

不同利用方式和肥力红壤中水稳性团聚体分布 及物理性质特征*

刘晓利^{1,2} 何园球^{1†} 李成亮¹ 王艳玲^{1,2}

(1 中国科学院南京土壤研究所,南京 210008)

(2 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要 研究了不同土地利用方式和土壤肥力对红壤水稳性团聚体及土壤物理性质的影响。结果表明,同一肥力水平下不同土地利用方式的土壤中, >0.25 mm 水稳性团聚体含量变化趋势相同,均以旱地土壤含量最低,林地土壤最高。不同肥力水平下,林地、果园、水田中 >5 mm 水稳性团聚体含量变化均为:高肥力 > 低肥力。说明随土壤肥力的逐渐增高,有机质胶结物质含量增加,有利于形成更多的水稳性大团聚体。土壤团聚体稳定性与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量呈极显著正相关,这表明 >0.25 mm 水稳性团聚体含量是影响土壤团聚体稳定性的主要因素。不同土地利用方式下的土壤物理性质(土壤容重、土粒密度、土壤孔隙度)存在较大差异,变化规律也不一致。但土壤容重和土壤孔隙度与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量有很好的相关性。

关键词 土地利用方式;土壤肥力;水稳性团聚体;物理性质;红壤
中图分类号 S152 **文献标识码** A

红壤是我国热带亚热带地区重要的土壤资源之一,分布广泛^[1]。由于该地带水热条件十分优越,促进了土壤矿物的强烈风化,加速了生物物质循环,从而构成了红壤性土壤独特的化学性质和物理行为^[2]。而土地利用是人类干预土壤自然过程最直接的活动,近年来,过度开垦导致红壤的退化,其中土壤结构的破坏是最主要的原因之一。而土壤团聚体是土壤结构的基本单位,是土壤的重要组成部分^[3,4],土壤团聚体的稳定性对土壤肥力、质量和土壤的可持续利用等有很大的影响^[5]。红壤的利用方式多种多样,导致团聚体的组成和含量存在很大差别。同时,土壤质量的高低,不仅与大、小粒级团聚体自身的作用有关,而且与它们的组成比例有关。近年来,关于土地利用方式对团聚体结构和稳定性影响的研究较多^[3,6]。结果表明,随着原始土地的开垦,水稳性团聚体的含量和分布也发生了变化。同时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有用的指标^[7,8]。但不同利用方式的土壤中团聚体分布差异方面的研究还不是十分

明确。土壤肥力水平与红壤水稳性团聚体组成间关系的研究也少见报道。土地利用和土壤肥力共同影响土壤团聚体结构方面的研究则更少。本文选择几种主要的利用方式和三个肥力水平,研究了土地利用方式和土壤肥力状况对红壤团聚体结构及物理性质的影响。这对于利用土壤团聚体的组成与作用功能来培育红壤肥力、提高红壤生产能力具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

采样区位于中国科学院红壤生态实验站及附近区域(东经 116°55',北纬 28°15'),地处亚热带季风气候区,年均气温 17.8℃,年均降雨量为 1 785 mm,年蒸发量 1 318 mm,无霜期 261 d。干湿季节变化较为明显,母质为第四纪红黏土,地形为岗地。

采样时,不同肥力的林地、菜园和水田土壤均在该利用方式土地集中区采集。不同肥力水平的果园

* 国家自然科学基金项目(40671108)资助

† 通讯作者

作者简介:刘晓利(1979~),女,博士研究生,从事有机碳循环与转化方面的研究。E-mail: xliu @issas. ac. cn

收稿日期:2006-11-07;收到修改稿日期:2007-03-26

和旱地土壤因样地面积较小,而选择在附近区域不同样地采集。

1.2 样品采集

本试验选择不同利用方式和不同肥力水平下原状土壤,土地利用类型包括林地、水田、果园、菜园、旱地,根据实际地力水平的高低,每种土地利用方式分别选取土壤肥力高(High Fertility, H)、中(Middle Fertility, M)、低(Low Fertility, L)的3个水平的样本。采样时先将土壤表面的植被和枯草小心铲除,露出土壤,采样深度为0~10 cm,每个样本随机采取3个土壤样点,每个样点的原状土分别装入硬质塑料盒中带回实验室处理,并同时采取环刀土样测定土壤容重^[9]。

