

不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较

祁迎春^{1,2}, 王益权^{1*}, 刘军¹, 于雄胜¹, 周彩景¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 延安大学能源与环境工程学院, 延安 716000)

摘要: 为分析比较不同土地利用方式以及种植年限土壤团聚体质量, 获得较灵敏的团聚体状况指标与研究方法, 揭示人为活动对土壤质量的作用与影响, 以关中地区不同种植年限的菜园土壤和果园土壤为研究对象, 经干筛法测定团聚体的组成状况后分别用平均质量直径 (MWD)、几何均重直径 (GMD)、分形维数 D 以及矩法参数为指标, 分析菜园土壤和果园土壤在系列时间的振动筛分过程中团聚体组成变异特征, 结果表明: 用 MWD 和 GMD 作为团聚状况指标, 只有在适宜的振动筛分时间范围内才能基本反映各种性状土壤的团聚水平差异; 用分形维数作为指标, 表征各类土壤的团聚水平的可信性值得商榷; 用矩法的理论和其中的偏倚系数 C_s 能够较为灵敏地表征各类土壤的团聚水平。同时, 研究发现菜园土壤和果园土壤的团聚化水平均有随着种植年限的增加有先提高后降低的趋势。研究得出了矩法的偏倚系数能够更清楚地区分各土壤之间的团聚水平, 为评价土壤团聚水平提供更为灵敏的指标。

关键词: 土壤, 团聚体, 分形维数, 几何均重直径 (GMD), 平均质量直径 (MWD), 偏倚系数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.055

中图分类号: S152.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0340-08

祁迎春, 王益权, 刘军, 等. 不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 340-347.

Qi Yingchun, Wang Yiquan, Liu Jun, et al. Comparative study on composition of soil aggregates with different land use patterns and several kinds of soil aggregate stability index[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 340-347. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤团聚体的组成及其基本特性是决定土壤侵蚀、压实、板结等物理过程与作用的关键指标之一, 是土壤肥力的基础和评价土壤质量的重要指标^[1]。在土壤结构问题研究方面, 尽管普遍采用干筛和湿筛两种筛分法测定土壤的团聚体组成, 为了较为准确地评价土壤的团聚状况, 仍尚需进一步研究和确定各种筛分方法的技术参数, 在已取得的众多土壤团聚状况量化指标条件下, 探求能够更为敏感地表述各种土壤团聚体质量的量化指标, 这样才能够以团聚体为指标准确地评价土壤的质量水平。

关于土壤结构特性的评价指标, 学术界普遍采用筛分方法, 测得直径 >0.25 mm 的团聚体含量作为指标, 陈恩凤等曾提出了类似的用“特征微团聚体”作为表征土壤肥力性状的质量指标^[2]。这些土壤团聚体状况的指标内涵的信息非常有限, 很难真正区分和判别各类土壤团聚体性状与特征, 很难以结构体为指标确切表征土壤肥力性状与实质^[3]。土壤团聚体组成是一个连续性的不同直径大小以及不同含量的组群资料, 为了准确地评价土壤团

聚体质量, 不仅要重视各级别团聚体的数量, 还应当重视团聚体的直径。van Bavel 采用加权求和方法提出了结构体平均质量直径 (mean weight diameter, MWD) 的概念^[3]。Gardener 在此基础上提出了几何均重直径 (geometric mean diameter, GMD) 的概念^[4]。通过对团聚体直径取对数后加权求和, 弱化团聚体直径的影响份额, 提高团聚体含量在评价指标体系当中的影响份额。MWD 和 GMD 作为土壤团聚体状况综合评价指标已被广泛地使用。近些年也有人将分形理论应用到土壤颗粒和团聚体的组成等研究方面, 提出用分形维数 (fractal dimension, D) 作为指标表征土壤团聚体的分布状况^[5,6]。然而, 这些指标在反映土壤团聚体质量方面的灵敏性和准确性如何未曾见有讨论。

1936年 W.C 克隆拜 (Krumbien) 首次将矩法用于沉积物粒度组成特征的分析, 认为矩法有着严格的数学逻辑, 能够真实地反映土壤粒度的组成特征, 目前, 矩法已广泛运用到黄土与古土壤等环境中^[7]。土壤团聚体组成与颗粒组成具有很强的相似性, 尝试将此方法应用到土壤团聚体质量评价方面, 寻求准确评判土壤团聚体性状的指标体系成为本研究目标之一。

通过对关中地区不同年限果园和菜地土壤团聚体组成进行测定, 分别用 MWD、GMD、分形维数 D 以及用矩法统计的特征数等作为团聚体的指标, 分析它们在判断土壤团聚体分布状况和稳定性方面的可行性, 揭示该地区果园和菜园土壤团聚状况与变异特点, 为确定土壤团聚体组成状况评价指标提供依据。

收稿日期: 2009-03-24

修订日期: 2010-12-14

作者简介: 祁迎春 (1983-), 女, 青海乐都人, 主要从事土壤结构问题研究。延安 延安大学能源与环境工程学院, 716000。

Email: qiyingchun@nwsuaf.edu.cn

*通信作者: 王益权 (1957-), 男, 陕西旬邑人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理与改良方面教学与研究工作。杨凌 西北农林科技大学资源环境学院, 712100

