

ĐÁNH GIÁ THỰC TRẠNG Ô NHIỄM HƠI TNT TRONG MÔI TRƯỜNG LAO ĐỘNG VÀ NHIỄM TNT NGHỀ NGHIỆP TẠI MỘT SỐ KHO QUÂN KHÍ NĂM 2025

Đào Thị Lê Dung^{1*}, Hoàng Thị Lan Anh¹, Phạm Quyết Chiến¹
Nguyễn Văn Đông¹, Ngô Quang Hải¹, Nguyễn Kiên Cường¹

TÓM TẮT

Mục tiêu: Mô tả thực trạng ô nhiễm hơi TNT trong môi trường lao động, nhiễm TNT nghề nghiệp ở người lao động và xác định nhóm công việc có nguy cơ phơi nhiễm cao tại một số kho quân khí, năm 2025.

Đối tượng và phương pháp: Nghiên cứu mô tả cắt ngang 711 người lao động và 418 mẫu môi trường lao động tại 16 đơn vị kho quân khí, từ tháng 9-12/2025. Đánh giá kết quả theo QCVN 03:2019/BYT và Quy trình kỹ thuật thường quy của Viện Sức khỏe nghề nghiệp và Môi trường.

Kết quả: Tỷ lệ mẫu TNT trong không khí tại nơi làm việc vượt ngưỡng 91,8%. 16/16 đơn vị khảo sát đều có ít nhất 1 vị trí có nồng độ TNT trên 0,1 mg/m³ (vượt giới hạn TWA cho phép). Nồng độ TNT cao nhất được ghi nhận tại Trung tâm Xét nghiệm X (1,296 mg/m³, gấp 12,96 lần giới hạn cho phép). Theo nhóm công việc, nồng độ TNT môi trường cao nhất ở nhóm thí nghiệm, tiếp đến nhóm bảo quản kho lớn và thấp nhất ở nhóm bảo dưỡng sửa chữa. Tỷ lệ TNT niệu dương tính là 24,6% (cao nhất ở nhóm thí nghiệm: 33,3%). Tỷ lệ methemoglobin > 1,5% là 17,2%. Phân tích Spearman ở cấp đơn vị chưa ghi nhận mối tương quan có ý nghĩa thống kê giữa nồng độ TNT môi trường trung bình và tỷ lệ TNT niệu dương tính ($r_s = 0,27$; $p = 0,317$).

Kết luận: Cần tăng cường các biện pháp kiểm soát kỹ thuật, sử dụng phương tiện bảo hộ cá nhân và duy trì giám sát sinh học định kỳ nhằm giảm nguy cơ phơi nhiễm TNT trong các đơn vị kho quân khí.

Từ khóa: TNT nghề nghiệp, kho quân khí, TNT niệu, methemoglobin.

ASSESSMENT OF AIRBORNE TNT CONTAMINATION IN THE OCCUPATIONAL ENVIRONMENT AND OCCUPATIONAL TNT EXPOSURE AMONG WORKERS AT MILITARY AMMUNITION DEPOTS IN 2025

ABSTRACT

Objectives: To describe the current status of TNT vapor contamination in the occupational environment and occupational TNT exposure among workers, and to identify job categories at the highest risk of exposure at military ammunition depots in 2025.

Subjects and methods: A cross-sectional descriptive study involving 711 workers and 418 environmental samples was conducted at 16 military ammunition depot units from September to December 2025. Assessment followed QCVN 03:2019/BYT and the standard technical procedures of the Institute of Occupational Health and Environment.

Results: The proportion of TNT air samples exceeding the permissible limit was 91.8%. 16/16 units had at least one location exceeding the permissible TWA limit of 0.1 mg/m³. The highest TNT concentration was recorded at Testing Laboratory X (1.296 mg/m³, 12.96 times the permissible limit). By occupational group, environmental TNT concentration was highest in the laboratory group, followed by the large-depot storage group, and lowest in the maintenance and repair group. The overall urinary TNT positivity rate was 24.6%, highest in the laboratory group (33.3%); the overall rate of methemoglobin above 1.5% was 17.2%. Unit-level Spearman analysis found no statistically significant correlation between mean environmental TNT concentration and urinary TNT positivity rate ($r_s = 0.27$; $p = 0.317$).

Conclusions: Enhanced engineering controls, personal protective equipment, and periodic biological monitoring are needed to reduce TNT exposure risk at military ammunition depot units.

Keywords: Occupational TNT, ammunition depot, urinary TNT, methemoglobin.

Chịu trách nhiệm nội dung: Đào Thị Lê Dung, Email: dung.dl0609@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/5/2026; mời phản biện khoa học: 6/2026; chấp nhận đăng: 21/8/2026.

