

DOI: 10.20103/j.stxb.202403240600

刘星雨, 谢雷雷, 刘刚, 师立鹏, 李伟珍, 谷会岩, 王秀伟. 典型黑土区杨树水土保持林带对耕地土壤抗侵蚀能力的影响. 生态学报, 2024, 44(24): 11286-11294.

Liu X Y, Xie L L, Liu G, Shi L P, Li W Z, Gu H Y, Wang X W. Effect of poplar soil and water conservation shelterbelt on soil erosion resistance of cultivated land in typical black soil area. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(24): 11286-11294.

典型黑土区杨树水土保持林带对耕地土壤抗侵蚀能力的影响

刘星雨^{1,3}, 谢雷雷¹, 刘刚¹, 师立鹏¹, 李伟珍¹, 谷会岩¹, 王秀伟^{1,2,*}

¹ 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040

² 森林生态系统可持续经营教育部重点实验室(东北林业大学), 哈尔滨 150040

³ 黑龙江省科学院大庆分院, 大庆 163319

摘要: 土壤抗侵蚀能力是反映土壤质量的重要指标, 探明典型黑土区不同地点杨树水土保持林带对耕地土壤抗蚀性的差异及其影响因素, 为黑土区耕地退化和杨树水土保持效益评价提供科学参考。以典型黑土区杨树水土保持林带下的坡耕地土壤为研究对象, 并以无林带防护的坡耕地土壤为对照, 分别在黑土区内的辽源市、宾县和克山县采集土样, 测定其理化性质及抗蚀性特征, 比较不同地点有林带和无林带防护间耕地土壤理化性质和抗蚀性的差异, 并进一步探明土壤理化性质与土壤抗蚀性的相互关系。结果表明: 相较于无林带防护的耕地, 有林带防护的耕地土壤抗蚀性增强。土壤分散率介于 46.27%—73.12%, >0.25 mm 水稳性团聚体含量 ($R_{0.25}$) 介于 14.02%—37.49%, 林带下耕地土壤分散率显著低于无林带耕地, $R_{0.25}$ 显著高于无林带耕地 ($P < 0.05$), 而有无林带间土壤抗蚀指数差异不显著 ($P > 0.05$)。不同地点间耕地土壤理化性质和抗蚀性差异显著 ($P < 0.05$)。随着纬度的升高, 杨树水土保持林带防护下耕地土壤抗蚀性增强。冗余分析结果显示抗蚀指数与年降水量、年均温度、pH、有机质、全氮、全磷含量显著相关; 分散率与年降水量、年均温度、总孔隙度显著相关; $R_{0.25}$ 与年降水量、年均温度、总孔隙度、全氮和全磷显著相关 ($P < 0.05$)。应用主成分分析对 10 项土壤因子进行筛选, 可知土壤容重 (因子载荷量为 -0.689)、饱和持水量含量 (0.684)、总孔隙度 (0.689)、有机质 (0.649)、全氮 (0.676)、全磷 (0.619)、抗蚀指数 (0.64) 是评价黑土区杨树林带下耕地土壤抗蚀性强弱的关键指标。黑土区耕地土壤经林带防护后, 土壤抗侵蚀能力得到明显提升, 且纬度升高, 杨树水土保持林带防护下耕地土壤抗蚀性增强。

关键词: 黑土区; 林带; 耕地; 土壤抗蚀性; 土壤理化性质

Effect of poplar soil and water conservation shelterbelt on soil erosion resistance of cultivated land in typical black soil area

LIU Xingyu^{1,3}, XIE Leilei¹, LIU Gang¹, SHI Lipeng¹, LI Weizhen¹, GU Huiyan¹, WANG Xiuwei^{1,2,*}

¹ School of Forestry Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

² Key Laboratory of Sustainable Forest Ecosystem Management-Ministry of Education (Northeast Forestry University), Harbin 150040, China

³ Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing 163319, China

Abstract: Soil erosion resistance is an important index to reflect soil quality. We aim to investigate the differences in soil erosion resistance and their influencing factors of cultivated land protected by poplar shelterbelts at different locations in typical black soil areas, providing scientific references for the evaluation of cultivated land degradation and poplar soil and water conservation benefits in black soil areas. The study focuses on the soil of slope farmland protected by poplar

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2021YFD1500705)

收稿日期: 2024-03-24; 采用日期: 2024-10-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxgreat@nefu.edu.cn

shelterbelts in a typical black soil region, comparing it with unprotected slope farmland. Soil samples were collected from Liaoyuan City, Bin County, and Keshan County within the black soil region, and their physicochemical properties and soil erosion resistance characteristics were measured. In order to compare the differences in physicochemical properties and soil erosion resistance between cultivated land with and without shelterbelts at different locations, the study further clarifies the relationship between soil physicochemical properties and soil erosion resistance. The results show that compared to cultivated land without shelterbelt protection, the soil erosion resistance of cultivated land with shelterbelt protection is enhanced. The soil dispersion rate ranges from 46.27% to 73.12%, and the content of water-stable aggregates larger than 0.25 mm ($R_{0.25}$) ranges from 14.02% to 37.49%. The soil dispersion rate of farmland under the shelterbelt is significantly lower than that of farmland without shelterbelt, and the $R_{0.25}$ is significantly higher than that of farmland without a shelterbelt ($P < 0.05$). However, there is no significant difference in the soil erosion resistance index between farmland with and without a shelterbelt ($P > 0.05$). There are significant differences in the physicochemical properties and soil erosion resistance of cultivated land among different locations ($P < 0.05$). With the increase in latitude, the soil erosion resistance of cultivated land protected by poplar shelterbelts for soil and water conservation is enhanced. The results of redundancy analysis showed that the soil erosion resistance index was significantly correlated with annual precipitation, annual average temperature, pH, organic matter, total nitrogen, and total phosphorus content; the soil dispersion rate was significantly correlated with annual precipitation, annual average temperature, and total porosity; and $R_{0.25}$ was significantly correlated with annual precipitation, annual average temperature, total porosity, total nitrogen, and total phosphorus ($P < 0.05$). Through the application of principal component analysis to screen 10 soil factors, it can be seen that soil bulk density (factor loading of -0.689), saturated water content (0.684), total porosity (0.689), organic matter (0.649), total nitrogen (0.676), total phosphorus (0.619), and soil erosion resistance index (0.64) are the key indicators for evaluating the soil erosion resistance of cultivated land under poplar shelterbelts in black soil areas. After the protection of cultivated land in black soil areas by shelterbelts, the soil erosion resistance has been significantly improved, and with the increase in latitude, the soil erosion resistance of cultivated land under the protection of poplar shelterbelts has been enhanced.

