



doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22644

DMPP 与尿素配施对新疆沙砾土壤 氮素转化和葡萄叶片光合的影响

刘 刚, 窦飞飞, 朱敬敬, 刘怀锋*

(石河子大学农学院, 新疆生产建设兵团特色果蔬栽培生理与
种质资源利用兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘 要: 研究尿素与硝化抑制剂 3,4- 二甲基吡唑磷酸盐 (DMPP) 混施对新疆沙砾土壤氮素转化及葡萄叶片光合的影响, 以为 DMPP 科学应用提供理论依据。以葡萄品种“赤霞珠”为供试作物, 试验设不施肥、单施尿素以及在尿素中分别添加 0.5%、1%、3%、5% 的 DMPP (含氮量的 0.5%、1%、3%、5%), 共 6 个处理, 探讨不同浓度 DMPP 与尿素混施对土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、硝化抑制率、pH 值以及叶片 SPAD 值、净光合速率和胞间 CO_2 浓度等指标的影响。结果表明: 施入尿素使土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量增幅达 150 mg/kg 以上; 与单施尿素相比, 添加不同浓度的 DMPP 不仅可以延缓 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 下降趋势, 还能有效降低土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 上升的趋势, 但 DMPP 在 0.5% ~ 5% 浓度范围内未发生明显的剂量效应, 其中添加 1%DMPP 作用效果最显著; 不同浓度的 DMPP 对土壤的硝化抑制率也不相同, 1%DMPP 在第 14 d 的抑制效果可达到 49.60%; 与不施肥相比, 施入尿素可显著提高叶片净光合速率和 SPAD 值; 利用主成分分析提取出的 4 个主成分可涵盖原始信息的 84.146%, 其中 1%DMPP 处理得分最高。综上所述, 尿素与 DMPP 混施可显著抑制 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化, 提高硝化抑制率, 降低表观硝化率, 使土壤中保持较高水平的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量, 同时还可显著提高叶片净光合速率。不同浓度 DMPP 处理间有一定的显著差异, 从经济效益和应用效果综合考虑, 新疆沙砾土中以 1%DMPP 与尿素配施效果最佳。

关键词: 硝化抑制剂; 3,4- 二甲基吡唑磷酸盐; 葡萄; 氮素转化; 叶片光合

氮是植物生长发育过程中必需的营养元素之一, 也是植物从土壤中吸收量最大的矿质元素, 在构成植物体细胞中蛋白质、酶、生物碱、叶绿素等中扮演着重要角色^[1-5]。施氮能够改善土壤环境、提高土壤养分和作物的产量及品质, 但氮肥利用率一直是作物高效生产的限制因素^[6-10]。硝化抑制剂可有效缓解土壤中的硝化作用, 提高氮肥利用率, 因此被广泛使用^[11-15]。添加硝化抑制剂不仅可以提高叶片 SPAD 值, 还能改善树体的营养贮藏水平^[16-17]。尿素与硝化抑制剂混施可显著降低土壤的氨氧化速率、表观硝化率, 提高土壤硝化抑制率以及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 停留时间并延长土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的半衰期, 最终延缓 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化^[17-20]。有相关证

据表明, 在不同时期配施硝化抑制剂均可增加南丰蜜橘、荷尔脐橙等作物的产量^[18, 21]。在农业生产中, 提高氮肥利用率的同时兼顾经济效益和环境效益, 研究不同地区不同土壤类型条件下的最佳硝化抑制剂浓度成为生产实践中亟待解决的问题^[20, 22]。但目前, 缺乏针对新疆气候和土壤条件下葡萄生产中 3,4- 二甲基吡唑磷酸盐 (DMPP) 推荐使用量的研究。本研究拟通过田间试验, 揭示 DMPP 与尿素配施对土壤氮素转化及葡萄叶片光合的影响, 提出最佳的 DMPP 施用浓度, 以为当地葡萄生产中 DMPP 的科学应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于新疆玛纳斯县园艺场 (44°17'N, 86°9'E) 进行; 以 8 年生酿酒葡萄“赤霞珠”为供试作物; 果树整形方式: 两主蔓扇形树形, 土壤类型为沙砾土。硝化抑制剂: DMPP=95%; 氮肥: 尿素 (新疆中能万源化工有限公司, N 46%)。土壤基本理化性质见表 1。

收稿日期: 2022-10-24; 录用日期: 2023-01-03

基金项目: 中国-比利时-南非酿酒葡萄主产区气候特征与微生物多样性比较研究 (2021YFE0109500)。

作者简介: 刘刚 (1994-), 硕士研究生, 研究方向为果树栽培生理。E-mail: 895876529@qq.com。

通讯作者: 刘怀锋, E-mail: lhf_agr@shzu.edu.cn。

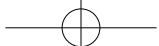


表 1 土壤基本理化性状

土壤类型	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/kg)	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	pH
沙砾土	21.25	42.01	84.11	166.12	261.82	8.01	7.4