¹Viện Y học dự phòng Quân đội.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TNT (2,4,6-trinitrotoluene) là loại chất nổ cơ bản, được sử dụng trong nhiều lĩnh vực. Trong các hoạt động quân sự, TNT được sử dụng phổ biến để sản xuất đạn dược, chất nổ. Thuộc nhóm hợp chất nitro thơm có độc tính cao, TNT xâm nhập vào cơ thể chủ yếu qua đường hô hấp và có thể hấp thu qua da [1]. Theo Cơ quan Đăng ký chất độc và Dịch bệnh Hoa Kỳ (ATSDR), khi vào cơ thể, TNT gây tổn thương đa cơ quan, trong đó gan và hệ tạo máu là hai cơ quan đích chịu ảnh hưởng rõ nhất [4]. Phơi nhiễm mạn tính với hơi TNT - ngay cả ở nồng độ dưới ngưỡng gây độc cấp tính - có thể gây thiếu máu và rối loạn hemoglobin máu (methemoglobinemia) ở người lao động (NLĐ) tiếp xúc trực tiếp [6]. Nghiên cứu hồi cứu trên công nhân tiếp xúc lâu dài với TNT cho thấy tỉ lệ mắc một số bệnh ung thư cao hơn rõ rệt so với nhóm không tiếp xúc (RR = 2,32) [7].

Tại các kho quân khí, NLĐ thường xuyên phải tiếp xúc với hơi TNT trong môi trường lao động (MTLD) khi thực hiện nhiệm vụ bảo quản, bảo dưỡng sửa chữa đạn dược và thử nghiệm kiểm định chất lượng. Khác với môi trường sản xuất công nghiệp có hệ thống xử lý khí thải chuyên biệt, môi trường kho quân khí thường phụ thuộc vào thông gió tự nhiên. Một nghiên cứu quan trắc tại cơ sở xử lý chất thải quân sự ở Đức ghi nhận nồng độ TNT trong không khí lên tới 3.250 µg/m³. Nghiên cứu này đồng thời khẳng định vai trò của giám sát sinh học trong phát hiện sớm phơi nhiễm TNT nghề nghiệp [5].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu kết hợp quan trắc môi trường và giám sát sinh học tại các kho quân khí còn rất hạn chế. Chúng tôi thực hiện nghiên cứu này nhằm mô tả thực trạng ô nhiễm hơi TNT trong MTLD và tình trạng nhiễm TNT nghề nghiệp (qua xét nghiệm định tính TNT niệu, methemoglobin trong máu NLĐ) tại 16 đơn vị kho quân khí năm 2025; xác định nhóm công việc có nguy cơ phơi nhiễm cao để đề xuất giải pháp can thiệp phù hợp.

2. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

711 NLĐ và 418 mẫu MTLD tại 16 đơn vị kho quân khí, gồm: 1 trung tâm xét nghiệm (kí hiệu là X); 14 kho (kí hiệu lần lượt là A, B, C, D và 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10); 1 xưởng (kí hiệu là 1). Khu vực quan trắc MTLD gồm: nhà kho bảo quản đạn dược; trạm bảo dưỡng sửa chữa; phòng thí nghiệm kiểm định chất lượng. Nghiên cứu thực hiện từ tháng 9-12/2025.

- Tiêu chuẩn lựa chọn: NLĐ đang làm việc tại đơn vị, có tiếp xúc nghề nghiệp trực tiếp với TNT,

có thời gian tiếp xúc nghề nghiệp với TNT ít nhất 2 tháng tính đến thời điểm nghiên cứu và có dữ liệu quan trắc MTLD hoặc hồ sơ theo dõi phơi nhiễm liên tục ít nhất 6 tháng trước thời điểm nghiên cứu. Quá trình quan trắc MTLD được sự đồng ý của chỉ huy đơn vị.

- Tiêu chuẩn loại trừ: NLĐ đã hoặc đang mắc các bệnh có thể ảnh hưởng đến các chỉ số nghiên cứu (như viêm gan virus B, C, các bệnh gan mạn tính, bệnh máu, bệnh da mạn tính, bệnh cấp tính...); NLĐ không đồng ý tham gia hoặc không đủ hồ sơ nghiên cứu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Thiết kế nghiên cứu: nghiên cứu mô tả cắt ngang.

- Cỡ mẫu: chọn mẫu toàn bộ, gồm 418 mẫu MTLD và 711 NLĐ đáp ứng tiêu chuẩn lựa chọn và loại trừ.

- Biến số và phương pháp thu thập thông tin:

+ Các chỉ số nồng độ CO₂, CO, NO₂, SO₂, TNT trong không khí tại nơi làm việc được xác định tại các vị trí công việc (bảo quản, bảo dưỡng; thí nghiệm; xưởng sửa chữa). Nồng độ CO₂, CO, NO₂, SO₂ đo bằng máy đo khí điện tử đa chỉ tiêu Dräger X-am 5000 (Dräger Safety AG, Đức), hiệu chuẩn trước mỗi đợt quan trắc theo quy trình của nhà sản xuất, đo trực tiếp theo quy trình kỹ thuật QCVN 03:2019/BYT [3].

+ Hơi TNT: lấy mẫu cá nhân tại vùng thở của NLĐ ở các vị trí có nguy cơ phơi nhiễm. Tùy điều kiện quan trắc, thực hiện lấy mẫu theo phương pháp chủ động bằng máy QC-2 hoặc phương pháp thụ động theo quy trình kỹ thuật thường quy; bảo quản mẫu, vận chuyển và phân tích bằng phương pháp so màu theo quy trình kỹ thuật thường quy của Viện Sức khỏe nghề nghiệp và môi trường [8].

