

DOI:10.14188/j.ajsh.20250922002

额敏县野苹果林群落优势种生态位及种间联结特征

曹 玲,张丽娟,叶尔江·拜克吐尔汗,马春花,齐智颖

(新疆农业大学 林学与风景园林学院/新疆干旱区林业生态与产业技术重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:研究野苹果林群落主要树种生态位特征及优势种种间关系,以期明确野苹果林中植物对环境的适应能力,为野苹果林的保护、恢复和合理利用提供科学依据。本研究以塔城地区额敏山区分布的野苹果林为研究对象,采用典型样地调查法,以群落学调查结果为基础,通过计算额敏山区野苹果主要树种的生态位宽度及生态位重叠值、主要物种之间的总体联结性指数、种间联结性指数和种间相关性指数,进而研究野苹果林中主要树种对环境的适应能力,量化种间关系,判断其结构稳定性。额敏山区野苹果林群落7个主要树种中,优势种新疆野苹果的水平生态位宽度为5.297,垂直生态位宽度为1.872,均排在首位;新疆野苹果与群落内其他主要树种水平生态位和垂直生态位均为 $0 < NO < 0.25$,表现为部分重叠;群落总体相关性为 $VR=1.88$ 、 $W=24.53$, $\chi^2_{0.95(16)} < W < \chi^2_{0.05(16)}$,群落总体呈不显著正联结,在全部105个种对中,正联结种对是负联结种对的1.79倍,不显著种对是显著种对的1.67倍,种对间联结较弱,野苹果林群落结构不稳定。野苹果林及新疆野苹果在群落和种群水平上均表现出不稳定状态,长期维持种群存在一定的难度,需加强对优势种新疆野苹果幼苗和现存个体的抚育管理及人工补救,以便促进新疆野苹果种群和野苹果林的稳定生长及资源恢复。

关键词:新疆野苹果;群落结构;物种多样性;生态位;种间联结

中图分类号:S718.5

文献标志码:A

文章编号:2096-3491(2025)06-0600-09

Characteristics of niche and interspecific association of dominant species in *Malus sieversii* forest communities in Emin County

Cao Ling, Zhang Lijuan, Ye Er Jiang·Baik Tuerhan, Ma Chunhua, Qi Zhiying

(College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University/Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in Arid Areas of Xinjiang, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: Studying the niche characteristics of the main tree species in the *Malus sieversii* forest community and the relationship between the dominant species is expected to clarify the adaptive ability of the plants in the *Malus sieversii* forest to the environment, and provide a scientific basis for the protection, restoration and rational utilization of the *Malus sieversii* forest. This study took the *Malus sieversii* forests distributed in Emin mountainous area of Tacheng region as the research object, and adopted the typical sample plot survey method. Based on the results of the community survey, this study was conducted to investigate the adaptive ability of the major tree species in *Malus sieversii* forests by calculating the niche width and niche overlap value of major tree species in *Malus sieversii* forests in Emin mountainous area, as well as the overall connectivity index, the inter-species connectivity index and the inter-species relevance index of the main species within the forests, and to study the adaptive ability of major tree species to the environment. In this way, we investigated the adaptive ability of the major species in the *Malus sieversii* forest to the environment, quantified the interspecific relationships, and judged their structural stability. Among the seven major tree species in the *Malus sieversii* forest com-

收稿日期:2025-09-22 修回日期:2025-09-30 接受日期:2025-12-10

作者简介:曹玲(1998-),女,硕士,主要研究方向为植被生态学方面的研究,E-mail:710893698@qq.com

*通信作者:叶尔江·拜克吐尔汗(1976-),男,硕士,副教授,主要研究方向为植被生态学方面的研究,E-mail:erjan0701@163.com

基金项目:新疆维吾尔自治区林业改革发展资金项目(LYFZJTB2021)

引用格式:曹玲,张丽娟,叶尔江·拜克吐尔汗,等.额敏县野苹果林群落优势种生态位及种间联结特征[J].生物资源,2025,47(6):600-608.

Cao Ling, Zhang Lijuan, Ye Er Jiang·Baik Tuerhan, et al. Characteristics of niche and interspecific association of dominant species in *Malus sieversii* forest communities in Emin County [J]. Biotic Resources, 2025, 47(6): 600-608.

munity in Emin mountain area, the dominant species Xinjiang *Malus sieversii* ranked first with a horizontal niche width of 5.297 and a vertical niche width of 1.872. The horizontal and vertical niches of *Malus sieversii* and the other major tree species in the community were both $0 < NO < 0.25$, which showed partial overlap. The overall correlation of the community was $VR = 1.88, W = 24.53, \chi^2_{0.95(16)} < W < \chi^2_{0.05(16)}$, indicating an insignificantly positive association. Among all 105 pairs of species, the positively linked species pairs were 1.79 times more than the negatively linked species pairs, and the insignificant species pairs were 1.67 times more than the significant species pairs. The linkage between species pairs was weak, and the community structure of *Malus sieversii* forest was unstable. Both the *Malus sieversii* forest and *Malus sieversii* exhibit an unstable state at the community and population levels, and it is difficult to maintain the populations in the long term. In the future, it is necessary to strengthen the nurturing and management and artificial remediation of the seedlings and existing individuals of the dominant species of *Malus sieversii*, in order to promote the stable growth and resource recovery of the *Malus sieversii* populations and forests in Xinjiang.

