

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180281

魏彬萌, 王益权, 李忠徽. 种植苹果树对渭北果园土壤胶结物质分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1692-1700
WEI B M, WANG Y Q, LI Z H. Effects of planting apple trees on distribution of soil cementing materials in Weibei apple orchards[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 1692-1700

种植苹果树对渭北果园土壤胶结物质分布的影响*

魏彬萌¹, 王益权^{1**}, 李忠徽²

(1. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司/陕西省土地工程建设集团有限责任公司/国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室 西安 710075; 2. 西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100)

摘要: 本研究通过系统研究种植果树对土壤胶结性物质的演化规律及其与土壤团聚体稳定性之间关系的影响, 探索影响果园土壤团聚体状态的因素, 以为果园科学管理提供理论依据。在渭北旱塬苹果主产区分别选取 10 a、20 a 的苹果园和农田(冬小麦-夏玉米轮作, 对照)各 4 个, 在果树冠层投影范围内距树干 2/3 处逐层采集 0~100 cm 土层土壤样品和 0~50 cm 土层原状土壤样品, 研究不同植果年限果园及农田土壤剖面黏粒、有机质、CaCO₃ 等团聚体胶结物质的分布及其与团聚体稳定性之间的关系。结果发现: 在 0~100 cm 土层范围内, 各果园土壤黏粒含量基本随土层深度的增加而递增, 且在 0~40 cm 土层表现为农田>10 a 果园>20 a 果园, 40 cm 以下土层则呈现相反的态势; 种植果树相比农田可显著增加 0~100 cm 土层土壤有机质总储量, 但随着种植果树年限的增加, 土壤有机质总储量呈递减趋势; 在 0~100 cm 土层土壤 CaCO₃ 总储量表现为 10 a 果园>农田>20 a 果园, 但在 0~40 cm 土层 CaCO₃ 含量及储量表现为 10 a 果园>农田>20 a 果园, 而 40~100 cm 土层则为 20 a 果园>10 a>农田。皮尔森相关分析发现>0.25 mm 土壤团聚体的数量和平均重量直径(MWD)与土壤黏粒、有机质和 CaCO₃ 含量密切相关, 其中机械稳定性团聚体的数量和稳定性主要受土壤中 CaCO₃、有机质含量的影响, 水稳性团聚体的数量和稳定性主要受土壤中黏粒和 CaCO₃ 的影响。总之, 植果显著改变了土壤中黏粒、有机质、CaCO₃ 的演化过程和趋势, 随植果年限增加, 果园土壤黏粒和 CaCO₃ 在土壤较深土层淋溶沉积明显; 各果园土壤有机质总储量虽然高于农田, 但随植果年限增加, 有逐渐减少的趋势。可见植果明显加速了渭北黄土塬地土壤的残积黏化和钙化过程, 影响着表层土壤团聚作用和底层土壤的紧实化和坚硬化程度。

关键词: 苹果园; 种植年限; 土壤胶结物质; 黏粒; 有机质; CaCO₃; 团聚体

中图分类号: S152.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)11-1692-09

Effects of planting apple trees on distribution of soil cementing materials in Weibei apple orchards*

WEI Binmeng¹, WANG Yiquan^{1**}, LI Zhonghui²

(1. Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd. / Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd. / Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710075, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The aim of this study was to explore the effects of planting apple trees on soil cementation substances, to determine the

* 退化及未利用土地整治工程创新团队项目(2016KCT-23)资助

** 通信作者: 王益权, 主要从事土壤物理及改良方面的研究。E-mail: 442516031@qq.com

魏彬萌, 研究方向为土壤物理与改良。E-mail: weibinmeng@126.com

收稿日期: 2018-03-21 接受日期: 2018-06-03

* This study was supported by the Degraded and Unutilized Land Renovation Engineering Innovation Team Project (2016KCT-23).

** Corresponding author, E-mail: 442516031@qq.com

Received Mar. 21, 2018; accepted Jun. 3, 2018

relationship between soil aggregate stability and soil cementation substances, to reveal the factors affecting soil aggregate state and to build theoretical basis for the scientific management of apple orchard in Weibei Plateau. Four replicates of 10-year-old and 20-year-old orchards and four farmlands (wheat-corn rotation, CK) were selected for the experiment in Binxian County, Shaanxi Province. Soil samples within two-thirds of the radius of apple tree canopy were collected. Four replicates of undisturbed core samples were taken by driving volumetric rings (100 cm^3) into the 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm and 40–50 cm soil layers to determine soil aggregates. Another four replicates were collected from 10 cm and 20 cm intervals respectively over a depth of 0–60 cm and 60–100 cm in each plot to determine the soil contents of clay, organic matter (SOM) and calcium carbonate (CaCO_3) contents. The results showed that soil clay content increased with increasing depth in the 0–100 cm soil layer. The increase was in the order of farmland > 10-year-old orchard > 20-year-old orchard for the 0–40 cm soil layer and reverse order was noted for the 40–100 cm soil layer. Planting apple trees increased SOM content in the 0–100 cm soil layer of the orchard. However, SOM content decreased with increasing planting age of orchard. The content of soil CaCO_3 was in the order of 10-year-old orchard > farmland > 20-year-old orchard for the 0–40 cm soil layer, 20-year-old orchard > 10-year-old orchard > farmland for the 40–100 cm soil layer, and 10-year-old orchard > farmland > 20-year-old orchard for the 0–100 cm soil layer. Pearson correlation analysis showed that the quantity and mean weight diameter (MWD) of > 0.25 mm soil aggregates were closely link to soil clay, SOM and CaCO_3 contents. Macro aggregates (>0.25 mm) and MWD of mechanically stable aggregates were mainly affected by CaCO_3 and SOM contents. However, the quantity and stability of water stable aggregates were mainly affected by soil clay and CaCO_3 contents. Overall, planting apple trees changed the evolution processes of soil clay, SOM and CaCO_3 . Soil clay and CaCO_3 migrated to deep soil with increasing age of orchard. The total storage of SOM in orchard was higher than that in farmland, but decreased with increasing planting age. It was concluded that planting apple trees enhanced soil residual viscosity and calcification, which affected aggregation of surface soil and compaction and hardness of bottom soil.

