

不同肥力菜地氮肥去向研究

杜连凤^{1,2}, 冀宏杰¹, 张怀志¹, 张认连¹, 张维理¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:采用¹⁵N示踪法和差减法结合,对浙江嘉兴市3种氮素水平菜地-菜稻轮作田、低龄保护地(3 a)和高龄保护地(10 a)的氮肥利用、损失等进行了研究。结果表明,不施肥处理随着土壤氮素水平的增加油菜生物量呈增加趋势。但干重先增加后降低,油菜含氮量随土壤氮素含量的增加和氮肥的施用量呈增加趋势。根据差减法计算的氮肥利用率随土壤氮素含量的增加呈明显降低趋势,相反损失呈明显增加趋势。差减法氮肥利用率为2.3%~14.3%,损失率为23.9%~71.8%。示踪法利用率呈先增加后降低趋势,为14.6%~29.4%。示踪法损失率随土壤氮素水平的提高呈明显增加趋势,为34.5%~61.0%。示踪法和差减法总体趋势一致。

关键词:土壤氮素水平;氮肥利用率;油菜;去向

中图分类号:X522 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0162-05

The Fate of Nitrogen Fertilizer in Three Fertility Level Vegetable Fields

DU Lian-feng^{1,2}, JI Hong-jie¹, ZHANG Huai-zhi¹, ZHANG Ren-lian¹, ZHANG Wei-li¹

(1. Institute of Agriculture Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100081, China; 2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: The fates of nitrogen(N) fertilizer (urea) in three types of vegetable fields with different fertility (mainly nitrogen) levels, including low N level (vegetable and rice rotation field), middle N level (new protected vegetable cultivation field), and high N level (old protected vegetable cultivation field) were studied with the methods of ¹⁵N isotope technique together with different calculation methods in Jiaxing city, Zhejiang province. The results showed that cole fresh yield was increased with soil nitrogen (N) level of three fields with no N application, but the dry yield was increased first and then decreased. The N contents of cole were all increased with soil N level and fertilization. N use efficiency (NUE) calculated by different methods presented downtrend with soil N level, ranging from 2.3% to 14.3%. However, the N loss rates (NLR) increased with soil N level. Tracer method and subtraction method gave similar NUE and NLR.

Keywords: soil N level; N use efficiency; cole; fate of nitrogen

在长江三角洲地区,由于蔬菜种类繁多、轮作类

型多样,而且由于其施肥量大,以及农民施肥习惯不同等原因,不同种植类型和种植年限菜地土壤养分状况尤其是氮素含量大相径庭^[1-2],而土壤氮素状况不同氮肥的转化、迁移以及损失规律也不同,为研究蔬菜栽培中氮素的转化及去向以及对环境的影响带来很大的困难。据报道,由于土壤肥力不同,小麦对氮肥利用率差异很大^[3],但是对于土壤肥力对蔬菜-土壤系统中氮肥利用率的影响报道很少,为了更准确地估计菜地中氮的利用和损失情况,同时监测不同蔬菜种植年限施肥中氮的去向是必不可少。本研究采用常规差减法和示踪技术相结合的方法研究氮肥的去

收稿日期:2009-09-10

基金项目:国家科技支撑计划“耕地质量分区评价与保育技术及指标体系研究”(2006BAD05B03);中德合作项目“中国集约化农业中协调环境保护和生产力提高的创新型氮肥管理技术”(2007DFA30850);科技部“典型污染物在菜地生态系统中累积、转化机理及其对蔬菜品质的影响”(2002CB410806);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2009-7);北京市科技新星计划(B类)(2007B045);北京市农林科学院青年科研基金:设施蔬菜土壤累积硝酸盐的植物修复与施肥调控

作者简介:杜连凤(1976—),女,河北沧州人,副研究员,主要从事施肥与环境方面的研究。E-mail: dulianfeng2002@yahoo.com.cn

通讯作者:张维理 E-mail: wlzhang@caas.net.cn

向,为评价当前蔬菜栽培中氮肥利用率、指导施肥和生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地块基本概况

