

阿拉尔垦区新疆杨防护林化学计量特征分析

周守航¹, 葛廷进², 邢彩兰¹, 徐晓萱¹, 杨历雨¹, 吕瑞恒¹

(1.塔里木大学 园艺与林学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2.新疆生产建设兵团林业与草原工作总站, 新疆 乌鲁木齐 830013)

摘要: [目的] 以新疆阿拉尔垦区不同龄级新疆杨防护林为研究对象, 对不同龄级新疆杨叶—枝—凋落物—土壤的 C、N、P 含量及化学计量特征进行分析比较, 为新疆南部农田防护林后期保育的可持续发展提供理论基础数据。[结果] C、N、P 含量与化学计算学特征为: ① C 含量为凋落物(395.14 g/kg) > 叶(365.29 g/kg) > 枝(363.84 g/kg) > 土壤(9.47 g/kg), N 含量为叶(13.37 g/kg) > 凋落物(9.10 g/kg) > 枝(7.31 g/kg) > 土壤(0.72 g/kg), P 含量为叶(0.46 g/kg) > 枝(0.43 g/kg) > 土壤(0.37 g/kg) > 凋落物(0.27 g/kg)。② 叶—土壤与全国平均值相比呈现出低 C、低 N、低 P 的格局。土壤 C 含量随龄级的增加呈“升—降—升”趋势, 除第Ⅲ龄级外, 其他龄级土壤 N 含量均表现出随土层加深而逐渐降低的趋势。土壤 P 含量随龄级的增加整体呈上升趋势, 且同一土层不同龄级之间存在显著差异($p < 0.05$)。③ 土壤 C : N(13.05) 高于中国土壤均值(C : N 11.90), C : P, N : P(24.04, 1.83) 均值低于中国土壤均值(C : P = 60.0, N : P = 5.20)。④ 新疆杨 0—80 cm 土层 N、P 含量与叶 N 含量呈极显著负相关($p < 0.01$) 与叶 P 呈极显著正相关($p < 0.01$), 凋落物 N 含量与表层土壤 N 含量呈极显著正相关关系($p < 0.01$)。凋落物 P 含量与 20—40 cm 土壤 P 含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。[结论] 由于缺乏对新疆杨防护林后期的管护, 导致阿拉尔垦区新疆杨防护林在生长过程中受 N、P 元素的限制。因此, 需适当增添 N、P 肥, 以此来改善土壤肥力, 提高林分质量。

关键词: 不同龄级; 生态化学计量学; 新疆杨; 防护林; 养分限制

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0082-08

中图分类号: S792.11

文献参数: 周守航, 葛廷进, 邢彩兰, 等. 阿拉尔垦区新疆杨防护林化学计量特征分析[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 82-89. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.011; Zhou Shouhang, Ge Tingjin, Xing Cailan, et al. Analysis on stoichiometric characteristics of a *Populus alba* L. var *pyramidalis* protective forest in Alar reclamation area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 82-89.

Analysis on Stoichiometric Characteristics of a *Populus Alba* L. var *Pyramidalis* Protective Forest in Alar Reclamation Area

Zhou Shouhang¹, Ge Tingjin², Xing Cailan¹, Xu Xiaoxuan¹, Yang Liyu¹, Lü Ruiheng¹

(1. College of Horticulture and Forestry Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. Forestry and Grassland in Xinjiang Production and Construction Corps Workstation, Urumqi, Xinjiang 830013, China)

Abstract: [Objective] The contents of C, N, P, and their ecological stoichiometry characteristic contained in foliage, branches, litter, and soil of different age grades of *Populus alba* L. var *pyramidalis* stands were determined in order to provide a theoretical basis for the sustainable development of farmland shelterbelts in the Alar Reclamation Area, South of Xinjiang Wei Autonomous Region. [Results] The contents of C, N, P, and stoichiometric characteristics were: ① C content followed the order of litter (395.14 g/kg) > foliage (365.29 g/kg) > branch (363.84 g/kg) > soil (9.47 g/kg); N content followed the order of foliage (13.37 g/kg) > litter (9.10 g/kg) > branch (7.31 g/kg) > soil (0.72 g/kg); P content followed the order of foliage (0.46 g/kg) > branch (0.43 g/kg) > soil (0.37 g/kg) > litter (0.27 g/kg). ② Compared with the national average value,

收稿日期: 2021-01-03

修回日期: 2022-02-09

资助项目: 新疆生产建设兵团重大科技计划项目“南疆沙区生态经济型屏障构建及产业链延伸技术研发与示范”(2021AB022); 国家自然科学基金项目(31360109); 塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地开放基金项目(BRYB2102)

第一作者: 周守航(1999—), 男(汉族), 河南省商丘市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠绿洲生态系统结构与功能。Email: 1322810904@qq.com。

通讯作者: 吕瑞恒(1982—), 男(汉族), 山西省汾阳市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事荒漠绿洲生态过程与管理方面的研究。Email: lvrh514723@126.com。

foliage-branch-litter-soil showed a pattern of low C, low N, low P. The total C content showed a trend of “increasing-decreasing-increasing” with the age grades. The total content of N in the four age-grades showed a trend of decreasing with increasing soil depth except for the third age grades. The total contents of P generally increased with increasing age grades, and were significant between different age grades in the same soil layer ($p < 0.05$). ③ The soil C : N ratio (13.05) was higher than C : N (11.9) in China. The C : P and N : P ratios (24.04, 1.83) were lower than those of soil C : P and N : P ratios (60.0, 5.20) in China. ④ Soil N and P contents in the 0—80 cm soil layer of *Populus alba* L. var *pyramidalis* were significantly negatively correlated with foliar N content ($p < 0.01$), and positively correlated with foliar P content ($p < 0.01$). Litter N content was significantly positively correlated with surface soil N content ($p < 0.01$). There was a significant negative correlation between litter P content and 20—40 cm soil P content ($p < 0.01$). [Conclusion] N and P contents are the limiting factors for the growth of *Populus alba* L. var *pyramidalis* shelterbelts because of lack of management and protection in the Alar Reclamation Area. Therefore, N and P must be added appropriately by artificial measures so as to improve soil fertility and the quality of farmland shelterbelt stands.

