

# 西北风蚀区种植甘草对农田土壤质地及碳、氮含量的影响

李昂<sup>1</sup>, 张鸣<sup>1</sup>, 陈映全<sup>1</sup>, 孙海丽<sup>1</sup>, 吴应珍<sup>2</sup>, 闫立本<sup>3</sup>

(1. 兰州城市学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学, 兰州 730070; 3. 甘肃酒泉科技示范农场, 甘肃 酒泉 735000)

**摘要:** 为了探讨种植甘草(*Glycyrrhiza Uralensis*)对农田风蚀、土壤质地及碳、氮含量的影响, 试验以甘草和其下部土壤为研究对象, 通过测定不同生长年限甘草植被的盖度、高度、地上生物量和土壤表层(0—5 cm)的风蚀量、质地及有机碳、全氮含量, 来探索甘草植被性状特征对土壤质地和碳、氮含量的影响以及它们之间的数量关系。结果表明, 随着甘草生长年限的增加, 甘草植被的盖度、高度、生物量和土壤表层的黏粉粒、极细沙、有机碳、全氮含量呈显著提高趋势, 而地表风蚀量呈显著减小趋势( $P < 0.05$ ); 相关分析显示, 甘草植被的盖度、高度、生物量与表层土壤中的黏粉粒、极细沙、有机碳、全氮含量间表现出极显著的正相关关系( $P < 0.01$ ); 回归分析显示, 当甘草植被的地表生物量每提高 1 g, 可使表层土壤中的黏粉粒含量提高 0.048 9%, 土壤有机碳、全氮含量提高 0.012 g/kg 和 0.001 1 g/kg; 当耕地表层土壤中的黏粉粒含量每提高 1%, 可使土壤有机碳、全氮含量提高 0.220 3 g/kg 和 0.018 5 g/kg。西北风蚀区农田若种植甘草, 可减弱耕地表层风蚀危害, 提高表层土壤中的细小颗粒物比例和土壤有机碳、氮含量, 有利于土壤肥力的恢复和改善。

**关键词:** 植被覆盖; 风蚀; 土壤质地; 土壤养分; 甘草

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2016)05-0286-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2016.05.047

## Effects of *Glycyrrhiza Uralensis* Plantation on Soil Texture and Contents of soil Carbon and Nitrogen in Wind Erosion Region of Northwest China

LI Ang<sup>1</sup>, ZHANG Ming<sup>1</sup>, CHEN Yingquan<sup>1</sup>, SUN Haili<sup>1</sup>, WU Yingzhen<sup>2</sup>, YAN Liben<sup>3</sup>

(1. Lanzhou City University, Lanzhou 730070; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070;

3. Jiuquan science demonstration farm in Gansu Province, Jiuquan, Gansu 735000)

**Abstract:** To explore effects of liquorice(*Glycyrrhiza Uralensis*) plantation on soil erosion, texture and contents of organic carbon(OC) and total nitrogen(TN) through measuring vegetation coverage, height above-ground biomass and topsoil(0—5 cm) erosion, texture, nutrient conservation under cover, analysis was done of the liquorice vegetation for characteristic indices and of the topsoil texture and nutrients. Results showed that with the liquorice vegetation growing on, coverage, height and biomass of the vegetation, and silt + clay, very fine sands, OC and TN in the topsoil all significantly increased, while wind erosion significantly decreased( $P < 0.05$ ). Correlation analysis indicated that characteristic indices were significantly and positively related to soil silt + clay, very fine sands, OC and TN contents( $P < 0.01$ ). Regression analysis demonstrated that for every 1 g of increase in biomass, the content silt + clay, OC and TN in topsoil increased 0.048 9%, 0.012 g/kg and 0.001 1 g/kg; for every 1% of increase in topsoil silt + clay, the content of OC and TN increased 0.220 3 g/kg and 0.018 5 g/kg, respectively. Obviously, the adoption of practice of planting liquorice on farmland of wind erosion of Northwest China, may reduce wind erosion of the surface soil, and increase the amount of fine particulate matter and hence content of OC and TN, and soil fertility could be recovered and improved.

