

黄土区退果还耕对黑垆土硝态氮积累和迁移的影响

郭胜利^{1, 2}, 车升国¹

(1 西北农林科技大学资环学院, 陕西杨凌 712100; 2 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 在黄土高原沟壑区王东沟小流域, 针对塬面、梁地和坡地三种地形, 分别选取了盛果期果园、老果园和退果还耕地等, 研究了退果还耕条件下, 三种地貌类型土壤剖面中水分含量变化及 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 积累和迁移规律。结果表明, 无论塬面、梁地或者坡地上, 果园土壤水分含量显著降低(10%~14%); 果园退耕后, 土壤水分开始缓慢恢复。盛果期, 塬面 NO_3^- -N 峰值主要处于 100—200 cm 之间, 退果还耕后, 100 cm 以上土层中 NO_3^- -N 含量降低, 100 cm 以下 NO_3^- -N 积累量在增加, 并且峰值不断向下移动。盛果期果园 NO_3^- -N 积累量为 631~3032 kg/hm²; 退果还耕地、老果园 NO_3^- -N 积累量都显著高于盛果期果园。盛果期 40% 以上的 NO_3^- -N 积累在 100—200 cm 土层, 但退果还耕地上 50% 左右集中分布在 200—300 cm 土层。土地利用与管理方式的变化对 NH_4^+ -N 分布特征的影响并不明显。

关键词: 黑垆土; 退果还耕; NO_3^- -N; 土壤水分

中图分类号: S153.6⁺1; S154.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)05-1037-07

Effect of land use change from orchard to farmland on the nitrate accumulation in caliche soils in the Loess Plateau

GUO Sheng-li^{1, 2}, CHE Sheng-guo¹

(1 College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A young orchard, old orchard, and cropland converted from orchard were selected on table land, ridge land and slope land at the watershed of Wangdonggou of gully region in the Loess Plateau. Soil moisture content, nitrate and ammonium contents in 0–400 cm (in ridge land and slope land) or 0–600 cm (in tableland) depth were measured. The results showed that soil moisture content significantly decreased in table land, ridge land and slope land, while it began to be resumed in cropland converted from orchard. During the high yielding stage of orchard, for table land, the peak value of nitrate concentration were mainly located between 100–200 cm in young orchard, but once converted to cropland, NO_3^- -N content in upper 100 cm layer decreased and NO_3^- -N accumulation under 100 cm increased, furthermore, the peak value of NO_3^- -N had the trend of moving downward. The accumulated NO_3^- -N ranged from 631 to 3032 kg/ha in the young orchard. The nitrate accumulation in cropland converted from orchard and old orchard was significantly higher than that in young orchard. For young orchard, 40% of the nitrate accumulated between 100 and 200 cm, but for farmland converted from orchard, 50% of nitrate accumulated between 200 and 300 cm. Land use change had a little effect on ammonium in soil profiles.

Key words: caliche soil; conversion of orchard into farmland; nitrate; soil moisture

