

DOI: 10.5846/stxb201801220172

王树梅, 庞元湘, 宋爱云, 曹帮华, 朱振波, 李业宇. 基于林龄的滨海盐碱地杨树刺槐混交林土壤理化性质及草本植物多样性动态. 生态学报, 2018, 38(18): - .

Wang S M, Pang Y X, Song A Y, Cao B H, Zhu Z B, Li Y Y. Soil physiochemical properties and diversity of herbaceous plants dynamic on the different ages mixed forests of *Populus × Euramerica* ‘Neva’ and *Robinia pseudoacacia* in coastal saline-alkali area. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(18): - .

基于林龄的滨海盐碱地杨树刺槐混交林土壤理化性质及草本植物多样性动态

王树梅^{1,2}, 庞元湘^{1,2}, 宋爱云³, 曹帮华^{1,2,*}, 朱振波⁴, 李业宇^{1,2}

1 山东农业大学林学院, 泰安 271018

2 黄河下游森林培育国家林业局重点实验室, 泰安 271018

3 滨州学院, 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 滨州 256603

4 山东省黄河三角洲农业高新技术产业示范区管理委员会, 东营 257347

摘要:以黄河三角洲滨海盐碱地不同林龄的杨树(*Populus × Euramerica* ‘Neva’)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)人工混交林及相应的纯林为研究对象,采用空间代时间的方法,研究了其不同林龄人工林林下植被特征与土壤理化性质变化。结果表明:(1)白茅(*Imperata cylindrica*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)是滨海盐碱地人工林林下群落的优势种。(2)随着林分年龄(3年、7年、18年)的增加,杨树刺槐混交林及相应纯林 Patrick 指数及 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及 Pielou 指数均表现出低-高-低的变化趋势,7年生时丰富度、草本多样性、均匀度最高。(3)杨树刺槐混交提高了林下草本物种组成及重要值,就纯林而言,刺槐林下植被物种多样性显著高于同龄杨树。(4)随着林龄的增大,杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤 pH 值逐渐降低,杨树刺槐纯林土壤含盐量先增后减,杨树×刺槐混交林土壤含盐量依次递减;杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤全磷含量呈先增加后减小趋势;杨树纯林及杨树×刺槐混交林全氮含量呈先减小后增加的趋势,刺槐纯林林下土壤全氮量呈连续增长的趋势;林龄间土壤 pH、含盐量、全氮及全磷含量差异显著。(5)草本植物多样性相关指数与土壤含盐量呈极显著负相关,与土壤全磷量呈极显著正相关。

关键词:林龄;杨树;刺槐;草本多样性;土壤理化性质

Soil physiochemical properties and diversity of herbaceous plants dynamic on the different ages mixed forests of *Populus × Euramerica* ‘Neva’ and *Robinia pseudoacacia* in coastal saline-alkali area

WANG Shumei^{1,2}, PANG Yuanxiang^{1,2}, SONG Aiyun³, CAO Banghua^{1,2,*}, ZHU Zhenbo⁴, LI Yeyu^{1,2}

1 College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 Key laboratory of State Forestry Administration for silviculture of the lower Yellow River, Tai'an 271018, China

3 Binzhou University, Key Laboratory of Eco-environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou 256603, China

4 Shandong Yellow River Delta Agricultural High-tech Industrial Demonstration Area Management Committee, Dongying, 257347, China

Abstract: Using the variable of spatial instead of time, the dynamics of soil physiochemical properties and undergrowth vegetation characteristics of *Populus × Euramerica* ‘Neva’ and *Robinia pseudoacacia* artificial mixed and the corresponding pure forests in different ages in the coastal saline-alkali area of the Yellow River Delta were addressed in this research. The results showed that: (1) *Imperata cylindrica*, *Salsola collina*, and *Cirsium setosum* were the dominant species in the

基金项目:国家自然科学基金(31770668);山东省重大科技创新工程(2017CXGC0316);山东省重点研发计划(2015GNC111026)

收稿日期:2018-01-22; 修订日期:2018-07-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caobanghua@126.com

undergrowth community of plantations. (2) With increasing plantation ages (3 a, 7 a, and 18 a), the Patrick index, Margalef index, Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index of *Populus × Euramerica* ‘Neva’ and *Robinia pseudoacacia* artificial mixed forests and their pure forests appeared a low-high-low variation trend; 7 a artificial forests had the highest richness, uniformity, and diversity of herbs. (3) *Populus × Euramerica* ‘Neva’ and *Robinia pseudoacacia* mixed forest had more species of understory herbs and higher importance values. As far as pure forests are concerned, the species diversity of the understory vegetation of the *Robinia pseudoacacia* forest was significantly higher than that of the *Populus × Euramerica* ‘Neva’ forest. (4) With stand age increased, the soil pH value of mixed and the corresponding pure forests decreased gradually. The soil salinity of pure forests increased first and then decreased, and that of the mixed forests decreased gradually. The total phosphorus content of mixed and the corresponding pure forests first increased and then decreased. The total nitrogen content of the *Populus × Euramerica* ‘Neva’ pure and mixed forests first decreased and then increased. Soil total nitrogen content in the *Robinia pseudoacacia* pure forests exhibited a continuously increasing trend. Soil pH value, salinity, total nitrogen, and total phosphorus among the three age stands were significantly different. (5) There was a significant negative correlation between the index of herbaceous diversity and soil salinity, and a significant positive correlation with soil total phosphorus.

