

# 紫色土表土结皮发育特征的试验研究\*

卜崇峰<sup>1,2,3,4</sup> 蔡强国<sup>2†</sup> 程琴娟<sup>2,3,4</sup> 吴淑安<sup>2</sup> 范云涛<sup>2</sup> 马廷<sup>2,3</sup>

西北农林科技大学  
(1) 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

中国科学院水利部  
(2) 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(3) 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(4) 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

**摘要** 通过模拟降雨试验, 探讨了紫色土表土结皮的发育特征。结果表明: 有、无雨滴打击下, 紫色土在 30 min 内均形成稳定结皮层, 厚度约 7~ 8 mm; 淋移作用是紫色土形成结皮的主导作用, 降雨打击使表土在降雨前期迅速形成致密薄层, 抑制了淋移作用并使盖网处理的结皮容重略高; 孔隙的剖面分布对入渗、抗剪强度有较大影响, 表现在发生层总孔隙度低但分布均匀的盖网处理具有更强的入渗能力, 且由于降雨初期未发生致密上层使其抗剪强度略低。

**关键词** 紫色土; 表土结皮; 发育特征; 模拟降雨

中图分类号 S157.1 文献标识码 A

土壤结皮是农耕地土壤普遍存在的一种表层致密现象, 它具有减少降雨入渗、促进产流、改变侵蚀等作用。20 世纪 40 年代以来, 许多学者对不同地区、不同类型土壤的结皮过程及其侵蚀响应做了大量研究工作<sup>[1~5]</sup>。根据是否含有生物的情况, 土壤结皮被分为物理结皮和生物结皮两大类<sup>[6]</sup>; 根据在降雨作用下土壤团聚体分散, 导致土表形成致密薄土层, 还是挟沙水流流经土表时细小颗粒沉积作用而形成结皮的情况, 物理结皮又分为结构结皮 (Structural crust) 和沉积结皮 (Depositional crust)<sup>[7,8]</sup>。但是, 部分学者认为物理结皮的发生也伴有化学作用, 所以“物理”冠词的使用并不合适, 建议使用表土结皮的概念比较合适<sup>[1]</sup>。

虽然表土结皮(物理结皮)还没有一个统一的概念, 但研究人员普遍认为满足以下两个特征即可认为土壤发育了结皮, 即: (1) 雨滴打击、湿润消散、粘粒膨胀和理化分散引起土壤团聚体的分散; (2) 分散的细颗粒重新排列、压实, 土壤表层形成较原始土壤致密的薄土层。可见, 影响团聚体稳定性的所有因素, 都会对结皮的发育产生重要影响<sup>[9]</sup>。研究表明,

有机质含量、含盐量( $\text{CaCO}_3$ , CEC)、交换性钠百分率 (ESP)、土壤质地、矿物类型等都会对团聚体、粘粒的分散、崩解作用产生很大的影响, 进而影响结皮的形成<sup>[10~14]</sup>。此外, 降雨特征如雨滴动能和降雨强度则是影响结皮形成的重要外部因素<sup>[15~17]</sup>。

显然, 当土壤类型(土壤特性)和降雨变化时, 结皮的形成机理、发育特征及其对入渗、侵蚀过程的影响可能发生很大的改变。紫色土是我国南方湿润地区一种重要的土壤类型, 目前对其是否能够形成结皮层或者其结皮的发育特征还未见相关的研究报告。本文通过模拟降雨试验, 初步探讨了紫色土结皮的发育特征及降雨动能对其发育的影响, 研究结果将增加对紫色土结皮的认识。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品采集

紫色土样品采集于四川省南部、阆中、剑阁三县市境内的李子口小流域, 流域面积为 1 963  $\text{hm}^2$  中, 属嘉陵江西河的一条支沟, 主河道长 5.88 km。经实

