植物营养与肥料学报 2013,19(2):420-429
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0219

黄土高原苹果园地深层土壤氮素含量与分布特征

范 鹏[1], 李 军[2*], 张丽娜[1], 曹 裕[2], 居马汗·卡斯木[1]
(1 西北农林科技大学林学院,陕西杨凌 712100; 2 西北农林科技大学农学院,陕西杨凌 712100)

摘要: 在黄土高原的凤翔、白水、长武、西峰、延安和静宁等6个苹果产区,测定了6～28龄苹果园地0—300 cm土层土壤的全氮、铵态氮和硝态氮含量,分析和比较了不同地区和不同树龄果园土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量及其剖面分布特征。结果表明:1)不同地区和不同树龄果园土壤全氮含量为0.19 g/kg(延安)～1.28 g/kg(白水),土壤铵态氮含量为5.19 mg/kg(静宁)～39.46 mg/kg(长武),土壤硝态氮含量为3.97 mg/kg(延安)～352.86 mg/kg(白水),除延安点土壤明显较低外其它试点果园土壤全氮含量差异不大,各类果园土壤硝态氮含量差异较大,而铵态氮含量差异较小;2)不同地区和不同树龄果园60 cm以上土层土壤全氮含量明显高于深层土壤,高龄果园土壤硝态氮含量明显高于低龄果园,并在100 cm以下土层出现不同程度的土壤硝态氮累积现象;3)延安果园土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量均低于其它试点,需要增施氮肥以提高苹果产量,而凤翔、白水、长武、静宁和西峰苹果园深层土壤硝态氮积累量较高,应维持或适当减少氮肥施用量。

关键词: 黄土高原; 苹果园; 氮素; 剖面分布
中图分类号: S661.1; S153.6+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)02-0420-10

Soil nitrogen contents and deep profile distributions in apple orchards of the Loess Plateau

FAN Peng[1], LI Jun[2*], ZHANG Li-na[1], CAO Yu[2], Jumahan·Kasimu[1]
(*1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;*
2 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Contents of soil total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in 0-300 cm soil layers of 6-28 year-old apple orchards were measured at 6 apple production bases of Fengxiang, Baishui, Changwu, Xifeng, Yan'an and Jingning in the Loess Plateau, and profile distributions of soil total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen contents between different ages of apple orchards at different sites were analyzed and compared. The results showed that the range of soil total nitrogen contents is from 0.19 g/kg (Yan'an) to 1.28 g/kg (Baishui), the range of soil ammonium nitrogen contents is from 5.19 mg/kg (Jingning) to 39.46 mg/kg (Changwu), and the range of soil nitrate nitrogen contents is from 3.97 mg/kg (Yan'an) to 352.86 mg/kg (Baishui) at different sites and of different ages of apple orchards. There are not significant differences of soil total nitrogen contents in apple orchards at different sites except Yan'an where the content is obviously lower than those of other sites. The soil nitrate nitrogen contents are significantly different at different sites, while the soil ammonium nitrogen contents are less different. The soil total nitrogen contents in 0-60 cm soil layers of the apple orchards are obviously higher than those in the deeper soil layers. The soil nitrate nitrogen contents of old apple orchards are higher than those of young apple orchards, and at the same time the nitrate nitrogen accumulation in soil profiles below 100 cm soil layers occurs in varying degrees. The contents of soil total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen of

收稿日期: 2012-06-27 **接受日期:** 2012-11-20
基金项目: 国家自然科学基金项目(31071374)资助。
作者简介: 范鹏(1988—),女,河南新郑人,硕士研究生,主要从事旱区农业生态研究。E-mail: fanpeng0809@sina.com
*通信作者 E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

apple orchards at Yan' an are obviously lower than those at other experiment sites, which means more nitrogen fertilizer should be used appropriately to increase apple yields. However, nitrate nitrogen contents in deep soil layers of apple orchards at Fengxiang, Baishui, Changwu, Jingning and Xifeng are relatively higher, hence nitrogen fertilizer utility should be kept at present level or reduced.

Key words: the Loess Plateau; apple orchard; soil nitrogen; profile distribution

黄土高原是我国最大苹果优势产区之一,苹果园面积超过 120 万公顷,占全国苹果园面积的 50% 以上。2009 年陕西省苹果园面积 56.5 万公顷,果园产量 805.2 万吨,苹果产业年收入超百亿元[1-3]。土壤养分是影响苹果产量和品质的重要因素,由于黄土高原水土流失严重,导致果园土壤肥力低下[4-7],因此采取增施肥料和蓄水保墒措施,有利于促进果树的生长发育、提高产量和改善品质[8-10]。但随着近年来苹果园肥料投入的持续增加,部分果园化肥施用量已高达 N 641 kg/hm^2 和 P_2O_5 365 kg/hm^2[11],普遍存在氮磷钾肥施用比例不当、测土按需配方施肥措施欠缺以及按区域土壤差异实施分区肥料管理不力等问题。氮素是影响果树生长、品质和产量的首要营养元素[11-12],但受果园土壤类型、果树生长消耗和氮肥管理措施的影响,黄土高原各区域果园深层土壤氮素丰缺状况及其剖面分布规律尚不清楚。因此,测定和揭示黄土高原主要苹果产区果园深层土壤氮素含量及其土壤剖面分布特征,能够为黄土高原优质苹果生产施肥管理和果业可持续发展提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域与样地果园概况

