

应用稳定同位素分析北京地区有机蔬菜和土壤氮素特征

李光德¹, 秦凤琴², 诸葛玉平¹, 李雪倩³, 孟凡乔^{3*}, 吴文良³, 郭岩彬³

(1.山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2.中国农业大学理学院, 北京 100193; 3.中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:与常规农业不同,有机农业生产中禁止使用化学合成氮肥,因而有机和常规农业生产模式下作物产品中¹⁵N丰度即 $\delta^{15}\text{N}$ 存在差异,可以据此区分有机和常规农产品。选择北京郊区5个有机和1个常规蔬菜生产基地,对蔬菜及土壤取样,对其 $\delta^{15}\text{N}$ 进行测定,分析有机和常规生产条件下蔬菜及土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 的特征。结果表明,随着有机生产时间和有机肥N投入的增加,土壤全N和 $\delta^{15}\text{N}$ 都呈现增加的趋势,且当季作物对于肥料的 $\delta^{15}\text{N}$ 反映敏感。蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与蔬菜全N、与土壤 $\delta^{15}\text{N}$,土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全N之间可以用直线回归方程拟合,且都达到极显著水平的相关程度。在北京地区,¹⁵N测试能够对番茄的化学氮肥使用进行准确判断,而对于芹菜没有准确判断出其生产过程使用了化学氮肥。对于北京地区有机蔬菜,95%概率条件下可以认为有机叶菜、根菜和果菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值应分别大于7.55‰、7.64‰和5.42‰。 $\delta^{15}\text{N}$ 值可以作为蔬菜是否使用化学N肥的“有效工具”,但不能作为唯一手段,还应该结合蔬菜生产过程的档案信息、现场检查等其他措施,综合进行判定。

关键词:北京;有机农业;蔬菜; $\delta^{15}\text{N}$;化学合成氮肥

中图分类号:S151.9 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)08-1602-07 doi:10.11654/jaes.2013.08.017

Identification of Nitrogen Isotope for Organic Vegetables and Soils in Beijing, China

LI Guang-de¹, QIN Feng-qin², ZHUGE Yu-ping¹, LI Xue-qian³, MENG Fan-qiao^{3*}, WU Wen-liang³, GUO Yan-bin³

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2.College of Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3.College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Organic vegetable production prohibits the use of synthetic nitrogen(N) fertilizer and this leads to the differences on $\delta^{15}\text{N}$ for vegetable and soil from organic farm, which can be utilized as the approach to identify organic vegetable from conventional products. We selected 5 organic and 1 conventional vegetable bases from Beijing suburb and sampled their soil and vegetables for the analysis of $\delta^{15}\text{N}$. Research indicated that as organic operation period and organic fertilizers amount increased, total N and $\delta^{15}\text{N}$ of soil had the tendency of increase and, vegetable reflected sensitively for the fertilizer applied of its $\delta^{15}\text{N}$. The relationship between vegetable $\delta^{15}\text{N}$ and total N, vegetable $\delta^{15}\text{N}$ and soil $\delta^{15}\text{N}$, soil $\delta^{15}\text{N}$ and soil total N can be modeled by linear regression with significant level of correlation($P<0.01$). Adoption of ¹⁵N can effectively reflect the using of synthetic nitrogen fertilizer for tomato production but not for celery, which obtained false negative result in Beijing. For organic vegetables in Beijing, $\delta^{15}\text{N}$ of leave, root and fruit vegetables was higher than 7.55‰, 7.64‰ and 5.42‰ respectively at 95% probability level. $\delta^{15}\text{N}$ value can be adopted as an effective tool but not as the sole tool for identifying if synthetic N was applied in vegetable production and farming record, on-site inspection and other measures should be also employed together.

Keywords: Beijing; organic agriculture; vegetable; $\delta^{15}\text{N}$; synthetic nitrogen

氮素(N)是作物营养中的主要元素,在氨基酸、蛋白质、核酸、叶绿素和酶等物质的生物合成中起到

重要的作用。因此,除了豆科作物固N外,作物需要外源施用有机N肥或者化学合成N肥,对需N量高的蔬菜更是如此。自20世纪70年代以来人们认识到,由于物理、化学和生物化学等作用,N同位素(¹⁵N)在有机肥和化学合成N肥中呈现不同的含量,即 $\delta^{15}\text{N}$ 值不同^[1],除了研究农业生态系统中氮素的吸收、分配和转化状况^[2],这一发现还被用来区分有机农产品(不

收稿日期:2013-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(30970533,30300056);948项目(2011-G30)