**Keywords:** vegetation coverage; erosion; soil texture; soil nutrient; *Glycyrrhiza Uralensis*

西北地区气候干旱、降雨稀少、植被稀疏,加之冬季、春季又多风,致使浮尘、扬沙等自然灾害频繁发

生<sup>[1]</sup>。近期农业部发布的研究报告也显示,北方农田是我国沙尘暴尘源的主要来源地<sup>[2]</sup>。如李昂等<sup>[3]</sup>研

收稿日期: 2016-04-28

资助项目: 国家自然科学基金项目(31560185); 兰州城市学院校长科研创新基金项目(LZCU-XZ2014-02)

第一作者: 李昂(1969—), 男, 博士, 副教授, 主要从事退化环境的恢复和治理研究。E-mail: liang@lzcw.edu.cn

通信作者: 吴应珍(1972—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事退化环境的恢复制度建设研究。E-mail: wuyz@gsau.edu.cn

究甘肃酒泉地区农田风蚀时发现,农田风蚀表现出秋季较大、冬季较小、春季又增强的“U”形曲线模式。风蚀不仅破坏地表土壤,影响生态环境,而且还造成表土细小颗粒物的流失和土壤养分的损失<sup>[4]</sup>。鉴于此,预防和降低农田风蚀就成了环境保护和农业科技工作者关注的热点问题。

在风蚀过程中,土壤中的细小颗粒首先被选择性地移除,从而造成表土粗化。如 Li 等<sup>[5]</sup>研究发现,土壤中最易受风侵蚀的是粒径 $<50\ \mu\text{m}$ 的黏粉粒和 $50\sim 125\ \mu\text{m}$ 的极细沙;Yan 等<sup>[6]</sup>研究发现,内蒙古自治区过牧草地和农田经过 24 年的风蚀,表土中的粗砂含量提高近 0.3 倍和 0.5 倍;苏永中等<sup>[7]</sup>研究发现,科尔沁旱作农田周边沙质草地一旦被开垦,3~5 年就可使农田表土中的细小颗粒物减少 5%~15%。许多研究显示,种植林、灌、草等植物,不仅能降低土壤的风蚀危害,而且还能提高土壤的养分含量。如王学芳等<sup>[4]</sup>研究表明,种植冬油菜不仅能提高耕地的抗风蚀能力,而且还能提高农田的蓄水保肥能力;秦红灵等<sup>[8]</sup>研究发现,麦田留茬免耕不仅可降低农田风蚀危害,而且还能增加耕地表土层的有机质、全氮、有效磷、钾含量。尽管有关植被覆盖对土壤质地及养分影响方面的研究已有很多文献报道<sup>[9-12]</sup>,但有关植被性状特征与土壤质地、养分间的定量关系,以及土壤质地和养分受哪些植被性状影响最明显却鲜有文献报道。

为此,本研究以甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) 植被和其下部土壤为研究对象,通过采用空间替代时间的研究方法,比较不同生长年限甘草植被的盖度、高度、地上生物量和其下部表土层的风蚀量、土壤质地及有机碳、全氮含量间的差异,来揭示该区甘草植被性状特征与农田表土质地及有机碳、全氮含量间的相互关系,旨在为西北风蚀区预防耕地风蚀、改善土壤肥力提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于甘肃酒泉清水镇的酒泉科技示范农场,该地气候属温带干旱型气候类型,这里年均温度 $8.2\ ^\circ\text{C}$ ,日照时数 $\geq 3\ 288\ \text{h}$ ,自然降水量年均 $83\ \text{mm}$ ,蒸发量年均 $2\ 511\ \text{mm}$ ,年干燥指数 $>4$ ,大风天数年均 $17\ \text{d}$ ,最大风速可达 $21\ \text{m/s}$ ,沙尘暴天数年均 $14.7\ \text{d}$ ,土壤类型为棕漠土和风沙土<sup>[13]</sup>。