Key words: *Malus sieversii*; community structure; species diversity; niche; interspecific association

0 引言

额敏山区野苹果林位于额敏山区塔尔巴合台山南麓,野苹果林内主要以一定数量的珍稀、濒危,具有重要保护价值的新疆野苹果种群为主。新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ledeb.) Roem.] 是新疆野苹果林的主要建群种之一,组成的新疆野苹果林阔叶林森林生态系统被列为中国优先保护的生态系统名录^[1],并且新疆野苹果已被列为中国生物多样性优先保护物种和中国濒危二级重点保护植物^[2]。

生态位既可以反映群落物种间相互关系的结果,又是群落特性发生与发展、种系进化、种间竞争与协同的动力和原因,能够体现种群在群落中的地位和作用^[3]。野生植物群落层次的复杂程度与群落内野生植物多样性及组成成分之间紧密联系^[4]。而种间关系是各个物种在不同环境中相互影响、相互作用形成稳定整体的反映,种间关系的测定有助于正确认识群落的数量和结构特征,探明群落的共存机制。以往关于野苹果林的研究多集中于其遗传繁殖特性和病虫害防治等方面,对于其生态位特征及种间关系方面的研究则相对较少。因此,本研究以群落学调查结果为基础,计算额敏山区野苹果林内主要树种的生态位宽度及生态位重叠值、林内主要物种之间的总体联结性指数、种间联结性指数和种间相关性指数,进而研究野苹果林中主要树种对环境的适应能力,量化种间关系,判断其结构稳定性。以期明确野苹果林中植物对环境的适应能力,为野苹果林的保护、恢复和合理利用提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于新疆塔城地区额敏县野苹果林风景区, $83^{\circ} 00' 00'' E \sim 84^{\circ} 50' 00'' E$, $46^{\circ} 21' 00'' N \sim 46^{\circ} 24' 00'' N$, 吾尔喀夏尔山南部以及巴尔鲁克山东北

部的低山丘陵地带,属典型的大陆性温带半干旱气候;年均气温为 $6.2^{\circ} C$,冬季寒冷,春季升温快,冷暖波动大。年降水量 $400 \sim 600$ mm,平均蒸发量 $1\ 021$ mm,相对湿度为 44% ,绝对无霜期为 195 d,全年盛行东北风,平均风速在 2.0 m/s^[5]。

2 材料与方法

2.1 样地设置与调查

在研究区内,选择不同立地条件,不同地理特性的生境,建立 20 块面积为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的标准样地,内部设置 4 个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 灌木样方和 5 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的草本样方,用于调查野苹果林群落的组成情况,样地详细信息见表 1。

2.2 数据处理

2.2.1 物种多样性计算

对样地内调查的所有乔木、灌木、草本的种类进行鉴别,记录其数量,标明科属种,并计算其重要值^[6]。相对多度 D_r 、相对显著度 P_r 、相对频度 F_r 和重要值 I_V 依次为:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_r = \frac{\text{某个种的株数}}{\text{全部种的总株数}}, F_r = \frac{\text{某个种的频度}}{\text{全部种的总频度}} \\ P_r = \frac{\text{某个种的断面积}}{\text{全部种的断段面积}}, I_V = \frac{(D_r + F_r + P_r)}{3} \end{array} \right. \quad (1)$$

2.2.2 生态位计算方法

1) 生态位宽度测定。采用 Levins^[7] 生态位宽度指数测定野苹果林群落内主要树种的水平生态位宽度和垂直生态位宽度,计算公式如下:

$$B_L = 1 / \sum_{j=1}^r P_{ij}^2, P_{ij} = \frac{n_{ij}}{Y_i}, Y_i = \sum_{i=1}^r n_{ij} \quad (2)$$

式中: B_L 为树种生态位的宽度; P_i 为物种 i 在第 j 个资源位中个体数与树种 i 总数的比值; r 为资源位数,

表1 样地基础信息
Table 1 Basic information of the sample plot

样地编号	经度	纬度	海拔/m	坡度/(°)	坡位	坡向
1	83°59'35"E	46°22'45"N	1 279	16	上	西南
2	83°59'33"E	46°23'02"N	1 274	22	上	东
3	83°59'03"E	46°23'09"N	1 249	27	中	西南
4	84°00'10"E	46°22'13"N	1 318	18	下	东北
5	83°59'40"E	46°22'31"N	1 339	14	中	东南
6	84°00'24"E	46°22'22"N	1 282	20	中	西南
7	83°59'52"E	46°22'15"N	1 242	17	上	北
8	83°59'50"E	46°22'02"N	1 217	24	下	东
9	83°59'10"E	46°22'12"N	1 187	21	上	西南
10	83°58'23"E	46°22'04"N	1 171	25	上	东北
11	83°58'15"E	46°23'16"N	1 219	16	下	东
12	83°59'31"E	46°22'14"N	1 236	20	中	西北
13	84°00'04"E	46°21'43"N	1 341	23	下	东北
14	84°00'21"E	46°21'54"N	1 305	26	下	东北
15	83°59'32"E	46°23'17"N	1 163	29	中	南
16	84°00'14"E	46°23'06"N	1 154	19	下	东南
17	83°59'53"E	46°23'11"N	1 188	32	上	西南
18	83°59'39"E	46°23'30"N	1 084	22	中	西南
19	83°57'35"E	46°23'13"N	958	25	下	西北
20	83°56'34"E	46°23'28"N	911	20	中	东南

