

# 含硝化抑制剂 DMPP 复合肥对日光温室芹菜生长和营养品质的影响\*

伍少福<sup>1,2</sup> 吴良欢<sup>1\*\*</sup> 尹一萌<sup>3</sup> 杨曙东<sup>3</sup> 陈贤友<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 浙江大学环境与资源学院环境修复与生态健康教育部重点实验室, 杭州 310029; <sup>2</sup> 浙江省绍兴市农业技术推广总站, 浙江绍兴 312000; <sup>3</sup> 浙江省嵊州市农业科学研究所, 浙江嵊州 312464)

**摘要** 通过田间试验研究了含硝化抑制剂 DMPP 复合肥对日光温室芹菜生长和品质的影响. 结果表明, 与普通复合肥相比, 一次基施 DMPP 复合肥 67.5 和 54.0 kg·hm<sup>-2</sup> 氮处理分别使芹菜增产 5.78% 和 10.14%; DMPP 复合肥可降低芹菜可食部分硝酸盐含量, 提高 Vc、游离氨基酸、可溶性糖及氮、磷含量. 与分次施用相比, 适当减少 DMPP 复合肥施用次数和用量可提高芹菜产量并改善其品质, 降低生产成本. DMPP 复合肥在施入土壤中后具有显著的硝化抑制作用, 延缓了菜地土壤铵态氮向硝态氮的转化, 降低了氮素向水体迁移的风险. 芹菜收获后土壤中全氮、铵态氮、硝态氮残留较多, 有利于保持地力.

**关键词** DMPP 复合肥 硝化抑制剂 品质 芹菜

**文章编号** 1001-9332(2007)02-0383-06 **中图分类号** S636.3 **文献标识码** A

**Effects of DMPP-compound fertilizer on greenhouse celery growth and nutritional quality.**

WU Shao-fu<sup>1,2</sup>, WU Liang-huan<sup>1</sup>, YIN Yi-meng<sup>3</sup>, YANG Shu-dong<sup>3</sup>, CHEN Xian-you<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecosystem Health of Education Ministry, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>2</sup>Agri-Technology Extension of Shaoxing City, Shaoxing 312000, Zhejiang, China; <sup>3</sup>Shengzhou Institute of Agricultural Science, Shengzhou 312464, Zhejiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(2): 383-388.

**Abstract:** A field study with greenhouse celery (*Apium graveolens* L.) showed that compared with basal application of ordinary compound fertilizer, one-time basal application of DMPP-compound fertilizer (ENTEC<sup>®</sup>, 12-12-17) at the rates of 67.5 kg N·hm<sup>-2</sup> and 54.0 kg N·hm<sup>-2</sup> increased the yield by 5.78% and 10.14%, respectively. The application of ENTEC<sup>®</sup> also improved the nutritional quality of edible parts, e.g., the Vc, amino acid, soluble sugar, N and P contents increased, while nitrate content decreased. Compared with basal plus side dressing applications, appropriately reducing the application rate and times of ENTEC<sup>®</sup> had more beneficial effects on celery yield and quality, and reduced the production costs. ENTEC<sup>®</sup> could suppress the transformation of soil NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N effectively, and thus, its application could retain soil residual N more in NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N than in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N form after celery harvested, resulting in a reduction of nitrate leaching.

**Key words:** DMPP-compound fertilizer; nitrification inhibitor; quality; celery.

## 1 引 言

硝化抑制剂可以抑制土壤中铵态氮向硝态氮的转化, 减少硝酸盐的淋失和 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等温室气体的

释放, 从而提高肥料利用率<sup>[1,7,14,22]</sup>. 目前, 对硝化抑制剂研究最多的是 DCD、HQ、NBPT<sup>[5]</sup>, 并取得了一定的研究成果. 由德国 BASF 公司开发的欧盟专利产品 3,4-二甲基吡唑磷酸盐 (3,4-dimethylpyrazole phosphate, DMPP) 是一种新型、高效、广受欢迎的新型硝化抑制剂, 与其它硝化抑制剂相比, 其具有用量小、残留量小、自身难以淋失、抑制作用持续时间长等特点, 且对作物没有毒害, 容易添加在氮肥和复

\* 国家自然科学基金项目 (30370838)、浙江省科技攻关项目 (021102084) 和浙江省“三农五方”科技协作计划资助项目 (SN200404).

