

北京郊区有机蔬菜土壤养分平衡及 $\delta^{15}\text{N}$ 特征分析

诸葛玉平¹, 苏志慧², 张彤², 王会¹, 孟凡乔^{2*}, 吴文良², 郭岩彬²

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

摘要:本研究针对北京郊区汇源与正谷有机蔬菜基地,通过对不同蔬菜生产基地取样分析,研究有机和常规蔬菜生产条件下土壤养分平衡特征,分析有机生产蔬菜和土壤的 ^{15}N 特征。结果表明,(1)有机蔬菜生产与常规生产对比,由于施肥数量不同,汇源有机蔬菜基地土壤N、P及K盈余量(分别为 $356\sim 472\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $298\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $200\sim 226\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)高于当地常规生产,而正谷有机蔬菜生产土壤N、P及K养分盈余量(分别为 $-164\sim 190\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $107.9\sim 435.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $-164.5\sim -136.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)低于当地常规生产;(2)汇源有机蔬菜生产模式中,土壤N素养分有逐季累积的趋势,有机肥的N、P和K养分存在着不平衡性,这可能是造成0~20 cm土层磷素大量累积的重要原因;(3)蔬菜类别不同, $\delta^{15}\text{N}$ 值不同,一般为叶菜类最高(10.49‰),果菜类次之(10.07‰),根菜类 $\delta^{15}\text{N}$ 值最低(5.62‰);(4)植物不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值也有差异。针对圆椒的分析表明,圆椒叶 $\delta^{15}\text{N}$ (12.44‰)>圆椒果实 $\delta^{15}\text{N}$ (9.35‰);(5)土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全N之间有一定的相关性,回归方程为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{土壤}}=13.098\text{N}_{\text{土壤}}+3.762$, $R^2=0.938$,而植物 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 之间、植物 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全氮相关性较差。长期施用有机肥,使得土壤中 ^{15}N 更多来自有机肥,进而表现为蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 升高,高量有机肥可以短期内增加叶菜类植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

关键词:有机农业;蔬菜;养分平衡; $\delta^{15}\text{N}$;北京

中图分类号:S158 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)11-2313-06

Soil Nutrients Balance and $\delta^{15}\text{N}$ Characteristics for Organic Vegetable Production in Beijing Suburbs

ZHUGE Yu-ping¹, SU Zhi-hui², ZHANG Tong², WANG Hui¹, MENG Fan-qiao^{2*}, WU Wen-liang², GUO Yan-bin²

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

Abstract: This study reviewed organic and conventional vegetable bases in the Beijing suburbs, and took soil, vegetable and fertilizer samples for the analysis of soil nutrients balance and $\delta^{15}\text{N}$ characteristics. The results indicated that: (1) when comparing types of farms, as organic fertilizer levels increased, the Huiyuan organic vegetable-soil system had more surplus of Nitrogen(N), Phosphorous(P) and Potassium(K) nutrients ($356\sim 472\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $298\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $200\sim 226\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively) than the Zhenggu farm ($-164\sim 190\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $107.9\sim 435.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $-164.5\sim -136.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); (2) the Huiyuan organic production system tended to accumulate an excess of P because of high fertilizer input; (3) leaf vegetables had the highest $\delta^{15}\text{N}$ value (10.49‰), fruit vegetables rank the second (10.07‰) and root vegetables had the lowest $\delta^{15}\text{N}$ value (5.62‰); (4) plant leaves are more sensitive than fruit to the application of nitrogen fertilizer, which is seen in the garden pepper, where its leaf had higher $\delta^{15}\text{N}$ (12.44‰) value than its fruit (9.35‰); (5) total N in soil was positively correlated with soil $\delta^{15}\text{N}$, with the following regression equation: $\delta^{15}\text{N}_{\text{soil}}=13.098\text{N}_{\text{soil}}+3.762$, $R^2=0.938$. However, there is low correlation between plant and soil $\delta^{15}\text{N}$, and between plant $\delta^{15}\text{N}$ and soil total nitrogen. Long term application of organic fertilizers will increase the quantity of ^{15}N and also $\delta^{15}\text{N}$ of vegetables. Higher quantity of organic fertilizers will increase $\delta^{15}\text{N}$ of leaf vegetables within short period.

