

DOI: 10.5846/stxb201301120087

赵佐平, 闫莎, 刘芬, 王小英, 同延安. 陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析. 生态学报, 2014, 34(19): 5642-5649.

Zhao Z P, Yan S, Liu F, Wang X Y, Tong Y A. Analysis of nitrogen inputs and soil nitrogen loading in different kinds of orchards in Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(19): 5642-5649.

陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析

赵佐平^{1,2}, 闫莎², 刘芬¹, 王小英¹, 同延安^{1,*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 陕西理工学院, 汉中 723001)

摘要: 为了研究果园氮素投入特点及分析氮素负荷特征, 加强果园氮素管理、指导果农科学合理施肥。以陕西省果园主要分布区土壤氮素分析、农户投入调查等统计数据为基础, 采用盈余法从果树种类和区域角度分析果园生产体系中的氮素输入输出特点及氮素盈余状况。结果表明, 陕西果园主要分布区平均化肥氮投入量 927.2 kg/hm², 主要来源于尿素和复合肥, 其中尿素占调查样本量的 40% 以上; 通过有机肥投入的氮仅为 139.4 kg/hm²。94.8% 的果园氮素处于盈余, 总体平均盈余量为 876.3 kg/hm², 其中氮盈余量超过 500 kg/hm² 的样本占 57.5%, 盈余量超过 1 000 kg/hm² 的样本亦占了 27.3%。不同果园相比, 猕猴桃园氮素投入及盈余量最高, 分别为 1 432.9、1 186.9 kg/hm²。不同区域果园比较, 土壤氮环境负荷以关中灌区果园较高, 达 1046.1 kg/hm²。果园氮素施用与养分盈余量之间存在极显著的正相关。陕西果园氮素的高量投入给土壤环境带来较大的氮素负荷, 这对土壤环境和周围水体造成很大威胁。

关键词: 果园; 氮素投入; 负荷分析; 氮素盈余; 陕西省

Analysis of nitrogen inputs and soil nitrogen loading in different kinds of orchards in Shaanxi Province

ZHAO Zuoping^{1,2}, YAN Sha², LIU Fen¹, WANG Xiaoying¹, TONG Yan'an^{1,*}

1 College of Natural Resources and Environmental Sciences, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China

2 Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China

Abstract: Accurate information about current soil nutrient concentrations in orchards is necessary for making recommendations about future fertilizer application rates. Additional information is needed about the amount of surplus soil N in the orchards of Shaanxi Province, which is the main apple and kiwi production region in China. Analysis of N inputs and soil N loading is important for N management in orchards. The objective of this study was to quantify both the N application rates and the amount of surplus soil N in orchards in Shaanxi Province. Soil samples were collected from orchards in different parts of Shaanxi Province and then analyzed to determine soil N concentration. Additional information was collected from farmer interviews and an agricultural statistics database. The data was analyzed using the N balance method. The results showed that N fertilizer application rates averaged 927.2 kg N/hm² among the orchards surveyed in this study. More than 40% of the chemical N fertilizer was applied in the form of urea. Manure application accounted for 139.4 kg N/hm². Nearly 95% of the orchards had surplus N, with an average surplus of 876.3 kg N/hm². Nearly, 58% of the orchards had an N surplus of more than 500 kg N/hm². More than 27% of the orchards had an N surplus of more than 1000 kg N/hm². Among the different kinds of orchards, kiwi orchards had the highest N input rate (1432.9 kg N/hm²) and the highest amount of surplus N (1186.9 kg N/hm²). In irrigated areas of central Shaanxi rain-fed region. There was positive correlation between

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103003); 国际植物营养研究所(IPNI)资助

收稿日期: 2013-01-12; **网络出版日期:** 2014-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

the amount of surplus N and the N application rate. High N inputs to orchards in some regions of Shaanxi Province led to very high soil N loading. This will increase environmental risks in the region.

Key Words: Orchard; nitrogen input; nitrogen load; nitrogen surplus; Shaanxi Province

