

富士苹果营养转换期肥料氮去向和土壤氮库盈亏研究

王芬, 田歌, 彭玲, 何流, 刘晓霞, 葛顺峰, 姜远茂

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 运用¹⁵N同位素示踪技术,以5年生烟富3/SH6/平邑甜茶苹果为试材,研究了不同施氮水平(0,50,100,150,200,250 kg/hm²)对营养转换期富士苹果肥料氮吸收利用、土壤残留和土壤氮库盈亏的影响。结果表明,随施氮水平的提高,肥料氮的利用率逐渐下降,且树体吸收土壤氮素的比例逐渐降低,而来自肥料氮的比例逐渐升高;施氮1个月后,5.75%~12.99%的肥料氮被树体吸收,29.62%~39.74%的肥料氮残留在0—60 cm土体中,47.27%~64.64%的肥料氮通过其他途径损失。随施氮水平的提高,树体吸收的肥料氮量和土壤残留氮量逐渐增加,但肥料氮利用率和土壤残留率却不断降低,同时损失量和损失率不断增加。残留在土壤剖面中的肥料氮主要分布在表土层(0—20 cm),各土层¹⁵N丰度随施氮水平的提高显著提高。随施氮水平的提高,土壤氮素总平衡由亏缺转为盈余,表明低施氮水平会造成土壤氮肥力的下降,过量施氮则会加剧土壤氮素累积。施氮水平与土壤氮素总平衡存在较好的正相关关系,其回归方程为 $y=0.3147x-16.144(R^2=0.9902)$,当施氮水平达到51.30 kg/hm²时,土壤氮库达到平衡。

关键词: 苹果; 营养转换期; 氮水平; 氮去向; 土壤氮库盈亏

中图分类号: S143; S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0254-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.040

Study on Fertilizer Nitrogen Fate and Soil Nitrogen Pool Budget During Nutrition Transformation Period of Fuji Apple

WANG Fen, TIAN Ge, PENG Ling, HE Liu, LIU Xiaoxia, GE Shunfeng, JIANG Yuanmao

(State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: The fertilizer nitrogen absorption and utilization, soil nitrogen residue and soil nitrogen pool budget under different nitrogen levels (0, 50, 100, 150, 200, and 250 kg/hm²) were studied using ¹⁵N isotope tracer technique during nutrition transformation period of 5-year-old Fuji Apple. The results showed that with the increasing of nitrogen application, utilization ratio of fertilizer nitrogen decreased gradually, and the percentage of tree nitrogen absorbed from soil nitrogen gradually decreased, but from nitrogen fertilizer increased. After one month of nitrogen application, 5.75%~12.99% of fertilizer nitrogen was absorbed by tree, and 29.62%~39.74% of it remained in 0—60 cm soil, and 47.27%~64.64% of it lost by other means. With the increasing of nitrogen application rate, the amount of fertilizer nitrogen absorbed by tree and soil residual nitrogen increased gradually, but the utilization rate of fertilizer nitrogen and soil residual rate decreased, and meantime, the loss amount and the loss rate of fertilizer nitrogen were both increasing gradually. Residual fertilizer nitrogen in the soil mainly distributed in the topsoil (0—20 cm), and soil ¹⁵N abundance increased significantly with the increasing of nitrogen application. With the increasing of nitrogen application, soil total nitrogen balance changed from deficit to surplus, and this indicated that low nitrogen application rate could lead to the decrease of soil nitrogen fertility, and the excessive application of nitrogen could increase the accumulation of nitrogen. There was a significant positive correlation between soil total nitrogen balance and nitrogen application rate, and the regression equation was $y=0.3147x-16.144(R^2=0.9902)$, soil nitrogen pool reached balance when nitrogen application rate was 51.30 kg/hm².

