

黄土高原沟壑区苹果园土壤剖面水分及矿质氮分布特征

路远¹, 党廷辉^{1,2}, 成琦¹

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 面对苹果园大量施肥带来的潜在环境问题, 在黄土高原沟壑区典型流域, 分别选取不同树龄和地貌类型的苹果园, 分析土壤水分含量和土壤矿质氮在土体剖面中的变化, 为促进该流域农业发展提供相关数据支持。在陕西长武县王东沟流域, 分别选取不同树龄(14, 18, 23, 28, 32 树龄)和地貌类型(塬、梁、坡地)的果园, 用直径为 4 cm 的土钻, 在每株果树周围距离树干 1 m 处, 采集 15 个不同样地 0—400 cm 土层样品, 12 个果园样地 0—600 cm 土层样品, 分别测定土壤水分、硝态氮、铵态氮含量。结果表明: 随着树龄的增加, 0—600 cm 土壤含水量和贮水量出现明显下降, 尤其在 300—600 cm 处, 不同树龄果园贮水量差异显著 ($P < 0.05$), 贮水量大小表现为 18 树龄 > 23 树龄 > 32 树龄。流域内各树龄果园各土层铵态氮含量均较低, 对矿质氮在土体中的分布基本不构成影响; 硝态氮含量较高, 矿质氮在土壤中的分布主要受其影响。各果园不同树龄 600 cm 以上土层硝态氮含量变化幅度较大, 且硝态氮主要分布在土层深处。坡地果园 18, 23, 32 树龄 0—200 cm 土层硝态氮累积总量分别占 0—400 cm 土层累积总量的 50%, 41% 和 38%, 表现出土壤硝态氮随树龄的增长而向深层累积的趋势。3 种地貌类型下硝态氮累积量都表现出随果园树龄增长而增加的特点。黄土高原沟壑区果园土壤深层干燥化和硝态氮累积现象明显, 而且随着果园树龄的增加趋于严重。

关键词: 苹果园; 土壤水分; 土壤硝态氮; 黄土高原沟壑区

中图分类号: S152.7; S153.6; S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)02-0106-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.02.015

Distribution Characteristics of Soil Moisture and Mineral Nitrogen in Soil Profile of Apple Orchard in Gully Region of Loess Plateau

LU Yuan¹, DANG Tinghui^{1,2}, CHENG Qi¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In the face of potential environmental problems caused by large-scale fertilization of apple orchards, a typical watershed in the gully region area of the Loess Plateau was used as the research area, apple orchards of different tree ages and geomorphic types were selected, and soil moisture changes and the distribution characteristics of nitrogen in the soil profile of orchards of different tree ages were analyzed, which provide a theoretical basis for scientific fertilization and the promotion of sustainable agricultural development. In the Wangdonggou watershed of Changwu County, Shaanxi, apple orchards with different planting years (14, 18, 23, 28, and 32) and geomorphic types (table, ridge, and slope) were selected, 4 cm diameter sampler were used to collect 0—400 cm soil samples from 15 orchard plots at a distance of 1m from each fruit tree, and 12 orchard plots with typical deep section soil samples of 0—600 cm soil were used determine soil moisture, nitrate and ammonium nitrogen content. The results showed that with the increase of orchard planting years, the soil water content and water storage capacity of 0—600 cm decreased significantly, especially at 300—600 cm. The water storage capacity of 14, 23, and 32-year-old orchards was significantly different ($P < 0.05$), and the water storage performance was 14-year-old orchard > 23-year-old orchard > 32-year-old orchard. The content of ammonium nitrogen in soil mineral nitrogen was low, and basically had no effect on the distribution characteristics of mineral nitrogen. Nitrate nitrogen accounted for a high proportion of mineral nitrogen, and directly affected the distribution of mineral nitrogen in the soil. The nitrate nitrogen content of 0—600 cm among different ages of orchard varied greatly, and the accumulation of nitrate nitrogen

收稿日期: 2020-11-02

资助项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0800105)

第一作者: 路远 (1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事农业资源与环境研究。E-mail: 1432053573@qq.com

通信作者: 党廷辉 (1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事土壤化学与环境研究。E-mail: dangth@ms.iswc.ac.cn

in deep soil was common. The nitrate nitrogen accumulation in 18, 23, and 32-year-old sloping orchards 0—200 cm soil accounted for 50%, 41%, and 38% of the 0—400 cm total accumulation amount, showing that the accumulation of soil nitrate nitrogen gradually deepened with the growth of the orchard tree age. The accumulation of nitrate nitrogen in soil increased with the age of the orchard trees. The accumulation of nitrate nitrogen in soil was 32 years old > 23 years old > 18 years old in the slope land orchards, 28 years old > 23 years old in ridge land orchards, and 23 years old > 18 years old > 14 years old in table orchards. The deep desiccation of orchard soil and accumulation of nitrate nitrogen in the gully area of the Loess Plateau were obvious, and became more serious with the increase of the orchard age.

Keywords: apple orchard; soil moisture; soil nitrate nitrogen; Gully region on the Loess Plateau

我国苹果产量和消费量均世界领先,苹果种植面积和苹果产量在 1992 年已达到世界首位^[1],其中 2016 年苹果产量为 4 039.3 万 t,种植面积达 2 323.8 千 hm²^[2]。近年来黄土高原区苹果种植面积持续增长,渤海湾和黄土高原已经成为我国 2 大优质苹果生产区。