Key Words: plantation age; *Populus × Euramerica* ‘Neva’; *Robinia pseudoacacia*; herbaceous diversity; soil physiochemical properties

森林生态系统中,林下植被作为重要的组成部分,在提高森林的多样性、促进森林演替发展、保持林地生产力和维持生态功能稳定性等方面发挥着重要的作用^[1-4]。土壤是所有陆地生态系统的基础,为植物生长不断供应和协调养分、水分、空气和热量。植物与土壤之间进行着频繁的物质交换,土壤条件的差异性影响着植被群落的更新与演替^[5],植被群落的结构和组成又反作用于土壤的形成和发育^[4,6]。王瑞华等^[7]认为林下植被多样性的减少导致林分结构过于简单,土壤理化性质恶化,群落稳定性降低,进而导致地力衰退。

黄河三角洲土壤盐渍化严重,生态系统脆弱,土壤发育时间短,未形成良好的结构,层次变化复杂,适宜造林的树种少,人工林生态系统的自我调节和恢复能力差,致使该地区的生态环境建设和林业发展面临着巨大的困难。由于人工林营林树种单一,加上恶劣的立地条件及长期的人为干扰,导致了许许多人工林林分生产力和生态效益降低^[8],林下物种多样性低,林地退化严重,急需抚育管理及对林分结构进行改造,提高人工林生态系统稳定性。自 20 世纪 80 年代始,黄河三角洲地区开展了以森林植被恢复为主的生态修复重建,营造了大量的杨树和刺槐人工林^[9],是营造混交林的有益尝试。

目前,滨海盐碱地人工林混交研究多集中于土壤改良及混交林效应研究等方面^[6,9-11],对于人工林植被多样性和土壤特性及其相互关系研究相对较少^[12],而对于滨海盐碱地人工林植被多样性与土壤性质的变化尚未见报道,两者的互动机制也不明确。本文以黄河三角洲滨海盐碱地杨树刺槐混交林及其纯林为主要研究对象,采用空间代替时间的方法,模拟不同林龄的杨树刺槐人工林动态演替过程,探讨了演替过程中杨树刺槐混交林及其纯林林下草本群落变化,结合林下土壤养分及理化特性变化,分析了不同生长阶段人工林林下草本群落演替特征及土壤特性动态关系,以期实现黄河三角洲杨树、刺槐人工林林分结构改造和可持续经营,为滨海盐碱地生态功能恢复和植被重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于山东省东营市东营区及河口区,地处黄河三角洲东北部,属暖温带季风气候,是典型的滨海盐碱地。全年平均气温 12.8℃,年内温差约 29.6℃;全年积温为 4799.4—4933.6℃,平均相对湿度 65%;平均降水量 555.9 mm,夏季降水最多,为 364.5 mm,占全年降水量的 65.6%,年蒸发量 1962.1 mm,是降水量的 3.6

倍;全年平均日照时数 2657.5 h,日均光照量 7.3 h,日照率为 60.8%;全年无霜期长达 194—233 d。土壤为盐化潮土,为冲击性黄土母质在海侵母质上沉积而成,土壤发育时间短,未形成良好的结构,沙粘相间,层次变化复杂,地下水位约 1.5 m,水质矿化度较高。

1.2 样地设置及调查方法

2017 年 7 月 1 日在东营市选取立地条件相近的天鹅湖风景区(118°49'15"E,37°24'31"N)、龙居镇(118°41'07"E,37°17'17"N)、孤岛镇济南军区黄河三角洲生产基地二团九分厂(118°46'47"E,37°49'46"N) 3 处试验林,林龄分别为 3a、7a、18a 的杨树×刺槐混交林及纯林,样方编号 1—9,采用空间代替时间的方法^[12],模拟林下植被动态演替过程,分析土壤养分及化学性质相关性。样地设置及林分生长基本情况见表 1。

在每个试验林地内分别选取 20 m×30 m 乔木样地进行每木检尺,设置 3 次重复,共计 27 个样方,测量样方内每一树种的树高、胸径及冠幅,测量林地郁闭度,记录样方经纬度、营林方式和株行距。每一样方内选取标准木 3 株,除去表层土后挖取 0—20 cm 深的土壤剖面,混合均匀后装袋,带回实验室晾干测定土壤全氮、全磷、pH 值及含盐量等相关指标。在每个乔木样方内采用对角线方法^[13]选取 1 m×1 m 的草本样方 5 个,调查记录每个样方内每种植物的种名、株数、盖度、高度及多度。

