

南疆沙区不同林龄四翅滨藜人工林植物多样性与土壤理化性质

赵亚冲^{1,3}, 彭佳乐², 沈留记², 邓 岚², 董荣荣², 周正立^{2,3*}

(1. 塔里木大学 生命科学与技术学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学 园艺与林学院, 新疆 阿拉尔 843300;
3. 塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

摘 要:为明确南疆沙区四翅滨藜人工林植物多样性与土壤理化性质的关系,为该区域植被建设与恢复提供科学依据。以南疆沙区沙漠前沿种植的四翅滨藜为对象,研究不同林龄(1、2、4 龄)四翅滨藜灌木林的植物多样性、土壤理化性质变化,分析各多样性指数与土壤理化性质的相关关系,并采用主成分分析方法对林分状况进行评价。结果表明,1)四翅滨藜人工林共出现植物 6 科 13 种,且各林龄的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数表现为 2 年生地>4 年生地>1 年生地>裸地。2)种植四翅滨藜能够提高土壤 SMC、TN、TP、AN 和 AP 含量,降低土壤 Sa、pH、TK 及 AK 含量。并且随林龄的增加,土壤 SMC、TP 和 AP 含量“先升后降”;TK 含量“先降后升”;SOM、TN、AN 和 AK 含量“逐渐上升”;土壤 Sa 含量、pH“逐渐下降”。3)土壤 SMC、TP、TN 含量与群落 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数呈显著或极显著正相关,但与 Pielou 指数无显著性相关关系。灌木层与草本层中,多样性指数主要受土壤 TP、TK 含量影响。4)主成分分析表明多样性指数、SMC、TP、TK 和 SOM 对林分贡献率较大,各林龄综合得分依次为 4 年生>2 年生>1 年生>裸地。种植四翅滨藜能够提高植物多样性指数,改善土壤理化性质。

关键词:南疆沙区;四翅滨藜;植物多样性;土壤理化性质

中图分类号:S718

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2024)02-0189-07

Plant Diversity and Soil Physico-chemical Properties of *Atriplex canescens* Plantations with Different Ages in the Sandy Area of Southern Xinjiang

ZHAO Ya-chong^{1,3}, PENG Jia-le², SHEN Liu-ji², DENG Lan², DONG Rong-rong², ZHOU Zheng-li^{2,3*}

(1. College of Life Science and Technology, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; 2. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: In order to clarify the relationship between plant diversity and soil physicochemical properties of *Atriplex canescens* plantations in the sandy area of Southern Xinjiang to provide a scientific basis for the construction and restoration of vegetation in this area, *A. canescens* shrubs planted in the desert front of Southern Xinjiang sandy area were taken as the research objects. The changes of plant diversity and soil physicochemical properties of *A. canescens* shrubs with different planting years (1-, 2- and 4-year-old) were studied. The correlations between diversity indices and soil physicochemical properties were analyzed. The principal component analysis method was used to evaluate the plantation status. The results showed that 1) thirteen plant species belonging 6 families were found in the *A. canescens* plantations, and the Margalef index, Simpson index, Shannon-Wiener index and Pielou index of each planting age were in the order

收稿日期:2023-02-07 修回日期:2023-03-24

基金项目:兵团重点领域科技攻关计划项目(2021AB022);中国海洋大学-塔里木大学联合基金项目(ZHYLH201903);兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室项目(BRFW1902);塔里木大学大学生创新创业项目(202110757023)。

第一作者:赵亚冲。研究方向:风沙治理与沙产业开发。E-mail:554432925@qq.com

* 通信作者:周正立,教授。研究方向:风沙治理与沙产业开发。E-mail:zzlkytd@163.com

of 2-year planting age land > 4-year > the 1-year-old land > bare land. 2) Planting *A. canescens* could increase the content of soil SMC, TN, TP, AN and AP, and reduce the content of soil Sa, pH, TK and AK. And with the increase of plantation age, the content of soil SMC, TP and AP showed a trend of "increased first and then decreased". The soil TK showed "first decreased and then increased". The soil SOM, TN, AN and AK increased gradually, and the soil Sa and pH decreased gradually. 3) The contents of SMC, TP and TN in soil were significant or extremely significant positive correlated with the community Shannon-Wiener index, Simpson index and Margalef index, but there was no significant correlation with the Pielou index. The diversity index was mainly affected by soil TP and TK content in shrub layer and herb layer. 4) Principal component analysis showed that diversity index, SMC, TP, TK and SOM contributed significantly to shrub stands, and the comprehensive scores of each forest age were 4- > 2- > 1-year-old > bare land. Planting *A. canescens* can improve the plant diversity index and improve the physical and chemical properties of the soil.

