

黄土丘陵沟壑区坝地和梯田土壤氮素特征与演变

包耀贤^{1,2}, 吴发启¹, 贾玉奎²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200)

【摘要】 【目的】研究黄土丘陵沟壑区不同利用年限坝地和梯田土壤氮素的特征与演变, 为正确评价土壤供氮能力及合理施用氮肥提供科学参考。【方法】采集不同利用年限坝地和梯田 0~20、20~40 和 40~60 cm 土样, 用常规方法测定其有机质、全氮、碱解氮、矿质氮(NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N) 含量, 系统研究这些养分指标的特征、变异性及时空演化趋势。【结果】坝地和梯田表层氮素空间变异性较大; 表层氮素中只有梯田碱解氮含量属“中”水平, 在 0~60 cm 剖面内, 有机质平均含量属“很低”水平, 全氮和碱解氮含量属“低”水平; 坝地和梯田硝铵比均大于 1, 表明 NO_3^- -N 是碱解氮的主体。各土壤形态氮素含量间及其与有机质含量间均达到极显著相关, 它们的含量受土壤颗粒组成、坡向和坡位的影响。表层(0~20 cm)土壤有机质、全氮、碱解氮、 NH_4^+ -N 和起始矿质氮含量与 20~40 和 40~60 cm 土层差异显著($P<0.05$), 而 20~40 与 40~60 cm 土层间差异不显著, 在 0~60 cm 土层, 其平均含量均是坝地高于梯田。坝地和梯田土壤有机质、全氮、碱解氮含量和硝铵比均随着利用年限的延长而先增加后降低; 坝地土壤有机质和氮素含量开始衰退的年限(39~42 年)比梯田(22~29 年)滞后至少 13 年。【结论】黄土丘陵沟壑区坝地和梯田氮素整体缺乏; 坝地氮素的现实供应优于梯田, 且供应潜力更具持久性和稳定性。

【关键词】 黄土丘陵沟壑区; 坝地; 梯田; 土壤有机质; 土壤氮素

【中图分类号】 S153.6⁺1 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)03-0097-08

Characteristic is and evolution of soil nitrogen in dam land and terrace in Loess Hilly Region

BAO Yao-xian^{1,2}, WU Fa-qi¹, JIA Yu-kui²

(1 College of Resources and Environments, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: 【Objective】 The characteristics and evolution of soil nitrogen under different use years in dam land and terrace in loess hilly region were studied to provide scientific instructions to evaluate exactly the supply potential of soil nitrogen and fertilize reasonably nitrogenous fertilizer. 【Method】 Soil samples of 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm under different use years in dam land and terrace were taken to test the contents of organic matter(OM), total nitrogen(TN), available nitrogen(AN) and mineral nitrogen(NO_3^- -N and NH_4^+ -N) by using general methods. The characteristic, variability and temporal and spatial trend of these nutrient indicators were studied systematically by using statistical analytical method. 【Result】 The spatial variability of soil nitrogen in topsoil of dam land and terrace was large. Only average content of AN of terrace was at the “medium” level among average content of OM, TN, and AN in topsoil of dam land and terrace. Average content of OM belonged to “lower” level and average content of TN and AN was at the “low” level in 0—60 cm profile of dam land and terrace. NO_3^- -N/ NH_4^+ -N of dam land and terrace was more than 1, namely, NO_3^- -N

* [收稿日期] 2007-08-10
[基金项目] 中国科学院知识创新项目“黄土高原果农复合型生态经济建设模式试验示范研究”(KZCX2XB2-05-01)
[作者简介] 包耀贤(1975—),男,甘肃漳县人,工程师,在读博士,主要从事土壤质量研究。E-mail: byx1822@126.com
[通讯作者] 吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,教授,博士生导师,主要从事水土保持与流域管理研究。E-mail: wufaqi@263.net

was main body of AN. The interrelations of OM, TN, AN, NO_3^- -N and NH_4^+ -N were very significant with each other, and their contents were affected to some extent by particle composition of soil, aspect and position of the slope. Significant differences ($P < 0.05$) between contents of OM, TN, AN, NH_4^+ -N and initial mineral nitrogen of topsoil and that of 20—40 cm and 40—60 cm in dam land and terrace were found, but their content between 20—40 cm and 40—60 cm has no significant difference, and their average content of 0—60 cm in dam land were larger than that of terrace respectively. The contents of OM, TN, AN and NO_3^- -N/ NH_4^+ -N increased incipiently and decreased subsequently with the increase of dam land and terrace use years. The critical year (39—42 years) of the degradation for soil nitrogen in dam land hung behind 13 years at least than that of terrace (22—29 years). 【Conclusion】 As a whole, soil nitrogen of dam land and terrace was poor in loess hilly region. Current supply ability of soil nitrogen in dam was higher and its potential capacity was more durative and steady than that of terrace.