\* 国家自然科学基金面上项目(40471084)、西北农林科技大学人才基金资助

† 通讯作者: 蔡强国(1946~), 湖北武汉人, 研究员, 从事水土保持与土壤侵蚀研究。E-mail: caiqg@igsrrr.ac.cn

作者简介: 卜崇峰(1977~), 陕西榆林人, 博士, 从事水土保持与 GIS 应用研究, 发表论文 10 余篇

(1) 蔡强国, Shainberg 等. 个人交流. 2005

收稿日期: 2006-02-12; 收到修改稿日期: 2006-08-28

地调查在全流域水土流失面积 881 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 44.88%, 水土流失严重。流域内主要土壤类型为紫色土, 发育于亚热带地区石灰性紫色砂页岩母质土壤。因其物理风化强烈、土质粗而松散且土层浅薄, 当植被稀疏时极易造成严重的水土流失。紫色土因母岩的成土环境很不稳定, 致使土壤发育一直滞留在较年幼阶段, 剖面呈均一的紫色或红紫色, 层次不明显。试验土样采于 5° 缓坡小麦与玉米间作耕地。采集土壤带回室内过 4 mm 筛风干待用, 基本理化性状见表 1 和表 2。

表 1 紫色土的基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the purplish soil

土壤 类型 Soil type	机械组成			阳离子 交换性		有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	质地 Texture
	Mechanical composition			交换量	钠百		
	砂砾	粉粒	粘粒	CEC	分率		
	Sand	Silt	Clay	(mmol kg <sup>-1</sup> )	ESP (%)		
紫色土 Purplish soil	254	620	126	228	0.60	17.2	粉砂 壤土 Silty loam

表 2 紫色土土壤团聚体分析

Table 2 Soil aggregation of purplish soil

土壤 类型 Soil type	测定方法 Method determined	各级团聚体含量				
		Content of aggregates in various levels (g kg <sup>-1</sup> )				
		5~ 2	2~ 1	1~ 0.5	0.5~ 0.25	< 0.25
		mm	mm	mm	mm	mm
紫色土 Purplish soil	干筛 (%) Dry sieving	309.8	316.7	113.2	110.5	149.8
	湿筛 (%) Wet sieving	31.0	37.0	44.0	219.0	670.0

## 1.2 降雨设备

实验在中国农业大学水利与建筑工程学院人工模拟降雨大厅中进行。模拟降雨装置是由一套直立管道、调压器、压力表、向下的两个对喷嘴装置构成; 喷嘴是美国的轴流实心锥形 SPRACO 降雨喷嘴<sup>[18]</sup>。其中, 直立管道高 4.75 m, 水平延伸管长 0.9 m, 架设方法同文献[4]。实验用溅蚀盘为直径 30 cm、高 10 cm 的圆型盘, 盘中心是一直径 10 cm、高 3 cm 的圆型活动装土盘, 盘底部打上小孔。此装置是在 Morgan 溅蚀盘的基础上, 对盛实验用土的内圆盘外半径加宽 1 cm 改进而成<sup>[19]</sup>。本次降雨最终率定压力为左喷头 0.08 MPa, 右喷头 0.07 MPa, 平均

雨强约 10 mm (10 min)<sup>-1</sup>, 36 个率定点均匀系数为 0.955。滤纸法测得雨滴中数直径  $D_{50} = 1.44$  mm, 采用 FOSTER 公式法 ( $e = 0.29 [1 + 0.72 \exp(-0.05i)]$ ) 计算得降雨动能为 27.96 J m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>, 可归为高能降雨<sup>[20]</sup>。

## 1.3 试验设计与指标测定

试验设计两个处理为盖网处理和不盖网处理。其中, 盖网是指在距离溅蚀盘 10 cm 高度处覆盖普通窗纱(孔径约 1 mm × 1 mm), 研究表明这样可以消除雨滴动能的 99.6%<sup>[21]</sup>。通过不盖网处理试验, 认识模拟降雨下, 紫色土结皮在雨滴打击下的自然发育过程; 两个处理比较, 可进一步探讨结皮形成机理。降雨历时均为 120 min, 前 15 min 取样间隔 2.5 min, 15 min 后间隔 5 min, 测算每个时段的溅蚀量、入渗量。贯入仪法<sup>[22]</sup>测算结皮的强度, 涂膜法测定容重<sup>[23~26]</sup>, 各个指标的测定均 3 次重复。最后采集风干结皮剖面样品, 制作土壤薄片, 在偏光显微镜下拍照分析结皮微结构的变化<sup>[27~30]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 结皮层微结构变化