Key words: Southern Xinjiang sand area; *Atriplex canescens*; plant diversity; soil physicochemical property

土壤作为植物生长发育的基础条件,其理化性质能够直接反映其物理结构和养分状况,直接或间接影响植物生长发育及多样性水平,同时,植物多样性作为生物多样性在植物水平上的表现形式之一^[1],反映了生态系统的稳定程度和群落的演替进程。我国荒漠化面积已达 262.37 万 km², 占国土面积的 27.33%^[2]。运用和恢复沙区植被是风沙区生态重建恢复的重要手段,60 多年来,我国北方累计营建固沙植被约 600 万 hm²,在遏制风沙危害、促进生态恢复方面取得了举世瞩目的成就^[3],然而在实践过程中出现了植被退化、地下水位下降等一系列问题,如何维持固沙植被的稳定性,是沙区生态重建与恢复可持续性发展所面临的挑战^[4]。

四翅滨藜 (*Atriplex canescens*) 为藜科滨藜属的多年生灌木,因其具有速生、丰产、耐干旱盐碱、适应性强等优点,在我国新疆、甘肃等地区均有种植,对种植区的生态恢复及经济效益提升发挥了重要的作用。目前,对四翅滨藜生态效益的研究多集中在吸盐效果^[5]、盐碱土改良^[6]等方面,而关于沙漠前沿种植四翅滨藜对土壤理化性质及植物多样性的研究较少。鉴于此,本研究以南疆风沙前沿区种植的不同年龄四翅滨藜灌木防护林为对象,研究不同年龄四翅滨藜群落的种类组成及其对土壤的改良效应,明确植物多样性与土壤理化性质的关系,为该区域四翅滨藜人工植被建设恢复提供科学依据。

1 研究区概况

试验地位于新疆生产建设兵团第一师十一团 (81°17'58"E, 40°32'36"N), 地处塔克拉玛干沙漠边缘的风沙前沿区。该地区年均气温 10.7℃, 降水量 40.1~82.5 mm, 蒸发量 1 876.6~2 558.9 mm。研究区土壤类型以沙土为主,植物资源较为贫乏,主要有骆驼刺 (*Alhagi camelorum*)、刺沙蓬 (*Salsola*

tragus)、盐穗木 (*Halostachys caspica*)、花花柴 (*Karelinia caspia*) 等。

2 研究方法

2.1 样方设置与植被调查

四翅滨藜分别于 2017、2019、2020 年栽植,分别记为 4、2、1 年生地,并在 2019、2021 年 3 月中旬分别在 4 年生和 2 年生样地行间栽植巨菌草。除采用滴灌保证存活外,未进行其他人为抚育措施,基本处于自然生长状态。调查取样时间为 2021 年 10 月,调查时,2、4 年生样地巨菌草冠幅均值分别为 0.37、0.76 m,株高分别为 0.61、0.88 m。以未经过人为干扰的平坦沙地(裸地)为对照。各林龄林分及裸地分别设置 3 块 20 m×20 m 的标准地,在每个标准地内按照网格法划分为 16 个 5 m×5 m 的调查样方,共计 12 块标准地,192 个调查样方。记录每个样方中出现的所有植物的种名,并测定株高、冠幅、株数等指标(调查过程中将乔木幼苗记录到灌木层中),裸地中仅生长有少量骆驼刺、柽柳 (*Tamarix chinensis*) 和刺沙蓬,密度分别为 333.33、166.67、1 633.33 株·hm⁻²,平均盖度 1.21%。各林龄样地基本概况见表 1。

2.2 土壤样品采集与测定

每一块标准地随机设置 3 个土壤采样点,在距四翅滨藜定植点 0.5 m 处,使用直径 4 cm 土钻采集 0~20 cm 的表层土壤,每林龄及裸地各取 9 份土样,共计 36 份。相同林龄土壤样品混合后,带回实验室用于土壤理化性质测定。包括土壤含水量、全盐、有机质、全氮、全磷、全钾以及速效氮、速效磷、速效钾,详见《土壤农化分析》^[7]。

2.3 植物多样性分析

根据植被调查结果,分别计算各植物种的相对密度、相对频度和相对盖度,得出物种重要值。通过重要值计算物种 α 多样性指数。各指标计算公式如下

- 重要值 $p_i=(\text{相对密度}+\text{相对频度}+\text{相对盖度})/3$
(1)
- Simpson 优势度指数 $D=1-\sum_{i=1}^s(p_i)^2$
(2)
- Shannon-Wiener 多样性指数 $H=-\sum_{i=1}^s p_i \text{Ln} p_i$
(3)
- pielou 均匀度指数 $J=\frac{H}{\text{Ln} S}$
(4)
- Margalef 丰富度指数 $R=S$
(5)
- 式中: S 为样地中物种的总数; p_i 为某个物种在此样地的重要值。
- 2.4 数据处理与分析
- 使用 Excel 2016 软件进行数据整理, SPSS 25.0 进行方差分析、相关性分析,使用 SigmaPlot 12.5 进行图表绘制。采用 SPSS 25.0 主成分分析法构建林分稳定评价模型^[8]。

