

种植果树对土壤物理性状的双重效应*

孙 蕾 王益权** 张育林 李建波 胡海燕

(西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100)

摘 要 在渭北果区选择不同园龄(<10年、10~20年、>20年)果园, 分层测定0~60 cm土层土壤容重、土壤坚实度、土壤含水量以及表层土壤团聚体组成等物理性状, 进一步分析了果园土壤物理性状随园龄的变化特征。结果表明: 土壤容重在0~30 cm土层随园龄增长而降低; 在30 cm以下土层随园龄增长而增加, 超过了健康园艺土壤的质量标准 $1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 与休闲农田相比, 种植果树可降低10~30 cm土层土壤容重; 但30 cm以下土层土壤坚实度急剧增大, 接近或达到了限制根系延伸的土壤质量标准1 000 kPa; 与休闲农田相比, 种植果树对于降低17.5~27.5 cm土层的坚实度具有明显作用。果园表层土壤团聚体状况整体较差, 水稳性优势团聚体直径为0.5~0.25 mm, >0.25 mm水稳性团聚体含量随园龄增加而增大, >20年果园比<10年果园高1倍。种植果树对表层土壤具有明显的保护和改善作用, 却在深层发生着紧实化和坚硬化过程。果树对土壤物理状况的双重效应体现在对0~30 cm土层土壤结构具有改善作用, 对30 cm以下土层土壤结构有破坏作用。果园土壤“深层的隐蔽性退化过程”影响着果树根系健康生长, 应当给予极大关注。

关键词 果园 土壤容重 土壤团聚体 土壤坚实度 双重效应 土壤隐蔽性退化 种植年限
中图分类号: S151.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2011)01-0019-05

Dual effect of fruit tree cultivation on soil physical characteristics

SUN Lei, WANG Yi-Quan, ZHANG Yu-Lin, LI Jian-Bo, HU Hai-Yan

(College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract Soil bulk density, hardness, moisture and surface soil aggregation composition were measured in <10-, 10~20- and >20-year-old orchards in Weibei Region. The results showed that soil bulk density in the 0~30 cm soil layer decreased with increasing orchard age. However, bulk density below the 30 cm layer increased with increasing orchard age, exceeding the $1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ upper limit for healthy garden soils. Soil bulk density in the 10~30 cm soil layer was lower in orchards than in croplands. Soil hardness increased sharply below the 30 cm soil layer, almost reaching the 1 000 kPa upper limit of soil quality standard for healthy root growth. Soil hardness in the 17.5~27.5 cm soil layer is lower in orchards than in croplands. Soil aggregation status was poor in surface soil of orchards. Most water-stable aggregates in the orchard soils were in 0.5~0.25 mm range class. Contents of water-stable soil aggregates >0.25 mm increased with increasing age of orchards. Water-stable soil aggregates contents in 20-year-old orchards were two times higher than those in 10-year-old orchards. Fruit trees have a dual effect on soil physical characteristics. Soil physical conditions was generally improved in topsoil (0~30 cm), but worsen in subsoil (<30 cm) with increasing orchard age. As latent degradation of subsoil in orchards affected the healthy growth of fruit trees, any such degradation should be carefully monitored.

Key words Orchard, Soil bulk density, Soil aggregate, Soil hardness, Dual effect, Latent soil degradation, Cultivation years
(Received Jan. 22, 2010; accepted Aug. 27, 2010)

随着经济的快速发展, 果园种植面积逐渐扩大, 对改善人们的生活水平, 促进经济全面快速发展起到了极大作用。陕西省渭北地区气候条件独特, 土

壤条件优越, 是优质苹果主要生产基地, 苹果品质驰名中外, 极大地推动了区域经济的快速发展, 也成为陕西省发展经济的支柱产业之一。然而, 该区

* 陕西省农业厅项目“陕西苹果土壤与施肥标准化管理技术研究”资助

** 通讯作者: 王益权(1957~), 男, 教授、博士生导师, 主要从事土壤物理与改良的教学科研工作。E-mail: soilphysics@163.com

孙蕾(1985~), 女, 在读硕士, 主要从事土壤质量方面的研究。E-mail: wendy175245@163.com

收稿日期: 2010-01-22 接受日期: 2010-08-27

影响果业可持续发展的一系列问题已经出现,如随着植果年限增加,果树衰老明显,树势衰弱,抗病性降低;果树的盛果期缩短,产量下降;果品质量明显下降等。究其原因,主要是由于果园管理不够规范,导致果园土壤质量明显退化,影响果树生产潜力的发挥^[1-2],严重制约了地区经济的健康发展。