Keywords: different age grade; ecological stoichiometry; *Populus alba* L. var *pyramidalis*; shelter forest; nutrient limitation

生态化学计量学是研究生物系统能量平衡和多重化学元素平衡的科学,也是探讨元素质量与动态平衡对生态交互作用的响应的一种理论,被越来越地应用到 C, N, P 等养分元素在植物、土壤循环特征及相互作用机制研究中^[1-3]。生态化学计量学特征值 C : N, C : P, N : P 在一定程度上能够反映植物、土壤碳、氮、磷等养分状况,而 3 种元素比值被认为是植物生长、土壤质量评价、养分限制阈值等方面的重要评价指标^[4-5]。目前,国外对生态化学计量学领域已有大量研究,国内相关研究虽然起步较晚但发展迅速,对不同森林类型、不同区域和不同演替阶段的化学计量特征进行了大量研究^[6],但针对极端干旱区植物—凋落物—土壤随龄级变化的化学计量研究较为缺乏,尤其表现在人工林方面。

新疆杨(*Populus alba* L. var *pyramidalis*)作为新疆地区防护林主要造林树种之一,具有抗大气干旱、生长较快、干型通直、较耐盐碱等特性^[7],对农田生态系统屏障的构建,农业生产安全与人类生存环境质量的提高有重要的意义^[8]。目前,国内对新疆杨的研究主要集中在土壤养分特征、叶片在胁迫下生理响应、凋落物的持水特性及各组分的生物量和碳储量等方面^[9-12],而将新疆杨防护林“植物—凋落物—土壤”作为整体进行化学计量特征的研究较少。因此,本研究以新疆阿拉尔垦区新疆杨防护林为研究对象,从“植物—凋落物—土壤”角度,分析不同年龄阶段新疆杨防护林生态化学计量特征的内在关系,对揭示极端干旱区农田防护林 C, N, P 元素的养分循环过程具有重大意义,也可为农田防护林的后期管护及可持续经营提供理论基础和数据支撑。

1 研究区概况

阿拉尔垦区地处欧亚大陆腹地,塔里木盆地北部,阿克苏河、叶尔羌河和田河三河交汇之处的塔里木河上游。地理位置位于(40° 22′—40° 57′ N, 80° 30′—81° 58′ E)之间,东西相距 281 km,南北相距 180 km,暖温带极端大陆性干旱荒漠气候。年日照时数 2 800~3 000 h,无霜期 200~220 d,年平均降水约 75 mm,年蒸发量 1 200~1 500 mm,年平均气温约 10 °C。自然灾害主要有低温、风沙、干热风、干旱、寒潮、洪水等,而风沙为当地的主要自然灾害。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

于 2019 年 6 月在阿拉尔市及周围团场进行野外调查。经实地调查后选择 4 个龄级(按胸径划分)新疆杨防护林为研究对象,选择立地条件基本一致的新疆杨防护林设置样方,每种龄级设置 3 个样方,每个样方内设置面积为 300 m² 的标准样地,共设置样方 12 个,分别对各样地进行每木检尺,记录树高、胸径、冠幅、密度等。各龄级新疆杨生长情况详见表 1。依据王雄^[13]在阿拉尔垦区农田防护林结构特征及其防护效益研究中的分类方法将新疆杨的胸径按 10 cm 进行径级整化,即平均胸径(D)小于 10 cm 的植株作为第 I 径级,10 cm ≤ D < 20 cm 作为第 II 径级,20 cm ≤ D < 30 cm 作为第 III 径级,30 cm ≤ D < 40 cm 作为第 IV 径级, D > 40 cm 为第 V 径级。

2.1.1 新鲜叶片及标准枝样品取样 在不同的样地内选取 5 株标准木为研究对象,标准木要求长势良

好,无病虫害,树高和胸径接近样方平均值。在树木叶片成熟时间段(7月初)采集各样地内标准木的成熟叶片及标准枝样品,用高枝剪在树冠东、西、南、北

4个方位采摘成熟叶片及标准枝(1级侧枝及一年生枝混合取样)样品装入档案袋带回实验室,同一样地内样品进行混合,同一龄级不同样地视为重复。

表 1 阿拉尔新疆杨防护林试验区样地基本信息

龄级	平均树高/ m	平均胸径/ cm	冠幅/m		枝下高/ m	密度/ (株·hm ⁻²)	行数	分支数
			东西	南北				
I	6.94	6.55	0.69	0.76	1.21	6 667	4	8
II	12.94	12.15	1.58	1.58	1.45	4 444	4	13
III	16.14	24.96	2.96	2.82	2.05	3 333	5	23
IV	27.56	34.26	4.16	4.50	2.45	3 333	3	30

2.1.2 凋落物样品取样 在新疆杨防护林叶片凋落量最大的时间段(11月上旬)收集凋落物,每个样地选取5个有代表性的1 m×1 m的凋落物小样方,收集样方内地表凋落物装入档案袋带回实验室。