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

收稿日期:2011-05-14

基金项目:国家自然科学基金项目(30970533)

作者简介:诸葛玉平(1969—),教授,博士,研究方向为土壤生态过程与机理、土壤环境优化与调控、土壤污染与防治等。

* 通讯作者:孟凡乔 E-mail:mengfq@cau.edu.cn

随着社会发展和人民生活水平的提高,国内外有机农业在近年来得到较快发展^[1-2]。在消费有机产品的同时,人们开始逐渐重视有机产品生产过程中的环境影响、食品安全和真实性,由于蔬菜生产养分需要量大、病虫害易暴发,对于有机蔬菜则更加关注。

与常规作物生产相比,有机作物生产土壤管理的重点是通过场内有机肥、轮作、绿肥等措施减少外部投入,并确保作物带走的养分能被归还^[3-4],因此具有不同的养分平衡特征。但随着消费需求的增加以及有机生产规模的扩大,越来越多的证据表明外源有机肥正逐渐成为有机生产中养分的主要来源,Oelofse 等对发展中国家包括中国、巴西和埃及 5 个有机农场的养分平衡数据分析表明,4 个有机农场为养分正平衡,主要是由于大量使用外源有机肥代替化学合成肥料引起的^[5]。

氮是蔬菜生产需大量添加的营养元素。2006 年,对山东惠民等地调查表明,蔬菜氮素投入水平约为 $664 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中有机肥料氮素投入只有 $42.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,仅占总量的 5.8%^[6],因而在有机蔬菜生产中农民很可能为了提高产量和效益而施用化学氮肥,这就引发了一个非常有挑战性的问题,即如何提高辨别有机蔬菜生产中施用的氮肥类型,进而区分有机和常规作物。20 世纪 70 年代以来,有学者研究发现作物 $\delta^{15}\text{N}$ 值($\delta^{15}\text{N}$ 自然丰度)会由于肥料来源不同而产生差异^[7-8],化肥氮具有稳定的 N 同位素值, $\delta^{15}\text{N}$ 接近于空气中的 $\delta^{15}\text{N}=0$,在 $-2\text{‰} \sim 2\text{‰}$ 之间^[9]。而在有机物中生化反应或者物理化学反应增加氮分馏效应,动物粪便、堆肥、植物秸秆等 $\delta^{15}\text{N}$ 偏正,动物粪便 $\delta^{15}\text{N}$ 在 $10\text{‰} \sim 20\text{‰}$ 之间^[10],土壤有机氮源 $\delta^{15}\text{N}$ 为 $4\text{‰} \sim 9\text{‰}$ ^[7],这就为人们利用 $\delta^{15}\text{N}$ 区分不同类型氮肥生产的蔬菜创造了可能^[11]。

本研究以快速发展的北京有机蔬菜生产为研究对象,对有机蔬菜生产中的土壤养分平衡特征进行分析,研究与常规蔬菜生产的不同,为北京有机蔬菜发展提供技术依据;对肥料、蔬菜和土壤进行 $\delta^{15}\text{N}$ 分析,分析由于 $\delta^{15}\text{N}$ 来源不同引起的土壤、作物和部位中 $\delta^{15}\text{N}$ 的特征。

1 材料和方法

1.1 试验地点

有机蔬菜试验点选取了北京郊外具有代表性的汇源和正谷两家有机蔬菜生产基地,于 2010 年 12 月对基地土壤和蔬菜进行采样。北京汇源生态农业有限

责任公司位于北京市密云县东邵渠镇。基地原用地类型为废弃砖厂,总占地面积为 $1\,333 \text{ hm}^2$,其中 20 hm^2 为有机蔬菜种植大棚,有机蔬菜生产自 2008 年底开始。正谷(北京)农业发展有限公司北京市密云县穆家峪镇娄子峪村,有机蔬菜大棚总占地 4 hm^2 ,自 2005 年开始进行有机蔬菜生产。

