

文章编号: 1008 - 2786 - (2012) 3 - 308 - 06

海南橡胶林土壤物理性质的空间变异性

赵庆辉^{1,2,3}, 祝飞¹, 林钊沐³, 吴鹏豹¹, 解钰^{1,*}, 吴蔚东¹

(1. 海南大学农学院, 海南 海口 570228; 2. 南京大学连云港高新技术研究院, 江苏 连云港 222069;
3. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 农业部橡胶树生物学重点开放实验室,
国家重要热带作物工程技术研究中心, 海南 儋州 571737)

摘 要: 以海南长期深沟盖草培肥后的橡胶园土壤为对象, 分析土壤物理性质的空间分异特征。结果表明: 施肥沟壁容重最低, 平均为 1.29 g/cm^3 , 比施肥沟沟底低 0.11 g/cm^3 , 比萌生带低 0.20 g/cm^3 ; 施肥沟沟壁毛管持水量最高, 平均为 51.43% ; 施肥沟沟壁渗透性系数最高, 10°C 时渗透系数 K_{10} 平均为 1.51 ; 施肥沟沟壁大团聚体 ($>250 \mu\text{m}$) 平均含量最高。深沟盖草培肥能够改善土壤团粒结构, 增加土壤结构稳定性, 使施肥沟沟壁土壤物理性状最好。

关键词: 橡胶; 土壤物理; 空间变异

中图分类号: S152

文献标识码: A

天然橡胶是极为重要的战略物资, 对于我国经济、工业、农业、国防等领域的发展极为重要。海南天然橡胶种植面积已达 $43.77 \times 10^4 \text{ km}^2$, 年产干胶 $28.06 \times 10^4 \text{ t}$, 成为我国最大的天然橡胶生产基地^[1]。橡胶产业已经成为海南省支柱产业。

土壤物理性质是立地质量的重要指标^[2-3], 良好的水分条件和通气性, 在土壤微生物活动、养分的转化起着重要的作用, 因而日益成为重要的研究领域之一^[4-6]。目前, 对土壤物理性质的研究主要集中在管理措施^[7-8]、土壤侵蚀^[9]、土壤退化^[10]及退耕还林过程中^[11-13]土壤物理性质的变化, 以及不同的植被类型^[14]对土壤物理性质的影响等方面。吴敏^[15]等对不同地形条件下海南胶园土壤肥力特性的研究表明, 地形条件的变化与胶园土壤性质之间的变化并没有明显的线性关系。余贵连等^[16]对海南山地橡胶园土壤养分淋失特征研究表明, 中坡丘

陵橡胶林在土地利用中养分淋失量介于陡坡山地和谷地土壤间。但对于土壤管理引起的土壤物理性质空间分异变化的研究还很少, 海南仅有热带山地雨林不同更新方式对土壤物理性质的研究^[17], 尚未见到关于胶园土壤管理引起的土壤物理性质空间分异方面的研究报道。

本文研究了成龄胶园长期深沟盖草培肥后萌生带 - M、施肥穴壁 - B 与施肥穴底 - D 土壤物理性质的空间分异特征, 为深入研究胶园土壤空间分异与根系结构和生长的关系提供重要的参考。

1 试验地概况

研究地点位于海南省中部的琼中黎族苗族自治县境内, $109^\circ38' \sim 109^\circ49' \text{ E}$, $19^\circ12' \sim 19^\circ25' \text{ N}$, 属丘陵地带, 海拔 $170 \sim 220 \text{ M}$; 年平均日照 191.3 h ,

收稿日期(Received date): 2011 - 09 - 11; 改回日期(Accepted): 2012 - 02 - 01。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(40761024); 国家天然橡胶产业技术体系建设专项资金(nycytx - 34 - GW2 - 2); 中国热带农业科学院橡胶研究所 2009 年基本科研业务费(YWFZX09 - 16(N))。[Supported by National Natural Science Foundation of China (40761024); Earmarked fund for Modern Agro-industry Technology Research System(nycytx - 34 - GW2 - 2); Basic research and operating expenses in 2009 of Rubber Research Institute, CATAS(YWFZX09 - 16(N)) .]

