

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
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·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

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

林超文¹, 罗春燕¹, 庞良玉¹, 黄晶晶¹, 付登伟¹, 涂仕华, 蒲波²

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066; 2. 四川省农业厅土壤肥料测试中心, 成都 610041)

摘要: 采用随机区组试验, 研究了四川紫色丘陵区坡耕地不同耕作和覆盖方式对玉米生育期中水土及养分流失的影响。结果表明: 秸秆覆盖对减少水土流失和增加玉米产量的效果均优于地膜覆盖。秸秆覆盖能显著减少地表径流 (73.9%—86.2%), 但增加了壤中流 (15.4%—156.4%); 使径流总量降低 32.5%—66.6%, 并极显著降低土壤侵蚀总量达 96.4%—98.1%。地膜覆盖虽能在一定程度上减少壤中流和径流总深, 但差异未达到显著水平。土壤 N 平均损失量达 37.4 kg/hm², 其中 70.1% 经由壤中流流失。秸秆覆盖虽然增加了一定的壤中流 N 损失, 但能减少 N 流失总量达 12.8%—65.1%。土壤 P 素损失量相对较小, 仅为 9.32 kg/hm², 并主要随侵蚀泥沙迁移, 占流失总量的 92.1%。土壤 K 损失量达 183.3 kg/hm², 其流失载体也主要是侵蚀泥沙, 占 96.5%。因此, 两种覆盖方式均能显著控制土壤 P 和 K 的损失。无论是秸秆还是地膜覆盖, 与顺坡垄作相比, 横坡垄作均能减少地表径流、地下径流、土壤侵蚀量及氮、磷、钾素总流失量, 同时还能提高玉米产量。从简便、增产和防治面源污染的角度考虑, 紫色土区坡耕地最适宜的种植方式为平作 + 秸秆覆盖。

关键词: 耕作方式; 覆盖方式; 紫色土; 养分损失

Effects of different cultivation and mulching methods on soil erosion and nutrient losses from a purple soil of sloping land

LIN Chaowen¹, LUO Chunyan¹, PANG Liangyu¹, HUANG Jingjing¹, FU Dengwei¹, TU Shihua¹, PU Bo²

¹ Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China

² Soil and Fertilizer Testing Center, Sichuan Department of Agriculture, Chengdu 610041, China

Abstract: Increasingly aggravated non-point source pollution resulting from intensified farming activities has drawn wide concerns from the society. Among the farming activities, overdose of chemical fertilizers has been blamed the most. Sichuan Basin is one of major grain production basis in China where farming on sloping lands is prevailing and intensive with increased fertilizer use. This has put great pressure on the widespread water eutrophication, particularly in the summer when heavy rains usually cause serious soil loss and water runoff that carry away large amounts of nutrients from the farmlands. Previous studies have well addressed the patterns of soil erosion and surface runoff with which how and how much soil nutrients are lost from the sloping lands, however, there is still lack of research on effects of surface mulching with crop straw or plastic film on soil nutrient losses through soil erosion and water runoff. Therefore, the objectives of this field study were to investigate effects of different cultivation and mulching methods on different types and amounts of soil erosion, pathways and amounts of nutrient losses during corn growing season from a purple soil located on a sloping landscape in the Sichuan basin. The experiment was carried out with a randomized block design consisting of nine treatments and three replications. There nine treatments included (1) conventional down slope ridge cultivation, (2) flat cultivation (non-ridged), (3) contour ridge cultivation, (4) contour alley cropping, (5) down slope ridge cultivation + straw mulching, (6) flat cultivation + straw mulching, (7) contour ridge cultivation + straw mulching, (8) down slope ridge cultivation

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2008BAD98B03 和 2006BAD05B06); 国际植物营养研究所; 四川省科技厅应用基础项目 (2008JY0022-1)

收稿日期: 2010-02-25; **修订日期:** 2010-09-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: stu@mail.sc.cninfo.net

+ plastic film mulching, and (9) contour ridge cultivation + plastic film mulching. The results indicated that the effect of straw mulching on reducing soil and water losses and on improving corn yield was superior to the use of plastic film. The straw mulching significantly reduced surface runoff by 73.9%—86.2% in spite of the increase in underground runoff by 15.4%—156.4%, resulting in reduction of total runoff by 32.5%—66.6% and soil erosion by 96.4%—98.1%. Though use of plastic film alleviated the underground runoff and total runoff to some extent, the difference was not significant compared to the traditional cultivation. Amount of N lost from the soil was 37.4 kg/hm², of which N losses through underground runoff accounted for 70.1%. The straw mulching decreased total N losses by 12.8%—65.1% in spite of some increase in N loss through underground runoff. Amount of P lost from the soil was relatively small (9.32 kg/hm²) but it was mainly moved out of the field with sediments, accounting for 92.1% of total P losses. Amount of K lost from the soil reached 183.3 kg/hm² of which the loss through sediments that were the main carrier of K account for 96.5%. Mulching soil surface with either straw or plastic film effectively controlled P and K losses. Compared to the traditional, down slope ridge cultivation, the contour ridge cultivation produced higher corn yields while it lowered nutrient, soil and water losses associated with surface and underground runoff and soil erosion. The integration of flat cultivation and straw mulching can be an improved practice as it does realize straw recycling, improve crop yields and reduce losses of soil and water and plant nutrients.

Key Words: cultivation; mulching; purple soil; nutrient loss

近年来,随着耕地利用强度加大、化肥施用量增加,由农业活动引起的面源污染问题逐渐受到社会的广泛关注^[1-2]。土壤中的养分流失有2个主要途径,一是随地表径流水相和沉积物相的横向迁移;二是随水分下渗形成的纵向迁移,即养分的淋失。国内外对土壤养分淋失的研究,特别是氮素淋失,近年来已成为热点。国外^[37]采用同位素示踪等技术对氮的淋失研究较多,对氮的地表径流流失研究较少,同时考虑淋失和地表径流流失的研究则更少。在我国,对土壤氮素淋失的研究也较多^[8-13],但这些研究没有同时考虑地表径流及泥沙的影响,在全面认识农田养分损失上有缺陷。坡面径流及泥沙对农田养分损失的影响研究也较多^[14-16],但这些研究又没有考虑养分淋溶损失,使全面评估农田养分流失受到局限。

