

皖西大别山区土壤抗蚀与抗冲特征及其影响因素

张卫^{1,2}, 刘亚³, 夏小林^{1,2}, 刘刚^{3,4}

[1.安徽省水科学与智慧水利重点实验室, 安徽 合肥 230088; 2.安徽省(水利部 淮河水利委员会)水利科学研究所(安徽省水利工程质量检测中心站), 安徽 合肥 230088; 3.西北农林科技大学 水土保持科学与工程学院(水土保持研究所), 陕西 杨凌 712100; 4.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100]

摘要: [目的] 评估皖西大别山区不同土地利用方式下不同土壤的抗蚀与抗冲特征, 揭示影响该区土壤抗侵蚀能力的主要因素, 为该区水土流失治理工作提供科学指导。[方法] 基于文献查阅及实地调研, 选择 2 种典型土地利用方式下的 4 种典型土壤。利用原位冲刷和室内试验, 观测各土壤抗蚀和抗冲性及其主要物理性质。[结果] ①不同土壤抗冲性表现为: 黄棕壤 > 紫色土 > 棕壤 > 粗骨土, 抗蚀性表现为: 紫色土 > 粗骨土 > 棕壤 > 黄棕壤。②林地土壤具有更好的物理性质, 其抗冲性显著高于园地, 而抗蚀性略有差异。③ 5~2 mm 及 1~0.5 mm 水稳性团聚体含量是影响不同土壤、不同土地利用方式下土壤抗蚀抗冲性差异的主导因素。[结论] 水稳性团聚体含量是评价皖西大别山区土壤抗侵蚀能力的理想指标, 在今后研究中应同时考虑土壤抗冲性及抗蚀性以综合反映土壤抗蚀能力。

关键词: 水土流失; 土壤抗蚀性; 土壤抗冲性; 大别山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)03-0010-06

中图分类号: S157.1

文献参数: 张卫, 刘亚, 夏小林, 等. 皖西大别山区土壤抗蚀与抗冲特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2025, 45(3): 10-15. Zhang Wei, Liu Ya, Xia Xiaolin, et al. Characteristics of soil resistance to erosion and scouring, and their influencing factors in Dabie Mountains of western Anhui Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(3): 10-15. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.03.041; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.03.041.

Characteristics of soil resistance to erosion and scouring, and their influencing factors in Dabie Mountains of western Anhui Province

Zhang Wei^{1,2}, Liu Ya³, Xia Xiaolin^{1,2}, Liu Gang^{3,4}

[1. Anhui Provincial Key Laboratory of Water Science and Intelligent Water Conservancy, Hefei,

Anhui 230088, China; 2. Anhui Provincial Water Resources Research Institute, Huaihe River Commission, Ministry of

Water Resources (Anhui Provincial Water Engineering Quality Testing Center), Hefei, Anhui 230088, China; 3. College of

Soil and Water Conservation Science and Engineering (Institute of Soil and Water Conservation), Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China]

Abstract: [Objective] The anti-erosion and anti-scouring abilities of soil under different land uses and soil types in the Dabie Mountains of western Anhui Province in China were evaluated, in order to identify the predominant factors influencing soil erosion resistance and provide scientific guidance for soil and water conservation management in the region. [Methods] Four representative soil and two land use types were selected based on the literature review and field investigations. The resistance to erosion and scouring, and physical properties of each soil were measured by field-scouring and laboratory analyses. [Results] ① The anti-scouring ability of the examined soils ranked as yellow-brown soil > purple soil > brown soil > regosols soil. The anti-erosion ability ranked as purple soil > regosols soil > brown soil > yellow-brown soil. ② Forest soil exhibited superior physical characteristics with greater resistance to scouring compared to tea garden soil. These soils varied only slightly in their anti-erosion behaviors. ③ The content of water-stable aggregates in the 5—2 mm and 1—0.5 mm size ranges