1.2 有机和常规蔬菜生产的数据收集

除了对两个有机蔬菜基地的取样分析外,研究还于 2010 年 12 月对北京东邵渠镇史各庄、河南寨村以及穆家峪镇南穆家峪村,各随机选 5 个常规蔬菜生产农户。对汇源、正谷有机基地以及常规蔬菜生产每个大棚一个完整年度的肥料投入和产品产量进行调查、取样和分析。其中汇源有机生产模式为两种,即汇源 1(OHY1):茄子、菠菜、菠菜;汇源 2(OHY2):茼蒿、菠菜、圆椒;正谷有机生产模式为两种,即正谷 1(OZG1):西红柿、西红柿、油菜;正谷 2(OZG2):胡萝卜、油菜、油菜。常规生产模式包括常规 1(CV1):茄子、茼蒿、菠菜和常规 2(CV2):胡萝卜、圆椒。各生产模式的岔口安排见表 1。

有机农场的施肥情况:汇源有机农场的施肥,为在 1 年生产周期内,温室施用发酵鸡粪 $60\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (养分含量:N $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,P $5.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,K $7.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),中间不再追肥,完全靠有机肥养分释放满足蔬菜生产需求。正谷蔬菜生产主要施用鸡粪、猪粪混合发酵肥

表 1 种植蔬菜茬口安排

Table 1 Vegetable farming arrangement

生产模式 Farming types	蔬菜茬口 Egetable rotation	生长周期 Production period
汇源 1 (OHY1)	茄子(<i>Solanum melongena</i> L.)、菠菜(<i>Spinacia oleracea</i> L.)、菠菜	茄子 2010-04—2010-10 菠菜 2010-11—2010-12 菠菜 2011-02—2011-04
汇源 2 (OHY2)	茼蒿(<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.)、菠菜、圆椒(<i>Capsicum annuum</i> L.)	茼蒿 2010-04—2010-06 菠菜 2010-07—2010-09 圆椒 2010-11—2011-09
正谷 1 (OZG1)	西红柿(<i>Lyconpersicum esculentum</i> Mill.)、西红柿、油菜(<i>Brassica campestris</i> L.)	西红柿 2010-04—2010-09 西红柿 2011-02—2011-06 油菜 2010-10—2010-12
正谷 2 (OZG2)	胡萝卜(<i>Daucus carota</i> var. <i>sativa</i> Hoffm.)、油菜、油菜	胡萝卜 2010-08—2010-11 油菜 2010-04—2010-06 油菜 2011-02—2011-04
常规 1(CV1)	茄子、茼蒿、菠菜	茄子 2010-07—2010-11 茼蒿 2010-04—2010-06 菠菜 2011-02—2011-04
常规 2(CV2)	胡萝卜、圆椒	胡萝卜 2010-04—2010-07 圆椒 2010-08—2011-05

(养分含量: N 27.23 g·kg⁻¹, P 8.35 g·kg⁻¹, K 12.74 g·kg⁻¹), 商品液体肥(养分含量: N 40 g·kg⁻¹, P 17.46 g·kg⁻¹, K 33.19 g·kg⁻¹), 以及草木灰(K 0.565 g·kg⁻¹)。小油菜施肥量为猪粪鸡粪发酵肥 1 500 kg·hm⁻²、液体肥 150 kg·hm⁻²、草木灰 375 kg·hm⁻²; 西红柿施肥量为猪粪鸡粪发酵肥 7 500 kg·hm⁻²、液体肥 1 500 kg·hm⁻²、草木灰 225 kg·hm⁻²; 胡萝卜施肥量为猪粪鸡粪发酵肥 1 875 kg·hm⁻²、液体肥 750 kg·hm⁻²、草木灰 375 kg·hm⁻²。汇源和正谷有机肥 δ¹⁵N 值分别为 12.60‰和 8.88‰。