截止 2019 年,我国氮肥产量 3 577.3 万 t,氮肥表观消费量 3 007.5 万 t^[3],然而我国粮食生产的高投入并没有实现高利用效率^[4]。因为施入土壤的氮肥多以硝态氮的形式存在于土体中,连续大量的氮肥投入不仅会造成硝态氮在土壤剖面中的淋溶与累积,降低氮素利用率^[5-6],而且对地下水、空气等造成一定量的不利影响。氮素可以影响苹果果树生长、果实外观、品质和产量。苹果品质和产量的提高依靠适量氮素,但氮肥使用量过高会对苹果果实品质造成不利影响。据有关调查^[7]统计,黄土高原苹果产区果园氮素投入过量比例 > 90%。有研究^[8-10]指出,长期种植苹果树会加快土壤干层形成和干层深度的增加;也有研究^[11]指出,土壤水分已成为限制黄土高原区苹果产业持续发展的关键因素之一。施用氮肥过量会增加苹果园的蒸散量,果园化肥用量不断增加,既浪费资源,也带来潜在的环境风险问题^[10,12]。长武王东沟流域地处黄土高原南部高原沟壑区,早期苹果主要种植于梁、坡,之后逐渐向塬面发展,由于利益驱动,种植面积和肥料投入不断增加,环境问题日益突显。虽然目前关于过量施肥下不同树龄苹果园矿质氮土壤剖面变化特征已有研究,但综合地貌类型和树龄的相关研究较少,且前人研究主要侧重于氮肥利用率的提高。所以,本研究结合流域内 3 种地貌类型和 4 种不同种植年限苹果园,对其水分及矿质氮在土层中的分布进行研究和分析,为降低肥料用量和促进区域农业发展提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

调查区域为陕西长武县王东沟流域,王东沟流域面积为 8.3 km²,拥有塬、梁、坡 3 种地貌类型地,沟壑密度为 2.8 km/km²,是典型的黄土高原沟壑区。塬面海拔 1 220 m,流域内最大海拔差为 280 m。年

均降雨量为 584 mm,最高降雨量 954 mm,最低降雨量 294 mm,全年降雨量分布不均匀。

梁、坡地土壤以黄绵土为主,有机质含量 3.5~7.5 g/kg,全氮含量 0.3~0.5 g/kg,碱解氮含量 16.5~48.2 mg/kg, pH 8.4,黏粒(< 0.002 mm)含量 16.2%,粉砂粒含量 72.8%,砂粒含量 11.0%,田间持水量 21%~23%,凋萎湿度 9.0%;塬面土壤以黑垆土为主,有机质含量 6.4~12.0 g/kg,全氮含量 0.3~0.7 g/kg,碱解氮含量 29.4~65.1 mg/kg, pH 8.4,黏粒(< 0.002 mm)含量 15.1%,粉砂粒含量 74.9%,砂粒含量 10.1%,田间持水量 21%~24%,凋萎湿度 9.0%^[13-16]。各果园采用人工深穴施肥方式年施 N 300~780 kg/hm², P 200~600 kg/hm², K 198~400 kg/hm²,种植品种和日常管理方式一致,年产量大约为 250.0~400.0 kg/hm²。至 2020 年,长武县苹果园面积达 1.6 万 hm²,占耕地总面积的 95%^[17]。

1.2 采样时间与方法

采集样品时间为 2018 年 10 月下旬,在果树采果后进行。在流域内选取不同苹果种植年限(调查结果 14, 18, 23, 28, 32 树龄,无刻意设置树龄间隔)和不同地貌类型(塬、梁、坡)的果园,采样用直径为 4 cm 的土钻,在每株果树周围距离树干 1 m 处避开施肥点,运用多点混合原则,采集 15 个不同果园样地 0—400 cm 土层样品,12 个不同果园样地 0—600 cm 土层典型深剖面的土层样品,同一果园采取 3 钻土,每 20 cm 取 1 个土层混合土样,放入塑料密封袋中封存,分析前保存在冷藏箱中冷冻备用。

1.3 测定项目与方法

土壤含水量:烘干法。

土壤贮水量: $W = s \times h \times a \times 10$ 。式中: W 为土壤贮水量(mm); a 为土壤容重(g/cm³); h 为土层厚度(cm); s 为质量含水率(%)。

硝态氮、铵态氮含量:称取 5.0 g 左右新鲜土样于塑料瓶中,移液管吸取 50 mL 浓度为 1 mol/L 的 KCl 溶液为浸提液,振荡 1 h 后取滤液用于流动分析仪测定硝、铵态氮含量。

硝态氮、铵态氮累积量: $L = a \times h \times p / 10$ 。式中: L

为硝、铵态氮累积量(kg/hm²);*a* 为土壤容重(g/cm³);*h* 为土壤厚度(cm);*p* 为硝、铵态氮含量(mg/kg)。

土壤容重: 塬地 0—40, 40—80, 80—140, 140—200, 200—600 cm 土层容重分别为 1.3, 1.4, 1.4, 1.3, 1.3 g/cm³。梁、坡地土壤容重为 1.3 g/cm³。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件作图,数据分析主要使用 SPSS 18.0 软件,并采用 LSD 法(*P*<0.05)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 坡地果园不同土层含水量变化

该区域水分来源只依靠天然降水,水分进入土壤后,由于果树叶片蒸腾和地表蒸发,土壤水在不断消耗的同时也在不断的补充中,进而影响土壤水分含量。本地区坡地果园苹果种植年限较长,由图 1 可以看出,坡地果园土壤水分分布受树龄影响明显,3 个不同种植年限果园土层剖面含水量分布在 10.9%~22.9%,长时间的种植导致 80 cm 以下土层含水量逐渐降低。23 龄果园土壤含水量大于 32 龄果园,小于 18 龄果园,但 23 龄果园各土层剖面水分含量与二者间差异均不显著(*P*<0.05)。不同土层含水量总体表现出随果园种植年限的增加而下降的趋势。