Keywords: apple; nutrition transformation period; nitrogen level; nitrogen fate; soil nitrogen pool budget

收稿日期: 2017-03-19

资助项目: 国家自然科学基金项目(31501713); 国家重点研发计划资金项目(2016YFD0201100); 国家现代农业产业技术体系建设资金项目(CARS-28)

第一作者: 王芬(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事苹果氮素营养研究。E-mail: 757086004@qq.com

通信作者: 姜远茂(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事果树营养生理和土壤肥力研究。E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

葛顺峰(1985—), 男, 讲师, 主要从事果树营养生理与氮素循环研究。E-mail: geshunfeng210@126.com

苹果作为多年生植物,其体内营养物质的制造、消耗和贮藏有一定的阶段性,也存在着一定的依存关系。早春树体新生器官建造所需营养主要来源于树体的贮藏营养,随着土壤温度的提高和根系吸收能力的不断增强,树体生长所需营养逐渐由依赖贮藏营养向利用当年生营养过渡,根系开始从土壤中大量吸收外源氮素,这个时期为苹果的营养转换期,也叫营养临界期^[1]。此期土壤养分供应状况对于当年苹果产量及翌年花芽质量具有显著影响,如此期土壤养分不足,则会造成贮藏营养枯竭,出现“断粮”现象,不利于坐果和幼果的膨大;如此期土壤养分过量,一方面会出现营养器官旺长,易造成落果和花芽分化差的现象;另一方面过量未被利用的养分也会在土壤中大量累积,易造成深层淋洗和地表径流损失^[2-3]。目前对于这一关键时期的养分管理仍缺乏深入研究,果农主要凭经验和习惯施肥,施肥标准不统一,过量和不足并存,因此研究该阶段合理的施氮水平,对于苹果生产的节氮增效具有重要意义。

施入土壤的氮肥一方面被树体吸收利用,另一方面以各种形态残留在土壤剖面中,成为土壤氮库的一部分来维持土壤肥力,其他的氮素通过氨挥发、硝化-反硝化、淋洗和径流等途径损失至环境中。葛顺峰等^[4]研究表明,2年生苹果园肥料氮的利用率为19.38%~31.28%,土壤残留率为21.50%~29.13%,损失率为39.59%~59.12%;山楠等^[5]在夏玉米上的研究表明,¹⁵N标记肥料氮的利用率为9.01%~67.57%,土壤中¹⁵N残留率和损失率分别为21.40%~40.54%和11.04%~50.45%。合理的氮素管理就是要降低过高、提高过低的氮素利用率,使其保持在合理范围,但是氮素利用率仅是氮肥被树体利用的一个相对概念,很难反映出土壤肥力的变化和环境对氮素的响应,更不能反映出给定系统氮素的输入、输出和盈亏关系^[6]。基于土壤氮素总平衡的原理,巨晓棠^[7]和刘新宇等^[8]研究指出,当施氮量低于植株生长所需氮量时,植株会吸收大量根区土壤氮,有耗竭土壤氮库的风险;而当施氮量高于植株生长所需氮量时,土壤氮库开始出现盈余。因此,氮素用量应控制在既能满足植株生长的总量需求,又能维持和提高土壤肥力,还可以减少肥料氮在土壤中的累积,降低氮素深层污染风险。为此,本文利用¹⁵N同位素示踪技术,以5年生富士苹果树为试材,研究营养转换期不同施氮水平下的基本去向,分析氮素投入与土壤氮库盈亏的关系,以期从土壤氮素平衡角度为苹果营养转换期氮肥的合理施用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