收稿日期: 2008-12-22 接受日期: 2009-03-16

基金项目: 陕西省自然科学基金(2007D21); 中国科学院“西部之光”项目(151)资助。

作者简介: 郭胜利(1969—), 男, 河北栾城人, 副研究员, 主要从事土壤生态研究。E-mail: slguo@ms.iswc.ac.cn

硝态氮的迁移和淋失是关乎农业和环境的重要问题。与多雨区或灌溉区相比,干旱半干旱地区,淋失和反硝化作用较弱,施肥常会造成土壤深层 NO_3^- -N 积累。在农田生态系统中,氮肥施用量^[1-3]、施肥方式^[4-7]、作物^[8-10]、耕作措施^[11]等对 NO_3^- -N 迁移积累的影响已有大量研究。但土地利用变化对土壤 NO_3^- -N 迁移积累的影响报道较少。黄土区既是我国重要雨养农业区,也是我国果品生产基地。自上世纪 80 年代至 2000 年,黄土区果园面积已达到 84 万公顷^[12]。果园的化肥投入量不断提高,在高原沟壑区,果园的化肥投入量已经占到区域化肥使用总量的一半以上;化肥的年使用量已经高达 N 500 kg/hm²和 P 300 kg/hm²以上。在干旱半干旱地区,果园大规模建设导致了生物利用型“土壤干层”的出现^[13-14],导致 NO_3^- -N 大量积累在土壤深层^[15-18]。但随着果园的衰老,老果园开始陆续转化为农田。果园退耕影响到土壤干层的缓解或逐渐恢复,随之土壤中积累的 NO_3^- -N 极可能进一步向下迁移,并最终影响到地下水的水质。但在目前土地利用变化条件下,土壤水分和 NO_3^- -N 累积变化影响机制缺少报道。研究果园退耕条件下,剖面土壤水分、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量变化,有助于理解土地利用变化条件下,干旱半干旱地区土壤水、氮变化规律。对降低氮素环境污染、提高水肥资源利用,促进黄土区农业生态系统持续发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域位于陕甘交界处的长武县洪家乡王东沟小流域,东经 107°40'30"~107°42'30",北纬 35°12'~35°16'。土地面积 8.3 km²,塬、沟、坡各占 1/3。沟壑密度 2.78 条/km²,属典型的黄土高原沟壑类型区,代表面积 5 万 km²。塬面海拔 1220 m,气候温和湿润,年均气温 9.1℃,≥10℃积温 3029℃,年日照时数 2226.5 h,年太阳总辐射量 484 kJ/cm²,年均雨量 584 mm,降水季节性分布不均,7~9 月降水占总量的 55%(图 1),年均蒸发量(E601)1565 mm。

该区土壤类型主要为黑垆土(系统分类名称,堆垫干润均腐土,Caliche soil),母质是深厚的中壤质马兰黄土,土层深厚,垒结疏松,通透性好,降水的入渗深度最大可达 300 cm。土壤有机质含量 7.46 g/kg、全氮 0.52 g/kg、碱解氮 48.2 mg/kg、pH 8.4、Olsen-P 5.5 mg/kg,土壤容重 1.3 g/cm³,田间持水量 21%~23%,凋萎湿度 9.0%。

1980 年以来,流域内坡地开始大规模种植果树,之后逐渐发展到塬面和梁地。2000 年后,流域老化果园陆续转化为农地。塬面、梁地和坡地上均种植有不同年限的果园,为开展本研究提供了条件。目前,流域内土地利用类型有农田、果园、荒草地、林地等。

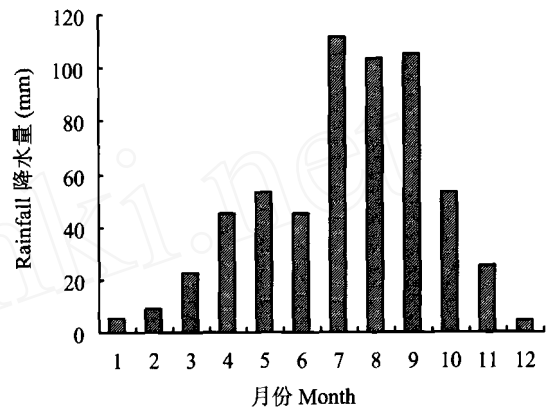


图 1 王东沟小流域多年平均月降水量 (mm)

Fig.1 Mean monthly rainfall at Wangdonggou catchment in gully region of Loess Plates

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集与分析 2007 年 11 月果实收获后,利用轻型人力土钻(直径 3 cm)采集土壤样品。在塬面、梁地和坡地三种地貌类型上,依据果园的利用和管理状况,选取 9 种土地利用与管理方式(表 1)。测定盛果期果园(15 年园龄)、老果园(25 年园龄),退果还耕的麦地(3 年),麦地(25 年以上)等土地管理方式条件下,0—6 m 土壤水分、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量变化。同一地貌类型上,选取距离相近的盛果期、老果园和退果耕地三种土地利用类型,采集每一利用与管理方式的 0—4 m 土层(塬面 6 m)的样品,用于测定土壤水分、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N。每个苹果园(0—20 cm)土层采用“S”型布点取样,取样部位为树冠投影外缘,3 次重复。20 cm 以下每样点重复 3 次,室内分析重复 2 次。果树株行距平均 3 m × 4 m,每公顷约有 830 株果树。