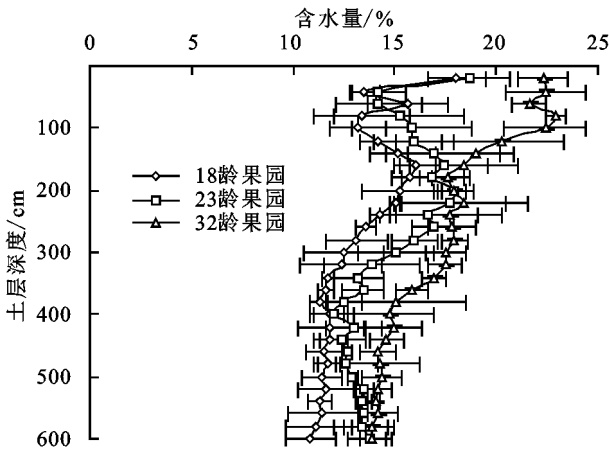
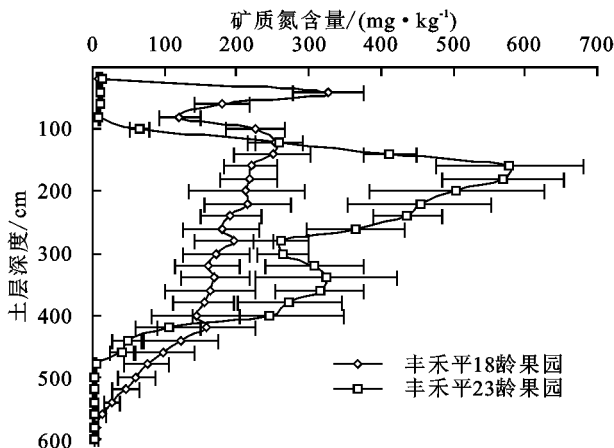
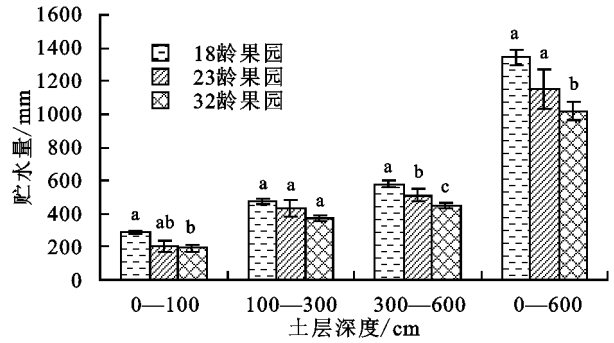


图 1 坡地不同树龄果园 0—600 cm 土层含水量变化
不同土层贮水量均随树龄的增加而降低,其中



在 300 cm 以下土层处最为明显(图 2)。在 0—100 cm 土层,18, 32, 32 龄果园贮水量分别 290.5, 203.3, 191.8 mm, 其中只有 18, 32 龄果园间差异显著(*P*<0.05)。在 100—300 cm 土层 3 种树龄间贮水量差异均不显著(*P*<0.05)。在 300—600 cm 土层处 18, 23, 32 龄果园贮水量分别为 578.8, 509.9, 451.2 mm, 差异显著(*P*<0.05)。在 0—600 cm 土层处,18 龄果园贮水量显著高于 23 龄果园和 32 龄果园(*P*<0.05), 23, 32 龄果园贮水量比 18 龄果园分别低 195.9, 324.5 mm; 同时 23 龄果园贮水量也显著高于 32 龄果园(*P*<0.05), 但 18 龄和 23 龄果园之间差异不显著(*P*<0.05)。



注:不同字母表示处理间差异显著(*P*<0.05)。

图 2 坡地不同树龄果园不同土层贮水量变化

2.2 塬地果园不同土层矿质氮变化

由图 3 可以看出,塬地果园中 2 个不同区域 600 cm 以上土层剖面矿质氮累积现象明显,同时同一区域不同种植年限果园之间土壤剖面的矿质氮含量也存在明显差异。塬地 14, 18, 23 龄果园矿质氮含量在整个采样土层总体上表现出先升高后下降的趋势,累积峰数量为 1~2 个。丰禾平 0—100 cm 土层中 23 龄果园矿质氮含量变化平稳,且低于 18 龄果园,但 23 龄果园在 120—400 cm 土层中明显高于 18 龄果园,其峰值比 18 龄果园高 324.6 mg/kg。站西 0—100 cm 土层 2 个不同种植年限果园矿质氮变化平稳且二者含量相近,但 120—300 cm 土层中 18 龄果园矿质氮含量明显高于 14 龄果园,同时就其累积峰来说,18 龄果园峰值比 14 龄果园高 167.8 mg/kg。

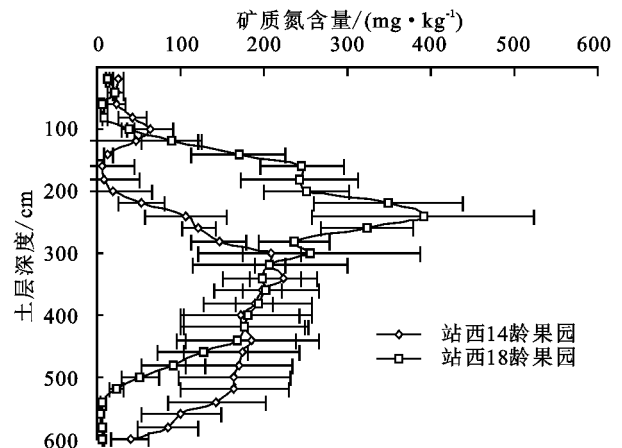
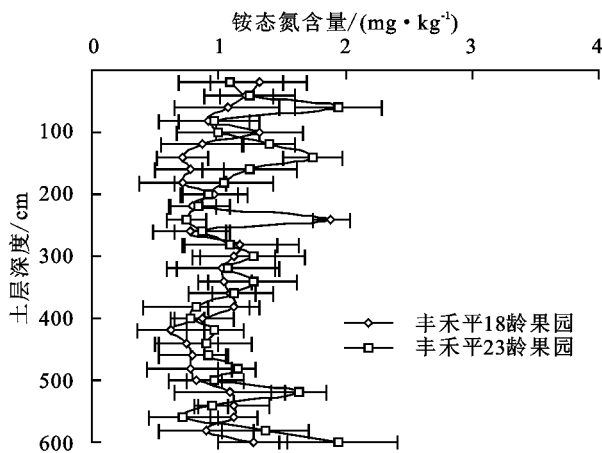


图 3 塬地不同树龄果园矿质氮分布

源地各树龄果园铵态氮在整个土壤剖面中含量均较低,且在不同土层中变化不明显(图4),对矿质氮在土体中的分布贡献不大。

丰禾平 18 龄果园平均铵态氮含量为 1.2 mg/kg,标



准差为 0.6;23 龄果园平均铵态氮含量为 1.3 mg/kg,标准差为 0.6。站西 14 龄果园平均铵态氮含量为 1.3 mg/kg,标准差为 0.5;18 龄果园平均铵态氮含量为 2.0 mg/kg,标准差为 1.0。

