

有机与非有机莴苣的氮稳定同位素辨识研究

姚志鹏¹, 郭智成², 李玉中^{1,2,*}, 徐春英¹, 李巧珍¹, 房福力¹

(¹中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部旱地节水农业重点实验室, 北京 100081; ²中国农业科学院环境稳定同位素实验室, 北京 100081)

摘要: 为了证明利用氮稳定同位素技术鉴别有机蔬菜的可行性, 本试验研究了不同肥料条件下土壤和莴苣不同部位的同位素特征变化情况。设置 4 个不同肥料条件: 撒施有机肥 ($N\ 400\ kg \cdot hm^{-2}$)、局部施尿素 ($N\ 300\ kg \cdot hm^{-2}$) 和撒施尿素 ($N\ 400\ kg \cdot hm^{-2}$), 以及对照 (不施用任何肥料)。结果表明不同肥料条件下土壤 $\delta^{15}N$ 丰度 (即 $\delta^{15}N$) 差异显著 ($P < 0.05$), 表现为撒施有机肥 $>$ 对照 $>$ 局部施尿素 $>$ 撒施尿素。各肥料条件下土壤 $\delta^{15}N$ 值均呈现先升高再降低最后趋于平稳的变化规律, 峰值出现在定植后 20 d。不同处理莴苣 $\delta^{15}N$ 值的差异及变化规律与土壤 $\delta^{15}N$ 值变化规律相同。莴苣不同部位 $\delta^{15}N$ 值比较结果为: 外叶 $>$ 根 $>$ 内叶。莴苣内部同位素特征受环境影响最迅速。总体上, 莴苣内叶和土壤的 $\delta^{15}N$ 变化可以反映施肥情况, 从而可对判断有机蔬菜种植过程中氮肥的施用种类提供依据。

关键词: 莴苣; 有机蔬菜; 氮稳定同位素; $\delta^{15}N$

中图分类号: S 636.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 12-2507-06

Identification of Organic or Conventional Lettuce by Nitrogen Isotope

YAO Zhi-peng¹, GUO Zhi-cheng², LI Yu-zhong^{1,2,*}, XU Chun-ying¹, LI Qiao-zhen¹, and FANG Fu-li¹

(¹*Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Key Laboratory of Dryland Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;* ²*Environmental Stable Isotope Lab, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: $\delta^{15}N$ values of lettuce and soil were studied with different fertilizer conditions to prove the feasibility of using $\delta^{15}N$ to discriminate between organic food and conventional food, 4 treatments were laid out: Organic fertilizer in traditional broadcast way ($N\ 400\ kg \cdot hm^{-2}$), urea in partial fertilization way ($N\ 300\ kg \cdot hm^{-2}$), urea in traditional broadcast way ($N\ 400\ kg \cdot hm^{-2}$) and the control without fertilizer. The $\delta^{15}N$ values of lettuce and soil in 4 treatment were significantly different ($P < 0.05$), the order from high to low is organic fertilizer $>$ control $>$ urea in partial fertilization way $>$ urea in traditional broadcast way. The temporal variations in the $\delta^{15}N$ of lettuce and soils were similar among 4 treatments: Their $\delta^{15}N$ values increased rapidly at first, then reduced slowly and stabilized finally. Maximum appeared in 20 days after transplanting. The $\delta^{15}N$ value order of different lettuce organs is external part $>$ root $>$ internal part, and the difference is significantly ($P < 0.05$). To sum up, the $\delta^{15}N$ in inner of lettuce and soil can be used as a marker to reveal the history of nitrogen fertilization. It is useful tool for identifying the use of synthetic nitrogen fertilizer in the process of lettuce planting.