黄土高原东南部苹果产区以黄土残塬沟壑和黄土丘陵沟壑为主,黄土覆盖层深厚,主要土种为褐土、黑垆土和黄绵土,土壤质地疏松,保水和保肥力强。按照黄土高原苹果产地区域分布气候特征和地貌类型,本研究选择了半湿润黄土台塬沟壑区的陕西凤翔和陕西白水,半湿润易旱黄土残塬沟壑区的陕西长武和甘肃西峰,半湿润偏旱和半干旱黄土丘陵沟壑区的甘肃静宁和陕西延安等 6 个典型苹果生产基地县(区)为试点,分别代表黄土高原苹果生产基地的南部产区、中部产区和北部产区。于 2010 年 7 月,在凤翔、白水、长武、西峰、延安和静宁等县苹果产区,选择 21 个具有代表性的塬地、梯田和山地等不同地貌类型和不同树龄果园为样点,采集果园 0—300 cm 土层土壤样品。各试验地点气候特征、土壤类型、果园地貌、果园样点数和果树树龄等概况如表 1 所示。

1.2　土样采集、分析项目及测定方法

在上述 6 个苹果生产基地县(区),选择了 21 个施肥措施相近的 6 ～ 28 龄苹果园作为样点果园,在果园 4 棵果树树冠空隙对应地面的中心部位选择土样采集点。土壤样品采用人工打土钻分层取土的方法采集,采样深度为 0—300 cm,每 20 cm 为一层。将土壤样品带回实验室自然风干、研磨、过筛、封装后,测定土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量。土壤全氮采用半微量开氏法,用半自动开氏定氮仪测定。土壤铵态氮、硝态氮采用 1 mol/L KCl 溶液浸提,连续自动分析仪测定。

依据张进[13]等提出的黄土高原果园土壤养分分级指标,将果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量分为 3 级: >1.0 g/kg 的土壤为全氮丰富型; 0.75 ～1.0 g/kg 为适宜型; <0.75 g/kg 为缺乏型,并以此作为苹果园土壤全氮含量丰缺状况的评价标准。同时果园土壤硝态氮比重和土壤铵态氮比重分别按照下式计算:

硝态氮占矿质氮比例(%) = 各树龄 3 m 土层土壤硝态氮含量平均值/(各树龄 3 m 土层土壤硝态氮含量平均值 + 各树龄 3 m 土层土壤铵态氮含量平均值) ×100

铵态氮占矿质氮比例(%) = 各树龄 3 m 土层土壤铵态氮含量平均值/(各树龄 3 m 土层土壤硝态氮含量平均值 + 各树龄 3 m 土层土壤铵态氮含量平均值) ×100。

1.3　数据处理

运用 Excel 进行数据处理,主要分析了黄土高原不同地区不同树龄苹果园 0—300 cm 土层土壤全氮、铵态氮、硝态氮的变化范围,并进行比较分析。

表1 各试点气候、土壤与样点果园概况

Table 1 General condition of climate, soils and apple orchards at different experiment sites

试验地点 Experiment site	年均气温(℃) Average annual temperature	年降水量 Annual rainfall (mm)	无霜期 Frost free period (d)	土壤类型 Soil type	果园地貌 Landform of orchard	样点果园数 Num. of samples (No.)	各果园树龄(a) Growth age of each orchards
凤翔 Fengxiang	11.5	656	207	褐土 Cinnamon soil	梯田 Terraced field	3	10,17,28
白水 Baishui	11.4	578	207	褐土 Cinnamon soil	梯田 Terraced field 塬地 Plateau field	4	6,16,20,25
长武 Changwu	9.1	564	171	黑垆土 Heilu soil	塬地 Plateau field	4	10,15,22,28
西峰 Xifeng	9.7	543	175	黑垆土 Heilu soil	塬地 Plateau field	4	6,12,18,26
延安 Yan'an	9.2	538	171	黄绵土 Loessial soil	坡地 Slope field	3	12,16,20
静宁 Jingning	7.1	451	159	黄绵土 Loessial soil	坡地 Slope field 梯田 Terraced field	3	11,15,19

2　结果与分析

2.1　苹果园地土壤全氮含量

凤翔、白水、长武、西峰、延安和静宁等 6 个试点不同树龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量介于 0.19 g/kg(延安)～1.28 g/kg(白水),其平均值依次为 0.60、0.58、0.56、0.57、0.38 和 0.53 g/kg,由高到低排序依次为：凤翔 > 白水 > 西峰 > 长武 > 静宁 > 延安,除延安明显较低外,其余不同试验点间果园土壤全氮含量差异不大。各试点不同树龄果园多表现为 0—60 cm 土层土壤全氮含量较高,60 cm 以下土层全氮含量较低。

