

紫色土退化旱地的肥力恢复与重建*

朱波 陈实 游祥 彭奎 张先婉

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要 常规耕作的水土流失造成紫色土坡耕地土层浅薄化、土壤养分贫瘠化、土壤干旱化及土壤结构劣化等土壤肥力退化问题。1984~1996 年长期田间试验结果表明, 聚土免耕通过垄沟网状结构可保持水土, 其多年平均径流与土壤侵蚀模数分别为 $657.7 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 和 530.0 t km^{-2} , 而常规耕作的相应值分别为 $1754.0 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 和 3122.0 t km^{-2} , 通过聚土与改土结合, 聚土免耕活土层厚度平均增加 11.8 cm , 聚土免耕耕作技术还通过垄沟强化培肥降低土壤容重, 增加土壤有机质及 N、P、K 含量, 改善土壤理化性状, 恢复土壤肥力。聚土免耕作物产量比平作高 $15\% \sim 30\%$ 。1996~1998 年秸秆覆盖实验结果表明, 秸秆覆盖增加土壤有机质和养分含量, 改善并维持土壤结构。聚土免耕与秸秆覆盖结合有利于土壤养分活化、土壤结构形成与维护, 是紫色土退化旱地肥力恢复与重建的关键技术。

关键词 土壤肥力, 退化, 恢复, 紫色土, 聚土免耕

中图分类号 S158

土地退化问题使资源、环境、粮食、人口等危机更加尖锐^[1]。土地退化是指农田、草原、森林的生物或经济生产力的下降或丧失, 包括土壤物质的流失和理化性状的劣化, 以及自然植被的长期丧失^[2], 其中土壤退化是土地退化的核心问题。而旱地退化最为突出, 在过去 20 年时间里, 单位面积旱地的粮食作用产量明显下降^[3], 研究认为主要原因是侵蚀和养分亏缺造成耕地肥力退化乃至土壤生产力丧失^[4,5]。

紫色土是长江上游最重要的耕地资源之一, 以四川盆地分布最为集中。四川省紫色土地面积约 19 万 km^2 (含重庆), 紫色土耕地面积约占四川耕地的 68% ^[6]。紫色土生产了占四川 63% 的食物, 99.5% 的棉花, 60% 的菜油, 83% 的柑橘, 64% 以上的猪肉^[7], 养活约 9000 万人口, 但由于紫色土地处山地丘陵, 旱坡地占 50% 以上, 加之人口压力大, 平均人口密度为 560 人 km^{-2} , 土地过度垦殖以及不合理的荒地开垦导致严重的水土流失, 土壤侵蚀模数为 4886 t km^{-2} , 大量表土流失, 约 40% 的旱坡地土层厚度小于 20 mm , 大量泥沙下泄, 造成河塘、江、湖淤积与堵塞, 引发或加剧了 1981 年和 1998 年的长江洪水, 同时也降低了抗御区域干旱的能力。因此, 紫色土退化旱坡地的恢复已非常迫切。土壤生产力的恢复应致力于增厚土层, 改善土壤结构以保持水土, 增强抗旱能力。

本文通过中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站的典型退化旱地十多年的田间试验

* 中国科学院知识创新工程重大方向性项目 (KZCX 2-413)、国家自然科学基金 (49601009) 和中国科学院“西部之光”人才培养项目资助

研究,探讨紫色土退化旱地肥力恢复重建机制,为紫色土退化旱地土地生产力的恢复提供优化模式。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验地点在四川省盐亭县林山乡(105°27'E, 31°16'N),试验区多年平均降雨量825.8 mm,年均温17.3℃, > 10℃的积温6500℃,无霜期295天。供试土壤为紫色土(J_{3p})典型退化旱作土壤,其平均土层厚度20 cm, pH 8.3, 土壤有机质8.5 g kg⁻¹, 全N、P、K分别为0.62、0.48和23.6 g kg⁻¹。