作者简介:李光德(1962—),副教授,研究方向为环境污染修复等。

*通信作者:孟凡乔 E-mail:mengfq@cau.edu.cn

允许使用化学合成 N 肥)和常规农产品^[3-5]。然而,有机和常规农产品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值并非截然不同,很多情形下存在着一定的交叉现象^[4,7]。肥料类型^[7-8]、土壤含水量^[9]、作物品种^[4]以及土地利用类型^[1,10]等都会影响土壤和植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,仅仅对某一个样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 进行测定,很难准确判断该产品是否为有机产品,需要对大量有机农产品样本(至少某一地区)进行收集并测定其 $\delta^{15}\text{N}$ 值,分析蔬菜和土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 值的数据分布规律以及之间的关系。

近年来,受到快速增长的消费需求的影响,北京地区有机农业面积和产量快速增加。据统计,2009 年底北京市有机农业相关企业 309 家,有机蔬菜产量为 58 000 t(鲜重),占作物产量的 63.9%^[11]。目前国内已经开始尝试应用 N 同位素方法判定黄瓜和茶叶的有机生产特性^[12-13],但对于多种蔬菜的研究尚处于起步阶段^[14]。2011 年修订的中国有机标准(GB/T 19630—2011)及相关法律法规,对有机产品的生产、认证和管理进行了进一步规范,确保有机产品的真实性^[15],在此背景下,研究分析和甄别有机产品的技术和措施具有重要意义。本研究以北京地区有机蔬菜生产为对象,通过对目前主要的有机蔬菜企业进行大样本调查和取样,分析有机蔬菜中 $\delta^{15}\text{N}$ 值数据特征,以及蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 、全 N 和土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 、全 N 之间的关系,为北京地区有机蔬菜的判定提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 蔬菜生产情况

本研究于 2012 年 4 月 5 日到 2012 年 4 月 25 日分别对北京郊区目前主要的有机农场进行调查,各农场的蔬菜品种和施肥情况见表 1。研究人员与调查农场合作时间较长,可以确认自有机生产开始后没有使用化学合成氮肥。

1.2 样品采集与分析方法

于 2012 年 5 月 2 日至 4 日对表 1 中有机和常规

农场的土壤及蔬菜进行取样,每个农场每种作物地块有 3 个土壤或蔬菜的采样点,为 3 个重复。每个采样点的土壤或蔬菜至少由两个点混合而成。土壤采样深度为 0~20 cm。土样取回实验室后,室温下风干,研磨过 100 目筛,在 60 ℃烘干恒重后测定全氮和 $\delta^{15}\text{N}$ 。对蔬菜主要采集食用部位采集样品(番茄采集果和叶),蔬菜采集后立即带回实验室,先在 105 ℃高温杀青 30 min,再用 60 ℃烘干。用微型粉碎机和球磨机将样品粉碎,封袋待测。

所有样品均在中国农业大学资源与环境实验室内测定分析完成。土壤及植物烘干样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 采用同位素质谱仪(Delta Plus XP)进行测定,其精度为 0.15‰;土壤和植物样品全 N 利用 Thermo Elemental Analyzer 1112 元素分析仪测定。

1.3 数据分析

数据分析采用 SAS 9.1 软件完成,采用单因素多重比较(LSD)分析农场间土壤或植物 $\delta^{15}\text{N}$ 差异,变量间关系采用直线回归方程模拟。采用 Sigmaplot 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同农场土壤全 N 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较

不同农场 N 素投入量、土壤全 N 含量及 $\delta^{15}\text{N}$ 见表 2。随着有机生产时间和有机肥 N 投入的增加,土壤全 N 和 $\delta^{15}\text{N}$ 都呈现增加的趋势,且土壤全 N 和有机氮投入的相关程度($r=0.7916$)高于 $\delta^{15}\text{N}$ 和有机氮投入的相关程度($r=0.2939$),但都没有达到($P=0.05$)显著性水平。德润屋农场的 N 投入较高,导致土壤全氮含量最高,但 $\delta^{15}\text{N}$ 在所有有机农场中却最低。在常规农场复合肥与鸡粪混施,土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 最低(6.47‰),与德润屋和三分地农场无显著差异,而显著低于正谷密云、沱沱工社、汇源新农场($P<0.05$)。

2.2 不同农场同类蔬菜土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较

图 1 为不同农场生产同类蔬菜的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值比

表 1 有机和常规蔬菜生产与施肥情况

Table 1 Organic and conventional vegetable production and fertilization

农场	蔬菜类型	肥料种类	纯氮投入量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	有机生产开始时间
常规	番茄、芹菜	复合肥、发酵鸡粪	520	
正谷密云	番茄、樱桃萝卜、芹菜、油菜	牛粪、猪粪	550	2007 年 3 月
德润屋	芹菜、白萝卜、生菜	牛粪、蚯蚓粪	660	2009 年 3 月
三分地	番茄、樱桃萝卜、芹菜、生菜、油菜	鸡粪	400	2011 年 5 月
沱沱工社	番茄、白萝卜、生菜、油菜	鸡粪、牛粪	440	2007 年 5 月
汇源新	番茄、白萝卜、芹菜、生菜、油菜	鸡粪、牛粪、猪粪、果渣	600	2009 年 3 月

