

大别山区板栗林地水土流失特性研究

杨伟^{1,3}, 李璐^{1,3}, 欧阳曙光², 余冰^{1,3}, 聂斌斌^{1,3}

(1.湖北省水利水电科学研究院, 湖北 武汉 430070; 2.黄冈市农田水利与水土保持研究所, 湖北 黄冈 438021; 3.湖北省水土保持工程技术研究中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: [目的] 研究大别山区板栗林地水土流失特性, 为该区水土流失综合防治和生态安全保障工作提供科学支持。[方法] 以“全国板栗第一县”湖北省罗田县为典型, 通过对 10°, 15°, 20° 共 3 种坡度板栗林及对照 10°, 15° 撂荒小区 2014—2018 年的降雨、径流、泥沙、植被覆盖度进行观测分析, 研究大别山区板栗林下水土流失特性。[结果] ① 在同等坡度和降雨条件下, 虽然板栗林植被覆盖度更高, 但其土壤侵蚀程度较撂荒地更加严重, 说明板栗林存在较明显的林下水土流失; ② 植被覆盖度越低土壤侵蚀越严重, 但植被覆盖度最高时土壤侵蚀程度并不一定最弱, 说明由于林分结构的复杂性, 即使在相同降雨、土壤、坡度条件下, 植被覆盖度也不能作为反映土壤侵蚀程度的唯一指标; ③ 板栗林水土流失程度并非随坡度的增大而增大, 其侵蚀峰值(临界坡度)在 15° 左右。[结论] 大别山区板栗分布广泛, 其林下水土流失现象需要引起科研和管理部门的进一步关注。

关键词: 大别山; 板栗林地; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0259-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 杨伟, 李璐, 欧阳曙光, 等. 大别山区板栗林地水土流失特性研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 259-263. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.035; Yang Wei, Li Lu, Ouyang Shuguang, et al. Characteristics of soil and water loss at *Castanea mollissima* woodlands in Dabie Mountain area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 259-263.

Characteristics of Soil and Water Loss at *Castanea Mollissima* Woodlands in Dabie Mountain Area

Yang Wei^{1,3}, Li Lu^{1,3}, Ouyang Shuguang², Yu Bing^{1,3}, Nie Binbin^{1,3}

(1. Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. Huanggang Soil and Water Conservation & Farmland Water Conservancy Research Institute, Huanggang, Hubei 438021, China; 3. Hubei Engineering and Technology Research Center of Soil and Water Conservation, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of soil erosion at *Castanea mollissima* woodlands in the Dabie Mountains were studied in order to provide scientific support for the comprehensive prevention and control of soil erosion and ecological security in this area. [Methods] Data for this study came from Luotian County, Hubei Province well known as the ‘No. 1 *Castanea mollissima* County in China’. Rainfall, runoff, sediment, and vegetation coverage of three *Castanea mollissima* woodlands on slopes of 10°, 15°, and 20°, and of two abandoned runoff plots were observed to study the characteristics of soil erosion at *Castanea mollissima* woodlands in the Dabie Mountains. [Results] ① Although the vegetation coverage on the *Castanea mollissima* plots was higher than on the abandoned runoff plots, the soil erosion degree was more serious than on the abandoned land under the same slope and rainfall conditions, indicating that the *Castanea mollissima* woodlands had obvious soil erosion under the forest. ② Soil erosion was weaker in plots with lower vegetation coverage. However, soil erosion was not necessarily the weakest when the vegetation coverage was the highest. This means that even under the same rainfall, soil, and slope conditions, the vegetation coverage cannot be the only indicator of the degree of soil erosion. The composition and structure of vegetation must be considered. ③ Soil

收稿日期: 2021-10-28

修回日期: 2021-11-19

资助项目: 湖北省水利重点科研项目“大别山区板栗林下水土流失特性研究”(HBSLKY201808); 湖北省水利前期工作“湖北省水土保持三级区林下植被覆盖度研究”(2021-218-006-002)

第一作者: 杨伟(1983—), 男(汉族), 河南省灵宝市人, 博士, 高级工程师, 主要从事水土保持研究。Email: yw-883@163.com。

erosion on the *Castanea mollissima* plots did not increase with increasing slope, and there was a peak of soil erosion at about 15°. [Conclusion] *Castanea mollissima* is widely distributed in the Dabie Mountains. The phenomenon of soil erosion under *Castanea mollissima* requires further attention from scientific research and management departments.