1 材料与方法

1.1 样品的采集和制备

为了获得不同质量的土壤团聚体, 找到评价团聚体质量的指标与方法, 同时揭示农业利用等人为因素对土壤团聚作用的影响, 本研究以关中地区不同种植年限的菜园(主要作物为白菜)、果园(苹果)土壤作为研究对象, 其中菜园土壤种植年限分别为 3、5、6、30 a, 果园

土壤种植年限分别为 7、8、12、13 a, 其中每个园龄的果园各 3 个, 每个果园取 5 个样。分别采集 0~20 cm 原状土样和扰动土样, 原状土样在风干过程中沿自然裂隙掰成直径为 1 cm 左右大小的团聚体, 供土壤结构及团聚体容重的测定, 扰动土风干后分别通过 1、0.25 mm 孔筛, 供土壤有关化学组成项目的测定。供试土壤类型为壤土(系统分类名称为土垫旱耕人为土, Earth-cumuli-Orthic anthrosols)^[8], 其基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状
Table 1 Physical and chemical properties of tested soils

供试土壤 (种植年限)	团聚体体积质量/ (g·cm ⁻³)	密度/ (g·cm ⁻³)	有机质质量分数/ (g·kg ⁻¹)	碳酸盐质量分数/ (g·kg ⁻¹)	颗粒组成 / %			
					砂粒 >0.05 mm	粉粒 0.002~ 0.05 mm	黏粒 <0.002 mm	物理性黏粒 <0.01 mm
菜园 1(3 a)	1.41	2.66	9.72	87.10	3.0	69.90	27.1	55.5
菜园 2(5 a)	1.55	2.69	8.56	89.60	7.7	66.30	26.0	59.4
菜园 3(6 a)	1.49	2.69	11.27	90.50	9.2	60.80	30.0	63.3
菜园 4(30 a)	1.59	2.68	9.15	89.95	5.5	65.95	28.6	57.4
果园 1(7 a)	1.41	2.67	11.44	76.90	5.2	68.80	26.0	58.8
果园 2(8 a)	1.48	2.64	9.33	85.90	2.5	69.50	28.0	58.3
果园 3(12 a)	1.62	2.59	10.32	101.60	4.9	63.10	32.0	57.2
果园 4(13 a)	1.60	2.60	9.50	103.50	2.9	67.10	30.0	56.9

1.2 分析方法

土壤密度的测定用比重瓶法; 土壤有机质含量测定用丘林法; 土壤碳酸钙含量用气量法; 团聚体体积质量测定用蜡封法。

土壤团聚状况用干筛法^[9]测定, 按四分法均匀称取原状土 500 g, 在干筛机上分别通过孔径为 10、7、5、3、2、1、0.5、0.25 mm 的一套筛子。为了探讨土壤团聚体的稳定性, 并比较团聚体在不同强度的破坏的过程中, 各类团聚体指标的变异特征, 本试验专门设置了将各供试土壤团聚体在不同时间段内进行震动筛分, 其连续震动筛分的时间分别为 5、10、15、20、25、30、40、50、70 和 90 min, 测定经过每个时段筛分后土壤团聚体的组成状况, 将作为分析团聚体稳定性指标的基本依据。

1.3 土壤团聚状况的指标及计算方法

1) 土壤团聚体的平均质量直径(MWD)和几何均重直径(GMD)详见有关参考资料^[10]。

2) 团聚体的分形维数 D 的计算采用杨培玲^[11]推导的公式

$$\frac{M(r < \bar{x}_i)}{M_T} = \left(\frac{\bar{x}_i}{x_{\max}} \right)^{3-D} \quad (1)$$

对式(1)两边取对数可得式(2)

$$\lg \left[\frac{M(r < \bar{x}_i)}{M_T} \right] = (3-D) \lg \left(\frac{\bar{x}_i}{x_{\max}} \right) \quad (2)$$

式中, \bar{x}_i 为某级团聚体的平均直径, mm; $M(r < \bar{x}_i)$ 为直径小于 \bar{x}_i 的团聚体的质量, g; M_T 为团聚体总质量, g; x_{\max} 为团聚体的最大直径, mm。利用公式(2)对试验资料进行数学拟合, 从而求得 D 值。

3) 用矩法统计的土壤团聚体组成的有关特征参数计算公式分别见式(3)、(4)和(5)。

标准差

$$\sigma = \sqrt{u_2} = \sqrt{\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i} \quad (3)$$

偏倚系数

$$C_s = \frac{u_3}{\sigma^3} = \sigma^{-3} \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 f_i \quad (4)$$

峰凸系数

$$C_E = \frac{u_4}{\sigma^4} - 3 = \sigma^{-4} \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 f_i - 3 \quad (5)$$

式中, u_2 、 u_3 和 u_4 分别为二阶中心距, 三阶中心距和四阶中心距; x_i 为第 i 级别团聚体直径的中点值; \bar{x} 为所有级别团聚体直径的平均值; f_i 为第 i 级团聚体的质量百分数。

