

文章编号: 1008- 2786- (2009) 6- 735- 05

土层厚度对紫色土坡地生产力的影响

朱 波, 况福虹, 高美荣, 汪 涛, 王小国, 唐家良
(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 通过紫色土坡地土层厚度的调查与不同土层厚度的小区对比试验, 研究紫色土薄层坡地的生产力特性。结果表明, 约 73% 的紫色土坡耕地土层厚度为 20~ 60 cm。土层厚度是紫色土生产力的基本限制条件。土层越薄, 作物株高、生物量和产量愈低, 生产力愈低; 土层越厚, 生物量、产量愈高, 生产力愈高, 土层厚度的影响在玉米季尤为突出, 20 cm、40 cm 小区夏玉米产量仅为 60 cm 小区的 50%、74%, 为 80 cm 小区的 28%、40%, 100 cm 小区的 23%、34%。当土壤厚度超过 60 cm, 小麦、玉米的株高、生物量及根重差异不显著, 而土壤蓄水可抵御紫色丘陵区连续 20 d 的夏旱, 因此, 可初步判定 60 cm 土层为紫色土生产力临界土层。60 cm 以上厚度的紫色土可维持基本稳定的生产力水平。

关键词: 紫色土; 土层厚度; 生产力; 临界土层

中图分类号: S155. 2⁺ 5

文献标识码: A

土壤层厚度是土壤性质的基本属性, 在土壤侵蚀调查中, 将土层厚度分为 5 级, 即 I 级 > 100 cm, II 级 60~ 100 cm, III 级 30~ 60 cm, IV 级 < 30 cm, V 级裸岩^[1]。紫色土是亚热带湿润季风气候条件下由紫色砂页岩发育而成的岩性土, 集中分布在四川盆地丘陵区^[2], 紫色土矿质养分储量丰富。紫色土丘陵区因独特的紫色土资源与亚热带气候的最佳组合成为四川农业的主体区域^[3], 也是西南地区农业的中心。但紫色土频繁的耕作与不合理的管理, 造成紫色土坡耕地水土流失严重, 土壤退化特别是土壤“浅薄化”特征明显^[3, 4]。土壤“浅薄化”成为制约紫色土蓄水抗旱、保水保肥功能的关键要素, 但迄今为止, 有关薄层坡地土层厚度对生产力影响的定量研究在国内外鲜有报道。土层厚度是否对生产力造成重要影响, 其影响的机制是什么? 这些问题的回答对于退化紫色土坡地的土壤肥力恢复与重建和区域农业可持续发展具有重要意义。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

研究区域位于四川盆地中部丘陵区, 长江以北, 剑阁、苍溪、仪陇等县以南, 龙泉山以东、华蓥山以西, 包括内江、南充、遂宁、广安、资阳、绵阳、乐山、德阳、成都等 9 个市地 49 个县市^[5]。其土地面积 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中耕地面积占 29.5%, 林地面积占 21.3%, 水域面积占 7.5%。

1.2 研究方法

1.2.1 供试土壤理化性状

供试土壤为蓬莱镇组紫色土, 质地为中壤, 容重 1.32 g/cm^3 , pH 值为 8.43 有机质含量为 9.45 g/kg 全 N 含量为 0.58 g/kg 全 P 含量为 0.54 g/kg 全 K 含量为 20.12 g/kg 田间持水量为 28.3%, 凋萎系数为 7.3%。

1.2.2 土层厚度调查

收稿日期 (Received date): 2009- 05- 11。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目 (KSCX2- YW- N- 46- 11) 和国家支撑计划课题 (2008BAD98B05)。[Supported by Knowledge Innovation Project of CAS (KSCX2- YW- N- 46- 11) and National Key Technology R&D Program (2008BAD98B05).]