Keywords: Apple orchard; Planting age; Soil cementing materials; Soil clay; Soil organic matter; CaCO_3 ; Soil aggregate

胶结物质作为土壤团聚体形成的物质基础, 其质量分数、空间变异与分布、组成特征、作用方式等是团聚体形成及稳定的物质基础与内在动力^[1-2]。黄土高原特殊的成土环境使得该区土壤团聚体的形成与稳定具有明显的区域特性^[3], 其土壤中的胶结物质主要包括黏粒、有机碳和 CaCO_3 3 类物质^[4-5]。

黏粒的胶结作用主要体现在它的凝聚作用。黄土高原土壤黏粒中伊利石、蒙脱石、蛭石等 2:1 型黏土矿物的同晶替代现象普遍, 大部分黏粒都带有负电荷, 矿物胶体性质突出, 单个土粒首先会通过土壤胶体的相互作用凝聚在一起^[6]。然而, 这种方式形成的微凝聚体稳定性不高, 容易随着离子种类的改变而分散, 属于一种稳定性相对较差的胶结物质^[7]。有机碳是通过基团分子极性静电引力等形成的较为稳定的多级团聚体^[8]。大量研究表明, 有机碳决定了土壤水稳性团聚体(>0.25 mm)的形成, 能够改善土壤水分环境, 增强团聚体的稳定性, 减少土壤流失。另外, 不同形态的有机碳对团聚体稳定性的影响也不尽相同^[9]。关连珠等^[10]研究发现, 紧结合态有机质对小粒级微团聚体的形成影响较大, 松结合态有机质以及多糖类物质则对较大级别微团聚体的形成作用较明显。 CaCO_3 作为气凝材料, 是黄土中特有的一种重要胶结物质, 其在弱碱性环境下会发生次生碳酸盐化, 从难溶性沉淀物质转化为游离钙离子^[11-12], 而钙离子会通过阳离子的键桥作用黏

结土壤矿物质颗粒和有机碳, 从而形成稳定性高的土壤团聚体^[13-14]。此外, 高质量分数的碳酸盐可以减少有机碳的矿化, 即通过影响有机碳的转化来调控土壤团聚体的形成过程^[15]。

土壤中的胶结物质会受到土地利用方式、土壤环境变化、耕作、施肥管理措施等多种因素的影响^[16]。张义等^[17]研究发现长期种植苹果树会使黄土高原沟壑区土壤有机质含量随植果年限的增加而下降。李鹏等^[18]以陕西洛川县苹果园为研究对象发现, 长期种植果树会对土壤碳酸钙、水溶性钙、交换性钙有明显的耗竭作用, 钙素递减呈现出明显的时空效应。刘文利等^[19]研究发现, 种植苹果树会使果园土壤结构日趋稳定, 抗侵蚀能力逐渐增强。但石宗琳等^[20]则发现, 虽然种植果树在表观上可明显提高表层土壤机械稳定性大团聚体数量, 增强土壤抗风蚀能力, 但随植果年限增加, 土壤团聚体的农艺质量及其稳定性则呈下降趋势。孙蕾等^[21]研究亦发现, 种植果树对 0–30 cm 土层土壤结构具有改善作用, 对 30 cm 以下土层土壤结构则有破坏作用, 而且种植果树年限超过 20 年会使果园土壤结构性整体变差。

渭北作为我国苹果生产的优生区之一, 自 1980 年农田大面积更替为果园以来, 植被、施肥、耕作管理以及地面小气候等的变化都会成为该区土壤胶结物质(黏粒、有机质、 CaCO_3 等)及团聚体状况演化的动力^[20]。目前有关果园土壤问题的研究多是针对

土壤养分递减与不平衡、土壤结构退化等方面^[22], 而关于系统研究种植果树对土壤胶结性物质的演化规律及其与土壤团聚体稳定性之间关系的研究很鲜见。因此, 本研究以渭北相同自然条件下的苹果园土壤为研究对象, 以农田土壤作为对照, 研究不同种植年限果园土壤剖面上黏粒、CaCO₃、有机质等重要胶结物质的分布及其与土壤团聚体稳定性之间的关系, 以期揭示影响果园土壤团聚体稳定性的因素, 为制定防止果园土壤质量退化以及促进果园可持续发展的管理措施提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验选在具有较长植果历史的苹果主产区——陕西省彬县新民镇黄土塬区(35°06'N, 108°09'E)。该区属渭北残塬沟壑地区, 海拔约 1 108 m, 年平均气温 9.7 °C, 昼夜平均温差 11.7 °C, 年平均降水量 579 mm, 无霜期 180 d, 属典型大陆性暖温带半干旱气候特征。塬地的地带性土壤类型为黑垆土(系统分类名称为堆垫干润均腐土, Cumuli-UsticIsohumosols)。该区具有海拔较高、光照资源充足、昼夜温差大、气候较为干燥、空气和土壤无污染、土层深厚、土体疏松等优越的自然条件。苹果的种植历史和模式可代表整个渭北旱塬苹果产区的基本特征。果园管理方式多为清耕制, 以施用化肥为主, 主要施用尿素、(NH₄)₂HPO₄ 和 K₂SO₄, 农家肥几乎不再施用。

1.2 样品采集与测定

试验于苹果采收期间进行。选择自然生态条件相同、种植年限分别为 10 a 和 20 a 的苹果园各 4 个作为研究对象。果树品种均为乔化‘红富士’, 果树株行距为 3 m × 4 m。并在果园周边选取 4 块农田作为对照, 所选取的农田是经现场调研未曾种植苹果、按常规模式管理, 实行冬小麦-夏玉米一年两熟轮作制度的农田。在每个果园内随机选取具有代表性的果树 4 株, 在果树冠层投影范围内距树干 2/3 处用土钻按照 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm、50~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 的间距逐层采取土样, 将同一个果园内不同取样点的相同土层土样混匀作为 1 个土壤样品, 在室内风干、研磨、过筛后用于土壤相关性质的测定。同时, 按照 10 cm 间距逐层采集 0~50 cm 土层原状土壤样品约 1 kg, 装入硬纸盒中运回室内风干, 在风干过程中沿团聚体间自然裂隙轻轻掰分成直径在 1 cm 以上的小土块, 剔除其中植物残体, 待充分风干后用于土壤团聚体组成测定。农田采样是在 4 块田地分别

