

川中丘陵区典型耕作制下 紫色土坡耕地的土壤侵蚀特征

刘刚才,高美荣,张建辉,李勇,张先婉
(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

摘 要: 在中科院盐亭紫色土农业生态试验站的多年观测结果表明,聚土免耕耕作制较横坡种植制减少土、水流失率(年平均)分别为 45.6 %、38.7 %,较顺坡种植分别减少 63.2 %、52.4 %;在川中丘陵区的其它几个观测站(仁寿、乐至、内江和简阳)也表明聚土免耕耕作制能明显减少水土流失。在雨季的初期(5 月)和中期(7 月),各耕作制的水土流失较突出,而聚土免耕法正好在此期表现出较好的削减水土流失的能力。通过标准值比较,聚土免耕、横坡种植、顺坡种植的 P 值分别为 0.31、0.51、1。

关键词: 土壤侵蚀; 耕作制; 川中丘陵区
中图分类号: S157 文献标识码: A

四川耕地以紫色土为主,其土壤侵蚀强度仅次于黄土,达 $5\,897\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ 以上,比非耕地 $3\,750\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ 大 57 %^[1];由于紫色土土层流失和母质侵蚀(如遂宁母质侵蚀模数达到 $10\,000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$)的双重作用,自然肥力较高的紫色土在利用和保护方面的矛盾日益尖锐,引进了不少学者的关注,从旱地的坡改梯,到多种多样的保护性耕作制,做了大量的研究。我们根据南方人多地少、丘陵山区多而贫穷落后的现实,运用生态学原理,注重保护与发展并举的原则,以求多目标高效益为指导思想,经过多年的探索和改进,逐步形成了聚土免耕多目标管理体系,其中,以垄、沟、档格网状结构,沟内深耕培肥和垄上免耕留茬为核心的独特有效的水土保持体系,引起了有关学者的关注。

1 研究方法与材料

1.1 定位试验的基本情况

三种典型耕作制的水土保持定位试验,始于 1985 年,在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站进行。自 1989 年起,又在川中丘陵区几种典型土壤区,开展了有关试验。各试验地的基本情况如表 1 和表 2。

在上述观测地点,主要设了以下耕作制处理:

1. 聚土免耕^[2] (SN): 沿等高线 2 m 開箱,1 m 起沟,另 1 m 作垄。垄上种小麦——甘薯,沟内种油菜——玉米。
2. 横坡种植 (CT): 沿等高线按当地习惯開箱种植,作物安排同 SN。
3. 顺坡种植 (ST): 沿顺坡方向按当地习惯開箱种植,作物安排同 SN。

这三个处理是每个观测站的主处理。根据研究需要,在不同年份和观测站增设了相应处理。各处理重复两次。

表 1 径流场的基本参数
Table 1 The base parameters of runoff ground

地点 (县、乡)	坡度 (°)	坡长 (m)	小区面积 (m ²)	观测起止年份
盐亭林山	3.8	17	68	1985~1994
乐至宝林	10.2	12	36	1989~1991
仁寿花瓷	11.5	12	48	1989~1994
内江友好	10.5	12	36	1989~1993
简阳久隆	11.2	12	36	1989~1994

收稿日期: 2001-07-29.
基金项目: 中科院成都山地所“种子基金”和中科院“百人计划”项目的部分内容。
作者简介: 见本期 P. 60.

表 2 试验地基本属性
Table 2 The soil property of experimental sites

观测点	土壤母质	容量(g/cm ³)	物理粘粒量(%)	分散率(%)	团聚度(%)	流限(%)	塑限(%)
乐至	J ₃ p ₂	1.46	50.3	90.5	8.2	50.2	34.7
仁寿	J ₃ s	1.41	61.0	92.7	5.5	56.4	39.1
内江	J ₂ s	1.35	53.0	82.5	15.5	51.1	38.8
简阳	K ₂ t	1.36	29.0	85.6	6.3	38.8	23.6

盐亭站的为 J₃p₁;: 测定方法据文献^[4]

