

豫东北黄泛区易风蚀性土壤特征

高睿瑜¹, 李文龙¹, 魏文杰¹, 刘卓昊¹, 袁利², 张荣华¹, 牛勇¹, 张光灿¹

(1.山东泰山森林生态系统国家定位研究站, 山东农业大学林学院, 山东 泰安 271018;
2.淮河水利委员会淮河流域水土保持监测中心站, 安徽 蚌埠 233001)

摘要: 为分析不同土壤类型的性质、界定易风蚀性土壤类型并探索其特征, 选取豫东北黄泛区为研究区域, 采用野外取样、室内试验分析结合的方法测定土壤颗粒粒径、可蚀性因子 K 值等指标, 界定区域易风蚀性土壤类型, 并分析其空间分布特征。结果表明: (1) 从土类看, 豫东北黄泛区 4 种土类, 以潮土为主, 占区域面积的 65.57%; 从亚类看, 共 11 种土壤亚类, 以小两合土、沙土为主, 占区域面积的 59.76%。 (2) 土壤颗粒粒径组成上, 沙土、草甸风沙土、盐化潮土、淤土等类型以砂粒为主; 其余类型以粉粒为主。沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土等类型易蚀颗粒含量较高, 处于 28.30%~31.36% 范围内。草甸碱土、两合土、小两合土的土壤可蚀性因子 K 值相对较高, 范围为 0.038~0.041。 (3) 综合考虑易蚀颗粒含量 $\geq 25\%$ 和可蚀性属中等及以上 2 个指标, 将沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土、脱潮土界定为区域易风蚀性土壤。易风蚀性土壤面积占研究区的 41.79%, 主要分布在中牟县、祥符区、尉氏县等区域。研究结果可为黄泛区后续土壤研究及风蚀防治提供参考和科学依据。

关键词: 土壤颗粒粒径; 易蚀颗粒; 土壤可蚀性因子 K ; 易风蚀性土壤

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2021)06-0055-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.06.008

Characteristics of Wind-Erodible Soil in the Yellow River Alluvial Area of Northeast Henan Province

GAO Ruiyu¹, LI Wenlong¹, WEI Wenjie¹, LIU Zhuohao¹,
YUAN Li², ZHANG Ronghua¹, NIU Yong¹, ZHANG Guangcan¹

(1.Mountain Tai Forest Ecosystem Research Station of State Forestry, Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018; 2.Monitoring Center Station of Soil and Water Conservation, Huaihe River Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu, Anhui 233001)

Abstract: In order to analyze the properties of different soil types, and define the types of wind-erodible soil and explore their characteristics, the Yellow River Alluvial Area of Northeast Henan Province was taken as the research area. Field sampling and indoor experiment analysis were used to determine soil particle size, erodibility factor K value and other indicators, and then defined the types of wind-erodible soil in the area, and analyzed its spatial distribution feature. The main research results showed that: (1) In terms of soil types, there were four soil types in the Yellow River Alluvial Area of Northeast Henan, mainly fluvo-aquic soil, accounting for 65.57% of the area. In terms of subtypes, there were 11 soil subtypes. The main types were small zhejiang soil and sandy soil, accounting for 59.76% of the area. (2) In terms of the particle size composition of the soil, sandy soil, meadow aeolian sandy soil, salinized fluvo-aquic soil, and silt soil were dominated by sand. Other types were dominated by silt. Sandy soil, meadow aeolian sandy soil, irrigated fluvo-aquic soil, salinized fluvo-aquic soil had higher levels of erodible particles, with the range of 28.30%~31.36%. The K value of meadow alkaline soil, zhejiang soil and small zhejiang soil were relatively high, with the range of 0.038~0.041. (3) Comprehensively consider the two indicators of ‘the content of erodible particles $\geq 25\%$ ’ and ‘the erodibility is medium and above’, and the sandy soil, meadow windy sandy soil, irrigated

and silted fluvo-aquic soil, salinized fluvo-aquic soil and degraded Fluvo-aquic soil were defined as regional wind-erodible soil. The wind-erodible soil area accounted for 41.79% of the study area, mainly in Zhongmou County, Xiangfu District, Weishi County and other regions. The results could provide reference and scientific basis for soil research and wind erosion control in the Yellow River Alluvial Area.