收稿日期: 2025-01-13

修回日期: 2025-04-03

采用日期: 2025-04-03

资助项目: 安徽省自然科学基金水科学联合基金项目“经果林地坡面水系整治与土壤侵蚀防治技术研究”(2308085US14); 安徽省(水利部 淮河水利委员会)水利科学研究所青年科技创新计划项目(KY202102; KY202304); 水利水资源安徽省重点实验室开放研究基金项目(2023SKJ03)

第一作者: 张卫(1987—), 男(汉族), 安徽省含山县人, 硕士, 工程师, 主要从事水土保持与水生态方面的研究。Email: 515621835@qq.com。

通信作者: 刘刚(1982—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 研究员, 主要从事土壤侵蚀与水土保持方面的研究。Email: gliu@foxmail.com。

was the predominant factor influencing the erosion and scouring resistance under different land uses and soil types. [Conclusion] The content of water-stable aggregates serves as an ideal indicator for assessing soil erosion resistance in the Dabie Mountains region of western Anhui Province. Future research should simultaneously evaluate both erosion and scouring resistance to provide a comprehensive understanding of integrated soil erosion resistance.

Keywords: soil and water loss; soil anti-erosion ability; soil anti-scouring ability; Dabie Mountains

土壤侵蚀是一个严重的全球性环境问题,主要危害包括降低土地生产力、导致土地退化,造成水体等环境污染、破坏生物栖息地、减少生物多样性,还会威胁到农业生产以及人类居住、交通等基础设施安全^[1-2]。土壤侵蚀本质上是土壤在外界侵蚀营力(如水力、风力、重力)作用下发生的分离、搬运及沉积过程^[3],其中作为被侵蚀的对象,土壤本身的抗侵蚀能力影响侵蚀发生发展过程。根据土壤在径流中的状态,土壤抗侵蚀能力可分为抗蚀性和抗冲性,前者被定义为土壤抵抗水的分散和悬浮的能力,后者被定义为土壤抵抗径流的机械破坏和搬运的能力^[4]。土壤抗蚀性与雨滴溅蚀及细沟间侵蚀相关,而土壤抗冲性则与细沟、浅沟等沟蚀过程密切相关。因此,综合研究土壤抗蚀与抗冲性,可以更好地揭示土壤侵蚀的发生发展过程。全球范围内,众多学者针对不同地理区域、气候条件下的土壤抗蚀与抗冲性展开了广泛探究。一些研究发现土壤质地、团聚体稳定性、土壤容重等物理性质对土壤抗蚀与抗冲性有着重要影响^[5-7],并构建了相应的评价模型来量化土壤抗蚀与抗冲能力。如杜芳悦等^[8]用原状土冲刷法研究土壤抗冲性与土壤物理性质间的关系,发现土壤容重、 >0.25 mm水稳性团聚体含量、团聚体平均重量直径(MWD)是决定土壤抗冲性的主导因素。冯滔等^[9]指出土壤抗蚀性能与土壤黏粒含量、孔隙度及水稳性团聚体含量呈显著正相关。同时,一些研究聚焦于土地利用方式对土壤抗蚀与抗冲性的影响,发现草地的抗蚀与抗冲性能远强于农耕地^[10-12]。

皖西大别山区作为中国重要的生态屏障,在维护区域生态平衡、调节气候、涵养水源等方面发挥着不可替代的作用。然而,长期以来,受到自然因素与人为活动的双重影响,该地区面临着较为严峻的土壤侵蚀问题,这不仅威胁着区域生态安全,也对长江中下游地区的可持续发展构成了潜在风险。因此,准确掌握该区不同土地利用方式下不同土壤的抗蚀与抗冲性特征,是制定有效水土保持措施、防治土壤侵蚀的关键。尽管已有部分研究涉及该山区某些土壤的抗侵蚀能力^[13-15],但多局限于单一土壤类型或特定区域,缺乏对皖西大别山区土壤抗蚀与抗冲性特征的系统性、全面性研究,尤其是在不同土地利用方式下不同土壤的对比分析方面仍存在明显不足。为此,本研究对皖西大别山区不同土地利用方式下不

同土壤的抗蚀与抗冲性特征进行量化分析,阐明导致其差异的主要因素,以期为该区域水土流失治理和水土保持规划提供科学依据与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

