

黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征

杨雨林¹, 郭胜利^{1, 2*}, 马玉红, 车升国¹, 孙文艺²

(1 西北农林科技大学资源与环境学院; 2 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 管理措施是影响土壤质量演变的重要因素。分析和讨论了 5、10、15 年苹果园耕层(0—20 cm)和 0—200 cm 土壤有机碳、全氮、全磷、有效磷和硝态氮含量及其影响因素。结果表明, 5 年、10 年和 15 年的塬面苹果园表层土壤有机碳依次为 7.5、6.7 和 6.7 g/kg; 全氮依次为 0.94、0.85 和 0.83 g/kg; 但土壤全磷和速效磷含量随着种植年限而增加, 与 5 年苹果园相比, 塬面 10 年苹果园土壤全磷、速效磷含量分别提高了 11%、60%, 并且磷素的变异性随年限而增加。坡地 10 年、15 年和 20 年苹果园土壤有机碳依次为 6.3、6.2 和 6.5 g/kg, 全氮依次为 0.76、0.76 和 0.81 g/kg; 与 10 年苹果园相比, 15 年苹果园土壤全磷、速效磷含量分别提高了 20%、28%。土壤剖面 0—80 cm 内不同土地利用方式土壤碳、氮、磷含量随土层加深而降低, 80 cm 以下不同利用条件苹果园土壤碳、磷含量差异不大, 氮素含量在 100 cm 土层下随苹果园种植年限增加而增加。

关键词: 黄土高原沟壑区; 果园; 土壤有机碳; 土壤全氮; 土壤全磷; 土壤有效磷

中图分类号: S158.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0685-07

Changes of orchard soil carbon, nitrogen and phosphorus in gully region of Loess Plateau

YANG Yu-lin¹, GUO Sheng-li^{1, 2*}, MA Yu-hong², CHE Sheng-guo¹, SUN Wen-yi²

(1 College of Resource and Environment, Northwest A & F University; 2 Institute of Soil and Water Conservation,

2 Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Management practice is an important factor for soil quality changes. Changes in SOC (soil organic C), TSN (total soil nitrogen), total P, Olsen P and NO_3^- -N were investigated in topsoil 0–20 cm and 0–200 cm of 5-year, 10-year, and 15-year orchard of Wangdonggou watershed in Gully Region of Loess Plateau. SOC and TSN content of topsoil in orchard changed little with planting year; however, total P and Olsen P contents significantly increased. For the orchard in the tableland, SOC is 7.5, 6.7, and 6.7 g/kg in 5-year, 10-year, and 15-year orchard, respectively, TSN is 0.94, 0.85, and 0.83 g/kg, respectively. For 15-year orchard in the tableland, total P and Olsen P increased by 11% and 60%, respectively, compared with 5-year orchard. For the orchard in the slopeland, SOC is 6.3, 6.2, and 6.5 g/kg in 10-year, 15-year, and 20-year orchard, respectively, TSN is 0.76, 0.76, and 0.81 g/kg, respectively. For 15-year orchard in the tableland, total P and Olsen P increased by 20% and 28%, respectively, compared with 10-year orchard. SOC, TSN, total P, and Olsen P in the 0–80 cm soil profile decreased with depth, but SOC or total P or Olsen P content below 80cm were not significantly different. In addition, nitrate accumulation in 0–100 and 150–300 cm increased significantly with planting year.

Key words: gully region of Loess Plateau; orchard; soil organic C; soil total N; soil total P; Olsen-P

黄土高原是我国严重的水土流失区,也是优质苹果的适生区。1980 年以来该地区苹果园面积迅速增长,截至 2000 年,苹果园面积已发展到 84 万公

顷^[1]。退耕还果或坡地苹果园建设不仅成为当地居民脱贫致富的重要途径,而且成为治理水土流失的重要措施^[2-4]。由于水土流失的影响,黄土区苹果

收稿日期: 2007-08-06 接受日期: 2007-11-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB121102); 中国科学院知识创新方向项目(KZCX2-YW-424)资助。