常规蔬菜生产的施肥情况: 常规 1 施用肥料为底肥鸡粪配复合肥(N、P、K 含量为 13%、6.5%、14.1%), 追肥施用尿素(N 46%); 常规 2 施用肥料仅为鸡粪(养分含量: N 1.63%、P 0.9%、K 0.85%)。

1.3 采样及测定

取 0~20 cm 的土壤样品带回实验室, 新鲜土壤立即进行无机氮的提取与测定。留 1 kg 左右风干后, 过筛、备用。植物主要采集成熟期样品, 新鲜蔬菜立即带回实验室 105 ℃杀青后, 55 ℃烘干, 后用微型粉碎机及球磨机将植物样品粉碎保存待测。

土壤样品测定项目: 土壤风干含水量、pH、速效磷以及有效钾采用常规测定分析。无机氮采用鲜土壤样 KCl 浸提-流动分析测定。全 N 和全 C 利用 Thermo Elemental Analyzer 1112 元素分析仪测定。

植物和肥料样品测定: 全 N、全 C 利用 Thermo Elemental Analyzer 1112 元素分析仪测定; 全磷、全钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 钼锑抗比色法测 P, 火焰光度法测 K。

稳定同位素 δ¹⁵N 的测定: 采用同位素质谱仪(Delta Plus XP)进行测定, 精度为 0.15‰。

1.4 数据分析及作图

养分平衡: 对于常规和有机蔬菜生产的养分平衡计算中, 输入项主要考虑了施用的有机肥和化肥, 没有考虑由于大气干湿沉降等引起的养分输入; 输出项主要是指收获作物产品带走的养分, 没有考虑挥发、硝化和反硝化以及淋溶等途径的输出。

数据分析采用 SAS 9.1 软件完成, 采用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 有机蔬菜生产中土壤的无机氮特性

有机蔬菜生产中土壤无机氮的含量情况见表 2。对于本研究的两个有机农场, 土壤 NH₄⁺-N 在 1.52~

表 2 有机蔬菜生产中土壤无机氮含量

Table 2 Inorganic nitrogen content in soil of organic vegetable production bases

基地 Bases	蔬菜 Vegetables	NH ₄ ⁺ -N/ mg·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/ mg·kg ⁻¹	总无机氮 Total inor- ganic nitrogen/mg·kg ⁻¹
汇源	茄子	4.85±0.30	223.22±19.33	228.07±19.63
	圆椒	4.49±1.02	249.84±3.29	254.33±4.31
	菠菜	2.41±0.38	7.42±3.46	9.83±3.84
	茼蒿	3.21±0.57	8.79±7.26	12.00±7.83
正谷	油菜	3.25±0.33	39.52±23.96	42.77±24.29
	西红柿	4.88±2.42	28.61±25.09	33.49±27.51
	胡萝卜	1.52±0.10	6.72±2.21	8.24±2.31

4.85 mg·kg⁻¹ 之间, 而土壤 NO₃⁻-N 在 6.72~223.22 mg·kg⁻¹ 之间。无机氮含量反映了土壤的供氮能力, 茄子和圆椒施肥量较多, 土壤中有较多的无机氮可以被植物吸收利用。但是同时也增加了硝酸盐被积累与淋洗的风险。有机生产的土壤无机氮含量, 按照大小顺序为果菜>叶菜>根菜, 果菜类蔬菜的土壤较易存留无机态氮, 相对叶菜、根菜, 其含量偏高。

2.2 有机蔬菜生产中土壤养分含量特征

两个有机农场蔬菜生产中土壤养分含量见表 3。与非蔬菜类作物土壤比较, N、P 和 K 含量很高, 特别是土壤中有效磷、速效钾, 远高于周围作物土壤养分水平, 这是由于大量施用有机肥, 造成养分含量高。