目前,关于果园土壤质量演变问题的研究主要集中在土壤深层干燥化、养分匮乏及重金属累积等方面^[3-7],而对随种植年限延长果园土壤物理性状研究仍鲜见报道^[8]。果园土壤质量是果业健康发展的最重要基础和最基本的保障条件,而果园土壤的物理状况又是果树的重要立地条件。本文分析了渭北地区果园土壤物理性状及其演变趋势,以期探寻果园生产的障碍,促进果园可持续发展和提高果品质量。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验选在陕西省渭北苹果主产区旬邑县,该县平均海拔 1 300 m,年平均气温 9.0℃,年辐射总量 $5.02 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$,年日照 2 390.2 h,年均降雨量 606.3 mm,土壤类型以黏黑垆土为主。具有海拔较高、日照充足、昼夜温差大、土层深厚、土体疏松、气候较为干燥、环境污染小等优越条件。该地区腐殖质层深厚,常在 1 m 以上。苹果种植历史相对较长,在整个渭北旱塬地区具有很好的代表性。供试树种为“红富士”,生长健壮,树势中等。

1.2 采样及分析方法

试验于 2008 年 10 月果品采收期间,在旬邑县植果历史相对较长的原底乡,分别选择相同自然生态条件的 >20 年、10~20 年和 <10 年等园龄段的苹果园作为研究对象,每个园龄段果园各选 3 个作为试验重复,从中采集土壤样品并进行土壤物理性状测定^[9]。用原状土取土钻(镶有 100 cm^3 的环刀)从上到下按 10 cm 的间距依次在 0~60 cm 土层分别取原状土样,测定土壤容重;在 0~20 cm 土层采集原状土样,用硬质盒将样品带回室内后风干,沿风干形成的自然裂隙掰成 1 cm^3 左右的土块,用干筛法和湿筛法进行土壤结构分析,团聚体湿筛用 Yoder 法;用 SC-900 型土壤坚实度仪,按 2.5 cm 间距现场测定各园龄果园 0~45 cm 土层土壤坚实度,每个果园布置 3 个测点。并在当地选择土壤条件相对一致的农田为对照,进行相关项目检测。

试验结果采用 Excel 软件和 SPSS 数据处理系统进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同园龄段果园土壤容重的变化趋势

果树根系分布、吸收能力主要依赖于土壤物理性状,适宜的土体有利于根系向纵深方向延伸,增加根系量。对果树而言土壤容重在 $1.00 \sim 1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 比较适宜^[10]。

研究表明,渭北果园土壤容重普遍偏大,在 $1.20 \sim 1.50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,20 cm 以下土层土壤容重均高于 $1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (图 1)。进一步分析发现,0~60 cm 土层土壤容重随园龄增长具有两个不同方向的变化趋势区间:0~30 cm 土层土壤容重随园龄增加而降低,这是因为果园土壤人为耕作扰动次数少及树冠对降雨的缓冲作用,有效保护了表层土壤结构;而农田 0~10 cm 土层土壤容重小于果园土壤,是人为耕作松土所致,其 10~30 cm 土层土壤容重高于果园土壤,佐证了农田土壤频繁扰动和压实,以及地面保护条件较差、土壤黏粒向深层移动问题。30~60 cm 土层受人为扰动因素较小,果园土壤容重不仅高于农田,且随园龄增加而增大,这是因为渭北地区土壤有机物质贫瘠,属于弱团聚性土壤,未被团聚的土壤黏粒有向深层移动而密实趋势;此外,也与旱地果园深层根系吸水作用使土体收缩以及根系挤压等有关。<10 年果园土壤最大容重出现在 20~30 cm 处,而 10~20 年和 >20 年果园土壤容重最大值分别出现在 30~40 cm 和 40 cm 以下土层,呈现出随园龄增加 30~60 cm 土层土壤容重显著增大、容重增大的土层空间增加和向下延伸的变化趋势。土壤深层容重增大、向紧实化方向演变成为果园土壤退化的主要形式之一。

