

Đánh giá mức độ phù hợp sinh thái cho phát triển cây Mắc ca trên địa bàn tỉnh Sơn La

Cao Đình Sơn*, Phạm Thị Nguyệt, Nguyễn Thị Thanh Thảo

Trường Đại học Thành Đông

Evaluating ecological suitability for Macadamia development in Son La province

Cao Dinh Son*, Pham Thi Nguyet, Nguyen Thi Thanh Thao

Thanh Dong University

*Corresponding author: soncd@thanhdong.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.7.2026.132-139>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 12/05/2026

Ngày phản biện: 01/07/2026

Ngày quyết định đăng: 11/08/2026

Từ khóa:

Cây Mắc ca, đất dốc, độ chua đất, phân vùng sinh thái, phù hợp sinh thái, Sơn La.

Keywords:

Ecological suitability, ecological zoning, Macadamia, sloping land, soil acidity, Son La.

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá mức độ phù hợp sinh thái cho phát triển cây Mắc ca tại tỉnh Sơn La dựa trên ba nhóm yếu tố chính: đất đai, địa hình và khí hậu. Ngoài việc kế thừa tài liệu thứ cấp, nghiên cứu tiến hành khảo sát thực địa tại 25 ô tiêu chuẩn tạm thời (500 m²/ô), mô tả 25 phẫu diện đất, phân tích 25 mẫu đất tầng mặt (0-30 cm) kết hợp thu thập các thông tin về độ cao, độ dốc, hướng phơi, điều kiện thời tiết bất lợi. Kết quả cho thấy đất vùng nghiên cứu chủ yếu là đất Feralit, có phản ứng chua, với giá trị pH(KCl) tầng mặt dao động từ 3,94-4,96, phản ánh sự xuất hiện cục bộ các vị trí khảo sát cận ngưỡng không thích hợp về độ chua đất. Đánh giá khí hậu chỉ ra 7/8 trạm đạt mức rất phù hợp (S1) về nhiệt độ; lượng mưa năm chủ yếu đạt mức S1 đến S2, riêng khu vực vùng thấp khô đạt mức S3. Mối quan hệ hồi quy giữa nhiệt độ (T) và độ cao (H) được xác định: $T = 23,04 - 0,0034H$ ($R^2 = 0,64$; $p = 0,017$). Đánh giá tổng hợp theo đai cao cho thấy: vùng dưới 700 m chủ yếu đạt mức S2-S3; đai cao 700-1.000 m đạt S2 và là vùng ưu tiên phát triển; vùng trên 1000 m cần thận trọng do nguy cơ rét đậm, sương giá và độ ẩm cao. Các yếu tố hạn chế chính gồm độ chua đất, độ dốc lớn, hạn mùa khô ở vùng thấp và sương muối/rét hại ở vùng cao.

ABSTRACT

This study evaluates ecological suitability for Macadamia development in Son La province, focusing on three main factors: soil, topography, and climate. Using secondary data and field surveys, the study established 25 temporary sample plots (500 m² each), described 25 soil profiles, analysis of 25 topsoil samples (0-30 cm), and recorded elevation, slope, aspect, and adverse weather conditions. The results indicate that the surveyed soils are predominantly acidic Feralit, with topsoil pH(KCl) ranging from 3.94 to 4.96, implying that a few sites are near the unsuitable threshold regarding soil acidity. Steep topography poses a major limitation for intensive Macadamia cultivation. Climate classification reveals that seven out of eight stations meet the highly suitable level (S1) for temperature; annual rainfall falls mainly into S1-S2 levels, with localized S3 in drier lowlands. The linear regression between annual mean temperature (T) and elevation (H) is expressed as $T = 23.04 - 0.0034H$ ($R^2 = 0.64$; $p = 0.017$). Integrated elevation-belt assessment indicates that areas below 700 m are mainly into S2-S3; the 700 - 1,000 m belt achieves S2 status and represents the priority zone; areas above 1,000 m require caution due to risks of severe cold, frost, and prolonged humidity. The main limiting factors include soil acidity, steep slopes, dry-season drought in lowlands, and extreme cold/frost in higher zones.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cây Mắc ca (*Macadamia*) là cây thân gỗ cho hạt có giá trị kinh tế cao, được phát triển ở nhiều quốc gia và ngày càng được quan tâm tại Việt Nam nhờ tiềm năng đa dạng hóa cây trồng lâu năm và tạo sản phẩm có giá trị thị trường [1-3]. Do là cây lâu năm có chu kỳ đầu tư dài, hiệu quả phát triển Mắc ca phụ thuộc mạnh vào sự phù hợp lập địa, đặc biệt là đất đai, địa hình và khí hậu. Nhiều tài liệu cho thấy Mắc ca phù hợp với đất sâu, thoát nước tốt, phản ứng hơi chua đến chua vừa, đồng thời nhạy cảm với nóng khô, sương giá và thiếu nước trong những giai đoạn sinh trưởng quan trọng [1, 4-6].