中国作为世界上最大的苹果、猕猴桃生产国和消费国,苹果种植面积和产量均占世界总量的 46% 以上,猕猴桃栽培面积、产量分别占世界的 46.2%、35.7%^[1]。陕西是中国水果生产第一大省,目前苹果和猕猴桃产业发展已经具有很大规模。2011 年陕西苹果种植面积达到 66 万 hm^2 ,苹果产量 960.9 万 t,比 2010 年增长 5.5%,继续稳居全国第一。而陕西省猕猴桃面积已达到 6.06 万 hm^2 ,产量 73.57 万 t,比 2010 年增长 16.9%,成为继苹果之后陕西果业的又一亮点。2011 年陕西果业总产值达约 200 亿元^[2-3]。果业已成为陕西果农经济增收的重要支柱产业。然而由于经济利益的驱动,果农原来粗放式的栽培管理模式逐渐向市场为导向的,以高投入高产出为特征集约化生产方式转变。果农对果园的化肥投入越来越高,特别是氮肥的投入。赵佐平等^[4]通过连续 2a 调查研究指出,近年来陕西苹果纯氮施用量平均达 671 kg/hm^2 ,是苹果树需氮量的近 3 倍。刘建玲等^[5]报道,近些年河北省中南部苹果园氮肥投入量达到 750 kg/hm^2 。寇长林等^[6]研究发现 2003 年山东桃园氮素盈余量已达到了 746 kg/hm^2 。过量氮肥的施用导致大量氮素累积,表观损失量和损失率显著增加,进而导致氮肥利用率下降,农业生产效益降低,而且影响生态环境^[7]。张云贵等^[8]通过长期定位试验研究指出,长期高氮施肥是造成地下水硝酸盐污染的重要原因之一,地下硝态氮的含量与氮肥施用量之间存在正相关,而且氮肥所造成的氮素径流流失是引起水体氮富营养化的重要原因^[9]。吕殿青等^[10]指出,陕西省有些粮食高产区由于过量施氮已在 0—4 m 深的土层中积累了大量 $\text{NO}_3\text{-N}$,并使地下水和地表水受到不同程度污染。同延安等^[11]2004 年在陕西粮食作物氮肥施用调查中指出,由于过量施氮,陕西省每年可能损失的化肥氮为 12.2 万 t,这不仅造成肥料资源浪费,而且大大加剧了该地区环境氮负荷。过量施氮不仅对水果产量没有帮助,反而会导致氮气“天上地下乱蹿”——造成空气中温室气体猛增,并污染土壤、地下水。生产氮肥本

身,也很耗燃料。有研究指出,每生产 1 t 氮,就会有 6 t 二氧化碳作为“附带品”散发出来。这些不仅影响到果园土壤质量提高及果品品质的优劣,对该区域生态环境造成很大压力,同时也影响到陕西果业的可持续发展。果园生产体系氮养分平衡状况及其环境效应已经受到国内外专家广泛关注^[12]。在欧美发达国家,养分平衡状况已成为养分管理和环境政策制定的重要依据^[13]。然而,中国在区域尺度上关于果园生产体系氮素平衡状况及其环境效应的研究报道较少。特别在中国水果生产第一大省陕西报道更少,因此,在该地区开展果园氮素投入特点及氮负荷风险分析对加强区域果园养分管理并减少生态环境压力有重要意义。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

陕西省气候属大陆性季风气候,境内自北向南属于 3 个不同的气候带。陕北北部地区属温带,陕北南部、关中地区属暖温带,秦岭以南属北亚热带。全省平均气温 8—16 $^{\circ}\text{C}$,自北向南渐高;年降水量 275—1274 mm,时空分布极不均匀,自北向南渐多;光能资源丰富,年均日照时数 1 270—2 829 h,属日照条件较好地区;无霜期 140—316 d,自北向南渐长。黄土高原约占土地总面积的 45%,平原约占 19%,秦巴山区约占 36%。全省耕地面积 $4.8 \times 10^6 \text{ hm}^2$,人均耕地 0.12 hm^2 。土壤类型多样,主要为栗钙土、黑垆土、棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土、风沙土、黄绵土、塬土、水稻土、潮土、新积土、沼泽土和盐碱土等。以果树、小麦、玉米、水稻和蔬菜为主要种植作物,其中果树种植面积为 $1.14 \times 10^6 \text{ hm}^2$,约占耕地面积的 23.81%。特别是近些年苹果、猕猴桃种植面积和产量已名列全国首位,陕西也成为中国果品的主要产区。以其为调查区域研究中国北方果园氮素投入特征具有较强的代表性。

1.2 调查内容、分析方法

根据调查县区果园总面积、地形部位确定调查

点数量及分布。由于陕西由北向南特殊的气候环境,决定了陕西果树主产区和高产区主要分布于渭北旱塬和关中灌区地带,因此,在该区确定的调查点约占 95%。调查果树主要为猕猴桃、苹果、葡萄。土样采样深度为 0—60 cm。最后确定的调查采样点总计约 766 个。

调查分别在 2008 年和 2009 年 10—11 月进行,每年调查近 400 户果农。选取陕西苹果主产区具有代表性的合阳、白水、洛川 3 个县及中国猕猴桃之乡、国家农业休闲示范生态基地周至县和眉县为调查对象,葡萄园调查选在扶风县、杨陵区进行。调查内容包括:建园基本情况、果园面积、果树品种、树龄、种植密度、施肥情况及产量、肥料品种、施肥时期、施肥方法、灌水情况等果园基本管理情况。土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法进行分析测定。

