



ỨNG DỤNG MÔ HÌNH ĐA TÁC NHÂN ĐỂ TÍNH TẢI LƯỢNG Ô NHIỄM TỪ CÁC HỘ CHĂN NUÔI LỢN TẠI HUYỆN YÊN DŨNG, TỈNH BẮC GIANG

Ngô Thế Ân*, Nguyễn Thị Hương Giang⁽¹⁾
Nguyễn Quốc Việt²

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm xây dựng mô hình đa tác nhân (ABM) để tính tải lượng ô nhiễm xả thải từ các hộ chăn nuôi lợn. Tham số cho mô hình được thu thập từ số liệu thứ cấp và phỏng vấn nông hộ trên địa bàn huyện Yên Dũng, tỉnh Bắc Giang. Mô hình được kiểm chứng bằng công cụ sai số thống kê RMSE. Kết quả phân tích mô hình đã chứng minh chính sách hỗ trợ quản lý chất thải có ảnh hưởng một cách ý nghĩa đến sự phân bố chất thải chăn nuôi lợn trên các tiểu lưu vực. Với mức tăng hỗ trợ tài chính và kỹ thuật thêm 10%, tải lượng ô nhiễm giảm từ 2–5%. Mỗi tương quan này có thể được sử dụng để hỗ trợ quá trình ra quyết định quản lý chất thải tại nguồn cho địa phương.

Từ khóa: Mô hình đa tác nhân, tải lượng ô nhiễm, cơ sở chăn nuôi lợn.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, chất lượng nước mặt ở Việt Nam đã bị suy giảm nghiêm trọng do sự gia tăng của áp lực môi trường từ các hoạt động sinh hoạt, công nghiệp và nông nghiệp. Trong lĩnh vực nông nghiệp, chăn nuôi lợn là nguồn gây ô nhiễm lớn nhất, chiếm 51% tổng tải lượng nitơ thải vào các lưu vực nước ở nông thôn [1]. Nhiều vấn đề về ô nhiễm nước tại địa phương được cho là có nguồn gốc từ chăn nuôi lợn [2]. Theo đó, Chính phủ và các cơ quan chức năng đã ban hành chương trình quản lý chất thải nhằm mục đích giảm thiểu các nguồn gây ô nhiễm và các vấn đề môi trường xung quanh các khu vực nông thôn.

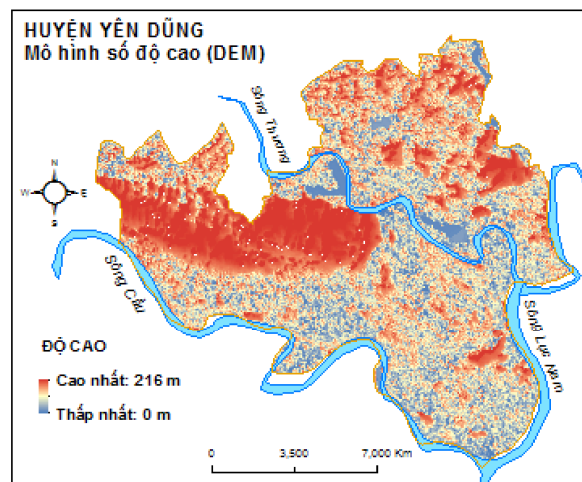
Phản hồi của từng người dân là một yếu tố quan trọng trong thực thi chính sách môi trường. Mô hình ABM có kết hợp phân tích không gian được xem là phù hợp để mô phỏng hành vi và được nhiều nhà khoa học trên thế giới để xuất sử dụng cho dự báo tải lượng xả thải [3, 4]. Về chủ đề chất thải chăn nuôi lợn, ABM đã bước đầu thử nghiệm ở một số nơi [5, 6].