1.2 试验设计

本试验共设 6 个处理, 每个处理 6 个重复, 选取生长趋势一致的连续 36 棵树做试验材料 (表 2)。于“赤霞珠”花后一周施入尿素和不同浓度 DMPP (N 0%、0.5%、1%、3% 和 5%, 分别用 N 、 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 表示)。具体施肥方式如下: 每棵树沿树冠内缘 50 cm 处挖 20 cm 深的条沟, 每株施入 200 g 尿素, 将不同浓度的 DMPP 溶于 1000 mL 水后洒在尿素上, 覆土, 灌水。

表 2 不同浓度硝化抑制剂方案设计 (g)

硝化抑制剂	CK	N	N_1	N_2	N_3	N_4
尿素	0	200	200	200	200	200
DMPP	0	0	0.46	0.92	2.76	4.6

注: DMPP 浓度 = DMPP 重量 / 纯氮重量。

1.3 样品采集及测定方法

施肥后, 采集第 3、7、14、28、42、56 d 条沟内 0 ~ 30 cm 土样。土壤基本理化性质参照常规划方法测定, 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 采用靛酚蓝比色法, 土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 采用双波长紫外分光光度法, 土壤 pH 采用电位法; 采用 SPAD-520Plus 叶绿素测定仪测定叶片 SPAD 值, 采用 LI-6800XT 便携式光合仪测定净光合速率和胞间 CO_2 浓度^[23]。

1.4 计算公式

土壤硝化抑制率 = $(A - B) / A \times 100\%$ 。A 为单施尿素时土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量 (mg/kg), B 为添加硝化抑制剂后土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量 (mg/kg);

土壤表观硝化率 = $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量 / ($\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量 + $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量);

土壤净矿化速率 = $(\text{培养后 } \text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N} - \text{初始 } \text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}) / \text{培养天数}$;

土壤净硝化速率 = $(\text{培养后 } \text{NO}_3^-\text{-N} - \text{初始 } \text{NO}_3^-\text{-N}) / \text{培养天数}$ 。

1.5 数据分析

试验数据采用 Office 2019、SPSS 27.0 和 Origin 2022 进行统计与分析, 采用 Duncan 最小显著极差法进行多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 DMPP 处理对土壤中氮素转化的影响

2.1.1 土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、无机氮含量的动态变化

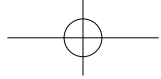
由图 1A 可知, 在整个培养周期内, CK 处理土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量显著低于其他处理。培养第 3 d 时, 除 CK 处理外其余各处理土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量均增加 150 mg/kg 以上。培养第 3 ~ 28 d, N_1 ~ N_4 处理均在第 14 d 达到峰值, 比 N 处理延迟 7 d; 第 14 d 时, 各浓度 DMPP 处理与 N 处理相比, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量增加了 22.52% ~ 45.31%, 此时 N_2 处理含量最高 (413.48 mg/kg)。培养结束时, 土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的大小顺序为 $\text{N}_3 > \text{N}_2 > \text{N}_1 > \text{N}_4 > \text{N} > \text{CK}$, N_3 与 N_2 处理间有显著性差异, 说明添加不同浓度 DMPP 可有效延迟土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化。

由图 1B 知, 在整个培养周期内, 不同浓度 DMPP 处理在不同时间段的变化趋势具有一定差异性。培养第 7 ~ 14 d, N 处理呈急速上升的趋势且增幅为 130.80 mg/kg, 添加 DMPP 处理的增幅范围为 15.57 ~ 80.54 mg/kg, 其中增幅最低的为 N_2 处理; 第 14 d 时, 土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的大小顺序为 $\text{N} > \text{N}_3 > \text{N}_1 > \text{N}_4 > \text{N}_2$, 此时 N 处理显著高于其他处理; 培养结束时, N 处理土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量最多, 为 398.59 mg/kg, 而添加不同浓度 DMPP 处理的土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量仅为 331.74 ~ 348.34 mg/kg。综合分析, 添加 DMPP 能阻碍土壤中氨氧化的发生, 有效减少土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量。

如图 1C 所示, 所有施肥处理的土壤无机氮含量均显著高于 CK 处理, 其变化趋势与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的变化趋势相似 (图 1A)。N ~ N_4 处理的土壤无机氮含量在 3 ~ 14 d 以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量为主, 14 ~ 56 d 以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量为主, 于第 14 d 出现峰值。

2.1.2 土壤中硝化抑制率、表观硝化率的动态变化

由图 2A 可知, 除 N_4 处理外, 其余各处理的土壤硝化抑制率呈先上升后降低的趋势; 第 14 d 时各处理达到峰值, 此时 N_2 处理的土壤硝化抑制率为 49.60%, 效果最好。培养结束后, 土壤硝



化抑制率的大小顺序为 $N1 > N4 > N2 > N3$ 。由此说明,不同浓度的 DMPP 对土壤硝化抑制能力的大小不一。

由图 2B 可知,在整个培养周期内,各浓度 DMPP 处理的土壤表观硝化率显著低于 N 处理,表

明添加 DMPP 可显著降低土壤中 NH_4^+-N 的硝化速度。培养结束时,土壤表观硝化率的大小顺序为 $N > N4 > N1 > N2 > N3$,此时最高与最低处理表观硝化率相差 14.18%。结果表明,DMPP 可有效抑制土壤硝化反应的发生。