作者简介: 杨雨林(1983—)男,陕西省蒲城县人,硕士研究生,主要从事土壤化学研究。E-mail: woyaoky88@yahoo.com.cn

* 通讯作者 E-mail: slguo@ms.iswc.ac.cn

园土壤的基础肥力一般较差^[5-7]。增加肥料投入、提高苹果园蓄水保墒是改善果园土壤肥力,提高苹果园产量的重要措施^[8-10]。当前苹果园氮、磷肥施用量一般为当地农田的一倍以上,部分苹果园化肥施用量甚至达到 N 641 kg/km², P 365 kg/km²^[11]。由于不合理施肥造成苹果园土壤养分失衡,果品生理病害严重,施肥的产量效应降低等问题日益突出。因此,开展长期施肥条件下,苹果园土壤养分含量变化的调查,为合理调控施肥措施,减少环境污染,推进苹果园土壤养分管理及平衡施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查研究地点

调查点位于陕甘交界处的长武县王东沟小流域(东经 107°40'30"~107°42'30",北纬 35°12'~35°16')。该流域为“中国科学院长武黄土高原农业生态试验站”和“长武农田生态系统国家野外研究站”的所在地,是我国重点水土流失治理小流域。土地面积 8.3 km²,塬、沟、坡各占土地面积的 1/3,沟壑密度为 2.78 条/km²,属典型的黄土高原沟壑类型区。塬面海拔 1220 m,从塬面到沟底的最大高差为 280 m。属于大陆季风气候,年均气温 9.1℃,≥10℃积温 3029℃,多年平均雨量 584 mm,但季节性分布不均,7~9 月份降水占年降水总量的 50%。流域内土地利用类型有农田、荒草地、林地等。主要土壤类型为黑垆土(分布于塬面)和黄绵土(分布于梁坡),母质为深厚的中壤质马兰黄土。经过“六五”、“七五”期间大规模综合治理,土壤侵蚀模数已由治理前的 1860 t/km² 下降到目前的 895 t/km² 以下。塬面地势平坦,1980 年前为粮食作物的主要种植区,自 1980 年开始,部分农田先后改建为苹果园。梁坡土壤侵蚀严重,为水土流失的主要治理地段。1980 年以来,部分梁坡地由荒草地先后改建为苹果园。因此,除农田外,整个流域内分布有不同种植年限的苹果园。这为开展长期施肥条件下苹果园土壤碳、氮、磷演变提供了有利条件。

1.2 采样与分析方法

1.2.1 土壤样品采集 在充分考虑到地貌类型、土地利用方式等因素基础上,在整个流域采用近似网格法采样。塬面采集 102 个样品,其中农田(包括冬小麦、春玉米、油菜等作物)25 个、苹果园 77 个样品(种植年限在 5 年以内 21 个样品、5~10 年 21 个样品、10 年以上 35 个样品);坡地采集 80 个样品,其中荒草地 14 个、苹果园 66 个样品(种植年限在 10

年以内 26 个样品、10~15 年 16 个样品、15 年以上 24 个样品)。每个苹果园采用“S”型布点取样,取样部位为树冠投影外缘,每个采样点以多点混合为一个样品。剖面土壤利用直径 3 cm 土钻采集 0—200 cm 土壤样品,采样点主要分布在坡地荒草地和苹果园,每 20 cm 为一层,分 10 层,设置剖面点 10 个。采样时间为 2004 年 5 月。

1.2.2 果树样品采集 小流域内选取苹果园株行距为 3 m×4 m 种植年限为 5 年、10 年、15 年以上 3 种类型果树,各 3 个样点,每样点选取大、中、小(以冠幅为大小依据)果树 3 棵。5 年龄果树取叶子、枝条(1、2、3 年生),10 年龄和 15 年以上果树取果实、叶子、枝条(1、2、3 和多年生)。

1.2.3 分析测定方法 土样风干,磨细过 1 mm、0.25 mm 筛后,测定土壤有机碳(H₂SO₄-K₂Cr₂O₇ 氧化外加加热法)、全氮(凯氏定氮法)^[12]、硝态氮 NO₃⁻-N(KCl 提取,用流动注射分析仪 FIAstar 5000 测定)^[13]、全磷(HClO₄-H₂SO₄ 消煮,钼锑抗比色法)和速效磷(NaHCO₃ 法)^[12];植物样品在 80℃ 下烘干,粉碎,过 1 mm 筛,测定全氮(半微量开氏法)、全磷(H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,钼蓝比色法)^[12]。