作者简介(Biography): 赵庆辉(1986 -) , 男, 云南昆明人, 硕士, 主要从事热带土壤质量与管理研究。[Zhao Qinghui (1986 -) , male, born in Kunming, Yunnan Province, M D, mainly engaged in the quality and management of tropical soils.] E - mail: zhao85986086@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence): 吴蔚东(1963 -) , 男, 江西永新人, 博士, 教授, 主要从事热带土壤质量与管理研究。[Wu Weidong (1963 -) , male, born in Yongxin, Jiangxi Province, Ph D, Professor, mainly engaged in the quality and management of tropical soils.] E - mail: wdwu@sohu.com

年平均气温 22.9 °C,月平均气温 21.9 °C,极端高温 38.9 °C,极端低温 -0.6 °C;年平均降雨量 2 278.3 mm,年平均降雨天数 187 d。

成龄胶园土壤耕作培肥主要有水肥沟培肥法和深沟盖草培肥法两种方式。水肥沟培肥法不利于胶园水土保持,已逐渐被深沟盖草培肥法代替。深沟盖草培肥法:缓坡地在离胶树 2 m 的距离,隔株挖长 2 m,宽 0.6 m,深 0.5 m 的深沟;丘陵修有梯田的胶园则靠梯田内壁挖深沟,一次沟挖连续用 3 ~ 5 a^[18]。本研究中各样地的年施肥量均为每个施肥穴 1.2 kg 复合肥,0.25 kg 尿素,50 kg 有机肥。

2 材料与分析方法

2.1 样点概况

2009-07 在阳江农场选取 3 个立地条件相近的不同林龄的橡胶林段,分别为:1. 阳江农场 1972 年殖胶地,2004 年掘施肥穴施肥(YJ-72);2. 阳江农场 1987 年植胶地,2004 年掘施肥穴施肥(YJ-87);3. 阳江农场 1993 年殖胶地,2007 年掘施肥沟施肥(YJ-93);

2009-12 在大丰农场,分别为:1. 大丰农场 1968 年殖胶地,2003 年掘施肥沟施肥至 2008 年(DF-68);2. 大丰农场 1980 年替换的二代胶园,2003 年掘施肥沟施肥至 2008 年(DF-80);3. 大丰农场 1990 年替换的二代胶园,1996 年掘施肥沟施肥至 2008 年(DF-90)。

2.2 取样方法

萌生带(M)取土样时,先除去土面和覆盖物,然后用凿刀垂直切一深 20 cm 薄薄的土壤剖面;施肥穴壁(B)、施肥穴底(D)取土样时,先移出肥穴内的非土部分,用凿刀刮施肥穴壁(B)、施肥穴底(D)至土壤与腐殖质交界面,然后用凿刀分别垂直于施肥穴壁(B)、施肥穴底(D)切一深 20 cm 薄薄的土壤剖面。每个林段内按 S 型布置 6 个点,每个样点分别采集相应的萌生带(M)、施肥穴壁(B)、施肥穴底(D)0~20 cm 土层的土样,同时分别取环刀样,采好的土样带回实验室分析。

2.3 测试项目与方法

土壤的容重、毛管水含量、渗透性与质地用常规方法测定^[19]。团聚体分组采用湿筛法^[20]:用一组两个筛子(筛孔大小分别为:250 μm 和 53 μm),将大团聚体(>250 μm)、微团聚体(53~250 μm)和

粉粒与粘粒大小的团聚体(<53 μm)分开。将 100 g 土壤放在 250 μm 土筛上在室温下置于去离子水 5 min,在 2 min 内以 3 cm 振幅上下移动土筛 50 次使团聚体分离。2 min 后,从土筛上将大团聚体轻轻洗入铝盘中。通过该土筛的水连同土壤注入 53 μm 土筛上,重复上述过程。<53 μm 的物质进行离心,去除上清液,将粉粒与粘粒组分洗入另一铝盘中。收集所有组分的团聚体并于 60°C 下烘干称重。