Nghiên cứu này nhằm mục đích xây dựng một mô hình ABM để mô phỏng sự phân bố không gian của chất ô nhiễm xả thải từ chăn nuôi lợn, từ đó hỗ trợ lập kế hoạch quản lý chất thải dựa trên tải lượng thực tế tích lũy tại các tiểu lưu vực. Mô hình mô phỏng một cách có hệ thống những tương tác giữa các tác nhân (nông hộ) và môi trường xung quanh thông qua những biểu hiện tổng hợp về hoạt động môi trường dựa trên các thuộc tính nội bộ của hộ dân và bối cảnh (chính sách) chung của địa phương.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng của nghiên cứu này là các hộ dân chăn nuôi lợn tại huyện Yên Dũng, tỉnh Bắc Giang. Đây là một huyện vùng bán sơn địa được bao bọc bởi 3 con sông là sông Cầu, sông Thương và sông Lục Nam. Phía Tây của huyện có dải núi cao trên 216m chạy qua các xã Nội Hoàng, Yên Lữ, Nham Sơn và Thị trấn Neo (Hình 1).



▲ Hình 1. Mô hình số độ cao từ ảnh SRTM thuộc huyện Yên Dũng

¹Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

²Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Chăn nuôi lợn ở huyện Yên Dũng chủ yếu theo quy mô nhỏ lẻ, tại các hộ gia đình và một số trang trại dưới 1.000 con. Năm 2020, cả huyện có 4.274 cơ sở chăn nuôi lợn, với 82.313 con (Chi cục Chăn nuôi tỉnh Bắc Giang, 2020).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Xây dựng mô hình lý thuyết (conceptual model): Về mặt cấu trúc, mô hình ABM dự báo tải lượng xả thải từ chăn nuôi lợn được thiết lập với 3 thành phần cơ bản như sau:

i) Hộ chăn nuôi lợn (HH-agent) là nơi phát sinh chất ô nhiễm, cũng là nhân tố quyết định hành vi xả thải ô nhiễm. Hộ chăn nuôi được thiết kế dạng tác nhân (agent), có khả năng tự ra quyết định độc lập dựa trên những thuộc tính của nông hộ.

ii) Môi trường vật lý (Land patches) được thiết lập dưới dạng bản đồ, có tính động thái, với thuộc tính quan trọng là tải lượng ô nhiễm nhận được từ các hộ chăn nuôi (HH-agent)..

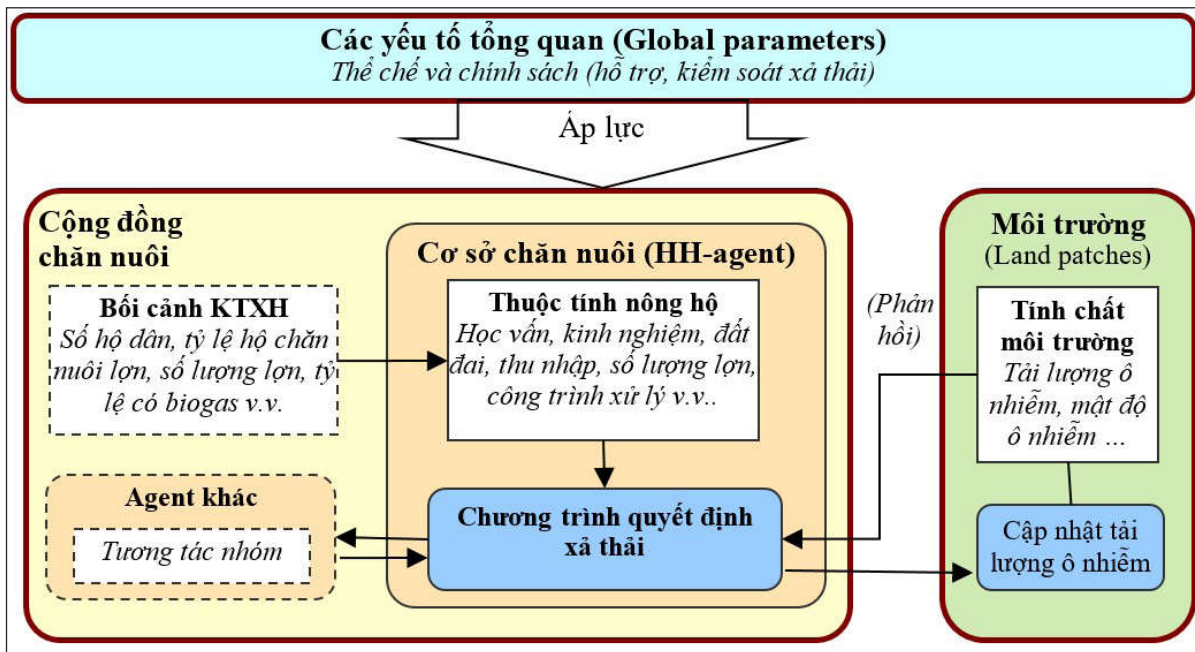
iii) Hoàn cảnh bên ngoài (Global parameters) là tập hợp các điều kiện về hoàn cảnh kinh tế - xã hội được thể hiện là các chính sách quản lý môi trường có liên quan. Hoàn cảnh bên ngoài được xem là động lực của những hành vi xả thải.