### 1.2 试验设计及测定方法

由于西北地区农业属于一年一熟区域,农作物大多春季种植、秋季收获,农田每年有近 7 个月处于空闲状态,特别是土壤解冻至作物出苗阶段,耕地表土

疏松、干燥,而此阶段又多风,极易造成农田风蚀危害<sup>[8]</sup>。鉴于试验区风蚀特点,试验采用空间序列代替时间序列的研究方法<sup>[14]</sup>,即 2012 年 8 月下旬在该农场中选取裸地(CK,前茬作物为春小麦,收割后翻耕、灭茬及平整土地后休闲)和种植甘草 1,2,3,4 a 地块各 1 块(样地 1~4),共计 5 块样地(每块样地面积约 $2\ 000\ \text{m}^2$ ),月末在每块样地中随机放置装满该样地土壤的 4 个风蚀盘;然后每隔 1 月测定 1 次风蚀盘重,以此来计算该区风蚀季节(9 月至翌年 5 月)期间每块样地表层土壤的风蚀量。2013 年 4 月 30 日在各样地中随机放置 4 个大小为 $1\ \text{m}\times 1\ \text{m}$ 的钢丝样方,并采用常规方法测定样方内甘草植被的盖度、高度和地上部分生物量(含地表凋落物)<sup>[15]</sup>;地上部分测完后在样方内采集表土层(0—5 cm)土样,带回室内用于测定土壤质地和有机碳、全氮含量。土壤质地采用筛分法和比重计法测定,土壤有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定,全氮采用半微量凯氏定氮法测定<sup>[16]</sup>。

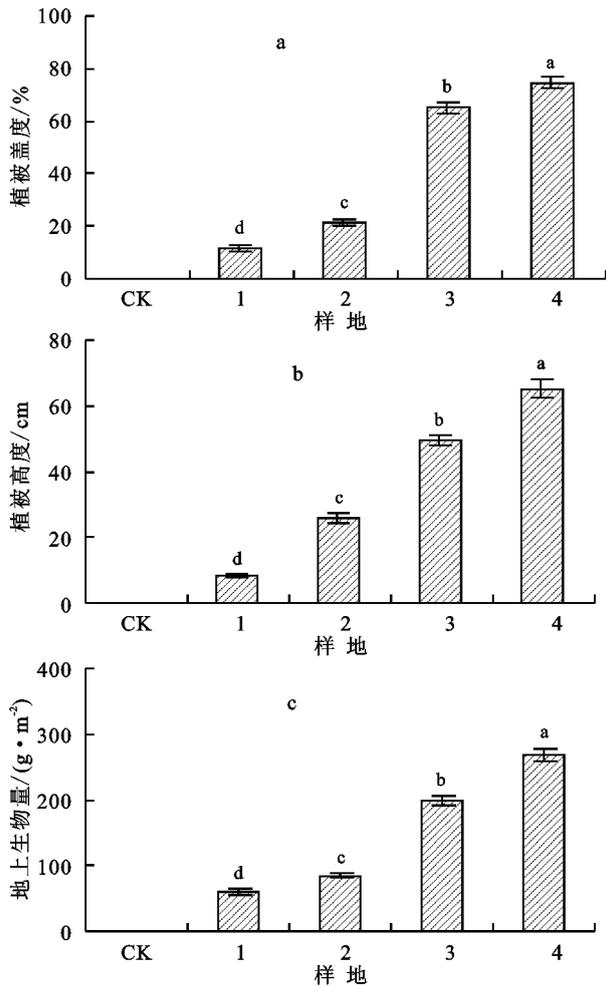
### 1.3 数据处理

试验测得数据采用 SPSS15 统计软件分析处理,即各指标分别进行单因素方差分析;若方差分析差异显著再用 S-N-K 法进行多重比较;各指标间相关分析采用 Pearson 法,其显著性采用双尾检测<sup>[3,14]</sup>。文中图表采用 Excel2003 软件制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生长年限甘草植被盖度、高度和地上生物量的差异