皖西大别山区地处安徽省西部,北抵淮河,南临长江,东西绵延约380 km,南北宽约175 km,地势中间高四周低,山地主要集中于中部地区,其余多为低山丘陵。这种独特的地理位置使其成为连接中国华北与华中地区的重要纽带,同时也造就了其丰富多样的自然地理风貌以及复杂多变的生态环境条件。该区属北亚热带温暖湿润季风气候区,具有典型的山地气候特征,年平均气温 $14\sim 15$ °C,年降水量 $1\ 250\sim 1\ 400$ mm,雨季主要集中在6—8月,占全年降水量的60%~70%。该区典型土壤包括黄棕壤、紫色土及山地草甸土等。区域土地利用方式以林业用地为主,同时包含丰富的茶叶资源,天然植被包括次生马尾松、白栎、杉木等,人工植被包括杉木、马尾松等,经济植被包括油茶、茶叶、山核桃、猕猴桃、蓝莓等。

通过文献查阅及实地调研,并结合安徽省土壤类型的分布特点及水土流失现状,选择皖西大别山区具有代表性的4种土壤,分别为黄棕壤、粗骨土、紫色土及棕壤。其中,黄棕壤为该区分布面积最广泛的土壤,在皖西大别山区各市县均有分布,分布面积约占该区总面积的61.60%;棕壤的分布面积仅次于黄棕壤,主要分布在金寨县、霍山县及岳西县,分布面积约占该区总面积的8.34%;紫色土主要在金寨县、裕安区及金安区呈片状分布,分布面积约占该区总面积的1.61%;粗骨土主要分布在金寨县及霍山县,在太湖县及潜山市也有零星分布,分布面积约占该区总面积的1.50%(数据来源于国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据中心)。虽然紫色土及粗骨土的分布面积略小,但其主要分布在皖西大别山水土流失严重区^[16]。此外,由于皖西大别山区为安徽省第二大林茶基地,因此在各选定土壤类型区进一步选择了该区典型林地及园地两种土地利用方式作为试验点,各试验点基本情况详见表1。其中,黄棕壤采样点位置位于大别山南坡,粗骨土、紫色土及棕壤采样点位置位于大别山北坡。

表 1 各试验点基本情况

Table 1 Basic information of each experiment point

样点编号	土壤类型	土地利用类型	主要植被	土壤采集地区	样点高程/m	样点平均坡度/(°)
HZ-L	黄棕壤	林地	马尾松	安庆市岳西县	460	18
HZ-Y		园地	绿茶		447	20
CG-L	粗骨土	林地	次生林	六安市金寨县	600	23
CG-Y		园地	绿茶		563	25
ZS-L	紫色土	林地	次生林	六安市金寨县	415	23
ZS-Y		园地	绿茶		357	19
ZR-L	棕壤	林地	马尾松	六安市霍山县	359	20
ZR-Y		园地	绿茶		362	20

1.2 样品的采集与分析

样品采集时间为 2024 年 4 月。确定各样点以后,选取坡度、坡向一致的坡面设置 1 m×1 m 样方,按照三点对角线取样法采集表层土壤样品(0—10 cm)。具体而言,利用环刀和铝盒采集原状土样用于测定土壤容重、总孔隙度、土壤抗蚀性、土壤团聚体稳定性等。采集的原状土样立即用胶带和塑料袋密封,以防止土壤水分蒸发,带到实验室内立即测定上述指标。此外,用土钻另采集约 1 kg 土壤样品,带回室内自然风干后,分析土壤机械组成。土壤抗冲性采用 NLKC-10 土壤抗冲仪测定,其工作原理为将土壤抗冲仪置于样地表面,恒流供水装置向其定量供水,工作时保持在 1 kg 的压力,测试时间设为 5 min。通过量测计算测针(10 根)在坡面的平均冲刷深度 H (mm),来表征土壤抗冲性能。土壤抗冲性的测定与样品采集同期进行。采用土壤静水崩解法测定土壤抗蚀性,其工作原理为将土样放置在孔径为 5 mm 的金属网格上,然后将金属网格与数显推拉力计相连并置于静水中进行观测,在第 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 45 min 分别记录数显推拉力计读数。用崩解速率表征土壤抗蚀性能,计算公式为:

$$V = (a_1 - a_2) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中: V 表示崩解速率(g/min); a_1, a_2 表示 t_1 及 t_2 时刻的拉力计读数(g)。