紫色丘陵区是四川盆地的粮食主产区,化肥施用量相对较大^[17],降水量较大且集中^[18],农田水土流失严重^[19],农田养分排放对环境的压力很大。但由于紫色土土层浅薄,土壤质地轻,土壤发育浅,结构差,土壤保水能力低,土壤饱和渗漏率大(可达2—3 mm/min),土壤下渗水量很大,为土壤养分的淋失提供了条件^[20]。同时,紫色土下垫面(母岩)透水差,使很大一部分土壤下渗水又反渗到地面对地表水造成污染。近年来,不少学者针对紫色土坡面的侵蚀产沙和养分随地表径流和泥沙迁移规律及影响因素做过一些研究^[14,21]。随着对壤中流研究的不断深入,壤中流的产生^[22]及其对养分输出的影响已经引起一些研究者的注意^[23-24],但有的只研究了壤中流对N素的淋失影响,有的研究方法是在没有作物条件下进行,不能全面认识紫色土养分损失途径及影响因素。对生产上大面积应用的秸秆覆盖、地膜覆盖等措施对养分流失的影响研究更是空白。因此,研究秸秆覆盖、地膜覆盖等措施在不同耕作条件下对土壤侵蚀、地表径流及壤中流比例、土壤养分流失量、土壤养分流失途径、土壤养分流失载体的影响,为全面认知紫色土养分损失规律,农业面源污染防治提供科学依据,具有重要的现实意义。

1 材料方法

1.1 研究地概况

本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。属于四川省资阳市雁江区松涛镇的响水村、花椒村。地处东经104°34′12″—104°35′19″、北纬30°05′12″—30°06′44″,海拔395 m。多年(1957—1985年)年均降雨量为965.8 mm,主要(70%)分布在6—9月份间,最多年1290.7 mm,最少年725.2 mm。年均温16.8℃,极端最低温-3.6℃,极端最高温36.5℃。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。在试验实施时的土壤养分含量见表 1。

表 1 土壤化学性质
Table 1 The soil chemical properties

pH	有机质 /(g/kg) OM	全氮 /(g/kg) Total N	全磷 /(g/kg) Total P	全钾 /(g/kg) Total K	碱解氮 /(mg/kg) Available N	有效磷 /(mg/kg) Available P	有效钾 /(mg/kg) Available K
7.9	9.2	0.53	0.69	24.9	42.0	3.0	90.2

1.2 试验处理

由于土壤养分流失和淋失主要发生在多雨的夏季,因此供试作物为玉米(*Zea mays* L.),品种成单 18 号。处理 1:顺坡垄作(对照,简称顺垄);处理 2:平作;处理 3:横坡垄作(简称横垄);处理 4:横坡分带耕作(简称横分);处理 5:顺坡垄作+秸秆覆盖(简称顺垄+秸秆);处理 6:平作+秸秆覆盖(简称平作+秸秆);处理 7:横坡垄作+秸秆覆盖(横垄+秸秆);处理 8:顺坡垄作+地膜覆盖(简称顺垄+地膜);处理 9:横坡垄作+地膜覆盖(简称横垄+地膜)。重复 3 次。共设试验小区 27 个。

1.3 研究方法

在自然降雨条件下采用模拟径流小区的方法进行研究。小区构建时间为 2006 年,小区坡度为 10°(四川大面积的坡耕地坡度),坡向东西,小区面积 8 m²(坡长 4 m,宽 2 m)。小区四周用砖砌成,下垫面用混凝土,土层厚度 60 cm(紫色土大面积土层厚度),土壤底部保持与土面相同坡度收集壤中流于小区底部下端,用水管导出测定壤中流量。小区坡面下部用集流装置收集地表径流。

1.4 观测方法

每次产流自然降雨后,测定地表径流量和壤中流流量,并分别取样分析养分含量。取地表径流泥沙混合样测定泥沙含量,计算泥沙量,如果集流槽内沉积有泥沙,分别计入各处理。每次产流后各处理分别取 10L 泥沙径流混合样于一个较大容器中,沉降后收集本试验期间泥沙混合样 1 个,分析侵蚀泥沙养分含量。计算自然降雨条件下的随地表径流、壤中流、侵蚀泥沙 3 种途径流失的养分。在较大自然降雨后立即测定玉米覆盖度和株高。玉米覆盖度采用数码照像法测定^[25]

1.5 测试项目和分析方法

测定方法采用常规方法。泥沙主要测定有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、碱解氮含量。水样测定总氮、总磷、总钾含量。泥沙有机质测定用 K₂Cr₂O₇ 容量法、全氮测定用凯氏定氮法、全磷测定用 NaOH 碱熔钼锑抗比色法、全钾测定用 NaOH 碱熔火焰光度法、碱解 N 的测定用碱解扩散法、有效磷的测定用 NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法、有效钾的测定用乙酸铵提取火焰光度法;水样全氮的测定用铁粉还原凯氏定氮法、全磷的测定用钼锑抗比色法、全钾的测定用火焰光度法^[26]。

1.6 作物种植规格

玉米的种植规格与施肥水平按大面积上广泛应用的为准。玉米品种为成单 18,种植密度 42000 株/hm²,4 月 1 日播种,8 月 5 日收获。顺坡种植:距小区两边 0.65 m 处各种一行玉米,共两行,两行共起 1 垄;玉米株距 0.25 m,每行 16 株,共 32 株。平作:与顺坡种植规格一致,但不起垄。横坡种植:在距小区顶端 0.65、1.35、2.65 m 和 3.35 m 处各横坡种植 1 行玉米,共 4 行,每 2 行共起 1 垄,共起 2 垄,玉米株距 0.25 m,每行 8 株,共 32 株。横坡分带耕作:在距小区顶端 0.65、1.35、2.65 m 和 3.35 m 处各种 1 行玉米,在种植玉米行进行耕作,未种植玉米行不耕作,共 4 行,玉米株距 0.25 m,每行 8 株,共 32 株。垄作处理顺玉米行起 10 cm 高的垄后兑水施用攻苞肥,平作处理不起垄兑水施用攻苞肥。秸秆覆盖处理在 5 月 15 日按 3750 kg/hm²均匀覆盖小麦秸秆。地膜覆盖处理在玉米移栽时在垄上进行地膜覆盖,覆盖宽度为 1 m。玉米施肥量、施肥时间见表 2。氮肥为尿素和磷酸一氨、磷肥磷酸一氨、钾肥为硫酸钾。

