

黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征

樊军¹, 邵明安^{1,2}, 郝明德¹, 王全九¹

(1 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,中国科学院、水利部水土保持研究所,陕西杨凌 712100;

2 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:研究了渭北旱塬塬面不同土地利用方式下土壤剖面硝酸盐含量与分布特征,并与长期田间定位试验结果进行对比分析。结果表明,地表有植物生长与氮肥投入显著影响土壤剖面硝态氮含量与分布。土壤 0—400 cm 硝态氮累积含量顺序是:苹果园 > 高产粮田 > 裸地 > 刺槐林地 > 荒草地 > 人工草地。苹果园土壤剖面硝态氮在深层累积严重,累积层在 80—160 cm,最高含量达 201.9 mg/kg。高产农田也发生了硝态氮的淋溶累积,累积峰出现在 120—140 cm 土层,最高含量为 44.1 mg/kg。林草地因为没有氮肥投入,剖面硝态氮含量处于很低水平。由于塬面土地大部分为高产农田与苹果园,土壤中累积的大量硝态氮既浪费了资源又可能对环境造成潜在的威胁,建议降低氮肥用量,特别是果园,并建议对大量施用化肥对区域生态环境与苹果品质的影响进行研究。

关键词:旱塬;土地利用方式;苹果园;硝态氮累积

中图分类号: S158.8

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)01-0008-05

Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau

FAN Jun¹, SHAO Ming-an^{1,2}, HAO Ming-de¹, WANG Quan-jiu¹

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, the Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: Soil nitrate accumulation in North China has been reported by many researchers. The land use patterns changed markedly along with agricultural productivity in the flat parts of Weibei dryland on the Loess Plateau. The rotation system of gramineous crop/legumina grass was replaced by winter wheat or maize cropping. Furthermore, traditional crop like winter wheat decreased and apple orchard increased continuously. Nitrate accumulation in the soil profiles under the different land use patterns was studied in this area, compared with a long-term experiment nearby the studied area. The results showed that nitrates accumulated in soil profile in apple orchard and farmland, but did not in soil of artificial grassland and younger forest in which no nitrogen was applied. Generally, the soil layer with nitrate accumulation was located at 40—260 cm soil depth. Nitrogen fertilizers were heavily applied in the apple orchard, resulting in distinct nitrate accumulation. Because a majority of farmland is used for productive agriculture or apple orchard, the amount of nitrogen application should be reduced. We suggest that effects of nitrogen application on eco-environment and quality of apple should be studied in the future.

Key words: dryland; land use patterns; apple orchard; nitrate accumulation

旱作农田土壤干燥化是引起产量波动的直接原因^[1]。旱塬苹果园由于强烈的蒸腾作用形成了土壤

生物利用性干层,同样导致苹果产量受降雨量的自然变化而呈现波动性^[2]。在雨养农业区,无论是高

收稿日期: 2003-12-16

修改稿收到日期: 2004-02-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划第五课题(G2000018605);中国科学院知识创新方向性项目(KZCX-413-6);

西北农林科技大学青年科研专项基金资助。

作者简介: 樊军(1974—),男,陕西府谷人,在职博士研究生,主要从事生态系统水分、养分利用及其循环研究。

产粮田还是果园,其实现高产是以高投入为代价的。寻求作物高产与环境保护的最佳结合点是我国农业生产的最高目标。肥料的大量投入其去向问题值得关注,旱地土壤氮素以硝酸盐形式淋溶累积现象已有报道。巨晓棠等^[3]对中国北方旱区农田氮素以硝态氮在土壤中的淋溶累积进行了综合报道;郭胜利等^[4]综述了干旱半干旱农田硝态氮累积与影响因素,吴金水等^[5]对半干旱区农田土壤无机氮累积与迁移机理进行了研究,认为作物利用限制了农田土壤硝态氮向深层迁移。我们根据设在渭北旱塬的长期定位试验也对此进行了研究^[6]。本文主要探讨旱塬塬面不同土地利用方式下土壤剖面硝态氮含量分布状况,特别是对塬面的主要生产经营地,高产粮田与果园的土壤剖面硝态氮分布进行了对比分析,旨在为旱塬农业生态系统可持续发展提供依据。