土壤薄片的显微照片、风干土饼端面照片同原始土壤孔隙、结构的对比观察(图 1 和图 2), 可以判断两种处理下紫色土稳定结皮层的厚度均约 7~8 mm。由于试验所用的电子显微镜的有效视野范围约 1.5 mm × 2.0 mm(放大 4 倍), 因此采取分层的办法对结皮发生层进行拍照、分析。具体分为三层分别为: 上层 0~2 mm; 中层 4~6 mm; 下层 8~10 mm。微结构剖面显示, 无盖网时上层发育了致密薄层, 中层有较为剧烈的淋移作用, 下层结构基本没有变化。盖网后, 情况基本相似, 但淋移作用似乎剧烈些。

### 2.2 结皮发生层的容重变化

容重是反映土壤或土壤结皮物理特性的重要指标, 它的变化可以反映表层土壤孔隙状况、水分入渗能力以及抗侵蚀强度的变化<sup>[24]</sup>。测定结皮容重之前, 确定一个合理的取样厚度至关重要。太厚, 结皮层容重的变化可能由于整个土层的容重仅有微弱的变化而被掩盖; 太薄, 则可能由于提前人为结束剖面容重的变化而使形成稳定结皮的时间提前。本研究中, 依据图 1 和图 2, 判定紫色土结皮发育的最大厚度为 7~8 mm。为统一和取样方便起见, 确定 8 mm 为结皮容重取样的标准厚度。这里, 作者称该厚度为“紫色土结皮发生层厚度”, 尽管随土壤、降雨特性

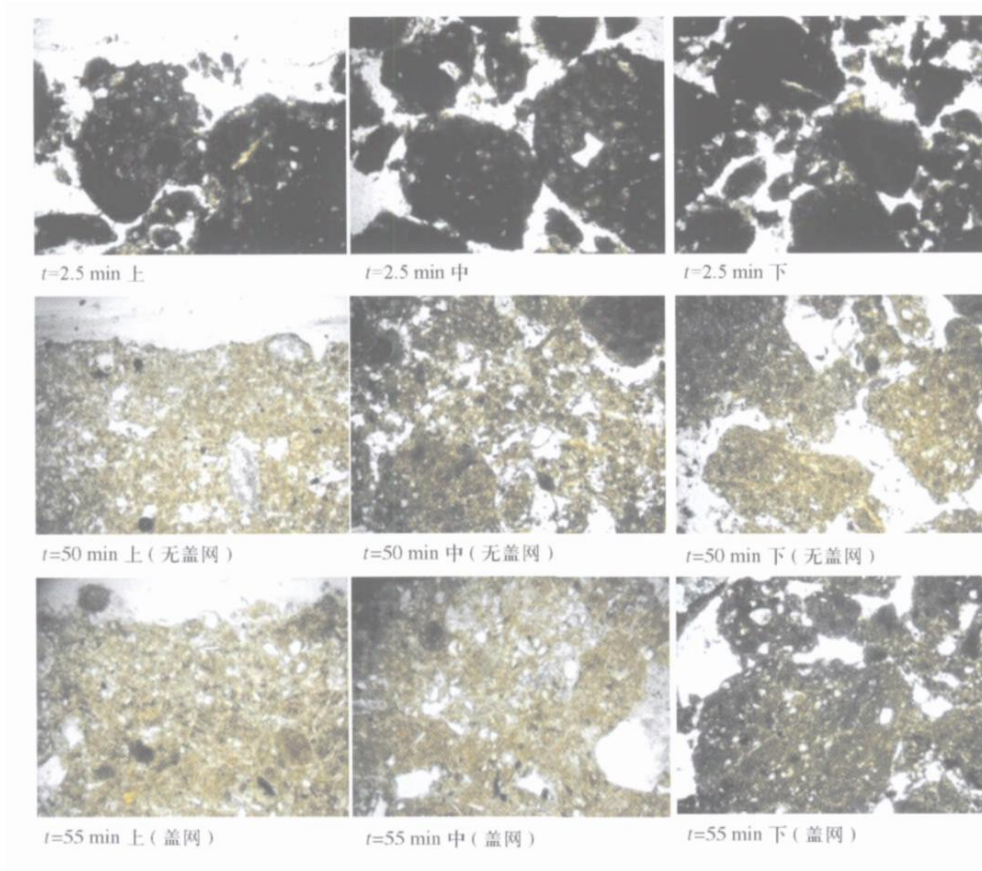


图1 紫色土剖面微结构变化(偏光显微照片,放大4倍,视野1.6 mm×2.0 mm)

