

基于覆盖作物的坡耕地农田生态环境治理技术研究 —以吉林省东部山区为例

李 斐¹, 王芙臣², 孙 宁¹, 宋杭霖¹, 谭国波¹, 张丽华¹, 闫伟平¹, 徐 晨¹,
刘文华³, 赵洪祥^{1*}, 边少锋^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033; 2. 吉林市农业科学院(吉林市农产品质量监督检验中心), 吉林 吉林 132000; 3. 敦化市农业技术推广中心, 吉林 敦化 133799)

摘 要: 吉林省东部地区的土地类型多为坡耕地, 年均降雨量在 600 mm 以上, 存在着土质疏松、抗蚀防蚀能力差的特点, 易产生地表径流, 水土流失现象频发。本研究针对吉林省东部坡耕地区域存在的上述问题, 利用覆盖作物种植技术, 阐明了覆盖作物在治理水土流失、氮素污染以及改良土壤等三个方面的作用机理, 并介绍了三种技术的技术流程与相应管理措施, 以期对吉林省东部坡耕地区域的土壤质量、作物产量的双重提升与生态环境的可持续发展提供技术支持。

关键词: 覆盖作物; 坡耕地; 水土保持; 土壤改良; 氮素污染

中图分类号: S156; S19; S314 文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)03-0080-05

Research on Ecological Environment Management Technology of Sloping Cropland Based on Cover Crops: A Case Study of the Eastern Humid Zone of Jilin Province

LI Fei¹, WANG Fuchen², SUN Ning¹, SONG Hanglin¹, TAN Guobo¹, ZHANG Lihua¹, YAN Weiping¹, XU Chen¹,
LIU Wenhua³, ZHAO Hongxiang^{1*}, BIAN Shaofeng^{1*}

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;
2. Jilin Academy of Agricultural Sciences (Jilin Agricultural Products Quality Supervision and Inspection Center), Jilin 132000; 3. Dunhua Agricultural Technology Extension Center, Dunhua 133799, China)

Abstract: The eastern region of Jilin Province is predominantly covered by sloping cropland, with an average annual rainfall exceeding 600 mm. Its soil is loose and has poor erosion resistance, making it highly susceptible to surface runoff and frequent soil erosion. This study aims to address the above-mentioned issues in the sloping cropland of eastern Jilin Province. By using cover crop planting technology, it elucidates the mechanisms by which cover crops mitigate soil erosion, reduce nitrogen pollution, and improve soil quality in three aspects. Additionally, the technical processes and corresponding management measures of three related technologies are introduced. This study aims to provide technical support for enhancing soil quality, increasing crop yield, and promoting the sustainable development of the ecological environment in the sloping cropland of eastern Jilin Province.

Key words: Cover crop; Sloping cropland; Soil and water conservation; Soil improvement; Nitrogen pollution

收稿日期: 2025-03-26

基金项目: 吉林省科技发展规划项目(20240303026NC, 20210203009SF); 国家重点研发计划项目(2024YFD2300101); 吉林省农业科技创新工程项目(KYJF2025KF003); 国家现代农业产业技术体系(CARS-02-50); 吉林省现代农业产业技术体系(JALRS-2025-010209, JLARS-2025-010313, JALRS-2025-010314); 吉林省重大科技专项课题(20220302006NC)

作者简介: 李斐(1989-), 男, 研究实习员, 硕士, 主要研究方向为作物高产栽培理论与技术。

通信作者: 赵洪祥, E-mail: zhaohongxiang1973@163.com

边少锋, E-mail: bsf8257888@sina.com

吉林省东部多为山地,分布着大量的坡耕地^[1],作为这一区域主要的耕地类型,保护坡耕地对于保证粮食安全、提高经济效益至关重要^[2]。吉林省东部坡耕地区域存在着土质疏松、抗蚀防蚀能力差的问题^[3],且该区域降雨多在夏季,极易产生地表径流,水土流失现象频发,同时,对于坡地的过度开垦及连年的作物生产,使坡耕地区域的土壤质量和作物产量下降,坡耕地退化严重^[4],直接表现为土层变薄变硬及土地生产能力下降^[5],严重影响了该区域农业的可持续发展^[6]。为改善坡耕地土壤质量,防治水土流失,采用以覆盖作物为核心的种植管理技术,可增加地表覆盖物,有效减少土壤侵蚀和地表径流^[7],且使用豆科和禾本科的覆盖作物进行混播,可有效改善土壤质量,提高土地生产能力^[8]。