\*\* 通讯作者. E-mail: finm@zju.edu.cn  
2006-02-27 收稿, 2006-11-25 接受.

合肥中,操作简便<sup>[11,23]</sup>.已有研究表明,DMPP能够降低菠菜(*Spinacia oleracea*)、小青菜(*Brassica campestris*)、包心菜(*Brassica oleracea*)等蔬菜的硝酸盐含量,提高蔬菜营养品质<sup>[11,17-21]</sup>,但其效果也受土壤温度、pH、有机质及土壤质地等多种因素的制约<sup>[2-3,6,23]</sup>.迄今为止,还没有关于DMPP在芹菜(*Apium graveolens*)上的应用报道.因此,本试验在日光温室条件下对含DMPP的新型复合肥ENTEC<sup>®</sup>在芹菜上的施用方法及其效果进行研究,以期对蔬菜养分的综合管理提供新的途径.

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设计

试验于2005年在浙江省嵊州市农业科学研究所试验基地进行.供试土壤类型为菜园土,土壤有机质 $28.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮 $2.48\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,铵态氮 $37.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝态氮 $1.73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷(Olsen-P) $79.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾( $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ ) $158.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH( $\text{H}_2\text{O}$ )5.23.供试肥料为普通复合肥(狮马牌,15-15-15)和含硝化抑制剂DMPP复合肥(EN-TEC<sup>®</sup>,12-12-17),其中DMPP复合肥由德国BASF公司提供.

考虑到试验点土壤本身磷钾含量较高,再加上有机肥的施用,磷钾供应充足,芹菜对复合肥料中磷钾养分的反应可能较小,且供试DMPP复合肥与普通复合肥磷钾含量相差不大( $<3\%$ ),为便于总结DMPP复合肥施用技术,并简化试验操作要求,本试验仅根据复合肥含氮量设5个施氮处理,即:1)普通复合肥(CK),按当地常规施氮量计,施氮量 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基施;2)DMPP复合肥( $\text{N}_1$ ),按当地常规施氮量计,施氮量 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基施;3)DMPP复合肥( $\text{N}_2$ ),按当地常规施氮量的80%计,施氮量 $54.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基施;4)DMPP复合肥( $\text{N}_3$ ),施氮量 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,2/3基施,1/3追施;5)DMPP复合肥( $\text{N}_4$ ),施氮量 $54.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,2/3基施,1/3追施.小区面积为 $15\text{ m}^2$ ,3次重复.移栽前1周各处理均施有机肥(干质量,含N 2.12%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  1.89%、 $\text{K}_2\text{O}$  1.32%) $6750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,移栽前3d按照试验设计将所需基肥施入,8月6日进行追施.供试芹菜品种为“上农玉芹”,于2005年6月12日播种,7月18日移栽,9月22日收获.

### 2.2 测定方法

各处理于芹菜生长前期(9月1日)取茎和叶测

定硝酸盐(以 $\text{NO}_3^-$ -N计)和维生素C(Vc)含量.生长盛期(9月22日)收获时,每小区取 $2\text{ m}^2$ 计产,同时测定株高、单株鲜质量.植株鲜样取回后(9月22日)分成2份,其中1份立即测定叶绿素、硝酸盐、维生素C、氨基酸、可溶性糖含量,另1份置于烘箱中于 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干后测定全氮、全磷、全钾含量.叶绿素含量采用叶绿素计(SPAD-502)测定;硝酸盐含量采用水杨酸法测定;维生素C含量采用2,6-二氯酚酚滴定法测定;氨基酸含量采用茚三酮比色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[8]</sup>;全氮、全磷、全钾含量分别采用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}_2$ 消化-蒸馏法(N)、钼锑抗比色法(P)和火焰光度法(K)测定<sup>[10]</sup>.

分别于芹菜生长期间的9月1日、9月15日、9月22日和收获后的9月30日取耕层0~20cm土壤测定全氮(N)、铵态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)、硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)含量.全氮采用凯氏定氮蒸馏法测定,铵态氮、硝态氮采用MgO-定氮合金蒸馏法测定<sup>[10]</sup>.试验数据采用STATISTICA 5.5软件进行统计分析.