1.3 参数选择及计算方法

氮养分平衡指数=氮养分投入量/氮养分吸收量

氮养分平衡的计算:氮素平衡=输入项(化肥氮+有机肥氮+沉降氮)-输出项(收获物带走氮)^[14]

其中多余氮素以氨挥发、反硝化、淋洗损失,或者以不同形态贮存于土壤中。

输入项:化肥氮,依据调查农户施肥包装袋上标识的养分含量计算;有机肥氮,依据调查的实际值,根据《中国有机肥料养分志》^[15]和《中国有机肥料资源》^[16]的参数汇总计算(表 1);沉降氮,按照魏样等^[17-18]在陕西 5 个监测点通过连续 2a 的监测结果得到的大气氮素沉降平均值为 16.95 kg hm⁻² a⁻¹统一估算。

输出项:调查区果树产量、面积按照农户实际调查值和统计年鉴参考数据计算;不同果树吸收氮养分量按照肥料实用手册^[19]与中国肥料实用手册^[20]等参数汇总计算(表 1)。

表 1 各种有机肥氮养分含量和不同果树氮养分吸收量

Table 1 Nitrogen nutrient content of different manures and nitrogen nutrient uptake rate of different fruit trees

有机肥种类 Manure	有机肥氮养分含量 /% Manure N content	果树种类 Fruit trees	100 kg 果实氮养分吸收量 /kg N up take rate of 100 kg fruits
猪粪 Pig manure	0.55	猕猴桃 Kiwifruit	0.54
牛粪 Cattle manure	0.38	苹果树 Apple	0.40
羊圈粪 Sheepfold manure	0.78	葡萄树 Grape	0.39
鸡粪 Chicken manure	1.03	桃树 Peach	0.50
人粪尿 Human excrete	0.64	山楂 Haw	0.50
普通堆肥 Ordinary compost	0.18	板栗树 Chinese Chestnut	0.31
土粪 Miscellaneous	0.15	梨 Pear	0.47

1.4 数据处理与统计方法

采用 Excel 2007 方法进行数据处理和用 DPS 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 果园生产体系氮养分投入状况

2.1.1 氮肥投入总体特征

结合图 1,2 可知,调查区果园氮肥投入水平总体较高,其中化肥氮的投入远高于有机肥氮的投入量。化肥氮投入在 350 kg/hm² 以上的样本为 82.3%;其中施氮量在 500—1 000 kg/hm² 和 1 000 kg/hm² 以上的样本分别为 36.2%、31.2%,施用量分别达到 709.5、1809.4 kg/hm²,平均施氮量为 927.2 kg/hm²。不施化学氮肥的仅占 0.3%。有机肥氮投

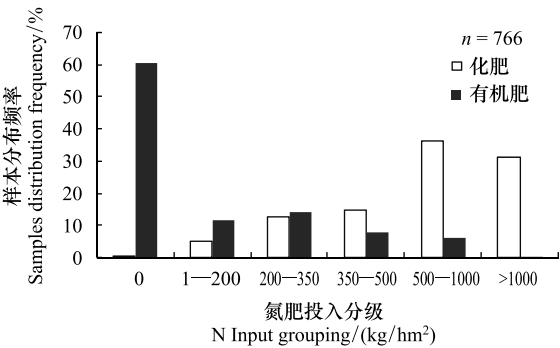


图 1 果园氮肥不同投入分级下样本分布频率

Fig.1 Samples distribution frequency under different input groupings of N in orchard

入相对较低,投入量在 200 kg/hm² 以下的样本达到 71.9%, 350 kg/hm² 以上的样本和施肥量分别为

14.0%、547.6 kg/hm², 平均投入量为 139.4 kg/hm²。不施有机肥的高达 60.5%。由此可知, 陕西调查区果园氮素投入水平总体很高, 化肥氮的投入量远高于有机肥提供的氮。

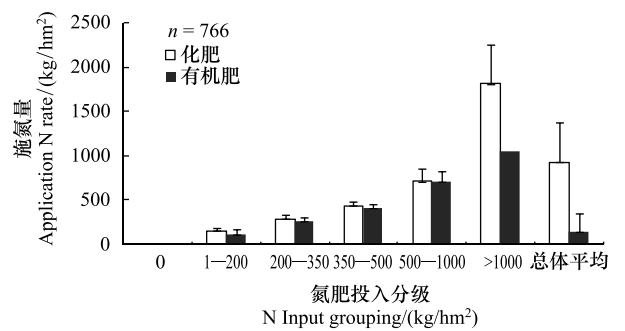


图2 果园氮肥不同投入分级下平均施用量
Fig.2 Application rate under different input groupings of N in orchard

