

# 白浆土某些物理性质的研究

## II. 土壤抗剪强度及脆性

刘婷婷<sup>1</sup>, 匡恩俊<sup>2</sup>, 高中超<sup>2</sup>, 刘 峰<sup>3</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 黑河分院, 黑龙江 黑河 164300; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与  
环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为探究白浆土机械物理性质,以黑龙江东部岗地白浆土为供试土壤,采用现场试验法和钢材脆性仪测定了白浆土原状土壤的抗剪强度和脆性。结果表明:白浆土内聚力白浆层最大,依次为淀积层、耕层;土壤粘着力淀积层最大,依次为白浆层、耕层;土壤外摩擦角由耕层向淀积层呈逐渐增加趋势。土壤水分升高,内聚力和内外摩擦角均有降低趋势;而土壤粘着力则相反。白浆土耕层土最易被破碎,白浆层居中,淀积层难以破碎。耕层和淀积层土壤在含水量低于塑性界限值阶段,破碎土壤所消耗的能量随土壤含水量增加而增加,并在土壤塑限值附近形成峰值,之后随土壤含水量增加而降低。破碎白浆层土壤所消耗的能量随土壤含水量增加而降低。破坏土壤时形成大小不一的土块,大块比率随土壤水分增加而增加。耕层土壤易破碎成较小的土块和土屑;白浆层土壤居中,淀积层不易破碎。

**关键词:**白浆土;土壤水分;抗剪强度;脆性;土块分布

**中图分类号:**S155.2<sup>+</sup>6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2012)05-0040-04

白浆土是我国北方重要的耕地土壤资源之一,主要分布在黑龙江和吉林两省的东部。据统计,黑龙江省白浆土耕地面积占全省总耕地面积的7.1%。典型的白浆土层次分异明显:第一层是黑土层,平均厚度为15~20 cm,有机质丰富,适合于作物的生长发育;第二层是白浆层,平均厚度18~22 cm,土壤紧实、片状结构,是作物根系生长的障碍层次;第三层是淀积层,平均厚度45~55 cm,小核状结构,土质粘重;第四层是母质

层,为黄色粘土,厚度5~11 m。以往研究资料多为改良白浆土方面的报道<sup>[1-8]</sup>,而与白浆土机械物理性质相关的研究文献很少<sup>[9]</sup>。该文研究了白浆土抗剪强度、脆性及其与土壤水分的关系。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

现场调查和取样地点在黑龙江省国营农场总局红兴隆管理局853农场二分场四队,土壤类型为岗地白浆土。土壤物理特性见表1。

表1 供试白浆土的物理性质

Table 1 Physical characteristics of planosol

土壤 Soil	土层 Soil layer	深度 /cm Depth	三相率/% Three phases			孔隙度 /% Porosity	容重 /g·cm <sup>-3</sup> Bulk density	饱和导水率 /cm·s <sup>-1</sup> Permeability	黏粒/% (<0.001 mm) Clay
			固相 Solid	液相 Liquid	汽相 Air				
岗地白浆土	耕层 Ap	0~27	45.7	34.8	19.2	54.0	20.66	2.45×10 <sup>-4</sup>	20.66
Highland	白浆层 Aw	27~45	64.1	34.5	1.4	35.9	20.89	6.08×10 <sup>-5</sup>	20.89
planosol	淀积层 B	45~65	59.3	33.1	7.6	40.7	44.90	4.44×10 <sup>-7</sup>	44.90

#### 1.2 方法

1.2.1 土壤剪切试验 土壤剪切试验采用日本DIK剪切试验仪[图1(a)]测定不同垂直压力下

的土壤的抗剪切力和摩擦力,并计算出土壤的内摩擦角、外摩擦角。测定时,根据试验目的选择不同的环安装在仪器支架上,把环放在事先修平的土壤平面上,使环与土壤充分接触,剪切试验用有突起的剪切环[图1(b)]、摩擦试验用平面摩擦环[图1(c)]。首先在不施加压力(P=0)的状态下转动转矩扳手,纪录最大读数(T),以后每次增加5 kg·cm<sup>-2</sup>压力,记录不同P值下的T值,再根据公式(1)计算出垂直应力。

