

不同粮草种植模式对四川紫色丘陵区水土流失的影响

林超文¹, 付登伟^{1, 2}, 庞良玉¹, 罗春燕^{1*}, 黄晶晶¹, 罗付香¹

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所 四川 成都 610066; 2. 重庆市南山区土壤肥料技术推广站 重庆 408400)

摘要: 把饲草作为主要作物引入耕作制, 通过 3 年 3 重复随机区组定位试验, 研究了紫色土丘陵区坡耕地不同粮草种植模式对水土流失的影响。研究表明, 夏季牧草在雨季需刈割多次, 造成土壤覆盖度急剧降低, 栽种夏季牧草后加大了土壤侵蚀。刈割后再生力较强的墨西哥玉米较再生力较差的高丹草有利于减少土壤侵蚀。在冬季小麦预留空行增种禾本科牧草能在夏季残留大量根系, 固定泥沙, 显著减少土壤侵蚀。因此, 从控制土壤侵蚀的角度考虑, 在四川紫色丘陵区发展饲草种植, 首先应考虑冬季小麦的空行利用, 在栽培夏季牧草时应选择再生能力和分蘖力强的牧草品种。

关键词: 紫色丘陵区, 种植模式, 径流深, 土壤侵蚀

Influence of different grain-forage cropping rotations on runoff and sediment in the purple hilly area of Sichuan province

LIN Chao-wen¹, FU Deng-wei^{1, 2}, PANG Liang-yu¹, LUO Chun-yan¹, HUANG Jing-jing¹, LUO Fu-xiang¹

(1. Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, 610066; 2 Soil and Fertilizer extending station of Nanshan district Chongqing, Chongqing, 408400)

Abstract: A completely randomized block design was employed in this experiment with three replications and three-year study phases to investigate the influence of different forage rotations on runoff and sediment from the purple sloping arable lands. Results showed that large quantity of roots was left in soil when gramineous hay was inter-cropped with winter wheat, and this resulted in remarkable reduction in eroded sediments because soil particles were tightly held together by these roots. After several harvests of the summer forage crops in rain season, soil erosion become severe because of periodically loss of plant coverage. It was observed that *zea mexicana* had a stronger ratooning ability than sorghum, so as a better ability in soil erosion control. Therefore, from the angle of soil erosion control, planting winter wheat with reserved spacing for early summer forages in the next year should be adopted and screening the summer forage crops with strong rationing ability after cutting is the key.

Key words: Purple soil area; Plant rotation; Runoff; Soil erosion

我国作为草地资源大国, 由草原牧区提供的畜产品占全国总量的不足 10%^[1-2], 说明我国的畜产品主要产自农区。而受传统种植观念的影响, 农区主要种植粮经作物, 很少种植饲草, 缺乏饲草栽培的种植制度和相关种植技术。由于粮食生产连年丰收, 加上我国人民生活水平提高后对畜产品需求增

加,减少了粮食消费量,造成我国一些省市粮食积压严重;另一方面,许多地方畜产品生产中草料严重不足,给畜牧业生产带来了明显的消极影响^[3]。随着我国经济水平和人民生活水平的不断提高,我国对畜产品的需求必将进一步增大,这就需要对我国农区的种植模式进行调整,发展饲草种植。四川紫色丘陵农区旱坡耕地比例大、水土流失严重^[4-7],气候属于高积温寡日照类型^[8],非常适于发展饲草栽培等营养体农业。林超文^[9]等研究认为冬季以小麦为主,夏季以高丹草、菊苣等夏季饲草为主的种植模式与麦/玉/苕传统种植模式相比,能够稳定小麦籽粒产量,成倍提高饲草鲜产,提高可饲用干物产出 50%以上,提高粗蛋白产出 1 倍以上,增加产值 30%以上,是适用于该区域的可持续高效旱坡地种植模式。但关于饲草种植对水土流失的影响研究还是空白,因此,本文把饲草作为主要作物引入耕作制,通过 3 年 3 重复随机区组定位试验,研究了不同粮草种植模式对水土流失的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究区域位于四川省资阳市,田间试验布设在长江上游沱江水系花椒沟小支流的响水滩上段,位于 E104°34'12"~104°35'19" 和 N30°05'12"~30°06'44"之间,平均海拔 395 m。该区多年均降雨量为 965.8 mm,多雨年 1290.7 mm,少雨年 725.2 mm,5 月-10 月暴雨频繁,此时段降水量约占总降水量的 80%。2007、2008、2009 年产流性降雨量分别为 200.1、341.3、423.1 mm。年均温 16.8 °C,极端高温和低温分别为 36.5 °C 和 -3.6 °C。旱坡地大宗作物主要种植模式为小麦套种玉米套种甘薯(简称麦玉苕),麦花(花生)薯,麦瓜(西瓜)薯等。供试土壤为侏罗纪遂宁组母质发育的红棕紫泥,质地砂壤,土壤 pH 值 8.55,有机质 4.9 g/kg,全氮 0.54 g/kg,全钾 13.3 g/kg,全磷 0.92 g/kg,碱解氮 54.7 mg/kg,有效磷 6.21 mg/kg,有效钾 98.1 mg/kg,土壤肥力中等。

