

黔中白云岩坡耕地土壤界限含水量 与机械组成量化关系研究

徐永服, 高华端, 杨海娇, 黄朝海

(贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 对黔中白云岩坡耕地土壤界限含水量与机械组成量化关系进行研究, 为该区坡耕地土壤侵蚀过程机理研究提供科学依据。[方法] 通过对野外采集土样、室内试验及 SPSS 软件分析。[结果] 白云岩区坡耕地土壤塑限与土壤黏粒含量、粉粒含量和细砂粒含量都表现出正相关性, 而与粗砂粒的含量表现出负相关性; 白云岩区坡耕地土壤液限与土壤黏粒含量、粉粒含量和细砂粒含量的增加而随之增加, 而随粗砂粒的含量增加而减少; 白云岩区坡耕地土壤液性指数与土壤黏粒的含量具有显著正相关性, 而与粗砂粒的含量具有显著负相关性; 白云岩区坡耕地土壤机械组成与土壤的塑性指数无显著相关性。[结论] 土壤机械组成与界限含水量关系密切, 黔中白云岩区坡耕地土壤界限含水量值可以通过土壤机械组成得出。

关键词: 黔中; 坡耕地; 机械组成; 界限含水量; 量化研究

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)04-0087-05

中图分类号: S152.3

文献参数: 徐永服, 高华端, 杨海娇, 等. 黔中白云岩坡耕地土壤界限含水量与机械组成量化关系研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 87-91. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.014. Xu Yongfu, Gao Huaduan, Yang Haijiao, et al. Quantitative relationship between soil moisture and mechanical composition of dolomite slope land in Central Guizhou Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 87-91.

Quantitative Relationship Between Soil Moisture and Mechanical Composition of Dolomite Slope Land in Central Guizhou Province

XU Yongfu, GAO Huaduan, YANG Haijiao, HUANG Chaohai

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] Studying the quantitative relationship between soil boundary water content and mechanical composition of dolomite slope farmland in Central Guizhou Province, which provided scientific basis for the study of soil erosion process mechanism of sloping farmland in this area. [Methods] Field sampling, laboratory test and analysis by SPSS software. [Results] In the dolomite area of the slope farmland, the relationship of the plastic limit with the soil clay content, powder content and fine sand content has a positive correlation, but has a negative correlation with the content of coarse sand; the soil liquid limit increases with the increase of soil clay content, but reduces with the increase of coarse sand. The soil liquid index was positively correlated with soil clay content, but negatively correlated with coarse sand content, and there is no significant correlation between the soil mechanical composition and the plastic index of the soil. [Conclusion] The soil mechanical composition of the slope farmland in dolomite area of Central Guizhou Province is closely related to the limit water content, the soil moisture content can be obtained by soil mechanical composition.

Keywords: sloping farmland; mechanical composition; boundary water content; quantitative research; Central Guizhou Province

收稿日期: 2018-05-24

修回日期: 2018-06-05

资助项目: 国家自然科学基金项目“喀斯特坡耕地浅层孔(裂隙)水水文过程及土壤侵蚀过程响应机制”(41671275)

第一作者: 徐永服(1993—), 男(汉族), 贵州省威宁县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠防治。E-mail: 1301397582@qq.com。

通讯作者: 高华端(1965—), 男(汉族), 贵州省贵阳市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事区域水土保持与环境研究。E-mail: gdghd110@163.com。