表 2 玉米施肥量表 (kg/hm²)
Table 2 Fertilizer rates used for corn

施肥时间 Fertilization time	04-01	04-25	05-10	06-15 June
N	30	60	60	150
P ₂ O ₅	150	0	0	0
K ₂ O	75	0	0	75

2 结果与分析

2.1 实验点降雨特征

2009 年 4 月 1 日至 8 月 5 日降雨总量 546.9 mm, 降雨日 27d, 最长连续无雨日数 30d (2009-05-08—06-07), 最大单次降雨量 144.8 mm (2009-06-27), 单次雨量 30 mm 以上的降雨 8 次, 产生径流的降雨 6 次。因此, 2009 年玉米生育期总降雨量丰富, 但前期干旱较重, 后期暴雨多, 属于较正常的气候条件。

2.2 耕作和覆盖方式对玉米覆盖度和产量的影响

从表 3 可以看出, 地膜覆盖能够在苗期显著提高玉米覆盖度, 也就是能够在前期显著促进玉米生长, 并使玉米全生育期覆盖度都高于其他处理。同时, 地膜覆盖还能够提高玉米产量。秸秆覆盖对玉米各生育期的覆盖度稍有提高, 对玉米有一定的增产作用。在覆盖地膜、秸秆覆盖或者不覆盖条件下进行横坡垄作, 与顺坡垄作相比均能提高玉米的覆盖度和产量。顺坡垄作和平作的玉米覆盖度和产量最低。

表 3 耕作和覆盖方式对玉米覆盖度和产量的影响
Table 3 Influence of cultivation and mulching methods on plant cover and yield of corn

处理 Treatments	产量 /(kg/hm ²) Yields	覆盖度 Plant cover/%			
		05-07	05-20	06-12	07-17y
顺垄 Ridged up down	3729.2c	36.7c	46.8cd	55.4b	56.6b
平作 Flat	4379.1abc	34.4c	46.6d	58.4ab	55.8b
横垄 Ridged contour	4645.2abc	36.5c	51.2bcd	58ab	57ab
横分 Ploughed in contour strips	4422abc	35.5c	52.9bc	56.6ab	58.6ab
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	4825.8ab	35.3c	48.2cd	59.4ab	57b
平作 + 秸秆 Flat + straw	4602.1abc	33.3c	47.9cd	58.2ab	58.8ab
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	4943.5ab	36.7c	55.6ab	59.9ab	57.5b
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	3968.2bc	45.9b	59.7a	62.4ab	61.5ab
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	5344.1a	50.2a	59.4a	66.2a	65.9a
平均 Average	4539.9	38.3	52	59.4	58.7

a, b, c 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平

2.3 耕作和覆盖方式对径流量和土壤侵蚀量的影响

从表 4 中可看出, 在顺坡垄作、平作、横坡垄作的条件下进行秸秆覆盖能显著减少地表径流, 降幅达 73.9%—86.2%。在顺坡垄作、横坡垄作的基础上覆盖地膜也能在一定程度上减少地表径流, 降幅为 16.8%—19.8%, 但效果不显著。在未覆盖的 4 个耕作方式处理中, 平作产生的地表径流最大, 显著高于横坡垄作和横坡分带耕作, 顺坡垄作次之。在秸秆覆盖的 3 个处理中, 产生地表径流的顺序为: 横垄 + 秸秆 < 平作 + 秸秆 < 顺垄 + 秸秆, 但 3 处理差异不显著。横坡垄作与顺坡垄作相比, 无论是否覆盖秸秆或地膜, 均能减少地表径流, 但差异均未达显著水平。

耕作方式对壤中流的影响达显著水平。顺坡垄作的基础上进行秸秆覆盖能显著增加壤中流, 幅度达 156.4%, 而顺垄 + 地膜与顺垄处理相比, 能减少壤中流, 但二者差异不显著。横坡垄作 3 处理产生壤中流的顺序为: 横垄 + 秸秆 > 横垄 > 横垄 + 地膜, 与顺坡垄作 3 处理顺序相一致。说明无论是横坡垄作还是顺坡垄作, 进行秸秆覆盖均要增加壤中流 (15.4%—156.4%), 而进行地膜覆盖会减少壤中流 (38.3%—25.6%)。在 4 个未覆盖耕作处理中, 产生壤中流的顺序为: 横垄 > 平作 > 顺垄 > 横分。

表 4 耕作和覆盖方式对径流量及土壤侵蚀量的影响

Table 4 Influence of cultivation and mulching methods on amounts of runoff and sediment

处理 Treatment	地表径流深/mm Surface runoff(SR)	壤中流深/mm Under ground runoff(UR)	径流总深/mm Total runoff(TR)	地表径流深/ 径流总深/% SR/TR	侵蚀量 /(t/hm ²) Sediment
顺垄 Ridged up down	247.0ab	54.1bc	301.0a	82.0a	25.4a
平作 Flat	263.7a	62.9bc	326.6a	81.2a	22.3a
横垄 Ridged contour	195.4bc	96.4abc	291.8ab	68.3ab	4.3bcd
横分 Ploughed in contour strips	197.4bc	33.8c	231.2ab	85.4a	9.2bc
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	64.5d	138.7a	203.2ab	31.7dc	0.5d
平作 + 秸秆 Flat + straw	56.4d	52.7bc	109.1b	48.7bc	0.8cd
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	26.9d	111.3ab	138.2b	19.9d	0.1d
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	205.4bc	33.4c	238.8ab	86.4a	10.8b
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	156.7c	71.7bc	228.4ab	67.9ab	2.2cd

a,b,c 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平

耕作方式对径流总深的影响也达显著水平。在顺坡垄作、平作、横坡垄作的条件下进行秸秆覆盖能减少径流总深,幅度分别为 32.5%、66.6%、52.6%。在 4 个未覆盖耕作处理中,径流总深的顺序为:平作 > 顺垄 > 横垄 > 横分,但处理间差异不显著。在 3 个秸秆覆盖处理中,径流总深的顺序为:顺垄 + 秸秆 > 横垄 + 秸秆 > 平作 + 秸秆,这是因为平作 + 秸秆处理,不仅能在平作的基础上减少地表径流,还能减少壤中流;而横垄 + 秸秆、顺垄 + 秸秆处理,虽然能在横垄、顺垄的基础上减少地表径流,但同时也增加了壤中流。在顺垄、横垄基础上进行地膜覆盖也能减少径流总深,幅度分别为 20.1%、21.7%,减少幅度小于相对应的秸秆覆盖处理。