2.1.3 土壤样品取样 每个样地中垂直于地面按0—20,20—40,40—60,60—80 cm和80—100 cm层次设置土壤剖面采集土壤,每个样地设置土壤剖面1个,共12个剖面。同时,按照土壤分层方式自下而上从土壤中部取新鲜土样,同龄级同土层混合均匀,带回实验室进行处理分析。

2.2 样品处理与测定

新鲜叶片、标准枝、凋落物样品在室内风干,同一龄级进行混合、清洗、烘干、粉碎过0.150 mm筛,备用。土壤样品在室内风干,去除石块、根系等杂质,过100目筛,装袋待测。样品的植物、土壤有机碳含量采用土壤有机碳含量采取重铬酸钾外加热氧化法,全氮含量采用高氯酸—浓硫酸消煮,凯氏定氮法,全磷含量采用高氯酸—浓硫酸消煮,钼锑抗比色法测定^[14]。

2.3 数据分析方法

采用 SPSS 25.0 的单因素方差分析(one-way

ANOVAs)和多重比较(LSD)进行分析,不同龄级阿拉尔垦区新疆杨防护林叶、枝、凋落物和土壤 C,N,P 含量及其计量比进行差异性分析,采用 Pearson 相关分析法分析枝、叶、凋落物、土壤生态化学计量特征指标之间的关系。

3 结果与分析

3.1 不同龄级新疆杨叶片 C,N,P 计量特征差异

由表 2 可知,新疆杨防护林叶片 C,N,P 含量随龄级增加分别表现为逐渐上升、上升再下降,“升—降—升”的趋势。此外,C,N,P 的平均值分别为 365.29,13.37和 0.46 g/kg。叶 C 含量在各个龄级之间差异不显著,N 含量在各龄级之间均差异显著($p<0.05$),第 IV 龄级 P 含量与其他龄级差异显著($p<0.05$)。新疆杨叶化学计量比 C:N,C:P,N:P 平均值为 27.90,798.73 和 29.67,且随龄级增加依次表现为:上升、“升—降”、下降趋势。4 个龄级之间,第 IV 龄级 C:N 显著高于 I,II,III 龄级,C:P 无显著性差异,N:P 在 III,IV 龄级显著低于 I,II 龄级($p<0.05$)。

表 2 不同龄级新疆杨防护林树叶片 C,N,P 含量及化学计量比

龄级	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	C:N	C:P	N:P
I	320.31±6.10 ^a	14.13±0.11 ^c	0.41±0.01 ^a	22.68±0.57 ^a	778.76±26.62 ^a	34.34±0.68 ^a
II	375.89±27.43 ^a	15.27±0.17 ^d	0.46±0.02 ^a	24.59±1.55 ^a	819.01±65.40 ^a	33.26±1.02 ^a
III	376.60±34.28 ^a	13.28±0.15 ^b	0.44±0.01 ^a	28.39±2.72 ^a	862.18±59.39 ^a	30.54±0.89 ^b
IV	388.37±25.61 ^a	10.81±0.02 ^a	0.53±0.02 ^b	35.93±2.31 ^b	734.95±23.47 ^a	20.54±0.65 ^c
平均值	365.29±13.52	13.37±0.50	0.46±0.01	27.90±1.74	798.73±24.79	29.67±1.68

注:不同小写字母表示不同龄级间差异显著($p<0.05$)。下同。

3.2 不同龄级新疆杨枝 C,N,P 计量特征差异

由表 3 可知,从总体来看随着龄级的增加,新疆杨防护林枝 C 含量呈下降趋势,N 含量呈“降—升—降”趋势,P 含量呈“降—升”趋势。不同龄级下新疆

杨防护林枝的 C,N,P 含量均值为 363.84,7.31 和 0.43 g/kg。枝 C 含量无显著性差异,I,III 龄级 N 含量显著高于 II,IV 龄级($p<0.05$),第 III 龄级 P 含量显著低于其他龄级($p<0.05$)。新疆杨枝 C:N 随龄级

增大整体呈“升—降—升”趋势,C:P,N:P 均随龄级增大呈“升—降”趋势,新疆杨枝 C:N,C:P,N:P 的均值分别为 49.99,855.67,17.37。新疆杨枝

C:P,N:P 表现为第 I 龄级小于其他 3 个龄级,枝 C:N 在各龄级之间均差异不显著,第 III 龄级 C:P 值最高且与其他 3 个龄级呈显著性差异($p<0.05$)。

表 3 不同龄级新疆杨防护林树枝 C,N,P 含量及化学计量比

龄级	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	C:N	C:P	N:P
I	371.45±18.86 ^a	7.15±0.04 ^b	0.49±0.02 ^b	51.91±2.40 ^a	754.24±51.65 ^a	14.52±0.61 ^a
II	368.14±55.92 ^a	6.96±0.07 ^a	0.46±0.02 ^b	52.95±8.36 ^a	813.67±142.73 ^{ab}	15.28±0.56 ^a
III	369.86±30.95 ^a	8.25±0.03 ^c	0.34±0.01 ^a	44.84±3.83 ^a	1 075.45±52.69 ^c	24.14±1.00 ^b
IV	345.90±33.15 ^a	6.89±0.01 ^a	0.44±0.01 ^b	50.24±4.83 ^a	779.32±69.60 ^{ab}	15.54±0.28 ^a
平均值	363.84±16.18	7.31±0.58	0.43±0.02	49.99±2.46	855.67±53.83	17.37±1.22