6 个试点不同树龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量剖面分布特征如图 1 所示。凤翔 10 龄、17 龄和 28 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.35～0.97 g/kg,其平均值分别为 0.54、0.66 和 0.60 g/kg；3 个果园 0—40 cm 土层全氮含量均为适宜水平。白水 6 龄、16 龄、20 龄和 25 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.40～1.28 g/kg,其平均值分别为 0.55、0.58、0.61 和 0.61 g/kg,随树龄增长果园土壤全氮含量稍呈增加趋势；6 龄、20 龄果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量丰富,而 16 龄、25 龄果园为适宜水平。长武 10 龄、15 龄、22 龄和 28 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.33～1.25 g/kg,其平均值分别为 0.55、0.64、0.48 和 0.56 g/kg；除 15 龄果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量丰富外,其余果园均为适宜水平。西峰 6 龄、12 龄、18 龄和 26 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.28～1.06 g/kg,其平均值分别为 0.66、0.46、0.55 和 0.59 g/kg,各树龄果园间有较大差异；除 18 龄果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量为缺乏水平外,其余果园均为适宜水平。延安 12 龄、16 龄和 20 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.19～0.87 g/kg,其平均值分别为 0.36、0.40 和 0.39 g/kg,各树龄果园间差异不大；16 龄果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量适宜,而 12 龄、20 龄果园为缺乏水平。静宁 11 龄、15 龄和 19 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.27～0.95 g/kg,其平均值分别为 0.44、0.50 和 0.64 g/kg,随树龄增长土壤全氮含量表现出增加趋势；15 龄、19 龄果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量适宜,11 龄果园为缺乏水平。

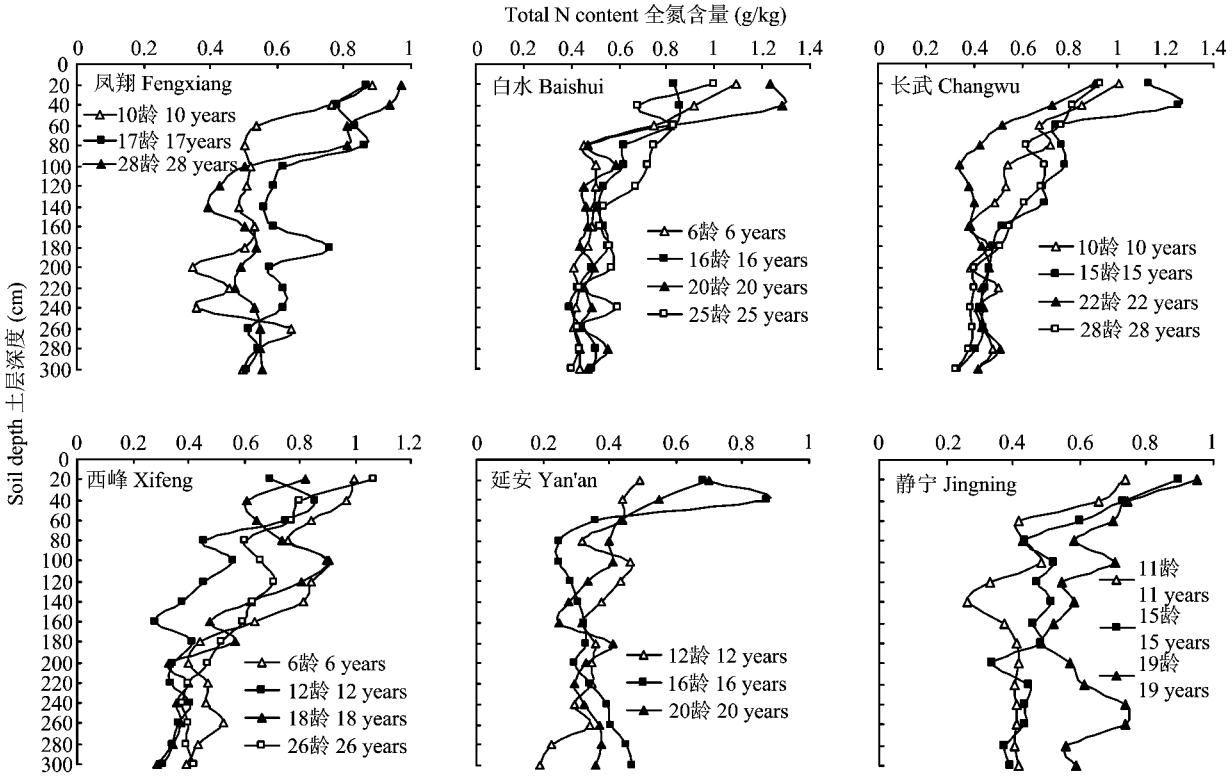

图 1　黄土高原各试点不同树龄苹果园地土壤全氮含量剖面分布特征

Fig. 1　Profile distributions of soil total nitrogen contents in different age apple orchards at different experiment sites of the Loess Plateau

2.2 苹果园地土壤 NH_4^+-N 含量

凤翔、白水、长武、西峰、延安和静宁等6个试点不同树龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量介于5.19 mg/kg(静宁)～39.46 mg/kg(长武),其平均值依次为17.10、16.32、25.49、22.71、13.41和19.93 mg/kg,由高到低排序依次为:长武>西峰>静宁>凤翔>白水>延安。不同试点间果园土壤铵态氮含量差异不大,长武、西峰和静宁较高,凤翔、白水和延安较低。

