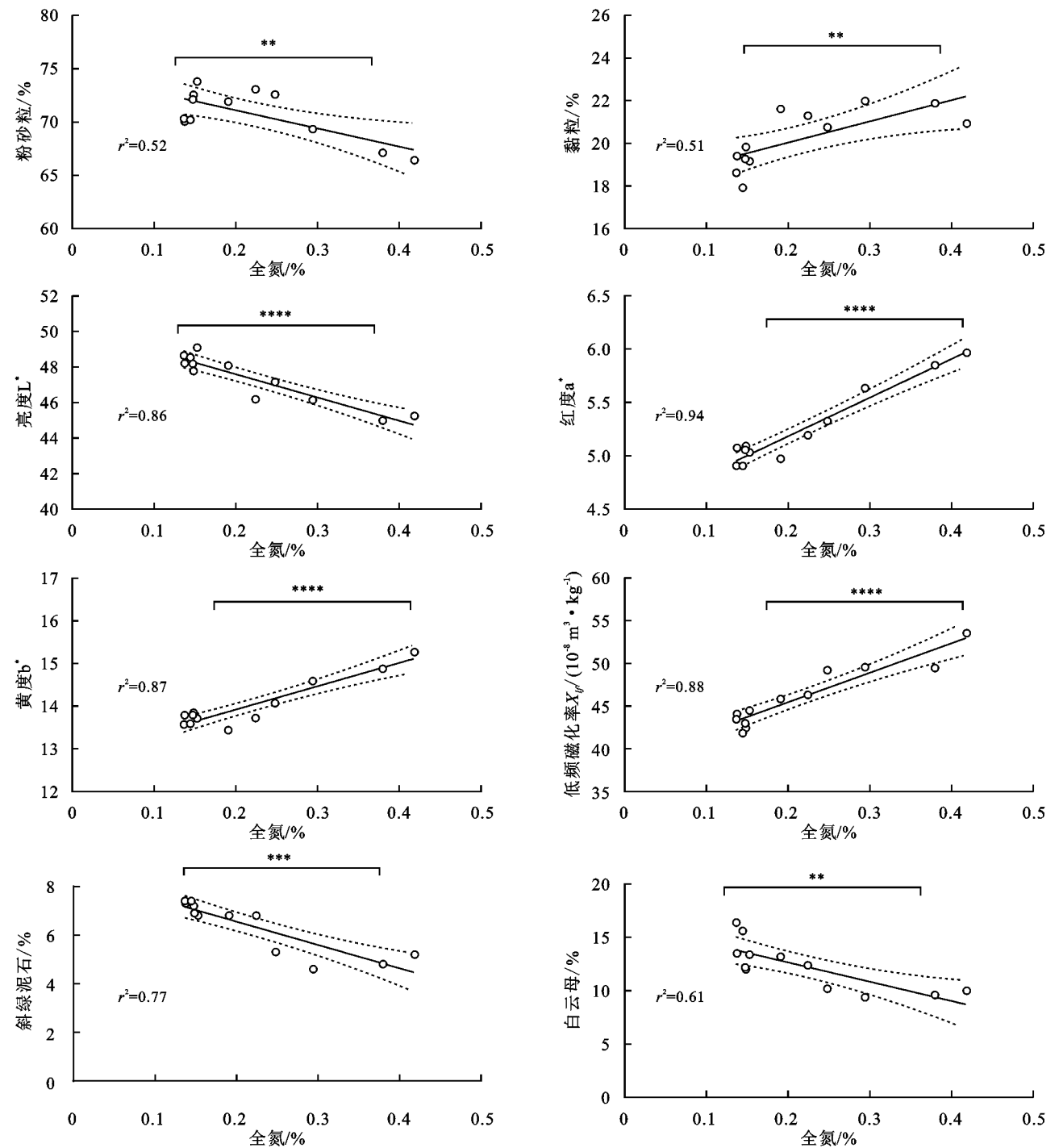


图 8 草地土壤氮含量相关性分析

综合本研究各理化指标和多元回归模型可以看出,土壤碳氮含量主导因素较为复杂,总体上土壤碳氮含量均与土壤矿物组成存在直接关系,尤其是与原生矿物的关系更为密切。

其中土壤碳含量和一元回归模型分析趋势一致,土壤成分中的细颗粒组分均影响着土壤碳含量的变化。相应的土壤亮度作为土壤有机质含量高低的

代用指标,同样对土壤碳含量有着明显的指示意义。土壤氮含量更多的和土壤低频磁化率存在着一定的关系。此外,从回归模型中可以看出,由于受到人类活动影响,耕地土壤碳氮含量主导因素较少,受土壤理化指标影响较小,而草地土壤作为未扰动土壤其在自然发育背景下土壤碳氮主导因素明显多于耕地土壤。

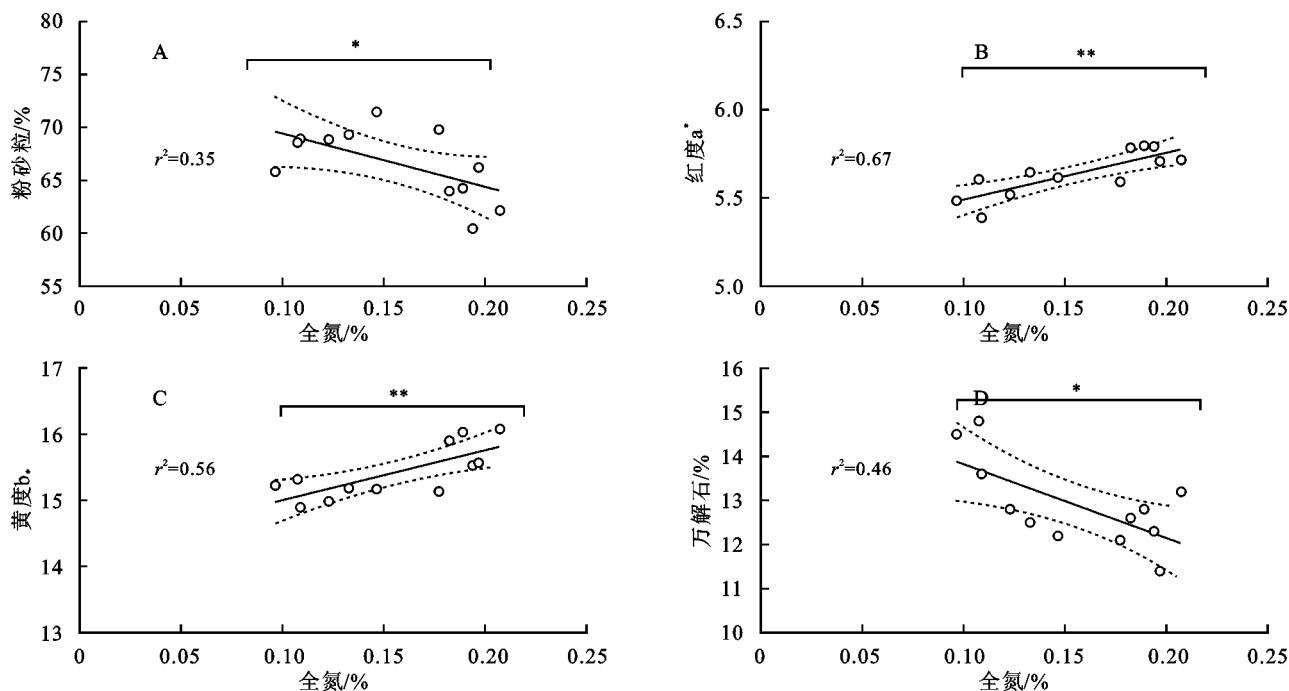


图9 耕地土壤氮含量相关性分析

表1 不同土地利用方式土壤碳氮主导因素分析

土地利用类型	土层	回归方程	拟合优度 R^2
草地	0—60 cm	$Y_1 = 4.32 + 2.65 \times a^* - 1.04 \times b^* - 0.18 \times \text{Cli} - 0.03 \times \text{Qua} + 0.085 \times \text{Clay}$	0.64
耕地	0—60 cm	$Y_2 = -3 + 0.06 \times \text{Cal} + 0.29 \times X_{lf} + 0.034 \times \text{Clay}$	0.62
草地	0—60 cm	$Y_3 = 0.87 - 0.23 \times L^* + 0.008 \times X_{lf} + 0.005 \times \text{Cal}$	0.54
耕地	0—60 cm	$Y_4 = -0.51 + 0.03 \times X_{lf} + 0.012 \times \text{Cli} + 0.003 \times \text{Qua}$	0.43