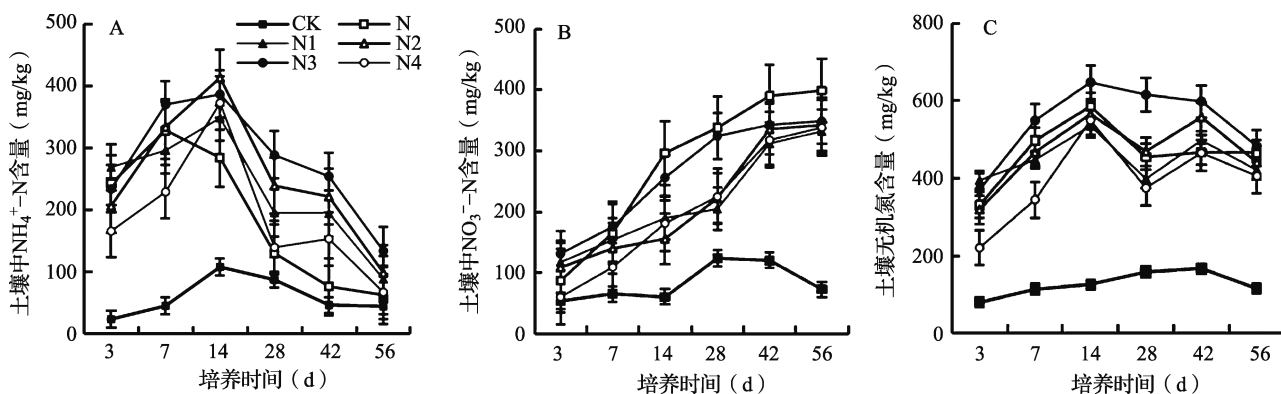


图 1 硝化抑制剂处理对土壤中 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、无机氮的影响

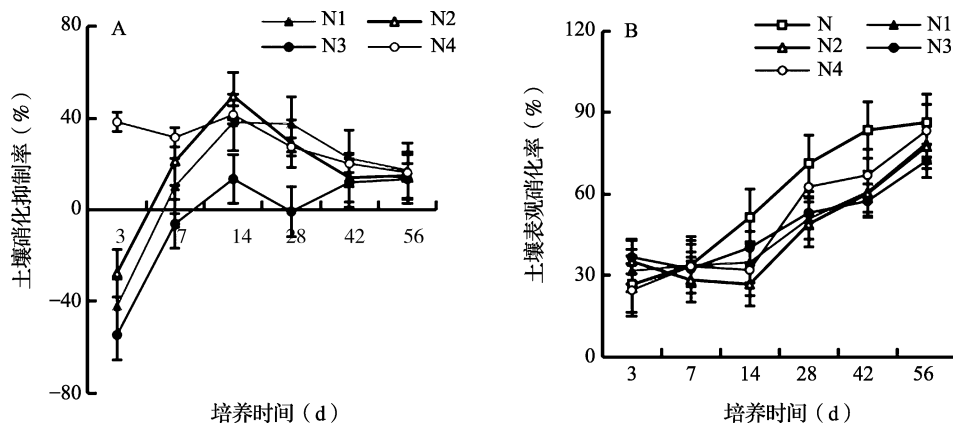


图 2 不同浓度 DMPP 处理对土壤硝化抑制率、表观硝化率的影响

2.1.3 土壤中净矿化速率、净硝化速率的动态变化

由图 3A 可知,随着培养时间的增加,各处理

的土壤净矿化速率总体呈下降趋势。培养第 3 ~ 14 d 内, N1 处理可显著提高土壤净矿化速率;在

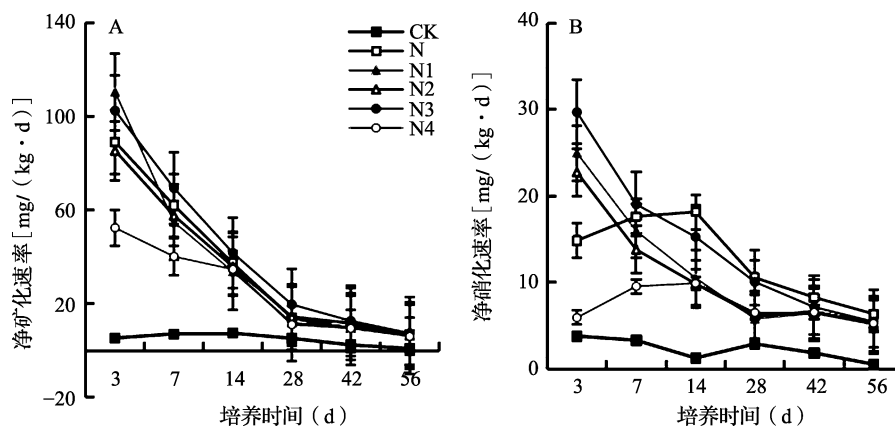


图 3 不同浓度 DMPP 处理对土壤净矿化速率、净硝化速率的影响

14 ~ 56 d 内, 各处理的土壤净矿化速率差异不显著; N3 处理在整个培养周期内一直处于较高的净矿化速率。整个培养周期内, N 和 N4 处理的土壤净硝化速率呈先上升后下降的趋势, 其余处理的土壤净硝化速率总体呈下降的趋势 (图 3B)。培养 14 d 后, N 处理的土壤净硝化速率一直高于其他处理, 添加 DMPP 在一定程度上可降低土壤净硝化速率, 其中 N2 处理在整个培养时间内优于其他处理。