就植被盖度而言(图 1a),甘草生长 1 a 后的盖度最小,仅为 11.4%,生长 2~4 a 后盖度分别为 21.4%,65%和 74.5%,比 1 a 的盖度提高近 88%,473%和 556%;甘草植被的盖度随着种植年限的增加呈升高趋势;进一步方差分析显示,不同生长年限甘草植被的盖度间差异显著( $P<0.05$ )。由图 1b 显示,甘草生长 1 a 后的高度最小,仅为 8.1 cm,生长 2~4 a 后的高度分别比 1 a 的高度提高近 2.2,5.1,7.0 倍;随着生长年限的增加,甘草植被的高度呈提高趋势;方差分析同样显示,不同年际间甘草植被的高度具有显著差异( $P<0.05$ )。就地上部分生物量而言(图 1c),甘草生长 4 a 后的量最大,达 $268.6\ \text{g/m}^2$ ,而生长 3,2,1 a 后的量分别为 $198.5\ \text{g/m}^2$ , $84.6\ \text{g/m}^2$ , $59.9\ \text{g/m}^2$ ,分别比 4 a 的减少近 26%,69%和 78%;甘草地上部分的生物量随着甘草种植年限的减少呈明显降低趋势;方差分析同样显示,地上生物量在年际间存在显著差异( $P<0.05$ )。



注:图中横坐标轴上字母和数字分别代表,CK:裸地;1~4:甘草生长1~4 a样地。下同。

图1 不同样地甘草植被的性状特征

## 2.2 不同生长年限甘草植被下方土壤风蚀量的差异

就整个风蚀季节(9月至翌年5月)地表土壤风蚀量而言(图2),裸地表层土壤风蚀最为严重,表土细小颗粒物损失达 $21.15 \text{ kg/m}^2$ ,而种植甘草样地地表风蚀相对较轻,甘草生长1~4 a样地地表风蚀量分别为 $19.15, 13.41, 5.41, 4.72 \text{ kg/m}^2$ ,比裸地减少 $10.8\%, 36.6\%, 74.5\%, 77.8\%$ ;从抑制地表土壤风蚀来看,随着甘草生长年限的增加,土壤表层细小颗粒损失量呈减小趋势;进一步方差分析显示,除甘草生长3 a和4 a样地间风蚀量表现为不显著的差异外,其余不同处理间的风蚀量存在显著差异( $P < 0.05$ )。