2.4 数据分析

实验数据处理与作图采用 OriginV8.0 软件,实验数据显著性分析采用 SAS6.12(单因素方差分析)完成。

3 结果与分析

3.1 土壤容重、毛管持水量及渗透性状况

1. 土壤容重 长期深沟盖草培肥后,胶园土壤容重的空间分异状况如表 1。由表 1 可知,阳江农场施肥沟沟壁的土壤容重最低,平均为 1.30 g/cm³,比施肥沟沟底低 0.14 g/cm³,比萌生带低 0.24 g/cm³;方差分析显示:1972 年植胶地萌生带与施肥沟沟壁间土壤容重差异显著。大丰农场施肥沟沟壁的土壤容重最低,平均为 1.28 g/cm³,比施肥沟沟底低 0.08 g/cm³,比萌生带低 0.15 g/cm³,经方差分析显示,1968 年植胶地施肥沟沟壁与沟底间土壤容重差异显著,1990 年植胶地萌生带与施肥沟沟壁间土壤容重差异显著。且总体上呈现为植胶年限越长的土壤容重越低,但是相差不大。这是由于橡胶树的吸收根集中分布于施肥沟沟壁^[21],发达的根系易于松动土壤。

2. 土壤毛管持水量 胶园土壤毛管持水量的空间分异状况如表 1。由表 1 可知,阳江农场施肥沟沟壁的土壤毛管持水量最高,平均为 51.06%,比施肥沟沟底高 4.84%,比萌生带高 5.48%,方差分析显示:1972 年植胶地萌生带与施肥沟沟壁间土壤毛管持水量差异显著。大丰农场施肥沟沟壁的土壤毛管持水量最高,平均为 51.89%,比施肥沟沟底高 1.65%,比萌生带高 3.21%,方差分析显示:1990 年植胶地萌生带与施肥沟沟壁间土壤毛管持水量差异显著。且总体上呈现为植胶年限越长的土壤毛管持水量越高,但是相差不大。

3. 土壤渗透性 胶园土壤毛管持水量的空间分异状况如表 1。由表 1 可知,阳江农场施肥沟沟壁的土壤渗透性,10°C 时渗透系数 K10 平均为 1.62,比

施肥沟沟底高 0.33 ,比萌生带高 0.34 ,方差分析显示差异均不显著。大丰农场施肥沟沟壁的土壤渗透性最高 ,10℃时渗透系数 K10 平均为 1.39 ,比施肥沟沟底高 0.09 ,比萌生带高 0.10 ,方差分析显示差异均不显著。

3.2 土壤颗粒组成

对长期深沟盖草培肥后的胶园土壤颗粒组成进行分析对比 结果见表 2。阳江农场以砂粒为主 ,其中萌生带含量最高 ,为 72.44% ,施肥沟沟壁与施肥沟沟底含量接近 ,分别为 53.89% ,53.39% ;其中

1972 年植胶地萌生带土壤砂粒含量显著高于施肥沟沟壁 ,1987 年植胶地土壤砂粒含量在各位置均差异显著 ,1993 年植胶地萌生带土壤砂粒含量显著高于施肥沟沟壁、沟底。阳江农场也是以砂粒为主 ,萌生带含量最高 ,为 76.89% ,其次为施肥沟沟壁 70.94% 与施肥沟沟底 65.11% ;其中 1968 年植胶地萌生带土壤砂粒含量显著高于施肥沟沟底 ,1980 年植胶地萌生带土壤砂粒含量显著高于施肥沟沟壁、沟底 ,1990 年植胶地萌生带施肥沟沟壁土壤砂粒含量均显著高于施肥沟沟底。

表 1 土壤容重、毛管持水量及渗透性空间分异

Table 1 The spatial heterogeneity of soil bulk density , capillary moisture capacity and permeability