试验于2016年在山东省烟台市莱山镇官庄村果园进行,试验地0—60 cm土层(于5月28日施肥前采集)的基本理化性状见表1。试验期间总降水量为74.41 mm。试材为5年生烟富3/SH6/平邑甜茶苹果,株行距为4 m×1.5 m,2015年秋季苹果采收后(11月5日)株施商品有机肥5.00 kg和复合肥(N—P₂O₅—K₂O=16—14—15)1.00 kg,早春未施肥。选取生长势基本一致,无病虫害的植株21株,其中3株在试验开始前进行解析,测定树体的氮含量,作为基础值;其余18株设6个处理,单株为一次重复,重复3次。于2016年5月28日进行不同施氮水平处理:0,50,100,150,200,250 kg/hm²(以下简称N₀、N₅₀、N₁₀₀、N₁₅₀、N₂₀₀、N₂₅₀),折合每株施尿素(含N 46%)量为0,72.51,145.02,217.53,290.04,362.55 g。施肥方法为距中心干30 cm处挖深和宽均为20 cm的环状沟,在沟内每株按不同比例均匀施入¹⁵N—尿素(上海化工研究院生产,丰度10.16%)0,3.33,6.67,10.00,13.33,16.67 g/株。同时,每株施入硫酸钾(含K₂O 50%)200.00 g,过磷酸钙(含P₂O₅ 14%)357.00 g,施肥后每株立即浇水4 L。于6月30日整株解析取样,同时进行土层取样,在单株所占面积内均匀布设6个采样点,避开施肥沟,以20 cm为1个土层取样,取至60 cm,随后将每层6个土样均匀混合,按四分法取样。

表1 供试土壤基本理化性状

土层 深度/cm	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	容重/ (g·cm ⁻³)
0—20	70.92	33.56	146.63	14.23	1.15
20—40	52.33	18.92	144.56	13.30	1.23
40—60	32.69	16.53	142.03	11.05	1.31

1.2 测定项目与方法

整株样品解析为叶片、果实、多年生枝、一年生枝、中心干、粗根($d > 0.20$ cm)和细根($d \leq 0.20$ cm)。样品按清水、洗涤剂、清水、1%盐酸、3次去离子水顺序冲洗后,在105℃下杀青30 min,随后在80℃下烘干至恒量,电磨粉碎后过60目筛,混匀后装袋备用。植株和土壤的¹⁵N丰度在中国农业科学院原子能研究所用MAT-251质谱仪测定。

1.3 数据处理

树体吸氮量=树体全氮量—树体全氮基础值—
树体吸收的肥料氮量+树体吸收的土壤氮量

树体吸氮量来自肥料氮的百分比:%Ndff=树体
吸收的肥料氮量/树体吸氮量×100%

树体吸氮量来自土壤氮的百分比:%Ndffs=

100% - %Ndff

$$^{15}\text{N 利用率}(\%) = ^{15}\text{N 吸收量} / ^{15}\text{N 施用量} \times 100\%$$

$$^{15}\text{N 残留率}(\%) = \text{土壤中}^{15}\text{N 残留量} / ^{15}\text{N 施用量} \times 100\%$$

$$^{15}\text{N 损失率}(\%) = 100\% - ^{15}\text{N 利用率}(\%) - ^{15}\text{N 残留率}(\%)$$

$$^{15}\text{N 回收率}(\%) = ^{15}\text{N 利用率}(\%) + ^{15}\text{N 残留率}(\%)$$

采用 Excel 2007 进行数据处理,采用 SPSS 数据处理系统单因素试验统计分析方法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下肥料氮在营养转换期的去向

各处理肥料氮在营养转换期的去向均表现为损

失率 > 土壤残留率 > 利用率(表 2)。随施氮水平的提高, 树体吸收肥料氮的量逐渐增加, 且施氮 200 kg/hm² 与 250 kg/hm² 之间无显著性差异; 当施氮水平为 50, 100, 150, 200, 250 kg/hm² 时, 肥料氮利用率分别为 12.99%, 9.02%, 7.37%, 6.83%, 5.75%, 随施氮水平的提高呈下降趋势, N250 处理比 N50 处理下降 7.24 个百分点。施肥 1 个月后, 肥料氮在土壤中的残留量处于较高水平, 且随施氮水平的提高显著增加, 残留率却呈下降趋势, 各处理 0—60 cm 土体肥料氮残留率为 29.62%~39.74%。同时, 随施氮水平的提高, 氮肥损失量和损失率均呈升高趋势, 回收率呈下降趋势。

