

文章编号:1000-8551(2011)06-1300-06

# 利用 $^{15}\text{N}$ 自然丰度法区分有机和常规生产的作物

孟凡乔<sup>1</sup> 诸葛玉平<sup>2</sup> 吴文良<sup>1</sup> 苏志慧<sup>1</sup> 王 会<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100193;2. 山东农业大学资源与环境学院,山东 泰安 271018)

**摘要:**应用 $^{15}\text{N}$ 自然丰度法区分有机和常规生产作物,是近年来国内外氮同位素技术应用研究的热点之一。由于化学合成氮肥和有机肥 $\delta^{15}\text{N}$ 的不同,作物产品中相应的 $\delta^{15}\text{N}$ 也不同,因此利用作物 $\delta^{15}\text{N}$ 判断肥料类型就成为可能。影响作物 $\delta^{15}\text{N}$ 的因素,除氮肥类型外,还包括作物的类型、生长阶段、部位、大气沉降、水分、pH以及土地利用方式等。在利用作物 $^{15}\text{N}$ 自然丰度判断氮肥类型过程中,必须特别注意这些因素的综合影响。目前的研究表明,叶菜类、生长期短的作物,生长过程中吸收的氮来源于肥料氮的比例要高于土壤氮,因而利用 $^{15}\text{N}$ 判断使用化肥或有机肥的准确率较高。有机肥中有效N含量越高,越能显著增加植物中的 $^{15}\text{N}$ 含量。化肥和有机肥生产的植物发生 $\delta^{15}\text{N}$ 值重叠,主要是由于化肥N通过 $\text{NH}_3$ 挥发和反硝化损失进而导致土壤中 $^{15}\text{N}$ 富集,进而在植物中体现出来。对于氮素在土壤和作物系统中的定量分析,有助于利用作物 $^{15}\text{N}$ 判断氮肥类型。

**关键词:** $^{15}\text{N}$ ;有机作物;氮肥;分馏

## IDENTIFICATION OF ORGANICALLY AND CONVENTIONALLY PRODUCED CROPS BY NATURAL $^{15}\text{N}$ ABUNDANCE METHOD

MENG Fan-qiao<sup>1</sup> ZHUGE Yu-ping<sup>2</sup> WU Wen-liang<sup>1</sup> SU Zhi-hui<sup>1</sup> WANG Hui<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** In recent years, the application of natural  $^{15}\text{N}$  abundance, for identification of whether crops have been produced organically or conventionally, has attracted significant interest in China and abroad. Since  $^{15}\text{N}$  in synthetic and organic nitrogen fertilizers are different, the crops produced on the fertilizers have different  $^{15}\text{N}$  levels, which makes identification possible. In addition to nitrogen fertilizer types, crop types, growth stage, sampled part, air nitrogen deposition, water content, pH and land utilization can also influence the fractionation and distribution of  $^{15}\text{N}$  in soil-crop system, which should be considered during identification process. This research indicates that for foliar and short growth stage crops,  $^{15}\text{N}$  identification has higher accuracy than for fruit, root and long growth stage crops. As available nitrogen increases in organic fertilizers, there is a greater possibility of higher  $^{15}\text{N}$  in the plant. Overlapping values between organic and chemical fertilized plants are mainly attributed to  $^{15}\text{N}$  enrichment of N derived from synthetic fertilizer through N loss via  $\text{NH}_3$  volatilization and denitrification. Quantitative mass balance analysis of  $^{15}\text{N}$  within the soil-crop system can improve the efficiency of  $^{15}\text{N}$  identification.

**Key words:**  $^{15}\text{N}$ ; organic crop; nitrogen fertilizer; fractionation

20世纪90年代以来,世界范围内有机农业呈快速发展的态势。瑞士有机农业研究所2011年2月发

收稿日期:2011-03-23 接受日期:2011-05-24

基金项目:国家自然科学基金(30970533)

作者简介:孟凡乔(1969-),男,山东临沭人,博士,副教授,研究方向为土壤有机碳、氮和有机农业。E-mail: mengfq@cau.edu.cn

布的报告显示,2009 年底全球有机生产土地面积(不包括野生采集等)为 37200000hm<sup>2</sup>,比 2008 年增长 7%,其中中国的有机耕地面积为 1850000hm<sup>2</sup>(为 2008 年数据)<sup>[1]</sup>。2005 年 4 月 1 日正式颁布实施的中国《有机产品》国家标准(GB/T 19630-2005)标志着有机农业发展在中国走向正规和法制轨道,有机农业在农业发展中的重要地位越来越得到社会各界的承认<sup>[2]</sup>。过去 10 年间,中国国内有机农业以每年两位数的比例增长,2007 年的有机产品贸易额达到 5 亿美元,其中绝大部分以作物产品为主<sup>[3]</sup>。