测定指标 Indexes	位置 site	阳江农场各样地 Yangjiang farm plots				大丰农场各样地 Dafeng farm plots			
		YJ-72	YJ-87	YJ-93	均值 Mean	DF-68	DF-80	DF-90	均值 Mean
容重/(g/cm ³) bulk density	M	1.48 ± 0.00a	1.59 ± 0.00a	1.53 ± 0.00a	1.53	1.41 ± 0.00ab	1.34 ± 0.00a	1.54 ± 0.00a	1.43
	B	1.26 ± 0.02b	1.10 ± 0.05a	1.53 ± 0.01a	1.30	1.30 ± 0.01b	1.24 ± 0.00a	1.29 ± 0.02b	1.28
	D	1.28 ± 0.03ab	1.45 ± 0.03a	1.59 ± 0.00a	1.44	1.44 ± 0.00a	1.27 ± 0.03a	1.37 ± 0.03ab	1.36
	均值 Mean	1.34	1.38	1.55		1.38	1.28	1.40	
毛管持水量/% Capillary moisture capacity	M	46.12 ± 0.69a	45.17 ± 0.48a	45.45 ± 0.62a	45.58	49.65 ± 0.22a	50.46 ± 0.29a	45.93 ± 0.37a	48.68
	B	51.29 ± 0.66b	56.36 ± 0.29a	45.54 ± 0.78a	51.06	51.22 ± 0.34a	52.90 ± 0.26a	51.55 ± 0.23b	51.89
	D	50.40 ± 0.59ab	43.90 ± 0.46a	44.38 ± 0.69a	46.23	48.86 ± 0.22a	52.21 ± 0.39a	49.65 ± 0.30ab	50.24
	均值 Mean	49.27	48.48	45.13		49.91	51.86	49.04	
土壤渗透性(K10) soil permeability	M	1.33 ± 0.00a	1.53 ± 0.00a	0.97 ± 0.00a	1.28	1.24 ± 0.00a	1.59 ± 0.00a	1.05 ± 0.00a	1.29
	B	1.61 ± 0.00a	1.71 ± 0.01a	1.54 ± 0.00a	1.62	1.34 ± 0.01a	1.70 ± 0.00a	1.14 ± 0.00a	1.39
	D	1.01 ± 0.00a	1.42 ± 0.00a	1.45 ± 0.00a	1.29	1.23 ± 0.00a	1.45 ± 0.00a	1.20 ± 0.00a	1.30
	均值 Mean	1.31	1.56	1.32		1.27	1.58	1.13	

注:表中数值均为平均值 同一样地同一测定指标后的不同字母表示两者在 0.05 水平上差异显著。The value in table was all mean value ,the different letters in the same index and plot in different site indicate significant difference at 5% level. The same below.

表 2 土壤质地空间分异

Table 2 The spatial heterogeneity of soil texture

测定指标 Indexes	位置 site	阳江农场各样地 Yangjiang farm plots				大丰农场各样地 Dafeng farm plots			
		YJ-72	YJ-87	YJ-93	均值 Mean	DF-68	DF-80	DF-90	均值 Mean
砂粒含量/% Sand content	M	66.00 ± 0.48a	79.33 ± 1.27a	72.00 ± 0.80a	72.44	74.50 ± 1.10a	76.83 ± 1.17a	79.33 ± 1.87a	76.89
	B	49.00 ± 0.78b	63.67 ± 1.07b	49.00 ± 0.68b	53.89	69.83 ± 1.17ab	69.67 ± 0.67b	73.33 ± 0.87a	70.94
	D	57.33 ± 1.03ab	51.33 ± 1.27c	51.50 ± 0.70b	53.39	65.67 ± 1.17b	64.67 ± 1.67b	65.00 ± 1.60b	65.11
	均值 Mean	57.44	64.78	57.50		70.00	70.39	72.56	
粘粒含量/% Clay content	M	9.00 ± 0.20a	10.67 ± 0.27a	15.50 ± 0.70a	11.72	15.00 ± 0.80a	13.17 ± 0.97a	12.00 ± 0.20a	13.39
	B	16.67 ± 0.47b	12.67 ± 0.87a	17.67 ± 0.87a	15.67	14.00 ± 0.20a	15.00 ± 1.20a	14.00 ± 0.80ab	14.33
	D	18.33 ± 0.67b	17.00 ± 0.40b	18.00 ± 0.50a	17.78	13.50 ± 0.30a	15.67 ± 0.67a	15.83 ± 0.57b	15.00
	均值 Mean	49.27	48.48	45.13		49.91	51.86	49.04	
粉粒含量/% Silt content	M	25.00 ± 0.22a	10.00 ± 0.20a	12.50 ± 0.70a	15.83	10.50 ± 1.70a	10.00 ± 0.80a	8.67 ± 0.41a	9.72
	B	34.33 ± 0.87a	23.67 ± 0.87b	33.33 ± 0.87b	30.44	16.17 ± 0.94b	15.33 ± 0.67b	12.67 ± 1.30a	14.72
	D	24.33 ± 0.67a	31.67 ± 1.07c	30.50 ± 0.50b	28.83	20.83 ± 0.77b	19.67 ± 1.03b	19.17 ± 1.44b	19.89
	均值 Mean	27.89	21.78	25.44		15.83	15.00	13.50	