3.3 不同龄级新疆杨凋落物 C,N,P 计量特征差异

由表 4 可知,新疆杨防护林凋落物 C,N 平均含量为 395.14 和 9.10 g/kg,且随龄级的增加总体呈“升—降—升”趋势。P 含量平均值为 0.27 g/kg,随龄级增加总体呈“降—升”趋势。凋落物 C 含量在各龄级之间差异不显著,N 含量在各龄级之间差异显著($p<0.05$),I,II 龄级与 III,IV 龄级之间 P 含量呈显

著差异($p<0.05$)。随龄级的增大,新疆杨防护林凋落物 C:N 呈“降—升—降”趋势,C:P,N:P 呈“升—降”的趋势。凋落物 C:N,C:P,N:P 平均值分别为 45.09,1 523.68,34.31。第 II 龄级凋落物 C:N 与其他 3 个龄级差异性显著($p<0.05$),C:P 各龄级之间差异显著($p<0.05$),N:P 在第 II,III 龄级与 I,IV 龄级之间差异性显著($p<0.05$)。

表 4 不同龄级新疆杨防护林凋落物 C,N,P 含量及化学计量比

龄级	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	C:N	C:P	N:P
I	386.92±18.24 ^a	7.90±0.05 ^b	0.32±0.01 ^c	49.01±2.35 ^b	1 214.37±38.40 ^a	24.82±0.41 ^a
II	400.80±9.45 ^a	12.51±0.12 ^d	0.31±0.01 ^c	32.03±0.71 ^a	1 298.86±41.30 ^{ab}	40.53±0.45 ^c
III	381.66±29.32 ^a	7.41±0.08 ^c	0.19±0.01 ^a	51.43±3.37 ^b	1 996.07±84.45 ^c	38.94±1.21 ^c
IV	411.19±25.47 ^a	8.59±0.06 ^a	0.26±0.01 ^b	47.88±2.97 ^b	1 585.43±154.82 ^b	32.97±1.19 ^b
平均值	395.14±34.64	9.10±2.10	0.27±0.02	45.09±2.55	1 523.68±100.20	34.31±1.90

3.4 不同龄级新疆杨防护林土壤 C,N,P 含量

由表 5 和图 1 可知,各龄级新疆杨土壤 C 含量平均值依次为 5.60,4.12,5.65 和 22.51 g/kg,土壤 N 含量平均值为 0.29,0.56,0.58 和 1.46 g/kg,P 含量平均值为 0.30,0.36,0.37 和 0.45 g/kg。同一龄级不同土层,土壤 C 含量在第 I 龄级呈“升—降—升”的趋势,土壤 N 含量在第 III 龄级呈“升—降”趋势,其他 3 个

龄级土壤 C,N 含量表现为随土层深度的加深逐渐降低,土壤 P 含量在 IV 龄级随土层深度加深呈上升趋势。同一土层不同龄级,土壤 C 含量在 40—60,60—80,80—100 cm 3 个土层中呈“降—升”的趋势,土壤 N,P 含量整体随龄级的增加呈上升趋势。土壤 C,N,P 含量在第 IV 龄各土层达到峰值并与 I,II,III 龄级各土层差异显著($p<0.05$)。

表 5 不同龄级新疆杨防护林土壤的 C,N,P 含量平均值及变异系数

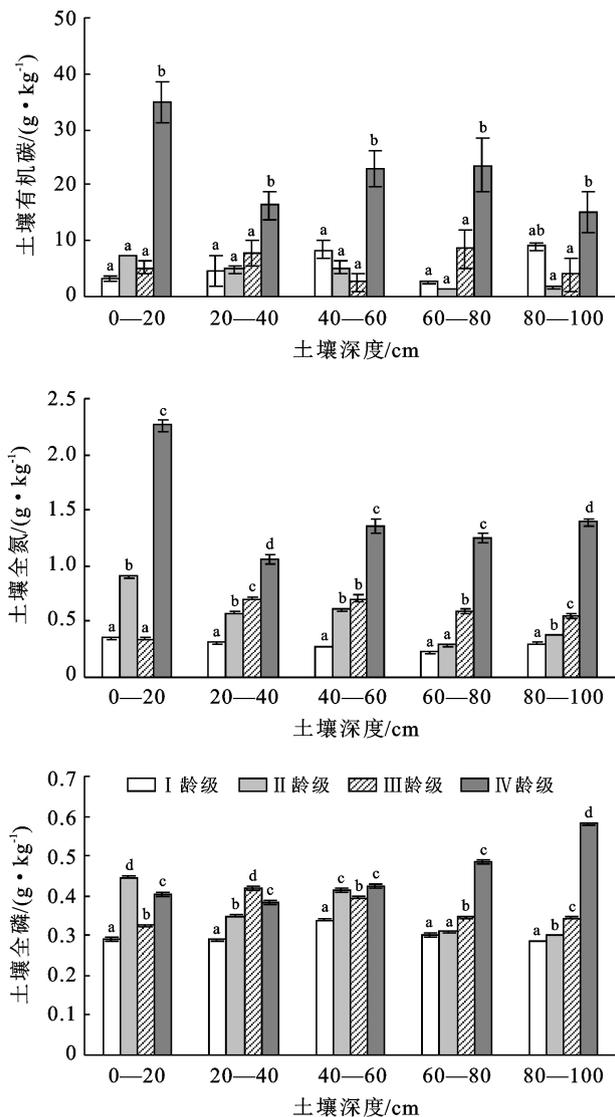
项目	不同龄级有机碳				不同龄级全氮				不同龄级全磷			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
变异程度/%	64	61	77	40	16	40	24	30	7	16	10	16
含量平均值/(g·kg ⁻¹)	5.60	4.12	5.65	22.51	0.29	0.56	0.58	1.46	0.30	0.36	0.37	0.45