从耕作和覆盖方式对径流途径的影响来看,秸秆覆盖能显著减少地表径流占径流总深的比例,顺垄、平作、横垄 3 个秸秆覆盖地表径流深占径流总深的比例分别为 31.7%、48.7%、19.9%,均低于 50%,说明在这 3 种耕作方式下进行秸秆覆盖,壤中流是径流流失的主要方式,尤其以横垄 + 秸秆处理为代表。地膜覆盖与不覆盖处理相比,对径流流失途径的影响较小。

耕作和覆盖方式对土壤侵蚀的影响也达显著水平。3 种秸秆覆盖处理与对应的不覆盖处理相比均能显著减少土壤侵蚀,侵蚀量由 9.2—25.4 t/hm²,减少到 0.1—0.8 t/hm²,减幅达 96.4%—98.1%。顺坡垄作 3 处理的土壤侵蚀量顺序为:顺垄 > 顺垄 + 地膜 > 顺垄 + 秸秆,横坡垄作 3 处理的顺序与之相一致。说明,在顺坡垄作或横坡垄作的基础上进行秸秆或地膜覆盖,能减少降水对土壤的直接接触和打击,从而减少土壤侵蚀,而秸秆覆盖的效果优于地膜覆盖。

2.4 耕作和覆盖方式对径流养分浓度的影响

2.4.1 耕作和覆盖方式对地表径流、壤中流养分浓度的影响

根据每次降雨产生的径流量和径流养分浓度,计算不同处理地表径流和壤中流的加权平均养分浓度,如表 5 所示。地表径流 TN 的平均浓度为 5.97 mg/L,壤中流 TN 的平均浓度为 29.46 mg/L,是地表径流 TN 浓度的 4.9 倍。在顺坡垄作或横坡垄作的基础上进行秸秆覆盖或地膜覆盖均增加地表径流 TN 的浓度,而壤中流 TN 浓度有所降低。秸秆覆盖处理 TN 浓度增加可能是因为,覆盖秸秆减少了地表径流,从而对地表径流的 TN 起到浓缩作用,同时增加壤中流,稀释了壤中流 TN 的浓度。在未覆盖的 4 个耕作方式处理中,地表径流 TN 的顺序为:横分 > 平作 > 顺垄 > 横垄。秸秆覆盖 3 个处理间地表径流 TN 浓度差异不大。地膜覆盖 2 个处理间地表径流 TN 浓度的差异也不大。

地表径流 TP 的平均浓度稍高于壤中流。秸秆覆盖处理地表径流中 TP 浓度稍有增加,而地膜覆盖处理地表径流 TP 浓度与对应不覆盖处理相比,持平或增加。秸秆覆盖对壤中流 TP 浓度的影响较为复杂,有增有减。在顺坡垄作或横坡垄作的基础上覆盖地膜均能降低壤中流 TP 浓度。可能是因为覆盖地膜处均为种植玉米处,也就是施肥处,覆盖地膜,减少了降雨与施肥处养分含量相对较高的土壤的接触,产生的径流一部分通过地表流出土体,一部分通过未覆盖地膜处入渗,进而通过壤中流流出土体。地表径流和壤中流的 TP 都

很低,在 0.19—0.38 mg/L 范围内,并且受耕作和覆盖方式的影响较小,可能是因为 P 容易被土壤固持,在土壤中不易移动。

地表径流 TK 的平均浓度为 3.91,是壤中流平均浓度的 2.5 倍,可能是因为 K 肥主要施在地表,易随地表径流移动。在顺坡垄作或横坡垄作的基础上进行秸秆覆盖或地膜覆盖均增加地表径流 TK 的浓度,而对壤中流 TK 浓度的影响不一致。

表 5 耕作和覆盖方式对径流养分浓度的影响

Table 5 Influence of cultivation and mulching methods on amounts of nutrients carried away by runoff

处理 Treatments	总氮 TN/(mg/L)		总磷 TP/(mg/L)		总钾 TK/(mg/L)	
	地表径流 Surface runoff	壤中流 Under ground runoff	地表径流 Surface runoff	壤中流 Under ground runoff	地表径流 Surface runoff	壤中流 Under ground runoff
顺垄 Ridged up down	5.20	33.35	0.38	0.25	3.07	1.62
平作 Flat	6.10	36.39	0.36	0.23	2.55	1.69
横垄 Ridged contour	4.31	33.36	0.31	0.34	2.99	1.34
横分 Ploughed in contour strips	6.93	32.46	0.28	0.27	3.55	1.71
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	6.66	28.40	0.32	0.26	4.62	2.15
平作 + 秸秆 Flat + straw	6.75	30.97	0.33	0.28	4.65	1.80
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	6.35	22.82	0.19	0.28	6.90	1.15
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	5.82	22.72	0.38	0.21	3.25	1.60
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	5.61	24.70	0.38	0.27	3.57	1.05
平均 Average	5.97	29.46	0.33	0.27	3.91	1.57

2.4.2 耕作和覆盖方式对泥沙养分浓度及养分富集率的影响

从表 6 可以看出,耕作方式对侵蚀泥沙养分含量的影响不显著。在顺坡垄作、平作、横坡垄作的基础上覆盖秸秆均能减少侵蚀泥沙的全氮、有效氮、有效磷、有效钾、有机质含量,而对全磷、全钾含量的影响不大。在顺坡垄作和横坡垄作的基础上覆盖地膜,对侵蚀泥沙养分含量的影响较小。

土壤养分流失与土壤侵蚀一起发生,而土壤侵蚀首先是细颗粒流失,由于细颗粒泥沙对养分吸附作用强,导致了养分流失的“富集”现象,富集程度的大小一般以流失泥沙和土壤养分含量的比值即富集系数表示。侵蚀泥沙与基础土样相比,侵蚀泥沙中全氮、全磷、全钾、有效氮、有效钾、有效磷、有效钾、有机质的含量都高于基础土样,既紫色土坡耕地侵蚀泥沙中氮磷钾全量及其有效含量和有机质流失的“富集”现象明显。