+ Xét nghiệm định tính TNT niệu ở NLĐ: lấy mẫu nước tiểu của NLĐ ở cuối ca làm việc, phân tích bằng phương pháp so màu theo quy trình kỹ thuật thường quy của Viện Sức khỏe nghề nghiệp và môi trường [8]. Phân loại mẫu dương tính với TNT khi phát hiện TNT và/hoặc các chất chuyển hóa (2-amino-4,6-dinitrotoluene; 4-amino-2,6-dinitrotoluene) trong nước tiểu vượt ngưỡng phát hiện của phương pháp, phù hợp với hướng dẫn của Thông tư số 15/2016/TT-BYT [2]. Kết quả trình bày dưới dạng tỉ lệ dương tính/âm tính.

+ Chỉ số methemoglobin trong máu: xác định bằng phương pháp so màu đo quang theo quy trình kỹ thuật thường quy của Viện Sức khỏe nghề nghiệp và môi trường [8]; kết quả biểu thị bằng tỉ lệ % methemoglobin trên tổng hemoglobin.

- Tiêu chí đánh giá:

+ Đánh giá chỉ số nồng độ CO_2 , CO, NO_2 , SO_2 , TNT theo QCVN 03:2019/BYT-TWA (với giá trị trung bình theo thời gian tiếp xúc 8 giờ - TWA) [3]: $\text{CO}_2 \leq 9.000 \text{ mg/m}^3$; $\text{CO} \leq 20 \text{ mg/m}^3$; $\text{NO}_2 \leq 5 \text{ mg/m}^3$; $\text{SO}_2 \leq 5 \text{ mg/m}^3$; $\text{TNT} \leq 0,1 \text{ mg/m}^3$.

+ Đánh giá kết quả xét nghiệm methemoglobin máu và TNT niệu theo hướng dẫn chẩn đoán, giám định bệnh nhiễm độc trinitrotoluen nghề nghiệp theo Thông tư số 15/2016/TT-BYT ngày 15/5/2016 về quy định bệnh nghề nghiệp được hưởng bảo hiểm xã hội [2].

- Đạo đức: nghiên cứu được chỉ huy Viện Y học dự phòng Quân đội và chỉ huy các đơn vị kho trực tiếp quản lý NLD tham gia nghiên cứu chấp thuận. NLD tham gia nghiên cứu được giải thích, hiểu rõ

mục tiêu nghiên cứu và đồng ý tham gia. Mọi thông tin cá nhân NLD, đơn vị quản lý NLD được mã hóa, bảo mật và chỉ sử dụng phục vụ mục tiêu nghiên cứu.

- Xử lý số liệu: bằng phần mềm Epidata 3.1 và Stata 12.0. Thống kê mô tả; kiểm định χ^2 ; tính OR và 95% CI; tương quan Spearman. Phân tích tương quan giữa nồng độ TNT trong MTLĐ (giá trị trung bình nồng độ của các vị trí làm việc trong từng đơn vị) và chỉ số sinh học (tỉ lệ TNT niệu dương tính, methemoglobin > 1,5%). Đây là phân tích tương quan (ecological) mang tính thăm dò do dữ liệu môi trường và dữ liệu sinh học không được ghép cặp ở cấp cá nhân.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Kết quả quan trắc các yếu tố hóa học

Bảng 1. Kết quả quan trắc các yếu tố hóa học tại 16 đơn vị kho quân khí năm 2025

TT	Đơn vị	Số vị trí	CO_2 (n = 418)	CO (n = 418)	NO_2 (n = 418)	SO_2 (n = 418)	Mẫu TNT không đạt (n = 97)
1	Kho A	25	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	5
2	Kho B	30	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	7
3	Kho C	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	6
4	Kho D	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	5
5	Trung tâm xét nghiệm X	24	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	4
6	Kho 1	27	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	6
7	Kho 2	26	Đạt	1 mẫu không đạt*	Đạt	Đạt	5
8	Kho 3	27	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	7
9	Kho 4	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	6
10	Kho 5	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	5
11	Kho 6	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	6
12	Kho 7	27	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	7
13	Kho 8	28	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	7
14	Kho 9	26	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	5
15	Kho 10	25	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	5
16	Xưởng 1	23	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	3
Tổng		418	418/418	417/418	418/418	418/418	89/97 (91,8%)

Ghi chú: 418 mẫu đo 4 yếu tố hóa học CO_2 , CO, NO_2 , SO_2 tại các vị trí làm việc; 97 mẫu TNT cá nhân đo tại vùng thở của NLD; đánh giá theo QCVN 03:2019/BYT.

** Mẫu CO không đạt tiêu chuẩn tại Kho 2 (khu bổ nhúng): 20,07 mg/m³.*

Bảng 1 trình bày kết quả quan trắc 418 mẫu MTLĐ đối với CO_2 , CO, NO_2 và SO_2 ; riêng TNT phân tích trên 97 mẫu cá nhân đo tại vùng thở của NLD. Kết quả cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa TNT và các yếu tố hóa học còn lại trong MTLĐ tại các kho quân khí. Trong 418 mẫu MTLĐ quan trắc đối với CO_2 , CO, NO_2 và SO_2 , thấy các mẫu CO_2 , CO, NO_2 và SO_2 đều đạt giới hạn cho phép tại toàn bộ vị trí đo, riêng mẫu CO có 1 mẫu không đạt tại Kho 2. Trái lại, trong 97 mẫu TNT cá nhân lấy tại vị trí NLD làm việc, có tới 89 mẫu (91,8%) vượt giới hạn cho phép. Ngoài ra, 100% đơn vị kho khảo sát đều có ít nhất 1 vị trí cho kết quả nồng độ TNT > 0,1 mg/m³ (vượt giới hạn TWA cho phép [3]).