## 3 结果与分析

### 3.1 DMPP复合肥对芹菜生长和产量的影响

由表1可知,与普通复合肥(CK)相比,DMPP复合肥能够促进芹菜的生长,提高芹菜株高、鲜质量以及叶绿素含量.除基施氮 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理外,其它处理株高、单株鲜质量均比对照显著提高.而叶绿素含量只有施氮 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理显著提高,其它处理效果均不显著.DMPP复合肥基施处理使芹菜产量显著提高,一次基施氮 $67.5$ 与 $54.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理分别比对照增产5.78%和10.14%,但分次施用DMPP复合肥则使芹菜产量显著降低,这可能是由于芹菜前期所需养分较多,而分次施肥不能够及时补充养分,因此,DMPP复合肥用于芹菜以基

表1 DMPP复合肥对芹菜生长和产量的影响

Tab.1 Effect of DMPP-compound fertilizer on growth and yield of celery

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	单株鲜质量 Fresh mass per plant (g)	叶绿素 计读数 SPAD value	产量 Yield ( $\times 10^3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )
CK	53.03b	32.90b	25.90c	47.92b
$\text{N}_1$	56.62ab	35.82ab	30.17a	50.69ab
$\text{N}_2$	58.43a	39.24a	27.07bc	52.78a
$\text{N}_3$	57.98a	37.61a	29.43ab	40.97c
$\text{N}_4$	58.02a	38.77a	28.10abc	43.75c

同一列数据后不同字母表示处理间差异达显著水平( $P < 0.05$ ) Values in the same column followed by different letters meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

施为佳,这样也可减少劳动时间和工作量. DMPP 复合肥分别在基施和分次施肥方式下,施氮量 54.0 与 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理芹菜产量均未达到显著性差异水平,这说明在本试验条件下可适当减少 DMPP 复合肥的施用量.

### 3.2 DMPP 复合肥对芹菜生长前期硝酸盐和 Vc 含量的影响

DMPP 复合肥可降低芹菜硝酸盐含量(图 1). 基施条件下,施氮 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理( $N_1$ )的芹菜茎硝酸盐含量与对照差异不显著,而施氮 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理( $N_2$ )的茎硝酸盐含量与对照相比显著下降;施氮 67.5 和 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的芹菜叶硝酸

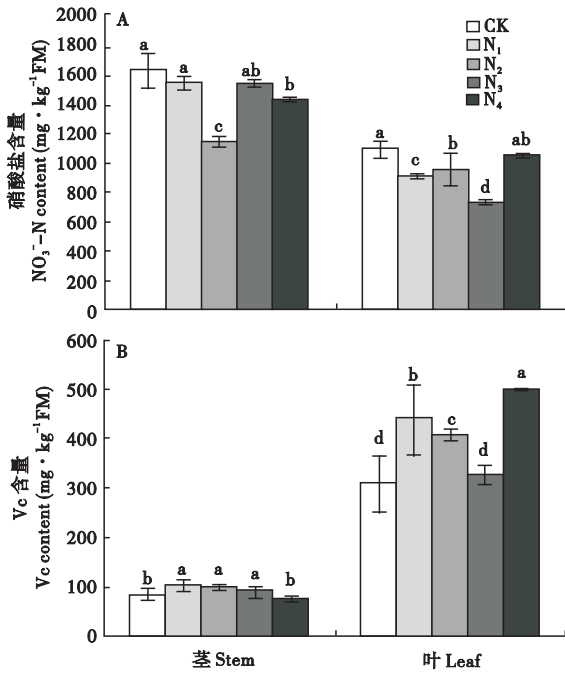


图 1 DMPP 复合肥对芹菜生长前期硝酸盐(A)和 Vc(B)含量的影响

Fig. 1 Effect of DMPP-compound fertilizer on nitrate (A) and vitamin C (B) contents of celery at early growing stage.