1.2 水土流失观测方法

水土流失观测系统如图 1 所示。小区四周和地边用水泥板做成。小区坡末端接梯形水泥板，水泥板末端建沉沙池，沉沙池外墙上高 0.5 m 处安水平的五个分流管(直径 6 cm)，中间一分流管外接量水池，形成水土流失收集系统。各观测站池子的大小稍有不同，盐亭站的没有分流和量水池设置。降雨后，人工观测各池子的水位和称重测沉淀蚀沙，并量取径流样，于室内加明矾或其它沉淀剂沉淀，再烘干——称重，确定径流中的蚀沙量。

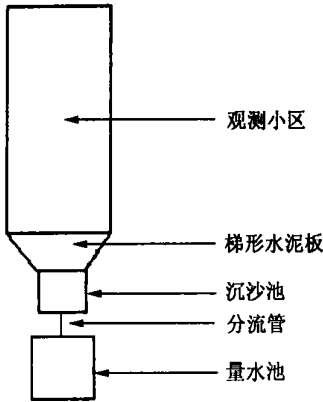


图 1 水土流失观测系统平面示意图
Fig.1 The schematic layout of soil erosion collection system

2 结果与讨论

由于每次的降雨特性差异明显，为尽可能消除它对试验因素的干扰，本文及本期作者的另一文所涉及的侵蚀模数(EQ)用每 100 mm 产流雨量单位面积上的侵蚀量表示，单位为(t·km⁻²·100 mm⁻¹)，径流系数(RC)用每 100 mm 产流雨量的径流深表示^[3]。

2.1 不同耕作制的水土保持效益

表 3 是盐亭站径流场多年的观测结果，可以看出，聚土免耕、横坡种植和顺坡种植的平均侵蚀模数分别为 93.2、169.0 和 242.4，径流系数分别为 9.9、16.6 和 20.3；差异分析结果表明：聚土免耕的水土流失量与顺坡种植之间的差异达极显著水平，与横

坡种植的差异达显著水平，揭示了聚土免耕法具有显著的水土保持效益。

表 3 盐亭站不同耕作制的水土流失量
Table 3 Soil erosion rate of varied tillage systems at Yanting station

年份	EQ			RC		
	SN	CT	ST	SN	CT	ST
1985	51	91	163	7.6	12.9	16.4
1986	79	120	192	6.2	13.6	17.6
1987	184	293	411	13.0	16.5	20.7
1988	102	218	278	15.8	26.6	27.9
1989	50	123	168	6.9	13.2	18.8
均值	93.2	169.0	242.4	9.9	16.6	20.3
LSD	a	b	b	A	b	B
	A	AB	A	A	AB	B
测验	LSD _{0.05} = 75.5			LSD _{0.05} = 5.0		
	LSD _{0.01} = 105.0			LSD _{0.01} = 7.1		

2.2 不同耕作制水土保持效益的稳定性

图 2 和 3 是根据表 3 求出的相对的水土流失削减率，表明聚土免耕较横坡种植减少土、水流失率(年平均)分别为 45.6 %、38.7 %，较顺坡种植分别减少 63.2 %、52.4 %；而且这种减少率有稳中有升的趋势。从此说明，聚土免耕的水土保持功能不仅是显著的，而且是稳定的。

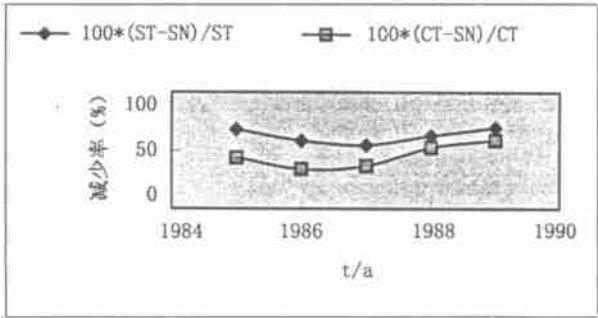


图 2 SN 相对于 ST 和 CT 的土流失减少率
Fig.2 The erosion reduction rate of SN compared with ST and CT

