不同客土覆盖厚度对河滩地土壤养分分布的影响

张海欧[1,2], 张 扬[1,2]

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710075; 2. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司 自然资源部 退化及未利用土地整治工程重点实验室 陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安 710021)

摘 要: [目的] 研究陕西省关中地区河滩地土地整治中不同覆土厚度下土壤碳氮的空间分布特征,确定耕作层稳定性的最佳客土厚度,旨在为河滩地难利用土地后备资源的开发利用提供理论依据。[方法] 于 2015—2017 年开展河滩地覆土田间小区试验,采用相关性分析法对不同覆土厚度条件下土壤有机质和全氮的分布特征、动态变化趋势及两者间的关系进行了研究。[结果] 不同覆土厚度下土壤有机质和全氮含量随土层加深而降低,土层深度与土壤有机质和全氮含量呈现负相关关系,土壤养分具有明显的表聚性;客土层厚度为 50—60 cm 时,相比其他覆土厚度类型,土壤有机质和全氮含量在各土层深度中最高,二者呈现出极显著的正相关关系($p<0.01$)。[结论] 对于陕西省关中地区以黄绵土为客土来源的河滩地土地整治,客土覆盖厚度以 50—60 cm 为最佳,具有较好的保肥作用。

关键词: 河滩地; 客土厚度; 碳氮关系; 分布特征; 最佳客土厚度

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)05-0027-06 **中图分类号**: S153.6

文献参数: 张海欧, 张扬. 不同客土覆盖厚度对河滩地土壤养分分布的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 27-32. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.005; Zhang Haiou, Zhang Yang. Effects of different thickness of soil cover on soil nutrient distribution at flood land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 27-32.

Effects of Different Thickness of Soil Cover on Soil Nutrient Distribution at Flood Land

Zhang Haiou[1,2], Zhang Yang[1,2]

(1. *Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi* 710075, *China*; 2. *Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural and Resources, Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an, Shaanxi* 710075, *China*)

Abstract: [Objective] The spatial distribution characteristics of soil carbon and nitrogen under different soil thicknesses in areas of land consolidation on river beaches in the middle part of Shaanxi Province were studied. The optimal soil thickness for the stability of the arable layer was also determined in order to provide a theoretical basis for the development and utilization of the resources of difficult-to-use land on river beaches. [Methods] During the period from 2015 to 2017, a field trial involving the application of a soil cover on a floodplain was carried out. A correlation analysis was performed to determine the distribution characteristics, dynamic trends, and relationship between the soil organic matter and total nitrogen under different thicknesses of the soil cover. [Results] The soil organic matter and total nitrogen content decreased with increasing soil depth under different thicknesses of soil cover. The soil depth was negatively correlated with the soil organic matter content and total nitrogen content, and the soil nutrients exhibited surface aggregation. When the soil thickness was 50—60 cm, the soil organic matter content and total nitrogen content were the highest among all soil depths, and showed a significant positive correlation ($p<0.01$). [Conclusion] A soil thickness of

收稿日期: 2020-02-17 **修回日期**: 2020-06-28

资助项目: 陕西省土地整治重点实验室开放基金项目"基于土地整治工程新增耕地的土壤有机碳稳定性研究"(2019-JC07)。

第一作者: 张海欧(1985—),女(汉族),陕西省西安市人,博士研究生,主要从事土地整理复垦和土地工程研究。Email: haiouluck@126.com。

通讯作者: 张扬(1984—),女(蒙古族),内蒙古自治区通辽市人,博士研究生,高级工程师,主要从事土壤学和土地整治研究。Email: 244254409@qq.com。

50—60 cm is optimal for the land reclamation of floodplains and offers a good fertilizer-holding effect in the middle part of Shaanxi Province.