随着有机农业的发展,有机产品的溢价和相对较弱的全程质量控制过程,造成部分有机生产者违反有机生产的规定,使用化学农药和化学肥料,引起政府、认证机构和消费者的极大关注。近年来不断出现的中国有机农产品质量和安全问题,更是造成消费者对我国有机农产品的信赖下降<sup>[4]</sup>。人们认识到,辨识有机产品和常规产品,成为有机农业产业链条中亟待解决的问题。氮是作物生产,特别蔬菜生产中需要大量添加的营养元素。2005 年我国氮肥使用量 2621 万 t,约占化肥总量的 50%<sup>[5]</sup>,山东惠民等地区菜农每年的平均氮素投入水平为 664kg·N/hm<sup>2</sup>,其中有机肥料氮素投入只有 42.5kgN/hm<sup>2</sup>,仅占总量的 5.8%<sup>[6]</sup>,因而造成在有机蔬菜生产中很可能施用化学氮肥。这就引发了一个非常有挑战性的问题:在全程质量控制、质量追溯体系(traceability)和常规化学分析等措施的基础上,如何进一步提高辨别有机蔬菜生产中氮素肥料投入类型的准确性,进而辨识有机作物和常规作物?本文在全面总结和回顾国内外应用<sup>15</sup>N 区分有机和常规生产作物研究成果的基础上,着重分析影响植物<sup>15</sup>N 值的生产管理因素及其影响途径,探讨将来研究工作中应特别注意的问题和研究方向。

## 1 利用<sup>15</sup>N 自然丰度法区分有机和常规生产作物的基本原理

20 世纪 70 年代以来,有学者研究发现作物 $\delta^{15}\text{N}$  值(<sup>15</sup>N 的自然丰度)会因肥料类型的不同而产生差异<sup>[7-10]</sup>。Bateman 等人有关有机和常规作物中氮素同位素的研究报告,引发了采用稳定性同位素方法判断有机农产品身份的兴起<sup>[11,12]</sup>。有研究对英国市场上的蔬菜样品进行分析,发现该方法对于西红柿的判别准确度较高,而对于胡萝卜的准确度较低。这是由于土壤类型、空气污染程度、施肥时期、作物品种、肥料类型、前茬施肥乃至灌溉等因素的影响,由于同位素分馏

效应<sup>15</sup>N 进入气体组分,造成了利用<sup>15</sup>N 方法判断氮素来源的不确定性<sup>[13,14,9]</sup>,但这些自然和人为因素到底如何影响<sup>15</sup>N,它们之间的影响机理和程度如何,目前的研究还没有系统的认识。

自然界中 N 的原子形式有 7 种,其中<sup>14</sup>N 和<sup>15</sup>N 是稳定性同位素,大气中<sup>14</sup>N 和<sup>15</sup>N 的自然丰度分别为 99.633% 和 0.365%<sup>[15]</sup>。地球上各类物质内的<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N 值不同,其与大气中<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N 值的差值称为 $\delta^{15}\text{N}$ ,计算公式为 $\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \{ [ (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{样品}} / (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{标准}} ] - 1 \} \times 1000$ 。各类物质在环境迁移转化过程中,发生生物化学或物理化学反应,在这些反应中,<sup>15</sup>N 和<sup>14</sup>N 的反应速率不同,产物和反应物(没有完全消耗的)的 $\delta^{15}\text{N}$ 不同,这就是同位素效应,引起有些物质中<sup>15</sup>N 富集,而有些物质中<sup>15</sup>N 减少, $\delta^{15}\text{N}$  值分别表现为正值或负值。

由于在化工生产中氮的分馏效应非常低,化学合成的氮肥具有稳定的 N 同位素值,即 $\delta^{15}\text{N}$  接近于空气中的 $\delta^{15}\text{N} = 0$ ,一般在 $-1.7\text{‰} \sim +3.9\text{‰}$ 之间<sup>[16]</sup>;而生化反应或者物理化学反应使得氮分馏效应很明显,动物粪便、堆肥、植物秸秆等有机物质的 $\delta^{15}\text{N}$  偏正,如动物粪便的 $\delta^{15}\text{N}$  一般在 $10\text{‰} \sim 20\text{‰}$ 之间<sup>[17]</sup>,土壤有机氮 $\delta^{15}\text{N}$  为 $+4\text{‰} \sim +9\text{‰}$ <sup>[7]</sup>。