Keywords: soil particle size; erodible particles; soil erodibility factor K ; wind-erodible soil

黄泛区地处湿润半湿润地区,风沙化土地分布较广,土层较厚且土壤颗粒结构特殊^[1]。区域土壤由不同粒径颗粒组成,包括砂粒、粉粒和黏粒,颗粒粒径组成、可蚀性等性质对土壤侵蚀有直接影响。粒径处于 0.01~2 mm 范围内为可蚀颗粒,处于 0.075~0.4 mm 范围内的为易蚀颗粒^[2],易蚀颗粒含量高、分布范围内风蚀较严重的土壤为易风蚀性土壤。黄泛区属暖温带季风性气候,在冬季强风干旱条件下,表层土壤中的易蚀颗粒极易被吹蚀、搬运^[3],使易风蚀性土壤分布范围内出现水土流失,导致土壤养分流失,生产力下降^[4-5]。2019 年黄泛区风蚀面积为 2 252 km²,为防治区域风蚀,明确土壤对风蚀的影响,应对黄泛区不同土壤类型的性质、易风蚀性土壤类型及特征进行研究。

对于黄泛区土壤与风蚀的关系,朱震达等^[6]的研究表明,“早风同期条件下,且土壤中沙物质充足,则易出现风沙活动”,证明了土壤性质对风蚀的重要作用。近年来,黄泛区风蚀、土壤相关研究的内容逐渐丰富,角度多元化。土壤试验从微观角度分析评价风蚀,遥感技术更适用于宏观研究,二者均是黄泛区风蚀研究的重要方法,但目前宏观研究稍多于微观。姬生勋^[7]从空间角度研究了黄泛区不同造林年限林地的风蚀情况,并对比了其土壤理化性质的异同;毛玉磊^[1]结合历史资料、遥感数据研究了河南省黄泛区易风蚀性土地现状和变化特征,袁利等^[8]、张乐^[9]、高睿瑜等^[10]借助风蚀遥感模型,研究了黄泛区不同区域的风蚀现状,但均未涉及土壤。受基础数据、研究方法等因素限制,目前黄泛区易风蚀性土壤研究缺少数据支撑和有力依据。

本研究选取豫东北黄泛区为研究区域,采用野外取样、室内试验和遥感分析相结合的方法,测定土壤颗粒粒径、可蚀性因子 K 值等指标,并以此为依据界定易风蚀性土壤,最终分析易风蚀性土壤特征。研究成果对于黄泛区土壤性质、风蚀规律及其防治的深入研究具有参考价值,同时也可防治水土流失、改善区域生态环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

豫东北黄泛区(34.20°—35.01°N,113.78°—115.26°E)

属于淮河流域黄泛平原风沙预防区,地形平坦^[10],总面积为 7 100.69 km²。研究区属暖温带半湿润季风性气候,冬春季干旱多风,全年降水适中。植被属暖温带落叶阔叶林带,常见农作物有小麦、玉米、花生等。研究区土体疏松、土层深厚,地表沙物质丰富^[10]。土类以潮土为主,主要在黄河故道的河床两侧;土壤亚类以小两合土、沙土为主,主要在中牟县和兰考县。区域存在沙丘、沙岗、冲积扇等地貌,坡度以平缓坡为主。农田风蚀与风沙化是其主要水土流失问题。

1.2 土壤样品采集

1.2.1 采样区布设 基于土壤类型图(参照第二次全国土壤普查土壤分类系统,类型精确到亚类,1:200 000 比例尺)矢量数据,综合地形地貌、耕作制度、作物类型等因素,参考黄泛区土壤相关研究^[1,11-13],合理布设采样区。研究区耕地分布广泛,且风蚀多发生于耕地^[10],采样区应多布设于集中成片、周围无林地遮挡的耕地。布设遵循的原则为:(1)设置重复,各县每种土壤类型至少 1 个采样区;(2)依据不同土壤类型分布情况(范围、面积)确定采样区数量,密度适中;(3)典型的土壤类型(如草甸风沙土、沙土)、耕作区域(一年一熟制)应重点关注;(4)避免边缘效应,交通易到达;(5)植物类型、生长情况尽量一致。