Trong bối cảnh Sơn La có sự phân hóa mạnh về địa hình, độ cao và tiểu khí hậu, việc đánh giá mức độ phù hợp sinh thái của cây Mắc ca có ý nghĩa thực tiễn hơn so với xem toàn tỉnh như một vùng trồng đồng nhất. Trong khuôn khổ bài báo này, mục tiêu nghiên cứu được giới hạn ở đánh giá mức độ phù hợp sinh thái; các nội dung về hiệu quả kinh tế, sinh kế hộ dân và rủi ro thị trường không thuộc phạm vi phân tích [7].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và phạm vi dữ liệu

Nguồn dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Bảng 1. Khung thiết kế mẫu điều tra và phạm vi các nhóm vùng khảo sát

Nhóm vùng khảo sát	Khu vực tiêu biểu	Tuổi cây ghi nhận (năm)	Nội dung thu thập
< 700 m	Quỳnh Nhai, Yên Châu, Mai Sơn, một phần TP. Sơn La	2-17	OTC, mẫu đất, độ dốc, hướng phơi, điều kiện thời tiết bất lợi
700-1.000 m	Vân Hồ, Thuận Châu, Mường La, một phần TP. Sơn La, Mai Sơn	2-17	
> 1.000 m	Mộc Châu (đối chiếu và kiểm tra tính thích hợp ở đai cao)	2-17	Đối chiếu khí hậu, rủi ro rét/sương giá và ẩm cao

2.3. Điều tra đất và xử lý số liệu

Công tác điều tra, đào phẫu diện và lấy mẫu đất được thực hiện trong giai đoạn 2020-2022, đồng thời với quá trình thiết lập các OTC. Việc mô tả phẫu diện, lấy mẫu, bảo quản và đối chiếu kết quả phân tích đất được thực hiện theo hướng dẫn chuẩn hóa của FAO và USDA-NRCS [8, 9].

Số liệu được tổng hợp bằng Microsoft Excel

gồm: (i) dữ liệu thứ cấp về khí hậu, địa hình, đất đai và hiện trạng gây trồng Mắc ca tại Sơn La; (ii) dữ liệu sơ cấp từ 25 OTC và 25 mẫu đất tầng mặt; (iii) các tài liệu kỹ thuật, nghiên cứu và hướng dẫn chính thức về yêu cầu sinh thái của cây Mắc ca [1, 2, 4, 5, 7-9].

Do giống, mật độ và mức độ chăm sóc giữa các mô hình trồng Mắc ca khảo sát chưa hoàn toàn đồng nhất, nghiên cứu không lượng hóa trực tiếp ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái tới năng suất từng mô hình, mà tập trung vào đánh giá mức độ phù hợp sinh thái của các nhóm vùng khảo sát.

2.2. Khảo sát thực địa và thiết kế mẫu

OTC được lựa chọn theo phương pháp chọn mẫu điển hình có phân tầng theo khu vực trồng và tuổi cây nhằm phản ánh các nhóm lập địa chủ yếu của vùng khảo sát. Tổng cộng thiết lập 25 OTC tạm thời, diện tích mỗi OTC 500 m² (20 m × 25 m), với tổng diện tích điều tra 12.500 m². Trong mỗi OTC, đào 01 phẫu diện đất tại tâm ô, lấy 01 mẫu đất tổng hợp tầng 0-30 cm và ghi nhận độ cao, độ dốc, hướng phơi, tuổi cây cùng các biểu hiện thời tiết bất lợi tại hiện trường. Khung thiết kế mẫu được trình bày tại Bảng 1.

và SPSS 16.0. Trong nghiên cứu này, các chỉ tiêu khí hậu dùng để tính mức phù hợp sinh thái cho từng OTC được gán theo nhóm đai cao và trạm khí tượng đại diện gần nhất, trên cơ sở đối chiếu vị trí không gian của điểm khảo sát với các khu vực khí hậu tương ứng. Cụ thể, nhiệt độ trung bình năm và lượng mưa năm được sử dụng như biến khí hậu nền cho từng OTC; các chỉ tiêu độ dốc, độ dày tầng đất và pH(KCl)

được xác định trực tiếp từ điều tra hiện trường và kết quả phân tích mẫu đất. Trên cơ sở đó, chỉ số phù hợp sinh thái tổng hợp (SI) của từng OTC được tính để phục vụ phân hạng và so sánh giữa các nhóm vùng khảo sát.