在农业生产中,氮肥施用到土壤中以后,主要输出途径包括进入作物、土壤、地下水、大气等,应用人工添加<sup>15</sup>N 或者直接利用样品中<sup>15</sup>N 的自然丰度,可以定量追踪氮的去向。目前,国内外的研究包括利用天然<sup>15</sup>N 或者人工添加<sup>15</sup>N,研究地下/地表水中硝酸盐污染及其来源<sup>[18-22]</sup>,或者以大气沉降(Deposition)的氮素来源<sup>[23-25]</sup>,以及氮素肥料的利用率<sup>[26-28]</sup>,乃至生态系统中动物食性和营养级位置关系<sup>[29-31]</sup>。

## 2 利用<sup>15</sup>N 自然丰度区分有机和常规作物的研究进展

土壤中的氮素分为矿质氮和有机氮,但主要以有机氮的形式存在,占全氮的 90% 以上。研究证明,氮素肥料类型对作物产品的 $\delta^{15}\text{N}$  值有直接影响。Nakano A 等<sup>[10]</sup>对保护地栽培西红柿设置了 3 个处理,即化学基肥、化肥追肥和有机肥料追肥,3 类肥料的 $\delta^{15}\text{N}$  值分别为 $0.85\text{‰} \pm 0.45\text{‰}$ 、 $0.00\text{‰} \pm 0.04\text{‰}$ 和 $8.50\text{‰} \pm 0.71\text{‰}$ ,土壤和作物的 $\delta^{15}\text{N}$  与肥料 $\delta^{15}\text{N}$  具有高度相关性。Yu S I 等<sup>[32]</sup>研究认为,土壤和植株中稳定氮同位素的 $\delta^{15}\text{N}$  能够反映出氮肥来源,有机肥种植的蔬菜 $\delta^{15}\text{N} > +9\text{‰}$ ,而化肥种植的蔬菜 $\delta^{15}\text{N} < +$

1.0‰,但在生长中期改变肥料类型,也能够明显影响整株的 $\delta^{15}\text{N}$ ,其中前期施肥 $\delta^{15}\text{N}$ 的特征反映在外层叶片,后期施肥则反映在内层叶片,因此通过测定白菜中不同层次的叶片能够反映出施肥时间。刘沧琴等<sup>[33]</sup>研究小青菜的氮同位素组成,发现施有机肥和化肥的小青菜 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为+17‰和0‰,施有机肥的 $\delta^{15}\text{N}$ 显著高于化肥,结论认为只有同时分析蔬菜和有机肥的 $\delta^{15}\text{N}$ ,且蔬菜大于有机肥料中的 $\delta^{15}\text{N}$ ,才可以初步判定为有机蔬菜。Lim S S等<sup>[34]</sup>研究表明猪粪和尿素中 $\delta^{15}\text{N}$ 分别是+15.6‰和-2.7‰,而施肥后相应大白菜中的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为+9.4‰~+14.9‰和+3.2‰~+3.3‰,对照中的则为+6.8‰~+7.7‰。

另外,基肥处理由于肥料使用时间早,氨化和反硝化时间长,分馏效应显著,作物中的 $\delta^{15}\text{N}$ 多于追肥处理。但即使是有机肥, $\delta^{15}\text{N}$ 不一定总是高于化肥,比如有动物尿的 $\delta^{15}\text{N}$ 就可能较低<sup>[35]</sup>。研究证明<sup>[13]</sup>,虽然氨态氮肥和硝态氮肥本身 $\delta^{15}\text{N}$ 有差别,对于作物的 $\delta^{15}\text{N}$ 差别不大,对于同样使用铵态氮肥的作物,作物不同部位之间的 $\delta^{15}\text{N}$ 也没有显著差异。但对于使用硝态氮肥的作物,叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 要比根 $\delta^{15}\text{N}$ 高5.8%,原因可能是 $\text{NH}_4^+$ -N直接被根系吸收,而 $\text{NO}_3^-$ -N除了根系吸收外还会被茎吸收,茎吸收导致 $^{15}\text{N}$ 分馏进而产生 $\delta^{15}\text{N}$ 富集。肖敏<sup>[36]</sup>在国家土壤肥力和肥料效益长期监测基地网试验表明,氮磷钾化肥+有机肥处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 最高(7‰),而长期休闲和使用氮磷钾化肥处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 最低(3.8‰)。