Keywords: Dabie mountain; *Castanea mollissima* woodland; soil erosion

林地通过林冠、灌草以及地表枯枝落叶层、腐殖质层等有效削弱降雨对土壤的溅击侵蚀力,减少地表径流、滞缓流速,降低径流的冲蚀力,是防止水土流失的有效措施^[1]。但在南方红壤丘陵区,许多林地下土壤被覆匮乏、植物群落结构单一,导致林地成为水土流失的重要策源地之一^[2-4]。以福建长汀县为例,2014 年长汀县林下水土流失面积 312 km², 占总面积的 1/8^[3]。林下水土流失可分为两大类,一类是马尾松^[5]、桉树等^[6]人工生态林,由于林种单一、林下盖度低,易发生水土流失;另一类是茶园、果园等经果林,由于翻耕、施肥、除草等导致林下植被减少和土壤结构破坏,从而产生水土流失^[7]。

板栗是中国分布较广的一种经果林种。在北方板栗主要产区之一的燕山地区,15°以上板栗林土壤侵蚀模数达 3 500~5 000 t/(km²·a)^[8-9], >25°土壤侵蚀模数甚至高达到 12 160.9 t/(km²·a)^[10], 达到极强烈侵蚀程度。板栗林占河北省兴隆县全县水土流失总面积的 1/4, 该县每年因板栗林形成的土壤流失总量达 1.40×10⁶ t。因为带来的水土流失范围广、面积大、侵蚀强度高、危害严重,板栗林已成为燕山山区水土流失的主要策源地之一^[4]。此外,根据对浙江省几种典型坡地经济林水土流失的研究,板栗林坡地水土流失最为严重^[8]。

大别山区位于湖北、安徽、河南三省交界处,是中国中部地区的重要生态功能区和长江中下游地区的重要生态屏障,也是 3 省水土流失严重的区域之一^[11],同时也是全国重要的板栗产地,仅麻城、罗田、红安 3 个县市的板栗种植面积就达到 1.33×10⁵ hm²。因此,研究掌握大别山区板栗林下水土流失情况,对深入开展大别山区水土流失综合防治,保障大别山区生态安全具有重要意义。为此,本研究以黄冈市罗田县龙井河小流域板栗径流小区为对象,对大别山区板栗林下水土流失特性进行研究。

1 试验设计

1.1 研究区概况

研究区域位于大别山区中部湖北省黄冈市罗田县南部白莲河乡,长江一级支流浠水河上游龙井河小流域。罗田县是全国板栗第一县,其面积、产量

全国第一,罗田板栗是国家地理标志产品。龙井河小流域面积 3.36 km², 多年平均降水量 1 447 mm, 最大年降水量 2 615 mm, 最小年降水量 796 mm, 年均径流深 730 mm, 多年平均温度 17 °C, ≥10 °C 积温 4 919 °C, 年无霜期 243 d。小流域土壤主要为花岗岩片麻岩发育的黄棕壤, 土层浅薄, 土体中抗风化的石英、长石砂砾含量高, 黏结能力极差, 养分贫瘠, 当地又称为“麻骨土”^[12]。

1.2 径流小区布设

径流小区观测试验在罗田县龙井河水土保持观测站进行(东经 115°26′57″, 北纬 30°40′39″), 观测站建于 2009 年, 设有坡面径流场、小流域控制站、气象观测站等设施, 其地质土壤、气候条件及地表状况基本代表大别山区南麓特征。2014—2018 年选取 10°, 15°和 20°板栗小区开展水土流失定位观测, 为对比板栗林对水土流失的影响, 同时选取 10°, 15°撂荒小区作为对照。小区均为标准径流小区, 水平投影坡长 20 m, 宽 5 m, 板栗林栽植于 2010 年, 栽植密度 2 m×2 m。各小区每年 3 月和 7 月各人工锄草 1 次。径流小区情况详见图 1 和表 1。



图 1 龙井河监测点(摄于 2016 年)

1.3 指标观测与计算

径流小区底部设置集流桶, 每次降雨后测量集流桶水深, 搅拌均匀后用 1 L 取样瓶取样带回实验室。实验室内用量筒测量样品体积, 过滤、烘干后计算样品泥沙含量。根据样品泥沙含量、集流桶水深换算本次降雨总径流量、泥沙量。