表 1 林地设置及林分状况

Table 1 Sample plot and forest conditions

编号 Number	经度 Longitude	纬度 Latitude	树种 Trees	林龄 Forest age/a	营林方式 Mixed way	株行距 Plant spacing m×m	郁闭度 Canopy density	树高 Height/m	胸径 DBH/cm	冠幅 Crown breadth/m
1	118°49'15"E	37°24'31"N	刺槐	3	株间混交	1×2	未郁闭	3.49	3.04	1.87
			杨树					3.64	3.25	0.94
2	118°49'15"E	37°24'31"N	杨树	3	纯林	1×2	未郁闭	3.19	2.73	0.71
3	118°49'15"E	37°24'31"N	刺槐	3	纯林	1×2	未郁闭	3.12	2.40	0.88
4	118°41'7"E	37°17'17"N	刺槐	7	株间混交	2×3	0.75	9.27	10.57	4.28
			杨树					10.33	10.61	2.86
5	118°41'7"E	37°17'17"N	杨树	7	纯林	2×3	0.55	8.35	11.75	1.80
6	118°41'7"E	37°17'17"N	刺槐	7	纯林	2×3	0.82	7.13	12.58	2.32
7	118°46'47"E	37°49'46"N	刺槐	18	株间混交	2×4	0.8	9.70	10.70	3.99
			杨树					10.99	22.60	3.11
8	118°46'47"E	37°49'46"N	杨树	18	纯林	2×4	0.5	13.14	11.32	2.57
9	118°46'47"E	37°49'46"N	刺槐	18	纯林	2×4	0.85	11.29	13.19	3.62

1.3 指标及计算方法

1.3.1 草本多样性

本文主要采用 α 多样性相关指数(Patrick 指数、Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数)^[2,14-17],计算草本样方内各物种的重要值,通过丰富度、多样性及均匀度表示林下草本群落的多样性特征。

(1) 草本重要值:

$$IV = (\text{相对频度} + \text{相对多度} + \text{相对盖度}) / 3$$

(2) 丰富度指数:

Patrick 指数

$$R = S$$

Margalef 指数

$$Ma = (S - 1) / \ln N$$

(3) 多样性指数:

Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

(4) 均匀度指数:

$$\text{Simpson 指数} \quad D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

$$\text{Pielou 指数} \quad J_{sw} = (- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, S 为样方中所有物种数目; P_i 为种 i 的相对重要值; N 为样方内所有物种个体总数量。

1.3.2 土壤养分及化学性质

(1) 土壤全氮测定:

参照标准 LY/T 1228—2015, 采用凯氏定氮仪蒸馏消煮法测定土壤全氮。

(2) 土壤全磷

参照标准 LY/T 1232—2015, 采用碱熔钼锑抗比色法测定土壤全磷。

(3) 土壤 pH

参照标准 LY/T 1239—1999, 采用 pH 计测定土壤 pH 值。

(4) 土壤全盐量

参照标准 LY/T 1251—1999, 采用电导率法测定土壤全盐量。

1.4 数据处理

使用 SPSS 21.0 软件进行数据处理。采用单因素方差分析 (ANOVA) 的方法对草本植物群落指数和土壤养分指标进行显著差异性检验, 并作相关性分析。使用 Microsoft Excel 2007 进行绘图制表。

2 结果与分析

2.1 不同林龄杨树刺槐人工林林下植被物种组成及重要值

重要值可较全面的反映不同发育时期植被在群落结构中的功能地位和分布格局, 是种群优势度的重要衡量指标^[18-19]。由表 2 可知, 滨海盐碱地杨树、刺槐及杨树×刺槐林下草本共 10 科 22 属 22 种。杨树纯林有 7 科 11 属 12 种, 不同林龄 (3 年、7 年、18 年) 之间分别以猪毛菜 (*Salsola collina*) (48.96%)、刺儿菜 (*Cirsium setosum*) (42.60%)、白茅 (*Imperata cylindrica*) (71.11%) 为主要建群种; 刺槐纯林有 7 科 13 属 14 种, 以猪毛菜 (63.86%)、白茅 (48.61%)、白茅 (52.16%) 为优势种; 杨树×刺槐混交林有 7 科 15 属 15 种, 以猪毛菜 (47.77%)、刺儿菜 (42.60%)、狗尾草 (*Setaria viridis*) (45.36%) 和猪毛菜 (58.93%) 为优势种。结果表明, 不同林龄的杨树刺槐混交林及其纯林林下草本群落以禾本科、菊科为主, 白茅、猪毛菜、刺儿菜是主要建群种。3 年生林分未郁闭 (表 1), 阳光充足, 物种数量最多, 7 年生及 18 年生林分已基本郁闭, 物种数量趋于稳定。刺槐纯林的物种数量多于同龄的杨树纯林。

表 2 林下草本物种组成及重要值

Table 2 The main species composition and important values of the undergrowth herb

科名 Family	属名 Genus	种名 Species	杨树 <i>Populus × Euramericana 'Neva'</i>			刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>			杨树×刺槐 <i>Populus × Euramericana 'Neva' × Robinia pseudoacacia</i>		
			3a	7a	18a	3a	7a	18a	3a	7a	18a
			禾本科 Poaceae	芦苇属	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	11.61			10.94		16.08
	狗尾草属	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>						3.53	16.05		45.36
	稃属	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>							3.76		
	白茅属	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>			71.11		48.61	52.16			
	狗牙根属	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>									
桑科 Moraceae	葎草属	葎草 <i>Humulus scandens</i>	6.41	8.56		11.08	9.90	3.18	3.14	8.56	3.32
蓼科 Polygonaceae	何首乌属	何首乌 <i>Polygonum multiflorum</i>	9.03			4.63					