本研究采样区共 83 处(草甸风沙土 13,草甸碱土 1,灌淤潮土 5,碱化潮土 5,两合土 10,沙土 21,湿潮土 3,脱潮土 4,小两合土 13,盐化潮土 2,淤土 6),涉及研究区全部土壤类型(图 1)。

1.2.2 样品采集 土壤样品采集于 2020 年 8 月进行,采样前应观察土壤是否黏结,以辅助后续易风蚀性土壤类型的界定(结块证明该处土壤结构相对稳定,不易分散、被强风吹蚀),记录经纬度等地理位置信息。在采样区域划 10 m×10 m 的临时样地,将面积约 50 cm×50 cm 的地面清扫干净,去除土壤表层作物根系、枯落物,选择不同位置在 0—20 cm 深度处压入 6 个环刀(即 6 次重复),土样移入自封袋保存,记录编号、土壤类型、环境、植被情况等信息后带回进行室内试验。

1.3 室内试验与数据分析

室内试验与数据分析于 2020 年 12 月进行,主要

1.4.1 易风蚀性土壤界定

土和小两合土颗粒以粉粒为主,粉粒含量值变化范围为 55.75%~75.39%;湿潮土粉粒含量最高。黏粒含量较少,其变化范围为 2.58%~5.37%。从土类角度看,沙土、风沙土颗粒以砂粒为主,碱土和大部分潮土以粉粒为主。从土壤质地角度看,研究区土壤以粉砂质壤土为主,其次为砂质壤土和壤土。

表 1 研究区不同土壤类型面积及占比情况

土壤类型		分布情况	
土类	亚类	面积/km ²	占研究区面积比例/%
沙土		2098.61	29.56
风沙土	草甸风沙土	343.41	4.84
碱土	草甸碱土	2.73	0.04
	灌淤潮土	157.03	2.21
潮土	碱化潮土	240.23	3.38
	湿潮土	52.39	0.74
	脱潮土	230.28	3.24
	盐化潮土	30.47	0.43
	两合土	1538.12	21.66
	小两合土	2144.97	30.21
	淤土	262.46	3.70

分析不同土壤类型颗粒中砂粒、粉粒和黏粒的质量分数(图 4)可知,沙土砂粒含量为 9.10%~96.42%,均值为 63.41%,以极细砂粒为主;草甸风沙土砂粒含量为 10.44%~91.61%,均值为 53.68%,以极细砂粒为主;盐化潮土砂粒含量均值为 52.93%;灌淤潮土颗粒以粉粒为主,处于 31.87%~85.11% 范围内,均值为 55.87%。

由图 4 可知,不同土壤类型易蚀颗粒含量均值为 3.47%~31.36%。灌淤潮土、盐化潮土、沙土、草甸风沙土易蚀颗粒含量相对较高,变化范围为 28.30%~31.36%;两合土、湿潮土、小两合土、淤土易蚀颗粒含量较低,变化范围为 3.47%~7.57%。沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土的易蚀颗粒含量平均值均 ≥25%,且沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土和脱潮土均有超过 1/3 样本被判断为具有易风蚀性。

尽管在采样区布设时已避免边缘效应,但由于土壤类型图精度影响,导致设计采样位置与实际采样位置仍存在偏移;加之土壤在不同空间和环境下的异质性影响,导致同类型土壤的样本颗粒粒径数据存在一定误差。

2.2.2 不同土壤类型有机质含量 分析表 2 可知,研究区不同土壤类型有机质含量为 2.57~25.90 g/kg,平均值为 16.74 g/kg。从土壤亚类角度看,草甸碱土、两合土、盐化潮土、淤土中有机质含量平均值相对较高,沙土、草甸风沙土中有机质平均值含量较低。从土类看,碱土有机质含量平均值高于潮土、风沙土