### 2.1 作物类型

除了氮肥类型,影响作物中 $^{15}\text{N}$ 含量的因素还包括作物类型、固氮、大气沉降、水分、pH以及土地利用方式等。一般认为,生长期短、叶菜类的作物如夏南瓜、西红柿和花椰菜中的 $\delta^{15}\text{N}$ 更容易受氮肥类型的影响,而生长期长的作物,如玉米、茄子、南瓜和土豆,由于作物利用外源氮肥后,再利用土壤微生物固定的内源氮,产品 $^{15}\text{N}$ 丰度趋于平衡。对于西红柿、莴苣、胡萝卜,前2种作物比胡萝卜需氮量大,有机和常规生产的西红柿和莴苣比胡萝卜的 $\delta^{15}\text{N}$ 含量差异更为明显。固氮植物如大豆,其 $\delta^{15}\text{N}$ 与自身固氮中 $\delta^{15}\text{N}$ 的相近,使用化肥和有机肥时产品间的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异仅为0.1‰<sup>[11, 14]</sup>。

### 2.2 作物生长阶段

Choi W J等<sup>[14]</sup>的研究表明,玉米在生长初期优先吸收外源氮(化肥和有机肥),产品中 $\delta^{15}\text{N}$ 差异大,后期由于氮损失伴随的同位素分馏和对土壤内源氮的吸收, $\delta^{15}\text{N}$ 趋于平衡,差异变小,其试验分别为不施肥料、

尿素、猪粪和猪粪尿素各为50%等4个处理。结果表明,玉米出苗30d后,各处理的 $\delta^{15}\text{N}$ 呈显著性差异,分别是+6.6‰、+1.1‰、+7.7‰和+4.5‰。随着生长期的延长,不施肥料和猪粪处理的玉米 $\delta^{15}\text{N}$ 逐渐减小,而尿素和猪粪尿素各一半处理的玉米 $\delta^{15}\text{N}$ 逐渐增加,到70d时尿素和猪粪尿处理玉米的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异变小,但施用猪粪的玉米 $\delta^{15}\text{N}$ 仍显著高于尿素处理。因此,利用 $^{15}\text{N}$ 区分肥料对于生长期较短的作物更适合。

### 2.3 作物不同部位

作物吸收的氮在植株内发生转移、分馏和存储,不同部位中的 $\delta^{15}\text{N}$ 含量不同。Del Amor F等<sup>[37]</sup>研究发现,相同肥料处理条件下,植物中生物活性高的部位 $\delta^{15}\text{N}$ 高,表现为新叶(+10.18‰,均值,下同)>茎(+9.99‰)>老叶(+9.1‰)>果(+7.55‰)>根(+5.95‰)。Choi W J等<sup>[14]</sup>研究认为,生长70d的玉米茎中含有更高的 $\delta^{15}\text{N}$ ,不同施肥处理间根和茎间的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异不显著;但对于叶片和玉米粒来说,猪粪处理明显高于尿素处理( $P < 0.05$ ),而且总植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 与根、茎、叶及粒间 $\delta^{15}\text{N}$ 有明显差异。Nakano A等<sup>[10]</sup>研究2种化学肥料和1种有机肥料对西红柿中 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响,发现有机肥处理中,西红柿果实 $\delta^{15}\text{N}$ 比茎叶高(富集 $^{15}\text{N}$ ),而化肥处理的西红柿果实 $\delta^{15}\text{N}$ 比茎叶低或者相当。

### 2.4 外源氮的影响

在利用 $\delta^{15}\text{N}$ 判断氮肥类型的过程中,不能忽视氮肥以外途径输入氮的影响,包括大气沉降、土壤中原有的氮以及氮素反硝化等过程<sup>[25]</sup>。Choi W J等<sup>[9]</sup>发现,氮肥使用后随着时间的延长,土壤本身的氮向作物的输入使得2个处理作物中 $\delta^{15}\text{N}$ 的差别越来越小,主要原因就是土壤中的氮是有机和无机氮的混合,以及氮素在作物中的迁移转化等过程中的氮分馏效应。研究还发现,2mol/L KCl提取的土壤 $\text{NH}_4^+$ -N和 $\text{NO}_3^-$ -N的 $\delta^{15}\text{N}$ 与肥料处理没有明显的相关性,主要是由于氮素的反硝化引起的氮素丢失,而且尿素反硝化引起的氮素丢失比猪粪堆肥处理更大。Lim S S等<sup>[34]</sup>发现,因为液态猪粪中有效N含量较高,植物更容易吸收,从而导致更多N损失引起土壤中富集 $^{15}\text{N}$ ,液态猪粪比固态有机肥更能增加植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 。对于固氮作用,Shearer G等<sup>[38]</sup>在利用 $^{15}\text{N}$ 方法研究固氮的综述中,认为在自然和农业环境下可以利用该方法研究空气氮对于植物氮的贡献。综述还认为,生物固定的氮对植物的有效性远高于对土壤的有效性。