Key Words: black soil area; shelterbelt; cultivated land; soil erosion resistance; soil physical and chemical properties

东北典型黑土区由于土壤肥沃、气候适宜且耕地广阔,成为我国重要的商品粮生产基地^[1]。黑土区耕地多为山前波状起伏及漫岗地,具有坡缓、坡长的特点,耕地平整度较差,坡度一般在 3° — 8° ^[2]。近些年来,由于长期的过度开发和不合理的土地利用,东北黑土区的生态环境遭受到了严重的破坏。据统计,约 27% 的黑土区遭受到了不同程度的侵蚀^[2]。其中,坡耕地更是成为了土壤侵蚀的重灾区,侵蚀类型复杂、侵蚀面积大、土壤抗蚀性差^[3,4]。土壤侵蚀不仅降低了土壤肥力,造成土壤质量退化,而且对生态环境有着极大的破坏作用,严重影响了当地经济文化的可持续发展^[5]。

土壤侵蚀的成因十分复杂,一般认为是多种因素共同作用的结果,但大致可分为外部因素和内部因素。外部因素如风力、水流和冻融等自然条件^[2],内部因素如土壤营养成分、颗粒组成、团聚体大小等也会影响土壤的抗侵蚀能力^[6,7]。已有研究表明,土壤抗蚀性通常使用抗蚀指数、分散率和水稳性团聚体含量等指标量化,与土壤理化性质密切相关^[8-9]。研究土壤抗蚀性对于黑土区防治土壤侵蚀有着关键作用。水土保持林带是黑土区常用的防治土壤侵蚀、减少水土流失的生物措施,关系着整个黑土平原区农田生态系统的水土流失和粮食安全^[3]。此外,坡耕地布置防护林带不仅能有效减少来自上坡的产沙量,而且能有效阻断径流中土壤养分向下坡的运移,减少耕地水土流失^[10]。近些年来,国内学者从不同角度探究了水土保持林带对土壤抗蚀性的影响,但大多集中在不同树种、林龄、密度的水土保持林的防护效果^[9,11]。然而,东北典型黑土区内大尺度范围下水土保持林带对耕地土壤抗侵蚀能力影响的研究相对较少。此外,由于不同地点的气候条件差异,不同地点杨树水土保持林带下土壤理化性质和抗蚀性可能存在差异,需要进一步进行评价。

因此,本研究在东北典型黑土区选取了 3 个具有代表性的地点,以杨树水土保持林带下坡耕地土壤为研究对象,以无林带防护的坡耕地土壤为对照,探究了不同地点坡耕地土壤抗侵蚀能力的差异及其影响因素,为典型黑土区内耕地土壤的侵蚀阻控提供科学参考,并为科学评价杨树水土保持林带在东北典型黑土区的水土

保持效益及可持续性经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

典型黑土区属温带大陆性季风气候,四季分明,春季多风少雨,冬季严寒漫长。地貌类型以平原、漫岗和低山丘陵为主,土壤类型多样,以黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土、白浆土为主,土地利用类型多为耕地,是我国重要的粮食生产基地^[12]。本研究选取典型黑土区内辽源市、宾县和克山县为实验地点(图 1)。其中,辽源市属典型黑土区南部边缘地区,以低山丘陵地貌类型为主,坡面较缓,农业生产以种植业为主,坡耕地比例大,土壤类型有棕壤、暗棕壤、白浆土、草甸土等,年均降水量为 716 mm,年均温 4.95℃。宾县地处典型黑土区的东部边缘,以低山丘陵和漫川漫岗地貌类型为主,地势较为平缓,耕地坡度变化为 1°—8°,坡耕地面积较大。土壤类型以黑土、暗棕壤、草甸土为主,土质较为疏松,抗侵蚀能力弱^[13],年均温 3.69℃,年均降水量 561 mm。克山县位于典型黑土区北部,属于小兴安岭西南麓向松嫩平原过渡的典型黑土区核心地带,以漫川漫岗地貌类型为主,坡度多为 2°—6°,坡长且缓,主要土壤类型有黑土、黑钙土、草甸土、暗棕壤^[14],年均气温 1.84℃,年均降水量 497 mm。本研究选取辽源市、宾县和克山县为实验地点,其地貌特征在东北黑土区具有典型性,土壤类型属黑土区的主要土壤类型。实验地点均属于典型黑土区内粮食主产区,长期耕作导致土壤肥力下降,坡面径流造成的水土流失严重,耕地土壤抗侵蚀能力弱。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

黑土区耕地多为长缓坡,且平整度较差^[2],耕地上常种植的农作物有大豆(*Glycine max*)、玉米(*Zea mays*),坡面上方设置防护林带树种多为小黑杨(*Populus×xiaohei*)、落叶松(*Larix gmelinii*)。因此,2022 年 5 月,经实地调查,在辽源市、宾县、克山县分别配对选取农地施肥水平和管理措施基本相同且距离相近的一块林带下坡耕地、一块无林带坡耕地。坡度在 4°—6°之间,坡长在 200 m 左右,坡面种植作物为玉米,有林带耕地防护林树种均为生长情况相近的小黑杨,样地详细信息见表 1。该立地条件在典型黑土区具有典型性。2022 年 7 月,在 3 个地点坡耕地的同一坡向上设置采样区,已有研究表明,在典型黑土区,坡面农田防护林防控水土流失的有效距离为 120—140 m^[15],所以本研究选择坡长为 180 m 的坡面进行研究。在样地内沿坡耕