土壤机械组成是研究土壤其他方面所必须掌握的基本属性之一,土壤机械组成对土壤的其他物理和化学性质产生巨大的影响。邓廷飞等^[1]研究贵州典型山银花土壤机械组成与养分特性关系得出砂粒含量与有机质、碱解 N、全 N 含量表现出负相关性;高华端等^[2]通过对贵州省主要的几类地面组成物质发育的土壤进行对比研究地面组成物质与土壤机械组成的关系,得出地面组成物质对土壤机械组成有显著性影响;李卓^[3]研究得出土壤机械组成对土壤的入渗能力、土壤蓄水能力有较大影响,入渗能力随土壤黏粒含量增加递减,土壤蓄水能力随黏粒含量增加而递增;史锟等^[4]研究得出土壤机械组成与有机碳含量呈现显著的相关关系;张素^[5]研究冲沟不同部位土壤机械组成及抗冲性差异得出砂粒含量是影响 3 类冲沟各部位土壤抗冲性的主要指标;唐炎林等^[6]研究西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力 2 种土壤的全 N、全 P、全 K 与砂粒含量呈负相关,与粉粒、黏粒呈正相关;潘琇等^[7]研究得出黏粒含量与土壤有机质、全氮含量,砂粒含量与土壤有机质含量之间均存在显著相关关系,砂粒含量与阳离子交换量之间均存在极显著相关关系;庄雅婷等^[8]的研究崩岗红土层土壤液塑限特性与极细砂粒和黏粒含量呈二项式关系;朱慧鑫等^[9]分析得出花岗岩崩岗不同层次间的土壤液塑限差异显著;花可可等^[10]通过液塑限联合测定试验和快速剪切试验得出黏粒和有机质是影响土壤液塑限的重要因素。坡耕地是中国西南喀斯特地区的主要耕作类型之一,对于坡耕地的土壤侵蚀的研究是非常多的,土壤机械组成对界限含水量到底有什么关系,针对白云岩坡耕地土壤机械组成与界限含水量的相关性研究基本没有相关报道,因此,本研究以黔中坡耕地白云岩发育的土壤为对象,分析讨论坡耕地土壤机械组成对界限含水量的影响,具有一定的独创性和前沿性,研究结果将会对白云岩区坡耕地的土壤侵蚀过程机理研究以及坡耕地土壤的液塑限快速获取具有重要的理论意义和应用价值。

1 研究方法

1.1 研究区概况

地理位置为 106°27′—106°52′E, 26°11′—26°34′N, 国土总面积 815.41 km², 该区属于亚热带湿润温和型气候, 夏无酷暑、冬无严寒, 夏季平均温度为 23.2 ℃^[11], 花溪区地处云贵高原苗岭山脉中段, 位于长江水系乌江与珠江水系西江的分水岭地带, 海拔 1 030~1 326 m, 以中低山丘陵、河谷、盆地为主。花溪区土壤多为酸性黄壤土和石灰土, 有一小部分紫色土和水稻土; 受基岩性质影响较深的石灰土和紫色土

与黄壤呈复区分布, 喀斯特坡耕地主要为石灰岩母质和白云岩母质。

1.2 试验样品的采集

试验于 2017 年 8 月选择贵州省贵阳市花溪区白云岩发育的典型坡耕地贵惠大道沿线两侧坡耕地为取样点, 并在坡耕地下设置 40 个 5 m×5 m 的样方, 并在样方内随机挖取土壤坡面, 采用环刀法分别取耕作层的土壤, 并在野外利用烘干法(本试验采用酒精灼烧法)测定土壤的自然含水量, 每个土样 3 次重复, 求取平均值为该土样的自然含水量; 所采集的样品带回室内进行测定土壤的机械组成和液塑限的测定。

1.3 坡耕地土壤机械组成测定方法

土壤机械组成使用湿筛—吸管法(NY/T1121.3-2006)测定出土壤的机械组成, 根据 1930 第二届国际土壤学会上通过的“国际制”及实际情况将土粒分为了 4 个粒级, 分别为黏粒(<0.002 mm)、粉粒(0.002~0.02 mm)、细砂粒(0.02~0.25 mm)和粗砂粒(0.25~2 mm)。

1.4 坡耕地界限含水量的测定方法

采用液塑限联合测定法(GB/T50123-1999)测定土壤的界限含水量, 通过液塑限测定然后按下式计算塑性指数和液性指数:

$$I_p = W_L - W_P \quad (1)$$

$$I_L = (W - W_P) / I_p \quad (2)$$

式中: I_p ——塑性指数; I_L ——液性指数; W_L ——液限(%); W_P ——塑限(%); W ——天然含水量(%)。

2 结果分析

2.1 土壤机械组成与界限含水量特性

由表 1 可以看出, 白云岩区坡耕地土壤粗砂粒含量平均为 27.17%, 砂粒平均值为 29.96%, 粉粒含 36.46%, 黏粒含量 6.35%。由此说明白云岩发育的土壤砂粒含量比较高, 黏粒含量非常小, 土壤孔隙度大, 在降雨过程中雨水渗透比较快, 土粒伴随下渗水流往地下土层不断迁移, 坡耕地土壤侵蚀主要以地下漏失为主。白云岩区坡耕地土壤塑限平均值为 20.20%, 液限平均值为 26.76%; 塑性指数平均值 0.07, 液限指数平均值为 1.54。白云岩区坡耕地土壤塑性指数小于 0.16, 且土壤液限均小于 50%, 属于砂壤土。因此若降雨小而持续时间较短, 白云岩区坡耕地土壤容易达到塑限值, 土壤容易出现水土流失。

2.2 机械组成与界限含水量的相关性检验

由表 2 可知, 土壤的机械组成与土壤的塑限、液限、液性指数有及其显著的相关性, 与土壤的塑性指

数无显著相关性。说明土壤机械组成对土壤的塑限、液限、液性指数有显著的影响 ($p < 0.01$), 机械组成对土壤的塑性指数影响较小或者说基本没影响。可能的原因在于塑性指数等于液限减塑限, 由分析可知当土壤中的黏粒含量不断增加土壤的液塑限都不断增加, 但在增加的过程中塑限的增幅远大于液限的增幅, 故而出现塑性指数与黏粒含量出现负相关性。

表 1 土壤机械组与界限含水量的特性

指标	样本数	最大值	最小值	平均值	标准差
0.25~2 mm 土粒/%	40	56.95	3.34	27.17±2.50	15.81
0.02~0.25 mm 土粒/%	40	41.11	13.87	29.96±1.04	6.60
0.002~0.02 mm 土粒/%	40	46.12	20.39	36.46±1.20	7.57
<0.002 mm 土粒/%	40	11.31	2.00	6.35±0.40	2.54
土壤塑限/%	40	27.96	12.53	20.20±0.63	4.01
土壤液限/%	40	34.40	19.97	26.76±0.64	4.05
土壤塑性指数	40	5.950	-0.776	1.541±0.281	1.779
土壤液性指数	40	0.193	0.029	0.073±0.005	0.033

2.3 土壤机械组成对界限含水量的影响

2.3.1 土壤机械组成对土壤塑限的影响 机械组成状况是影响土壤抗蚀性的重要因素。颗粒组成越细小的土壤, 土壤黏结力就越强, 在一定程度土壤容易形成团聚体, 其抗崩解的能力也就越高^[12]。由图 1

可以看出, 白云岩区坡耕地土壤塑限与土壤黏粒含量、粉粒含量和细砂粒含量表现出正相关性, 而与粗砂粒的含量表现出负相关性。黏粒含量与塑限表现出正相关性, 这与撞雅婷等^[8]对崩岗红土层土壤和朱慧鑫等^[9]对鄂东南花岗岩崩岗剖面土壤研究结论相似, 原因可能在于随着土壤黏粒的增加, 土体的比表面积也不断增加, 其吸附能力就越强, 需要吸附更多的水分子才能将颗粒表面完全覆盖, 从而形成吸附水膜, 影响土体塑性特征^[13]; 出现砂粒含量与塑限表现出负相关性的原因可能是随着砂粒含量的不断增加, 土壤形成了一个松散的固相骨架, 砂粒增多而黏粒较少, 土粒间孔隙度不断加大, 内部排水也加快, 蓄水量不断减少, 水分由大空隙扩散至土体表面而大量流失, 从而土壤的塑限也就随之下降。

表 2 土壤机械组与界限含水量的相关性检验

指标	土粒含量			
	0.25~2 mm	0.02~0.25 mm	0.002~0.02 mm	<0.002 mm
土壤塑限	-0.901**	0.847**	0.834**	0.911**
土壤液限	-0.676**	0.633**	0.607**	0.665**
土壤塑性指数	0.163	-0.163	-0.170	-0.205
土壤液性指数	-0.648**	0.663**	0.549**	0.721**