表 2 肥料氮在营养转换期的去向

处理	树体吸收肥料氮		0—60 cm 残留肥料氮		肥料氮总损失		肥料氮回收率/%
	吸收量/ (kg·hm ⁻²)	利用率/ %	残留量/ (kg·hm ⁻²)	残留率/%	损失量/ (kg·hm ⁻²)	损失率/%	
N50	6.49±0.22d	12.99±0.43a	19.87±1.58e	39.74±3.16a	23.64±1.37e	47.27±2.73d	52.73±2.73a
N100	9.02±0.81c	9.02±0.81b	36.74±0.93d	36.74±0.95ab	56.24±1.08d	54.24±1.08c	45.76±1.08b
N150	11.06±1.56b	7.37±1.04c	51.21±2.01c	34.15±1.34bc	87.73±2.55c	58.48±1.70b	41.52±1.70c
N200	13.66±1.13a	6.83±0.56cd	64.47±2.62b	32.24±1.32cd	121.86±1.71b	60.93±0.85b	39.07±0.85c
N250	14.37±0.70a	5.75±0.28d	74.04±1.30a	29.62±0.52d	161.59±1.05a	64.64±0.42a	35.36±0.42d

注:表中数据为 3 次重复的平均值; 同列不同小写字母分别表示各处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

2.2 不同施氮水平下树体吸收土壤氮和肥料氮比例

树体吸收的氮素主要来源于土壤氮和肥料氮。由图 1 可知, 随施氮水平的提高, 树体吸收的氮素来源于肥料氮的比例明显增加, 土壤氮的贡献率相应减少, 来自土壤氮和肥料氮的比例分别为 54.30%~100% 和 0~45.70%, N250 处理较 N50 处理肥料氮吸收比例提高了 21.51 个百分点。说明在低施氮条件下, 树体主要吸收土壤氮; 随施氮水平的提高, 树体吸收土壤氮的比例逐渐下降, 吸收肥料氮的比例有所上升, 但最高比例仍不足 46%。

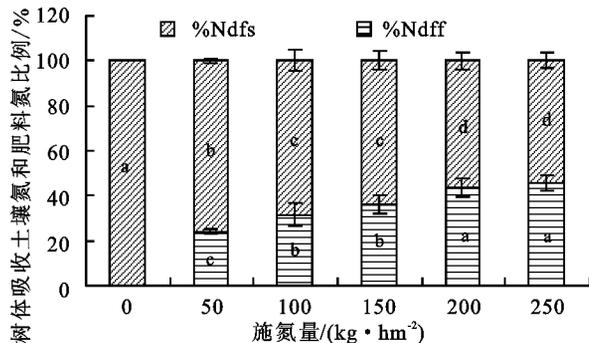


图 1 不同供氮水平下树体吸收土壤氮和肥料氮的比例

2.3 不同施氮水平下 0—60 cm 土层土壤¹⁵N 丰度

不同施氮处理土壤¹⁵N 丰度均随土层加深而逐渐降低(图 2), 0—20 cm 土层¹⁵N 丰度最高, 其次是 20—40, 40—60 cm 最低。各土层内, ¹⁵N 丰度均随氮肥水平提高而提高, N250 处理较 N50 处理¹⁵N 丰度

