

滇池北岸韭黄生产基地韭黄和韭菜产品硝酸盐含量及其积累规律

张瑞杰^{1,2}, 林国林¹, 胡正义^{2,3*}, 吴永红², 逢玉万^{2,4}, 殷小锋²

(¹ 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161; ² 中国科学院南京土壤研究所, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; ³ 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049; ⁴ 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广州 510640)

摘要: 通过对滇池北岸韭黄生产基地 52 份韭黄和 109 份韭菜样品硝酸盐含量分析并结合田间试验, 研究了韭黄硝酸盐累积规律以及光照、氮肥、硝化抑制剂 (双氰胺和硫磺) 对韭黄硝酸盐累积的影响。结果表明, 韭黄硝酸盐含量为 $379.2 \sim 1\,354.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (均值 $774.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 韭菜为 $258.2 \sim 3\,878.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (均值 $1\,615.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。韭黄不同部位硝酸盐含量为: 黄绿叶 > 叶鞘 > 叶片。早上 6:00 韭黄揭棚见光后, 硝酸盐含量逐渐下降, 12:00 后又逐渐升高, 14:00 达最大, 随后又下降。田间试验证实, 减施 20% 的氮肥用量, 韭黄硝酸盐含量下降 13.6%, 产量没有影响; 双氰胺的施用使韭黄硝酸盐含量下降 12.9%, 并提高其产量 11.1%; 硫磺的施用可以增加韭黄产量 13.5%, 减少硝酸盐的含量 8.6%。早上韭黄揭棚见光也能显著减少其硝酸盐含量。上述措施能有效减少韭黄硝酸盐含量, 具有推广价值。

关键词: 韭菜; 硝酸盐; 硝化抑制剂; 光照

中图分类号: S 633.3 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2008) 08-1155-06

The Nitrate Content and Accumulation Character of the Yellow Chinese Chive and Chinese Chive from the North Bank of Dianchi Lake

ZHANG Rui-jie^{1,2}, LIN Guo-lin¹, HU Zheng-yi^{2,3*}, WU Yong-hong², PANG Yu-wan^{2,4}, and YIN Xiao-feng²

(¹ Department of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; ² State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; ³ College of Resources and Environment, Graduate University of The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ⁴ Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Province Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The nitrate content of 52 samples of yellow Chinese chive and 109 samples of Chinese chive collected from the north bank of Dianchi Lake were determined, one field trial was also conducted to investigate the effects of nitrogen fertilization, nitrification inhibitor (DCD and elemental sulfur), and light illumination on content of nitrate in yellow Chinese chive. The results indicated content of nitrate ranged from 379.2 to $1\,354.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ with an average of $774.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in yellow Chinese chive, and from 258.2 to $3\,878.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ with an average of $1\,615.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in Chinese chive. Content of nitrate in different yellow Chinese chive tissue decreased in the following order: Kelly leaf > vagina > lamina. Content of nitrate in yellow Chinese chive decreased after exposing light illumination at 6:00 am, until 12:00 am; subsequently increased gradually and reached at a peak value at 14:00 pm, thereafter decreased again. Field trial results demonstrated that reducing 20% of nitrogen fertilizer decreased by 13.6% nitrate content of yellow Chinese chive without losing yields; DCD decreased nitrate content of yellow Chinese chive by 12.9%, and increased

收稿日期: 2008-04-21; 修回日期: 2008-07-01

基金项目: 国家‘十五’重大科技专项—科技部‘863’项目 (2005AA601010-02); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-YW-N-038)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: zhyhu@gucas.ac.cn)

yields 11.1%; Element sulfur increased significantly yields 13.5%, and reduced its nitrate content by 8.6%; Exposing sunlight of yellow Chinese chive before harvesting also resulted in decrease of its nitrate content. The measures mentioned above could decrease obviously nitrate content of yellow Chinese chive, which are prone to be extensively applied in the study area.