2.1.4 土壤 pH 值动态变化

由图 4 可知, 各处理土壤 pH 值呈先升高后降低的趋势, 并在第 7 d 达到峰值, 其中 N 处理土壤 pH 增加量最大, 为 1.1。第 28 ~ 56 d 内, N 处理土壤 pH 值下降速度远远大于各浓度 DMPP 处理。由此推出, 添加 DMPP 可以减弱土壤 pH 值下降的趋势。

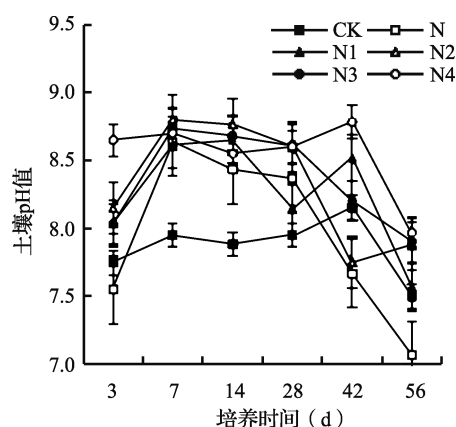


图 4 不同浓度 DMPP 处理对土壤 pH 值的影响

2.2 不同浓度 DMPP 处理对叶片 SPAD 值、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度的影响

不同浓度 DMPP 对叶片 SPAD 值影响不同, 培

养第 15 ~ 45 d 内, N2 处理 SPAD 值显著高于其他处理。培养 45 d 后, N4 处理与其他处理相比, SPAD 值下降最快 (图 5A)。如图 5B 所示, 尿素与 DMPP 混施可提高葡萄叶片净光合速率, DMPP 在前期会阻碍土壤中氨氧化的发生, N 处理叶片净光合速率最高。培养后期, DMPP 能提高植物对氮素的利用, 此时 N2 处理作用效果最好。如图 5C 所示, 培养前期, N1 处理叶片胞间 CO₂ 浓度为 294.62 $\mu\text{mol/mol}$, 与其他处理有显著差异。培养后期, 含氮量为 1% ~ 5% 浓度的 DMPP 会减缓葡萄叶片胞间 CO₂ 浓度下降趋势, 其中 N3 处理下降速率最低。

2.3 土壤、叶片各项指标之间的相关性分析

由表 3 可知, 葡萄园土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与土壤净矿化速率和净硝化速率等指标均呈极显著正相关 ($r=0.519$, $P<0.01$; $r=0.605$, $P<0.01$), 与土壤表观硝化率呈极显著负相关 ($r=-0.707$, $P<0.01$); $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 与土壤无机氮呈极显著正相关 ($r=0.494$, $P<0.01$); 土壤无机氮与 SPAD 值呈极显著正相关 ($r=0.796$, $P<0.01$)。

2.4 土壤、叶片各项指标之间的主成分分析

对各指标进行主成分分析, 结果如表 4 所示。第 1 主成分特征值为 4.130, 贡献率为 37.542%, 累计贡献率为 37.542%, 主要包括 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、土壤表观硝化率和土壤无机氮等指标; 第 2 主成分特征值为 2.620, 贡献率为 23.821%, 累计贡献率为 61.363%, 主要包括 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、pH 值和土壤净矿化速率等指标; 第 3 主成分特征值为 1.363, 贡献率为 12.391%, 累计贡献率为 73.755%, 主要包括土壤硝化抑制率和胞间 CO₂ 浓度等指标; 第 4 主成分特征值为 1.143, 贡献率为 10.392%, 累计贡献率为 84.1467%, 主要包括 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和净光合速率等指标。

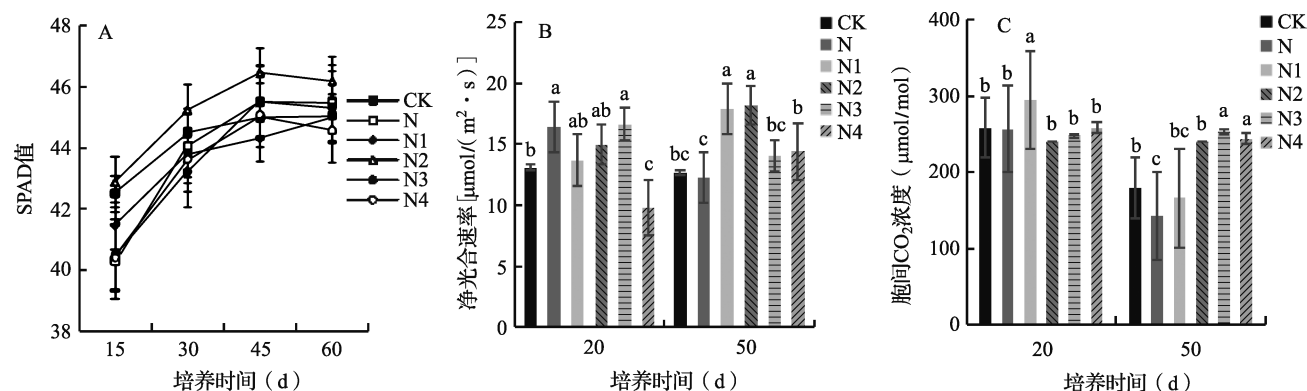


图 5 不同浓度 DMPP 处理对酿酒葡萄叶片 SPAD、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度的影响