1.3 分析方法

将土壤中砾石、侵入体及粗有机物捡除,并在风干过程中沿自然断裂面掰成10 mm大小的土块。待土壤样品完全风干后,一部分土样采用湿筛法分离土壤水稳性团聚体^[9]。湿筛时称取60 g风干土,置于5 mm土筛上,蒸馏水浸泡10 min,然后将土样依次通过2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm的土筛。团聚体的分离通过上下移动筛子3 cm,重复50次(2 min内),将留在每个筛子上的土壤冲洗到铝盒中,在50℃温度下烘干,称重。另一部分土样用于测定土壤物理性质等常规分析^[10]。其中土粒密度采用比重瓶法,土壤孔隙度采用推算法。团聚体的水稳性以水稳性团聚体的平均重量直径(Mean-weight Diameter, MWD)表示,其计算方法为每一粒级水稳性团聚体的重量百分数(各级团聚体在样品总重量中所占重量百分数)乘以该粒级的平均直径,然后将其相加。MWD的上限为7.5 mm,下限为0.375 mm。土壤团聚体破坏率的计算公式为:团聚体破坏率=(>0.25 mm风干团聚体 - >0.25 mm水稳性团聚体)/>0.25 mm风干团聚体 ×100%。

1.4 数据分析

数据采用SPSS 13.0进行统计分析,用LSD法进行差异显著性比较。

2 结果与讨论

2.1 土地利用方式、土壤肥力与红壤水稳性团聚体组成

2.1.1 不同土地利用方式下红壤水稳性团聚体组成 从水稳性团聚体含量的统计结果来看(表1),不同利用方式土壤水稳性团聚体的分布存在一

定差别。几种肥力水平下,土壤中>0.25 mm的水稳性团聚体含量变化均呈下序递减:林地>水田>菜园>果园>旱地,各利用方式之间差异均达到显著水平(表1, $p < 0.05$)。同时,林地、果园和水田土壤中>5 mm的水稳性团聚体含量较高,并且三者之间呈显著差异。而菜园和旱地土壤中>5 mm的水稳性团聚体含量相近且较低,并显著低于其他利用方式;其中,中等和较低土壤肥力的菜园以及各肥力水平的旱地土壤中>5 mm的水稳性团聚体含量均为零。果园、菜园和旱地土壤则以粒径较小的水稳性团聚体为主,其中较高肥力的果园、水田、菜园和旱地土壤中分别以0.5~0.25 mm、5~2 mm、1~0.5 mm和0.5~0.25 mm的水稳性团聚体为主。

以上分析可看出,林地土壤更有利于>5 mm水稳性团聚体的形成。林地农用于旱地或开发为果园、菜园后,土壤的耕作和管理严重影响了水稳性团聚体的颗粒组成,土壤有机碳储量迅速下降,从而加速了水稳性团聚体之间有机胶结物质的分解,导致大粒径水稳性团聚体大幅度减少。这是因为林地土壤植被覆盖度大,人为干扰小,大颗粒团聚体受到的破坏程度低。所以,林地土壤仍以>5 mm的水稳性团聚体为主。同时因为林地土壤轻微的耕作,减小了有机质在空气中的暴露程度,减缓了有机质的周转;而红壤水稳性大团聚体的形成主要靠有机质的胶结作用,因此,土壤的团聚作用得到加强,导致>0.25 mm的水稳性大团聚体比例增加^[11-13]。水田土壤因犁耕翻耙使土壤结构遭受很大破坏,而水田灌溉和晒田的干湿交替过程又重新形成具有一定稳定性的土壤结构。因此,水田土壤中水稳性团聚体含量较高,仅次于林地土壤。而旱地土壤由于频繁耕作的人为干扰,物理机械破坏对团聚体影响很大,尤其是>5 mm的水稳性团聚体,并在人为活动过程中发生了一些大的水稳性团聚体向小的水稳性团聚体的转化,导致了旱地土壤较大颗粒的水稳性团聚体含量降低。