表2 有机和常规农场土壤全N及 $\delta^{15}\text{N}$ Table 2 Soil total N and $\delta^{15}\text{N}$ for organic and conventional farms

农场	自有机生产开始以来有机氮投入总量/kg N·hm ⁻²	土壤全氮含量/%	土壤 $\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
常规		0.16±0.02	+6.47±1.25
正谷密云	2250	0.19±0.03	+7.31±0.46
德润屋	1980	0.20±0.03	+6.60±0.68
三分地	400	0.15±0.04	+6.72±0.76
沱沱工社	2200	0.19±0.04	+7.47±1.40
汇源新	1200	0.13±0.05	+7.52±1.83

注:表中数据为平均值±标准差。

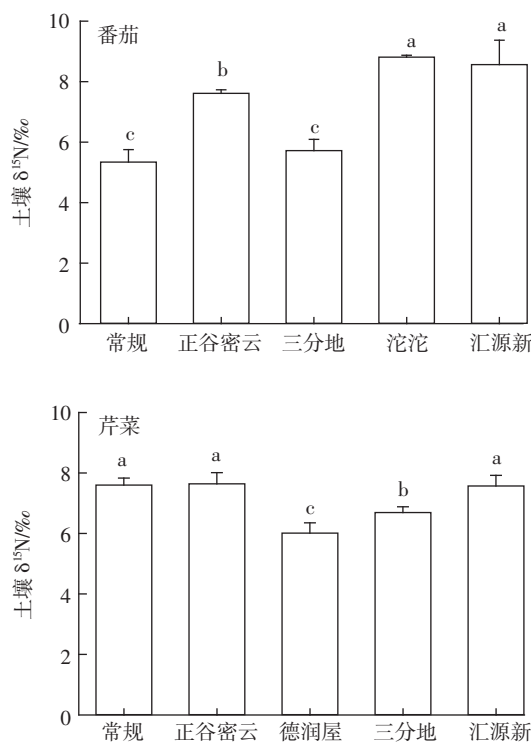
较。可以看出,对于番茄地,常规农场土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 与三分地处于同一水平,显著低于正谷密云、沱沱和汇源新农场($P<0.05$)。对于白萝卜,沱沱与德润屋的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值处于较高水平,显著高于汇源新农场。而在生产芹菜的农场中,常规农场和正谷密云、汇源新农场土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 处于同一水平,显著高于三分地和德润屋($P<0.05$)。从图中还可以看出,对于同一农场,由于当季作物肥料类型的不同,土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 呈明显差异。某一农场,生产不同类型蔬菜的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 并没有表现出相似的规律(即始终较高或者始终较低),说明施