表 2 DMPP 复合肥对芹菜营养品质的影响

Tab. 2 Effect of DMPP-compound fertilizer on the nutritional quality of celery

处理 Treatment	器官 Organ	硝酸盐 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg·kg <sup>-1</sup> FM)	维生素 C Vc (mg·kg <sup>-1</sup> FM)	游离氨基酸 Amino acid (mg·kg <sup>-1</sup> FM)	可溶性糖 Soluble sugar (g·kg <sup>-1</sup> FM)	N (g·kg <sup>-1</sup> DM)	P (g·kg <sup>-1</sup> DM)	K (g·kg <sup>-1</sup> DM)
CK	茎 Stem	1426.8a	60.1b	35.2b	2.55b	19.1b	6.26b	58.4a
	叶 Leaf	881.9a	465.4a	436.6a	4.31b	38.5b	5.02b	24.1a
N <sub>1</sub>	茎 Stem	1207.3ab	76.8ab	66.9a	3.19a	20.9ab	10.01a	58.7a
	叶 Leaf	668.4b	482.2a	416.4a	5.10ab	31.9b	5.19b	20.9a
N <sub>2</sub>	茎 Stem	1117.1ab	70.7ab	75.8a	2.85a	20.7ab	6.91b	54.3ab
	叶 Leaf	650.6b	507.7a	395.1a	5.35a	34.5ab	6.10a	24.5a
N <sub>3</sub>	茎 Stem	1211.4ab	83.4a	50.7a	2.86a	19.7ab	7.32b	59.1a
	叶 Leaf	763.1ab	562.8a	432.3a	6.03a	38.4b	5.23b	24.6a
N <sub>4</sub>	茎 Stem	1049.9b	73.3ab	70.2a	2.94a	23.8a	7.75b	51.3ab
	叶 Leaf	847.7a	470.7a	376.3a	5.18ab	35.6ab	5.25b	22.8a

盐含量均显著下降. 施氮 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理( $N_1$ )比施氮 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理( $N_2$ )的芹菜茎硝酸盐含量显著上升,而叶硝酸盐含量显著下降.

在施氮 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  条件下,DMPP 复合肥分次施用( $N_3$ )与一次基施( $N_1$ )相比,芹菜茎、叶中的硝酸盐含量都有所降低;而在施氮 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  条件下,DMPP 复合肥分次施用处理( $N_4$ )的芹菜茎、叶中硝酸盐含量与一次基施( $N_2$ )相比有所上升,且在芹菜茎中达到显著性水平. 说明分次施用 DMPP 复合肥对降低硝酸盐含量的效果可能与其用量有关,分次施用 DMPP 复合肥对降低芹菜可食部(茎)的硝酸盐含量效果并不明显,可能还会导致硝酸盐的累积(图 1A).

由图 1 可以看出,DMPP 复合肥可增加芹菜 Vc 含量. 基施条件下,与对照相比,施氮 67.5 与 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的芹菜茎、叶中 Vc 含量显著增加;施氮 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理( $N_1$ )的芹菜茎、叶中 Vc 含量高于施氮 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理,且在芹菜叶中达到显著水平. DMPP 复合肥分次施用与一次基施相比,对 Vc 影响的变化规律与硝酸盐基本一致.

### 3.3 DMPP 复合肥对芹菜营养品质的影响

对生长盛期芹菜营养品质的分析结果表明(表 2),DMPP 复合肥对硝酸盐和 Vc 含量的影响与生长前期基本一致. 与对照(普通复合肥)相比,基施氮 67.5 和 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的芹菜茎中游离氨基酸、可溶性糖、氮、磷含量均比对照有所提高,其中以游离氨基酸、可溶性糖含量的促进效果最为明显,均达到显著性水平,但在芹菜叶中除施氮 54.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的可溶性糖、磷含量显著提高外,其它无明显差异. 可见,DMPP 复合肥能够提高芹菜的营养品质,同时有利于各营养物质向茎中转移,从而提高芹菜食用营养品质. DMPP 复合肥用量对芹菜营养

品质的影响在茎和叶中表现并不一致,施氮  $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理 ( $N_1$ ) 与施氮  $54.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理 ( $N_2$ ) 相比,在芹菜茎中磷含量显著降低,但在叶中却显著升高.表明适当降低 DMPP 复合肥用量有利于各营养品质向茎中转移.

在芹菜茎中 DMPP 复合肥分次施用 ( $N_3$ ) 与一次基施 ( $N_1$ ) 相比,磷含量显著降低;在芹菜叶中 DMPP 复合肥分次施用 ( $N_4$ ) 与一次基施 ( $N_2$ ) 相比,磷含量也显著降低;而对芹菜茎、叶中其它营养品质影响不明显.可见,DMPP 复合肥分次施用可能会降低芹菜品质.