所有样点粘粒含量均较低,粘粒含量呈现为施肥沟沟底 > 施肥沟沟壁 > 萌生带,其中阳江农场 1972 年植胶地施肥沟沟壁、沟底土壤粘粒含量显著高于萌生带,1987 年植胶地施肥沟沟底土壤粘粒含量显著高于萌生带、施肥沟沟壁,大丰农场 1990 年植胶地施肥沟沟底土壤粘粒含量显著高于萌生带。且植胶年限长的土壤粘粒含量较高,但是相差不大。粉粒含量最低,且分布不规律。

3.3 土壤团聚体特征

长期深沟盖草培肥后,土壤团聚体分布发生变化,团聚体组成见表 3。施肥沟沟壁大团聚体 (> 250 μm) 含量最高,阳江农场为平均 79.37%、大丰农场平均 73.22%; 萌生带及施肥沟沟底大团聚体 (>250 μm) 含量均低于沟壁,方差分析结果显示各样点差异不显著。

微团聚体 (53 ~ 250 μm) 在萌生带的含量最高,阳江农场为萌生带 18.88%,沟壁 17.40%,沟底 12.54%,1987 年植胶地与 1993 年植胶地均是萌生带土壤微团聚体 (53 ~ 250 μm) 含量显著高于施肥沟沟壁、沟底。大丰农场土壤微团聚体 (53 ~ 250 μm) 含量为萌生带 23.30%,沟壁 13.57%,沟底 15.61%,方差分析结果显示差异不显著。

粉粒与粘粒大小的团聚体 (<53 μm) 则是施肥沟沟底含量最高,阳江农场为平均 14.01%、大丰农场平均 10.92%; 阳江农场 1993 年植胶地、大丰农场 1968 年植胶地均是施肥沟沟底土壤粉粒与粘粒大小的团聚体 (<53 μm) 含量显著高于萌生带。团

聚体含量与植胶年限间无明显变化关系。

4 讨论

海南胶园土壤物理性质在长期深沟盖草培肥后发生变异,施肥沟沟壁容重最低、毛管持水量最高、渗透性最好。因为橡胶树细根总生物量 80% 左右都分布在 0 ~ 40 cm 土层^[22],橡胶树的吸收根集中分布于施肥沟沟壁^[21]。根通过在土壤中的交错穿插作用和积累有机质,促使土壤孔隙增多,土壤中大粒级水稳团粒的增加,明显地改善了土壤的渗透性能^[23-24],降低容重。另一方面,根分泌物养活了更多的土壤微生物,死亡的根系又可增加土壤中有机的含量,这样就可以使土壤处于良性的循环过程中,进一步降低了土壤容重,有效提高土壤的渗透性。另外土壤养分的增加,有利于各种微生物和土壤动物的生存,促进了它们的活动,增加了土壤孔隙,降低土壤容重。林木通过改善土壤的理化性质、蓄水性能和小气候而改善立地条件^[25]。有机质决定了土壤物理性质的变化^[26-27],特别是对容重产生影响^[28]。长期深沟盖草培肥后,使施肥穴内有机质积累较高,从而改善了土壤的理化性质^[29-30],使容重降低,容蓄与渗透水分的能力增强。

萌生带砂粒含量显著高于施肥穴,一是由于胶园建于山区,土质为沙壤土,含沙量较高;二是沿山坡修筑植胶梯田时,机械作业使表土散失,萌生带砂粒含量较高;再加上长期深沟盖草培肥后,橡胶树的

