

深松和秸秆覆盖条件下紫色土坡耕地水分养分流失特征

刘海涛, 姚莉, 朱永群, 王宏, 许文志, 王谢, 林超文

(四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066)

摘要: 旨在明确深松和秸秆覆盖2种措施在紫色土坡耕地中的水分养分流失特征规律, 利用径流小区, 结合平作、垄作、深松、完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖措施共设置9个试验处理, 开展了2年的田间试验, 对产量、地表径流、壤中流以及径流中的养分流失进行了测定。结果表明: (1) 与平作相比, 深松可显著增加壤中流量和壤中流中的总氮浓度, 增加39.6%的总径流, 以及85%的总氮量流失, 同时还会降低玉米产量。(2) 秸秆覆盖降低地表径流, 增加壤中流量和壤中流中的总氮浓度, 总径流增加6.4%, 总氮量流失增加9.4%, 秸秆覆盖对产量无显著影响。(3) 粉碎秸秆覆盖的地表径流总氮浓度比完整秸秆覆盖处理低43.2%, 2种覆盖方式在地表径流、壤中流及壤中流总氮损失上无显著差异。(4) 深松+垄作处理养分流失量在所有处理中最高, 产量最低, 不适合在紫色土坡耕地应用。本研究阐明了深松和秸秆覆盖在紫色土坡耕地上相对新型的2种耕作措施在紫色土坡耕地上的产量效应和水土养分流失特征, 为该措施在紫色土坡耕地利用的可行性评价提供了很好的参考。

关键词: 深松; 秸秆覆盖; 粉碎秸秆; 水分养分流失

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0052-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.009

Characteristics of Water and Nutrients Loss Under Subsoiling and Straw Mulching in Purple Soil Slope Cropland

LIU Haitao, YAO Li, ZHU Yongqun, WANG Hong, XU Wenzhi, WANG Xie, LIN Chaowen

(Soil and Fertilizer Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066)

Abstract: Subsoiling and straw mulching are widely used in mechanized agriculture. The research objective was to identify the characteristics of soil and nutrients loss under subsoiling and straw mulching in purple soil slope cropland. Nine experimental treatments, which included the conventional flat cultivation, ridge cultivation, subsoiling, full straw mulching and pulverized straw mulching, were conducted in runoff plots. The yield, surface runoff, subsurface flow, and nutrients contents were measured in the two-year trial. The research results are shown in follow: (1) Compared with flat planting, subsoiling significantly increased the subsurface flow and nitrogen concentration in the flow, increased total runoff by 39.6%, and increased the nitrogen loss in runoff by 85%, and the maize yields were decreased. (2) Straw mulching decreased surface runoff, increased subsurface flow and nitrogen concentration in the flow, increased the total runoff by 6.4%. Increased the total nitrogen loss by 9.4% and had no significant effect on maize yield. (3) The nitrogen concentration in surface runoff was 43.2% in pulverized straw mulching treatments, less than the full straw mulching treatments. There were no significant differences in the surface runoff, subsurface flow and nitrogen concentrations in the flow between the two straw mulching treatments. (4) Subsoiling + ridge treatment had the highest nutrient loss, but the lowest yield in all the treatments. So this tillage method was not applicable in the purples soil of slope cropland. The findings in this were useful for assessing the feasibility about subsoiling and straw mulching in purple soil slope cropland.

Keywords: subsoiling; straw mulch; pulverized straw; water and nutrients loss

收稿日期: 2018-07-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200700); 国家自然科学基金项目(41601217); 公益性行业(农业)科研专项(201503119-03-01)

第一作者: 刘海涛(1986—), 男, 助理研究员, 主要从事土壤资源利用研究。E-mail: liuht1986@163.com

通信作者: 林超文(1968—), 男, 研究员, 主要从事水土流失与环境保护研究。E-mail: lcw-11@163.com

紫色丘陵区是四川盆地的重要粮食主产区,农田水土流失严重,农田养分排放对环境的压力大^[1]。针对该地区的水土流失和氮磷排放问题,过往众多研究者从不同雨强、不同坡度、不同地表覆盖度和植被类型等方面对水土流失氮磷排放的机理进行了研究^[2-6],也从不同的耕作方式、垄作、秸秆覆盖、地膜覆盖、不同肥料类型对水土流失和养分流失的控制进行了系统研究^[7-9],取得了一系列可靠的成果。