Key words: Loess hilly region; dam land; terrace; soil organic matter; soil nitrogen

在黄土高原丘陵沟壑区,坝地和梯田是兼顾水土保持和粮食生产的双向型人工基本农田,在解决粮食自给问题和区域经济发展方面发挥着重要作用。在坝地和梯田形成过程中,生态变化以及长期的耕作不仅引起土壤养分分布发生变化,而且也引起土壤氮素特征及演化趋势的改变,这些变化在很大程度上能够反映土壤质量的变化。由于氮素是影响作物生长和产量的首要元素,土壤供应较少,供求矛盾尖锐,因此氮素是评价土壤质量和土地生产力的重要指标。在黄土高原,有关梯田土壤氮素的研究,主要集中在旱塬梯田 NO_3^- -N 的分布、累积与淋溶^[1-7]、氮肥效用^[2-3, 7-12]、长期轮作或连作施肥条件下的土壤供氮能力^[8-10, 13]等方面,而坝地和梯田作为黄土丘陵沟壑区的典型基本农田,对其不同利用年限土壤氮素的详尽研究鲜见报道。为此,本试验对不同利用年限坝地和梯田的土壤氮素水平、剖面变异性及其演化趋势进行了研究,以期为进一步正确评价此区域坝地和梯田土壤供氮能力及合理施用氮肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于延安市宝塔区 ($\text{E}109^\circ 26' 15'' \sim 109^\circ 37' 30''$, $\text{N}36^\circ 37' 00'' \sim 36^\circ 45' 00''$) 东北 14 km 处的碾庄沟流域,属延河一级支流。流域面积 54.2 km²,海拔 926~1 300 m,主沟长 14.6 km,沟壑密度 4.28 km/km²;年均降水 527 mm,年均温 9.4℃,无霜期 153 d;流域内土壤 90% 是黄绵土。经过几十年的示范治理,该区已形成相对稳定的坝系。截至 2003 年底已完成治理面积 64.5%;沟道建成骨干坝 2 座,大型淤地坝 6 座、中型 13 座、小型 147 座,这些坝系工程的减沙量占流域总减沙量的

70%~80%。流域内现有梯田 442.3 hm²,坝地 155.7 hm²,分别占耕地面积的 67.2% 和 23.8%,人均基本农田 0.13 hm²,坝地多种植玉米,梯田多种植土豆和谷子。

1.2 土样采集与测定

采样点选在碾庄沟流域的主沟和 3 个支沟。2006-04(农地尚未施肥),在查阅统计资料和走访群众的基础上,确定研究区坝地的利用年限分别为 24、26、32、34、36、39、43、46、48 和 51 年,梯田的利用年限分别为 8、11、12、26、28 和 30 年。坝地按照距离间隔(相距太近不采样)从沟口到沟掌依次采集不同坝龄的土样;坝地内按照坝尾、坝中、坝前不同部位采样。梯田按照梯龄、坡位和坡向进行采样;梯田内按内、中、外不同部位采样;坝地和梯田采样深度均为 60 cm,层次间隔 20 cm。

参考文献[14],采用常规方法测定土壤理化指标,其中,全氮含量采用半微量凯氏法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定; NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量采用连续流动分析仪测定(土样经 1 mol/L KCl 以 10:1(质量比)的比例浸提),二者之和为起始矿质氮;有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;机械组成采用激光粒度仪测定。

1.3 研究方法及数据处理

为便于量化分析,梯田坡位以 1 表示上坡,2 表示中坡,3 表示下坡;梯田坡向以 4 代表半阴半阳坡,5 代表阴坡。采用 DPS(7.05)统计软件进行数据描述性统计、相关性分析和多重比较(最小显著性差异)分析。

2 结果与分析

2.1 坝地和梯田表层(0~20 cm)土壤的氮素特征
土壤表层养分含量最能反映养分的现实供应状

况。土壤养分的变异系数是土壤内在性质的反映,能够区别不同土壤养分对外界条件的敏感性。黄土丘陵沟壑区坝地和梯田表层土壤有机质、全氮和无机态氮素(碱解氮、铵态氮、硝态氮和起始矿质氮)含量的变异系数为 23.12%~82.10%(表 1),表明人为因子(施肥、耕作等)和环境因子(坡向、坡位等)对土壤氮素含量有一定程度的影响,也说明该区人工农田土壤氮素分布不均衡。

土壤的供氮能力与土壤有机质含量及其矿化速率密切相关,有时用土壤有机质和全氮含量来估计土壤氮素的供应情况^[14-15]。依据黄土高原地区土壤养分含量分级标准^[16]可知,研究区除坝地表层碱解氮平均含量属“中”水平外,坝地和梯田表层有机质、全氮和梯田碱解氮平均含量均属“低”水平(表 1)。表明,该区人工农田土壤氮素含量整体处于“低”水平。坝地有机质和全氮平均含量均稍高于梯田,但差异不大(表 1),说明坝地的氮素基础好于梯田,也说明土壤有机质和全氮含量主要受制于土壤的矿物组成。