肥、作物对于土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 产生不同的影响。

2.3 不同农场同类蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较

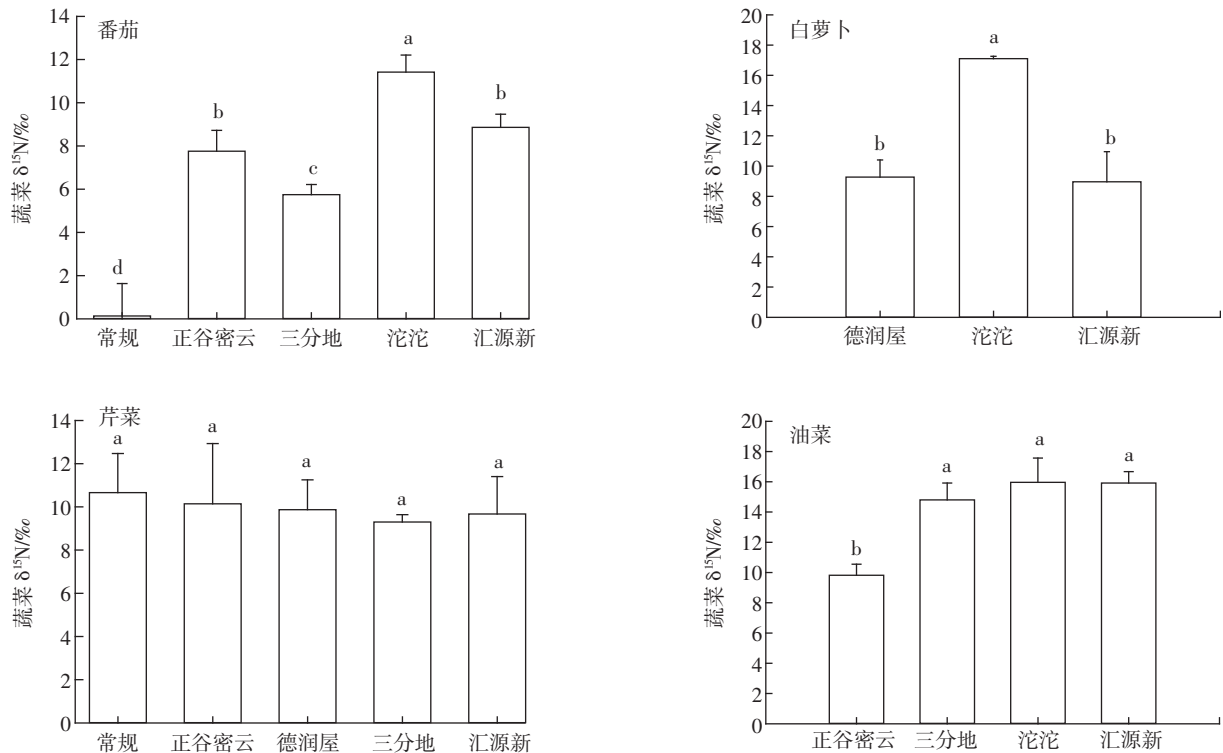
来自不同农场同类蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值见图2。可以看出,常规农场番茄的 $\delta^{15}\text{N}$ (+0.12‰)远低于有机农场。正谷密云、三分地、沱沱工社、汇源新4个有机农场番茄果实 $\delta^{15}\text{N}$ 范围为+5.75‰~+11.42‰,说明利用 $\delta^{15}\text{N}$ 鉴别番茄具有可行性;正谷密云和汇源新农场间番茄 $\delta^{15}\text{N}$ 无显著差异,但显著低于沱沱工社,而显著高于三分地农场($P<0.05$)。对于白萝卜, $\delta^{15}\text{N}$ 值大小顺序为沱沱>德润屋>汇源新, $\delta^{15}\text{N}$ 范围为+8.96‰~+17.10‰,德润屋和汇源农场间无显著差异,二者与沱沱工社的差异达显著水平($P<0.05$)。与番茄不同的是,常规农场的芹菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值与正谷密云、德润屋、三分地、汇源新4个农场的芹菜 $\delta^{15}\text{N}$ 无显著差异,这可能与常规芹菜土壤中施用了大量鸡粪而复合肥施用量低有关,芹菜对肥料中 ^{15}N 比较敏感。三分地、沱沱工社、汇源新3个农场的油菜 $\delta^{15}\text{N}$ 无显著差异,但显著高于正谷密云农场(+9.82‰)。

与土壤相比,蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 的变异较大,其中常规农场 $\delta^{15}\text{N}$ 变异系数最大,各个蔬菜中芹菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 变异程度远大于其他3个作物。



不同字母表示不同农场间同一蔬菜土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 有显著差异($P<0.05$)。下同

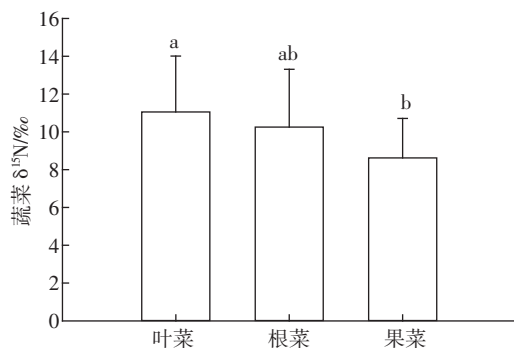
图1 不同农场同类蔬菜土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较Figure 1 Comparison of $\delta^{15}\text{N}$ in soil of same vegetable from organic and conventional farms

图 2 不同农场同类蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较Figure 2 Comparison of $\delta^{15}\text{N}$ in same type of vegetable from organic and conventional farms

2.4 不同类型蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较

将所有取样蔬菜分为叶菜、果菜和根菜三类,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值见图 3。三类蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 大小顺序为叶菜 ($+11.05\text{‰} \pm 2.96\text{‰}$) > 根菜 ($+10.25\text{‰} \pm 3.06\text{‰}$) > 果菜 ($+8.62\text{‰} \pm 2.09\text{‰}$), 只有叶菜 $\delta^{15}\text{N}$ 显著高于果菜 $\delta^{15}\text{N}$ 。

