

岷江柏林下土壤养分特征及种群间差异分析

庞学勇, 包维楷*

(中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 对现存于川西 6 个县的岷江柏林下土壤养分状况及其空间差异性比较研究表明, 土壤表层 (0~20cm) 有机质、全 N、全 P、碱解 N、速效 P、速效 K 和阳离子交换量均以马尔康居群最高, 其次为金川、小金、丹巴居群, 理县和茂县居群较低, 土壤全 K 和土壤 pH 恰好相反, 茂县居群较大, 马尔康居群较小。从土壤的垂直变化看, 除全 K 和土壤 pH 外, 其它土壤养分均为表土层大于底土层。从相关性分析看, 岷江柏林下土壤全 N、全 P、碱解 N、速效 P 和 CEC 与土壤有机质呈极显著相关, 土壤速效养分主要受全量养分控制, 土壤养分指标地理空间差异较大, 通过岷江柏林土壤养分指标的相关性分析, 马尔康岷江柏居群土壤养分指标综合性能最好, 其次为理县、金川、丹巴、小金岷江柏居群, 最差的为茂县岷江柏居群。岷江柏林下养分差异是植被状况、地形条件、保护管理措施和人为干扰状况等多种因素综合作用的结果。

关键词: 岷江柏林; 土壤养分; 地理空间差异; 干旱河谷

中图分类号: S158, S791

文献标识码: A

岷江柏 (*Cupressus chengiana*) 是我国珍稀濒危、单型属孑遗种和川甘区域局地特有种, 主要分布于四川西北部岷江上游的茂县、理县, 大渡河上游的马尔康、金川、小金、丹巴及白龙江上游的九寨沟县 (原南坪县) 等地的干旱河谷地带。其独有耐寒、耐旱、根深的生物学特性, 能适应干旱贫瘠的恶劣环境, 具有良好的水土保持和水源涵养功能, 一直是高山峡谷地区干旱河谷段水土保持和荒山造林的重要树种之一。其自然分布地段大都接近谷底, 交通方便, 离居民点近, 长期受人为活动破坏, 现存不多^[1]。若不采取积极有效的保护措施, 该种群有灭绝的可能。有关岷江柏及其林分的研究主要基于 1960~1980 年代中期所获得的调查资料, 开展过岷江柏分布、分类学、群落和林分特征、林木生长过程等的初步研究^[2], 并被后来的许多作者引用^[3]。随后未见任何对岷江柏的继续调查与深入研究的报道, 而有关岷江柏林分土壤环境状况

一直缺乏必要的研究。

土壤作为森林生态系统的组成成份和环境因子^[4], 为森林的生长发育、繁衍生息提供了必要的环境条件、调节着系统内外水分的分配、起着有效的环境过滤器的作用^[5]。土壤在森林生态系统中的这些功能决定于土壤质量, 它是森林生态系统可持续发展的基础; 同时, 生态系统组成、结构与功能的变化又影响和制约着土壤质量演化的方向和强度。良好性状的森林土壤应具有接收、容纳、供应水分和养分, 促进气体交换, 增强土壤生物活性以及对碳的供给能力。在生态极度脆弱地带, 外界干扰、植被变化和管理措施对其的影响十分明显, 在景观不同的位置, 因为地形等环境因子的影响, 诸如土壤发生、形成、迁移、沉积、风化、分解等物理化学过程都存在很大的差异, 造成土壤养分的空间差异^[6-10], 近年来, 土壤养分质量的空间差异性以及与植被状况的关系已成为国际上的研究热

收稿日期 (Received date): 2005-04-15; 改回日期 (Accepted): 2005-06-30.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KZCX3-SW-339; KSCX2-SW-104) 和“十五”国家科技攻关项目 (2001BA606A-05) 与西部之光项目共同资助。[Supported by the Knowledge Innovation Project of CAS (KZCX3-SW-339-05; KSCX2-SW-104), the Key Project of “Tenth Five-year” Program (2001BA606A-05) and the Talent Plan of the CAS.]

作者简介 (Biography): 庞学勇 (pangxy@cib.ac.cn; 028-85219230), 硕士, 主要从事土壤生态, 土地利用与土地覆被变化和退化生态系统恢复与重建工作, 发表论文 10 余篇。[Pang Xueyong, Master, mainly engaged in the research of soil ecology, land use and changes, restoration and rehabilitation of degraded ecosystem.]