田间播种覆盖作物是在主栽作物生长期或收获后,在时间和空间上填充土壤裸露间隙的作物,拥有较好的保水保土效果^[9]。在玉米行间种植覆盖作物可有效增加地表植物覆盖程度,通过覆盖作物叶片、茎秆和根系对自然降水产生阻挡作用,使其无法直接作用于地表,雨水缓慢下渗,抑制了地表径流的形成^[10]。此外,覆盖作物可以通过不同植物之间的竞争优势抑制杂草的生长。在玉米收获后,利用机械将覆盖作物粉碎并翻入土中,进入土壤的覆盖作物可增加土壤有机质含量,提高土壤肥力,从而减少化肥使用。

本研究通过介绍基于覆盖作物的3种坡耕地农田环境治理技术,包括覆盖作物对坡耕地农田生态系统水土流失治理技术、覆盖作物对坡耕地农田生态系统氮素污染治理技术和覆盖作物对坡耕地农田生态系统土壤改良技术,阐明了覆盖作物在治理水土流失、氮素污染、改良土壤等3个方面的作用机理,为防治坡耕地区域水土流失,减少地表径流,实现坡耕地绿色可持续发展,为吉林省东部坡耕地区域的土壤质量、作物产量的双重提升与生态环境的可持续发展提供技术支撑。

1 覆盖作物对坡耕地农田生态系统水土流失治理技术

1.1 覆盖作物的选择

选用豆科和禾本科作物进行混播,豆科作物选用红三叶、紫花苜蓿和草木樨,这些作物根系较为发达,能够固氮,增加土壤肥力,同时其地上部可在地表形成良好的覆盖层。禾本科作物选用黑麦草、燕麦,其生长发育迅速,地表覆盖密集,可有效减缓雨水对土壤的直接冲刷。

1.2 耕作体系优化

首先,应采用少免耕的方式,该方式减少了土壤耕作次数,降低了对土壤结构的破坏,保留了地表覆盖物和作物残茬,减少裸露地表,降低水土流失风险。第二,进行覆盖作物与粮食作物的轮作,建立合理的轮作模式,在玉米、小麦等粮食作物收获后,种植黑麦草、紫云英等覆盖作物,或采用不同种类的覆盖作物轮作,保持土壤肥力与结构稳定。第三,采用间作套种技术,在坡耕地的主要作物的行间套种覆盖作物,如在玉米行间种植三叶草、苜蓿等,既充分利用了土地资源,又能增加地表覆盖度,减少了水土流失^[11]。

1.3 种植管理措施

种植覆盖作物要适时播种,根据当地气候和土壤条件,选择适宜的时间播种覆盖作物,确保其能在雨季来临前形成一定的覆盖度,发挥保水保土的作用。其次,覆盖作物的种植要合理密植,按照其品种特性,确定适合的种植密度,保证覆盖作物生长发育均匀,形成良好的覆盖效果^[12]。

关于覆盖作物的管理,在覆盖作物生长发育过程中,要适当地进行修剪或收割,将剪下的部分完全覆盖于地表,收获后的残茬保留田间,增加土壤有机质含量。

1.4 配套的工程与生物措施

首先,可在山区通过修建水平梯田或坡式梯田,改变坡面的地形,减缓水流速度,以减少水土流失现象发生。第二,在坡耕地周边、道路两旁或沟渠两侧建立植被缓冲带,种植宽5~10 m的草本植物缓冲带,过滤径流中的泥沙和污染物。第三,种植经济林或生态林,在坡耕地的上部或不适宜耕种的区域,种植经济林或生态林,增加植被覆盖,起到固土护坡的作用。

1.5 土壤改良措施

种植覆盖作物的同时,采用增施有机肥的方式,可提高土壤有机质含量,改善土壤结构,增强土壤的蓄水保肥能力和抗侵蚀能力。通过合理深松,打破犁底层,促进覆盖作物根系下扎,增加土壤的通气性和透水性,提高土壤的稳定性^[10]。

2 覆盖作物对坡耕地农田生态系统氮素污染治理技术

吉林省坡耕地区域常年因过量施用氮肥,雨季硝态氮随径流和淋溶进入水体,导致面源污染。覆盖作物通过根系吸收、地表覆盖、生物固氮等作用,能够减少硝态氮淋溶30%~50%,降低径流氮浓度