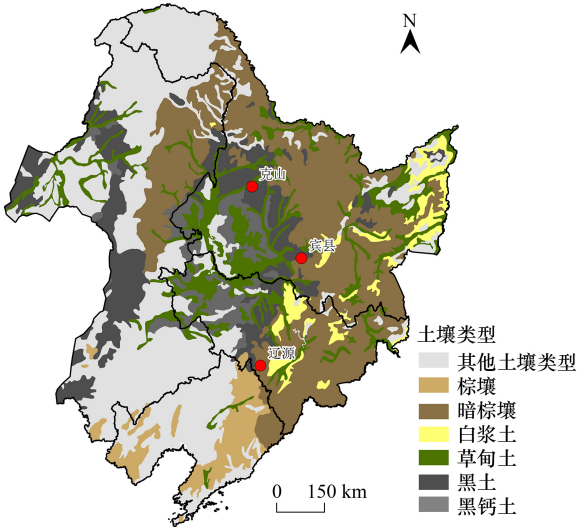


图 1 样地地理位置

Fig.1 Geographica location of the sample site

表 1 样地耕地基本情况

Table 1 Basic situation of cultivated land of sample area

地点 Site	林带树种 Tree species	平均林龄 Mean stand age/a	平均胸径 Mean DBH/cm	行间距 Line spacing/m	郁闭度 Canopy density	林带走向 Shelterbelt direction	耕地方位 Farmland orientation	平均坡度 Average slope/(°)	坡长 Slope length/m	坡面作物 Slope crop	土壤类型 Soil type
克山	小黑杨 <i>Populus×xiaohei</i>	20	40	3×4	0.8	东西走向	林带北侧	5	200	玉米 <i>Zea mays</i>	黑土
宾县	小黑杨 <i>Populus×xiaohei</i>	10	15	2×3	0.8	东西走向	林带北侧	5.9	210	玉米 <i>Zea mays</i>	暗棕壤
辽源	小黑杨 <i>Populus×xiaohei</i>	15	22	3×4	0.6	东西走向	林带北侧	5.3	190	玉米 <i>Zea mays</i>	暗棕壤

地的方向设置 3 条平行取样线,采用机械分段与自然坡位分段^[16]相结合的方法,沿采样线方向从上至下依次间隔 36 m 设置 5 个采样点(图 2)。在 3 条样线各坡位处设置采样点后,于实验样地和对照样地的取样点取 0—15 cm,15—30 cm,30—45 cm 土层土样混合装袋,将 3 条样线相同坡位的土样装袋,作为 3 个重复,共计采得土样 90 份。同时,采集原状土,共计 90 份。将所采集的土样带回实验室,剔除石块和植物根系后进行相关指标的测定。本研究供试土样土壤类型以黑土、暗棕壤为主,属于典型黑土区的主要土壤类型(表 1),土壤质地以壤土为主(美国制)(表 2),其通气透水、保水保温能力较好,是典型黑土区内较为理想的农业土壤,具有一定代表性。

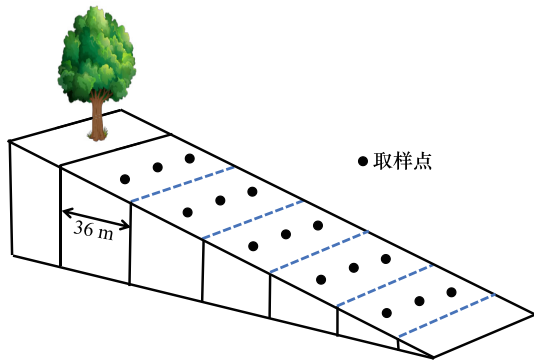


图 2 取样点布设示意图

Fig.2 Layout diagram of sampling points

表 2 供试土样基本情况

Table 2 Basic information of test soil sample

地点 Site		颗粒组成 Soil particle size distribution/%		
		砂粒 Sand	粉粒 Silt	粘粒 Clay
克山	有林耕地	31.50	36.00	32.50
	无林耕地	35.06	40.71	24.24
宾县	有林耕地	39.64	38.04	22.32
	无林耕地	39.33	36.72	23.94
辽源	有林耕地	38.66	36.69	24.64
	无林耕地	40.85	36.14	23.02

1.2.2 样品指标测定与方法

样品采回后,按照标准测样方法^[17-19]测定了土壤容重、孔隙度、持水量、团聚体(干筛团聚体:>5、2—5、0.5—2、0.25—0.5、<0.25 mm;湿筛团聚体:>5、2—5、0.5—2、0.25—0.5、<0.25 mm)、土壤 pH、土壤有机质、全氮、全磷等多个指标。此外,采用吸管法^[20]测定了土壤微团聚体分散率,公式如下:

$$DR = \frac{a}{b} \times 100\% \quad (1)$$

式中:DR 为土壤分散率(%);a 为<0.05 mm 微团聚体含量(%);b 为<0.05 mm 机械组成成分含量(%).