2.1.2 不同果树种类果园氮肥投入特点

由于经济发展水平和果农科技素质以及果树种类都存在较大差异, 肥料投入特点也显著不同。由表 2 可知, 猕猴桃园氮肥投入水平最高, 达到 1 203.8 kg/hm²。其次是苹果园, 投入量 671.7 kg/hm²。葡萄园投入量相对较低, 为 635.2 kg/hm²。猕猴桃园有机肥氮投入水平仍较高, 达 212.1 kg/hm², 苹果园的有机肥氮投入最低, 仅为 32.4 kg/hm²。从连续 2 a 调查数据发现, 调查区果农重氮现象仍严重。同时有机肥投入量逐年减少, 王圣瑞等^[21]通过分析 1994 至 2000 年陕西苹果施肥现状指出陕西苹果园 1994 年有机肥提供的氮磷钾养分占肥料总养分的 51% 下降到 2000 年的 33%。赵佐平等^[4]2012 年报道指出如今陕西渭北苹果园有机肥提供氮素养分仅占 5.54%。该调查研究结果与前人研究结果基本一致, 有机肥投入量呈逐年降低趋势。造成当前现状有两方面的原因: 一方面由于近年来调查区种植绿肥和养殖业的农户逐渐减少, 有机肥源短缺; 另一方面是由于使用有机肥费工费时效果不明显, 导致农民过分依赖化肥, 忽视对有机肥的利用。

由表 2 中标准差值可知, 调查区果园标准差值都很大, 这说明调查区果农间肥料投入差异很大, 特别是氮肥投入很不均衡。这可能与果农传统施肥习惯有关, 施肥过程无科学施肥指导, 同时有相当一部分农民依照经济状况决定施肥量。经济条件好则加大施肥量, 经济条件差则施肥量小, 且果农施肥量与

当年水果的销售价格也有一定关系, 若当年价格好, 来年可能愿意投入, 若当年价格低, 很可能挫伤果农积极性, 来年就会降低肥料投入。

表 2 不同果园氮肥投入特点				
Table 2 Nitrogen fertilizer input status in different orchard				
果园 Orchards	样本数/个 Samples	肥料 Fertilizer	氮肥投入量 N input	
			平均值 Mean /(kg/hm ²)	标准差 Stddev
苹果园	336	化肥氮	671.7	487.6
Apple orchard		有机肥氮	32.4	96.1
猕猴桃园	318	化肥氮	1203.8	638.9
Kiwifruit orchard		有机肥氮	212.1	241.1
葡萄园	112	化肥氮	635.2	385.8
Grape orchard		有机肥氮	85.9	113.7

2.2 果园生产体系氮素负荷状况

2.2.1 调查园总体状况

寇长林等^[6]研究指出, 集约化水平较高的果园种植体系中, 其土壤硝态氮累积随土层深度增加而增加, 特别在氮盈余量超过 500 kg/hm² 以上时, 其高达 60% 以上的硝态氮累积在 90—180 cm 土层, 土体中各层硝态氮含量显著高于上层。因此, 本研究调查结果采用 N 500 kg/hm² 和 N 1 000 kg/hm² 分级来反映土壤氮的环境效应。由表 3 可知, 氮盈余量超过 500 kg/hm² 的样本共 440 个, 占总调查样本量的 57.5%。而盈余量超过 1 000 kg/hm² 的样本占到了 27.3%, 平均盈余量也高达 1 735.8 kg/hm²。调查果园(766 个样本)平均氮盈余量高达 876.3 kg/hm², 而氮养分平衡表现亏缺的样本仅占 5.2%。果园土壤氮养分盈余量越高其土壤氮负荷程度越高, 对果园环境质量的影响越大。

表 3 果园氮养分平衡总体状况				
Table 3 The total nitrogen nutrient surplus status in orchard				
分级 Classification	样本数量 Sample	样本分布频率 Sample distribution Frequency/%	N 盈余量 Surplus amount/ (kg/hm ²)	变异系数 CV /%
<0	40	5.2	- 66.2	74.1
0—500	286	37.3	281.6	45.5
500—1000	231	30.2	704.7	19.9
>1000	209	27.3	1 735.8	33.2
总计 Total	766	100	876.3	81.3

2.2.2 不同果园土壤氮素负荷

从不同果园氮肥投入来看,猕猴桃园化肥氮和有机肥氮施用最高,分别达到 $N\ 1\ 203.8\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $212.1\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。相应地猕猴桃果园的氮养分盈余量较高,为 $N\ 1\ 186.9\ \text{kg}/\text{hm}^2$,而葡萄园和苹果果园氮养分盈余量分别为 $597.4\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $533.9\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。另外,从氮养分平衡指数来看,即果园氮养分投入量与氮养分吸收量之比均在 2.5 以上,猕猴桃园养分平衡指数达到了 5.8 (表 4)。猕猴桃园施氮量及氮养分盈余量高的原因可能是果农误认为猕猴桃养分吸收量大,而王建等^[22]曾在 2008 年报道称,1 a 内 10 年生秦美猕猴桃树总吸收纯氮量仅为 $216.78\ \text{kg}/\text{hm}^2$,相比苹果树年吸收纯氮总量 $172.30\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 、葡萄树年吸收纯氮总量 $97.13\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 要高。但这并不能说,猕猴桃园需过量施肥。张维理等^[9]在北方农