即样方数; n_{ij} 为在第 j 个资源位中含有树种 i 的个体数; Y_i 为树种 i 所利用全部资源位的个体总数。

垂直生态位宽度与水平生态位宽度计算方法一样,但式(2)中资源位数 r 由样方数变为高度级数^[8]。

2)生态位重叠测定方法。采用 Pianka^[7]生态位重叠指数测定野苹果林群落内主要树种的水平生态位重叠和垂直生态位重叠,计算公式如下:

$$NO = \left(\sum_{j=1}^r (P_{ij} \times P_{kj}) \right) / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \times \sum_{j=1}^r P_{kj}^2} \quad (3)$$

式中: NO 为生态位重叠值; P_{ij} 和 P_{kj} 分别为树种 i 和树种 k 在第 j 资源位(样方或高度级)中的个体数比例。

2.2.3 种间联结性方法

采用种间联结性和种间相关性来定性和定量的描述野苹果林群落内主要树种之间的总体联结指数、种间联结指数和种间相关性,判断种间关系^[9]。具体计算公式如下:

1)总体联结指数测算:

$$V = \frac{S_T^2}{\delta_T^2}, S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n (T_j - t)^2, \delta_T^2 = \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \left(1 - \frac{n_i}{N} \right) \quad (4)$$

式中: δ_T^2 为总样本数方差; S_T^2 为总种数方差; S 为总物种数; N 为总样方数; n_i 为植物 i 出现的样方数; T_j

为样方 j 内出现的物种数; t 为样方中植物种类 $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / N$ 的平均数。在独立性零假设条件下,比较 V 的期望值来判断联结关系。若 $V = 1$, 为无联结; 若 $V > 1$, 为正联结; 若 $V < 1$, 为负联结。统计量 W 为:

$$W = N \times VR \quad (5)$$

利用统计量 W 来检验种间联结的显著性, 若 $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$, 说明物种间总体无显著联结性 ($P > 0.05$); 反之, 说明物种间总体联结性显著 ($P < 0.05$)。

2)种间联结性测算。通过 2×2 列联表(表2)计算两个物种共同出现的样方数 a , 仅 A 物种出现的样方数 b , 仅 B 物种出现的样方数 c , 两个物种均不出现的样方数 d 的值, N 为样方总数^[10]。

在表2的基础上,应用 χ^2 统计量对种间关联性

表2 2×2 列联表
Table 2 2×2 contingency table

物种 A	物种 B		求和
	出现	不出现	
出现	a	b	$a+b$
不出现	c	d	$c+d$
求和	$a+c$	$b+d$	N

进行定性研究,以确定实测值与期望值之间偏差的显著程度^[11]。采用以下公式来计算 χ^2 检验^[12]:

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - n/2)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \quad (6)$$

通过连结系数AC可以进一步检验 χ^2 统计量和种间的联结程度,AC的值域为 $[-1, 1]$,越接近1或-1,表示中间的正或负连结越强;若 $AC=0$,表示物种间完全独立。

3)种间相关性测算。本研究利用Pearson相关系数和Spearman秩相关系数,对优势种的种间相关性进行计算^[13-14]。Pearson相关系数公式为:

$$r_{p(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^N (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}} \quad (7)$$

Spearman秩相关系数公式为:

$$r_{s(i,j)} = 1 - (\sigma \sum_{k=1}^n d_k^2) / (N^3 - N) \quad (8)$$

式中: N 为样方总数; X_{ik} 和 X_{jk} 分别表示种 i 和种 j 在样方 k 中的秩 $d_k = (X_{ik} - X_{jk})$ 。

3 结果与分析

3.1 野苹果林群落各层次优势种分析

野苹果林内各层次优势种分析结果如表3所示。

乔木层主要树种为新疆野苹果和准噶尔山楂

(*Crataegus songorica*),两者在乔木层中表现出了一定的竞争优势;灌木层的优势种主要为欧亚绣线菊(*Spiraea media* Schmidt)、宽刺蔷薇(*Rosa platyacantha*)、新疆忍冬(*Lonicera tatarica*)、黑茶藨子(*Ribes nigrum*)和树锦鸡儿(*Caragana arborescens*)等。其中,欧亚绣线菊数量最多,且分布较广,重要值在灌木层中最高,体现出其在灌木层中的优势地位;路边青(*Geum aleppicum*)、黄花九轮草(*Primula veris*)、高乌头(*Aconitum sinomontanum*)、麻叶荨麻(*Urtica cannabina*)、山地早熟禾(*Poa pratensis*)为草本层主要优势种,其中路边青的相对优势度最高,重要值也最高,优势地位明显。

3.2 野苹果林主要树种生态位特征

3.2.1 野苹果林主要树种生态位宽度

生态位宽度能够反映不同植物在空间上对资源的适应和利用能力如表4所示。

结果表明,额敏县野苹果林主要树种的水平生态位宽度($B_{水平}$)和垂直生态位宽度($B_{垂直}$)排名结果基本一致,新疆野苹果和准噶尔山楂的生态位宽度较大,两者的 $B_{水平}$ 分别为5.297和3.315, $B_{垂直}$ 分别为1.872和1.535,排名靠前。而稠李的生态位宽度则相对较小, $B_{水平}$ 和 $B_{垂直}$ 分别为1.029和0.884,整体排名靠后。其他树种生态位宽度则居于中间位置。