表 1 四翅滨藜样地基本概况
Table 1 Basic overview of the sample plots of *Atriplex canescens*

样地	平均株高/m	初植株行距 (m×m)	平均冠幅 (m×m)	平均地径/mm	盖度(%)	四翅滨藜密度/ (株·hm ⁻²)
1 年生	0.62	0.5×4.0	0.45×0.39	12.4	16	4 900
2 年生	0.94	1.0×4.0	0.92×0.85	21.4	53	1 886
4 年生	0.89	1.0×4.0	1.20×1.11	27.3	47	1 450

3 结果与分析

3.1 不同林龄四翅滨藜灌木林植物组成及其植物多样性

3.1.1 物种组成及其重要值 由表 2 可以看出, 3 种林龄及裸地共统计到 6 科 13 种植物。其中裸地上仅有骆驼刺、怪柳和刺沙蓬等少量沙生植物生长,灌木层和草本层的重要值分别为 33.3%、66.7%和 100%。种植 1 a 后,植物增至 5 科 8 种,较裸地增加了盐生草(*Halogeton glomeratus*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、芦苇(*Phragmites australis*)、河西菊(*Hexinia polydichotoma*),其中,骆驼刺与刺沙蓬为优势种,重要值为 79.24%和

89.83%,四翅滨藜与盐生草、沙米、芦苇和河西菊的重要值均较低,属群落发育初级阶段。种植 2 a 后,植物为 6 科 11 种,灌木层骆驼刺(26.74%)为优势种,其重要值与裸地、种植 1 a 样地相比均有所下降;草本层优势种为盐生草(35.62%),重要值较 1 年生样地增加 29.44%,而刺沙蓬由起初的优势种逐渐变弱,河西菊则长势迅猛成为该种群亚优势种,种植 4 a 后,样地内植物为 5 科 10 种,灌木层中四翅滨藜(54.28%)与骆驼刺(31.90%)成为优势种,草本层中优势种为盐生草(40.18%)、河西菊(32.63%),并且,巨菌草、花花柴竞争力明显衰退,重要值降至 6.04%和 0.55%。

表 2 不同种植年限植物组成及其重要值
Table 2 Plant composition and important values of different years of cultivation

层次	科名	属名	种名	重要值(%)			
				裸地	1 年生	2 年生	4 年生
灌木层	豆科	骆驼刺属	骆驼刺(<i>Alhagi camelorum</i>)	33.33	79.24	26.74	31.90
	怪柳科	怪柳属	怪柳(<i>Tamarix chinensis</i>)	66.67	2.52	19.20	13.17
	藜科	滨藜属	四翅滨藜(<i>Atriplex canescens</i>)	—	18.25	14.79	54.28
	藜科	盐穗木属	盐穗木(<i>Halostachys caspica</i>)	—	—	5.21	0.64
	杨柳科	杨属	胡杨(<i>Populus euphratica</i>)	—	—	0.42	—
	藜科	盐爪爪属	盐爪爪(<i>Kalidium foliatum</i>)	—	—	0.31	—
草本层	藜科	盐生草属	盐生草(<i>Halogeton glomeratus</i>)	—	6.18	35.62	40.18
	禾本科	狼尾草属	巨菌草(<i>Cenchrus fungigraminus</i>)	—	—	26.64	6.04
	菊科	河西菊属	河西菊(<i>Hexinia polydichotoma</i>)	—	0.57	26.40	32.63
	菊科	花花柴属	花花柴(<i>Karelinia caspia</i>)	—	—	9.76	0.55
	藜科	猪毛菜属	刺沙蓬(<i>Salsola tragus</i>)	100.00	89.83	1.59	20.20
	藜科	沙蓬属	沙米(<i>Agriophyllum squarrosum</i>)	—	2.29	—	0.39
	禾本科	芦苇属	芦苇(<i>Phragmites australis</i>)	—	1.13	—	—

注:“—”代表此样地内未出现。

3.1.2 植物多样性 由图 1 可以看出,各年龄四翅滨藜地在群落水平上的 4 种多样性指数均高于裸地,并且除 Pielou 指数表现为各年龄与裸地差异不显著外,均与裸地差异显著。其中,1、2、4 年生地的

物种数分别比裸地增加了 5、8 种和 7 种, Simpson 指数及 Shannon-Wiener 指数值分别比裸地增加了 158.54%、265.90%、238.63%和 217.98%、458.79%、373.16%。这说明种植四翅滨藜可以增加群落的物