3.2. Nồng độ TNT tại các vị trí nguy cơ cao nhất

Bảng 2. Các vị trí có nồng độ TNT trung bình cao nhất theo nhóm công việc

Nhóm công việc	Đơn vị	Vị trí quan trắc	Nồng độ (mg/m ³)	Vượt TWA
Thí nghiệm	Trung tâm Xét nghiệm X	Vị trí 3.1 - chuẩn bị mẫu rung sóc	1,296	12,96 lần
		Vị trí 1.1 - chuẩn bị mẫu TNT	0,644	6,44 lần
		Vị trí 4.1 - cân/nhồi TNT	0,545	5,45 lần
		Vị trí 2.1 - phân tích mẫu	0,311	3,11 lần
Bảo quản kho lớn	Kho C	Vị trí 2.1 - giữa nhà kho C1	0,488	4,88 lần
	Kho C	Vị trí 3.1 - giữa nhà kho C2	0,446	4,46 lần
	Kho B	Vị trí 3.1 - giữa nhà kho	0,339	3,39 lần
Bảo dưỡng sửa chữa	Kho 3	Vị trí 4.1 - bàn công nghệ	0,346	3,46 lần
	Kho 7	Vị trí 7.1 - bàn công nghệ	0,346	3,46 lần
	Kho 4	Vị trí 5.1 - bàn công nghệ	0,339	3,39 lần
<i>Ghi chú: Các giá trị nồng độ TNT trung bình (mg/m³) của các ca lao động tại từng vị trí làm việc, chỉ trình bày các vị trí có nồng độ trung bình từ 0,3 mg/m³ trở lên. Giá trị giới hạn tiếp xúc trung bình theo thời gian 8 giờ (TWA) đối với TNT là 0,1 mg/m³ theo QCVN 03:2019/BYT.</i> <i>Nguồn: Bảng dữ liệu quan trắc môi trường.</i>				

Bảng 2 trình bày các vị trí làm việc ghi nhận có nồng độ TNT cao nhất, phân tầng theo nhóm chức năng công việc. Kết quả cho thấy Trung tâm Xét nghiệm X có nồng độ TNT cao nhất trong toàn hệ thống, với giá trị cực đại 1,296 mg/m³ tại vị trí chuẩn bị mẫu phòng thí nghiệm rung sóc, vượt ngưỡng TWA 12,96 lần. Nhóm bảo quản kho lớn ghi nhận nồng độ TNT cao nhất tại Kho C với 0,488 mg/m³ (vượt 4,88 lần giá trị TWA). Nhóm bảo dưỡng sửa chữa có mức phơi nhiễm tập trung tại bàn công nghệ tại Kho 3 và Kho 7, với nồng độ cực đại đến 0,346 mg/m³ (vượt 3,46 lần giá trị TWA).

3.3. Đặc điểm đối tượng và kết quả xét nghiệm theo nhóm công việc

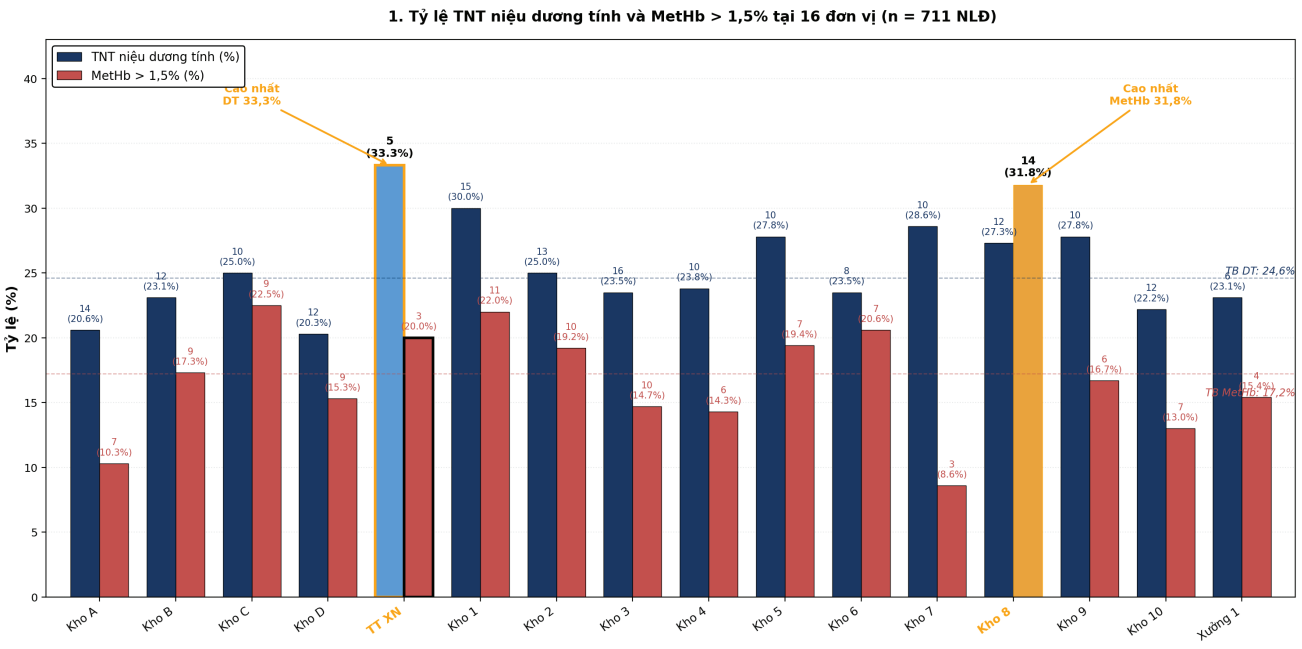
Bảng 3. Đặc điểm và kết quả xét nghiệm theo nhóm công việc