表 6 耕作和覆盖方式对泥沙养分浓度及养分富集率的影响

Table 6 Influence of cultivation and mulching methods on amounts of nutrients carried away by sediment

处理 Treatments	全氮 Total N	全磷/% Total P	全钾 Total K /(mg/kg)	有效氮 Available N /(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	有效钾 Available K /(mg/kg)	有机质 OM/%
顺垄 Ridged up down	0.089	0.104	2.183	63.56	8.88	176.57	1.14
平作 Flat	0.085	0.100	2.070	66.88	9.24	171.07	1.18
横垄 Ridged contour	0.083	0.106	2.093	65.08	8.71	173.17	1.05
横分 Ploughed in contour strips	0.077	0.101	2.050	56.97	7.90	170.50	1.06
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	0.077	0.105	2.020	52.88	8.11	158.33	0.96
平作 + 秸秆 Flat + straw	0.074	0.103	2.080	49.68	8.34	166.50	0.97
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	0.072	0.104	2.127	47.28	6.64	163.53	0.95
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	0.081	0.098	2.207	58.73	8.62	166.27	1.06
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	0.086	0.104	2.083	60.56	8.29	172.67	1.15
平均 Average	0.080	0.103	2.101	57.96	8.30	168.73	1.06
基础土样 Initial soil	0.056	0.094	1.377	41.14	4.60	97.27	0.49
平均富集率 Average enrichment rate	1.4	1.1	1.5	1.4	1.8	1.7	2.2

2.5 耕作和覆盖方式对养分流失量及流失途径的影响

从表7—表9中可看出,N的损失量较大,在试验条件下平均达到 37.4 kg/hm^2 。径流是氮素流失的主要途径,占氮素总流失量的 $56.7\%—99.7\%$,平均为 80.7% 。径流中,通过壤中径流损失的氮最多,占径流全氮流失量的 $40.1\%—93.9\%$,平均为 70.1% ,说明农田N的损失对环境的压力较大。再次证明紫色土农田N损失的主要途径是壤中流^[27],这与前人认为N主要通过泥沙损失的结果有较大差异^[28-29],可能与是否考虑壤中流以及土地利用方式、地形、降雨分布等差异有关。P损失量较小,在试验条件下平均达 9.32 kg/hm^2 ,其中侵蚀泥沙是磷素流失的主要途径,占磷素总流失量的 $24.0\%—96.0\%$,平均为 92.1% 。在径流中,地表径流是磷素流失的主要途径,占径流全磷流失量的 $14.7\%—92.4\%$,平均为 74.1% 。K损失量很大,平均达 183.3 kg/hm^2 ,侵蚀泥沙是钾素流失的主要途径,占钾素总流失量的 $42.1\%—98.5\%$,平均为 96.5% 。

在顺坡垄作、平作、横坡垄作的基础上进行秸秆覆盖能减少N、P、K总流失量,N减幅分别为 12.8% 、 65.1% 、 36.3% ,P减幅分别高达 96.0% 、 95.0% 、 91.5% ,K减幅分别高达 97.1% 、 95.8% 、 94.2% 。在顺坡垄作和横坡垄作的基础上覆盖地膜也能减少N、P、K总流失量,N减幅分别为 45.0% 、 36.5% ,P减幅分别为 56.8% 、 44.3% ,K减幅分别为 56.1% 、 45.8% 。

在顺坡垄作的基础上进行秸秆覆盖能减少地表径流全氮、全磷、全钾的流失量,但大大增加壤中流全氮、全磷、全钾流失量,二者共同作用的结果导致径流全氮、全磷、全钾的流失量增加。平作、横坡垄作的基础上进行秸秆覆盖不仅能减少地表径流全氮、全磷、全钾的流失量,还能减少壤中流全氮的流失量,对壤中流全磷、全钾的流失影响较少,从而减少径流全氮、全磷、全钾的流失量。在顺坡垄作和横坡垄作的基础上覆盖地膜即能减少地表径流全氮、全磷、全钾的流失,也能减少壤中流全氮、全磷、全钾的流失,从而减少径流全氮、全磷、全钾的流失。

在顺坡垄作、平作、横坡垄作的基础上进行秸秆覆盖能显著减少侵蚀泥沙全氮、全磷、全钾和有效氮、有效磷、有效钾的流失量。在顺坡垄作、横坡垄作的基础上进行地膜覆盖也能显著减少全氮、全磷、全钾和有效氮、有效磷、有效钾的流失量。秸秆覆盖的控制效果优于地膜覆盖。

秸秆覆盖能显著改变氮素的损失途径,不覆盖情况下,氮素通过径流的平均损失比例为 73.4% ,秸秆覆盖条件下,通过泥沙和地表径流损失的N得到有效控制而减少,而通过壤中流损失的N增加,加大了氮素通过径流损失的比例。

表7 耕作和覆盖方式对氮素流失量及流失途径的影响/(kg/hm^2)

Table 7 Influences of cultivation and mulching methods on amounts and pathways of N losses

处理 Treatments	径流氮流失量 Amounts of N losses through runoff			泥沙氮流失量 Amounts of N losses with sediments		氮素总 流失量 Total N loss
	地表径流 Surface runoff	壤中流 Subsurface runoff	总量 Total	全氮 Total N	有效氮 Available N	
顺垄 Ridged up down	12.4ab	17.5b	29.9a	22.8a	1.6a	52.7ab
平作 Flat	16.1a	23.2ab	39.3a	19.0a	1.5a	58.3a
横垄 Ridged contour	9.2ab	29.9ab	39.1a	3.7bc	0.3bc	42.8abc
横分 Ploughed in contour strips	14.7a	11.1b	25.8a	7.3bc	0.5bc	33.1abc
顺垄+秸秆 Ridged up down + straw	3.4b	42.2a	45.6a	0.4c	0.0c	46.0abc
平作+秸秆 Flat + straw	3.6b	16.2b	19.7a	0.6c	0.0c	20.3c
横垄+秸秆 Ridged contour + straw	1.7b	25.5ab	27.2a	0.1c	0.0c	27.3bc
顺垄+地膜 Ridged up down + plastic film	11.9ab	8.0b	19.9a	9.1b	0.6b	29.0bc
横垄+地膜 Ridged contour + plastic film	8.4ab	16.9b	25.3a	1.9bc	0.1bc	27.2bc
平均 Average	9.0	21.2	30.2	7.2	0.5	37.4

a, b, c 不同小写字母表示差异达5%显著水平

表 8 耕作和覆盖方式对磷素流失量及流失途径的影响/(kg/hm²)