收稿日期: 2014-07-29; **修回日期:** 2014-10-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD32B03); 国家自然科学基金项目 (41301553); 中央级公益性科研院所基本业务费项目 (BSRF201304)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liyuzhong@caas.cn)

Key words: lettuce; organic food; isotopic fractionation; $\delta^{15}\text{N}$ value

现有有机蔬菜检测方法仅能检测到蔬菜中是否含有农药残留, 而是否施用化肥却一直没有有效的检测方法。氮稳定同位素技术是确定氮来源的有效检测方法。Choi 等(2003)的研究表明, ^{15}N 丰度($\delta^{15}\text{N}$, 即氮稳定同位素相对于其标准物的比值, 其值一律为千分数)可能成为判断施用有机肥的有效指标。Nakano 和 Uehara(2003)在对施用不同氮素肥料番茄中的 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的研究也表明, 测定 $\delta^{15}\text{N}$ 可作为有机蔬菜的有效检测方法。Georgi 等(2005)测定甘蓝、洋葱、茼蒿和甘蓝在有机和常规种植条件下 $\delta^{34}\text{S}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 的研究结果显示, 两种不同种植条件对 $\delta^{34}\text{S}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 没有明显影响, 但有机蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 明显高于常规种植的蔬菜。Camin 等(2011)研究发现, $\delta^{15}\text{N}$ 是鉴定有机水果和传统种植水果的最有效指标之一。

研究人员发现, 应用氮稳定同位素技术可以区分植物中氮素的来源, 从而得知作物生长过程中的施肥情况(Bateman et al., 2007)。这是由于化肥和有机肥中 ^{15}N 的含量不同, 工业生产的化肥因为氮素来源于空气, 在合成过程中没有发生分馏, 因此化肥的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与大气相似, 一般在 $-2 \sim 2$ 之间。有机肥在其形成过程中由于重氮同位素更容易存留, 因此有机肥与化肥相比 ^{15}N 表现出更明显的富集现象, 有机肥的 $\delta^{15}\text{N}$ 值通常在 10 以上, 高者可达到 20(Bateman & Kelly, 2007)。这种差异为利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值来判断有机种植过程中是否施用化肥提供了可行性。

本试验的目的就在于明确不同氮肥及不同施肥量对茼蒿不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 以及土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响, 从而证明利用氮稳定同位素技术检测有机蔬菜种植过程中是否施用化肥的可行性, 并在 Bateman 等(2007)试验基础上确定茼蒿最佳检测部位和参考值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与试验设计

露地种植试验在北京市顺义农业科学研究所(位于北京北部)进行。气候为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 夏季高温多雨, 冬季寒冷干燥, 春、秋短促。年平均日照时数 2 684 h, 年平均气温 11.8 $^{\circ}\text{C}$, 年平均降水量 550.3 mm。

2012 年 5 月 6 日开始茼蒿育苗, 育苗盘基质以草炭土和蛭石按体积比 1:1 混合而成。育苗过程中严格控制光、温、水、气等条件, 创造适宜的环境条件。

6 月 20 日定植。以施用的氮肥为变量因素, 设计 4 个处理: 撒施有机肥($\text{N } 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、局部施尿素($\text{N } 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、撒施尿素($\text{N } 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和不施用任何肥料(对照), 各设 3 次重复。除对照外, 所有处理的磷肥与钾肥施肥量均为 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。试验开始前测定土壤、有机肥、尿素的 $\delta^{15}\text{N}$ 值分别为 4.18 ± 0.17 、 10.45 ± 0.35 和 -1.62 ± 0.12 。

有机肥($\text{N } 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理和撒施尿素($\text{N } 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理为撒施肥料后起垄, 局部施尿素($\text{N } 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理在起垄的同时进行施肥。肥料全部作为基肥。垄上宽为 1.4 m, 下宽为 1.6 m, 长 16.7 m, 高 20 cm。每个肥料处理组 3 个重复, 移栽方式采用每垄交错种植 2 行, 行距 50 cm, 株距 50 cm。定植前测得茼蒿单株干样质量和 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 1.15 g 和 4.84 ± 0.05 。