重要值越大的树种,对环境和资源的利用能力和适应能力越强,水平生态位宽度越大。新疆野苹

表3 野苹果林群落主要物种重要值

Table 3 Important values of main species of *Malus sieversii* forest community

类型	植物名称	相对密度	相对频度	相对优势度	重要值
乔木层	新疆野苹果(<i>Malus sieversii</i>)	37.18	29.94	27.75	32.17
	准噶尔山楂(<i>Crataegus songorica</i>)	7.33	17.18	8.07	10.86
	野杏(<i>Armeniaca vulgaris</i>)	2.54	5.37	2.74	3.55
	欧亚绣线菊(<i>Spiraea media</i>)	36.70	23.14	28.72	28.38
灌木层	宽刺蔷薇(<i>Rosa platyacantha</i>)	8.03	19.72	26.13	19.10
	新疆忍冬(<i>Lonicera tatarica</i>)	16.39	17.96	10.89	15.08
	树锦鸡儿(<i>Caragana sinica</i>)	10.55	12.90	6.46	9.97
	黑果小檗(<i>Berberis atrocarpa</i>)	6.61	5.54	4.95	5.37
	路边青(<i>Geum aleppicum</i>)	25.84	18.27	40.70	28.27
	黄花九轮草(<i>Primula veris</i>)	12.65	9.51	20.77	14.31
	高乌头(<i>Aconitum sinomontanum</i>)	11.07	8.16	11.13	10.12
	麻叶荨麻(<i>Urtica cannabina</i>)	8.94	7.73	5.56	7.41
草本层	山地早熟禾(<i>Poa orinosa</i>)	7.51	7.19	5.79	6.83
	蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)	5.18	6.84	4.09	5.37
	龙芽草(<i>Alchemilla piosca</i>)	5.02	6.51	3.17	4.90
	新疆野决明(<i>Thermopsis turkestanica</i>)	3.85	5.30	2.19	3.78

表4 野苹果林主要树种生态位宽度
Table 4 Niche breadth of main tree species of *Malus sieversii* forest

编号	优势种	重要值	水平生态位宽度		垂直生态位宽度	
			$B_{水平}$	排名	$B_{垂直}$	排名
1	新疆野苹果(<i>Malus sieversii</i>)	32.17	5.297	1	1.872	1
2	准噶尔山楂(<i>Crataegus songorica</i>)	10.86	3.315	2	1.535	2
3	野杏(<i>Armeniaca vulgaris</i>)	8.39	3.069	3	0.633	6
4	天山桦(<i>Betula tianschanica</i> Rupr)	7.52	2.476	5	1.037	3
5	稠李(<i>Padus racemosa</i>)	5.31	1.029	7	0.884	5
6	野生櫻桃李(<i>Prunus divaricata</i>)	2.77	2.581	4	0.217	7
7	野扁桃(<i>Amygdalus ledebouriana</i>)	1.54	1.850	6	0.951	4

果和准噶尔山楂符合这一规律,也体现了二者在乔木层中的优势地位。除此之外,稠李的重要值排在第5,水平生态位宽度排在第7,而野生櫻桃李的重要值排在第6,水平生态位宽度却排在第4,两个物种的重要值和生态位排序相反。

3.2.2 野苹果林主要树种生态位重叠

依据杨清培等^[15]分析生态位重叠值的方法,将重叠程度按数值大小分成5个等级,即:1级完全分离($NO=0$)、2级部分重叠($0 < NO < 0.25$)、3级中等重叠($0.25 \leq NO < 0.50$)、4级较大重叠($0.50 \leq NO < 0.75$)、5级高度重叠($0.75 \leq NO \leq 1$)。

额敏县野苹果林主要树种水平生态位重叠值计算结果见表5。结果表明,额敏县野苹果林内主要树种的生态位重叠程度为3级($0 < NO < 0.25$),呈部分重叠状态。

额敏县野苹果林主要树种垂直生态位重叠值计算结果见表6。结果表明,额敏县野苹果林主要树种21个种对中,2级重叠有8对,3级重叠有7对,4级重叠有4对,5级重叠有2对,分别占总对数的38.09%、30.00%、19.05%和9.52%,其中部分重叠和中等重叠所占的比例较高,说明额敏县野苹果林内主要树种垂直生态位重叠程度中等,主要树种

对高度资源的需求在某种程度上相似,但相似程度不同。优势种新疆野苹果与其他主要树种均发生垂直生态位重叠,与准噶尔山楂垂直生态位重叠程度最高,与天山桦垂直生态位重叠程度最低,与其他树种垂直生态位程度一般。

3.3 野苹果林主要物种种间联结性

3.3.1 野苹果林总体联结性分析

根据前期确立的野苹果林内16个优势种是否存在建立的二元矩阵,对额敏县野苹果林进行整体相关性检验的同时,通过统计量 W 对野苹果林总体关联的显著程度进行检验,检验结果表明,额敏县野苹果林的总体关联指数值 $VR=1.88 > 1$,说明野苹果林主要物种整体呈正关联;用统计量 W 检测 VR 值偏离1的显著性,结果显示 $W=24.53, \chi^2_{0.95(16)}(7.96) < W < \chi^2_{0.05(16)}(26.296)$,表明额敏县野苹果林主要物种总体呈不显著正关联。

3.3.2 野苹果林主要物种种间联结性

对额敏县野苹果林16个优势种的 χ^2 检验结果如图1所示。

检验结果表明,野苹果林中16个优势种共构成了120个种对,其中呈正联结性的种对有77对,占总种对数的64.17%,在呈正联结性的种对中,4个种

表5 野苹果林主要树种水平生态位重叠
Table 5 Horizontal niche overlap of dominant species of *Malus sieversii* forest