2.4. Hệ thống ngưỡng và chỉ số phù hợp sinh thái

Để đánh giá định lượng mức độ phù hợp sinh thái đối với cây Mắc ca, nghiên cứu sử

dụng hệ thống 4 cấp gồm rất thích nghi (S1), thích nghi (S2), ít thích nghi (S3) và không thích nghi (N), tương ứng với thang điểm 4, 3, 2 và 1. Các chỉ tiêu chấm điểm gồm nhiệt độ trung bình năm, lượng mưa năm, độ dốc, độ dày tầng đất và pH(KCl); các chỉ tiêu được cho trọng số bằng nhau để tránh áp đặt trọng số chủ quan khi chưa có đủ dữ liệu thực nghiệm hiệu chỉnh. Các ngưỡng phân hạng được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Bộ ngưỡng tham chiếu dùng để phân hạng mức độ phù hợp sinh thái

Chỉ tiêu	S1	S2	S3	N
Nhiệt độ TB năm (°C)	20-25	18-<20 hoặc >25-27	15-<18 hoặc >27-30	<15 hoặc >30
Lượng mưa năm (mm)	1.500-2.500	1.200-<1.500	1.000-<1.200	<1.000 hoặc >2.500
Độ dốc (°)	0-15	>15-25	>25-35	>35
Độ dày tầng đất (cm)	≥70	50-<70	35-<50	<35
pH(KCl)	5,0-5,5	4,5-<5,0 hoặc >5,5-6,5	4,0-<4,5	<4,0 hoặc >6,5

Chỉ số phù hợp sinh thái tổng hợp được tính theo công thức $SI = \sum Mi/n$, trong đó Mi là điểm của từng chỉ tiêu và n là số chỉ tiêu tham gia đánh giá. Kết quả được phân hạng như sau: $SI \geq 3,25$: S1; $2,50 \leq SI < 3,25$: S2; $1,75 \leq SI < 2,50$: S3; và $SI < 1,75$: N. Do một số yếu tố gây nhiễu như giống, mật độ và chế độ chăm sóc giữa các mô hình khảo sát chưa hoàn toàn đồng nhất, SI trong nghiên cứu này được sử dụng chủ yếu như chỉ số tổng hợp định hướng để phản ánh mức độ thuận lợi hay hạn chế của điều kiện sinh thái đối với cây trồng Mắc ca, phục vụ so sánh tương đối giữa các OTC và giữa các nhóm

vùng khảo sát.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nhân tố đất đai và mức độ đáp ứng yêu cầu sinh thái của cây Mắc ca

Sơn La có cơ cấu đất đa dạng, trong đó nhóm đất feralit đỏ vàng, nâu tím và feralit nâu đỏ, nâu vàng chiếm ưu thế. Đây là những nhóm đất có thể phù hợp cho cây lâu năm nếu tầng đất đủ dày và thoát nước, nhưng khi kết hợp với địa hình dốc vẫn tiềm ẩn rủi ro xói mòn và suy thoái dinh dưỡng. Một số nhóm đất chính của tỉnh Sơn La được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Một số nhóm đất chính của tỉnh Sơn La

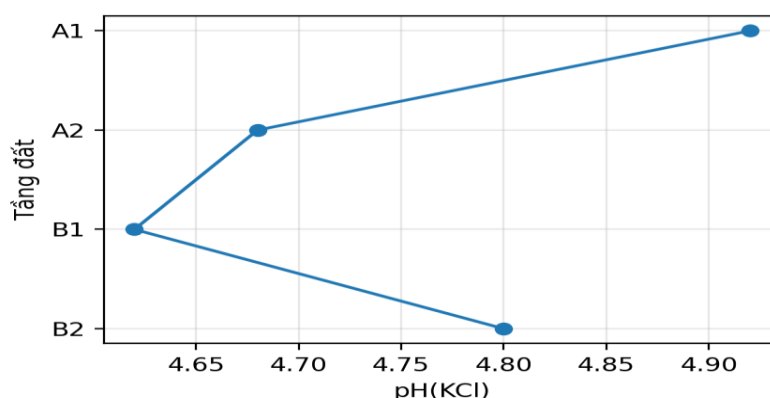
Nhóm đất	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Phân bố/đặc điểm chính
Feralit đỏ vàng, nâu tím (trên đá phiến sét)	879.834	62,1	Phân bố rộng; đất chua điển hình vùng núi
Feralit nâu đỏ, nâu vàng	380.466	26,8	Phổ biến ở khu vực núi thấp/đồi
Feralit vàng nhạt (trên đá cát)	—	—	Phân bố rải rác ven sông Mã, phía Bắc sông Đà
Đất mùn núi cao	29.878	2,1	Ở đai cao; nhiệt thấp, có nguy cơ rét
Đất thung lũng do sản phẩm dốc tụ	11.031	0,8	Thung lũng/ven suối; lưu ý úng cục bộ
Đất lầy và than bùn	223	0,02	Diện tích rất nhỏ; không phù hợp Mắc ca
Đất cacbonat	128	0,01	Diện tích rất nhỏ

Trong 25 mẫu đất tầng mặt, pH(KCl) dao động 3,94-4,96, cho thấy đất chua khá phổ biến và có điểm tiệm cận ngưỡng không thích nghi

về phản ứng đất. Phẫu diện đại diện được trình bày tại Bảng 4, còn biến đổi pH(KCl) theo chiều sâu được minh họa tại Hình 1 [1, 5].