土壤样品原位完全取出后立即分成 20 个土层(每层 20 cm),分别保存。样品混合均匀后用烘干法测定水分含量(重量百分比表示)。 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 不能立即分析时,在 4℃ 冷藏箱保存。取干重相当于 10.0 g 的新鲜土样于 150 mL 塑料瓶中,加入 100 mL 的 1 mol KCl 溶液,振荡 60 min,用定量分析滤纸过滤。提取液不能立即测定时放入 -15℃ 冷藏

表 1 不同地貌类型条件下果园的利用与管理方式

Table 1 Land uses and managements under various landform types in gully region of Loess Plateau

地貌类型 Landforms	土地利用 Land use	水肥管理方式 Water and fertilization practices
塬面 Table land	盛果期果园 Young orchard	树龄 15 年; 表层撒施、施 N 300 ~ 500 kg/hm ² , P 200 ~ 300 kg/hm ² ; 补充灌溉 15a; Top dressing, N 300-500 kg/ha, P 200-300 kg/ha; Supplement irrigation
	退果还耕地 Cropland converted from orchard	冬小麦, 4 年; 表层撒施、施 N 100 ~ 200 kg/hm ² , P 30 ~ 60 kg/hm ² Winter wheat, 4a; Top dressing, N 100-200 kg/ha, P 30-60 kg/ha.
	长期耕地 Cropland	冬小麦-春玉米, 20 年以上; 人工表层撒施、施 N 100 ~ 150 kg/hm ² , P 50 ~ 60 kg/hm ² Winter wheat - spring corn, over 20a; Top dressing, N 100-150 kg/ha, P 50-60 kg/ha
梁地 Ridge land	盛果期果园 Young orchard	树龄 15 年; 表层撒施、施 N 300 ~ 500 kg/hm ² , P 200 ~ 300 kg/hm ² ; 补充浇灌 15a; Top dressing, N 300-500 kg/ha, P 200-300 kg/ha; Supplement irrigation
	老果园 Old orchard	树龄 25 年; 表层撒施、20 年树龄前施肥量与盛果期果园相近, N 350 kg/hm ² , P 200 kg/hm ² 25a; Top dressing, management same as young orchard before 20a, since then N 350 kg/ha and P 200 kg/ha.
	退果还耕地 Cropland converted from orchard	冬小麦, 4 年; 人工表层施肥、施 N 350 kg/hm ² , P 200 kg/hm ² Winter wheat, 4a; Top dressing, N 350 kg/ha, P 200 kg/ha
坡地 Slope land	老果园 Old orchard	树龄 25 年; 表层撒施、20 年树龄前施肥量同盛果期果园, N 250 kg/hm ² , P 75 kg/hm ² 25a; Top dressing, management same as young one, N 250 kg/ha, P 75 kg/ha after 20a
	荒芜果园 Abandoned orchard	树龄 25 年以上, 杂草丛生; 废弃、无人工管理 Over 25a; Abandoned
	退果还耕地 Cropland converted from orchard	冬小麦, 4 年; 人工表层撒施、施 N 100 kg/hm ² , P 30 kg/hm ² Winter wheat, 4a; Top dressing, N 100 kg/ha, P 30 kg/ha

箱保存。NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量用双通道流动注射分析仪(FOSS TECATOR, FIAstar 5000)测定。

1.2.2 土壤剖面 NO₃⁻-N 积累量的计算

$$A = \sum_{i=1}^n C_i H_i B D_i \times 10/100$$

式中: A 为剖面土层 NO₃⁻-N 累积量(kg/hm²); C 为土壤 NO₃⁻-N 浓度(mg/kg); H 为土层厚度(cm); BD 为 H 土层的土壤容重(g/cm³), i 代表土层。农田土壤 0—20、20—40、40—60、60—80、80—100、100—120、120—140、140—160、160—180、180—200、200—600 cm 土层容重取值依次为 1.3、1.3、1.4、1.4、1.35、1.35、1.32、1.32、1.32、1.30、1.30 g/cm³; 果园土壤 0—600 cm 容重取值为 1.30 g/cm³[19]。

