

沼气发酵残余物对叶菜硝酸盐积累的影响

史雅娟¹, 孟凡乔², 杨林书², 李国学²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085, E-mail: yjshi@hotmail.com;

2. 中国农业大学生态和环境科学系, 北京 100094)

摘要: 通过正交实验, 分析沼气发酵残余物(沼液、沼渣)作为肥料, 其施肥量、配施品种、施用方式等因素对油菜和菠菜硝酸盐积累的影响。影响菠菜硝酸盐积累的显著因素按作用程度大小依次为硫酸铵、沼渣和喷施沼液。油菜的显著因素依次为硫酸铵、沼渣和灌施沼液。并根据维持较高产量水平的基础上硝酸盐含量较低的原则, 确定了优选的施肥方案。结果表明, 采用沼渣作底肥, 配合沼液追肥, 生产的蔬菜满足高产和优质的双重目的, 既利用了农业废物, 避免沼气池的二次污染, 又节约化肥, 降低生产成本, 具有一举数得的优点。

关键词: 厌氧发酵残余物; 油菜; 菠菜; 硝酸盐

中图分类号: S131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2001)02-0081-04

Effects of Anaerobic Fermentation Residues on Nitrate Accumulation in Leaf Vegetables

SHI Ya-juan¹, MENG Fan-qiao², YANG Lin-shu², LI Guo-xue²

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085 China;

2. China Agricultural University, Beijing 100094 China)

Abstract: A set of orthogonal experiments was conducted to study effects of Anaerobic Fermentation Residues (AFR) on nitrate accumulation in rape and spinach, respectively. In the sequence of significance, the factors which contribute to the nitrate accumulation significantly in spinach were ammonium sulfate, digested sewage and sprayed digested slurry, while in rape, the order was: ammonium sulfate, digested sewage and irrigated digested slurry. The measure for fertilization was optimized according to the principle of high yield and low nitrate. The results showed that applying AFR on vegetables was a procedure of being able to utilize the agricultural waste, to avoid the pollution of anaerobic fermentation, to reduce the production cost by saving the chemical fertilizer, facilitating the demands for high yield and quality.

Keywords: Anaerobic Fermentation Residues; nitrate; rape; spinach

为解决沼气发酵过程中产生的大量沼液、沼渣对环境的二次污染和资源浪费问题, 我们开展了大量沼液、沼渣综合利用的研究, 包括沼液、沼渣用作肥料、生物农药、饲料等技术, 形成了以沼气为纽带, 与种植业、养殖业相结合的能源生态综合利用体系。

考察产量指标和品质指标(如粮食的粗蛋白, 水果、蔬菜的维生素 C、糖度等)表明, 沼液、沼渣(以下简称沼肥)作为优质有机肥料与化肥或其它有机肥相比, 明显提高了作物的产量和品质, 并防病抗逆^[1-5], 其机理在于沼肥的营养结构易于吸收, 有改土培肥、营造良性土壤微生态系统作用, 其生命活性物质有助于提高抗逆能力等等^[3,6,7]。而沼肥对作物卫生品质的

重要指标硝酸盐的影响研究还鲜有报道。为此, 本文选取易于富集硝酸盐的叶菜类作物, 分析沼渣和沼液的施量、配施品种、施用方式等因素, 对硝酸盐积累的影响, 找出优选施肥方案及各影响因素的作用大小。

1 实验材料与方法

1.1 实验方案

CK₁: 无肥对照;

CK₂: 化肥对照, 底肥尿素 150 kgN · hm⁻², 追肥硫酸铵 150 kgN · hm⁻²。

本试验为盆栽实验, 采用 Φ25 cm × 25 cm 白瓷盆, 每盆装土 6.5 kg, 定苗 10 株, 3 次重复。以沼渣作底肥, 分设 15 000、30 000 和 60 000 kg · hm⁻² 3 个水平(含氮量为 212.5、425.1 和 850.2 kgN · hm⁻²), 追肥设沼液和硫酸铵两种对比, 沼液的追肥方式分为叶面喷