随机选取 4 个采样点, 采样方式和样品处理方式与果园相同。

土壤颗粒组成采用国际粒级分类制, 用沉降分析的吸管法测定^[23]; 土壤 CaCO₃ 含量用气量法测定^[24]; 有机碳含量用重铬酸钾外加热法测定^[24]; 土壤容重用环刀法测定^[23]; 机械稳定性团聚体采用干筛法, 水稳性团聚体采用湿筛法测定, 团聚体大小设 5 个级别, 分别为 >2 mm、1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm、<0.25 mm 等^[20]。

1.3 数据计算与统计分析

该土壤不含直径 >2 mm 的石砾, 故土壤中有机质和 CaCO₃ 的储量按式(1)^[25]计算:

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times \rho_{bi} \times H_i}{100} \quad (1)$$

式中: M 为有机质或 CaCO₃ 储量(kg·m⁻²), C_i 为 i 层土壤有机质或 CaCO₃ 含量(g·kg⁻¹), ρ_{bi} 为 i 层土壤容重(g·cm⁻³), H_i 为 i 层土层厚度(cm)。

土壤团聚体平均质量直径(MWD)计算方法见公式(2)^[20]:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i \times W_i \quad (2)$$

式中: X_i 为 i 级别范围内团聚体的平均直径, W_i 为对应于 X_i 的团聚体百分含量。

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 进行数据的初步整理及绘制相关图形和表格, 采用 SPSS 19.0 对 3 个处理间土壤黏粒、有机质、碳酸钙含量进行单因素方差分析(ANOVA), 用 LSD 法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 种植果树对土壤剖面黏粒分布的影响

黏粒是决定土壤物理状态和化学特性的物质基础, 该区土壤 0~40 cm 属于黄土覆盖层, 40~100 cm 属于质地相对黏重的黑垆土层, 呈现出土壤黏粒含量在 0~40 cm 土层明显低于 40 cm 以下土层的特征(图 1)。值得关注的是土壤黏粒含量在 0~40 cm 土层表现为农田 > 10 a 果园 > 20 a 果园, 40 cm 以下土层则呈现相反的态势。另外, 果园土壤黏粒含量在 0~40 cm 土层随土层深度的增加逐渐递增, 40 cm 以下土层则递增明显; 而农田土壤黏粒含量在 0~40 cm 土层基本保持一致, 40 cm 以下则随土层深度的增加而呈缓慢增加的趋势。可见, 随植果年限增加, 果园土壤黏粒有明显的从表层向深层淋溶与淀积的趋势, 导致土壤剖面质地性状发生了明显变化, 而农田土壤黏粒的淀积黏化过程不太明显, 剖面质地性状基

本稳定。果园表层土壤黏粒的递减必然会因基本胶结物质的丢失而影响土壤团聚作用, 而淀积在下层的土壤黏粒又会影响土壤的紧实度, 制约根系延伸和水分入渗。

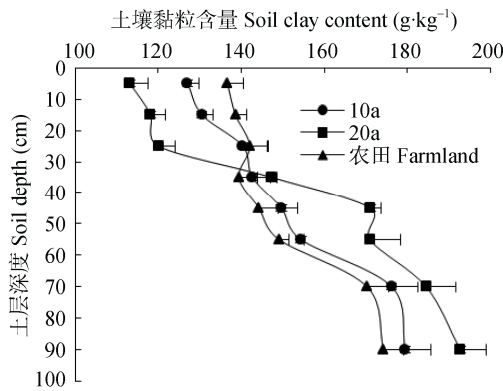


图 1 农田及不同园龄果园不同土层土壤黏粒含量的变化
Fig. 1 Soil clay contents in different soil layers of farmland and orchards with different planting ages

10a: 10 a 果园; 20a: 20 a 果园。10a: 10 years orchard; 20a: 20 years orchard.

2.2 种植果树对土壤剖面有机质分布的影响

有机质作为土壤团聚作用最重要的胶结剂, 其变化态势是分析土壤团聚体状况演变的重要因素。尽管渭北旱地土壤在 0~40 cm 黄土覆盖层之下有 40~60 cm 厚的古腐殖质层^[26], 然而, 现在无论果园还是农田土壤, 土壤有机质在 0~100 cm 土层范围内都随土层深度的增加而递减(图 2)。此外, 在 0~100 cm 土层范围内, 土壤有机质含量因植被的更替亦呈现不同程度的空间变化特征, 其中 0~50 cm 土层土壤有机质含量呈现为 10 a 果园>农田>20 a 果园, 而 50~80 cm 土层则为 20 a 果园>农田>10 a 果园。而且

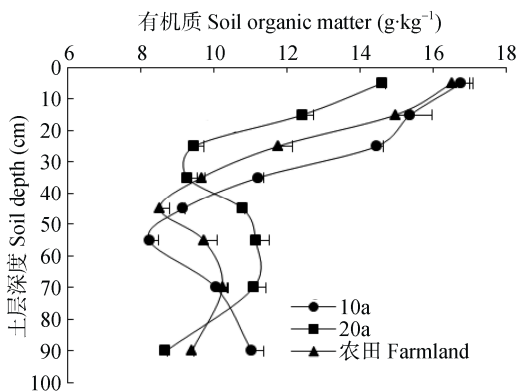


图 2 农田及不同园龄果园不同土层土壤有机质含量的变化
Fig. 2 Soil organic matter contents in different soil layers of farmland and orchards with different planting ages

10a: 10 a 果园; 20a: 20 a 果园。10a: 10 years orchard; 20a: 20 years orchard.