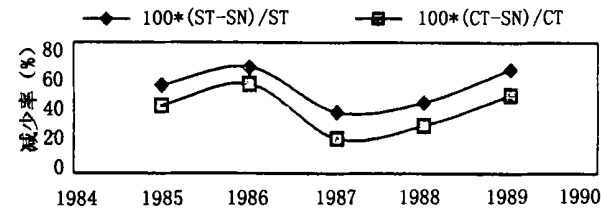


图3 SN 相对于ST 和 CT 的水流失减少率

Fig. 3 The runoff reduction rate of SN compared with ST and CT

2.3 不同耕作制水土保持的季节性特征

表4 是盐亭站不同月份水土流失量的观测结果, 反映出以下特点:

(1)侵蚀模数 EQ 最大值在5 月份, 而径流系数 RC 的最大值在7 或8 月份。反映了5 月是一年的侵蚀始期, 土壤可蚀性物质较多, 作物被覆盖也较差, 导致 EQ 为最大值。7 和8 月份由于降雨量和次数是一年中最多的, 故径流系数较大;

(2)无论是在哪一月份, 聚土免耕的侵蚀量和径流量都是最小的, 其次是横坡种植, 再次是顺坡种植, 这与该站年均水土流失量的大小次序一致。

表4 不同耕作制在不同月份的水土流失量
(盐亭站 1985~1989 年)

Table 4 The erosion quantity of month basis for alternative tillage systems(Yanting station, 1985~1989)

月份	EQ			RC		
	SN	CT	ST	SN	CT	ST
5	296.0	514.2	1100.9	10.2	14.7	30.4
6	26.6	64.8	67.9	4.8	8.2	27.9
7	102.7	187.6	340.2	14.4	20.1	36.2
8	59.9	109.0	109.0	10.2	24.3	45.3
9	19.6	21.8	30.3	9.2	15.8	25.2
10	21.0	56.8	75.0	9.8	11.8	33.6

图4 和5 是另外几个站的月均水土流失观测结果, 进一步表明聚土免耕水土保持过程(季节性)特征: 在内江沙溪庙组、乐至蓬莱镇组、仁寿天马山组的观测站, 聚土免耕较顺坡种植的水土流失最大削减率在7 月份。

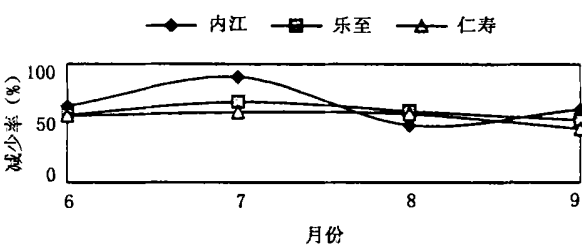


图4 SN 在不同母质不同月份相对于ST 的土流失削减率

Fig. 4 The erosion reduction rate of SN compared with ST at different month

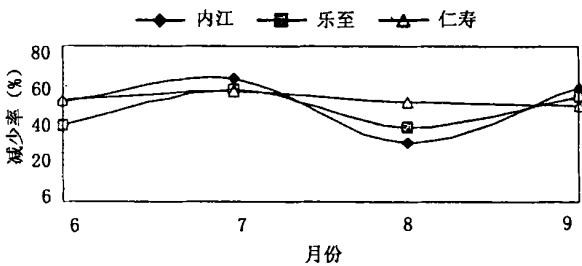


图5 SN 在不同母质不同月份相对于ST 的水流失削减率

Fig. 5 The runoff reduction rate of SN compared with ST at different month

2.4 不同耕作制的覆盖类型特征对水土保持的影响

任何耕作制都至少包括耕作法 and 作物种植制度两个方面。聚土免耕耕作制由于在垄上实行免耕, 垄上大春作物(如甘薯)可以在小春(如小麦)成熟后期适时播种, 通常较其它耕作制可以提前种植——提前覆盖, 也可以不提前种植, 构成了聚土免耕作物管理的独特之处。从表5 看出, 聚土免耕只耕不种, 其水土流失相对于顺坡种植的削减率达70 %以上, 表明这种土壤耕作法本身具有较显著的水土保持效益; 当既耕又种时, 这种削减率更大, 说明该法的作物管理体系较顺坡种植制更具有合理性; 当聚土免耕的垄上作物提前覆盖时, 这种削减率较未提前覆盖的有较明显提高(5 %~10 %), 表明聚土免耕法中提前覆盖这一作物管理措施, 对进一步提高其水土保持能力具有重要作用。