坝地和梯田的碱解氮平均含量分别占全氮的 10.07%和 7.41%(表 1),说明土壤氮素中绝大多数是需经长期矿化作用进行转化的有机态氮。坝地表层土壤碱解氮平均含量比梯田高 44.46%,这是因为坝地在逐年淤积过程中不断得到上游坡面动植

物残体、动物粪便等天然养分的补给,而梯田一旦形成这种外源补给相对较少。

碱解氮包括无机矿质氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$)和部分有机质中易分解的有机态氮。由表 1 可知,坝地和梯田起始矿质氮分别占碱解氮的 95.37%和 86.31%,这就是人们常以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 之和表示碱解氮的理由所在,但也不能完全取代;坝地表层 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量以及 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量之和分别是梯田的 2.38、1.24 和 1.60 倍,说明坝地土壤氮素的现实供应能力优于梯田。

从表 1 可见,坝地和梯田表层平均硝铵比分别是 1.59 和 3.41,可见无论坝地还是梯田, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量均明显高于 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$,梯田表现更为突出。这是因为施入土壤的尿素和碳铵,在土壤脲酶作用下逐渐分解产生铵,在旱地土壤中,铵很快被氧化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ^[17];在黄土区有机氮矿化主要产物是 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ^[18],所以坝地和梯田均以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 占优势。梯田的硝铵比明显高于坝地,是因为坝地作物玉米生物学产量较高,其 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 消耗量多于梯田作物谷子和土豆^[19];研究区群众认为,坝地肥力较好而偏向给梯田施肥,施肥多残留的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 就多,且梯田土壤含水量低(比坝地低 33.3%^[20]),有利于铵被氧化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ^[17]。

表 1 黄土丘陵沟壑区坝地和梯田表层土壤(0~20 cm)氮素描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistics on soil nitrogen of 0~20 cm layer of dam land and terrace in loess hilly region								
项目 Item	样本来源 Sample location	样本数 Sample No.	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	占全氮比例/% Mean/TN	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variance
有机质含量 Organic matter	坝地 Dam land	44	3.87 ^Δ	13.31 ^Δ	6.97 ^Δ	—	1.99	28.50
	梯田 Terrace	26	4.32 ^Δ	9.75 ^Δ	6.29 ^Δ	—	1.45	23.12
全氮含量 Total nitrogen	坝地 Dam land	44	2.30 ^Δ	1.01 ^Δ	0.50 ^Δ	—	1.50	30.47
	梯田 Terrace	26	2.10 ^Δ	0.78 ^Δ	0.47 ^Δ	—	1.60	33.70
碱解氮含量 Available nitrogen	坝地 Dam land	44	24.16 [*]	93.50 [*]	50.33 [*]	10.07	22.71	45.13
	梯田 Terrace	26	18.52 [*]	51.07 [*]	34.84 [*]	7.41	8.76	25.15
铵态氮含量 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$	坝地 Dam land	44	8.08 [*]	48.71 [*]	22.58 [*]	4.52	13.88	61.47
	梯田 Terrace	26	2.76 [*]	32.85 [*]	9.49 [*]	2.02	7.80	82.10
硝态氮含量 $\text{NO}_3^- \text{-N}$	坝地 Dam land	44	3.71 [*]	40.86 [*]	25.42 [*]	5.08	11.70	46.01
	梯田 Terrace	26	7.93 [*]	31.55 [*]	20.58 [*]	4.38	6.57	31.95
起始矿质氮含量 Initial mineral nitrogen	坝地 Dam land	44	28.19 [*]	89.68 [*]	48.00 [*]	9.60	15.99	33.31
	梯田 Terrace	26	16.28 [*]	55.10 [*]	30.07 [*]	6.40	9.29	30.69
硝铵比 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$	坝地 Dam land	44	0.11	4.88	1.59	—	1.19	75.03
	梯田 Terrace	26	0.50	8.16	3.41	—	2.25	65.92

注:Δ. 单位为 g/kg;*. 单位为 mg/kg。
Note:Δ. unit:g/kg;*. unit:mg/kg.

2.2 不同形态土壤氮素含量及其与影响因素的相关性

在土壤氮素供应中,起始矿质氮反映了土壤供氮现状,土壤可矿化氮(有机氮)则反映了土壤的供

氮潜力。土壤有机质是土壤有机氮的源泉,其矿化作用决定着起始矿质氮的含量^[15,21]。由表 2 可见,各形态氮素间及其与有机质间均达到极显著正相关,说明其间是紧密联系、相互制约的。进一步通过

回归分析得到黄土丘陵沟壑区人工农地(坝地和梯田混合)土壤氮素间的转换函数为:

$$Y_{\text{有机质}}=13.833 X_{\text{全氮}}-0.484,R=0.921;$$
$$Y_{\text{碱解氮}}=82.930 X_{\text{全氮}}+15.183,R=0.800;$$

$$Y_{\text{碱解氮}}=5.499 X_{\text{有机质}}+21.399,R=0.790;$$
$$Y_{\text{硝态氮}}=5.917 X_{\text{有机质}}+6.330,R=0.911;$$
$$Y_{\text{硝态氮}}=0.872 X_{\text{碱解氮}}-5.265,R=0.926;$$
$$Y_{\text{铵态氮}}=0.320 X_{\text{碱解氮}}-7.510,R=0.748。$$