1 材料与方法

试验区位于陕西省长武县,属渭北旱塬,无灌溉条件,海拔 1200 m,属暖温带半湿润易旱气候区。该区年均气温 9.3 °C,无霜期 171 d,多年平均降水量 584 mm,大于 10 °C 活动积温 3029 °C,年日照时数为 2230 h,日照率 51 %,年辐射总量为 4837 J/cm²。供试土壤为黄盖黑垆土,土层深厚,达 50 ~ 60 m。< 0.001mm 的粘粒含量 18 %, < 0.01mm 的物理性粘粒含量 46 %。根据实测水分特征曲线得出的水分常数分别是:田间持水量 23 % (3 × 10⁴ Pa 时的含水率),初始凋萎湿度 12.7 % (6 × 10⁵ Pa),萎蔫系数 10.6 % (1.5 × 10⁶ Pa)。

研究区主要种植方式为小麦 (*Triticum aestivum* L.)—小麦—糜子 (*Panicum miliaceum* L.) 或豆科作物—玉米 (*Zea mays* L.) 或西瓜 (*Citrullus vulgaris* Schrad.) 或马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 轮作,三年两季。施肥以化肥为主,年施肥量在 N 150 ~ 170 kg/hm², P₂O₅ 150 ~ 180 kg/hm²,并施用一定量粪肥。农作物产量水平:冬小麦 4500 ~ 7500 kg/hm²,玉米 7500 ~ 12000 kg/hm²。

大田调查研究于 2002 年 7 月上旬进行。在试验区塬面上选择典型高产农田(冬小麦或春玉米)、苹果园 (*Malus pumila* Mill, 不同树龄)、撂荒草地、刺槐林 (*Robinia pseudoacacia* L, 7 龄左右幼林) 及选择长期定位试验苜蓿连作、冬小麦连作施肥与裸地处理为研究对象。定位试验与调查区位于同一塬面上,相距 5 km,土壤质地相同。长期定位试验开始于 1984 年,苜蓿连作处理种植紫花苜蓿 (*Medicago sativa*

L.) 不施肥;冬小麦连作每年施肥 N 180 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm²,裸地不种作物并定期清除杂草。

0—400 cm 土壤样品用人工打土钻的方法采集,0—100 cm 土层每 10 cm 为一层,100 cm 以下每 20 cm 为一层,土壤各层风干样品用 1mol/L KCl 提取硝态氮,紫外双波长法测定^[7],烘干法测定土壤含水量。以下式计算出土壤剖面不同土层内硝态氮累积量:

$$A = h \times d \times p \times 10/100$$

式中 A 为硝态氮累积量 (kg/hm²), d 为土壤容重 (g/cm³), h 为土层厚度 (cm), p 为硝态氮浓度 (mg/kg)。

2 结果分析

2.1 土壤剖面硝态氮分布特征

适宜的条件下,氮素在旱地土壤中迅速转化为硝态氮,硝态氮易随水移动。研究^[8]表明,旱地土壤一定土层厚度的无机氮(铵态氮与硝态氮)含量可较好地表征土壤供氮能力,作为土壤供氮指标。0—100 cm 硝态氮比 0—45 cm 可矿化氮的效果好^[9]。我们的研究也显示,播种前农田土壤 0—100 cm 硝态氮含量与产量存在极显著的相关关系^[10]。但是,旱地农田土壤硝态氮往往在 100 cm 以下累积。本研究结果也显示,在干旱半干旱的渭北旱塬,硝态氮在土壤中的主要累积层在 100 cm 以下土层中。

长期种植苜蓿的人工草地,最大值出现在表层,仅为 5.53 mg/kg,土壤剖面硝态氮含量在 50 cm 以下各土层都很小,剖面分布也较均匀(图 1a)。0—400 cm 累积含量仅 50.9 kg/km²,主要因为人工草地既没有投入氮肥,而且生物量大,带走大量氮素。与之相比,裸地因为没有植物生长,尽管没有氮素投入,经过十几年不断淋洗,剖面硝态氮含量在 100—1000 cm 土层显著高于裸地,并有一个硝态氮累积峰出现。荒草地与刺槐林地在土壤上层含量分布高于裸地,但在 100 cm 以下低于裸地,没有累积发生(图 1b)。人工草地、人工林地、荒草地硝态氮在土壤剖面的分布基本上随剖面加深而降低,表层含量最高。0—60 cm 土层硝态氮含量高于裸地处理,而 100 cm 以下均低于裸地,主要因为这三种土地利用方式有植被生长,利用了部分氮素并且根系有阻截作用,硝态氮无法向深层迁移。而裸地无作物生长,降水不断淋洗表层的氮素,导致上层含量降低,在下层富集。裸地剖面 0—1000 cm 硝态氮的分布也间接表明,在黄土高原干旱半干旱区,17 年连续无作物生