用氮肥造成地下水硝酸盐污染调查研究时指出,凡是年施氮量超过 $500\ \text{kg}/\text{hm}^2$,作物施氮量与吸氮量之比大于 2.5 的地区,地下水硝酸盐含量基本上全部超标。寇长林等^[6]在山东惠民集约化水平较高的果园种植体系中研究发现,该地区土壤硝态氮累积随土层深度增加而增加,特别在氮盈余量超过 $500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上时,其高达 60% 以上的硝态氮累积在 90 cm 土层以下,其平均累积量高达 $976\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。硝酸盐的淋洗也十分严重,土体中下层硝态氮含量显著高于上层。从陕西果园调查情况来看,调查区果园施氮量和养分平衡指数均远高于以上研究结果(表 4),说明陕西省猕猴桃园、苹果园、葡萄园土壤氮素环境负荷量较大,对果园生产体系引起农业面源污染的威胁也很高。

表 4 不同果园土壤氮养分平衡状况

Table 4 Nitrogen nutrient surplus status of different fruit trees

果园 Orchards	样本数/个 Samples	投入 Input/(kg/hm^2)			N 输出 Output		N 盈余量 Surplus amount /(kg/hm^2)	NBI ¹ * 养分 平衡指数 Nutrient balance index
		化肥氮 Chemical N fertilizer	有机肥氮 Manure N	沉降氮 Deposition N	平均产量 Avg. yield /(kg/hm^2)	带走量 Removal /(kg/hm^2)		
苹果园 Apple orchard	336	671.7	32.4	16.95	22814	114.1	533.9	3.8
猕猴桃园 Kiwifruit orchard	318	1203.8	212.1	16.95	39312	212.3	1186.9	5.8
葡萄园 Grape orchard	112	635.2	85.9	16.95	28470	111.0	597.4	5.2

2.2.3 不同区域果园氮养分盈余状况

不同区域果园氮素投入差异造成果园氮养分盈余程度不同。关中灌区氮养分盈余量较高,平均值达到 $1\ 046.1\ \text{kg}/\text{hm}^2$,渭北旱塬相对较低平均为 $706.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。在全部调查果园中,氮养分盈余的样本占 94.8%。说明 2 个区域果园氮养分盈余负荷

都较大。同时由表 5 可知,氮盈余量变化范围很大,说明各农户之间施氮量差异比较大。因此,推荐合理施肥量指导果农施肥对果园管理尤为重要。过量的施肥不仅会引起面源污染,还会对土壤环境构成很大威胁。此现象在关中灌区特别是果园氮素投入极高区应引起关注。

表 5 不同区域果园氮养分盈余情况

Table 5 Nitrogen nutrient surplus status in different regions

区域 Region	氮素分级 Classification/(kg/hm^2)				N 盈余量 Surplus amount /(kg/hm^2)
	<0 样本数/个 Samples	0—500 样本数/个 Samples	500—1000 样本数/个 Samples	>1000 样本数/个 Samples	
渭北旱塬 Weibei rain-fed region	16	132	99	60	706.5 (-95.55—2606.95)
关中灌区 Central Shaanxi irrigation region	24	154	132	149	1046.1 (-158.55—5429.2)

2.3 果园土壤氮素负荷原因及影响

果园土壤氮素负荷程度与氮肥的过量施用是密

切相关的。果园氮盈余量越大,相应其土壤全氮水平越高,二者呈显著正相关。从陕西调查园氮盈余

量与土壤全氮关系来看(图3),调查果园氮盈余量主要集中在200—1 000 kg/hm²之间,土壤全氮主要分布在2.4 g/kg以下,氮盈余量超过500 kg/hm²时,土壤全氮增加程度增大。由此可见,控制氮肥的过量施用,特别是控制化肥氮的大量施用是减轻果园土壤氮负荷压力的必要手段。