采用静水崩解法测定了土壤抗蚀指数,具体测定过程为:将采集的原状土在室内沿着自然结构掰成小块,风干后分别过 5 mm、10 mm 套筛,每次崩解 30 粒。将土粒均匀放到的筛网上,水面没过土粒,以 1 min 为间隔,分别记录分散土粒的数量,连续观测 10 min,其总和即为 10 min 内完成分散的土粒总数(包括半分散数)。土壤抗蚀指数计算公式如下^[8]:

$$ERI = \frac{P_j}{A} \times 100\% \quad (2)$$

式中:ERI 为土壤抗蚀指数(%); P_j 为 10 min 内没有分散的土粒数(个);A 为试验土粒总数(个)。

1.2.3 数据分析

采用 Shapiro-Wilk 对重复数据进行正态分布检验。使用独立样本 T 检验分析了有林带防护和无林带防护下耕地土壤抗蚀性和理化性质的差异。使用方差分析探究了不同地点间耕地土壤理化性质和抗蚀性的差异。使用冗余分析探究了土壤理化性质和抗蚀性间的相关性,使用主成分分析对黑土区不同地点杨树水土保持林带下耕地土壤土壤抗蚀性进行综合评价。使用 Excel 2010、SPSS 26 和 R 4.3.1 进行数据分析和绘图,文中所有的显著性均设为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 有林带防护和无林带防护耕地土壤理化性质和抗蚀性的差异

如图 3 所示,杨树水土保持林带下的耕地土壤容重和饱和持水量与对照间差异不显著($P>0.05$);总孔隙

度、pH 值和有机质在克山县与对照间差异显著,全氮含量在 3 个地点与对照间差异显著,全磷含量在宾县和克山县与对照间差异显著($P<0.05$)。其中,有林带防护的耕地土壤总孔隙度在克山县(51.44%)显著高于对照(47.61%),pH 值(4.84)和有机质(61.57 g/kg)在克山县显著低于对照(5.12,81.58 g/kg),全氮含量在辽源市和宾县(0.57 g/kg、0.99 g/kg)显著高于对照(0.46 g/kg、0.77 g/kg)、在克山县(0.94 g/kg)显著低于对照(1.25 g/kg),全磷含量在宾县(0.28 g/kg)显著高于对照(0.19 g/kg)、在克山县(0.23 g/kg)显著低于对照(0.40 g/kg) ($P<0.05$)。

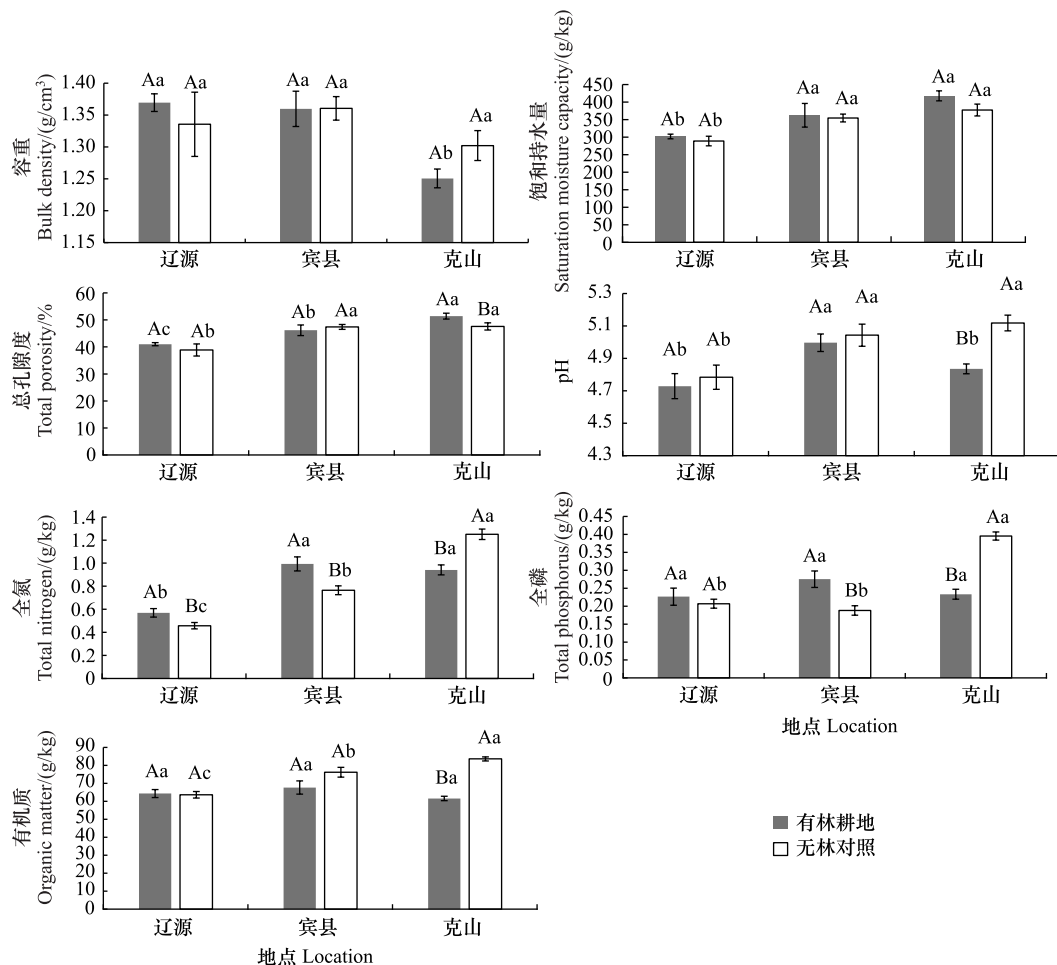


图3 不同地点有林带防护和无林带防护耕地土壤理化性质

Fig.3 Physicochemical properties of cultivated soil with and without shelterbelt protection in different locations

不同小写字母表示相同处理方式下不同地点土壤理化性质差异显著;不同大写字母表示相同地点不同处理方式土壤理化性质差异显著 ($P<0.05$)

如图4所示,杨树水土保持林带下的耕地土壤抗蚀指数与对照间差异不显著($P>0.05$),分散率在辽源市和克山县、 $R_{0.25}$ 在辽源市和宾县与对照间差异显著($P<0.05$)。其中,有林带防护的耕地土壤分散率在辽源市和克山县(62.91%、46.27%)显著低于对照(73.12%、51.26%), $R_{0.25}$ 在辽源市和宾县(19.40%、25.05%)显著高于对照(14.02%、20.13%)。