采用环刀烘干法测定土壤容重,利用容重经验公式计算土壤总孔隙度^[17]。采用 WJL-612 激光粒度仪及湿筛法测定土壤机械组成及土壤水稳性团聚体含量。

1.3 数据处理与分析

利用 Excel 2021 对试验数据进行整理与初步分析;利用 Origin 2024 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 各样点土壤物理性质特征

各样点土壤物理性质详见表 2。由表 2 可知,

4 种土壤的容重均表现为:园地>林地,相应的总孔隙度表现出相反趋势,(林地>园地),说明皖西大别山区林地较园地土壤疏松,结构性好。就水稳性团聚体含量而言,1~0.5 mm, 0.5~0.25 mm, 2~1 mm 粒级团聚体含量最高,平均分别为 18.66%, 16.87%, 15.14%, 其次为 5~2 mm 粒级团聚体,平均含量为 8.44%, 含量最少的为 >5 mm 粒级团聚体,平均含量为 2.12%。就土壤质地而言,各土壤黏粒含量介于 5.31%~10.47%, 粉粒含量介于 22.2%~47.3%, 砂粒含量介于 47.92%~69.8%, 且林地的黏粒含量略高于园地。整体上,不同土地利用类型土壤团聚体平均重量直径表现为:林地>园地,不同土壤间表现为:紫色土>粗骨土>棕壤>黄棕壤。就坡向而言,大别山南坡土壤样品的黏粒含量及团聚体平均重量直径略低于北坡,而南坡土壤样品的粉粒含量显著高于北坡。

2.2 各样点抗蚀与抗冲性

由图 1 可以看出,相同土壤类型下不同土地利用的土壤抵抗水流冲刷能力强弱关系表现为:林地>园地,其中林地的平均冲刷深度(H 值)分别为 6.25, 8.50, 8.63 和 5.50 mm;园地 H 值分别为 9.30, 9.83, 9.10, 12.30 mm。不同土壤抵抗流水冲刷能力表现为:黄棕壤>紫色土>棕壤>粗骨土,其 H 值分别为 7.78, 8.87, 8.90 和 9.17 mm,说明皖西大别山区黄棕壤抗冲性最强,粗骨土抗冲性最弱。黄棕壤林地土样崩解速率为负值,可能是由于林地土壤中根系固持作用使土粒更加紧实,增强了抵抗水体崩解分散的能力,不易发生崩解。林地黄棕壤及粗骨土的崩解速率远小于园地,但对于紫色土及棕壤则表现出相反的趋势。整体而言,不同土壤的抗蚀性表现为:紫色土>粗骨土>棕壤>黄棕壤。不同坡向间土壤抗蚀抗冲性差异明显,表现为大别山南坡土壤的抗冲性略强于北坡,而南坡土壤的抗蚀性远弱于北坡。

表2 各试验点土壤物理性质
Table 2 Soil physical properties at each experimental site

样点 编号	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙 度/%	各粒径团聚体含量/%						团聚体平均 重量直径/ mm	黏粒 含量/%	粉粒含 量/%	砂粒含 量/%
			>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm				
HZ-L	1.39	48.08	0	0	29.94	23.84	19.13	27.09	0.73	6.2	44.5	49.3
HZ-Y	1.45	46.1	0	0	31.78	25.38	18.43	24.41	0.77	6.8	47.3	45.9
CG-L	1.14	56.33	2.88	14.2	16.44	16.16	13.38	36.94	1.13	8	22.2	69.8
CG-Y	1.42	47.09	2.46	11.92	9.78	8.58	8.24	59.02	0.88	5.8	24.5	69.7
ZS-L	1.33	50.06	5.52	13.2	8.56	13.54	19.7	39.48	1.15	10.47	39.7	49.8
ZS-Y	1.43	46.76	2.74	14.36	10.32	10.72	20	41.86	1.03	9.38	42.7	47.92
ZR-L	1.46	45.77	3.17	10.72	7.32	30.8	18.57	29.42	1.01	8.74	40.27	50.99
ZR-Y	1.49	44.78	0.17	3.14	6.97	20.28	17.49	51.95	0.51	5.31	42.49	52.2