* 通讯作者 (Corresponding author): Baowk@cib.ac.cn

点之一。2002 年, 我们对大渡河上游及其支流和岷江上游及其支流 7 个县的岷江柏分布区进行了综合考察。在进行岷江柏群落调查的同时, 也对岷江柏林下土壤进行了实地调查, 选择测定了林下主要土壤养分指标。本文的主要目的是: 1. 阐述岷江柏林下土壤的主要养分性状及其特点; 2 比较不同区域岷江柏林下土壤养分性状, 阐明现存岷江柏林下土壤养分的空间差异性; 3. 探讨土壤养分间的关系以及与植被、气候、人为干扰等的相互关系, 为人工促进岷江柏更新与种群恢复重建以及合理的保护措施制定提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1. 1 研究区概况

研究区位于四川省的岷江上游及其支流杂古脑

河、大渡河上游及其支流小金河、抚边河、足木足河等流域的干旱河谷地段, 山体中下部的阳坡、半阳坡和半阴坡, 海拔 1 200~2 900 m, 山之下部常受干风影响, 所以气候干暖, 岷江柏各地理分布区气候状况见表 1。区内山势陡峻, 土层通常浅薄, 有的地方基岩裸露。土壤为花岗岩、片麻岩、石英砂岩等坡积母质上发育的典型褐土和碳酸盐褐土。地表有稀薄的枯枝落叶层。土体中碎石、砾石含量较多, 土壤呈块状或核状结构, 心土层有碳酸盐反应。中部土层有粘化现象, 表土层微酸性或中性反应, 心土层和底土层弱碱性或碱性反应。盐基饱和度以表土层最高, 心土层次之, 底土层最低。

1. 2 研究内容和方法

1. 2. 1 样地选择

在岷江柏分布区的茂县、理县、马尔康、金川、小金和丹巴等地, 全面调查岷江柏的分布现状

表 1 岷江柏不同地理居群气候状况

Table 1 The climate factors of Cupressus chengiana forest in different geographical populations

地点 *	气温 (°C)			降水量 (mm)		蒸发量 (mm)	辐射总量 (× 10 ⁸ Jm ⁻²)
	年均温	1 月	7 月	全年 (mm)	5~9 月占全年 (%)		
茂县	11. 0	0. 6	20. 5	492. 7	76. 6	1113. 02	42. 26
理县	11. 3	0. 6	20. 5	590. 6	69. 4	921. 12	45. 32
马尔康	8. 7	-0. 8	16. 4	760. 9	80. 3	892. 89	54. 39
小金	12. 0	2. 2	19. 9	613. 9	78. 0	1182. 19	55. 33
金川	12. 8	2. 5	20. 7	616. 2	82. 0	932. 81	51. 44
丹巴	14. 2	4. 4	22. 2	593. 9	83. 0	1441. 39	53. 49

* 茂县 (MX)、理县 (LX)、马尔康 (MRK)、金川 (JC)、小金 (XJ) 和丹巴 (DB), 下同



图 1 岷江柏不同地理居群土壤采样点分布图

Fig. 1 Distributing map of soil sampling plots in different geographical populations

与存在的区域环境背景（如海拔、坡向、坡度等）的基础上，根据各县内岷江柏现有分布的实际状况，选择典型样方，其样点分布见图 1。对各区域内岷江柏生长的立地特征和种群特征（密度、平均高度、植物组成、林分郁闭度等）进行了全面调查。由于岷江柏在各县境内集中分布的面积各异，茂县境内对其的破坏性最大，现保存完整的分布区不足 1 hm²，马尔康境内设有岷江柏专门的保护区，总面积达 2.27×10⁴ hm²，群落保存较完好，有部分原始林存在。各县内样方调查数和土壤剖面采集数也是根据岷江柏实际分布面积大小而定。各调查岷江柏分布区域基本情况见表 2。

1.2.2 土壤样品采集及测定方法

土壤采样和野外测定均在选择的样地内布设标准样方，在每个标准样地内随机布设 1~2 个部面，共调查了 27 个剖面；其中茂县（MX）2 个、理县（LX）4 个、马尔康（MRK）7 个、金川（JC）2 个、