Trong mô hình, các HH-agents tương tác và làm thay đổi thuộc tính môi trường do xả thải chất ô nhiễm chăn nuôi. Môi trường cũng làm thay đổi hành vi của các HH-agents do tác động trực tiếp đến nhận thức của mỗi tác nhân và tác động gián tiếp thông qua áp lực xã hội mà các tác nhân xung quanh tạo ra.

Mô hình xây dựng trong nghiên cứu này dự báo tải lượng trong 1 năm. Cấu trúc và mối tương tác giữa các thành phần trong mô hình được mô tả ở Hình 2.

Kiểm chứng mô hình (model validation) được thực hiện bằng cách so sánh giữa kết quả dự báo tải lượng xả thải từ mô hình với tải lượng xả thải tính trên thực tế. Tải lượng xả thải thực tế là tích số giữa nồng độ các chất ô nhiễm phân tích tại điểm xả thải với thể tích nước sử dụng để rửa chuồng trại. Phép so sánh thực hiện theo sai số RMSE (Root Mean Squared Error) mà nhiều nghiên cứu đã đề xuất [7, 8].

Nguồn số liệu sử dụng cho đầu vào của mô hình bao gồm: Thống kê số lượng lợn và số hộ chăn nuôi theo xã; Thuộc tính hộ chăn nuôi lợn (thu thập từ 125 hộ điều tra); Bản đồ tiểu lưu vực: thành lập từ mô hình số độ cao DEM - SRTM theo phương pháp của Wang & Liu [9]; Bản đồ hành chính và sử dụng đất huyện Yên Dũng (2020); Hệ số phát sinh chất thải: sử dụng phương pháp ước tính tải lượng theo Quyết định số 154/QĐ-TCMT [10] với các hệ số COD: 59,2; BOD₅: 32,9, N tổng số (TN): 7,3, Phốt pho tổng số (TP): 2,3 (kg/con/năm); Chất lượng mẫu nước được lấy tại đầu xả thải của 125 cơ sở chăn nuôi (trùng với 125 hộ điều tra). Mẫu được lấy theo TCVN 5999:1995 và phân tích theo các tiêu chuẩn: (COD)-TCVN 6491:1999; (BOD₅)-TCVN 6001:2008; (N-tổng số)-TCVN 6638:2000; (P-tổng số)-TCVN 6202:2008.



▲ Hình 2. Cấu trúc mô hình ABM về xử lý chất thải chăn nuôi lợn



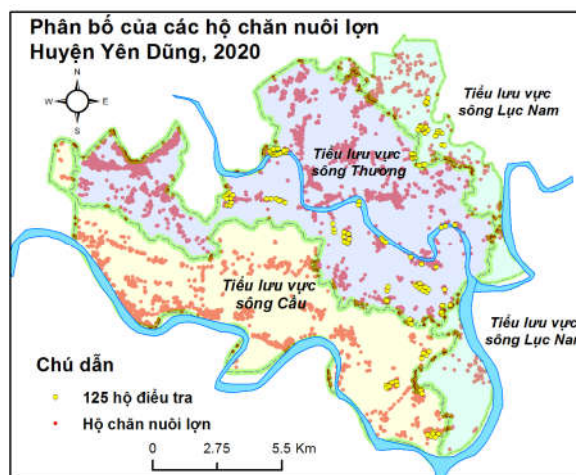
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân bố không gian của nguồn thải