1.2 样品的采集和处理

茼蒿整株和土壤于定植当天取样测量本底值, 于定植后 5、20、35 和 50 d 取样。茼蒿样品选取长势均匀, 无病虫害的茼蒿整株。土壤样品用土钻取距茼蒿 5 cm 处, 深 40 cm 的土壤, 混合均匀。

定植后, 土壤中的氮被植物吸收, 会以不同形态运送到植物的不同部位和器官, 在这些过程中 ^{14}N 和 ^{15}N 会表现出不同的反应速度, 氮素出现分馏 (del Amor et al., 2008), 不同部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 可能不同。为了比较不同肥料种类和施用量对茼蒿不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值的影响, 将取样的茼蒿分为 4 部分: 地上整个植株、茼蒿内叶 (从内往外取面积大于 1 cm^2 的叶片 5 片)、外叶 (从外向内最外面的 2 片叶片) 和根, 用蒸馏水清洗后在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min, 然后在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 24 h 至恒重。所取土壤样品在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 24 h 至恒重。烘干后, 用球磨机将样品研磨粉碎, 过 100 目筛, 备用。

1.3 样品 $\delta^{15}\text{N}$ 检测

$\delta^{15}\text{N}$ 由元素分析仪和稳定同位素比值质谱仪连用进行分析, 元素分析仪为 Elementar 公司生产的 vario PYRO cube 元素分析仪, 质谱仪为 IsoPrime 公司生产的 IsoPrime100。测定结果采用 USGS43 和 IAEA-N1 两点校正, 样品分析过程中每隔 12 个样品插入一个实验室标准样品 ($\delta^{15}\text{N}$ 值为 7.02), 用于控制氮同位素分析过程中样品测定的精度。仪器测定偏差为 $\pm 0.02\%$ 。

天然物质同位素的组成一般用 δ 值 (δ 值一律为千分数), 对于氮同位素, ^{15}N 在大气中的自然丰度变化很小, 且丰度稳定, ^{15}N 原子百分数为 0.3663%, 被用来作为 ^{15}N 的标准同位素丰度。其 $\delta^{15}\text{N}$ 的计算是用样品氮重同位素 (^{15}N) 与轻同位素 (^{14}N) 原子数比值 $R_{\text{样}}$ ($R_{15} \cdot R_{14}^{-1}$) 与空气氮的同位素比值 $R_{\text{标}}$ ($R_{15} \cdot R_{14}^{-1}$) 的相对差值, 即 $\delta^{15}\text{N}$ 来表示。 $\delta^{15}\text{N} = [(R_{\text{样}} - R_{\text{标}}) \cdot R_{\text{标}}^{-1}] \times 1000$ 。

应用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理作图, 应用 SAS 8.01 软件进行数据统计分析, 应用单因素方差分析中的 LSD 法进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化

如表 1 所示, 定植 0 d 时撒施有机肥 ($\text{N } 400\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著大于不施肥的对照处理 ($P < 0.05$), 这表明施用有机肥显著提高了土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值 ($P < 0.05$), 同时撒施有机肥 ($\text{N } 400\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的处理显著大于局部施用尿素 ($\text{N } 300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的处理和撒施尿素 ($\text{N } 400\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的处理 ($P < 0.05$)。而局部施用尿素 ($\text{N } 300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的处理和撒施尿素 ($\text{N } 400\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的处理均显著低于对照 ($P < 0.05$), 说明施用化肥会明显的降低土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值。从茼蒿的整个生育期看, 施用有机肥处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值均显著大于局部施用尿素的处理和撒施尿素的处理 ($P < 0.05$), 这是因为有机肥中 ^{15}N 的丰度高, 植物优先利用 ^{14}N , 进而造成土壤中 ^{15}N 的进一步富集。

根据土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值随取样时间的变化规律也不难发现, 撒施有机肥处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值均在 6~8 之间, 而施用不同氮量化肥处理的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值均在 -1~2 之间, 这为利用产地土壤样品检测是否是有机蔬菜提供了一定的理论支持以及参考值。

表 1 不同肥料条件下定植后不同天数土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化
Table 1 $\delta^{15}\text{N}$ of soil at 0, 5, 20, 35 and 50 days after transplanting