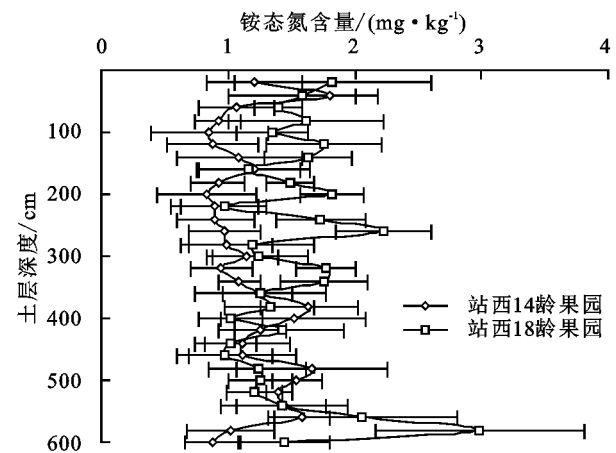
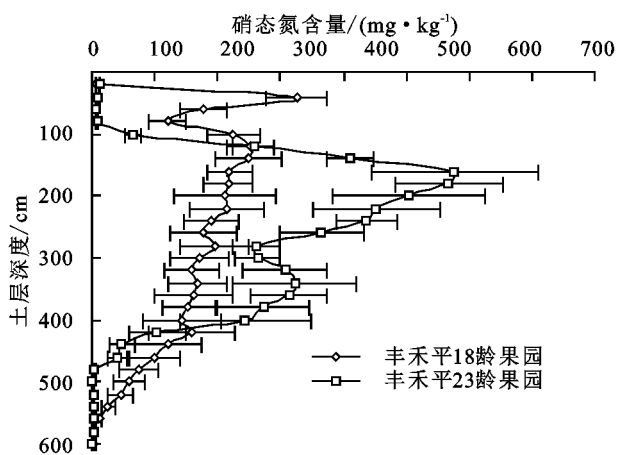


图4 源地不同树龄果园铵态氮分布

果树的生长发育需要氮素的参与,但长期过量的氮素投入会不同程度地造成 NO_3^- 在土体中的累积。源地 14,18,23 龄果园硝态氮含量总体上呈现出先增再减的特点,深层累积现象明显。由图 5 可知,源地



14,18,23 龄果园硝态氮含量差异明显,丰禾平 23 龄果园硝态氮含量总体表现出高于 18 龄果园,站西 18 龄果园硝态氮含量总体表现出高于 14 龄果园,但是不同树龄果园硝态氮含量峰值出现在不同土层。

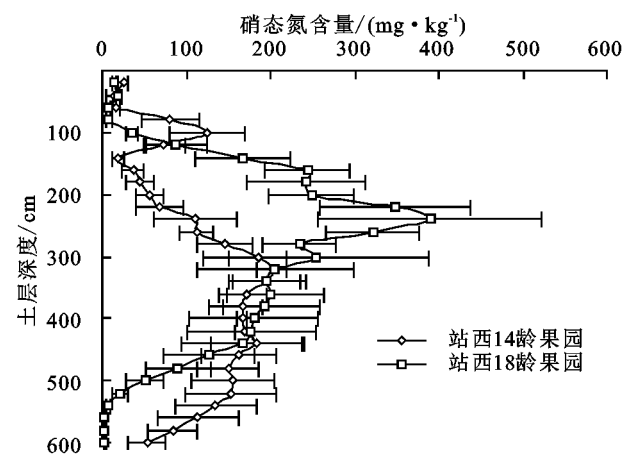


图5 不同树龄源地果园土壤硝态氮分布

丰禾平 18 龄果园硝态氮含量最小值为 3.7 mg/kg,最大值为 326 mg/kg,平均值为 145 mg/kg,标准差为 83,变异系数为 0.6;23 龄果园硝态氮含量最小值为 1.3 mg/kg,最大值为 577 mg/kg,标准差为 192,变异系数为 1.0。站西 14 龄果园硝态氮含量最小值为 14.8 mg/kg,最大值为 201.8 mg/kg,平均值为 112.5 mg/kg,标准差为 58.9,变异系数为 0.5;18 龄果园硝态氮含量最小值为 1.4 mg/kg,最大值为 389.9 mg/kg,标准差为 114.2,变异系数为 0.8。

此外,丰禾平和站西不同树龄果园间硝态氮累积量相差较大(表 1、表 2),相同地区果园树龄增长的同时硝态氮累积量也在增长,丰禾平 18 龄果园和 23 龄果园硝态氮累积量峰值均出现在 100—200 cm 土层,其中 18 龄果园峰值为 2 989.1 kg/hm²,23 龄

果园峰值则为 6 024.6 kg/hm²;站西 14 龄果园硝态氮累积量峰值出现在 300—400 cm 土层处,为 2 343.6 kg/hm²,18 龄果园出现在 200—300 cm 土层处,为 4 027.8 kg/hm²。就累积总量看,站西 14 龄果园累积总量最少,仅为 8 773.0 kg/hm²,为累积量最高值(15 245.2 kg/hm²)的 57.5%。

2.3 梁地果园不同土层矿质氮变化

2 种不同种植年限果园矿质氮含量在 0—600 cm 土层分布见图 6。梁地 23 龄果园和 28 龄果园矿质氮含量均表现出深层累积的现象,但梁地 28 龄果园矿质氮含量变异较大且峰值比 23 龄果园矿质氮含量峰值高 111.8 mg/kg。23 龄梁地果园矿质氮含量在 140—300 cm 土层较为稳定,在 320 cm 土层到达第 2 个峰值后逐渐下降。28 龄梁地果园在 0—220 cm 土

层呈逐渐上升的趋势,220 cm 土层处为整个 0—600 cm 土层硝态氮含量峰值(586.8 mg/kg),而后整体上呈下降趋势,在 500 cm 以下土层逐渐趋于平稳。