Key words: Chinese chive; nitrate; nitrification inhibitor; illumination

硝酸盐对人体的危害已受到人们的普遍关注。人体摄入的硝酸盐 81.2% 来自蔬菜 (汪李平等, 2004)。韭黄是韭根和少量韭菜茎处于黑暗条件下形成不带叶绿素的柔嫩植株, 其色味具佳。但鉴于韭黄是在黑暗下生产, 人们对其硝酸盐是否超标存在疑虑。

影响蔬菜硝酸盐含量的因素多种多样, 有内部因素, 如蔬菜的种类和品种, 植株的不同部位和不同生长期等; 也有外部因素, 如氮肥的种类和用量, 水分、温度、光照等气候因素 (伍少福等, 2006)。作者以昆明滇池北岸韭黄生产基地为调查研究对象, 在调查韭黄与韭菜硝酸盐累积规律基础上, 通过田间试验研究氮肥施用量、硝化抑制剂施用、采收期和光照等措施对韭黄硝酸盐含量的影响, 以期评价韭黄硝酸盐的食用安全性和无公害生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 滇池北岸韭菜与韭黄硝酸盐含量普查

选择昆明市滇池北岸的官渡区六甲乡韭黄生产基地为调查和田间试验区域。2006 年 9 月末, 于清晨在上述生产基地 35 万 m^2 范围内随机采取当日收割的韭黄样品 52 份, 韭菜样品 109 份。

在昆明地区, 新种植的非菜生长一年左右养根后可进行扣棚生产韭黄, 扣棚时间依季节不同, 夏季约 15 d, 冬季约 30 d。第一次韭黄收获后, 韭根继续生长半年左右可再次生产韭黄, 3 年左右拔掉重新种植。选择刚收割韭黄的 3 块韭菜田, 对其进行一个韭黄生产周期 (约半年) 的考察。分别在韭黄收割后 15、30、60、120 和 180 d 时采集韭菜样, 每块韭菜田采集 3 个样品; 在揭棚收割韭黄时采集韭黄样品, 每块地采集 3 个样品。

在测定韭黄硝酸盐含量时, 选择 5 个样品测定其不同部位硝酸盐含量的差异。依据其生长特性, 将植株分为 3 部分测定, 分别为外部的黄绿叶、黄色叶和叶鞘。

1.2 韭黄硝酸盐含量控制措施研究

在调查区选择梁家村一户韭菜田进行田间试验, 研究氮肥减施、硝化抑制剂 (双氰胺和硫磺) 施用对韭黄产量和硝酸盐累积的影响。该田块无前茬作物, 于 2006 年 7 月 6 日种植韭菜秧苗。种植韭菜前采集土壤样品, 测定其基本理化性质: 有机质 $31.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全 N $1.72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ $44.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ $2.52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 8.15。

试验田面积 480 m^2 , 设置 6 个处理 (表 1)。

每个处理 4 个重复, 共 24 个小区。小区与小区之间下埋塑料隔板避免水分和养分的窜流。

上述施肥处理中, 尿素和双氰胺一年分 12 次, 每 30 d 左右施用一次; 硫磺分 3 次, 每 122 d 左右施用一次。各处理磷、钾肥用量相同, 过磷酸钙为 $6000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 氯化钾 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 一年分为 6 次, 每 60 d 左右施用 1 次。

表 1 田间试验设计

Table 1 Design of field trials

/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

处理 Treatment	尿素 Urea	硫磺 Elemental sulfur	双氰胺 DCD
I (对照 Control)	6 000	0	0
II	4 800	0	0
III	4 800	3 000	0
IV	4 800	0	240
V	4 800	3 000	240
VI	3 600	3 000	180

在韭菜苗生长养根 1 年以后, 于 2007 年 9 月 19 日将上部叶片割掉, 9 月 20 日施肥 (尿素、氯化钾、过磷酸钙和双氰胺), 9 月 26 日扣棚。棚为竹质拱形结构, 高 1.3 m, 宽 3.5 m; 棚上覆盖黑膜, 膜上覆盖稻草。扣棚后每 3 d 采样一次, 每小区采集 3 个样品。扣棚 18 d 后收割韭黄。韭黄收割时按小区计产量。为考察韭黄见光后光照对其硝酸盐累积的影响, 收割时留下部分韭黄植株在撤棚见光后继续生长供采样用。采样从 6:00—20:00, 共采样 8 次, 每次 3 个重复。

1.3 测定方法

紫外分光光度法测定韭菜、韭黄硝酸盐含量 (罗雪华和蔡秀娟, 2004); $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮, 半微量蒸馏法测定植株全氮含量 (鲍士旦, 2000)。

2 结果与分析

2.1 滇池北岸韭菜和韭黄产品中硝酸盐含量及其分布

2.1.1 韭菜和韭黄硝酸盐和全氮含量

调查区韭黄硝酸盐含量为 $379.2 \sim 1\,354.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值 $774.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 2); 全氮为 $21.1 \sim 47.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $33.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 3), 硝酸盐含量变异系数远大于全氮的变异系数。