Kết quả phân tích địa hình được thực hiện và mô tả chi tiết như trong công trình của tác giả An & cs (2020) [1]. Theo đó, khu vực nghiên cứu được chia thành 3 tiểu lưu vực (cấp 1) đổ nước vào sông Cầu, sông Lục Nam và sông Thương (Hình 2) và 153 tiểu lưu vực cấp 2. Mỗi tiểu lưu vực này được xem là một vùng chứa tải lượng ô nhiễm từ các nguồn thải cục bộ trước khi phát tán vào 3 hệ thống sông. Dựa trên vị trí các khu dân cư trên bản đồ sử dụng đất (2020) và số liệu thống kê, vị trí các hộ chăn nuôi được tạo ra như trong Hình 3.

Khi chồng xếp bản đồ vị trí các nguồn thải (cơ sở chăn nuôi) với bản đồ tiểu lưu vực ta có kết quả thống kê các nguồn ô nhiễm theo 3 tiểu lưu vực chính như Bảng 1.

Bảng 1 và Hình 3 cho thấy, các cơ sở chăn nuôi lợn phân bố rải rác trên tất cả các tiểu lưu vực, nhưng có xu thế tập trung thành từng cụm trên bản đồ. Do đó, tải lượng ô nhiễm phát sinh cũng tập trung theo từng cụm không gian.



▲ Hình 3. Vị trí các hộ chăn nuôi lợn tạo ra từ bản đồ sử dụng đất và số liệu thống kê

Bảng 1. Phân bố của nguồn thải theo các tiểu lưu vực tại huyện Yên Dũng

Số liệu thống kê	Tiểu lưu vực sông Lục Nam	Tiểu lưu vực sông Cầu	Tiểu lưu vực sông Thương	Cả huyện
Hộ gia đình (số hộ)	419	1.313	2.542	4.274
Số lượng lợn (con)	10.707	29.917	41.689	82.313

3.2. Tải lượng xả thải dự báo từ các cơ sở chăn nuôi lợn

Kiểm chứng kết quả từ mô hình máy tính

Mô hình ABM được tạo ra trong phần mềm NetLogo 6.1.1. Sau khi được xây dựng, mô hình máy tính được kiểm chứng độ chính xác bằng cách so sánh kết quả đầu ra của mô hình với số liệu thực tế thu được từ 125 hộ khảo sát. Mô hình chạy 30 lần độc lập để lấy giá trị RMSE trung bình. Kết quả so sánh được thể hiện ở Bảng 2.

Kết quả kiểm chứng cho thấy, mô hình vận hành tương đối ổn định khi các giá trị độ lệch chuẩn của sai số RMSE (SD_{RMSE}) và độ lệch chuẩn của tổng tải lượng dự báo (SD_{TDL}) của các agents là tương đối thấp, chỉ dao động trong khoảng tương ứng là 0,2–0,4% và 1,7–6,1%. Đặc biệt, khả năng dự báo của mô hình rất sát với số liệu khảo sát thực tế khi tỷ lệ giữa RMSE/TDL chỉ bằng 0,3–0,7% (nhỏ hơn rất nhiều so với ngưỡng 5%). Như vậy, mô hình có thể được sử dụng để đánh giá các kịch bản và hỗ trợ đưa ra các giải pháp quản lý cho địa phương.