长,土壤水分入渗可以到达 1000 cm 深。以上结果显示,地上植物的生长不断吸收土壤氮素,阻截了使它向下运动的源;同时植物生长吸收消耗大量水分,使硝态氮失去向下迁移的动力。大田冬小麦或玉米及定位试验的冬小麦连作处理,土壤剖面硝态氮在 0—200 cm 土层显著高于裸地,在 120—140cm 土层

形成明显的硝态氮累积峰,最大值达到 35.7 mg/kg,它们相互之间并没有显著差别(图 1c)。10 龄苹果园与 22 龄苹果园土壤剖面出现了明显的硝态氮累积峰(图 1d),峰值达到 172.6 与 201.9 mg/kg,是粮田累积峰值的 40.5、45.4 倍,同时,22 龄苹果园累积层深度超过 10 龄苹果园。

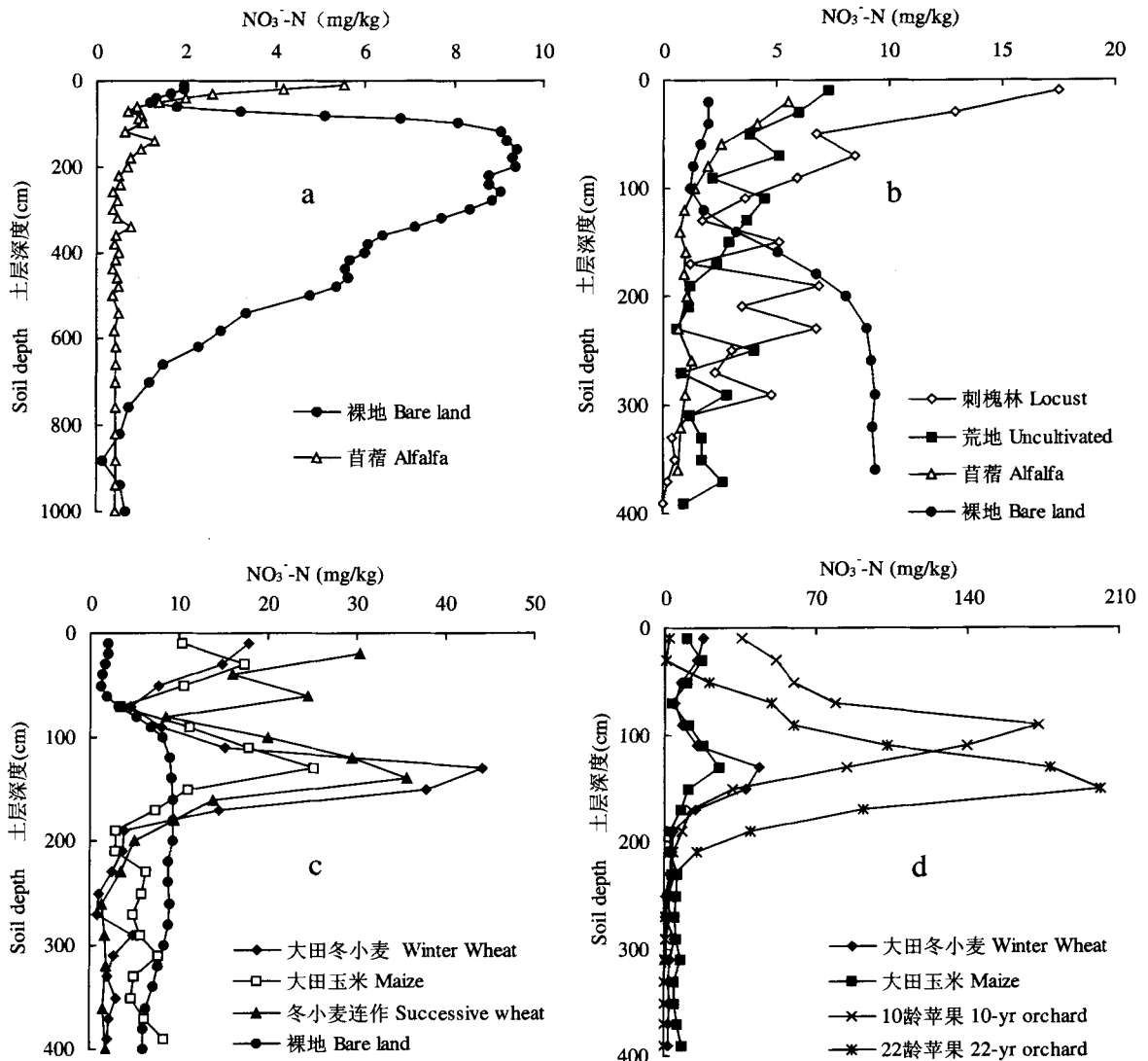


图 1 壤面不同利用方式土壤剖面硝态氮分布

Fig.1 Nitrate distribution in soil profile of different land use patterns

2.2 土壤硝态氮累积

本研究中,休闲 17 年的裸地土壤剖面淋溶累积了部分硝态氮,分布在 100—800 cm 间;0—1000 cm 总量达到 512 kg/km²,0—400 cm 累积量也达到 371.0 kg/km²,最大值 9.4 mg/kg(表 1)。主要是本区降水与土壤表层不断矿化的氮素没有植物吸收而不断淋溶的结果。而且由于降水的充分下渗,17 年后硝态氮已被淋到 900 cm 深处(图 1a)。而荒草地因为生物量小,0—400 cm 硝态氮总量高于人工草

地,低于裸地,达到 147.3 kg/km²,而且 0—180 cm 各层含量均高于人工草地。刺槐林地土壤剖面硝态氮含量比荒草地高,特别是 0—60 cm 土层,累积总量 241.2 kg/km²,主要是枯枝落叶及林下杂草的作用。

在长武设的长期定位试验结果^[6]显示,长期施用氮肥土壤剖面出现硝态氮的累积现象,累积峰出现在 120—140 cm 左右。本研究选择年施用 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 90 kg/hm² 的处理,连续种植冬小麦 15 年后硝态氮的峰值为 35.7 mg/kg,主要存在于 0—