作者简介 (Biography): 朱波 (1966-), 男 (汉族), 四川仁寿人, 博士, 研究员。主要从事紫色土农业生态和非点源污染控制研究。[Zhu Bo (1966-), male PH. D. and research professor, engaged in research on agro-ecology and non-point source pollution control]

野外调查了 530个土壤剖面,调查涵盖酸性、中性和石灰性紫色土,主要了解紫色土坡地土层厚度及其分配特征,同时参考四川省第二次土壤普查的骨干剖面记录,土壤层厚度统计 A、B 层的厚度。

1.2.3 土层厚度对生产力的影响

试验在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站的不同土层紫色土坡地试验场开展,不同土层厚度的小区 40个,面积 1 m × 1 m。坡度 7°,设置 5个土层厚度,分别为 20 cm、40 cm、60 cm、80 cm 和 100 cm 各小区施肥种类与用量相同,用于生物观测。同时建有坡度为 7°的不同土层厚度的径流小区,面积为 1.5 m (宽) × 5.0 m (长),土层深度分别为 20 cm、30 cm、40 cm 和 50 cm。在 2006~2007 年开展自然降雨下的田间对比试验。夏季用 TDR 测定表土 (10 cm) 土壤水分变化,测定农作物株高、产量与生物量,根系生物量测定 (根重) 采用挖根法,在作物收获后挖出小麦、玉米全根,洗净烘干后称重。

1.2.4 统计方法

不同土层坡地的农作物生物性状、产量、生物量之间的多重比较采用 LSD 法,相关分析采用皮尔逊相关,通过 SPSS 11.0 完成。

2 结果与讨论

2.1 紫色土坡地土层厚度基本情况

川中丘陵区紫色土坡地土层厚度主要分布在 20~60 cm (图 1), 占所有紫色土的 73%, 其中 20~40 cm、40~60 cm 土层厚度的紫色土分别占 32%、41%, 0~20 cm 紫色土占 16%, >60 cm 的紫色土仅占 11%。中丘、深丘区丘陵顶部土壤厚度大多为 20~40 cm, 一旦丘坡上部坡地坡度 > 10°, 土壤厚度大都在 0~20 cm 间, 丘坡中部土壤厚度大多 (50% 以上) 20~40 cm, 少量 (30%) 为 40~60 cm, 台地

(坡度 < 5°) 土壤厚度一般在 40~60 cm, 丘坡下部一般为 40~60 或 > 60 cm; 浅丘区顶部土壤厚度约为 20~40 cm, 中部土壤厚度 40~60 cm, 台地土壤厚度 40~60 cm, 底部或谷底土壤厚度一般在 40~60 或 60 cm 以上。可见紫色土为薄层土壤, 土层对生产力的影响和制约可能十分重要。

2.2 土层厚度对紫色土坡地作物生长的影响

2.2.1 土层厚度对作物株高的影响

2006~2007 年测得不同土层厚度试验小区冬小麦和夏玉米株高 (表 1、表 2)。苗期小麦株高 16.33~17.03 cm, 分蘖期株高 18.57~20.50 cm, 多重比较结果显示, 两个时期不同土层之间小麦株高差异不显著。不同土层之间小麦株高在拔节期出现显著差异, 20~60 cm 土层小麦株高明显低于 80 cm 和 100 cm 土层, 5 种土层厚度下小麦株高大小顺序为: 80 cm > 100 cm > 60 cm > 40 cm > 20 cm。小麦进入扬花期后以生殖生长为主, 不同土层厚度之间小麦株高的差异与拔节期近似, 呈 100 cm > 80 cm > 60 cm > 40 cm > 20 cm 的顺序, 而 60 cm 以上土层的小麦株高差异不显著, 20 cm 土层小麦株高明显低于其他土层。

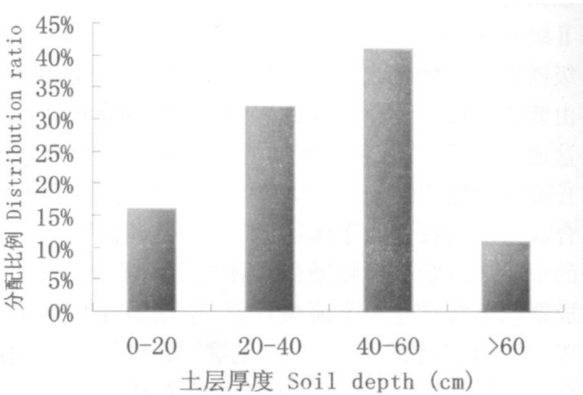


图 1 紫色土土层分配特征

Fig. 1 Purple soil distribution depending on soil depth

表 1 2006~2007 年不同土层紫色土坡耕地冬小麦株高特征

Table 1 Plant heights of wheat in sloping cropland of purple soil under different soil depths (2006~2007) (cm)