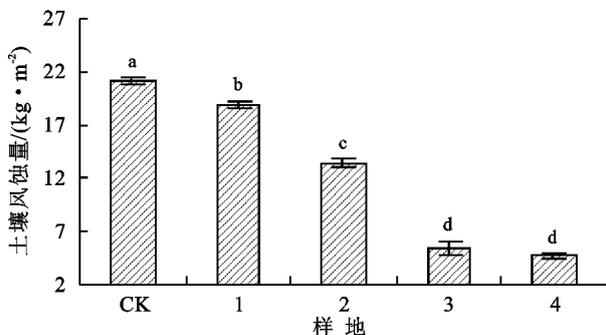


图2 不同样地甘草植被下方土壤的风蚀量

## 2.3 不同生长年限甘草植被下方土壤质地的差异

由图3可以看出,对于不同处理的表层土壤而言,粒径 $0.05 \sim 0.3 \text{ mm}$ 范围的细小颗粒所占比例均较高,而粒径 $< 0.05 \text{ mm}$ 和 $> 0.3 \text{ mm}$ 范围的所占比例相对较低;对于粒径 $0.002 \sim 0.05 \text{ mm}$ , $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 和 $0.1 \sim 0.15 \text{ mm}$ 范围的细小颗粒,不同处理所占比例由大到小顺序均为:甘草生长4 a样地>甘草生长3 a样地>甘草生长2 a样地>甘草生长1 a样地>裸地,而对于粒径在 $0.3 \sim 0.56 \text{ mm}$ , $0.56 \sim 1.25 \text{ mm}$ , $1.25 \sim 2 \text{ mm}$ 和 $> 2 \text{ mm}$ 范围的粗颗粒物,不同处理所占比例的大小顺序正好与之相反。就土壤表层易风蚀的黏粉粒( $< 0.05 \text{ mm}$ )而言(图4a),裸地表层土壤中仅占 $5.84\%$ ,而甘草生长1~4 a样地中分别为 $11.89\%, 15.37\%, 16.88\%, 20.88\%$ ,比裸地提高近 $1.04, 1.63, 1.89, 2.58$ 倍,且甘草地土壤表层黏粉粒所占比例随着甘草生长年限的增加呈升高趋势;进一步方差分析显示,除甘草生长2 a和3 a样地间的黏粉粒含量差异不显著外,其余不同年际间的黏粉粒含量均存在显著差异( $P < 0.05$ )。就易风蚀的极细沙( $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ )而言(图4b),裸地地表仍为最低( $10.9\%$ ),而甘草生长1~4 a样地地表的极细沙含量分别比裸地提高近 $0.60, 0.94, 1.03, 0.90$ 倍,同样随着甘草生长年限的增加,土壤表层的极细沙含量呈升高趋势;方差分析显示,除裸地与甘草地间及甘草生长1 a与3 a年样地间的极细沙含量差异显著外( $P < 0.05$ ),其余均差异不显著。

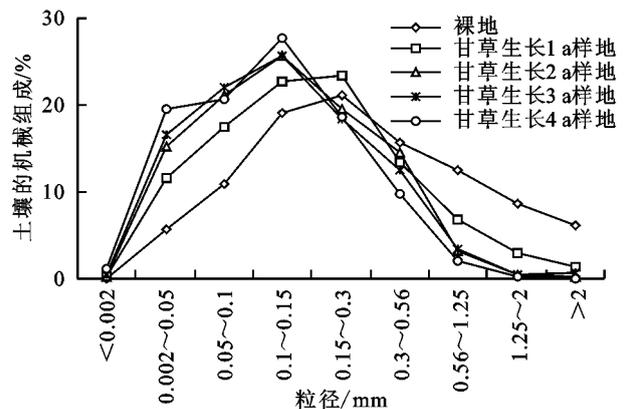


图3 不同样地表层土壤(0~5 cm)土壤质地的变化

## 2.4 不同生长年限甘草植被下方土壤表层中碳、氮含量的差异

对于土壤有机碳而言(图5a),耕地裸露一个风蚀季节后,土壤表层中的有机碳含量仅为 $2.11 \text{ g/kg}$ ,而甘草地表层土壤中的有机碳含量均比裸地高,甘草生长1~4 a地表土壤中的有机碳含量分别为 $3.41, 4.44, 4.94, 5.75 \text{ g/kg}$ ,比裸地提高近 $0.62, 1.11, 1.34, 1.75$ 倍,从整个趋势看,甘草地表层土壤中的有机碳含量随着甘草生长年限的增加呈升高趋

势;进一步方差分析显示,除甘草生长2 a和3 a耕地间的土壤有机碳含量差异不显著外,其余不同年际间均差异显著( $P<0.05$ )。对于土壤全氮含量而言(图5b),种植甘草耕地表层中的全氮含量同样比裸地高,甘草种植4~1 a耕地地表的全氮含量分别为

0.52,0.44,0.37,0.29 g/kg,比裸地提高近148%,110%,76%,38%,即甘草地表层土壤中的全氮含量随着种植年限的减少呈降低趋势;方差分析同样显示,不同处理间表层土壤的全氮含量均存在显著差异( $P<0.05$ )。