对于具有群组特征的土壤团聚体组成而言, 用矩法获得的统计特征参数能够从多方面地反映出它的组成状况, 会比用某一个级别或单个指标描述其组成特征更加真实。根据其理论得知, 如果统计获得 $C_s=0$, $C_E=0$, 则表明土壤中“含量占优势的团聚体”直径为中等大小, 直径过小或过大的团聚体含量则较少。当 $C_s>0$ 时称团聚体组成的分布特征属于正偏态, 意味着“含量占优势团聚体”的直径较大, 土壤团聚作用强, 分散性弱; $C_s<0$ 时称团聚体分布是负偏态, 意味着“含量占优势团聚体”直径较小, 土壤分散性强。当 $C_E>0$ 时称分布是高峰态的, 意味着土壤团聚体组成相对集中, 即“含量占优势团聚体”的直径大小范围较窄; 当 $C_E<0$ 时称分布为低峰态的, 意味着土壤中各级别团聚体含量相对均衡, 土壤“含量占优势团聚体”不明显或其直径大小范围较宽。

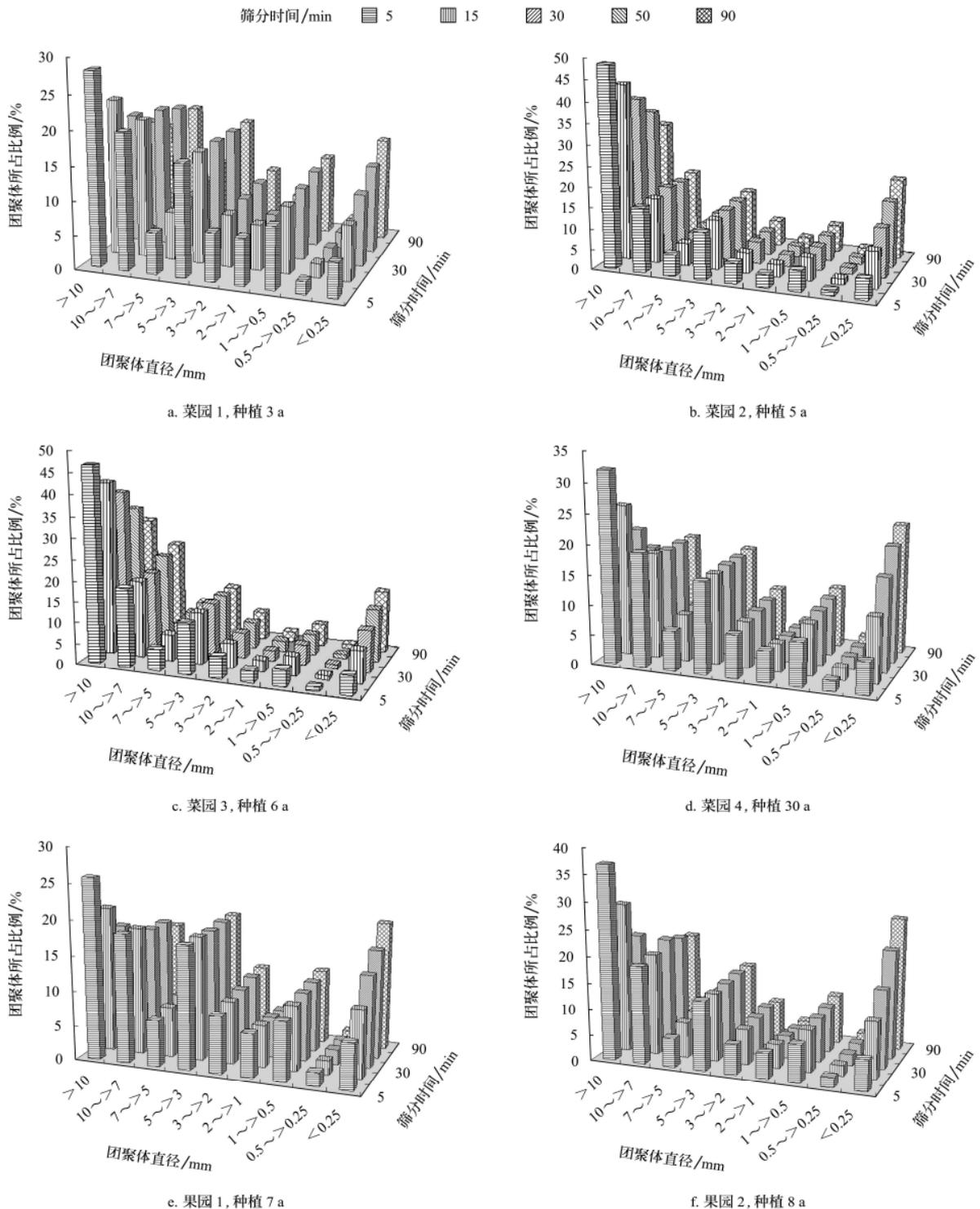
2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下耕层土壤机械稳定性团聚体的组成

土壤团聚体稳定性是评价其质量高低的重要指标,其中把具有抵抗外力破坏的团聚体叫机械稳定性团聚体,常常用经振动干筛后团聚体的组成含量来反映,但是,值得注意的是以往对团聚体性状的研究都未曾考虑到干筛时间对团聚体组成的影响,随着土壤干筛的时间不同,团聚体的组成就会有一定的差异性。因此,经