韭菜硝酸盐含量比韭黄的变化范围更大, 为 $258.2 \sim 3\,878.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 2), 这应该与同一采样时间内韭菜所处的生长期差异较大有直接关系。韭菜硝酸盐含量平均值为韭黄的 2.1 倍; 但是韭黄和韭菜植株全氮含量差异不显著 (表 3)。

表 2 韭菜和韭黄硝酸盐含量

Table 2 The nitrate content in Chinese chive and yellow Chinese chive

材料 Material	样本数 Number	硝酸盐含量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Nitrate content			变异系数/% Variation coefficient
		最大值 Max. value	最小值 Min. value	平均值 \pm 标准差 Mean \pm Std. deviation	
韭黄 Yellow Chinese chive	52	1 356.6	379.2	774.4 ± 244.1	31.5
韭菜 Chinese chive	109	3 878.0	258.2	$1\,615.7 \pm 801.1$	49.6

表 3 韭菜和韭黄全氮含量

Table 3 The total nitrogen content in Chinese chive and yellow Chinese chive

材料 Material	样本数 Number	全氮含量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Total nitrogen content			变异系数/% Variation coefficient
		最大值 Max. value	最小值 Min. value	平均值 \pm 标准差 Mean \pm Std. deviation	
韭黄 Yellow Chinese chive	52	47.2	21.1	33.7 ± 6.4	19.1
韭菜 Chinese chive	109	74.0	14.5	30.9 ± 8.0	25.8

2.1.2 韭黄不同部位硝酸盐含量比较

韭黄不同部位硝酸盐含量从大到小的顺序为: 外部黄绿叶 ($1\,168.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、叶鞘 ($1\,029.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和黄色叶 ($809.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。黄绿叶应该是韭菜残留部分继续生长未完全黄化所成, 黄绿叶硝酸盐含量大于新长出的完全黄化叶, 因此食用时应将外部的黄绿叶摘净。

2.1.3 不同生长期韭菜和韭黄硝酸盐含量比较

试验中测定的 3 个韭菜田韭菜的硝酸盐累积变化规律基本相同, 图 1 为三者平均值的变化曲线。180 d 以前为韭菜养根期, 此后扣棚生产韭黄, 198 d 时采收韭黄。如图 1 所示, 新长出的韭菜其硝酸盐含量逐渐增加, 到 60 d 左右时达到最大, 之后的 120 d 随着韭菜的逐渐衰老其硝酸盐含量逐渐降低; 韭菜的硝酸盐含量明显大于韭黄。

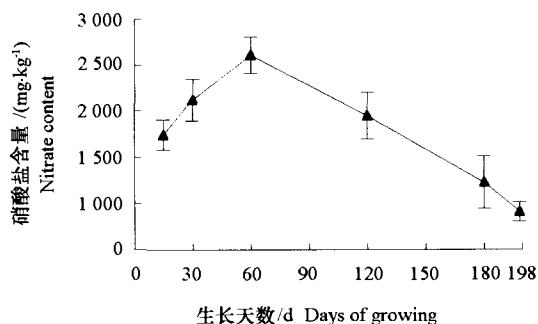


图1 韭菜 (0~180 d) 及韭黄 (198 d) 的硝酸盐含量

Fig. 1 Nitrate content of Chinese chive at different growing stages and yellow Chinese chive

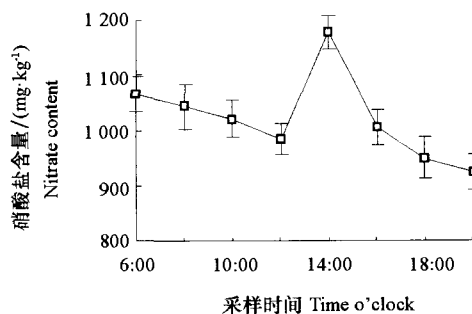


图2 光照对韭黄硝酸盐含量变化影响

Fig. 2 Effect of illumination on nitrate content of yellow Chinese chive

2.1.4 光照对韭黄硝酸盐含量的影响

由图2可知,见光后韭黄硝酸盐含量日变化明显。从6:00到12:00,硝酸盐含量逐渐下降,之后快速上升,在14:00左右达到峰值,随后又开始下降,20:00左右降到最低。