Table 8 Influences of cultivation and mulching methods on amounts and pathways of P losses

处理 Treatments	径流磷流失量 Amounts of P losses through runoff			泥沙磷流失量 Amounts of P losses with sediments		磷素总 流失量 Total P loss
	地表径流 Surface runoff	壤中流 Subsurface runoff	总量 Total	全磷 Total P	有效磷 Available P	
顺垄 Ridged up down	0.96a	0.14c	1.09a	26.22a	0.23a	27.31a
平作 Flat	0.97a	0.14bc	1.10a	22.01a	0.21a	23.11a
横垄 Ridged contour	0.61b	0.31ab	0.92ab	4.7bcd	0.04bc	5.62bcd
横分 Ploughed in contour strips	0.56b	0.09c	0.65bc	9.49bc	0.08bc	10.14bc
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	0.22c	0.36ab	0.58bc	0.52d	0.00c	1.10d
平作 + 秸秆 Flat + straw	0.20c	0.14c	0.34c	0.83d	0.01c	1.17d
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	0.05c	0.31ab	0.36c	0.12d	0.00c	0.48d
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	0.77ab	0.06c	0.83ab	10.97b	0.10b	11.80b
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	0.61b	0.18bc	0.79ab	2.34cd	0.02bc	3.13c
平均 Average	0.55	0.19	0.74	8.58	0.08	9.32

a,b,c 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平

表 9 耕作和覆盖方式对钾素流失量及流失途径的影响/(kg/hm²)

Table 9 Influences of cultivation and mulching methods on amounts and pathways of K losses

处理 Treatments	径流钾流失量 Amounts of K losses through runoff			泥沙钾流失量 Amounts of K losses with sediments		钾素总 流失量 Total K loss
	地表径流 Surface runoff	壤中流 Subsurface runoff	总量 Total	全钾 Total K	有效钾 Available K	
顺垄 Ridged up down	7.5a	1.0ab	8.5a	550a	4.4a	558.5a
平作 Flat	6.7a	1.1ab	7.9abc	455.8a	3.7a	463.6a
横垄 Ridged contour	5.7ab	1.5ab	7.2abc	88.6bcd	0.7bcd	95.8bcd
横分 Ploughed in contour strips	7.4a	0.5b	7.9ab	185.9bc	1.4bc	193.8bc
顺垄 + 秸秆 Ridged up down + straw	2.8bcd	3.6a	6.4abc	9.6d	0.1d	16.0d
平作 + 秸秆 Flat + straw	2.3dc	0.9ab	3.3bc	16.2d	0.1d	19.5d
横垄 + 秸秆 Ridged contour + straw	1.9d	1.3ab	3.2c	2.3d	0.0d	5.6d
顺垄 + 地膜 Ridged up down + plastic film	6.6a	0.5b	7.1abc	238.2b	1.8b	245.3b
横垄 + 地膜 Ridged contour + plastic film	5.4abc	0.7b	6.2abc	45.8cd	0.4cd	51.9cd
平均 Average	5.2	1.2	6.4	176.9	1.4	183.3

a,b,c 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平

3 讨论

地膜覆盖、秸秆覆盖作为一种增温保水农艺措施已得到广泛认可^[3-32],并被大面积采用。秸秆覆盖能够阻截部分降雨能量,阻止雨滴直接打击土壤表面,减少土壤颗粒分离和扩散,防止地表结皮,同时秸秆覆盖还能增加地表糙率和下渗,从而减少径流总量和降低地表径流的流速,降低对土壤的冲刷作用。相关研究^[33-35]表明,秸秆覆盖有增加入渗和减少水土流失降低土壤地表径流速度和曼宁系数的作用,在巢湖流域能减少地表径流 30.5%,减少侵蚀泥沙 22.9%,降低地表径流磷流失量 32.29%,但对径流磷浓度的影响却不明显。

本研究的结果表明,秸秆覆盖能减少地表径流 73.9%—86.2%,减少侵蚀泥沙 96.5%—98.1%,减少 N 流失总量 12.8%—65.1%,减少 P 流失总量高达 91.5%—96.0%,减少 K 流失总量高达 94.2%—97.1%。本研究的秸秆覆盖效果要优于在巢湖流域的研究。可能原因是两地试验在秸秆种类和用法、小区坡度和长度等有一定差异。更重要的原因是两地土壤特性的差异所致,巢湖流域土壤耕层有机质含量达 17.00g/kg,并

且土壤结构良好(土壤容重 $1.31\text{g}/\text{cm}^3$),而本试验土壤为遂宁组母质发育的紫色红沙土,土壤有机质含量低,土壤结构差,土壤在雨滴的直接打击下容易形成致密的结皮,影响径流入渗,虽然土壤饱和渗漏率很高,但由于土壤结皮的控制而无法入渗^[36-37],致使地表径流量和土壤侵蚀量大,土壤养分损失量大。在不覆盖条件下,横坡分带耕作土壤扰动最少,对土壤结构破坏最轻,土壤抗击雨滴打击分散能力最强,形成结皮更少,利用紫色土饱和入渗速度快的特点,使雨水就地入渗,降低地表径流、土壤侵蚀和土壤养分损失,其效果接近横坡垄作,因此,横坡分带耕作不仅劳力投入少,保持水土肥的效果也佳,是适用于紫色丘陵区的“轻简(轻松简单)”高产耕作措施。实施秸秆覆盖后,阻止了雨滴直接打击土壤,大大减少了土壤结皮,加上紫色土饱和入渗率高的特点,大幅减少了地表径流和土壤侵蚀,养分损失也随之大幅减少。在平作条件下覆盖秸秆,秸秆更能贴近土表,阻挡径流,降低流速,控制地表径流和土壤侵蚀的效果更为明显,因此,在平作条件下覆盖秸秆控制紫色土养分损失的效果最佳。

虽然秸秆覆盖能够有效控制紫色土养分损失,但由于 N、P、K 各自损失的主要载体不同,效果有所差异。N 的主要损失载体是壤中流,由于秸秆覆盖对壤中流的控制效果差,在横坡垄作和顺坡垄作条件下秸秆覆盖反而增加了壤中流,因此,秸秆覆盖控制 N 损失的效果有限。P、K 的主要损失载体是侵蚀泥沙,秸秆覆盖能非常有效的控制土壤侵蚀,也能有效控制 P、K 损失。