2.1.2 不同土壤肥力下红壤水稳性团聚体组成

土壤肥力的高低在很大程度上取决于土壤的结构状况,而土壤结构又与土壤团粒结构的性质密切相关^[14]。由统计结果可知,不同土壤肥力对林地、水田土壤中>5 mm的水稳性团聚体含量的影响达显著水平。但土壤肥力仅对林地土壤中>0.25 mm的水稳性团聚体总量的影响显著(统计结果未列出)。土壤肥力高的林地土壤中各粒径水稳性团聚体含量间差异达显著水平,而较低和中等肥力的林地土壤

中各粒径水稳性团聚体含量的变化趋势相同,均为 2~1 mm 和 0.5~0.25 mm 水稳性团聚体含量最低并与其他粒径团聚体含量间达显著性差异(表 1, $p < 0.05$)。

>5 mm 的水稳性团聚体含量以土壤肥力高的林地土壤最高,中等肥力的土壤最低(表 1)。2~1、1~0.5、0.5~0.25 mm 的水稳性团聚体含量均以中等肥力的土壤最高。表明,随土壤肥力的提高,林地土壤小颗粒团聚体有逐渐形成大颗粒团聚体的趋势。果园、水田土壤中 >5 mm 的水稳性团聚体含量随土壤肥力的变化均和林地相同。而不存在 >5 mm 水稳性团聚体的旱地土壤中, >0.25 mm 的水稳性团聚体含量随土壤肥力的提高而增加。

由表 1 各粒级水稳性团聚体的分布差异可知,林地土壤中水稳性团聚体含量是随团聚体粒径减小而降低的(在 1~0.5 mm 粒级略有上升)。并且,高肥力的林地土壤中各粒级水稳性团聚体含量间均达到了差异显著水平。而菜园和旱地土壤的水稳性团聚体含量随团聚体粒径减小有增加的趋势,于 1~

0.5 mm 粒级达到最高值;其中高肥力的旱地土壤各粒级团聚体含量均达显著性差异,表现出与林地土壤相反的变化趋势。

受土壤肥力的影响,林地、果园、水田中 >5 mm 的水稳性团聚体含量均为:高肥力>低肥力。这可能是因为林地、果园和水田土壤因土壤肥力水平的提高,有机质胶结物质含量增加,形成了更多的水稳性大团聚体,因此,肥力高的土壤中 >5 mm 的水稳性团聚体含量最高;中等肥力的林地、果园和水田土壤存在的 >5 mm 的水稳性团聚体最少,这可能与土壤本身形成前的土壤结构状态和各种物理化学性质或者土地利用的管理措施有关。若土壤形成前土壤肥力高,结构性好,则形成初期水稳性大团聚体的含量较高,在新的团聚结构未形成前,人为的耕作和扰动导致原土壤的大团聚体改变为较小粒径的水稳性团聚体,水稳性大团聚体的含量降至较低水平。而随着形成时间的延长,土地培肥措施的应用,土壤有机质得到积累,有机质的周转速度转慢,导致胶结成更多 >5 mm 的较大颗粒的水稳性团聚体。

表 1 不同土地利用方式和肥力水平下红壤水稳性团聚体含量

Table 1 Content of water-stable aggregates in soils different in land uses and soil fertility (%)

土壤肥力 Soil fertility	土地利用方式 Land use type	团聚体粒径 The size of soil aggregate					
		>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	>0.25 mm
H	林地 Woodland	53.7 aA	21.7 bB	3.68 bD	6.84 dC	2.82 bE	88.8 a
	果园 Orchard	4.27 cC	11.1 cB	3.37 bC	22.6 bA	13.5 aB	54.8 c
	水田 Paddy soil	17.7 bB	35.5 aA	5.40 aD	14.3 cC	4.74 bD	77.7 b
	菜园 Vegetable soil	0.65 dD	9.49 dC	4.06 bD	30.3 aA	14.3 aB	58.8 c
	旱地 Upland	0.00 dD	6.14 eC	4.41 abE	21.0 bA	14.9 aB	46.4 d
M	林地 Woodland	31.2 aA	20.1 aB	4.45 bD	11.1 dC	5.87 eD	72.8 a
	果园 Orchard	2.19 cC	12.6 cB	2.74 cC	17.8 cAB	15.1 bA	50.4 c
	水田 Paddy soil	6.56 bD	16.7 bB	5.54 aD	24.7 bA	9.14 dC	62.6 b
	菜园 Vegetable soil	0.00 cD	9.52 dC	6.08 aE	32.9 aA	12.9 cB	61.4 b
	旱地 Upland	0.00 cD	3.26 eC	2.39 cC	14.0 dB	18.8 aA	38.4 d
L	林地 Woodland	47.0 aA	20.5 aB	3.63 aD	6.71 dC	4.00 cD	81.8 a
	果园 Orchard	4.32 cB	11.1 bA	2.04 cB	11.1 cA	13.3 abA	42.0 d
	水田 Paddy soil	11.7 bC	19.4 aA	4.29 aD	16.8 bB	10.8 bC	62.9 b
	菜园 Vegetable soil	0.00 dD	10.7 bC	3.97 aE	22.0 aA	15.3 aB	51.9 c
	旱地 Upland	0.00 dC	6.37 cB	2.81 bC	12.7 cA	13.5 abA	35.4 e