表 1 径流试验小区基本情况

小区编号	水平投影坡长/m	水平投影宽度/m	水平投影面积/m ²	坡度/(°)	坡向	土壤类型	土层厚度/m	基岩种类	工程措施	植被种类
1	20	5	100	10	西偏南	黄棕壤	0.6	片麻岩	坡地	板栗
2	20	5	100	10	西偏南	黄棕壤	0.6	片麻岩	坡地	撿荒
3	20	5	100	15	西偏南	黄棕壤	0.6	片麻岩	坡地	板栗
4	20	5	100	15	西偏南	黄棕壤	0.6	片麻岩	坡地	撿荒
5	20	5	100	20	西偏南	黄棕壤	0.6	片麻岩	坡地	板栗

本研究以次降雨为单位,对 2014—2018 年侵蚀性降雨特征进行研究。次降雨侵蚀模数根据每个小区次降雨总泥沙量、小区面积和降雨历时计算,并根据《土壤侵蚀强度分类分级标准》将其划分为微度、轻度、中度、强烈、剧烈、极强烈 6 个等级。植被覆盖度每次降雨后采用目估法观测,并分为 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级,植被覆盖度分别为 0%~20%, 20%~40%, 40%~60%, 60%~80%, 80%~100%^[13]。降雨由自动气象站观测获取。降雨侵蚀力因子(R)采用 EI_{30} 法计算^[14]。

表 2 观测站 2014—2018 年平均次降雨参数及降雨侵蚀力统计

统计参数	降雨数据			降雨侵蚀力因子/ (MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹)
	降雨量/mm	降雨强度/(mm·d ⁻¹)	I_{30} /(mm·h ⁻¹)	
平均值	62.95±42.04	80.64±52.56	26.85±21.10	252.26±362.58

2014—2018 年龙井河侵蚀性降雨的年平均次降雨量、年平均次降雨强度、年平均最大 30 min 雨强和年平均次降雨侵蚀力变化如图 2 所示。

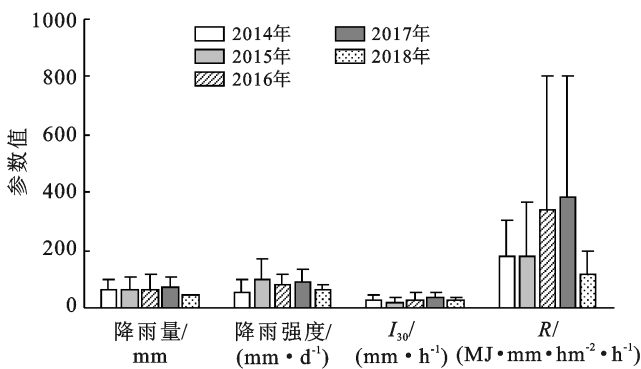


图 2 降雨参数与降雨侵蚀力年际变化

从年际变化来看,年平均次降雨量、年平均最大 30 min 雨强和年平均次降雨侵蚀力最高值均出现在 2017 年,年平均降雨强度最高值则出现在 2015 年。年平均降雨量和年平均降雨侵蚀力最低值出现在 2018 年,年平均最大 30 min 雨强最低值出现在 2015 年,年平均次降雨强度最高值则出现在 2014 年。一般认为降雨侵蚀力主要受断点雨强、降雨量和最大时

2 结果与分析

2.1 降雨特征

2014—2018 年龙井河观测站 5 a 所有侵蚀性降雨场次,平均降雨量 62.95 mm/d,平均最大 30 min 雨强为 26.85 mm,平均最大 60 min 雨强为 19.64 mm,平均降雨侵蚀力 252.26 MJ·mm/(hm²·h)。降雨量和降雨强度变异相对较小,降雨侵蚀力变异幅度较大。说明即使相同的降雨量和平均雨强下,由于降雨过程的不均匀性,降雨侵蚀力也并不相同(表 2)。