表 3 土壤团聚体空间分异

Table 3 The spatial heterogeneity of soil aggregates content

测定指标 Indexes	位置 site	阳江农场各样地 Yangjiang farm plots				大丰农场各样地 Dafeng farm plots			
		YJ-72	YJ-87	YJ-93	均值 Mean	DF-68	DF-80	DF-90	均值 Mean
大团聚体 (> 250 μm) 含量/% Large aggregates (> 250 μm) content	M	81.94 ± 0.33a	81.53 ± 1.26a	69.74 ± 1.23a	77.74	72.12 ± 0.69a	58.98 ± 1.22a	68.10 ± 1.21a	66.40
	B	75.66 ± 0.92a	82.65 ± 0.89a	79.79 ± 0.79a	79.37	77.54 ± 1.35a	70.48 ± 1.34a	71.63 ± 1.09a	73.22
	D	69.37 ± 1.45a	77.83 ± 1.38a	70.94 ± 0.90a	72.71	73.56 ± 1.09a	67.56 ± 1.04a	66.98 ± 0.88a	69.37
	均值 Mean	75.66	80.67	73.49		74.41	65.67	68.91	
微团聚体 (53 ~ 250 μm) 含量/% Micro-aggregates (53 ~ 250 μm) content	M	14.98 ± 0.00a	15.83 ± 0.00a	25.85 ± 0.00a	18.88	17.23 ± 0.00a	29.25 ± 0.00a	23.43 ± 0.01a	23.30
	B	19.28 ± 0.00a	12.44 ± 0.01b	20.50 ± 0.00b	17.40	11.31 ± 0.00a	15.38 ± 0.00a	14.03 ± 0.00a	13.57
	D	12.83 ± 0.00a	8.03 ± 0.00b	16.77 ± 0.00b	12.54	13.70 ± 0.00a	15.65 ± 0.00a	17.49 ± 0.01a	15.61
	均值 Mean	15.69	12.10	21.04		14.08	20.09	18.32	
粉粒与粘粒大小的团聚体 (< 53 μm) 含量/% Silt and clay-sized aggregates (< 53 μm) content	M	7.69 ± 0.00a	8.29 ± 0.00a	15.76 ± 0.01a	10.58	3.44 ± 0.00a	3.59 ± 0.00a	4.29 ± 0.00a	3.77
	B	9.68 ± 0.00a	13.76 ± 0.00a	11.72 ± 0.00ab	11.72	7.29 ± 0.00ab	3.53 ± 0.01a	5.71 ± 0.00a	5.51
	D	7.34 ± 0.00a	15.78 ± 0.00a	14.06 ± 0.01b	14.06	14.72 ± 0.00b	6.57 ± 0.00a	11.48 ± 0.00a	10.92
	均值 Mean	8.24	12.61	13.85		8.48	4.56	7.16	

吸收根集中分布于施肥沟沟壁^[21], 根的穿插能使土壤颗粒粉碎, 土壤孔隙增多, 萌生带呈现土粒淋溶下移和砂化, 沟壁处粘粒及粉粒含量增加, 使得萌生带砂粒含量变高。

土壤结构状况是土壤肥力的物质基础, 也是土壤保水、保肥的基础。具有良好团聚体结构的土壤, 不仅具有高度的孔隙性和持水性, 而且有良好的通透性, 对植被的恢复和重建有着很大的促进作用。土壤微团聚体的组成也被认为是评断土壤肥力和培肥效果的一个重要指标^[31]。本研究中, 大团聚体 ($>250 \mu\text{m}$) 含量较高, 达 60% ~ 70%, 说明团聚性较好, 这是长期深沟盖草培肥等一系列胶园管理措施达到的效果。特别是施肥沟沟壁大团聚体 ($>250 \mu\text{m}$) 平均含量高达 75%, 正是长期深沟盖草培肥后, 橡胶树的吸收根集中分布于施肥沟沟壁^[21], 根系通过径级 $\leq 1 \text{ mm}$ 须根的挤压、穿插和分割作用, 促进土块粉碎, 再加上死根提供有机质, 活根提供分泌物作为土粒团聚体的胶结剂, 配合须根的穿插和缠结, 促进土粒团聚, 使土壤中的大粒级水稳性团聚体增加。吴彦^[32]、刘苑秋^[33]的研究也表明植物根系能显著提高大结构体水文性团聚体含量, 改善土壤团粒结构, 增加土壤结构稳定性。

5 结 论

1. 长期深沟盖草培肥后海南胶园土壤物理性质发生变异, 施肥沟沟壁容重最低、毛管持水量、渗透性系数最高, 土壤物理性状最好。

2. 施肥沟沟壁大团聚体 ($>250 \mu\text{m}$) 平均含量较高, 说明深沟盖草培肥能够改善土壤团粒结构, 增加土壤结构稳定性。

3. 土壤物理性状随植胶年限的增长变化不明显。

参考文献(References)