Đặc điểm	Thí nghiệm (n = 15)	Bảo quản kho lớn (n = 219)	Bảo dưỡng sửa chữa (n = 477)	Tổng (n = 711)
Tỉ lệ trong nghiên cứu (%)	2,1	30,8	67,1	100
Đơn vị cụ thể	Trung tâm Xét nghiệm X	Kho A-D	Kho 1-10, Xưởng 1	16 đơn vị
Tuổi nghề ≥ 10 năm (n, %)	15 (100)	219 (100)	477 (100)	711 (100)
Nồng độ TNT môi trường cực đại (mg/m ³)	1,296	0,488	0,346	-
TNT niệu dương tính (n, %)	5 (33,3)	48 (21,9)	122 (25,6)	175 (24,6)
Methemoglobin > 1,5% (n, %)	3 (20,0)	34 (15,5)	85 (17,8)	122 (17,2)

711 NLĐ tại 16 đơn vị được phân thành 3 nhóm công việc theo đặc điểm phơi nhiễm TNT. Kết quả thấy: 100% NLĐ có tuổi nghề ≥ 10 năm (thuận lợi cho đánh giá tích lũy phơi nhiễm TNT mạn tính). Nhóm NLĐ tham gia nghiên cứu tại Trung tâm Xét nghiệm X chỉ chiếm 2,1% tổng số đối tượng nghiên cứu, nhưng ghi nhận các chỉ số phơi nhiễm cao nhất, gồm nồng độ TNT môi trường cực đại 1,296 mg/m³ (vượt 12,96 lần giới hạn tiếp xúc trung bình 8 giờ), tỉ lệ TNT niệu dương tính 33,3% và tỉ lệ methemoglobin > 1,5% là 20,0%. Nồng độ TNT môi trường ở nhóm bảo dưỡng sửa chữa (0,346 mg/m³) thấp hơn nhóm bảo quản kho lớn (0,488 mg/m³), tỉ lệ TNT niệu dương tính (25,6% so với 21,9%) và methemoglobin > 1,5% (17,8% so với 15,5%) lại cao hơn. Trong số 175 NLĐ có TNT niệu dương tính thì nam giới chiếm đa số (148 trường hợp, chiếm 84,6%).

3.4. Đặc điểm kết quả xét nghiệm TNT niệu và methemoglobin trong máu của NLĐ

- Kết quả xét nghiệm sinh học tại 16 đơn vị:



Biểu đồ 1. Tỷ lệ TNT niệu dương tính và methemoglobin > 1,5% phân bố theo 16 đơn vị.

Trong số 711 NLD nghiên cứu, có 175 người (24,6%) phát hiện TNT niệu dương tính và 122 người (17,2%) phát hiện methemoglobin > 1,5%. Nam giới chiếm đa số ở cả nhóm TNT niệu dương tính (148/175 người, chiếm 84,6%) và nhóm methemoglobin > 1,5% (98/122 người, chiếm 80,3%). Trung tâm Xét nghiệm X ghi nhận tỉ lệ TNT niệu dương tính cao nhất (5/15 người, chiếm 33,3%), trong khi Kho 8 có tỉ lệ methemoglobin > 1,5% cao nhất (14/44 người, chiếm 31,8%).

3.5. Tương quan giữa TNT môi trường và các chỉ số xét nghiệm của NLD

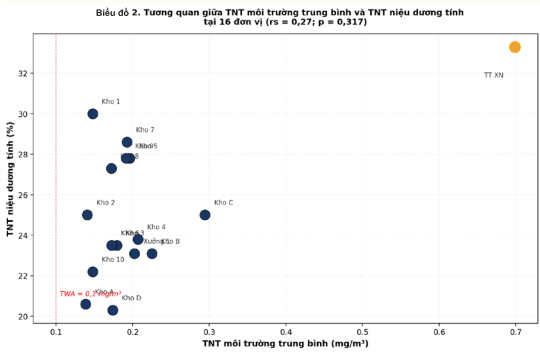
Bảng 4. Phân tích tương quan Spearman giữa nồng độ TNT môi trường và chỉ số sinh học