小金（XJ）7 个、丹巴（DB）5 个；每一剖面，分 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层采集室内分析的土样（部分剖面土层浅薄，仅能取到 1~2 层）。室内分析测定土壤有机质、全 N、P、K 和速效 N、P、K 及 CEC 等肥力因子，其分析方法见《土壤理化分析》^[11]。

1.2.3 数据处理

数据处理时，以县为地理居群单位（理县、金川、小金、马尔康、茂县、丹巴）分析同一居群土壤剖面上下层间，不同地理居群同一土壤层间土壤养分指标平均值间的差异，差异性检验均用 spss11.0 软件进行方差分析。土壤肥力综合指标值（IFI）计算，首先对选择的土壤肥力因子标准化，并求出各肥力因子的相关矩阵，再利用 MATLAB6.0 软件计算各肥力因子主成分的贡献率和累计贡献率，以各主成分特征贡献率为权重，加权计算岷江柏各地理居群土壤肥力指标值。

表 2 岷江柏林分及其环境背景特征概况

Table 2 The outline of Cupressus chengiana forest in different geographical populations

地点	海拔 (m)	坡向 (°)	坡度 (°)	坡位	密度 (Na / hm ²)	均高 (m)	胸径 (cm)	郁闭度
MX	1685~1730	NE11~NW6	35~37.5	中上部	2125	3.10	4.00	0.35
LX	1910~2060	NE19~NW61	40~42	中下部	836	5.03	11.02	0.48
MR	1920~2560	SW40~NE46	23~38	中下部	1515	5.15	8.71	0.53
XJ	2310~2485	NE5~NW64	34~45	下部	5050	3.78	5.32	0.58
JC	2260~2420	SE64~NW45	30~32	中下部	1375	6.47	10.05	0.57
DB	2310	NE28	33~35	中下	2438	8.35	8.97	0.58

2 结果

2.1 土壤有机质

土壤有机质是评价土壤肥力的一项重要指标，与土壤中多种养分呈相关关系。从图 2 可见，岷江柏分布区土壤 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 38.55~221.88 g/kg、11.22~81.39 g/kg 和 7.79~65.77g/kg，平均值分别为 90.06±8.72 g/kg、38.31±4.25 g/kg 和 32.58±6.99 g/kg。从林下土壤剖面差异来看，各居群土壤有机质含量 0~20 cm>20~40 cm>40~60 cm 层，0~20 cm 层与 20~40 cm、40~60 cm 层间有显著性差异（p<0.05）。从地理空间来看，各岷江柏居群之间，0~20 cm 层土壤有机质含量马尔康居群最高，与茂县、金川、丹巴、小金居群间有显著性差异，茂县居群最低，与理县、马尔康居群

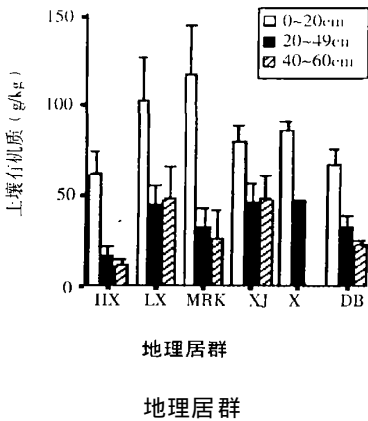


图 2 岷江不同地理居群土壤有机质

Fig. 2 Means and standard errors of soil organic matter under different cupressus chengiana geographical populations

呈显著性差异；20~40 cm 层土壤有机质仍以茂县居群最低，与含量较高的理县、小金、金川居群间呈显著性差异；40~60 cm 层土壤有机质含量理

县、小金居群较大, 与其它居群间有显著性差异。

2 2 土壤主要全量养分

2 2. 1 土壤全 N

从图 3 a 可见, 岷江柏林下土壤全 N 差异较大, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 2.14~10.40 g/kg、0.70~5.64 g/kg 和 0.47~3.17g/kg, 平均值分别为 4.08 ± 0.39 g/kg、 2.15 ± 0.24 g/kg 和 1.61 ± 0.32 g/kg。从林下土壤剖面差异来看, 各居群土壤全 N 含量 0~20 cm>20~40 cm>40~60 cm 层, 除理县居群外, 其它居群土壤 0~20 cm 层与 20~40 cm、40~60 cm 层间有显著性差异 ($P < 0.05$)。从地理空间来看, 0~20 cm 层土壤全 N 含量马尔康、金川居群较高, 茂县、理县居群较低, 它们间有显著性差异; 20~40 cm 层土壤全 N 茂县居群最低, 与全 N 含量较高的理县、小金、金川居群间呈显著性差异; 40~60 cm 层土壤全 N 含量小金居群最大, 与除理县居群外的其它居群有显著性差异, 茂县居群最小, 与理县、小金居群呈显著性差异。