收稿日期:2012-02-02

第一作者简介:刘婷婷(1983-),女,黑龙江省哈尔滨市人,学士,研究实习员,从事土壤改良研究。E-mail:ttl83123@163.com。

通讯作者:刘峰(1957-),男,黑龙江人,博士,研究员,从事土壤改良研究。

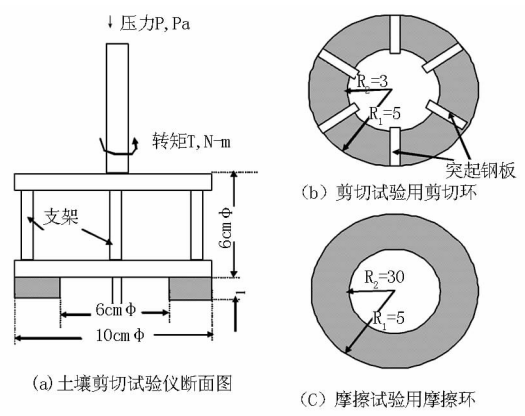


图 1 土壤剪切试验仪器基本结构  
Fig. 1 Structure of soil single shear tester

$$\sigma = \frac{P}{2\pi(R_1^2 - R_2^2)} \quad (1)$$

其中  $\sigma$  为垂直应力 (Pa),  $R_1$  为环外径 = 0.05 m,  $R_2$  为环内径 = 0.03 m

转矩扳手测得的  $T$  值可以通过公式 (2) 计算出剪切应力或摩擦应力。

$$\tau = \frac{3T}{2\pi(R_1^3 - R_2^3)} \quad (2)$$

其中  $\tau$  为剪切应力或摩擦应力 (Pa),  $T$  为测定的转矩 (N·m) (牛顿米)。

通过回归分析计算出土壤的内、外摩擦角以及土壤的内聚力和粘着力。

1.2.2 土壤脆性 采用钢材脆性试验仪<sup>[10]</sup>测定土壤脆性,其基本结构见图 2,包括仪表盘、剪切锤和支架等部分。

试验时,先将供试的土壤制成不同含水量的土柱( $\varphi 2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ,测定样品重量为  $M_0$ ),放在仪器台上,用剪切锤击碎土柱样品,计算击碎土样

所耗能量。其计算公式为:

$$Ef = MpgR(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (3)$$

$Ef$  为能量 (N·m),  $G$  为重力加速度 =  $9.8\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,  $Mp$  为剪切锤质量 = 1.99 kg,  $R$  为剪切锤旋转半径 = 0.333 m,  $\alpha$  为打击前剪切锤的角度 (deg),  $\beta$  为打击后剪切锤角度 (deg)。

每次打击后收集散落的土样碎块,逐一称取重量,按照重量大小分为四个级别:

- 碎屑:  $M_0 < 0.1$
- 小块:  $0.1 \leq M_0 < 0.2$
- 中块:  $0.2 \leq M_0 < 0.3$
- 大块:  $M_0 \geq 0.3$

计算各分级的百分比。供试的土柱制作方法为:将风干的土壤样品加蒸馏水调至接近液限水分,搅拌后压入特制的塑料管内,取出后阴干至不同水分状态,备试验用。同一条件下的试验重复 3~4 次。