表 1 丰禾平不同树龄果园土壤硝态氮累积量

单位:kg/hm ²		
土层深度/cm	18 龄果园	23 龄果园
0—100	2222.3±368.6bc	266.0±51.3d
100—200	2989.1±325.7b	6024.6±834.1b
200—300	2462.6±357.4b	4621.3±617.7bc
300—400	2042.8±353.5bc	3793.9±545.6c
400—500	1329.7±190.8c	515.0±90.2d
500—600	234.8±19.8d	24.4±4.6d
0—600	11281.3±1139.1a	15245.2±1225.8a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同土层间差异显著(P<0.05)。下同。

表 2 站西不同树龄果园土壤硝态氮累积量

单位:kg/hm ²		
土层深度/cm	14 龄果园	18 龄果园
0—100	679.0±197.3cd	216.0±40.0d
100—200	602.9±85.2d	2574.5±414.1c
200—300	1618.5±392.5bc	4027.8±964.9b
300—400	2343.6±252.3b	2535.7±800.0c
400—500	2132.1±503.2b	1593.6±557.4c
500—600	1396.9±511.7bcd	90.9±2.0d
0—600	8773.0±1115.8a	11038.5±918.8a

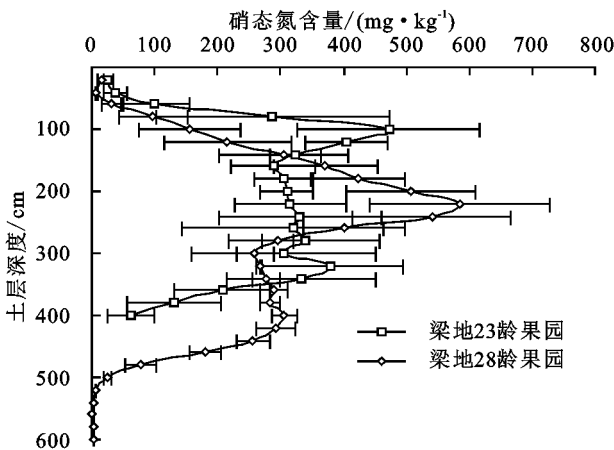


图 7 梁地不同树龄果园土壤硝、铵态氮分布

该地貌类型下果园土壤剖面硝态氮累积量在 100 cm 以上土层分布较少,绝大部分分布在 100 cm 以下土层,其中 28 龄果园在 200—300 cm 土层硝态氮累积量最高,为 4 410.0 kg/hm²,23 龄果园在 100—200 cm 土层硝态氮累积量最高,为 4 246.5 kg/hm²(表 3)。由此可以看出,梁地果园硝态氮累积深度随树龄升高而逐渐加深,梁地 28 龄,23 龄果园在 0—400 cm 土层总累积量分别为 12 271.9,13 738.1 kg/hm²,其中 0—100 cm 土层硝态氮累积量占累计总量的 5.4%和 17.5%。

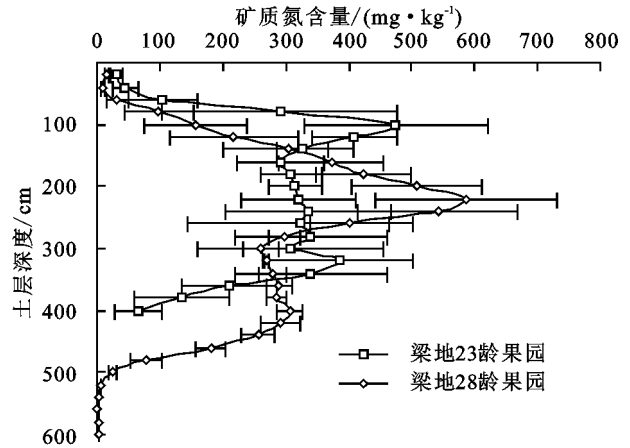


图 6 梁地不同树龄果园土壤矿质氮分布

从图 7 可以看出,梁地果园中硝态氮含量较高,各土层中都发生不同程度的累积状况,但 2 个树龄在相同土层间的硝态氮含量差别较大。梁地 23 龄果园硝态氮含量最小值为 26.1 mg/kg,最大值为 472.0 mg/kg,平均值为 264.2 mg/kg,变异系数为 0.5;28 龄果园在 0—600 cm 土层硝态氮含量最小值为 1.2 mg/kg,最大值为 586.1 mg/kg,平均值为 215.9 mg/kg,变异系数为 0.6。该区域梁地果园铵态氮含量较低且变化不明显,28 龄果园铵态氮含量在整个 0—400 cm 土层更为稳定,但均低于同土层 23 龄果园铵态氮含量,因为铵态氮在整个矿质氮中的含量较低,所以梁地铵态氮含量对矿质氮在整个土层中的分布基本不构成影响。

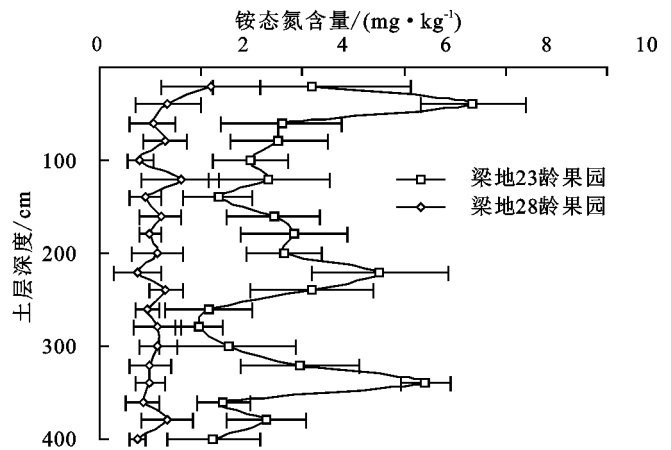


表 3 梁地不同树龄果园土壤硝态氮累积量

单位:kg/hm ²		
土层深度/cm	28 龄果园	23 龄果园
0—100	658.3±155.4c	2402.5±838.8b
100—200	3705.5±104.3b	4246.5±449.2b
200—300	4410.0±870.7b	4190.4±748.6b
300—400	3815.1±171.6b	2898.7±1265.4b
0—400	12271.9±2243.5a	13738.1±2021.6a