2 2. 2 土壤全 P

从图 3 b 可见, 岷江柏林下土壤全 P 差异较小, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 0.46~1.07 g/kg、0.36~0.94 g/kg 和 0.34~0.69 g/kg, 平均值分别为 0.67 ± 0.03 g/kg、 0.60 ± 0.02 g/kg 和 0.55 ± 0.04 g/kg。从林下土壤剖面差异来看, 各居群土壤全 P 含量, 除理县居群 20~40 cm 层>0~20 cm 外, 其它居群土壤全 P 含量表层大于底层, 马尔康、理县、金川、丹巴居群土壤表层与底层间土壤全 P 含量有显著性差异。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间, 0~20 cm 层土壤全 P 含量茂县居群最低, 与

其它居群间有显著性差异; 20~40 cm 层和 40~60 cm 层土壤全 P 含量各居群间无显著性差异。

2. 2. 3 土壤全 K

钾能加速植物对 CO₂ 的同化过程, 促进碳水化合物的转移、蛋白质的合成和细胞分裂, 增强植物的抗病力, 提高植物的抗旱性和抗寒性, 土壤全 K 含量主要与土壤母质有关, 岷江柏土壤主要发育于变质岩母质上, 土壤全 K 含量较高。从图 3 c 可见, 岷江柏林下土壤全 K 差异较小, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 12.34~29.96 g/kg、17.02~32.60 g/kg 和 13.89~28.28 g/kg, 平均值分别为 21.83 ± 0.84 g/kg、 22.77 ± 0.81 g/kg 和 21.28 ± 1.59 g/kg。从林下土壤剖面差异来看, 各居群土壤全 K 含量, 除理县居群有微小差别外, 其它居群均为 40~60 cm>20~40 cm>0~20 cm 层, 主要为全 K 主要来源于土壤母质, 土壤剖面从上至下, 植物根系分布由多到少, 植物吸收利用的钾也依次减少, 造成土壤全 K 含量底层表层; 另外土壤有机质与土壤全钾含量呈负相关, 土壤表层有机质含量高于下层, 有机质密度较小, 造成表层土壤钾相对较低, 但各层间无显著性差异。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间, 0~20 cm 层土壤全 K 含量茂县居群最高, 与其它居群间呈显著性差异; 20~40 cm 层土壤全 K 金川居群最低, 与全 K 含量较高的茂县、理县居群间呈显著性差异; 40~60 cm 层土壤全 K 含量仍以茂县居群最大, 与除丹巴居群外的其它居群有显著性差异。

2 3 土壤速效养分

2. 3. 1 土壤碱解 N

土壤碱解 N 是植物可直接吸收利用的一部分

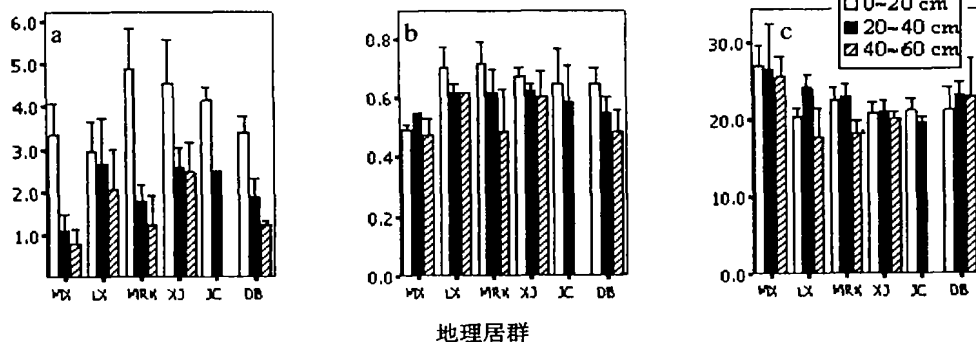


图 3 岷江柏不同地理居群林下土壤全 N (a)、全 P (b) 和全 K (b) 含量

Fig 3 Means and standard errors of concentration of total N (a), total P (b), and total K (c) in soil under