土层厚度 (cm)	苗期		分蘖期		拔节期		扬花期	
	平均	标准偏差	平均	标准偏差	平均	标准偏差	平均	标准偏差
20	16.33a	1.55	20.50a	1.42	45.73c	2.79	57.01c	5.12
40	17.03a	1.82	20.41a	1.00	51.96b	2.54	64.59b	2.25
60	16.54a	1.04	19.28a	2.12	54.18b	4.57	72.95a	3.03
80	16.65a	2.01	20.32a	0.60	60.44a	2.79	72.88a	1.45
100	16.54a	1.20	18.57a	0.57	59.68a	2.25	73.94a	4.09

注: 列内不同英文字母表明差异显著 ($p < 0.05$)

表 2 2007年不同土层紫色土坡耕地夏玉米株高特征
Table 2 Plant heights of maize in sloping cropland of purple soil under different soil depths (2007) (cm)

土层厚度 (cm)	三叶期		拔节初期		抽雄期	
	平均	标准偏差	平均	标准偏差	平均	标准偏差
20	13. 42 a	1. 80	123. 75a	3. 70	223. 88b	9. 99
40	14. 01 a	1. 18	129. 00a	4. 03	241. 75a	11. 69
60	13. 85 a	1. 86	134. 00a	10. 92	249. 38a	4. 97
80	13. 97 a	0. 86	131. 75a	12. 25	251. 25a	7. 51
100	13. 40 a	1. 62	143. 50a	12. 39	253. 63a	9. 10

注: 列内不同英文字母表明差异显著 ($p < 0. 05$)

2007年测得不同生长期夏玉米株高(表 2)。三叶期不同土层之间玉米株高在 13. 40~ 14. 01 cm 之间, 差异不明显。拔节初期不同土层之间玉米株高差异也不明显, 株高在 123. 75~ 143. 5 cm 间。至玉米抽雄开花期, 不同土层之间玉米株高出现明显差异, 不同土层小区的玉米株高大小顺序为: 100 cm > 80 cm > 60 cm > 40 cm > 20 cm。多重比较结果显示, 20 cm 土层玉米株高与其他土层差异显著, 而其他 4 种土层差异不明显, 可能与 2007 年夏季雨水偏多, 水分充足有关。

2. 2. 2 土层厚度对农作物产量和生物量的影响

表 3 描述了以 2007 年为例, 不同土层厚度下作物产量。结果表明, 无论是冬小麦还是夏玉米, 作物产量呈现随土层厚度增加而增加的趋势, 且土层厚度在 20~ 60 cm 范围内, 作物产量差异极显著, 当土层深度 > 80 cm 后, 作物产量则无显著差异, 说明土层深厚有利于保水保肥, 促进植株生长发育和干物质积累, 从而增产, 而土层薄, 保水保肥效果差, 容易形成水分胁迫, 降低产量^[6]。收获指数表示作物籽粒产量和地上部生物量的比例, 用以衡量不同小区籽粒累积干物质的能力。结果可见, 夏玉米收获指数较冬小麦高, 随着土层厚度增加, 收获指数也呈增加趋势, 冬小麦季, 100 cm 土层较 20 cm 土层, 收获指数增加了 105. 3%, 夏玉米季则增加了 47. 8%。

图 2 描述了不同土层厚度的紫色土坡地冬小麦和夏玉米的生物量差异。土层厚度为 80~ 100 cm 小区冬小麦生物量无显著差异, 分别达到 768 g/m² 和 788. 5 g/m², 为 20 cm 土层的 2. 29 倍和 2. 35 倍, 存在极显著差异, 40 cm、60 cm 小麦生物量无显著差异, 表明 40 cm 土层可维持正常降雨年冬小麦的正常生长。夏玉米生物量所反映的趋势基本相同, 其生物量随土层厚度增加而显著增加, 其中 80 cm、