处理 Treatment	施氮量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Fertilizer rate	定植后天数 Days after transplanting				
		0	5	20	35	50
撒施有机肥 Broadcast organic fertilizer	400	7.53 a	6.73 a	6.47 a	6.31 a	6.85 a
局部施尿素 Local fertilization of urea	300	-0.21 c	0.37 c	1.32 c	0.89 c	0.53 c
撒施尿素 Broadcast urea	400	-0.32 c	0.57 c	1.38 c	0.59 c	0.83 c
不施肥 (对照) No-fertilizer (Control)	0	4.52 b	4.32 b	4.85 b	5.19 b	4.98 b

注: 不同字母表示不同处理间差异显著, $P < 0.05$ 。下同。

Note: Different letters denote statistically significant differences among different treatments, $P < 0.05$. The same below.

2.2 不同N肥种类和施用量对莴苣 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响

如图 1 所示, 与定植前相比, 撒施有机肥的处理莴苣整株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在定植后 5 d 时增加了 2.07, 而局部施尿素和撒施尿素的处理莴苣整株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值分别降低了 1.95 和 2.82, 与不施肥的对照比较, 撒施有机肥的处理高出对照 1.82, 局部施用尿素和撒施尿素的处理分别比不施肥的对照低 2.15 和 3.03。莴苣整株 $\delta^{15}\text{N}$ 值随时间变化呈现一定规律, 即先增加, 到定植 20 d 后达到最大值, 然后降低到一定值趋于稳定。这种变化是由土壤无机氮的含量和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化引起的 (Yoneyama et al., 2003)。在莴苣生长初期, 土壤中外源氮 (化肥或有机肥) 充足, 植株优先利用土壤中的外源氮, 所以体内的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异变大, 而到了莴苣生长后期, 土壤中可利用氮的含量降低, 氮同位素分馏作用也比较低 (Mariotti et al., 1981), 以及莴苣对土壤内源氮的吸收 (Choi et al., 2002), 此时植物吸收的氮素中, 来源于无机态氮的 $\delta^{15}\text{N}$ 与来源于土壤有机氮转化而来的无机氮 $\delta^{15}\text{N}$ 几乎没有差别 (Högberg et al., 1996), 所以最后各组莴苣的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均趋于稳定。

本试验研究结果显示, 在收获前 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异达到最大值, 撒施有机肥的处理比不施肥的对照高 2.64, 局部施用尿素的处理和撒施尿素的处理分别比不施肥的对照低 3.15 和 4.33 (图 1), 说明不同氮同位素的肥料对莴苣整株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值有非常重要的影响, 施用有机肥会明显增高莴苣整株 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 而施用化肥会显著降低莴苣整株 $\delta^{15}\text{N}$ 值。从收获时各种处理莴苣 $\delta^{15}\text{N}$ 值的比较可以看出, 有机肥与不施肥的对照两个处理的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于 5; 而化肥的两个处理其 $\delta^{15}\text{N}$ 值均低于 5, 因而可以考虑用 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 5 作为判定莴苣是否为有机栽培的基准。

2.3 不同N肥种类和施用量对莴苣不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值的影响

如表 2 及图 1 所示, 莴苣不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值随时间变化规律与整株 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化规律相同。不同肥料种类和用量条件下, 根的 $\delta^{15}\text{N}$ 值总是介于莴苣内叶和外叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间。莴苣内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均显著低于外叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值 ($P < 0.05$)。这与 Choi 等 (2002, 2006) 和 Nakano 和 Uehara (2003, 2007) 的研究结果相似。

通常, 土壤本身的 $\delta^{15}\text{N}$ 变化很小且不同土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 相近, 短期内土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 的变化主要源于肥料的施入。随着肥料的施入, 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 会急剧变化 (表 1), 进而引起植物 $\delta^{15}\text{N}$ 的变化。