2.4 坡地果园不同土层矿质氮变化

坡地不同树龄果园之间矿质氮含量变化趋势相

同(图8),即0—200 cm土层中随土层深度增加而升高,但在矿质氮含量到达峰值后均呈现出缓慢下降的特点,矿质氮含量总体上表现为32龄果园>23龄果园>18龄果园,但23龄果园矿质氮含量变异性较大,32龄果园在440 cm以下土层基本稳定。

坡地果园土壤硝态氮含量不稳定且3个树龄硝态氮含量在相同土层差异较大。坡地18龄果园硝态氮含量最小值为12.6 mg/kg,最大值为269.2 mg/kg;坡地23龄果园硝态氮含量最小值为7.7 mg/kg,最大值为362.4 mg/kg;坡地32龄果园硝态氮含量最小值为2.8 mg/kg,最大值为321.5 mg/kg,其中32龄果园硝态氮含量变化最大,但32龄果园硝态氮含量累积更深。铵态氮含量主要分布在0.1~20.2 mg/kg,标准差为4.2,变异

系数为1.3,变化幅度较低。

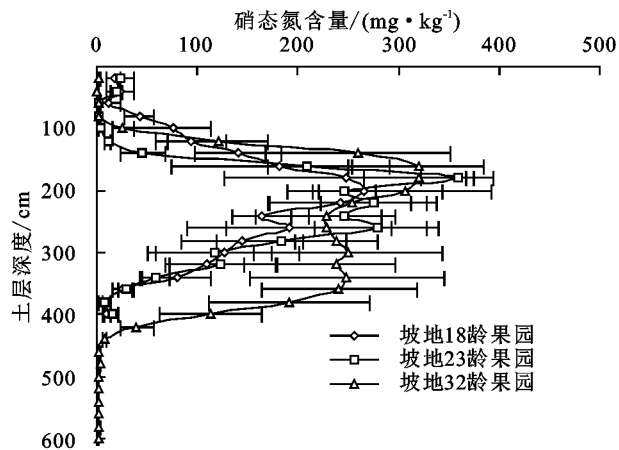


图9 坡地不同树龄果园土壤硝、铵态氮分布

在果园生产中,长时间的过量氮肥使用会造成氮素在土体中的大量累积。随着果园种植年限的增加,各不同种植年限果园土壤剖面硝态氮的累积量均有不同程度的增加。在表4中可得到,18,23,32龄果园在整个土体中的硝态氮累积量分别为5 724.3,5 875.4,7 066.2 kg/hm²,均表现出严重的深层累积现象。18龄果园总累积量最低,为32龄果园累积量的81.0%,表现出硝态氮累积量随种植年限增加而升高的特点。

表4 坡地不同树龄果园硝态氮累积量

单位:kg/hm²

土层深度/cm	18龄果园	23龄果园	32龄果园
0—100	443.0±153.2c	138.1±30.8c	53.6±32.6b
100—200	2417.5±552.1b	2267.1±297.4b	2273.2±1215.1b
200—300	2258.5±830.2b	2862.4±402.0b	2364.5±1290.9b
300—400	605.3±136.7c	607.7±267.9c	2374.9±819.5b
0—400	5724.3±957.5a	5875.4±921.8a	7066.2±3271.5a

果园氮素累积深受施肥量、施肥方式、施肥累积时长和土壤水的影响。土壤中硝态氮迁移性较强,结合图1、图9可知,坡地果园土壤剖面中硝态氮含量特征与土壤水分变化趋势基本相同,坡地果园硝态氮累积深度反映出了坡地降水入渗特征^[18]。

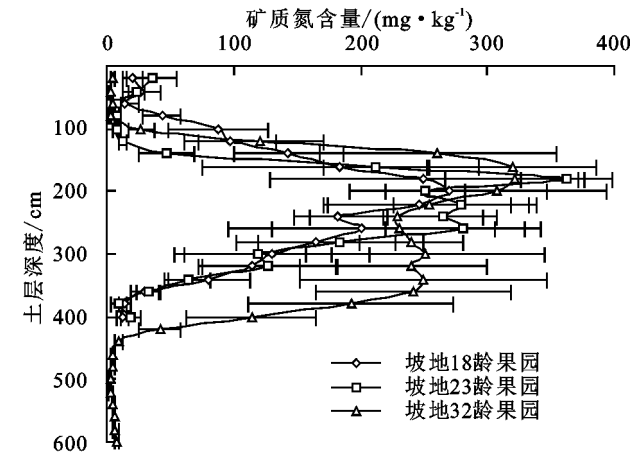
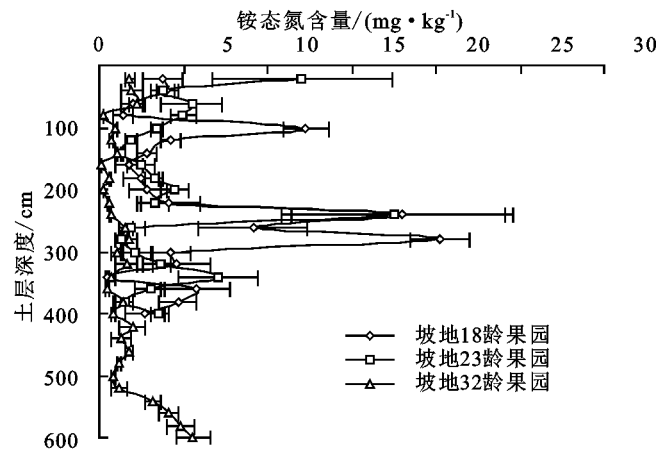


图8 坡地不同树龄果园土壤矿质氮分布



3 讨论

近年来,黄土高原苹果园种植区域扩张迅速,但由于该区域自然降水较少,水分匮乏成为苹果果实质量和产量提升的制约因素^[19-20]。调查结果^[21]表明,各树龄果园200 cm以下土层水分含量显著低于200 cm以上土层,可能是自然降水补给到0—200 cm土层导致。果树生长年限增加后,采样土层中贮水量明显下降,特别是300 cm以下土层更为明显,坡地不同树龄果园贮水量均差异显著($P<0.05$),在整个采样土层处贮水量表现为14树龄>23树龄>32树龄,其可能原因是随园龄增加,苹果生长需水量增加,果树根系范围增加,觅水空间扩大,同时300 cm以下土壤水分很难得到自然降水的补充,从而导致深层土壤水分亏缺加剧,这一结果与马鹏毅等^[22]、包睿等^[23]研究结果相同。赵云鹏等^[24]研究也发现,不同种植年限下的压砂地在0—600 cm土壤剖面含水量总体上表现出随种植年限的增加而减少的趋势;同样,郭胜利等^[13]研究发现,坡地果园0—400 cm土层含水量随着果园种植时间的增长而降低。

