

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.04.005

# 李子口径流小区不同植被条件下降雨 对土壤侵蚀的影响研究

吴世祥<sup>1</sup>, 何聪<sup>1</sup>, 杨丹<sup>1,2</sup>, 胡翠华<sup>1</sup>, 刘守江<sup>1,2\*</sup>

(1. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637000;

2. 西华师范大学嘉陵江流域研究所, 四川 南充 637009)

**摘要:**采用径流小区实验的方法,在李子口小流域设立了6个不同植被类型的径流小区,研究径流小区不同植被条件下降雨对土壤侵蚀的影响,结果如下:(1)不同植被条件下,降雨对土壤侵蚀的影响可表现为撂荒地小区>农耕地小区>林地小区,降雨对林地的土壤侵蚀弱,林地对当地水土的保持能力强,最适合作为当地水土保持的植物措施。(2)总体上,6个径流小区的降雨量、降雨侵蚀力与地表径流量、径流深、土壤流失量之间的相关性均表现为显著正相关的关系,表明降雨对当地土壤侵蚀作用强,需重点防护。研究揭示了研究区降雨与土壤侵蚀的相关性,比较了不同植被条件下降雨对土壤侵蚀的影响,为水土保持的相关研究提供参考与借鉴。

**关键词:**土壤侵蚀;降雨侵蚀;水土保持;径流小区;李子口

中图分类号:S714.7 文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)04-0023-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## A Study of Rainfall Influence on Soil Erosion under Different Vegetations in Lizikou Runoff Plots

WU Shi-xiang<sup>1</sup> HE Cong<sup>1</sup> YANG Dan<sup>1,2</sup> HU Cui-hua<sup>1</sup> LIU Shou-jiang<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Land and Resources, West China Normal University, Nanchong 637009, China;

2. Institute of Jialing River Basin, West China Normal University, Nanchong 637009, China)

**Abstract:** Six runoff plots with different vegetation types were established to study the effects of rainfall on soil invasion under different vegetation conditions in the Lizikou small watershed. The results were as follows: (1) Under different vegetation conditions, rainfall impacts on soil erosion could be listed as the wasteland plots, the farming land, the forest land, in descending order. The soil erosion of forest land was weak, and the forest land strongly maintained local soil and water, which was most suitable as a plant measure for local soil and water conservation. (2) In general, it showed a significant positive correlation among rainfall, rainfall erosion and surface runoff, runoff depth and soil loss in the six runoff plots, indicating that rainfall had a strong local erosion effect, and needing people to focus on protection. The correlation was revealed between rainfall and soil erosion in the study area, the effects of rainfall were compared on soil erosion under different vegetation conditions, providing reference for related research on soil and water conservation.

收稿日期:2019-03-27

基金项目:国家自然科学基金(41101348);国家自然科学基金(41807075);西华师范大学一般培育项目(416627);四川省教育厅重点项目资助(17AZ0373);西华师范大学英才项目(17YC114);西华师范大学博士科研启动项目(412655)

作者简介:吴世祥(1994-)男,在读硕士研究生,主要研究方向为自然地理学,e-mail:2036156576@qq.com。

\*通讯作者:刘守江,教授,硕士生导师,博士,主要从事环境生态与生物多样性研究,e-mail:275588077@qq.com。

**Key words:** Soil erosion, Rainfall erosion, Soil and water conservation, Runoff plot, Lizikou

降雨侵蚀是对土壤侵蚀的重要方式之一,能造成水土流失,破坏生态环境,危害生命和财产安全。目前国内外对降雨与土壤侵蚀的方面的研究主要有降雨对土壤侵蚀量的影响<sup>[1~3]</sup>、降雨与土壤侵蚀模数<sup>[4,5]</sup>、降雨强度与土壤侵蚀<sup>[6~8]</sup>、不同降雨类型对土壤侵蚀的影响<sup>[9,10]</sup>等,对于如何有效抑制降雨对土壤的侵蚀和推动水土保持<sup>[11~13]</sup>一直是国内外研究的热点。研究小组在降雨量充足,土壤侵蚀与水土流失严重的李子口流域进行实验。通过采用径流小区的实验方法,观测和分析径流小区不同植被条件下降雨对土壤侵蚀的影响,比较不同植被对水土的保持能力,以求找到最为适合当地实际情况的水土保持措施,改善当地生态环境,推动当地经济的发展。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