1.2 试验处理

以麦-玉-苕三熟基本种植模式为对照,把牧草作为作物引入耕作制,构建粮、草新种植模式。从 2006~2008 年采取定位随机区组试验进行研究,小区为 5 m×20 m 标准径流小区,共设 5 个处理,3 次重复,具体处理包括:

- A: 小麦-玉米/红苕(wheat/corn/sweet potato) (对照)
- B: 小麦+黑麦草-玉米/红苕(wheat / ryegrass -corn/ sweet potato)
- C: 燕麦+黑麦草-玉米/红苕(oat/ ryegrass-corn/ sweet potato)
- D: 小麦+光叶紫花苕-墨西哥玉米草/红苕(wheat/ vicia villosa- zea mexicana / sweet potato)
- E: 小麦+光叶紫花苕-高丹草/红苕(wheat/ vicia villosa- sorghum/ sweet potato)

1.3 作物栽培管理

(1) 小麦:品种为川麦 42 号,11 月上旬播种,行距 25 cm,窝距 25 cm,横向开厢,每厢 2m,小麦播幅 1m,播 4 行小麦。施肥: N 70 kg/ha, P₂O₅ 90 kg/ha,全部用作底肥一次施用。(2) 黑麦草:

品种为多花黑麦草，播期 11 月上旬，1 米開箱，行距 25 cm，株距 25 cm，亩用种量 2 kg。施肥：底肥 N 70 kg/ha， P_2O_5 90 kg/ha，3 叶期追施 N 70 kg/ha。(3) 燕麦：品种为当地地方品种，播期 11 月上旬，1 米開箱，行距 25 cm，株距 25 cm，亩用种量 4 kg。施肥同黑麦草。(3) 光叶紫花苕：品种为当地地方品种，播期 11 月上旬，1 米開箱，行距 25 cm，株距 25 cm，每空行播 3 行，亩用种量 4 kg。施肥同黑麦草。(4) 玉米：品种为临奥 9 号，播期 4 月 5 日，行距 130 cm(宽行)/70 cm(窄行)，株距 20 cm，50025 株/ha。底肥 N 70 kg/ha， P_2O_5 90 kg/ha；出苗后 3 叶期定苗，追施 N 70 kg/ha；小麦收后追施 N 140 kg/ha；攻苞肥 N 280 kg/ha， K_2O 75 kg/ha。(5) 墨西哥玉米：播期 4 月 5 日，行距 130 cm(宽行)/70 cm(窄行)，窝距 30 cm，窝播 4~5 粒，每窝留 2 苗，66700 株/ha。底肥 N 70 kg/ha， P_2O_5 90 kg/ha；出苗后 3 叶期定苗，追施 N 70 kg/ha；小麦收后追施 N 70 kg/ha；以后每次收割后追肥施 N 100 kg/ha。收割：株高 80 cm 左右收割。(6) 高丹草：品种为 V46 号，播期 4 月 5 日，光叶紫花苕收后播 3 行，窝距 25 cm，窝播 6 粒。底肥 N 70 kg/ha， P_2O_5 90 kg/ha；出苗后 3 叶期定苗，追施 N 70 kg/ha；小麦收后追施 N 70 kg/ha；以后每次收割后追肥施 N 100 kg/ha。收割：在株高 100 cm 左右收割。(7) 红苕：品种为徐薯 18 号，移栽期在小麦收获后，一般在 5 月下旬。行距 110 cm(宽行)/90 cm(窄行)，株距 25 cm，40020 株/ha。玉米(或墨西哥玉米)收获后施用 N 70 kg/ha， P_2O_5 50 kg/ha。