间段雨强影响,且与这 3 个因子正相关^[15-16]。本研究降雨侵蚀力变化趋势与降雨量的变化趋势较为接近,与降雨强度变化趋势差异较大。

2.2 植被覆盖度特征

相同坡度下,板栗小区植被覆盖度高于撿荒小区,但由于 10°小区部分板栗植株长势较差,因此 15°板栗小区和撿荒小区植被覆盖度差异更加明显。板栗小区有 II, III, IV, V 这 4 个植被覆盖度等级,其平均植被覆盖度分别为 35.24%, 60.00%, 72.06% 和 89.39%,撿荒小区有 I, IV, V 这 3 个植被覆盖度等级,其平均植被覆盖度分别为 6.53%, 75.00%, 86.15%。比较不同坡度的植被覆盖度(图 3),不同坡度撿荒小区植被覆盖度变化不大,15°撿荒小区植被覆盖度略高于 10°撿荒小区,但差异不明显;不同坡度板栗林小区植被覆盖度差异较大,植被覆盖度随坡度增加而增大,15°板栗小区植被覆盖度显著高于 10°板栗小区,20°板栗小区植被覆盖度高于 15°板栗小区,但差距相对较小。

2.3 径流泥沙特征

分析不同小区 2014—2018 年历次侵蚀性降雨的平均泥沙含量、径流量和侵蚀量。比较板栗和撿荒 2 种土地利用(图 4),10°,15°板栗小区径流量和侵蚀量

均值均高于撂荒小区,说明在这两种坡度条件下,板栗林土壤侵蚀较撂荒地更加严重。 10° 板栗小区与撂荒小区的泥沙含量、径流量和侵蚀量之间的差距均比 15° 小区要低,可能是由于 10° 板栗林小区与撂荒小区的泥沙含量、径流量和侵蚀量较低。

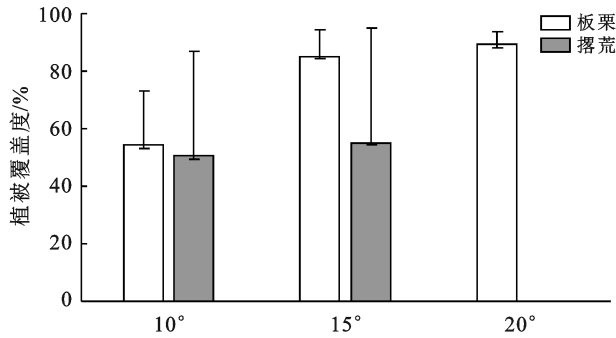


图3 径流小区植被覆盖度

15° 撂荒小区的平均含沙量和侵蚀量高于 10° 撂荒小区,平均径流量两种坡度则较为接近。板栗小区的平均泥沙含量、径流量和侵蚀量均为 15° 最大, 20° 最小。板栗小区植被覆盖度随坡度增加而增加,但是由于板栗争夺养分和遮挡光照等因素,林下盖度反而

降低。 20° 小区虽然林下盖度小于 10° 小区,但由于其板栗林郁闭度高,整体植被覆盖度明显高于 10° 小区,林冠对降雨侵蚀的削弱作用大于林下盖度降低和坡度增加对降雨侵蚀的促进作用,因此 20° 板栗小区泥沙含量、径流量和侵蚀量均小于 10° 板栗小区。 15° 板栗小区林下盖度和总体植被覆盖度介于 10° 和 20° 板栗小区之间,林冠对降雨侵蚀的削弱作用小于林下盖度降低和坡度增加对降雨侵蚀的促进作用,因此 15° 板栗小区泥沙含量、径流量和侵蚀量均大于 10° 板栗小区。

板栗小区泥沙含量、径流量和侵蚀量最大值出现在 15° ,说明板栗林水土流失并非随着坡度增加而增加,在大别山的降雨、土壤条件下,其土壤侵蚀峰值(即临界坡度)在 15° 左右。国内对北方黄土地区的土壤侵蚀坡度进行了较多研究,陈法扬^[17]、郑粉莉^[18]、王玉宽等^[19]认为黄土地区的土壤侵蚀临界坡度在 25° 或 26° 左右,与本研究结果存在一定差异,说明临界坡度并不是固定值。在不同区域,由于土壤性质的不同,其临界坡度有所不同。对于林地,由于林、灌、草的复杂结构,以及郁闭度、林下盖度相互影响并随时间的变化,其临界坡度更为复杂。