续表

科名 Family	属名 Genus	种名 Species	杨树 <i>Populus × Euramericana 'Neva'</i>			刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>			杨树×刺槐 <i>Populus × Euramericana 'Neva' × Robinia pseudoacacia</i>		
			3a	7a	18a	3a	7a	18a	3a	7a	18a
	蓼属	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>		4.25			3.56		2.86	4.25	
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	48.96		19.92	63.86	8.67	20.45	47.77		58.93
	藜属	藜 <i>Chenopodium</i>				9.94	3.23		2.69		6.10
菊科 Asteraceae	苦苣菜属	苣荬菜 <i>Sonchus brachyotus</i>	3.12	10.09				4.60	7.87	10.09	6.53
	白酒草属	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>					3.41		3.50		
	蓟属	刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>		42.60						42.60	
	旋覆花属	旋覆花 <i>Inula japonica</i>		13.96					13.96		
	苦苣菜属	长裂苦苣菜 <i>Sonchus brachyotus</i>		9.07			3.07		9.07		
	紫菀属	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>					7.92				
	鳢肠属	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>									
锦葵科 Malvaceae	苘麻属	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	5.82	11.47			8.82		4.29	11.47	
蔷薇科 Rosaceae	委陵菜属	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i>					2.80				
豆科 Fabaceae	大豆属	野大豆 <i>Glycine soja</i>							8.06		
萝藦科 Asclepiadaceae	鹅绒藤属	鹅绒藤 <i>Cynanchum chinense</i>			8.97						
茜草科 Rubiaceae	茜草属	山东茜草 <i>Rubia truppeliana</i>									4.44

2.2 不同林龄杨树刺槐人工林林下植被物种多样性分析

2.2.1 林下草本群落丰富度指数分析

方差分析表明,林龄对滨海盐碱地杨树刺槐混交林及其纯林林下草本物种 Patrick 指数差异显著 ($F = 2.715, P = 0.037 < 0.05$), Margalef 指数差异极显著 ($F = 9.613, P < 0.001$); 杨树刺槐混交林及其纯林林下草本 Patrick 指数及 Margalef 指数均随林龄的增大呈现先增加后减小的趋势(图 1), 7 年人工林综合表现最好。7 年生杨树×刺槐混交林 Margalef 指数达到最大值 ($Ma = 1.253$), 3 年生杨树×刺槐混交林 Patrick 指数达到最大值 ($R = 5.333$); 18 年生人工林表现较差, 18 年生杨树纯林为最小值 ($R = 1.667, Ma = 0.278$)。刺槐纯林 Patrick 及 Margalef 指数高于同龄杨树纯林, 杨树×刺槐 Patrick 及 Margalef 指数高于同龄杨树和刺槐纯林。

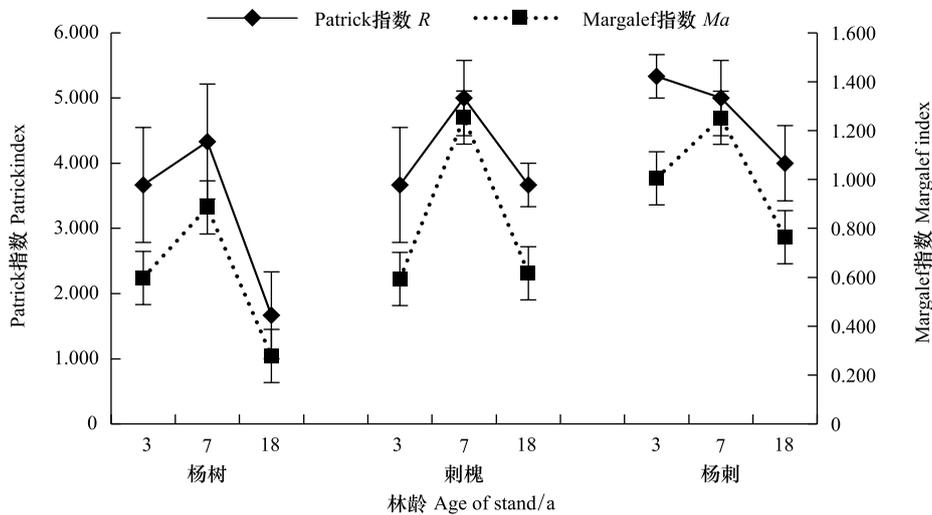


图 1 林下草本物种丰富度指数
Fig.1 The richness index of herbaceous species under the forest

2.2.2 林下草本群落多样性指数分析

林龄对林下草本物种 Shannon-Wiener 指数差异极显著 ($F=6.358, P=0.001$)。杨树刺槐混交林及其纯林 Shannon-Wiener 指数随林龄的增大呈现先增加后减小的趋势(图 2)。7 年生人工林草本多样性最高,7 年生杨树×刺槐 Shannon-Wiener 指数达到最大值 ($H' = 1.216$); 杨树×刺槐 Shannon-Wiener 指数高于同龄杨树刺槐纯林; 3 年生及 18 年生刺槐纯林 Shannon-Wiener 指数高于同龄杨树纯林, 18 年生杨树纯林 Shannon-Wiener 指数为最小值 ($H' = 0.332$), 7 年生杨树纯林 Shannon-Wiener 指数高于同龄刺槐林。