表 3 各项指标之间的相关分析

类别	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	pH 值	土壤硝化抑制率	土壤表观硝化率	土壤净矿化速率	土壤净硝化速率	土壤无机氮	SPAD	胞间 CO ₂ 浓度	净光合速率
NH ₄ ⁺ -N	1										
NO ₃ ⁻ -N	0.221	1									
pH 值	-0.073	0.156	1								
土壤硝化抑制率	0.213	0.076	0.300	1							
土壤表观硝化率	-0.707**	0.027	0.251	0.016	1						
土壤净矿化速率	0.519**	-0.168	-0.219	-0.208	-0.801**	1					
土壤净硝化速率	0.605**	-0.091	-0.024	-0.019	-0.723**	0.907**	1				
土壤无机氮	0.574**	0.494**	0.443**	0.288	-0.165	0.146	0.373*	1			
SAPD	0.496*	0.452*	0.485*	-0.056	-0.304	0.410*	0.523**	0.796**	1		
胞间 CO ₂ 浓度	0.230	-0.073	-0.253	0.226	-0.127	-0.015	0.008	-0.162	-0.205	1	
净光合速率	0.294	0.118	-0.083	0.284	-0.161	-0.138	-0.146	0.160	0.237	0.028	1

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关, * 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

表 4 主成分因子荷载和方差贡献率

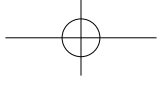
指标	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
NH ₄ ⁺ -N (X ₁)	0.902	-0.094	0.200	-0.063
NO ₃ ⁻ -N (X ₂)	0.391	0.608	-0.078	0.465
pH 值 (X ₃)	0.320	0.840	0.117	0.166
土壤硝化抑制率 (X ₄)	0.112	0.387	0.732	-0.343
土壤表观硝化率 (X ₅)	-0.772	0.415	-0.042	0.155
土壤净矿化速率 (X ₆)	0.744	-0.616	-0.094	-0.030
土壤净硝化速率 (X ₇)	0.846	-0.455	0.058	-0.002
土壤无机氮 (X ₈)	0.769	0.518	-0.053	0.058
SAPD (X ₉)	0.762	0.344	-0.349	0.037
胞间 CO ₂ 浓度 (X ₁₀)	0.035	-0.216	0.792	0.354
净光合速率 (X ₁₁)	0.104	0.438	-0.025	-0.789
特征值	4.130	2.620	1.363	1.143
贡献率 (%)	37.542	23.821	12.391	10.392
累计贡献率 (%)	37.542	61.363	73.755	84.146

根据表 4 中各主成分的特征值和因子载荷矩阵, 得到 4 个主成分的函数表达式如下:

$$Y_1=0.444X_1+0.192X_2+0.157X_3+0.055X_4-0.380X_5+0.366X_6+0.416X_7+0.378X_8+0.375X_9+0.017X_{10}+0.051X_{11}$$

$$Y_2=-0.058X_1+0.376X_2+0.519X_3+0.239X_4+0.257X_5-0.381X_6-0.281X_7+0.320X_8+0.213X_9-$$

$$0.134X_{10}+0.271X_{11}$$
$$Y_3=0.171X_1-0.067X_2+0.100X_3+0.627X_4-0.036X_5-0.081X_6+0.050X_7-0.045X_8-0.299X_9+0.679X_{10}-0.021X_{11}$$
$$Y_4=-0.058X_1+0.435X_2+0.156X_3-0.321X_4+0.145X_5-0.028X_6-0.002X_7+0.055X_8+0.035X_9+0.331X_{10}-0.738X_{11}$$



式中, $Y_i (i=1 \sim 4)$ 代表主成分, X_1 到 X_{11} 分别对应表 4 中的 11 个指标。根据各主成分的贡献率计算综合因子得分函数: $Z_1=0.446Y_1+0.283Y_2+0.147Y_3+0.123Y_4$ 。

对各主成分综合计算, 结果如表 5 所示。第 1 主成分和第 2 主成分得分值最高的分别为 N3、N2 处理, 即 1.093 和 0.607; 第 3 主成分和第 4 主成分得分值最高的分别为 N4、N3 处理, 即 0.177 和 0.171。综合得分, N2 处理最大, N3 处理次之, N1 处理最低。