Bảng 2. So sánh số liệu dự báo của mô hình và số liệu khảo sát thực tế

TT	Thông số dự báo	Tổng tải lượng dự báo theo mô hình (TDL kg/năm) (TDL kg/năm)		Sai số giữa giá trị dự báo của mô hình và số liệu khảo sát (RMSE)		Tỷ lệ giữa RMSE và giá trị dự báo tổng tải lượng (%)
		Mean _(TDL)	SD _(TDL)	Mean _(RMSE)	SD _(RMSE)	
1	COD	20.7382	418(0,2%)	1.304	28(2,1%)	0,6
2	BOD ₅	11.1860	282(0,3%)	747	13(1,7%)	0,7
3	TN	32.809	98(0,3%)	109	6(5,5%)	0,3
4	TP	10.591	40(0,4%)	33	2(6,1%)	0,3

▲ Ghi chú: Đánh giá thực hiện trên 125 hộ (agents) có khảo sát

Bảng 3. Tải lượng ô nhiễm dự báo theo các kịch bản và tỷ lệ (%) so với kịch bản cơ sở

TT	Tải lượng theo kịch bản (N=30)	COD (tấn/năm)	BOD ₅ (tấn/năm)	TN (tấn/năm)	TP (tấn/năm)
1	Kịch bản cơ sở	1626(100%)	872(100%)	263(100%)	85(100%)
2	Kịch bản tích cực	1591(98%)	850(97%)	251(95%)	83(98%)
3	Kịch bản tiêu cực	1831(113%)	985(113%)	291(111%)	94(111%)

▲ Ghi chú: số ngoài ngoặc là tải lượng (tấn/năm), số trong ngoặc là tỷ lệ phần trăm (%)

Dự báo tải lượng xả thải theo kịch bản

Tải lượng xả thải được dự báo theo các kịch bản phục vụ việc phân tích chính sách hỗ trợ xử lý chất thải và phát triển đàn lợn, bao gồm kịch bản cơ sở, kịch bản tích cực và kịch bản tiêu cực. Kịch bản cơ sở được xây dựng theo hiện trạng thu được từ cuộc khảo sát nông hộ (trung bình có 54,4% số hộ được tiếp cận hỗ trợ tài chính; 30,4% được hỗ trợ kỹ thuật trong xử lý chất thải). Kết quả chạy mô hình được trình bày trong Hình 4, trong đó các tiêu lưu vực chịu tải lượng cao thể hiện bằng màu đậm, tập trung ở một số tiểu lưu vực tại các xã Tiến Dũng,

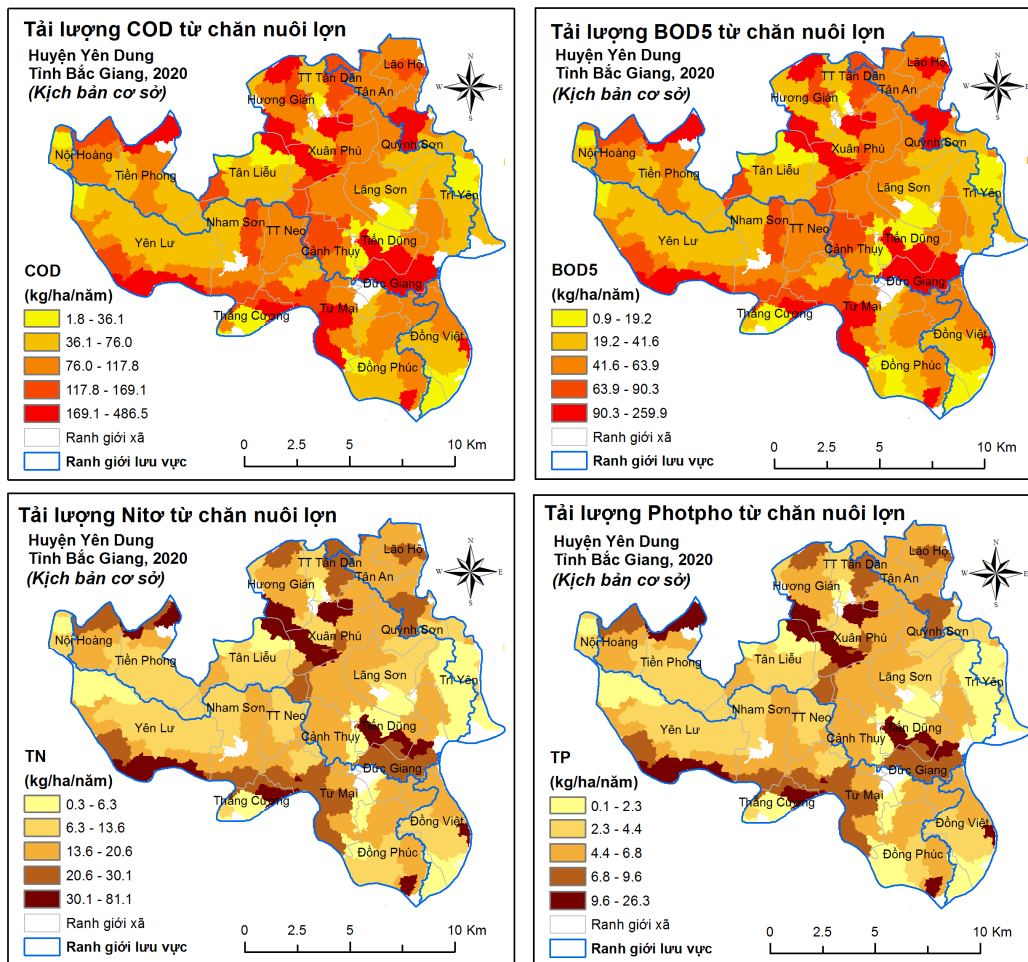
Đức Giang và Tư Mại. Mức tải lượng theo kịch bản cơ sở này có thể đạt tới 486,5 kg/ha/năm (COD) và 259,9 kg/ha/năm (BOD).