[1] Jiang Jnsheng. Overview of Natural Rubber Industry in Hainan [J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2008, (8): 17 - 22 [蒋菊生. 海南天然橡胶产业发展概况 [J]. *世界热带农业信息*, 2008, (8): 17 - 22]

[2] Arshad M, Lowery B, Grossman B. Physical tests for monitoring soil quality [J]. *SSSA Special publication*, 1996, 49: 123 - 142

[3] Boix - Fayos C, Calvo - Cases A, Imeson A, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators [J]. *Catena*, 2001, 44(1): 47 - 67

[4] Asadu CLA, Obasi SC, Dixon AGO. Variations in soil physical properties in a cleared forestland continuously cultivated for seven years in eastern Nsukka, Nigeria [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2010, 41(2): 123 - 132

[5] Melo VF, Schaefer C, Uchoa SCP. Indian land use in the Raposa - Serra do Sol Reserve, Roraima, Amazonia, Brazil: Physical and chemical attributes of a soil catena developed from mafic rocks under shifting cultivation [J]. *Catena*, 2010, 80(2): 95 - 105

[6] Portugal AF, Costa ODV, da Costa LM, et al. Soil chemical and physical attributes of an inceptisol under different land uses, in the Zona Da MA TA of Minas Gerais State, Brazil [J]. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 2008, 32(1): 249 - 258

[7] McVay K, Budde J, Fabrizzi K, et al. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas [J]. 2006.

[8] Page - Dumroese D, Jurgensen M, Tiarks A, et al. Soil physical property changes at the North American Long - Term Soil Productivity study sites: 1 and 5 years after compaction [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(3): 551 - 564

[9] Moreno-de las Heras M. Development of soil physical structure and biological functionality in mining spoils affected by soil erosion in a Mediterranean - Continental environment [J]. *Geoderma*, 2009, 149(3 - 4): 249 - 256

[10] Zhou Z, Gan Z, Shanguan Z, et al. Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China) [J]. *Catena*, 2010.

[11] Savadogo P, Sawadogo L, Tiveau D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 118(1 - 4): 80 - 92

[12] Drewry J. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: a review [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 114(2 - 4): 159 - 169

[13] Li Y, Shao M. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(1): 77 - 96

[14] Wang Guixia, Li Chuanrong, Xu Jingwei et al. Soil properties and water conservation function of 5 types of vegetation on sandy coast [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(2): 142 - 146 [王贵霞, 李传荣, 许景伟, 等. 沙质海岸 5 种植被类型土壤物理性状及其水源涵养功能 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 142 - 146]

[15] Wu Min, He Peng, Wei Jiashao. Elementary research on soil fertility characteristics of rubber plantation in Hainan Province under different terrain conditions [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, (12): 140 - 144 [吴敏, 何鹏, 韦家少. 不同地形条件下海南省胶园土壤肥力特性初探 [J]. *中国农学通报*, 2009, (12): 140 - 144]

[16] She Guilian, Wu Min, Wei Jiashao, et al. Study on properties of soil nutrient loss from mountainous region in rubber plantation in Hainan [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2009, (5): 83 - 85 [余贵连, 吴敏, 韦家少, 等. 海南山地橡胶园土壤养分流失特性研究 [J]. *广东农业科学*, 2009, (5): 83 - 85]

[17] Luo Tushou, Li Yide, Chen Dexiang et al. Study on differences and restoration degrees of the soil physical properties of tropical montane secondary forest in Hainan Island Forest Research, 2008, 21(2): 227 - 234 [骆土寿, 李意德, 陈德祥, 等. 海南岛热带山地雨林皆伐后不同更新方式对土壤物理性质的影响及恢复研究 [J]. *林业科学研究*, 2008, 21(2): 227 - 234]