表 5 主成分综合评价

处理	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	综合得分值	排名
N1	0.543	0.477	0.013	-0.069	0.964	4
N2	0.958	0.607	0.169	-0.021	1.714	1
N3	1.093	0.261	0.080	0.171	1.605	2
N4	0.545	0.480	0.177	0.112	1.315	3

3 讨论

有研究表明, 在中性和碱性土壤中氨氧化细菌起主要硝化作用, DMPP 主要是抑制土壤中氨氧化细菌的活性, 延缓氨氧化的发生, 使土壤中保持较高浓度的 NH_4^+-N [24-26]。本研究表明, DMPP 和尿素混施可增加 22.52% ~ 45.31% 的 NH_4^+-N 含量, 同时推迟 NH_4^+-N 峰值的出现 (图 1), 表明添加 DMPP 可抑制土壤硝化进程, 这与前人研究结果一致 [20, 27-31]。单施尿素使土壤 pH 值在第 7 d 达到峰值随后迅速下降, 添加 DMPP 可缓解 pH 的下降趋势, 其中 1%DMPP 处理在前 28 d 内下降趋势最缓慢 (图 4), 这是由于尿素在脲酶的作用下会水解产生大量的 OH^- , 导致土壤 pH 短暂升高, 但又经土壤硝化作用使土壤 pH 降低 [32]。也有相关报道称添加吡啶类硝化抑制剂使土壤 pH 值下降幅度显著减缓, 有利于减缓 NH_4^+-N 浓度的降低 [17, 33]。不同作物对硝化抑制剂种类的施用反映也各不相同, 对土壤表观硝化率也存在显著差异 [34-35]。1%DMPP 处理土壤表观硝化率从第 7 d 起持续低于其他处理, 降低土壤中氨氧化强度。尿素与 DMPP 混施时, DMPP 浓度是影响土壤氨氧化的重要因素之一 [36-37]。硝化抑制率可表征硝化抑制剂对土壤硝化作用的抑制程度, 其值越高则抑制能力越强 [20, 38]。随着硝化抑制剂用量的增加, 抑制土

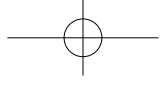
壤硝化作用的能力也随之增加 [39], 本研究中硝化抑制率并未随着 DMPP 浓度的增加而增加, 可能是 DMPP 易被土壤胶体所吸附, 且在土壤剖面中不易与 NH_4^+-N 分离 [26]。从土壤 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、硝化抑制率变化趋势及综合评分 (图 1、图 2、表 5) 可知, 1%DMPP 为最优处理, 这与刘少波 [36]、俞巧钢等 [40]、Yu 等 [41] 研究结果基本一致, 但与任先顺等 [22]、石美等 [20] 的研究结果不一致, 可能与土壤类型、pH、有机质含量等因素有关 [26, 42]。

植物叶片是对氮素供应最敏感的器官之一, 所以叶片可以应用到树体营养水平的诊断 [16, 43]。氮素对植物叶片中叶绿素的合成有重要意义, 而叶绿素含量的高低与外部氮浓度的高低在一定的条件下成比例关系 [44]。一定程度上, 叶片 SPAD 值与叶绿素含量成正相关 [45-46]。本研究表明, 随着叶片叶龄的增加, SPAD 值整体呈先增后减的趋势, 这与植物的生长周期有关, 添加硝化抑制剂在一定程度上可以提高叶片 SPAD 值, 表明添加 DMPP 可有效提高葡萄对氮肥的利用。对于气体参数来说, 添加 DMPP 可显著提高叶片净光合速率 (图 5), 有利于植物有机物的积累。有关净光合速率与胞间 CO_2 浓度之间的关系较为复杂 [47], 本研究结果发现尿素配施 DMPP 可延缓胞间 CO_2 浓度的下降, 但与净光合速率无相关性 (图 5、表 3), 究其原因可能是胞间 CO_2 浓度受到叶片周围空气的 CO_2 浓度、气孔导度、叶肉导度和叶肉细胞等多种因素的影响。

本研究主要通过测定 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 及叶片净光合速率等相关指标来分析添加不同浓度 DMPP 对新疆沙砾土壤中氮素转化及叶片光合特性的影响, 但未从分子角度等方面阐述其相关差异, 后续可结合不同剂量对微生物活性和果实品质等方面的影响, 进一步探索硝化抑制剂的作用。

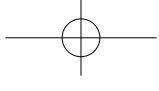
4 结论

本研究表明, 与单施尿素相比, 添加 DMPP 可显著抑制 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 转化, 减缓土壤氨氧化进程, 降低表观硝化率, 使土壤中保持较高水平的 NH_4^+-N 含量; 在一定程度上 DMPP 可显著提高叶片 SPAD 值和净光合速率。从经济效益和应用效果综合考虑 DMPP 的用量, 新疆沙砾土中以 1%DMPP 与尿素配施效果最佳。



参考文献:

- [1] Kraiser T, Gras D E, Gutiérrez A G, et al. A holistic view of nitrogen acquisition in plants [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62 (4): 1455–1466.
- [2] Dawar K, Zaman M, Rowarth J S, et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47 (2): 139–146.
- [3] 马婷慧, 蒋鹏, 王锐. 贺兰山东麓不同产区酿酒葡萄氮素变化分析 [J]. *安徽农学通报*, 2022, 28 (6): 57–58.
- [4] Dawar K, Rahman U, Alam S S, et al. Nitrification inhibitor and plant growth regulators improve wheat yield and nitrogen use efficiency [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, 41 (1): 216–226.
- [5] 陈谭星, 高正龙, 曹力凡, 等. 不同施氮量对构树产量、营养成分及氮肥利用率的影响 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (10): 93–97.
- [6] 吴强, 张永平, 董玉新, 等. 施氮量和灌水模式对小麦产量、品质和氮肥利用的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2020, 40 (3): 334–342.
- [7] 李兆君, 宋阿琳, 范分良, 等. 新型硝化抑制剂对外源铵态氮在土壤中迁移转化及淋溶损失的影响 [J]. *西南农业学报*, 2011, 24 (3): 995–998.
- [8] 曹胜, 杨水芝, 龚碧涯, 等. 有机无机肥配施碱性物料对柑橘园土壤性状和果实品质的影响 [J]. *中国果树*, 2022 (3): 44–49.
- [9] 李鲁震, 赵长盛, 陈庆锋, 等. 硝化/脲酶抑制剂对设施菜地土壤菌群和氮素转化影响的研究进展 [J]. *贵州农业科学*, 2022, 50 (1): 51–58.
- [10] Meng Y, Wang J J, Wei Z, et al. Nitrification inhibitors reduce nitrogen losses and improve soil health in a subtropical pastureland [J]. *Geoderma*, 2021, 388: 114947.
- [11] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 等. 农田氮素的气态损失与大气氮湿沉降及其环境效应 [J]. *土壤*, 2005, 37 (2): 113–120.
- [12] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. *土壤与环境*, 2000, 9 (1): 1–6.
- [13] 白炬. 旱作覆膜春玉米农田温室气体排放对氮肥管理的响应及硝化抑制剂减排机制 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- [14] Hatch D, Trindade H, Cardenas L, et al. Chadwick. Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, 41 (4): 225–232.
- [15] Weiske A, Benckiser G, Herbert T, et al. Influence of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34 (2): 109–177.
- [16] 段颜静. 硝化抑制剂控释尿素在苹果上的施用效果 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- [17] 韩丽君, 薛张逸, 谢昊, 等. 干湿交替灌溉与硝化抑制剂对水稻产量及土壤性状的影响 [J]. *作物杂志*, 2022 (2): 222–229.
- [18] Guo C Q, Zou D B, Wang Y, et al. A novel amended nitrification inhibitor confers an enhanced suppression role in the nitrification of ammonium in soil [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2022, 22 (3): 831–843.
- [19] 疏晴, 王香琪, 齐永波, 等. 尿素与缓释尿素配施添加DMPP对砂姜黑土氮素转化的影响 [J]. *土壤*, 2021, 53 (5): 945–951.
- [20] 石美, 梁东丽, 满楠, 等. 不同浓度DMPP和DCD对石灰性土壤中氮素转化的影响 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45 (22): 4635–4642.
- [21] 汪勇, 商庆银, 杨秀霞. 配施硝化抑制剂对蜜橘和脐橙产量与品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021 (2): 206–212.
- [22] 任先顺, 谢德全, 于婷婷, 等. 3, 4-二甲基吡唑磷酸盐和双氰胺在黑钙土中对尿素氮转化的作用效果 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (1): 126–133.
- [23] 窦飞飞, 张利鹏, 王永康, 等. 高温胁迫对不同葡萄品种光合作和基因表达的影响 [J]. *果树学报*, 2021, 38 (6): 871–883.
- [24] 沈真实, 许超, 汤海涛, 等. DMPP施用的环境效应、影响因素及其机理研究 [J]. *湖南农业科学*, 2011 (15): 71–76.
- [25] Li Y Y, Stephen J, Nicol G W, et al. Nitrification and nitrifiers in acidic soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 116: 290–301.
- [26] 刘发波, 郎明, 马笑, 等. 硝化抑制剂类型和剂量对不同类型土壤硝化抑制作用机理的研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2022 (8): 66–75.
- [27] 王静, 王允青, 张凤芝, 等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原水稻产量、氮肥利用率及稻田氮素的影响 [J]. *水土保持学报*, 2019, 33 (5): 211–216.
- [28] Saud S, Wang D, Fahad S. Improved nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions in agricultural soils as producers of Biological Nitrification Inhibitors [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 854195.
- [29] 李学红, 李东坡, 薛妍, 等. 尿素氮在不同类型土壤中转化特征及其施用效果对生化抑制剂的响应 [J]. *中国土壤与肥料*, 2022 (8): 56–65.
- [30] 徐丽萍, 王旭, 侯晓娜, 等. 脲酶抑制剂NBPT对三种类型土壤中UAN氮溶液氮素转化和氨挥发的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2022 (3): 126–136.
- [31] 邢卫, 陈利军, 陈振华, 等. NBPT与DMPP不同剂量组合对尿素氮转化的影响 [J]. *土壤通报*, 2008 (4): 896–899.
- [32] Cabrera M L, Kissel D E, Bock B R. Urea hydrolysis in soil: Effects of urea concentration and soil pH [J]. *Soil Biology and*