different cupressus chengiana geographical populations

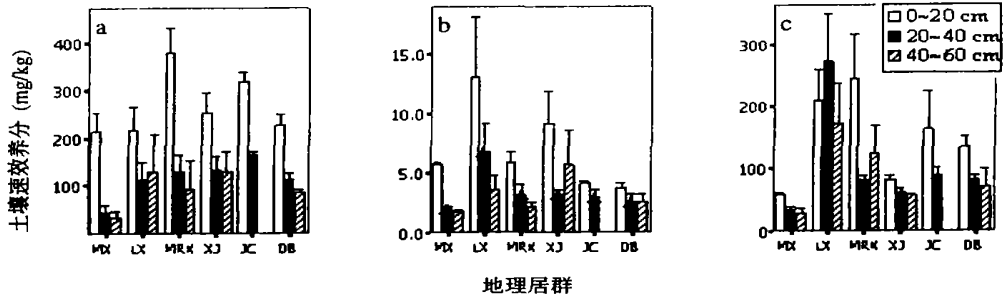


图 4 岷江柏不同地理居群林下土壤碱解 N (a)、速效 P (b) 和速效 K (c) 含量

Fig. 4 Means and standard errors of concentration of alkali-hydrolyzable N (a), available P (b), and available K (c) in soil under different *Cupressus chengiana* geographical populations

速效 N, 与土壤全 N 和有机质直接相关。从图 4 a 可见, 岷江柏林下土壤碱解 N 差异较大, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 130.60~547.82 mg/kg、26.54~291.98 mg/kg 和 19.91~205.72 mg/kg, 平均值分别为 277.20 ± 22.46 mg/kg、 120.38 ± 13.08 mg/kg 和 95.97 ± 22.05 mg/kg。从林下土壤剖面差异来看, 各居群土壤碱解 N 含量为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm 层, 土壤 0~20 cm 层与 20~40 cm、40~60 cm 层有显著性差异。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间, 0~20 cm 层土壤碱解 N 马尔康、金川居群含量较高, 与其它居群间呈显著性差异, 茂县居群最低; 20~40 cm 层土壤茂县居群最低, 与其它居群间有显著性差异; 40~60 cm 层土壤碱解 N 含量马尔康、金川居群含量较高, 茂县居群最低, 它们间有显著性差异。

2.3.2 土壤速效 P

从图 4 b 可见, 岷江柏林下土壤速效 P 差异较大, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 2.09~24.70 mg/kg、1.04~12.63 mg/kg 和 1.64~8.58 mg/kg, 平均值分别为 7.25 ± 1.16 mg/kg、 3.50 ± 0.51 mg/kg 和 3.15 ± 0.75 mg/kg。从林下土壤剖面差异来看, 各居群土壤速效 P 含量为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm 层, 土壤 0~20 cm 层与 20~40 cm、40~60 cm 层有显著性差异。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间, 0~20 cm 层土壤速效 P 理县居群最大, 与其它居群有显著性差异, 丹巴、金川居群较低, 与理县、小金居群呈显著性差异; 20~40 cm 层土壤速效 P 理县居群最大, 与其它居群有显著性差异; 40~60 cm 层土壤速效 P 金川居群最低, 与其它居群有显著性差异。

2.3.3 土壤速效 K

从图 4 c 可见, 岷江柏林下土壤速效 K 差异较大, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 53.34~469.02 mg/kg、25.52~405.79 mg/kg 和 20.46~237.96 mg/kg, 平均值分别为 156.74 ± 23.52 mg/kg、 102.04 ± 18.21 mg/kg 和 95.52 ± 22.97 mg/kg。从林下土壤剖面差异来看, 除理县居群外, 其它居群土壤速效 K 含量为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm 层, 表土层与底土层呈显著性差异。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间, 0~20 cm 层土壤速效 K 马尔康居群最大, 与其它各居群间有显著性差异, 茂县居群最小, 与理县、金川、马尔康居群有显著性差异; 20~40 cm 层土壤速效 K 理县居群最大, 与其它居群差异显著; 40~60 cm 层土壤速效 K 理县居群最大, 与其它居群差异显著, 茂县、小金、丹巴居群较小, 与理县、马尔康居群间呈显著性差异。