李子口小流域位于四川省南充市南部县升钟水

库流域面积内(31°31'21"N,105°42'58"E),属嘉陵江西河支流,海拔在439 m左右。气候为亚热带湿润季风气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨,多年平均气温在17.2℃左右,多年平均降雨量在1 029 mm左右。由于全年降雨量与降雨天数均较多,并受到水库湿润环境的影响,土壤受侵蚀显著,水土流失严重。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 径流小区的设置

2014年4月至10月,研究小组采用径流小区的实验方法,参照唐秋玮等<sup>[14]</sup>的实验经验,在升钟水保站李子口小流域的6个径流小区进行观测和实验。径流小区1号、3号和4号均为种植作物的农耕地,2号小区为撂荒的参照小区,5号和6号小区为林地小区,6个小区的基本状况如表1所示。每个径流小区均有一套测流设备,对降雨产生的径流量以及泥沙含量等进行测算与采样,并在采样后通过烘干法及径流小区面积推算土壤的流失量。

表1 径流小区基本概况  
Tab.1 Runoff plot basic situation

小区号	坡度/°	坡长/m	坡向	面积/m <sup>2</sup>	土地类型	植被	郁闭度/%
1	5	20	南	100	农耕地	海椒	73
2	5	20	南	100	撂荒地	杂草	40
3	5	20	南	100	农耕地	油菜/玉米	80
4	5	20	南	100	农耕地	生菜	62
5	29.8	20	南	200	林地	桉柏混交林	95
6	36.6	20	北	200	林地	柏木纯林	90

#### 1.2.2 降雨量及降雨侵蚀力的测算

使用DSJ-2型虹吸式自记雨量计,对2014年4—10月份实验期间径流小区的降雨量和降雨强度进行测定与记录,同时对降雨侵蚀力进行计算。

降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是降雨物理性质的函数,其概念及计算公式是由Wischmeier等<sup>[15]</sup>提出的。计算公式如下:

$$R = E \times I_{30} \quad (1)$$

式中R为降雨侵蚀力(MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>),E为降雨总动能(MJ·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>),I<sub>30</sub>为降雨最大30 min降雨强度(mm·h<sup>-1</sup>)。实验期间径流小区的降雨量、降雨历时、I<sub>30</sub>、降雨侵蚀力基本概况如表2所示。

表2 实验期间径流小区降雨情况

Tab.2 The rainfall in runoff plot during the experiment

日期	降雨量 /mm	累积历时 /min	I <sub>30</sub> /(mm·h <sup>-1</sup> )	降雨侵蚀力 /(MJ·mm·hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )
4月18日	35.2	190	30.6	278.7
6月14日	30.7	2750	3	10.28
6月29日	20.8	980	19.8	79.54
7月20日	44.5	580	41.2	387.33
8月9日	59.7	710	30	388.6
8月26日	34.8	440	14.2	86.52
8月30日	23.5	610	17	83.96
9月8日	16.1	120	22.2	84.21
9月9日	71.5	360	34.8	611.27
9月11日	61.1	1010	58.4	878.9
9月13日	27.3	390	12.2	57.27
9月14日	14.4	390	15.2	42.03
9月16日	15.8	950	4.6	9.09
10月1日	56.1	810	26.8	307.22
10月28日	41.1	830	14.6	102.59

1.2.3 统计分析

使用 SPSS22.0 计算实验期间降雨量、降雨侵蚀力与径流量、径流深、平均含沙量以及土壤流失量之间的相关系数。

3 结果与分析

3.1 不同植被条件下降雨对地表径流量、径流深的影响

从图 1 可知,总体上 6 个径流小区降雨形成的径流量与径流深在趋势上基本一致,均表现为撂荒地 > 农耕地 > 林地,具体为撂荒 2 号小区 > 农耕 4 号小区 > 农耕 3 号小区 > 农耕 1 号小区 > 林地 6 号小区 > 林地 5 号小区,林地小区对于降雨形成的地表径流截留最强。