2.2 韭黄硝酸盐控制措施的比较

2.2.1 收割时期对韭黄硝酸盐累积的影响

试验于夏末秋初进行,扣棚期为18 d。以新长出的韭黄叶片和叶鞘为研究对象。6种不同施肥处理下,韭黄硝酸盐含量随时间动态变化明显,且各处理变化趋势一致(图3)。由图3可知,韭黄硝酸盐含量先有一个下降过程,到第6天降到最低,之后又逐渐升高,到第9天升到最高,而后再缓慢下降直到韭黄收获。在第3天采样时韭黄新长出的叶片很少,主要为韭黄的鲜嫩叶鞘,到第6天时韭黄叶片较多,这可能是这两个取样时期硝酸盐含量差异的原因,因为韭黄叶鞘硝酸盐含量大于叶片的含量。到第9天时,韭黄叶片长到25 cm左右,基本成型,此时其硝酸盐含量达到最大。之后随着韭黄继续生长,水分含量增加,也可能存在氮的转化过程,导致其硝酸盐含量逐渐下降。因此,推迟收割有助于韭黄硝酸盐含量的降低。但由于韭黄在棚中生长后期会出现叶尖干枯现象,因此推迟时间不宜太长。当韭黄开始叶尖干枯时就应该收割,否则既影响韭黄的产量也影响其外观品质。

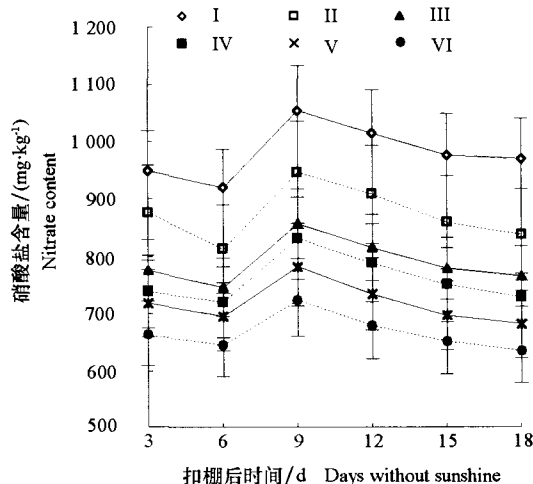


图3 氮肥与硝化抑制剂对韭黄硝酸盐含量的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen fertilizer and nitrification inhibitor on nitrate content of yellow Chinese chive

2.2.2 不同氮肥施用量及双氰胺、硫磺的施用对韭黄硝酸盐累积的影响

整个韭黄生长期,处理II(尿素 $4\,800\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)韭黄硝酸盐含量比对照(尿素 $6\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)降低了7.7%~13.6%,收割时为13.6%;处理V(尿素 $4\,800\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ +硫磺 $3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ +双氰胺 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)与处理VI(尿素 $3\,600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ +硫磺 $3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ +双氰胺 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)相比,韭黄硝酸盐含量下降了6.4%~7.7%,收割时6.8%。这表明减少氮肥施用量有助于减少韭黄硝酸盐含量。

处理IV(尿素 $4\,800\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ +双氰胺 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)的韭黄硝酸盐含量比处理II降

低 11.4% ~ 15.7%, 收割时降低 12.9%。这表明硝化抑制剂双氰胺能显著减少韭黄硝酸盐的积累。

处理Ⅲ (尿素 4 800 kg · hm⁻² · a⁻¹ + 硫磺 3 000 kg · hm⁻² · a⁻¹) 的韭黄硝酸盐含量比处理Ⅱ降低 8.2% ~ 11.4%, 收割时降低 8.6%, 但差异未达到显著水平。

韭黄在收割时其硝酸盐含量, 处理Ⅴ比处理Ⅱ、处理Ⅲ、处理Ⅵ分别降低了 18.5%、10.9% 和 6.5%, 进一步表明双氰胺对韭黄硝酸盐的累积具有明显的抑制作用, 硫磺的作用相对较小。