1.2 试验与观测设计

以耕作措施为核心的对比试验开展土壤肥力的恢复与重建。试验处理为聚土免耕(Seasonal no-tillage ridge cropping system, SNTRCS)和常规耕作(平作),其中聚土免耕分为聚土垄作和垄沟互换两个处理。聚土作垄是聚土免耕的基础,应予优先保证。在作物收获后,全土翻耕,沿等高线2 m开厢,一半为

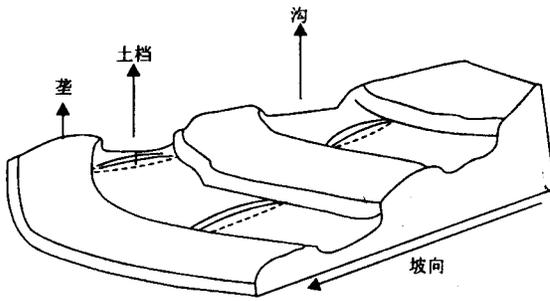


图1 聚土免耕田间网状结构

Fig.1 Sketch of SNTRCS in the field

垄,一半为沟(图1)。垄基均匀铺上有机肥,约15000 kg hm⁻²。然后顺坡方向犁,由内及外,向心倒垄,形成垄胚,再将沟内熟土的一半或三分之二聚于垄上,整形筑垄。聚土后形成的沟是深耕改土和培肥的主要对象,若土层较为深厚,经聚土后的沟内熟土变薄,这时需深耕改土,有机、无机肥配合强化培肥,沟内可种植绿肥;夏季沟内每隔5~7 m,设置10 cm高的土档,以拦截径流和泥沙。若聚土后沟内露出母质,可深啄泥岩,加速风化,促其成土。为保持水土,有利抢种,垄上小麦收获后,留茬免耕,降雨可抢种甘

薯,甚至麦收前10~15天将甘薯套在麦茬中,提早地表覆盖。为改造培肥整块土壤,实行垄沟互换,一般3~5年,但薄土改造可2年一换,以缩短改造周期。因此4年可以将土块轮换改造一次,以后再反复轮换,促使土层增厚增肥,并将坡土逐步改为梯土。聚土免耕设置8次重复(其中4次为聚土垄作,另外4次为垄沟互换),平作设置4次重复。1996~1998年开展田间秸秆覆盖的对比实验,设平作不覆盖、聚土免耕覆盖与不覆盖三个处理,各处理4次重复。

1.3 测定方法

每年测定土层厚度、作物生物量、产量和土壤养分含量,按常规方法测定^[8]。土壤侵蚀量和径流通过径流场测定^[9],径流场坡度10%,面积100 m²(20m×5m)。以标有刻度的铁钉作为标签打入垄、沟和土档,每小区9个标签,测定降雨前后标签的高度以确定垄、沟和档的表土侵蚀,并以此计算其水土保持的相对贡献率。

2 结果与讨论

2.1 耕作措施对水土流失的影响

5年(1985~1989)的测定结果表明(表1),聚土免耕与常规平作的土壤侵蚀模数分别为530.0 t km⁻²和3122.0 t km⁻²,聚土免耕减少土壤侵蚀83%;聚土免耕与平作的径流分

别为 $657.7 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$, $1754.0 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$, 聚土免耕减少径流 64%, 可见聚土免耕的水土保持效应显著。聚土免耕网格状的沟和土档作为微小的蓄水库接受和保持降雨, 所截留的降雨再进入土壤水库, 而蓄积在土壤水库中的水分长期缓慢地为作物生长所利用, 缓解了旱地的季节性干旱, 改善了土壤水分条件, 聚土免耕沟内水分比平作高 1.1%, 垄上高 0.6%。

表 1 平作与聚土免耕月均土壤侵蚀模数与径流量(1985~1989)

Table 1 Average monthly soil loss and runoff in SNTRCS and conventional tillage (1985~1989)