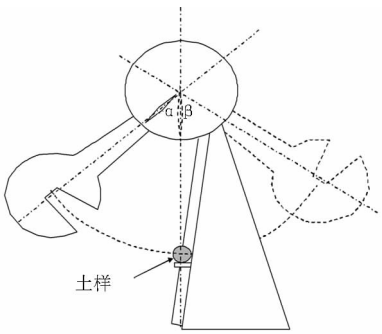


图 2 土壤破碎试验仪  
Fig. 2 Charpy shock tester

## 2 结果与分析

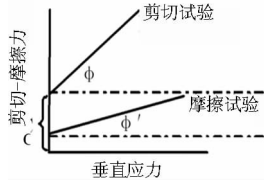
### 2.1 抗剪强度分析

表 2 中土壤内聚力和粘着力,是指在垂直应力

表 2 白浆土土壤剪切应力分析

Table 2 Analysis on soil shear stress of planosol

土层 Soil layer	自然含水量/% Moisture content	内聚力 (C)/kPa Cohesions	内摩擦角 ( $\varphi$ )/° Angle of internal friction	土壤-金属粘着力 (C')/kPa Adhesion	外摩擦角 ( $\varphi'$ )/° External friction angle
耕层 Ap	26.2	38.0	45.0	3.9	8.0
白浆层 Aw	20.6	55.0	36.0	4.2	17.5
淀积层 B	25.0	40.0	39.0	6.0	18.3
耕层 Ap	38.5	20.0	34.0	4.5	7.7
白浆层 Aw	25.0	45.0	46.0	5.7	16.4
淀积层 B	31.0	30.0	31.0	6.6	17.2



注:  $\tau = C + \sigma \tan \varphi$ .  $\tau$ : 剪切应力;  $C$ : 内聚力;  $\sigma$ : 垂直应力;  $\varphi$ : 内摩擦角;  $\tau' = C' + \sigma \tan \varphi'$ ;  $\tau'$ : 摩擦应力;  $C'$ : 摩擦力;  $\sigma$ : 垂直应力;  $\varphi'$ : 外摩擦角。  
Note:  $\tau = C + \sigma \tan \varphi$ .  $\tau$ : Shear stress;  $C$ : Cohesions;  $\sigma$ : Vertical stress;  $\varphi$ : Angle of internal friction;  $\tau' = C' + \sigma \tan \varphi'$ ;  $\tau'$ : Friction stress;  $C'$ : Friction;  $\sigma$ : Vertical;  $\varphi'$ : External friction angle.

等于0的条件土壤的抗剪切应力和土壤—金属环之间的摩擦应力。前者反映了土壤颗粒之间的结合力,后者则反映了土壤和金属之间的粘着力。从表2可看出,白浆层土壤内聚力最大,淀积层次之,耕层最小。土壤粘着力淀积层最大,依次为白浆层、耕层。各土层内摩擦角变化在 $31^{\circ}\sim 46^{\circ}$ ,无规律性;土壤外摩擦角由耕层向淀积层呈逐渐增加趋势。从2次不同土壤水分条件下的测定结果看出,土壤水分升高,内聚力和内外摩擦角均有降低趋势;而土壤粘着力则相反。

## 2.2 破碎性分析

由图3白浆土不同层次土壤水分与消耗能量关系可看出,破碎耕层土(Ap)消耗能量最少,表明耕层土壤脆性最强,白浆层(Aw)居中,淀积层土(B)在低水分状态下较容易破碎,高水分时难以破碎,土壤脆性最弱。耕层和淀积层土壤在低于塑限含水量(Ap:PL=27.2%,B:PL=26.1%)时,消耗能量随土壤含水量增加而增加,并在塑限附近形成峰值。超过塑限含水量,破碎土壤所消耗的能量随土壤含水量增加而降低。而白浆层(Aw:PL=18.3%)土壤却未表现出这种特点,随着土壤水分增加,消耗能量下降。表明土壤脆性随土壤含水量增加而增加。

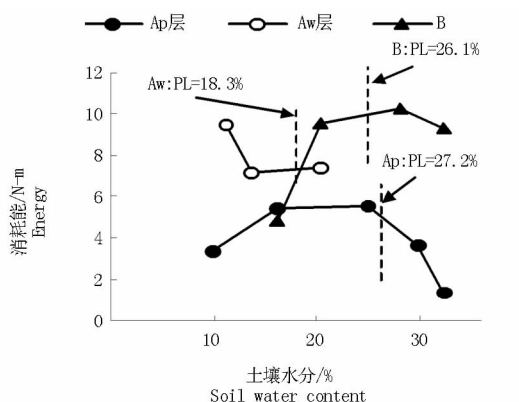


图3 土壤水分与破碎土壤耗能量的关系

Fig. 3 Relation ship between soil water content and energy as a function of soil

从图4不同土层破碎后的土块组成状况可看出,各土层随土壤水分增加,破碎时所形成的大、中土块比例增加。耕层土壤在破碎时产生的大土块比例低,其次是白浆层土壤,淀积层土壤产生的土块最多。