表 5 不同耕作制在不同覆盖类型下的水土流失特点
Table 5 The soil erosion features of varied tillage systems under various cover type

覆盖类型	观测站	EQ			RC		
		SN	ST	$100^{*} (ST-SN) / ST$	SN	ST	$100^{*} (ST-SN) / ST$
只种不耕	简阳	144. 7	597. 9	75. 8	5. 5	18. 6	70. 4
既耕又种	简阳	99. 9	540. 9	81. 5	4. 4	15. 0	70. 7
免耕提前覆盖	内江	27. 0	* *	78. 7 *	6. 4	* *	50. 4 *
非免耕不提前覆盖	内江	34. 7	116. 6	70. 2	7. 0	12. 9	45. 7

*: ST 没有免耕提前覆盖体系, 作比较时用其下项值

2.5 不同耕作制水土保持的空间特性

2.5.1 不同土壤母质上的水土流失特点

不同耕作制在川中丘陵区几种典型土壤母质的水土保持效益如表 6 所示: 无论在哪种母质的土壤上, 聚土免耕法的水土流失量都极显著地小于顺坡

种植, 较明显地小于横坡种植——相对于这两种耕作法, 其土、水流失分别减少 71. 2 %、46. 3% 和 37. 2 %、22. 8 %。从不同土壤母质的水土流失比较看, 蓬莱镇组(乐至)、天马山组(简阳)的流失量最多, 其次是遂宁组(仁寿), 再次是沙溪庙组(内江)。

表 6 不同耕作制在不同土壤母质上的水土流失量比较
Table 6 Soil erosion rates of alternative tillage systems at various soil type

观测站	EQ						RC							
	SN	CT	ST	差异分析		100 * (CT—SN) /CT	101 * (CT—SN) /CT	SN	CT	ST	差异分析		100 * (CT—SN) /CT	101 * (CT—SN) /CT
乐至	540	750	1680	A	A	28.0	67.8	17.5	20.5	37.0	a	A	14.6	52.7
简阳	650	1080	1540	A	A	39.8	58.0	17.9	24.8	30.0	a	A	27.8	40.3
内江	100	120	370	B	B	16.7	73.0	9.4	12.8	22.0	b	B	26.6	57.6
仁寿	150	420	1060	C	C	64.3	85.8	12.8	16.4	19.6	c	C	22.0	34.7
均值	360	593	1163			37.2	71.2	14.4	18.6	27.2			22.8	46.3
LSD	a	a	b	LSD _{0.05, 10} = 315				a	a	b	LSD _{0.05, 10} = 4.1			
	A	A	B	LSD _{0.01, 10} = 448				a	a	b	LSD _{0.01, 10} = 5.8			
测验				LSD _{0.05, 10} = 272							LSD _{0.01, 10} = 387			
				LSD _{0.05, 10} = 3.63							LSD _{0.01, 10} = 5.16			

2.5.2 在不同坡度地块上的水土流失特点

从表 7 看出, 聚土免耕法在坡度为 10°内, 其水土保持效益(土、水流失削减率)相对于顺坡种植有随坡度增大而增加的趋势, 但相对于横坡种植却有减小的趋势。如表 8 所揭示的: 聚土免耕法相对于顺坡种植的水、土流失削减率, 与坡度 X 有负指数关系, 而相对于横坡种植, 与坡度 X 有正指数关系,

也说明了这一点。从此说明, 等高耕作法在较大坡度的土块上更能显示出其水土保持效益。聚土免耕法也是基于等高耕作法的, 但它的垄高垄宽(标准为 30 和 100 cm)较横坡种植的大, 随坡度增加, 其顺坡垄面增陡增长。因而, 较横坡种植没有随坡度增大而效益增加的趋势。

表 7 不同耕作制在不同坡度上的水土流失特点
Table 7 Soil erosion rate of varied tillage systems at lands with various slope