2.2 不同地点耕地土壤理化性质和抗蚀性的差异

如图3所示,杨树水土保持林带下的耕地土壤容重、饱和持水量、总孔隙度、pH、全氮含量在不同地点间差异显著($P<0.05$),土壤全磷、有机质含量在不同地点间差异不显著($P>0.05$)。其中,辽源市和宾县的耕地土壤容重(1.37 g/cm³、1.36 g/cm³)显著高于克山县(1.25 g/cm³),宾县和克山县的耕地土壤饱和持水量(362.41 g/kg、417.77 g/kg)显著高于辽源市(301.93 g/kg),3个地点间耕地土壤总孔隙度表现为克山

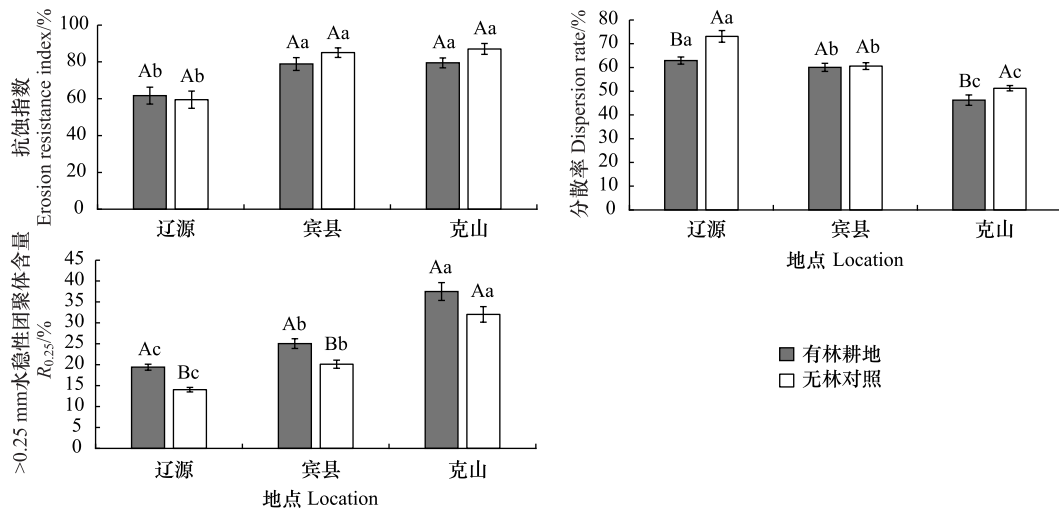


图 4 不同地点有林带防护和无林带防护耕地抗蚀性

Fig.4 Soil erosion resistance of cultivated land with and without shelterbelt protection in different sites

$R_{0.25}$: >0.25mm 水稳性团聚体含量 >0.25 mm water-stable aggregate content

(51.44%)>宾县(46.18%)>辽源市(41.01%),宾县耕地土壤 pH(5.00)显著高于辽源市(4.73)和克山(4.84),宾县和克山县的耕地土壤全氮含量(0.99 g/kg、0.94 g/kg)显著高于辽源市(0.57 g/kg) ($P<0.05$)。

如图 4 所示,杨树水土保持林带下的耕地土壤抗蚀指数、分散率和 $R_{0.25}$ 在不同地点间差异显著 ($P<0.05$)。其中,宾县和克山县的耕地土壤抗蚀指数(79.86%、79.48%)显著高于辽源市(61.70%),分散率表现为辽源市(62.91%)>宾县(60.02%)>克山县(46.27%), $R_{0.25}$ 表现为克山县(37.49%)>宾县(25.05%)>辽源市(19.40%) ($P<0.05$)。

2.3 土壤理化性质与土壤抗蚀性的冗余分析

冗余分析结果表明(图 5),土壤理化性质对土壤抗蚀性的总解释量为 42.7% ($F=10, P=0.002$)。其中,前两轴的累计解释率为 41.42% ($RDA_1: 35.07\%; RDA_2: 6.35\%$)。抗蚀指数与年降水量、年均温度和土壤 pH 值呈显著负相关,与土壤有机质、全氮、全磷呈显著正相关($P<0.05$)。分散率与年降水量和年均温度呈显著正相关,与总孔隙度呈显著负相关($P<0.05$)。>0.25 mm 水稳性团聚体含量与年降水量和年均温度呈显著负相关,与总孔隙度、全氮和全磷呈显著正相关($P<0.05$)。

2.4 不同地点土壤抗侵蚀能力的主成分分析

为了揭示不同地点杨树水土保持林带下耕地土壤抗侵蚀能力的差异以及土壤各因子对土壤抗侵蚀能力的贡献,对土壤的容重(BD)、饱和持水量(SMC)、总孔隙度(GP)、pH、有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)、抗蚀指数(ERI)、分散率(DR)和>0.25 mm 水稳性团聚体($R_{0.25}$)共 10 项因子进行主成分分析。由表 4 可知,4 个主成分累积方差贡献率达到了 77.89%,基本能反映出 3 个地点土壤抗蚀性的变异信息。第一主成分(F_1)贡献率最大(34.14%),对土壤抗侵蚀能力的影响较强, F_1 主要综合了土壤 BD、SMC、GP、OM、TN、TP、ERI 的变异信息,其中 BD 对 F_1 有逆向效应,其值越大, F_1 越小,

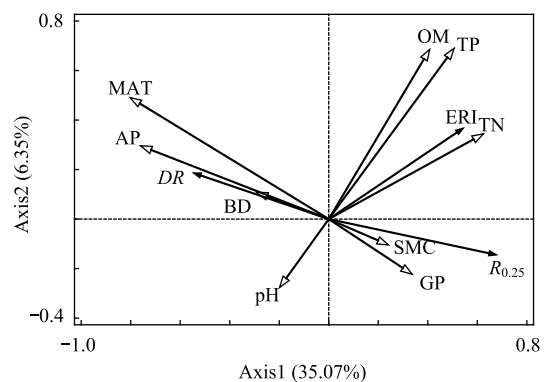


图 5 土壤理化性质和抗蚀性的 RDA 排序

Fig.5 RDA ranking of soil physicochemical properties and erosion resistance

BD: 容重 Bulk density; SMC: 饱和持水量 Saturation moisture capacity; GP: 总孔隙度 General porosity; OM: 有机质 Organic matter; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total porosity; ERI: 抗蚀指数 Erosion resistance index; DR: 分散率 Dispersion rate