土体中矿质氮的累积主要与长时间大量氮肥使用、施肥方式、土壤水分循环等相关^[25-29]。王东沟流域内铵态氮含量占矿质氮含量的比例较低,因为该地

区地下水埋深在 60 m 以下,土壤含水量的降低导致该地区土体中气体含量较高,这种条件不利于铵的形成,因此铵态氮含量主要受土壤中黏土矿物对其专性吸附的影响,所以土体中黏土矿物的分布和含量影响着该地铵态氮的分布和含量^[13]。当前果树过量施肥现象普遍,氮肥施用过量会引起土体中硝态氮的累积现象,降低氮肥利用效率^[30]。怎样增加氮肥利用效率,在不减产的情况下降低肥料施用量是绿色农业发展的目标^[31]。有学者^[32]发现,在日光温室中,从耕层以下的某一深度开始,生长年限增加的同时硝态氮含量也在增加。袁丽金等^[33]、张迪等^[34]的研究也与此类似。在本研究中,流域内不同地貌类型果园中 0—600 cm 土层硝态氮含量变异较大,同一地貌类型下不同种植年限果园间硝态氮含量差异明显,氮素深层累积现象严重。在坡地果园以 100 cm 土层为分界线,100 cm 上下土层硝态氮累积量差异明显,18,23,32 树龄果园 0—100 cm 土层硝态氮累积量分别占总累积量的 7.7%,2.4%和 0.8%,可见,随果园园龄的增加氮素有向土壤深层迁移的趋势。

4 结论

(1)果园树龄显著影响土壤水分含量,随树龄增加,流域内不同地貌类型下果园 0—600 cm 土壤水分趋向干燥化;100—300 cm 土层贮水量没有显著差异,但在 300—600 cm 土层果园贮水量差异显著($P < 0.05$),且贮水量大小为 14 树龄 > 23 树龄 > 32 树龄。

(2)不同地貌类型下苹果园 600 cm 以上土层剖面硝态氮含量变化较大,深层累积现象明显。树龄显著影响硝态氮累积量,种植年限的增加会造成硝态氮累积量增加。

参考文献:

- [1] 陈学森,韩明玉,苏桂林,等.当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见[J].果树学报,2010,27(4):598-604.
- [2] 王利民,刘佳,高建孟.中国苹果空间分布格局及年际动态变化分析[J].中国农业信息,2019,31(4):84-93.
- [3] 江海.2019 年我国化肥表观消费量回升[J].磷肥与复肥,2020,35(3):3-4.
- [4] 闫湘,金继运,梁鸣早.我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J].土壤,2017,49(6):1067-1077.
- [5] Fan J, Hao M, Malhi S S. Accumulation of nitrate N in the soil profile and its implications for the environment under dryland agriculture in northern China: A review[J].Canadian Journal of Soil Science,2010,90(3):429-440.
- [6] Basso B, Cammarano D, Troccoli A, et al. Long-term wheat response to nitrogen in a rainfed Mediterranean environment: Field data and simulation analysis[J].European Journal of Agronomy,2010,33(2):132-138.
- [7] 陈翠霞,刘占军,陈竹君,等.黄土高原新老苹果产区施

肥现状及土壤肥力状况评价[J].土壤通报,2018,49(5):1144-1149.

- [8] Wang Y Q, Shao M N, Liu Z P, et al. Characteristics of Dried Soil Layers under apple orchards of different ages and their applications in soil water managements on the Loess Plateau of China[J].Pedosphere,2015,25(4):546-554.
- [9] Huang M B, He F H, Yang X M, et al. Effect of apple production base on regional water cycle in Weibei upland of the Loess Plateau[J].Journal of Geographical Sciences,2001,11(2):239-243.
- [10] Huang Y, Chang Q, Li Z. Land use change impacts on the amount and quality of recharge water in the loess tablelands of China[J].Science of the Total Environment,2018,628/629:443-452.
- [11] 张义,谢永生,郝明德.黄土高原沟壑区塬面苹果园土壤水分特征分析[J].土壤,2011,43(2):293-298.
- [12] Liu Z J, Ma P Y, Zhai B N, et al. Soil moisture decline and residual nitrate accumulation after converting cropland to apple orchard in a semiarid region: Evidence from the Loess Plateau[J/OL].Catena,2019,181. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104080>.
- [13] 郭胜利,党廷辉,郝明德.黄土高原沟壑区沟坡地土壤剖面中矿质氮的分布特征[J].水土保持学报,2003,17(2):31-33,66.
- [14] 车升国,郭胜利,高会议.黄土高原沟壑区果园还耕对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):71-75,89.
- [15] 刘文兆,党廷辉.中国生态系统定位观测与研究数据集[M].北京:中国农业出版社,2012:71-73.
- [16] 郝明德,梁银丽.长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术[M].北京:气象出版社,1998:120-125.
- [17] 常丽娟,赵涛,陈军民.渭北旱塬长武苹果产业转型升级的途径[J].果农之友,2020(6):45-48.
- [18] 郭胜利,郝明德,党廷辉.黄土高原沟壑区小流域土壤 NO_3^- -N 的积累特征及其影响因素[J].自然资源学报,2003,18(1):37-43.
- [19] 王元基.干旱对苹果品质的影响及其与糖代谢的关系[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [20] 王宪志,赵西宁,高晓东,等.黄土高原苹果园土壤水分及水分生产力模拟[J/OL].应用生态学报:1-12[2020-10-30]. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202101.012>.
- [21] Liu Y, Miao H T, Huang Z, et al. Soil water depletion patterns of artificial forest species and ages on the Loess Plateau (China) [J].Forest Ecology and Management,2018,417:137-143.
- [22] 马鹏毅,赵家锐,何威明,等.黄土高原不同树龄苹果园土壤水分及硝态氮剖面特征[J].水土保持学报,2019,33(3):192-198,214.
- [23] 包睿,邹养军,马锋旺,等.种植年限及密度对渭北旱塬苹果园深层土壤干燥化的影响[J].农业工程学报,2016,32(15):143-149.