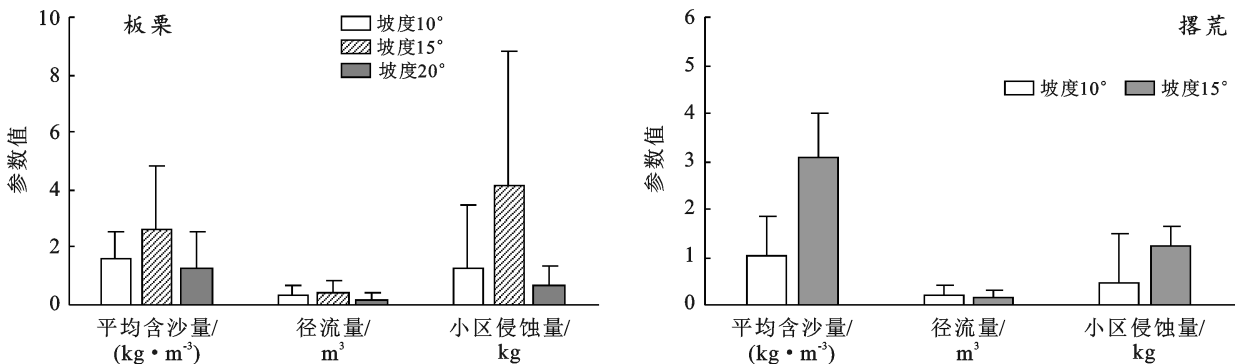


图4 不同径流小区主要侵蚀参数变化

分析不同植被覆盖度的平均泥沙含量、径流量和侵蚀量(表3)。 10° 小区4种不同植被覆盖度的平均含沙量大小顺序表现为: $I > II > IV > V > III$;平均径流量表现为: $I > IV > III > II > V$;平均侵蚀量表现为: $I > IV > II > V > III$ 。平均含沙量、径流量和侵蚀量均为I级植被覆盖度最高,含沙量和侵蚀量III级植被覆盖度最低,径流量II级植被覆盖度最低。 15° 小区I, III, V这3个植被覆盖等级平均含沙量关系表现为: $I > III > V$;平均径流量表现为: $I > V > III$;侵蚀量表现为: $I > V > III$,其结果与 10° 小区较类似,平均含沙量、径流量和侵

蚀量在I级植被覆盖度时最高,径流量和侵蚀量在III级植被覆盖度时最低,平均含沙量则在V级植被覆盖度时最低。该结果表明在植被覆盖度较低时土壤侵蚀严重,含沙量、径流量和侵蚀量较高;随着植被覆盖度的增加,土壤侵蚀程度减弱。但由于林下水土流失的存在,植被覆盖率最高时(IV级、V级),土壤侵蚀程度并未达到最低,径流量和侵蚀量最低值常常出现在中等植被覆盖度(III)级。李宗勋等^[20]对马尾松林下水土流失研究也发现类似结果,郁闭度0.2, 0.8的马尾松林产沙量均高于郁闭度0.4, 0.6的马尾松林。

表 3 龙井河不同土地利用植被覆盖分布特征

类型	等级	植被覆盖			平均含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	径流量/ m^3	侵蚀量/ kg
		最大值/%	最小值/%	平均值/%			
板栗	II	40.00	30.00	35.24	1.64	0.20	0.61
	III	60.00	60.00	60.00	1.18	0.23	0.50
	IV	80.00	69.00	72.06	1.40	0.28	1.08
	V	94.00	85.00	89.39	1.86	0.28	2.16
撂荒	I	16.00	0.00	6.53	2.22	0.46	2.49
	IV	75.00	75.00	75.00	1.39	0.31	0.95
	V	90.00	85.00	86.15	1.34	0.14	0.63

2.4 侵蚀强度

板栗林小区侵蚀性次降雨微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈侵蚀 6 种侵蚀强度等级均存在,所占比例分别为 24.56%,42.98%,5.26%,7.89%,7.89%和 11.40%。撂荒小区只有微度、轻度、中度和强烈 4 种侵蚀强度等级,未发生极强烈侵蚀和剧烈侵蚀,4 种侵蚀等级所占比例分别为 19.74%,57.89%,1.32%和 21.05%。撂荒小区发生轻度及以下土壤侵蚀的频率高于板栗林小区,且板栗小区的微度、轻度和强烈侵蚀的侵蚀模数平均值均大于撂荒小区,仅有中度侵蚀的侵蚀模数小于撂荒小区。整体上也说明撂荒地土壤侵蚀程度弱于板栗林小区(图 5)。比较不同小区土壤流失量、侵蚀模数和降雨侵蚀力及植被覆盖的关系,仅有个别小区存在明显的线性关系。