月 Month	产流降雨 Runoff rainfall(mm)	侵蚀模数 Soil loss (t km^{-2})		径流量 Runoff ($\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$)	
		聚土免耕	常规平作	聚土免耕	常规平作
		SNTRCS	Convention	SNTRCS	Convention
1~4	$36.5 \pm 3.3^{1)}$	6.0 ± 0.5	20.2 ± 5.2	28.6 ± 1.6	62.5 ± 2.6
5	85.7 ± 5.2	223.0 ± 20.1	1253.6 ± 86.0	68.7 ± 4.6	260.2 ± 35.5
6	68.7 ± 3.6	15.0 ± 0.6	87.1 ± 15.3	32.7 ± 3.0	103.0 ± 15.2
7	199.4 ± 12.3	179.0 ± 10.6	1075.3 ± 75.2	251.6 ± 18.9	705.0 ± 85.0
8	213.4 ± 8.8	92.0 ± 6.6	624.0 ± 38.7	204.0 ± 21.5	409.9 ± 22.2
9	47.4 ± 1.6	10.0 ± 1.5	38.5 ± 5.8	40.6 ± 8.5	110.8 ± 5.6
10	21.4 ± 1.0	3.0 ± 0.2	8.0 ± 7.5	20.8 ± 1.2	72.3 ± 5.1
11~12	10.2 ± 0.3	2.0 ± 0.2	6.0 ± 2.2	10.3 ± 0.8	30.04 ± 4.2
合计	682.8	530.0	3122.0	657.7	1754.0

1) 标准差(SD), $n = 5$

聚土免耕的网格状结构对旱坡地的水土保持的作用尤为突出(表 2), 聚土免耕以垄沟和小土档所构成的网格状结构对水土保持贡献率达 80%。试验结果还表明, 少耕留茬可减少降雨对表土的直接拍击所引起的土壤溅失。

表 2 聚土免耕组分对水土保持的贡献

Table 2 Relative contribution of components of SNTRCS for reducing soil losses(1985~1989)

组分 Component	水土保持 Soil retained		削减径流 Run-off reduced	
	(Mg hm^{-2})	(%)	($\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$)	(%)
垄	$5.8 \pm 0.3^{1)}$	28.2	376.7 ± 26.1	73.4
沟	9.3 ± 0.5	44.9		
土档	1.7 ± 0.1	8.3	39.5 ± 6.7	7.7
免耕	1.8 ± 0.1	8.5	45.8 ± 4.7	8.9
留茬	2.1 ± 0.1	10.1	51.5 ± 5.2	10.0
总量	20.7	100	513.5	100

1) 标准差(SD), $n = 5$

2.2 聚土免耕对土壤肥力的影响

活土层是作为农作物根系的的活动区域, 活土层的增加是聚土免耕的又一重要特点。平作土壤生产力主要障碍是水土流失造成土层浅薄, 本地区旱地平作土壤 10 年平均活土层厚度为 17.3 cm, 而聚土垄作垄上已形成 35 cm 的活土层厚度; 同时, 沟内土层厚度达 60 cm, 活土层也达到 20 cm 厚。这主要是由于沟内深耕或深耩, 母质层经暴露后易于成

土^[10], 经过几次垄沟互换, 全土活土层厚度达到 29.1 cm, 比平作土壤厚 11.8 cm。研究表明, 活土层是土壤质量与土壤生产力的重要指标^[11, 12], 活土层厚度往往作为退化土壤恢复的重要标志, 土壤生产力随活土层增加而增加。

长期聚土免耕的土壤有机质、养分含量、微生物及酶活性较常规平作已有明显改善(表3)。聚土免耕的土壤有机质及 N、P、K 含量, 微生物总量纤维分解酶等比平作土壤高 20% ~ 80%。

表 3 聚土免耕与平作土壤养分与微生物酶活性比较¹⁾

Table 3 Comparison in soil nutrients, microbes and enzyme activities between SNTRCS and conventional tillage