伴随着农业机械化的普及,深松和秸秆还田已成为北方,尤其是东北地区漫岗坡地的一种有效保护性耕作措施。深松技术能够消除耕作带来的土壤变硬问题,增加土壤的入渗和持水能力,能有效降低水土流失同时提高土壤生产力^[10]。秸秆覆盖则能够有效的减少地表径流损失从而达到水土保持的目的,这在全国不同地区的研究结果都是一致的^[11-12]。随着农村劳动人口的大幅度减少,紫色土丘陵区的机械化是未来发展的趋势,因此借鉴机械化程度高的北方地区相关保护性耕作措施深松和秸秆覆盖,来进行一些前瞻性的水分养分流失研究工作,对新型耕作方式在紫色土丘陵区坡耕地上运用的有效性论证和完善水土养分流失的研究均具有重要意义。深松技术在紫色土坡耕地的运用在过往是完全空白的,秸秆覆盖在紫色土丘陵区过往的研究中十分常见,但大多数研究都是完整作物秸秆覆盖,考虑到机械作业时会将秸秆机械粉碎后覆盖,本文将重点对深松技术和粉碎秸秆覆盖对紫色土丘陵区水分和养分流失影响开展研究。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点于长江上游沱江水系花椒沟小支流的响水滩上段。属于四川省资阳市雁江区雁江镇响水村(30°6'17"N,104°35'38"E)。海拔 395 m,多年平均降水量 939 mm,最多年 1 289 mm,最少年 633 mm,主要(70%)分布在 6—9 月,年均气温 16.8 °C,极端最低气温 -3.6 °C,极端最高气温 36.5 °C。供试土壤为遂宁组母质发育的紫色土红沙土,土壤质地轻,土壤有机质、全氮、有效磷含量偏低,土壤肥力不高。在试验实施前土壤基础养分含量为有机质 9.2 g/kg,全氮 0.53 g/kg,碱解氮 42 mg/kg,有效磷 3.0 mg/kg,速效钾 90.2 mg/kg,pH 7.9。

1.2 试验设计

本试验共主要包含 2 个影响因素:因素 1 为不同耕作方式,平作为常规耕作方式,垄作为紫色土坡耕地常用的水土保持耕作措施,深松为机械化普及后的常用耕作措施;因素 2 为不同秸秆覆盖方式,无秸秆覆盖,完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖。共设计 9 个试验处理。处理 1,平作;处理 2,垄作;处理 3,深松;处

理 4,平作+完整秸秆覆盖;处理 5,垄作+完整秸秆覆盖;处理 6,深松+完整秸秆覆盖;处理 7,平作+粉碎秸秆覆盖;处理 8,垄作+粉碎秸秆覆盖;处理 9,深松+垄作处理。通过查阅文献了解到深松和垄作均是水土保持的可靠方式^[5],因此综合 2 种方式设计出一种最佳水土保持耕作措施作为处理 9。每个处理 3 个重复,随机区组排列。试验在径流小区上进行,小区坡度为 10°,小区面积 8 m²(坡长 4 m,宽 2 m)。小区四周用砖砌成,下垫面用混泥土,土层厚度 60 cm,土壤下垫一层 10 cm 厚的石英砂,方便壤中流快速流出,用集流装置在径流小区底部收集壤中流,在地表收集地表径流。四川紫色土坡耕地的平均土层厚度为 60 cm,土壤层之下为紫色砂页岩母质层,母质层裂隙发育显著,渗漏严重。径流从土层中渗漏后,不会被母质层阻隔,而是继续下渗。因此本研究中小区采集的壤中流与自然条件下基本一致。

本研究于 2015—2016 年开展了 2 年田间小区试验。试验种植作物为玉米。玉米采用横坡大小行种植在距小区顶端 0.65,1.35,2.65,3.35 m 处各横坡种植 1 行玉米,共 4 行,玉米株距 0.25 m,每行 8 株,共 32 株。玉米品种为“川单 15”,于 4 月初播种,8 月初收获,在 5 月中旬,玉米处于拔节期时,垄作处理每个双行玉米起 30 cm 高垄;深松处理用人工铁锹松土 30 cm 深;完整秸秆覆盖处理将完整的小麦秸秆覆盖于地表,小麦秸秆量为 4 500 kg/hm²;粉碎秸秆处理则是将等量的小麦秸秆粉碎后均匀覆盖于小区地表。施肥量为 N 150 kg/hm²,P₂O₅ 75kg/hm²,K₂O 75 kg/hm²。磷钾肥以过磷酸钙和氯化钾基肥窝施。氮肥按照底肥:拔节肥:攻苞肥为 3:2:5 的比例兑水窝施尿素。