作为参照撂荒的 2 号小区的径流量与径流深均属于 6 个小区中的最大值,径流量与径流深分别为 1.717 m<sup>3</sup> 和 13.691 mm,远高于农耕小区与林地小区。作为林地的 5 号小区与 6 号小区的径流量与径流深在 6 个小区中均比较小,其中 5 号小区的径流量与径流深均为 6 个小区中的最小值,分别为 0.15 m<sup>3</sup> 和 0.474 mm。在 3 个农耕径流小区中,种植生菜的 4 号小区径流量与径流深最大,分别为 0.628 m<sup>3</sup> 和 4.695 mm,而种植辣椒的 1 号小区与轮作油菜和玉米的 3 号小区的径流量、径流深基本一致,相差不大。

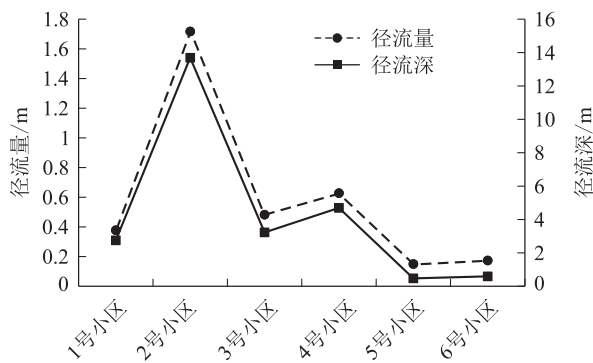


图 1 径流小区的地表径流量与径流深

Fig. 1 Runoff plot surface runoff and runoff depen

3.2 不同植被条件下降雨对地表径流含沙量、土壤流失量的影响

由图 2 可知,总体上除 1 号小区土壤流失量受土质影响有所波动外,6 个径流小区在降雨条件下,地表径流的平均含沙量与土壤流失量的趋势基本一致,均表现为撂荒地 > 农耕地 > 林地,具体为撂荒 2 号小区 > 农耕 1 号小区 > 农耕 4 号小区 > 农耕 3 号小区 > 林地 5 号小区 > 林地 6 号小区,林地小区受

到降雨侵蚀造成的土壤流失最少。

6 个径流小区中,撂荒的 2 号小区地表径流的平均含沙量与土壤的流失量在均处于最大值,分别为 3.462 g · L<sup>-1</sup> 和 0.325 t · hm<sup>-2</sup>,属于林地的 5 号与 6 号小区的地表径流平均含沙量以及土壤流失量均比较小,其中 6 号小区达到最小值,分别为 0.119 g · L<sup>-1</sup> 和 0.001 t · hm<sup>-2</sup>。在 3 个农耕小区中,1 号小区地表径流的平均含沙量最高,达到 2.279 g · L<sup>-1</sup>,但在土壤流失量上却低于 4 号小区 (0.138 t · hm<sup>-2</sup>)。

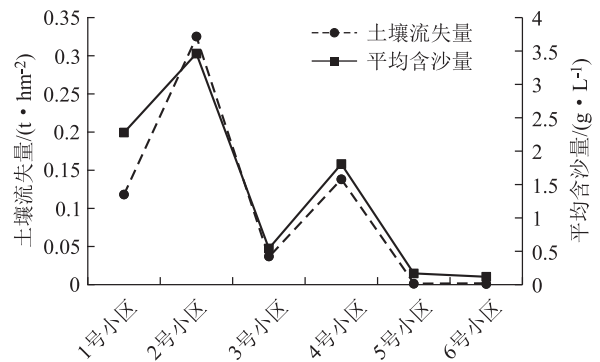


图 2 径流小区地表径流的平均含沙量与土壤的流失量

Fig. 2 The average sediment concentration and soil loes in vunoff plot

3.3 不同植被条件下降雨与土壤侵蚀的相关关系

从表 3 可知,6 个径流小区的地表径流量、径流深与降雨量、降雨侵蚀力之间均呈显著正相关;在地表径流平均含沙量方面,撂荒的 2 号小区和林地 5 号、6 号小区的平均含沙量与降雨量、降雨侵蚀力之间的相关性均不显著。而农耕小区中的 3 号、4 号小区的平均含沙量与降雨量、降雨侵蚀力之间的相关性呈现显著正相关,农耕 1 号小区的平均含沙量与降雨侵蚀力呈显著正相关。在土壤流失量上,6 个径流小区的土壤流失量总体上均与降雨量、降雨侵蚀力呈显著性正相关。