- Biochemistry, 1991, 23 (12): 1121-1124.
- [33] 方玉凤, 王晓燕, 庞荔丹, 等. 硝化抑制剂对春玉米氮素利用及土壤 pH 值和无机氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015 (6): 18-22.
- [34] Wolfram Z, Thomas B, Jürgen D, et al. 3, 4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture [J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34 (2): 79-84.
- [35] 李永强, 王雅楣, 杨越超, 等. 几种硝化抑制剂和包硫尿素 (SCU) 对土壤 N 素形态和小麦产量的影响[J]. 农业环境与发展, 2016 (3): 230-237.
- [36] 刘少波. 硝化抑制剂 DMPP 对桃园土壤硝态氮含量与氮素吸收利用率的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [37] 俞巧钢, 陈英旭. 3, 4-二甲基吡唑磷酸盐对菜地土壤氮素形态转化的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24 (3): 123-126.
- [38] 吴晓荣, 张蓓蓓, 余云飞, 等. 硝化抑制剂对典型茶园土壤尿素硝化过程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36 (10): 2063-2070.
- [39] 殷建祯, 俞巧钢, 符建荣, 等. 不同 DMPP 添加水平对土壤有机氮素转化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26 (6): 111-115.
- [40] 俞巧钢, 陈英旭. 尿素添加硝化抑制剂 DMPP 对稻田土壤不同形态矿质态氮的影响[J]. 农业环境保护, 2011 (7): 1357-1363.
- [41] Yu Q G, Chen Y X, Ye X Z, et al. Evaluation of nitrification inhibitor 3, 4-dimethyl pyrazole phosphate on nitrogen leaching in undisturbed soil columns [J]. Chemosphere, 2007, 67 (5): 872-878.
- [42] Barth G, Tucher S, Schmidhalter U, et al. Performance of nitrification inhibitors with different nitrogen fertilizers and soil textures [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2019, 182 (5): 694-700.
- [43] 王静芳, 孙权, 王振平. 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄叶部氮磷钾生长季动态研究[J]. 北方园艺, 2007 (5): 22-25.
- [44] 王薇, 宋廷宇, 王艳, 等. 番茄叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析[J]. 北方园艺, 2013 (23): 12-15.
- [45] 陈景蕊, 潘静. 不同品种葡萄叶片 SPAD 值与叶绿素含量相关性分析[J]. 北方园艺, 2015 (19): 42-46.
- [46] Zhang R F, Yang P Q, Liu S Y, et al. Evaluation of the methods for estimating leaf chlorophyll content with SPAD chlorophyll meters [J]. Remote Sensing, 2022, 14 (20): 5144.
- [47] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间 CO₂ 浓度关系的思考[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46 (1): 64-66.

Effects of DMPP applied with urea on nitrogen transformation in gravel soil and photosynthesis of grape leaves in Xinjiang

LIU Gang, DOU Fei-fei, ZHU Jing-jing, LIU Huai-feng* (College of Agriculture, Shihezi University, Key Laboratory of Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Special Fruits and Vegetables in Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi Xinjiang 832000)

Abstract: The effects of urea and nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) combined application on nitrogen transformation in gravel soil and photosynthesis of grape leaves were studied in Xinjiang, in order to provide theoretical basis for the scientific application of DMPP. The grape variety Cabernet Sauvignon was used as the experimental crop, and six treatments were set up, including no fertilizer, urea alone, adding 0.5%, 1%, 3%, 5% DMPP (0.5%, 1%, 3%, 5% of nitrogen content) to urea, respectively. The effects of different concentrations of DMPP and urea on soil NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, nitrification inhibition rate, pH value, leaf SPAD value, net photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration were studied. The results showed that the content of NH₄⁺-N in soil increased by more than 150 mg/kg when urea was applied, and the decreasing trend of NH₄⁺-N was delayed when DMPP was added at different concentrations compared with urea alone, the increase of NO₃⁻-N in soil could be reduced effectively, but DMPP had no obvious dose effect in the range of 0.5%-5%, and the effect of adding 1% DMPP was the most significant. The nitrification inhibition rate of different concentrations of DMPP was different, the inhibition rate of 1% DMPP was 49.60% on the 14th d, compared with the control group, the application of urea significantly increased the net photosynthetic rate and SPAD value of leaves. The 4 principal components extracted by principal component analysis covered 84.146% of the original information, of which 1%DMPP had the highest score. In conclusion, the mixed application of urea and DMPP can significantly inhibit the conversion of NH₄⁺-N to NO₃⁻-N, increase the nitrification inhibition rate, decrease the apparent nitrification rate, and maintain a high level of NH₄⁺-N content in soil, at the same time, the net photosynthetic rate was increased significantly. Considering the economic benefit and application effect, 1% DMPP combined with urea is the best in sandy gravel soil of Xinjiang.

Key words: nitrification inhibitor; DMPP; grapes; nitrogen conversion; leaf photosynthesis