1.3 测定项目与数据分析

地表径流养分流失量:2015 年玉米播种后至 2016 年 10 月雨季结束期间,每次降雨产流后记录各小区地表径流量,取各小区径流液样品测定总氮和总磷含量。

壤中流养分流失量:每次降雨产流后记录各小区壤中流量,取各小区壤中流样品测定总氮总磷含量。玉米成熟后将各个小区所有玉米籽粒收获晒干,测定产量。

本研究的数据分析采用常规的方差分析,采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件完成数据分析。

2 结果与分析

2.1 降雨量与径流分析

2015 年和 2016 年的月降雨量见图 1。2015 年和 2016 年的年降雨量分别为 731.2,666.9 mm。降雨量主要集中在 6—9 月,2015 年和 2016 年 6—9 月的总降雨量分别为 541.2,440.9 mm。2015 年的降雨量和降雨强度均强于 2016 年。

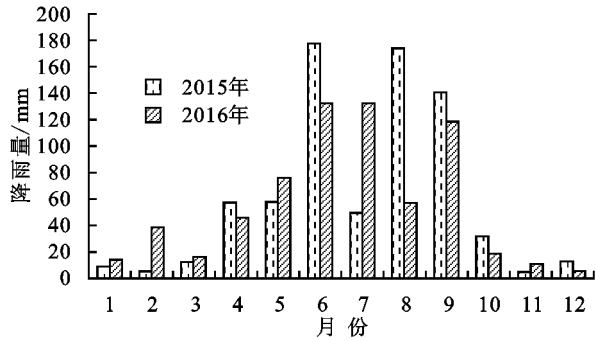


图 1 2015 年、2016 年月降雨量

不同耕作方式下 2015 年和 2016 年的年径流量见表 1。径流主要以壤中流为主,各处理平均壤中流占据了总径流损失的 87.1%。由于 2015 年的降雨量和降雨强度均高于 2016 年,因此 2015 年总径流、地表径流和壤中流损失分别较 2016 年要高出 3.1, 58.2, 61.3 mm。2015 年平作和深松处理的地表径流为 33.8, 32.1 mm, 高于其他处理, 2016 年的深松处理地表径流量为 21.3 mm, 高于其他处理。秸秆覆盖能够显著降低地表径流量, 完整秸秆覆盖和粉碎

秸秆覆盖对地表径流量的影响较小。垄作也能降低地表径流,但在 2016 年垄作处理中不显著,可能与垄被冲垮出现水沟有关。垄作+完整秸秆覆盖处理的壤中流量在 2015 年和 2016 年均高于其他处理,平作处理的壤中流量为各处理最低。垄作,深松和秸秆覆盖方式能够显著增加壤中流,其中垄作处理较平作处理平均壤中流增加了 83.6%;深松处理较平作处理增加了 52.9%;平作+完整秸秆覆盖处理较平作处理壤中流增加了 49.7%。相比完整秸秆覆盖,粉碎秸秆覆盖产生的壤中流要较小,平作+完整秸秆处理较平作+粉碎秸秆处理壤中流增加 7.9%。各处理的总径流损失差异在 2015 年和 2016 年基本一致,平作处理的总径流损失在所有处理中最低,垄作,深松和秸秆覆盖方式均会增加总径流的损失。其中垄作增加总径流损失量最大,深松次之,秸秆覆盖增加量最小,分别较平作处理增加 51.1%, 39.6% 和 6.4%, 其中完整秸秆覆盖增加的径流损失量要大于粉碎秸秆覆盖。

表 1 不同耕作方式下 2015 年和 2016 年径流量

单位:mm

耕作方式	地表径流		壤中流		总径流损失	
	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年
平作	33.8a	17.8b	85.7d	54.0c	119.5c	71.8c
垄作	13.8bc	18.8b	168.7ab	87.8ab	182.6ab	106.5ab
深松	32.1a	21.3a	130.8c	82.8ab	163.0b	104.1b
平作+完整秸秆	11.8cd	14.7c	129.0bc	80.2abc	140.7bc	94.9bc
垄作+完整秸秆	11.6cd	13.4c	191.1a	92.9ab	202.8a	106.2ab
深松+完整秸秆	15.0bc	12.7cd	139.4bc	97.2ab	154.4bc	109.9ab
平作+粉碎秸秆	12.2bc	11.6d	120.8bcd	73.1abc	132.9bc	84.8bc
垄作+粉碎秸秆	13.8bc	12.0cd	148.6bc	85.5b	162.4b	97.5bc
深松+垄作	20.2b	14.2c	167.6ab	104.2a	187.8ab	118.4a