100 cm 小区生物量最高且无显著差异, 分别达到 2 511. 7 g/m² 和 2 191. 1 g/m², 分别为 20 cm 土层的 2. 78 倍和 2. 42 倍。但 60 cm 土层的玉米生物量显著高于 40 cm 土层, 表明土层厚度对夏玉米生长的影响更大。20 cm、40 cm 小区夏玉米产量仅为 60 cm 小区的 50%、74%, 80 cm 小区的 28%、40%, 100 cm 小区的 23%、34%。统计分析表明, 冬小麦、夏玉米生物量和产量与土层厚度均呈极显著的相关关系, 相关系数分别为 0. 895、0. 973、0. 963、0. 953。

表 3 2007年不同土层紫色土坡地作物产量
Table 3 Crop yield in sloping cropland of purple soil under different soil depths

土层厚度 (cm)	冬小麦产量 (g/m ²)	冬小麦收获指数	夏玉米产量 (g/m ²)	夏玉米收获指数
20	72. 6 ± 9. 3 d	0. 226	330. 5 ± 23. 5 d	0. 404
40	218. 4 ± 16. 1 c	0. 373	486. 8 ± 59. 6 c	0. 401
60	264. 2 ± 26. 9 b	0. 447	655. 1 ± 38. 1 b	0. 452
80	336. 2 ± 6. 3 a	0. 438	1196. 8 ± 142. 3 a	0. 581
100	344. 8 ± 11. 7 a	0. 464	1419. 2 ± 179. 1 a	0. 597

注: 列内不同英文字母表明差异显著 ($p < 0. 05$)

2. 2. 3 土层厚度对作物根系生长的影响

表 4 列出不同土层小区作物根系重量及其差异性, 结果表明, 土层厚度对小麦根系生长有重要影响, 40 cm 以上的土层厚度对小麦根重无显著差异, 20 cm 土层的小麦根重明显低于其他土层, 可见 40 cm 土层可维持正常降雨年份小麦正常生长。对于夏玉米而言, 20 cm、40 cm 土层的根重与 100 cm、80 cm、60 cm 存在显著差异, 60 cm 及以上土层的玉米根重差异不显著, 可见 60 cm 土层可基本维持夏玉米的正常生长。但无论小麦, 还是玉米, 土层深厚有利于植物根系生长。其他研究也表明根干物质增加,

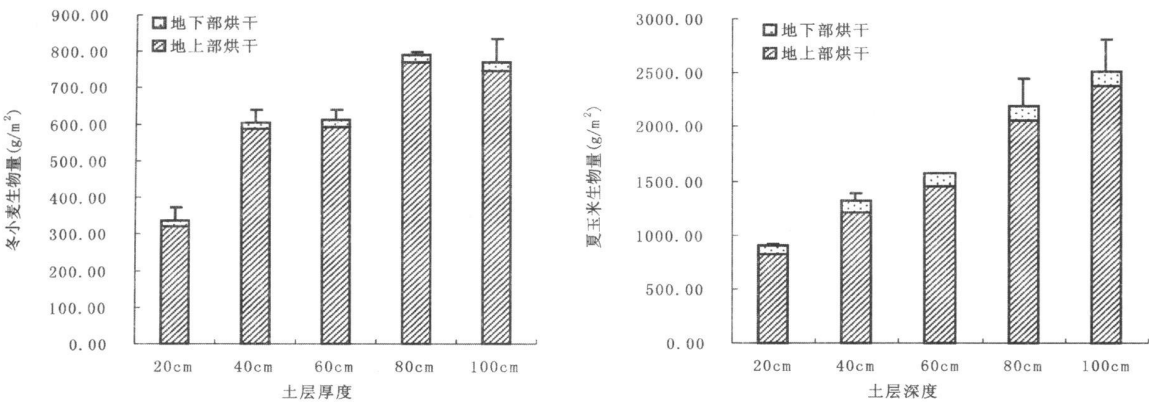


图 2 不同土层厚度紫色土坡地冬小麦和夏玉米生物量

Fig 2 Biomass of wheat and maize in sloping cropland of purple soil under different soil depths