注:表中 Y_1, Y_2 分别为草地、耕地土壤总有机碳; Y_3, Y_4 分别为草地、耕地土壤全氮; L^*, a^*, b^* 分别为亮度、红度、黄度; Cal 为方解石、Cli 为斜绿泥石、Qua 为石英、 X_{lf} 为低频磁化率、Clay 为黏粒。

4 结论

环青海湖区作为青藏高原的重要组成部分,是控制西部荒漠化向东蔓延的天然屏障,担负着青藏高原东北部乃至内陆地区的生态安全。通过前期研究有幸在该区找到了两类近30年未变动草地和耕地并对其土壤碳氮含量主导因素进行了分析,结果表明土壤碳氮含量、质地组成、色度差异、低频磁化率、矿物组成均可以证明,由于人类活动影响未变动草地和耕地土壤性状以土层30 cm为界发生明显变化;草地土壤碳氮含量在土层30 cm以上显著大于耕地,30 cm以下两类土地趋于同质性;从回归模型中可以看出,由于受到人类活动影响,耕地土壤碳氮含量主导因素较少,受土壤理化指标影响较小,而草地土壤作为未扰动土壤其在自然发育背景下土壤碳氮主导因素明显多于耕地。因此在该区减少土地扰动能有效减缓土地荒漠化进程。

参考文献:

[1] 张江,袁旻舒,张婧,等.近30年来青藏高原高寒草地NDVI动态变化对自然及人为因子的响应[J].生态学

报,2020,40(18):6269-6281.

- [2] 袁杰,曹广超,虞敏,等.青海湖北部近30年不变草地与不变耕地土壤粒度差异及其指示意义[J].水土保持研究,2016,23(5):199-204.
- [3] 常学尚,常国乔.干旱半干旱区土壤水分研究进展[J].中国沙漠,2021,41(1):156-163.
- [4] 方精云,于贵瑞,任小波,等.中国陆地生态系统固碳效应:中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之生态系统固碳任务群研究进展[J].中国科学院院刊,2015,30(6):848-857,875.
- [5] 刘光旭,王小军,相爱存,等.赣江中上游地区土地利用变化空间分异与驱动因素[J].应用生态学报,2021,32(7):2545-2554.
- [6] 袁杰,鄂崇毅,曹广超,等.30 a耕作对高寒草地土壤碳氮与颗粒组成的影响[J].干旱区研究,2017,34(3):487-494.
- [7] 袁杰,曹广超,鄂崇毅,等.青海湖区域不同土地利用方式下土壤理化特征研究:以刚察县为例[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):279-285.
- [8] 袁杰,曹广超,鄂崇毅,等.30年放牧草地和耕作农地土壤矿物、颗粒组成及磁性特征比较[J].土壤通报,2019,50(2):253-259.

(下转第187页)