注:每列不同字母表示通过 LSD 分析存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。

2.2 氮流失分析

不同耕作方式下的总氮流失量见表 2。2015 年的总氮流失量大于 2016 年。这是因为 2015 年的径流流失量和径流中的总氮浓度均要高于 2016 年。总氮流失主要通过壤中流流失,壤中流损失的总氮量占总氮损失的 94.7%。相比平作,垄作能够显著降低地表径流中的总氮流失量,深松并没能显著降低地表径流总氮流失量,完整秸秆覆盖能够在大多数情况下能够增加地表径流总氮流失量,粉碎后秸秆覆盖则没表现出显著的地表径流总氮损失增加。完整秸秆覆盖的地表径流总氮流失量要高于粉碎后秸秆覆盖。平作处理的壤中流总氮流失在所有处理中最低。垄作处理的壤中流总氮流失量较平作处理增加了 137%;深松处理的壤中流总氮流失量较平作处理增加了 94.2%;秸秆覆盖也显著增加了壤中流总氮流失,完整秸秆覆盖处理和粉碎秸秆处理对应的壤中流总氮流失差异在大多数情况下

差异不显著。由于地表总氮流失量占总氮流失量比例很低。因此各处理之间的总氮流失规律与壤中流总氮流失基本一致,垄作>深松>秸秆覆盖,分别较平作增加了 118.7%, 85.0% 和 9.4%。

径流氮的损失与径流量有关,也与径流中的总氮含量紧密相关。不同耕作方式下地表径流和壤中流中的平均总氮浓度见表 3。相比平作,垄作降低了 24.8% 的地表径流中的总氮浓度,深松则对地表径流中的总氮浓度未表现出显著影响。秸秆覆盖能够显著增加地表径流中的总氮浓度,其中粉碎秸秆覆盖的地表经历总氮浓度较完整秸秆覆盖低 43.2%。壤中流的总氮浓度要高于地表径流。2015 年壤中流总氮浓度又要远高于 2016 年。平作处理的壤中流总氮浓度最低,2015 年和 2016 年分别为 10.8, 3.0 mg/kg, 深松+垄作处理对应的壤中流总氮浓度最高,2015 年和 2016 年分别为 15.0, 5.0 mg/kg。相比平作,垄

作和深松均能够提高壤中流中的总氮浓度,秸秆覆盖 则未能显著提高壤中流中的总氮浓度。

表 2 不同耕作方式下 2015 年和 2016 年总氮流失量

单位:kg/hm²

耕作方式	地表总氮流失		壤中流总氮流失		总氮流失	
	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年
平作	0.8ab	0.4bcd	10.1d	1.3e	10.9c	1.7e
垄作	0.3d	0.2de	24.4ab	2.7d	24.7ab	2.9d
深松	0.7abc	0.5abc	17.9bc	4.2b	18.6b	4.7b
平作+完整秸秆	0.4bcd	1.3a	15.0cd	2.5d	15.4bc	3.9bc
垄作+完整秸秆	0.8abc	0.4c	24.7a	3.3c	25.5a	3.7c
深松+完整秸秆	0.9a	1.0a	18.7bc	4.2b	19.7b	5.2b
平作+粉碎秸秆	0.5abcd	0.6abc	13.1cd	3.4bcd	13.6bc	4.0bc
垄作+粉碎秸秆	0.4cd	0.1e	18.0bc	3.4c	18.4b	3.5cd
深松+垄作	0.7abc	0.8ab	24.1a	5.0a	24.9a	5.9a

表 3 不同耕作方式下 2015 和 2016 年地表径流和壤中流中平均总氮含量

单位:mg/L

耕作方式	地表径流总氮平均含量		壤中流总氮平均含量	
	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年
平作	2.3b	2.2bc	10.8cd	3.0bc
垄作	2.4b	1.0c	14.2ab	3.3c
深松	2.1b	2.3bc	13.4ab	5.1a
平作+完整秸秆	4.1ab	7.7abc	11.8c	3.5bc
垄作+完整秸秆	6.8a	3.0b	12.9b	3.5c
深松+完整秸秆	6.1a	7.3a	13.6abc	4.7ab
平作+粉碎秸秆	4.0ab	4.9abc	10.3d	5.1ab
垄作+粉碎秸秆	2.7b	0.9c	12.3abcd	4.0b
深松+垄作	3.2b	6.9a	15.0a	5.0a

2.3 磷流失

不同耕作方式下的总磷流失量见表 4。2015 年的总磷流失量大于 2016 年。这是因为 2015 年的径流流失量要高于 2016 年。总磷的流失量在本研究中非常低,总磷流失量最高处理为 2015 年的深松处理,流失量 0.227 kg/hm²,为当季施磷量的 0.3%;所有