### 3.4 DMPP 复合肥对土壤中无机氮的影响

各处理土壤中全氮含量随时间推移总体上呈下降趋势(图 2 A).在 9 月 1 日到 9 月 22 日期间,DMPP 复合肥各处理土壤中全氮含量均显著高于

对照,说明其有较好的保肥能力.

在芹菜生长期间,土壤中铵态氮和硝态氮都呈下降趋势,可能是被芹菜吸收利用所致. DMPP 复合肥各处理土壤中铵态氮含量显著高于普通复合肥处理,而硝态氮含量却低于普通复合肥处理,说明 DMPP 复合肥施入土壤后能够抑制铵态氮向硝态氮的转化. DMPP 复合肥一次基施处理的铵态氮含量在芹菜生长前期(9 月 1 日)比分次施用有所降低,但在生长后期的规律不十分明显.

表 3 芹菜收获后 0~20 cm 土壤中氮养分情况

Tab.3 Soil residual N (0~20 cm) after celery harvest

处理 Treatment	全氮 Total N ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	铵态氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	硝态氮 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	无机氮 Mineral N ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
CK	1.48b	39.97b	42.19c	82.16c
$N_1$	1.63a	48.93a	99.98a	148.91ab
$N_2$	1.65a	44.96a	55.28b	100.24bc
$N_3$	1.72a	49.83a	122.33a	172.16a
$N_4$	1.56a	41.99a	94.45a	136.44ab

芹菜收获后耕层土壤氮养分测定结果表明(表 3),与普通复合肥(CK)相比,DMPP 复合肥能够提高土壤中全氮、铵态氮、硝态氮含量.收获后土壤中氮含量与氮肥用量有一定的关系,在基施与分次施用 2 种施肥方式下,施氮  $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的土壤中全氮、铵态氮、硝态氮、无机氮含量均有高于施氮  $54.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的趋势,但差异未达到显著性水平.分别在施氮  $67.5$  和  $54.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  两种条件下,分次施用对提高土壤中全氮、铵态氮、硝态氮、无机氮含量的效果仅  $54.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  施氮处理的土壤硝态氮含量达到了显著性水平.

## 4 讨 论

本研究表明,DMPP 复合肥一次基施可提高芹菜产量,但在基施或在分次施用方式下,施氮量  $54.0$  与  $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  间芹菜产量无显著差异. DMPP 复合肥提高芹菜产量的可能原因是其可提高肥料利用率<sup>[12]</sup>,也可能是其氮、磷、钾等养分搭配合理,适合芹菜生长对养分的营养需求.但也有报道指出,DMPP 在提高产量方面的作用并不十分显著<sup>[18]</sup>,因此,还需进行进一步研究.