表 4 不同土层厚度紫色土作物根重

Table 4 Crop root weight of purple soil under different soil depth

土层厚度 (cm)	20	40	60	80	100
冬小麦根量 (g/m ²)	14.4±1.39c	18.3±1.36b	20.6±1.77ab	21±1.65ab	21.8±2.56a
夏玉米根量 (g/m ²)	86.7±2.89d	105±17.32c	120.3±8.39ab	127.8±25.45ab	136.1±12.7a

注: 行内不同英文字母表明差异显著 (p<0.05)

促进根系垂直分布重心下移^[7], 更有利于作物利用土壤深层水。

2.3 土层厚度对紫色土坡地蓄水能力的影响

2.3.1 土层厚度对紫色土水分含量的影响

2006- 06~ 07间通过灌溉保持土壤水分饱和(土壤水分含量为 28.4% ~ 30.6%), 测定不同土层小区土壤水分的动态变化(图 3), 以土壤水分达到凋萎点(7.3%)为界, 一次灌水, 20 cm 土层的土壤水分 10 d 不下雨即到水分凋萎点, 仅能维持约 10 d 作物正常生长所需水分, 而 40 cm 土层上升到 15 d, 60 cm 土层能够维持 20 d。土层厚度达到 60 cm, 紫色土才能抵御川中丘陵区的中旱(连续 20 d 干旱)。而当紫色土土层厚度达到 60 cm 以上, 如 80~ 100 cm, 即使伏旱天数长达 30 d 土壤自身蓄存土壤水也能维持作物正常生长(图 3)。

2.3.2 土层厚度对紫色土蓄水的影响

以 2006 年为例(降雨量为 804 mm), 计算不同土层的紫色土蓄水量(表 5), 结果表明, 20 cm 厚紫色土蓄水量仅为 60 cm 厚土壤蓄水量的 1/3 不及 100 cm 厚土壤蓄水的 1/5。20~ 40 cm 厚土层蓄水量远远不能满足作物生长的需要。可见紫色丘陵区雨养农业条件下, 季节性干旱问题突出, 水分是首要限制条件。而土层厚度是土壤水分保蓄的关键^[8],

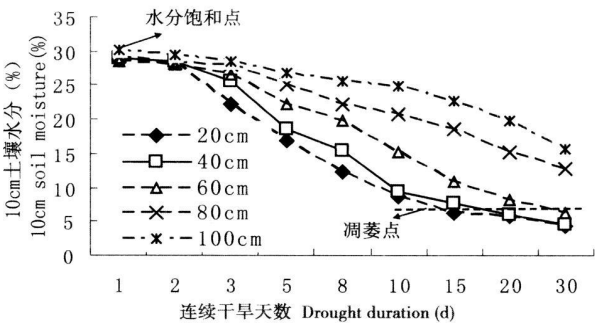


图 3 不同土层紫色土坡地土壤水分变化

Fig. 3 Soil moisture change during the drought period

表 5 2006 年不同土层紫色土蓄水特征

Table 5 Soil water storage in purple soil under different soil depth in 2006

土层厚度 (cm)	20	40	60	80	100
饱和含水率 (%)	29.0	28.4	29.2	29.5	30.6
凋萎系数 (%)	7.1	7.2	7.0	7.3	7.3
有效蓄水量 (%)	21.9	21.2	22.2	22.2	23.3
全土蓄水量 (mm)	35	68	107	143	187

因此也成为紫色土坡地作物生长的重要限制因子, 但超过一定厚度, 土壤则可提供足够的水分供应, 不再成为作物生长的限制, 尽管不同的作物生长的临界土层厚度可能不同, 玉米耗水量大, 其临界土层厚

度高于小麦。但紫色土夏旱、伏旱问题尤为突出, 因此紫色土的临界土层应瞄准抵御夏旱和伏旱, 同时综合作物反应(作物生长、生物量、根重、产量), 其临界土层厚度为 60 cm。

3 结论

紫色土土层浅薄, 大多分布在 20~ 60 cm, 占紫色土耕地面积的 73%。

紫色土坡地土层厚度已成为旱地雨养农业的重要限制因子, 对主要农作物生长和经济产量造成重要影响。导致薄层土壤作物株高、生物量和产量低下的原因一方面是由于土壤自身蓄水量低, 另一方面可能是作物根系生长受限, 影响作物吸收深层土壤水分。