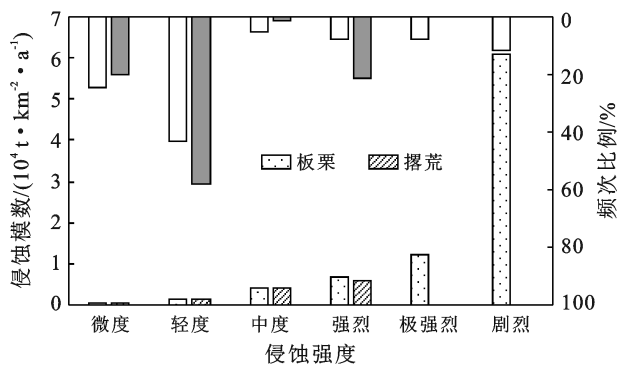


图 5 不同径流小区侵蚀强度及频数

3 结论

本研究以次降雨为研究对象,对 2014—2018 年大别山区不同坡度板栗林及对照撂荒小区的径流、泥沙、侵蚀模数、植被覆盖度等进行了分析。发现在同等降雨条件下,虽然板栗林植被覆盖度更高,但由于林下盖度较低,板栗林土壤侵蚀程度较撂荒地更加严重,存在较明显的林下水土流失现象。植被覆盖度越低土壤侵蚀越严重,但植被覆盖度最高时土壤侵蚀程度并不一定最弱,说明在相同降雨、土壤条件下,植被

覆盖度不能作为反映土壤侵蚀程度的唯一指标,必须考虑植被林分结构。板栗林水土流失并非随坡度的增大而不断增加,其侵蚀峰值(临界坡度)在 15° 左右。与茶园、果园等经果林相比,板栗林翻耕、除草、施肥等频次较低,人为活动对土壤结构破坏相对较弱。板栗林下水土流失主要是由于板栗林通过争夺养分、影响光照等抑制林下植被生长,降低林下盖度,从而引起林下水土流失。

[参 考 文 献]

- [1] 欧阳帅,项文化,陈亮,等.南方山地丘陵区森林植被恢复对水土流失调控机制[J].水土保持学报,2021,35(5):1-9.
- [2] 袁再健,马东方,聂小东,等.南方红壤丘陵区林下水土流失防治研究进展[J].土壤学报,2020,57(1):12-21.
- [3] 梁音,杨轩,潘贤章,等.南方红壤丘陵区水土流失特点及防治对策[J].中国水土保持,2008(12):50-53.
- [4] 徐涵秋,张博博,关华德,等.南方红壤区林下水土流失的遥感判别:以福建省长汀县为例[J].地理科学,2017,37(8):1270-1276.
- [5] 何圣嘉,谢锦升,杨智杰,等.南方红壤丘陵区马尾松林下水土流失现状、成因及防治[J].中国水土保持科学,2011,9(6):65-70.
- [6] 于福科,黄新会,王克勤,等.桉树人工林生态退化与恢复研究进展[J].中国生态农业学报,2009,17(2):393-398.
- [7] 何绍浪,何小武,李凤英,等.南方红壤区林下水土流失成因及其治理措施[J].中国水土保持,2017(3):16-19.
- [8] 王云南.浙江省典型经济林水土流征分析与防治措施优化设计[D].浙江 杭州:浙江大学,2011.
- [9] 尚润阳,张亚玲.燕山山区板栗林下水土流失危害及防治建议[J].海河水利,2015(3):12-14,35.
- [10] 王世雷,王奋忠,李民义,等.密云区板栗林下水土流失防治初探[J].中国水土保持,2020(6):64-66.
- [11] 江雯,胡玉乾,汪军红,等.安徽大别山区天然降雨对典型植被水土流失影响研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2021,57(2):265-273.
- [12] 管善远.鄂东北麻骨土的基本性状、成因及改良利用[J].湖北农业科学,1987(10):17-18.