种多样性和复杂程度,并使群落中各物种的分布均匀程度得到提高。

不同林龄间,群落、灌木层及草本层的 4 种多样性指数均表现为 2 年生地>4 年生地>1 年生地,方差分析表明,灌木层除 1 年生与 4 年生的 Margalef

指数、2 年生与 4 年生的 Pielou 指数差异不显著外,其余各年龄间各指数均差异显著;而草本层仅 1 年生与 2、4 年生的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数差异显著,其余各年龄间各指数均差异不显著。

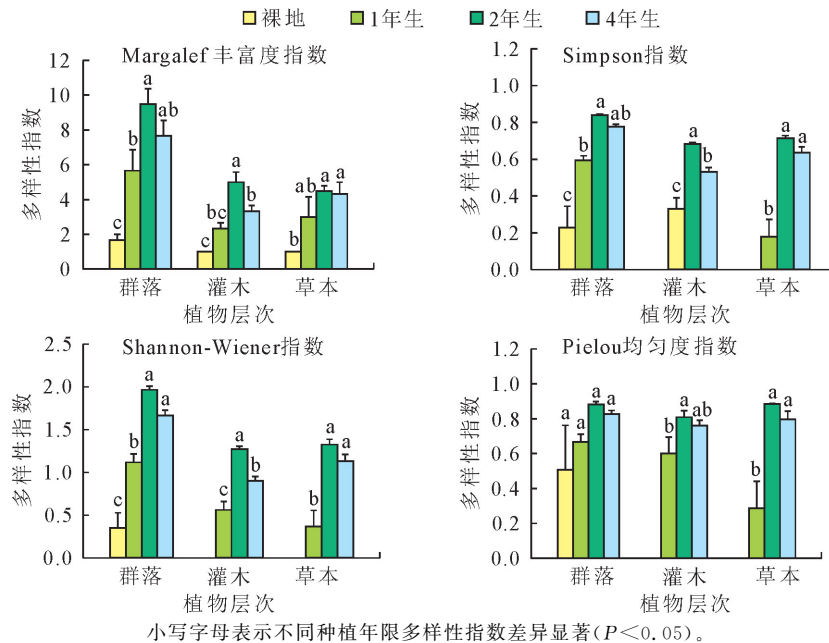


图 1 不同种植年限植物多样性指数变化

Fig. 1 Plant diversity index of the plantations with in different planting years

3.2 不同种植年限土壤理化性质

由表 3 可知,种植四翅滨藜能够提高土壤 SMC、TN、TP、AN 和 AP 含量,而土壤 SOM 含量仅 2、4 年生有改良作用。方差分析表明,除 1 年生 SMC、TP、AN,2 年生 SOM 与裸地差异不显著外,各年龄 SMC、SOM、TN、TP、AN 和 AP 含量均显著

高于裸地。此外,四翅滨藜的种植降低了 Sa、TK、AK 的含量,pH 则仅在 2、4 年生有所下降,分别降低了 0.67%、1.89%。方差分析表明,除 1 年生 AN、TP 含量,2 年生 SOM 含量,4 年生 AK 含量与裸地差异不显著外,各年龄 Sa、TK、AK 含量均显著低于裸地。

表 3 不同种植年限土壤理化性质

Table 3 Physico-chemical properties of soils of the plantations with different planting years

样地	SMC(%)	pH	Sa/(g · kg ⁻¹)	SOM(%)	TN/(g · kg ⁻¹)
裸地	0.96±0.11b	7.41±0.08ab	12.63±0.56a	0.36±0.13b	0.02±0.00c
1 年生	1.61±0.16ab	7.44±0.05a	8.98±0.01b	0.08±0.00c	0.03±0.00b
2 年生	1.79±0.25a	7.36±0.13ab	8.67±1.89b	0.37±0.00b	0.03±0.00b
4 年生	1.7±0.66a	7.27±0.05b	7.96±2.2b	0.94±0.03a	0.06±0.00a
样地	TP/(g · kg ⁻¹)	TK/(g · kg ⁻¹)	AN/(mg · kg ⁻¹)	AP/(mg · kg ⁻¹)	AK/(mg · kg ⁻¹)
裸地	0.72±0.11b	20.29±0.6a	25±3.61c	1.06±0.06c	319.84±0.1a
1 年生	0.89±0.04ab	15.93±0.79b	35.17±12.55bc	1.95±0.1a	204.84±5c
2 年生	1.17±0.3a	13.67±0.54c	48.67±3.55b	2.02±0.25a	232.43±27.47b
4 年生	1.08±0.05a	15.41±0.47b	86.33±8.08a	1.46±0.08b	309.82±5.01a

注:不同小写字母表示不同种植年限土壤理化性质差异显著 ($P < 0.05$)。SMC. 土壤含水率;pH. 土壤酸碱度;Sa. 土壤含盐量;SOM. 土壤有机质;TN. 土壤全氮;TP. 土壤全磷;TK. 土壤全钾;AN. 土壤速效氮;AP. 土壤速效磷;AK. 土壤速效钾。下同。