处理 Treatment	活土层厚度 Topsoil depth	土层 Soil depth	有机质 Organic matter	全 N Total N	全 K Total K	微生物总量 Total microbes	纤维分解菌 Aerobic fiber decomposing bacteria	脲酶活性 Urease activity NH ₄ -N mg g ⁻¹ d ⁻¹
	—cm—			—g kg ⁻¹ —		—10 000 g ⁻¹ —		
聚土垄作	29.1*	0~ 15	11.88*	0.89	21.4*	28.9	0.38*	0.77
		15~ 35	8.70*	0.72*	20.2*	107.2*	0.28	0.84*
		35~ 60	6.40	0.60	18.6	15.7	0.07	0.70
常规平作	17.3	0~ 15	9.64	0.80	19.1	27.7	0.04	0.82
		15~ 35	6.30	0.58	18.5	17.0	0.22	0.53
		35~ 60	4.50	0.58	18.3	11.5	0.05	0.01

1) 结果为实验室与田间测定平均值; * 表示与常规平作相比 LSD 在 $P = 0.05$ 时差异显著

土壤容重的测定结果同时表明, 聚土免耕表土的土壤容重显著降低, 而且长期(10年)维持在 1.1 g cm^{-3} 左右。亚表层土壤容重也比平作相应层次低, 为 1.3 g cm^{-3} , 可见聚土免耕使土壤结构得到改善和保持(图2), Dao^[13]也报道了免耕土壤有较低的土壤容重, 并且通过土表小麦留茬可改善土壤孔隙状况。

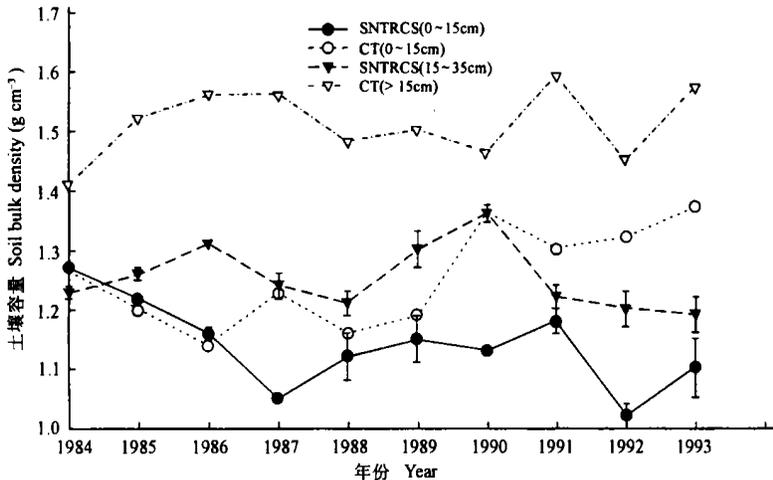


图 2 聚土免耕(SNTRCS)与常规平作(CT)不同层次的土壤容重

Fig. 2 Comparison in soil bulk density between SNTRCS and conventional tillage

聚土免耕对于土壤结构的改善还表现在增加了土壤中水稳性团聚体。土壤微团聚体分析结果(表4)表明, 聚土免耕 15~ 60 cm 土层内 > 0.01 mm 的微团聚体显著增加; 0~ 15 cm

土层 > 0.01mm 的团聚体也有增加, 而 < 0.01 mm 的微团聚体减少。不同粒径团聚体的消长说明聚土免耕可使小粒径微团聚体逐渐转变成大团聚体, 因此改善了土壤结构, 促进了土壤微生物活性, 恢复并维持土壤肥力。反之可见, 平作土壤由于严重的土壤侵蚀降低土层厚度, 使土壤有机质减少, 养分流失加剧, 所引起的土壤退化过程经过一定时间改变了土壤原有结构, 致使微生物活性降低, 从而造成土壤肥力退化乃至生产力的丧失。

表 4 聚土免耕与平作的土壤微团聚体分配

Table 4 Distribution of soil micro aggregation between SNTRCS and conventional tillage (%)