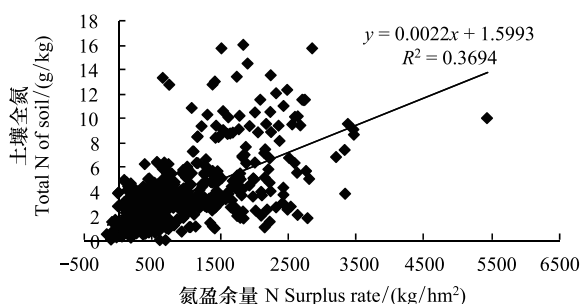


图3 果园氮盈余对土壤全氮影响

Fig.3 Effect of nitrogen nutrient surplus on soil total nitrogen in orchard

2.4 其他管理措施及存在问题

调查区果园,传统的施肥时期和施肥方式还未改变,基肥投入多,追肥少,基肥氮占施氮总量的70.0%以上;彭福田等^[23]研究表明,基追肥比例对果树生产有较大影响,基肥比例过大很难满足果树一年中不同时间段对养分的需求。而调查结果与彭福田等研究结论氮肥的70%应作为追肥施用恰好相反,甚至有相当一部分果园采取“一炮轰”式施肥方式,说明果农的传统施肥习惯还未改变。结合果树生育特点,果农应适当加大追肥力度,避免不追肥或少追肥的习惯。

3 讨论

调查分析结果显示,陕西果园生产体系氮养分盈余及氮素负荷量与施氮肥之间存在显著正相关,氮肥的过量施用是土壤及周边环境氮负荷增加的主要原因。陕西果园不同区域间氮素投入存在差异,但总体上氮素投入量远远高于产出需求量。从调查结果来看,陕西果园氮肥平均投入量为927.2 kg/hm²,高出果树专家^[21,24-25]推荐施氮量的2倍以上,更是高出国外果园氮肥投入量的6—8倍,国外果园氮肥投入一般在100—150 kg/hm²^[26-27]。高氮肥的长期投入势必造成土壤氮环境负荷加大。调查分析得知,氮肥投入水平不仅与果树生产经济效益有很大关系,而且与当地社会、经济发展水平有关。近些

年,陕西猕猴桃的产量、经济收益较高,其氮肥投入水平最高,达到1 203.8 kg/hm²。其次是苹果园,投入量平均为671.7 kg/hm²。关中灌区总体经济发展水平要略高于渭北旱塬,相应地关中灌区果园施氮水平也较高,其氮养分盈余量也较高,平均盈余量达到1 046.1 kg/hm²,渭北旱塬相对较低平均为706.5 kg/hm²。因此,继续推行和加大测土配方施肥的力度,指导果农科学有效地施肥是减轻果园氮素环境负效应的重要手段之一。

同时,果农施肥过程中往往忽略了大气氮沉降及灌水等外来因素带入的环境氮养分。有研究^[27]认为,补偿农田生态系统氮素损失的重要途径之一便是湿沉降,即降水向土壤输入氮。张福锁等^[25]认为,环境中的氮养分是养分资源综合管理中不容忽视的资源。本调查研究结果显示,陕西果园体系氮沉降约占总投入氮量的近2%。忽视了氮沉降这一重要的氮源也是调查区果园氮肥过量施用的原因之一。

蔡泽江等^[28]通过连续18a长期定位田间试验研究表明,长期施用化学氮肥(单施氮肥、氮磷配施和氮磷钾配施)红壤pH值明显下降,其中以单施氮肥降幅最大,18a降低了1.5。Guo J H等^[29]也曾报道,中国大多数农田土壤酸化严重,过去20a氮肥的过量使用,导致中国主要农田土壤pH值下降了0.5。调查区果园氮肥投入量远远超过了蔡泽江试验研究时氮肥用量300 kg/hm²以上,长期高氮施肥,将会加速土壤酸化。另外,土壤盐渍化、地下水硝酸盐污染等污染现状亦是氮素高投入引发的。樊军等^[30]研究表明与粮田相比,果园硝态氮累积严重,累积层在80—160 cm,最高含量达201.9 mg/kg。闫亚舟等^[31]研究表明黄土高原坡地苹果园硝态氮累积深度大于2m,在180—200 cm层最高累积量达249.61 kg/hm²。吕殿青等^[10]研究指出在0—2 m和0—4 m深层内硝态氮累积量在8a以上苹果园分别达1602和3414 kg/hm²。寇长林等^[6]在山东惠民研究结果显示,果园氮盈余超过500 kg/hm²以上时,土壤硝态氮累积随土层深度增加而增加,其高达60%以上的硝态氮累积在90—180 cm土层,平均累积量达到了976 kg/hm²。而调查果园的施氮量平均值远远超过了500 kg/hm²,果园土层中硝态氮累积量可想而知。大量氮素盈余不可避免要造成氮素在土壤中的累积