收稿日期: 2000-04-03

作者简介: 史雅娟(1971—), 女, 硕士, 现在中国科学院生态环境研究中心从事资源综合利用及环境管理方面的研究工作。

施和灌施两种;用量水平分别为硫酸铵:0、225和450 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,灌施沼液:0、15 000和30 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (含氮量为0、12和24 $\text{kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$);喷施沼液设添加微量元素 Mo、Mn、B浓度为300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、不添加元素和清水对照这3种水平。另设无肥对照和全化肥对照。采用正交设计,选用正交表($L_9 3^4$),试验方案见表1。

表1 正交试验施肥方案表

Table 1 Design of fertilization in the present orthogonal experiments

试验号	沼渣	灌施沼液	硫酸铵	叶面喷施
1	15 000	0	0	清水
2	15 000	15 000	225	沼液原液
3	15 000	30 000	450	沼液添加液
4	30 000	0	225	沼液添加液
5	30 000	15 000	450	清水
6	30 000	30 000	0	沼液原液
7	60 000	0	450	沼液原液
8	60 000	15 000	0	沼液添加液
9	60 000	30 000	225	清水

注:除叶面喷施外,其余单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,另设对照。

1.2 实验材料

1.2.1 供试蔬菜及品种

油菜(*Brassica chinensis* L.):品种为五月慢;

菠菜(*Spinacia oleraces* L.):品种为菠菜15。

1.2.2 供试沼肥及土壤

所用沼液和沼渣均取自北京市平谷县南独乐河果园沼气池,发酵原料为猪粪,其养分状况和营养元素含量见表2、表3。供试土壤的基本性状见表4。

1.3 测试项目与方法

土壤和肥料的有关指标,采用常规农化分析方法;植株硝酸盐含量,采用紫外比色法;采用鲜样,测定部位为可食部分,加标回收率为95%—105%;沼渣

和沼液的营养元素指标,采用等离子体发射光谱测定。

2 实验结果和讨论

2.1 正交处理硝酸盐含量与无肥对照和化肥对照的比较

油菜和菠菜的硝酸盐含量及正交处理与无肥和化肥的比较,见表5。由表5可见,与无肥相比,菠菜和油菜的化肥对照的硝酸盐含量分别增加43.2%和122.3%,正交试验处理的硝酸盐含量均增加,增幅分别为2.4%—31.6%和88.1%—144.6%(油菜的处理1例外,降低1.1%,但幅度极小,可以忽略)。与化肥对照相比,菠菜和油菜的正交试验处理硝酸盐含量降低,降幅分别为8.1%—28.5%和4.9%—55.5%(油菜的处理7和9硝酸盐含量分别增加了4.5%和10.0%)。

正交实验的各个处理表示了单施沼肥和沼肥化肥配施的多种组合,实验表明,单施沼肥和沼肥化肥配施均比无肥对照增加硝酸盐积累,但比化肥对照减少硝酸盐积累。

2.2 对施肥因素显著性的判别

对表5中的数据进行多元线性回归分析,回归方程采用三元一次方程 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$,结果为:

菠菜的回归方程为 $y = 826 + 0.014 0 x_1 + 0.005 4 x_2 + 1.59 x_3$; 相关系数为0.647;

油菜的回归方程为 $y = 450 + 0.074 1 x_1 + 0.047 7 x_2 + 8.06 x_3$; 相关系数为0.854;

式中: y 为硝态氮含量; x_1 为沼渣施量; x_2 为沼液施量; x_3 为硫酸铵施量。

表2 供试肥料的养分状况

Table 2 Composition of nutrient for the fertilizers and treated materials in the test

肥料	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效氮/%	速效磷(以P计)/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾(以K计)/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
沼渣	33.2	1.417	0.824	1.28	0.20	549.2	883.64
沼液	—	0.080 9	0.003 19	0.297	—	—	—

表3 供试肥料营养元素状况

Table 3 Composition of the elements for the fertilizers and treated materials in the test

肥料	Ca	Co	Cu	K	Mg	Mn	Zn	Fe	Mo	Na	Cr	S	P
沼渣/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	9 705.2	4.055	105.9	4 150.4	4 744.1	218.0	257.4	5 967.3	10.068	376.7	14.5	2 062.9	3 208.1
沼液/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	209.2	0.042	0.275	678.6	103.9	0.839	0.854	4.736	0.026	130.9	0.021	16.25	22.45