表 2 黄土丘陵沟壑区土壤氮素、有机质及环境因子的相关系数

项目 Item	有机质含量 Organic matter	全氮含量 Total nitrogen	碱解氮含量 Available nitrogen	硝态氮含量 NO ₃ ⁻ -N	铵态氮含量 NH ₄ ⁺ -N	起始矿质氮 Initial mineral nitrogen
全氮 ^Δ Total nitrogen	0.921**	—	—	—	—	—
碱解氮含量 ^Δ Available nitrogen	0.790**	0.800**	—	—	—	—
硝态氮含量 ^Δ NO ₃ ⁻ -N	0.911**	0.904**	0.926**	—	—	—
铵态氮含量 ^Δ NH ₄ ⁺ -N	0.538*	0.630**	0.748**	0.703**	—	—
起始矿质氮含量 ^Δ IMN	0.850**	0.876**	0.932**	0.971**	0.852**	—
硝铵比 ^Δ NO ₃ ⁻ -N/ NH ₄ ⁺ -N Ratio	-0.324	-0.401	-0.526*	-0.477	-0.764**	-0.607**
粘粒含量 ^Δ Clay	0.858**	0.828**	0.745**	0.850**	0.537*	0.806**
粉粒含量 ^Δ Silt	0.440	0.457*	0.295	0.403	0.102	0.331
砂粒含量 ^Δ Sand	-0.729**	-0.723**	-0.581**	-0.703**	-0.352	-0.635**
坡位 [☆] Position	0.587**	0.517*	0.431*	0.526**	0.171	0.584**
坡向 [☆] Aspect	-0.073	-0.030	-0.221	-0.159	-0.246	-0.325

注: ** 表示差异达极显著水平($P<0.01$); * 表示差异达显著水平($P<0.05$); $\Delta n=50$; $\star n=26$ 。

Note: ** means significant difference ($P<0.01$); * means difference ($P<0.05$); $\Delta n=50$; $\star n=26$.

从表 2 可以看出,各形态氮素含量与粘粒(<0.005 mm)含量均达到显著或极显著正相关,与砂粒(0.05~1 mm)含量均达到极显著负相关(NH₄⁺-N 除外),说明氮素容易被较小的颗粒吸附而富集,砂粒含量越多越不利于氮素的富集。土壤有机质含量与土壤各形态氮素含量间均有较高的正相关性,因为土壤有机质和粘粒一样具有较强的吸附作用,二者是保持土壤养分,特别是速效养分的活力中心。

除有机质、全氮和硝态氮外,硝铵比与土壤各形态氮素含量均呈显著或极显著负相关(表 2)。说明硝铵比的变化(增大或减小)可直接反映出土壤各形态氮素的组成及变化。如果硝铵比增大,说明土壤有机质的矿化产物和肥料的残留产物(主要为 NO₃⁻-N)增多,导致有机质和全氮含量降低,进而影响其他有效氮素的组成。

黄土丘陵沟壑区地形支离破碎,不同坡向和坡位的养分条件不同。由表 2 可知,除 NH₄⁺-N 外,其他氮素含量与坡位均达显著或极显著正相关,说明梯田土壤氮素含量为下坡位>中坡位>上坡位,因为下坡土壤侵蚀通常较上坡轻,且能承接由上坡而来的径流和泥沙养分;坡向与各种形态土壤氮素含量均呈负相关,但未达到显著水平,总体来看,土

壤氮素含量半阴半阳坡>阴坡,这可能是因为半阴半阳坡光照好于阴坡,有利于微生物矿解有机质和肥效的释放(铵转化为硝态氮)。

2.3 土壤有机质和氮素的垂直变异分析

土壤养分的空间变异分析是土壤养分管理和合理施肥的基础。由表 3 可知,不论坝地还是梯田,除了 NO₃⁻-N 含量在各土层间无显著差异外,有机质、全氮、碱解氮、NH₄⁺-N 和起始矿质氮含量(除梯田起始矿质氮外)均是表层(0~20 cm)显著高于 20~40 和 40~60 cm 土层($P<0.05$),而 20~40 与 40~60 cm 土层间无显著差异,说明肥效主要体现于 0~20 cm 的表层土壤。

随着土层深度的增加,坝地和梯田有机质、全氮和碱解氮含量均降低,20~60 cm 土层降低趋势不明显;在同一土层,有机质、全氮和碱解氮含量均是坝地高于梯田。在 0~60 cm 剖面内,有机质、全氮和碱解氮平均含量坝地分别较梯田高 7.85%,4.88%和 22.27%,说明坝地氮素生产力优于梯田。坝地和梯田土壤全氮含量在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层间差异均很小,且含量均较低^[16]。说明作为氮素基础肥力的全氮主要决定于成土母质,也就是说,成土母质较为均一且其固有全氮含量较低的