从各林龄间土壤理化性质的变化来看,随种植年限增加,SOM、TN、AN 和 AK 含量“逐渐增加”,pH、Sa 含量“逐渐减少”,TK 含量“先降后升”,SMC、TP 和 AP 呈“先升后降”的趋势。方差分析表明,除各林龄土壤 SOM、AK 含量,2 年生 TK、4 年生 TN 与其他 2 个林龄间,以及 4 年生 AN、pH

分别与 1 年生、2 年生的差异显著外,各指标在林龄间的差异均不显著。

3.3 不同种植年限植物多样性与土壤理化性质相关性

由表 4 可知,在群落水平上 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 与 SMC、TP 呈显著或极显著正相关,

与 Sa 和 TK 呈显著或极显著负相关。Simpson 优势度指数 D 与 SMC、TN、AN、TP 呈显著或极显著正相关,与 Sa、TK 呈显著或极显著负相关。Margalef 丰富度指数 R 与 SMC、AP、TP 呈显著或极显著正相关关系,与 Sa、TK 呈极显著负相关。pielou 均匀性指数 J 与所测土壤指标未存在显著性相关关系。灌木层与草本层多样性指数主要受土壤 TK 和 TP 影响,与其他理化指标未存在明显相关关系。

3.4 基于主成分分析的四翅滨藜林分评价

将植物多样性与土壤理化性质进行主成分分析,结果如表 5 所示,主成分 1、2 和 3 的贡献率分别为 56.09%、23.214% 和 7.498%,累计贡献率达 86.802%,保留了林分指标的绝大部分信息,基本能

代表各林龄林分的综合得分,因此选取前 3 个主成分作为林分稳定评价的主要依据。主成分 1 中, Margalef 丰富度指数 R 、Simpson 优势度指数 D 、Shannon-Wiener 多样性指数 H 及土壤 TP、TK 所占权重系数较大,基本代表了植物多样性与全量养分状况;主成分 2 主要反映 SOM、pH、TN、AN、AP、AK,代表土壤速效养分信息;主成分 3 中 pH、TP 权重系数较高。这说明四翅滨藜林分稳定不是受单一因素影响,而是土壤理化性质与植物多样性的综合反映。结合 3 个主成分的贡献率分析,可知对南疆沙区四翅滨藜林地稳定影响较大的指标为植物多样性指数与土壤 SMC、TP、TK 以及 SOM 含量。

表 4 植物多样性与土壤理化性质的相关性

Table 4 Correlation between plant diversity and soil physico-chemical properties

层次	多样性	SMC	pH	Sa	SOM	TN	TP	TK	AN	AP	AK
群落	H_1	0.617*	-0.241	-0.650*	0.444	0.567	0.782**	-0.890**	0.56	0.581	-0.218
	D_1	0.647*	-0.277	-0.688*	0.47	0.638*	0.756**	-0.925**	0.621*	0.6	-0.246
	J_1	0.215	-0.526	-0.149	0.524	0.361	0.492	-0.438	0.425	0.047	0.258
	R_1	0.648*	-0.228	-0.732**	0.259	0.524	0.827**	-0.849**	0.498	0.673*	-0.368
灌木层	H_2	0.157	-0.21	-0.132	0.289	0.057	0.659	-0.724*	0.159	0.121	0.232
	D_2	0.187	-0.288	-0.087	0.379	0.162	0.645	-0.670*	0.236	0.059	0.298
	J_2	0.222	-0.387	0.141	0.423	0.309	0.405	-0.417	0.24	0.041	0.256
	R_2	0.172	-0.011	-0.308	0.163	-0.087	0.706*	-0.800**	0.085	0.114	0.209
草本层	H_3	0.331	-0.356	-0.143	0.47	0.225	0.647	-0.797*	0.436	-0.126	0.435
	D_3	0.264	-0.471	-0.168	0.553	0.333	0.574	-0.772*	0.526	-0.201	0.493
	J_3	0.178	-0.515	-0.225	0.503	0.319	0.51	-0.767*	0.514	-0.194	0.453
	R_3	0.158	-0.028	-0.05	0.367	0.229	0.512	-0.14	0.132	-0.047	0.324

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。 R_1 、 D_1 、 H_1 、 J_1 分别为群落 Margalef 指数、Simpson 指数 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数; R_2 、 D_2 、 H_2 、 J_2 分别为灌木层 Margalef 指数、Simpson 指数 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数; R_3 、 D_3 、 H_3 、 J_3 分别为草本层 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数。