果树不同器官氮、磷含量的差异,采用 SAS(8.0)软件包统计分析^[14]。并进行均值间 LSD 显著性检验。

2 结果与分析

2.1 苹果园土壤耕层有机碳、氮、磷含量的变化

表 1 显示,塬面农田土壤有机碳和全氮含量平均为 7.7 和 0.95 g/kg,但农田改为苹果园后土壤碳、氮含量降低,且随苹果园利用年限的增加呈降低趋势。如 >10 年园龄土壤有机碳、氮(6.7 和 0.83 g/kg)较 ≤5 年园龄分别降低了 12% 和 13%。表明塬面农田改为苹果园后,随着施肥和土壤管理方式变化导致了土壤有机碳、全氮的降低,这值得进一步关注。与有机碳和全氮不同,土壤磷素含量随苹果园利用年限而增加,其中 >10 年苹果园全磷和速效磷含量(844 和 37.5 mg/kg)是 ≤5 年苹果园的(758 和 23.5 mg/kg)1.1 倍和 1.6 倍。显示了苹果园随着利用年限增加土壤磷素逐渐积累的特征。此外,塬面农田土壤有机碳和全氮的变异系数分别为 13.5% 和 14.4%,表明不同农户人为施肥、作物种类等管理措施的差异对塬面土壤有机碳、氮变异性的影响。与农田相比,苹果园土壤有机碳变异系数并没有变大,但苹果园土壤全磷和速效磷变异系数远

表 1 不同利用年限苹果园土壤有机碳、氮、磷含量
Table 1 The levels of SOC, TSN and P in different orchards of planting years

地貌 Land form	土地利用 Landuse	年限 Years	样本数 Samp. No.	有机碳 Soil organic C				土壤全氮 Total N of soil			
				平均值 Mean + Sd (g/kg)	变异 系数 CV%	>7.0 平均值 Mean (g/kg)	≤7.0 样本 Samp. (%)	平均值 Mean + Sd (g/kg)	变异 系数 CV%	>9.0 平均值 Mean (g/kg)	≤9.0 样本 Samp. (%)
塬面 Table land	果园 Orchard	≤5	21	7.5 ± 0.57	7.6	7.6	9.5	0.94 ± 0.08	8.7	0.98	33.3
		5~10	21	6.7 ± 1.05	15.7	7.5	52.4	0.85 ± 0.16	18.7	0.99	57.1
		>10	35	6.7 ± 0.96	14.4	7.7	62.9	0.83 ± 0.11	12.6	0.95	68.6
	农田 Farmland		25	7.7 ± 1.03	13.5	8.1	20.0	0.95 ± 0.14	14.4	1.00	20.0
坡地 Slope land	果园 Orchard	≤10	26	6.3 ± 0.68	10.8	7.2	80.8	0.76 ± 0.12	15.1	1.01	92.3
		10~15	16	6.2 ± 1.66	26.8	9.5	87.5	0.76 ± 0.14	18.3	1.15	93.8
		>15	24	6.5 ± 0.80	12.4	8.3	87.5	0.81 ± 0.10	12.8	0.99	79.2
	荒地 Wasteland		14	6.9 ± 2.87	41.6	9.8	71.4	0.76 ± 0.28	36.7	1.28	85.7
				土壤全磷 Total P of soil				土壤速效磷 Olsen-P of soil			
地貌 Land form	土地利用 Landuse	年限 Years	样本数 Samp. No.	平均值	变异	>750 平均值	≤750 样本	平均值	变异	>15 平均值	≤15 样本
				Mean + Sd (g/kg)	系数 CV%	Mean (g/kg)	Samp. (%)	Mean + Sd (g/kg)	系数 CV%	Mean (g/kg)	Samp. (%)
塬面 Table land	果园 Orchard	≤5	21	758 ± 49	6.5	807	61.9	23.5 ± 9.1	38.9	29.3	23.8
		5~10	21	772 ± 116	15.0	851	52.2	24.9 ± 24.1	97.1	40.0	42.9
		>10	35	844 ± 174	20.7	920	34.3	37.5 ± 22.0	58.6	45.1	17.1
	农田 Farmland		25	776 ± 79	10.2	825	40.0	20.9 ± 9.7	46.3	24.7	28.0
坡地 Slope land	果园 Orchard	≤10	26	739 ± 102	13.8	869	73.1	25.0 ± 19.1	76.3	36.6	30.8
		10~15	16	775 ± 182	23.5	911	50.0	29.9 ± 20.8	69.5	43.8	25.0
		>15	24	888 ± 172	19.4	935	20.8	32.1 ± 17.1	53.3	36.0	16.7
	荒地 Wasteland		14	568 ± 71	12.5	797	92.9	1.7 ± 0.8	49.9	2.39	57.1