1.4 测定项目及方法

(1)降雨量：采用简易量筒记录全年降雨量。

(2)径流量：每次降雨产生的径流由集流槽收集并导入 SW40 型日记式水位计，通过水位流量关系计算每次降雨的径流量，每年各次降雨径流量之和即年径流量。

(3)土壤侵蚀量：每次产流过程取一个混合样为径流样，采用过滤烘干法测定径流中泥沙含量，计算随径流流失的泥沙。集流槽中沉积的泥沙采用直接称重，取样测定水分含量后计算泥沙干重，汇总径流泥沙和集流槽中泥沙即得出每次降雨的土壤侵蚀量。合计每次降雨的径流量及土壤侵蚀量即得年径流深和年土壤侵蚀量。

1.5 统计分析方法

试验结果的多重比较使用最小显著极差法中的新复极差检验(DMRT)完成，该方法的特点是不同平均数间的比较采用不同的显著差数标准，可用于平均数间的所有相互比较。

2 结果分析

2.1 不同种植模式对径流深的影响

从图 1 中可以看出，种植模式对紫色土坡耕地径流深有显著的影响。从 3 年平均年径流深来看，C(燕麦/黑麦草-玉米/红苕)处理显著低于其他处理，E(小麦/光叶紫花苕-高丹草/红苕)处理显著高于其他处理，而 A、B、D 处理间差异不显著。相同年份不同种植模式径流规律与 3 年平均年径流量规律基本一致。在 2007 年 5 个处理中，小麦+紫花苕-高丹草/红苕处理的地表径流深最大，其次是小

麦+光叶紫花苜-墨西哥玉米草/红苕处理，燕麦+黑麦草-玉米/红苕处理的径流量最低，对照与小麦+黑麦草-玉米/红苕处理径流深基本相同。从图 1 还可以看出，不同种植模式径流深存在较大的年际变化，主要是由年流性降雨量的差异造成的。产流性降雨量越大，各处理径流深最大值与最小值之间的变化差异就越大。