根据主成分分析的各指标载荷值(表 6),对 3 个主成分进行综合评分得到 P_1 、 P_2 、 P_3 ,并依据方差贡献率为权重构建林分稳定综合评价函数, P_1 、 P_2 、 P_3 及综合评价函数表达式如下

$$P_1 = 0.124X_1 + 0.125X_2 + 0.092X_3 + 0.116X_4 + 0.094X_5 - 0.061X_6 - 0.1X_7 + 0.051X_8 + 0.093X_9 + 0.103X_{10} - 0.117X_{11} + 0.092X_{12} + 0.082X_{13} - 0.042X_{14}$$

$$P_2 = -0.026X_1 - 0.026X_2 + 0X_3 - 0.052X_4 - 0.055X_5 - 0.18X_6 + 0.015X_7 + 0.27X_8 + 0.183X_9 - 0.017X_{10} + 0.084X_{11} + 0.195X_{12} - 0.213X_{13} + 0.266X_{14}$$

$$P_3 = 0.009X_1 - 0.08X_2 - 0.322X_3 + 0.184X_4 - 0.159X_5 + 0.602X_6 - 0.379X_7 + 0.133X_8 + 0.016X_9 + 0.429X_{10} - 0.044X_{11} - 0.034X_{12} - 0.184X_{13} + 0.196X_{14}$$

$$\text{综合评价得分} = (0.5609 \times P_1 + 0.2321 \times P_2 + 0.0750 \times P_3) / 0.8680$$

将 3 种年限与裸地各指标数值带入综合评价函数,得到林分稳定综合评价得分从大到小依次为 4 年生 (7.431 2) > 2 年生 (3.987 5) > 1 年生 (1.426 7) > 裸地 (0.389 3)。即随着种植年限的增加,林分稳定性提高。

4 讨论

本研究表明,随沙区四翅滨藜种植年限的增加,群落、灌木层及草本层的 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数均表现为 2 年生地 > 4 年生地 > 1 年生地,即呈“先增后降”趋势,与一些学者对不同林龄尾巨桉^[9]群落、巨桉林^[10]群落及灌木层、杨桦林^[11]草本层多样性指数的研究结果相一致。但与不同林龄红锥林^[12]、杨桦林^[11]灌木层多样性指数呈“先降后升”趋势,以及落叶松林^[13]、红锥林^[12]草本层多样性指数分别呈“先降后升”“升—降—升”的变化趋势不一致,这种差异可能与林分特征和立地条件有关。在本研究中四翅

滨藜为种植于沙漠前沿的灌木林,其林分结构特征与乔木林有着明显区别,致使影响乔木林林下植物多样性的郁闭度,在灌木林中不再成为主要因子。沙漠中充足的光照条件、恶劣的土壤及气候条件,要求抗逆性强的先锋植物定居并改善环境后,才能为其他植物的定居创造条件,结合本研究中不同林龄样地的盖度和多样性指数变化,可以看出一般情况下盖度大则多样性指数高。

表 5 基于植物多样性与土壤理化性质的主成分分析

Table 5 Principal component analysis based on plant diversity and soil physico-chemical properties

指标	主成分		
	1	2	3
Shannon-Wiener 指数(H)	0.975	-0.086	0.009
Simpson 指数(D)	0.978	-0.086	-0.084
pielou 指数(J)	0.721	0	-0.338
Margalef 指数(R)	0.908	-0.17	0.193
SMC	0.735	-0.178	-0.167
pH	-0.478	-0.584	0.632
Sa	-0.782	0.048	-0.398
SOM	0.398	0.878	0.14
TN	0.727	0.594	0.016
TP	0.807	-0.054	0.45
TK	-0.919	0.274	-0.046
AN	0.72	0.634	-0.036
AP	0.642	-0.693	-0.193
AK	-0.33	0.865	0.206
方差贡献率(%)	56.09	23.214	7.498
累计贡献率(%)	56.09	79.304	86.802

表 6 各主成分得分系数矩阵

Table 6 Score coefficient matrix of each component

指标	主成分		
	1	2	3
Shannon-Wiener 指数(H)	0.124	-0.026	0.009
Simpson 指数(D)	0.125	-0.026	-0.080
pielou 指数(J)	0.092	0	-0.322
Margalef 指数(R)	0.116	-0.052	0.184
SMC	0.094	-0.055	-0.159
pH	-0.061	-0.18	0.602
Sa	-0.1	0.015	-0.379
SOM	0.051	0.27	0.133
TN	0.093	0.183	0.016
TP	0.103	-0.017	0.429
TK	-0.117	0.084	-0.044
AN	0.092	0.195	-0.034
AP	0.082	-0.213	-0.184
AK	-0.042	0.266	0.196
方差贡献率(%)	56.090	23.214	7.498
累计贡献率(%)	56.090	79.304	86.802