Fig. 1 Change in micro structure of purple soil profile (polarization microscope,  $\times 4$ , field of vision 1.6 mm $\times$ 2.0 mm)

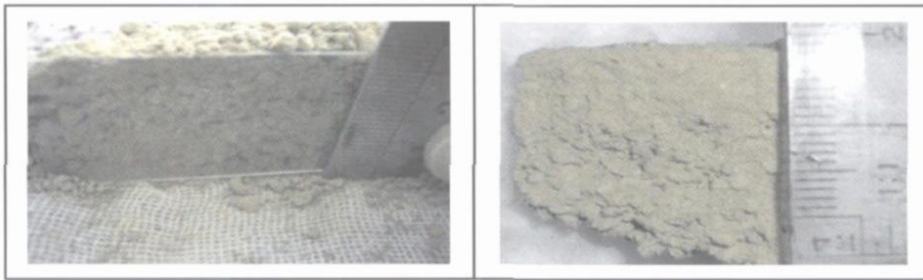


图2 原始土壤与发育稳定结皮紫色土剖面结构比较(数码照片)(无盖网)

Fig. 2 Comparison between the original soil profile and the soil profile with crusts developed in soil structure (digital photo, uncovers treatment)

的不同,发生层的厚度会随之改变。但是,“发生层”概念对土壤结皮的定量研究有重要意义,作者建议在类似研究中推广使用。

60 min 降雨过程中,两种处理的发生层容重均不断增加且有相似的变化趋势(图3)。在0~30 min 时段内,表层容重增加最快,30 min 以后容重呈现稳定趋势。这表明,紫色土结皮在30 min 降雨内,发育基本完成,形成稳定的结皮层。Phillips 认为,土壤有机质大于  $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、交换性钠百分率小于  $8\% \sim 10\%$  时,土壤团聚体才具有相对的稳定性<sup>[12]</sup>。

据此判断紫色土团聚体易被分散,而且其水稳性团聚体含量远远低于团聚体总含量(表2),所以其结皮发育较为迅速。土壤团聚体的分散源于湿润消散、粘粒膨胀、雨滴打击和物理化学弥散四种机制<sup>[31,32]</sup>,盖网及不盖网两种处理的差异主要表现在雨滴打击作用的强弱。一般认为,雨滴打击作用越强,团聚体越易分散、结皮越易形成。然而本研究中,消除雨滴打击后(盖网)紫色土不但发育了稳定的结皮层,而且形成的速度更快、孔隙更少、容重更大。作者推测,由于试验紫色土机械组成中砂、粉粒

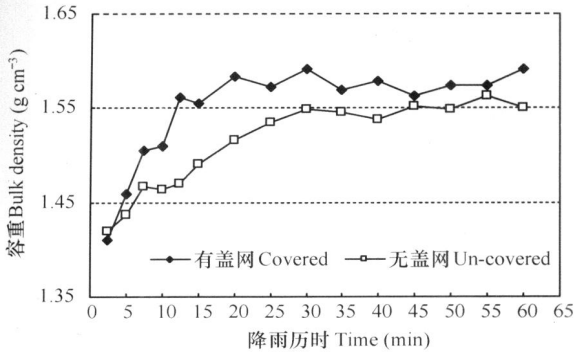


图3 60 min 降雨过程中紫色土结皮发生层容重的变化  
Fig. 3 Variation of bulk density of the crusting layer of the purple soil profile after 60 minutes of rainfall