处理平均总磷流失量为 0.10 kg/hm²,仅为当季施磷量的 0.13%。2015 年的总磷流失量大于 2016 年。总磷流失通过地表径流和壤中流流失的比例分别为 46.9%和 53.1%。

2015 年地表径流中总磷流失量平作和深松处理较高,分别为 0.171,0.169 kg/hm²,总磷流失最低处理为垄作+完整秸秆处理,流失量为 0.048 mg/kg;2016 年的地表径流中总磷流失量深松处理最高,流失量为 0.011 kg/hm²,深松+垄作处理流失量最低。2015 年的壤中流总磷流失量平作+粉碎秸秆处理最高,流失量为 0.078 kg/hm²;总磷流失量最低处理为平作处理,流失量为 0.03 mg/kg;2016 年的壤中流总磷流失量垄作+粉碎秸秆和深松+垄作处理最高,流失量分别为 0.091,0.091 kg/hm²,平作+完整秸秆处理流失量最低。整体而言,深松,垄作以及秸秆覆盖对总磷损失的影响在 2015 年和 2016 年之间的规律重现性较差。

表 4 不同耕作方式下 2015 年和 2016 年总磷流失量

单位:kg/hm²

耕作方式	地表总磷流失		壤中流中流损失		总磷流失	
	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年	2015 年	2016 年
平作	0.171a	0.008abc	0.030d	0.047ab	0.201ab	0.055ab
垄作	0.062bc	0.007bcd	0.070ab	0.038abc	0.132c	0.045bc
深松	0.169a	0.011a	0.059bc	0.027c	0.227a	0.038b
平作+完整秸秆	0.049bc	0.006cd	0.052bc	0.02cd	0.102d	0.026d
垄作+完整秸秆	0.048c	0.009ab	0.078a	0.034b	0.126c	0.043b
深松+完整秸秆	0.070b	0.007abcd	0.046bcd	0.025c	0.116c	0.032cd
平作+粉碎秸秆	0.054bc	0.006cd	0.087a	0.040abc	0.142bcd	0.046b
垄作+粉碎秸秆	0.064bc	0.008ab	0.050c	0.091a	0.114cd	0.099a
深松+垄作	0.085bc	0.006d	0.068ab	0.091a	0.154bc	0.097a

2.4 产量

不同耕作处理下的产量见表 5。2015 年的产量为 4 585.8~4 882.7 kg/hm²,2016 年产量为 7 650~8 052.5 kg/hm²,平均产量高出 2015 年 67.0%。不同耕作措施对产量有显著的影响。相比平作,垄作能够增加产量,其中 2016 年垄作处理较平作处理增产 5.1%,秸秆覆盖和垄作措施搭配使用在大多情况下

也能够增加产量。相比平作,深松则少量降低了产量,2015 年和 2016 年深松处理较平作处理平均减产 1.7%,其中 2015 年达到显著水平。秸秆覆盖对产量的影响并不显著。2015 年平作+粉碎秸秆覆盖的产量要显著高于平作+完整秸秆处理 6.5%,其他完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖处理之间的产量不存在显著性的差异。

表 5 不同耕作方式下 2015 年和 2016 年产量对比

耕作方式	单位:kg/hm ²	
	2015 年	2016 年
平作	4744.1a	7663.3bc
垄作	4761.8ab	8052.5a
深松	4588.7b	7650.0c
平作+完整秸秆	4585.8b	7858.3abc
垄作+完整秸秆	4801.5a	8022.5a
深松+完整秸秆	4700.3ab	7994.2a
平作+粉碎秸秆	4882.7a	7790.0abc
垄作+粉碎秸秆	4788.8ab	7943.3abc
深松+垄作	4480.5ab	7724.2abc

3 讨论

本研究田间试验所在的 2015—2016 年,降雨量偏少且降雨强度偏低,从而导致总径流偏少,径流以壤中流为主,占总径流 87.1%,同时试验中几乎未收集到任何的泥沙流失量。相比林超文等^[7]在同一地点在 2009 年的研究,地表径流占总径流的 19.9%~86.4%,并形成了泥沙的流失。

深松是针对机械过度压实土壤后进行的打破犁底层,疏松土壤结构的一种耕作措施^[10]。本研究在径流小区中进行,小区土壤并未受到过机械的压实作用,因此获得结果与实际生产可能出现偏差。但是基于本研究为前瞻性研究,通过牺牲部分试验结果的代表性,在径流小区上精准控制试验条件,以获取可靠的试验数据是可取的。该研究结果也为今后在具体试验田上开展代表性研究奠定很好的理论基础。