于 2004 年 10 月 19 日在嘉兴市进行调查并选择试验地块。主要是根据土壤氮素含量情况进行试验

地的选择,使得所选试验地能够代表各类型菜地。在南方水网地区,蔬菜的种植类型除了保护地栽培以外,菜稻轮作是一种常见的蔬菜种植类型,因此根据当地的实际情况选择了一个菜稻轮作和两个种植年限分别为 3 a 和 10 a 的保护菜地,研究菜稻轮作和不同蔬菜种植年限保护地进行蔬菜栽培对土壤氮素去向的影响。试验地情况见表 1。

表 1 试验点情况一览表
Table 1 Basic information of experiment fields

种植类型 Planting type	种菜年限 Planting years	土种类型 Soil type	轮作类型 Cropping type	土壤氮素水平 Soil N level	施肥水平 Fertilization rate/kg · hm ⁻²		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O
菜稻轮作	15	青紫泥	茄子-水稻	低	522.4	229.1	486.6
低龄保护地	3	青紫泥	黄瓜-白菜-辣椒	中	863.1	361.2	902.7
高龄保护地	10	粉泥田	辣椒-白菜-生菜	高	799.4	230.7	276.3

注: * 为 2004/2005 年的情况。* is the status of 2004/2005.

1.2 试验设计

对于每个地块都采用示踪的方法,设计两个处理,分别为 CK(不施肥)、F(单施尿素)。于 2004 年 11 月 12 日进行移栽,移栽前首先取基础土样,然后埋设微区,微区采用 60 cm 见方、高 1 m 的 PVC 桶。微

区内是原状未动土,微区埋好后,将表层土翻匀,挑选大小一致的油菜幼苗进行移栽,11 月 15 日进行施肥。肥料采用¹⁵N 标记尿素,丰度为 10.24%,施肥量为 300 kg · hm⁻²。施肥方法是将肥料溶解于水中,均匀的撒在土壤中。试验开始前土壤的基本理化性状见表 2。

表 2 试验地土壤基本理化性状
Table 2 The basic physical and chemical properties of experiment field soil

种植类型 Planting type	土壤层次 Soil layer/cm	pH (H ₂ O)	有机质 O. M. /%	全氮 Total N/g · kg ⁻¹	硝态氮 NO ₃ ⁻ - N/mg · kg ⁻¹	有效磷 Avail P/mg · kg ⁻¹	有效钾 Avail K/mg · kg ⁻¹
菜稻轮作	0 ~ 20	6.77	1.72	1.18	14.43	19.5	15.7
	20 ~ 40	6.43	1.30	1.42	8.96	14.1	7.9
	40 ~ 60	-	0.51	-	4.86	6.93	3.5
3 a 保护地	0 ~ 20	6.38	3.45	2.82	152.19	45.32	26.4
	20 ~ 40	6.44	2.39	1.82	32.50	30.23	3.4
	40 ~ 60	-	1.21	-	32.84	17.32	3.6
10 a 保护地	0 ~ 20	5.90	4.21	3.23	360.15	140.34	36.3
	20 ~ 40	6.42	2.36	1.52	51.90	20.23	8.9
	40 ~ 60	-	1.02	-	6.86	12.45	7.8

1.3 研究方法

种植前取基础土样,测定项目包括 pH、全氮、NO₃⁻ - N、NH₄⁺ - N、有效磷、有效钾、有机质。于油菜收获时分 5 层取土壤样品(每 20 cm 一个层次),同时取植株样品。土样的测定项目包括全氮、硝氮、铵氮,植物样测定生物量、干重和全氮。植株干重的测定:取地上部植株样品,用清水冲洗干净、晾干,称鲜重。105 ℃ 杀青 10 min 后,在 70 ℃ 烘至恒重。叶片

干样磨碎测定全氮。全氮的测定采用凯氏定氮法测定;¹⁵N 丰度的测定用质谱仪测定。土壤 NO₃⁻ - N 的测定采用 KCl 提取、过滤后紫外分光光度计测定,其他项目按照《土壤农业化学分析方法》进行^[4]。所有测定的数据采用 SAS 统计软件进行统计分析,并按照 Duncan 法进行多重比较。