Keywords: floodplain; thickness of soil cover; carbon and nitrogen relationship; distribution characteristics; optimal soil thickness

土壤有机质和全氮是衡量土壤肥力整体状态的重要指标,其对土壤的物理、化学和生物性质的改善具有重要的作用[1-2]。土壤有机质含有植物生长需要的矿物养分和有机营养,是植物生长所必需营养元素的主要来源之一,其对土壤的结构性、保水保肥性、通气性、保墒性等主要特性具有重要的影响[3-4]。土壤中有机质的含量既影响植物的生长发育,又对其他营养元素含量有一定的影响,特别是氮素存在的主要场地[3-4]。土壤全氮能够综合反映土壤的氮素状况,标志土壤氮素的总量,其包括所有形式的有机氮和无机氮素,土壤全氮是供应植被有效氮素的源和库[2,5-6]。土壤有机质和氮素被列为土壤肥力评价的必需指标和土壤分析、实验室测定的常规指标,其含量及动态平衡不仅直接影响着土壤质量和土地生产力,而且对生态系统中碳氮循环有重要意义[7-10]。

河滩地在我国各地区均有分布广泛[11],作为一种重要的耕地后备资源。据有关数据统计仅陕西省境内可开发利用的此类型土地面积就达 2.33×10^4 hm^2,主要分布在陕西的关中和陕南等地区[12],该地区光照条件充足,降水量丰沛,地下水埋藏较浅,具备发展生态高值农田的环境条件。然而,河滩地土地主要是由砾石和砂砾组成,地表粗大砾石裸露,土地贫瘠、农作物根本无法生长,长期处于荒芜状态,整治开发利用难度极大。李娟等[13-14]经过长期科学研究及工程实践,发现通过客土覆盖的技术可将河滩地整治成农用地,并进行了工程示范。但是提升土地质量及提高耕作层稳定性等技术难题,仍困扰着河滩地的整治工作。目前,国内外在污损或工矿废弃地等方面对客土覆盖方式及土壤理化性质的研究较多[15-16],而对于河滩地这种裸岩石砾土地类型的不同覆土厚度土壤的养分特征研究却鲜见报道。本文通过对旧河道河滩地土地整治中不同覆土厚度条件下土壤有机质和全氮的分布特征、动态变化趋势及两者间的关系进行了研究,以期揭示河滩地土地整治中不同覆土厚度下土壤碳氮的空间分布特征,不仅为这类土地的土壤肥力提升及土地整治提供技术支撑和理论依据,也对实现土壤资源的合理利用及其可持续发展具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

野外观测试验地点设置于渭南市富平县杜村镇(东经 108°57′—109°26′和北纬 34°42′—35°06′),处于鄂尔多斯地台南边缘,与渭河地堑北边缘的斜坡地带。属于典型中暖温带大陆性气候,降水季节分配很不均匀,一年中几乎 80%的降雨集中在夏季的 6～83 个月,期间日降水量≥50 mm 的暴雨天气常有发生。干湿季节分明,干季长于湿季,春季风多,降雨较少,地表的蒸发量较大,土壤失墒快,春旱严重。全年蒸发量 1 000—1 300 mm,是降雨量的 2.0～2.3 倍。6 月蒸发量最大,为 189.5 mm,12 月最小,为 44.9 mm。无霜期 225 d,年平均气温 13.4 ℃,夏季最高气温 41.8 ℃,冬季寒冷干燥,最低气温－22.0～－10.0 ℃。当地的主要农作物为小麦、玉米和棉花等。

1.2 试验方法

建立 1∶100 比例的物理模型试验装置,包括模拟河道、灌溉渠、试验田和观测通道 4 个部分,试验装置布设 6 块试验田,即 6 个处理(见图 1),每块试验田面积为 2.0 m×4 m,共占地 48 m^2。根据立地条件,考虑光照、微地形等因素的均一性,6 块试验田采取自东向西“一”字型布设,先挖出 2 m 的深坑,分别填入相应厚度的砂石和客土,覆盖当地黄绵土厚度分别设为 30,40,50,60,80,100 cm,模拟实地条件,客土以下分别填装 170,160,150,140,120,100 cm 厚度的砾石(80%)和沙土(20%)混合物,每个处理小区设有围挡,避免串水串肥。