10 a 幼龄果园和 20 a 老龄果园间土壤有机质含量差异极为明显, 而 10 a 幼龄果园和农田土壤间差异相对较小。进一步分析植果对土壤有机质储量的影响发现(图 3), 植果相比农田可显著增加 0~100 cm 土层土壤有机质总储量, 10 a、20 a 果园相比农田分别增加 6.01%、3.84%, 但随着植果年限的增加, 土壤有机质总储量呈递减趋势, 证明果树种植及其生长发育阶段对土壤碳库的影响显著。

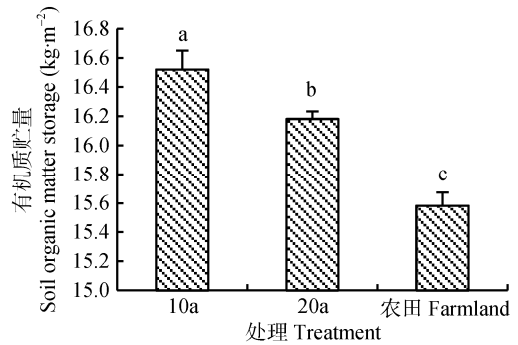


图 3 农田及不同园龄果园土壤有机质储量的变化
Fig. 3 Soil organic matter storages in farmland and orchards with different planting ages

10a: 10 a 果园; 20a: 20 a 果园。不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。10a: 10 years orchard; 20a: 20 years orchard. Different lowercase letters mean significant differences at 0.05 level.

2.3 种植果树对土壤剖面 CaCO₃ 分布的影响

北方石灰性土壤中 CaCO₃ 不仅是决定土壤物理状态的物质基础, 也是维系土壤缓冲性能的物质基础^[11]。该土壤 40~100 cm 的黑垆土层属于古土壤层和 CaCO₃ 的淋溶层, 后来受人开发利用、逐年使用黄土性土粪覆盖及黄土的继续沉积等作用, 在古土壤层上形成了 40 cm 左右厚度的黄土覆盖层^[27], 故现在无论是果园还是农田土壤, 0~40 cm 土层处土壤 CaCO₃ 含量显著高于 40~100 cm 土层, 在剖面上亦然呈现着极为显著的该土壤的发生学痕迹(图 4)。值得注意的是, 在 0~100 cm 土层范围, 两个不同植果年限的果园土壤 CaCO₃ 含量差异极为显著, 在 0~40 cm 土层范围内, 20 a 果园土壤 CaCO₃ 含量显著低于 10 a 果园, 而 40~100 cm 土层则表现出相反的态势, 其空间差异特征表明植果有助于加速土壤 CaCO₃ 的淋溶与淀积过程。

果园与农田土壤 CaCO₃ 含量也存在明显差异。在 0~40 cm 土层, 10 a 果园土壤 CaCO₃ 含量高于农田土壤, 而 20 a 果园土壤则显著低于农田土壤; 40~100 cm 土层, 3 个处理间土壤 CaCO₃ 含量差别相对较小, 20 a 果园土壤 CaCO₃ 含量高于农田和 10 a 果园土壤。总之, 各处理土壤剖面 CaCO₃ 分布显示着 CaCO₃ 在 0~40 cm 土层的淋溶强度与 40 cm 以下土层的淀积强

度, 只是 0~40 cm 土层中 CaCO_3 含量的递减幅度高于 40~100 cm 土层的递增幅度, 说明果园土壤 CaCO_3 的淋溶深度可能超越了 100 cm, 也可能是土壤 CaCO_3 溶解后被果树吸收所消耗。

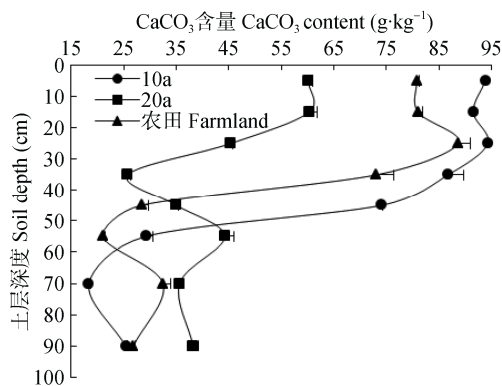


图 4 农田及不同园龄果园不同土层土壤 CaCO_3 含量的变化

Fig. 4 Soil CaCO_3 contents in different layers of farmland and orchards with different planting ages

10a: 10 a 果园; 20a: 20 a 果园, 10a: 10 years orchard; 20a: 20 years orchard.

进一步分析土壤剖面 CaCO_3 储量(表 1)可以看出, 在 0~40 cm 土层, 20 a 果园土壤 CaCO_3 储量比 10 a 果园显著减少 44.92%; 而 40~100 cm 土层, 20 a 果园土壤 CaCO_3 储量则比 10 a 果园增加 25.85%(表 1)。两个园龄段果园土壤 CaCO_3 储量的空间分布趋势显示着长期植果明显驱动了土壤剖面 CaCO_3 的淋溶与淀积过程。同样, 在 0~100 cm 土层范围内, 随植果年限的增加果园土壤 CaCO_3 总储量明显降低, 说明果园土壤 CaCO_3 的淋溶深度可能超过了 100 cm, 也可能是因为苹果果实属于高钙产品, 土壤 CaCO_3 溶解后被果树所吸收利用。

10 a 果园土壤 CaCO_3 储量在 0~40 cm、40~100 cm

土层均显著高于农田土壤, 而 20 a 果园土壤 0~40 cm 土层 CaCO_3 储量却显著低于农田土壤, 40~100 cm 土层显著高于农田土壤。0~100 cm 土层土壤 CaCO_3 总储量 10 a 果园比农田土壤增加 12.30%, 而 20 a 果园土壤比农田降低 9.07%。显然, 植果并没有改变土壤 CaCO_3 正常的地球化学演变过程, 只是在植果后的不同阶段, 对土壤剖面上 CaCO_3 的演化程度有着一定的改变。

表 1 农田及不同园龄果园不同土层土壤 CaCO_3 储量变化
Table 1 Soil CaCO_3 storages in different soil layers of farmland and orchards with different planting ages $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$

土层 Soil depth (cm)	园龄 Planting age of orchard (a)		农田 Farmland
	10	20	
0~40	49.15±1.03a	27.07±0.96c	44.60±1.13b
40~100	28.35±0.49b	35.68±1.03a	24.41±0.53c
0~100	77.50±1.48a	62.75±1.25c	69.01±1.41b

同行不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。Different small letters in the same line indicate significant differences among treatments at 0.05 level.