Kịch bản tích cực và tiêu cực được xây dựng dựa trên giả thiết về tác động tích cực và tiêu cực tới môi trường. Trong đó, kịch bản tích cực

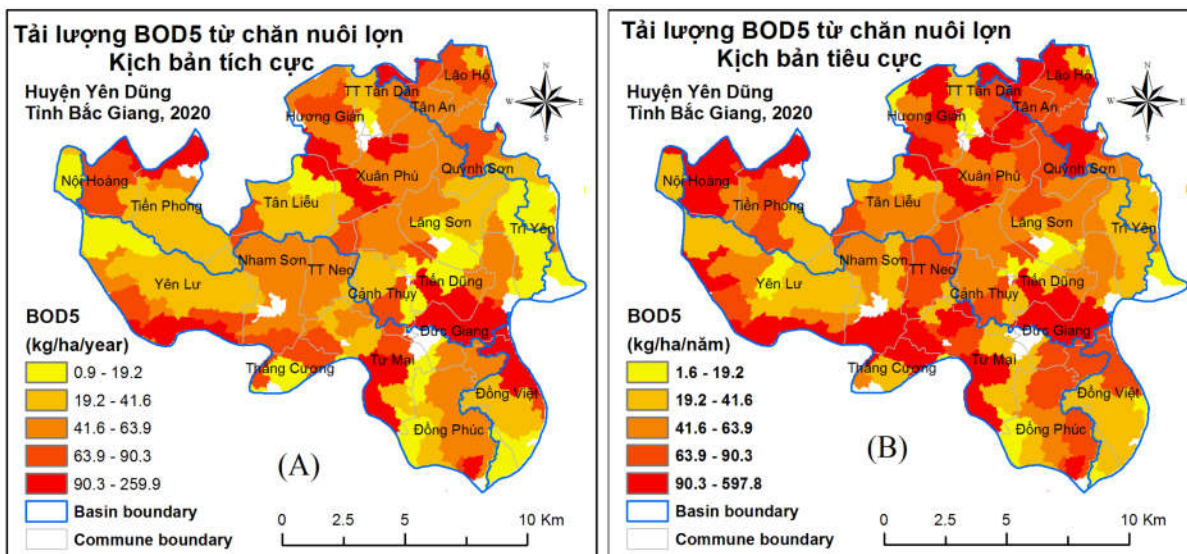
có số lượng lợn ổn định như hiện nay; hỗ trợ tài chính và kỹ thuật đều tăng thêm 10% so với mức cơ sở. Kịch bản tiêu cực thì có giả thiết số lượng lợn tăng thêm 10%; hỗ trợ tài chính vẫn giữ nguyên như trong kịch bản cơ sở. Kết quả chạy mô hình theo hai kịch bản này được trình bày với thông số đại diện là BOD₅ như trong Hình 5.