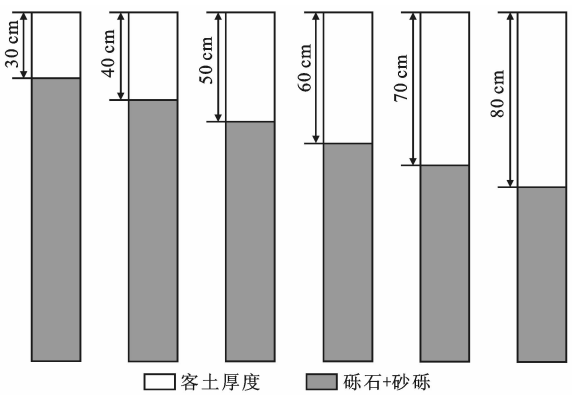


图 1 陕西省渭南市富平县杜村镇河滩地试验装置示意图

试验于 2015—2017 年执行,每年 10 月初进行冬小麦种植,次年的 6 月初收获。小麦种植与当地的农作措施保持一致,露地种植采取行播,行距 15～20 cm,株距保持在 1～2 cm,播深 5～6 cm。所有小区

均采用相同的灌溉与施肥处理,播种前 1～2 d 施入复合肥(N 90 kg/hm^2; P 40 kg/hm^2; K 75 kg/hm^2),并结合灌水在拔节期追施。灌溉时间和量,采用当地农民普遍采用的模式,根据天气情况、土壤水分状况,使 0—60 cm 土壤层的田间最大持水量保持在 75%～80%。小麦收获后进行土壤样品采集,每个小区按对角线选取 5 点,每 10 cm 分层取样,按照各处理的土层厚度用土钻取土层混合土样,每个处理取 3 次重复土样,自然风干过筛后,用于理化性质的测定,并计算 3 a 试验结果的平均值,分析土壤养分的变化情况。土壤田间持水量采用室内环刀法测定,有机质采用重铬酸钾法测定,全氮利用全自动间断化学分析仪 Cleverchem200(德国)测定。试验所用当地黄绵土的主要理化性质详见表 1。

表 1　陕西省渭南市富平县杜村镇黄绵土主要理化性质

田间持水量/%	有机质/(g·kg^{-1})	全氮/(g·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	粒径组成/%			土壤质地(USDA)
					砂粒	粉粒	黏粒	
18.0～21.7	5.04	3.33	6.63	7.70	13.37	77.10	9.53	粉壤土