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

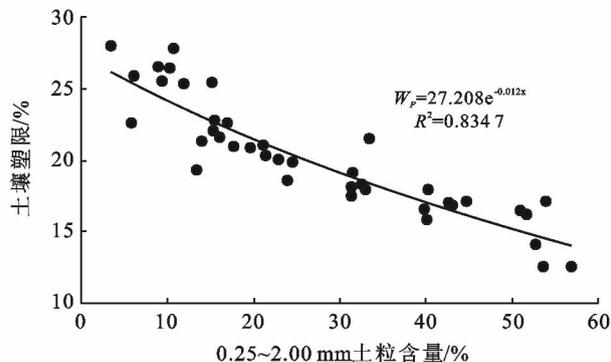
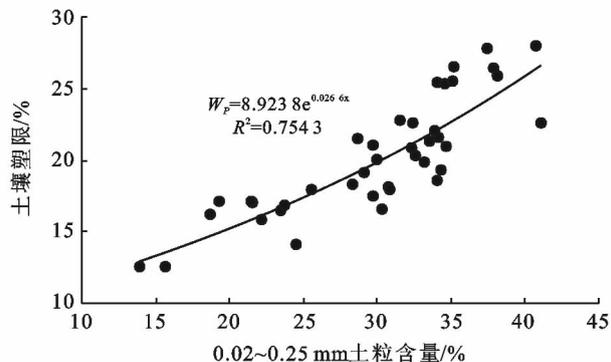
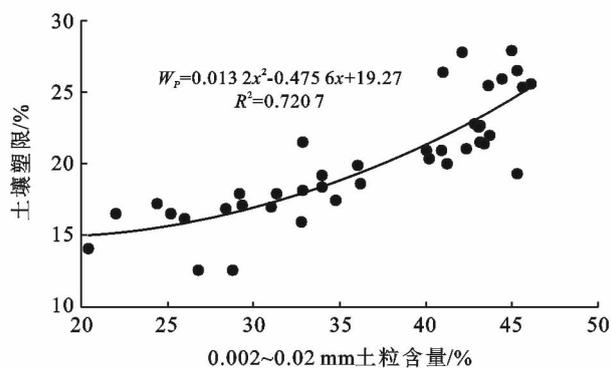
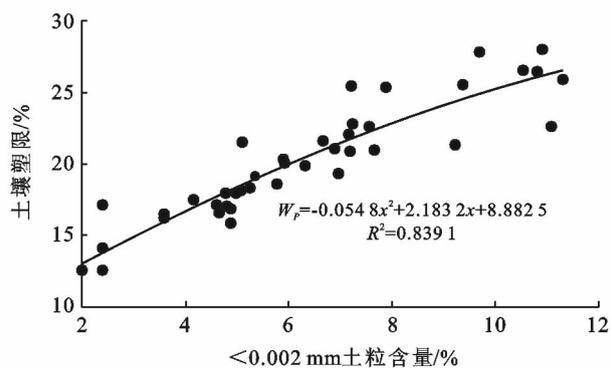


图 1 土壤机械组成对土壤塑限的影响

2.3.2 土壤机械组成对土壤液限的影响 液限指的是土壤呈液态流动的最低含水量。对液限与土壤机

械组成各粒级所占比例进行函数模拟分析可知(图 2), 白云岩区坡耕地土壤液限与土壤黏粒含量、粉粒

含量和细砂粒含量的增加而随之增加,这与花可^[11]对紫色土和水稻土研究得出的结论相似,都表现出正相关性,这可能是由于随着土壤黏粒的增加,土壤的整个骨架变得更加紧实黏结,土粒间的空隙数目增多且变狭小,大量的非活性孔阻止了毛管水移动,当降雨来临时雨水难以下渗而且排水困难,土壤的疏水性和排水性能不断下降,土壤渗透系数不断变低,保水性能增加,进而相应提高了土壤液限值。而

随粗砂粒的含量的增加表现出不断减小的趋势,随粗砂粒的增加表现出负相关性的可能原因在于机械组成中砂粒含量的不断增加,增大了土壤的孔隙度和土壤的毛管空隙,毛管水上升高度小,保水效果变差,从而影响了土壤的液限值;当降雨小于或等于土壤的下渗能力的时候,水土流失主要以地下流失为主。以上分析结果表明黔中白云岩区坡耕地土壤中,当砂粒的土粒含量增加时,土壤液限将减小。