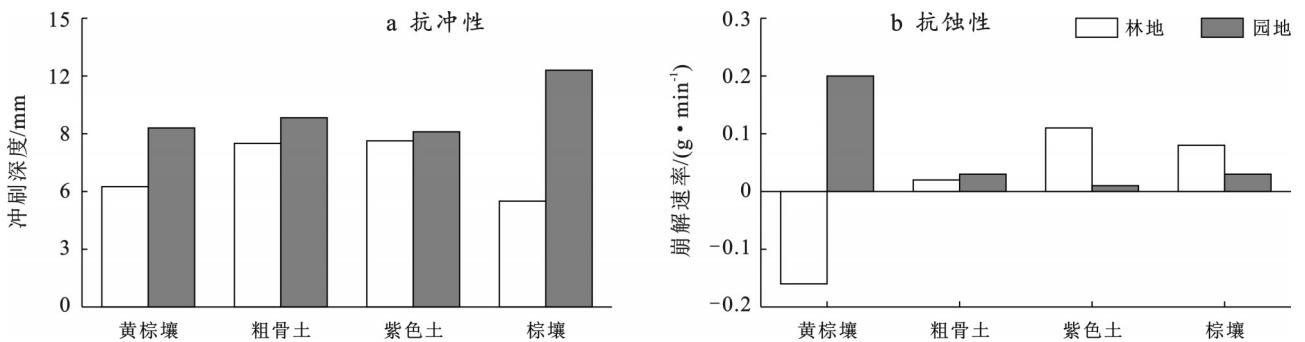


图1 各样点土壤抗蚀与抗冲性
Fig.1 Soil anti-erosion and anti-scouring abilities at each experimental site

2.3 土壤物理性质与抗蚀抗冲性的相关性分析

取土壤冲刷深度及土壤崩解速率的倒数来分别表征土壤抗蚀性及抗冲性,并分析了其与土壤物理性质的相关性(图2)。虽然统计学上没有发现显著的相关性,但就相关性强度而言,土壤抗蚀性与5~2 mm团聚体含量表现出适中的正相关,与团聚体平均重量直径及黏粒含量表现出弱正相关。而土壤抗冲性则与1~0.5 mm团聚体含量表现出适中的正相关,与0.5~0.25 mm团聚体含量、团聚体平均重量及黏粒含量直径表现出弱正相关。

3 讨论

本研究调查了皖西大别山区2种不同土地利用下4种土壤的抗蚀与抗冲特征。结果表明,林地的抗冲性强于园地,这与杨玉梅等^[18]的研究一致。其原因主要包括:①林地具有更复杂、密集的地下根系网络,起到固持土壤的作用,从而提高抗冲性^[19];②林地具有更多的枯落物,起到改良土壤的作用(表2)。因此在皖西大别山区应加强林地的保护与管理,防止过度砍伐和土地利用方式的转变,以维持土壤的抗侵蚀能力。就紫色土及棕壤而言,林地土壤的抗蚀性却小于园地土壤,这可能由土粒间的胶结力和土粒与水的亲和力的差异所致^[20-21],其内部机理还有

待进一步探讨。此外,本研究调查了土壤容重、孔隙、机械组成、水稳性团聚体等主要土壤物理性质指标与土壤抗蚀与抗冲性的关系。结果表明,土壤抗蚀性及抗冲性主要与水稳性团聚体含量表现出较强的相关性。这与前人^[6,22]研究结果相似,主要是因为团聚体是土壤结构的基本单元,对坡面侵蚀起主导作用。因此,在评价皖西大别山区土壤抗侵蚀能力时,水稳性团聚体含量是理想指标。