与损失,当氮肥用量超过一定量时,再继续增加施肥量,不仅产量没有明显增加,而硝态氮残留量却急剧增加。同延安等^[11]研究还发现,由于过量施氮,陕西省每年在粮食作物上可能损失的化肥氮高达 12.2 万 t,这不仅造成肥料资源浪费,而且大大加剧了该地区环境氮负荷。其次,过量施氮不仅对果业产量没有帮助,反而会增加温室气体排放。有研究指出农业中 70% 的温室气体来自于氮肥^[32]。可见,果园生产体系氮养分高盈余量,不仅给果园带来土壤环境氮素高负荷,而且给环境造成极大压力。若任其发展,势必对果园生态环境造成不良影响。

4 结论

1) 陕西省果园氮养分投入以化肥氮为主,总体化肥氮投入水平为 927.2 kg/hm^2 ,有机肥投入量逐年减少。调查区果园氮养分表现亏缺的样本仅占 5.2%,氮盈余量超过 500 kg/hm^2 的样本占调查样本量的 57.5%,而盈余量超过 1000 kg/hm^2 的样本亦占了 27.3%,平均盈余量高达 876.3 kg/hm^2 。

2) 陕西省果园氮养分投入量及盈余量以关中灌区较高。不同果园氮素负荷,猕猴桃果园较高,平均为 1186.9 kg/hm^2 。另外,不同果园氮养分平衡指数均在 2.5 以上,最高的是猕猴桃园,达到 5.8。果园氮养分盈余及负荷与氮肥投入之间均存在极显著正相关。

References:

- [1] Tong Y A. The Fruit Trees Soil Testing and Fertilizer Technology in North China. Beijing: China Agricultural Press, 2011.
- [2] Chinese Ministry of Agriculture. China Agricultural Statistical Report 2011. Beijing: China Agricultural Press, 2011.
- [3] Shaanxi Provincial Bureau Statistics. Shaanxi Statistical Yearbook 2011. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- [4] Zhao Z P, Tong Y A, Liu F, Wang X Y, Zeng Y J. Assessment of current conditions of household fertilization of apples in Weibei Plateau. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(8): 1003-1009.
- [5] 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. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(4): 705-708.
- [6] Kou C L, Ju X T, Zhang F S. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 660-667.
- [7] Tilman D, Fargione J, Wolff B, Carla D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger W H, Simberloff D, Swackhamer D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science, 292(5515): 281-284.
- [8] Zhang Y G, Liu H B, Li Z H, Lin V B, Zhang Y F. Study of nitrate leaching potential from agricultural land in Northern China under long-term fertilization conditions. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(6): 711-716, 736-736.
- [9] Zhang W L, Wu S X, Ji H J, Kolbe H. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating Strategies. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [10] Lü D Q, Tong Y N, Sun B H, Emteryd O. Study on environment pollution affected by nitrogen fertilizer application. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 8-15.
- [11] Tong Y A, Emteryd O, Zhang S L, Liang D L. Evaluation of over-application of nitrogen fertilizer in China's Shaanxi province. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1239-1244.
- [12] Oenema O, Kros H, de Vries W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. European Journal of Agronomy, 2003, 20(1/2): 3-16.
- [13] Ondersteijn C J M, Beldman A G G, Daat selaar C H G, Giesena G W J, Huirne R B M. The dutch mineral accounting system and the European nitrate directive: implications for N and P management and farm performance. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 92(2/3): 283-296.
- [14] Fang Y D, Feng Z M, Hu Y C, Wang L L. Balance of field nitrogen nutrient input/output using GIS technology in China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 35-41, 293-293.
- [15] The National Agricultural Technology Extension Service Center. China Organic Fertilizer Nutrients. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 24-200.
- [16] The National Agricultural Technology Extension Service Center. China Organic Fertilizer Resources. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 44-45.
- [17] Wei Y, Tong Y A, Qiao L, Liu X J, Duan M, Li J. Preliminary estimate of the atmospheric nitrogen deposition in different ecological regions of Shaanxi Province. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(4): 795-800.
- [18] Wei Y, Tong Y A, Duan M, Qiao L, Tian H W, Lei X Y, Ma W J. Atmospheric dry and wet nitrogen deposition in typical agricultural areas of North Shaanxi. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(1): 255-259.
- [19] Gao X Z, Shen T, Zheng Y. Fertilizer Practice Book. Beijing: China Agricultural Press, 2002: 259-265, 386-387.
- [20] China Chemical Industry Management Committee. China Fertilizer Practice Book. Beijing: China and International Broadcasting Video Press, 2006: 824-834.
- [21] Wang S R, Ma W Q, Xu W H, Li Q H, Zhang F S. Evaluation on situation of fertilization for apple in Shaanxi province. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(1): 146-151.
- [22] Wang J, Tong Y A. Study on absorption, utilization and storage of