注(Note): LF—Landform ; TL—Tableland ; SL—Slope land ; LU—Land use ; Orch.—Orchard ; FL— Farmland ; WL—Wasteland.

高于有机碳和全氮,尤其是 5~10 年园龄速效磷变异系数达到了 97.1%,表现出不同农户施肥管理措施对土壤磷素影响很大。

在梁坡地貌类型上,荒草地土壤有机碳、氮、磷变异系数均高于塬面农田,改建果园后,不同年限苹果园土壤有机碳和氮、磷变异系数增大,表明果园的管理差异在进一步影响土壤有机碳和氮、磷的变异性。荒草地土壤全氮含量低于 >15 年园龄苹果园 7%,苹果园土壤磷素含量与塬面苹果园变化相似,但土壤全磷含量小于 750 mg/kg 样本百分数(73.1%~20.8%)和速效磷含量小于 15 mg/kg 样本百分数(30.8%~16.7%)随利用年限增加而减少。与草地相比,改建苹果园后土壤全磷、速效磷达到了

888 和 32.1 mg/kg,并随 ≤10、10~15、>15 年 3 种园龄增高而依次升高,>15 年与 ≤10 年园龄相比,全磷、速效磷含量分别增加了 20% 和 28%。这些结果,一方面说明当地群众对坡地苹果园投入的差异,另一方面也表现出长期施肥坡地苹果园土壤磷素显著积累的特征,且磷素的积累较塬面更显著。

2.2 苹果园土壤剖面碳、氮、磷含量变化

图 1 显示,坡地剖面有机碳含量变化规律与全氮相似,在耕层以荒草地含量最高,且有机碳和全氮分别是 10 年以内苹果园土壤的 1.8 和 1.6 倍;随土壤深度增加,有机碳和全氮含量逐渐降低且差异逐渐变小,剖面 80 cm 以下苹果园和荒草地的土壤有机碳和全氮含量基本一致。这表明草地开垦为苹果

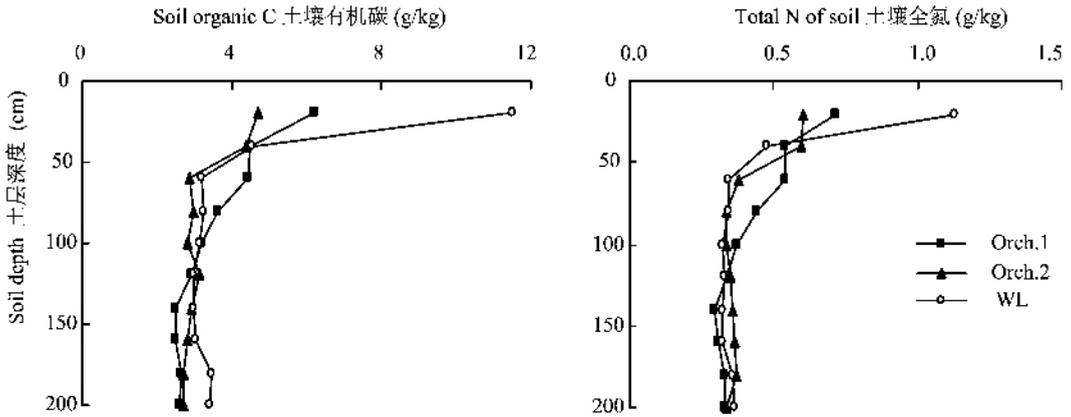


图1 坡地不同年限果园土壤剖面有机碳和全氮含量分布

Fig.1 Organic C and total N distribution in the soil profiles of different planting year orchards in the slope land