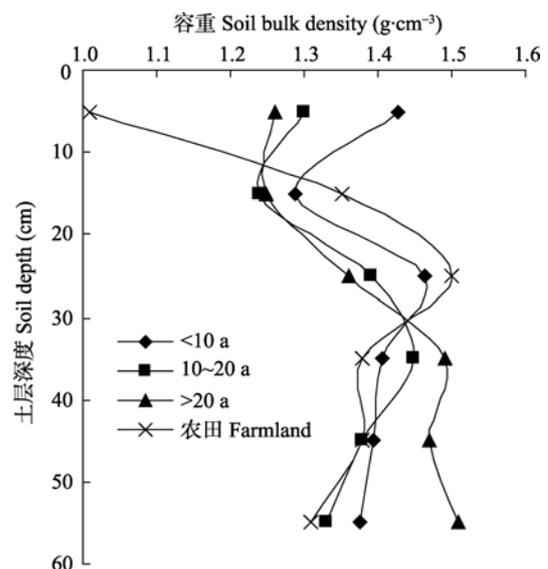


图 1 不同园龄段果园土壤容重的变化

Fig. 1 Soil bulk density in orchards with different planting ages

进一步对果园土壤容重主体间效应检验得出: 土层和种植年限的 sig 值分别为 0、0.032, 均小于 0.05, 说明各果园土壤容重在时间和空间上均具有显著差异。30~50 cm 土层土壤容重与其他土层差异显著, 证实渭北旱塬果园土壤紧实层位置不在表层, 而在亚表层。在果园管理方面有必要适时适度深翻, 一方面可有效防止果园土壤内部紧实化和紧实层逐渐延伸给果园土壤管理带来困难, 另一方面果园土体疏松有助于增加果树新根生成和增加根系的吸收功能, 有利于维持果树的健壮树势, 延缓果树衰老等^[11]。

2.2 不同园龄段果园土壤坚实度的变化趋势

一般认为紧实土壤中根系生长速度较慢^[12]。土壤硬度(坚实度)有时用穿透阻力表示, 即把前端锥状圆柱探测器推入土壤中所需的力。当阻力超过 1 MPa, 根系生长明显变缓, 随后二者近似呈线性关系, 当阻力约为 5 MPa 时, 根系生长基本停滞^[13-14]。另有报道, 增加豌豆根阻力, 根产生胁迫反应, 30 min 内根伸长速度减小 50%, 压力解除后, 生长速度有轻微增加^[15]。机械阻力使根伸长速度减慢的原因一是分生组织细胞分裂速度减慢, 二是细胞长度变短(不是体积减小)^[16]。

在相同时间和自然条件下, 检测了不同园龄果园土壤坚实度。图 2 表明, 随剖面深度增加果园土壤坚实度明显增大, 且随种植年数增大呈现出规律性增大趋势。与农田土壤相比, 果园土壤在 17.5~27.5 cm 范围内坚实度较小, 说明种植果树可减小这一土层范围的土壤坚实度, 可能与根的穿插作用有关; 但>30 cm 土层的果园土壤坚实度与农田土壤相比无明显差异。0~20 cm 土层内渭北各果园土壤坚

实度相对较小, 变化范围为 100~600 kPa, 对根系生长不会有影响。而在 20 cm 以下果园土壤坚实度急剧增大, 已经接近或超过影响根系延伸生长的程度, 尤其是在>20 年果园表现更为显著。土壤亚表层出现紧实化制约着果树根系的延伸。通过对不同园龄果园土壤坚实度的比较可以得出, 长期植果会导致表层土壤和深层土壤的紧实化, 这可能与果园管理措施及黏粒的长期淋溶淀积有关, 需进一步研究。

土壤坚实度既依赖于含水量, 相反也影响土壤水分状况。图 3 表明果园深层土壤含水量较小, 这可能是导致土壤坚实度增大的原因之一。<10 年、10~20 年和>20 年园龄果园土壤坚实度与含水量均呈显著负相关关系(sig 分别为 0.003、0.018 和 0.007, 均小于 0.05)。