过不同时间的干筛过程团聚体的组成状况也可以反映出各种土壤团聚体的机械稳定性。

为了作图方便和更加直观地显示在震动筛分过程中各土壤团聚体的组成变化情况,仅从系列筛分时间段中选取了经过5、15、30、50和90 min筛分后团聚体组成进行分析(见图1)。首先可以看出各种利用方式下随着震动筛分时间的延长,>10 mm的团聚体所占比例逐渐减少而<0.25 mm团聚体所占比例明显增加,各土壤中>10、10~>7和5~>3 mm团聚体占的比例相对较大,而其他级别团聚体占的比例较小,干筛90 min后>10 mm



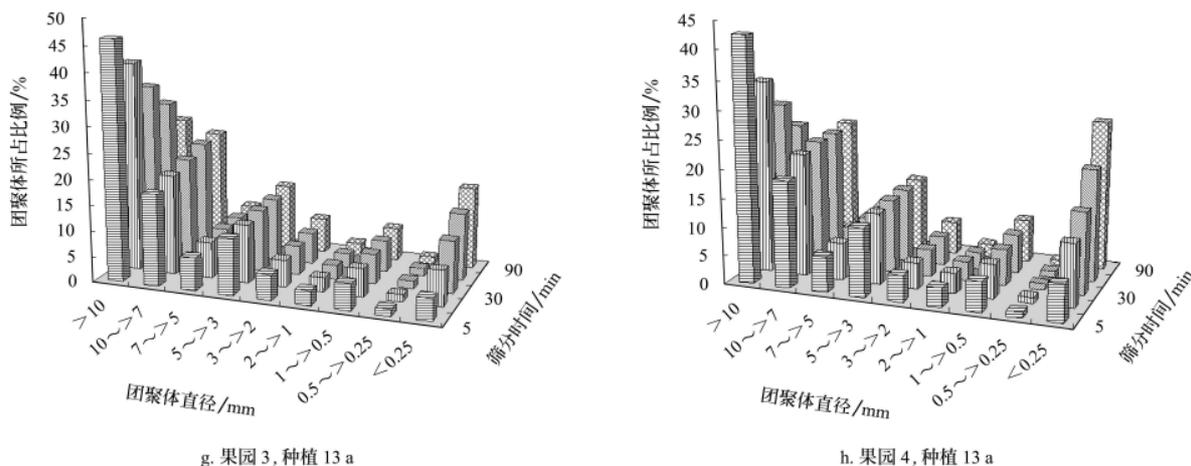


图 1 不同筛分时间下团聚体组成状况

Fig.1 Aggregates composition in different sieving time

团聚体最多, 占整体的 24%~49%, 10~7 mm 次之, 0.5~0.25 mm 最少, 只占 1% 左右。这说明该地区土壤结构普遍不好, 尤其是菜园和果园土壤, 其主要原因是土壤长期处于生产状态, 频繁灌溉, 和给具有较高经济附加值作物大量地使用无机化肥, 导致土壤结构退化。土壤出现了明显的“疲劳”症状。此外, 土地利用方式对土壤团聚体的组成具有一定的影响, 团聚体组成在不同土地利用方式差别较为明显。具体表现为农田土壤 >10 mm 团聚体的含量分别小于菜园和果园土壤; 5~>3 mm 和 1~>0.5 mm 的团聚体却大于菜园和果园, 就是说农田土壤 10~0.25 mm 团聚体的所占比例比菜园和果园要高, 结构状态相对较优。

2.2 不同土地利用方式下土壤团聚体平均重量直径和几何均重直径的变异特征

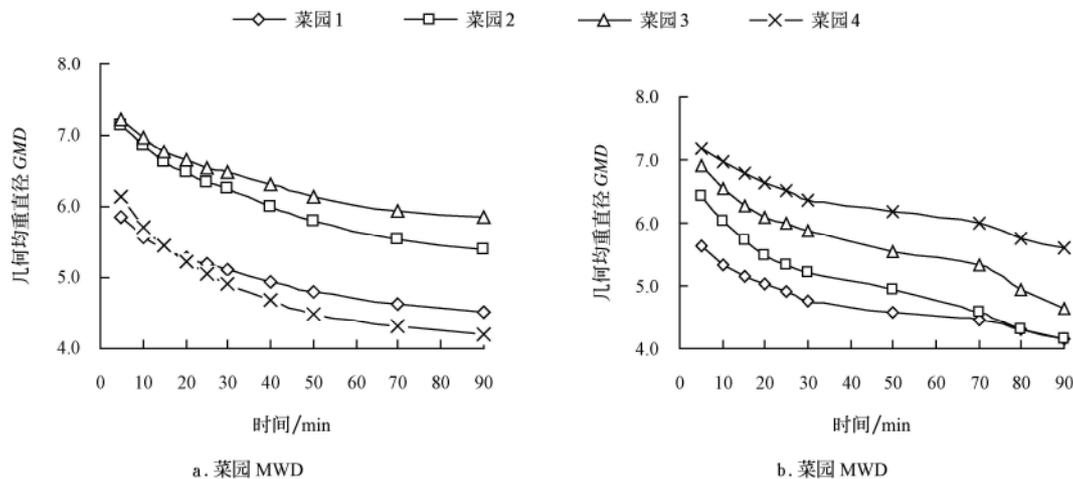
不同级别的团聚体对于协调土壤养分的保持与供应、改善孔隙组成、水力学性质和生物学性质具有不同的作用^[12], MWD 和 GMD 常常作为土壤团聚体状况的指标, 其值越大表示土壤的团聚度越高, 团聚体稳定性就越强^[13]。