2.2.3 不同氮肥施用量及双氰胺、硫磺的施用对韭黄产量的影响

不同处理韭黄产量差异明显 (表 4), 由大至小顺序为处理Ⅴ、处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅵ, 经 *LSD* 多重比较检验, 处理Ⅴ与其它各处理差异极显著; 处理Ⅲ和处理Ⅳ差异不显著, 但显著大于处理Ⅱ和处理Ⅰ, 这表明在减施 20% 氮肥基础上配施硫磺或 DCD, 产量不仅没有下降, 而且有明显的增加。处理Ⅱ与处理Ⅰ相比产量有所下降, 但差异不显著, 表明该区施肥量过高, 而韭菜为耐肥作物, 因此并没有表现出中毒症状, 减施 20% 氮肥后并未明显影响其产量。由于韭黄经济价值较高, 因此从经济效益分析, 处理Ⅴ与处理Ⅰ相比, 每公顷增加投入 1.5 ~ 2 万元, 预计增加收入 2.6 ~ 4.8 万元。从环境效益分析, 处理Ⅴ与处理Ⅰ相比, 不但减少了氮肥的用量, 而且由于硫磺和双氰胺的作用还会减少氨挥发和氮的硝化淋溶损失, 提高氮肥利用率, 减少氮肥对水环境的污染。

表 4 不同氮肥施用量及硫磺、双氰胺对韭黄产量的影响

Table 4 Effects of nitrogen fertilizer, sulfur and DCD on yield of yellow Chinese chive / (t · hm⁻²)

处理 Treatment	平均值 Mean	标准差 Std. deviation
I	34.28 C	0.77
II	33.56 C	0.43
III	38.09 B	0.84
IV	37.27 B	0.78
V	42.82 A	0.74
VI	33.21 C	0.58

注: A、B、C 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: The A, B, C in the column mean significant difference at $P < 0.01$.

3 讨论

由试验结果可知, 韭菜硝酸盐含量显著高于其生产出的韭黄。其原因应该是多种影响因素的综合结果, 有待进一步研究。

用于生产韭黄的韭菜品种与直接食用的韭菜品种不同, 因此其硝酸盐含量必然存在差异。本区韭菜品种基本用来生产韭黄, 很少直接食用。因此进一步研究相同地力和环境条件下韭黄与直接食用韭菜的经济效益及硝酸盐安全性, 将对指导生产有重要意义。

韭黄上的黄绿色没有完全黄化部分硝酸盐含量比新生长的新叶芽茎高, 在收割韭黄后, 应尽可能除掉那些没有黄化的部分, 减少韭黄硝酸盐含量。

韭菜硝酸盐含量的动态变化规律应该与韭菜的生长速度相关 (秦玉芝 等, 2000), 因为前期韭菜生长速度很快, 生物量急剧增加, 同时大量硝酸盐的吸收累积, 造成体内硝酸盐含量升高; 两个月后韭菜的生长速度减缓, 因此对硝酸盐的吸收能力也开始下降 (董英 等, 2002), 也可能体内硝酸盐的同化速度大于吸收速度, 因此硝酸盐含量逐渐降低。

光照影响蔬菜硝酸盐的积累, 光强增加, 蔬菜硝酸盐含量下降 (Scaife & Schloemer, 1994), 延长光照时间可降低硝酸盐的积累。本试验中, 韭黄揭棚后, 光照导致韭黄植株硝酸盐明显下降。而下午 14:00 左右韭黄硝酸盐出现峰值 (图 2) 应与该时段温度高有关 (陈国安, 2002)。因此, 为降低韭黄硝酸盐含量, 建议收割韭黄前先揭棚光照 3 ~ 4 h。

双氰胺能显著减少韭黄硝酸盐的积累, 因为双氰胺可以抑制土壤中氮的硝化作用, 减少铵态氮向硝态氮的转化, 减少蔬菜对硝态氮的过度吸收 (许超 等, 2005)。

硫磺施入土壤后通过硫杆菌的作用被氧化而产生 H⁺, 从而降低了土壤 pH (胡正义和徐成凯,

2002)。本试验区土壤呈碱性 (pH 8.15), 因此土壤氨挥发会比较强烈, 而施硫处理可以有效降低土壤 pH, 从而减少土壤氨挥发。氨挥发减少后会有较多的铵态氮存留在土壤表层。硫元素在土壤微生物的作用下氧化为 SO_4^{2-} 过程中, 其中间体为 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 和 $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ (陶运平和 Adams, 1997; Barbosa-Jefferson et al., 1998)。而硫代硫酸盐 ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) 又能有效抑制 NH_4^+ 向 NO_3^- 转化 (Sullovan & Havlin, 1992; 陶运平和 Adams, 1997)。因此, 硫磺的作用是其双重作用的综合结果, 其对非黄硝酸盐含量的抑制作用相对较小。