土壤抗侵蚀能力越弱。第二主成分(F_2)贡献率为 22.03%,其中 SMC 和 GP 载荷较高。第三主成分(F_3)贡献率为 11.38%,主要由 DR 和 $R_{0.25}$ 决定。第四主成分(F_4)贡献率仅为 10.34%,主要由土壤 pH 决定。依据主成分综合模型,计算黑土区不同地点杨树水土保持林带下耕地土壤抗侵蚀能力的综合得分(F)(表 4),结果表明,在 3 个地点中,宾县的抗侵蚀能力综合得分最高,其次分别是克山、辽源。

表 3 主成分载荷矩阵及主成分特征

Table 3 Factor loading matrix of main composition and principal component eigenvalues

因子 Factors	F_1	F_2	F_3	F_4
容重 Bulk density	-0.689	0.562	-0.145	-0.044
饱和持水量 Saturation moisture capacity	0.684	-0.672	0.066	-0.18
总孔隙度 General porosity	0.689	-0.658	-0.03	-0.131
pH	-0.095	-0.295	0.158	0.908
有机质 Organic matter	0.649	0.398	0.429	0.054
全氮 Total N	0.676	0.365	0.033	0.327
全磷 Total P	0.619	0.576	0.276	-0.082
抗蚀指数 Erosion resistance index	0.64	0.473	-0.167	-0.012
分散率 Dispersion rate	-0.301	0.043	0.704	-0.202
>0.25 mm 水稳性团聚体 >0.25 mm water-stable aggregate	0.476	0.256	-0.55	0.024
贡献率 Contribution rate/%	34.136	22.033	11.381	10.34
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	34.136	56.169	67.55	77.89

F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 分别表示第一、二、三、四主成分

表 4 主成分因子得分及土壤抗侵蚀能力综合得分

Table 4 Principal component factor scores and synthesis scores of soil erosion resistance

地点 Site	F_1	F_2	F_3	F_4	F	综合排名 Comprehensive rank
克山	0.934	-0.406	-0.801	0.054	0.185	2
宾县	0.244	0.332	0.290	0.418	0.299	1
辽源	-1.138	0.138	0.566	-0.475	-0.440	3

3 讨论

3.1 有林带防护和无林带防护耕地土壤理化性质和抗蚀性差异分析

土壤理化性质是反应土壤质量的重要指标,水土保持林带对土壤理化性质产生了显著的影响^[11]。本研究发现,杨树水土保持林带防护有效降低了克山县土壤 pH,这可能是因为水土保持林带及其凋落物拦截降水,且林带蒸腾耗水较大导致靠近林带的耕地地下水位下降^[21],可溶性碱金属离子下降,pH 减小。有林带防护的耕地土壤全氮、全磷含量在辽源和宾县较无林带土壤高,这是因为林带通过机械拦截减缓了坡面径流冲刷造成的水土及相关养分流失,进而减少水土保持林带防护下的耕地土壤 N、P 元素的流失^[15]。但在克山县,有林带防护的耕地土壤全氮、全磷和有机质含量较无林带防护的土壤低,这可能是因为土壤全氮、全磷和有机质含量不仅受到植被因素、坡面径流的影响,农业活动和其他人为性耕作活动也可能对其产生影响^[22]。

土壤抗蚀性是指对土壤侵蚀营力分散和搬运作用的抵抗能力,通常认为>0.25 mm 粒级水稳性团聚体数量越多,土壤的胶结性和稳定性越好,分散率越低,抗侵蚀能力越强^[23]。邹鑫等^[24]研究发现,农林复合系统中具有更完整和发育良好的凋落物层,能够增加地表粗糙度,减缓径流流速,从而提高土壤的抗冲和抗蚀性能。本研究也发现,杨树水土保持林带防护下的耕地土壤>0.25 mm 水稳性团聚体含量高于无林土壤,分散率小于无林土壤,这是因为通过水土保持林带等生物措施的拦截作用,能够优化坡面土壤微团聚体的坡面分布状况,提升各坡位的团聚度,降低分散率,提升微团聚体的稳定性^[25],此外,防护林根系可以通过拦截坡面上

方小粒级微团聚体并促进大粒级土壤微团聚体形成,改善靠近林带的坡面微团聚体组成,增强微团聚体稳定性,增强土壤抗蚀性^[26]。

3.2 不同地点地土壤理化性质和抗蚀性差异分析

土壤理化性质和抗蚀性受降雨和温度等环境因素影响^[27]。本研究发现,3 个地点杨树水土保持林带防护下的耕地土壤表现为随着纬度的升高,容重降低,饱和持水量、总孔隙度和土壤全氮、全磷、有机质含量增加。这可能是因为随纬度的升高,降雨量逐渐减小,降低了坡面径流流速,增加了坡面阻力系数,延缓了坡面径流^[28],使土壤的渗透性和透气性增强^[29-30]。此外,降雨量和温度逐渐减小,使杨树水土保持林带的叶凋落物损量和分解速率减小^[29, 31],凋落物的覆盖的拦截作用,有效减少土壤水蒸发,增加土壤水分入渗^[25],延缓来自坡面上方的径流,增加了坡面土壤渗透性,减小容重,增大持水量^[29-30],同时,坡面径流量和侵蚀量的降低,也使土壤 N、P 元素的流失有所减少。