Bảng 4. Phẫu diện đất đại diện tại vùng khảo sát trồng Mắc ca ở Sơn La

Tầng đất (cm)	pH(KCl)	HTp [cmol(+)/kg đất]	OM (%)	N tổng số (%)	P ₂ O ₅ tổng số (%)	K ₂ O tổng số (%)	CEC [cmol(+)/kg đất]
A1 (0-20 cm)	4,92	18,57	1,51	0,11	0,006	0,007	12,91
A2 (20-44 cm)	4,68	10,98	1,08	0,08	0,006	0,004	8,84
B1 (44-88 cm)	4,62	6,72	0,70	0,06	0,005	0,004	4,40
B2 (88-150 cm)	4,80	8,60	0,61	0,06	0,005	0,003	4,10



Hình 1. Biến đổi pH(KCl) theo tầng đất của phẫu diện đại diện

(Nguồn: Tổng hợp từ kết quả phân tích mẫu đất của nhóm tác giả giai đoạn 2020-2022)

Hình 1 cho thấy pH(KCl) giảm từ tầng A1 xuống B1 và tăng nhẹ ở tầng B2, song nhìn chung đất vẫn giữ phản ứng chua trong toàn phẫu diện. So với các hướng dẫn kỹ thuật của Đại học Hawaii và Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, hạn chế nổi bật của vùng khảo sát không phải là loại đất mà là độ chua đất và nguy cơ nghèo dinh dưỡng; do đó các biện pháp ưu tiên là bón vôi cải tạo đất chua, bổ sung hữu cơ và hạn chế rửa trôi trên đất dốc [1, 5].

Như vậy, đất không phải yếu tố loại trừ tuyệt đối ở phần lớn điểm khảo sát, nhưng độ chua kết hợp với địa hình dốc và khô hạn mùa khô làm giảm mức phù hợp tổng hợp từ S1 xuống S2 hoặc S3.

3.2. Nhân tố địa hình, độ dốc

Địa hình là nhân tố hạn chế nổi bật đối với phát triển Mắc ca ở Sơn La. Ở cấp tỉnh, phần lớn diện tích có độ dốc lớn, trong khi diện tích có bề mặt tương đối bằng và thuận lợi cho cơ

giới hóa khá hạn chế. Đối chiếu với hướng dẫn kỹ thuật của NSW Department of Primary Industries cho thấy địa hình dốc trên 25° làm tăng mạnh nguy cơ xói mòn, khó tổ chức cơ giới hóa và làm tăng chi phí đầu tư; vì vậy phát triển Mắc ca ở Sơn La cần theo hướng chọn lọc lập địa, ưu tiên sườn thoải hoặc nơi có thể làm bậc thang, kết hợp trồng theo đường đồng mức và che phủ đất [4].

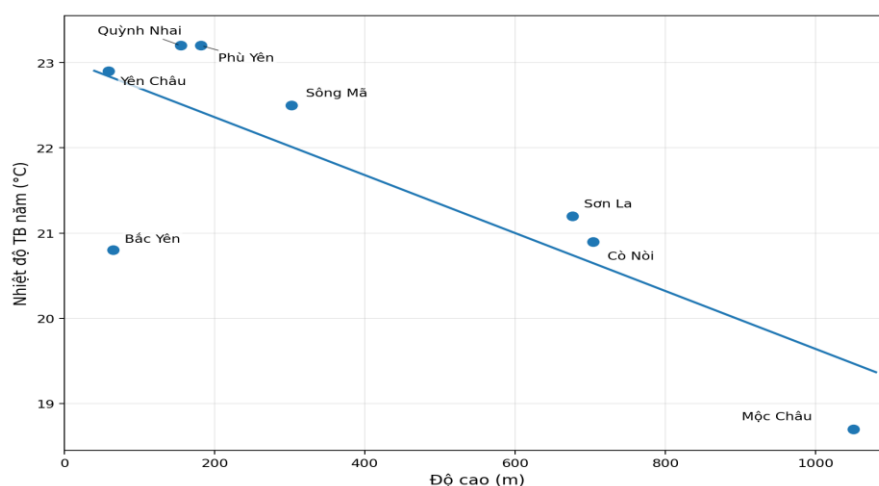
Địa hình dốc làm tăng xói mòn, rửa trôi dinh dưỡng, hạn chế cơ giới hóa và tăng chi phí bảo tồn đất; đây là nguyên nhân quan trọng khiến nhiều OTC chỉ đạt S2 thay vì S1. Vì vậy, lựa chọn lập địa cần gắn với khả năng kiểm soát rủi ro đất dốc.