1.2.3 土壤剖面储水量计算 土壤储水量是指一定土层厚度的土壤含水量,以水层深度(mm)表示,其计算公式为:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i H_i B D_i$$

式中: W 为土壤总储水量(mm); W_i 为第 i 层土壤质量含水量(%); H 为土层厚度(cm); BD 为 H 土层的土壤容重(g/cm³), i 代表土层。

测定数据采用 SAS 软件包^[20]进行统计分析及多重比较,利用 Microsoft Excel 2003 进行数据初处理及作图。

2 结果与分析

2.1 退果还耕对土壤水分含量与分布的影响

表 2 显示,塬面上,三种利用方式水分含量高低顺序为长期耕地最高,盛果期果园与退果还耕地相近。盛果期果园,0—2 m 土层的水分含量(212 ~ 245 mm)高于 2—6 m 土层(148 ~ 192 mm),表明底层土壤水分含量明显低于上层;但长期耕地的土壤水分分布则相反,底层(3—6 m)明显高于上层(0—3 m),退果还耕地土壤水分含量虽然与盛果期果园相近,但底层(2—5 m)水分含量已经高于盛果期果园。在梁地上,退果还耕地 0—4 m 土层中的水分含量高于盛果期果园和老果园;1—4 m 土层平均含水量,退果还耕地高于盛果期果园和老果园。同样,在坡地上也呈现相似的规律,即退果还耕地 0—4 m 土层中的水分含量高于老果园和荒芜果园,退果还耕地底层水分含量稍高(图 2a)。这些结果说明,土地利用与管理方式影响土壤剖面的含水量及其分布,果园

表 2 土地利用方式对土壤水分含量的影响 (mm)
Table 2 Effects of land use types on soil moisture content and distribution in soil profiles

土层深度 Soil depth (cm)	塬面 Tableland			梁地 Ridgeland			坡地 Slope land		
	盛果期果园 Young orchard	退果还耕地 Cropland covered from orchard	长期耕地 Cropland	盛果期果园 Young orchard	老果园 Old orchard	退果还耕地 Cropland covered from orchard	老果园 Old orchard	荒芜果园 Abandoned orchard	退果还耕地 Cropland covered from orchard
0—100	245 a	224 a	221 a	196 a	187 a	204 a	185 a	184 a	194 a
100—200	212 a	156 b	167 b	128 a	106 a	126 a	120 b	128 ab	132 a
200—300	148 b	168 ab	198 a	114 a	113 a	119 a	106 a	105 a	114 a
300—400	168 b	196 ab	229 a	125 a	125 a	136 a	111 ab	104 b	117 a
400—500	179 b	201 b	259 a						
500—600	192 b	184 c	272 a						
合计 Total	1144	1129	1347	563	531	585	522	521	557

注((Note): 同行同一地貌单元数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同 Values followed by different letters in the same row at different landform types are significant at 0.05 level. The same symbol is used for other table.

表 3 土地利用方式对土壤硝态氮积累与分布的影响 (kg/hm²)
Table 3 Effects of land use types on nitrate accumulation and distribution in soil profiles

土层深度 Soil depth (cm)	塬面 Tableland			梁地 Ridgeland			坡地 Slope land		
	盛果期果园 Young orchard	退果还耕地 Cropland covered from orchard	耕地 Cropland	盛果期果园 Young orchard	老果园 Old orchard	退果还耕地 Cropland covered from orchard	老果园 Old orchard	荒芜果园 Abandoned orchard	退果还耕地 Cropland from orchard
0—100	706 a	95 c	259 b	192 b	160 b	282 a	245 b	468 a	14 c
100—200	1328 a	324 b	278 b	360 b	848 a	836 a	463 c	595 b	796 a
200—300	895 b	1813 a	287 c	62 c	2258 a	1523 b	2061 ab	2271 a	1786 b
300—400	101 b	2113 a	110 b	17 c	285 a	138 b	429 b	811 a	345 b
400—500	2 b	163 a	111 a						
500—600	0 c	5 b	119 a						
合计 Total	3032	4513	1164	631	3551	2779	3198	4145	2941