So sánh kết quả các kịch bản và đề xuất chính sách

Để thấy sự khác biệt về tải lượng xả thải theo các kịch bản, mô hình ABM được chạy độc lập 30 lần cho mỗi kịch bản. Kết quả được trình bày trong Bảng 3.



▲ Hình 4. Tải lượng xả thải ước tính cho kịch bản cơ sở (baseline)



▲ Hình 5. Tải lượng xả thải ước tính cho kịch bản Tích cực (A) và Tiêu cực (B)

Theo Bảng 3, ở kịch bản tích cực, các thông số về tải lượng (COD, BOD₅, TN và TP) chỉ bằng 95 – 98% so với kịch bản cơ sở. Trong khi đó, tải lượng theo kịch bản tiêu cực lại cao hơn, vượt 11-13% so với kịch bản cơ sở. Kết quả phân tích kịch bản chứng minh bối cảnh cần duy trì sự phát triển của đàn lợn trong khi vẫn phải đề cao nhiệm vụ BVMT thì việc hỗ trợ về tài chính và kỹ thuật là rất cần thiết. Những đầu tư này tác động trực tiếp tới hành vi xử lý và xả thải chất ô nhiễm vào môi trường xung quanh. Hiệu quả môi trường liên quan tới chính sách đầu tư có thể được tính dựa trên tỷ lệ tăng giảm của tải lượng chất thải. Đối với kịch bản tích cực, hiệu quả chính là tỷ lệ giữa chi phí cho hỗ trợ kỹ thuật, tài chính và lợi ích môi trường đạt được theo mức giảm tải lượng ô nhiễm. Đối với kịch bản tiêu cực, hiệu quả chính là sự bù đắp của lợi nhuận thu được khi tăng số đàn lợn và chi phí môi trường phải bỏ ra khi xử lý một tải lượng lớn phát sinh thêm hoặc tổn hại môi trường gây ra từ tải lượng phát sinh này. Kết quả này sẽ là cơ sở để những nhà quản lý môi trường lựa chọn mức đầu tư phù hợp theo mục tiêu BVMT của địa phương.

Tuy những kết quả và logic trình bày trên không phải là mới nhưng với mô hình này có thể định lượng được hiệu quả tác động môi trường thông qua thay đổi tải lượng xả thải. Giả sử mục tiêu đặt ra cho một giai đoạn cụ thể nào đó là phải khống chế tải lượng ở một mức độ giới hạn. Với mô hình này chỉ cần thử nghiệm qua một vài kịch bản sẽ có thể tối ưu hiệu quả đầu tư và sự can thiệp để đạt được mục tiêu đưa ra. Ngoài ra, cũng với khả năng dự báo tải lượng xả thải, mô hình ABM có thể ứng dụng để hỗ trợ quy hoạch các trang trại chăn nuôi tập trung theo khả năng tiếp nhận tải lượng ô nhiễm của các tiểu lưu vực.

4. KẾT LUẬN

Tải lượng ô nhiễm từ chăn nuôi lợn của huyện Yên Dũng dự báo bằng mô hình ABM dựa theo các hệ số trong Quyết định số 154/QĐ-TCMT và số liệu điều tra cho kết quả là 1626 (COD); 872 (BOD₅); 263 (TN-ts) và 85 (TP) tấn/năm.

Bằng cách so sánh kết quả vận hành mô hình theo các kịch bản khác nhau đã chứng minh hiệu quả của chính sách hỗ trợ tài chính và kỹ thuật (tăng 10%) trong quản lý chất thải sẽ mang lại hiệu quả giảm tải lượng ô nhiễm (2-5%). Trong khi đó, nếu số lượng lợn tăng thêm 10% nhưng những hỗ trợ chỉ như hiện nay thì tải lượng ô nhiễm sẽ tăng lên 11-13% so với kịch bản cơ sở.