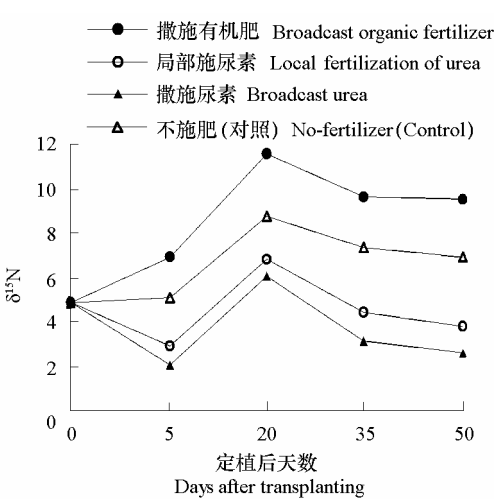


图 1 不同氮肥条件下莴苣 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化
Fig. 1 $\delta^{15}\text{N}$ of lettuce under different N fertilizations

表 2 莴苣定植后不同天数不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化
Table 2 The $\delta^{15}\text{N}$ variations of different parts of lettuce

处理 Treatment	5 d		20 d			35 d			50 d		
	内叶 + 外叶 Inner + Outer leaves	根 Root	内叶 Inner leaf	外叶 Outer leaf	根 Root	内叶 Inner leaf	外叶 Outer leaf	根 Root	内叶 Inner leaf	外叶 Outer leaf	根 Root
撒施有机肥 Broadcast organic fertilizer	6.87 a	3.41 b	7.44 c	13.81 a	9.49 b	6.40 c	11.28 a	8.81 b	6.04 b	10.14 a	5.89 b
局部施尿素 Local fertilization of urea	2.89 a	1.01 b	4.22 c	7.97 a	6.64 b	1.42 c	6.01 a	3.60 b	0.46 c	5.26 a	2.61 b
撒施尿素 Broadcast urea	2.02 a	0.73 b	4.12 c	7.84 a	5.61 b	-0.36 c	4.89 a	1.88 b	-0.69 c	4.61 a	1.46 b
对照 (不施肥) Control (No-fertilizer)	5.05 a	4.24 b	5.45 c	9.81 a	8.55 b	5.77 c	8.65 a	6.59 b	5.05 b	7.82 a	4.88 b

从表 3 中可以发现, 莴苣内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值更接近土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 外叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 在整个生育期中都是

大于内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 。这就证实了茼蒿内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 与氮源的 $\delta^{15}\text{N}$ 基本一致, 茼蒿内部为整株茼蒿物质积累的最新部位, 受外界肥料影响大, 氮同位素特征和氮含量变化更为迅速。而茼蒿外叶的同位素变化特征则可以表征生长过程 ^{15}N 的积累情况 (Yun et al., 2006)。因此新叶的同位素变化特征可以反映出茼蒿不同生长阶段同位素变化规律, 对研究不同肥料对茼蒿同位素特征的影响有更好的时效性, 更适合有机蔬菜的同位素检测, 可以实现进一步提高辨别有机蔬菜种植过程中氮素肥料投入类型的准确性, 辨别产品为有机蔬菜还是常规种植蔬菜。

表 3 茼蒿外叶与内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 差值, 内叶、外叶与土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 的差值
Table 3 The difference of $\delta^{15}\text{N}$ of inner part, outer part of lettuce and soil

处理 Treatment	外叶 - 内叶 Outer leaf - Inner leaf			内叶 - 土壤 Inner leaf - Soil			外叶 - 土壤 Outer leaf - Soil		
	20 d	35 d	50 d	20d	35 d	50 d	20 d	35 d	50 d
撒施有机肥 Broadcast organic fertilizer	6.37	4.88	4.10	- 0.09	- 0.91	- 0.81	6.28	3.97	3.29
局部施尿素 Local fertilization of urea	3.75	4.58	4.80	2.90	0.53	- 0.07	6.65	5.11	4.73
撒施尿素 Broadcast urea	3.72	5.25	5.30	2.74	- 0.95	- 1.52	6.46	4.30	3.78
不施肥 (对照) No-fertilizer (Control)	4.36	2.88	2.77	3.70	1.40	- 0.10	- 0.49	- 2.31	- 2.21