2.4 土壤胶结物质变化与土壤团聚体状况的相互关系

不同处理 0~40 cm 土层中各胶结物质与土壤团聚体稳定性指标间的相关性分析结果见表 2。可以看出, 土壤黏粒含量与 >0.25 mm 机械稳定性团聚体含量 ($\text{DR}_{0.25}$)、机械稳定性团聚体的平均重量直径 (MWD_D) 相关性不显著, 但与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量 ($\text{WR}_{0.25}$)、水稳性团聚体平均重量直径 (MWD_W) 呈显著负相关关系; 土壤 CaCO_3 含量与 $\text{DR}_{0.25}$ 、 MWD_D 、 $\text{WR}_{0.25}$ 和 MWD_W 都呈显著或极显著正相关关系; 土壤有机质与 $\text{DR}_{0.25}$ 、 MWD_D 呈极显著负相关关系, 与 $\text{WR}_{0.25}$ 、 MWD_W 相关性不显著。可见各胶结物质均会对果园土壤团聚体的数量和质量造成影响, 只是不同胶结物质的影响程度各不相同。

表 2 果园土壤不同胶结物质与团聚体稳定性指标间的相关性

Table 2 Correlation between soil binding materials and aggregate stability indexes in apple orchard soils

胶结物质 Binding material	$\text{DR}_{0.25}$	MWD_D	$\text{WR}_{0.25}$	MWD_W
黏粒 Clay	0.21	-0.01	-0.50*	-0.37*
CaCO_3	0.52*	0.58*	0.82**	0.53*
有机质 Organic matter	-0.88**	-0.86**	0.19	0.30

$\text{DR}_{0.25}$: >0.25 mm 机械稳定性团聚体含量; MWD_D : 机械稳定性团聚体平均重量直径; $\text{WR}_{0.25}$: >0.25 mm 水稳性团聚体含量; MWD_W : 水稳性团聚体平均重量直径。*和**分别表示相关性达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。 $\text{DR}_{0.25}$: content of >0.25 mm mechanical-stable aggregates; MWD_D : mean weight diameter of mechanical-stable aggregates; $\text{WR}_{0.25}$: content of >0.25 mm water-stable aggregates; MWD_W : mean weight diameter of water-stable aggregates. * and ** represent significant correlation at 5% and 1% levels, respectively.

3 讨论

3.1 种植果树对土壤各胶结物质的影响

渭北果园土壤在 0~100 cm 土层范围内, 土壤黏粒含量基本随土层深度的增加呈增加趋势。首先这

是由土壤发生学特征决定的, 渭北地区黄土残塬面土壤为黑垆土, 属于堆积型土壤剖面构型, 一般 40 cm 以下土层埋藏着黏化程度相对较高、碳酸盐淋溶的古腐殖质层, 被称为黑垆土层, 而 40 cm 以上土

层是多年使用土粪和黄土继续沉积过程形成的覆盖层, 覆盖层土壤黏粒含量一般低于黑垆土层。本研究得到的重要信息不应是土壤黏粒含量随土层深度变化的关系, 而是不同植果年限间土壤剖面上黏粒变化的差异性。一般在同一个空间范围、自然降水相同的情况下, 土壤的淀积黏化程度一方面取决于上层土壤的团聚状况, 即自由黏粒的多少, 一方面取决于土壤耕作管理模式。渭北土壤覆盖层因有机物含量少, 土壤颗粒的团聚化程度低, 且团聚体稳定性差, 土壤中未被团聚的自由黏粒会在降雨期间随水分入渗逐渐向深层移动并不断聚集, 发生着“淀积黏化”作用^[22]。另外, 对于果园土壤而言, 由于翻耕扰动少, 黏粒在土壤剖面的移动与聚集效应逐渐累积, 淀积黏化效果明显, 而农田每季作物收获后都要翻耕施肥和播种, 将淋溶的黏粒又翻动至表层, 延迟了淀积黏化过程的累积效应, 从而产生了果园与农田土壤相比, 果园土壤黏粒含量在 0~40 cm 土层处递减明显、40 cm 以下土层逐渐累积的结果, 且随植果年限增加, 淀积黏化效果更加明显。黏粒的深层淀积, 既影响表层土壤团聚的物质基础, 也影响果园深层土壤的通透性, 故属于一种果园土壤的隐形退化特征。

渭北果园和农田土壤有机质含量的垂直空间分布特征反映了黑垆土的剖面特性。0~40 cm 土层受长期施用农家土粪培肥以及耕作栽培管理措施等的综合影响, 土壤有机质含量从上到下依次递减; 40~100 cm 为黑垆土的古腐殖质层, 其有机质含量也相对较高。对于果树而言, 根系分泌物是果园土壤根际有机质增加的主要原因, 随着植果年限的递增, 果树根系分布逐渐延伸至黑垆土层, 根系残留物的逐年累计使得 20 a 果园土壤有机质在 50~80 cm 处出现了累积峰值, 其土壤有机质含量在 0~100 cm 土层范围呈“S”型分布态势, 与聂晓燕等^[27]研究结果一致。

土壤有机质含量变化依赖于有机物的投入量和土壤中生物矿化分解与累积程度。经过多次实地调查, 渭北地区自实施土地承包 30 余年里, 无论是农田还是果园土壤培肥均以化学肥料为主, 农家有机肥极少施用, 果园和农田土壤有机物的施入量并无明显差别。一般果园为了防止病虫害发生, 每年都要实施清园, 将落叶全部清除, 再加上农田收获后的作物根系残留量多于果园, 所以果园土壤有机物的实际投入量比农田低。但是试验区果园土壤有机碳含量却高于农田, 其根本原因在于果园土壤扰动