Dựa trên khả năng mô phỏng định lượng của mô hình ABM, các giải pháp tối ưu trong đầu tư xử lý chất thải và giảm thiểu tác động môi trường có thể được thực hiện trên mô hình này. Tuy nhiên, do ABM là một tiếp cận mới nên cũng cần có thêm những kiểm chứng cho các cộng đồng khác để tăng độ tin cậy cho mô hình.

LỜI CẢM ƠN: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.99-2018.318.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. An N. T., Lan N. P., Cong V. H., Duong N. H. & Huong Giang N. T. (2020). *Environmental Pressure from Pig Farming to Surface Water Quality Management in Yen Dung District Bac Giang Province*. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. 36(1).
2. Nguyen T. H. G., Ngo T.A., Le T.T.H, Yabe M., Nguyen T.T., Vu N.H. & T.S. C. (2021). *Recycling Wastewater in Intensive Swine Farms: Selected Case Studies in Vietnam*. *Fac. Agr., Kyushu Univ.* <https://doi.org/10.5109/4363559>: 7.
3. Meng X., Wen Z. & Qian Y. (2018). *Multi-agent based simulation for household solid waste recycling behavior*. *Resources, Conservation and Recycling*. 128: 535-545.
4. Scalco A., Ceschi A., Shiboub I., Sartori R., Frayret J.-M. & Dickert S. (2017). *The Implementation of the Theory of Planned Behavior in an Agent-Based Model for Waste Recycling: A Review and a Proposal*. Trong: *Agent-Based Modeling of Sustainable Behaviors*. Alonso-Betanzos A., Sánchez-Maróño N., Fontenla-Romero O., Polhill J. G., Craig T., Bajo J. & Corchado J. M. (eds.). Springer International Publishing Cham: 77-97 trang.
5. Karmakar S., Laguë C., Agnew J. & Landry H. (2007). *Integrated decision support system (DSS) for manure management: A review and perspective*. *Computers and Electronics in Agriculture*. 57(2): 190-201.
6. Zheng C., Liu Y., Bluemling B., Chen J. & Mol A. P. J. (2013). *Modeling the environmental behavior and performance of livestock farmers in China: An ABM approach*. *Agricultural Systems*. 122: 60-72.
7. Chatfield C. (1992). *A commentary on error measures*. *International Journal of Forecasting*. 8(1): 100-102.
8. Ngo T. A. & See L. (2012). *Calibration and Validation of Agent-Based Models of Land Cover Change*. Trong: *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Heppenstall A. J., Crooks A. T., See L. M. & Batty M. (eds.). Springer Netherlands Dordrecht: 181-197 trang.
9. Wang L. & Liu H. (2006). *An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling*. *International Journal of Geographical Information Science*. 20(2): 193-213.
10. TCMT (2019). *Quyết định số 154/QĐ-TCMT ngày 15/02/2019 của Tổng cục Môi trường về việc ban hành hướng dẫn kỹ thuật tính toán sức chịu tải nguồn nước sông*.

AN APPLICATION OF AGENT-BASED MODEL FOR ESTIMATING POLLUTANT LOAD FROM PIG FARMING HOUSEHOLDS IN YEN DUNG DISTRICT, BAC GIANG PROVINCE

Ngô Thế Ân^{1*}, Nguyễn Thị Hương Giang¹
Nguyễn Quốc Việt²

¹Faculty of Natural Resources and Environment, Vietnam National University of Agriculture

²Faculty of Environmental Sciences, University of Science, Vietnam National University, Hanoi

ABSTRACT

This research developed an agent-based model (ABM) for estimating the pollutant discharge loads from pig farming households. The parameters for the model were obtained from household surveys conducted in Bac Giang province. The results of model analysis demonstrated that the waste treatment policy has a significant influence on the pollutant distribution from pig farming within drainage basins. Particularly, an increase of 10% in financial and technical supports would reduce pollutant loads by 2–5%. This correlation can be used as the suggestions to assist decision-making process of waste management at source for the locality.

Key words: Agent-based model, pollutant load, pig farming.