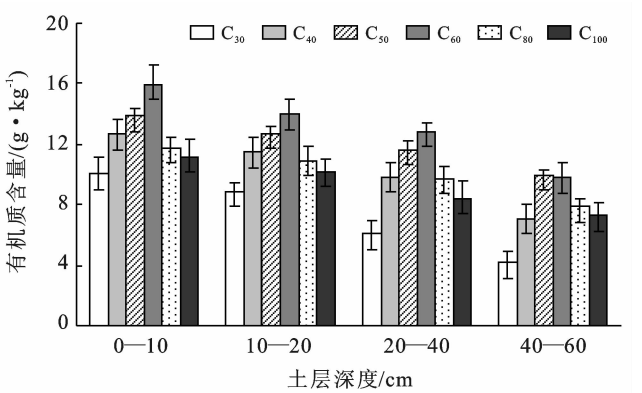
2　结果与分析

2.1　不同覆土厚度下有机质分布

土壤有机质含量能够指示土壤肥力水平的状况,有机质含量高的土壤疏松、团聚体含量高、作物生长良好[17-18]。利用在裸岩石砾地表层覆盖客土的方式整治河滩地,土壤有机质含量在不同覆土厚度下随土层深度的变化特征见图 2。不同覆土厚度下,土壤有机质含量均随土层深度增加呈现降低趋势,其中 0—20 cm 表层土壤的有机质含量最高,其与 40—60 cm 土层有机质含量相比最高可达 4.63 倍,不同覆土厚度 C_{30},C_{40},C_{50},C_{60},C_{80},C_{100}在 0—20 cm 土层的有机质含量分别占 0—60 cm 整个土层有机质含量的 64%,60%,55%,57%,56%,58%。0—40 cm 土层中土壤有机质的总含量的大小顺序为 C_{60}(42.76 g/kg)＞C_{50}(38.2 g/kg)＞C_{40}(33.9 g/kg)＞C_{80}(32.38 g/kg)＞C_{100}(29.79 g/kg)＞C_{30}(24.99 g/kg),不同土层中客土覆盖厚度为 50—60 cm 的土壤有机质含量最高,且其中在 0—40 cm 土层中覆土厚度为 60 cm(C_{60}),50 cm(C_{50})的有机质含量分别是覆土厚度为 30 cm(C_{30})有机质含量的 1.69,1.51 倍。客土厚度为 60 cm(C_{60})和 50 cm(C_{50})平均有机质含量分别占 0—10,10—20 和 20—40 cm 各土层客土厚度有机质含量的 39%,38%和 41%,因此,不同土层中客土覆盖厚度为 50—60 cm(C_{50}和C_{60})的土壤有机质含量均高于其他覆土厚度类型。

2.2　不同覆土厚度下全氮变化特征

不同覆土厚度下,相同土层深度土壤全氮含量具有较大变化(见图 3)。客土厚度为 30 cm(C_{30})和 40 cm(C_{40})的土壤全氮含量随土层厚度增加呈显著减少趋势;客土厚度为 50 cm(C_{50})和 60 cm(C_{60})全氮含量也随土层加深而减少,但程度远低于 C_{30}和 C_{40};而客土厚度为 30 cm(C_{30})和 40 cm(C_{40})的土壤全氮含量在 0—40 cm 土层中分布较为均匀。不同客土厚度 0—20 cm 表层土壤的全氮含量最高,不同覆土厚度 C_{30},C_{40},C_{50},C_{60},C_{80}和 C_{100}在 0—20 cm 土层的全氮含量分别占 0—60 cm 整个土层全氮含量的 62%,61%,57%,56%,56%和 55%。



注:C_{30},C_{40},C_{50},C_{60},C_{80},C_{100}分别代表客土厚度为 30,40,50,60,80,100 cm。下同。

图 2　不同覆土厚度土壤各层次有机质的变化

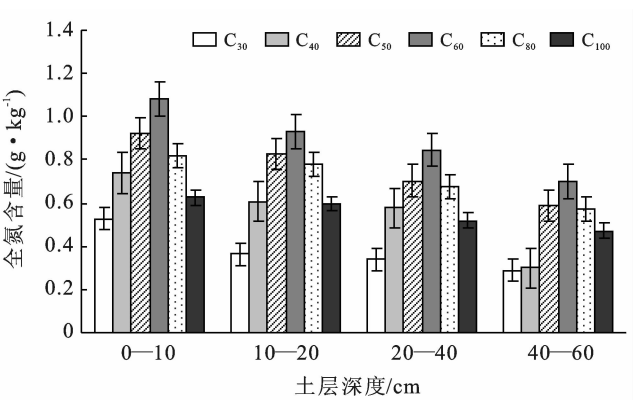


图 3　不同覆土厚度土壤全氮分布特征

同一土层的不同客土覆盖厚度下,土壤全氮含量具有显著差异(p＜0.05)。客土厚度为 60 cm(C_{60})的

全氮含量明显的高于其他覆土厚度样地，该覆土厚度下 0—10 cm 浅表层土壤全氮含量高达 1.079 g/kg，其含量是客土厚度分别为 30(C_{30})，40(C_{40})，100 cm(C_{100})的 2.05，1.46 及 0.68 倍；其次，客土厚度为 50 cm(C_{50})表层土壤全氮含量较高，0—10，10—20 和 20—40 cm 各层土壤全氮含量为0.924，0.825，0.703 g/kg。不同客土厚度 0—40 cm 土层平均全氮含量表现为 C_{60} (0.953 g/kg)＞C_{50} (0.817 g/kg)＞C_{80} (0.760 g/kg)＞C_{40}(0.625 g/kg)＞C_{100}(0.581 g/kg)＞C_{30}(0.404 g/kg)，客土厚度为 60 cm(C_{60})和 50 cm(C_{50})平均全氮含量分别占 0—10，10—20，20—40 cm 各土层客土厚度全氮含量的 42%，25% 和 26%，因此，不同土层中客土覆盖厚度为 50—60 cm(C_{50}，C_{60})的土壤全氮含量高于其他覆土厚度类型。