各试点不同树龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量剖面分布特征如图2所示。凤翔10龄、17龄和28龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为11.06～27.20 mg/kg,其平均值分别为16.00、18.21和17.09 mg/kg。白水6龄、16龄、20龄和25龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为10.51～31.80 mg/kg,其平均值分别为15.61、16.75、17.46和15.47 mg/kg。长武10龄、15龄、22龄和28龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为17.41～39.46 mg/kg,其平均值分别为23.47、25.03、24.57和28.89 mg/kg。西峰6龄、12龄、18龄和26龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为15.90～31.44 mg/kg,其平均值分别为25.94、22.06、22.78和20.05 mg/kg。延安12龄、16龄和20龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为6.91～21.63 mg/kg,平均值分别为10.45、13.42和16.36 mg/kg。静宁11龄、15龄和19龄苹果园地0—300 cm土层土壤铵态氮含量为5.19～36.97 mg/kg,其平均值分别为20.06、21.12和18.62 mg/kg。在6个试点,各树龄苹果园土壤铵态氮含量变化不大,0—100 cm土层土壤铵态氮含量稍高于100 cm以下土层。

2.3 苹果园地土壤 NO_3^--N 含量

凤翔、白水、长武、西峰、延安和静宁等6个试点苹果园地0—300 cm土层土壤硝态氮含量介于3.97 mg/kg(延安)～352.86 mg/kg(白水),其平均值依次为91.31、94.04、141.04、69.84、16.75和88.03 mg/kg,由高到低排序为:长武>白水>凤翔>静宁>西峰>延安。不同试点间果园土壤硝态氮含量差异显著,长武果园土壤硝态氮含量是延安的8.42倍。

各试点不同树龄苹果园地0—300 cm土层土壤硝态氮含量剖面分布特征如图3所示。凤翔10龄、

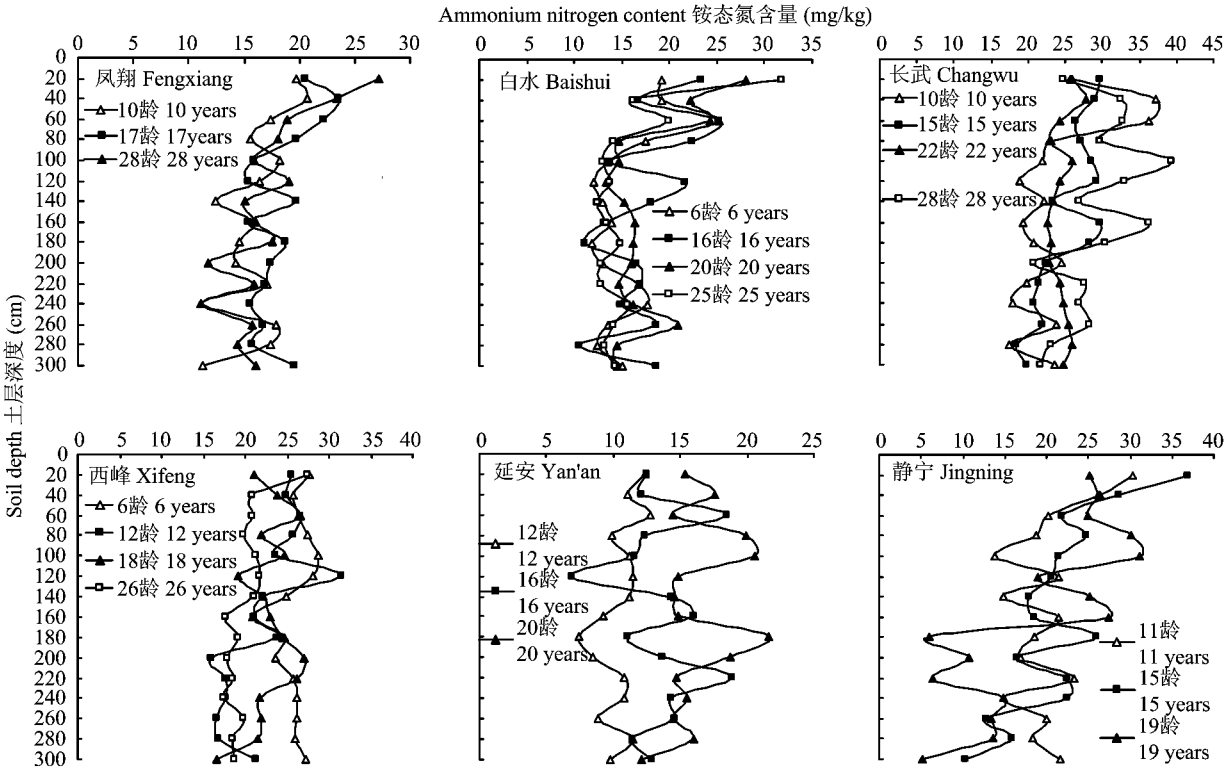

图2 黄土高原各试点不同树龄苹果园地土壤铵态氮含量剖面分布特征

Fig. 2 Profile distributions of ammonium nitrogen contents of different age apple orchards at different experiment sites of the Loess Plateau