表 1 不同土地利用方式下各层土壤累积硝态氮含量
Table 1 Nitrate contents in the soil layers of different land use patterns of upland

NO ₃ ⁻ -N 积累量 Accumulation (kg/hm ²)	人工草地 Alfalfa	荒地 Unculti- vated	刺槐林 Locust	WW ¹⁾	玉米 Maize	SW ²⁾	10 龄果园 10yr orchard	22 龄果园 22yr orchard	裸地 Bare land
0—1m	26.4	63.5	134.3	137.4	137.0	258.2	1036.6	344.0	42.9
1—2m	11.3	38.4	47.9	300.6	166.9	243.7	718.3	1596.4	120.3
2—3m	5.8	24.1	53.0	33.9	66.5	25.7	31.9	58.4	113.9
3—4m	7.5	21.3	6.0	30.4	83.1	24.1	1.1	3.7	93.8
0—4m	50.9	147.3	241.2	502.3	453.5	551.7	1787.9	2002.5	371.0
最大值 Max value	5.53	7.3	17.5	44.1	25.2	35.7	172.6	201.9	9.4
最大值土层 Layer for Max.	0—20	0—20	0—20	120—140	120—140	120—140	80—100	140—160	140—160

1) WW:冬小麦 Winter wheat; 2)SW:连作小麦 Successive wheat

200 cm 土层,总量达 551.7 kg/hm²。塬面一般高产农田同样出现了硝态氮残留累积现象,且 100—200 cm 土层硝态氮总量高于 0—100 cm 土层(表 1)。说明硝态氮被降水淋洗到土壤深层并在那里累积,累积峰同样出现在 120—140 cm 深度,当年种植冬小麦与玉米 0—400 cm 土壤硝态氮累积量达 502.3 与 453.5 kg/hm²。