特性,决定了坝地和梯田土层间全氮差异小且含量较低的事实。在 0~6 cm 剖面内,坝地和梯田有机质平均含量属“很低”水平,全氮和碱解氮平均含量属“低”水平^[16]。

在坝地和梯田不同土层间,NO₃⁻-N 含量均无显著差异。总体来看,随着土层深度的增加,梯田 NO₃⁻-N 含量略增,而坝地略减,且 40~60 cm 土层梯田 NO₃⁻-N 含量高于坝地(表 3)。这可能是因为

表 3 黄土丘陵沟壑区坝地和梯田土壤有机质和氮素(统计均值)的垂直分布及其变异性

Table 3 Vertical distributions and differences of statistical mean of soil organic matter and nitrogen for dam land and terrace in loess hilly region

土样来源 Sample location	深度/cm Soil layer	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total nitrogen	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	NO ₃ ⁻ -N/ (mg·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·kg ⁻¹)	起始矿质氮 (mg·kg ⁻¹) Initial mineral N	硝铵比 NO ₃ ⁻ -N/ NH ₄ ⁺ -N
梯田 Terrace	0~20	6.285 aA	0.472 aA	34.841 aB	20.578 aA	9.494 aB	30.072 aB	3.408 bBC
	20~40	4.700 bB	0.348 bB	29.719 bB	19.873 aA	4.992 bC	25.249 bB	8.284 a A
	40~60	4.368 bB	0.346 bB	29.464 bB	21.586 aA	5.007 bC	26.593 abB	9.019 a A
	均值 Mean	5.118	0.389	31.341	20.679	6.498	27.305	6.904
坝地 Dam land	0~20	6.969 aA	0.495 aA	50.327 aA	25.417 aA	22.580 aA	47.997 aA	1.592 bBD
	20~40	4.824 bB	0.367 bB	33.540 bB	20.307 aA	11.299 bB	31.606 bB	3.620 a B
	40~60	4.766 bB	0.361 bB	33.104 bB	19.679 aA	12.096 bB	31.775 bB	2.585 abBCD
	均值 Mean	5.520	0.408	38.990	21.801	15.325	37.126	2.599

注:不同小写字母表示坝地和梯田不同土层间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一土层坝地和梯田相比差异显著($P<0.05$);样本数为:梯田 26,坝地 44。

Note:Different small letters mean significant difference at 5% level in different soil layers of dam land and terrace. Different capitals mean significant difference at 5% level in same soil layers between dam land and terrace. Sample No. is 26 in terrace and 44 in dam land.

坝地和梯田表层 NH₄⁺-N 含量较 20~40 cm 和 40~60 cm 土层高 50 %左右,且与 20~40 cm 和 40~60 cm 土层差异显著($P<0.05$),而 20~40 cm 与 40~60 cm 土层间无明显差异(表 3),这可能是施肥所致。在同一土层,坝地 NH₄⁺-N 含量明显高于梯田,且差异显著($P<0.05$)。其原因:一方面坝地粘粒和有机质含量均高于梯田^[20],有利于吸附 NH₄⁺-N^[21];另一方面,坝地含水量高于梯田^[20],一定程度上抑制了 NH₄⁺-N 的挥发和氧化^[17,22]。

由表 3 可见,在坝地和梯田的各个土层中,坝地表层的起始矿质氮含量最高($P<0.05$),而其他土层间均无显著差异;在 0~60 cm 土层中,坝地和梯田 NO₃⁻-N 含量接近;坝地较高的 NH₄⁺-N 含量导致其 0~60 cm 土层起始矿质氮平均含量比梯田高 26.45%,使梯田平均硝铵比是坝地的 2.66 倍。NO₃⁻-N 迁移的载体是水^[22],而 NH₄⁺-N 常被吸附在土壤胶体和泥沙中^[21],坝地聚集了上游坡面中随泥沙流而来的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N,而表现出矿质氮含量,特别是 NH₄⁺-N 含量明显高于梯田,即坝地氮素生产力优于梯田。

坝地种植的作物玉米根系较深(超过 60 cm),消耗 NO₃⁻-N 较多,而梯田种植的作物土豆和谷子根系较浅(40 cm 以内),消耗 NO₃⁻-N 较少所致。另外,NO₃⁻-N 易淋失,即使在较干旱的梯田土壤剖面中,NO₃⁻-N 仍然可通过长期的对流和扩散等途径逐渐向深层移动,脱离根区^[19],故梯田剖面下层 NO₃⁻-N 含量较坝地高。