2.3 不同客土覆盖厚度有机质与全氮的相关性分析

由表 2 不同客土覆盖厚度 0—40 cm 土层土壤有机质与全氮分布的相关性分析可知，不同覆土厚度下 0—40 cm 土层土壤有机质与全氮呈正相关关系，且不同客土覆盖厚度下土壤有机质和全氮的相关性回归系数差异较大，说明不同覆土厚度有机质和全氮的相关程度不同。客土厚度为 50 cm(C_{50})和 60 cm(C_{60})试验样地的土壤有机质与全氮含量呈现出极显著($p<0.01$)的正相关性，其相关系数分别为 0.913，0.927；土壤有机质与全氮在客土覆盖厚度为 C_{30}，C_{40}，C_{80} 和 C_{100} 时具有显著的正相关性($p<0.05$)，相关系数分别是 0.639，0.789，0.884，0.851。因此，客土层厚度为 50—60 cm 时，有利于土壤有机质和全氮的积累，并且与其他覆土厚度类型相比，C_{50} 和 C_{60} 覆土厚度下 0—40 cm 表层土壤有机质与全氮的平均含量最高。

表 2 不同客土覆盖厚度 0—40 cm 土层土壤有机质与全氮分布的相关性

客土厚度	回归方程	相关系数(R^2)
C_{30}	$y=0.039x+0.082$	0.639*
C_{40}	$y=0.049x+0.084$	0.789*
C_{50}	$y=0.065x-0.010$	0.913**
C_{60}	$y=0.051x+0.225$	0.927**
C_{80}	$y=0.041x+0.320$	0.884*
C_{100}	$y=0.052x+0.060$	0.851*

注：* 表示显著相关($p<0.05$)，** 表示极显著相关($p<0.01$)。

2.4 不同土层深度有机质与全氮的关系

随着新造土壤种植年限的增加，各土层土壤结构形成、养分含量积累情况差异较大，不同土层深度土壤有机质与全氮的相关性分析见图 4，不同土层深度土壤有机质与全氮相关性大小不同，但都呈正相关性。当土层深度为 0—10，10—20 和 20—40 cm 时，土壤有机质与全氮含量相关性为极显著($p<0.01$)，相关系数分别是 0.911，0.839，0.946。由分析可知，0—40 cm 表层土壤有机质与全氮呈现极显著的正相关关系，随着土层深度增加，有机质与全氮之间的相关性呈现出逐渐减少的趋势，当土层深度为 40—60 cm 时，相关系数为 0.737，小于其他土层的相关性。

3 讨 论

土壤有机质和全氮是表征土壤肥力水平和评价土壤质量发育状况的重要指标[5]。雷建容等[17]、袁子茹等[18]分别对川中丘陵区、祁连山不同草地类型下不同土层深度土壤的空间分布状况进行了研究，发现土层深度对土壤养分含量具有显著影响($p<0.05$)，表层土壤养分含量最高。本研究结果表明，不同覆土厚度下，土层深度与土壤有机质和全氮含量均呈现负相关关系，随着土层深度增加养分含量呈现减小的趋势，土壤有机质、全氮主要分布在表层土壤(0—30 cm)中，体现了明显的表聚性。这是由于试验作物玉米和小麦均为浅根系植物，其根系生长所需要的营养区在 0—30 cm 土层厚度，30 cm 以下的土层是作物根系生长的固定区。而且在表层 0—30 cm 以上，枯枝落叶等调落物在土壤中累积，随着植物的根系分泌物进行逐渐分解，养分随之释放返回土壤，以此循环过程不断释放、积累养分进入土壤。同时在分解过程中产生酸类物质加速土壤矿物的分解与变化，且植物吸收土壤养分通过生物微循环在表层土壤中富集，所以养分含量高。