土壤水稳性团聚体含量越高,即使径流流过,土粒也不易被分散和携带^[10];相反,>0.25 mm 水稳性团聚体含量越低,降雨时土壤孔隙越容易被分散的颗粒堵塞,降低土壤渗透性,增加地表径流,加剧水土流失^[32]。本研究发现,随着纬度的升高,杨树水土保持林带防护下的耕地土壤的抗蚀指数、>0.25 mm 水稳性团聚体含量逐渐增加,分散率逐渐减小。这可能是因为凋落物等有机质经过微生物的作用使土壤颗粒胶结,改善土壤结构^[25,33]。此外,降雨量的减小削弱了坡面径流,同时林带截流、凋落物覆盖和地下的根系分布,有效截流水分,减弱水力侵蚀对土壤团聚体的破坏^[34-35],从而提高土壤的稳定性和抗蚀性。

3.3 土壤理化性质对土壤抗蚀性的影响

良好的土壤结构是提高土壤抗蚀性的条件。水土保持林带对土壤理化性质和土壤抗侵蚀性的影响主要表现在增加了土壤孔隙度、持水量、有机质、全氮和全磷等,降低了土壤容重,从而提高土壤团聚体稳定性和抗侵蚀能力^[36, 37]。本研究发现,土壤抗蚀指数与土壤 pH 值呈显著负相关,与土壤有机质、全氮、全磷呈显著正相关;分散率与总孔隙度呈显著负相关;>0.25 mm 水稳性团聚体含量与总孔隙度、全氮和全磷呈显著正相关。这可能是因为水土保持林带通过林冠层和林木下植物及凋落物的截留作用,减弱坡面径流^[38],进而使坡耕地土壤结构和养分状况良好。土壤总孔隙度越大,容纳水分和空气的能力就会越强,土壤孔隙度通过增加土壤入渗,延长水分向底层渗透的时间,降低了地表径流的形成,增加土壤抵抗径流分散悬浮的能力,同时土壤颗粒间孔隙度有助于空气流通和水分入渗,为土壤水、肥、气、热的协调创造了良好的条件,有效改善土壤结构和团聚体稳定性,增强土壤抗蚀性^[39]。适宜的土壤 pH 值通过影响土壤团聚体的形成和稳定性增强土壤抗蚀性^[23]。土壤中的氮、磷以及有机质的含量反映了土壤肥力的优劣状况,有机质是土壤水稳性结构的胶结剂,能够增加土壤的疏松度和通透性,丰富的有机质可以促进团粒结构的形成,使土壤团聚体稳定性增强,改善土壤结构,从而有效提高土壤抗蚀性能^[40]。

4 结论

东北典型黑土区不同地点杨树水土保持林带对耕地抗蚀性影响显著。耕地土壤经杨树水土保持林带防护后,土壤抗侵蚀能力得到明显提升。纬度升高,杨树水土保持林带下的耕地土壤抗侵蚀能力显著增强。通过主成分分析可知,土壤容重、饱和持水量含量、总孔隙度、有机质、全氮、全磷和抗蚀指数对土壤抗侵蚀能力的影响最明显,是评价黑土区杨树林带下耕地土壤抗蚀性强弱的关键指标。在未来的研究中,应综合考虑树种组成、林带密度、季节变化等因素,进一步解释土壤抗侵蚀性的稳定机制,为东北典型黑土区水土保持林带及耕地土壤的可持续利用提供理论依据。

参考文献 (References):

- [1] 李喆, 胡斐南, 杨志花, 郭威震, 王子龙, 赵世伟. 土粒表面电场对典型黑土团聚体稳定性及水分入渗特性的影响. 水土保持研究, 2021, 28(5): 61-66+75.
- [2] 魏思雨, 张延玲, 刘滨辉, 付玉. 东北黑土区地埂坡耕地土壤物理性质的空间分布特征. 水土保持研究, 2024, 31(4): 135-144.