2.4 不同利用年限土壤有机质和氮素的动态变化

土壤养分在时间上的动态变化是预测土壤养分演化趋势的重要手段^[23]。由图 1A、1B 和 1C 可见,随着利用年限的延长,坝地和梯田土壤有机质、全氮和碱解氮含量均先增加后减少,其中有机质和碱解氮含量演化趋势比较明显,全氮含量不明显,说明土壤全氮含量主要受黄土母质的影响。坝地和梯田开种后经过多年的经营,土壤不断熟化,有机质含量逐年增加,全氮和碱解氮含量也随之增加,开种后在几乎没有上游坡面外源养分补给的情况下,随着作物的逐年消耗,有机质、全氮和碱解氮含量也随之减少。

有机质含量分水岭年限坝地约在 40 年,梯田约在 25 年(图 1A);全氮含量分水岭年限坝地约在 42 年,梯田约在 29 年(图 1B);碱解氮含量分水岭年限坝地约在 39 年,梯田约在 22 年(图 1C)。可见,坝地土壤有机质和氮素含量开始衰退的年限比梯田滞后至少 13 年,说明坝地氮素生产潜力更高,氮素供给更具持久性和稳定性,这与坝地形成过程中逐年累积的氮素多于梯田有关。

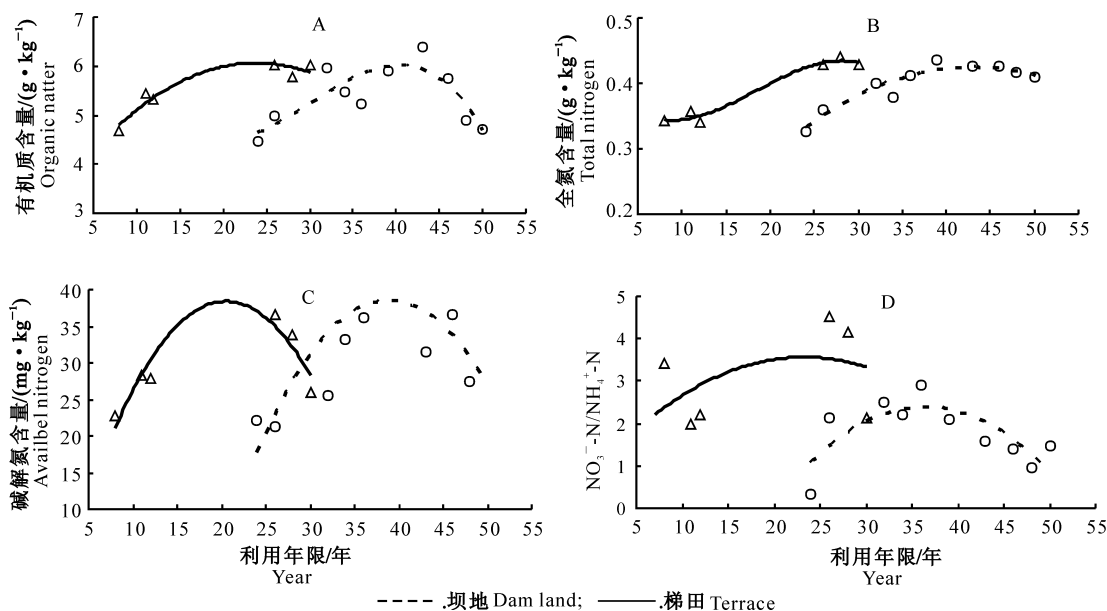


图 1 不同利用年限土壤有机质和氮素的动态变化

Fig. 1 Dynamic curve of soil organic matter and nitrogen of dam land and terrace with different use years

由图 1D 可知,随着利用年限的增加,硝铵比先增后降。这是因为在分水岭年限之后,土壤地力衰退,有机质含量减小,其主要矿化产物 NO_3^- -N 含量也随之减少,导致硝铵比的减少。可见,硝铵比的动态变化也可以指示土壤氮素的演化趋势。

3 讨 论

本研究结果表明,坝地和梯田土壤氮素含量存在差异,这些差异除了与自然生态环境(地形、水文等)相关外,很大程度上与坝地和梯田的形成过程、人类活动的不同作用力(利用方式和施肥)等因素有关。黄土母质中土壤氮素的基础肥力(有机质和全氮固有含量)低;黄土丘陵沟壑区植被覆盖度较低,土壤侵蚀严重;坝地和梯田开种后动植物残体等外界养分的再次携入非常有限;耕作活动导致同一地区耕种土壤有机质含量比未耕种土壤低很多^[24],这些都决定了坝地和梯田土壤氮素肥力不足的现状。要改变这种现状,就要增施肥料,但因经济水平所限,研究区群众施氮肥很少用含氮量较高、价格较昂贵的尿素,而基本都用含氮量较低、价格较便宜的碳铵,追肥也如此,从而导致该区坝地和梯田氮素肥力的不足。值得注意的是,研究区群众还普遍存在一种错误理念,认为坝地作物长势普遍优于梯田是坝地肥力高于梯田所致,故施肥主要针对梯田,坝地不施或少施肥料,而且坝地作物玉米耗氮量明显大于梯田作物(土豆和谷子)。这种重用轻养的、竭泽而