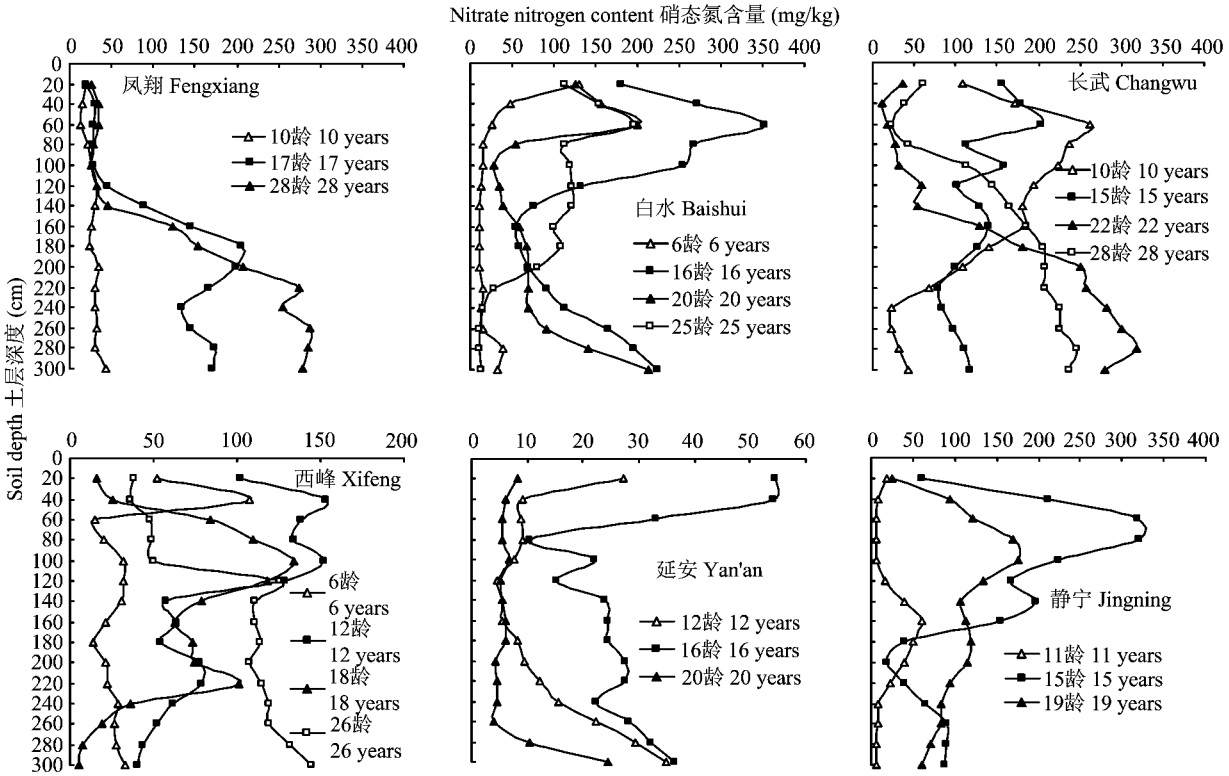

图 3　黄土高原各试点不同树龄苹果园地土壤硝态氮含量剖面分布特征

Fig. 3　Profile distributions of soil nitrate nitrogen contents of different age apple orchards at different experiment sites of the Loess Plateau

17 龄和 28 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 18.53 ～ 287.83 mg/kg,其平均值分别为 27.11、107.10 和 139.72 mg/kg,随树龄增长果园土壤硝态氮含量呈显著增加趋势。17 龄和 28 龄果园 0—100 cm 土层土壤硝态氮含量较低,100—300 cm 土层含量较高,出现明显的土壤硝态氮累积现象,并且累积量 28 龄大于 17 龄苹果园地。

白水 6 龄、16 龄、20 龄和 25 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 10.11 ～ 352.86 mg/kg,其平均值分别为 27.26、167.20、94.70 和 86.98 mg/kg,各树龄果园土壤硝态氮平均含量从大到小排序为: 16 龄 >20 龄 >25 龄 >6 龄。6 龄果园 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量较高,60 cm 以下土层含量较低且变化较小。16 龄、20 龄和 25 龄果园均出现了不同分布深度和强度的土壤硝态氮累积峰。

长武 10 龄、15 龄、22 龄和 28 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 12.25 ～ 318.36 mg/kg,其平均值分别为 133.40、126.41、149.32 和 155.05 mg/kg,按照果园树龄土壤硝态氮平均含量大小排序为: 28 龄 >22 龄 >10 龄 >15 龄。10 龄和 15 龄果园 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量较高,200 cm 以下土层硝态氮含量显著降低。22 龄和 25 龄果园 0—100 cm 土层土壤硝态氮含量较低,100—300 cm 土层硝态氮含量较高,200 cm 以下土层出现了土壤硝态氮累积峰。

西峰 6 龄、12 龄、18 龄和 26 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 5.27 ～ 153.70 mg/kg,其平均值依次为 32.33、89.28、78.88 和 94.71 mg/kg,除 6 龄果园较低外,其余果园土壤硝态氮含量差异不大。6 龄果园上层土壤硝态氮含量较高,12 龄和 18 龄分别在 20—120 cm 和 80—120 cm 土层出现明显的硝态氮累积峰,26 龄果园 0—100 cm 土层硝态氮含量较低,但 100—300 cm 土层硝态氮含量较高,出现了硝态氮积累层。