40%以上,提升氮肥利用率15%~20%,减少化肥施用量20%~30%。

2.1 覆盖作物筛选与配置

2.1.1 豆科覆盖作物(固氮+深层吸氮)

豆科覆盖作物主要作用是固氮与深层土壤的吸氮,种植紫花苜蓿,其根深可达2~3 m,春季时播种,吸收深层土壤硝态氮,在生长发育过程中,通过根瘤固氮(年固氮量80~120 kg/hm²),秋季翻压还田后为后茬作物供氮。此外,种植沙打旺,其根系深1.5 m以上,夏季生长旺盛期可快速吸收表层硝态氮。

2.1.2 禾本科覆盖作物(地表拦截+氮素缓存)

禾本科覆盖作物主要作用是地表拦截和氮素缓存,种植黑麦草,秋季播种,越冬后春季快速覆盖地表,根系密集(0~30 cm土层根量占比70%),减少雨水冲刷导致的氮素流失,草体含氮量3%~5%,翻压后形成“土壤氮库”。此外,种植燕麦,燕麦为春播速生型作物,60 d即可形成覆盖,地上生物量达30~45 t/hm²,收割后残茬覆盖地表,降低氮素淋溶风险^[13]。

2.2 覆盖作物控氮与管理

2.2.1 时空错位吸氮技术

该技术主要针对春播作物(如玉米),在秋季混合播种黑麦草和燕麦,利用秋、冬、春三季低温期吸收土壤残留硝态氮,此时作物根系休眠,氮素易淋溶,春季翻压后释放氮素供玉米利用^[14]。

2.2.2 “深根-浅根”协同吸氮

采用紫花苜蓿(深根)与黑麦草(浅根)混播,覆盖0~3 m土层,深根吸收深层硝态氮,浅根拦截表层氮素,减少垂直淋溶。

2.2.3 覆盖作物氮素循环利用

覆盖作物收割后,将地上部分铡碎覆盖于根区,通过微生物分解缓慢释放氮素,替代部分化肥^[15]。

2.3 配套耕作与工程措施

2.3.1 免耕覆秸+覆盖作物

玉米收获后保留秸秆覆盖(覆盖量15~60 t/hm²),直接免耕播种黑麦草,秸秆与覆盖作物双重抑制土壤氮素释放,减少径流损失。

2.3.2 等高种植+生物篱

沿等高线起垄,垄间种植紫花苜蓿生物篱(篱宽50 cm),形成“氮素拦截带”,径流流经时氮素被根系吸收,同时生物篱每年可固氮50~80 kg/hm²。

2.3.3 集雨沟+覆盖作物

在坡耕地修建横向集雨沟(沟深30 cm,间距10 m),沟内种植沙打旺,雨水汇入时硝态氮被根系吸附,减少氮素随径流流失。

2.4 实施步骤与监测

2.4.1 分阶段实施

第一年,快速控氮,秋季播种黑麦草/燕麦,覆盖裸露地表,减少冬春氮素淋溶;春季翻压后,玉米/大豆种植时减少20%氮肥用量。第二年至第三年,系统改良,推广豆科-禾本科覆盖作物轮作/间作,结合免耕技术,土壤有机质提升1%以上,氮肥利用率提高至40%。第四年及以后,长效循环,建立“覆盖作物-有机肥-化肥”协同体系,实现氮肥施用量≤120 kg/hm²,硝态氮淋溶量下降50%。

2.4.2 氮素监测指标

监测土壤硝态氮含量(0~60 cm土层,每月监测)、径流氮浓度(雨季每次降雨后采集坡面径流)和覆盖作物氮吸收量(收割时测定生物量及含氮率)。

2.5 效益与注意事项

2.5.1 综合效益

减少坡耕地氮素流失量15~25 kg/hm²·年,降低周边水体富营养化风险;每公顷减少化肥投入450~750元,覆盖作物翻压后可增产粮食5%~8%;提升土壤微生物活性,改善坡耕地生态系统碳氮循环^[16]。

2.5.2 注意事项

明确翻压时机,豆科覆盖作物需在开花前翻压(氮素含量最高),禾本科覆盖作物在拔节期翻压(碳氮比适宜,易分解);明确氮肥减施梯度,逐年减少氮肥用量,避免因覆盖作物供氮导致作物徒长,第一年减施20%,次年减至30%。该技术通过覆盖作物的“氮素海绵”效应,结合耕作与工程措施,形成适合吉林省坡耕地的氮污染闭环治理体系,实现“控污-增产-提质”多目标协同。