### 2.5 水分和pH的影响

由于水分、pH引起的土壤条件不同进而引起氮

化、硝化和反硝化作用差异,是引起反应产物<sup>15</sup>N 不同的主要原因。硝化作用是引起好氧状态的土壤中残留  $\text{NH}_4^+$  富集<sup>15</sup>N 的主要原因,而在厌氧状态的土壤中,由于反硝化作用,残留的  $\text{NO}_3^-$  富集<sup>15</sup>N。Choi W J 等<sup>[9]</sup> 对不同水分条件下堆肥和硫酸铵对土壤  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  中  $\delta^{15}\text{N}$  的影响进行了研究,发现硝化作用和反硝化作用引起的  $\delta^{15}\text{N}$  增加或降低与土壤水分有着非常密切的关系。动物粪便等由于氨的挥发,使贫<sup>15</sup>N 的  $\text{NH}_3$  优先挥发后留下富<sup>15</sup>N 的  $\text{NH}_4^+$ ,再硝化形成富<sup>15</sup>N 的  $\text{NO}_3^-$ <sup>[39,40]</sup>。

## 2.6 土壤微生物的影响

土壤氮循环过程中,微生物起着十分重要的作用。在微生物驱动的氮循环各个过程中,有不同的同位素分馏特征,生物固氮、土壤有机氮矿化过程中分馏效应小,而吸收同化、硝化和反硝化过程中同位素分馏较大<sup>[41]</sup>。在使用氮肥的土壤中,硝化作用使土壤中残余的铵态氮富集<sup>15</sup>N,其分馏系数在  $-29\% \sim -12\%$  之间<sup>[42]</sup>。对油田水的研究发现, $\text{NO}_3^-$  中的  $\delta^{15}\text{N}$  比  $\text{NH}_4^+$  的  $\delta^{15}\text{N}$  高 10% 以上,可能是由于微生物优先利用水中较轻的同位素<sup>14</sup>N,从而使水中更富集<sup>15</sup>N<sup>[43]</sup>。影响土壤微生物状况的因素主要是 pH 和水分状况,因此研究土壤中的稳定性氮,必须将这 2 个因素考虑在内。微生物将氮气还原成氨气、氨氮或任何有机氮化合物,同位素分馏系数小,而土壤中的<sup>15</sup>N 丰度通常大于大气  $\text{N}_2$  的<sup>15</sup>N,因而主要依靠土壤中氮素的植物,其<sup>15</sup>N 丰度一般大于通过固氮作用从大气获得氮素的植物<sup>[44]</sup>,同样道理,生长在人为干扰地区的植物较无干扰地区的植物有较高的  $\delta^{15}\text{N}$  值。

## 2.7 土地利用类型的影响

土地利用类型也是引起作物和土壤  $\delta^{15}\text{N}$  差异的原因之一。Oelbermann M 等<sup>[45]</sup> 对 19 年和 10 年的热带农业森林系统的碳氮同位素值进行了研究,发现 19 年的森林系统比 10 年的更富集<sup>15</sup>N,使用粪便增加了 19 年土壤的<sup>15</sup>N,但在 10 年的系统中由于固氮作物引起了<sup>15</sup>N 减少。早在 20 世纪 70 年代,Kohl D H 等<sup>[7]</sup> 在研究中就发现,可能由于激发效应(priming effect)使得土壤释放原有的氮素,或者由于将土壤中原有的氮素交换出来,春天使用的氮肥(448kg/hm<sup>2</sup>)会在秋天的土壤剖面中表现为  $\text{NO}_3^-$  中  $\delta^{15}\text{N}$  增加。