粗颗粒含量高,其结构骨架大孔隙多,加之其团聚体湿润分散作用剧烈。因此,盖网处理下,土壤颗粒淋移作用强烈,降雨后期发生层的深层孔隙更易被堵塞而变的紧实;相反,无盖网处理下,降雨初期土表迅速形成致密的结皮层,它大大地抑制细颗粒向深层淋移。所以降雨初期二者发生层的容重相当,之后盖网处理下较强的淋移作用使其表现出较大的容重。这一点,作者进一步阐述如下:表土结皮的发育源自三个方面:(1)雨滴打击、翻搅使土层变得致密;(2)湿润分散颗粒的致密作用;(3)细颗粒移动、堵塞的致密作用。根据黄土结皮的研究发现<sup>(1)</sup>:黄土未出现明显的淋移现象,而且仅有湿润作用的土壤下层并未发育结皮层,说明受各向压力的下层土壤既不易分散也不易移动,所以不能形成致密层即结皮,可见雨滴打击、翻搅的分散、重排作用是黄土表层发育结皮的关键。然而,同样的降雨条件下,黄土的稳定结皮层未超过4 mm,说明当前降雨的雨滴打击结皮作用主要集中在在这个剖面深度。据此可以判断与黄土表层抗剪强度相当的紫色土<sup>(1)</sup>,在当前降雨条件下两种土壤的最大扰动深度即稳定结皮层厚度应该相当,但事实是紫色土结皮层厚度达到8 mm。综上可以肯定,两种土壤结皮层厚度的差异既不是湿润作用造成,也非单纯的雨滴打击所致,而是淋移作用的差别导致这样的结果。否则紫色土结皮厚度不但应同黄土的相当,而且盖网后结皮厚度也应小于无盖网处理。因此,尽管在2.1节的土壤薄片微结构照片不能完全直观地反映出两种处理下结皮层剖面的差异,但的确看到紫色土本身强烈的淋移作用,结合后面的强度、入渗的进一步

分析,表明作者的上述推断基本正确。

### 2.3 表层土壤的强度变化

研究表明,贯入仪贯入深度(P)同土壤抗剪强度( $\tau$ )之间存在幂函数关系<sup>[33]</sup>。据此,首先测得某时段的结皮土样在风干过程中,不同土壤含水量对应的贯入深度;根据二者的拟合方程关系,求算每个样品在同一含水量(20%)时对应的深度值,用 $1/P^2$ 换算为强度值 $\tau$ 。分析表明,紫色土结皮的含水率同贯入深度值之间具有很好指数函数关系,  $Y = ae^{bx}$ 。当含水率相等时,降雨历时较长的土样有着较密实的表层,对应着较浅的贯入深度即较高的抗剪强度。

图4反映了不同历时降雨下对应的紫色土结皮强度动态变化。总体上,结皮层的抗剪强度随降雨历时的延长呈递增趋势;0~30 min之间,结皮层强度增加最快,30 min以后增加趋缓并呈现稳定趋势。同容重分析结果类似,结皮强度变化再次表明,0~30 min时段,是紫色土结皮形成的关键时期,30 min以后,雨滴击溅破坏作用同结皮形成作用处于动态平衡阶段,稳定结皮层形成。此外,我们发现盖网处理在12.5 min之后结皮层的强度明显高于不盖网处理,这与容重的分析结果吻合,即较为致密的结

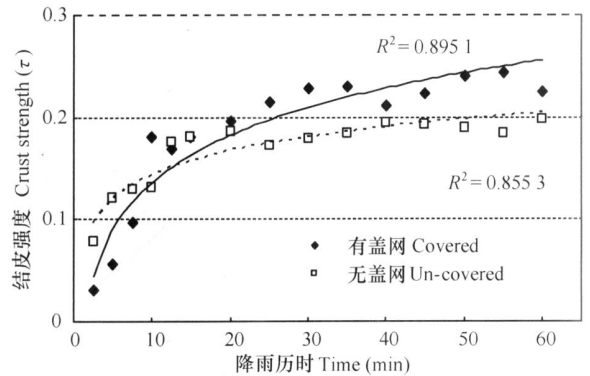


图4 紫色土结皮强度随降雨历时的变化  
Fig. 4 Variation of purple soil shear strength with the process of rainfall

皮层对应着较高的抗剪强度。但12.5 min之后,结皮强度则略低于后者。原因是:盖网处理淋移作用剧烈,结皮发生层容重较高,但如2.2节的分析降雨初期发生层上层仍然较不盖网的上层疏松,后期上层趋于一致,中下层盖网处理高出。可能由于贯入仪贯入深度更多的受上层的影响,因此降雨初期盖网的抗剪强度略低,降雨后期略高。这也表明:容重的变化反映了整个发生层的总体结构变化,而抗剪