Cặp tương quan	Hệ số Spearman (rs)	p	Diễn giải
Nồng độ TNT trung bình trong MTLĐ và tỉ lệ TNT niệu dương tính (%)	0,27	0,317	Không tương quan có ý nghĩa
Tỉ lệ TNT niệu dương tính (%) và tỉ lệ methemoglobin > 1,5% (%)	0,45	0,084	Xu hướng thuận, cận ngưỡng*
Nồng độ TNT trung bình trong MTLĐ và tỉ lệ methemoglobin > 1,5% (%)	0,14	0,606	Không tương quan

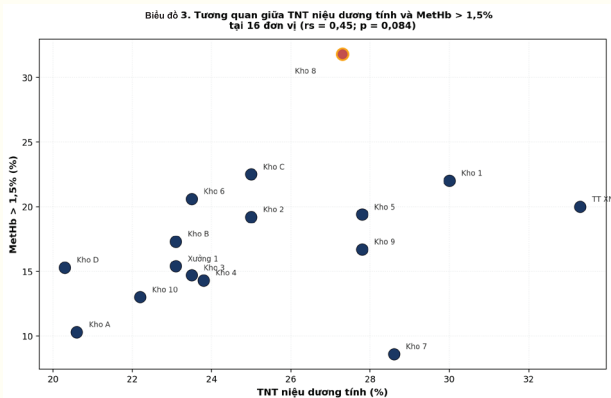
*Cận ngưỡng ý nghĩa thống kê ($p < 0,10$) cho cặp TNT niệu dương tính và methemoglobin > 1,5%. Nồng độ TNT trung bình trong MTLĐ được tính bằng trung bình các giá trị quan trắc tại các vị trí làm việc trong từng đơn vị. Phân tích dạng ecological cấp đơn vị ($n = 16$).

Kết quả Spearman cấp đơn vị ($n = 16$) chưa phát hiện tương quan có ý nghĩa thống kê giữa nồng độ TNT môi trường trung bình và các chỉ số sinh học: nồng độ TNT môi trường trung bình với tỉ lệ TNT niệu dương tính có $rs = 0,27$; $p = 0,317$; nồng độ TNT môi trường trung bình với tỉ lệ methemoglobin > 1,5% có $rs = 0,14$; $p = 0,606$. Tương quan giữa tỉ lệ TNT niệu dương tính và tỉ lệ methemoglobin > 1,5% có xu hướng thuận, cận ngưỡng ý nghĩa thống kê với $rs = 0,45$; $p = 0,084$.

- Biểu đồ tương quan giữa TNT môi trường và các chỉ số xét nghiệm của người LĐ:



Biểu đồ 2. Tương quan giữa TNT môi trường trung bình và TNT niệu dương tính tại 16 đơn vị ($rs = 0,27$; $p = 0,317$)



Biểu đồ 3. Tương quan giữa tỉ lệ TNT niêu dương tính và tỉ lệ methemoglobin > 1,5% tại 16 đơn vị ($r_s = 0,45$; $p = 0,084$).

4. BÀN LUẬN

4.1. Đặc điểm chung MTLĐ kho quân khí

Trong các yếu tố hóa học quan trọng, CO_2 , NO_2 và SO_2 đều nằm trong giới hạn cho phép tại 100% vị trí đo. Khí CO ghi nhận 1 mẫu vượt giới hạn ($20,07 \text{ mg/m}^3$) tại khu bể nhúng chi tiết Kho 2. Như vậy, tại thời điểm khảo sát, CO_2 , CO, NO_2 và SO_2 chưa phải là các yếu tố ô nhiễm nổi bật trong MTLĐ tại các kho quân khí nghiên cứu. Ngược lại, TNT là yếu tố ô nhiễm đáng chú ý nhất khi có 89/97 mẫu TNT (91,8%) cá nhân đo tại vị trí NLĐ làm việc vượt giới hạn cho phép. Đặc biệt, tại 16/16 đơn vị (100%) khảo sát đều ghi nhận ít nhất 1 vị trí có nồng độ TNT vượt giới hạn TWA cho phép, cho thấy ô nhiễm TNT trong môi trường lao động không mang tính cục bộ tại 1 đơn vị riêng lẻ mà có tính phổ biến trong hệ thống kho khảo sát.

Sự khác biệt này có thể liên quan đến đặc điểm phát sinh và tích lũy của TNT trong môi trường kho quân khí. Khác với các khí có nguồn phát sinh phụ thuộc nhiều vào hoạt động đốt cháy hoặc công nghệ sản xuất, TNT có thể phát tán liên tục từ bề mặt thuốc nổ, bề mặt đầu đạn hoặc vật liệu nhiễm TNT trong quá trình bảo quản, kiểm tra và bảo dưỡng. Theo ATSDR [4], quá trình bay hơi/thăng hoa của TNT chịu ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường. Do đó, trong điều kiện khí hậu nhiệt đới, đặc biệt vào thời điểm nhiệt độ trong kho tăng cao và thông gió không được duy trì liên tục, nồng độ TNT trong không khí có nguy cơ tích lũy và vượt giới hạn cho phép. Kết quả này nhấn mạnh nhu cầu kiểm soát riêng đối với TNT, bao gồm tăng cường thông gió cưỡng bức, hút khí cục bộ tại vị trí thao tác và giám sát định kỳ tại các khu vực nguy cơ cao.