3 覆盖作物对坡耕地农田生态系统土壤改良技术

吉林省坡耕地因长期过度耕作、秸秆移除及不合理施肥,导致耕层变薄(平均厚度<20 cm)、土壤容重升高(1.3~1.5 g/cm³)、有机质含量下降(平均1.5%~2.0%),微生物活性降低,土壤板结严重。覆盖作物通过根系穿透、地表覆盖、有机质输入和微生物调控,能够降低土壤容重10%~15%,提升孔隙度8%~12%;增加土壤有机质含量0.3%~0.5%/年,改善团粒结构(>0.25 mm水稳性团粒增加15%~20%)^[17];促进有益微生物(如固氮菌、解磷菌)数量提升2~3倍,增强土壤酶活性(脲酶、磷酸酶活性提高30%~50%)。

3.1 覆盖作物筛选

3.1.1 豆科覆盖作物(固氮+结构改良)

豆科覆盖作物主要作用是固氮与土壤结构改

良,种植紫花苜蓿,根深2~3 m,春季播种,根系分泌有机酸溶解土壤钙镁离子,促进团粒形成;翻压后增加有机质18~22.5 t/hm²,固氮量80~120 kg/hm²。此外,种植沙打旺,其特性为耐旱耐贫瘠,根系可穿透犁底层,增加土壤通气性,秋季翻压后腐殖质含量提高10%~15%。

3.1.2 禾本科覆盖作物(保墒+微生物激活)

禾本科覆盖作物主要作用是保墒与微生物激活,种植黑麦草,秋季播种,越冬后快速覆盖地表,根系分泌多糖类物质促进微生物群落聚集,翻压后土壤脲酶活性提升40%。此外,还可播种燕麦,春播速生型,60 d形成密集覆盖,地上生物量达30~45 t/hm²,收割后残茬覆盖地表,降低氮素淋溶风险^[15]。

3.2 土壤改良关键技术

3.2.1 覆盖作物-秸秆协同改良机制

“深根-浅根”协同穿透:紫花苜蓿(深根)与黑麦草(浅根)混播(比例1:3),穿透0~3 m土层,打破犁底层,增加土壤大孔隙(>0.2 mm)比例15%~20%,促进水分下渗。秸秆-覆盖物双重覆盖,玉米收获后保留秸秆覆盖(3~4 t/亩),同时播种黑麦草,秸秆降低径流冲刷,黑麦草根固定表土,协同减少侵蚀量60%以上。碳氮比精准调控,豆科覆盖作物(碳氮比15~20:1)与禾本科(碳氮比60~100:1)按1:2混播,翻压时补充氮肥(50~80 kg/hm²),促进微生物分解,避免氮素竞争^[18]。

3.2.2 微生物激活与养分循环

生物炭-覆盖物复合改良,将玉米秸秆炭化后(生物炭用量15 t/hm²)与覆盖作物残茬混合翻压,生物炭微孔结构吸附养分,促进微生物定殖,土壤微生物量碳增加30%~40%。此外,微生物菌剂强化,翻压前喷施复合微生物菌剂(含固氮菌、解磷菌、纤维素分解菌),用量30 kg/hm²,可加速有机质分解,同时抑制病原菌(如镰刀菌)活性。养分循环利用,覆盖作物翻压后,通过“秸秆深翻+覆盖作物残茬”模式,每年每公顷归还氮素450~750 kg、磷素120~180 kg、钾素300~450 kg,减少化肥依赖。

3.3 实施步骤与监测

3.3.1 分阶段实施

第一年,结构重塑,秋季播种黑麦草/燕麦,覆盖地表减少冬春风蚀;春季翻压后,玉米/大豆种植时减少15%氮肥用量,配合秸秆深翻(深度30 cm);第二年至第三年,有机质积累,推广豆科-禾本科混播(如紫花苜蓿+黑麦草),结合免耕技术,土壤有机质提升至2.5%~3.0%,容重降至1.2~1.3 g/cm³;第四年及以后,微生物稳态,建立“覆盖作物-有机肥-微生物菌剂”协同体系,土壤微生物多样性指数提高0.5~

1.0,实现化肥减施30%以上。

3.3.2 土壤质量监测

测定土壤物理指标,如土壤容重(每季度监测)、孔隙度、团聚体稳定性,土壤化学指标,如有机质含量(每年监测)、pH值、全氮全磷,土壤生物指标,微生物量碳氮、脲酶/磷酸酶活性、线虫群落结构。