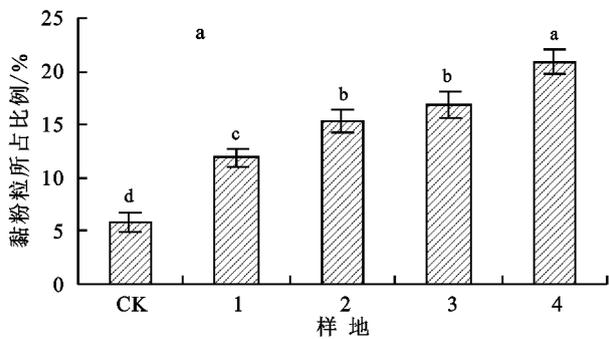


图4 不同样地表层土壤(0-5 cm)中黏粉粒和极细沙所占比例

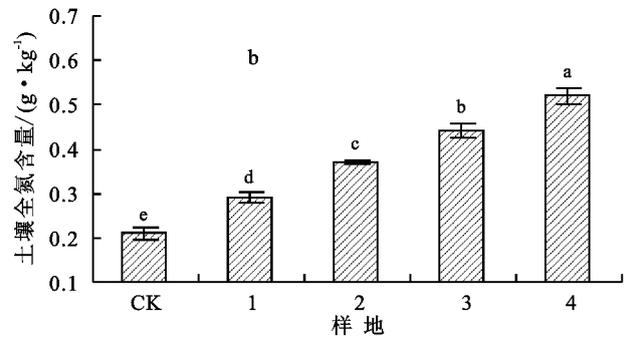
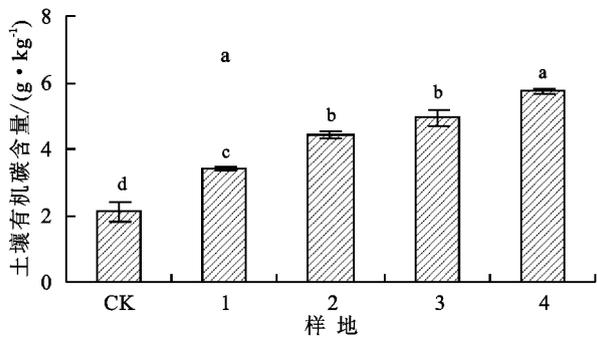
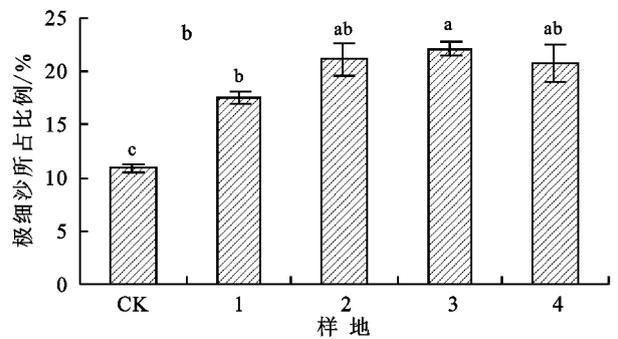


图5 不同样地表层土壤(0-5 cm)中的碳、氮含量

2.5 甘草植被特征指标与土壤理化指标间的定量关系

相关分析显示(表1),甘草植被的盖度、高度、地上生物量间均存在极显著的正相关关系( $P<0.01$ ),其中盖度与地上生物量间相关性最强、达0.982。对于地表风蚀量而言,它与甘草植被特征指标间均表现出极显著的负相关性( $P<0.01$ ),其中盖度和高度与风蚀量间的相关性较强。就土壤黏粉粒与极细沙含量而言,它们与植被特征指标间均呈正相关关系,其中黏粉粒与植被性状间的相关性强于极细沙与植被性状间的相关性,黏粉粒与地上生物量间的相关系数最大( $R=0.892$ );而它们与风蚀量间均表现出极显著的负相关关系。对于表层土壤中的有机碳、氮含量而言,它们与植被特征指标间均呈正相关