- 39(5):36-39.
- [11] 胡慧,包维楷,李芳兰,等.岷江上游4个栽培树种细根功能性状垂直分布的差异[J].生态学报,2020,39(1):46-56.
- [12] 《青海森林》编辑委员会.青海森林[M].北京:中国林业出版社,1993.
- [13] 惠刚盈,胡艳波.混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J].林业科学研究,2001,14(1):23-27.
- [14] 杨文娟.祁连山青海云杉林空间分布和结构特征及蒸散研究[D].北京:中国林业科学研究院,2018.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 王梅,张文辉.不同密度油松人工林生长更新状况及群落结构[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(7):75-80.
- [17] 洪梓明,邢亚娟,闫国永,等.长白山白桦山杨次生林细根形态特征和解剖结构对氮沉降的响应[J].生态学报,2020,40(2):608-620.
- [18] 黄林,王峰,周立江,等.不同森林类型根系分布于土壤性质的关系[J].生态学报,2012,32(19):6110-6119.
- [19] 安慧,韦兰英,刘勇,等.黄土丘陵区油松人工林和白桦天然林细根垂直分布及其与土壤养分的关系[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):611-619.
- [20] 尤健健,张文辉,邓磊,等.间伐对黄龙山油松中龄林细根空间分布和形态特征的影响[J].生态学报,2017,37(9):3065-3073.
- [21] Vennetier M, Zanetti C, Meriaux P, et al. Tree root architecture: new insights from a comprehensive study on dikes[J]. Plant & Soil, 2015, 387(1/2): 81-101.
- [22] 魏孝荣,邵明安.黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征[J].生态学报,2007,27(2):603-612.
- [23] 郭灵辉,王道杰,张云红,等.蒋家沟新银合欢人工林土壤养分分布及其与细根的关系[J].中国水土保持,2010(12):46-49.
- [24] 邸楠,席本野, Jeremiah R. PINTO, 等.宽窄行栽植下三倍体毛白杨根系生物量分布及其对土壤养分因子的响应[J].植物生态学报,2013,37(10):961-971.
- [25] 燕辉,苏印泉,李吉平,等.秦岭北坡刺槐人工林细根垂直分布及其与土壤养分的关系[J].水土保持研究,2008,15(3):65-73.
- [26] Pregitzer K S, King J S, Burton A J, et al. Responses of tree fine roots to temperature[J]. The New Phytologist, 2000, 147(1): 105-115.
- [27] 张雷,项文化,田大伦,等.第2代杉木林土壤有机碳、全氮对细根分布及形态特征的影响[J].中南林业科技大学学报,2009,29(3):11-15.

(上接第172页)

- [9] 马扶林,李全平,高贵生.2018年青海湖东北岸气象因素影响下的草地土壤水分及植被特征响应[J].草原与农业,2019,31(3):32-37.
- [10] 颜送宝,王丽云,邹璐,等.青藏高原草地不同利用方式下土壤碳氮与土壤性状的关系[J].生态科学,2019,38(2):105-111.
- [11] 石培宏,杨太保,田庆春,等.靖远黄土—古土壤色度变化特征分析及古气候意义[J].兰州大学学报:自然科学版,2012,48(2):15-23.
- [12] 陈杰,杨太保,曾彪,等.中国帕米尔地区黄土上部色度变化特征及古气候意义[J].沉积学报,2018,36(2):333-342.
- [13] 卢演涛,刘高魁,彭文世.黄土中(微斜长石)/(石英)、(方解石)/(石英)及其古环境的意义[J].地球化学,1982,11(2):198-204.

(上接第180页)

- [35] Wang Y, Hu W, Zhu Y, et al. Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China [J]. Journal of Hydrology, 2015, 527: 543-554.
- [36] Li H, Si B, Ma X, et al. Deep soil water extraction by apple sequesters organic carbon via root biomass rather than altering soil organic carbon content[J]. Science of the Total Environment, 2019, 670: 662-671.
- [37] Ji W, Huang Y, Shi P, et al. Recharge mechanism of deep soil water and the response to land use change in the loess deposits [J]. Journal of Hydrology, 2021, 592: 125817.
- [38] 冯挺,黄法融,郝建盛,等.巩乃斯河谷地带地表土壤水分和电导率的分布特征[J].干旱区研究,2020,37(6):1457-1468.
- [39] Turkeltaub T, Wang J, Cheng Q, et al. Soil moisture and electrical conductivity relationships under typical Loess Plateau land covers[J]. Vadose Zone Journal, 2022, 21(1): e20174.
- [40] Wang Y, Shao M A, Zhu Y, et al. Impacts of land use and plant characteristics on dried soil layers in different climatic regions on the Loess Plateau of China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(4): 437-448.