综合图3,图4可以推论:在机械耕作深度仅限于耕层土壤时,在土壤含水量较低条件下作业,

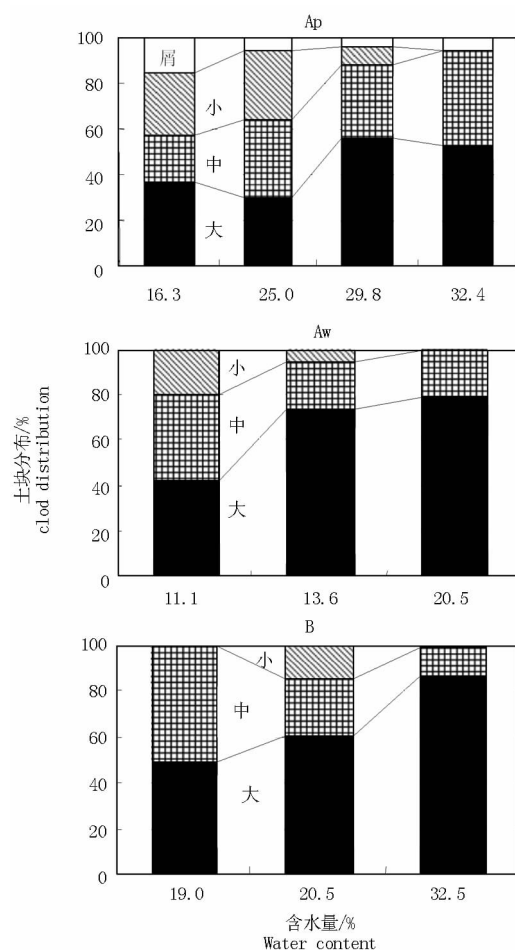


图4 土壤水分条件与土块分布关系

Fig. 4 Relationship between soil water condition and clod distribution

耕作阻力小,碎土效果好;以打破白浆层为目的耕作时,土壤含水量对总耕作阻力影响不明显,但是含水量低,破碎白浆层效果好;如果耕作是以混拌白浆层和淀积层为目的机械作业,土壤含水量低,耕作阻力小,碎土效果佳,混层效果好。

## 3 结论与讨论

在岗地白浆土进行现场剪切试验结果表明,白浆层土壤内聚力最大,淀积层次之,耕层最小。土壤粘着力淀积层最大,依次为白浆层、耕层。土壤外摩擦角由耕层向淀积层呈逐渐增加趋势。土壤水分高,内聚力和内外摩擦角均有降低趋势;而土壤粘着力则相反。

材料力学认为,钢性物体在受到外力破坏时会产生断裂或变形,前者称为材料的脆性断裂,后者称材料的为塑性屈服。切断材料的瞬间所需要的能量大小直接反映了材料脆性的强弱,脆性强

的材料需要能量小,反之,需要能量大。土壤在受到外力破坏时表现脆性强度的强弱,一方面取决于土壤质地、结构和有机质含量等因素,同时也受土壤含水量大小的影响。当土壤含水量低于塑限值,表现为脆性;土壤含水量在塑限和流限之间,则表现为塑性。此外,由于土壤不是刚体,在受到破坏时,不会像普通钢体材料那样形成断裂,而是破碎成若干个小的土块。通过对土壤破碎性研究,了解机械破碎白浆土时土壤水分与消耗的能量大小以及破碎后的土块组成情况。结果表明,耕层土(Ap)最易被破碎,白浆层(Aw)居中,淀积层(B)难以破碎。耕层和淀积层土壤在含水量低于塑性界限值阶段,破碎土壤所消耗的能量随土壤含水量增加而增加,并在土壤塑限值附近形成峰值,之后随土壤含水量增加而降低。破碎白浆层土壤所消耗的能量随土壤含水量增加而降低。