观测站	坡度(度)	EQ			RC		
		SN	ST	$(ST-SN) * 100 / ST$	SN	ST	$(ST-SN) * 100 / ST$
盐亭	3. 8	41. 8	133. 7	68. 7	5. 7	15. 8	63. 6
乐至	3. 0	41. 2	130. 4	68. 4	5. 8	13. 8	58. 0
乐至	6. 0	78. 0	346. 8	77. 5	8. 0	20. 8	61. 5

表 8 不同耕作制的水土保持效益与坡度(X)的关系模型

Table 8 The model of relationship between soil erosion rate and slope grandiant for various tillage systems

耕作制	<i>EQ</i>	<i>RC</i>
SN	$56.2X^{0.9814} (R^2=0.9424)$	$13.4X^{0.4421} (R^2=0.9864)$
CT	$101.2X^{0.9134} (R^2=0.9864)$	$17.5X^{0.4354} (R^2=0.99950)$
ST	$103.3X^{1.4111} (R^2=0.9892)$	$27.1X^{0.5886} (R^2=0.9918)$
(ST-SN)/ST	$1-0.52X^{-0.4927}$	$1-0.49X^{-0.1465}$
(CT-SN)/CT	$1-0.56X^{0.005}$	$1-0.76X^{0.007}$

表 9 几种耕作制的P 值确定及其结果

Table 9 The P values of the three tillage systems

观测地点	土壤母质	<i>EQ</i>			<i>P</i> 值	
		SN	CT	ST	$P_{SN}=SN/ST$	$P_{SN}=CT/ST$
盐亭	J ₃ P ₁	93.2	169	242.4	0.38	0.70
乐至	J ₃ P ₂	540	750	1680	0.32	0.45
仁寿	T ₃ s	150	420	1060	0.14	0.40
简阳	K ₂ t	650	1080	1540	0.42	0.70
内江	T ₂ s	100	120	370	0.27	0.32
均值					0.31	0.51

2.6 不同耕作制的 P 值

P 值是定量确定耕作体系保持水土能力大小的参数, 目前较多用标准值比较法求得^[3], 在此以顺坡种植的 EQ 值为标准值, 即定其 P 值为 1。求得其它耕作制的 P 值如表 9 所示: 聚土免耕法和横坡种植的平均 P 值分别为 0.31 和 0.51, 仍然表明聚土免耕法具有最佳水土保持能力。

3 结论

以上几个方面的讨论, 都一致地表明了聚土免耕作制, 较该区典型的横坡耕作制和顺坡耕作制, 显

著地减少了水土流失, 因此是一种值得推广应用的保护性耕作制。

参考文献:

[1] 李仲明; 等. 中国紫色土(上册)[M]. 科学出版社, 北京, 1991.
[2] 罗治平; 等. 聚土免耕法的水土保持效益研究—Ⅱ—Ⅲ[J]. 土壤农化通报, 1900 5(1~2)43~59.
[3] 刘刚才; 等. 川中丘陵区土壤侵蚀规律及其 P 值确定[J]. 水土保持学报, 1993 7(3), 39~43.
[4] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海科学技术出版社, 上海, 1978.

Soil Erosion Characteristics of Slope Land under Alternative Tillage Systems in Central Hilly Area of Sichuan, China

LIU Gang-cai, GAO Mei-rong, ZHANG Jiang-hui, LI Yong, ZHANG Xian-wan

(Institute of Mountain Hazard and Environment of Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources Conservancy, Chengdu, Post-code 610041)

Abstract: The data of averaged year basis observed at agriculture experimental station of CAS in Yanting, shown the tillage system of collecting soil to form ridge with no-tillage (SN) substantially reduced soil and water losses of 45.6% and 38.7%, 63.2% and 52.4% respectively, compared to contour tillage (CT) and straight tillage (ST) systems. The other experimental stations located at Renshou, Lezhi, Neijiang and Jianyang of central hilly area of Sichuan, as well as confirmed the SN significantly diminished the soil erosion rate. Soil erosion rate is higher at initial and middle periods of rainy season for all tillage systems; however, SN represented a higher reduction percentage at the right two periods comparing to CT and ST. The P values were evaluated as 0.31, 0.51 and 1 for SN, CT and ST respectively by comparing the averaged erosion rate.

Key words: soil erosion; tillage system; hilly area