远少于农田, 土壤有机物矿化分解率低于农田。随着果树老龄化发展, 根系分泌物递减, 化学肥料逐年使用, 加速了土壤有机物矿化与分解, 故呈现出 20 a 果园 0~40 cm 土层有机碳含量和 0~100 cm 土层有机碳储量均小于 10 a 果园的趋势。果园土壤表层有机质含量递减, 也是导致土壤自由黏粒增加, 促进淀积黏化发生的原因, 直接影响土壤团聚作用。

北方黄土母质发育的土壤富含 CaCO_3 , 其 CaCO_3 的淋溶与淀积, 即钙化作用是该区土壤的普遍成土过程。 CaCO_3 从难溶态转化为可溶解、可移动状态一方面是受土壤空气中 CO_2 的偏压控制, 转化为易溶性 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; 另一方面受土壤酸化作用转化为易溶盐^[18]。土壤 CaCO_3 的淋溶与淀积深度则依赖于降水量。就同一生态区的果园而言, 果树根系呼吸和土壤中有机物降解共同释放的 CO_2 是土壤 CaCO_3 移动的主要驱动力, 土壤亚表层以下土层紧实化是土体 CO_2 累积和 CaCO_3 移动的条件。其次, 长年使用无机氮肥、磷肥, 表层土壤酸化也是客观事实, 导致 CaCO_3 溶解为水溶性钙随降雨淋失或被果树吸收利用。由于苹果是需钙量较高的植物, 随着植果年限的增加, 钙的携出量也在持续增加, 土壤 CaCO_3 的递减是必然趋势。农田土壤播种时上下翻动, 能够部分矫正 CaCO_3 的淋溶结果。

本研究得出, 两个园龄段果园在 0~40 cm 土层内 CaCO_3 含量和储量均随植果年限的增加呈显著减少趋势, 而 40~100 cm 土层则有增加趋势。与农田相比, 10 a 果园土壤 0~40 cm、40~100 cm 土层均显著高于农田土壤, 而 20 a 果园土壤 0~40 cm 土层 CaCO_3 储量却显著低于农田土壤, 40~100 cm 土层显著高于农田土壤。造成这种现象的原因是 10 a 的幼龄果园, 果树根系呼吸强度弱, 施用化肥量少, 对土壤 CaCO_3 的溶解作用差, 再加上果树冠层对降雨的截留作用, 弱化了上层土壤 CaCO_3 的淋溶^[25]。但随着植果年限的增加, 虽然也会同样有果树冠层的保护效应, 但其效应难以抵消大量施用化学肥料和果树根区土壤内高 CO_2 偏压对土壤 CaCO_3 溶解与迁移的促进作用^[18], 其次, 果树的携出量增加, 导致高龄果园土壤 CaCO_3 含量在上层递减, 下层淀积。

在果园中建议采用科学的管理措施, 通过增施有机肥、钙肥并每年对果园深松 1 次, 以便减缓黏粒、碳酸钙的深层迁移与聚集, 改善土壤结构, 从而使土壤水、肥、气、热状况得到优化, 进而有利于果树根系的呼吸、延伸以及对养分的吸收, 最终使苹果产量和品质得到提高。

3.2 土壤中胶结物质对团聚状况的影响

土壤团聚体的形成是一个极为复杂的过程,其很大程度上依赖于土壤中各种胶结物质的数量和性质^[28]。黏粒、有机质和 CaCO_3 是黄土性土壤团聚体形成的重要胶结物质,不仅对土壤有团聚作用,也对一些元素的固持及土壤酸碱缓冲作用有一定影响^[29]。

>0.25 mm 团聚体含量、MWD 是评价土壤团聚体状况的重要指标^[30]。一般情况下认为 >0.25 mm 团聚体含量越高、MWD 值越大的土壤团聚体稳定性越强,土壤结构性越好^[31]。本研究分析各处理 0~40 cm 土层不同胶结物质与土壤团聚体稳定性指标间的相关性发现,土壤黏粒含量与 $\text{WR}_{0.25}$ 、 MWD_w 呈显著负相关关系,与 $\text{DR}_{0.25}$ 、 MWD_D 相关性不显著,说明土壤黏粒会影响水稳性团聚体的数量及其稳定性,而对机械稳定性团聚体影响不显著。李霄云等^[32]对陕西交口灌区农田土壤团聚体研究也表明相同地域内土壤质地对土壤团聚体机械稳定性影响较小。

土壤 CaCO_3 含量与 $\text{DR}_{0.25}$ 、 MWD_D 、 $\text{WR}_{0.25}$ 、 MWD_w 都呈显著或极显著正相关关系,说明 CaCO_3 含量会影响土壤机械稳定性、水稳性团聚体的数量及其稳定性。郭玉文等^[33]也研究证实黄土中团粒结构的主要胶结剂是 CaCO_3 , 大约参与了 99% 的团粒形成,呈现团粒越大 CaCO_3 含量越多的趋势。

土壤有机质与 $\text{DR}_{0.25}$ 、 MWD_D 呈极显著负相关关系,与 $\text{WR}_{0.25}$ 、 MWD_w 相关性不显著,说明渭北果区土壤有机碳影响机械稳定性团聚体数量及其稳定性,但其含量还不足以明显影响土壤水稳性团聚体的形成,这与王子龙等^[34]的研究结果相悖,其原因可能是不同形态有机碳对土壤团聚体的影响不尽相同。该区土壤中有有机质含量较少,有机物种类多属于瞬时性和临时性的、甚至是亲水的低分子量的活性有机物,团聚体浸水就容易分解流失^[35]。Bouajila 等^[36]研究也发现,在石灰性土壤上,提高有机质水平对土壤团聚体的稳定性没有显著影响,而土壤 pH 和 CaCO_3 增加有利于大团聚体的形成。