## 3 利用<sup>15</sup>N 自然丰度区分不同肥料生产作物应注意的问题

利用作物<sup>15</sup>N 判断氮素肥料类型的研究,需要特

别考虑土壤条件、作物茬口和类型、需肥特点、空气污染程度、栽培措施等多种因素,否则会得到错误的结论。如袁玉伟等<sup>[46]</sup> 在黄瓜上的试验研究表明,由于前茬作物使用有机肥较高,影响了黄瓜对外源化肥氮的吸收,从而造成有机肥和化肥判别上的困难。氮素的分馏主要是供氮和作物吸收存在的数量差造成的,如果外源氮全部被植物吸收时,则植物体内的  $\delta^{15}\text{N}$  与氮源的就一致,此时植物体内的与肥料中的  $\delta^{15}\text{N}$  呈正相关。Evans R D<sup>[47]</sup> 认为整株植物与叶片内氮同位素的组成和分馏受外源氮<sup>15</sup>N 丰度和生理机制的影响,当植物氮需求超过氮供应量时,整株的  $\delta^{15}\text{N}$  与氮源的  $\delta^{15}\text{N}$  呈正相关;而氮同位素在其体内的分布、吸收和损失则受多种同化作用的影响。Camín F 等<sup>[48]</sup> 研究认为,水果中  $\delta^{15}\text{N}$ 、Vc 和总固形物在有机和常规种植间存在明显差异,但是很难确定一个典型数值来区分二者的差异,需要进一步研究水果类型、栽培方式、年份和生产地域等因素。Sturm M 等<sup>[49]</sup> 研究认为,当单独使用一种肥料时,不同肥料种植的蔬菜其  $\delta^{15}\text{N}$  有所不同,可以将  $\delta^{15}\text{N}$  作为大概标识物来反映氮肥来源;但追施肥或几种肥料配施,则对蔬菜中  $\delta^{15}\text{N}$  的影响更为复杂。目前可以得到的初步结论是,对于某种作物是否使用化学合成的肥料,同位素分析能够提供很好的证据,但这种证据不能 100% 有效。

## 4 研究展望

鉴于影响作物吸收<sup>15</sup>N 的复杂性,Robinson D<sup>[50]</sup> 等提出的质量平衡模型给人们一个启示:根据<sup>15</sup>N 的质量守恒定律,在尽可能全面分析各个组分<sup>15</sup>N 比例和 N 总量的基础上,分析同位素分馏效应以及其他因素对于<sup>15</sup>N 迁移的影响(同位素分馏引起的<sup>15</sup>N 在不同组分间复杂的迁移转化肯定造成 N 辨识的错误),从而为氮素作为营养元素和重要环境影响因子的研究提供重要的技术支持。因此,在今后的研究中,需要对不同类型肥料(化肥和有机肥)进入土壤后,在不同水分、作物等条件下,<sup>15</sup>N 在氨化、硝化、反硝化以及吸收利用等过程中的定量特征进行重点研究,才能为利用<sup>15</sup>N 区分有机或常规生产的作物提供准确和全面的证据。对于氮素循环来说,其更重要的意义在于明确氮素在土壤-作物系统中,通过利用吸收、挥发、淋失以及硝化-反硝化等过程的定量转化规律,进而提高氮素利用效率、降低氮素污染、保护大气和水体质量。