表 3 降雨与土壤侵蚀的相关系数

Tab. 3 Correletion coefficient between rainfall and soil erosion

小区号		径流量	径流深	平均含沙量	土壤流失量
1	降雨量	0.584 *	0.621 *	0.508	0.629 *
	降雨侵蚀力	0.874 **	0.899 **	0.610 *	0.868 **
2	降雨量	0.903 **	0.865 **	0.184	0.766 **
	降雨侵蚀力	0.890 **	0.895 **	0.331	0.909 **
3	降雨量	0.670 **	0.632 *	0.591 *	0.647 **
	降雨侵蚀力	0.855 **	0.837 **	0.815 **	0.876 **
4	降雨量	0.730 **	0.706 **	0.565 *	0.631 *
	降雨侵蚀力	0.871 **	0.846 **	0.861 **	0.886 **
5	降雨量	0.872 **	0.761 **	0.048	0.689 **
	降雨侵蚀力	0.944 **	0.920 **	0.119	0.790 **
6	降雨量	0.821 **	0.729 **	0.132	0.452
	降雨侵蚀力	0.946 **	0.921 **	0.138	0.592 *

注:\*. 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。

\*\* . 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的。

## 4 讨论与总结

### 4.1 讨论

本文中6个小区的地表径流量与径流深的趋势基本一致,均表现为撂荒地>农耕地>林地,原因在于撂荒地地表植被覆盖在6个小区中最少,对地表降雨产生的径流的截留也较少,降雨直接作用于地表,故降雨在地表产生的径流量与径流深较大。在农耕地,由于农作物的遮盖加之土层较为疏松,能对降雨进行截留,故径流量与径流深较撂荒小区小,同时,农耕地4号小区植被为生菜,其郁闭度较辣椒和油菜、玉米等更低,且根系分布也较为稀疏,水土保持能力较弱,对地表降雨形成的径流拦截较少,截留作用弱,故径流量与径流深较1号与3号小区高。而林地5号小区与6号小区地表树木茂密,植被盖度大,乔木层对于降雨的截留能力较强,雨水难以到达地面形成径流,故林地两个小区降雨形成的地表径流量与径流深较小;尤其是5号小区为桉木与柏树的混交林,植被郁闭度更高,对雨水的截留能力更强,因此为最小值。

6个径流小区在降雨条件下,地表径流的平均含沙量与土壤流失量的趋势基本一致,均表现为撂荒地>农耕地>林地。原因在于撂荒地2号小区地表植被郁闭度低,对雨水产生的地表径流以及土壤表层的泥沙截留能力均比较弱,使得降雨在地表形成的径流量较大并冲刷带走大量的表层土壤,水土保持能力差,地表径流含沙量与土壤流失量大。农耕地小区地表径流较少,地表农作物和疏松的土壤对于水土有一定的保持能力,故较撂荒地少;其中1号小区与4号小区分别种植辣椒与生菜,地表土质均比较疏松,易受雨水冲刷,但1号小区植被郁闭度高于4号小区,对地表径流的截留能力较强,故地表径流量小,虽地表径流平均含沙量较高,但土壤流失量较小;而3号小区采用油菜与玉米轮作的耕种方式,植被郁闭度高且根系发达,地表径流量小,表层土壤泥沙不易流失,地表径流含沙量与土壤流失量在农耕地小区中均比较小。林地5号与6号小区植被郁闭度最高,降雨产生的地表径流较少,土壤受到的侵蚀和冲刷强度较低,其中5号小区为桉木与柏树的混交林,人为活动较多,土层受扰动较强,土质较为疏松,6号小区树种单一,并受人因素为影响小,土质更为稳定,土壤表层泥沙更不易被冲刷,故地表径流