注:同一行大写字母不同表示团聚体颗粒之间的差异显著水平达 0.05;同一列小写字母表示同一肥力水平下不同土地利用方式间差异显著水平达 0.05 Note: Within each row, values followed by the different capital letters are significantly different at 0.05 level between different size fraction of soil aggregates; Within each column, values followed by the different small letters are significantly different at 0.05 level between soils different in land uses but the same fertility

2.1.3 红壤团聚体结构稳定性 团聚体的破坏 率可以反映土壤团聚结构的稳定性,土壤团聚体的

稳定性对形成和保持良好的土壤结构极为重要。同一肥力水平下不同土壤团聚体破坏率均为:旱地 > 果园 > 菜园 > 水田 > 荒地 > 林地(表 2)。团聚体破坏率以低肥力的旱地最高,达 60.7%;高肥力的林地土壤团聚体破坏率最低,为 7.16%。 >5 mm 水稳性团聚体含量下降幅度最大,其中菜园和旱地土壤中 >5 mm 水稳性团聚体含量降为零。不同土地利用方式土壤中 >0.25 mm 的水稳性团聚体总量也有所降低,其中以果园和旱地土壤下降幅度较大。各种土地利用方式中(除林地),土壤团聚体破坏率随土壤肥力的提高而降低。而对于林地土壤来说,中等肥力的土壤中大粒径水稳性团聚体含量较低,结构稳定性差,团聚体破坏率最高。

此外,团聚体平均重量直径也是评价水稳性的指标之一,可以反映土壤团聚特征。由表 2 可以看出,土壤 MWD 值以高肥力的林地土壤最高,低肥力的土壤最低,这与土壤团聚体的破坏率正好相反。由表 3 可知,土壤 MWD 与 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量之间达到极显著正相关($p < 0.01$)。说明 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量直接影响着土壤 MWD 值,并且土壤中 >0.25 mm 的团聚体越多, MWD 值越大;同时土壤团聚体破坏率与 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量呈极显著负相关。因此,土壤 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量是影响土壤团聚特征和稳定性的主要因子。

表 2 土地利用方式和土壤肥力对团聚体破坏率的影响

Table 2 Effect of land use and soil fertility on aggregate destruction rate

土地利用方式	土壤肥力	平均重量直径	破坏率
Land use type	Soil fertility	MWD (mm)	Destruction rate (%)
林地	H	4.92 \pm 0.01	7.16 \pm 0.06
	M	3.25 \pm 0.19	18.2 \pm 0.93
Woodland	L	4.38 \pm 0.03	9.36 \pm 0.22
	H	1.04 \pm 0.07	39.7 \pm 3.9
果园	M	0.90 \pm 0.09	43.3 \pm 5.7
	L	0.91 \pm 0.05	52.8 \pm 2.5
水田	H	2.80 \pm 0.05	17.9 \pm 0.5
	M	1.42 \pm 0.07	31.8 \pm 1.4
Paddy soil	L	1.83 \pm 0.19	33.4 \pm 3.2
	H	0.77 \pm 0.02	38.0 \pm 1.9
菜园	M	0.77 \pm 0.04	35.5 \pm 1.3
	L	0.72 \pm 0.06	43.6 \pm 1.8
Vegetable soil	H	0.56 \pm 0.05	49.4 \pm 3.1
	M	0.40 \pm 0.02	56.1 \pm 1.8
旱地	L	0.49 \pm 0.04	60.7 \pm 3.9
	L	0.49 \pm 0.04	60.7 \pm 3.9