表4 供试土壤的基本性状

Table 4 Physical and chemical properties of the soil studied

有机质/%	全氮/%	速效氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷以P计/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾以K计/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	肥力水平*
1.85	0.110	136.0	38.8	205.5	上等

* 土壤肥力水平分级依据(中国科学院南京土壤所,1978):有机质含量>2.0为高等,1.5—2.0为上等,1.0—1.5为中等,<1.0为低等。

表 5 正交处理硝酸盐含量与无肥对照和化肥对照的比较

Table 5 Comparison of nitrate contents in the soils treated with fertilizers and the control

处理	菠菜			油菜		
	硝态氮	较CK ₁	较CK ₂	硝态氮	较CK ₁	较CK ₂
	/mg · kg ⁻¹ FW	/%	/%	/mg · kg ⁻¹ FW	/%	/%
无肥CK ₁	746.1	—	—	428.7	—	—
化肥CK ₂	1 068.1	+ 43.2	—	952.8	+ 122.3	—
1	764.0	+ 2.4	- 28.5	423.5	- 1.1	- 55.5
2	800.3	+ 7.2	- 25.1	892.9	+ 108.5	- 6.2
3	881.7	+ 18.2	- 17.5	874.2	+ 104.2	- 8.9
4	981.8	+ 31.6	- 8.1	805.3	+ 88.1	- 15.4
5	863.6	+ 15.7	- 19.1	855.6	+ 99.8	- 10.2
6	932.4	+ 25.0	- 12.7	806.0	+ 88.2	- 4.9
7	897.2	+ 20.2	- 16.0	995.6	+ 132.5	+ 4.5
8	873.9	+ 17.1	- 18.2	837.1	+ 95.5	- 12.1
9	851.7	+ 14.2	- 20.3	1 047.7	+ 144.6	+ 10.0

油菜和菠菜的回归方程相关性均较好 ($r_{0.01(27)} = 0.487$), 在回归方程中, 各个因素的系数为正值, 代表该因素引起硝酸盐含量增加; 系数为负值, 代表该因素引起硝酸盐含量降低; 系数的大小可以表示该因素对于硝酸盐积累的贡献大小。因此, 两个方程的系数 $b_i > 0$, 说明无论是沼肥还是硫酸铵均会引起硝酸盐的积累; 两个方程中, $b_3/b_2 > 150$, $b_3/b_1 > 100$ 即 $b_3 \gg b_2$, $b_3 \gg b_1$, 且 $b_1 > b_2$, 说明硫酸铵对于硝酸盐的积累的作用远大于沼渣和沼液, 且沼渣的作用大于沼液。

对菠菜和油菜正交试验的硝酸盐含量进行方差分析, 计算过程从略, 结果见表 6。

表 6 菠菜和油菜硝酸盐含量的方差分析表

Table 6 Statistic analysis of nitrate contents in rape and spinach

因素	F 比		$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
	油菜	菠菜		
叶面喷施沼液	1.36	6.54 *	4.41	8.28
沼渣	14.87 *	9.82 *	3.55	6.01
灌施沼液	11.48 *	3.34		
硫酸铵	17.71 *	12.57 *		

各因素方差值与统计值比较, 可以表示该因素对于硝酸盐作用的大小。由表 6 可见, 影响菠菜硝酸盐积累的显著因素依作用程度大小依次为硫酸铵、沼渣和喷施沼液。油菜的显著因素为沼渣、灌施沼液和硫酸铵, 其中影响程度最大的为硫酸铵, 其次为沼渣, 再次为沼液灌施。

以上分析说明硫酸铵是引起硝酸盐积累的最主要原因, 控制硝酸盐积累应首先考虑改硫酸铵的用量。针对不同蔬菜采用合适的方式追肥沼液是对硝酸盐积累的非显著性因素, 应是控制硝酸盐积累的良好方法。