4 结论

植果显著改变了土壤中各胶结物质(黏粒、有机质、 CaCO_3)的演化过程和趋势,使其在土壤剖面发生了重新分配。随植果年限增加,黏粒和 CaCO_3 在土壤较深土层淋溶淀积明显;各园龄段果园土壤有机质总储量虽然高于农田,但随植果年限增加,有逐渐减少的趋势。原因是黑垆土的团聚作用差,在降雨期间团聚体易分散,“活性黏粒”、 CaCO_3 向深层移动淀积,在底土层逐渐积累,填充底层土壤孔隙,

增加底层土壤紧实度和硬度。农田土壤虽然也会发生“淀积黏化”作用和“钙化”作用,但受到常年的人为翻耕扰动,使该作用表现不够明显。

另外,各胶结物质均会对果园土壤团聚体的数量和质量造成影响,只是不同胶结物质的影响程度各不相同。机械稳定性团聚体的数量和稳定性主要受土壤中 CaCO_3 和有机质含量的影响,水稳性团聚体的数量和稳定性主要受土壤中黏粒和 CaCO_3 的影响。

参考文献 References

- [1] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 618–623
PENG X H, ZHANG B, ZHAO Q G. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4): 618–623
- [2] 姚贤良, 于德芬. 赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的胶结物质及其与土壤结构形成的关系[J]. 土壤学报, 1964, (1): 43–45
YAO X L, YU D F. The cementing material of red soil and red loam paddy soil in hilly region and its relationship with soil structure[J]. Acta Pedologica Sinica, 1964, (1): 43–45
- [3] 张耀方, 赵世伟, 王子龙, 等. 黄土高原土壤团聚体胶结物质的分布及作用综述[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(5): 146–150
ZHANG Y F, ZHAO S W, WANG Z L, et al. Distribution and function of cementing materials of soil aggregates on the Loess Plateau, Western China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(5): 146–150
- [4] 熊毅, 许冀泉, 蒋剑敏. 中国土壤胶体研究——I. 黄土胶体的矿物组成和性质[J]. 土壤学报, 1958, 6(2): 89–98
XIONG Y, XU Y Q, JIANG J M. Soil colloids in China: I. Mineral composition and properties of loess colloids[J]. Acta Pedologica Sinica, 1958, 6(2): 89–98
- [5] 徐建民, 费夫, 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究——钙键复合体和铁铝键复合体中腐殖质的性状特征[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 168–178
XU J M, SAI F, YUAN K N. Studies on organo-mineral complexes in soil IX. Characteristics of humus in calcium-bound and iron/aluminum-bound organo-mineral complexes in soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(2): 168–178
- [6] EMERSON E E. The structure of soil crumbs[J]. Journal of Soil Science, 1959, 10(2): 233–244
- [7] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
HUANG C Y. Soil Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [8] JIAO F, WEN Z M, AN S S. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China[J]. Catena, 2011, 86(2): 110–116
- [9] AN S S, MENTLER A, MAYER H, et al. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2010, 81(3): 226–233

- [10] 关连珠, 张伯泉, 颜丽. 不同肥力黑土、棕壤微团聚体组成及其胶结物质的研究[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 260–267
GUAN L Z, ZHANG B Q, YAN L. Composition of microaggregate and cementing substances in black soil and brown forest soil with different fertility levels[J]. Acta Pedologica Sinica, 1991, 28(3): 260–267
- [11] 刘东升. 黄土的物质成分和结构[M]. 北京: 科学出版社, 1966: 42–68
LIU D S. Material Composition and Structure of Loess[M]. Beijing: Science Press, 1966: 42–68
- [12] EDWARDS A P, BREMNER J M. Microaggregates in soils[J]. Journal of Soil Science, 1967, 18(1): 64–73
- [13] BARRETO R C, MADARI B E, MADDOCK J E L. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a rhodic ferralsol in southern Brazil[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 132(3/4): 243–251
- [14] 姚贤良. 土壤结构的肥力意义[J]. 土壤学报, 1965, 13(1): 111–120
YAO X L. The fertility significance of soil structure[J]. Acta Pedologica Sinica, 1965, 13(1): 111–120
- [15] CLOUGH A, SKJEMSTAD J O. Physical and chemical protection of soil organic carbon in three agricultural soils with different contents of calcium carbonate[J]. Australian Journal of Soil Research, 2000, 38(5): 1005–1016
- [16] 薛彦飞, 薛文, 张树兰, 等. 长期不同施肥对壤土团聚体胶结剂的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1622–1632
XUE Y F, XUE W, ZHANG S L, et al. Effects of long-term fertilization regimes on changes of aggregate cementing agent of Lou Soil[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(6): 1622–1632
- [17] 张义, 谢永生, 郝明德, 等. 黄土塬面果园土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1170–1175
ZHANG Y, XIE Y S, HAO M D, et al. Characteristics and evolution of soil nutrients in apple orchards at the gully region of Loess Plateau[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2010, 16(5): 1170–1175
- [18] 李鹏, 李春越, 王益权, 等. 施肥方式和园龄对洛川苹果园土壤钙素退化的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1611–1618
LI P, LI C Y, WANG Y Q, et al. Effects of fertilizing regime and planting age on soil calcium decline in Luochuan apple orchards[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1611–1618
- [19] 刘文利, 吴景贵, 傅民杰, 等. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 129–135
LIU W L, WU J G, FU M J, et al. Effect of different cultivation years on composition and stability of soil aggregate fractions in orchard[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(1): 129–135
- [20] 石宗琳, 王加旭, 梁化学, 等. 渭北不同园龄苹果园土壤团聚体状况及演变趋势研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 387–399
SHI Z L, WANG J X, LIANG H X, et al. Status and evolution of soil aggregates in apple orchards different in age in Weibei[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(2): 387–399
- [21] 孙蕾, 王益权, 张育林, 等. 种植果树对土壤物理性状的双重效应[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 19–23
SUN L, WANG Y Q, ZHANG Y L, et al. Dual effect of fruit tree cultivation on soil physical characteristics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(1): 19–23
- [22] 魏彬萌, 王益权. 渭北果园土壤物理退化特征及其机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 694–701
WEI B M, WANG Y Q. Physical degradation characteristics and mechanism of orchard soil in Weibei Region[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(3): 694–701
- [23] 郑必昭. 土壤分析技术指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012
ZHENG B Z. Analysis Method Guide for Soil[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012
- [24] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
BAO S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [25] 郭兆元. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 52–67
GUO Z Y. Shaanxi Soil[M]. Beijing: Science Press, 1992: 52–67
- [26] 魏彬萌, 王益权, 石宗琳, 等. 渭北苹果园土壤钙素退化状态[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2199–2207
WEI B M, WANG Y Q, SHI Z L, et al. Calcium degradation status of orchard soil in Weibei Region, Shaanxi Province, China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(11): 2199–2207
- [27] 摄晓燕, 谢永生, 王辉, 等. 黑垆土典型剖面养分分布特征及历史演变[J]. 江西农业学报, 2011, 23(8): 1–4
SHE X Y, XIE Y S, WANG H, et al. Characteristics of nutrient distribution on typical dark loessial soil profile and its historical evolution[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(8): 1–4
- [28] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 416–421
WANG Q K, WANG S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 416–421
- [29] 王金贵, 王益权, 徐海, 等. 关中农田土壤有机质和碳酸钙空间变异特征及其机理分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 23–26
WANG J G, WANG Y Q, XU H, et al. Spatial variability of soil organic matter and calcium carbonate and its reason in Guanzhong farmland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6): 23–26
- [30] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 95–100
DONG L L. Characteristics of soil water stable aggregates under different land-use types[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(4): 95–100
- [31] 刘威, 张国英, 张静, 等. 2 种保护性耕作措施对农田土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3):