(1) 崇峰,表土结皮的发育机理及其侵蚀效应研究,中国科学院博士学位论文,2006

强度还受结构剖面变异的影响。

## 2.4 结皮发育与入渗过程

图5显示,盖网处理发生层较大的容重(较小的孔隙度)却对应着较高的入渗量。作者认为,这还是由于发生层剖面的土壤微结构较大的空间变异性,即无盖网发生层有极为致密的上部薄层并在一定程度上阻碍了水分的入渗,从而对应了较低的降雨入渗能力;而盖网处理下,没有产生极为致密的上部薄层,因而虽然总孔隙度较小但分布均匀,这样雨水较容易入渗进入土壤,从而对应了较高的降雨入渗能力。综合上述结皮层微结构、容重、抗剪强度以及入渗的变化特征,可以肯定紫色土不仅在30 min内迅速发育厚约7~8 mm的稳定结皮层,更具有强淋移作用与发生层结构、孔隙剖面变异大的发育特点。

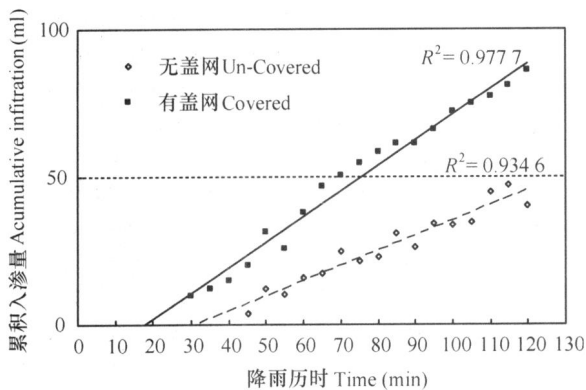


图5 两种处理下紫色土入渗能力比较

Fig. 5 Comparison between the two treatments in soil infiltration

## 3 结论

30 min 降雨内,伴随着发生层孔隙的不断减小、表面强度的不断增加等含水量,盖网、不盖网处理下紫色土均形成厚度约7~8 mm 稳定结皮层;淋移作用对紫色土结皮的形成具有重要作用,并导致盖网处理(消除雨滴打击动能)的发生层容重高于不盖网处理。总体上,盖网处理的发生层总孔隙度低,但分布均匀;不盖网处理虽然总孔隙度大,但表层有更为致密的薄层、孔隙剖面分部变异大,因此容重较大的盖网处理对应着较高的累积入渗量,并且降雨初期表现出较低的抗剪强度。微结构、容重、抗剪强度以及入渗的变化特征共同反映,紫色土结皮的形成不仅有强淋移作用的贡献而且具有发生层结构剖面变异大的发育特点。

**致谢** 本研究的试验阶段,得到了中国科学院地理科学与资源研究所方海燕、郑明国、崔明、袁再健、董文福博士,华中农业大学王彩峰、秦杰硕士,中国科学院成都山地灾害研究所原立峰博士,中国农业大学夏强硕士,交通部环境保护中心彭令发硕士,西北农林科技大学吴淑芳博士、吉利娜、何玲硕士的大力帮助,在此一并致谢!

## 参考文献

- [1] Morin J, Winkel van J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 1 223~ 1 227
- [2] Wakindiki L I C, Berr Hur M. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration, and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 897~ 905
- [3] 蔡强国, 陆兆熊. 黄土发育表土结皮过程和微结构分析的试验研究. *应用基础与工程科学学报*, 1996, 4(4): 363~ 370. Cai Q G, Luk S H. Experimental study of surface crusts process and microfabric analysis on loess soil (In Chinese). *Journal of Basic Science and Engineering*, 1996, 4(4): 363~ 370
- [4] 朱远达, 蔡强国, 胡霞, 等. 土壤理化性质对结皮形成的影响. *土壤学报*, 2004, 41(1): 13~ 19. Zhu Y D, Cai Q G, Hu X, et al. Effects of soil physical and chemical properties on soil crusting (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 13~ 19
- [5] 唐泽军, 雷廷武, 张晴雯, 等. 雨滴溅蚀和结皮效应对土壤侵蚀影响的试验研究. *土壤学报*, 2004, 41(4): 632~ 635. Tang Z J, Lei T W, Zhang Q W, et al. Quantitative determination of the impact factors of raindrop splash and crust on soil erosion with REE experimental data (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 632~ 635
- [6] 崔燕, 吕貽忠, 李保国. 鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质. *土壤*, 2004, 36(2): 197~ 202. Cui Y, Lu Y Z, Li B G. Physico-chemical properties of soil microbiotic crust on erdos plateau (In Chinese). *Soils*, 2004, 36(2): 197~ 202
- [7] Singer M J, Singer M J. Physical properties of arid region soils. In: Skujins J. ed. *Semiarid Lands and Deserts: Soils Resource and Reclamation*. New York: Marcel Dekker, 1991. 81~ 109
- [8] Chen Y, Tarchitzky J, Brouwer J, et al. Scanning electron microscope observations on soil crusts and their formation. *Soil Sci.*, 1980, 130: 49~ 55
- [9] Mamedov A I, Shainberg I, Levy G J. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi arid Israeli soils. *Soil & Tillage Research*, 2002, 68: 121~ 132
- [10] Kemper W D, Koch E J. Aggregate stability of soils from western USA and Canada. USDA Technical Bulletin No. 1355. US Government Printing Office, Washington D C, 1966
- [11] Kay B P, Angers D A. Soil structure. In: Sumner M E. ed. *Handbook of Soil Science*. New York: CRC Press, 1999. 229~ 269
- [12] Phillips C P, Robinson D A. The impact of land use on the erodibility of dispersive clay soils in central and southern Italy. *Soil Use Mgmt.*, 1998, 14: 155~ 165