研究表明, K 作为酶的活化剂能促进植株内蛋白质和核蛋白合成, 促进 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 快速转化成氨基酸的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; P 是硝酸还原酶和亚硝酸还原酶中的元素; 喷施 Mo、Mn 和稀土元素均能提高硝酸还原酶的活性; 而硝酸还原酶是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 进入植物体内的同化过程中的限速酶, 其活力高低关系到 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的同化水平及积累强度, 即合理配施 P、K 肥、喷施 Mo、Mn 和稀土元素均能降低硝酸盐含量^[8-13]。沼渣和沼液中含有多种营养元素和微量元素 (见表 3), 利于达到 N、P、K 的平衡, 沼液中含有包括 Mo、Mn 在内的多种微量元素, 利于提高硝酸还原酶的活性, 所以与施用化肥相比, 沼肥能有效降低硝酸盐的积累。

2.3 施肥方案优选

综合考虑硝酸盐含量较低和产量较高两种指标, 来优选施肥方案。油菜和菠菜的优选方案见表 7。

对于油菜, 由表 7 可见, 沼渣因素对于硝态氮 $K_1 < K_2 < K_3$, 对于产量 $K_3 < K_1 < K_2$, 综合两种指标选水平 2, 即沼渣 $30\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 灌施沼液因素对于硝态氮 $K_1 < K_2 < K_3$, 对于产量 $K_1 < K_2 < K_3$, 综合两种指标选水平 2 即沼液 $30\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 硫酸铵因素对于硝态氮 $K_1 < K_3 < K_2$, 对于产量 $K_3 < K_2 < K_1$, 硫酸铵对于硝酸盐积累是显著性程度最大的因素, 所以这里应严格控制硝态氮的指标最低, 综合两种指标, 选水平 1 即硫酸铵 $0\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 喷施沼液因素对于硝态氮 $K_1 < K_3 < K_2$, 对于产量 $K_1 < K_2 < K_3$, 由于沼液喷施是对硝酸盐积累的非显著性因素, 可主要控制产量高的指标, 即选水平 3 (喷施添加液)。即, 优选的施肥方案为沼渣底肥 $30\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、沼液 $30\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、不施化肥和喷施添加液。

表7 油菜和菠菜的优选施肥方案

Table 7 Optimization of the fertilization in the rape field and in the spinach field

处理号	沼渣	灌施沼液	硫酸铵	喷施沼液	油菜产量 /g·盆 ⁻¹	油菜NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹ FW	菠菜产量 /g·盆 ⁻¹	菠菜NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹ FW
1	1(15 000)	1(0)	1(0)	1(清水)	141.7	423.5	39.9	764.0
2	1(15 000)	2(15 000)	2(225)	2(沼液)	133.7	892.9	55.5	800.3
3	1(15 000)	3(30 000)	3(450)	3(添加液)	131.6	874.2	51.4	881.7
4	2(30 000)	1(0)	2(225)	3(添加液)	130.6	805.3	56.2	981.8
5	2(30 000)	2(15 000)	3(450)	1(清水)	121.8	855.6	47.1	863.6
6	2(30 000)	3(30 000)	1(0)	2(沼液)	182.4	806.0	56.8	932.4
7	3(60 000)	1(0)	3(450)	2(沼液)	88.2	995.6	49.0	897.2
8	3(60 000)	2(15 000)	1(0)	3(添加液)	151.8	837.1	39.7	873.9
9	3(60 000)	3(30 000)	2(225)	1(清水)	129.0	1 047.7	33.7	851.7
油菜K ₁	407.0(2 190.6)	360.5(2 224.4)	475.9(2 066.6)	392.5(2 324.8)	1 080.8	(7 539.8)	429.3	(8 029.8)
油菜K ₂	434.8(2 464.9)	407.3(2 583.6)	393.3(2 745.9)	404.0(2 694.5)				
油菜K ₃	369.0(2 880.4)	443.0(2 727.9)	341.6(2 723.4)	414.0(2 516.6)				
菠菜K ₁	146.8(2 506.2)	145.1(2 708.2)	136.4(2 570.3)	120.7(2 537.1)				
菠菜K ₂	160.1(2 834.0)	142.3(2 537.8)	145.4(2 756.8)	161.3(2 629.9)				
菠菜K ₃	122.4(2 680.6)	141.9(2 783.8)	147.5(2 702.7)	147.3(2 862.8)				