增幅分别为 85.73% (0—20 cm), 75.75% (20—40 cm), 94.42% (40—60 cm)。

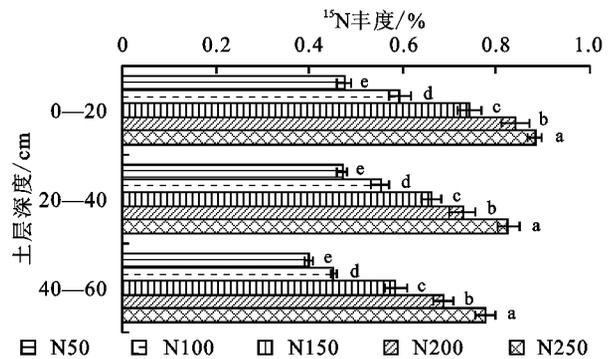


图 2 不同施氮水平下 0—60 cm 土层土壤¹⁵N 丰度

2.4 不同施氮水平下土壤氮素总平衡

树体解析后 0—60 cm 土体氮素总平衡(盈亏)的计算^[9]为: 土壤氮素总平衡(盈亏) = 总输入(肥料氮投入量 + 沉降和灌溉水带入氮) - 总输出(树体吸收肥料氮量 + 树体吸收土壤氮量 + 肥料氮损失量)。如果该平衡是正值, 则表示土壤根区氮素盈余, 如果为负值, 则表示亏缺。由表 3 可见, 随着施氮水平的提高, 土壤氮素输入和输出总量呈显著升高的趋势, 而土壤氮素总平衡由亏缺转为盈余。不施氮肥(N0)处理土壤氮素总平衡表现为亏缺, 亏缺量为 19.76 kg/hm², 表明树体吸收了根层的土壤氮, 造成土壤氮肥力的下降; 当施氮水平高于 50 kg/hm² 时, 土壤氮素总平衡表现为盈余状态, 且盈余量随施氮水平提高而显著提高, 最高盈余量为 58.66 kg/hm²。

表3 不同施氮水平下土壤氮素的总平衡

单位: kg/hm²

处理	土壤氮素总输入			土壤氮素总输出				土壤氮素总平衡
	氮肥投入量	沉降和灌溉水带入氮 ⁽¹⁾	总输入	树体吸收肥料氮量	树体吸收土壤氮量	肥料氮损失量	总输出	
N0	0	1.76	1.76f	0.00e	21.52a	0.00f	21.52f	-19.76
N50	50	1.76	51.76e	6.49d	20.38ab	23.64e	50.51e	1.25
N100	100	1.76	101.76d	9.02c	19.63abc	56.24d	84.89d	16.87
N150	150	1.76	151.76c	11.06b	19.38abc	87.73c	118.17c	33.59
N200	200	1.76	201.76b	13.66a	17.68bc	121.86b	153.20b	48.56
N250	250	1.76	251.76a	14.37a	17.14c	161.59a	193.10a	58.66

注:(1)表示数据来源于文献[10]。

为了研究施氮水平与土壤氮素总平衡的数量关系,以施氮水平为横坐标,以0—60 cm土壤氮素总平衡为纵坐标作图并建立回归方程。由图3可以看出,施氮水平与土壤氮素总平衡存在着较好的正相关关系,达到极显著水平。拟合方程为 $y=0.3147x-16.144$ ($R^2=0.9902$)。在本试验条件下,当施氮水平达到51.30 kg/hm²时,土壤氮库达到平衡。

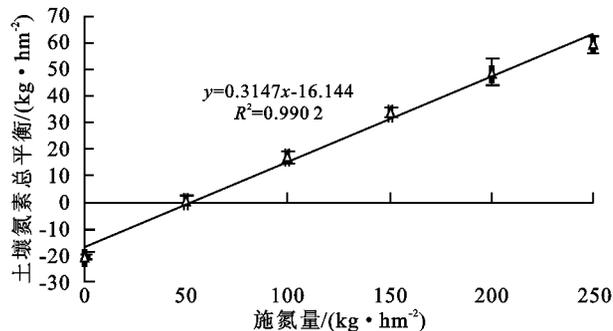


图3 施氮水平与土壤氮素总平衡的关系

3 讨论

植株吸收的氮素主要来源于土壤氮和肥料氮,不同生长时期植株对两者的利用存在差异,如徐明杰等^[11]在夏玉米上的研究表明,成熟期植株吸收的氮来源于土壤氮的比例高于开花期。本研究发现在低氮条件下,苹果营养转换期树体吸收的氮素主要来自于土壤氮;随施氮水平的提高,树体吸收土壤氮的比例逐渐下降,吸收肥料氮的比例有所上升,但最高比例仍不足46%,可见在此营养转换期苹果树体对土壤氮的依赖程度较高。