和沙土有机质含量。

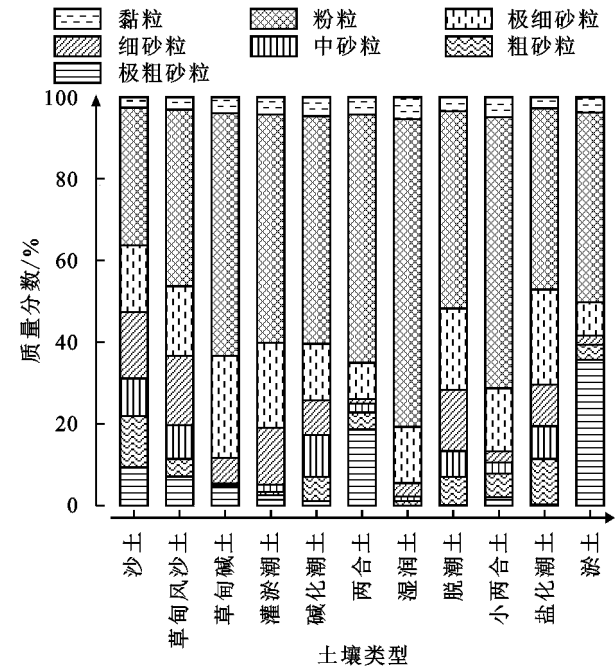


图 3 不同土壤类型不同粒径颗粒质量分数平均值

2.2.3 不同土壤类型 K 值特征 分析不同土壤类型可蚀性因子 K 值计算结果(图 5)可知,K 值为 0.010~0.060;中值、平均值接近,均值为 0.034,中值为 0.036;不同土壤类型 K 值均值为 0.017~0.041。从土壤亚类角度看,草甸碱土、两合土和小两合土的 K 值均值相对较高,小两合土最高(0.041);淤土、盐化潮土和沙土 K 值均值相对较低,淤土最低(0.017)。从土类看,潮土 K 值均值相对较高,风沙土较低。

结合河南省^[16]和沂蒙山区^[17-19]K 值研究成果,将豫东北黄泛区土壤可蚀性划分为 5 个级别(表 3),判断各样本可蚀性级别以辅助易风蚀性土壤界定。

分析研究区不同土壤类型中等及以上级别可蚀性的样本数量(表 4)可知,各类型 K 值均处于较高水平;其中小两合土、两合土、灌淤潮土、碱化潮土的中易风蚀性样本占比较高;而沙土、小两合土、草甸风沙土和两合土中易风蚀性样本数量较多。设计采样位置与实际位置存在偏移,加之土壤类型图影响,同样导致 K 值数据的误差。

2.3 易风蚀性土壤界定及特征

2.3.1 易风蚀性土壤界定 分析研究区不同土壤类型易风蚀性样本个数及易蚀颗粒平均含量(表 5)可知,沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土的易蚀颗粒含量平均值均处于 ≥25% 的范围内,且沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土和脱潮土均有超过 1/3 样本被判断为具有易风蚀性。从易蚀颗粒含量角度考虑,将沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、脱潮土、盐化潮土 5 种类型初步界定为易风蚀性土壤。