渔的土地经营模式,对土壤氮素的消耗更是雪上加霜,最终导致地力逐年下降,特别是坝地更为严重。

虽然坝地和梯田的整体氮素含量缺乏,但坝地氮素的现实和潜在供给力均明显优于梯田,这是因为坝地在逐年淤积过程中不断得到上游坡面动植物残体、动物粪便等天然养分的补给,而梯田形成时间短暂,这种外源补给相对较少。另外,在坝地和梯田经营过程中,必须人为多施氮肥,这样对未衰退地块可延缓或防止地力衰退,对已开始衰退的地块则是一种补给,在分水岭年限之后更应多施氮肥。鉴于此,作者建议该区应氮肥和有机肥、磷肥配合施用,因为有机质既是氮素的自然供应库,又是其他养分的重要来源;磷肥不但可以满足作物磷素之需,而且可以促进作物对氮素的吸收利用^[4]。

4 结 论

(1)黄土母质由于固有基础氮素缺乏、土壤侵蚀严重以及天然外源养分和人为施肥补给有限等,导致研究区坝地和梯田整体氮素含量明显不足,坝地表层碱解氮含量属“中”水平,其他氮素含量均属“低”水平;在 0~60 cm 土层内,有机质含量属“很低”水平,全氮和碱解氮含量属“低”水平。

(2)坝地和梯田的有机质、各形态氮素含量间均达到极显著正相关,且可用直线函数相互转换;粘粒和粉粒有助于富集各种形态氮素,粘粒的富集效果更好,而砂粒不利于氮素富集;梯田氮素含量下坡

位>中坡位>上坡位,半阴半阳坡>阴坡。

(3) 坝地和梯田有机质和各形态氮素含量均是表层(0~20 cm)显著高于20~40和40~60 cm土层($P<0.05$),而20~40和40~60 cm土层间差异大多不显著,特别是全氮差异很小,说明黄绵土成土母质较为均一;在同一土层,各形态氮素(NO_3^- -N除外)含量都表现为坝地高于梯田,这充分说明坝地氮素生产力优于梯田。

(4) 有机质含量开始下降的时间坝地约在40年,梯田约在25年;全氮含量开始下降的时间坝地约在42年,梯田约在29年;碱解氮含量开始下降的时间坝地约在39年,梯田约在22年。坝地土壤养分开始衰退的年限比梯田滞后至少13年,表明坝地氮素的供给更具持久性和稳定性。

[参考文献]

- [1] 杨玉惠,张仁陟. 黄土高原半干旱地区施氮对土壤硝态氮分布与累积的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2006,41(6):102-107.
Yang Y H,Zhang R Z. Effects of nitrogen fertilization on the distribution and accumulation of nitrate nitrogen in soil in the loess plateau semi-arid areas[J]. Journal of Gansu Agricultural University,2006,41(6):102-107. (in Chinese)
- [2] 樊军,郝明德,邵明安. 黄土高原沟壑区草地土壤深层干燥化与氮素消耗[J]. 自然资源学报,2004,19(2):201-206.
Fan J,Hao M D,Shao M A. Soil desiccation and nitrogen consumption of artificial meadow in the loess plateau[J]. Journal of Natural Resources,2004,19(2):201-206. (in Chinese)
- [3] 郭胜利,党廷辉,郝明德. 黄土高原沟壑区不同施肥条件下土壤剖面中矿质氮的分布特征[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):23-29.
Guo S L,Dang T H,Hao M D. Mineral N distribution of soil profile in gully area of the loess plateau[J]. Agricultural Research in the arid areas,2000,18(1):23-29. (in Chinese)
- [4] 樊军,邵明安,郝明德,等. 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,et al. Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2005,11(1):8-12. (in Chinese)
- [5] 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.
Fan J,Shao M A,Hao M D,et al. Desiccation and nitrate accumulation of apple orchard soil on the Weibei dryland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,15(7):1213-1216. (in Chinese)
- [6] 党廷辉,郭胜利,樊军,等. 长期施肥条件下黄土旱塬土壤 NO_3^- -N的淋溶分布规律[J]. 应用生态学报,2003,14(8):1265-1268.
Dang T H,Guo S L,Fan J,et al. NO_3^- -N leaching and distribution in soil profile in dry highland of Loess Plateau under long-term fertilization[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2003,14(8):1265-1268. (in Chinese)
- [7] 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):58-61.
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]. Research of Soil and Water Conservation,2003,10(1):58-61. (in Chinese)
- [8] 党廷辉,郝明德. 黄土塬区不同水分条件下冬小麦氮肥效应与土壤氮素调节[J]. 中国农业科学,2000,33(4):62-67.
Dang T H,Hao M D. The Effect of nitrogen fertilizer under different moisture conditions and soil nitrogen adjustment in the loess highland[J]. Scientia Agricultura Sinica,2000,33(4):62-67. (in Chinese)
- [9] 彭令发,郝明德,来璐. 黄土旱塬长期连作条件下土壤氮素变化及管理[J]. 水土保持研究,2003,10(1):43-45.
Peng L F,Hao M D,Lai L. Variation of soil nitrogen of long-term continuous cropping and management on Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation,2003,10(1):43-45. (in Chinese)
- [10] 刘晓宏,郝明德,樊军. 黄土高原旱区长期不同轮作施肥对土壤供氮能力的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(3):1-7.
Liu X H,Hao M D,Fan J. Effects of long-term rotation and fertilization on N-supply by soil in dryland area on loess plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2000,18(3):1-7. (in Chinese)
- [11] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J]. 作物学报,2004,30(11):1108-1112.
Hao M D,Wang X G,Dang T H,et al. Analysis of long-term fertilization effect on yield of wheat in dry-land on Loess Plateau[J]. Acta Agronomica A sinica,2004,30(11):1108-1112. (in Chinese)
- [12] 郝明德,来璐,王改玲,等. 黄土高原旱地长期施肥对小麦产量的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(11):1893-1896.
Hao M D,Lai L,Wang G L,et al. Effects of long-term fertilization on wheat yield on Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2003,14(11):1893-1896. (in Chinese)
- [13] 王改兰,段建南,李旭霖,等. 黄土丘陵区土壤-作物系统氮素特征与管理[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(5):578-583.
Wang G L,Duan J N,Li X L,et al. Nitrogen characteristics and its management of soil-crop systems in loess hill area[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2005,11(5):578-583.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1999:39-57.
Bao S D. Analysis of agri-chemistry of soil[M]. 3 edition. Beijing: Agricultural Press of China,1999:39-57. (in Chinese)
- [15] 杜建军,王新爱,王夏晖,等. 旱地土壤氮素、有机质状况及与作物吸氮量的关系[J]. 华南农业大学学报,2005,26(1):11-15.