物种	新疆野苹果 (<i>Malus sieversii</i>)	准噶尔山楂 (<i>Crataegus songorica</i>)	野杏(<i>Ar- meniaca vulgaris</i>)	天山桦(<i>Bet- ula tianschanica</i>)	稠李(<i>Pa- dus racemosa</i>)	野生櫻桃李 (<i>Prunus divaricata</i>)	野扁桃 (<i>Amygdalus ledebouriana</i>)
新疆野苹果(<i>Malus sieversii</i>)	—	0.085	0.052	0.027	0.019	0.043	0.016
准噶尔山楂(<i>Crataegus songorica</i>)		—	0.084	0.031	0.048	0.066	0.017
野杏(<i>Armeniaca vulgaris</i>)			—	0.063	0.004	0.051	0.027
天山桦(<i>Betula tianschanica</i> Rupr)				—	0.108	0.086	0.097
稠李(<i>Padus racemosa</i>)					—	0.072	0.054
野生櫻桃李(<i>Prunus divaricata</i>)						—	0.016
野扁桃(<i>Amygdalus ledebouriana</i>)							—

表6 野苹果林主要树种垂直生态位重叠
Table 6 Vertical niche overlap of dominant species of *Malus sieversii* forest

物种	新疆野苹果 (<i>Malus sieversii</i>)	准噶尔山楂 (<i>Crataegus songorica</i>)	野杏(<i>Armeniaca vulgaris</i>)	天山桦(<i>Betula tianschanica</i>)	稠李 (<i>Padus racemosa</i>)	野生櫻桃李 (<i>Prunus divaricata</i>)	野扁桃 (<i>Amygdalus ledebouriana</i>)
新疆野苹果(<i>Malus sieversii</i>)	—	0.779	0.516	0.219	0.247	0.731	0.756
准噶尔山楂(<i>Crataegus songorica</i>)		—	0.446	0.183	0.196	0.456	0.511
野杏(<i>Armeniaca vulgaris</i>)			—	0.158	0.302	0.398	0.488
天山桦(<i>Betula tianschanica</i>)				—	0.128	0.297	0.199
稠李(<i>Padus racemosa</i>)					—	0.300	0.215
野生櫻桃李(<i>Prunus divaricata</i>)						—	0.616
野扁桃(<i>Amygdalus ledebouriana</i>)							—

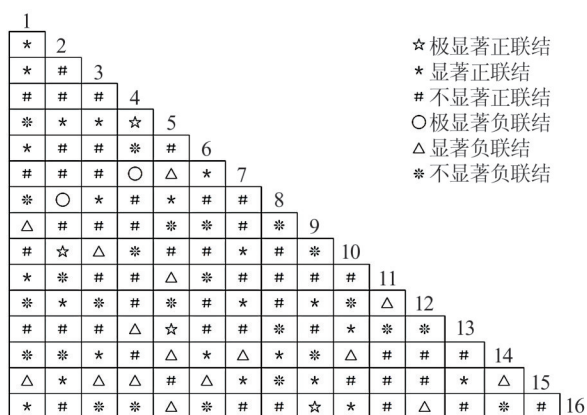


图1 野苹果林主要物种种间关联 χ^2 检验半矩阵图
Figure 1 Semi-matrix graph of χ^2 test of dominant species in *Malus sieversii* forest

1, 新疆野苹果; 2, 准噶尔山楂; 3, 野杏; 4, 欧亚绣线菊; 5, 宽刺蔷薇; 6, 新疆忍冬; 7, 树锦鸡儿; 8, 黑果小檗; 9, 路边青; 10, 黄花九轮草; 11, 高乌头; 12, 麻叶荨麻; 13, 山地早熟禾; 14, 蒲公英; 15, 龙芽草; 16, 新疆野决明; ☆: $AC \geq 0.6$; *: $0.2 \leq AC < 0.6$; #: $-0.2 \leq AC < 0.2$; ○: $-0.6 \leq AC < -0.2$; △: $AC < -0.6$

1, *Malus sieversii*; 2, *Crataegus songorica*; 3, *Armeniaca vulgaris*; 4, *Spiraea media*; 5, *Rosa platyacantha*; 6, *Lonicera tatarica*; 7, *Caragana arborescens*; 8, *Berberis atrocarpa*; 9, *Geum aleppicum*; 10, *Primula veris*; 11, *Aconitum sinomontanum*; 12, *Urtica cannabina*; 13, *Poa orinosa*; 14, *Taraxacum mongolicum*; 15, *Taraxacum mongolicum*; 16, *Thermopsis turkestanica*; ☆: $AC \geq 0.6$; *: $0.2 \leq AC < 0.6$; #: $-0.2 \leq AC < 0.2$; ○: $-0.6 \leq AC < -0.2$; △: $AC < -0.6$

对呈极显著正联结性、21个种对呈显著正联结性、52个种对呈不显著正联结性,分别占总对数的3.33%、19.17%和41.67%;呈负联结种对有43对,占总对数的35.83%,与具有正联结关系的种对相比,负联结种对数目明显较少。在呈负联结性的种对中,2个种对呈极显著负联结性、16个种对呈显著负联结性、25个种对呈不显著负联结性,分别占总对数的1.67%、13.33%和20.83%;联结关系未达