1.4 计算方法

土壤全氮% Ndff = 土壤中全氮的¹⁵N 原子百分

超/肥料的 ^{15}N 原子百分超 $\times 100$;土壤中来自肥料的全氮量 $\text{Ndff}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) = \text{土壤中全氮含量}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) \times \% \text{Ndff}(\text{全氮})$;氮肥残留率($\%$) = 土壤 $\text{Ndff}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) / \text{氮肥用量}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) \times 100$;植物% Ndff = 植物中的 ^{15}N 原子百分超/肥料的 ^{15}N 原子百分超 $\times 100$;植物 $\text{Ndff}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) = \text{植物}\% \text{Ndff} \times \text{植物吸氮量}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2})$;植物 $\text{Ndfs}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) = \text{植物总氮量}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) - \text{植物 Ndff}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2})$;植物氮肥回收率($\%$) = 植物 $\text{Ndff}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) / \text{氮肥用量}(\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}) \times 100$ 。

注: Ndff : Nitrogen derived from fertilizer; Ndfs : Nitrogen derived from soil。

2 结果与讨论

2.1 不同类型菜地施肥对油菜生物量的影响

从图1看出,不同类型菜地的对照处理相比,菜稻轮作菜地油菜生物量最低。随着土壤肥力水平的提高,生物量呈明显增加的趋势,10 a 保护地对照处理生物量最高。这是由于菜稻轮作栽培中,由于蔬菜茬施肥量较高,在水稻茬一般不施肥料,因此种植水稻后土壤中速效养分降低。试验前菜稻轮作土壤刚刚收获水稻,因此生物量较低。而随着保护地栽培年限的增加,土壤累积的氮、磷等养分逐年增加(见表2),促进蔬菜的生长。而3个施肥处理相比,蔬菜生物量随着土壤氮素水平的提高也呈现增加的趋势。不同类型施肥效果不同,菜稻轮作施肥较对照生物量增加较多,3 a 保护地施肥处理生物量增加较少,10 a 保护地施肥处理生物量却略低于对照处理。菜稻轮作、3 a 保护地和10 a 保护地施肥处理分别比相应对照处理生物量增加了122%、12%和-3%。另外值得指出的是评价施肥效益,蔬菜与粮食作物有所不同,因为菜农进行交易的是新鲜蔬菜,因此评价蔬菜的施肥效益应该以鲜重为主,从本研究来看,蔬菜的鲜重在低氮土壤和中氮土壤上施肥后增产明显,而在高氮

土壤上施肥肥效降低。

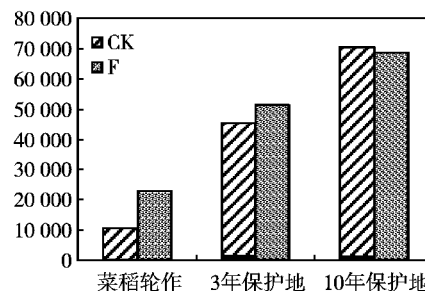


图1 3种类型土壤施肥对油菜生物量的影响

Figure 1 The effect of fertilization on cole yield in three vegetable fields

2.2 不同类型菜地氮肥利用率差异

2.2.1 差减法

从表3看出,3个施肥处理干重均比相应对照处理有所增加,增加幅度随着土壤肥力的提高而降低。随着土壤肥力的提高,3个对照处理含氮量呈明显增加趋势,10 a 保护地和3 a 保护地均比粮田高出55.3%和38.5%;对于同一地块两个处理来说,施肥均增加蔬菜含氮量,但随着土壤氮素水平的提高,增加幅度降低,3个施肥处理分别比相应对照处理增加了38.3%、9.8%和0.8%。这也说明了10 a 保护菜地土壤含有充分的氮素供蔬菜吸收利用。蔬菜吸氮量是蔬菜干物重与蔬菜含氮量综合作用的结果。随着土壤氮素水平的提高,3个对照处理的吸氮量呈先增加后降低趋势。10 a 和3 a 保护菜地对照处理分别比菜稻轮作吸氮量增加了3.6和4.0倍。3个施肥处理随着土壤氮素含量的增加呈现相同的趋势,但是差值较小,10 a、3 a 保护地施肥处理油菜吸氮量分别比菜稻轮作增加了1.7和2.2倍。说明了养分含量越大,施肥的效益越小。菜稻轮作蔬菜栽培中氮肥利用率最高,随着土壤氮素水平的提高呈现明显下降的趋势,菜稻轮作地块中氮肥利用率分别为3 a 和10 a 保护地的4.6倍和6.3倍。