[注 (Note): Orch.1—10 年以内果园 ≤10 year orchard; Orch.2—10 ~ 15 年果园 10~15 year orchard; WL—荒草地 Wasteland, 下同 The same below]

园后,表层土壤有机碳、氮含量降低,但长期施肥对 20—80 cm 土层有机碳和全氮含量有提高作用。

从图 2 看出,由于荒草地不施肥使在 0—300 cm 土层硝态氮含量基本一致,而苹果园因为人为大量施肥导致耕层硝态氮含量偏高,随果园种植年限 ≤ 10 年、10~15 年和 20 年的递增,硝态氮在深层次土壤产生大量的积累。

坡地农田 0—200 cm 土层剖面全磷含量变化不大。苹果园土层剖面上全磷表层含量最高,且随剖面加深而降低;随着种植年限的延长,0—80 cm 全磷和速效磷含量逐渐升高,显示了随年限逐渐富集的特征,而在 80 cm 以下苹果园土壤全磷和速效磷含量和农地无明显差异(图 3)。

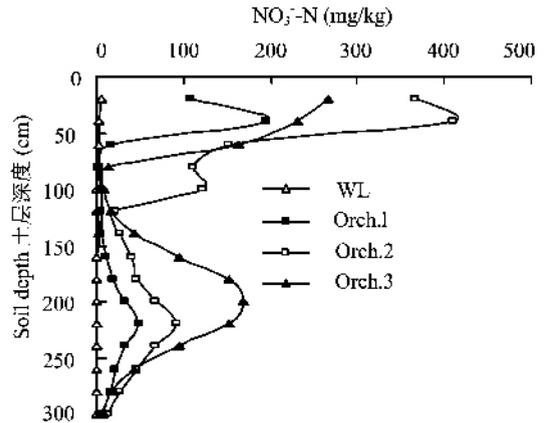


图2 不同种植条件下土壤剖面 NO₃⁻-N 分布特征

Fig.2 NO₃⁻-N distribution in the soil profiles under different cropping systems

(Orch.3: 20 年果园 20-year orchard)