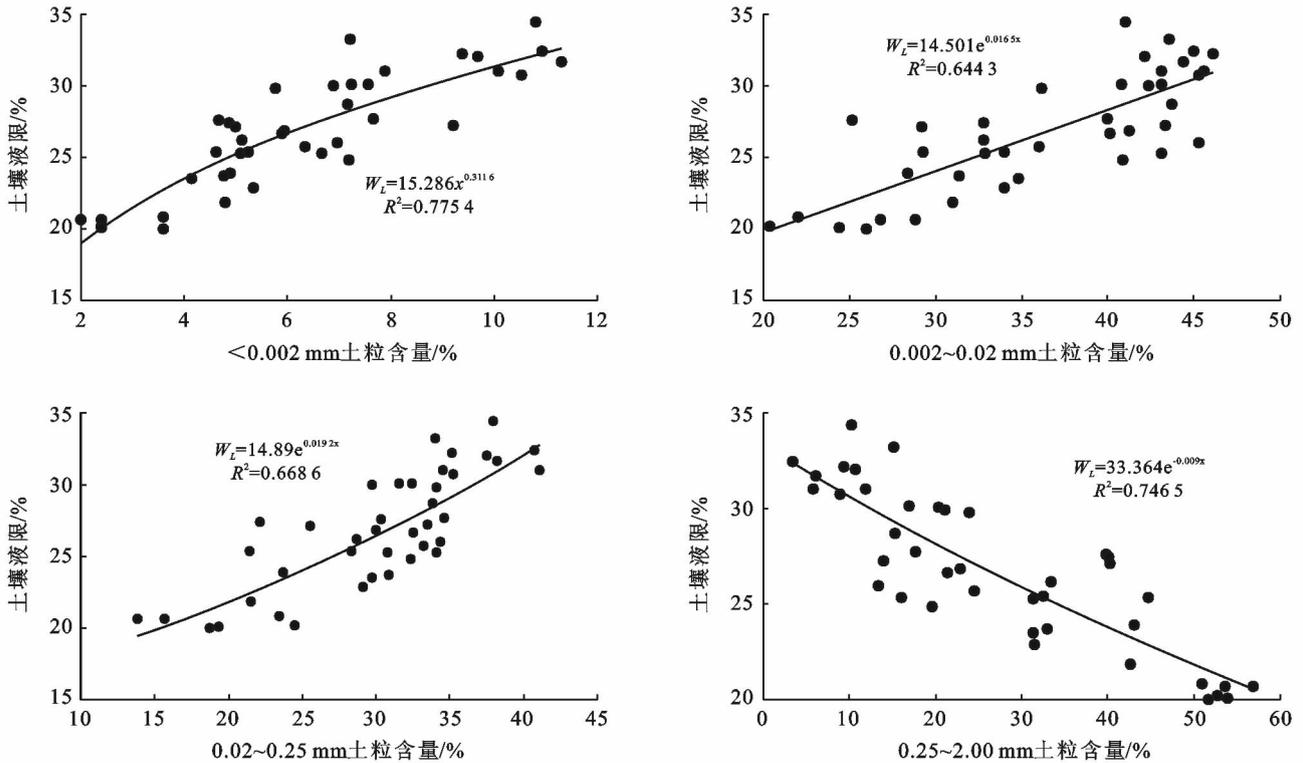


图 2 土壤机械组成对土壤液限的影响

2.3.3 土壤机械组成对土壤液性指数的影响 液性指数表示土壤天然含水量与界限含水量之间的相对关系,塑性指数表示了土壤在可塑状态下含水量的变化范围。

由图 3 可以看出,白云岩区坡耕地土壤液性指数与土壤的黏粒、粉粒、细砂粒的含量具有显著的正相关性,而土壤塑性指数与粗砂粒的含量具有显著的对数函数关系,出现显著正相关的原因可能在于随着土壤黏粒含量的增加,土壤中的 Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5 , K_2O 的相对含量不断增加,相反土壤中