10 龄苹果园与 22 龄苹果园土壤剖面 0—400 cm 总累积量达到 1787.9 与 2002.5 kg/hm²,果园累积量平均为粮田的 4 倍。与粮田相比,苹果园硝态氮累积相当严重。因为经济效益高于农田,苹果园肥料投入量不断增加,导致土壤剖面大量硝态氮残留累积,并随果龄的增长,累积硝态氮的量与土层深度增加。高产粮田与果园是塬面主要的土地利用方式,硝态氮在土壤剖面上呈抛物线形状分布,发生了硝态氮的淋溶累积现象。但是其淋溶累积深度并未超过 200 cm 土层深度。这是因为塬面生态系统的高投入高产方式极大地消耗水分,植被对水分的大量消耗,降水不能充分下渗,硝态氮也只能在 200 cm 范围内随水分上下运动。与裸地土壤剖面硝态氮分布状况相比可以看出,降水入渗是硝态氮向土体深处迁移的唯一动力,地表生长植被可以显著阻碍硝态氮淋溶。

综上所述,旱塬塬面不同土地利用方式下土壤硝态氮主要在有氮肥投入的系统中累积,无氮肥投入土壤剖面硝态氮含量极低。土壤 0—400 cm 硝态氮总量大小顺序为:苹果园 > 高产粮田 > 裸地 > 刺槐林地 > 荒地 > 人工草地,苹果园硝态氮累积严重,氮肥投入过量,人工草地缺氮严重。而且旱塬土地利用结构变化的趋势将进一步增加系统土壤氮素

累积。就以本试区为例,70 年代以来塬面人工草地(主要是苜蓿)面积不断下降,豆科作物作为养地作物与饲草资源也因为效益低下,种植面积不断减少,禾本科连作成为当地的主要种植方式,肥料主要投入高产粮田。到目前,随着产业结构的调整,肥料投入多元化,由以粮食作物投入为主变成粮食、果树与经济作物的多元化投入。由于投入粮食作物的效益低于果树,果园面积不断增加的同时施肥的重点也转向果园。因此,旱塬生态系统经济产出增加的同时,氮肥在土壤系统中的累积也显著增加。

3 讨论

定位试验与大田测定结果均表明,黄土高原旱塬在当前生产力与施肥水平下,农田硝态氮有一定的淋溶累积发生。主要累积在 100—200 cm 土体,累积量 167 ~ 300 kg/hm²,200—400 cm 土体累积量在 50 ~ 150 kg/hm²,累积峰出现在 120—140 cm 土层,而且累积层还在冬小麦根系范围之内。但是由于冬小麦对土壤深层水分的消耗,硝态氮累积层的含水量经常处于干燥状态,加之根系分布数量少,这部分氮素的利用率如何,有待进一步研究。因为磷肥的配合施用可以显著减少旱地土壤剖面硝态氮的残留累积^[6],所以合理的氮磷配比施用是当前减少高产粮田土壤硝态氮残留的最佳途径。与粮田相比,果园硝态氮累积严重。因为果园的施肥方式与管理方式显著不同于高产粮田,所以果园氮素的残留累积能否通过配合施用磷肥和有机肥而减少,还需进一步研究。

本试验塬面果园施氮肥量每年 N 500 ~ 1200 kg/hm²,主要是化肥,其次是土粪与油渣。根据刘候

俊等^[11]对陕西苹果基地县的调查,果树年施氮量为每年 N 300 ~ 1200 kg/hm²,施用量高的达到 2075 kg/hm²;隋鹏飞等^[12]认为,干旱区红富士苹果园在盛果期的适宜施肥水平为有机肥 60000 kg/hm²,N、P₂O₅、K₂O 分别为 378、396、270 kg/hm²,陕西苹果园在各产量水平氮肥用量超标,有机肥用量严重不足。过量氮肥投入造成部分氮素累积于土壤剖面中,在进行苹果基地建设,应当正确引导农民施用肥料,保证高产水平之下,减少土壤剖面氮素残留,提高氮肥利用率。