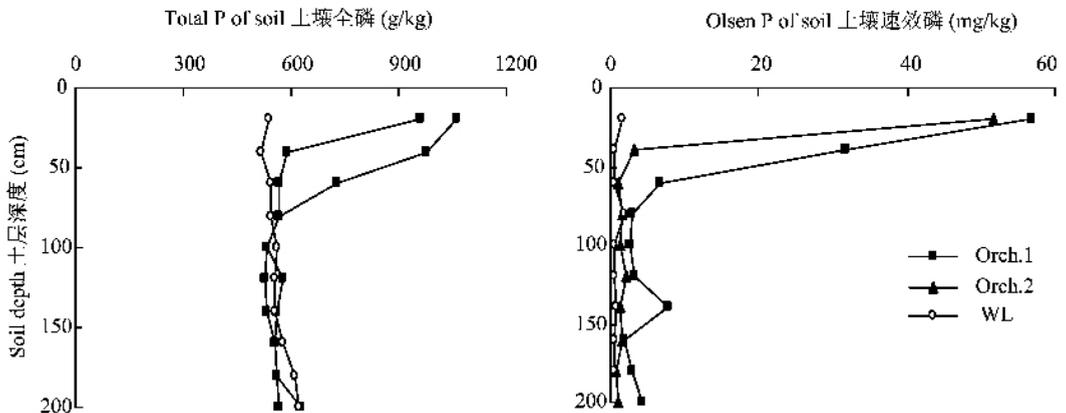


图3 坡地土壤剖面磷素含量分布

Fig.3 Total P and Olsen-P distribution in the soil profiles of slope land

3 讨论

土壤有机碳的积累与新鲜有机物的输入和土壤管理方式密切相关。国内外大量的研究表明,在农田生态系统中,长期施用化肥条件下,土壤有机碳和氮的含量可以得到维持或提高,增施有机肥会显著提高土壤有机碳和氮的含量^[15-17]。但在苹果园生态系统中,长期施肥条件下土壤有机碳和氮的含量演变有不同报道。刘建玲等^[18]认为,河北省中南部苹果园经过 10 年(1993~2003 年) 0—20 cm 苹果园土壤有机碳和氮分别提高了 2.5 和 0.317 g/kg;姜远茂等^[19]于 1989 至 1998 年 7~9 月对山东省 9 个地(市) 21 个县(市、区)范围内苹果园土壤进行测定,发现 10 年来土壤有机质含量呈下降趋势,降幅为 36%。本研究结果显示,苹果园土壤有机碳也表现出略微降低的趋势。其原因可能与当地苹果园的管理措施有关:一是果树修剪,疏花、疏果等带走树叶枝条和果子,降低了有机物的投入;二是农户的耕作措施,如深翻土壤造成有机碳分解等;三是果农对有机肥的重视程度不够,对于农家肥投入很少甚至不投入。如何改善苹果园土壤管理措施,维持和提高土壤有机碳、氮的含量尤其应值得关注。

化肥的投入是导致土壤磷素和硝态氮积累的重要因素。农田常规施肥条件下,土壤硝态氮的积累主要集中于 0—200 cm 土层^[13,20-21],但在苹果园中,除了 0—200 cm 土层外,更深的土层(200—300 cm)中也存在显著的硝态氮积累,这可能与苹果园的补充灌溉和果树根系的分布特征有关。苹果树根系主要分布在 0—100 cm 土层,其中 90% 树根生长在 0—60 cm 土层^[22-24];硝态氮容易随水分迁移至土壤深层而产生积累的情况(图 2)。在石灰性土壤中,磷素在土壤中易被固定,很难发生迁移^[25];农田磷肥利用率为 5%~15%^[26],苹果园的磷肥利用效率更低,本研究中,磷肥的利用率仅有 2.5%。长期大量的化肥投入造成土壤中磷含量不断升高从而导致表层磷素大量积累。刘建玲等^[18]报道,河北省中南部苹果园 10 年间(1993~2003 年) 0—20 cm 苹果园土壤速效磷含量提高了 122.3 mg/kg,每年的提高速率达到 12 mg/kg。本研究结果表明,与邻近农田相比,苹果园土壤有效磷的每年提高速率达到 2 mg/kg。由于苹果园施肥深度较农田深,因此,除了表层外,苹果园 20—80 cm 土层的磷素含量也得到了显著提高(图 3)。

渭北地区苹果树株行距平均 3 m × 4 m,每公顷

约有 830 株果树,年施氮、磷肥量为 N 350 和 P 200 kg/km²,果实平均产量 22500 kg/km²。据 2006 年调查,王东沟平均单株果树剪落枝条 5.73 kg,每年苹果园带出叶子 2.83 kg/株、果实生物量 3.17 kg/株。根据苹果树不同器官的测定数据估算(表 2),每年带出氮、磷量仅为 N 55.28 和 P 4.73 kg/km²;但根据本研究资料(表 1)估算,0—20 cm 土壤在 5 年间全磷积累量 110~204 mg/kg,即每年积累量约 18~56.5 kg/km²;以每年施磷量 200 kg/km² 计算,则每年有 139~177 kg/km² 磷素以各种形式积累在耕层以下土壤和苹果树体内。而苹果园土壤每年 140—300 cm 土层中硝态氮积累量约 60~90 kg/km²,0—300 cm 土层中每年硝态氮积累量约 160~180 kg/km²(图 2)。从 1986 到 2004 年,本流域的苹果园面积逐年上升,由初始的占流域总面积的 1.6% 升高到 27.1%,而整个流域农田面积由 48.3% 降低到 18.4%。苹果园逐渐成为当地种植业主要