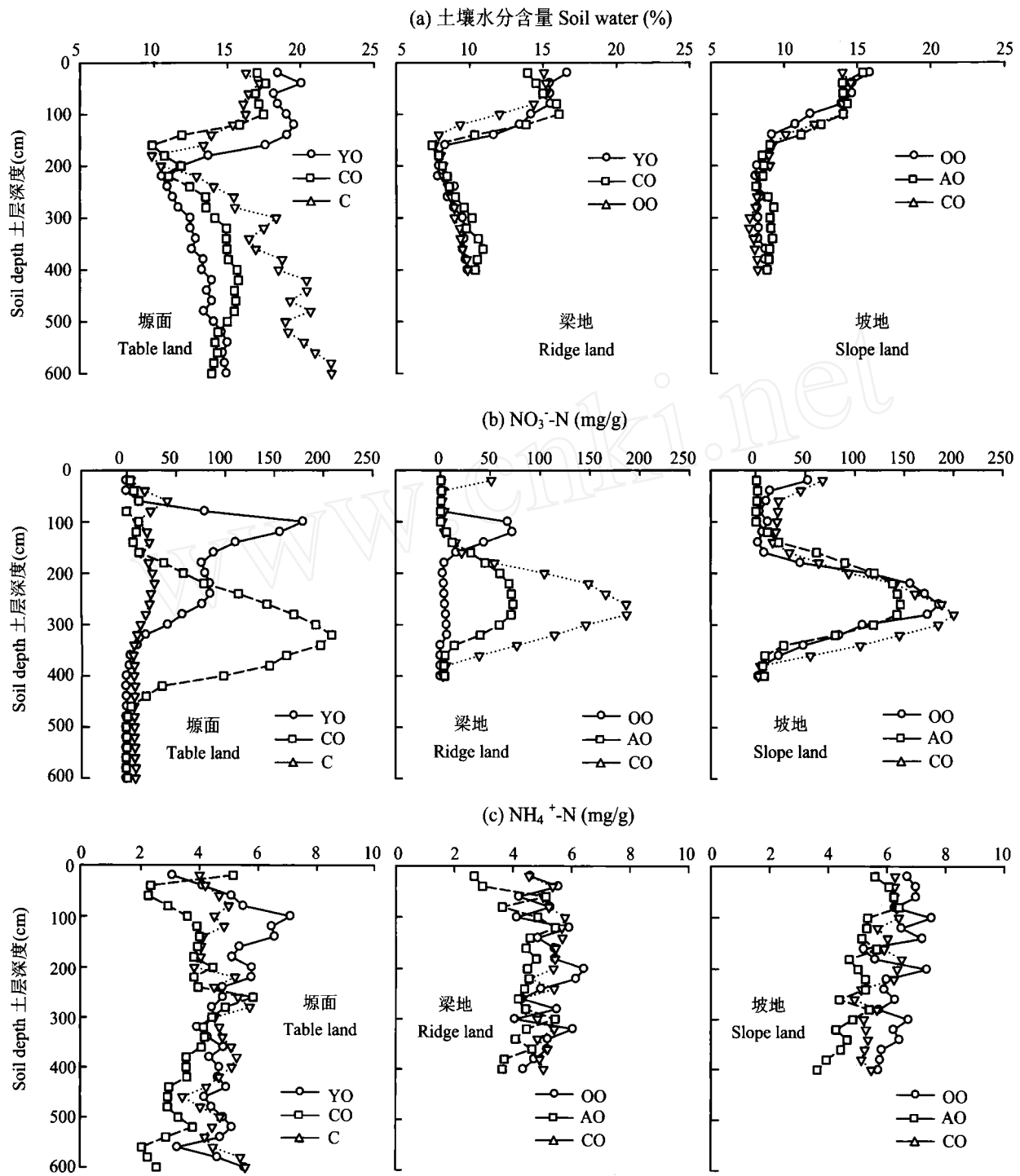


图2 黄土高原沟壑区不同地貌类型下退果还耕对(a)土壤水分、(b) $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、(c) $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 剖面分布的影响
 Fig.2 Effect of returning orchard to cultivated land on the distribution in soil profiles of (a)soil moisture, (b) $\text{NO}_3^- \text{-N}$, and (c) $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ under various landform types in gully region of Loess Plateau