### 参考文献:

[1] Willer H, Kilcher L. The world of organic agriculture. statistics and

- emerging trends 2011 [R]. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), Bonn, and Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, 2011
- [ 2 ] IFAD. Organic agriculture and poverty reduction in asia: china and india focus[R]. No. 1664, 2005.
- [ 3 ] Xu Freddie. China organic products shanghai organic retail market profile [R]. USDA Foreign Agriculture Service, GAIN report; CH8821, 2008
- [ 4 ] ABC News. I-Team; Organic food contamination. <http://www.wjla.com/news/stories/0708/538424.html>, 2008, [ Feb 28, 2009 ]
- [ 5 ] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京:农业出版社, 2006
- [ 6 ] 李冬初. 应用 NUTMON 方法评价华北平原典型集约小农户体系的养分循环和经济状况[D]. 北京:中国农业大学硕士论文, 2006
- [ 7 ] Kohl D H, Shearer G, Commoner B. Variation in  $^{15}\text{N}$  in maize and soil following application of fertilizer nitrogen[J]. Soil Science of Society of American Proc, 1973, 37: 888 - 892
- [ 8 ] Yoneyama T, Muraoka T, Murakami T, Boonkerd N. Natural abundance of  $^{15}\text{N}$  in tropical plants with emphasis on tree legumes [J]. Plant and Soil, 1993, 153: 295 - 304
- [ 9 ] Choi W J, Ro H M, Lee S M. Natural  $^{15}\text{N}$  abundances of inorganic nitrogen in soil treated with fertilizer and compost under changing soil moisture regimes[J]. Soil Biology and Biochemistry. 2003, 35 (10): 1289 - 1298
- [ 10 ] Nakano A, Uehara Y, Yamauchi A. Effect of organic and inorganic fertigation on yields,  $\delta^{15}\text{N}$  values, and  $\delta^{13}\text{C}$  values of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Saturn) [J]. Plant and Soil, 2003, 255(1): 343 - 349
- [ 11 ] Bateman A S, Kelly S D, Jickells T D. Nitrogen isotope relationships between crops and fertilizer; implications for using nitrogen isotope analysis as an indicator of agricultural regime [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 5760 - 5765
- [ 12 ] Bateman A S, Kelly Simon D, Woolfe M. Nitrogen Isotope Composition of Organically and Conventionally Grown Crops [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 2664 - 2670
- [ 13 ] Evans R D, Bloom A J, Sukrapanna S S, Ehleringer J. R. Nitrogen isotope composition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. T - 5) grown under ammonium or nitrate nutrition [J]. Plant, Cell Environment, 1996, 19: 1317 - 1323
- [ 14 ] Choi W J, Lee S M, Ro H M, Kim K C, Yoo S. H. Natural  $^{15}\text{N}$  abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure[J]. Plant and Soil, 2002, 245: 223 - 232
- [ 15 ] 罗绪强,王世杰,刘秀明. 稳定氮同位素在环境污染失踪中的应用进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3): 691 - 695
- [ 16 ] Vitoria L, Otero N, Soler A, Canals A. Fertilizer characterization; isotopic data (N, S, O, C, and Sr) [J]. Environmental Science and Technology, 2004, 38: 3254 - 3262
- [ 17 ] Bedard-Haughn A, van Groenigen J W, van Kessel C. Tracing  $^{15}\text{N}$  through landscapes: potential uses and precautions [J]. Journal of Hydrology, 2003, 272: 175 - 190
- [ 18 ] 王东升. 氮同位素 ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) 在地下水氮污染研究中的应用基础[J]. 地球学报, 1997, 18(2): 220 - 223
- [ 19 ] 熊正琴,邢光熹,沈光裕,孙德玲. 太湖地区湖、河和井水中氮污染状况的研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(2): 29 - 33
- [ 20 ] 张翠云,张 胜,李政红,刘少玉. 利用氮同位素技术识别石家庄市地下水硝酸盐污染源[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2): 183 - 191.
- [ 21 ] 蔡德陵,李红燕,周卫建,刘卫国,曹蕴宁. 无定河流域碳氮稳定同位素研究[J]. 地球化学, 2004, 33(6): 619 - 626
- [ 22 ] Russow R, Boehme F. Determination of the total nitrogen deposition by the  $^{15}\text{N}$  isotope dilution method and problems in extrapolating results to field scale[J]. Geoderma, 2005, 127: 62 - 70.
- [ 23 ] 肖化云,刘丛强,李思亮. 贵阳地区夏季雨水硫和氮同位素地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 248 - 254
- [ 24 ] 刘卫国,王 政. 黄土高原现代植物 - 土壤氮同位素组成及对环境变化的相应[J]. 科学通报, 2008, 53(23): 2917 - 2924
- [ 25 ] Zhang Y, Liu X J, Fangmeier A, Gouling K T W, Zhang F S. Nitrogen inputs and isotopes in precipitation in the North China Plain [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42: 1436 - 1448
- [ 26 ] 朱兆良. 中国土壤的氮肥利用与农业中的氮素管理. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社, 1998: 160 - 211
- [ 27 ] 党廷辉,蔡贵信,郭胜利,郝明德,王百群. 用 $^{15}\text{N}$  标记肥料研究旱地冬小麦氮肥利用率与趋向[J]. 核农学报, 2003, 17(4): 280 - 285
- [ 28 ] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,张福锁. 北京郊区冬小麦/夏玉米轮作体系中氮肥去向研究[J]. 植物应用与肥料学报, 2003, 3: 264 - 270
- [ 29 ] 易现峰,张晓爱. 稳定性同位素技术在生态学上的应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24(3): 306 - 314
- [ 30 ] 郭波莉,魏益民,潘家荣,李 勇. 碳、氮同位素在牛肉产地溯源中的应用研究[J]. 中国农业科学. 2007, 40(2): 365 - 372
- [ 31 ] 曾庆飞,孔繁翔,张恩楼,谭 啸. 利用稳定同位素技术研究外源物质输入对太湖微食物链的贡献[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1670 - 1674
- [ 32 ] Yun S I, Ro H M, Choi W J, Chang S X. Interactive effects of N fertilizer source and timing of fertilization leave specific N isotopic signatures in Chinese cabbage and soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1682 - 1689
- [ 33 ] 劉滄琴,彭宗仁,吳昇鴻,等. 分析植體氮同位素組成鑑別有機蔬菜之初步評估[J]. 臺灣農業研究, 2009, 53(3): 169 - 175
- [ 34 ] Lim S S, Choi W J, Kwak J H, Jung J W, Chang S X, Kim H Y, Yoon K S, Choi S M. Nitrogen and carbon isotope responses of Chinese cabbage and chrysanthemum to the application of liquid pig manure[J]. Plant and Soil, 2007, 295: 67 - 77
- [ 35 ] Steele K W. Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variations in the natural abundance of  $\delta^{15}\text{N}$  for tracer studies [J]. Journal of Agricultural Science, 1977, 90: 7 - 9
- [ 36 ] 肖敏. 长期施肥对土壤碳氮储量及氮素矿化动力学的影响 [D]. 北京:中国农业大学硕士论文, 2006
- [ 37 ] Del Amor F M, Navarro J, Aparicio P M. Isotopic Discrimination as a tool for organic farming certification in Sweet Pepper [J]. Journal