2.2.3 林下草本群落均匀度指数分析

林下草本物种 Simpson 指数及 Pielou 指数因林龄呈现极显著差异 ($F=5.158, P=0.002<0.05$; $F=3.730, P=0.010<0.05$), 均匀度指数变化相似(图 3)。随着林龄的增大, 杨树刺槐混交林及其纯林林下草本 Simpson 指数及 Pielou 指数先增加后减小, 7 年生人工林草本植被均匀度最高, 3 年生人工林高于 18 年生人工林, 7 年生杨树×刺槐 Simpson、Pielou 指数最大 ($D=0.643, J_{sw}=0.765$); 杨刺混交林 Simpson、Pielou 指数高于同龄杨树、刺槐纯林; 刺槐纯林 Simpson、Pielou 指数高于同龄杨树纯林, 18 年生杨树纯林 Simpson、Pielou 指数为最小 ($D=0.200, J_{sw}=0.302$); 7 年生杨树纯林 Simpson、Pielou 指数高于同龄刺槐林。

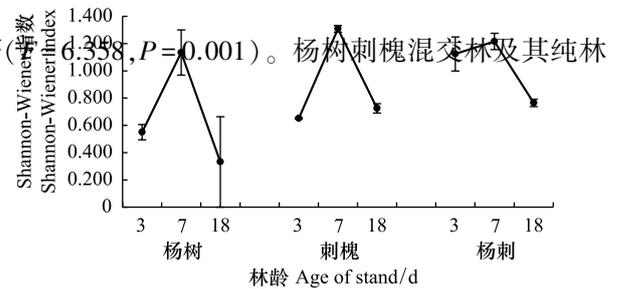


图 2 林下草本物种多样性指数

Fig.2 The diversity index of herbaceous species under forest

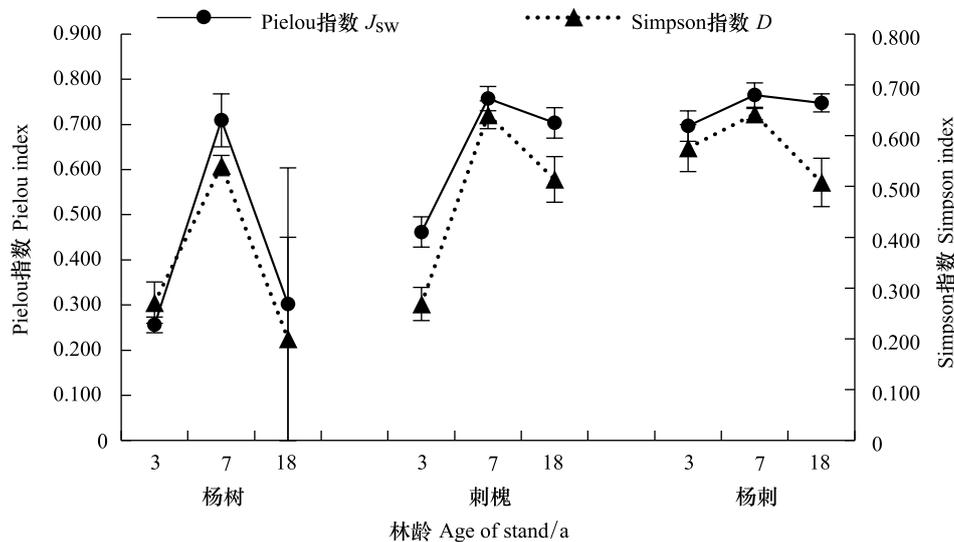


图 3 林下草本物种均匀度指数

Fig.3 The homogeneity index of herbaceous species under forest

2.3 不同林龄杨树刺槐人工林林下土壤养分及理化性质分析

2.3.1 林下草本土壤全氮及全磷含量分析

方差分析表明, 滨海盐碱地不同林龄杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤全氮、全磷含量差异极显著 ($F=25.447, P<0.001$; $F=42.282, P<0.001$)。随着林龄的增大, 杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤全磷含量呈先增加后减小趋势; 杨树纯林及杨树×刺槐混交林全氮含量呈先减小后增加的趋势, 刺槐纯林林下土壤全氮量呈连续增长的趋势(图 4)。7 年生人工林林下土壤全磷含量最高, 18 年生人工林高于 3 年生人工林, 7 年生杨树×刺槐混交林土壤全磷含量远远大于其他样地。18 年生人工林林下土壤全氮量显著高于其他时期, 7 年生人工林含量较低, 18 年生刺槐纯林含量最高, 7 年生杨树纯林为最小值。杨树×刺槐混交林的土壤全氮、全磷