目前,黄土高原陕西省果园面积已达近 70 万 hm²,其中苹果面积约为 37 万 hm²,大部分属旱地果园。未来应当开展旱地过量氮肥施用造成的环境问题,特别是苹果基地建设中,氮肥大量施用对生态环境影响的研究以及对果品品质的影响。据任祖淦等^[13]研究,不合理地超量施用化学氮肥,使得蔬菜硝酸盐积累量剧增,品质退化。化学氮肥与有机肥料的厩肥、土杂肥配合施用,能有效控制和降低蔬菜硝酸盐的积累,减轻对人体健康危害。蔬菜生产中过量施用氮肥,频繁和过量灌水,不仅使硝态氮在蔬菜体内大量累积,还在菜地土壤中大量残留,使菜田土壤的硝态氮残留量明显高于一般农田。常年露天菜地 200 cm 土层的硝态氮残留总量可达 1358.8 kg/hm²^[14]。但是,对于大量施用氮肥对苹果品质的影响并没有引起足够重视。

参考文献:

- [1] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干焦化[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 353-356.
Li Y S. Fluctuation of yield on high-yield and desiccation of the soil on dryland[J]. Acta Pedo. Sin., 2001, 38(3): 353-356.
- [2] 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): 7-12.
Huang M B, Yang X M, Li Y S. Effect of apple basin regional water cycle in Weibei upland of the Loess Plateau[J]. Acta Geo. Sinica, 2001, 56(1): 7-12.
- [3] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China[J]. Eco. Envir., 2003, 12(1): 24-28.
- [4] 郭胜利, 张文菊, 党廷辉, 等. 干旱半干旱地区农田土壤 NO₃⁻-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 NO₃⁻-N in deep layers of dry farmland and its affecting factors in arid and semiarid areas[J]. Advance in Earth Sci., 2003, 18(4): 584-591.
- [5] 吴金水, 郭胜利, 党廷辉. 干旱旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2041-2049.
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): 2041-2049.
- [6] 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.
Fan J, Hao M D, Dang T H. Distribution and accumulation of nitrate in soil profile of long-term located fertilizer experiment[J]. Soil and Envir., 2000, 9(1): 23-26.
- [7] Norman R J, Edberg J W, Stuedi J W. Determination of nitrate in soil extracts by dual-wavelength ultraviolet spectrophotometry[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49: 1182-1185.
- [8] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 张福锁. 应用土壤无机氮测试进行冬小麦氮肥推荐的研究[J]. 土壤肥料, 1997(5): 19-21.
Chen X P, Zhou J C, Wang X R, Zhang F S. Studies of nitrogen recommendation for winter wheat using soil inorganic nitrogen[J]. Soil Fertilizers, 1997, (5): 19-21.
- [9] 胡田田, 李生秀, 郝乾坤. 旱地土壤矿质氮和可矿化氮与土壤供氮能力的关系[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 83-86.
Hu T T, Li S X, Hao Q K. Relationship between soil mineralized N, mineralizable N and soil nitrogen-supplying capacity[J]. J. of Soil and Water Conservation. 2000, 14(4): 83-86.
- [10] 樊军, 郝明德. 旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 263-266.
Fan J, Hao M D. Nitrate accumulation in soil profile of dryland farmland[J]. J. of Agro-Environ. Sci., 2003, 22(3): 263-266.
- [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. 干旱地区农业研究[J], 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. in Arid Areas, 2002, 20(1): 38-44.
- [12] 隋鹏飞, 史进元, 李文祥. 陕西省红富士苹果果园施肥调查[J]. 土壤肥料, 1995 (1): 35-37.
Sui P F, Shi J Y, Li W X. Investigation of fertilizer application on Fuji apple orchard in Shaanxi Province[J]. Soil Fertilizers, 1995, (1): 35-37.
- [13] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J]. 生态学报, 1998, (18)5: 523-528.
Ren Z G, Qiu X X, Cai Y C et al. Studies on correlation between vegetable nitrate accumulation and fertilizer application[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(5): 523-528.
- [14] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 陈宝明. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 79-82.
Wang C H, Zong Z Q, Li S X, Chen B M. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields[J]. Evir. Sci., 2002, 23(3): 79-83.