总之, 通过施肥调控、硝化抑制剂的使用、韭黄收割前短时间光照等措施能有效减少韭黄硝酸盐含量, 这些栽培措施在降低韭黄硝酸盐生产中具有一定的参考价值和推广价值。

References

- Bao Shi-dan. 2000. Analyze on agricultural chemistry and soil. The Third Edition. Beijing: China Agriculture Press; 264–267. (in Chinese)
 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社; 264–267.
- Barbosa-Jefferson V L, Zhao F J, McGrath S P, Magan N. 1998. Thiosulphate and tetrathionate oxidation in arable soils. *Soil Biol Biochem*, 30 (5): 553–559.
- Chen Guo-an. 2002. Nitrate content in vegetables and its regulation; Academic special; 11–13. (in Chinese)
 陈国安. 2002. 蔬菜中硝酸盐的含量及其调控. 长江蔬菜: 学术专刊; 11–13.
- Hu Zheng-yi, Xu Cheng-kai. 2002. Action and environment quality of chemical material in soil//Chen Huai-man. Beijing: Science Press; 283–307. (in Chinese)
 胡正义, 徐成凯. 2002. 土壤中化学物质的行为与环境质量//陈怀满. 北京: 科学出版社; 283–307.
- Luo Xue-hua, Cai Xiu-juan. 2004. Determination of nitrate content in vegetables by UV-spectrophotometric method. *Journal of China University of Tropical Agriculture*, 10 (1): 13–16. (in Chinese)
 罗雪华, 蔡秀娟. 2004. 紫外分光光度法测定蔬菜硝酸盐含量. 华南热带农业大学学报, 10 (1): 13–16.
- Qin Yu-zhi, Chen Xue-wen, Liu Ming-yue, He Chang-zheng. 2000. Study on the variety of nitrate accumulated of celery. *Journal of Hunan Agricultural University*, 26 (2): 100–101. (in Chinese)
 秦玉芝, 陈学文, 刘明月, 何长征. 2000. 芹菜硝酸盐积累量变化的研究. 湖南农业大学学报, 26 (2): 100–101.
- Scaife A, Schloemer S. 1994. The diurnal pattern of nitrate uptake and reduction by spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Annals of Botany Company*, 73: 337–343.
- Sullovan D M, Havlin J L. 1992. Soil and environmental effects on urease inhibition by ammonium thiosulfate. *Soil Sci Soc Am J*, 56: 950–956.
- Tao Yun-ping, Adams W A. 1997. Effect of ammonium thiosulfate on soil nitrification. *Acta Pedol Sin*, 34 (4): 467–473. (in Chinese)
 陶运平, Adams W A. 1997. 硫代硫酸铵对土壤硝化作用的影响. 土壤学报, 34 (4): 467–473.
- Wang Li-ping, Xiang Chang-ping, Wang Yun-hua. 2004. Nitrate contamination status in vegetables and its research progress of controlling methods in China. *Journal of Changjiang Vegetables*, (4): 1–4. (in Chinese)
 汪李平, 向长萍, 王运华. 2004. 我国蔬菜硝酸盐污染状况及防治途径研究进展 (上). 长江蔬菜, (4): 1–4.
- Dong Ying, Wu Shou-yi, Huang Da-ming, Wang Li-qun. 2002. Nitrate accumulation and its physiological mechanism in vegetables. *Jiangsu Agricultural Sciences*, (6): 78–81. (in Chinese)
 董英, 吴守一, 黄达明, 王利群. 2002. 蔬菜硝酸盐的累积及其生理机制研究进展. 江苏农业科学, (6): 78–81.
- Wu Shao-fu, Wu Liang-huan, Shi Qi-wei. 2006. Research progress of nitrification inhibitors on decreasing vegetable nitrate accumulation and its affecting factors. *Chinese Journal of Soil Science*, 37 (6): 1236–1241. (in Chinese)
 伍少福, 吴良欢, 石其伟. 2006. 硝化抑制剂对降低蔬菜硝酸盐积累的影响及其影响因素的研究进展. 土壤通报, 37 (6): 1236–1241.
- Xu Chao, Wu Liang-huan, Zhang Li-min, Ju Xiao-tang, Zhang Fu-suo. 2005. Effect of nitrogen fertilizer with nitrification inhibitor DMPP on nitrate accumulation and nutritional quality of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 4 (1): 22–28. (in Chinese)
 许超, 吴良欢, 张立民, 巨晓棠, 张福锁. 2005. 含硝化抑制剂 DMPP 氮肥对小白菜硝酸盐累积和营养品质的影响. 植物营养与肥料学报, 4 (1): 22–28.