3.1 深松对径流养分流失和产量的影响

深松是作为一种常见耕作措施,在东北华北地区有大范围的运用^[10]。部分研究^[13-14]认为,深松能够降低地表径流,但这一结论与本研究存在差异。本研究中,在 2016 年度深松反而增加了地表径流量,同时也增加了壤中流的流量。紫色土为初育土,土壤结构性差,导水能力强,这可以从本文中壤中流量远大于地表径流进行验证。土壤结皮可能是形成地表径流的一个重要原因^[15],深松对地表的土壤结构造成了一定的破坏,更容易形成结皮,从而导致地表径流量增加。同时深松过程中在地表形成了很多大的裂隙,这些大裂隙也有利于水分的下渗。从而导致壤中流增加的。这与其他研究认为深松能够增加土壤的入渗能力,从而造成更强的淋洗的结果一致^[16]。

本研究中垄作降低了地表径流,垄作处理的壤中流要高于深松和平作处理,这与以往的研究^[17]一致。整体上看垄作总径流损失量最大,深松次之,分别高出平作处理 51.1%和 39.6%。

总氮的流失与径流和径流的总氮浓度紧密相关。本研究中,垄作处理的地表径流总氮浓度要低于平作处理,该结果与林超文等^[5]研究结果一致。深松则对

地表径流总氮浓度无显著性影响。结合地表径流量,垄作能够显著降低地表径流总氮流失,深松的地表径流氮损失与平作之间没有显著性差异。垄作深松均能增加壤中流浓度,综合壤中流径流量,壤中流中的总氮损失量符合垄作>深松>平作。垄作对壤中流的影响过往研究^[18-19]很多,其结论与本研究基本一致^[20]。而深松对壤中流养分流失的影响在过往的几乎没有,本文完善了这一方面的研究。由于壤中流占了总径流的 87.1%,因此本研究中总氮损失基本与壤中流总氮损失一致,垄作>深松>平作,分别高出平作处理 118.7%和 85.0%。

本研究中总磷流失比例极低,流失量最大的深松处理流失量仅占当季施磷量的 0.3%。平作,垄作,深松和秸秆覆盖对总磷流失影响两年之间规律重复较差。过往研究表明磷的流失来源泥沙>地表径流>壤中流,其中泥沙流失占据大部分比例^[7,21]。本研究中由于泥沙流失和地表径流都十分低,这也造成了磷的流失没有表现出显著的规律。

相比平作,垄作能够小幅度增加产量,最高可增产 5.1%。这与林超文等^[7]的研究结果一致,可能与垄作处理在 5 月中旬的玉米行上起垄,这有利于根系的养分吸收同时固持根系,减少倒伏率。深松则在会小幅度降低产量,平均减产 1.7%。这与大多数在北方的研究结果相反^[10,13,19,22]。这与紫色土是一种松散的土壤,深松之后使得土壤过于松散有关,在实际生产观测中也发现深松之后会出现部分玉米的倒伏,从而造成一定程度的减产。

3.2 秸秆覆盖对径流养分流失和产量的影响

本研究中秸秆覆盖能够显著降低地表径流量,这与绝大多数研究^[7,23-26]一样。其中完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖之间的没有显著性差异。秸秆覆盖显著增加了壤中流量^[7-8]。其中粉碎秸秆覆盖的壤中流量要略低于完整秸秆覆盖,这可能与粉碎秸秆与地表紧密粘结,从而降低了水分的入渗有关。由于本研究中壤中流占总径流比例较大,因此总径流损失与壤中流损失较为一致,相比无秸秆覆盖,秸秆覆盖平均增加了 6.4%总径流,其中完整秸秆覆盖总径流增加量更大。

完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖均能增加地表径流中的总氮浓度^[7,24-25],其中粉碎秸秆覆盖的总氮浓度要比完整秸秆覆盖处理低 43.2%,这可能因为完整秸秆覆盖秸秆位于地表上方,秸秆在分解后产生的养分通过雨水淋洗直接进入地表径流,粉碎后秸秆与表层土壤紧密黏结,甚至混合,秸秆腐烂后的养分容易进入土壤之中。综合地表径流数据,完整秸秆覆盖处理的地表径流总氮流失量要显著高于粉碎秸秆覆

盖。粉碎秸秆覆盖与无秸秆覆盖处理无显著性差异。

秸秆覆盖能够显著增加壤中流中的总氮浓度,这可能与秸秆腐烂分解出氮有关,完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖之间的壤中流总氮浓度没有显著性差异。秸秆覆盖会增加壤中流总氮损失,但完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖之间差异不大。整体而言,本研究中壤中流总氮流失量占径流总氮流失量的绝大部分,所以总径流氮流失与壤中流氮流失基本一致,相比无秸秆覆盖,秸秆覆盖能显著增加 9.4% 的总径流氮损失,但完整秸秆覆盖和粉碎秸秆覆盖之间差异不显著。