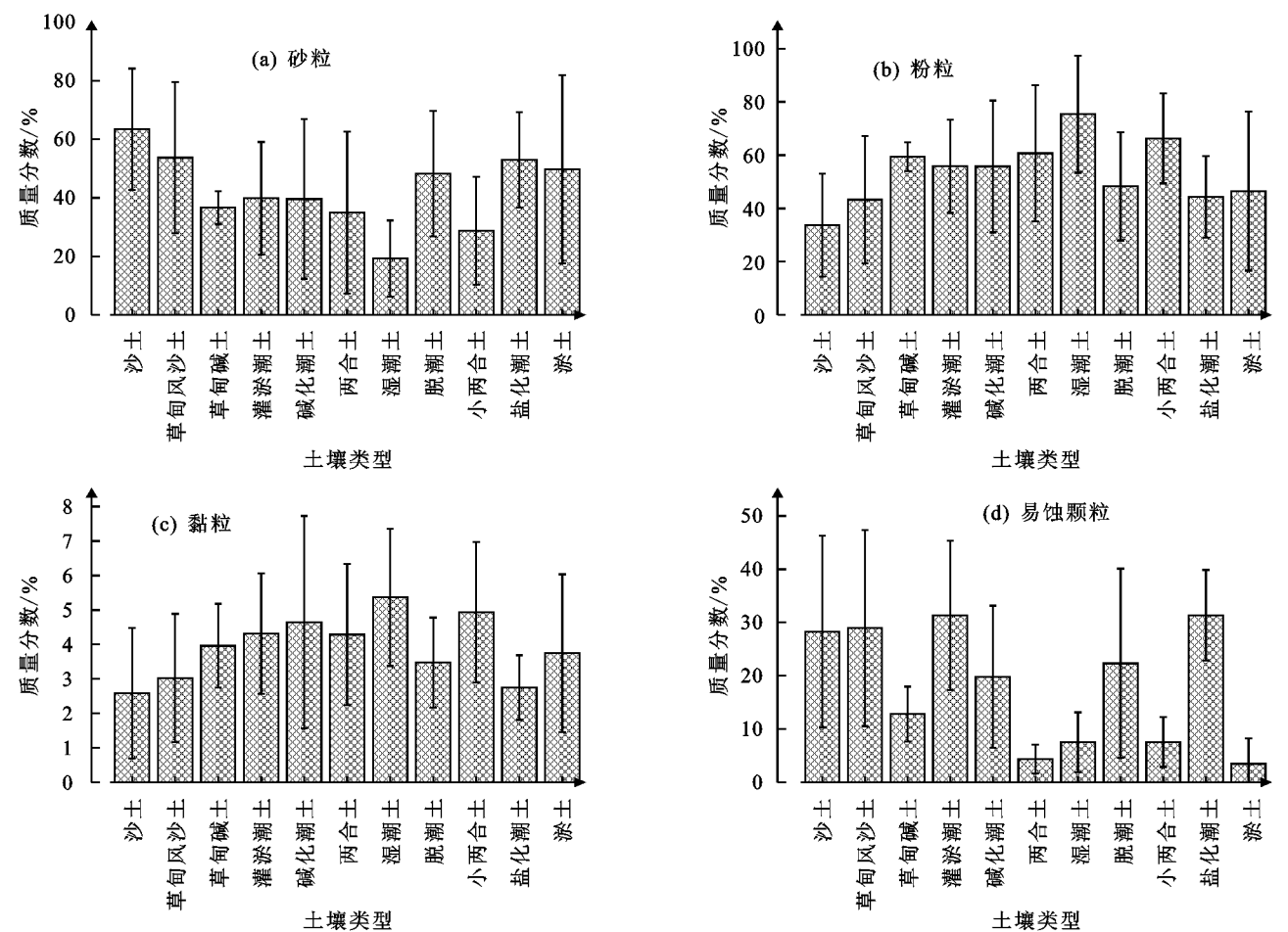


图 4 不同土壤类型不同粒径颗粒及易蚀颗粒质量分数

土壤类型		样本数量 (采样区×重复)	土壤有机质含量/(g·kg ⁻¹)	
土类	亚类		变化范围	平均值
沙土		21×6	2.57~20.81	12.39
风沙土	草甸风沙土	13×6	3.43~25.90	13.05
碱土	草甸碱土	1×6	—	27.68
	灌淤潮土	5×6	10.96~21.90	14.79
潮土	碱化潮土	5×6	12.04~20.21	16.22
	两合土	10×6	9.32~24.99	17.60
	湿潮土	3×6	9.25~17.04	14.30
	脱潮土	4×6	11.36~21.55	16.03
	小两合土	13×6	7.14~21.96	16.89
	盐化潮土	2×6	19.00~19.89	19.45
	淤土	6×6	14.00~23.31	17.45