同一肥力水平下,旱地土壤团聚体破坏率最大。这可能与红壤旱地的强淋溶性以及土壤施肥和管理方式有关^[15]。旱地土壤受人为干扰程度较大,同时受雨水冲刷的破坏程度也很大,不利于土壤团聚结构的形成和稳定。而林地土壤受人为干扰较少,有机质来源丰富,土壤结构稳定性较高,从而在同样的肥力水平下土壤团聚体的破坏率较其他利用方式低。这正体现了林地人为干扰小,对自然因子(降雨)抵御能力强的独特优势^[16]。中等肥力的林地土壤的团聚体破坏率最高,这与林地土壤中 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量较低有关。

表 3 平均重量直径 MWD 与水稳性团聚体含量的相关性

Table 3 Correlation of MWD with content of water-stable aggregates

水稳性团聚体	平均重量直径	破坏率
Water-stable aggregate	MWD	Destruction rate
>5 mm	0.994 **	- 0.930 **
>0.25 mm	0.949 **	- 0.997 **

** $p < 0.01$

2.2 土地利用方式和土壤肥力对土壤物理性质的影响

2.2.1 土壤容重

土地利用方式的不同影响作物生产力和土壤物理性质,特别是土壤孔隙度、土粒密度、土壤容重等^[4]。一般而言,土壤容重小则土壤疏松,有利于拦渗蓄水,减少土壤养分的流失^[17]。由表 4 的统计结果可知,不同土地利用方式对土壤容重的影响差异显著($p < 0.05$),其中各肥力水平下水田土壤的土壤容重均为最低值。

而土壤肥力的不同对果园、菜园和旱地土壤容重无显著影响。但随着林地土壤肥力的提高,土壤容重变小,有利于土壤养分的存留,土壤质量变好。说明林地土壤的培育,随着土壤肥力的增加,逐渐降低了林地土壤的容重。而旱地随着耕作强度增大,引起非饱和土壤中空气体减小的土壤压实,造成土壤结构变紧,土壤容重增加^[18]。

相关分析表明,土壤容重与 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量之间呈极显著负相关(表 6, $p < 0.01$)。说明大颗粒水稳性团聚体的含量越大,则土壤容重越低。这一结论与展争艳等^[19]的研究结果一致。但关于团聚体的组成如何影响土壤容重还需进一步探讨研究。

2.2.2 土粒密度

在低肥力水平下,各种土地利用方式的土粒密度间无显著差异。中等肥力水平下林地土粒密度显著低于其他土地利用方式(表 4,

$p < 0.05$)。高肥力的不同土壤中,水田土壤的土粒密度最小。而随土壤肥力的变化,林地、水田、旱地土壤的土粒密度变化差异显著($p < 0.05$)。

有研究认为土粒密度的大小取决于土壤固相部分的物质组成。相关性分析表明,土粒密度与 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量之间无显著相关性(表 5)。说明土粒密度的变化还受其他一些因素的影响。

2.2.3 土壤孔隙度 土壤总孔隙度的差异主要由土壤容重来决定。土壤容重越低,通气性越好,孔

隙度越大^[20]。土地利用方式对红壤地区土壤孔隙度影响(除较低肥力水平外),均达显著性差异(表 4, $p < 0.05$)。而不同肥力水平下的果园、菜园和旱地土壤孔隙度间无显著性差异,这与土壤肥力对土壤容重的影响规律一致。林地和水田土壤中均以高肥力的土壤孔隙度最大,并与低肥力土壤间差异显著($p < 0.05$)。相关分析表明,土壤孔隙度和 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量之间显著相关(表 5)。这是因为随着土壤肥力的提高,林地和水田形成了较好的孔隙性,也是良好土壤团聚体结构的表征。