(YO—盛果期果园 Young orchard; CO—退果还耕地 Cropland converted from orchard; C—耕地 Cropland; OO—老果园 Old orchard; AO—荒芜果园 Abandoned orchard)

退耕有助于土壤水分的恢复和深层入渗。

2.2 退果还耕对土壤硝态氮含量与分布的影响

表3看出,土地利用方式显著影响剖面中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的积累量。在塬面上,老果园退耕后(退果还耕地),其长期施肥导致的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 积累高达 4513 kg/hm^2 ,

远高于盛果期果园(3032 kg/hm^2)和长期耕地(1164 kg/hm^2)。果园种植最早(25年以上)的坡地上, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 积累量,无论是老果园(3198 kg/hm^2)、荒芜果园(4145 kg/hm^2)还是退果还耕地(2779 kg/hm^2)都较高。梁地上, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 积累量总体上低于塬面和

坡地,老果园(3551 kg/hm²)高于退果还耕地(2779 kg/hm²)和盛果期果园(631 kg/hm²)。

NO₃⁻-N在土壤剖面中的分布方式也与土地利用方式有关(表3)。塬面上,盛果期果园44%的NO₃⁻-N积累在1—2 m土层,但退果还耕地上40%~47%分布在2—4 m,长期耕地上,则主要集中在0—3 m土层。梁地上,盛果期果园57%的NO₃⁻-N积累在1—2 m土层,老果园上64%分布在2—3 m,退果还耕地上55%分布在2—3 m。坡地上,老果园、荒芜果园和退果还耕地上,NO₃⁻-N都集中分布在2—3 m土层。

此外,从NO₃⁻-N剖面浓度分布(图2b)可以看出,盛果期后其峰值逐渐从1—2 m下移到2—4 m。

2.3 退果还耕对土壤铵态氮含量变化的影响

塬面、梁地及坡地上,不同土地利用类型上下土层内铵态氮含量基本稳定在4~6 mg/kg(图2c)。与土壤水分及NO₃⁻-N不同,土地利用与管理方式的变化对NH₄⁺-N分布特征的影响并不明显。这一结果与我们在农田的观测结果相一致^[21]。

3 讨论

地形因素对土壤水分和NO₃⁻-N迁移分布具有显著影响。在梁地和坡地上,由于存在一定的降水流失,致使其土壤含水量低于塬面。例如,李玉山等的调查发现,对于2 m土层中土壤水分储量,塬面上为420 mm,梁地上为370~420 mm,坡地上为<370 mm^[22]。另外,塬面上果园紧邻村庄院落,补充灌溉和施肥相对多于梁地和坡地。二者综合作用,致使同样降水条件下,塬面土壤水分含量、入渗深度要大于梁地和坡地。土地利用方式也是影响土壤水分和分布的重要因素,一年生植物(如作物)其年均蒸散量(400~500 mm)小于当地年均降水量(580 mm),土壤湿度呈年周期恢复状态,土壤干燥化不明显^[22],但多年生植被蒸散量显著提高,土壤干燥化显著,致使无论塬,梁地或坡地,与耕地相比,长期种植果树的土壤,4 m(塬面6 m)土层的水分含量都已经达到或接近10%(作物凋萎湿度)(图2a),但果园退耕后,由于作物的耗水量低于果树(老果园耗水低于盛果期果园),致使退耕后的土壤水分开始恢复,入渗深度逐渐增加。由于NO₃⁻-N迁移与水分运动密切相关,因此,相应地NO₃⁻-N累积层的深度和累积量,塬面也高于梁地和坡地,并且退果还耕地或者老果园NO₃⁻-N的积累深度(主要出现在2—4 m)和峰值