- [3] 孔同伟, 王帅, 刘滨辉. 农田防护林更新改造对土壤团聚体特征和可蚀性的影响. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(11): 130.
- [4] 梁春林, 王彬, 张文龙. 东北黑土区坡耕地土壤团聚体稳定性与结构特征. 中国水土保持科学, 2020, 18(6): 43-52.
- [5] 涂淑萍, 周桂香, 郭晓敏, 张文元, 胡冬南, 牛德奎. 赣县稀土采矿区巨桉林地土壤抗蚀性评价. 林业科学研究, 2013, 26(6): 752-758.
- [6] 丛日亮, 黄进, 张金池, 王如岩, 田月亮. 苏南丘陵区主要林分类型土壤抗蚀性分析. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1862-1867.
- [7] Reicher J M, Norton L D. Aggregate stability and rainimpacted sheet erosion of air-dried and rewetted cayey surface soil sunder intense rain. Soil Sci. 1994, 158(3): 159-169.
- [8] 姜爱国, 万福绪, 胡菲. 南京紫金山灵谷寺不同林地土壤抗蚀性研究. 水土保持研究, 2018, 25(1): 13-14.
- [9] 尹昌君, 李春友, 张劲松, 孟平, 黄辉, 任庆福, 高峻. 黄淮海平原两种不同林龄杨树防护林对麦田土壤水分及蒸散的影响. 河南农业大学学报, 2011, 45(5): 542-547.
- [10] 谭凯亮, 苏远航, 刘滨辉. 林带对黑土坡耕地土壤团聚体组成及稳定性的影响. 东北林业大学学报, 2022, 50(3): 93-98+108.
- [11] 孙家兴, 赵雨森, 辛颖, 张军. 黑土区杨树农田防护林土壤团聚体的稳定性. 水土保持通报, 2018, 38(3): 66-73.
- [12] 韩晓萌, 戴慧敏, 刘凯. 松嫩平原北部典型黑土剖面黏土矿物组成及其环境指示意义. 物探与化探, 2022, 46(5): 1056-1063.
- [13] 王婷, 陆忠军, 宁静, 付斌, 辛蕊, 黄楠, 赵博文. 基于 RUSLE 的黑土区典型县域土壤侵蚀时空变化特征研究. 水土保持通报, 2023, 43(5): 227-234.
- [14] 李爽, 郭美莲, 范昊明, 贾燕锋, 马仁明. 季节性冻融期不同秸秆还田方式下黑土温度特征. 水土保持学报, 2024, 38(4).
- [15] 李程远, 张扬, 韩少杰, 陈祥伟. 林带对黑土坡面土壤养分侵蚀-沉积规律的影响. 东北林业大学学报, 2021, 49(5): 105-108+119.
- [16] 曹伟, 李露, 赵鹏志, 夏祥友, 王恩姬. 坡地黑土碳氮分布及其与团聚体稳定性的关系. 北京林业大学学报, 2018, 40(8): 56-63.
- [17] 蒋定生, 黄国俊, 范兴科. 黄土高原坡耕地水土保持措施效益评价试验研究(Ⅲ)坡耕地水土保持措施综合效益评价. 水土保持学报, 1990, (4).
- [18] 陈立新. 土壤学实验实习教程. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 43-50.
- [19] Ren C, Zhao F, Kang D, Yang G, Han X, Tong X, Feng Y, Een G. Linkages of C; N; P stoichiometry and bacterial community in soil following afforestation of former farmland. Forest Ecology&Management, 2016, 376: 59-66.
- [20] 陈月明, 裴隆崔, 崔钢, 陈祥伟. 不同水土保持植被对典型黑土微团聚体稳定性的影响. 东北林业大学学报, 2019, 47(6): 26-35.
- [21] Grosso F, Iovieno P, Alfani A, Nicola F D. Structure and activity of soil microbial communities in three Mediterranean forests. Applied Soil Ecology, 2018130: 280-287.
- [22] Wei G, Zhou Z, Guo Y, Dong Y, Dang H, Wang Y, Ma J. Long-Term Effects of Tillage on Soil Aggregates and the Distribution of Soil Organic Carbon, Total Nitrogen, and Other Nutrients in Aggregates on the Semi-Arid Loess Plateau, China. Arid Soil Research&Rehabilitation, 2014, 28(3): 291-310.
- [23] 冯晓彤, 翟车宇, 刘昌杰, 张娟, 孟庆峰. 东北典型黑土坡耕地不同坡位土壤团聚体特征分析. 东北农业大学学报, 2024, 55(1): 43-49+69.
- [24] 邹鑫, 朱习爱, 陈春峰, 刘文杰. 农林复合系统的水土保持效益. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(2): 382-392.
- [25] 蒲玉琳, 谢德体, 林超文, 丁恩俊, 张坤, 魏朝富. 植物篱-农作坡耕地土壤微团聚体组成及分形特征. 土壤学报, 2012, 49(6): 1069-1077.
- [26] 刘静, 王勇, 侯宁, 张瀚予, 查琳, 卢修元, 李富程. 小麦根系对紫色土区坡地不同坡位土壤微团聚体特征的影响. 中国水土保持科学, 2020, 18(2): 69-76.
- [27] 李威闻, 黄金权, 齐瑜洁, 刘小岚, 刘纪根, 毛治超, 高绣纺. 土壤侵蚀条件下土壤微生物量碳含量变化及其影响因素的 Meta 分析. 生态环境学报, 2023, 32(1): 47-55.
- [28] 安娟, 郑粉莉, 李桂芳, 王彬. 不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响. 生态学报, 2011, 31(24): 7579-7590.
- [29] 李镇. 增温、降水改变及氮添加条件下根系生长对黄土高原半干旱草地凋落物分解的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [30] 张悦, 张艺凡, 马怡波, 刘嫦娥, 段昌群, 字玉奋, 唐彬程, 张维兰. 森林生态系统凋落物分解影响因素研究进展. 环境生态学, 2023, 5(4): 46-53.
- [31] 杜宁宁. 不同降水条件下叶凋落物分解中碳氮动态的双同位素示踪研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [32] 金万鹏. 典型黑土区坡耕地土壤性状及水保措施优化配置研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [33] 李东升, 郑俊强, 王秀秀, 郑兴波, 韩士杰. 水、氮耦合对阔叶红松林叶凋落物分解的影响. 北京林业大学学报, 2016, 38(4): 44-52.
- [34] Ma L, Teng Y, Shanguan, ZP. Ecohydrological responses to secondary natural Populus davidiana and plantation Pinus tabulaeformis woodlands on the Loess Plateau of China. Ehydrolgy, 2014, 2014, 7(2): 612-621.
- [35] Xia L, Song XY, Fu N, Cui SY, Li LJ, Li HY, Li YL. Effects of forest litter cover on hydrological response of hillslopes in the Loess Plateau of China. Catena, 2019, 181.
- [36] 史长婷, 王恩姬, 陈祥伟. 典型黑土区水土保持林对土壤可蚀性的影响. 水土保持学报, 2009, 23(3): 25-33.
- [37] 冯嘉仪, 储双双, 王婧, 吴道铭, 莫其锋, 高婕, 林佳慧, 曾曙才. 华南地区几种典型人工林土壤有机碳密度及其与土壤物理性质的关系. 华南农业大学学报, 2018, 39(1): 77-90.
- [38] 朱冰, 霍云霏, 周正朝. 黄土高原坡沟系统植被格局对土壤侵蚀影响研究进展. 中国水土保持科学, 2021, 19(4): 150-152.
- [39] 陈涛, 周利军, 齐实, 孙保平, 聂泽旭. 华蓥市山区典型林分土壤团聚体稳定性及抗蚀能力. 浙江农林大学学报, 2021, 38(6): 1161-1169.
- [40] 张宁, 张光辉, 邢书昆. 东北黑土区土壤侵蚀阻力对土地利用类型的响应与影响因素. 水土保持学报, 2024, 38(5): 40-48.