3.3. Nhân tố khí hậu

Đặc trưng khí hậu và kết quả phân hạng theo trạm được trình bày tại Bảng 5; quan hệ giữa độ cao và nhiệt độ trung bình năm được minh họa tại Hình 2.

Bảng 5. Đặc trưng khí hậu năm và kết quả phân hạng khí hậu theo trạm đại diện.

Trạm	H (m)	T năm (°C)	Cấp T	Mưa năm (mm)	Tháng khô	Cấp mưa	SI khí hậu	Xếp loại
Yên Châu	59	22,9	S1	1218,9	4	S2	3,5	S1
Bắc Yên	65	20,8	S1	1459,4	3	S2	3,5	S1
Quỳnh Nhai	155	23,2	S1	1711,3	2	S1	4,0	S1
Phù Yên	182	23,2	S1	1496,5	3	S2	3,5	S1
Sông Mã	302	22,5	S1	1161,4	4	S3	3,0	S2
Sơn La	676	21,2	S1	1391,8	3	S2	3,5	S1
Cò Nòi	704	20,9	S1	1285,4	4	S2	3,5	S1
Mộc Châu	1050	18,7	S2	1637,2	3	S1	3,5	S1

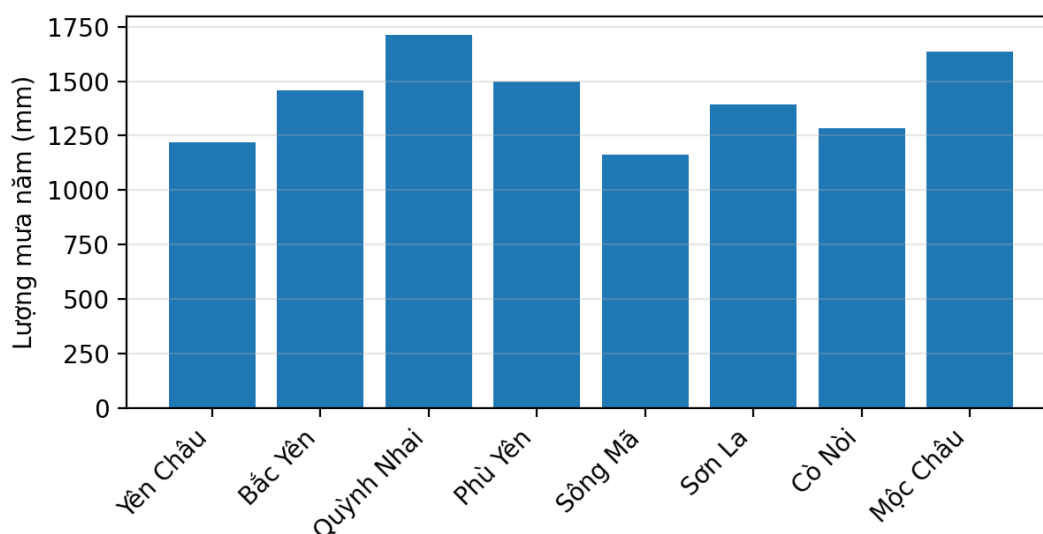


Hình 2. Quan hệ giữa độ cao và nhiệt độ trung bình năm tại các trạm nghiên cứu

(Phương trình hồi quy: $T = 23,04 - 0,0034H$; $R^2 = 0,64$; $p = 0,017$; $n = 8$)

Kết quả hồi quy ở Hình 2 cho thấy nhiệt độ trung bình năm giảm rõ theo độ cao ($p < 0,05$). Hầu hết các trạm đạt S1 về nhiệt độ, trong khi Mộc Châu ở S2; đai 700-1.000 m có nền nhiệt

thuận lợi hơn, nhưng rủi ro rét, sương giá và ẩm cao tăng ở độ cao lớn hơn [6, 10]. Lượng mưa năm theo trạm được thể hiện tại Hình 3.



Hình 3. Lượng mưa năm theo trạm tại Sơn La

(Nguồn: Tổng hợp từ số liệu khí tượng các trạm nghiên cứu và xử lý của nhóm tác giả)

Bảng 5 và Hình 3 cho thấy lượng mưa năm ở phần lớn các trạm đạt cấp S1-S2, nhưng vùng thấp hơn như Sông Mã chuyển xuống S3 do tổng lượng mưa thấp hơn và có 4 tháng khô rõ rệt. Trong khi đó, Mộc Châu có lượng mưa dồi dào hơn nhưng lại đi kèm nguy cơ ẩm cao kéo dài. Như vậy, nếu vùng thấp chịu áp lực thiếu nước và nóng cực đoan, thì vùng cao hơn lại phải lưu ý rét, sương giá và ẩm cao trong giai đoạn ra hoa, đậu quả [6, 7, 10].