3.5 不同龄级新疆杨防护林土壤 C:N,C:P,N:P

由表 6 和图 2 可知,各个龄级新疆杨土壤 C:N 含量平均值为 19.38,6.86,10.31 和 15.64,同一龄级不同土层,第 I,II,IV 龄级土壤 C:N 含量随土层深

度的加深呈“升—降—升”趋势。同一土层不同龄级;5 个土层土壤 C:N 含量随龄级的增加呈“降—升”趋势,在 0—20 cm,20—40 cm 2 个土层中无显著性差异。第 I 龄级在 40—60 cm,80—100 cm 两个土层与

II, III, IV 龄级差异显著 ($p < 0.05$)。可能是由于在营造新疆杨防护林初期增施了大量肥料。各个龄级新疆杨 C:P 含量平均值为 18.52, 10.64, 15.58, 51.42。同一龄级不同土层, 第 I 龄级土壤 C:P 含量随土层深度的加深呈“升—降—升”趋势。第 I, II, IV 龄级土壤 C:P 含量随土层深度的加深呈下降趋势。同一土层不同龄级, 除 0—20 cm 这一土层外其他 4 个土层 C:P 含量均随龄级的增加呈先下降后上升趋势。在 40—60 cm, 80—100 cm, 2 个土层中呈显著性差异 ($p < 0.05$)。且第 I, II, III 这 3 个龄级在各个土层均与第 IV 龄级有显著性差异 ($p < 0.05$)。



注:图中小写字母不同表示同一土层不同龄级之间差异显著 ($p < 0.05$),下同。

图 1 不同土层深度土壤的有机碳、全氮和全磷含量

由表 6 和图 3 可知, 4 个龄级新疆杨 N:P 含量平均值为 0.99, 1.48, 1.57, 3.30。同一龄级不同土层, 第 I, II 龄级土壤 N:P 随土层深度的加深呈“降—

升”趋势, 第 III 龄级土壤 N:P 呈“升—降”趋势, 第 IV 龄级土壤 N:P 呈“降—升—降”趋势。且 5 个土层土壤 N:P 均随龄级的增加呈上升趋势。4 个龄级在 40—60 cm, 60—80 cm, 80—100 cm 这 3 个土层中均差异性显著 ($p < 0.05$)。