4 结论

无论是否覆盖秸秆或地膜,与顺坡垄作相比,横坡垄作均能减少地表径流、地下径流、土壤侵蚀量及氮、磷、钾素总流失量,同时还能提高玉米产量。横坡分带耕作不仅劳力投入少,保持水土肥的效果也佳,是适用于紫色丘陵区的“轻简”(轻松简单)耕作措施。

在不同耕作条件下,进行秸秆覆盖或地膜覆盖均能减少地表径流、径流总量、土壤侵蚀量和氮、磷、钾素总流失量,提高玉米产量,秸秆覆盖的保水减沙、控制土壤养分流失的效果优于地膜覆盖。从简便、增产和防治面源污染的角度考虑,在紫色土区坡耕地最适宜的种植方式为平作的基础上进行秸秆覆盖。

秸秆覆盖能够有效控制紫色土 P、K 损失,但控制 N 损失的效果有限。要全面控制紫色土养分损失,不仅要采用秸秆覆盖、分带耕作等技术,还需要增厚土层、改善土壤结构,提高土壤蓄水保肥能力。

References:

- [1] Quan W M, Yan L J. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 291-299.
- [2] Zhu Z L, Sun B, Yang L Z, Zhang L X. Policy and countermeasures to control non-point pollution of agriculture in China. *Science and Technology Review*, 2005, 23(4): 47-51.
- [3] Hamsen E M, Djurhus J. Nitrate leaching as affected by long-term N fertilization on a coarse sand. *Soil Use and Management*, 1996, 12:199-204.
- [4] Cookson W R, Rowarth J S, Cameron K C. The effect of autumn applied ^{15}N -labelled fertilizer on nitrate leaching in a cultivated soil during winter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 56: 99-107.
- [5] Havis R N, Alberts E E. Nutrient leaching from field-decomposed corn and soybean residue under simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 6: 211-218.
- [6] Torstensson G, Aronsson H. Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop system in Sweden. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 56: 139-152.
- [7] Bergström L F, Kirchmann H. Leaching of total nitrogen from nitrogen- 15 -labeled poultry manure and inorganic nitrogen fertilizer. *Journal of Environment Quality*, 1999, 28: 1283-1290.
- [8] Wang Z H, Li S X, Wang X N, Su T. Nitrate nitrogen residue and leaching in dryland soil and influence factors. *Soils*, 2006, 38(6):676-681.
- [9] Wang H, Wang Q J, Shao M A. Characteristics of nitrogen leaching from sloping land on Loess Plateau under rainfall conditions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5): 61-64.
- [10] Sun B, Wang X X, Zhang T L. Influencing factors of leaching nutrients in red soils. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22 (3): 257-262.
- [11] Wang J Y, Wang S J, Chen Y, Zheng J C, Li C Y, Ji X J. Study on the nitrogen leaching in rice fields. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(1):

28-36.

- [12] Wang D J, Lin J H, Xia L Z. Characteristics of nitrogen leaching of rice-wheat rotation field in Taihu Lake area. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(1): 16-18.
- [13] Ji X H, Zheng S X, Lu Y H, Liao Y L. Dynamics of floodwater nitrogen and its runoff loss, urea and controlled release nitrogen fertilizer application regulation in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(12): 2521-2530.
- [14] Fu T, Ni J P, Wei C F, Xie D T. Research on the nutrient loss from purple soil under different rainfall intensities and slopes. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(1): 71-74.
- [15] Kang L L, Zhu X Y, Wang Y Z, Wu Q, Wei Y C. Research on nutrient loss from a loessial soil under different rainfall intensities. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(4): 536-543.
- [16] Ma K, Wang Z Q, Chen X, You L. Study on properties of nutrient loss from red soil in sloping land under different rainfall intensities. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(3): 16-19.
- [17] Li Z M, Tang S J, Zhang X W. *Purple Soil of China*. Beijing: Science Press, 1991.
- [18] Pang Q, Wang Y Q. Nutrients balance of farm eco-system and its non-point source pollution. *China Environmental Protection Industry*, 2004, (6): 17-19.
- [19] Zhang J H. Climate resource and evaluation in demonstration zone of soil protection of purple hilly area. *Soil Agriculture and Chemistry Bulletin*, 1992, 7(1/2): 96-104.
- [20] Yang W Y, Zhang Q, Zhang J H, Lin C W. Study on soil antiscourability in purple hilly area. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(2): 23-28.
- [21] Xu F, Cai Q G, Wu S A, Zhang G Y, Cai C F, Ding S W, Shi Z H. Characteristics of erosion control by contour hedgerows on cultivated slope land of purple soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 71-80.
- [22] Ding W F, Zhang P C, Wang Y F. Experimental study on runoff and sediment yield characteristics on purple soil slope. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2008, 25(3): 14-17.
- [23] Zhu B, Wang T, Kuang F H, Xu T P, Tang J L, Wu Y F. Characteristics of nitrate leaching from hilly cropland of purple soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 525-533.
- [24] Ding W F, Zhang P C. Characteristics of nutrient transportation of subsurface flow of purple soil slope. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(4): 15-19.
- [25] Lin C W, Chen Y B, Huang J J, Tu S H. Temporal variation of plant height, plant cover and leaf area index in intercropped area of Sichuan, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 989-994.
- [26] Lu R K. *Analysis Method of Soil and Agro-chemistry*. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1999: 125-195.
- [27] Lin C W, Pang L Y, Luo C Y, Chen Y B, Huang J J, Tu S H, Zhang H. Effect of balanced fertilization and rain intensity on nutrient losses from a purple soil in Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5552-5560.
- [28] Xu F, Cai Q G, Wu S A, Zhang G Y. Progress in research on nutrient processes of sloping agro-forestry systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 5(2): 23-29.
- [29] Jiang G Y, Shi D M, Lu X P, Liu Y M. Research on runoff and nutrient loss from slope land of purple soil under different planting model. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 54-58.
- [30] Pan Y, Guo J, Li Y, Zhang J H, Ding X L. Characteristics of increasing temperature in soils with plastic mulching. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(2): 130-134.
- [31] Wang Q, Ma S Q, Guo J P, Liu L, Shen Z S. Example study on soil water and thermal effect of corn plastic mulching. *Chinese Journal of Agro Meteorology*, 2006, 27(3): 249-251.
- [32] Li H X, Wu B Z. Effect of temperature adjusting and moisture serving on summer maize for polythene mulch and straw mulch. *Journal of Maize Science*, 2006, 14(3): 96-98.
- [33] Tang T, Hao M D, Shan F X. Effects of straw mulch application on water loss and soil erosion under simulated rainfall. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(1): 9-12.
- [34] Liu L S, Shi X Z, Yu D S, Wang H J, Ren H Y, Sun W X, Zhang L M. Effects of straw mulch on surface runoff hydraulic characteristics of dried and wetted red soil. *Science of Soil and Water Conservation*, 2009, 7(6): 20-25.
- [35] Wang J, Guo X S, Wang Y Q. Effects of straw mulch and balanced fertilization on phosphorus loss from farm land in Chaohu Lake Region. *Soil and Fertilizer*, 2009(5): 53-56.
- [36] Bu C F, Cai Q G, Zhang X C, Ma L. Review on developmental characteristics and ecological functions of soil crust. *Progress in Geography*, 2008, 27(2): 26-31.