皖西大别山区不同土壤类型土壤抗冲性表现为:黄棕壤>紫色土>棕壤>粗骨土,土壤抗蚀性表现为:紫色土>粗骨土>棕壤>黄棕壤。土壤抗蚀性与抗冲性之间并未表现出明显的一致性,表明土壤抗蚀性与抗冲性是两种不同的土壤侵蚀表征指标。此外,不同坡向间的土壤抗蚀性与抗冲性关系亦存在分歧,这进一步验证了上述结论。因此,在今后的相关研究中,应将两者加以区分,以便更准确地评估土壤的侵蚀风险。为了综合考虑土壤抗侵蚀能力,在今后的研究中可采用加权求和法来计算综合土壤抗蚀指数^[23]。棕壤在抗蚀性及抗冲性能上均表现较差,是该地区水土流失的潜在风险点。因此,有必要加强皖西大别山棕壤区的水土保持工作,采取有效的措施如植被覆盖、修建梯田和等高篱带等^[24],以遏制区域土壤侵蚀。此外,在土地利用规划中,应

充分考虑不同土壤的抗蚀与抗冲性差异,合理调整土地利用结构,避免在抗侵蚀能力较弱的区域进行高强度的农业开发。

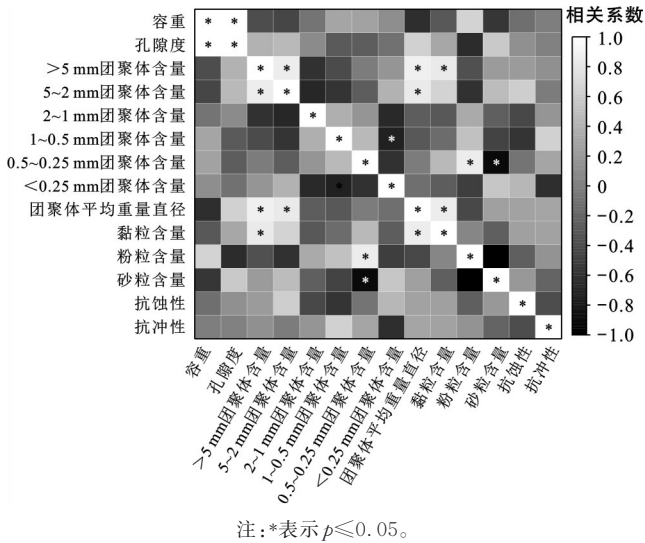


图2 土壤抗蚀抗冲性与物理性质的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between soil anti-erosion and anti-scouring abilities, and physical properties

尽管本研究对皖西大别山区不同土地利用方式下土壤的抗蚀与抗冲性进行了较为系统的研究,但仍存在一些不足之处。首先,本研究主要聚焦于土壤的物理性质,未涉及土壤的化学性质和微生物特征。后续研究可考虑加强这方面的探索,以便更深入地揭示皖西大别山区不同土壤抗蚀与抗冲性差异的影响机制。其次,本研究仅选择了两种典型土地利用方式(林地和园地),未来可拓展至更多的土地利用类型,如农田、草地等,以便更全面地了解不同土地利用方式对土壤抗侵蚀能力的影响。

4 结论

本研究通过原位冲刷、崩解试验及土壤样品室内分析,调查了皖西大别山区黄棕壤、粗骨土、紫色土、棕壤4种土壤不同土地利用类型(林地与园地)下的土壤抗冲性、抗蚀性特征及其影响因素。结果表明,相较于园地土壤,林地土壤具有更好的物理性质,主要表现为更高的孔隙率及团聚体平均重量直径。

不同土壤抗冲性表现为:黄棕壤>紫色土>棕壤>粗骨土,抗蚀性表现为:紫色土>粗骨土>棕壤>黄棕壤。林地土壤的抗冲性大于园地,而抗蚀性略有差异。相关性分析表明水稳性团聚体含量是影响土壤抗蚀与抗冲性的主导因素,其中土壤抗蚀性及抗冲性分别与5~2 mm团聚体含量及1~0.5 mm团聚体含量表现出更强的相关性。