- Epidemiology, 2021:100430.
- [18] 曹永福, 格兰杰因果性检验评述[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(1):155-160.
- [19] Balsa-Barreiro José, Li Yingcheng, Morales Alfredo. Globalization and the shifting centers of gravity of world's human dynamics: Implications for sustainability [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 239: 117923.
- [20] 张鹏骞, 胡理乐, 白加德. 京津冀地区近 20 年 NDVI 时空变化特征[J]. 生态环境学报, 2021, 30(1):29-36.
- [21] 李卓, 孙然好, 张继超, 等. 京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析[J]. 生态学报, 2017, 37(22):7418-7426.
- [22] Jiang Meichen, He Yuexin, Song Conghe, et al. Disaggregating climatic and anthropogenic influences on vegetation changes in Beijing-Tianjin-Hebei region of China [J]. Science of the Total Environment, 2021, 786, 147574.
- [23] 孙涛, 孙然好, 陈利顶. 京津冀城市群土地利用转化对植被净生产力的影响模式研究[J]. 环境生态学, 2020, 2(4):1-8, 17.
- [24] 赵安周, 裴韬, 曹森, 等. 京津冀城市扩张对植被和地表城市热岛的影响[J]. 中国环境科学, 2020, 40(4):1825-1833.
- [25] 武爱彬. 京津冀区域“三生空间”分类评价与格局演变[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(11):237-242.
- [26] 张滔, 唐宏. 基于 Google Earth Engine 的京津冀 2001—2015 年植被覆盖变化与城镇扩张研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(4):593-599.
- [27] 曹琳剑, 王杰, 王欢欢, 等. 京津冀基础设施建设与人口集聚耦合演进分析: 基于推拉理论解析[J]. 地理科学, 2019, 39(8):1256-1264.
- [28] 杨洋, 梅洁. 环渤海地区县域土地: 人口城镇化水平时空演化与失调发展特征[J]. 经济地理, 2019, 39(7):205-215.
- [29] 刘建志, 刘志刚, 范梦甜, 等. 山东省人口—经济—土地城镇化耦合协调度时空差异分析[J]. 经济研究导刊, 2017(30):68-71, 126.
- [30] 曹永福, 格兰杰因果性检验评述[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(1):155-160.
- [31] 姜涛, 杜两省. 我国城镇居民收入差距与经济增长关系的实证分析: 基于 E-G 两步法[J]. 宏观经济研究, 2014(3):114-124.
- [32] 周玉科. 青藏高原植被 NDVI 对气候因子响应的格兰杰效应分析[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5):718-730.
- [33] 马宗文, 许学工, 卢亚灵. 环渤海地区 NDVI 拟合方法比较及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7):1558-1564.
- [34] Zhang Yao, Peng Changhui, Li Weizhong, et al. Multiple afforestation programs accelerate the greenness in the 'Three North' region of China from 1982 to 2013 [J]. Ecological Indicators, 2016, 61:404-412.
- [35] Wu Zhitao, Wu Jianjun, Liu Jinghui, et al. Increasing terrestrial vegetation activity of ecological restoration program in the Beijing-Tianjin Sand Source Region of China [J]. Ecological Engineering, 2013, 52:37-50.
- [36] 马忠东, 王建平. 区域竞争下流动人口的规模及分布[J]. 人口研究, 2010, 34(3):3-16.
- [37] Piao Shilong, Yin Guodong, Tan Jianguang, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years [J]. Global Change Biology, 2015, 21(4):1601-1609.
- [38] 陈宽, 潮洛濛. 内蒙古植被 NDVI 变化趋势及影响因子数据集(2000—2015) [J]. 全球变化数据学报(中英文), 2020, 4(2):137-143, 137-143.

(上接第 263 页)

- [13] 张盛霖, 项俊, 吴博文, 等. 基于遥感与 GIS 的黄冈市植被覆盖时空特征研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(10):2358-2362.
- [14] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation [J]. Soil Science Society Proceedings, 1959, 23(3):246-249.
- [15] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. USDA: Agriculture Handbook, 1978.
- [16] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5):1-20.
- [17] 陈法扬. 不同坡度对土壤冲刷量试验[J]. 中国水土保持, 1985(2):24-30.
- [18] 郑粉莉. 发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J]. 中国水土保持, 1989(8):23-24.
- [19] 王玉宽. 黄土丘陵沟壑区坡面径流侵蚀试验研究[J]. 中国水土保持, 1993(7):22-24.
- [20] 李宗勋, 李启艳, 侯晓龙, 等. 不同自然降雨等级下不同郁闭度马尾松林的水土流失特征[J]. 水土保持学报, 2020, 34(1):27-33.