表 2 氮、磷在苹果树不同器官中的含量分布

Table 2 TSN and TSP distribution in the organs of apple tree

器官 Organ	年限 Years	全氮(g/kg) Total N	全磷(g/kg) Total P
叶子 Leaf	15	17.74 ± 0.05	1.17 ± 0.03 a
	10	16.98 ± 0.13	0.96 ± 0.09 b
	5	18.67 ± 0.02	1.06 ± 0.02 ba
LSI(0.05)		2.06	0.14
一年枝 1yr branch	15	6.85 ± 0.11 ba	1.16 ± 0.06 a
	10	8.27 ± 0.06 a	0.95 ± 0.15 ba
	5	5.74 ± 0.05 b	0.71 ± 0.08 b
LSI(0.05)		1.43	0.28
二年枝 2 yr branch	15	5.08 ± 0.22	0.69 ± 0.05
	10	5.47 ± 0.07	0.70 ± 0.09
	5	3.96 ± 0.07	0.55 ± 0.07
LSI(0.05)		1.51	0.35
三年枝 3 yr branch	15	4.21 ± 0.02	0.53 ± 0.04
	10	4.32 ± 0.06	0.50 ± 0.08
	5	3.30 ± 0.03	0.50 ± 0.06
LSI(0.05)		1.08	0.15
多年枝 Over 3yr branch	15	3.52 ± 0.02	0.37 ± 0.02
	10	2.91 ± 0.05	0.37 ± 0.07
	5	1.05	0.14
LSI(0.05)		1.05	0.14
果实 Fruit	15	2.33 ± 0.01	0.38 ± 0.04
	10	2.32 ± 0.02	0.40 ± 0.04
	5	0.42	0.11
LSI(0.05)		0.42	0.11

注:数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values followed by different letters means significant at 5% level.

用地类型。本流域苹果园土壤已经产生大量的磷和土壤硝态氮积累,如何防止氮、磷进一步积累及其对环境的影响,应引起进一步的关注。

参考文献:

- [1] 樊军,胡波. 黄土高原果业发展对区域环境的影响与对策[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 355-359.
Fan J, Hu B. Effects of apple orchard development on ecological environment in the Loess Plateau[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2005, 21(11): 355-359.
- [2] 李辉桃,翟丙年,李岗,周建斌. 乾县苹果营养诊断和施肥研究[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25(5): 44-48.
Li H T, Zhai B N, Li G, Zhou J B. Nutrient diagnosis of apple trees and fertilizer recommendation in Qianxian County[J]. Acta Bot Boreali-Occid. Sin., 1997, 25(5): 44-48.
- [3] 李志,刘文兆,杨勤科,等. 黄土沟壑区小流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 山地学报, 2006, 26(1): 27-32.
Li Z, Liu W Z, Yang Q K *et al.* Dynamic change of land use in wangdonggou watershed in gully region of the Loess Plateau[J]. J. Mount. Sci., 2006, 26(1): 27-32.
- [4] 刘子龙,张广军,赵政阳,梁俊. 陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况的调查[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(2): 50-53.
Liu Z L, Zhang G J, Zhao Z Y, Liang J. Survey on the state of soil nutrient of apple orchards in the major production area of Shaanxi[J]. J. Northwest For. Univ., 2006, 21(2): 50-53.
- [5] 武怀庆,白成云. 山西省苹果主产区果园营养现状及施肥建议[J]. 山西农业科学, 2005, 33(4): 63-65.
Wu H Q, Bai C Y. Current situation of orchard nutrient and proposal for fertilizer application in the main apple producing areas in Shanxi Province[J]. J. Shanxi Agric. Sci., 2005, 33(4): 63-65.
- [6] 李辉桃,周建斌,郑险峰,等. 旱地红富士果园土壤营养诊断和施肥[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 45-50.
Li H T, Zhou J B, Zheng X F *et al.* Nutrient diagnosis and fertilization in soils in Fuji apple orchards in rainfed land[J]. Agric. Res. Arid Areas, 1996, 14(2): 45-50.
- [7] 牛永浩,花蕾. 渭北无公害优质苹果生产关键技术研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(10): 145-148.
Niu Y H, Hua L. Key techniques for the production of high quality pollution-free apples in Weibei area[J]. J. Northwest Sci-Tech Univ., 2006, 34(10): 145-148.
- [8] 彭福田,姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 361-367.
Peng F T, Jiang Y M. Characteristics of N, P and K nutrition in different yield level apple orchards[J]. Sci. Agric. Sin., 2006, 39(2): 361-367.
- [9] 朱德兰,王文娥,楚杰. 黄土高原丘陵陵区红富士苹果水肥耦合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 152-155.
Zhu D L, Wang W E, Chu J. Study on the coupling effect of water and fertilizer on apple in hilly area of Loess Plateau[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2004, 22(1): 152-155.
- [10] 朱德兰,吴发启. 黄土高原旱地果园土壤水分管理研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 40-42, 115.
Zhu D L, Wu F Q. Study on water management in dry orchard in Loess Plateau[J]. Res. Soil Water Conserv., 2004, 11(1): 40-42, 115.
- [11] 刘侯俊,巨晓棠,同延安,等. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 38-44.
Liu H J, Ju X T, Tong Y A *et al.* The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2002, 20(1): 38-44.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 39-140.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999. 39-140.
- [13] 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.
Guo S L, Hao M D, Dang T H. NO_3^- -N accumulation and its affecting factors in small watershed in gully region of Loess Plateau[J]. J. Nat. Resour., 2003, 18(1): 37-43.
- [14] SAS Institute Inc. SAS Release (8.0) [CP]. Cary: SAS Institute Inc., USA, 1998.
- [15] 徐明刚,梁国庆,张夫道,等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006. 1-17.
Xu M G, Liang G Q, Zhang F D *et al.* Soil fertility changes of China[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2006. 1-17.
- [16] Janzen H H. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations[J]. Can. J. Soil Sci., 1987, 67: 845-856.
- [17] Drury C F, Oloya T O, Mckenney D J *et al.* Long-term effects of fertilization and rotation on denitrification and soil carbon[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 1572-1579.
- [18] 刘建玲,廖文华,张志华,孙建设. 河北省中南部苹果园土壤养分的消长及分布[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 705-708.
Liu J L, Liao W H, Zhang Z H, Sun J S. The change of soil nutrition and the status of distribution in the apple orchard in the south and central part of Hebei Province[J]. Acta Hort. Sin., 2006, 33(4): 705-708.
- [19] 姜远茂,彭福田,张宏彦,等. 山东省苹果园土壤有机质及养分状况研究[J]. 土壤通报, 2001, 33(4): 167-169.
Jiang Y M, Peng Y F, Zhang H Y *et al.* Status of organic matter and nutrients in Shandong orchard soil[J]. Chin. J. Soil Sci., 2001, 33(4): 167-169.
- [20] 樊军,邵明安,郝明德,王全九. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.
Fan J, Shao M A, Hao M D, Wang Q J. Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 8-12.
- [21] 白茹,李丙智,张林森,等. 陕西渭北苹果园土壤矿质氮累积与分布状况研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4): 50-53.
Bai R, Li B Z, Zhang L S *et al.* Mineral N distribution and accumulation in apple orchards of Weibei Areas in Shaanxi Province[J]. J.