的 SiO_2 相对减少,导致土壤的粒径减小,土壤颗粒的吸湿量,持水量、毛管持水量也不断增加,故而增加了土壤的液性指数。

2.3.4 土壤界限含水量与土壤机械组成方程拟合关系 由表 3 可以看出,量化模拟的 3 个方程的相关系数都达到显著水平,说明拟合的方程可以较准确地描述土壤塑限、液限值和液性指数与土壤机械组成中各粒级土壤含量的相关关系。今后研究过程中只要知道白云岩发育的坡耕地土壤的机械组成便可利用公式求算土壤的界限含水量。

表 3 土壤液塑限和各影响因素拟合关系

界限含水量	模拟方程	显著性
土壤塑限	$W_p = -0.0137 X_1^2 + 0.5458 X_1 + 0.0033 X_2^2 - 0.1189 X_2 + 2.231 e^{0.0266 X_3} + 6.802 e^{-0.012 X_4} + 7.04$	<0.01
土壤液限	$W_L = 3.8215 X_1^{0.3116} + 3.6253 e^{0.0165 X_2} + 3.7225 e^{0.0192 X_3} + 8.341 e^{-0.009 X_4}$	<0.01
土壤液性指数	$I_L = 0.0122 X_1^2 - 0.0323 X_1 + 0.0004 X_2^2 + 0.0032 X_2 + 0.0028 X_3^2 - 0.1118 X_3 + -0.4825 \ln(X_4) + 2.6861$	<0.05

注: X_1, X_2, X_3, X_4 分别代表 <0.002 mm 土粒含量、 $0.002 \sim 0.02$ mm 土粒含量、 $0.02 \sim 0.25$ mm 土粒含量、 $0.25 \sim 2$ mm 土粒含量。下同。