4.2. Phân bố nồng độ TNT trong MTLĐ theo nhóm công việc

Kết quả nghiên cứu cho thấy nguy cơ phơi nhiễm TNT khác nhau theo loại hình công việc,

trong đó nồng độ TNT được ghi nhận cao nhất ở nhóm thí nghiệm, tiếp theo là nhóm bảo quản kho lớn, và thấp nhất ở nhóm bảo dưỡng sửa chữa. Kết quả này có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong việc phân loại đối tượng NLĐ để ưu tiên can thiệp bảo hộ lao động.

Đối với nhóm thí nghiệm tại Trung tâm Xét nghiệm X, nồng độ TNT cực đại ghi nhận tại vị trí chuẩn bị mẫu rung sóc là $1,296 \text{ mg/m}^3$, vượt giới hạn TWA cho phép ($0,1 \text{ mg/m}^3$) tới 12,96 lần. Đây là mức phơi nhiễm cao, phản ánh nguy cơ phát tán TNT trong quá trình cân đong, chuẩn bị và xử lý mẫu thủ công. Các thao tác này được thực hiện trong không gian phòng kín, trong khi chưa có hệ thống hút khí cục bộ chuyên dụng tại vị trí phát sinh hơi/bụi TNT, có thể làm tăng tích lũy TNT trong không khí làm việc. Vì vậy, nhóm công việc này cần được ưu tiên áp dụng các biện pháp kiểm soát kỹ thuật như hút khí cục bộ, tăng cường thông gió, chuẩn hóa quy trình thao tác an toàn...

Nhóm bảo quản kho lớn (Kho C) ghi nhận nồng độ TNT lên đến $0,488 \text{ mg/m}^3$ ngay cả khi không thao tác trực tiếp với TNT rời. Điều này phản ánh cơ chế thăng hoa thụ động của TNT từ bề mặt đầu đạn trong không gian kho kín. Như vậy, lực lượng thủ kho vẫn có nguy cơ phơi nhiễm mạn tính qua đường hô hấp và cần được đưa vào chương trình giám sát sức khỏe nghề nghiệp.

Nhóm bảo dưỡng sửa chữa (gồm 10 kho và Xưởng 1) có nồng độ TNT tập trung tại bàn công nghệ với cực đại $0,346 \text{ mg/m}^3$ (Kho 3 và Kho 7), phản ánh phát tán TNT trong quá trình tháo lắp đầu đạn và kiểm tra bề mặt thuốc nổ. Mức nồng độ này, tuy thấp hơn nhóm thí nghiệm, vẫn vượt ngưỡng TWA tới 3,46 lần và cần được kiểm soát chặt chẽ trong điều kiện làm việc kéo dài 8 giờ.

4.3. Thực trạng nhiễm TNT nghề nghiệp

Tỉ lệ TNT niêu dương tính chung là 24,6% phản ánh mức độ phơi nhiễm đáng lo ngại; phù hợp với kết luận của Letzel và cộng sự [5] (khả năng TNT và các chuyển hóa của nó được phát hiện trong nước tiểu của phần lớn NLĐ tiếp xúc trực tiếp với đạn dược). Tỉ lệ methemoglobin > 1,5% chung là 17,2%, cho thấy một phần NLĐ có biến đổi chỉ số hemoglobin liên quan đến phơi nhiễm hợp chất nitro thơm, cần được theo dõi trong giám sát sức khỏe nghề nghiệp [6]. So với báo cáo của Bradley (2011) [6] trên 246 công nhân demilitarization TNT tại Hoa Kỳ, thấy tỉ lệ methemoglobin tăng theo nồng độ TNT không khí ngay cả khi đã được trang bị đầy đủ phương tiện bảo hộ hô hấp. Kết quả của nghiên cứu này gợi ý cần cải thiện đồng thời cả hệ thống thông gió môi trường và trang bị phương tiện bảo hộ lao động cá nhân. Đáng chú ý, 100% NLĐ

trong mẫu nghiên cứu có tuổi nghề trên 10 năm. Tuổi nghề cao phản ánh khả năng phơi nhiễm lặp lại trong thời gian dài. Do đó, TNT niệu dương tính ở thời điểm khảo sát cho thấy phơi nhiễm hiện tại hoặc gần đây vẫn đang tồn tại, chứ không chỉ là dấu tích của quá khứ.

4.4. Mối tương quan môi trường - sinh học

Phân tích Spearman ở cấp đơn vị chưa phát hiện mối tương quan có ý nghĩa thống kê giữa nồng độ TNT trung bình trong MTLĐ với tỉ lệ TNT niệu dương tính ($r_s = 0,27$; $p = 0,317$) hoặc với tỉ lệ methemoglobin $> 1,5\%$ ($r_s = 0,14$; $p = 0,606$). Tuy nhiên, TNT trong MTLĐ vẫn là nguồn phơi nhiễm nền tảng dẫn đến TNT niệu dương tính và tăng methemoglobin; phù hợp với các nghiên cứu trước đây về phơi nhiễm TNT nghề nghiệp [5, 6]. Việc chưa ghi nhận mối tương quan có ý nghĩa thống kê có thể liên quan đến nhiều yếu tố, như thời gian tiếp xúc thực tế, thao tác trực tiếp với đầu đạn hoặc vật liệu nhiễm TNT, hấp thu qua da, điều kiện thông gió và việc sử dụng phương tiện bảo hộ cá nhân [4, 5, 6]. Điều này cho thấy nồng độ TNT trong MTLĐ đơn thuần chưa phản ánh đầy đủ mức độ phơi nhiễm thực tế của NLĐ.