2.4 土壤 pH 和阳离子交换量 (CEC)

2.4.1 土壤 pH

土壤 pH 是土壤最基本的属性之一, 它可影响到土壤中元素的有效性和植物的生长环境等。从图 5 a 可见, 岷江柏生长的土壤环境为碱性或强碱性, 林下土壤 pH (H₂O) 变化范围为 6.00~9.14, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 6.00~8.18、6.37~8.93 和 7.72~9.14。从林下土壤剖面差异来看, 随着土壤剖面深度的增加, 土壤 pH 支增大, 即同一土壤剖面 pH 40~60 cm > 20~40 cm > 0~20 cm 层。从地理空间来看, 各岷江柏居群之间土壤 pH 无显著性差异。20~40 cm 层土壤 CEC 金川居群最大, 茂县居群最小, 二者间有显著性差异; 40~60 cm 层土壤 CEC 各居群间无显著性差异。

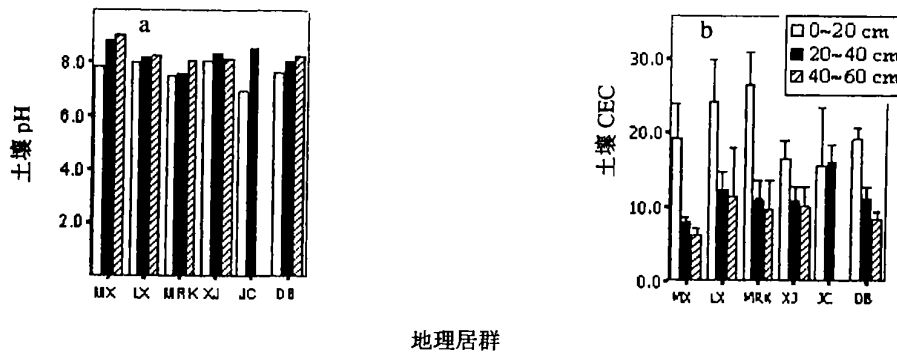


图 5 岷江柏不同地理居群林下土壤 pH (a) 和 CEC (b)

Fig. 5 pH (a) and means and standard errors of CEC (b) in soil under different cupressus chengiana geographical populations

2.4.2 阳离子交换量

由图 5 b 可见, 岷江柏林下土壤 CEC 差异较大, 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的变化范围分别为 7.62~48.40 mg/kg、3.07~22.77 mg/kg 和 4.65~17.92 mg/kg, 平均值分别为 20.91 ± 1.73 mg/kg、 11.28 ± 0.96 mg/kg 和 9.21 ± 1.54 mg/kg。从林下土壤剖面差异来看, 除金川居群有微小差别外, 其它居群土壤 CEC 为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm 层, 表土层 (0~

20 cm) 与底土层 (20~40 cm、40~60 cm) 呈显著性差异。从地理空间来看, 岷江柏各居群之间, 0~20 cm 层土壤 CEC 马尔康居群最大, 与茂县、金川、小金、丹巴居群间有显著性差异, 金川、小金居群较小, 与理县、马尔康居群有显著性差异, 其它各居群间无显著性差异。