对供试土壤进行了不同时间段的振动筛分测定, 获得

了在不同分散力度条件下菜园和果园土壤团聚体 MWD 值和 GMD 的变化情况 (详见图 2)。首先可以看出在连续多年种植条件下, 菜园和果园土壤团聚状况的演变情况, 同时也能够较为清楚地看出其土壤团聚体的抗机械破碎的能力。

由图 2a、c 可以看出, 尽管不同时间段测得各菜园之间土壤团聚体的 MWD 值和 GMD 值差异幅度有所不同, 但其土壤团聚体的 MWD 值和 GMD 值在 90 min 的振动筛分过程中均表现为菜园 3>菜园 2>菜园 1>菜园 4。在植菜过程中土壤团聚体的演变特征, 在前些 (约 6 a) 年时间里土壤团聚作用会因为给菜园地有机肥投入, 尤其是大量叶菜脱落及根系残留作用, 土壤团聚作用得到明显地改善, 团聚体的稳定性也明显地增强; 随植菜年限进一步增长, 到 30 a 左右土壤团聚作用反而明显地变差, 其稳定性也显著的降低, 这与植菜过程中频繁地灌溉与耕作扰动, 尤其是大量无机化肥的投入, 土壤盐分明显累积等作用有很大关系。

由图 2b、d 可以看出, 不同园龄果园土壤团聚体在振动筛分过程中团聚体的变异特征, 在 90 min 的振动筛分时间范围内, 各园龄之间土壤团聚体的 MWD 和 GMD



a. 菜园 MWD

b. 菜园 MWD

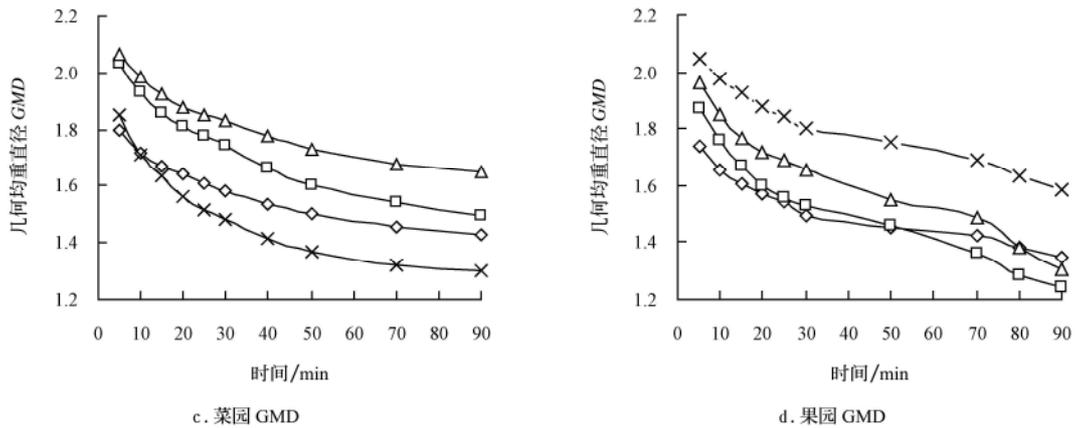


图2 不同筛分时间下不同土壤平均质量直径 (MWD)、几何均重直径 (GMD) 值

Fig.2 Mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD) values of different soils in different sieving time

差值有着不同的变化过程。如果以振动筛分时间 20 min 为依据,可以得出其果园土壤之间 MWD 和 GMD 值变异特征为果园 4>果园 3>果园 2>果园 1,即随着植果年限的增加,土壤团聚作用明显地得到了改善。果园土壤团聚作用逐渐增强的原因主要在于减少了耕作扰动的次数。

尽管干筛法是土壤团聚体分析的方法之一,但是,目前还没有人对干筛的力度与筛分的时间等参数作出明确的规定,这是因为各类土壤的团聚能力差别很大,但都随着干筛破坏力度和时间的增加,团聚体的散碎程度越严重。土壤团聚体抵御干筛破坏的能力可以作为其机械稳定性指标。只有在相同强度的振动筛分条件下,经过连续不同时间段的筛分过程才能区分出各类土壤之间团聚体的状况差异和机械稳定性(图2)。如果以 MWD 和 GMD 为团聚体指标,用 MWD 和 GMD 值与振动筛分时间之间的关系曲线斜率反映各种土壤机械稳定性的强弱,其斜率变化越大则土壤团聚体的机械稳定性就应当越差。

进一步分别比较图 2a、c 以及 b、d 可以看出不同园龄的土壤团聚体在稳定性方面还是有明显差异的。从 2a、c 看出对于菜园土壤只有在经过 30 min 的振动筛分以后

才能更加明显区分出各园龄土壤团聚体的稳定性,而从图 2b、d 看出对于果园土壤,情况有所不同,在振动筛分 20 min 以内就区分出各园龄土壤的差异性。由此可见,用 MWD 和 GMD 值作为团聚体的指标,很难找到统一的且具有敏感性的区分各类土壤团聚作用及其稳定性的测试技术参数来。