土壤中有机质是氮素存在的主要场地，二者之间有一定相关性[3-4]。分析不同厚度客土覆盖整治河滩地后土壤有机质和全氮含量及关系，对于评价土壤肥力，制定合理施肥措施具有重要意义。结果表明，不同土层深度和不同客土覆盖厚度下，表层土壤(0—30 cm)有机质与全氮均呈现出显著的正相关性($p<0.05$)，此结论与杨丽霞等[1]、朱代文等[11]、雷建容等[17]、袁子茹等[18]学者，分别对陕北黄土丘陵区、潼关县河滩地新增耕地、祁连山不同草地类型、川中丘陵区等地区类型的土壤有机质和全氮之间的关系研究结果一致。这是由于有机质主要分布于土壤表层，相关研究显示[19-20]，表层土壤中的氮素 95% 以上是以有机结合(腐殖质等)的形态存在，即土壤有机质含量对全氮的消长具有重大的影响，氮素中包含了土壤有机质的

一部分,有机质中氮素含量相对固定。因此,不同土层中有机质含量增加,可以提高土壤中全氮含量,并且不同客土覆盖厚度全氮与有机质含量变化规律相似。

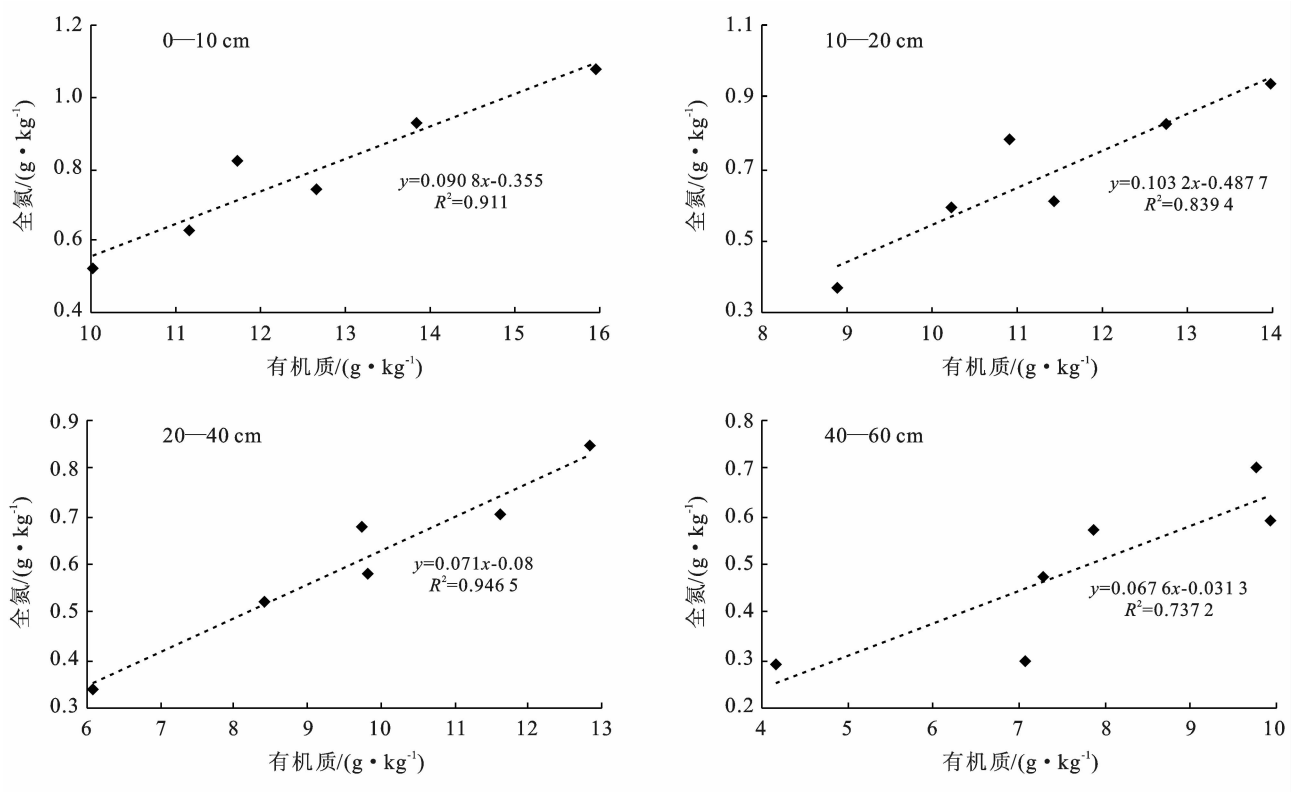


图 4　陕西省渭南市富平县杜村镇不同土层深度土壤有机质与全氮的相关性

不同覆土厚度的差异对作物耕作层土壤的结构性、保水保肥性、通气性等具有重要影响,从而直接影响作物耕作层的形成。合理的覆土厚度对形成作物耕作层及改善耕作层土壤通气能力具有积极的作用,已有相关研究发现客土厚度为 50 cm 作物产量最高[13-14]。本研究发现客土覆盖厚度对土壤养分的分布具有显著的影响($p<0.05$),50—60 cm(C_{50},C_{60})的客土覆盖厚度下耕层土壤有机质、全氮含量均高于其他覆土厚度类型,并且客土厚度为 50 cm(C_{50})和 60 cm(C_{60})的试验样地的土壤有机质与全氮含量呈现出极显著正相关($p<0.01$)。