(主要出现在3 m左右)大于盛果期果园NO₃⁻-N的积累,其出现在1—2 m土层(图2b)。

土地利用年限也显著影响NO₃⁻-N积累量。盛果期果园一般15年左右,在塬面上,这一时期的果园NO₃⁻-N积累量大约3032 kg/hm²,随着年限的增加,化肥的持续投入NO₃⁻-N积累量会进一步增加,致使衰老果园土壤NO₃⁻-N积累量显著高于盛果期果园。之后,即使退果还耕,限于作物根系主要集中于1 m土层^[23-24],1 m以上土层中的NO₃⁻-N积累量会被作物大量吸收,但1 m以下土层中NO₃⁻-N因处于作物根区以外不受影响,甚至增加。因此,可以看到塬面退果还耕地1 m以下土层中NO₃⁻-N含量显著高于盛果期果园,但1 m以上土层则低于盛果期果园。在梁地和坡地都可以看到类似现象(图2b和表3)。

土壤中NO₃⁻-N积累是影响水体质量的主要因素。本研究中,盛果期果园NO₃⁻-N的积累主要出现在1—2 m(表3);而退果还耕条件下,NO₃⁻-N的积累主要出现在2—3 m,塬面退果还耕地则出现在3—4 m。由于2 m以下土壤NO₃⁻-N已经处于作物根区之外^[23-24],2 m以下土层中的NO₃⁻-N向下迁移趋势和潜力显著提高。本研究所在的高原沟壑区,地下水埋深在60 m以下。盛果期果园由于利用型土壤干层的存在,NO₃⁻-N不会迅速向下迁移。退果还耕后,土壤水分恢复、入渗深度增加。短期内,尽管NO₃⁻-N不足以迁移到地下水,但丰水年(最高年降水量954 mm,远高于2 m土层的田间持水量620 mm)深层积累的NO₃⁻-N会随着土壤水分的入渗不断向下迁移。在具有补充灌溉的果园,这种下移趋势会更明显。因此,如何防止根区外NO₃⁻-N的向下迁移值得密切关注。

在保证产量和质量的前提下,降低化肥投入量,提高肥料利用率对降低NO₃⁻-N积累具有重要意义。此外,如何利用老果园土壤深层中的NO₃⁻-N对降低氮素环境污染、提高水肥资源利用、促进黄土区农业生态系统的持续发展也具有重要意义。

Hartemink等^[25]发现,在美国快速生长的深根植物田菁与玉米轮作的种植体系中,田菁能够吸收利用深层吸附的NO₃⁻-N,而这一部分NO₃⁻-N对浅根作物则无效。因此,针对气候、土壤条件下,筛选适合于黄土区的深根作物需要进一步研究。此外,由于塬面上NO₃⁻-N向下迁移的趋势高于梁地和坡地,在未来治理的顺序上应首先考虑塬面。

参考文献:

- [1] Halvorson A D, Reule C A. Nitrogen fertilizer requirements in an annual dryland cropping system [J]. *Agron. J.*, 1994, 86: 315-318.
- [2] Jolley V D, Pierre W H. Profile accumulation of fertilizer-derived nitrate and total nitrogen recovery in two long-term nitrogen rate experiments with corn [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1977, 41: 373-378.
- [3] Linville K W, Smith G E. Nitrate content of soil cores from corn plots after repeated nitrogen fertilization [J]. *Soil Sci.*, 1971, 112(4): 249-255.
- [4] 樊军, 郝明德, 党廷辉. 长期施肥条件下土壤剖面中硝态氮的分布[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 23-26.
Fan J, Hao M D, Dang T H. Effects of fertilization on NO_3^- -N distribution in soil profiles [J]. *Soil Environ. Sci.* 2000, 9(1): 23-26.
- [5] Raun W R, Johnson G V. Soil-plant buffering of inorganic nitrogen in continuous winter wheat [J]. *Agron. J.* 1995, 87: 827-834.
- [6] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 灌溉与降水对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 71-74.
Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y *et al.* Effect of irrigation and precipitation on soil nitrate accumulation [J]. *J. Soil Conserv.* 2000, 14(3): 71-74.
- [7] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 施用磷肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(4): 397-403.
Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y *et al.* Effect of phosphate application on soil nitrate nitrogen accumulation [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2000, 6(4): 397-403.
- [8] Varvel G E, Peterson T A. Residual soil nitrogen as affected by continuous, two-year, and four-year crop rotation systems [J]. *Agron. J.*, 1990, 82: 958-962.
- [9] Vyn T J, Janovicek K J, Miller M H *et al.* Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops [J]. *Agron. J.*, 1999, 91: 17-24.
- [10] Lamb J A, Peterson G A, Fenster C R. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation as affected by tillage system [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 1441-1446.
- [11] Tracy P W, Westfall D C, Elliot E T *et al.* Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54: 457-461.
- [12] 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. Effect of apple orchard development on ecological environment in the Loess Plateau [J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2005, 21(11): 355-359.
- [13] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. *地理学报*, 2001, 56(1): 7-13.
Huang M B, Yang X M, Li Y S. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei Upland of the Loess Plateau [J]. *Acta Geog. Sin.*, 2001, 56(1): 7-13.
- [14] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土高原生物利用型土壤干层的水文生态效应研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3): 113-116.
Huang M B, Yang X M, Li Y S. Hydro-ecological effect of the soil dry layer as affected by biota use in the Loess Plateau [J]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 2003, 11(3): 113-116.
- [15] 吴金水, 郭胜利, 党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. *生态学报*, 2003, 23(10): 2041-2051.
Wu J S, Guo S L, Dang T H. Mechanisms in the accumulation and movement of mineral N in soil profiles of farming land in a semi-arid region [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2003, 23(10): 2041-2051.
- [16] 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.
- [17] 白茹, 李丙智, 张林森, 等. 陕西渭北苹果园土壤 NO_3^- -N 积累的影响因素研究[J]. *果树学报*, 2007, 24(3): 411-414.
Bai R, Li B Z, Zhang L S *et al.* Effect of different factors on NO_3^- -N accumulation in apple orchards in Weibei area, Shaanxi province [J]. *J. Fruit Sci.*, 2007, 24(3): 411-414.
- [18] Sharma S K. Influence of leaching with different amount of water on desalinization and permeability: behavior of chloride and sulphate-dominated saline soils [J]. *Agric. Water Manag.*, 1996, 31: 225-235.
- [19] 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.
Guo S L, Dang T H, Hao M D. Mineral N distribution in soil profiles of slope land in gully region of loess Plateau [J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2003, 17(2): 31-33, 66.
- [20] SAS Institute Inc. SAS release (6.12) [CP/CD]. Cary, USA: SAS Institute Inc., 1998.
- [21] 郭胜利, 张文菊, 党廷辉, 等. 干旱半干旱地区农田土壤 NO_3^- -N 深层积累及其影响因素[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(4): 584-591.
Guo S L, Zhang W J, Dang T H *et al.* Accumulation of NO_3^- -N in deep layers of dry farmland and its affecting factors in arid and semi-arid areas [J]. *Adv. Earth Sci.*, 2003, 18(4): 584-591.
- [22] 李玉山, 史竹叶, 张孝中, 等. 长武王东沟小流域土壤墒情影响因素与分布特征 [A]. 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991, 293-298.
Li Y S, Shi Z Y, Zhang X Z *et al.* Distribution and factors of soil moisture characteristics in Wangdonggou watershed [A]. Li Y S, Su S M (eds). *Efficient ecological and economic system in Wangdonggou watershed of Changwu county* [C]. Beijing: Scientific & Technological Literature Publishing House, 1991, 293-298.
- [23] 陈培元, 詹古宇, 谢伯泰. 冬小麦根系研究[J]. *陕西农业科学*, 1980, (6): 1-6.
Chen P Y, Zhan G Y, Xie B T. A study on root system of winter wheat [J]. *Shaanxi Agric. Sci.*, 1980, (6): 1-6.
- [24] 苗果园, 张云亭, 尹钧, 等. 黄土高原旱地冬小麦根系生长规律的研究[J]. *作物学报*, 1989, 15(2): 104-115.
Miao G Y, Zhang Y T, Yin J *et al.* A study on the development of root system in winter wheat under unirrigated conditions in semi-arid Loess Plateau [J]. *Acta Agron. Sin.*, 1989, 15(2): 104-115.
- [25] Hartemink A E, Buresh R J, Bashir J *et al.* Soil nitrate and water dynamics in Sesbania fallows, weed fallows, and maize [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 568-574.