DMPP 复合肥也可提高芹菜的营养品质,同时有利于各营养物质向可食部(茎)转移(表 2).在芹菜所需的氮、磷、钾 3 因子中,需求量为钾 > 氮 > 磷,

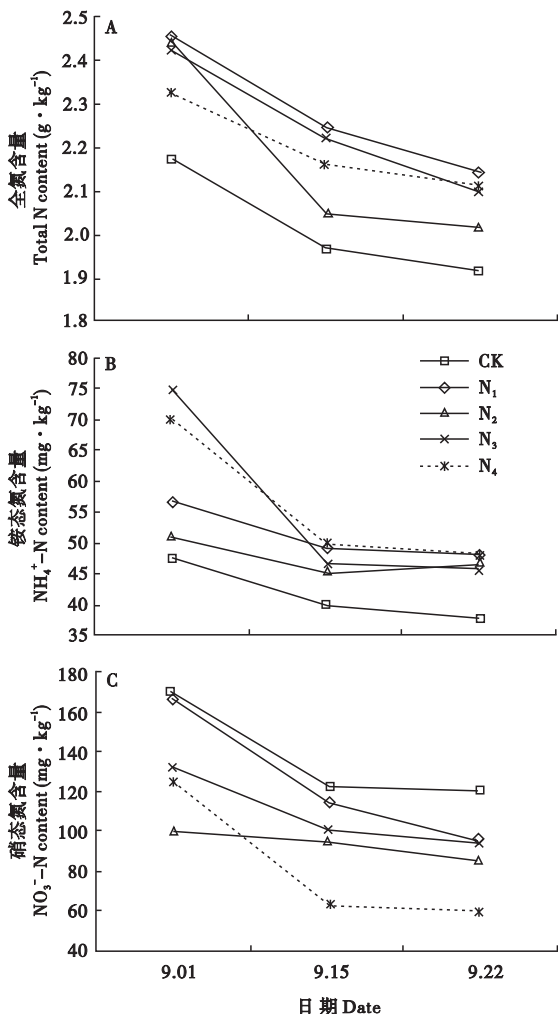


图 2 芹菜生长期间土壤中全氮(A)、铵态氮(B)和硝态氮(C)含量的变化

Fig.2 Changes of contents of total N (A),  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  (B) and  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  (C) in soil during celery growth period.

可见,芹菜是喜钾植物<sup>[24]</sup>.钾能促进蔗糖的合成,有利于糖分的运输和积累<sup>[15]</sup>,钾肥的施用在一定范围内与作物糖分、Vc 含量呈正相关<sup>[9,15]</sup>,而 DMPP 复合肥是高钾型肥料,适合在芹菜上使用,这也可能是其提高芹菜糖分、Vc 含量的重要原因.硝化抑制剂可提高氮肥利用率<sup>[2,12,25]</sup>,减少氮肥的施用量,而硝酸盐含量与氮肥的施用量有显著的相关性<sup>[4,16]</sup>,因此,减少氮肥的施用量是降低硝酸盐含量行之有效的办法.本研究表明,芹菜茎的硝酸盐含量在基施氮 54.0 kg · hm<sup>-2</sup>用量下比 67.5 kg · hm<sup>-2</sup>显著降低,与以前的结论一致.

DMPP 复合肥中的 DMPP 可使 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 在土壤中长期地保持较高浓度,使植物吸收大量的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 而不是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N<sup>[11]</sup>,因此可降低作物 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量,提高氨基酸含量<sup>[19-20]</sup>,本试验的研究结果也证实了这一点(表 2).此外,作物对土壤中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的吸收会伴随有大量 H<sup>+</sup> 的释放,导致作物根际变酸,增加根际范围,提高微生物活性,降低根际土壤 pH 值,提高其它营养元素的有效性,特别是微量元素的有效性<sup>[2]</sup>,为作物吸收生长和改善品质所需的营养元素奠定了基础.

与普通复合肥(CK)相比,施用 DMPP 复合肥后土壤中全氮、铵态氮、硝态氮含量都有所增加.可能是由于对照中大部分铵态氮转化为硝态氮导致氮从土壤中淋失,也可能是 DMPP 复合肥各处理中大部分铵态氮被土壤微生物所同化,转变为微生物组织中的有机氮<sup>[13]</sup>.因此,施用 DMPP 复合肥对保持地力,促进农业可持续发展有重要意义.

硝化抑制剂的作用效果随温度升高而降低<sup>[6]</sup>,本研究虽然是在日光温室条件下进行的,但仍然表现出了较好的效果.许超等<sup>[21]</sup>的研究结果表明,含 DMPP 硫硝铵在基施 75%、追施 25% 条件下,小青菜品质的改善效果明显好于一次基施,而本研究结果表明,一次基施模式在芹菜上的效果要好于基追施肥模式,这可能与作物种类有关,也可能与试验期间气候条件及土壤肥力等因素有关.因此,DMPP 复合肥高效施用技术应因地制宜制定.

## 参考文献

[1] Amberger A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. *Communications of Soil Science and Plant Analysis*, **20**: 1933 - 1955

[2] Azam F, Farooq S. 2003. Nitrification inhibition in soil

and ecosystem functioning - An overview. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **6**: 528 - 535

[3] Barth G, Tucher S, Schmidhalter U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. *Biology and Fertility of Soils*, **34**: 98 - 102

[4] Chen BM, Wang ZH, Li SX, et al. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science*, **167**: 635 - 643

[5] Huang Y-Z (黄益宗), Feng Z-W (冯宗炜), Zhang F-Z (张福珠), et al. 2002. Advances of nitrification inhibitor applied in agriculture. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), **33**(4): 310 - 315 (in Chinese)

[6] Ignacio I, Muro J, Azpiliketa M, et al. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitor DCD and DMPP at various temperatures. *Australian Journal of Soil Research*, **41**: 1177 - 1183