Độ ẩm tương đối trung bình năm tại các trạm dao động khoảng 79-86%, còn bốc hơi năm khoảng 785-1.103 mm; giá trị bốc hơi cao vào cuối mùa khô làm tăng nhu cầu tưới hữu hiệu ở các vùng thấp nóng như Yên Châu, Phù Yên và Cò Nòi. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu,

xu thế nóng lên, khô hạn mùa khô và mưa cực đoan trên đất dốc có thể làm thay đổi ranh giới vùng phù hợp cho Mắc ca, do đó việc rà soát định kỳ phân vùng sinh thái là cần thiết [6].

3.4. Kết quả tổng hợp mức độ phù hợp sinh thái và định hướng vùng trồng

Phân hạng mức độ phù hợp sinh thái theo OTC và tổng hợp theo nhóm vùng được trình bày tại các Bảng 6-8 và Hình 4. Mặc dù nhiều trạm khí hậu đại diện đạt mức S1 về nhiệt độ và S1-S2 về lượng mưa, mức phù hợp tổng hợp của các OTC chủ yếu vẫn ở S2 do chỉ số SI không chỉ phụ thuộc vào khí hậu mà còn bị kéo giảm bởi các yếu tố hạn chế tại hiện trường, đặc biệt là độ chua đất, địa hình dốc và nguy cơ mất cân bằng nước theo mùa.

Bảng 6. Phân hạng mức độ phù hợp sinh thái theo từng OTC

Mã OTC	Nhóm vùng	Cấp T	Cấp mưa	SI	Mức phù hợp	Yếu tố giới hạn chính
OTC01	< 700 m	S1	S2	2,8	S2	Độ chua đất, khô hạn mùa khô
OTC02	< 700 m	S1	S2	2,8	S2	Độ chua đất, khô hạn mùa khô
OTC03	< 700 m	S1	S3	2,6	S3	Khô hạn mùa khô, rửa trôi
OTC04	< 700 m	S1	S2	2,7	S2	Độ chua đất, độ dốc
OTC05	< 700 m	S1	S2	2,8	S2	Độ chua đất, xói mòn
OTC06	< 700 m	S1	S3	2,6	S3	Khô hạn mùa khô
OTC07	< 700 m	S1	S2	2,8	S2	Độ chua đất, độ dốc
OTC08	< 700 m	S1	S2	2,9	S2	Độ chua đất, rửa trôi
OTC09	< 700 m	S1	S2	2,7	S2	Độ chua đất, khô hạn mùa khô
OTC10	< 700 m	S1	S3	2,6	S3	Khô hạn mùa khô, nóng cực đoan
OTC11	700-1.000 m	S1	S2	3,0	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC12	700-1.000 m	S1	S2	3,1	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC13	700-1.000 m	S1	S2	3,1	S2	Độ dốc, xói mòn
OTC14	700-1.000 m	S1	S2	3,0	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC15	700-1.000 m	S1	S2	3,2	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC16	700-1.000 m	S1	S2	3,0	S2	Độ dốc, rét cục bộ
OTC17	700-1.000 m	S1	S2	3,1	S2	Độ dốc, rửa trôi
OTC18	700-1.000 m	S1	S2	3,0	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC19	700-1.000 m	S1	S1-S2	3,2	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC20	700-1.000 m	S1	S2	3,0	S2	Độ dốc, rét cục bộ
OTC21	700-1.000 m	S1	S2	3,1	S2	Độ dốc, độ chua đất
OTC22	> 1.000 m	S2	S1	2,9	S2	Rét, sương giá, ẩm cao
OTC23	> 1.000 m	S2	S1	2,8	S2	Rét, sương giá, ẩm cao
OTC24	> 1.000 m	S2	S1	2,8	S2	Ẩm cao, rét cục bộ
OTC25	> 1.000 m	S2	S1	2,7	S2-S3	Rét, sương giá, ẩm cao kéo dài

Bảng 6 cho thấy phần lớn OTC đạt S2; các OTC S3 tập trung chủ yếu ở vùng dưới 700 m, gần với khô hạn mùa khô, nóng cực đoan cục

bộ và đất chua trên địa hình dốc. Nhóm 700-1.000 m ổn định hơn ở mức S2. Tỷ lệ OTC theo cấp phù hợp được tổng hợp tại Bảng 7.