2.3 有机和常规蔬菜生产模式下的养分平衡

有机和常规蔬菜生产的养分平衡见表 4。从表中可以看出, 由于施肥量不同, 汇源 3 种养分的盈余量普遍大于常规, 常规大于正谷农场。汇源有机农场从一开始就实施商业化生产, 有机肥投入量较大, 有机肥投入量约 60 000 kg·hm⁻²; 而正谷有机农场自 2005 年以来按照社区支持型模式进行操作, 周末还有消费者到农场进行采摘, 有机肥投入量远低于汇源有机农场。

表 3 有机蔬菜生产中土壤养分含量

Table 3 Nutrient contents in soil of organic vegetable production bases

基地 Bases	蔬菜 Vegetables	土壤养分含量 Nutrients Content		
		全氮 TN/ g·kg ⁻¹	有效磷 Olsen-P/ mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/ mg·kg ⁻¹
汇源	茄子	1.35±0.24	34.58±8.86	417±44
	圆椒	1.34±0.30	27.35±3.17	239±38
	菠菜	2.11±0.19	34.50±3.27	271±31
	茼蒿	0.89±0.15	76.81±5.10	351±7
正谷	油菜	2.78±0.44	37.90±3.01	243±40
	西红柿	1.11±0.07	32.98±2.43	147±33
	胡萝卜	0.71±0.07	18.25±5.86	99±7

表 4 有机和常规蔬菜生产模式下土壤养分平衡
Table 4 Soil nutrient balances in organic and conventional vegetable production systems

生产模式 Production model	养分/Nutrients								
	N			P			K		
	肥料投入/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	输出/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	盈余量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	肥料投入/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	输出/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	盈余量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	肥料投入/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	输出/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	盈余量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
OHY1	660	187	472	312	14.3	297.7	432	215	200
OHY2	660	185	356	312	13.9	298.1	432	190	226
OZG1	575	384	190	464	28.9	435.5	315	452.1	-136.8
OZG2	175	339	-164	139	31.3	107.9	98	262.1	-164.5
CV1	598	246	351	42.0	26.5	15.1	75	297	-222
CV2	611	81.0	529	338	9.5	328	319	108	210

对于 N 素来说,常规生产由于尿素投入量较大、蔬菜产出带走的养分量小,因而呈现出和汇源相同水平的 N 素盈余。对于 P,同样是由于有机肥投入量大、P 素含量较高,而作物输出带走的 P 量水平接近,两个有机农场的 P 盈余量远大于常规蔬菜生产模式。对于 K,虽然正谷和常规蔬菜生产的 K 投入水平接近,但由于正谷蔬菜产出带走 K 量远高于常规模式,因而正谷呈现出 K 亏缺,而汇源农场 K 盈余。

从 N 素输入水平来看,汇源有机农场和正谷第一个有机模式都大于 $170\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平,而 $170\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 是欧盟有机农业标准^[12]中限定的有机肥水平,说明有机蔬菜生产模式 N 素投入量很高,有造成面源污染的潜在风险,值得注意。

2.4 有机生产中土壤和蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 特征

本研究对汇源和正谷有机农场的土壤和蔬菜进行 ^{15}N 测定,分析施肥、土壤和蔬菜中 ^{15}N 含量之间的关系(表 5)。从表中可以看出,汇源农场土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值($6.11\text{‰}\pm 1.74\text{‰}$),低于正谷有机农场($6.80\text{‰}\pm 0.71\text{‰}$)。汇源农场有机肥 $\delta^{15}\text{N}$ 值(12.60‰)高于正谷农场有机肥(8.88‰),但汇源农场仅有 2 年的有机生

产历史(自 2009 年开始),而正谷有机农场有机生产已经有 7 年时间,有机肥长期积累则会增加土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,且正谷有机农场土壤表现出更小的变异程度。

从两个农场的土壤和蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关性分析,汇源农场土壤和蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关系数为 0.269 3,而正谷农场土壤和蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关系数为 0.595 5,进一步说明有机肥长期施用,使得土壤中 ^{15}N 更多来自有机肥,有机氮转化为无机氮后,更多比例的被植物吸收利用,从而反映在植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值上,即蔬菜 and 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 含量之间有更好的相关性。