表3 3种类型菜地氮肥利用率差异

Table 3 The difference of NUE of three type of vegetable fields

种植类型 Planting type	干重 dry yield/kg · hm ⁻²		含氮量 N content/%		吸氮量 N uptake/kg · hm ⁻²		氮肥利用率 N use efficiency/%
	CK	F	CK	F	CK	F	-
菜稻轮作	1 028.3	1 667.3	3.4	4.6	34.5	77.4	14.3
3 a 保护地	2 986.9	3 335.8	4.6	5.1	138.8	170.3	10.5
10 a 保护地	2 394.9	2 504.9	5.2	5.3	124.8	131.6	2.3

2.2.2 示踪法

施用标记尿素的处理在不同类型土壤上油菜的丰度差异很大(表 4)。菜稻轮作最高,随着保护地蔬菜种植年限的增加油菜的丰度依次降低。这是由于土壤氮素累积越高,对施入¹⁵N 标记的氮素的稀释程度越大。油菜吸收的肥料氮素的比例 Ndff(%) 值同样是菜稻轮作最高,随着土壤氮素水平的增加而降低。3 a 保护地蔬菜吸收的肥料氮素最多,其次是菜稻轮作,10 a 保护地蔬菜吸收的肥料氮素最少。相

反,蔬菜吸收的土壤氮素 Ndfs(%) 随着土壤氮素水平的提高而增加。3 a 和 10 a 保护地比菜稻轮作分别增加了 35.5% 和 52.3%。根据示踪法计算的氮肥利用率,3 a 保护地最高,10 a 保护地最低。土壤氮素含量过低或过高都影响氮肥的利用率。由于菜稻轮作土壤氮素含量较低,使得该土壤上油菜产量较低,从而导致利用率小于 3 a 保护地土壤。而 10 a 保护地由于土壤中氮素含量太高,对标记氮的稀释较大,引起示踪法利用率较低。

表 4 油菜对氮肥的吸收利用
Table 4 The absorption and utilization of cole on nitrogen fertilizer

种植类型 Planting type	处理 Trent	丰度 Abundance/%	吸氮量 N uptake/kg · hm ⁻²	Ndff/ %	Ndff/ kg · hm ⁻²	Ndfs/ kg · hm ⁻²	Ndfs/ %	利用率 NUE/%
菜稻轮作	CK	0.368	34.5	0	0	34.5	100	—
	¹⁵ F	8.983	77.4	87.26	67.52	9.85	12.7	22.51
3 a 保护地	CK	0.365	138.8	0	0	138.8	100	—
	¹⁵ F	5.488	170.3	51.85	88.29	81.97	48.2	29.43
10 a 保护地	CK	0.370	124.8	0	0	124.8	100	—
	¹⁵ F	3.823	148.5	34.98	43.65	81.14	65.0	14.55

2.3 不同类型菜地氮肥的去向

¹⁵N 丰度在 3 种土壤上随着土层的加深均呈降低的趋势。土壤中来自肥料中的氮 Ndff(%)、Ndff(kg · hm⁻²) 随着土层和种植年限都呈降低的趋势。残留率也是菜稻轮作最高,随着土壤氮素水平的提高而降低。在 3 种土壤上,氮肥主要在表层土壤残留,为总残留的 72% ~ 89% (数据略)。