到显著水平的种对有75对,占总对数62.5%。正联结种对是负联结种对数量的1.79倍,不显著种对是显著种对数量的1.67倍,表明种对间联结较弱,群落结构不稳定,这与总体联接性呈不显著正联结的结果一致。

通过检验结果可以看出,正联结种对通常具有较为相似的生态习性,物种间呈现极显著正关联和显著正关联,表明它们对生境要求比较一致。例如,宽刺蔷薇-树锦鸡儿种对呈现出极显著正关联性,宽刺蔷薇和锦鸡儿通常喜光,多生长于阳坡,两者均具有一定的耐寒性,野外调查发现,两者经常出现在同一个样方。而乔木层优势种新疆野苹果-野杏种对则体现出非显著正关联性。在检验过程中,也有一些种对出现了不显著关联性,其中较为明显的是黄花九轮草(*Primula veris*)-新疆野决明(*Thermopsis turkestanica*)种对,黄花九轮草多集中分布于阴坡草地,且不喜阳光直射、不耐高温,耐寒性也较差,而新疆野决明则在阳坡生长较为旺盛,具有一定的耐高温和耐寒性,在野外调查中,二者同时出现在一个样方中的频率也较少,与种间关联性结果一致。

3.3.3 野苹果林主要物种种间相关性

通过 χ^2 检验、Pearson相关系数检验和Spearman秩相关系数检验,对额敏县野苹果林主要物种的种间相关性进行比较,结果如表7所示。3种检验方法中,Spearman秩相关系数检验得到的正相关性比例最高, χ^2 检验得到的负相关性比例最高,Pearson相关系数检验得到的不显著性最高。通过比较Pearson相关系数检验和Spearman秩相关系数检验,可以看出,后者显著相关的种对数量多于前者,说明Spearman秩相关系数检验的灵敏程度更高。

Pearson相关系数检验结果如图2所示,图中数字1~16含义与图1相同。检验结果表明,呈正联结

表7 野苹果林主要物种的3种检验方法比较
Table 7 Comparison of three test methods for dominant species of *Malus sieversii* forest

检验方法	联结程度	正相关				负相关			
		极显著	显著	不显著	总和	极显著	显著	不显著	总和
χ^2 检验	数量	4	23	50	77	2	16	25	43
	占比/%	3.33	19.17	41.67	64.17	1.67	13.33	20.83	35.83
Pearson 相关系数检验	数量	2	18	46	66	1	15	38	54
	占比/%	1.67	15.00	38.33	55.00	0.83	12.50	31.67	45.00
Spearman 秩相关系数检验	数量	6	20	55	81	0	11	28	39
	占比/%	5.00	16.67	45.83	67.50	0.00	9.17	23.33	32.50

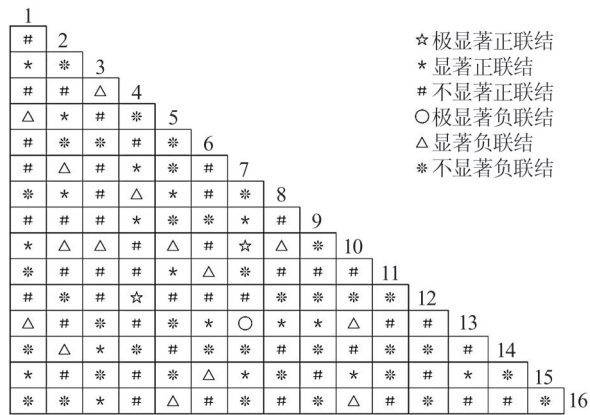


图2 野苹果林主要物种种间关联
Pearson 相关系数检验半矩阵图

Figure 2 Semi-matrix graph of Pearson correlation coefficient test of dominant species in *Malus sieversii* forest

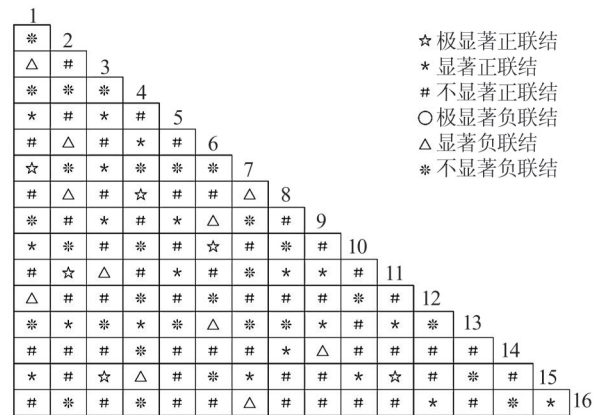


图3 野苹果林优势种种间关联
Spearman 秩相关系数检验半矩阵图

Figure 3 Semi-matrix graph of Spearman's rank correlation coefficient test of dominant species in *Malus sieversii* forest

性的种对有66对,占总种对数的55%,在呈正联结性的种对中,2个种对呈极显著正联结性、18个种对呈显著正联结性、46个种对呈不显著正联结性,分别占总对数的1.67%、15.00%和38.33%;呈负联结种对54对,占总对数的45.00%,其中,1个种对呈极显著负联结性、15个种对呈显著负联结性、38个种对呈不显著负联结性,分别占总对数的0.83%、12.50%和31.67%;联结关系未达到显著水平的种对84对,占总对数70.00%。正联结种对是负联结种对数量的1.22倍,不显著种对是显著种对数量的2.33倍,这与 χ^2 检验呈不显著正关联的结果一致。