- Northwest For. Univ. , 2006 , 21(4) : 50-53.
- [22] 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.
Dang T H, Guo S L, Hao M D. The amount and ratio of NO_3^- -N accumulation under long-term fertilization in dry highland of Loess Plateau[J]. Res. Soil Water Conserv. , 2003 , 10(1) : 58-60 , 75.
- [23] 宋吉红,王百田,林富荣.黄土高原旱地果园土壤蓄水保墒技术定量研究[J].水土保持学报,2000,14(4):95-98.
Song J H, Wang B T, Lin F R. Quantity research on technology of water reserving and soil moisture keeping in dryland orchard on Loess Plateau[J]. J. Soil Water Conserv. , 2000 , 14(4) : 95-98.
- [24] 樊红柱,同延安.苹果树各器官钙素分布研究[J].西北农林科技大学(自然科学版)2006,34(3):119-121,126.
Fan H Z, Tong Y A. Study on in vitro regeneration technology from stem explants of four potato cultivars[J]. J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2006 , 34(3) : 119-121 , 126.
- [25] 隋红建,杨邦杰,张家炳.入渗条件下土壤中磷离子迁移的数值模拟[J].环境科学学报,1996,16(3):302-307.
Sui H J, Yang B J, Zhang J B. Numerical simulation of the transport of phosphate in unsaturated soil during infiltration [J]. Acta Sci. Circumstantiae, 1996 , 16(3) : 302-307.
- [26] 司友斌,王慎强,陈怀满.农田氮、磷的流失与水体富营养化[J].土壤,2000,(4):188-193.
Si Y B, Wang S Q, Chen H M. The runoffs of nitrogen and phosphorus from cropland and eutrophication of the lake [J]. Soils , 2000 , (4) : 188-193.