含量高于同龄杨树刺槐纯林;刺槐纯林林下土壤全氮全磷含量高于同龄杨树林。

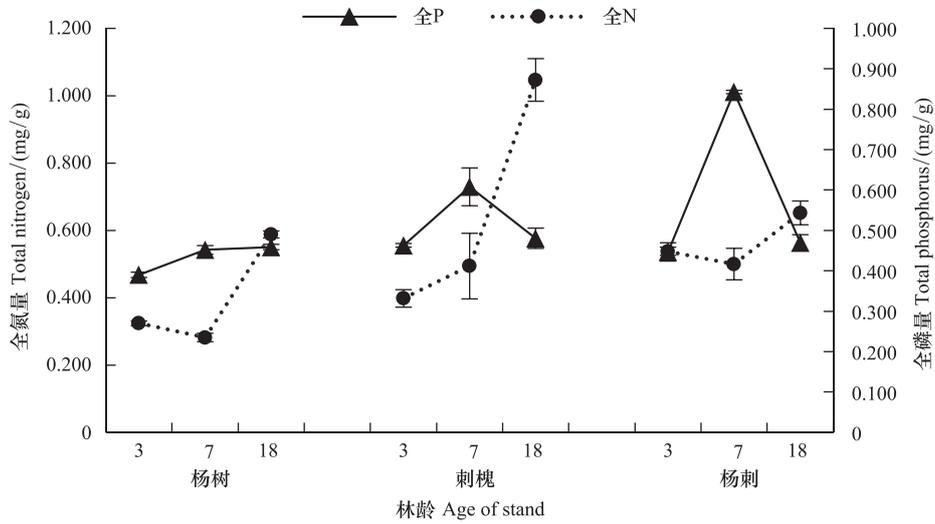


图 4 林下草本土壤养分测定
Fig.4 Soil nutrient of undergrowth herb

2.3.2 林下草本土壤 pH 及含盐量分析

林下土壤 pH 及含盐量因林龄呈极显著差异 ($F = 7.203, P < 0.001$; $F = 12.312, P < 0.001$)。随着林龄的增大,杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤 pH 值逐渐降低;杨树刺槐纯林土壤含盐量随林龄先增后减,杨树×刺槐混交林土壤含盐量依次递减(图 5)。3 年生人工林林下土壤 pH 最高,18 年生最低;18 年生刺槐纯林土壤 pH 为最小值,3 年生、7 年生杨树×刺槐混交林土壤 pH 整体低于同龄纯林。3 年生杨树纯林的土壤含盐量最高,18 年生杨树×刺槐混交林土壤含盐量最低,混交林林下土壤含盐量低于同时期杨树刺槐纯林,杨树纯林在 3 个年龄阶段变化波动大,刺槐纯林相对稳定,刺槐纯林林下土壤含盐量低于同龄杨树纯林。

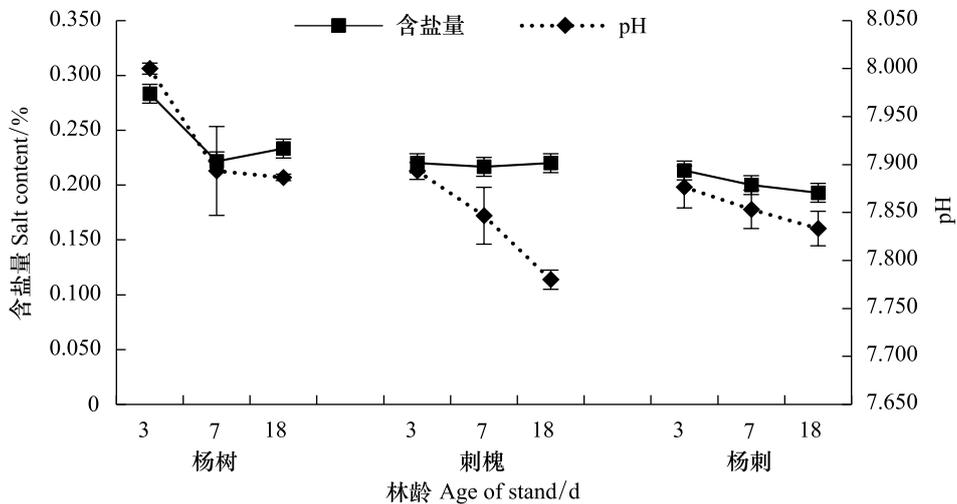


图 5 林下草本土壤化学性质测定
Fig.5 Soil chemical properties of undergrowth herb

2.4 草本群落多样性与土壤养分及理化性质相关性分析

Pearson 相关分析可知(表 3),草本多样性相关指数与土壤含盐量呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与土壤全磷量呈极显著正相关 ($P < 0.01$),土壤 pH 与草本均匀度呈显著负相关 ($0.01 < P < 0.05$)。可见滨海盐碱地林下草本多样性的受土壤含盐量和磷元素的影响较大。

表 3 草本多样性与土壤养分及化学性质相关性分析

Table 3 Correlation analysis between herb diversity and soil nutrients and chemical properties

	Patrick 指数 Patrick index	Margalef 指数 Margalef index	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 指数 Pielou index
pH	0.007	-0.196	-0.190	-0.406 *	-0.476 *
含盐量 Salt content	-0.563 **	-0.627 **	-0.643 **	-0.595 **	-0.566 **
全氮 Total nitrogen	-0.173	-0.161	-0.136	0.165	0.255
全磷 Total phosphorus	0.297	0.614 **	0.504 **	0.487 **	0.412 *

*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

3 讨论

3.1 林龄对滨海盐碱地杨树刺槐混交林及其纯林林下草本多样性影响

滨海盐碱地杨树刺槐混交林及其纯林林下草本植物种类共 10 科 22 属 22 种。其中杨树纯林草本种类共 7 科 11 属 12 种,刺槐纯林共 7 科 13 属 14 种,杨树×刺槐混交林共 7 科 15 属 15 种。主要以禾本科、菊科为主要建群种,白茅、猪毛菜、刺儿菜等重要值和频度较大,是优势物种,在草本植物群落发展的过程中起到了绝对的作用。林龄在一定程度上反映了特定时期林分群落结构的完整性、稳定性及群落演替的进程^[12,18],不同林龄的林下植物多样性具有明显差异,研究发现,随着林分年龄梯度的增加,杨树刺槐混交林及其纯林的 Patrick 指数、Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及 Pielou 指数均呈现相似的变化规律,即林下草本丰富度、多样性及均匀度随着林龄的增大表现出先增加后减小的趋势,7a 生人工林各项指标均达到最大值。