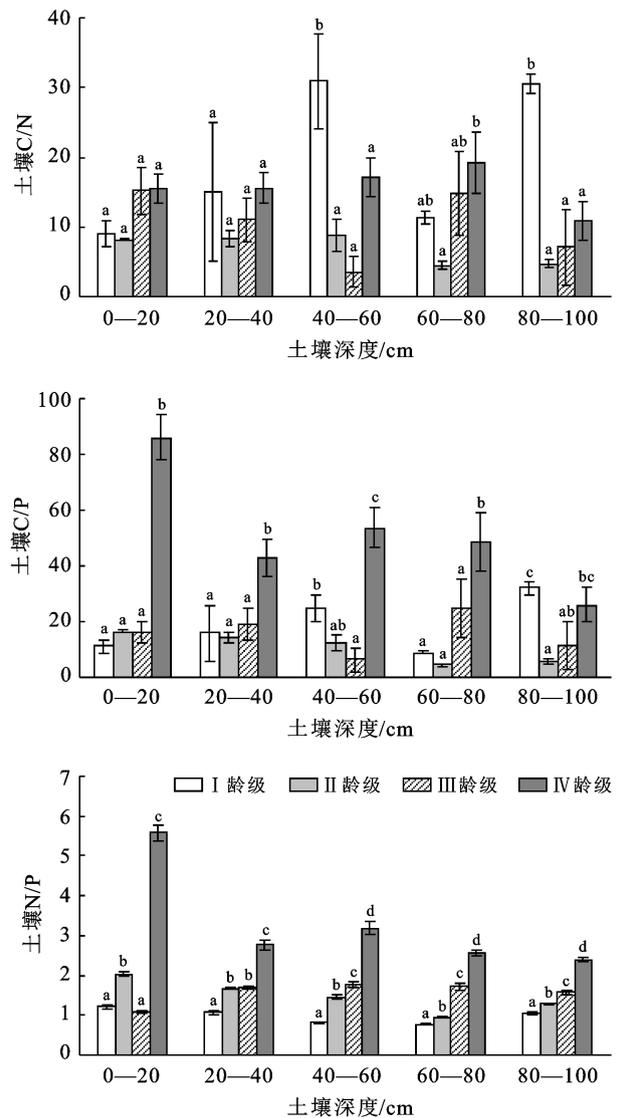


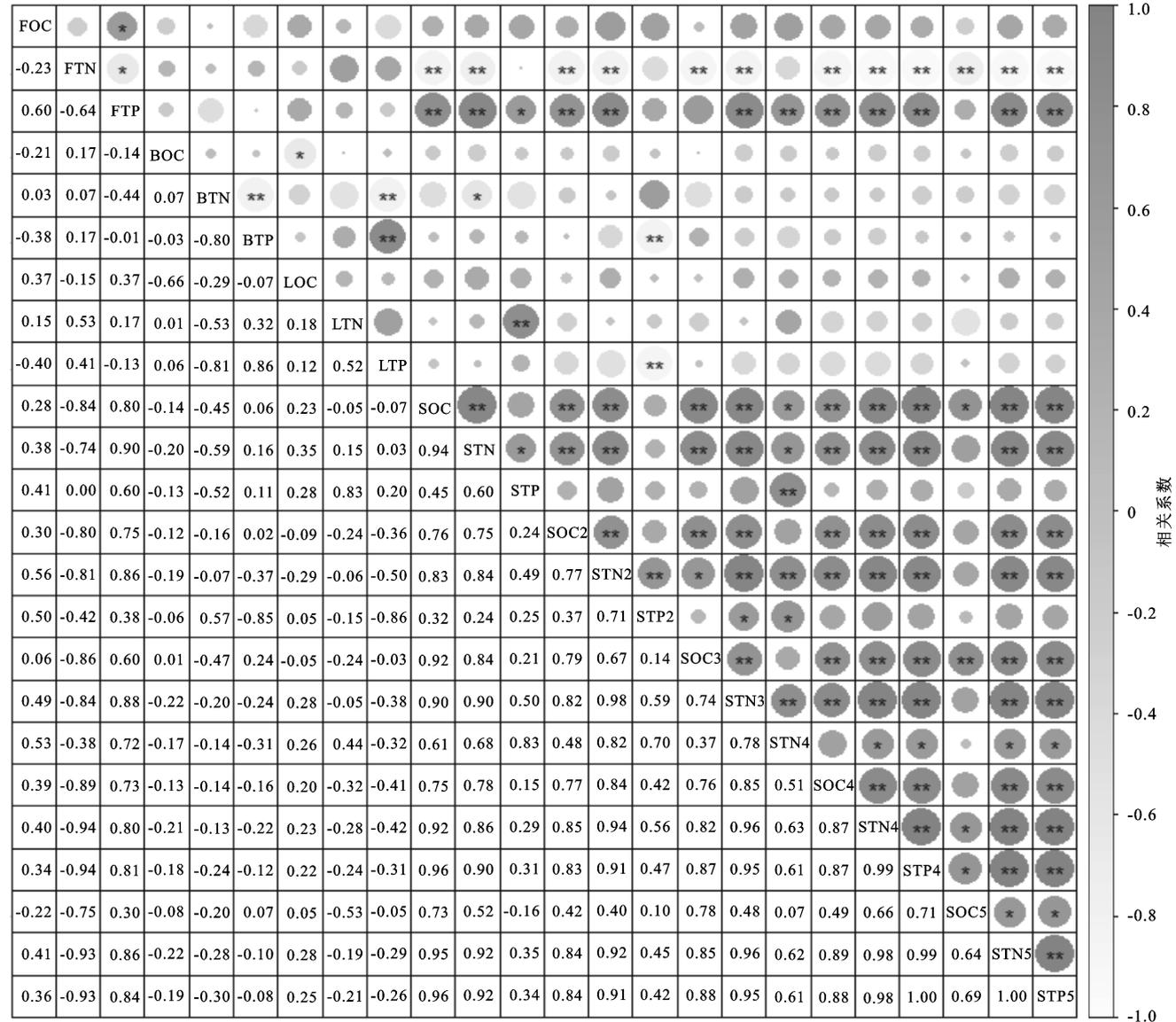
图 2 不同土层深度土壤的 C:N, C:P 和 N:P

3.6 新疆杨叶、枝、凋落物、土壤 C, N, P 含量相关性分析

新疆杨土壤 C, N (0—80 cm) 含量与叶 N 含量呈极显著负相关, 而与叶 P 含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$)。土壤 C (0—20 cm) 含量与土壤 N, P (40—80 cm) 含量呈极显著正相关。凋落物 P 含量与枝 N, 20—40 cm 土壤 P 含量呈极显著负相关, 与枝 P 含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$)。叶 P 含量与叶 C 含量存在显著相关关系, 与叶 N 含量存在显著负相关 ($p < 0.05$)。

表 6 不同龄级新疆杨防护林土壤 C,N,P 计量比平均值及变异系数

项 目	不同龄级 C : N				不同龄级 C : P				不同龄级 N : P			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
变异程度/%	65	38	76	33	64	51	78	45	19	26	18	37
平均值(g · kg ⁻¹)	19.38	6.86	10.31	15.64	18.52	10.64	15.58	51.42	0.99	1.48	1.57	3.30



注:新疆杨叶 C 含量(FOC)、叶 N 含量(FTN)、叶 P 含量(FTP)、枝 C 含量(BOC)、枝 N 含量(BTN)、枝 P 含量(BTP)、凋落物 C 含量(LOC)、凋落物 N 含量(LTN)、凋落物 P 含量(LTP),0—20 cm 土壤全碳含量(SOC),0—20 cm 全氮含量(STN),0—20 cm 全磷含量(STP),20—40 cm 土壤全碳含量(SOC2),20—40 cm 土壤全氮含量(STN2),20—40 cm 土壤全磷含量(STP2),40—60 cm 土壤全碳含量(SOC3),40—60 cm 全氮含量(STN3),40—60 cm 全磷含量(STP3),60—80 cm 全碳含量(SOC4),60—80 cm 全磷含量(STN4),60—80 cm 全磷含量(STP4),80—100 cm 全碳含量(SOC5),80—100 cm 全氮含量(STN5),80—100 cm 全磷含量(STP5)。图中右上角圆的大小与左下角的数值相对应,数值越大,圆越大;数值越小,圆越小。