Bảng 7. Tổng hợp tỷ lệ OTC theo mức độ phù hợp sinh thái S1, S2, S3, N

Mức phù hợp sinh thái	Số OTC	Tỷ lệ (%)	Nhận xét
S1	0	0	Chưa ghi nhận OTC đạt mức rất thích nghi trong tổng hợp hiện tại.
S2	21	84	Chiếm ưu thế; tập trung chủ yếu ở đai cao 700-1.000 m và một phần vùng thấp có điều kiện lập địa thuận lợi hơn.
S3	4	16	Xuất hiện cục bộ; chủ yếu liên quan đến khô hạn mùa khô ở vùng thấp, độ chua đất, độ dốc lớn hoặc rủi ro rét/ấm cao ở đai cao.
N	0	0	Chưa ghi nhận OTC bị xếp không thích nghi ở mức tổng hợp; tuy nhiên có một số chỉ tiêu đơn lẻ tiệm cận ngưỡng N, đặc biệt là pH(KCl) < 4,0 ở một số điểm.
Tổng	25	100	

Ghi chú: Kết quả phân hạng OTC được tổng hợp trên cơ sở bộ ngưỡng S1-S2-S3-N, tổ hợp khí hậu theo đai cao và các hạn chế đất đai - địa hình ghi nhận tại hiện trường; SI là giá trị định hướng phục vụ so sánh giữa các nhóm vùng khảo sát.

Bảng 7 cho thấy 21/25 OTC (84%) đạt S2 và 4/25 OTC (16%) đạt S3; không ghi nhận OTC ở mức S1 hoặc N. Kết quả phản ánh mức thích

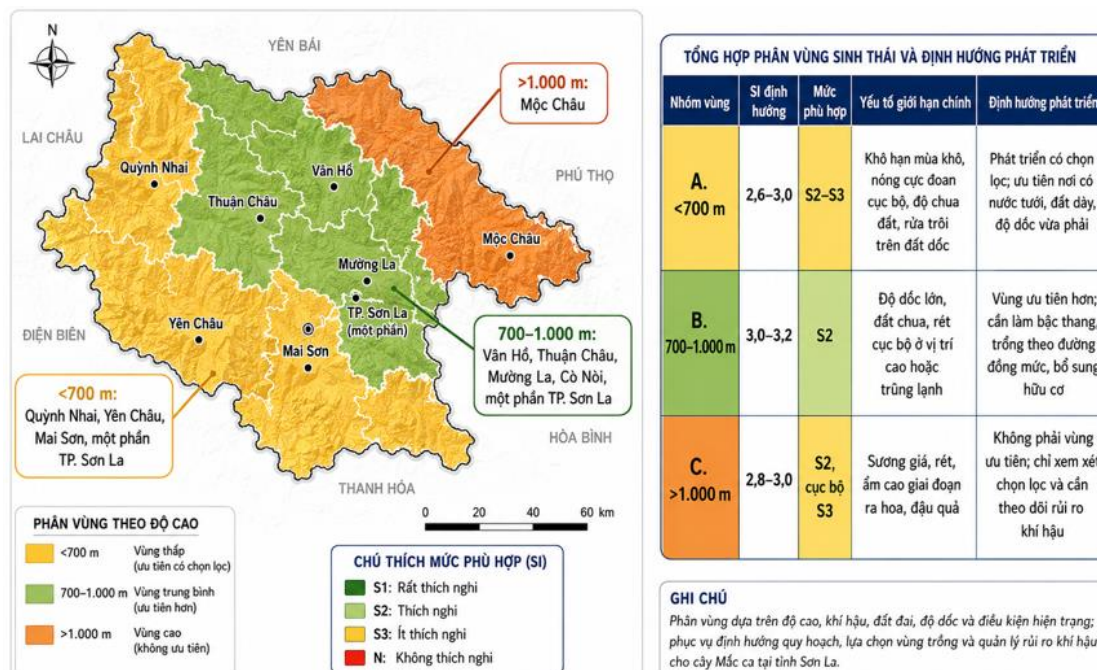
nh nghi có điều kiện, phụ thuộc chặt chẽ vào lựa chọn lập địa và biện pháp kỹ thuật. Chỉ số SI của hai đai cao chính được so sánh tại Bảng 8.

Bảng 8. So sánh chỉ số SI giữa vùng dưới 700 m và vùng 700-1.000 m

Nhóm vùng	SI định hướng	Mức phù hợp	Yếu tố giới hạn chính	Định hướng phát triển
< 700 m	2,6–3,0	S2–S3	Khô hạn mùa khô, nóng cực đoan cục bộ, độ chua đất, rửa trôi trên đất dốc.	Phát triển có chọn lọc; ưu tiên nơi có nước tưới, đất dày, độ dốc vừa phải.
700–1.000 m	3,0–3,2	S2	Độ dốc lớn, đất chua, rét cục bộ ở vị trí cao hoặc trũng lạnh.	Vùng ưu tiên hơn; cần làm bậc thang, trồng theo đường đồng mức, bổ sung hữu cơ.