Đáng chú ý, tỉ lệ TNT niệu dương tính và methemoglobin $> 1,5\%$ có xu hướng tương quan thuận ($r_s = 0,45$; $p = 0,084$) dù chưa đạt ý nghĩa thống kê. Kết quả này cho thấy mối liên quan sinh học giữa 2 chỉ số và gợi ý quan trắc MTLĐ cần được kết hợp với giám sát sinh học trong đánh giá nguy cơ phơi nhiễm TNT nghề nghiệp.

Nghiên cứu của chúng tôi còn một số hạn chế cần được xem xét khi diễn giải kết quả. Thời gian quan trắc được thực hiện trong giai đoạn từ tháng 9 đến tháng 12/2025, chưa bao phủ đầy đủ biến động theo mùa của nồng độ TNT trong không khí, nhất là mùa hè - khoảng thời gian nắng nóng nhất trong năm, khi nhiệt độ trong kho có thể tăng cao. Bên cạnh đó, dữ liệu môi trường và dữ liệu sinh học trong nghiên cứu chưa được ghép cặp ở cấp cá nhân; mỗi NLĐ chưa được lấy mẫu TNT cá nhân vùng thở tương ứng với kết quả TNT niệu và methemoglobin. Vì vậy, phân tích tương quan trong nghiên cứu này chỉ thực hiện ở cấp đơn vị và mang tính thăm dò. Ngoài ra, xét nghiệm TNT niệu được thực hiện bằng phương pháp định tính so màu, phù hợp với sàng lọc thực địa, nhưng hạn chế trong đánh giá quan hệ liều-đáp ứng. Do khuôn khổ bài báo tập trung vào mô tả thực trạng ô nhiễm TNT trong môi trường lao động và các chỉ số sinh học chính, các yếu tố như thời gian tiếp xúc, đặc điểm thao tác và sử dụng phương tiện bảo hộ cá nhân chưa được phân tích sâu. Đây là những nội dung cần được tiếp tục nghiên cứu thêm trong thời gian tới.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu kết hợp quan trắc môi trường và giám sát sinh học tại 16 đơn vị kho quân khí năm 2025 cho thấy TNT là yếu tố ô nhiễm chủ đạo trong môi trường lao động. Trong 97 mẫu TNT cá nhân được phân tích, có 89 mẫu (91,8%) vượt giới hạn cho phép theo TWA ($> 0,1 \text{ mg/m}^3$); 100% đơn vị khảo sát đều ghi nhận ít nhất 1 vị trí có nồng độ TNT vượt giới hạn cho phép theo TWA ($> 0,1 \text{ mg/m}^3$). Tỉ lệ người lao động có TNT niệu dương tính và tỉ lệ methemoglobin $> 1,5\%$ lần lượt là 24,6% và 17,2%.

Kết quả nghiên cứu này góp phần khẳng định sự cần thiết của việc tăng cường các biện pháp kiểm soát kỹ thuật, sử dụng phương tiện bảo hộ cá nhân và duy trì giám sát sinh học định kỳ nhằm giảm nguy cơ phơi nhiễm TNT trong các đơn vị kho quân khí trong thời gian tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Văn Bình, *Độc chất học công nghiệp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Thành phố Hồ Chí Minh, tr. 248-257, 2002.
2. Bộ Y tế, *Thông tư quy định về bệnh nghề nghiệp được hưởng bảo hiểm xã hội*, Thông tư số 15/2016/TT-BYT, Hà Nội, 2016.
3. Bộ Y tế. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia giá trị giới hạn tiếp xúc cho phép 50 yếu tố hóa học tại nơi làm việc*, QCVN 03:2019/BYT, Hà Nội, 2019.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), "Toxicological Profile for 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT)", Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services; June 1995.
5. Letzel S., Göen T., Bader M., Angerer J., Kraus T., "Exposure to nitroaromatic explosives and health effects during disposal of military waste", *Occup Environ Med.*, 60 (7): pp. 483-488. PMID: 12819281. DOI: 10.1136/oem.60.7.483, 2003.
6. Bradley M.D., "TNT air concentrations, hemoglobin changes, and anemia cases in respirator protected TNT munitions demilitarization workers", *Int Arch Occup Environ Health*, 84 (3): pp. 239-250, PMID: 20596720, DOI: 10.1007/s00420-010-0559-6, 2011.
7. Yan H., Song W., Wang Y., Leng S., Gu Y., et al., "The retrospective survey of malignant tumor in weapon workers exposed to 2,4,6-trinitrotoluene", *Zhonghua Lao Dong wei sheng zhi ye bing za zhi*, 20 (3): pp. 184-188. PMID: 14694635, 2002.
8. Viện Sức khỏe nghề nghiệp và Môi trường, *Thường quy kỹ thuật sức khỏe nghề nghiệp và môi trường*, NXB Y học, Hà Nội, 2023. □