图 3 不同龄级新疆杨防护林叶、枝、凋落物、土壤 C,N,P 含量相关性分析

4 讨论与结论

植物的生理特性及其生长环境往往影响其养分元素的分布状况,使其表现出不同的时空变化规

律^[15]。本研究的 4 个龄级的新疆杨叶 C 含量为 320.31~388.37 g/kg,低于全球尺度的叶 C 含量(464 g/kg),表明新疆杨叶有机化合物含量较低^[16-17]。新疆杨叶 N 含量为 10.81~15.27 g/kg,P

含量为 0.41~0.53 g/kg, 远低于全球尺度叶 N, P 含量(20.62 g/kg, 1.77 g/kg)和中国区域内的叶 N, P 含量(20.24, 1.46 g/kg)^[16-17]。新疆杨防护林较低的 N, P 可能是受土壤 N, P 缺乏的影响, 相关分析结果也表明土壤 N(0—80 cm)含量与叶 N 含量呈极显著负相关与叶 P 呈极显著正相关。随着龄级的增加, 新疆杨叶 N 含量总体呈现出下降的趋势而新疆杨叶 C, P 元素含量总体呈现出上升趋势。综合所说, 本地区新疆杨叶具有低 C, N, P 的特征。

植物叶片 C : N, C : P 值可以表征植物吸收营养元素同化 C 的能力, 在一定程度上可以反映出单位养分供应量所能达到的生产力、植物对营养的利用效率以及植物的生长速度^[18]。而较高的 C : N 和 C : P 代表植物有较高 N, P 利用率, 由于本地区土壤缺乏 N, P 元素含量, 新疆杨防护林在 N, P 元素含量缺少的情况下往往具有较高的养分利用率。本研究中不同龄级新疆杨叶的 C : N 值为 27.90, C : P 值为 798.73, 均高于全球尺度的 C : N 均值(22.5)和 C : P 均值(232)^[17]。植物叶片中 N : P 为判断植物生长限制因子的指标之一, N : P 低于 14 时受 N 限制, 高于 16 时受 P 限制, 叶片 N : P 介于 14~16 之间则受到 N 和 P 的双重限制^[19], 本研究中 4 个龄级的 N : P 均大于 16, 表明新疆杨防护林受 P 元素限制, 研究区新疆杨防护林管护过程中应适当增添 P 肥, 以此来改善土壤肥力, 提高林分质量。

与生长期新疆杨叶相比, 凋落物 C 含量呈上升趋势, N, P 含量表现为下降趋势, 而 C : N, C : P, N : P 均有所上升。这是因为新疆杨叶在凋落前后养分再吸收、再分配的状况, 这也可能是植物应对干旱区养分匮乏的一种重要调节机制^[20], 相关分析也表明凋落物 P 含量与枝 N, 20—40 cm 土壤 P 含量呈极显著负相关, 与枝 P 含量呈极显著正相关。

不同龄级新疆杨防护林土壤 C, N, P 含量平均值为 9.47, 0.72 和 0.37 g/kg, 均远低于全国(11.12, 1.06 和 0.65 g/kg)水平^[21]。由此可知, 新疆杨防护林土壤具有低 C, N, P 的分布的特征。而在土壤空间变异程度上除第 I, III 龄级土壤 P 含量为弱变异性外, 其余龄级土壤 3 种元素含量均为中等变异性。土壤 C, N, P 含量随着龄级的增加呈现出上升的趋势, 且都在第 IV 龄级表现出最大值。有相关研究表明, 土壤有机碳积累与植被群落年龄存在正相关关系, 且土壤有机质是各种营养元素的主要来源^[22], 同时土壤理化性质^[23]、凋落物养分^[24]、动植物遗体等^[25]相关因素都会对土壤 C, N, P 元素含量产生影响^[26]。随着龄级

的增加土壤的 C, N, P 含量随着龄级的增加呈上升趋势, 这一现象可能是由于随着龄级的增加, 林下枯落物也随着增加, 腐殖质不断积累, 能够在土壤微生物等的作用下较快分解并将养分及时释放到土壤中^[27], 相关分析也表明 0—20 cm 土壤 P 含量与凋落物 N 含量呈极显著正相关关系。

土壤化学计量 C : N, C : P 和 N : P 是反映土壤有机质组成及土壤养分有效性的关键指标, 同时也能反映土壤中微生物利用土壤有机碳的效率^[28]。土壤 C : N 越高, 有机态 N 分解速率越低, 新疆杨防护林土壤 C : N 均值(13.05)高于中国土壤 C : N 均值(11.9)^[29], 表明土壤 N 元素分解较慢, 不利于土壤有机态 N 元素的释放^[30], 从相关分析可以得出土壤 C 含量与 N 含量呈极显著正相关关系说明土壤 C, N 含量是影响土壤 C : N 变化的主要因素。土壤 C : P 可以直接反映林分利用 P 的利用效率, 较高 C : P 说明土壤中 P 元素低^[31]; C : P 均值(24.04)低于中国土壤 C : P 均值(60.0)^[32], 表现出随着龄级增加呈上升趋势, 说明本研究区新疆杨防护林随着龄级的增加土壤中 P 含量降低, 受 P 元素限制。N : P 值则经常作为判断生态系统受 N 或受 P 限制的判断指标^[26], 本研究区中土壤 N : P 均值为 1.83 低于中国土壤 N : P 均值(5.20), 表明新疆杨防护林土壤中 N, P 元素含量整体都偏少, 应在后期防护林的养护过程中适量增加 N 肥、P 肥的供应。