耕作制度 Tillage system	土层 Soil depth (cm)	各粒径微团聚体的分配比 The ratio of micro-aggregates in different sizes (mm)							
		1~ 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001	< 0.01	> 0.01
(%)									
聚土免耕	0~ 15	5.2*	30.0	37.4	10.1*	13.3	4.1	27.5	72.5
	15~ 35	7.2*	31.4*	35.5	9.3*	12.3	4.3	26.0*	74.1*
	35~ 60	5.2*	33.3*	35.4*	11.2	9.2*	5.7*	26.1*	73.9*
常规平作	0~ 15	4.7	29.8	37.7	11.6	12.9	3.4	27.8	72.2
	15~ 35	6.7	28.0	36.6	11.8	11.8	5.1	28.7	71.3
	35~ 60	6.2	28.1	36.8	11.4	13.2	4.4	28.9	71.1

* 不同土层间微团聚体在 $P = 0.05$ 水平上差异显著

2.3 秸秆覆盖对土壤理化性状的影响

聚土免耕降低土壤容重的作用十分显著, 覆盖也具有同样功效(表 5)。覆盖有利于提高土壤的田间持水量, 增加土壤水库容量, 增强旱地抗旱能力。聚土免耕可改善土壤结构, 覆盖有利于维护土壤结构。另一方面, 覆盖能显著增加土壤养分含量, 表明覆盖对土壤养分的积累有重要作用。土壤有机质对于土壤结构的形成与维持具有十分重要的作用^[14~16]。相对平作而言, 1996~1998 三年的秸秆覆盖与聚土免耕结合可提高土壤有机质 20%~90%, 其对土壤理化性质的改善可见一斑。

表 5 垄作—秸秆覆盖对土壤理化性质的影响

Table 5 Effects of SNTRCS and mulching on soil physical-chemical properties

处理 Treatment	层次 Soil layer (cm)	有机质 Organic Matter	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	容量 Soil bulk density (g cm ⁻³)	田间持水量 Water capacity (%)
聚土免耕	0~ 15	11.3	1.22	0.79	22.6	1.15	23.50
	15~ 35	8.8	1.02	0.75	21.8	1.45	22.13
聚土免耕—覆盖	0~ 15	12.5	1.28	0.86	25.6	1.18	24.56
	15~ 35	11.2	1.11	0.81	23.7	1.36	24.62
常规平作	0~ 15	10.6	1.13	0.75	20.5	1.38	20.13
	15~ 35	5.8	0.78	0.68	20.2	1.55	18.37

2.4 土地生产力的变化

长期的聚土免耕试验结果表明(图 3), 聚土免耕产量高于平作, 垄作 12 年的平均产

量比平作高 15%；经过垄沟互换后，聚土免耕产量达 13.3 t hm^{-2} ，比平作高 30%。可见，典型退化旱地经过长期垄作与少免耕及垄沟互换等技术为核心的聚土免耕实施后，土壤肥力得到恢复与重建，土地生产力得到恢复。

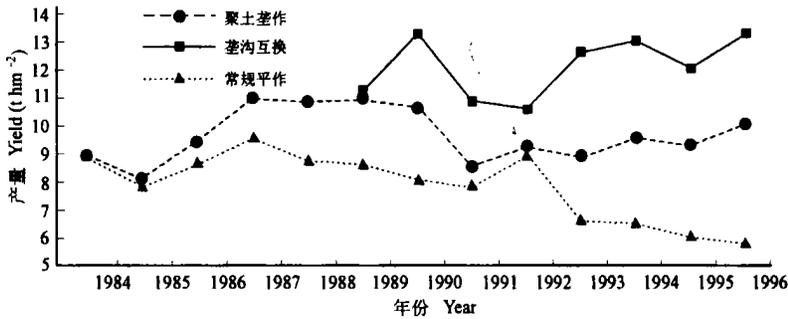


图 3 聚土免耕与平作作物产量

Fig. 3 Comparison in crop yield between SNFRCS and conventional tillage

3 结 论

常规平板耕作可导致严重的水土流失，从而引起土壤有机质和养分含量降低，降低土层厚度，破坏土壤结构，导致紫色土旱坡地土层浅薄化、养分贫瘠化、土壤结构劣化及土壤干旱化，土壤肥力退化明显，土地生产力降低；以垄沟强化培肥，垄沟互换和少免耕为技术核心的聚土免耕耕作制以其独特的网格结构拦蓄降水和坡面径流，具强大的水土保持及改善土壤结构、活化土壤养分及提高微生物活性等机制，结合秸秆覆盖增加土壤有机质和养分积累，显著改善并维护土壤理化性质，恢复并维持土壤肥力，为紫色土退化旱地肥力的恢复重建提供了一整套方法与技术体系。