2.3 不同土地利用方式下土壤团聚体的分形特征

Castrignano^[14]等运用分形理论和地统计学对土壤团聚体进行分析发现,土壤团聚体分形维数 D 值越大,则团聚体的分散度越大。当 D 接近 2 时,表明团聚体主要由数量很少的大结构体组成,随着 D 值的增大,土壤中小级别的团聚体的数量随之增加。吴承祯等^[15]也指出,团粒结构越好、结构越稳定则分形维数越小。

对供试土壤团聚体的分形维数按照式(2)进行数学拟合(其 R^2 值均大于 0.9),由此获取了各供试土壤团聚体的分形维数。在振动筛分过程中各供试土壤分形维数与振动筛分时间之间的关系见图 3 所示。在两种土地利用方式下,土壤团聚体的分形维数均随振动干筛时间的增加而增大,其平均值增加 0.4 左右佐证了 Castrignano 等人的基本观点,即随着干筛时间的增加,团聚体被分散,大团聚体逐渐被分散为小团聚体,土壤团聚度逐渐变差。

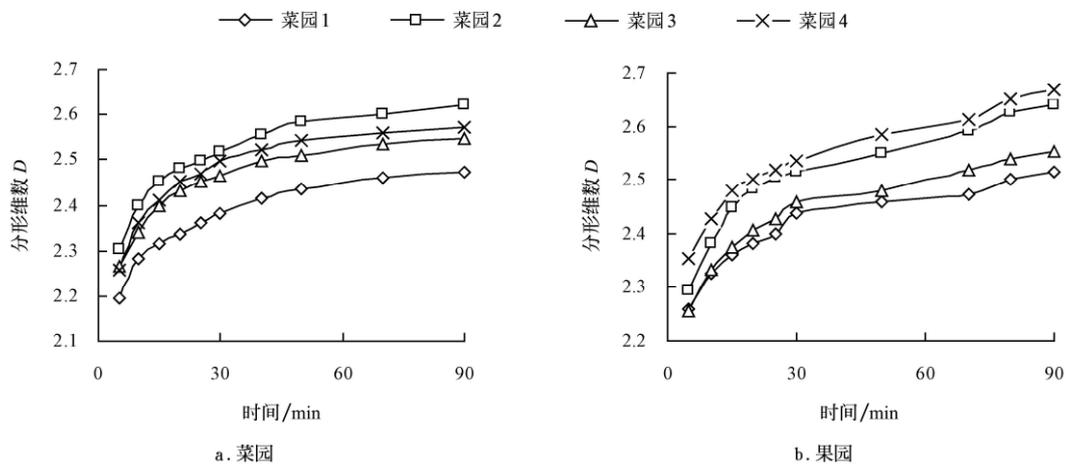


图3 不同筛分时间下不同土壤分形特征值

Fig.3 Fractal dimension of different soils in different sieving time

同种土地利用方式下经不同时间段的振动筛分后，菜园土壤之间团聚体的分形维数均有菜园 2>菜园 4>菜园 3>菜园 1 变异规律，果园土壤之间团聚体的分形维数为果园 4>果园 2>果园 3>果园 1 变异规律。按照分形维数越大，土壤团聚作用越弱的观点，对供试土壤之间的团聚水平进行比较，就可以明显得出与以 GMD 和 MWD 为指标相左的结论来。可见用分形维数作土壤团聚体的质量指标，对于相同土壤在连续振动分散过程中团聚状况的变异特性与用 GMD 和 MWD 作为指标的结论是一致的，但在评价各类土壤之间的团聚状况时其可信程度就值得商榷。

2.4 矩法在不同土地利用方式下土壤团聚状况分析方面的应用

矩法因具有严密的数学逻辑被应用在土壤颗粒组成特征的分析方面^[16-17]，土壤团聚体组成与土壤颗粒组成具有很强的相似性，尝试用矩法求出表征土壤团聚体组成的基本特征参数，如偏倚系数和峰凸系数等，并且分析这些参数在对比分析各类土壤团聚水平方面的可行性是本论文的主要目标之一。偏倚系数表示各级团聚体分布的偏倚性，即频率分布曲线的对称性，反映了大于平均直径和小于平均直径团聚体含量分布是否平衡，正偏分布为前者多于后者，负偏态分布为后者多于前者。峰凸系数表示分布的峰态，即频率分布曲线是平缓的还是高凸的，反映各级团聚体分布的集中程度。依据矩法理论式（4）和式（5），对于供试土壤不同振动筛分时间内团聚体特征参数进行统计，结果见表 2。

由表 2 可以看出，随着振动筛分时间的增加，土壤团聚体特征参数 C_s 和 C_E 发生着程度不同的规律性变化。除菜园 2、菜园 3 和果园 3 以外，其他供试土壤的 C_s 均是由正值转为负值，即土壤团聚体组成由正偏态分布转变为负偏态分布，其分散程度在逐渐地增大。不同土地利用类型和种植年限土壤团聚状况的变异规律有明显的差异。菜园土壤而言，菜园 2 和菜园 3 土壤在 90 min 的振动筛过程中， C_s 值始终大于 0，团聚体的组成曲线呈正偏态分布，说明该土壤的团聚作用强，稳定程度高，抗分散能力强，直径较大的团聚体占相对优势。菜园 1 和园 4 土壤则不然，在振动分散较短的时间内，其团聚体组成才属于正偏态分布，随着振分时间的进一步增加，土壤团聚体的组成就转变为负偏态分布，意味着该土壤团聚体稳定性相对较差，抗机械破碎的能力较菜园 2 和 3 的差。菜园 1 和园 4 土壤团聚体的组成分布特征分别是在经过了 40 和 20 min 的振动筛分以后转变为负偏态的，足见菜园 4 号土壤团聚体的机械稳定性要比 1 号土壤差，反映了长期菜地连作会导致土壤质量水平降低。