进一步对这三类有机蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行数据分布分析,发现在 95% 置信水平上,叶菜、根菜和果菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布范围分别为 $+7.55\text{‰} \sim +16.7\text{‰}$ 、 $+7.64\text{‰} \sim +17.21\text{‰}$ 和 $+5.42\text{‰} \sim +12.2\text{‰}$ 。采用左尾分布判断,对于

图 3 不同类型蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较Figure 3 Comparison of $\delta^{15}\text{N}$ in different types of vegetables

北京郊区的有机叶菜、根菜和果菜,95% 概率条件下可以判定其 $\delta^{15}\text{N}$ 分别大于 7.55‰ 、 7.64‰ 和 5.42‰ 。

2.5 蔬菜全 N、 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的关系

对各个有机农场蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 与蔬菜全 N、土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 和土壤全 N,以及蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 进行回归分析(图 4),可以发现,蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与蔬菜全 N,以及土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 和土壤全 N 之间都可以用直线回归方程来模拟,且都达到极显著水平 ($P < 0.01$),说明相关程度较好。土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 回归方程的 R^2 为 0.192 6,大于蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 和土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 直线回归的 R^2 (0.132 4) 和 蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与蔬菜 TN 回归方程的 R^2 (0.101 1),而蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 和土壤全 N 之间相关关系不明显。

3 讨论

3.1 肥料对土壤全 N 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响

土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值受到有机生产时间、有机肥施用量以及有机肥类型等因素的影响。有机肥与化肥配施时有机肥矿化释放的氮素可以作为微生物量氮的重要给源并且表现出有机氮肥比化学氮肥对土壤微生物量氮贡献大,有机肥和化肥配合施用的处理土壤氮提供微生物量氮的比例高于单施有机肥的处理,低于单

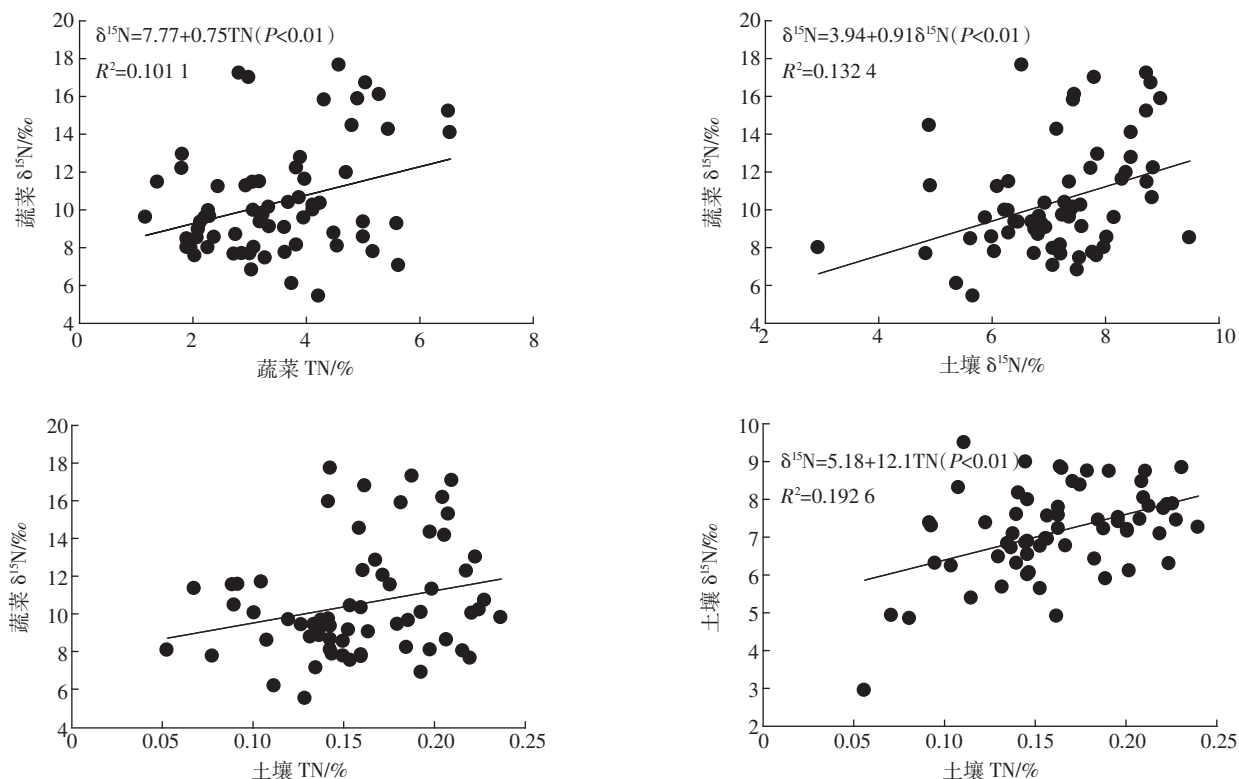


图4 有机农场土壤全N、 $\delta^{15}\text{N}$ 以及蔬菜全N、 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的回归关系