郁闭度影响林下草本群落的发生和演替。王瑞华等^[7]认为林内光照是影响林下植被生长发育的主要原因;对不同林龄马尾松林下植被研究表明,丰富度指数与林分郁闭度有关^[12]。就本研究而言,7 月份东营正值雨季,土壤水分充足,3 年生生林分未郁闭,光照充足,有利于随机种和大量喜光先锋种入侵并迅速发育,草本群落的丰富度急剧增加;随着林龄增大,林分郁闭度增大,7 年生生人工林郁闭度已达到 0.70,耐荫草本种逐渐入侵,极大的丰富了林下草本种类,物种多样性显著提高,均匀度增大;18 年生生林分结构趋于稳定,郁闭度达到 0.80,林下草本植被生存空间及养分竞争加剧,物种在竞争过程中达到动态平衡。因此在实际生产中要合理密植,定期进行林木修枝间伐^[13,20],保证林分最适郁闭度,增加林下物种多样性,增加群落稳定性。

3.2 林龄对滨海盐碱地杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤特性影响

pH 值和土壤含盐量是反映土壤盐碱化基本特征的重要参数,全氮、全磷含量是表征土壤肥力的重要指标^[14]。研究表明:随着林龄的增大,杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤 pH 值逐渐降低,土壤全磷含量呈先增加后减小趋势。杨树刺槐纯林土壤含盐量随林龄增大而表现出先增后减,杨树×刺槐混交林土壤含盐量依次递减。根据付腾飞^[21]对东营市滨海盐碱地土壤含盐量拟合曲线进行土壤含盐量换算,结合该区域相关资料^[22],东营市大区域内土壤含盐量范围在 0.5%—0.9%,天鹅湖风景区、龙居镇两处 3 年生、7 年生林地的土壤含盐量约为 0.5%—0.6%,孤山镇济南军区黄河三角洲生产基地二团九分厂 18 年生林地的土壤含盐量为 0.7%—0.9%,造林采用大水压盐、挖排水沟等措施,营林改造后使土壤的含盐量降低至 0.2—0.3%,效果显著。

刺槐纯林下土壤全氮量连续增长,而杨树纯林与杨树×刺槐混交林土壤全氮含量呈先减小后增加的趋势。不同林龄之间土壤 pH、含盐量、全氮及全磷含量差异显著。其原因可能是 3 年生生林分造林时间短,土壤 pH 值高,土壤碱化严重,盐分积累过多,导致土壤物理性状变差,进而影响土壤中的养分有效性^[15-16],致使全磷和全氮量低,土壤肥效差。随着林龄增加,植物与土壤互作效果增强,林木与林下植被改土作用明显^[17],7 年生及 18 年生林分 pH 值与含盐量降低,同时全氮与全磷含量增大,物种多样性显著提高。试验结果同时显示,同一林龄不同树种及组合林下草本多样性差异显著:杨树×刺槐混交林>刺槐纯林>杨树纯林。杨刺混

交林的土壤全氮、全磷含量高于同龄杨树和刺槐纯林;刺槐纯林林下土壤全氮、全磷含量高于同龄杨树纯林。刺槐作为固氮树种,极大的增加土壤中 N 素,提高林地生产力^[23]。由于固氮与非固氮树种混交,林分结构较纯林更为复杂,林分也更为稳定,生物种群增多。

3.3 林下草本群落多样性与土壤养分及理化因子的相关关系

林下草本多样性与土壤理化性质相关性分析可知,草本多样性相关指数与土壤含盐量呈极显著负相关,与土壤全磷量呈极显著正相关,土壤 pH 与草本均匀度呈显著负相关。这表明滨海盐碱地林下草本多样性的受土壤含盐量和磷元素的影响较大。大量研究表明土壤含盐量及过高的 pH 值限制了植物生长^[11,15,19,24]与磷元素的有效性,对马尾松林下植被研究表明林下植被多样性受磷元素的显著影响^[12],这与本试验研究结果一致。本试验中选取杨树×刺槐混交林及其纯林,由于刺槐为固氮树种,土壤氮元素较为充足,土壤全氮量与草本多样性相关性不显著。因此在营林管理的过程中,适当增加磷肥,以加速林下植被生长发育,提高人工林林下生物多样性及稳定性。及时进行修枝、疏伐,合理密植,控制最佳郁闭度,为林分及林下植被生长提供充足的光照及养分,加快演替进程,维护生态系统的稳定性。

4 结论

(1)不同林龄的杨树刺槐混交林及其纯林林下草本群落以禾本科、菊科为主,白茅、猪毛菜、刺儿菜是滨海盐碱地人工林林下草本群落中的主要建群种。

(2)随着林龄(3年生、7年生、18年生)的增加,3个林龄的杨树刺槐混交林及其纯林 Patrick 指数及 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及 Pielou 指数均表现出低-高-低的变化趋势,7a 时草本丰富度、多样性、均匀度最高。

(3)刺槐纯林林下植被物种多样性显著高于同龄杨树纯林,混交提高了林下草本物种组成及重要值。

(4)不同林龄之间土壤 pH、含盐量、全氮及全磷含量差异显著,随林龄的增大,杨树刺槐混交林及其纯林林下土壤 pH 值逐渐降低,土壤全磷含量呈先增加后减小趋势。18 年生人工林土壤含盐量最低,全氮量最高。