分析研究区各类型 K 值的样本数量可知,各类型 K 值均处于较高水平;其中小两合土、两合土、灌淤潮土、碱化潮土的中易风蚀性样本占比较高;而沙土、小两合土、草甸风沙土和两合土中易风蚀性样本数量较多。从 K 值角度考虑,所有类型土壤均具有易风蚀性特征,优先将沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、碱化潮土、小两合土、两合土初步界定为易风蚀

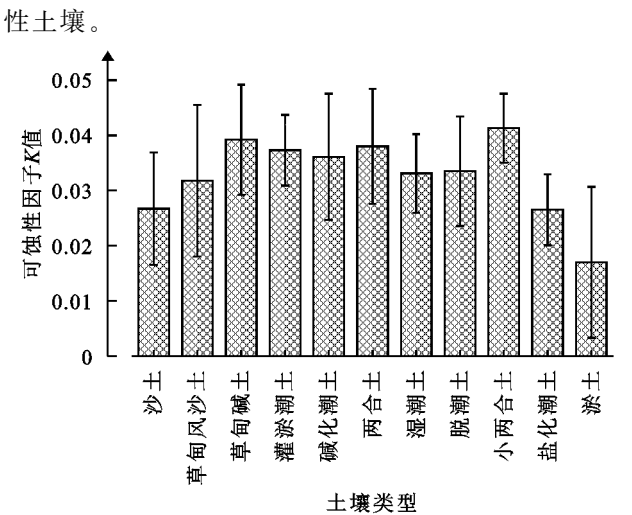


图 5 不同土壤类型的 K 值平均值

序号	可蚀性级别	K 值范围
1	低	$K < 0.025$
2	较低	$0.025 \leq K < 0.030$
3	中等	$0.0300 \leq K < 0.035$
4	较高	$0.035 \leq K < 0.040$
5	高	$K \geq 0.040$

叠加分析不同土壤类型的易蚀颗粒含量、土壤可蚀性因子 K 值情况,最终将沙土、草甸风沙土、灌淤

潮土、脱潮土、盐化潮土界定为易风蚀性土壤。

表 4 不同土壤类型样本 K 值及可蚀性情况					
土壤类型		K		样本	
土类	亚类	取值范围	均值	总数量	中可蚀性 以上数量
潮土	沙土	0.001~0.047	0.027	126	72
	草甸风沙土	0.011~0.060	0.032	78	42
	草甸碱土		0.039	6	6
	灌淤潮土	0.027~0.047	0.037	30	24
	碱化潮土	0.016~0.047	0.036	30	24
	两合土	0.019~0.048	0.038	60	48
	湿潮土	0.033~0.048	0.043	18	18
	脱潮土	0.018~0.044	0.034	24	18
	小两合土	0.028~0.048	0.041	78	72
	盐化潮土	0.027~0.048	0.041	12	6
	淤土	0.017~0.047	0.031	36	18

表 5 易风蚀性土壤界定			
土壤亚类	土壤样本		
	总数	易蚀性 样本数量	中可蚀性 以上数量
沙土	126	66	72
草甸风沙土	78	42	42
草甸碱土	6	0	6
灌淤潮土	30	12	24
碱化潮土	30	6	24
两合土	60	0	48
湿潮土	18	0	18
脱潮土	24	12	18
小两合土	78	6	72
盐化潮土	12	6	6
淤土	36	0	18

2.3.2 易风蚀性土壤数量及空间分布特征 易风蚀性土壤分布面积为 2 967.23 km²,占研究区总面积的 41.79%。其中,沙土分布面积为 2 177.45 km²,草甸风沙土面积为 356.31 km²,脱潮土面积为 238.93 km²;灌淤潮土面积为 162.93 km²;盐化潮土面积为 31.61 km²。

由图 6 可知,沙土在中牟县分布较多,草甸风沙土在中牟县和尉氏县分布较多,脱潮土主要分布在尉氏县中西部,灌淤潮土主要分布在中牟县和祥符区,盐化潮土主要分布在兰考县和中牟县。