50—60 cm 土层是常见作物根系生长能够影响的土层范围,根据相关研究结果[13-14,21-23],相比较其他客土覆盖厚度,50—60 cm 客土覆盖厚度下耕层土壤容重较大(1.5～1.6 g/cm³),土壤间的孔隙度较小。具有较大容重的土体结构稳定性强,水分和养分渗漏能力差,保水保肥性好,并且渗漏能力随时间的变化弱。结合工程实际认为 50—60 cm 客土覆盖厚度合理,工程成本适中,同时适宜常见作物生长且稳产高产。

4　结 论

客土覆盖厚度为 50—60 cm(C_{50} 和 C_{60})时,相比其他覆土厚度类型,整治后的河滩地各土层土壤养分积累速度快,土壤有机质和全氮含量在各土层深度中最高,二者呈现出极显著的正相关关系($p<0.01$),因此,对于陕西关中河滩地整治中黄绵土覆盖厚度 50—60 cm 为最佳。本研究仅对土地整治后河滩地不同客土层厚度与土壤有机质和全氮关系进行了研究,要更深入认识河滩地土地整治后土壤碳库、氮库和客土覆盖厚度相互之间的关系,则还需要从机理上进行探索研究。

[参 考 文 献]

[1] 杨丽霞,陈少锋,安娟娟,等. 陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J]. 草地学报,2014,22(2):291-298.

[2] 高丽丽. 西藏土壤有机质和氮磷钾状况及其影响因素分析[D]. 四川 雅安:四川农业大学,2004.

[3] 肖国举,张强,王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1877-1885.

[4] 贡璐,张海峰,吕光辉,等. 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价[J]. 生态学报,2011,31(14):4136-4143.

[5] 唐杰,王昌全,李启权,等. 川北植烟土壤有机质和全氮空间变异研究[J]. 中国烟草学报,2014,20(5):66-72.