(5)草本群落多样性相关指数与土壤含盐量呈极显著负相关,与土壤全磷量呈极显著正相关。

本试验采用空间代替时间的方法有一定的局限性,滨海盐碱地立地条件各不相同,草本生长周期短,更新频繁,一年数代,本试验仅代表东营地区 7 月份滨海盐碱地混交人工林的草本多样性。林下草本多样性变化季节性、长期性、动态性变化规律有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] 刘加珍,李卫卫,陈永金,刘亚琦,徐梦辰,王成祥.黄河三角洲湿地水盐影响下灌草群落的物种多样性研究.生态科学,2015,34(5):135-141.
- [2] Kong W J, Xia H J, Zhang Y. Minimum sampling area for the monitoring of herb diversity in riparian zone of temperate rivers, China. Ecological Research, 2016, 31(4): 547-555.
- [3] Heikkinen R K. Complementarity and other key criteria in the conservation of herb-rich forests in Finland. Biodiversity & Conservation, 2002 11(11): 1939-1958.
- [4] Bashtanova U B, Flowers T J. Diversity and physiological plasticity of vegetable genotypes of coriander improves herb yield, habit and harvesting window in any season. Euphytica, 2011, 180(3): 369-384.
- [5] Múrialigeti S, Tinya F, Bidló A, Ódor P. Environmental drivers of the composition and diversity of the herb layer in mixed temperate forests in Hungary. Plant Ecology, 2016, 217(5): 549-563.
- [6] 夏江宝,陈印平,王贵霞,任加云.黄河三角洲盐碱地不同造林模式下的土壤碳氮分布特征.生态学报,2015,35(14):4633-4641.
- [7] 王瑞华,葛晓敏,唐罗忠.林下植被多样性、生物量及养分作用研究进展.世界林业研究,2014,27(1):43-48.
- [8] 杜振宇,刘方春,马丙尧,马海林,邢尚军.黄河三角洲盐碱地长期人工林生态服务价值评估.中国农学通报,2013,29(34):17-23.
- [9] 杜振宇,马海林,马丙尧,刘方春,邢尚军.滨海盐碱地混交林效应研究.西北林学院学报,2015,30(1):144-149.
- [10] 董海凤,杜振宇,刘春生,刘方春,马丙尧,马海林.黄河三角洲长期人工刺槐林对土壤化学性质的影响.水土保持通报,2014,34(3):55-60.

- [11] 曹帮华, 吴丽云, 宋爱云, 于学宁, 郝木征, 扈明明. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)混交林土壤水盐动态. 生态学报, 2008, 28(3): 939-945.
- [12] 崔宁洁, 张丹桔, 刘洋, 张健, 欧江, 张捷, 邓超, 纪托未. 不同林龄马尾松人工林林下植物多样性与土壤理化性质. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2610-2617.
- [13] 毛志宏, 朱教君, 刘足根, 谭辉, 曹波. 间伐对落叶松人工林内草本植物多样性及其组成的影响. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1201-1207.
- [15] 陈苗苗, 刘桂民, 刘德玺, 杨庆山, 杜振宇, 魏海霞, 王霞, 周健, 李存华. 不同人工林对黄河三角洲滨海盐碱地土壤理化性质的影响. 水土保持研究, 2017, 24(6): 41-44.
- [16] 杜振宇, 马丙尧, 刘方春, 董海凤, 马海林. 滨海盐碱地人工刺槐白蜡混交林的根际土壤特性研究. 中国土壤与肥料, 2013, (6): 1-5.
- [17] Hofmeister J, Hošek J, Modrý M, Roleček J. The influence of light and nutrient availability on herb layer species richness in oak-dominated forests in central Bohemia. *Plant Ecology*, 2009, 205(1): 57-75.
- [18] 姚秀粉, 马风云, 辛贺, 侯宝顺. 黄河三角洲盐碱地混交林林下植被现状. 西南林业大学学报, 2012, 32(5): 50-53, 57-57.
- [19] Chawla A, Rajkumar S, Singh K N, Lal B, Singh R D, Thukral A K. Plant species diversity along an altitudinal gradient of Bhabha Valley in western Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 2008, 5(2): 157-177.
- [20] 单奇华, 张建锋, 沈立铭, 唐华军, 阮伟建, 陈光才. 林业生态工程措施对滨海盐碱地草本植物的影响. 生态学杂志, 2012, 31(6): 1411-1418.
- [21] 原志坚, 王孝安, 王丽娟, 韩兵兵, 李静. 抚育对黄土高原油松人工林林下植被功能多样性的影响. 生态学杂志, 2018, 37(2): 339-346.
- [22] 付腾飞. 滨海典型地区土壤盐渍化时空变异及监测系统研究应用[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2015.
- [23] 李新举. 黄河三角洲土壤质量时空演变及可持续利用评价研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
- [24] 何兴元, 张成刚, 杨思河, 陈玮, 张粤, 刘惠昌, 苏道岩. 固氮树种在混交林中的作用研究 II. 固氮树木叶部 N、P 养分动态特征. 应用生态学报, 1997, 8(3): 235-239.
- [25] 董合忠, 辛承松, 李维江, 唐薇, 张冬梅, 罗振. 山东滨海盐渍棉田盐分和养分特征及对棉花出苗的影响. 棉花学报, 2009, 21(4): 290-295.