Figure 4 Regression relationship between soil TN, $\delta^{15}\text{N}$ value and vegetable TN and $\delta^{15}\text{N}$

施化肥的处理^[16]。本研究对常规和有机农场的氮素输入和 ^{15}N 特征进行了初步比较,由于N素输出的多样性和复杂性,化学合成氮肥和有机氮肥进入土壤后,释放和输出的数量以及N素分馏也不同,必须通过控制性实验逐步获取各个输出途径和因子最终对植物体 ^{15}N 的影响,这也是今后研究应该加强的方面。作物吸收的氮素来自当季施用的氮肥、土壤中已存在的矿质氮和生育期的氮素矿化,因此造成植物体中N素的复杂性^[16]。正如表2数据所反映的,有机生产时间和有机肥增加都会引起土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 增加。德润屋农场尽管有机N投入较高,但由于其有机肥主要为牛粪(饲料主要是禾本科草料),肥料 $\delta^{15}\text{N}$ 较鸡粪和猪粪等低,造成土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 低。常规农场由于化学合成N肥的施用,土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 最低,尽管在蔬菜生产过程中也使用了部分有机肥。当季作物肥料类型以及作物类型造成土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 变化较大,和叶菜土壤比较,果菜和根菜土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 在不同农场之间相差更大。总体上,我们仍然可以认为,随着土壤全N含量的增加,氮素损失以轻质N(^{14}N)为主,土体中残留的N以重质N(^{15}N)为主,但作物吸收可能又会造成N素吸收数量的不同,进而影响土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

3.2 肥料类型对蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值的影响

肥料对于蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值也会产生影响,甚至比对土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值的影响更明显,说明当施外源肥时,植物会优先吸收外源氮肥^[17]。与果菜和根菜相比,叶菜对于外源氮肥的 $\delta^{15}\text{N}$ 反映更敏感(图2),前者除了吸收外源N以外,在生长后期开始吸收土壤中N,而土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 值一般在+4‰~+9‰之间^[1],小于有机肥 $\delta^{15}\text{N}$ 值,因而不同植物间 $\delta^{15}\text{N}$ 差异更大。这种规律在不同类型蔬菜间 $\delta^{15}\text{N}$ 的差异进一步得到验证(图3),叶菜 $\delta^{15}\text{N}$ 显著高于果菜。

我们的研究发现,蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值与蔬菜全N、土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值有较好的相关关系,但与土壤全N的相关关系不明显,土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值又较大程度地受到土壤全N的影响,与中野明正等关于施用有机肥对西红柿收量、品质及 $\delta^{15}\text{N}$ 值影响的结果类似^[18]。这是由于在土壤的氮素矿化和硝化过程中,氮同位素分馏较为显著。矿化和硝化后产物的 ^{15}N 丰度相对于矿化、硝化前的反应底物均有不同程度的贫化作用。氮挥发和反硝化作用是氮素的主要损失途径。氮挥发过程中同位素分馏通常产生 ^{15}N 贫化的 NH_3 和 ^{15}N 富集的 NH_4^+ 库。反硝化作用也能够产生 ^{15}N 贫化的气体如 N_2O 、 NO 和 N_2 ,

同时使剩余 NO_3^- 库富集 ^{15}N [19]。

3.3 应用 $\delta^{15}\text{N}$ 值判断有机或常规蔬菜的可行性分析

本研究基于对北京郊区不同有机农场的蔬菜生产进行采样和分析,认为 95% 概率条件下可以判定有机叶菜、根菜和果菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值应分别大于 7.55‰、7.64‰和 5.42‰。也就是说,凡是小于相应 $\delta^{15}\text{N}$ 值的蔬菜,在统计学意义上不应属于该地区有机蔬菜的范围。然而对于大于相应 $\delta^{15}\text{N}$ 值的蔬菜,并不意味着在其生产过程中一定没有使用化学肥料。我们调查的常规农场,在芹菜生产过程中施用了少量的化学合成 N 肥(磷酸二铵,占 N 肥总量的 20%)以及大量的鸡粪(占 N 肥总量的 80%),造成其 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(10.66\text{‰} \pm 1.81\text{‰})$,落入有机芹菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布区间。因此,在利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值判断有机和常规蔬菜生产过程中,高 $\delta^{15}\text{N}$ 值可以被认为是判断有机蔬菜的必要条件而不是充分条件。本研究对番茄的 $\delta^{15}\text{N}$ 值判断则得到正确的结果,对比 Bateman 等 [4] 的研究,我们发现番茄的测试判断是正确的;而对于芹菜的判断是“错误阴性”,即实际施用了化学合成 N 肥,而 $\delta^{15}\text{N}$ 值的判断是没有使用。因此,进一步说明 $\delta^{15}\text{N}$ 值可以作为蔬菜是否施用化学 N 肥的“有效工具”,但不能作为唯一工具,还应该结合蔬菜生产过程的档案信息、现场检查等其他措施,综合进行判定。