延安 12 龄、16 龄和 20 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 3.97 ～ 54.61 mg/kg,其平均值分别为 14.00、29.09 和 7.16 mg/kg,各树龄果园土壤硝态氮含量普遍较低且差异不大。除 16 龄果园在上层土壤硝态氮含量稍高外,3 类果园在 240

cm 以下深层出现硝态氮含量增高趋势。

静宁 11 龄、15 龄和 19 龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤硝态氮含量为 5.66 ～319.49 mg/kg,其平均值分别为 20.31、139.04 和 104.73 mg/kg,15 龄和 19 龄果园显著高于 11 龄果园。11 龄果园在 100—200 cm 土层出现土壤硝态氮累积峰,15 龄和 19 龄果园在 40—240 cm 土层出现了明显的土壤硝态氮累积峰。

2.4 苹果园地土壤矿质氮比例

土壤矿质氮主要包括硝态氮和铵态氮 2 种形态。各试点果园土壤硝态氮占矿质氮比例明显大于铵态氮(表 2)。除延安外,其它试点土壤硝态氮比重明显高于铵态氮比重,土壤硝态氮比重由大到小排序为:白水 > 长武 > 凤翔 > 静宁 > 西峰 > 延安。

表 2 黄土高原不同苹果产区果园土壤硝态氮和铵态氮占矿质氮比例

Table 2 Ratios of soil nitrate nitrogen and ammonium nitrogen to mineral nitrogen of apple orchards in different apple production regions of the Loess Plateau

项目 Items	凤翔 Fengxiang	白水 Baishui	长武 Changwu	西峰 Xifeng	延安 Yan'an	静宁 Jingning
硝态氮占矿质氮比例(%) Ratio of nitrate nitrogen to mineral nitrogen	84.23	85.21	84.69	75.47	55.54	81.54
铵态氮占矿质氮比例(%) Ratio of ammonium nitrogen to mineral nitrogen	15.77	14.79	15.31	24.53	44.46	18.46

3 讨论

长期施用化肥可以维持或提高农田土壤氮素含量,增施有机肥也可以提高农田土壤氮素含量[14-16]。本研究表明,随果树树龄增加,凤翔、白水(除 25 龄果园外)、延安、西峰(除 6 龄果园外)和静宁等试点果园 0—60 cm 土层土壤全氮含量呈增长趋势,这与刘建玲等的研究结果一致[17]。在 6 个试点由不同树龄组成的 21 个样点苹果园中,有 3 个果园 0—40 cm 土层土壤全氮含量为丰富水平,14 个果园为适宜水平,4 个果园为缺乏水平。果园 60 cm 以上土层土壤全氮含量较高,而深层土壤全氮含量较低,主要与施肥深度通常为 60 cm 以上土层有关。此外,果树枯枝落叶归还参与土壤氮素循环,也增加了浅层土壤全氮含量[18]。

6 个试点不同树龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤铵态氮含量介于 5.19 ～39.46 mg/kg,其平均值分别为 17.10、16.32、25.49、22.71、13.41 和 19.93 mg/kg,土壤铵态氮含量普遍较高。这可能是由于本研究中样品测定采用的是风干土样,风干土铵态氮含量显著高于新鲜土,而硝态氮含量略低于新鲜土[19-20]。此外,当土壤中有利于铵态氮累积的土壤矿物含量高时,铵态氮含量也会增加[21-22]。

本研究中长武苹果园地土壤硝态氮含量较高,各树龄 0—300 cm 土层平均含量达 141.04 mg/kg,而延安苹果园地含量较低,仅为 16.75 mg/kg,凤翔、白水、西峰、静宁含量相近,这可能与不同试点土壤物理性质与果园施肥措施有关。土壤质地、结构、孔隙度等土壤物理性质影响硝态氮累积或淋失,疏松土壤中累积的硝态氮容易随土壤水分运动而淋失[23-24]。郭胜利等认为,过量施用氮肥是硝态氮累积的前提,土壤硝态氮深层累积是雨养农业区施肥、作物、降水、土壤特性等长期综合作用的结果;过量施用氮肥是导致硝态氮累积在 100—300 cm 土层的主要因素之一,随着氮肥施用量增加,硝态氮深层累积逐渐增加[25-27]。

低龄果园土壤硝态氮含量低于高龄果园,表明果树种植年限越长,土壤硝态氮累积量越高。除凤翔 10 龄、白水 6 龄果园外,各试点其它树龄果园 100 cm 以下土层均出现不同程度土壤硝态氮含量累积。凤翔 17 龄和 28 龄、白水 16 龄和 20 龄、长武 22 龄和 28 龄、西峰 26 龄等苹果园地 200 cm 以下土层土壤硝态氮含量高达 100 mg/kg,而延安和静宁果园 200 cm 以下土层土壤硝态氮含量较低,这可能主要与补充灌溉、降雨量和施肥量等因素有关。凤翔、白水、长武和西峰等试点年降水量普遍高于 540 mm,而延安和静宁降水量较低且多为山地果园,地表径流损失导致深层土壤降水入渗较少。张思聪等[28]研究认为,土壤水分是氮素淋失的载体,淋溶量受降水量及灌水量的影响显著。雨季中