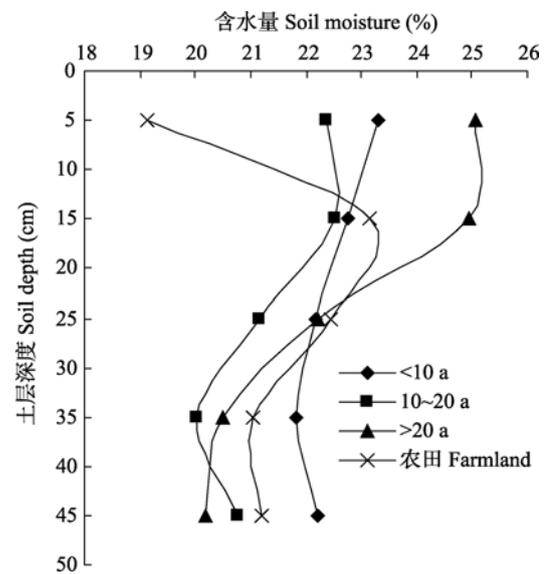


图 3 不同园龄段果园土壤含水量的变化

Fig. 3 Soil moisture in orchards with different planting ages

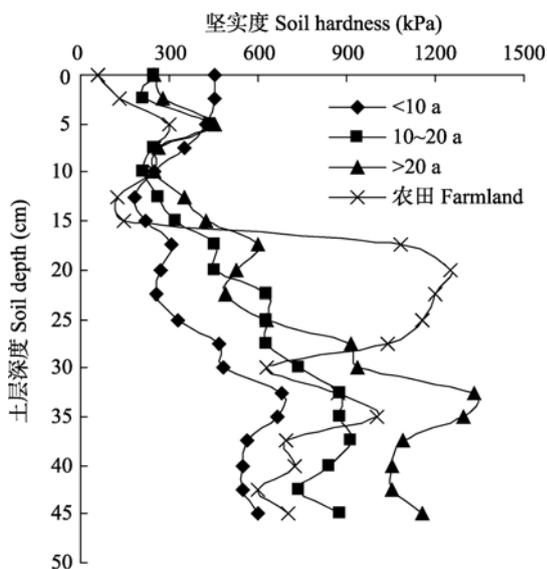


图 2 不同园龄段果园土壤的坚实度变化

Fig. 2 Soil hardness in orchards with different planting ages

不同土层土壤含水量差异显著, 佐证了随园龄增加, 深层土壤容重增大, 影响降水期间土壤水分入渗能力和深层土壤墒情的恢复, 导致长龄果园土壤剖面上下层之间含水量出现更为明显差异的变化趋势。

2.3 不同园龄段果园土壤团聚体的变化

直径>0.25 mm 水稳性团聚体含量在一定程度上反映着土壤的抗侵蚀能力。相反, 表层土壤团聚体在雨水的冲刷过程中, 由于“水爆”或者“气爆”的作用, 会由直径较大团聚体破碎为小直径团粒, 从而改变各粒级团粒的含量^[17-19]。树冠对雨滴能量的缓冲作用, 保护了土壤表层结构体。

由表 1 可知, 渭北果园土壤水稳性团聚体(>0.25 mm)含量仅为 112.91~241.36 g·kg⁻¹, 而土壤优势水

稳性团聚体直径在 0.5~0.25 mm, 相对较大直径团聚体含量很少, 证明渭北土壤的团聚作用整体较差。此外, 随植果年限增加, 果园土壤>0.25 mm 水稳性土壤团聚体含量有明显增加趋势, >20 年果园比

<10 年果园增长达 1 倍, 而<0.25 mm 团聚体含量在减少, 整体上果树促进了表层土壤水稳性团聚体的形成, 其结果与前人研究结果趋势一致, 佐证了果树对表层土壤结构体的保护作用。

表 1 不同园龄段果园表层土壤水稳性团聚体(湿筛)含量
Tab. 1 Contents of topsoil water-stable aggregates in orchards with different planting ages

种植年限 Planting age (a)	水稳性团聚体含量 Soil water-stable aggregate content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)						
	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	>0.25 mm	<0.25 mm
<10	11.82	12.08	9.59	21.05	58.37	112.91	887.09
10~20	11.06	18.84	19.34	35.92	93.10	178.26	821.74
>20	9.23	19.39	13.69	29.06	169.99	241.36	758.64

表 2 不同园龄段果园土壤各级别水稳性团聚体稳定系数^[18]
Tab. 2 Soil water-stable aggregate stability index in orchards with different planting ages