- [13] Abu Sharar T M, Bingham F T, Rhoades J D. Stability of soil aggregates as affected by electrolyte concentration and composition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, 51: 309~ 314
- [14] Li Z X, Cai C F, Shi Z H, *et al.* Aggregate stability and its relationship with some chemical properties of red soils in subtropical China. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 129~ 136
- [15] Jiang Z S, Liu Z. Effect of natural raindrop impact on loess crust, infiltration and erosion. *Proceedings of the 4th International Symposium on River Sedimentation*. Beijing: China Ocean Press, 1989
- [16] Agassi M, Morin J, Shainberg I. Effect of raindrop impact energy and water salinity on the infiltration rate of sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 186~ 190
- [17] 吴发启, 范文波. 土壤结皮与降雨溅蚀的关系研究. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 1~ 3. Wu F Q, Fan W B. Study on relationship of soil crust and rainfall splash (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(3): 1~ 3
- [18] Luk S H, Athol D, Abrahams, *et al.* A simple rainfall simulator and trickle system for hydro geomorphological experiments. *Physical Geography*, 1986, 7(4): 344~ 356
- [19] 蔡强国, 陆兆熊. 黄土发育表土结皮过程和微结构分析的试验研究. *应用基础与工程科学学报*, 1996, 4(4): 363~ 370. Cai Q G, Luk S H. The experimental study of surface crusts process and microfabric analysis on loessial soil (In Chinese). *Journal of Basic Science and Engineering*, 1996, 4(4): 363~ 370
- [20] Agassi M, Morin J, Shainberg I. Effect of raindrop impact energy and water salinity on the infiltration rate of sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 186~ 190
- [21] 郑粉莉. 黄土区坡耕地细沟间侵蚀和细沟侵蚀的研究. *土壤学报*, 1998, 35(1): 95~ 103. Zheng F L. Study on the rill and interill erosion in the Loess Plateau region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(1): 95~ 103
- [22] 陆兆熊, 蔡强国. 黄土表土结皮强度和溅蚀试验研究. 见: 陈永宗, 等. 中加项目—晋西黄土高原侵蚀规律试验研究文集. 河南: 水利电力出版社, 1990. 58~ 67. Luk S H, Cai Q G. The experimental study on the loessial soil shear strength and splash erosion. In: Chen Y Z. ed. *Sino Canadian Symposium of Experimental Researches on the Law of Soil Erosion in the Loess Plateau Region, Western Shanxi* (In Chinese). Henan: Irrigation Works and Power Press, 1990. 58~ 67
- [23] Blake G R, Hartge K H. Bulk density. In: Klute A. ed. *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI: ASA and SSSA, 1986. 363~ 375
- [24] Saleh A. Soil aggregate and crust density prediction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57: 524~ 526
- [25] 蔡崇法. 涂膜法测定黄土表面结皮的容重. 见: 陈永宗, 等. 中加项目—晋西黄土高原侵蚀规律试验研究文集. 河南: 水利电力出版社, 1990. 45~ 48. Cai C F. The measurement of bulk density of soil surface crusting with polychloroethylene coated on Loess. In: Chen Y Z. ed. *Sino Canadian Symposium of Experimental Researches on the Law of Soil Erosion in the Loess Plateau Region, Western Shanxi* (In Chinese). Henan: Irrigation Works and Power Press, 1990. 45~ 48
- [26] 范文波, 李小娟. 涂膜法测定黄土结皮容重. *山西水土保持科技*, 2001, 3: 9~ 10. Fan W B, Li X J. The measurement of bulk density of loessial surface crust (In Chinese). *Shanxi Soil and Water Conservation*, 2001, 3: 9~ 10
- [27] 曹升庚. 土壤微形态研究指南. 北京: 农业出版社, 1987. 187~ 195. Cao S G. *Manual of Study on the Micro morphology of Soil* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1987. 187~ 195
- [28] 何毓蓉, 黄成敏, 宫阿都. 中国紫色土的微结构研究——兼论在ST制土壤基层分类上的应用. *西南农业学报*, 2002, 15(1): 65~ 69. He Y R, Huang C M, Gong A D. Approach to microstructure of purple soils in China—Concurrent study on its application in lower category of soils of soil taxonomy (In Chinese). *Southwest China Journal of Agriculture Sciences*, 2002, 15(1): 65~ 69
- [29] 孙国忠. 实用岩矿制片技术. 北京: 石油大学出版社, 1993. Song G Z. *Technology of Execution of Rock and Mine Thin Section* (In Chinese). Beijing: Petroleum University Press, 1993
- [30] 于长富. 岩矿制片工艺. 北京: 地质出版社, 1978. Yu C F. *Technics of Rock and Mine Thin Section* (In Chinese). Beijing: Geology Press, 1978
- [31] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.*, 1996, 47: 425~ 435
- [32] Le bissonnais Y, Amouays D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Soil Sci.*, 1997, 48: 39~ 48
- [33] 陆兆熊, 陈浩, 王贵平. 黄土抗剪力及可蚀性的时空变化规律. 见: 陈永宗, 等. 中加项目—晋西黄土高原土壤侵蚀规律试验研究文集. 河南: 水利电力出版社, 1990. 1~ 11. Luk S H, Chen H, Wang G P. The temporal and spatial variations of loessial soil erodibility and shear strength. In: Chen Y Z. ed. *Sino Canadian Symposium of Experimental Researches on the Law of Soil Erosion in the Loess Plateau Region, Western Shanxi* (In Chinese). Henan: Irrigation Works and Power Press, 1990. 1~ 11