本研究中,大多数情况下,秸秆覆盖对产量没有显著的影响。这可能因为秸秆覆盖还田的时间只有 2 年,导致秸秆还田对产量无显著影响。

3.3 深松+垄作处理

本研究试验设计的垄作+深松处理,是综合深松和垄作 2 种方式设计出一种最佳水土保持耕作措施。与该处理类似的处理深松+垄向区田技术在黑龙江西部坡耕地有运用,该处理减少了径流量的 95.1%,并同时提高土层中的储水量,从而达到很好水土保持效果^[11]。然而本研究试验结果表明,该耕作方式在紫色土坡耕地没有达到预想效果。这是由于紫色土坡耕地土层厚度小,壤中流发达,尤其是这 2 年试验周期内,壤中流占总径流的比例很高。深松和垄作均会提高壤中流流量和壤中流总氮浓度,从而导致深松+垄作处理的平均壤中流总氮损失在所有处理中最大,年均达到 14.6 kg/hm²,造成了大量的养分流失。与此同时,由于深松造成的倒伏现象,使得该处理的产量水平在所有处理中最低。

4 结论

(1)相比平作,深松显著增加壤中流量和壤中流中的总氮浓度,增加 39.6% 的总径流和 85% 的对应总氮量流失,深松还会降低玉米产量。

(2)秸秆覆盖降低了地表径流,增加壤中流和壤中流中的总氮浓度,增加了 6.4% 的总径流和 9.4% 的对应总氮量流失,秸秆覆盖对产量无显著影响。

(3)粉碎秸秆覆盖的地表径流总氮浓度要比完整秸秆覆盖处理低 43.2%,在地表径流,壤中流及壤中流总氮损失上无显著差异。

(4)深松+垄作处理养分流失量最高,产量最低,不适合在紫色土坡耕地运用。

参考文献:

[1] 李秋艳,蔡强国,方海燕,等.长江上游紫色土地区不同坡度坡耕地水保措施的适宜性分析[J].资源科学,2009,31(12):2157-2163.
[2] 何丙辉,缪驰远,吴咏,等.遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究[J].水土保持学报,2004,18(3):9-11.

[3] 高美荣,刘刚才,朱波.四川紫色土丘陵区不同耕作制的产流过程初步分析[J].水土保持学报,2000,14(增刊1):118-121.
[4] 吕甚悟,陆大良.紫色土丘陵区水土流失与耕地坡度的关系[J].土壤,1988(2):98-100.
[5] 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.
[6] 何淑勤,宫渊波,郑子成,等.不同植被类型条件下土壤抗蚀性变化特征及其影响因素[J].水土保持学报,2013,27(5):17-22.
[7] 林超文,罗春燕,庞良玉,等.不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J].生态学报,2010,30(22):6091-6101.
[8] 徐泰平,朱波,汪涛,等.秸秆还田对紫色土坡耕地养分流失的影响[J].水土保持学报,2006,20(1):30-32.
[9] 罗付香,林超文,涂仕华,等.氮肥形态和地膜覆盖对坡耕地玉米产量和土壤氮素流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(6):11-16.
[10] 何进,李洪文,高焕文.中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J].农业工程学报,2006,22(10):62-67.
[11] 魏永霞.黑龙江西部坡耕地不同耕作措施水分转化与土壤侵蚀特征[D].哈尔滨:东北林业大学,2009.
[12] 沈裕琥,黄相国.秸秆覆盖的农田效应[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.
[13] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.豫西旱坡地高留茬深松对冬小麦生态效应的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(2):146-148.
[14] 葛超,景希强,徐娥,等.不同深松时间与深度条件下土壤物理性状与玉米产量的相关分析[J].中国土壤与肥料,2013(3):15-18.
[15] 王辉,王全九,邵明安,等.表土结皮影响坡地产流产沙及养分流失的试验研究[J].水土保持学报,2008,22(4):35-38.
[16] Pikul J L, Aase J K. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage[J]. Soil Society of America Journal,2003,67(3):859-866.
[17] 郭新荣.土壤深松技术的应用研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2005,25(1):74-77.
[18] Mohanty M, Bandyopadhyay K K, Painuli D K, et al. Water transmission characteristics of a Vertisol and water use efficiency of rainfed soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under subsoiling and manuring[J]. Soil and Tillage Research,2007,93(2):420-428.
[19] 秦红灵,高旺盛,马月存,等.两年免耕后深松对土壤水分的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):78-85.
[20] 林超文,罗春燕,庞良玉,等.不同覆盖和耕作方式对紫色土坡耕地降雨土壤蓄积量的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):213-216.