土壤作为生态系统中物质循环与能量流动的载体,是植物生长发育的物质基础。本研究结果表明随四翅滨藜种植年限的增加,土壤 SOM、TN、AN 和 AK 含量“逐渐上升”,pH 与土壤 Sa 含量“逐渐

下降”,土壤 SMC、TP 和 AP 呈“先升后降”趋势,土壤 TK 含量呈“先降后升”趋势,且土壤 TK 与 AK 含量均低于裸地。这与不同种植年限星油藤^[14]、紫花苜蓿^[15]、甘草^[16]对土壤 SOM、TN、AN 和 AK 含量,以及柳枝稷^[17]根际土壤 Sa 含量和苜蓿土壤 pH^[18]的影响结果一致。但与一些学者认为种植四翅滨藜^[19]能明显提高土壤 K 含量,马尾松林^[20]土壤 TP 和 TK 含量随种植年限增加显著增加的结果不同,这些差异可能与本研究中四翅滨藜生长于沙漠前沿,林内无任何施肥措施作为养分补充,土壤养分状况主要受凋落物分解影响,加之局域内沙丘起伏变化可能导致土壤存在异质性有关。

植物群落物种多样性指数与土壤理化性质关系密切^[21-22]。本研究中,群落 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Simpson 指数与土壤 Sa 和 TK 含量呈显著或极显著负相关,与土壤 SMC、TP 含量呈显著或极显著正相关,说明四翅滨藜灌木林植物多样性受土壤 SMC、TP 含量影响较大。此外, Margalef 指数与土壤 AP 含量呈正相关, Simpson 指数与土壤 TN、AN 含量呈正相关。这与一些学者对采煤塌陷区^[23]、巴丹吉林沙漠^[24]以及荒漠草原^[25]等研究结果相似。本研究中土壤全钾与多样性指数呈负相关,这可能与植物对钾的吸收量较大且钾元素具有较强的移动性有关。同时,土壤 pH 与植物多样性指数未存在明显相关关系,这与王媚臻等^[26]对柏木林下多样性的研究结果一致,但与 Dingaan 等^[27]认为土壤 pH 是影响植物多样性最主要的环境因素的研究结果不同,可能在于南疆沙区多为沙质土壤,保水能力差,盐分易随径流、雨水等因素蒸发及运移有关。

5 结论

对 3 种林龄及裸地植被调查发现,样地中共调查到植物 6 科 13 种,1、2、4 年生地的物种数分别比裸地增加了 5、8 种和 7 种, Simpson 指数及 Shannon-Wiener 指数值分别增加了 158.54%、265.90%、238.63% 和 217.98%、458.79%、373.16%。各林龄的 4 种多样性指数均表现为 2 年生地>4 年生地>1 年生地>裸地。

种植四翅滨藜能够提高土壤 SMC、TN、TP、AN 和 AP 含量,降低土壤 Sa、pH、TK 及 AK 含量。相关性分析表明,土壤 SMC、TP、TN 含量与群落 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数呈显著或极显著正相关,但与 pielou 均匀性指数无显著性相关关系。

主成分分析表明,对南疆沙区四翅滨藜林地影响较大的指标为植物多样性指数、土壤 SMC、TP、

TK 以及 SOM 含量。3 种林龄及裸地综合评价得分从大到小依次为 4 年生(7.431 2) > 2 年生(3.987 5) > 1 年生(1.426 7) > 裸地(0.389 3), 四翅滨藜的种植能够改善种植区植被与土壤状况。

参考文献:

- [1] 崔静, 黄佳健, 陈云明等. 黄土丘陵区人工柠条林下草本植物物种多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3): 14-20.
CUI J, HUANG J J, CHEN Y M, *et al.* Biodiversity of herbaceous species under caragana micropylla plantations in Loess Hilly Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(3): 14-20. (in Chinese)
- [2] 杨文斌. 低覆盖度治沙原理、模式与效果[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [3] 李鸣冈, 高尚武. 固沙造林试验总结(第五号)[Z]. 1963: 19-36.
- [4] 常兆丰, 樊宝丽, 王强强. 我国防沙治沙的现状、问题与出路——以民勤沙区为例[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 93-99.
CHANG Z F, FAN B L, WANG Q Q. Status quo, problems and solutions to desertification combating in China—a case study of Minqin desertin Gansu[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4): 93-99. (in Chinese)
- [5] 王刚狮, 冯康安, 高振叶. 四翅滨藜对不同类型盐碱化土壤的吸盐效果比较[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 139-144.
WANG G S, FENG K A, GAO Z Y. Comparative research of salt absorbency on *Atriplex canescens* of different types of saline soils[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(1): 139-144. (in Chinese)
- [6] 张怀山, 代立兰, 杨世柱, 等. 甘肃永登灌区四翅滨藜根际土壤盐分的变化[J]. 中国草食动物科学, 2017, 37(6): 31-35.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [8] 黄莉雅, 黄俊才, 廖南燕, 等. 基于主成分分析与聚类分析的森林质量评价——以广西国有博白林场为例[J]. 广西林业科学, 2022, 51(4): 543-548.
- [9] 段文军, 李达, 李冲. 5 种不同林龄尾巨桉人工林林下植物多样性及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2022, 31(5): 857-864.
- [10] 张丹桔, 张健, 杨万勤, 等. 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 3947-3962.
- [11] 崔丽红, 张树梓, 黄选瑞. 孟滦林场不同年龄杨桦天然次生林生物多样性研究[J]. 林业资源管理, 2013(6): 114-120.
- [12] 尤业明, 徐佳玉, 蔡道雄, 等. 广西凭祥不同年龄红椎林林下植物物种多样性及其环境解释[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 164-172.
YOU Y M, XU J Y, CAI D X, *et al.* Environmental factors affecting plant species diversity of understory plant communities in a *Castanopsis hystrix* plantation chronosequence in Pingxiang, Guangxi, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(1): 164-172. (in Chinese)
- [13] 郭万军, 张丛哲, 李倩茹, 等. 燕山西部山区不同年龄落叶松人工林草本植物多样性[J]. 河北林果研究, 2011, 26(1): 9-12.
GUO W J, ZHANG C Z, LI Q R, *et al.* Herb biodiversity of the *Larix* forests with different ages in north region of Yanshan mountain[J]. Forestry and Ecological Sciences, 2011, 26(1): 9-12. (in Chinese)
- [14] 吴昊, 芮蕊, 王澍. 星油藤不同种植年限对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2021(9): 40-43.
- [15] 郑敏娜, 梁秀芝, 李荫藩, 等. 晋北盐碱区不同种植年限人工紫花苜蓿草地土壤质量的评价[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 888-892.
ZHENG M N, LIANG X Z, LI Y F, *et al.* Assessment of soil quality of alfalfa field with different growing years in the saline alkali area of Northern Shanxi Province[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(4): 888-892. (in Chinese)
- [16] 何丽娟, 蒙仲举, 党晓宏, 等. 种植甘草对风沙土机械组成与养分的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(2): 169-176.
- [17] 何海峰, 吴娜, 刘吉利, 等. 柳枝稷种植年限对盐碱土壤理化性质的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 285-292.
HE H F, WU N, LIU J L, *et al.* Effects of planting years of *Panicum virgatum* on soil physical and chemical properties[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(2): 285-292. (in Chinese)
- [18] 杨升辉, 杨恒山, 张玉芹, 等. 苜蓿种植年限对土壤养分及后作玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(30): 131-134.
- [19] 雷钧杰, 朱新萍, 李志强, 等. 定植不同年限四翅滨藜对土壤质量的影响[J]. 天津农业科学, 2010, 16(4): 68-72.
- [20] 毛兰花, 查轩, 黄少燕, 等. 乔灌草治理年限对红壤区土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 173-178.
MAO L H, ZHA X, HUANG S Y, *et al.* Effect of management years of trees, shrubs and grasses on soil nutrients in ren soil region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(2): 173-178. (in Chinese)
- [21] 任玉连, 曹乾斌, 李聪, 等. 南滚河自然保护区森林群落特征与土壤性质之间关联分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 50-59.
REN Y L, CAO Q B, LI C, *et al.* Correlation analysis between forest community characteristics and soil characteristics in Nangunhe Nature Reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(3): 50-59. (in Chinese)
- [22] 韩铭, 李华, 蔡体久. 黑龙江太平沟国家级自然保护区森林群落植物多样性特征[J]. 森林工程, 2023, 39(5): 40-47.
- [23] 王琦, 全占军, 韩煜, 等. 采煤塌陷区不同地貌类型植物群落多样性变化及其与土壤理化性质的关系[J]. 西北植物学报, 2014, 34(8): 1642-1651.
- [24] 王蒙, 董治宝, 罗万银, 等. 巴丹吉林沙漠南缘植被物种多样性及其与土壤特性的关系[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 379-388.
- [25] 余轩, 王兴, 吴婷, 等. 荒漠草原植物多样性恢复与土壤生境的关系[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8516-8524.
YU X, WANG X, WU T, *et al.* Relationship between restoration of plant diversity and soil habitat in desert steppe[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(21): 8516-8524. (in Chinese)
- [26] 王媚臻, 毕浩杰, 金锁, 等. 林分密度对云顶山柏木人工林林下物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 981-988.
- [27] DINGAAN M N V, TSUBO M, WALKER S, *et al.* Soil chemical properties and plant species diversity along a rainfall gradient in semi-arid grassland of South Africa[J]. Plant Ecology and Evolution, 2017, 150(1): 35-44.