3 讨论

由于不同肥料同位素特征的差异, 施用有机肥和化肥在提高土壤氮含量的同时, 会显著改变土壤的同位素特征 (Mizuhiko et al., 2007), 有机肥可以明显提高土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 而化肥则会明显降低土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值。因此在有机蔬菜检测中, 产地土壤氮同位素检测是判断有机蔬菜种植过程中是否施用化肥的重要标准之一, 本试验研究发现施用有机肥的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 6 ~ 8 左右, 而施用不同氮量化肥的土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 -1 ~ 2 左右。

茼蒿的 $\delta^{15}\text{N}$ 值由生长过程中所吸收的氮同位素决定, 氮同位素主要来源有: 有机肥、无机化肥和土壤。不同土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值相近, 且一般土壤含氮量较低, 在外施肥料条件下, 植物优先吸收外源氮素, 尤其在相同的土壤环境下, 植物的氮同位素特征主要受肥料因素影响 (Choi et al., 2003)。植物所吸收的氮素在各种酶的作用下通过吸收、同化和代谢过程中, 其形态发生变化 (Choi et al., 2005), 由于 ^{15}N 与 ^{14}N 相比相对较重, ^{15}N 易在植物体内富集, 产生分馏和印迹。由于化肥是由空气中的 N_2 合成, 在这个过程中并没有发生 N 的分馏, ^{15}N 的含量接近于空气, 而有机肥是由生物物质、动物粪便、植物残体等加工而来, ^{15}N 的丰度高, $\delta^{15}\text{N}$ 值高。因此植物施用不同肥料会造成植株 $\delta^{15}\text{N}$ 的差异, 通过这种差异, 可以判断施肥情况 (Lim et al., 2007)。

本试验研究表明, 肥料施入造成土壤同位素特征改变后同样会对所种植的茼蒿造成影响, 茼蒿 $\delta^{15}\text{N}$ 值随时间变化呈现一定规律, 即出现分化后先增加, 到 20 d 后达到最大值, 最后降低到一定值后趋于稳定。茼蒿不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值有较大差异, 外部的 $\delta^{15}\text{N}$ 值大于根的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 并大于茼蒿内部的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 茼蒿内叶对外界同位素变化更为敏感。因此, 茼蒿的内叶的同位素特征更能够代表施肥的类型, 比茼蒿外叶和根部更适合应用于有机蔬菜的同位素检测中。同时, 在本试验中发现, 施有机肥的茼蒿 $\delta^{15}\text{N}$ 明显高于两种施化肥的试验处理, 这也为有机蔬菜的同位素检验提供一定判断依据。综合考虑研究结果, 可以用茼蒿内叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值作为判定有机茼蒿生产过程中是否施用化肥的一个基准, 且基准值为 5。

然而, 利用检测植物内叶 $\delta^{15}\text{N}$ 来区分有机种植与传统种植仍存在许多局限 (Bateman et al., 2005), 虽然本研究分析了施用不同肥料对土壤同位素特征的影响, 得出了随茼蒿生长过程土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 的变化规律, 但也存在着不足之处以待改进, 如果增加土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的含量和对同位素特

征分析, 会对本试验结果有更好的解释。与本试验相比, 农业生产过程中, 施肥种类和方式更为复杂, 一般为有机肥和化肥共同使用, 并且在肥料不足时适时追肥。在有机蔬菜生产中, 虽然仅允许施用有机肥, 但有机肥同样存在种类多样、配比不同的问题, 这些因素都会对土壤和莴苣同位素特征产生更复杂的影响。这就需要更多肥料配比试验, 将观测结果建立数据库, 以实现有机蔬菜的氮稳定同位素检测技术的快速成熟与应用。