Bảng 8 cho thấy vùng dưới 700 m có SI 2,6-3,0 (S2-S3), chịu hạn chế đồng thời của khô hạn, nóng cục bộ, đất chua và rửa trôi; vùng 700-1.000 m có SI cao hơn (3,0-3,2), ổn định ở S2 và là vùng ưu tiên tương đối, dù vẫn cần kiểm soát độ dốc, đất chua và rét cục bộ.

Trên cơ sở tổng hợp kết quả phân hạng OTC, chỉ số SI định hướng theo nhóm đai cao và các yếu tố giới hạn chính tại hiện trường, sơ đồ phân vùng thích hợp sinh thái được xây dựng nhằm trực quan hóa định hướng bố trí vùng trồng Mắc ca theo không gian nghiên cứu.



Hình 4. Sơ đồ phân vùng thích hợp sinh thái cho phát triển cây Mắc ca tại tỉnh Sơn La

(Nguồn: Tổng hợp từ điều tra hiện trường, dữ liệu khí tượng và tài liệu nghiên cứu)

Hình 4 cho thấy định hướng phát triển Mắc ca ở Sơn La không nên tiếp cận đồng nhất trên toàn tỉnh. Vùng dưới 700 m chỉ nên phát triển có chọn lọc, vùng 700-1.000 m là vùng ưu tiên hơn, còn vùng trên 1.000 m chỉ nên xem xét thận trọng do rủi ro rét, sương giá và ẩm cao.

Tổng hợp Bảng 6-8 và Hình 4 xác định vùng 700-1.000 m là đai cao ưu tiên tương đối; vùng dưới 700 m và trên 1.000 m cần phát triển chọn lọc theo các hạn chế sinh thái đặc thù.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu xác định mức độ phù hợp sinh thái của Mắc ca ở Sơn La chịu chi phối bởi đất đai, địa hình và khí hậu, trong đó các hạn chế chính là đất chua, độ dốc lớn, khô hạn mùa khô ở vùng thấp và rét, sương giá, ẩm cao ở vùng cao. Trên cơ sở 25 OTC, 25 mẫu đất và số liệu khí tượng, bộ ngưỡng S1-S2-S3-N được áp dụng để tổng hợp SI. Vùng dưới 700 m chủ yếu đạt S2-S3; vùng 700-1.000 m đạt S2 và là vùng ưu tiên tương đối; vùng trên 1.000 m cần thận trọng. Phát triển Mắc ca cần gắn với phân vùng sinh thái, lựa chọn lập địa, cải tạo độ chua đất, bổ sung hữu cơ, trồng theo đường đồng mức, che phủ và quản lý nước trên đất dốc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hamilton R. A. & Fukunaga E. T. (1959). Growing macadamia nuts in Hawaii (Bulletin 121). Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii, Honolulu.

[2]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2015). Quyết định số 3087/QĐ-BNN-TCLN ban hành Hướng dẫn tạm thời kỹ thuật nhân giống, trồng, chăm sóc, thu hái quả và sơ chế hạt cây Mắc ca.

[3]. International Nut and Dried Fruit Council (2023). Nuts & dried fruits statistical yearbook 2022/23. International Nut and Dried Fruit Council, Reus.

[4]. Quinlan K. & Wilk P. (2005). Macadamia culture in NSW (Primefact 5). NSW Department of Primary Industries, New South Wales.

[5]. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam (2009). Kỹ thuật gây trồng cây Mắc-ca. Truy cập từ <https://vafs.gov.vn/vn/ky-thuat-gay-trong-cay-mac-ca/> ngày 04/08/2026.

[6]. Zuza E. J., Maseyk K., Bhagwat S. A., de Sousa K., Emmott A., Rawes W. & Araya Y. N. (2021). Climate suitability predictions for the cultivation of macadamia (*Macadamia integrifolia*) in Malawi using climate change scenarios. PLOS ONE. 16(9): e0257007. DOI: 10.1371/journal.pone.0257007.

[7]. Nguyễn Đức Kiên, Harwood C., Hoàng Thị Lua, Catacutan D. & Mai Trung Kiên (2013). Kết quả đánh giá khả năng thích nghi và năng suất quả các dòng Macadamia ở vùng Tây Bắc Việt Nam. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp. 3: 2988-2999.

[8]. Food and Agriculture Organization (2006). Guidelines for soil description (Fourth edition). FAO, Rome.

[9]. Soil Survey Staff (2024). Field book for describing and sampling soils (Version 4.0). USDA Natural Resources Conservation Service.

[10]. Stephenson R. A. & Gallagher E. C. (1986). Effects of temperature on premature nut drop in macadamia. Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences. 43(2): 97-100.