- and plant growth in Lathkill Dale NNR. I. A twelve-year summary of solar radiation and temperature[J]. *Plant Cell and Environment*, 1986, 9(1): 49-56.
- [27] Nichols J D. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the Southern Great Plains[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48(6): 1382-1384.
- [28] 陶贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等. 草原土壤有机碳含量的控制因素[J]. *生态学报*, 2013, 33(9): 2684-2694.
- [29] Liu L, Duan Z H, Xu M K, et al. Effect of monospecific and mixed *Cunninghamia lanceolata* plantations on microbial community and two functional genes involved in nitrogen cycling[J]. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2): 413-428.
- [30] Florinsky I V, McMahon S, Burton D L. Topographic control of soil microbial activity: A case study of denitrifiers[J]. *Geoderma*, 2004, 119(1): 33-53.
- [31] Berendsen R L, Pieterse C M, Bakker P A. The rhizospheric microbiome and plant health[J]. *Trends in Plant Science*, 2012, 17(8): 478-486.
- [32] Wu G, Liu Y, Tian F, et al. Legumes functional group promotes soil organic carbon and nitrogen storage by increasing plant diversity[J]. *Land Degradation and Development*, 2017, 28(4): 1336-1344.
- [33] 刘学彤, 魏艳春, 杨宪龙, 等. 水蚀风蚀交错带不同退耕模式对土壤有机碳及全氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 91-98.
- [34] Zhao J, Wang X, Wang X, et al. Legume-soil interactions: Legume addition enhances the complexity of the soil food web[J]. *Plant and Soil*, 2014, 385(1/2): 273-286.
- [35] 王邵军, 曹子林, 李小英, 等. 滇池湖滨带不同植被类型土壤碳、氮时空分布特征[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(5): 55-59.
- [36] 何亚龙. 黄土高原退耕地土壤水分养分与碳密度的研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [37] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2025-2029.
- [38] 李裕元, 邵明安, 郑纪勇, 等. 黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [39] 方精云, 杨元合, 马文红, 等. 中国草地生态系统碳库及其变化[J]. *中国科学(生命科学)*, 2010, 40(7): 566-576.
- [40] 邓蕾. 黄土高原生态系统碳固持对植被恢复的响应机制[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- (上接第 57 页)
- [21] 何晓玲, 郑子成, 李廷轩. 不同耕作方式对紫色土侵蚀及磷素流失的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(12): 2492-2500.
- [22] 金轲, 蔡典雄, 吕军杰, 等. 耕作对坡耕地水土流失和冬小麦产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 1-5.
- [23] 白永会, 查轩, 查瑞波, 等. 秸秆覆盖红壤径流养分流失效益及径流剪切力影响研究[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(6): 94-99.
- [24] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 85-88.
- [25] 杨青森, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 秸秆覆盖对东北黑土区土壤侵蚀及养分流失的影响[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(2): 1-5.
- [26] 严坤, 王玉宽, 徐佩, 等. 秸秆覆盖对三峡库区坡面侵蚀的影响[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(1): 6-10.
- (上接第 65 页)
- [27] Peng H, Horton R, Lei T, et al. A modified method for estimating fine and coarse fractal dimensions of soil particle size distributions based on laser diffraction analysis[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(4): 937-948.
- [28] 魏茂宏, 林慧龙. 江河源区高寒草甸退化序列土壤颗粒分布及其分形维数[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 679-686.
- [29] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 塔里木盆地南缘绿洲农田土壤颗粒分布分形特征及影响因素研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 730-735.
- [30] Yu J, Lv X, Bin M, et al. Fractal features of soil particle size distribution in newly formed wetlands in the Yellow River Delta [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: e10540.
- [31] Bai E, Boutton T W, Liu F, et al. Spatial variation of soil $\delta^{13}\text{C}$ and its relation to carbon input and soil texture in a subtropical lowland woodland[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 44(1): 102-112.
- [32] 姜坤, 秦海龙, 卢瑛, 等. 广东省不同母质发育土壤颗粒分布的分形维数特征[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(6): 319-324.
- [33] Gao G L, Ding G D, Zhao Y Y, et al. Characterization of soil particle size distribution with a fractal model in the desertified regions of northern China[J]. *Acta Geophysica*, 2016, 64(1): 1-14.
- [34] 刘阳, 陈波, 杨新兵, 等. 冀北山地典型森林土壤颗粒分形特征[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 159-163.