Ladha等^[12]研究表明,氮肥施入土壤后其利用率仅为30%~50%,且随施肥方式、土壤性状及管理方式差异很大。本研究发现,施肥1个月后,氮肥利用率在5.75%~12.99%之间,显著低于葛顺峰等^[4]在2年生苹果园上的研究结果(利用率为19.38%~31.28%),这主要与本试验周期较短有关;但是与前人研究相一致的是,本研究也发现随施氮水平的提高氮肥利用率呈降低趋势。未被植株吸收的氮素部分会残留在土壤中,朱兆良^[13]总结发现国内当季作物收获时肥料氮残留率一般为15%~30%,而国外一般在12%~44%之间。本试验条件下,0—60 cm土

体肥料氮素残留率为29.62%~39.74%,施氮水平越高残留量越多,但残留率越低。土壤中¹⁵N丰度反映了各土层的肥料氮残留情况,本试验结果显示,当施氮水平高于50 kg/hm²时,氮肥用量增加显著提高了土壤的¹⁵N丰度,且土壤中¹⁵N丰度随土层加深而逐渐降低,0—20 cm土层¹⁵N丰度最高,其次是20—40 cm,40—60 cm最低。另有研究表明,残留在土壤中的氮素作为土壤氮库的补充在后期仍可被植株吸收利用^[14],因此在果树后期管理中要合理调控根层水肥状况,适当减少氮肥施用,挖掘土壤中累积的氮素资源,以期发挥残留氮肥的后效。韦剑锋等^[15]对马铃薯氮素去向的研究表明,氮肥损失量和损失率均随施氮水平的提高而增加。本试验得出相同的结论,且在各施氮水平下氮肥损失量>土壤残留量>肥料利用量。因此如何减少因地表径流、杂草带走、深层渗漏和气态挥发等造成的氮素损失是提高苹果园氮肥利用率的关键。

氮肥的输入补充了土壤氮库,有利于培肥地力,但同时存在着资源浪费和深层累积等问题。倪玉雪等^[16]和汪新颖等^[17]对华北平原冬小麦和夏玉米的研究指出,当氮肥用量超过作物的需求量时,氮素盈余急剧增加。Ju等^[18]对3种重要的集约化种植体系的研究表明,氮素年盈余量与施氮水平呈显著正相关关系。因此在苹果生产中,施用氮肥既要保证树体的生长需求,实现肥料氮的高效利用,又要维持土壤氮库的平衡,减少氮素盈余。本研究表明,施氮水平与土壤氮素总平衡存在极显著正相关关系,当施氮量低于51.30 kg/hm²时,土壤氮素总平衡表现为亏缺,表明树体吸收了大量根区的土壤氮素,造成土壤氮肥力的下降;而当施氮水平高于51.30 kg/hm²时,土壤氮素总平衡表现为盈余。另外,倪玉雪等^[16]还认为在生产中,在达到土壤氮库平衡的同时,施氮量要稍高些,这样会提高土壤剖面氮素的残留量,否则会降低土壤氮肥力。

本试验的土壤肥力按照王海云等^[19]的划分标准为中等肥力水平,而我国两大苹果产区肥力较低的果园还有很大面积,因此不同土壤肥力条件、土壤类型和气候条件下,富士苹果营养转换期适宜的施氮水平

有待进一步研究。

4 结论

(1) 过量施氮是造成氮肥利用率低、损失率高和污染环境的主要原因,因此生产上既要保证较高的氮肥利用率,又要减少氮肥损失而带来的风险。本试验条件下,富士苹果营养转换期不同施氮处理的氮肥利用率为 5.75%~12.99%,残留率为 29.62%~39.74%,损失率为 47.27%~64.64%。