表 3 利用 ^{15}N 判断蔬菜是否施用化学合成 N 肥的可能结果 [4]

Table 3 Possible outcomes when a stable isotope endproducts test is applied to a sample

		现实,施用化学合成 N 肥了吗?	
		是	否
N 同位素测试	施用化学合成 N 肥了吗?	是 测试判断正确	否 测试判断错误阳性
		否 测试判断错误阴性	是 测试判断正确

4 结论

对北京郊区有机和常规生产蔬菜和土壤的分析表明,有机生产时间和有机肥增加都会引起土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值增加。肥料对于当季作物和土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值产生显著影响,与土壤相比,肥料对于蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响程度更大。叶菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 显著高于果菜,但叶菜与果菜、果菜与根菜之间 $\delta^{15}\text{N}$ 无明显差异。蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与蔬菜全 N、与土壤 $\delta^{15}\text{N}$, 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 之间可以用直线回归方程拟合,且都达到极显著水平的相关程度。就北京地区而言,95% 概率条件下可以认为有机叶菜、根菜和果菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值应分别大于 7.55‰、7.64‰和 5.42‰。在利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值判断有机和常规蔬菜生产过程

中,高 $\delta^{15}\text{N}$ 值可以被认为是判断有机蔬菜的必要条件而不是充分条件。 $\delta^{15}\text{N}$ 值可以作为蔬菜是否施用化学 N 肥的“有效工具”,但不能作为唯一手段,还应该结合蔬菜生产过程的档案信息、现场检查等其他措施综合进行判定。

参考文献:

- [1] Kohl D H, Shearer G, Commoner B. Variation of ^{15}N in corn and soil following application of fertilizer nitrogen[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1973, 37(6): 888–892.
- [2] 程励励, 文启孝. 盆栽和田间条件下土壤 ^{15}N 标记肥料氮的转化[J]. 土壤学报, 1989, 26(2): 124–130.
CHENG Li-li, WEN Qi-xiao. Transformation of ^{15}N labeled fertilizer N in soils under greenhouse and field conditions[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1989, 26(2): 124–130.
- [3] 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.
- [4] Bateman A S, Kelly S D, Woolfe M. Nitrogen isotope composition of organically and conventionally grown crops[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55: 2664–2670.
- [5] 孟凡乔, 诸葛玉平, 吴文良, 等. 利用 ^{15}N 自然丰度法区分有机和常规生产的作物[J]. 核农学报, 2011, 25(6): 1300–1307.
MENG Fan-qiao, ZHUGE Yu-ping, WU Wen-liang, et al. Identification of organically and conventionally produced crops by natural ^{15}N abundance method[J]. *Journal of Nuclear Agriculture Sciences*, 2011, 25(6): 1300–1307.
- [6] Lim S, Choi W, Kwak J. Nitrogen and carbon isotope responses to Chinese cabbage and chrysanthemum to the application of liquid pig manure[J]. *Plant and Soil*, 2007, 295: 67–77.
- [7] 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.
- [8] Nakano A, Uehara Y, Yamauchi A. Effect of organic and inorganic fertilization 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: 343–349.
- [9] Choi W J, Ro H M, Lee S M. Natural ^{15}N abundances of inorganic nitrogen in soil treated with fertilizer and compost under changing soil moisture regimes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 1289–1298.
- [10] Oelbermann M, Voroney R P, Kass D C L, et al. Soil carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19- and 10-year-old tropical agroforestry systems[J]. *Geoderma*, 2006, 130: 356–367.
- [11] 乔玉辉, 孟凡乔, 吴文良. 中国有机农业发展报告[R]. 国家认证认可监督管理委员会, 2011.
QIAO Yu-hui, MENG Fan-qiao, WU Wen-liang. Organic farming report in China[R]. Certification and Accreditation Administration of China, 2011.
- [12] 袁伟伟, 张志恒, 赵明, 等. 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.