2.5 土壤各养分间关系

森林土壤在碳素、养分循环和水文学方面扮演着重要的角色^[13], 由于土壤有机质与土壤的碳素、

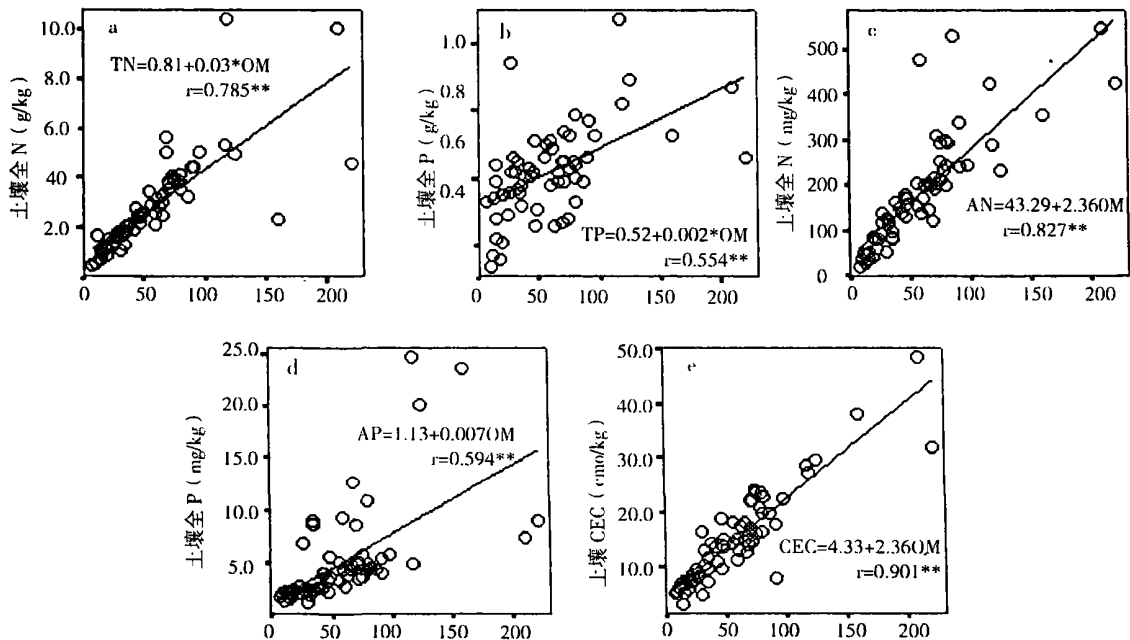


图 6 岷江柏林下土壤有机质与土壤全 N (a)、全 P (b)、碱解 N (c)、速效 P (d) 及阳离子交换量 (e) 的关系

Fig. 6 The correlation of total N (a, g/kg), total P (b, g/kg), alkali-hydrolyzable N (c, mg/kg), available P (d, mg/kg) and CEC (e, cmol/kg) with organic matter in soil under cupressus chengiana forests

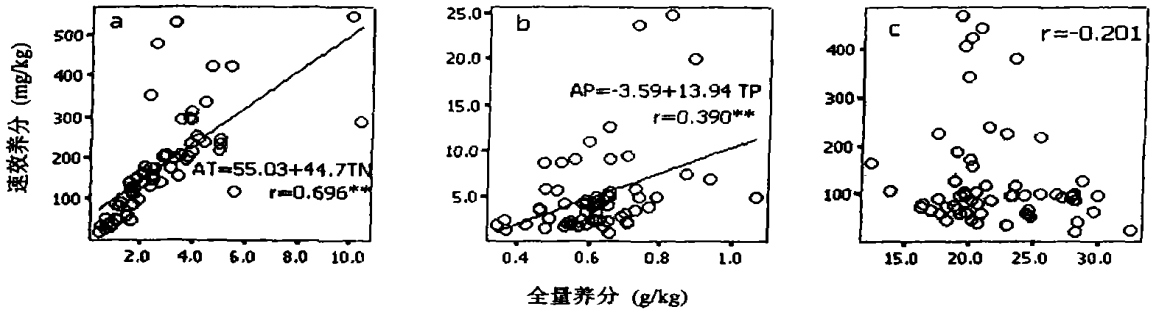


图 7 岷江柏林下土壤全 N、全 P、全 K 与碱解 N (c)、速效 P (d)、速效 K 的关系

Fig. 7 The correlation of total N (g/kg), total P (g/kg), total K (g/kg) with alkali-hydrolyzable N (a mg/kg), available P (b mg/kg), quick K (c mg/kg) in soil under cupressus chengiana forests

养分贮量密切相联系,同时对土壤的物理和水分特性有影响,另外,土壤有机质为土壤生物活动提供物质,由此,土壤有机质被提出来作为可持续的指标^[5, 13-15]。土壤有机质也是一个重要碳库和养分贮量库,通过它对许多基本的生物化学过程的影响,在养分释放和有效性方面起着关键的作用^[16]。在农林土壤利用中,土壤有机质用来估算容重、持水能力、渗透压、阳离子交换量、根系深度和土壤生产力^[17, 18]。土壤有机质是土壤固相的一个重要组成部分,它既是林木营养的主要来源,又是土壤肥力的重要指标,主要来源于森林凋落物的分解^[19-21]。