Spearman 秩相关系数检验结果如图3所示,图中数字1~16含义与图1相同。检验结果表明,野苹果林主要物种之间呈正联结性的种对81对,占总种对数的67.5%,在呈正联结性的种对中,6个种对呈极显著正联结性、20个种对呈显著正联结性、55个种对呈不显著正联结性,分别占总对数的5.00%、16.67%和45.83%;呈负联结种对有39对,占总对数的32.50%,其中,11个种对呈显著负联结性、28个种对呈不显著负联结性,分别占总对数的9.17%

和23.33%;联结关系未达到显著水平的种对83对,占总对数的69.20%。正联结种对是负联结种对数量的2.07倍,不显著种对是显著种对数量的2.24倍,这与 χ^2 检验和Pearson相关系数检验呈不显著正联结的结果一致。

4 讨论

物种的生态位宽度反映了物种对环境的适应状况,即生态位宽度越大,对环境的适应能力越强^[16]。本研究表明:在野苹果林内,新疆野苹果的重要值和生态位宽度均最大,表明新疆野苹果种群在空间上较其它树种而言,具有最强的资源利用能力,在群落中占有绝对的优势地位;在野苹果林内,新疆野苹果对环境具有较强的适应性,在资源利用方面具有明显优势,是林内的主要建群种,对野苹果林的稳定性、功能、组成等起着决定作用。

群落内部分物种的生态位宽度与重要值排序出现背离,其中,稠李重要值(5.31)高于野生櫻桃李(2.77),但其水平生态位宽度(1.029)却显著低于后者(2.581)。实地调查显示,稠李虽个体数量更多,

但集中分布于海拔1 200~1 300 m的中坡区域,生境适应性较窄;而野生樱桃李虽个体数量少,却在海拔900~1 400 m的不同坡位均有分布,体现出更灵活的资源利用策略。这一规律与同类研究结果相似,郟亚栋等^[17]对干旱荒漠区植物的研究发现,生态位宽度并非仅由种群数量决定,物种对水盐等关键环境因子的适应阈值,会直接影响其分布均匀度与生态位分化程度,如盐生草甸中碱蓬虽种群密度高,但因对土壤盐分敏感,生态位宽度反而小于分布更广泛的芦苇。江康威等^[18]在天山北坡的研究也指出,物种功能群特征与土壤环境因子的耦合关系,是导致生态位宽度与种群数量背离的重要原因,如耐牧性强的禾本科植物,虽重要值高,但受放牧干扰限制,生态位扩张能力弱于耐干扰性差但生境适应性广的杂类草。

从生态位重叠特征来看,野苹果林主要树种呈现水平低重叠、垂直高重叠的格局,反映物种在资源利用上的分化与竞争共存机制。水平方向上,新疆野苹果与其他树种的生态位重叠值均处于0.016~0.085(0<NO<0.25,部分重叠),根据前人研究结果可知,种间生态位重叠越小,植物在同一生境中竞争程度就越小,更利于主要树种充分利用环境资源^[19]。优势种新疆野苹果与其他主要树种重叠程度较低,说明新疆野苹果种群与其他主要树种适宜的生存环境相似程度较低,这样的结果有利于新疆野苹果在群落内生长发育,这也与在群落内的优势地位相符。

额敏山区野苹果林总体关联性表现为不显著正关联,原因在于二者虽然都在阴坡分布较广,但新疆野苹果在海拔800~1 200 m内分布较广,而野杏则集中分布在海拔1 300 m之上,且新疆野苹果不耐荫,野杏较耐荫,耐极端高温,所以二者表现出不显著正关联性。群落正负联结比值越大,群落稳定性越强。野苹果林正负联结比值(1.79)偏低,说明其处于不稳定阶段,演替仍在进行。种间联结系数测定结果与检验基本一致,正联结的种对较负联结的种对多。种间的正联结说明它们所需的生长环境条件相似,这一规律在本研究结果中得到了证实。此外,样地数量及面积也会影响联结关系的结果,由于新疆野苹果分布较少,取样面积小、样地数量少等原因也可能造成种间联结不显著。

5 结 论

新疆野苹果在野苹果林群落中表现出最强的生态适应能力,其生态位宽度最大,且在水平和垂直空间上与其他树种重叠度较低,说明其在当前群落中

处于明显优势地位,但同时也面临垂直空间上的资源竞争压力。野苹果林群落整体呈不显著正联结,种间关系松散,正负联结比偏低,表明群落结构尚不稳定,仍处于演替中期阶段,种群维持能力较弱。