关系,其中有机碳含量与植被高度间相关系数最大,全氮含量与地上生物量间相关性最强;它们与黏粉粒与极细沙含量间均表现为正相关性,其中有机碳、氮含量与黏粉粒间相关系数较大;相反,它们与风蚀量间同样都表现为负相关关系。进一步回归分析显示(表2),甘草地上生物量每提高1 g,可使地表土壤黏粉粒含量提高0.048 9%,土壤有机碳含量提高0.012 g/kg,全氮含量提高0.001 1g/kg;当地表土壤中黏粉粒含量( $x$ )提高1%,可使土壤有机碳和全氮含量分别提高0.220 3 g/kg和0.018 5 g/kg( $y=0.2203x+1.0061, R^2=0.8305; y=0.0185x+0.1016, R^2=0.8256$ );以上数量关系的决定系数均在80%以上。

表1 不同因素间的相关关系

指标	盖度	高度	地上生物量	风蚀量	黏粉粒含量	极细沙含量	有机碳含量	全氮含量
盖度	1	0.978**	0.982**	-0.977**	0.843**	0.666**	0.886**	0.927**
高度		1	0.974**	-0.977**	0.880**	0.691**	0.910**	0.944**
地上生物量			1	-0.958**	0.892**	0.674**	0.905**	0.949**
风蚀量				1	-0.870**	-0.744**	-0.911**	-0.946**
黏粉粒含量					1	0.747**	0.911**	0.909**
极细沙含量						1	0.793**	0.764**
有机碳含量							1	0.949**
全氮含量								1

注: \*\*表示不同因素间的相关性在0.01水平上是显著的,样本数n=20。

表 2 植被特征指标与土壤理化指标间的数量关系

指标	盖度/%		高度/cm		地上生物量/g	
	拟合方程	R <sup>2</sup>	拟合方程	R <sup>2</sup>	拟合方程	R <sup>2</sup>
黏粉粒含量(%)	$y=0.1518x+8.9411$	0.7104	$y=0.1915x+8.4743$	0.774	$y=0.0489x+8.1825$	0.7949
土壤有机碳含量(g/kg)	$y=0.0386x+2.7989$	0.7852	$y=0.0479x+2.7034$	0.8284	$y=0.012x+2.6584$	0.8193
土壤全氮含量(g/kg)	$y=0.0034x+0.2466$	0.8586	$y=0.0042x+0.2392$	0.8914	$y=0.0011x+0.2338$	0.9011

### 3 讨论与结论

土壤作为农业生态系统的基础,承载着农作物的生长,并对生态环境起着重要作用。随着西北地区人口增加,过牧、过垦和过度樵采导致土地不断退化风蚀,面临的人口—资源—环境问题愈来愈严重。在风蚀过程中,土壤中的细小颗粒首先被移除。如苏永中等<sup>[7]</sup>在研究农田风蚀沙化时发现,农田中部的黏粉粒和极细沙含量明显高于农田边缘;即农田风蚀不仅吹蚀粘粉粒,而且也吹蚀极细沙颗粒。本研究也显示,甘草植被下方表土层中的细小颗粒(<0.15 mm)所占比例明显高于裸地;进一步对易蚀颗粒物分析显示,甘草地中的黏粉粒和极细沙含量显著高于裸地,并随着甘草生长年限的增加呈升高趋势。针对植被对土壤质地的影响,Yan 等<sup>[17]</sup>仅研究了植被盖度对土壤质地的影响,而本实验对甘草植被的盖度、高度、地上生物量与其下部土壤易蚀颗粒物间的关系都进行了相关分析,发现植被的地上生物量、高度分别与表土中的黏粉粒、极细沙含量间相关性较强;进一步回归分析还发现,甘草植被的地上生物量每提高 1 g,可使地表土壤中的黏粉粒含量提高 0.048 9%。造成这种结果的原因可能是:地上植被量的增大降低了表土中风蚀作用移除的细小颗粒物量,同时也提高了截获外来风蚀物的机率;另外,植被根系的释放物质对土壤颗粒的理化作用等因素,也导致植被覆盖区域表层土壤的细小颗粒物呈提高趋势<sup>[1,3,18,19]</sup>。