References

- Bateman A S, Kelly S D. 2007. Fertilizer nitrogen isotope signatures. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43 (3): 237 – 247.
- Bateman A S, Kelly S D, Jickells T D. 2005. Nitrogen isotope relationships between crops and fertilizer: Implications for using nitrogen isotope analysis as an indicator of agricultural regime. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 3 (14): 5760 – 5765.
- Bateman A S, Kelly S D, Woolfe M. 2007. Nitrogen isotope composition of organically and conventionally grown crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (7): 2664 – 2670.
- Camin F, Perini M, Bontempo L, Fabroni S, Faedi W, Magnanico S, Baruzzic G, Bonolic M, Tabili M R, Musmeci S, Rossmann A, Kelly S D, Rapisarda P. 2011. Potential isotopic and chemical markers for characterising organic fruits. *Food Chemistry*, 125 (3): 1072 – 1082.
- Choi W J, Arshad M A, Chang S X, Kim T H. 2006. Grain ^{15}N of crops applied with organic and chemical fertilizers in a four-year rotation. *Plant and Soil*, 284 (1 – 2): 165 – 174.
- Choi W J, Chang S X, Ro H M. 2005. Seasonal changes of shoot nitrogen concentrations and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios in common reed in a constructed wetland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (19 – 20): 2719 – 2731.
- Choi W J, Hee-Myong Ro, Erik A Hobbie. 2003. Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. *Soil Biology and Biochemistry*, 35: 1493 – 1500.
- Choi W J, Lee S M, Ro H M, Kim K C, Yoo S H. 2002. Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant and Soil*, 245 (2): 223 – 232.
- del Amor F M, Navarro J, Aparicio P M. 2008. Isotopic discrimination as a tool for organic farming certification in sweet pepper. *Journal of Environmental Quality*, 37 (1): 182 – 185.
- Georgi M, Voerkelius S, Rossmann A, Schnitzler W H. 2005. Multielement isotope ratios of vegetables from integrated and organic production. *Plant and Soil*, 275 (1 – 2): 93 – 100.
- Högberg P, Högbom L, Schinkel H, Högborg M, Johansson C, Wallmark H. 1996. ^{15}N abundance of surface soils, roots and mycorrhizas in profiles of European forest soils. *Oecologia*, 108 (2): 207 – 214.
- Lim S S, Choi W J, Kwak J H, Jung J W, Chang S X, Kim H Y, Yoon K S, Choi S M. 2007. Nitrogen and carbon isotope responses of Chinese cabbage and chrysanthemum to the application of liquid pig manure. *Plant and Soil*, 295 (1 – 2): 67 – 77.
- Mariotti A, Germon J C, Hubert P, Kaiser P, Letolle R, Tardieu A, Tardieu P. 1981. Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: Some principles; Illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant and Soil*, 62 (3): 413 – 430.
- Mizuhiko Nishida, Kaori Iwaya, Hirokazu Sumida, Naoto Kato. 2007. Changes in natural ^{15}N abundance in paddy soils under different, long-term soil management regimes in the Tohoku region of Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53 (3): 310 – 317.
- Nakano A, Uehara Y. 2003. Effect of organic and inorganic fertilization on yields, $\delta^{15}\text{N}$ values, and $\delta^{13}\text{C}$ values of tomato. *Plant and Soil*, 255: 343 – 349.
- Nakano A, Uehara Y. 2007. Effects of different kinds of fertilizer and application methods on $\delta^{15}\text{N}$ values of tomato. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 41 (3): 219 – 226.
- Yoneyama T, Ito O, Engelaar W M H G. 2003. Uptake, metabolism and distribution of nitrogen in crop plants traced by enriched and natural ^{15}N : Progress over the last 30 years. *Phytochemistry Reviews*, 2 (1 – 2): 121 – 132.
- Yun S I, Ro H M, Choi W J, Chang S X. 2006. Interactive effects of N fertilizer source and timing of fertilization leave specific N isotopic signatures in Chinese cabbage and soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (7): 1682 – 1689.