## DEVELOPMENT OF SOIL CRUST ON THE SURFACE OF PURPLISH SOIL

Bu Chongfeng<sup>1,2,3,4</sup> Cai Qiangguo<sup>2†</sup> Cheng Qinjuan<sup>2,3,4</sup> Wu Shu'an<sup>2</sup> Fan Yuntao<sup>2</sup> Ma Ting<sup>2,3</sup>

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, CAS& MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

(3 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(4 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** Soil crusts hinder water infiltration rate, thus increasing runoff and triggering soil erosion. Purplish soil is one of the most important types of soil in China and readily erodible. To study how soil crust is formed helps us understand how soil erosion proceeds and construct a physical erosion model. In recent years, works have been reported on characteristics and models of soil erosion in the purplish soil region of China. However, still not much is known about formation of soil crusts and its effect on soil erosion process in purplish soil. In order to understand development of soil crusts on the surface of purplish soil and acquire scientific data for erosion risk assessment, a group of experiments were conducted. In the laboratory, two treatments (uncovered and covered with nets) were designed for samples of purplish soil collected in Lizikou Catchment, Sichuan Province. They were subjected to simulated rainfall. Results show that the purplish soil developed a stable layer of crust, 7~8 mm thick in 30 minutes; mechanical illuviation is the main factor of soil crusting, which was weakened by raindrops that beat the surface soil stimulating formation of a thin compacted layer; distribution of soil pores affects water infiltration and shear strength, which was demonstrated in the covered treatment where the total porosity was low, but evenly distributed, while the water permeability was high, because no compacted layer was formed at the initial stage of the rainfall, thus lowering shear strength.

**Key words** Purplish soil; Surface crust; Development characteristics; Simulated rainfall