同样，也从表 2 中不难看出，在振动筛分过程中果园土壤团聚体的组成分布参数 C_s 是随着园龄的增加由正值变为负值的时间依次在延迟，即果园 1 为 25 min，果园 2 为 40 min，果园 3 则在 90 min 内仍为正值，果园 4 为 70 min，证实果园土壤的团聚作用在植果前期有随园龄的增长也得到明显地改善，当园龄超 13 a 土壤团聚作

用也会逐渐地变坏，这是因为果园无机肥料投入过量，或者使用了有机肥，也不能做到土肥充分地相容，导致了土壤团聚作用变差，土体紧实，通透性降低，果园生产的障碍才会出现。

表 2 不同振动筛分条件下各土壤团聚状况的特征参数值
Table 2 Characteristic parameters of soil aggregates condition in different sieving time

土样	干筛时间/ min	菜园 1	菜园 2	菜园 3	菜园 4	果园 1	果园 2	果园 3	果园 4
偏倚 系数 C_s	5	0.38	0.70	0.74	0.46	0.29	0.51	0.71	0.63
	10	0.25	0.61	0.66	0.27	0.16	0.36	0.65	0.50
	15	0.18	0.53	0.60	0.17	0.08	0.23	0.59	0.40
	20	0.11	0.48	0.55	0.07	0.01	0.14	0.53	0.32
	25	0.07	0.44	0.52	-0.01	-0.04	0.07	0.49	0.28
	30	0.03	0.40	0.49	-0.07	-0.11	0.02	0.43	0.24
	40	-0.05	0.30	0.42	-0.17	-0.19	-0.09	0.37	0.11
	50	-0.11	0.23	0.36	-0.26	-0.25	-0.26	0.29	0.01
	70	-0.20	0.14	0.28	-0.34	-0.33	-0.37	0.20	-0.13
	90	-0.24	0.08	0.24	-0.39	-0.39	-0.43	0.13	-0.27
	变化幅度	0.62	0.62	0.50	0.83	0.68	0.94	0.58	0.90
峰凸 系数 C_E	5	-2.60	-2.48	-2.50	-2.58	-2.61	-2.54	-2.50	-2.53
	10	-2.61	-2.48	-2.51	-2.59	-2.62	-2.55	-2.51	-2.53
	15	-2.61	-2.49	-2.51	-2.59	-2.62	-2.56	-2.52	-2.53
	20	-2.62	-2.50	-2.52	-2.58	-2.62	-2.56	-2.53	-2.55
	25	-2.62	-2.50	-2.52	-2.58	-2.62	-2.57	-2.53	-2.55
	30	-2.62	-2.50	-2.52	-2.58	-2.62	-2.57	-2.54	-2.55
	40	-2.62	-2.50	-2.53	-2.58	-2.62	-2.57	-2.54	-2.54
	50	-2.62	-2.50	-2.54	-2.58	-2.62	-2.57	-2.55	-2.54
	70	-2.62	-2.50	-2.55	-2.58	-2.62	-2.56	-2.55	-2.54
	90	-2.62	-2.50	-2.55	-2.58	-2.62	-2.56	-2.56	-2.54
	变化幅度	0.02	0.02	0.05	0.01	0.01	0.03	0.06	0.02

在相同筛分时段内的偏倚系数变异性也能够清楚地显示着菜园土壤和果园土壤在不同园龄之间变异规律（表 2），均呈现随园龄增加先增大后减小的趋势，较为敏感地反映了土壤团聚状况随园龄的变异规律。

同时从表 2 可以看出，在振动筛分过程中供试土壤团聚体的峰凸系数 C_E 均为负值，其值与筛分时间关系不很密切，变幅在 0.01~0.06 之间，证实各土壤团聚体组成没有很明显的优势出现。只是在振动筛分过程中发生了峰值位置由较大直径向较小直径的变化过程。

采用矩法对菜园土壤和果园土壤团聚体组成系列分析，会得出与用 MWD 和 GMD 做指标时基本相一致的结论，即随着植菜和果园园龄的增加，在起始年份里土壤团聚作用明显得到了改善，但随着植菜和植果年份进一步增长，会导致土壤颗粒分散，土壤质量变坏。但是用矩法的相关参数能够在更为灵敏的精度范围区分出各类土壤团聚体的基本特征，在土壤团聚体分析时，通过进行系列时间段的振动筛分，也能清楚地区分不同处理土壤团聚体组成的重要结论。

3 结 论

分别以平均质量直径 (MWD)、几何均重直径 (GMD)、分形维数 (D) 以及矩法参数偏倚系数和峰凸系数为指标, 对比分析了关中地区菜园和果园土壤团聚体组成及其稳定性, 得出如下主要结论:

1) 无论采用哪个指标, 基本上都能够表征在振动筛分过程中同一土壤团聚体的变异规律。但是, 在区分各类土壤团聚体状况方面, 因选用指标的不同会得出不同的结论。用 MWD 和 GMD 作为指标, 只在合适的筛分时间范围内才能基本上区分各类土壤之间团聚状况的差异性; 用分形维数作指标, 在区分各土壤之间团聚状况时的可信度值得商榷; 用矩法的偏倚系数能够清楚地区分各土壤之间的团聚水平。

2) 筛分法是测定土壤团聚体组成的主要方法, 已被广泛地采用, 研究发现, 菜园土壤需要经过 30 min 以上时间的振动筛分过程才能评判出各园龄土壤团聚状况的差异性, 而果园却在振动筛分 20 min 以内, 因此, 确定适宜的筛分时间才是该方法的关键内容。用 MWD 和 GMD 作为团聚体的指标时, 只有在适宜的筛分时间段内, 才能区分出各土壤之间的团聚水平, 而用矩法的理论和参数作为指标, 在评价各土壤团聚水平时, 对筛分时间要求就不那么严格。设置不同时间段的振动筛分过程, 会进一步增加评判的准确性。

3) 用 MWD 和 GMD 以及矩法都证实了无论是菜园还是果园土壤, 均有随着园龄的增加土壤团聚水平有先提高后降低的变化趋势, 菜园土壤和果园土壤均体现了明显的“疲劳”状态。

[参 考 文 献]

- [1] Rattan L. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21 century[J]. *Soil Science*, 2000, (165): 191—207
- [2] 陈恩凤, 关连珠, 汪景宽, 等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. *土壤学报*, 2001(1): 51—53.
Chen Enfeng, Guan Lianzhu, Wang Jingkuan, et al. Compositional proportion of soil characteristic microaggregates and soil fertility evaluation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001(1): 51—53.(in Chinese with English abstract)
- [3] van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1949, 14: 20—23.
- [4] Gardner W R. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution[J]. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1956, 20: 151—153.
- [5] 孙天聪, 李世清, 邵明安. 半湿润区长期施肥对土壤结构体分形特征的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(3): 417—422.
Sun Tiancong, Li Shiqing, Shao Ming'an. Effects of long-term fertilization on fractal features for soil aggregates in semi-arid farmland ecological system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(3): 417—422. (in Chinese with English abstract)
- [6] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973—1979.
Zhou Hu, Lü Zhizhong, Yang Zhichen, et al. Effects of conservation tillage on soil aggregates in Huabei Plain, China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1973—1979.(in Chinese with English abstract)
- [7] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. *中国科学*, 1998, 28(3): 278—283.
- [8] 刘东生. 黄土的物质成分和结构[M]. 北京: 北京科学出版社, 1996.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978.
- [10] 姚贤良. 土壤结构的肥力意义[J]. *土壤学报*, 1965, 13(1): 15.
- [11] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896—1899.
- [12] 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判土壤肥力水平中的意义[J]. *土壤学报*, 1994, 31(1): 18—25.
- [13] Nimmo J R, Perkins K S. Aggregates stability and size distribution. In: *Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods*[J]. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 2002: 317—328.
- [14] Castrignano, Stelluti. M. Fractal geometry and geostatistics for describing the field variability of soil aggregation[J]. *J Agric Engng Res*, 1999, (73): 13—18
- [15] 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团聚结构的分形特征研究[J]. *土壤学报*, 1999, 36(2): 162—167.
Wu Chengzhen, Hong Wei. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(2): 162—167. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吉启慧. 粒度分析在塔克拉玛干沙漠研究中的应用[J]. *中国沙漠*, 1996, 12(2): 173—179.
Ji Qihui. Application of grain size analysis in the studies of Taklimakan desert[J]. *Journal of Desert Research*, 1996, 12(2): 173—179. (in Chinese with English abstract)
- [17] 曹振, 胡克, 张永光, 等. 科尔沁沙地地表沉积物粒度分析与可风蚀性讨论[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(1): 15—19.
Cao Zhen, Hu Ke, Zhang Yongguang, et al. Grain size distribution and wind erosion possibilities of surface sediments in Horqin sandland[J]. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1): 15—19. (in Chinese with English abstract)

Comparative study on composition of soil aggregates with different land use patterns and several kinds of soil aggregate stability index

Qi Yingchun^{1,2}, Wang Yiquan¹, Liu Jun¹, Yu Xiongsheng¹, Zhou Caijing¹

(1. *College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China* ;

2. *College of Energy and Environmental Engineering, Yanan University, Yan'an 716000, China*)

Abstract: To analyze and compare the quality of soil aggregate under various conditions, and find more sensitive status index and research method of the aggregation, and reveal the effect and influence of human activities on soil quality, an experiment on vegetable garden soil and the orchard soil with different planting histories was conducted. Mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), dimension and moment method parameter were used to analyze the characteristics of aggregates composition variation of the two kinds of soil in the process of vibration screening. The results showed that: MWD and GMD as aggregate status index could basically reflect the difference of the soil aggregate levels only in the appropriate scope of vibration screening time. The credibility of using dimension for index to display the level of soil aggregate was questionable. Moment method parameter was more sensitive to characterize the level of soil aggregate. At the same time, the level of soil aggregate of both garden soil and orchard soil increased at first and then decreased with the increase of using term.

Key words: soils, aggregates, fractal dimension, geometric mean diameter (GMD), mean weight diameter (MWD), bias coefficient