注:K = 相同水平的产量(硝态氮含量)之和,例如:对于油菜硝态氮含量,沼渣因素水平1的油菜K₁ = 423.5 + 892.9 + 874.2 = 2 190.6

对于菠菜,沼渣因素对于硝态氮K₁ < K₃ < K₂,对于产量K₃ < K₁ < K₂,沼渣为影响硝酸盐积累的显著性因素,需主要考虑硝酸盐含量较低的指标,并结合产量较高指标选水平1,即沼渣15 000 kg·hm⁻²;喷施沼液因素对于硝态氮K₁ < K₂ < K₃,对于产量K₁ < K₃ < K₂,综合两种指标选水平2即沼液原液;硫酸铵因素对于硝态氮K₁ < K₃ < K₂,对于产量K₁ < K₂ < K₃,硫酸铵对于硝酸盐积累是显著性程度最大的因素,这里应严格控制硝态氮的指标最低,综合两种指标,选水平1即硫酸铵0 kg·hm⁻²;灌施沼液因素对于硝态氮K₂ < K₁ < K₃,对于产量K₃ < K₂ < K₁,综合两种指标,可选水平2(沼液15 000 kg·hm⁻²)。即,优选的施肥方案为沼渣底肥15 000 kg·hm⁻²、沼液15 000 kg·hm⁻²、不施化肥和喷施原液。

油菜和菠菜的优选施肥方案均表明,采用沼渣作底肥,配合沼液追肥,生产的蔬菜满足高产和优质的双重目的。

3 结论

与化肥相比,沼肥和沼肥化肥配施均可减少硝酸盐在油菜和菠菜中的积累。

油菜的各施肥因素对硝酸盐积累影响的显著性判别依次为:硫酸铵、沼渣、灌施沼液;菠菜的各施肥因素显著性判别依次为:硫酸铵、沼渣、喷施沼液。

为满足硝酸盐含量低和产量较高的目的,油菜的优选施肥方案为:沼渣底肥30 000 kg·hm⁻²、沼液

30 000 kg·hm⁻²、不施化肥、喷施添加液;菠菜的优选施肥方案为:沼渣,沼液,硫酸铵分别施量为(15 000, 15 000, 0)kg·hm⁻²,加喷施沼液原液。既利用了农业废物,避免了沼气池的二次污染,又节约了化肥,降低生产成本,具有一举数得的优点。

参考文献:

- [1] 李全,等.沼渣的改土作用及其对稻麦产量和品质影响的研究[J].中国沼气,1992,10(1):7-17.
- [2] 孙家志,等.稻田施用沼肥预防病虫害试验[J].中国沼气,1990,(4):31.
- [3] 全国沼气综合利用技术交流会议文集[C].成都:成都科技大学出版社,1992.
- [4] 张无敌.厌氧发酵残余物在防治病虫害中的作用[J].中国沼气,1996,(1):6.
- [5] 熊心金.应用沼气厌氧发酵技术提高菜篮子工程的综合经济效益[J].中国沼气,1990,(3):35.
- [6] 何志强,等.农业生态系统中沼气综合利用的研究[J].中国沼气,1994,12(4):42.
- [7] 赵京音,等.厌氧发酵残余物对土壤中某些微量元素活化作用的初步研究[J].中国沼气,1994,(2):15.
- [8] 高祖明,等.氮磷钾对叶菜硝态氮积累和硝酸还原酶/过氧化物酶活性的影响[J].园艺学报,1989,16(4):293-297.
- [9] Cokotob O A.氮肥施用的生态观点[J].土壤学进展,1992,20(2):19-22.
- [10] 王庆,等.过量氮肥对不同蔬菜中硝酸盐积累的影响及调控措施研究[J].农业环境保护,2000,19(1):46-49.
- [11] 陆文龙,等.矿质营养对白菜硝酸盐含量的影响[J].农业环境保护,1999,18(3):118-120.
- [12] 陈振德.某些内部和外部因子对蔬菜中硝酸盐含量的影响[J].华北农学报,1988,3(2):110-115.
- [13] 任祖淦,等.氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J].生态学报,1998,18(5):523-528.