含沙量与土壤流失量最小。

6个径流小区的地表径流量、径流深与降雨量、降雨侵蚀力之间均呈显著正相关,表明随着降雨量的增加以及降雨侵蚀力的增强,径流小区地表径流量与径流深也随之增加,原因在于在径流小区的地表径流主要来源于降雨,降雨量和降雨侵蚀力作用并影响各径流小区的地表土壤径流量与径流深,降雨量与降雨侵蚀力的变化也会引起径流量与径流深的变化。这可能是由于农耕地受农业活动的影响,地表土层的土质较为松散,更易受到降雨的影响,故而相关性较高。表明随着降雨量和降雨侵蚀力的增加,径流小区土壤流失量也会增加,降雨对于径流小区土壤的侵蚀作用较强。

研究不同植被条件下降雨对土壤侵蚀的影响,能了解不同植被的水土保持能力,以期制定最为适合当地环境的水土保持措施。本文在对不同植被条件下降雨对土壤侵蚀影响的比较分析中发现,林地5号、6号小区的地表径流量、径流深、平均含沙量以及土壤流失量均比较低,表明林地对地表径流的截留能力与涵养水源的能力强,对水土的保持能力强。在农耕地中,植被郁闭度好的3号、1号小区的地表径流量与径流深也较低,并且3号小区的地表径流平均含沙量与土壤流失量也均比较低,表明轮作油菜、玉米的农耕地方式较优。然而在实验过程中,由于实际条件的限制,林地径流小区的坡度和面积要大于其他径流区,坡位和坡向也有所不同,使得径流小区在比较上有所差别和误差。从结果上看,林地的水土保持能力最强,但种植林地在规定时间内并不能产生经济效益,而农耕地油菜与玉米的轮作虽在土壤流失量上较低,但在涵养水源上不理想,故想找到最佳的水土保持植物措施需要进一步的努力与研究。

### 4.2 结论

本文从撂荒地、农耕地、林地3种类型的6个径流小区出发,比较分析不同植被条件下降雨对土壤侵蚀的影响。在对不同植被条件下降雨与土壤侵蚀的相关性研究中发现,6个径流小区的降雨量、降雨侵蚀力与地表径流量、径流深、以及土壤流失量之间的相关关系均呈显著正相关,表明随着降雨量与降雨侵蚀力的增加,径流小区土壤的侵蚀也会增强,降雨对当地土壤侵蚀有重要的影响。研究结果表明在径流小区,降雨对土壤侵蚀作用强,通过种植桉木与柏树等树种,建立林地,能有效的保持水土和涵养水源,同时选择以轮作油菜、玉米的农耕地方式也能减少

土壤的流失。

### 参考文献:

- [1] 王飞龙,陈明. 贵州西部山区泥石流流域土壤侵蚀量分析——以贵州省威宁县二塘河流域为例[J]. 人民长江,2018,49(21):36~39+55.
- [2] 李明伟. 辽西地区不同水土保持措施条件下土壤侵蚀量与降雨因子关系研究[J]. 中国水土保持,2018(08):29~33+69.
- [3] 姜义亮,郑粉莉,温磊磊,等. 降雨和汇流对黑土区坡面土壤侵蚀的影响试验研究[J]. 生态学报,2017,37(24):8207~8215.
- [4] 孙蓓,潘晓颖,李建明. 模拟降雨条件下开挖面土壤侵蚀测算模型研究[J]. 人民长江,2019,50(01):39~45+69.
- [5] 何永彬,徐娟. 雨季期间不同耕作形式旱坡地的土壤侵蚀动态特征[J]. 云南地理环境研究,2018,30(05):15~21.
- [6] 温永福,高鹏,穆兴民,等. 降雨强度对梯田边坡细沟侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2018,25(03):6~10.
- [7] 苏小娟. 适用于华北地区降雨侵蚀力因子 R 的计算公式探究[J]. 山西水土保持科技,2018(04):17~19.
- [8] 温永福,高鹏,穆兴民,等. 野外模拟降雨条件下径流小区产流

产沙试验研究[J]. 水土保持研究,2018,25(01):23~29.