参考文献(References)

- [1] 张科利,蔡强国,柯奇画.中国土壤侵蚀研究重大成就及未来关键领域[J].水土保持通报,2022,42(4):373-380. Zhang Keli, Cai Qiangguo, Ke Qihua. Major achievements and future key fields of soil erosion research in China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(4):373-380.
- [2] Keesstra S, Mol G, De Leeuw J, et al. Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work [J]. Land, 2018,7(4):133.
- [3] 张光辉.对土壤侵蚀研究的几点思考[J].水土保持学报,2020,34(4):21-30. Zhang Guanghui. Several ideas related to soil erosion research [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020,34(4):21-30.
- [4] 高维森,王佑民.土壤抗蚀抗冲性研究综述[J].水土保持通报,1992,12(5):59-63. Gao Weisen, Wang Youmin. Review on the study of soil anti-erosibility and anti-scourability [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992,12(5):59-63.
- [5] 李程程,曾全超,贾培龙,等.黄土高原土壤团聚体稳定性及抗蚀能力经度变化特征[J].生态学报,2020,40(06):2039-2048. Li Chengcheng, Ceng Quanchao, Jia Peilong, et al. Characteristics of soil aggregate stability and corrosion resistance longitude change in the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(06):2039-2048.
- [6] 郭明明,王文龙,史倩华,等.黄土高原沟壑区退耕地土壤抗冲性及其与影响因素的关系[J].农业工程学报,2016,32(10):129-136. Guo Mingming, Wang Wenlong, Shi Qianhua, et al. Soil anti-scourability of abandoned land and its relationship with influencing factors in Loess Plateau gully region [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016,32(10):129-136.
- [7] Wang Xueshan, Guo Mingming, Liu Jieli, et al. Soil anti-scourabilities of four typical herbaceous plants and their responses to soil properties, root traits and slope position in Northeast China [J]. Sustainability, 2022,14(24):16807.
- [8] 杜芳悦,刘俊娥,牛百成,等.青藏高原—黄土高原过渡带土壤抗冲性及影响因素[J].水土保持研究,2025,32(1):39-47. Du Fangyue, Liu June, Niu Baicheng, et al. Soil anti-scourability and influencing factors in the transition zone between the Qinghai-Xizang Plateau and Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(1):39-47.
- [9] 冯滔,陈晓燕,朱平宗,等.三峡库区紫色土不同植被类型土壤抗蚀性能差异研究[J].土壤学报,2025,62(1):1-15.