- 117–122
LIU W, ZHANG G Y, ZHANG J, et al. Effects of two conservation tillage measures on soil aggregate stability[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(3): 117–122
- [32] 李霄云, 王益权, 孙慧敏, 等. 有机污染型灌溉水对土壤团聚体的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1125–1132
LI X Y, WANG Y Q, SUN H M, et al. Effects of irrigation water polluted with organic contaminants on soil aggregates[J]. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(6): 1125–1132
- [33] 郭玉文, 加藤诚, 宋菲, 等. 黄土高原黄土团粒组成及其与碳酸钙关系的研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 362–368
GUO Y W, KATO M, SONG F, et al. Composition of loess aggregate and its relationship with CaCO₃ on the loess plateau[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 362–368
- [34] 王子龙, 胡斐南, 赵勇钢, 等. 土壤胶结物质分布特征及其对黄土大团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 331–336
WANG Z L, HU F N, ZHAO Y G, et al. Distribution characteristics of soil cementing material and its effect on Loess macro-aggregate stability[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(5): 331–336
- [35] 徐爽, 王益权. 不同类型土壤团聚体化学稳定性分析[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 173–178
XU S, WANG Y Q. Chemical stability of aggregates under different types of soil[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 173–178
- [36] BOUJILIA A, GALLALI T. Soil organic carbon fractions and aggregate stability in carbonated and no carbonated soils in Tunisia[J]. Journal of Agronomy, 2008, 7(2): 127–137

欢迎订阅 2019 年《作物学报》中、英文版

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的学术期刊。前身可追溯到 1919 年创办的《中华农学会丛刊》。主要刊载农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、种质资源以及与作物生产有关的生物技术、生物数学等学科具基础理论或实践应用性的原始研究论文、专题评述和研究简报等。《作物学报》是我国作物科学研究领域的领衔期刊, 长期以来形成了稳定的学术选题和报道方向, 发表的论文代表了我国作物科学的最高水平, 是我国几代农业科技工作者辛勤培育的一块重要学术园地。《作物学报》从 2001 年起连续 16 年被中国科技信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号。2013 年和 2015 年被国家新闻出版广电总局评为“百强科技期刊”, 2011 年和 2017 年获“第二届中国出版政府奖期刊奖提名奖”。据北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》(2004、2008、2011 和 2014 年版) 登载, 《作物学报》被列在“农学、农作物类核心期刊表”的首位。《作物学报》为月刊, 每期 160 页, 定价 60 元/册, 全年 720 元。可通过全国各地邮局订阅, 刊号: ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S, 邮发代号: 82-336。也可向编辑部直接订购。网址: <http://zwxb.chinacrops.org/>; E-mail: zwxb301@caas.cn。

The Crop Journal (《作物学报》英文版) 是中国科协主管, 中国作物学会、中国农业科学院作物科学研究所和中国科技出版传媒股份有限公司共同主办的学术期刊。创刊于 2013 年 10 月。主要刊登农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、生态、种质资源以及与农作物有关的生物技术、生物数学、农业气象等领域以第一手资料撰写的研究论文、研究简报以及专题综述等。2016 年被中国科学技术信息研究所评选为“中国科技核心期刊”, 2016 年和 2017 年被中国知网评选为“中国最具国际影响力学术期刊”。目前收录 *The Crop Journal* 的国内、外数据库有: SCI 数据库(2017 年影响因子为 2.658, 在农学和植物学两个学科位于 Q1 区)、Scopus 数据库、DOAJ、美国化学文摘、英国国际农业与生物科学研究中心文摘、英国食品科学与技术文摘、联合国粮农组织的 AGRIS 数据库、中国科学引文数据库(CSCD)、中国知网等。*The Crop Journal* 与 KeAi 合作, 在 ScienceDirect 网络出版平台实现全文开放获取(Open Access)和在线预出版(Online first)。*The Crop Journal* 为双月刊, 每期 100 页, 定价 60 元/册, 全年 360 元。可通过全国各地邮局订阅, 刊号: CN 10-1112/S, ISSN 2095-5421, 2214-5141 (Online), 邮发代号: 80-668。也可向编辑部直接订购。在线出版网址: <https://www.sciencedirect.com/journal/the-crop-journal/>, E-mail: cropjournal@caas.cn

地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号, 中国农业科学院作物科学研究所《作物学报》编辑部(邮编 100081)

电话: 010-82108548; 010-82105793