- [9] 安娟,于妍,吴元芝. 降雨类型对褐土横垄坡面土壤侵蚀过程的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(24):150~156.
- [10] 邹铃莉,王云琦,王晨洋,等. 降雨类型对北方土石山区坡面土壤侵蚀的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(24):157~164.
- [11] 高勇. 石匣小流域不同水土保持措施对土壤侵蚀影响研究[J]. 工程技术研究,2018(13):255~256.
- [12] 谢云,岳天雨. 土壤侵蚀模型在水土保持实践中的应用[J]. 中国水土保持科学,2018,16(01):25~37.
- [13] 周洋,姜敏,李梦雨,等. 湘中丘陵区紫色土坡耕地水土保持措施效益的试验研究[J]. 水土保持学报,2017,31(06):134~138.
- [14] 唐秋玮. 李子口径流域水土保持可持续发展研究[D]. 西南大学,2009.
- [15] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation [J]. Soil Science Society Proceedings, 1959, 23(3): 246~249.

(上接第 22 页)

MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.5 g, 最佳 pH 值 6.4, 最佳接种量为 300 mL, 最佳转速为 180 r · min<sup>-1</sup> 最佳发酵温度为 30℃, 此时菌体的生长量最大, OD<sub>600</sub> 为 1.032。利用基础培养基发酵时固氮菌的 OD<sub>600</sub> 0.753, 因此优化后的培养基的发酵效率比基础培养基的发酵效率提高了 37.1%。解钾菌培养基的最优组合为甘露醇 7.5 g、牛肉膏 15 g、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 0.3 g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.5 g、FeCl<sub>3</sub> 0.5 g、MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.5 g, 最佳 pH 值 7.6, 最佳接种量为 100 mL, 最佳转速为 180 r · min<sup>-1</sup> 最佳发酵温度为 34℃, 此时菌体的生长量最大, OD<sub>600</sub> 为 0.542。利用基础培养基发酵时固氮菌的 OD<sub>600</sub> 0.268, 因此优化后的培养基的发酵效率比基础培养基的发酵效率提高了 1.02%。

### 参考文献:

- [1] 苟志辉. 油茶根际功能菌株的组合优化及菌肥研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- [2] 张敏, 王正银. 生物有机肥料与农业可持续发展[J]. 磷肥与复肥, 2006, 21(2): 58~59.
- [3] 刘健, 李俊, 葛诚. 微生物肥料作用机理的研究新进展[J]. 微生物学杂志, 2001, 21(1): 33~36.
- [4] 夏觅真, 马忠友, 曹媛媛, 等. 棉花根际固氮菌、解磷菌及解钾菌的相互作用[J]. 中国微生态学杂志, 2010, 22(2): 102~105.

- [5] 康丽华. 桉树与联合固氮菌相互作用的研究[J]. 微生物学通报, 2002, 29(4): 14~18.
- [6] Wang X, Liu Y, Zeng G, et al. Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants[J]. Chemosphere, 2008, 79(2): 1260~1266.
- [7] Chang C H, Yang S S. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation [J]. Biore-source Technology, 2009, 100(4): 1648~1658.
- [8] 胡秀芳, 应飞翔, 陈集双. 胶质芽孢杆菌突变株 021120 的培养条件及发酵工艺优化[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(9): 58~62.
- [9] 杨铿, 梁晓华, 杨莺莺, 等. 解磷芽孢杆菌 YC4 液体培养基及发酵条件优化[J]. 广东农业科学, 2014, 41(16): 106~111.
- [10] 李新新. 一株红壤高效解钾菌的筛选、鉴定、发酵条件优化及促生作用的研究[D]. 南京, 南京农业大学, 2013.
- [11] 伍善东, 雷平, 郭照辉, 等. 1 株高效解钾菌的分离、鉴定及培养条件优化[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(5): 77~80.
- [12] 吴海波, 王樱潼, 叶维雁, 等. 4 株番木瓜根际解磷细菌发酵条件优化研究[J]. 西南林业大学(自然科学), 2018, 38(02): 117~125.
- [13] 刘青海, 姚拓, 马从, 等. 6 株溶磷菌和 4 株固氮菌混合培养条件的研究[J]. 草原与草坪, 2011, 31(6): 1~6, 13.
- [14] 杜宇, 李来梅, 雷潇, 等. 水稻根际固氮菌 NX-2 的分离鉴定及其培养条件优化[J]. 湖南农业科学, 2017, (7): 1~3. DOI: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2017.007.001.
- [15] 王聪, 凌娟, 张燕英, 等. 海洋固氮菌和解磷菌的分离鉴定及发酵条件优化[J]. 微生物学报, 2018, 58(5): 817~829.