表 4 不同土地利用方式对土壤物理性质的影响

Table 4 Effect of land use types on soil physical properties

土壤肥力 Soil fertility	土地利用方式 Land use type	容重 Bulk density (g cm^{-3})	土粒密度 Particle density (g cm^{-3})	孔隙度 Porosity (%)
H	林地 Woodland	1.22 b	2.64 a	52.0 b
	果园 Orchard	1.35 ab	2.62 a	49.0 c
	水田 Paddy soil	0.92 c	2.55 c	63.3 a
	菜园 Vegetable soil	1.36 ab	2.60 ab	50.4 c
	旱地 Upland	1.38 a	2.56 bc	47.5 c
M	林地 Woodland	1.44 a	2.53 b	44.0 c
	果园 Orchard	1.21 bc	2.61 a	55.2 a
	水田 Paddy soil	1.03 c	2.61 a	59.4 ab
	菜园 Vegetable soil	1.22 bc	2.59 a	49.0 b
	旱地 Upland	1.33 ab	2.61 a	50.1 bc
L	林地 Woodland	1.48 a	2.62 a	43.4 b
	果园 Orchard	1.23 b	2.63 a	53.3 a
	水田 Paddy soil	1.24 b	2.62 a	53.6 b
	菜园 Vegetable soil	1.22 b	2.66 a	55.4 a
	旱地 Upland	1.34 a	2.62 a	50.0 ab

注:同一列字母表示同一肥力水平下不同利用方式间差异水平达 0.05 Note: Within each column, values followed by the different letters are significantly different at 0.05 level between soils different in land uses but the same fertility

表 5 土壤物理性质与水稳性团聚体含量的相关性

Table 5 Correlation of soil physical properties and the content of water-stable aggregates

水稳性团聚体 Water-stable aggregates	容重 Bulk density	土粒密度 Particle density	孔隙度 Porosity
>5 mm	- 0.425 **	- 0.041	0.419 **
>0.25 mm	- 0.387 **	- 0.013	0.387 **

** $p < 0.01$

3 结 论

1) 同一肥力水平下不同土地利用方式的土壤中 >0.25 mm 的水稳性团聚体总量的变化趋势相

同,其中均以旱地土壤最低,林地土壤最高。受土壤肥力的影响,林地、果园、水田中 >5 mm 的水稳性团聚体含量变化较一致,均为高肥力 $>$ 低肥力 $>$ 中等肥力。

2) 各种土地利用方式中(除林地),土壤团聚体破坏率随土壤肥力的提高而降低。而 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量可作为分析土壤 MWD 值和团聚体破坏率的主要因子。