Du J J, Wang X A, Wang X H, et al. The relationship between soil N, organic matter and N uptake by crops on dryland[J]. Journal of South China Agricultural University, 2005, 26(1): 11-15. (in Chinese)

[16] 王恒俊, 张淑光. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M]. 北京: 科技出版社, 1991: 160-173.

Wang H J, Zhang S G. Soil sources and its reasonable use in Loess Plateau area [M]. Beijing: Science and Technology Press of China, 1991: 160-173. (in Chinese)

[17] 邢维芹, 王林权, 李立平, 等. 半干旱区玉米水肥空间耦合效应 II. 土壤水分和碱解氮的动态分布[J]. 土壤, 2003, 35(3): 242-247.

Xing W Q, Wang L Q, Li L P, et al. Effect of water-fertilizer spatial couplings on corn in semiarid area- II dynamic distribution of water and available nitrogen in soil[J]. Soils, 2003, 35(3): 242-247. (in Chinese)

[18] 赵琳, 李世清, 李生秀, 等. 半干旱区生态过程变化中土壤硝态氮累积及其在植物氮素营养中的作用[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 14-20.

Zhao L, Li S Q, Li S X, et al. Accumulation of soil nitrate in the process of ecological and its effects in plant nitrogen nutrition in semiarid areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(4): 14-20. (in Chinese)

[19] 李世清, 王瑞军, 李紫燕, 等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库——土壤剖面中累积的硝态氮 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 1-13.

Li S Q, Wang R J, Li Z Y, et al. Soil nitrogen pool not to be ignored residual NO_3^- -N accumulated in soil profile in semiarid and semihumid agro-ecological system[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(4): 1-13. (in Chinese)

[20] 包耀贤. 黄土丘陵沟壑区坝地和梯田土壤理化性质研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005: 12-26.

Bao Y X. Study on soil physical and chemical properties of dam land and terrace in the loess hilly region[D]. Yangling Shaanxi: Northwest A & F University, 2005: 12-26. (in Chinese)

[21] 林昌虎, 张清海, 段培, 等. 贵州东部石漠化地区不同生态模式下土壤氮素变异特征 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 128-130.

Lin C H, Zhang Q H, Duan P, et al. Soil nitrogen variation features of different ecological patterns in eastern desertification region, Guizhou Province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(1): 128-130. (in Chinese)

[22] 王辉, 王全九, 邵明安. 降水条件下黄土坡地氮素淋溶特征的研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 61-64.

Wang H, Wang Q J, Shao M A. Characteristics of nitrogen leaching from sloping land on Loess Plateau under rainfall conditions[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 61-64. (in Chinese)

[23] 许明祥, 刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 40-46.

Xu M X, Liu G B. The characteristics and evolution of soil nutrient in artificial black locust (*Robinia pseudoacacia*) forest land in the hilly Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(4): 40-46. (in Chinese)

[24] 胡金明, 刘兴土. 三江平原土壤质量变化评价与分析 [J]. 地理科学, 1999, 19(5): 417-421.

Hu J M, Liu X T. Evaluation and analysis on soil quality changes in the Sanjiang Plain [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(5): 417-421. (in Chinese)