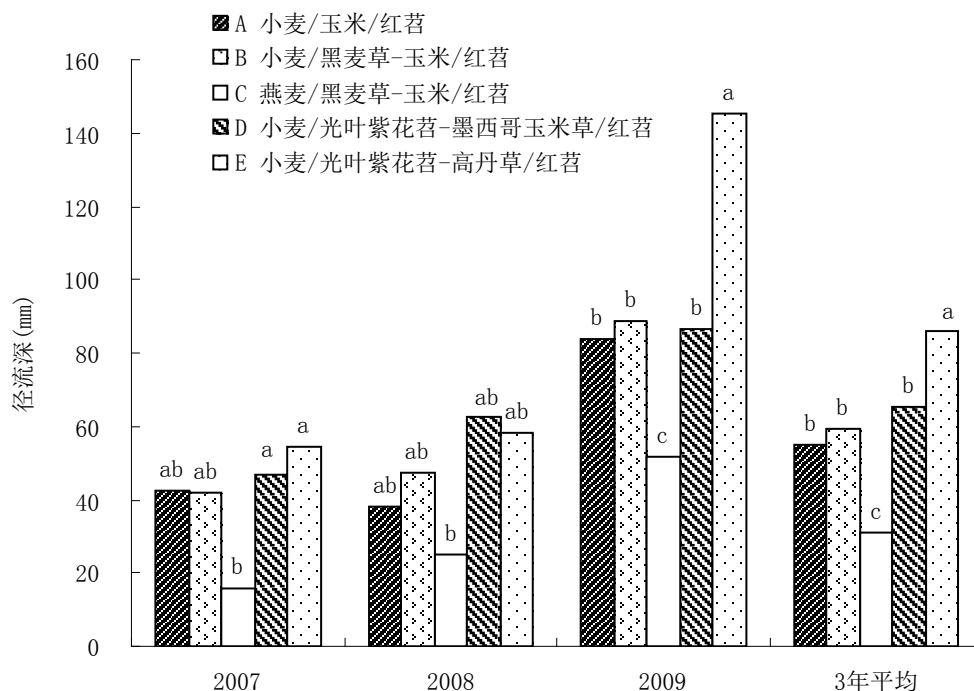


图 1：不同种植模式对径流量的影响

从表 1 中可以看出，种植模式对径流系数有显著的影响。从 3 年平均径流系数来看，燕麦+黑麦草-玉米/红苕处理径流系数为 0.09，显著低于其他处理。从不同年份间径流系数的差异来看，2008 年径流系数显著低于 2007 年和 2009 年，这与不同年份的降雨特征有关。2007 年与 2009 年降雨次数少，降雨比较集中，大雨暴雨次数多，2008 年降雨次数多，且比较分散，大雨暴雨次数相对另外 2 年要少，故径流系数显著降低。

表 1 不同种植模式对径流系数的影响

Table 1 Effects of different cropping patterns on runoff coefficients

处理	2007	2008	2009	3 年平均
小麦-玉米/红苕	0.21ab	0.11ab	0.20b	0.17ab
小麦+黑麦草-玉米/红苕	0.21ab	0.14ab	0.21b	0.19ab
燕麦+黑麦草-玉米/红苕	0.08b	0.07b	0.12c	0.09c
小麦+光叶紫花苜-墨西哥玉米草/红苕	0.23a	0.18a	0.20b	0.20ab
小麦+光叶紫花苜-高丹草/红苕	0.27a	0.17a	0.34a	0.26a
平均	0.20B	0.13A	0.21B	0.18

注：同一列不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平；同一行不同大写字母表示年份间差异大 5% 显著水平。

2.2 不同种植模式对土壤侵蚀量的影响

坡地泥沙损失与作物生物量有很大的关系，地上部分主要是受植被覆盖度和叶面积指数影响，一般来说，泥沙损失与植被覆盖度和叶面积指数成负相关，而地下部分是受根系影响，根系越发达，坡地泥沙损失就越小，且与径流量有一定的相关性。从表 2 中可以看出小麦+光叶紫花苜-高丹草/红苕模式的土壤侵蚀量最大，远远大于其他处理，因为在雨季，地表覆盖主要是高丹草，但由于高丹草生产迅速，因生产需要，刈割最为频繁，刈割后地表裸露，在大雨或暴雨时期会产生大量径流，增大地表侵蚀。燕麦+黑麦草-玉米/红苕模式的土壤侵蚀量最小，前作燕麦在收获后根系有很强的固沙作用，加上玉米覆盖度较高，径流小，故侵蚀泥沙量少。燕麦+黑麦草-玉米/红苕模式的侵蚀泥沙最小，对照（小麦-玉米/红苕）、小麦+黑麦草-玉米/红苕和小麦+光叶紫花苜-墨西哥玉米草/红苕处理的侵蚀泥沙量大致相同，差异不显著，这与地表径流深的观测结果基本一致。说明影响地表径流的因素也会影响侵蚀泥沙量。泥沙流失量与地表径流量成正比，一般情况下，地表径流越大，泥沙流失量越大。

表 2 不同种植模式的土壤侵蚀量 (t/km²)
Table 2 Effects of different cropping patterns on soil erosion

处理	2007	2008	2009	3 年平均
小麦-玉米/红苕	892.4b	480.7b	849.6bc	770.9b
小麦+黑麦草-玉米/红苕	663.7b	445.2b	825.4bc	644.8b
燕麦+黑麦草-玉米/红苕	552.9b	364.2b	619.1c	512.1b
小麦+光叶紫花苜-墨西哥玉米草/红苕	652.9b	577.1b	984.3b	738.1b
小麦+光叶紫花苜-高丹草/红苕	1987.0a	1218.6a	1453.8a	1553.1a
平均	949.8AB	617.2A	946.4B	843.8