(下转第 121 页)

- 积物粒度计算方法与结果对比研究[J].河南科学,2015,33(11):1998-2004.
- [21] 李宽,贾晓鹏,熊鑫,等.额济纳旗典型地表沙尘释放潜力及沙尘天气频发成因[J].中国沙漠,2019,39(3):191-198.
- [22] 苏松岭,毛东雷,蔡富艳,等.新疆策勒沙漠与砾质戈壁新月形沙丘表面沉积物粒度特征及其沉积环境[J].干旱区资源与环境,2020,34(8):124-132.
- [23] 李毅,李敏,曹伟,等.农田土壤颗粒尺寸分布分维及颗粒体积分数的空间变异性[J].农业工程学报,2010,26(1):94-102.
- [24] 陈宇轩,张飞岳,高广磊,等.科尔沁沙地樟子松人工林土壤粒径分布特征[J].干旱区地理,2020,43(4):1051-1058.
- [25] 高广磊,丁国栋,赵媛媛,等.生物结皮发育对毛乌素沙地土壤粒度特征的影响[J].农业机械学报,2014,45(1):115-120.
- [26] 王陇,高广磊,张英,等.毛乌素沙地风沙土粒径分布特征及其影响因素[J].干旱区地理,2019,42(5):1003-1010.
- [27] 陈宇轩,高广磊,张英,等.呼伦贝尔沙地风沙土粒径分布特征[J].北京林业大学学报,2019,41(8):124-130.
- [28] 俞祥祥,李生宇,马学喜,等.不同发育阶段新月形沙丘表面粒度特征[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(6):111-118.
- [29] 常兆丰,朱淑娟,段晓峰,等.新月形沙丘粒度分布的交替过程:以甘肃省河西沙区绿洲边缘积沙带为例[J].农业工程,2019,9(4):76-82.
- [30] 梁爱民,马杰,张瑾,等.民勤荒漠—绿洲过渡带不同沙障的阻沙粒度分析[J].太原师范学院学报(自然科学版),2016,15(1):87-92.
- [31] 刘铮瑶,董治宝,赵杰,等.人工固沙措施对沙丘沉积物特征及土壤养分的影响[J].生态学报,2020,40(4):1383-1391.
- [32] 党晓宏,高永,虞毅,等.新型生物可降解 PLA 沙障与传统草方格沙障防风效益[J].北京林业大学学报,2015,37(3):118-125.
- [33] 马瑞,刘虎俊,马彦军,等.沙源供给条件对机械沙障固沙作用的影响[J].水土保持学报,2013,27(5):105-108,114.
- [34] Dong Z B, Qian G Q, Luo W Y, et al. Analysis of the mass flux profiles of an aeolian saltating cloud[J/OL]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2006, 111(D16). <https://doi.org/10.1029/2005JD006630>.
- [35] 张登山,吴汪洋,田丽慧,等.青海湖沙地麦草方格沙障的蚀积效应与规格选取[J].地理科学,2014,34(5):627-634.
- [36] 丁连刚,严平,杜建会,等.基于三维激光扫描技术的草方格沙障内蚀积形态监测[J].测绘科学,2009,34(2):90-92.
- [37] 赵鹏,徐先英,屈建军,等.民勤绿洲—荒漠过渡带白刺群落空间分布及其环境解释[J].干旱区研究,2016,33(5):1003-1011.
- [38] 丁国栋.风沙物理学[M].北京:中国林业出版社,2010.
- [39] Folk R L, Word W C. Braser rivers bars: A study in the significance of grain size parameters[J].Journal of Sedimentary Petrology, 1957,27(1):3-26.
- [40] 刘宇胜.阿拉善北部戈壁地区新月形沙丘移动规律研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [41] 杨金玲,李德成,张甘霖,等.土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比[J].土壤学报,2008,45(3):413-419.
- [42] 韩广,张桂芳,杨文斌.呼伦贝尔沙地沙丘砂来源的定量分析:逐步判别分析(SDA)在粒度分析方面的应用[J].地理学报,2004,59(2):189-196.
- [43] 屈建军,黄宁,拓万全,等.戈壁风沙流结构特性及其意义[J].地球科学进展,2005,20(1):19-23.

(上接第 112 页)

- [24] 赵云鹏,白一茹,陆学娥,等.宁夏不同种植年限下晒砂瓜土壤干燥化效应研究[J].水土保持研究,2019,26(1):273-279.
- [25] 张忠学,陈鹏,聂堂哲,等.不同水氮调控模式对稻田土壤氮素分布与有效性的影响[J].农业机械学报,2018,49(11):210-219.
- [26] 樊军,郝明德,党廷辉.旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J].土壤与环境,2000,9(1):23-26.
- [27] 党廷辉,郭胜利,郝明德.黄土旱塬长期施肥下硝态氮深层累积的定量研究[J].水土保持研究,2003,10(1):58-60,75.
- [28] 沈灵凤,白玲玉,曾希柏,等.施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1350-1356.
- [29] 姚玉霞,张雪虹,叶玮,等.我国设施土壤硝态氮累积特性及影响因素研究综述[J].绿色科技,2017(24):99-102.
- [30] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [31] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, et al. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J].Agricultural Sciences in China,2002,1(7):776-785.
- [32] 杨慧,谷丰,杜太生.不同年限日光温室土壤硝态氮和盐分累积特性研究[J].中国农学通报,2014,30(2):240-247.
- [33] 袁丽金,巨晓棠,张丽娟,等.设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(1):14-19.
- [34] 张迪,赵牧秋,牛明芬,等.有机肥对设施土壤硝态氮垂直分布的影响[J].土壤通报,2011,42(5):1148-1152.