从蔬菜—土壤系统中的去向来看,规律非常明显(表 5)。随着土壤氮素含量的增加,氮肥在土壤中的残留率明显下降,在菜稻轮作中将近 50% 的肥料仍

然存在土壤中;而氮肥利用率却在 3 a 保护菜地中最高;蔬菜—土壤回收率随着土壤氮素水平的提高呈现下降的趋势,菜稻轮作比 3 a、10 a 保护地分别高出 10.2% 和 26.5%;相反氮肥损失率和损失量随着土壤氮素水平的提高而增加,菜稻轮作由于土壤氮素含量较低,蔬菜吸收的肥料氮素以及在土壤中的残留较高。而其他两个保护地由于土壤氮素含量高可能增加了氮肥的淋溶以及气态损失。10 a 保护地氮肥损失量分别是 3 a 保护地和菜稻轮作的 1.37 倍和 1.77 倍。

表 5 蔬菜—土壤(60 cm 土层)系统中肥料氮的去向(示踪法)
Table 5 The fate of nitrogen fertilizer in vegetable—soil (60 cm depth) system

种植类型 Planting type	土壤残留 N left in soil/%	氮肥利用率 NUE/%	蔬菜—土壤回收率 N recycled of vegetable and soil/%	损失率 N loss rate/%	损失量 N loss /kg · hm ⁻²
菜稻轮作	41.3	22.5	65.5	34.5	103.5
3 a 保护地	25.9	29.4	55.3	44.7	134.0
10 a 保护地	23.7	14.6	39.0	61.0	183.0

3 讨论

计算氮肥利用率有两种方法,即差减法和示踪法,示踪法通过直接测定作物吸收的氮肥的量计算肥料利用率。差减法则通过设对照处理来计算,该法是

建立在假设对照处理和施肥处理吸收的土壤氮素相同,通过差减法计算出肥料的利用率;然而,在试验中,对照处理和施肥处理吸收的土壤氮素不一定相同,当土壤肥力较低时,由于施肥后有激发效应,施肥处理会比对照处理吸收更多的土壤氮素,因此通过差

减法计算而得的利用率比示踪法要高;当土壤氮素含量较高时,土壤含有足够的氮素供植物吸收时,示踪法利用率大于差减法。而在该试验中,与差减法利用率相比,示踪法利用率都较高。这是由于3种土壤上施肥处理蔬菜吸收的土壤氮量都比相应对照处理低,因此差减法小于示踪法。但差减法和示踪法总体规律一致,即土壤氮素含量过高,氮肥利用率降低,损失率增高。

4 结论

(1)对不同类型蔬菜地的研究表明:不施肥处理蔬菜产量、含氮量和吸氮量随着土壤氮素水平的提高而增加,3 a 保护地和10 a 保护地分别比菜稻轮作蔬菜产量增加了3.4倍和5.8倍;含氮量分别增加了38%和55%;吸氮量分别增加了302%和262%。施肥处理蔬菜的产量、含氮量和吸氮量在不同类型菜地也体现了相同的趋势。氮肥利用率随着土壤氮素水平的提高明显降低,菜稻轮作是3 a 和10 a 保护地的1.4和6.3倍。

(2)由于受土壤氮素含量不同的影响,氮肥在土壤中的残留随着土壤氮素水平的提高而减少。氮肥

在土壤-蔬菜体系中的总回收同样随着土壤氮素水平的提高而减少。在土壤氮素含量为 $1 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、施肥量均为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,氮肥总回收率为39.0%~65.5%。而损失率随着土壤氮素水平的提高明显增加,幅度为34.5%~61.0%。差减法和示踪法结果一致(数据略)。

(3)残留在土壤中的肥料氮主要分布在表层,随着土壤深度而减少。约占残留氮70%~90%的在表层累积,10%~20%的残留氮分布在亚表层,约1%~7%的残留氮分布在40~60 cm 土层。

参考文献:

- [1]杜连凤,张维理,武淑霞,等. 长江三角洲地区不同蔬菜种植年限保护菜地土壤质量初探[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1): 133-137.
- [2]杜连凤,张维理,李志宏,等. 长江三角洲地区不同蔬菜种植类型对土壤质量的影响[J]. 农业环境科学学报,2006;25(1):538-542.
- [3]介晓磊,韩燕来,谭金芳,等. 不同肥力和土壤质地条件下麦田氮肥利用率的研究[J]. 作物学报,1998,24(6):884-888.
- [4]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.