对有机肥和植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间关系分析可以发现,虽然汇源农场有机肥 $\delta^{15}\text{N}$ 值(12.60‰)高于正谷农场有机肥(8.88‰),而汇源土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值低于正谷有机农场,汇源农场蔬菜的 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于正谷农场,说明有机肥对于叶菜类为主的植物 ^{15}N 贡献量大于土壤。此外,汇源温室生产中鸡粪用量 $60\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, ^{15}N 输入量远大于正谷农场(猪粪用量 $6\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),也是造成汇源农场蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于正谷农场的原

因。对不同种类蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较发现,茄果类(茄子、园椒、西红柿)和叶菜类蔬菜(菠菜、茼蒿)之间 $\delta^{15}\text{N}$ 值没有差异,但与根菜类蔬菜(胡萝卜)之间有极显著差异。

蔬菜不同部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值对肥料呈现不同的反应。对园椒和叶片表明,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值分别为 $9.35\text{‰}\pm 0.84\text{‰}$ 和 $12.44\text{‰}\pm 0.66\text{‰}$ 。氮同位素在植物中的转移和分馏作用是导致不同部位 $\delta^{15}\text{N}$ 值不同的主要原因。

将蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值分别与相应土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 和全 N 进行回归分析发现,蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 和全 N 均无相关性。但土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 却有较好相关性(除

表 5 有机生产中土壤和蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值/ ‰
Table 5 $\delta^{15}\text{N}$ value of vegetables and soil in organic farms/ ‰

基地 Bases	温室 Greenhouse	土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ Soil $\delta^{15}\text{N}$	蔬菜中 $\delta^{15}\text{N}$ Vegetable $\delta^{15}\text{N}$
汇源	茄子	8.30 ± 1.25	12.48 ± 1.19
	圆椒	5.23 ± 0.60	9.35 ± 0.84
	圆椒叶	5.23 ± 0.60	12.44 ± 0.66
	菠菜	4.71 ± 1.82	11.71 ± 1.33
	茼蒿	6.21 ± 0.19	11.65 ± 1.00
正谷	胡萝卜	6.06 ± 0.11	5.62 ± 0.13
	油菜	7.29 ± 0.71	8.13 ± 1.43
	西红柿	7.04 ± 0.48	8.37 ± 0.47

去异常点茄子)(见图1), $\delta^{15}\text{N}_{\text{土壤}} = 13.098\text{N}_{\text{土壤}} + 3.7624$, $R^2 = 0.9389$ 。

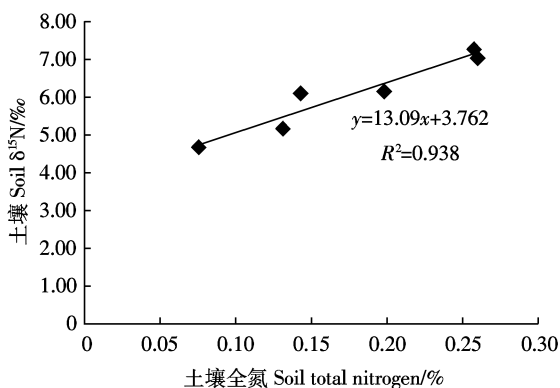


图1 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全氮的关系

Figure 1 Relationship between soil $\delta^{15}\text{N}$ values and soil total nitrogen in organic farms