种植年限 Planting age (a)	土壤团粒稳定系数 Soil water-stable aggregate stability index				
	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm
<10	0.027 2	0.022 7	0.016 2	0.032 3	0.116 7
10~20	0.027 2	0.036 3	0.033 3	0.056 5	0.188 6
>20	0.019 6	0.034 0	0.022 3	0.043 2	0.307 7

由表 2 可知, >5 mm 土壤水稳性团聚体稳定系数随种植年限的增加而减小, 说明长期种植果树不利于>5 mm 水稳性团聚体的稳定。5~0.5 mm 土壤水稳性团聚体稳定系数在 10~20 年园龄果园达到最大, 说明种植果树初期有利于此级别团聚体的稳定, 但随着种植果树年限的增加, 水稳性团聚体稳定性降低, 破碎为较小团聚体的可能性增加。种植果树年限超过 20 年使果园土壤结构性变差。

3 讨论

土壤容重、孔隙度是反映土壤物理性状的主要指标, 其大小不仅影响土壤水、气、热状况, 而且影响矿质养分供应及苹果根系的穿插与生长^[20]。在同一气候和土壤条件下, 土壤容重、孔隙度除与成土母质、气候条件有密切关系外, 还受植被、耕作、土壤有机质以及人为管理水平等因素的影响。张晋爱等^[21]研究了不同种植年限柠条林对土壤容重的影响, 得出柠条林土壤容重介于 0.99~1.29 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间, 在 10~26 年内呈现递减趋势。安韶山等^[22]、曹成有等^[23]、苏永中等^[24]分别研究了 8 年和 18 年的柠条林、0~28 年锦鸡人工林, 发现土壤容重均呈减少趋势。上述研究工作限于林地表层土壤, 未涉及较深土层土壤容重的变化。吴思政等^[25]研究了土壤容重与杏树生长的关系, 表明土壤容重对杏产量有显著影响, 在杏品种、分布、树龄、管理及土壤类型相同情况下, 杏单株产量和单位面积产量随土壤容重减少而增大。可见, 土壤容重变化趋势不仅

与植被类型有很大关系, 也直接影响到果品产量与质量。

渭北果园土壤容重发生着双方向的变化过程, 果园土壤在 20 cm 以上各层土壤容重在健康园艺土壤的标准范围内^[26], 均小于 1.30 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 且随园龄增加, 土壤容重有减小趋势; 在 20 cm 以下土层各果园土壤容重高于 1.30 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 达到了影响根系延伸的标准, 且随园龄增加不仅土壤容重显著增大, 且容重增加的土层厚度也增厚。

土壤坚实度对植物生长和作物产量的影响已成为全球关注的问题之一, 主要原因在于使用重型农业机械、人为的土壤耕作管理以及土壤干旱等因素, 使土壤坚实度产生明显变化, 影响土壤水肥气热状况, 影响植物生长和作物产量^[26]。土壤坚实度对植物根系穿插能力的影响在果树上体现得更为明显, 尤其是底土紧实化直接影响根系伸长, 减小了根系觅水觅肥空间。坚实度表征着土壤质地、结构等理化性状, 也反映着土壤墒情。探讨土壤坚实度变化规律与影响因子是评价根系生长物理条件的重要内容。

渭北果园土壤坚实度整体上呈现出随园龄增加而显著增大的趋势, 各园龄果园间在 0~20 cm 范围不很明显, 而在 20 cm 以下土层变异性显著; 20 cm 以上土层各果园土壤坚实度变异在 100~600 kPa 范围, 不会影响根系生长, 20 cm 以下土层果园土壤坚实度接近或超过了限制根系延伸的 1 000 kPa 标准, 尤其是 20 年以上园龄的果园表现更为明显, 意味着

该果园果树根系已经承受明显的机械胁迫作用。果园土壤 30 cm 以下土层紧实化和硬化程度增加, 限制了水分入渗和深层土壤墒情的修复, 表现为随园龄增加其土壤上下层之间含水量差异更加明显。

土壤结构受自然生态环境变迁和人为生产管理活动的影响很大, 由于耕作土壤扰动性较大, 土壤结构退化现象严重, 已有资料中多数是研究农田土壤结构的演变趋势。刘梦云等^[27]研究了不同土地利用方式下土壤团粒及微团粒状况, 发现团聚体总量为天然草地>灌木林地>果园>农地>人工草地。江泽普等^[28]曾研究不同年限红壤果园土壤团聚体状况, 结果为在 15 年内土壤大团聚体含量随种植时间延长而降低, 在 30 年后逐渐增加; 1~0.25 mm 团聚体不断下移, 在 20~40 cm 土层积累。目前, 渭北果园土壤结构体的变化趋势以及结构体变化与果树衰老之间的关系研究报道尚少。