- [18] Wang Bingzhong. Rubber cultivation [M]. Guangzhou: South China University of Tropical Agriculture, 2000 [王秉忠. 橡胶栽培学 [M]. 广州: 华南热带农业大学, 2000]
- [19] Liu Guangsong. Physical, chemical analysis and profile description of the Soil [M]. Standards Press of China, 1996 [刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 中国标准出版社, 1996]
- [20] Elliott E. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils [J]. Soil Science Society of America journal (USA), 1986, 627 - 633
- [21] Luo Wei, Liu Junliang, Cha Zhengzao, et al. Preliminary study on the spatial distributing of residual fertilizer nutrients in the fertilizer cave in rubber plantations [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2005, 26(001): 6 - 10 [罗微, 刘俊良, 茶正早, 等. 橡胶园施肥穴肥料残留养分空间分布规律研究初报 [J]. 热带作物学报, 2005, 26(001): 6 - 10]
- [22] Lin Xihao, Wang Zhenhui, Chen Qiubo, et al. Vertical distribution and annual dynamics of fine roots of *Hevea brasiliensis* at different ages [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4128 - 4135 [林希昊, 王真辉, 陈秋波, 等. 不同树龄橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 林细根生物量的垂直分布和年内动态 [J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4128 - 4135]
- [23] Li Yon, Zhu Xianmo. Loess Plateau of plant roots to increase the effectiveness of soil erosion resistance [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(12): 935 - 938 [李勇, 朱显谟. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性 [J]. 李勇, 朱显谟. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性 [J]. 科学通报, 1991, 36(12): 935 - 938]
- [24] Li Yon, Zhu Xianmo. Plant roots and soil anti-scourability [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3): 11 - 18 [李勇, 朱显谟. 植物根系与土壤抗冲性 [J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 11 - 18]
- [25] Prinsley R, Swift M. Amelioration of soil by trees. A review of current concepts and practices [M]. Commonwealth Science Council. London, GB, 1986
- [26] Graham R, Harvey A, Jurgensen M. Effect of site preparation on survival and growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco.) seedlings [J]. New Forests, 1989, 3(1): 89 - 98
- [27] Jander G, Egnell G, Albrektson A. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine [J]. Forest Ecology and Management, 1996, 86(1-3): 27 - 37
- [28] Page - Dumroese D, Harvey A, Jurgensen M, et al. Impacts of soil compaction and tree stump removal on soil properties and outplanted seedlings in northern Idaho, USA [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1998, 78(1): 29 - 34
- [29] Evans J. Plantation forestry in the tropics [R]. Oxford, 1992
- [30] Mishra A, Sharma S, Khan G. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis*: Biorejuvenation of sodic soil [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 184(1-3): 115 - 124
- [31] Sleutel S, De Neve S, Németh T, et al. Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments [J]. European journal of agronomy, 2006, 25(3): 280 - 288
- [32] Wu Yan, Liu Shiquan, Fu Xiuqin, et al. Study on Improving soil's waterstable aggregates amounts by botanic roots [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1997, 3(1): 45 - 49 [吴彦, 刘世全. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 45 - 49]
- [33] Liu Yuanqiu, Luo Liangxing, Liu Liangying, et al. Fine-root character and its action mechanism of forest at its initial reestablished stage on degraded red soil [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1735 - 1739 [刘苑秋, 罗良兴, 刘亮英, et al. 退化红壤重建森林初期细根特征及其作用机理研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1735 - 1739]

Spatial Variability of Soil Physical Properties in Hainan Rubber Plantation Soil

ZHAO Qinghui^{1, 2, 3}, ZHU Fei³, Lin Zhaomu¹, WU Pengbao³, XIE Yu³, WU Weidong³

(1. Hainan University, College of Agriculture, Haikou 570228, China;

2. Research Institute of Nanjing University in Lianyungang Lianyungang 222069, China;

3. Rubber Research Institute / Key Laboratory of Rubber Biology, Ministry of Agriculture / State Engineering and Technology Research Center for key Tropical Crops, CATAS, Danzhou 571737, Hainan, China)

Abstract: This paper studied spatial heterogeneity of soil physical properties under Hainan rubber plantation after Deep groove Mulching Fertilizer. The results showed that: the lowest soil bulk density is fertilization groove wall, an average of 1.29 g/cm³, lower than the end of fertilization groove 0.11 g/cm³, lower than the Initiation belt 0.20 g/cm³; fertilization groove wall capillary moisture capacity is the highest of average 51.43%; when 10 °C permeability coefficient K10 is the highest 1.51. Large aggregates (> 250 μm) the average was the highest. Deep groove Mulching Fertilizer can improve soil aggregate structure, increase soil structural stability, the physical properties of soil fertilization Gully wall best.

Key words: rubber plantation; soil physical property; spatial heterogeneity