各土层破坏土壤时形成的土块大小分布,随土壤水分增加,大土块比率增加。耕层土壤易破碎成较小的土块和土屑;白浆层土壤居中,淀积层不易破碎。当机械耕作深度仅限于耕层土壤时,在低土壤含水量条件下作业,耕作阻力小,碎土效果好;耕作以打破白浆层为目的时,土壤含水量对

总耕作阻力影响不明显,但是含水量低,破碎白浆层效果好;如果耕作是以混拌白浆层和淀积层为目的,土壤含水量低,耕作阻力小,碎土效果佳。

#### 参考文献:

- [1] 张福元,蒋素范,张之一. 白浆土改良盆栽试验报告[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1991(2):27-36.
- [2] 张之一,张元福. 黑龙江省白浆土形成机理及改良途径[J]. 黑龙江省八一农垦大学学报,1987(2):13-23.
- [3] 张之一,翟瑞常,侯雪坤. 白浆土的农化性状[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1994(4):1-8.
- [4] 刘峰,张玉龙,贾会彬,等. 三段式心土混层犁及其改良白浆土效果研究[J]. 农业工程学报,2001(5):57-61.
- [5] 匡恩俊,刘峰,贾会彬,等. 心土培肥改良白浆土的研究 I 白浆土心土培肥的效果[J]. 土壤通报,2008(5):1106-1109.
- [6] 匡恩俊,刘峰. 心土培肥改良白浆土的研究 II 心土对作物产量的贡献及磷、钙培肥心土的效果[J]. 土壤通报,2011(4):191-195.
- [7] 匡恩俊,刘峰,郭文义. 心土培肥改良白浆土后效调查[J]. 黑龙江农业科学,2008(3):56-59.
- [8] 匡恩俊,刘峰,朱迟. 不同改土物料对白浆土磷吸附解吸的影响[J]. 土壤,2009(5):772-776.
- [9] 贾会彬,刘峰,赵德林,等. 白浆土某些理化性状与改良的研究[J]. 土壤学报,1997,34(2):130-137.
- [10] Japanese Society of Mechanical Engineers. Handbook of mechanical engineering[M]. Tokyo:Sanmi Press,1977.

## Study on Physical Characteristics of Planosol

### II. Soil Shear-strength and Brittleness

LIU Ting-ting<sup>1</sup>, KUANG En-jun<sup>2</sup>, GAO Zhong-chao<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>3</sup>

(1. Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe, Heilongjiang 164300; 2. Soil Fertilizer and Environment Resource Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Heilongjiang Agricultural Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** To explore the physical characteristics of planosol, the highland planosol in east of Heilongjiang province was taken as textured soil, anti-shear strength and brittleness of planosol were determined and analyzed. The results showed that the cohesion of albic soil layer was the biggest in planosol, followed by the deposition layer soil and topsoil. Soil adhesion of deposition layer soil was the biggest in planosol, followed by the albic soil layer and topsoil. The external friction angle of soil was increasing from topsoil to deposition layer. The cohesion and friction angle of soil were reduced when soil moisture increased, soil adhesion opposite. Topsoil was most easily broken in planosol, deposition layer soil hard to be broken. When water content of topsoil and the deposition layer soil was lower than soil plastic limit stage, the energy consumption of crushing soil increased with soil water content increasing, and it formed the peak stage when it was up to the soil plastic limit. The energy consumption of crushing soil decreased with soil water content increasing, it formed different sized clod when the soil was destroyed, large clod ratio increased with soil water content, topsoil was easily broken into smaller blocks and soil crumbs, deposition layer soil was not easily broken.

**Key words:** planosol; water content; anti-shear strength; brittleness; clod distribution