渭北旱塬果园表层土壤团聚体状况整体上较差, >0.25 mm 水稳性团聚体含量为 112.91~241.36 g·kg⁻¹, 其中优势级别为 0.5~0.25 mm; 随着种植果树年限的增加, >0.25 mm 水稳性团聚体含量增加, 20 年以上果园比 10 年以下果园高 1 倍以上, 表明种植果树对表层土壤的团聚有改善作用。

4 结论

长期种植果树对表层土壤结构具有明显保护和改善作用, 却在深层发生着紧实化和硬化过程。种植果树对土壤物理状况的双重效应体现在对 0~20 cm 土层土壤结构具有改善作用, 而对 20 cm 以下土层土壤结构有破坏作用。果园土壤“深层的隐蔽性退化过程”影响着果树根系健康生长, 应给予极大关注。

参考文献

- [1] 同延安, 王留好, 刘剑. 陕西渭北地区苹果园土壤有机质现状评价[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 189-192
- [2] 白志礼, 穆养民, 赵政阳. 陕西苹果产业发展的新思考与新探索[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 172-175
- [3] 樊军, 邵明安, 郝明德, 等. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1213-1216
- [4] 李丽霞, 郝明德, 薛晓辉, 等. 黄土高原沟壑区苹果园土壤重金属含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 65-69
- [5] 刘子龙, 赵政阳, 张翠花, 等. 陕西苹果主产区果园土壤重金属含量水平及评价[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 21-25
- [6] 冉伟, 谢永生, 郝明德. 黄土高原沟壑区不同种植年限果园土壤水分变化[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 229-233
- [7] 张彩云, 庞奖励, 申海元. 渭北旱塬长龄果园土壤基本性质与重金属含量及评价[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 755-757
- [8] 常显波, 刘举, 韩京龙, 等. 不同种植年限苹果园土壤理化性质及微生物数量[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1423-1426
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [10] 山东省林业学校. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986
- [11] 汪景彦. 苹果优质生产[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [12] 刘晚苟, 山仑, 邓西平. 植物对土壤紧实度的反应[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(3): 254-260
- [13] Bengough A G. Modeling rooting depth and soil strength in a drying soil profile[J]. Journal of Theoretical Biology, 1997, 186(3): 327-338
- [14] Materechera S A, Dexter A R, Alston A M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species[J]. Plant and Soil, 1991, 135(1): 31-41
- [15] Bengough A G, Mackenzie C J, Elangwe H E. Biophysics of the growth responses of pea roots to changes in penetration resistance[J]. Plant Soil, 1994, 167(1): 135-141
- [16] Bengough A G, Mullins C E. The resistance experienced by roots growing in a pressurized cell. A reappraisal[J]. Hant Soil, 1990, 123(1): 73-82
- [17] Stroosnyder L, Koorevaar P. Air pressure within soil aggregate during quick wetting and subsequent “explosion”[J]. Meded Dake Laubou Rijisuniv Gent, 1976, 37: 1095-1106
- [18] 付刚, 刘增文, 崔芳芳. 黄土残塬沟壑区不同人工林土壤团粒分形维数与基本特征的关系[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 101-107
- [19] 卢金伟, 李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 81-85
- [20] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2070-2076
- [21] 张晋爱, 张兴昌, 邱丽萍, 等. 黄土丘陵区不同年限柠条林地土壤质量变化[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 136-140
- [22] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(1): 70-73
- [23] 曹成有, 蒋德明, 全贵静, 等. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿人工固沙区土壤理化性质的变化[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 108-113
- [24] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地不同年代小叶锦鸡儿人工林植物群落特征及其土壤特性[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 93-100
- [25] 吴思政, 柏文富, 禹霖, 等. 土壤容重与杏树生长和结果的关系[J]. 经济林研究, 2001, 19(4): 20-22
- [26] 柯夫大. 土壤学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1981
- [27] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 47-51
- [28] 江泽普, 韦广泼, 谭宏伟. 广西红壤果园土壤肥力演化与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 312-318