3.4 效益与注意事项

3.4.1 综合效益

在生态效益方面,可减少坡耕地侵蚀量40%~60%,土壤有机质年增长率0.3%~0.5%,微生物活性提升30%~50%;在经济效益方面,每公顷减少化肥投入600~900元,粮食增产5%~8%,覆盖作物翻压后可替代30%~40%化肥氮素;在社会效益方面,提升坡耕地可持续生产能力,助力吉林省“千亿斤粮食”工程^[19]。

3.4.2 注意事项

第一,应注意覆盖作物品种的适应性,优先选择抗寒品种(如黑麦草“冬牧70”、紫花苜蓿“公农5号”),确保冬季安全越冬。第二,明确翻压时机,豆科覆盖作物在盛花期翻压(氮素含量最高),禾本科覆盖作物在拔节期翻压(碳氮比适宜)^[20]。第三,要合理使用机械,采用条耕播种一体机(如吉林省农业科学院研发机型),实现秸秆覆盖与免耕播种同步作业。

该技术模式通过覆盖作物的“生物深耕”“有机质泵”和“微生物激活”效应,结合秸秆还田与少耕技术,形成适合吉林省坡耕地的土壤改良闭环体系,实现“改土-保肥-提质”多目标协同。

4 未来展望与应用前景

第一,覆盖作物能够通过根系和地上部有效减缓水流速度,降低土壤侵蚀强度,使土壤团聚体增大,增强土壤抗蚀能力,有效减少水土流失;与一些工程措施相结合后,可进一步提升坡耕地的保水固土能力,形成可持续的生态防护体系。第二,覆盖作物通过生物固氮,积累有机质,优化了土壤结构,提升了土壤质量;还可增加土壤孔隙度和持水能力,可为后续作物的耕作栽培提供良好的基础。第三,种植覆盖作物可以有效减少化肥的施用,抑制氮素的流失,这也是治理农业污染的关键措施之一,使经济效益和环境效益双重提升;同时也降低了氮肥生产的需求,降低了温室气体排放。

覆盖作物种植技术的实施,将成为治理坡耕地的有效方式,同时伴随着其他配套措施的应用,将提升生态环境治理能力,推广应用前景广泛。

参考文献:

- [1] 张天宇, 郝燕芳. 东北地区坡耕地空间分布及其对水土保持的启示[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 190-194, 389.
ZHANG T Y, HAO Y F. Spatial distribution of sloping cultivated land in northeast china and its implications for soil and water conservation[J]. Research on Soil and Water Conservation, 2018, 25(2): 190-194, 389. (in Chinese)
- [2] 陈雪, 蔡强国, 王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 44-49.
CHEN X, CAI Q G, WANG X Q. Analysis on the suitability of soil and water conservation measures for sloping arable land in typical black soil areas[J]. China Soil and Water Conservation Science, 2008, 6(5): 44-49. (in Chinese)
- [3] 梁其春, 冯伟. 搞好坡耕地水土流失综合治理试点改善山区群众生产生活条件[J]. 中国水利, 2011(12): 65-66.
LIANG Q C, FENG W. Improving the production and living conditions of people in hilly areas through comprehensive soil and water erosion control on sloping cultivated land[J]. China Water Resources, 2011(12): 65-66. (in Chinese)
- [4] 史德明, 韦启潘, 梁音, 等. 中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 1-9.
SHI D M, WEI Q P, LIANG Y, et al. Research on the index system of erosion soil degradation in southern China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(3): 1-9. (in Chinese)
- [5] 史衍玺. 人为开垦加速侵蚀下土壤质量演变及其机理研究[D]. 杨凌: 中国科学院西北水土保持研究所, 1998.
SHI Y X. Evolution of soil quality and its mechanism under accelerated erosion by anthropogenic reclamation[D]. Yangling: Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, 1998. (in Chinese)
- [6] 陈光. 东北黑土区水土流失综合防治技术体系[J]. 水土保持应用技术, 2008, 1: 33-34.
CHEN G. Comprehensive soil erosion prevention and control technology system in Northeast black soil area[J]. Soil and Water Conservation Application Technology, 2008(1): 33-34. (in Chinese)
- [7] 蹇述莲, 李书鑫, 刘胜群, 等. 覆盖作物及其作用的研究进展[J]. 作物学报, 2022, 48(1): 1-14.
JIAN S L, LI S X, LIU S Q, et al. Progress of research on cover crops and their roles[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(1): 1-14. (in Chinese)
- [8] 巴晓博, 隋鑫, 鲍雪莲, 等. 覆盖作物-玉米间作对土壤碳氮含量及相关酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2022(3): 577-587.
BA X B, SUI X, BAO X L, et al. Effects of cover crop-corn intercropping on soil carbon and nitrogen content and related enzyme activities[J]. Soil Bulletin, 2022(3): 577-587. (in Chinese)
- [9] 谢登举. 浅谈水土保持在生态文明建设中的作用[J]. 山西水土保持科技, 2017(1): 6-8.
XIE D J. Introduction to the role of soil and water conservation in the construction of ecological civilization[J]. Shanxi Water and Soil Conservation Science and Technology, 2017(1): 6-8. (in Chinese)
- [10] 谢云, 高燕, 顾治家, 等. 东北黑土区坡耕地水土流失危险程度评价[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(6): 105-114.
XIE Y, GAO Y, GU Z J, et al. Evaluation of soil erosion risk of sloping cropland in Northeast China's black soil area[J]. China Soil and Water Conservation Science, 2020, 18(6): 105-114. (in Chinese)
- [11] 杜伟嘉, 王芙臣, 李斐, 等. 覆盖作物对坡耕地的减流减沙效应及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2023, 31(6): 100-107.
DU W J, WANG F C, LI F, et al. Effects of cover crops on flow and sand reduction and corn yield in sloping cropland[J]. Journal of Maize Sciences, 2023, 31(6): 100-107. (in Chinese)
- [12] 王芙臣, 史旭曾, 李斐, 等. 坡耕地嵌入覆盖作物条件下不同秸秆还田方式对玉米农艺性状及产量的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(6): 93-101.
WANG F C, SHI X Z, LI F, et al. Effects of different straw return methods on corn agronomic traits and yield under embedded cover crop conditions on sloping cropland[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(6): 93-101. (in Chinese)
- [13] 李彦辉, 孙玉杰, 惠琳. 黑土坡耕地水土保持措施优化模式的探讨[J]. 黑龙江水专学报, 2006(2): 121-122.
LI Y H, SUN Y J, HUI L. Discussion on the optimization mode of soil and water conservation measures for black soil slope cultivated land[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2006(2): 121-122. (in Chinese)
- [14] 隋鑫, 霍海南, 鲍雪莲, 等. 覆盖作物的种植现状及其对下茬作物生长和土壤环境影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2021, 32(8): 2666-2674.
SUI X, HUO H N, BAO X L, et al. Progress of cover crop cultivation and its impact on crop growth and soil environment[J]. Journal of Applied Ecology, 2021, 32(8): 2666-2674. (in Chinese)
- [15] 王林, 王琦, 李强, 等. 覆盖和粮草间作对作物氮素吸收利用和土壤硝态氮累积的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(6): 1-9.
WANG L, WANG Q, LI Q, et al. Effects of mulching and intercropping on crop nitrogen uptake and utilization and soil nitrate nitrogen accumulation[J]. Grassland and Turf, 2014, 34(6): 1-9. (in Chinese)
- [16] MUHAMMAD I, WANG J, SAINJU U M, et al. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: A meta-analysis[J]. Geoderma, 2021, 381: 114696.
- [17] GHIMIRE R, GHIMIRE B, MESBAH A O, et al. Soil health response of cover crops in winter wheat-fallow system[J]. Agronomy Journal, 2019, 111(4): 2108-2115.
- [18] HUANG Y, REN W, GROVE J, et al. Assessing synergistic effects of no-tillage and cover crops on soil carbon dynamics in a long-term maize cropping system under climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020, 291: 108090.
- [19] 孙传生, 张力辉. 吉林黑土区水土流失及其防治对策[J]. 水土保持研究, 2004(3): 160-162.
SUN C S, ZHANG L H. Soil erosion and its prevention and control countermeasures in Jilin black soil area[J]. Research on Soil and Water Conservation, 2004(3): 160-162. (in Chinese)
- [20] 魏静, 郭树芳, 翟丽梅, 等. 覆盖作物翻压对华北平原春玉米产量和土壤养分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 172-178.
WEI J, GUO S F, HUO L M, et al. Effects of cover crop tillage on yield and soil nutrients of spring corn in the North China Plain[J]. China Soil and Fertilizer, 2020(1): 172-178. (in Chinese)

(责任编辑: 穆楠)