3 讨论

3.1 易风蚀性土壤界定方法

易蚀颗粒含量为判断易风蚀性土壤的重要指标。在董治宝等^[2]、王友胜^[11]的研究中,颗粒粒径在 0.400~0.075 mm 范围内为易蚀颗粒;当某一类型土壤中易蚀颗粒含量超过 25% 时,则认为其具有易风蚀

性^[1,11]。以前人研究^[2,11]为基础,本研究认为,若某一土壤样本中易蚀颗粒含量超过 25%,则样本具有易风蚀性。但依据单个样品中易蚀颗粒含量进行界定不具有代表性,为保证结果准确性,本研究取样和试验均设计重复,确定了“若某类型土壤超过 1/3 样本被判断为具有易风蚀性,将其初步界定为易风蚀性土壤”这一原则。此外,研究以 K 值为界定依据,先依据 K 值计算情况划分可蚀性程度,确定“若某类型土壤超过 1/2 样本可蚀性属于中等及以上,将其初步界定为易风蚀性土壤”这一原则。同时满足两项原则的土壤类型为易风蚀性土壤。与毛玉磊^[1]、王友胜^[11]的研究相比较,相似点为本研究同样将易蚀颗粒含量作为界定易风蚀性土壤的重要指标;差异为本研究增加 K 值为界定依据,综合易蚀颗粒、K 值确定易风蚀性土壤,方法更科学。

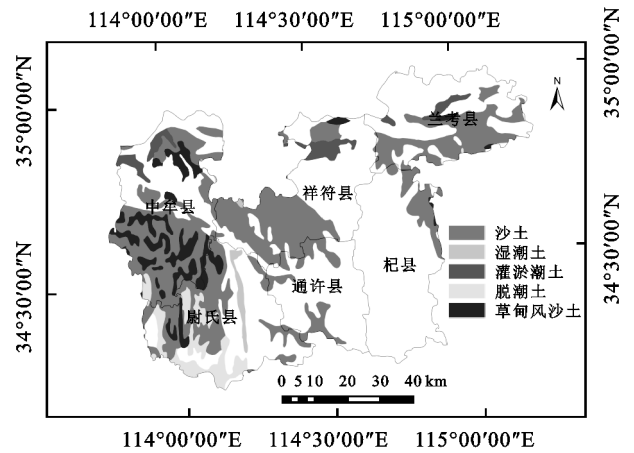


图 6 易风蚀性土壤空间分布

此外,本研究基础数据较前人研究质量有一定提高,保证了结果的准确性。若获取更高精度、更充足的土壤资料,研究仍有提升空间。

3.2 易风蚀性土壤界定结果

综合考虑不同土壤类型易蚀颗粒、K 值后,本研究最终将沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、脱潮土、盐化潮土界定为易风蚀性土壤。与毛玉磊^[1]、王友胜^[11]研究结果相比,除未包含潮土(亚类)中的壤质潮土、砂质潮土(土属/种)外,其余土壤类型与之一致。对比结果证明本研究结果的准确性,而差异主要由研究方法、基础数据导致。

3.3 土壤可蚀性因子 K 值计算结果

长期以来,K 值的研究多针对于典型水蚀区,但豫东北黄泛区同样存在一定面积的水蚀,从探索土壤性质对侵蚀影响、深入研究平原区水蚀的角度考虑,平原区 K 值研究应更加深入,相关内容需进一步补充。

研究豫东北黄泛区 K 值时,可与北方土石山区的研究结果对比,河南省、淮河流域黄泛区的 K 值研

究也有参考意义。本研究计算所得的 K 值为 $0.010\sim 0.060$,平均值为 0.034 ,与邹丛荣^[17]、荆莎莎等^[18]、李子君等^[19]对沂蒙山区各县 K 值研究结果相比,本研究结果偏低。梁音等^[16]计算的河南省 K 值为 $0.011\sim 0.066$,平均值为 0.038 。豫东北黄泛区 K 值最值、平均值理应低于山丘区,河南省存在伏牛山、桐柏山等山丘区,而沂蒙山区同样为山丘区,与上述结果相比,本研究结果合理。在王友胜^[11]的研究中,淮河流域黄泛区 K 值为 $0.030\sim 0.061$,平均值为 0.047 ,豫东北黄泛区属于淮河流域黄泛区, K 值取值应在此范围内。本研究所得 K 值结果具有一定准确性,且数据差异具有合理性。