- Feng Tao, Chen Xiaoyan, Zhu Pingzong, et al. Differences in soil erosion resistance between different vegetation types of purple soil in the Three Gorges reservoir area [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2025, 62(1):1-15.
- [10] 李阳芳,宋维峰,彭永刚,等.元阳梯田不同土地利用类型表层土壤的抗冲性[J].*中国水土保持科学*,2012,10(5):31-35.
- Li Yangfang, Song Weifeng, Peng Yonggang, et al. Anti-scourability of surface soil of different land use types in area of Yuanyang terrace [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2012, 10(5):31-35.
- [11] 许航,秦岭,何淑勤,等.大渡河干旱河谷区不同土地利用方式下土壤抗冲性特征[J].*干旱区资源与环境*, 2023, 37(10):102-108.
- Xu Hang, Qin Ling, He Shuqin, et al. Soil anti-scourability under different land use types in arid valley area of Dadu River [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(10):102-108.
- [12] 伏耀龙,张兴昌.岷江干旱河谷区不同土地利用方式下土壤抗冲性试验[J].*农业机械学报*,2012,43(7):50-55.
- Fu Yaolong, Zhang Xingchang. Anti-scourability of soil under different land use types in dry valley of Minjiang River [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(7):50-55.
- [13] 吴胡强.大别山上舍小流域不同林分土壤侵蚀特征研究[D].江苏南京:南京林业大学,2015.
- Wu Huqiang. Research on the characteristics of soil erosion in different forests of the small watershed in Shangshe of Dabie Mountains [D]. Nanjing, Jiangsu: Nanjing Forestry University, 2015.
- [14] 吴胡强,张雅坤,张金池,等.上舍流域两种林地土壤结构与抗蚀性[J].*水土保持通报*,2015,35(1):9-13.
- Wu Huqiang, Zhang Yakun, Zhang Jinchi, et al. Relationship between soil structure and soil anti-erodibility under two forest types in Shangshe catchment [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(1):9-13.
- [15] 许迎春.大别山区典型林分类型凋落物的持水能力与抗侵蚀特性[D].安徽合肥:安徽农业大学,2020.
- Xu Yingchun. Characteristics of water-holding and anti-erosion capacity of forest litter in typical stand types in the Dabie Mountains [D]. Hefei, Anhui: Anhui Agricultural University, 2020.
- [16] 安徽省水利厅.安徽省水土保持规划(2016—2030年)[R].安徽合肥:安徽省水利厅,2017.
- Anhui Provincial Department of Water Resources. Soil and Water Conservation Plan of Anhui Province(2016—2030)[R]. Hefei Anhui: Anhui Provincial Department of Water Resources, 2017.
- [17] 杨玮,兰红,李民赞,等.基于图像处理和SVR的土壤容重与土壤孔隙度预测[J].*农业工程学报*,2021,37(12):144-151.
- Yang Wei, Lan Hong, Li Minzan, et al. Predicting bulk density and porosity of soil using image processing and support vector regression [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(12):144-151.
- [18] 杨玉梅,郑子成,李廷轩.不同土地利用方式下土壤抗冲性动态变化特征及其影响因素[J].*水土保持学报*,2010,24(4):64-68.
- Yang Yumei, Zheng Zicheng, Li Tingxuan. Soil anti-scourability dynamic variation characteristics and its influencing factors under different land use types [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4):64-68.
- [19] 朱兆棋.安宁河干旱河谷区典型农用地土壤抗冲性研究[D].四川南充:西华师范大学,2023.
- Zhu Zhaoqi. Study on soil anti-scourability of typical agricultural land in the arid valley area of the Anning River [D]. Nanchong, Sichuan: China West Normal University, 2023.
- [20] 赵云鹤,钟鹏,高晗,等.土地利用类型对典型黑土团聚体稳定性和抗蚀性的影响[J].*东北林业大学学报*,2023,51(9):112-119.
- Zhao Yunhe, Zhong Peng, Gao Han, et al. Effects of land use types on stability and anti-erodibility of typical black soil aggregates [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2023, 51(9):112-119.
- [21] 李彦,谷会岩,陈月明.植被细根对典型黑土土壤抗蚀性的影响[J].*东北林业大学学报*,2020,48(7):81-85.
- Li Yan, Gu Huiyan, Chen Yueming. Effect of vegetation fine root on soil anti-erodibility in typical black soil region of China [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, 48(7):81-85.
- [22] 史小鹏,苟贺然,何淑勤,等.成都市温江区两种绿地土壤抗蚀抗冲性及其影响因素[J].*水土保持通报*,2024,44(4):117-125.
- Shi Xiaopeng, Gou Heran, He Shuqin, et al. Soil anti-erosion and anti-scouring effects of two types of urban green spaces and factors influencing them in Wenjiang district, Chengdu City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024, 44(4):117-125.
- [23] Liu Ya, Liu Gang, Gu Ju, et al. Soil erodibility and hillslope erosion processes affected by vegetation restoration duration [J]. *Soil and Tillage Research*, 2025, 245:106305.
- [24] 周杰,田培,吴宜进,等.大别山区不同水土保持措施配置模式的效益评价[J].*水土保持学报*,2024,38(6):61-69.
- Zhou Jie, Tian Pei, Wu Yijin, et al. Benefit evaluation of different allocation modes of soil and water conservation measures in Tapiieh Mountains area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2024, 38(6):61-69.