- nitrogen of kiwifruit tree. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1170-1177.
- [23] Peng F T, Jiang Y M. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(2): 361-367.
- [24] Liu H J, Ju X T, Tong Y A, Zhang F S, Lü J L. The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2002, 20(1): 38-44.
- [25] Zhang F S, Ma W Q, Chen X P. *The Theory and Technology Outline of Nutrient Resources Integrated-Management*. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 1-13.
- [26] Lu S C, Chen Q, Zhang F S, Jia W Z. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen load in orchards of Hebei province. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(5): 858-865.
- [27] Haynes R J. Origin, distribution and cycling of nitrogen in terrestrial ecosystems // Haynes R J, ed. *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System*. New York: Academic Press Inc., 1986: 46-51.
- [28] Cai Z J, Sun N, Wang B R, Xu M G, Huang J, Zhang H M. Effects of long-term fertilization on pH of red soil, crop yields and uptakes of nitrogen, phosphorous and potassium. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 71-78.
- [29] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, Shen J L, Han W X, Zhang W F, Christie P, Goulding K W T, Vitousek P M, Zhang F S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [30] Fan J, Shao M G, Hao M D, Wang Q J. Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 8-12.
- [31] Yan Y Z, Xu F L, Zou C, Wang C. Soil fertility and mineral N accumulation of slope apple orchard on the Loess Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(4): 31-36.
- [32] IPCC. *Climate change 2007: Mitigation of climate change* // Metz B, Davidson O, Bosch P, Dave R, Meyer L, eds. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 2007: 97-115.
- 对地下水硝酸盐含量的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 660-667.
- [8] 张云贵, 刘宏斌, 李志宏, 林葆, 张夫道. 长期施肥条件下华北平原农田硝态氮淋失风险的研究. *植物营养与肥料科学*, 2005, 11(6): 711-716, 736-736.
- [9] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. *中国农业科学*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [10] 吕殿青, 同延安, 孙本华, Emteryd O. 氮肥施用对环境污染影响的研究. *植物营养与肥料科学*, 1998, 4(1): 8-15.
- [11] 同延安, Emteryd O, 张树兰, 梁东丽. 陕西省氮肥过量施用现状评价. *中国农业科学*, 2004, 37(8): 1239-1244.
- [14] 方玉东, 封志明, 胡业翠, 王霖琳. 基于 GIS 技术的中国农田氮素养分收支平衡研究. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 35-41, 293-293.
- [15] 全国农业技术推广服务中心. *中国有机肥料养分志*. 北京: 中国农业出版社, 1999: 24-200.
- [16] 全国农业技术推广中心. *中国有机肥料资源*. 北京: 中国农业出版社, 1999: 44-45.
- [17] 魏样, 同延安, 乔丽, 刘学军, 段敏, 李俊. 陕西省不同生态区大气氮沉降量的初步估算. *农业环境科学学报*, 2010, 29(4): 795-800.
- [18] 魏样, 同延安, 段敏, 乔丽, 田红卫, 雷小鹰, 马文娟. 陕北典型农区大气干湿氮沉降季节变化. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 252-259.
- [19] 高祥照, 申眺, 郑义. *肥料实用手册*. 北京: 中国农业出版社, 2002: 259-265, 386-387.
- [20] 中国化工企业管理协会. *中国肥料实用手册*. 北京: 中国国际广播音像出版社, 2006: 824-834.
- [21] 王圣瑞, 马文奇, 徐文华, 黎青慧, 张福锁. 陕西省苹果施肥状况与评价. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(1): 146-151.
- [22] 王建, 同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究. *植物营养与肥料科学*, 2008, 14(6): 1170-1177.
- [23] 彭福田, 姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究. *中国农业科学*, 2006, 39(2): 361-367.
- [24] 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 张福锁, 吕家珑. 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*, 2002, 20(1): 38-44.
- [25] 张福锁, 马文奇, 陈新平. *养分资源综合管理理论与技术概论*. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 1-13.
- [26] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 贾文竹. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析. *植物营养与肥料科学*, 2008, 14(5): 858-865.
- [28] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 徐明岗, 黄晶, 张会民. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响. *植物营养与肥料科学*, 2011, 17(1): 71-78.
- [30] 樊军, 邵明安, 郝明德, 王全九. 黄土高原塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征. *植物营养与肥料科学*, 2005, 11(1): 8-12.
- [31] 闫亚舟, 徐福利, 邹诚, 万超. 黄土高原坡地苹果园土壤肥力及矿质氮累积分析. *水土保持通报*, 2009, 29(4): 31-36.

参考文献:

- [1] 同延安. 北方果树测土配方施肥技术. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 2011. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [3] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴 2011. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [4] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 王小英, 曾艳娟. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估. *中国农业生态学报*, 2012, 20(8): 1003-1009.
- [5] 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. *园艺学报*, 2006, 33(4): 705-708.
- [6] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其