3) 林地,水田土壤中,随着土壤肥力的提高,土壤容重和土粒密度降低,改善了土壤的结构性质,提高了土地质量。

4) 林地和旱地土壤团聚体的组成和数量存在

很大差异,进而导致土壤物理性质也发生改变,这一研究对预测不同土地管理措施下红壤质量的变化提供了依据,并有助于提高红壤资源利用效率和生产能力。

参考文献

- [1] 章明奎,何振立,陈国潮,等. 利用方式对红壤水稳定性团聚体形成的影响. 土壤学报, 1997, 34(4): 359~366. Zhang M K, He Z L, Chen G C, *et al.* Formation of water-stable aggregates in red soil as affected by land use (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 359~366
- [2] 姚贤英,许绣云,于德芬. 不同利用方式下红壤结构的形成. 土壤学报, 1990, 27(1): 25~33. Yao X L, Xu X Y, Yu D F. The formation of red soil structure in different land use (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(1): 25~33
- [3] 史弈,陈欣,沈善敏. 土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1491~1494. Shi Y, Chen X, Shen S M. Stable mechanisms of soil aggregate and effects of human activities (In Chinese). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(11): 1491~1494
- [4] 王清奎,汪思龙,高洪,等. 土地利用方式对土壤有机质的影响. 生态学杂志, 2005, 24(4): 360~363. Wang Q K, Wang S L, Gao H, *et al.* Influence of land use on soil organic matter (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 360~363
- [5] 胡国成,章明奎,韩常灿. 红壤团聚体力学和酸碱稳定性的初步研究. 浙江农业科学, 2000(3): 125~127. Hu G C, Zhang M K, Han C C. Preliminary study on mechanical stability and acidic and basic stability of aggregates in red soil (In Chinese). *Zhejiang Agricultural Sciences*, 2000(3): 125~127
- [6] 彭新华,张斌,赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2003, 23(10): 2176~2183. Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2176~2183
- [7] 章明奎. 低丘红壤林地开垦利用过程中土壤肥力退化的数值分析. 浙江大学学报(自然科学版), 1999, 33(1): 101~106. Zhang M K. Numerical analysis of soil fertility degradation in the reclamation process of forest land on low hilly red soil (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Natural Science Edition)*, 1999, 33(1): 101~106
- [8] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义. 土壤学报, 1994, 31(1): 18~25. Chen E F, Zhou L K, Wu G Y. Performances of soil micro-aggregates in storing and supplying moisture and nutrients and role of their compositional proportion in judging fertility level (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(1): 18~25
- [9] Six J, Paustian K, Elliott E T, *et al.* Soil structure and organic matter: . Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, 64: 681~689
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. ed. *Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry (In Chinese)*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [11] 章明奎,徐建民. 利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(3): 277~282. Zhang M K, Xu J M. Effects of land use and soil type on selected soil fertility quality indicators (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science Edition)*, 2002, 28(3): 277~282
- [12] Six J, Elliott E, Paustian K. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, 62: 1367~1377
- [13] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报, 2005, 36(3): 415~421. Wang Q K, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 415~421
- [14] 李映强. 有机质与土壤结构. 热带亚热带土壤科学, 1997, 6(1): 45~50. Li Y Q. Organic matter and soil structure (In Chinese). *Tropic and Subtropical Soil Science*, 1997, 6(1): 45~50
- [15] 曾希柏,李菊梅,徐明岗,等. 红壤旱地的肥力现状及施肥和利用方式的影响. 土壤通报, 2006, 37(3): 434~437. Zeng X B, Li J M, Xu M G, *et al.* Fertility of red upland soil and effects of fertilization and utilization on its fertility (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3): 434~437
- [16] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44~50. Wang H J, Li X W, Shi X Z, *et al.* Distribution of soil nutrient under different land use and relationship between soil nutrient and soil granule composition (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 44~50
- [17] 孙永丽,梅再生. 贵阳市白云岩地区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响. 贵州师范大学学报, 2006, 24(2): 27~31. Sun Y L, Mei Z S. Effects of land use on soil physical properties in dolomite area of Guiyang (In Chinese). *Journal of Guizhou Normal University*, 2006, 24(2): 27~31
- [18] 秦钟,周兆德. 土壤物理性质变化简析. 海南大学学报(自然科学版), 2002, 20(4): 379~385. Qin Z, Zhou Z D. Analysis about changes of soil physical characteristics (In Chinese). *Natural Science Journal of Hainan University (Natural Science Edition)*, 2002, 20(4): 379~385
- [19] 展争艳,李小刚,张德罡,等. 利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量及土壤结构性质的影响. 土壤学报, 2005, 42(5): 777~782. Zhan Z Y, Li X G, Zhang D G, *et al.* Effects of land use on organic C concentration and structural properties in alpine grassland soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(5): 777~782
- [20] 刘文利,罗广军. 不同林型下土壤物化性质的差异研究. 吉林林业科技, 2006, 35(1): 26~34. Liu W L, Luo G J. Analysis of soil physical and chemical properties inside and outside forest-land (In Chinese). *Jilin Forestry Science and Technology*, 2006, 35(1): 26~34

DISTRIBUTION AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL WATER-STABLE AGGREGATES IN RED SOILS DIFFERENT IN LAND USE AND SOIL FERTILITY

Liu Xiaoli^{1,2} He Yuanqiu^{1†} Li Chengliang¹ Wang Yanling^{1,2}

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

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

Abstract Distribution and soil physical properties of water-stable aggregates in red soils different in land use and soil fertility were studied. Results show that the content of soil water-stable aggregates > 0.25 mm is consistently affected by land use, and is the lowest in upland soil and the highest in woodland soil. When they are > 5 mm, their content is affected by soil fertility. The higher the fertility, the higher the content, which suggests that with increasing soil fertility, the content of soil organic matter increased, thus facilitating formation of more water-stable soil aggregates. Mean weight diameter (MWD) is positively related to content of water-stable aggregates > 0.25 mm, which is, therefore, the major factor affecting stability of soil aggregates. Soil physical properties (bulk density, particle density, porosity) differ sharply from pattern to pattern of land use and so do the rules of their variation. However, soil bulk density and soil porosity are favorable related to content of water-stable aggregates > 0.25 mm.

Key words Land use types; Soil fertility; Water-stable aggregate; Physical properties; Red soil