氮素深层淋溶损失量会明显增多,随降水量增加土壤硝态氮向下移动强度增大,最终在深层土壤累积而脱离根区,这部分硝态氮很难被植物吸收利用,易造成氮素损失和对土壤及地下水污染。郭胜利和杨雨林等研究认为,黄土高原旱地果园土壤硝态氮累积层分别位于 100—300 cm 土层和 200—300 cm 土层,并随着氮肥施用量的增加,硝态氮深层累积逐渐增加[25-27,29]。白水 25 龄果园土壤硝态氮在 200 cm 以下含量较低,而 16 龄、20 龄果园深层土壤出现明显累积现象。25 龄果园为台塬区梯田果园,所处地势较高、较为干旱,也无灌溉条件,果园施肥量较少,硝态氮难以随水分运移至土壤深处,16 龄和 20 龄果园为塬地果园,水肥条件较 25 龄果园稍好,硝态氮积累较为明显[25-28]。

凤翔果园上层土壤硝态氮含量较低,而白水果园上层土壤硝态氮含量较高,可能是由于凤翔果园施肥量较低且降水量较高导致上层土壤硝态氮淋洗所致,但凤翔果园与白水果园深层土壤硝态氮均有累积现象[28]。土壤硝态氮累积和淋失不仅导致土壤养分浪费,而且造成土壤和地下水污染。许多欧美国家出现了地下水硝态氮含量严重超标现象[30-31],我国一些集约化农业生产区也出现了“地下肥水”,即含高浓度硝酸盐地下水现象[32-33]。因此,根据各试点果园土壤氮素含量,确定科学合理的氮肥使用量,减少土壤深层硝态氮累积,既能保证苹果园高产苹果高品质,又可降低对环境产生负面影响。

白水、长武和凤翔等试点苹果园地土壤硝态氮占矿质氮比例较高,分别为 85.21%、84.69% 和 84.23%,静宁和西峰果园硝态氮比例稍低,分别为 81.54%、75.47%,延安果园硝态氮比例最低,仅为 55.54%,苹果园地土壤矿质氮含量中硝态氮所占比例较大且变幅大,而铵态氮所占比例较小且变幅小,这与冉伟等人的研究结果一致[21]。黄土高原各地果园管理方式有所差异,采样前果园肥料施用量可能也有所不同,采样时选择相同时间,对果园上层土壤养分试验结果有一定影响,但对深层土壤氮素含量影响较小。

4　结论

1) 黄土高原不同地区和不同树龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤全氮含量为 0.19 g/kg(延安)～1.28 g/kg(白水),其平均值排序为: 凤翔 > 白水 > 西峰 > 长武 > 静宁 > 延安。除延安外其它试点果园土壤全氮含量差异不大,一般 60 cm 以上土层土壤全氮含量较高。延安果园土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量均低于其他 5 个试点,土壤氮素含量明显偏低,应适当增施氮肥以提高果园产量。

2) 黄土高原不同地区和不同树龄苹果园地 0—300 cm 土层土壤剖面铵态氮含量变幅较小,而硝态氮含量相差较大,普遍出现了深层土壤硝态氮积累现象。土壤铵态氮含量为 5.19 mg/kg(静宁)～39.46 mg/kg(长武),铵态氮含量的平均值大小为长武 > 西峰 > 静宁 > 凤翔 > 白水 > 延安;土壤硝态氮含量为 3.97 mg/kg(延安)～352.86 mg/kg(白水),其平均值大小排序为长武 > 白水 > 凤翔 > 静宁 > 西峰 > 延安。

参 考 文 献:

[1] 李丙智, 刘建海, 张林森, 等. 不同时间套袋对渭北旱塬红富士苹果品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 118-120.
Li B Z, Liu J H, Zhang L S *et al*. The effect of different bagging period on the quality of Fuji apple in Weibei Dryland [J]. J. Northwest For. Univ., 2005, 20(2): 118-120.

[2] 刘贤赵, 宋孝玉. 陕西渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 320-326.
Liu X Z, Song X Y. Study on the characteristics of soil moisture content in the apple growing subregions of the Weibei dry highland in Shaanxi province [J]. Arid Land Geogr., 2004, 27(3): 320-326.

[3] 刘贤赵, 衣华鹏, 李世泰. 渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2055-2060.
Liu X Z, Yi H P, Li S T. Soil moisture characteristics of apple-planting subarea in Weibei dry highland [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(11): 2055-2060.

[4] 崔玉亭. 化肥与生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
Cui Y T. Fertilizer and ecological environment protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.

[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 Shaanxi province[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 A&F Univ. (Nat. Sci. Ed), 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 Shanxi Province[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2002, 20(1): 38-44.

[12] 徐兴良，关秀清. 低等植物固氮在草原氮素循环中的作用[J]. 中国草地，1999，(2)：68-72.
Xu X L, Guan X Q. The role of nitrogen fixation of lower plants in nitrogen cycle on the grassland[J]. Grassland China, 1999, (2): 68-72.