3 讨论

有机肥是影响土壤无机氮含量的重要因素。曾宪军等^[13]的研究表明,与单纯施用无机氮肥或者有机氮肥相比较,有机无机氮肥配施可以降低蔬菜的土壤硝酸盐含量。在施氮量为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,小白菜和空心菜土壤硝酸盐含量在 $78.4 \sim 127.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。俞巧钢等^[14]模拟浙江杭嘉湖地区小粉土与青紫泥的蔬菜生产,在施肥水平为 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,种植青菜的土壤 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 分别在 $9.23 \sim 19.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $14.75 \sim 22.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。黄运湘等^[15]对洞庭湖平原冲积性菜园土壤无机氮的分析表明,耕层土壤全 N 平均含量为 $1.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, NO_3^--N 和 NH_4^+-N 平均含量分别为 46.00 、 $1.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本研究氮素投入水平较高条件下,即使有机肥也可以明显提高无机氮含量达到 $254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的水平。

同样,较高水平的有机肥投入会造成土壤中养分盈余量增加,有机肥是养分比较完全的肥料,但有机肥施用量一般以氮素作为推荐的对象,这很容易导致磷和钾的投入水平不平衡。有机蔬菜生产中,一般在蔬菜播种/移栽前一次性施入大量有机肥料,这很有可能造成 N、P、K 养分释放与蔬菜吸收不同步。同时,在蔬菜种植前期大量和高密度灌溉,一方面造成养分效率的降低^[16],另一方面会造成土壤养分特别是 N 向深层的淋洗。

马文奇等^[17]对山东蔬菜大棚的调查表明,黄瓜、番茄、辣椒、西葫芦等均会造成 N、P、K 养分在土壤中的大量累积,其中黄瓜每季 P_2O_5 累积量在 $4000 \text{ kg} \cdot$

hm^{-2} 以上, N 和 K_2O 也在 $1500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。本研究的汇源农场 N 投入水平远高于欧盟有机农业的规定,相应的 N 盈余量在 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。张迪等^[18]研究发现,在有机肥施氮量为 $168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,各土层硝酸盐含量都随着施肥年限和施肥量的增加而增加,2年后土壤硝酸盐含量最高达到 $96.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,本研究土壤硝酸盐含量已经超过此水平。

本研究中,有机蔬菜中 $\delta^{15}\text{N}$ 值除胡萝卜外都比土壤中 $\delta^{15}\text{N}$ 的值高。对主要吸收外源氮肥的蔬菜,有机肥中 $\delta^{15}\text{N}$ 的值是影响有机蔬菜中 $\delta^{15}\text{N}$ 的主要因素。不同的蔬菜类型,蔬菜植株的各个部位中 $\delta^{15}\text{N}$ 的值也会有差异。 $\delta^{15}\text{N}$ 受作物种类影响外,还与吸收外源氮肥含量多少以及作物本身生长周期有关。汇源农场蔬菜 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于正谷农场,正是由于其蔬菜主要为叶菜、有机肥量远大于正谷农场造成的。由于氮具有极易向生长旺盛的器官运转的特性,植株不同部位中 $\delta^{15}\text{N}$ 值不同,圆椒叶 $\delta^{15}\text{N}$ 值 ($12.44\text{‰} \pm 0.66\text{‰}$) 高于圆椒果实 ($9.35\text{‰} \pm 0.84\text{‰}$)。

4 结论

(1) 汇源和正谷有机农场蔬菜生产中,土壤无机氮水平在 $8.24 \sim 254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。由于有机肥施用水平较高,土壤 N、P 和 K 含量较高,远高于周围作物土壤养分水平。

(2) 汇源有机农场由于有机肥投入量大,其 N、P 和 K 养分盈余量远高于常规和正谷有机农场,盈余量都高于 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。有机肥的高投入水平,有造成面源污染的潜在风险。

(3) 长期投入有机肥比高量、短期施用有机肥更能增加土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,进而表现为蔬菜和土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 含量之间更好的相关性。高量有机肥可以短期内增加叶菜类植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值。园椒叶比园椒对肥料的 $\delta^{15}\text{N}$ 反应更敏感。

(4) 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全 N 之间有一定的相关性,回归方程为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{土壤}} = 13.098\text{N}_{\text{土壤}} + 3.7624$, $R^2 = 0.938$,而植物 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 之间植物 $\delta^{15}\text{N}$ 与土壤全氮相关性较差。