从土壤抵御夏季连续干旱的角度而言, 60 cm 土层厚度可作为紫色土坡地生产力的临界土层厚度。退化紫色土土壤肥力恢复应优先提高土壤厚度, 爆破改土或土地整理应至少提高紫色土土层厚度至 60 cm。

参考文献 (References)

[1] Zhang Benjia, Gao Lan. Thickness of soil layer and its year limitation for resistant erosion in Liaoning province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*. 1997, 4(4): 57~ 59 [张本家, 高岚. 辽宁土壤之土层厚度与抗蚀年限 [J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 57~ 59]

[2] Li Zhongning, Tang Shijia, Zhang Xianwan, et al. Purple Soils in China (1) [M]. Beijing: Science Press, 1991 [李仲明, 唐时嘉, 张先婉, 等. 中国紫色土 (上篇) [M]. 北京: 科学出版社, 1991]

[3] Zhu Bq, Gao Meirong, Li Gangcai, et al. Evolution of agro-ecosystem in the hilly area of the central Sichuan Basin [J]. *Journal of Mountain Science*. 2003, 21(1): 56~ 62 [朱波, 高美荣, 刘刚才, 等. 川中丘陵区农业生态系统的演替 [J]. 山地学报, 2003, 21(1): 56~ 62]

[4] Xu Maoqi, Zhang Daquan. Soil water erosion and its preventive strategies in hilly of the central Sichuan Basin [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1992, 6(4): 35~ 42 [徐茂其, 张大泉. 川中丘陵土壤水力侵蚀及防治对策 [J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 35~ 42]

[5] Chen Ji-cai, Wang Yan, Wang Jian. Study on management technologies and effects of serious erosion area in Hilly Area of central Sichuan [J]. *Soil and Water Conservation of China*. 1997, 2: 29~ 37 [陈家才, 王艳, 王建, 等. 川中丘陵极强度侵蚀区治理技术及效应研究 [J]. 中国水土保持, 1997, 2: 29~ 37]

[6] Shi Yan, Wei Dongbin, Yu Zhenwen, et al. Effects of soil thickness on nitrogen distribution and utilization and yield in dry land wheat [J]. *Acta Pedologica Sinica*. 2001, 38(1): 128~ 130 [石岩, 位东斌, 于振文, 等. 土层厚度对旱地小麦分配利用及产量的影响 [J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 128~ 130]

[7] Shi Yan, Lin Qi. Effects of soil thickness on root dry weight and yield in dry land wheat [J]. *Agriculture Research in Dry Land Area*. 2000, 18(2): 61~ 64 [石岩, 林琪. 不同土层厚度条件下旱地小麦花后根系干重及产量变化 [J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 61~ 64]

[8] Committee Report. Soil science in relation to water resources development III soil moisture conservation [J]. *Soil Sci Soc Amer Proc*. 1969, 33: 480~ 482

Effects of Soil Thickness on Productivity of Sloping Cropland of Purple Soil

ZHU Bq, KUANG Fuhong, GAO Meirong, WANG Taq, WANG Xiaoguo, TANG Jialiang

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

Abstract Soil survey and field comparison experiments on soil thickness were conducted to study productivity characteristics of sloping cropland of purple soil. Results showed 73% of cropland of purple soil distributes in 20~ 60 cm soil. Soil thickness is basic limiting condition for purple soil. The thinner the soil is, lower the crop height, biomass, yield and productivity will be. On the contrary, thicker soil had higher productivity. Soil thickness impacted on summer maize more prominently. Maize yields in plots of 20 and 40 cm were only 50% and 74% of those in 60 cm plot, 28% and 40% in 80 cm plot, 23% and 34% in 100 cm plot, respectively. However, if soil thickness is more than 60 cm, there were no significant differences on crop height, biomass and root weight of both wheat and maize between different treatments of soil thickness. Meanwhile, the cropland with more than 60 cm thick soil will resist the continuous drought for 20 days in summer. So the soil thickness of 60 cm would be a critical thickness for purple soil to maintain stable productivity on hillslope.

Key Words Purple soil, soil thickness, productivity, critical soil thickness