参考文献

- [1] 郭献平. 新疆野苹果抗旱生理特性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
Guo X P. Study on physiological characteristics of drought resistance of wild apple in Xinjiang [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009.
- [2] 刘华, 臧润国, 丁易, 等. 天山西部新疆野苹果种群特征[J]. 林业科学, 2010, 46(11): 1-7.
Liu H, Zang R G, Ding Y, et al. Population characteristics of *Malus sieversii* in the west part of Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(11): 1-7.
- [3] 曹羚. 额敏山区野苹果林群落现状调查及分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
Cao L. Investigation and analysis on the present situation of wild apple forest community in Emin mountain area [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022.
- [4] 周玉霞, 郭馨逸, 胡童童, 等. 崆峒山国家级风景名胜区野生植物群落特征研究[J]. 生物资源, 2023, 45(5): 493-503.
Zhou Y X, Guo X Y, Hu T T, et al. Study on the characteristics of wild plant community in Kongtong Mountain National Scenic Area. [J]. Biotic Resources, 2023, 45(5): 493-503.
- [5] 段小兵, 努尔巴依·阿布都沙力克. 新疆巴尔鲁克山自然保护区野生植物资源研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 5996-5999.
Duan X B, Nuer A. Research on wild plant resources in Barluk mountain natural reserve of Xinjiang [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(10): 5996-5999.
- [6] 冯浩育, 陈思帆, 索奥丽, 等. 不同火烈度下山西太岳山油松林灌木层物种多样性和叶功能性状[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(06): 38-47.
Feng Haoyu, Chen Sifan, Suo Aoli, et al. Species diversity and leaf functional traits of shrub layer in *Pinus tabulaeformis* forest under different fire intensities in Taiyue Mountain, Shanxi Province of northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6): 38-47.
- [7] 刘洋, 刘傲, 宋璇紫, 杨云, 安柏衡, 韩梦姣, 班玛才格尔, 米玛旺堆. 高原鼠兔干扰对高寒草甸主要植物生态位及种间联结的影响[J]. 植物生态学报, 2025, 49: 1-15.

- Liu Y, Liu A, Song XZ, et al. Effect of plateau pika disturbance on the niche and interspecific associations of major plants in alpine rangelands [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2025, 49:1-15.
- [8] 王祥福, 郭泉水, 巴哈尔古丽, 等. 崖柏群落优势乔木种群生态位[J]. *林业科学*, 2008, 44(4): 6-13.
Wang X F, Guo Q S, Ba H, et al. Niche of dominant arbor populations in *Thuja sutchuenensis* community [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 6-13.
- [9] 谢婉丽, 王奇悦, 王秋雪, 等. 闽江福州段自生草本植物生态位和种间联结研究[J]. *热带亚热带植物学报*, 2025, 33(02): 149-158.
Xie Wanli, Wang Qiyue, Wang Qiuxue, et al. Niche and interspecific association of spontaneous herbaceous plants in Fuzhou Section of Minjiang River[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*. 2025, 33 (02) : 149-158.
- [10] 张鹏远, 李辉, 秦永建, 等. 山东省沙质海岸典型植物群落灌草层种间联结性研究[J]. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 34(3): 341-346.
Zhang P Y, Li H, Qin Y J, et al. Study on interspecific relations of shrub and herb during typical plant communities on sandy coast in Shandong province[J]. *Journal of Shandong Normal University (Natural Science)*, 2019, 34(3): 341-346.
- [11] 涂洪润, 李娇凤, 杨丽婷, 等. 桂林岩溶石山青冈群落主要乔木树种的种间关联[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(1): 67-76.
Tu H R, Li J F, Yang L T, et al. Interspecific associations of the main tree populations of the *Cyclobalanopsis glauca* community in Karst hills of Guilin, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(1): 67-76.
- [12] 岳鹏鹏, 周静静, 王华. 毛乌素沙地东缘黑沙蒿群落种间联结性分析[J]. *生态科学*, 2017, 36(6): 147-152.
Yue P P, Zhou J J, Wang H. Interspecific association analysis of *Artemisia ordosica* community in eastern edge of Mu Us sandy land [J]. *Ecological Science*, 2017, 36(6): 147-152.
- [13] 郭俊兵, 狄晓艳, 李素清. 山西大同矿区煤矸石山自然定居植物群落优势种种间关系[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(12): 3327-3332.
Guo J B, Di X Y, Li S Q. Interspecific associations among dominant species in naturally colonized plant communities on coal gob piles of the Datong mining area in Shanxi, China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(12): 3327-3332.
- [14] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Zhang J T. *Quantitative ecology*[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [15] 杨清培, 王兵, 郭起荣, 等. 大岗山毛竹林中主要树种生态位及DCA排序分析[J]. *江西农业大学学报*, 2012, 34(6): 1163-1170, 1185.
Yang Q P, Wang B, Guo Q R, et al. Niche characteristics and DCA ordination of main species of *Phyllostachys edulis* forests in Dagangshan mountain, Jiangxi Province[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2012, 34(6): 1163-1170, 1185.
- [16] 高浩杰. 舟山群岛红楠群落物种多样性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
Gao H J. Study on species diversity of *Machilus thunbergii* community in Zhoushan Islands[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2019.
- [17] 郅亚栋, 滕德雄, 吕光辉. 干旱荒漠区植物生态位对水盐的响应[J]. *生态学报*, 2019, 39(8): 2899-2910.
Qie Y D, Teng D X, Lü G H. Response of plant niche to soil moisture and salinity in an arid desert area of Xinjiang, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(8): 2899-2910.
- [18] 江康威, 张青青, 王亚菲, 等. 放牧干扰下天山北坡中段植物功能群特征及其与土壤环境因子的关系[J]. *植物生态学报*, 2024, 48(6): 701-718.
Jiang K W, Zhang Q Q, Wang Y F, et al. Characteristics of plant functional groups and the relationships with soil environmental factors in middle part of northern slope of Tianshan Mountains under different grazing intensities[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2024, 48(6): 701-718.
- [19] 李德志, 石强, 臧润国, 等. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型[J]. *林业科学*, 2006, 42(7): 95-103.
Li D Z, Shi Q, Zang R G, et al. Models for niche breadth and niche overlap of species or populations[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(7): 95-103.