参 考 文 献

1. 中国科学技术协会. 中国土地退化与防治研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 1~ 178
2. 联合国关于在发生严重干旱和/ 或荒漠化国家特别是在非洲防治荒漠化的公约(中文版). 1994. 7~ 8
3. Parr J F, Stewart B A, Homick S B, *et al.* Improving the sustainability of dry land farming system: A global perspective. *Advances in Soil Science*, 1990, 13: 1~ 8
4. Food and Agriculture Organization (FAO). African Agriculture: The Next 25 Years. FAO, Rome, 1986
5. Dregene H E. Desertification of drylands. In: Proc. Int. Conf. on Dry Land Farming, August, 1988, Amarillo/ Bushland, Texas, Texas Agric. Exp. Sta., College Station. 1989. 155~ 178
6. 李仲明主编. 中国紫色土(上篇). 北京: 科学出版社, 1991. 1~ 11
7. 张先婉主编. 土壤肥力研究进展. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 7~ 13
8. 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 62~ 142
9. 罗治平. 旱地聚土免耕对水土保持的作用. 土壤农业通报, 1987, 2(1): 57~ 61
10. 朱波, 李同阳, 张先婉. 耕作制度对紫色土养分循环的影响. 山地研究, 1996, 14 (增刊): 51~ 54
11. Power J F, Ries Sand sandoral R E, *et al.* Effects of topsoil and subsoil thickness on soil water content and crop production on a disturbed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1981, 45: 124~ 129

12. Thompson A L, Gantzer C G, Anderson S H. Topsoil depth, fertility, water management, and weather influences on yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55: 1085~ 1091
13. Dao T H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustou. *Agron. J.*, 1996, 88: 141~ 148
14. 朱 波, 马志勤, 张先婉. 旱地自然免耕技术对土壤肥力的影响. *西南农业学报*, 1996, 9(3): 94~ 99
15. 黄不凡. 绿肥、麦秸还田培养地力的研究. *土壤学报*, 1984, 21(2): 113~ 122
16. 熊 毅. 有机无机复合与土壤肥力. *土壤*, 1982, 5: 161~ 167

SOIL FERTILITY RESTORATION ON DEGRADED UPLAND OF PURPLE SOIL

Zhu Bo Chen Shi You Xiang Peng Kui Zhang Xian-wan

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041*)

Summary

Soil erosion, soil fertility degeneration and land productivity loss are severe problems in hilly land of purple soil under conventional tillage. A long-term field experiment was conducted during 1984 to 1996 to determine soil productivity in a typical hilly area of degraded upland of purple soil in Yanting, Sichuan province. Results showed that a conservation tillage system with ridge-furrow and seasonal no-tillage (SNTRCS) increased topsoil depth by 11.8 cm over the conventional tillage. Annual run off and soil loss were $657.7 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ and 530.0 t km^{-2} respectively, under conservation tillage, and $1754.0 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ and 3122.0 t km^{-2} respectively, under conventional tillage. Soil structure and soil physical, chemical and biological properties were also improved when conservation tillage was adopted. Mulching experiments from 1996~ 1998 showed that mulching increase contents of organic matter and nutrients in the soil, which in turn improved and maintained soil structure. In conclusion, SNTRCS with mulching is suitable for soil and nutrient conservation, and structure amelioration, consequently for restoration of productivity in degraded hilly land of purple soil.

Key words Soil productivity, Soil degradation and restoration, SNTRCS, Purple soil