- YUAN Yu-wei, ZHANG Zhi-heng, ZHAO Ming, et al. Study on the effect of different fertilizers on the stable nitrogen isotope of soil, leaf and cucumber[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(1):108-113.
- [13] 冯海强, 潘志强, 于翠平, 等. 利用 ^{15}N 自然丰度法鉴别有机茶的可行性分析[J]. *核农学报*, 2011, 25(2):308-312.
- FENG Hai-qiang, PAN Zhi-qiang, YU Cui-ping, et al. Feasibility analysis of organic tea authentication using natural abundance method[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(2):308-312.
- [14] 诸葛玉平, 苏志慧, 张 彤, 等. 北京郊区有机蔬菜土壤养分平衡及 $\delta^{15}\text{N}$ 特征分析[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(11):2313-2318.
- ZHUGE Yu-ping, SU Zhi-hui, ZHANG Tong, et al. Soil nutrients balance and $\delta^{15}\text{N}$ characteristics for organic vegetable production in Beijing suburbs[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(11):2313-2318.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19630. 1—2011 有机产品 第一部分: 生产 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19630. 1—2011 Organic products part I: Production [S]. Beijing: China Zhijian Publishing House, 2011.
- [16] 韩晓日, 郑国砥, 刘晓燕, 等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态来源和供氮特征[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(4):765-772.
- HAN Xiao-ri, ZHENG Guo-di, LIU Xiao-yan, et al. Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4):765-772.
- [17] 张丽娟. 农田生态系统中残留硝态氮的行为及植物利用[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- ZHANG Li-juan. Residual nitrate behavior and plant utilization in agro-ecosystems[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [18] 中野明正, 上原洋一. イチゴの $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす肥料および土壤窒素の影響[J]. *野菜茶業研究所研究報告*, 2006, 5:7-13.
- Nakano Akimasa, Uehara Yoichi. Effect of fertilizer and soil nitrogen on $\delta^{15}\text{N}$ values of strawberry[J]. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science*, 2006, 5:7-13.
- [19] 苏 波, 韩兴国, 黄建辉. ^{15}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.
- SU Bo, HAN Xing-guo, HUANG Jian-hui. Application of ^{15}N natural abundance method to the research on nitrogen cycling in natural ecosystems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3):408-416.



新书推荐 中国当代生态学研究

我国著名生态学家、中国工程院院士李文华先生组织国内在生态学及相关领域卓有成就的近二十位院士和近百位生态学一线领军人物, 率领 400 余位作者历时两年时间共同撰写了《当代中国生态学研究》。

《中国当代生态学研究》全书包括生物多样性保育、生态系统管理、生态系统恢复、全球变化生态学以及可持续发展生态学 5 卷。

1. 生物多样性保育卷, 内容涵盖了生物多样性的调查与保护、评估与监测的研究及进展, 以及生物多样性可持续利用的技术和物种/群落管理的案例研究, 涉及海洋、农业、动物、植物、鸟类、鱼类、药物、微生物和菌物等多个门类。

2. 生态系统管理卷, 内容涵盖了生态系统的类型与分析方法、功能与服务评估、保护研究与管理实践以及水生态等方面, 涉及森林、草原、荒漠、湿地、湖泊、海洋、农田以及流域等多种生态系统类型。

3. 生态系统恢复卷, 内容涵盖了不同类型的生态系统恢复、典型地区的生态系统恢复、生态系统保护与建设的重大工程以及生态修复和污染生态方面的研究与实践, 不仅涉及多种生态系统类型, 同时涉及黄土高原、青藏高原、西南溶岩、干旱河谷、矿山迹地以及受损海滨等典型地区。

4. 全球变化生态学卷, 内容涵盖了生态学在全球变化国际项目中的贡献、生态系统定位研究与建模方法、气候变化与碳循环、全球变化的影响及其适应等方面, 探讨了我国的森林、草地、湿地、农田、湖泊和近海生态系统碳循环的过程机制、时空格局及其碳循环模型系统。

5. 可持续发展生态学卷, 内容涵盖了可持续发展的理论与实践、生态产业、城市和区域生态建设等多个方面, 不仅涉及生态农业、生态旅游、生态种养殖、生态工业园区等不同产业, 还探讨了我国西北、西南、东北、青藏高原和纵向岭古等典型区域的可持续发展问题。

《中国当代生态学研究》是迄今为止我国在应用生态学领域参与人数最多、作者层次最高、覆盖面最广的书籍, 是精品展示的平台、生态科学的智库、国际交流的窗口和新一轮攀登的起跑线。将为从事相关专业的研究和科技人员提供基本信息, 为政府从事相关工作的技术和决策人员提供科学参考, 也可作为相关专业的本科生和研究生的参考书目。