许多研究发现,地表植被对土壤养分也有显著影响。如熊好琴等<sup>[20]</sup>研究发现,围栏禁牧 16 a 可使 0—5 cm 土层中的有机碳含量提高 231%;彭佳佳等<sup>[21]</sup>研究发现,生态修复 8 a 可使沙化草地中的土壤有机质、全氮和碱解氮含量分别提高近 96%,100% 和 51%。本研究结果显示,甘草地表土中的有机碳、全氮含量均比裸地高,并随着甘草种植年限的增加呈显著升高趋势;甘草植被的地上生物量每提高 1 g,可使地表土壤中的有机碳含量提高 0.012 g/kg,全氮含量提高 0.001 1 g/kg。

以往研究表明,土壤细小颗粒物含量的提高一方面可改善土壤质地,另一方面还可提高土壤养分,从而使退化土壤系统得到改善和恢复。如苏永中等<sup>[22]</sup>研究表明,黏粉粒中所含的有机碳和全氮养分是粗沙组分中的 6.7 倍和 5.7 倍,是极细沙组分中的 4.5 倍和 4.1 倍;当耕地表土中的黏粉粒降低 1%,将使土壤中

的有机质、全氮含量降低 0.259,0.016 4 g/kg<sup>[8]</sup>;Yan 等<sup>[17]</sup>研究也发现,黏粉粒提高 1%,可使土壤中的有机碳、全氮含量提高 0.47,0.05 g/kg。本实验结果也显示,当地表土壤中的黏粉粒含量每提高 1%,将使土壤中的有机碳、全氮含量提高 0.220 3,0.018 5 g/kg,以上结果与 Yan 等<sup>[17]</sup>和苏永中等<sup>[22]</sup>的研究结果相一致。地表植被增加导致表层土壤中的有机碳、全氮含量提高,原因可能是:随着地表植被量的增多,大大降低了表土的风蚀危害,从而减少了表层土壤中细小颗粒物的流失量,相应地也降低了土壤有机碳、氮含量的损失;另外,大量枯枝落叶归还土壤也增加了土壤中的有机碳和氮含量<sup>[7,12,17]</sup>。

综上所述,甘草植被可减轻其下部土壤的风蚀危害,并对土壤质地和有机碳、氮含量产生显著影响;西北风蚀区若种植甘草,可减弱耕地表层的风蚀危害,提高表层土壤中的较小颗粒物比例和土壤有机碳、氮含量,有利于土壤肥力的恢复和改善。

#### 参考文献:

- [1] 王学芳,孙万仓,李孝泽,等.我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J].生态学报,2009,29(12):6572-6577.
- [2] 中国农业部.我国出现沙尘暴的尘源主要来自农田[EB/OL].(2008-07-30)[2014-09-05].<http://www.chinanews.com/gn/news/2008/07-30/1329140.shtml>.
- [3] 李昂,高天鹏,张鸣,等.西北风蚀区植被覆盖对土壤风蚀动态的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):210-223.
- [4] 王学芳,孙万仓,李芳,等.中国西部冬油菜种植的生态效应评价[J].应用生态学报,2009,20(3):647-652.
- [5] Li J R, Okin G S, Epstein H E. Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of windblown sediments [J]. Journal of geophysical research, 2009, 114(G2): 157-163.
- [6] Yan Y C, Tang H P, Zhang X S, et al. Probe on grassland wind erosion based on the analysis of soil particle size [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30: 1263-1268.
- [7] 苏永中,赵哈林,张铜会,等.科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征[J].水土保持学报,2002,16(1):25-28.
- [8] 秦红灵,高旺盛,马月存,等.免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响[J].生态学报,2007,27(9):3778-3784.
- [9] 黄高宝,于爱忠,郭清毅,等.甘肃河西冬小麦保护性耕作对土壤风蚀影响的风洞试验研究[J].土壤学报,2007,44(6):968-973.