- [37] Wang H, Wang Q J, Shao M A, Li Y Y. Impact of soil crust on runoff, sediment and nutrient loss from sloping land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 62-83.

参考文献:

- [1] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施. *生态学报*, 2002, 22(3): 291-299.
- [2] 朱兆良,孙波,杨林章,张林秀. 我国农业面源污染的控制政策和措施. *科学导报*, 2005, 23(4): 47-51.
- [8] 王朝辉,李生秀,王西娜,苏涛. 旱地土壤硝态氮残留淋溶及影响因素研究. *土壤*, 2006, 38(6): 676-681.
- [9] 王辉,王全九,邵明安. 降水条件下黄土地氮素淋溶特征的研究. *水土保持学报*, 2005, 19(5): 61-64.
- [10] 孙波,王兴祥,张桃林. 红壤养分淋失的影响因子. *农业环境科学学报*, 2003, 22(3): 257-262.
- [11] 王家玉,王胜佳,陈义,郑纪慈,李超英,计小江. 稻田土壤中氮素淋失的研究. *土壤学报*, 1996, 33(1): 28-36.
- [12] 王德建,林静慧,夏立忠. 太湖地区稻麦轮作农田氮素淋洗特点. *中国生态农业学报*, 2001, 9(1): 16-18.
- [13] 纪雄辉,郑圣先,鲁艳红,廖育林. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2521-2530.
- [14] 傅涛,倪九派,魏朝富,谢德体. 不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 71-74.
- [15] 康玲玲,朱小勇,王云璋,吴卿,魏义长. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究. *土壤学报*, 1999, 36(4): 536-543.
- [16] 马琨,王兆骞,陈欣,尤力. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 16-19.
- [17] 李仲明,唐时嘉,张先婉. *中国紫色土*. 北京: 科学出版社, 1991.
- [18] 庞庆,王益谦. 农田生态系统养分平衡及其面源污染研究——以四川省为例. *中国环保产业*, 2004, (6): 17-19.
- [19] 张建华. 紫色丘陵土壤保护示范区气候资源及评价. *土壤农化通报*, 1992, 7(1/2): 96-104.
- [20] 杨文元,张奇,张建华,林超文. 紫色丘陵区土壤抗冲性研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(2): 23-28.
- [21] 许峰,蔡强国,吴淑安,张光远,蔡崇法,丁树文,史志华. 高植物篱控制紫色土坡耕地侵蚀的特点. *土壤学报*, 2002, 39(1): 71-80.
- [22] 丁文峰,张平仓,王一峰. 紫色土坡面壤中流形成与坡面侵蚀产沙关系试验研究. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 14-17.
- [23] 朱波,汪涛,祝福虹,徐泰平,唐家良,武永峰. 紫色土坡耕地硝酸盐淋失特征. *环境科学学报*, 2008, 28(3): 525-533.
- [24] 丁文峰,张平仓. 紫色土坡面壤中流养分输出特征. *水土保持学报*, 2009, 23(4): 15-19.
- [25] 林超文,陈一兵,黄晶晶,涂仕华. 四川间作地区作物高度、覆盖度和叶面积指数的动态变化. *生态学杂志*, 2007, 26(7): 989 - 994.
- [26] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 中国农业科技出版社, 1999: 125-195.
- [27] 林超文,庞良玉,罗春燕,陈一兵,黄晶晶,涂仕华,张鸿. 平衡施肥及雨强对紫色土养分流失的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5552-5560.
- [28] 许峰,蔡强国,吴淑安,张光远. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失的影响. *水土保持学报*, 1999, 5(2): 23 ~ 29.
- [29] 蒋光毅,史东梅,卢喜平,刘玉民. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 54 ~ 58.
- [30] 潘渝,郭瑾,李毅,张江辉,丁新利. 地膜覆盖条件下的土壤增温特性. *水土保持研究*, 2002, 9(2): 130-134.
- [31] 王琪,马树庆,郭建平,刘玲,沈钟声. 地膜覆盖下玉米田土壤水热生态效应试验研究. *中国农业气象*, 2006, 27(3): 249-251.
- [32] 李洪勋,吴伯志. 地膜和秸秆覆盖对夏玉米的调温保墒效应. *玉米科学*, 2006, 14(3): 96-98.
- [33] 唐涛,郝明德,单凤霞. 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 9-12.
- [34] 刘柳松,史学正,于东升,王洪杰,任红艳,孙维侠,张黎明. 秸秆覆盖对干湿态红壤坡面流体力学参数的影响. *中国水土保持科学*, 2009, 7(6): 20-25.
- [35] 王静,郭熙盛,王允青. 秸秆覆盖与平衡施肥对巢湖流域农田磷素流失的影响研究. *中国土壤与肥料*, 2009(5): 53-56.
- [36] 卜崇峰,蔡强国,张兴昌,马力. 土壤结皮的发育特征及其生态功能研究述评. *地理科学进展*, 2008, 27(2): 26-31.
- [37] 王辉,王全九,邵明安,李裕元. 表土结皮影响坡地产流产沙及养分流失的试验研究. *水土保持学报*, 2008, 22(4): 62-83.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元