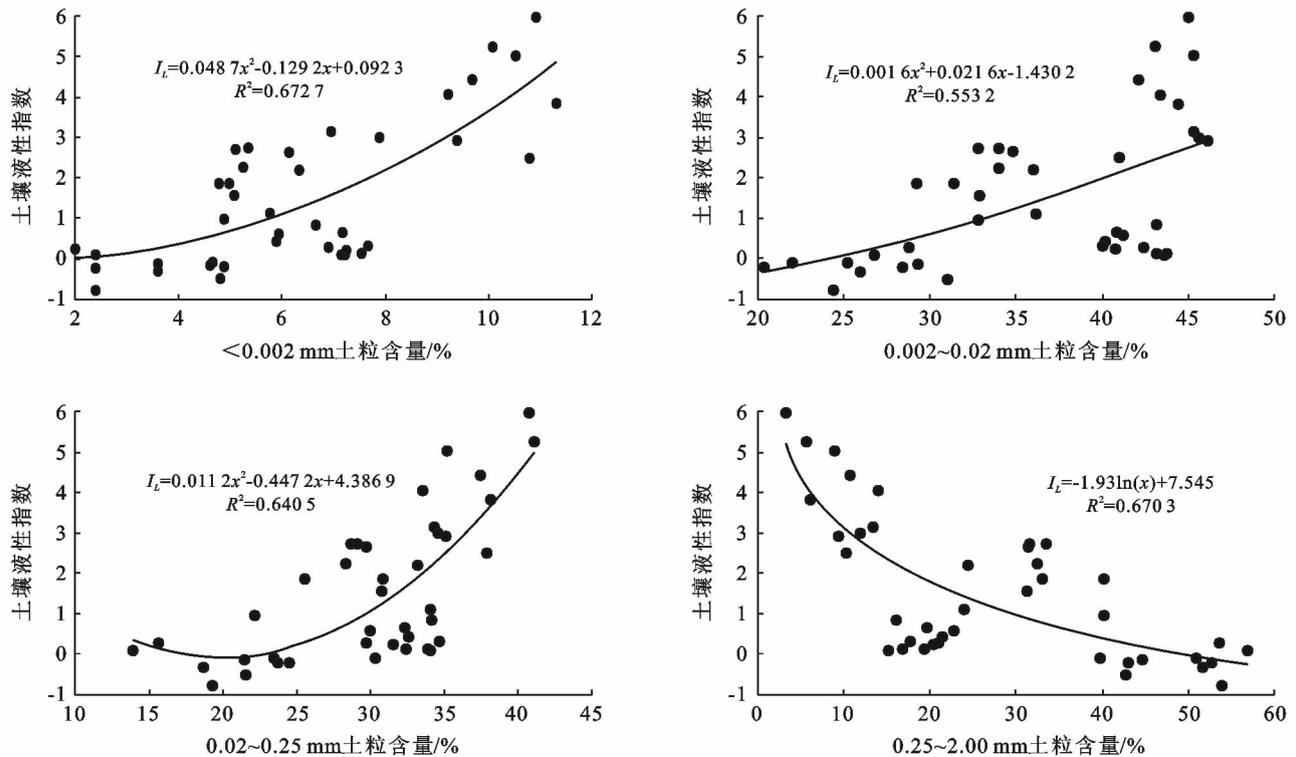


图3 土壤机械组成对土壤液性指数的影响

3 结论

白云岩坡耕地土壤塑限与土壤黏粒含量、粉粒含量和细砂粒含量表现出正相关性,而与粗砂粒的含量表现出负相关性;白云岩坡耕地土壤液限与土壤黏粒含量、粉粒含量和细砂粒含量的增加而随之增加,而随粗砂粒的含量的增加而减少;白云岩坡耕地土壤液性指数与黏粒的含量具有显著正相关性,而与粗砂粒的含量具有显著负相关性;土壤塑限与土壤机械组成量化模拟方程为: $W_p = -0.0137X_1^2 + 0.5458X_1 + 0.0033X_2^2 - 0.1189X_2 + 2.231e^{0.0266X_3} + 6.802e^{-0.012X_4} + 7.04$;土壤液限与土壤机械组成量化模拟方程为: $W_L = 3.8215X_1^{0.3116} + 3.6253e^{0.0165X_2} + 3.7225e^{0.0192X_3} + 8.341e^{-0.009X_4}$;土壤液性指数与土壤机械组成量化模拟方程为: $I_L = 0.0122X_1^2 - 0.0323X_1 + 0.0004X_2^2 + 0.0032X_2 + 0.0028X_3^2 - 0.1118X_3 + -0.4825\ln(X_4) + 2.6861$ 。

[参考文献]

[1] 邓廷飞,刘彦,颜秋晓,等. 贵州典型山银花土壤机械组成与养分特性及其关系[J]. 水土保持学报,2014,28(5):209-214.

[2] 高华端,刘应明. 贵州省地面组成物质对土壤机械组成的影响[J]. 中国水土保持科学,2009,7(6):58-62.

[3] 李卓. 土壤机械组成及容重对水分特征参数影响模拟试

验研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009.

[4] 史锟,陈卓. 宜居山地土壤机械组成对有机碳含量的影响[J]. 中国农学通报,2008(8):274-278.

[5] 张素,熊东红,校亮,等. 冲沟不同部位土壤机械组成及抗冲性差异[J]. 土壤,2016,48(6):1270-1276.

[6] 唐炎林,邓晓保,李玉武,等. 西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(1):70-75.

[7] 潘琇,王亮,谢拾冰,等. 温州稻田耕层土壤机械组成与理化性状的相关研究[J]. 浙江农业科学,2009(6):1194-1197.

[8] 庄雅婷,黄炎和,林金石,等. 崩岗红土层土壤液塑限特性及影响因素研究[J]. 水土保持研究,2014,28(3):211-216.

[9] 朱慧鑫,邓羽松,夏振刚,等. 鄂东南花岗岩崩岗剖面土壤液塑限特征及影响因子分析[J]. 中国水土保持科学,2016,14(5):1-7.

[10] 花可可,魏朝富,任镇江. 土壤液限和抗剪强度特征值及其影响因素研究:基于紫色土区[J]. 农机化研究,2011(6):105-110.

[11] 孙谦,邹丽梅. 贵阳市花溪区湿地生态服务功能价值评价[J]. 湖南林业科技,2016,43(2):97-101.

[12] 郑粉莉,唐克丽,周佩华. 坡耕地细沟侵蚀影响因素的研究[J]. 土壤学报,1989,26(2):109-116.

[13] 董均贵,季春生. 粒径对液塑限的影响及影响机理研究[J]. 工程建设,2017,49(3):13-17.