[7] Jiao X-G (焦晓光), Liang W-J (梁文举), Chen L-J (陈利军), et al. 2004. Effects of urease/nitrification inhibitors on soil available N and microbial biomass N and on N uptake of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**(10): 1903 - 1906 (in Chinese)

[8] Li H-S (李合生). 2000. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)

[9] Lin D (林多), Huang D-F (黄丹枫). 2003. Effect of potassium levels on photosynthesis and fruit quality of muskmelon in medium culture. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), **30**(2): 221 - 223 (in Chinese)

[10] Lu R-K (鲁如坤). 2000. Analysis Method of Soil Agro-chemistry. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press. (in Chinese)

[11] Pasda G, Hähndel R, Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agriculture and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*, **34**: 85 - 97

[12] Serna MD, Banuls J, Quinones A, et al. 2001. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus-cultivated soil. *Biology and Fertility of Soils*, **32**: 41 - 46

[13] Sun X (孙羲). 1997. Theory of Plant Nutrition. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)

[14] Sun Z-M (孙志梅), Liang W-J (梁文举), Wu Z-J (武志杰), et al. 2006. Inhibitory effect of pyrazole compound DL-1 on soil nitrification: A preliminary study. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**(2): 201 - 204 (in Chinese)

- [ 15 ] Wang G-Y (王广印), Fu B (付斌), Song A-X (宋爱仙). 2000. Research on the good quality of watermelon and the improved method. *Shanghai Vegetables* (上海蔬菜), (2): 25 - 26 (in Chinese)
- [ 16 ] Wang ZH, Li SX. 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *Journal of Plant Nutrition*, **27**: 539 - 556
- [ 17 ] Xu C, Wu LH, Ju XT, *et al.* 2004. Effects of nitrogen fertilizer with nitrification inhibitor DMPP (3,4-Dimethylpyrazole phosphate) on nitrate accumulation and quality of cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*). *Scientia Agricultura Sinica*, **3**: 622 - 626
- [ 18 ] Xu C, Wu LH, Zhang LM, *et al.* 2005. Role of nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) in  $\text{NO}_3^-$ -N accumulation in greengrocery (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*) and vegetable soil. *Journal of Environmental Sciences*, **17**: 81 - 83
- [ 19 ] Xu C (许超), Wu L-H (吴良欢), Zhang L-M (张立民), *et al.* 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* (植物营养与肥料学报), **11**(1): 137 - 139 (in Chinese)
- [ 20 ] Xu C (许超), Wu L-H (吴良欢), Zhang L-M (张立民), *et al.* 2005. Influence of excessive application of nitrogen fertilizer containing DMPP on nitrate accumulation of pakchoi. *China Environmental Science* (中国环境科学), **25**(Supp1): 106 - 110 (in Chinese)
- [ 21 ] Xu C (许超), Wu L-H (吴良欢), Zheng Z-S (郑寨生), *et al.* 2004. Effects of different ratios of basal application to top dressing of ammonium sulphate nitrate (ASN) fertilizer with DMPP on nitrate accumulation and quality of Greengrocery. *Bulletin of Science and Technology* (科技通报), **20**(5): 464 - 467 (in Chinese)
- [ 22 ] Yu G-H (余光辉), Zhang Y-Z (张杨珠), Wan D-J (王大娟). 2006. Effects of nitrification inhibitors on nitrate content in soil and pakchoi and on pakchoi yield. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**(2): 247 - 250 (in Chinese)
- [ 23 ] Zerulla W, Barth T, Dressel J, *et al.* 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP): A new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils*, **34**: 79 - 84
- [ 24 ] Zhao Y-C (赵芸晨). 2004. Research on the optimal fertilizer rate for high-yield and good quality of celery in greenhouse of Hexi area. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **10**(2): 215 - 217 (in Chinese)
- [ 25 ] Zhao Y-W (赵言文), Liu C-Z (刘常珍), Hu Z-Y (胡正义), *et al.* 2005. Effects of elemental sulphur and dicyandiamide on mitigating  $\text{NO}_3^-$ -N leaching loss from vegetable soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(3): 496 - 500 (in Chinese)

---

作者简介 伍少福,男,1981年生,硕士研究生. 主要从事环境质量与食品安全研究. Tel: 0571-86971921; E-mail: sf\_wu@163.com

责任编辑 张凤丽

---