参考文献:

- [1] ITC. ORGANIC FOOD PRODUCTS IN CHINA[R]. 2011.
- [2] Freddie X. China Organic Products Shanghai Organic Retail Market Profile[R]. 2008.
- [3] IFOAM. The Principles of Organic Agriculture[J]. 2010.
- [4] Kirchmann H, K Tterer T, Bergstr M L. Nutrient supply in organic agri-

- culture[J]. In: Organic Crop Production—Ambitions and limitations, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2008: 89–116.
- [5] Oelofse M, Høgh-Jensen H, Abreu L S, et al. A comparative study of farm nutrient budgets and nutrient flows of certified organic and non-organic farms in China, Brazil and Egypt[J]. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, 2010(87): 455–470.
- [6] 李东初. 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, 2006.
- LI Dong-chu. Applying of NUTMON for the evaluation of small holder nutrients recycling and its economic performance in north China plain[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [7] Kohl D H, Shearer G, Commoner B. Variation in ^{15}N in maize and soil following application of fertilizer nitrogen[J]. *Soil Science of Society of American Proc*, 1973(37): 888–892.
- [8] 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.
- [9] Victoria L, Oteo N, Soler A, et al. Fertilizer Characterization: Isotopic Data (N, S, O, C, and Sr)[J]. *Environ Sci Technol*, 2004(38): 3254–3262.
- [10] Bedard-Haughn A, Van Groenigen J W, Van Kessel C. Tracing ^{15}N through landscapes: potential uses and precautions[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 272(1–4): 175–190.
- [11] 袁玉伟, 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 fertilizer on the stable nitrogen isotope of soil, leaf and cucumber[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(1): 108–113.
- [12] 李花粉, 乔玉辉, 孟凡乔. 国际有机农业标准汇编[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010.
- LI Hua-fen, QIAO Yu-hui, MENG Fan-qiao. International Organic Agricultural Standards[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010.
- [13] 曾宪军, 刘登魁. 有机无机氮肥配施对蔬菜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2006(1): 37–39.
- ZENG Xian-jun, LIU Deng-kui. Effects of the organo-inorgano mixed fertilizers application on Nitrate Contents of Vegetable and Soil[J]. *Hunan Agricultural Science*, 2006(1): 37–39.
- [14] 俞巧钢, 陈英旭, 张秋玲, 等. DMPP 对菜地土壤氮素淋失的影响研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 40–43.
- YU Qiao-gang, CHEN Ying-xu, ZHANG Qiu-ling, et al. Effect of DMPP on Inorganic Nitrogen Leaching Loss from Vegetable Soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4): 40–43.
- [15] 黄运湘, 张杨珠, 曾艳, 等. 洞庭湖平原冲积性菜园土无机氮形态及剖面分布[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(6): 700–704.
- HUANG Yun-xiang, ZHANG Yang-zhu, ZENG Yan, et al. Inorganic nitrogen fractions and profile distribution characteristic in vegetable soil derived from river alluvial in Dongting Lake plain[J]. *Hunan Agricultural Science*, 2010, 36(6): 700–704.
- [16] 杜连凤, 冀宏杰, 张怀志, 等. 不同肥力菜地氮肥去向研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 162–166.
- DU Lian-feng, JI Hong-jie, ZHANG Huai-zhi, et al. The Fate of Nitrogen Fertilizer in Three Fertility Level Vegetable Fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl): 162–166.
- [17] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 65–67.
- MA Wen-qi, MAO Da-ru, ZHANG Fu-suo. Nutrients accumulation within vegetable farming (green house) in Shandong province[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2000, 15(3): 65–67.
- [18] 张迪, 赵牧秋, 牛明芬, 等. 有机肥对设施菜地土壤硝酸盐累积的影响[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(6E): 115–119.
- ZHANG Di, ZHAO Mu-qiu, NIU Ming-fen, et al. Influence of organic manure fertilization on nitrate accumulation under protected cultivation condition[J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, 33(6E): 115–119.