- of Environmental Quality, 2008, 37:182-185
- [38] Shearer G, Kohl D H. Natural  $^{15}\text{N}$  abundance as a method of estimating the contribution of biologically fixed nitrogen to  $\text{N}_2$ -fixing systems: Potential for non-legumes[J]. Plant and Soil, 1988, 110: 317-327
- [39] Aranibar J N, Otter L Macko S A, Feral C J W, Epstein H E. Nitrogen cycling in the soil-plant system along a precipitation gradient in the Kalahari sands[J]. Global Change Biology, 2004, 10(3): 359-373
- [40] Yasmin K, Kadisch G, Baggs E M. Comparing  $^{15}\text{N}$ -labelling techniques for enriching above and below-ground components of the plant-soil system[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006,38: 397-400
- [41] 李思亮,刘丛强,肖化云. 地表环境氮循环过程中微生物作用及其同位素分馏研究综述[J]. 地质地球化学, 2002, 30(4): 40-45
- [42] Feigin A, Sheare G, Kohl D H. The amount and nitrogen-15 content of nitrate in soil profiles from two central Illinois fields in a corn-soybean rotation[J]. Soil Science of Society of America, 1974. 38: 465-471
- [43] 陈传平,梅博文. 地层水中无机化合物氮同位素测定方法初步研究[J]. 石油天然气学报. 2005,27(4): 433-434
- [44] 苏波,韩兴国,黄建辉.  $^{15}\text{N}$  自然丰度法在生态系统氮素循环研究中的应用[J]. 生态学报,1999,19(3): 408-416
- [45] Oelbermann M, Voroney R P, Kass D C L, Schloenvoigt A M. Soil carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19-and 10-year-old tropical agroforestry systems[J]. Geoderma, 2006, 130: 356-367
- [46] 袁玉伟,张志恒,赵明,徐明飞,杨桂玲,郑纪慈,王强. 施肥对土壤及黄瓜中稳定性氮同位素丰度的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(1): 108-113
- [47] Evans R D, Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition[J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(3): 121-126
- [48] Camin F, Perini M, Bontempo L, Fabroni S, Faedi W, Magnani S, Baruzzi G, Bonoli M, Tabilio M R, Musmeci S. Potential isotopic and chemical markers for characterising organic fruits[J]. Food Chemistry, 2011, 125: 1072-1082
- [49] Sturm M, Kacjan-Mar I N, Lojen S. Can  $\delta^{15}\text{N}$  in lettuce tissues reveal the use of synthetic nitrogen fertiliser in organic production? [J]. J. Sci. Food Agric, 2011, 91: 262-267
- [50] Robinson D.  $\delta^{15}\text{N}$  as an integrator of the nitrogen cycle[J]. Trends in Ecology Evolution, 2001, 16: 153-162

(责任编辑 邱爱枝)



## 《核农学报》2012 年版面费调整通知

《核农学报》编辑部决定,自 2012 年 1 月 1 日开始,对 2012 投稿并录用后的稿件版面费由原来的 210 元/版增加到 300 元/版。支付方式仍然采用银行电汇和邮局汇款。银行帐号:北京,农业银行海淀支行营业室,050101040010253;户名:中国农业科学院原子能利用研究所;邮寄地址:北京 5109 信箱《核农学报》编辑部,邮政编码:100193。