[13] 张进，吴发启，张扬，许敏. 渭北优质苹果种植区土壤养分调查与评价[J]. 西北农业学报，2011，20(1)：102-108.
Zhang J, Wu F Q, Zhang Y, Xu M. Survey and evaluation of soil nutrients in the apple production regions in Weibei highland[J]. Acta Agric. Boreali-Occid. Sin., 2011, 20(1): 102-108.

[14] 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 Scientech Press, 2006. 1-17.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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 Hortic. Sin., 2006, 33(4): 705-708.

[18] 李贵才，韩兴国，黄建辉. 哀牢山木果柯林及其退化植被下土壤无机氮库的干季动态特征[J]. 植物生态学报，2001，25(2)：210-217.
Li G C, Han X G, Huang J H. Dry-season dynamics of soil inorganic nitrogen pools in Primary Lithocarpus xylocarpus forest and degraded vegetations in Ailao mountain, Yunnan Province[J]. J. Plant Ecol., 2001, 25(2): 210-217.

[19] 孟盈，沙丽清. 风干、烘干对不同热带森林土壤样品 NH_4^+-N、NO_3^--N 测定结果的影响[J]. 农业环境保护，2001，20(5)：366-367，369.
Meng Y, Sha L Q. Variations of contents of NH_4^+-N, NO_3^--N in three tropical forest soils during air-drying and heat-drying[J]. Agro-Environ. Prot., 2001, 20(5): 366-367, 369.

[20] Л. И. Никифоренко（张道勇译）. 土壤分析样本的干燥、贮存和制备对土壤农化性质的影响[J]. 土壤学进展，1989，(2)：45-52.
Л. И. Никифоренко. Effect of desiccation, storage and preparation of the soil samples on the agrochemical characters of soil[J]. Progr. Soil Sci., 1989, (2): 45-52.

[21] 冉伟，谢永生，郝明德. 渭北旱塬苹果园土壤矿质氮累积与分布研究[J]. 干旱地区农业研究，2008，26(3)：157-160.
Ran W, Xie Y S, Hao M D. Mineral N accumulation and distribution of apple orchard soil on the Weibei dryland[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2008, 26(3): 157-160.

[22] 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.

[23] 黄国弟. 植物氮磷钾营养的土壤化学原理及应用[J]. 广西热带农业，2005，99(4)：20-21.
Huang G D. Soil chemical principle and its application of plant N, P and K nutrition[J]. Guangxi Trop. Agric., 2005, 99(4): 20-21.

[24] 朱兆良. 土壤氮素的转化和移动的研究近况[J]. 土壤学进展，1979，2(1)：16.
Zhu Z L. Presented research achievements of soil nitrogen transformation and movement[J]. Soil Sci. Progr., 1979, 2(1): 16.

[25] 郭胜利，张文菊，党庭辉，等. 干旱半干旱地区农田土壤 NO_3^--N 深层累积及其影响因素[J]. 地球科学进展，2003，18(4)：584-591.
Guo S L, Zhang W J, Dang T H *et al*. Arid and semi arid region soil NO_3^--N deep accumulation and its affecting factors[J]. Adv. Earth Sci., 2003, 18(4): 584-591.

[26] 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)：22-27.

Guo S L, Dang T H, Hao M D. Mineral N distribution of soil profile in gully area of Loess Plateau [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2000, 18(1): 22-27.

[27] 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]. 水土保持通报, 2003, 17(2): 31-33.

Guo S L, Dang T H, Hao M D. Mineral N distribution of soil profile of slope land in gully region of Loess Plateau[J]. J. Soil Water Conserv., 2003, 17(2): 31-33.

[28] 张思聪, 吕贤弼, 黄永刚. 灌溉施肥条件下氮素在土壤中迁移转化的研究[J]. 水利水电技术, 1999, 30(5): 6-8.

Zhang S C, Lu X B, Huang Y G. Study on the transport and transform of nitrogen in soil under the condition of fertilizer irrigation in Tangshan [J]. Water Resour. Hydropower Eng., 1999, 30(5): 6-8.

[29] 杨雨林, 郭胜利, 马玉红, 等. 黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 685-691.

Yang Y L, Guo S L, Ma Y H *et al*. Changes of orchard soil carbon, nitrogen, phosphorus in gully region of Loess Plateau [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14 (4): 685-691.

[30] Jacks G, Sharma V P. Nitrogen circulation and nitrate in groundwater in an agricultural catchment in Southern India [J]. Environ. Geol., 1983, 5(2): 61-64.

[31] Peter C, Manoj K S. Groundwater nitrate in Austria: a case study in Tullnerfeld [J]. Nutr. Cycl. Agroecosys., 2002, 64 (3): 301-315.

[32] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其环境影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.

Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its environmental impact of the soil in north China[J]. Ecol. Environ., 2003, 12 (1): 24-28.

[33] 陆海燕, 胡正义, 张瑞杰, 等. 滇池北岸居民-农田混合区域农田土壤氮素空间分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8): 1618-1623.

Lu H Y, Hu Z Y, Zhang R J *et al*. Spatial variability of nitrogen in soils in farmland adjacent suburban villages at northern bank of Dianchi Lake[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2010, 29(8): 1618-1623.