(2) 基于土壤氮素总平衡的方法,本试验条件下富士苹果营养转换期施氮 51.30 kg/hm² 或稍高于此值时,能够维持并提高土壤氮肥力。

参考文献:

- [1] 凌晓明,赵辉. 做好秋季果园管理提高果树贮藏营养[J]. 山西果树,2008(4):29-30.
- [2] 张爱敏,凤舞剑. 苹果树施肥的误区及科学对策[J]. 现代化农业,2016(10):20-23.
- [3] 魏绍冲,姜远茂. 山东省苹果园肥料施用现状调查分析[J]. 山东农业科学,2012,4(2):77-79.
- [4] 葛顺峰,姜远茂,魏绍冲,等. 不同供氮水平下幼龄苹果园氮素去向初探[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):949-955.
- [5] 山楠,杜连凤,毕晓庆,等. 用¹⁵N 肥料标记法研究潮土中玉米氮肥的利用率与去向[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(4):930-936.
- [6] 巨晓棠. 氮肥有效率的 概念及意义:兼论对传统氮肥利用率的理解误区[J]. 土壤学报,2014,51(5):921-933.
- [7] 巨晓棠. 理论施氮水平的改进及验证:兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J]. 土壤学报,2015,52(2):249-261.
- [8] 刘新宇,巨晓棠,张丽娟,等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):296-303.

(上接第 234 页)

- [21] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(11):30-35.
- [22] 白岗栓,邹超煜,杜社妮,等. 聚丙烯酰胺对干旱半干旱区不同作物水分利用及产值的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(23):101-110.
- [23] 杜桂娟,曹敏建,马凤江,等. 沈阳地区 3 种新型复种模式物质生产及资源利用效率分析[J]. 干旱地区农业研

- 究,2012,30(6):38-43.
- [9] 巨晓棠,谷保静. 氮素管理的指标[J]. 土壤学报,2017,54(2):281-296.
- [10] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature,2013,494(7438):459-462.
- [11] 徐明杰,张琳,汪新颖,等. 不同管理方式对夏玉米氮素吸收、分配及去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):36-45.
- [12] Ladha J K, Krupnik T J, Six J. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects[J]. Advances in agronomy,2005,87(1):85-156.
- [13] 朱兆良. 氮素管理与粮食生产和环境[J]. 土壤学报,2002,39(增刊):3-11.
- [14] 王西娜,王朝辉,李华,等. 旱地土壤中残留肥料氮的动向及作物有效性[J]. 土壤学报,2016,53(5):1202-1212.
- [15] 韦剑锋,韦巧云,梁振华,等. 供氮水平对冬马铃薯氮肥利用效率及氮素去向的影响[J]. 土壤通报,2015,46(6):1483-1488.
- [16] 倪玉雪,尹兴,刘新宇,等. 华北平原冬小麦季化肥氮去向及土壤氮库盈亏定量化探索[J]. 生态环境学报,2013,22(3):392-397.
- [17] 汪新颖,彭亚静,王玮,等. 华北平原夏玉米季化肥氮去向及土壤氮库盈亏定量化探索[J]. 生态环境学报,2014,23(10):1610-1615.
- [18] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2009,106(9):3041-3046.
- [19] 王海云,姜远茂,彭福田,等. 胶东苹果园土壤有效养分状况及与产量关系研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2008,39(1):31-38.
- [24] 赵红香,宁堂原,聂良鹏,等. 不同收割高度玉米秸秆产量和营养成分的比较[J]. 中国农业科学,2013,46(20):4354-4361.
- [25] 于杰,郑琛,李发弟,等. 向日葵秸秆与全株玉米混合青贮饲料品质评定[J]. 草业学报,2013,22(5):198-204.
- [26] 郑艳艳,孙兆军,沈振荣,等. 盐碱地补灌膜草覆盖油葵生长效应研究[J]. 农业科学研究,2008,29(1):28-30.