[参 考 文 献]

- [1] 胡小燕, 段爱国, 张建国, 等. 广西大青山杉木人工林碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2019, 40(4): 1-12.
- [2] 宋思梦, 周扬, 张健. 不同立地类型杉木人工林叶片的碳氮磷生态化学计量特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 38-53.
- [3] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索[J]. 植物生态学报, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [4] 程瑞梅, 王娜, 肖文发, 等. 陆地生态系统生态化学计量学研究进展[J]. 林业科学, 2018, 54(7): 130-136.
- [5] 李春越, 苗雨, 薛英龙, 等. 长期施肥条件下黄土旱塬农田土壤—微生物—植物系统碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2022, 42(1): 1-9.
- [6] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明, 等. 不同林龄油松(*Pinus tabulaeformis*)人工林植物、凋落物与土壤 C, N, P 化学计量特征[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6188-6197.
- [7] 艾尼瓦尔江·扎米尔, 梁继业, 吉小敏. 新疆杨幼苗光合特性研究[J]. 防护林科技, 2017(8): 4-6.
- [8] 范志平, 曾德慧, 朱教君, 等. 农田防护林生态作用特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 130-133.
- [9] 黄雅茹, 郝玉光, 董礼隆, 等. 乌兰布和沙漠东北缘典型固

- 沙林土壤养分特征研究[J].西北林学院学报,2018,33(2):1-9.
- [10] 张选,肖薪龙,李鹏勃,等.新疆杨不同成熟度叶片在胁迫下的生理响应[J].林业科学,2015,51(12):9-16.
- [11] 刘小娥,苏世平.兰州市南北两山5种典型人工林凋落物的水文功能[J].应用生态学报,2020,31(8):2574-2582.
- [12] 桑巴叶,朱玉伟,陈启民,等.新疆杨不同林龄农田防护林的碳储量[J].南方农业学报,2015,46(8):1455-1461.
- [13] 王雄.阿拉尔垦区农田防护林结构特征及其防护效益研究[D].新疆阿拉尔:塔里木大学,2020.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 张天霖,邱治军,吴仲民,等.粤北针阔混交林不同器官碳氮磷钾的生态化学计量特征[J].林业科学研究,2021,34(2):149-157.
- [16] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. Ecology Letters, 2000,3(6):540-550.
- [17] Han Wenxuan, Fang Jingyun, Guo Dali, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China [J]. New Phytologist, 2005,168(2):377-385.
- [18] 刘万德,苏建荣,李帅锋,等.云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C, N, P 化学计量特征[J].生态学报,2010,30(23):6581-6590.
- [19] 王晶苑,王绍强,李纫兰,等.中国4种森林类型主要优势植物的 C:N:P 化学计量学特征[J].植物生态学报,2011,35(6):587-595.
- [20] 王维奇,徐玲琳,曾从盛,等.河口湿地植物活体—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J].生态学报,2011,31(23):134-139.
- [21] 王平安,宫渊奇,王琪,等.不同林龄华北落叶松人工林针叶—凋落叶—土壤碳氮磷生态化学计量特征[J].西北林学院学报,2020,35(6):1-9.
- [22] 崔宁洁,刘小兵,张丹桔,等.不同林龄马尾松(*Pinus massoniana*)人工林碳氮磷分配格局及化学计量特征[J].生态环境学报,2014,23(2):188-195.
- [23] 吕永磊,梁文业,张仲胜.西藏地区典型泥炭地土壤理化性质及其碳、氮、磷化学计量学特征[J].湿地科学,2017,15(4):526-531.
- [24] 杨晶晶,吕瑞恒,梁继业,等.塔里木盆地盐生和干旱生境柽柳(*Tamarix*)凋落物分解特征[J].中国沙漠,2020,40(1):215-222.
- [25] 孟庆权,葛露露,林宇,等.杉木人工林土壤碳、氮、磷化学计量特征[J].江西农业大学学报,2018,40(6):1155-1162.
- [26] 王凯,吴祥云,卢慧,等.阜新市主要园林树种叶片生态化学计量特征[J].干旱区研究,2013,30(2):236-241.
- [27] 李志安,邹碧,丁永祯,等.森林凋落物分解重要影响因素及其研究进展[J].生态学杂志,2004,23(6):77-83.
- [28] 阎恩荣,王希华,郭明,等.浙江天童常绿阔叶林、常绿针叶林与落叶阔叶林的 C:N:P 化学计量特征[J].植物生态学报,2010,34(1):48-57.
- [29] Tian Hanqin, Chen Guangsheng, Zhang Chi, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data [J]. Biogeochemistry, 2010,98(1),139-151.
- [30] 王绍强,于贵瑞.生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J].生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [31] 张继辉,蔡道雄,卢立华,等.不同林龄柚木人工林土壤生态化学计量特征[J].生态学报,2020,40(16):5718-5728.
- [32] 朱海强,李艳红,张小萌.艾比湖湿地不同植物群落下土壤全磷空间变异[J].水土保持研究,2017,24(5):45-50.

(上接第81页)

- [25] Ouyang Wei, Hao Fanghua, Skidmore A K, et al. Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the Yellow River [J]. Science of the Total Environment, 2010,409(2):396-403.
- [26] Zhou P, Luukkanen O, Tokola T, et al. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed [J]. Catena, 2008,75(3):319-325.
- [27] 焦菊英,王宁,杜华栋,等.土壤侵蚀对植被发育演替的干扰与植物的抗侵蚀特性研究进展[J].草业学报,2012,21(5):311-318.