4 结 论

(1)豫东北黄泛区土类共 4 种,以潮土为主;亚类以小两合土、沙土为主,占区域面积的 59.76% 。

(2)土壤颗粒粒径组成上,沙土、草甸风沙土、盐化潮土、淤土以砂粒为主,其余类型以粉粒为主,土壤质地以粉砂质壤土为主。沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土易蚀颗粒含量较高。所有土壤类型可蚀性因子 K 值均较高。

(3)综合考虑“易蚀颗粒含量 $\geq 25\%$ ”和“可蚀性属中等及以上”2 个指标,将沙土、草甸风沙土、灌淤潮土、盐化潮土、脱潮土界定为区域易风蚀性土壤。易风蚀性土壤面积占研究区的 41.79% ,主要分布在中牟县、祥符区、尉氏县等区域。

参考文献:

[1] 毛玉磊.河南省黄泛平原风沙化土地形成及分布特征研究[D].山东 泰安:山东农业大学,2015.

[2] 董治宝,李振山.风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):1-12.

[3] 张洪江.土壤侵蚀原理[M].2 版.北京:中国林业出版社,2008.

[4] 毛旭芮,杨建军,曹月娥,等.土壤结皮面积与结皮分布对风蚀影响的风洞模拟研究[J].水土保持学报,2020,34

(3):1-7.

[5] 左小锋,郑粉莉,张加琼,等.典型薄层黑土区前期地表风蚀作用影响坡面水蚀的研究[J].土壤学报,2021,58(5):1145-1156.

[6] 朱震达,刘恕.关于沙漠化的概念及其发展程度的判断[J].中国沙漠,1984(3):6-12.

[7] 姬生勋.黄泛沙地不同土地利用类型土壤风蚀规律及影响机制[D].山东 泰安:山东农业大学,2011.

[8] 袁利,张春强,张荣华,等.淮河流域黄泛平原风沙区水土流失格局[J].中国水土保持,2019(12):10-13.

[9] 张乐.鲁西北黄泛区土壤侵蚀研究[D].北京:北京林业大学,2019.

[10] 高睿瑜,张芷温,张荣华,等.2018—2019 年河南省兰考县土地利用变化对耕地风蚀的影响[J].水土保持通报,2021,41(1):112-117,124.

[11] 王友胜.淮河流域黄泛区风水侵蚀格局及其驱动因子研究[D].山东 泰安:山东农业大学,2012.

[12] 贾振宇.黄泛区土壤氮磷空间变异特征及影响因素分析[D].河南 开封:河南大学,2016.

[13] 宋胜明,刘霞,张荣华,等.黄泛风沙区耕地土壤风蚀影响因子的通径分析[J].水土保持通报,2017,37(3):249-253.

[14] 牛宋芳,刘秉儒,王利娟.土壤粒径及有机碳特征对灌丛沙堆发育阶段的影响研究[J].土壤通报,2017,48(5):1032-1038.

[15] 郑永林,王海燕,王一格,等.三峡库区筭溪河流域面源污染及其与土壤可蚀性 K 值的关系[J].应用与环境生物学报,2021,27(1):208-213.

[16] 梁音,刘宪春,曹龙熹,等.中国水蚀区土壤可蚀性 K 值计算与宏观分布[J].中国水土保持,2013(10):35-40,79.

[17] 邹丛荣.沂蒙山区沂源县土壤可蚀性因子(K)研究[D].南京:南京林业大学,2017.

[18] 荆莎莎,张荣华,张庆红,等.沂蒙山区典型县土壤可蚀性 K 值空间变异研究[J].土壤通报,2017,48(2):278-284.

[19] 李子君,王硕,林锦阔,等.沂河流域土壤可蚀性空间变异研究[J].土壤通报,2019,50(1):45-51.