3 讨论

不同种植模式对丘陵区的径流与土壤侵蚀量有很大的影响，在其他影响因素相同的情况下，作为夏季作物的前作，不同冬季作物对径流与泥沙量的产生有一定影响。冬季作物为燕麦与黑麦草间作减流减沙效果最显著，主要是因为燕麦与黑麦草都是耗水性很强的禾本科牧草，分蘖再生能力强，两种作物间作后竞争激烈，根部生长快，根系发达，夏季时其残留于土壤中的根系固土能力强，减少了水土流失；而小麦的分蘖能力与根系发达程度均比燕麦和黑麦草差，水土保持能力也较弱。另外，在对照处理中，玉米种植在小麦预留行中，在小麦+黑麦草-玉米/红苕和燕麦+黑麦草-玉米/红苕两个处理中，玉米种植在前作是黑麦草带幅中，所以在雨季对照处理与小麦+黑麦草-玉米/红苕处理的植被覆盖基本一致，故产沙产流情况基本一致，而燕麦+黑麦草-玉米/红苕处理中由于燕麦根系发达，刈割后留有 20 cm 左右的茬口，增加了地表的粗糙度，在很大程度上能减少径流量的产生与土壤侵蚀，故在前 3 个处理中径流产沙均为最低。

夏季牧草由于水热光照条件良好，生长旺盛，可刈割多次，但是刈割后，植被覆盖度大量减小，导致产流产沙大幅度增加，与孙铁军等人的研究一致^[10]。但是留下的茬口在一定程度上减少径流量的

产生与土壤侵蚀, 茬口对减沙效应比减流效应要明显的多, 故小麦+光叶紫花苕-墨西哥玉米草/红苕处理与小麦+光叶紫花苕-高丹草/红苕处理的径流量比对照和麦+黑麦-玉/苕处理要高, 但不存在显著差异, 但要远远大于燕麦+黑麦-玉-苕处理的径流量, 存在显著差异。由于种间差异, 在刈割后, 高丹草生长较墨西哥玉米草慢, 重新覆盖地面也慢, 故在雨季, 小麦+光叶紫花苕-高丹草/红苕处理的产流产沙量最大, 均大于其他处理。

4 结论

把饲草作为主要作物引入耕作制, 在冬季小麦预留空行增种禾本科牧草能在夏季残留大量根系, 固定泥沙, 显著减少土壤侵蚀。由于夏季牧草在雨季需刈割多次, 造成土壤覆盖急剧降低, 加大了土壤侵蚀。刈割后再生力较强的墨西哥玉米较再生力较差的高丹草有利于减少土壤侵蚀。因此, 从控制土壤侵蚀的角度考虑, 在四川紫色丘陵区发展饲草种植, 首先应考虑冬季小麦的空行利用, 在夏季牧草品种选择时应注意牧草品种的再生能力和分蘖力。

鸣谢: 作者感谢四川省财政育种工程项目、国际植物营养研究所项目、丘区简阳市种养加复合型现代农业技术集成研究与示范(项目编号: 2007z06-30)及四川省科技厅应用基础项目(项目编号: 2008JY0022-1)。

参考文献

- [1] 洪绂曾, 王堃. 中国草业发展现状及战略构想[J]. 专家论坛, 2004, 1:1-4.
- [2] 王堃, 韩建国, 周禾. 中国草业现状及发展战略[J]. 草地学报, 2002, 10(4): 293-297.
- [3] 刘国栋, 曾希柏, 苍荣等. 营养体农业与我国南方草业的持续发展[J]. 草业学报, 1999, 8(2) 1-7.
- [4] 杨文元, 张奇, 张建华等. 紫色丘陵区土壤抗冲性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 23-28.
- [5] 蒋光毅, 史东梅, 卢喜平等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 54-58.
- [6] 林超文, 陈一兵, 黄晶晶等. 不同耕作方式和雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2241-2249.
- [7] 张丽萍, 朱钟麟, 邓良基. 四川省坡耕地资源及其治理对策[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3):47-49.
- [8] 张建华. 紫色丘陵土壤保护示范区气候资源及评价[J]. 土壤农化通报, 1992, 7(1-2): 96-104.
- [9] 庞良玉, 罗春燕, 林超文等. 四川紫色丘陵农区坡耕地饲草种植模式及效益[J]. 草业学报, 2010, 19(3):110-116.
- [10] 孙铁军, 刘素军, 肖春利等. 草地雀麦刈割对坡地水土流失的影响[J]. 水土保持学报. 2007, 21(4): 34-37