[6] 庞利,屈兴乐,殷文杰,等.拉萨河下游灌草交错区土壤养分空间分异特征[J].河南农业科学,2015,44(4):77-82.
[7] 吴汉卿,张玉龙,张玉玲,等.土壤有机氮组分研究进展[J].土壤通报,2018,49(5):1240-1246.
[8] 伍从成.连续施用生物有机肥对黄冠梨生长及土壤性状的影响[D].南京:南京农业大学,2016.
[9] 吕瑞珍,黄明,熊瑛,等. 豆麦轮作下耕作方式对土壤理化性状及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):100-103.
[10] 高超,张月学,陈积山,等.盐碱化草地不同植物群落土壤氮素特征研究[J].黑龙江农业科学,2012(11):139-142.
[11] 朱代文,夏龙飞,蔡苗. 潼关县秦东镇河滩地新增耕地土壤养分和重金属状况分析[J]. 灌溉排水学报,2017,36(S2):129-135.
[12] 张百平,张雪芹,郑度.西北干旱区不宜作为我国耕地后备资源基地[J].干旱区研究,2010,27(1):1-5.
[13] 李娟,韩霁昌,张扬,等.不同覆土厚度对裸岩石砾地土壤理化性状和冬小麦产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(12):5312-5314,5341.
[14] 李娟,张扬,韩霁昌,等.不同覆土厚度对裸岩石砾地土壤化学性状和春玉米产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(5):2037-2039,2060.
[15] 刘会平,严家平,樊雯.不同覆土厚度的煤矸石充填复垦区土壤生产力评价[J].能源环境保护,2010,24(1):52-56.
[16] 王泽宇. 内蒙古霍林河南露天煤矿复垦区土壤理化性质的研究[D]. 内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
[17] 雷建容,莫太相,李孝东,等.川中丘陵区土壤有机质与全氮关系研究[J]. 西南农业学报,2013,26(2):663-666.
[18] 袁子茹,任灵,陈建纲,等.祁连山不同草地类型土壤有机质与全氮分布的关系[J].草原与草坪,2016,36(3):12-16.
[19] 李菊梅,王朝辉,李生秀.有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J].土壤学报,2003,40(2):232-238.
[20] 李燕丽,潘贤章,王昌昆,等.广西中南部耕地土壤有机质和全氮变化的遥感监测[J].生态学报,2014,34(18):5283-5291.
[21] 石岩,位东斌,于振文,等.土层厚度对旱地小麦氮素分配利用及产量的影响[J].土壤学报,2001,38(1):128-130.
[22] 朱波,况福虹,高美荣,等.土层厚度对紫色土坡地生产力的影响[J].山地学报,2009,27(6):735-739.
[23] 张扬,李占斌,董起广.裸岩石砾地客土土体结构对水肥渗漏的影响[J].水土保持学报,2018,32(1):162-166,173.

(上接第26页)

[13] Ciarkowska K. Assessment of heavy metal pollution risks and enzyme activity of meadow soils in urban area under tourism load: A case study from Zakopane (Poland)[J]. Environmental Science and Pollution Research,2018,25(14):13709-13718.
[14] 邓雪倩,夏奇.践踏胁迫对低山丘陵地带森林公园土壤环境的影响[J].长春工业大学学报(自然科学版),2019,31(3):228-233.
[15] 李灵,张玉,江慧华,等.旅游干扰对武夷山风景区土壤质量的影响[J].水土保持研究,2009,16(6):56-62.
[16] 晋秀龙,陆林.旅游生态学研究方法评述[J].生态学报,2008,28(5):2343-2356.
[17] 中国城市规划设计研究院.桂林漓江风景名胜区总体规划[Z].2011.
[18] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000.
[19] 张甘霖,龚子同.土壤调查实验室分析方法[M].北京:科学出版社,2012.
[20] 文红.在森林文化的导引下管理森林旅游生态环境[J].江西农业大学学报(社会科学版),2005(2):147-150.
[21] 张广海,刘佳.旅游环境承载力研究进展[J].生态经济,2008(5):81-83,90.
[22] 刘飞,李柯青,项清,等. 基于大数据分析的旅游景点承载力模型设计[J]. 现代电子技术,2018,41(12):52-55.
[23] 唐昱,邢家仲,赵文清,等.土壤改良技术的措施探析[J].现代园艺,2015(15):66-67.