从图 6 a 可见,岷江柏林土壤全 N 消长与土壤有机质含量的变化基本一样,相关系数达极显著水平,反映出岷江柏林下土壤全 N 主要决定于有机质的积累和分解作用相对强度,其地理空间差异也主要由各地保护管理措施,人为干扰程度以及植被状况的不同所致。磷是植物体内生理代谢活动不可缺少的一种元素,对细胞分裂和植物各器官组织的分化发育,特别是开花结实具有重要作用,土壤中全 P 与 N 素有很大的差别,一部分来源于成土母质,另一部分来源于生物富集,因此磷在生态系统中生物循环不如氮素强烈,从图 6 b 可以看出,岷江柏磷与土壤有机质的相关系数 ($r=0.554^{**}$) 不如全 N 与有机质的 ($r=0.785^{**}$) 大,但仍达到极显著水平,说明磷在岷江柏林生物循环中仍起一定的作用,有机 P 在土壤全 P 中占有相当比例,任何影响林地有机质分解转化的因素都将对土壤中全 P 含量造成一定影响,在成土母质基本一致的情况下,岷江柏林下土壤全 P 含量地理空间差异也可能与植被对土壤生物作用强弱有关。土壤中速效养分(碱解 N、速效 P)主要受土壤全量养分控

制(图 7a, 图 7b), 相关系数均达极显著水平,而土壤全 N、全 P 主要受土壤有机质影响,故土壤碱解 N、速效 P 间接受土壤有机质的影响,图 6c 和图 6d 表明,土壤有机质与碱解 N、速效 P 均呈极显著相关,它们的地理空间差异也主要由土壤有机质含量差异所致。

土壤 CEC 反映土壤保蓄交换盐基养分的能力,在碱性土壤中,CEC 主要由土壤交换性盐基(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} 等)组成,即 CEC 高的土壤所保蓄的交换性盐基也高。图 6 e 表明,岷江柏林下土壤 CEC 与土壤有机质呈极显著相关 ($r=0.901^{**}$),反映出岷江柏林下土壤风化弱,土壤稳定发育时间短,无机胶体少,土壤中负电荷主要由有机胶体所贡献,即土壤 CEC 间接受土壤有机质的影响。

土壤中速效养分主要受土壤全量养分控制(图 7),但从图 7 c 表明,土壤速效 K 似乎与土壤全 K 含量相关性极低,可能与各地植被状况差异,导致土壤速效 K 流失程度不同,而土壤全 K 在土壤母质基本一致的情况下,其含量基本保持不变,故二者相关性较差。从前面分析可知,茂县、小金岷江柏土壤速效 K 含量低,主要可能与岷江柏个体小,林地覆盖度小、水土流失强烈,导致土壤速效 K 随水土流失;而马尔康岷江柏居群植被覆盖度好,水土流失小,土壤中速效 K 含量较高。

2.6 岷江柏各地理居群土壤肥力综合评价

根据土壤肥力质量指标与植物生长因子密切相关和对生态系统组成、物质和能量流动变化,以及管理措施有较强敏感性原则^[22-24],选取土壤容重、孔隙度、持水能力、土壤全量养分(N、P、K)、速效养分(N、P、K)和阳离子交换量为土壤肥力综合评价指标,运用多元分析(主成分分

析)^[20], 以各主成分特征贡献率为权重, 加权计算各林地土壤肥力综合指标值(图8)。

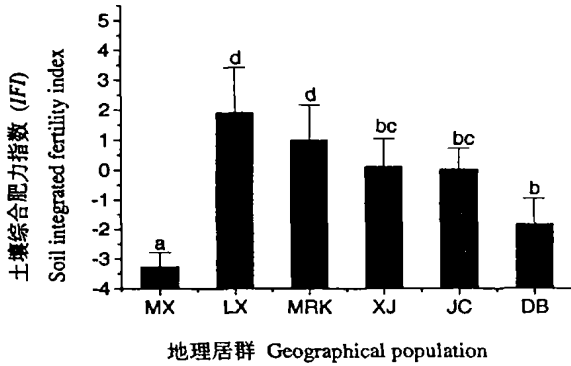


图8 岷江柏不同地理居群土壤肥力综合指数

Fig. 8 Integrated fertility index (IFI) of soil under Cupressus chengiana forest in different geographical populations

从图8可以看出, 土壤肥力指标值(Integrated fertility index IFI)出现负值, 需说明的是, 正负不表示实际意义, 只表示相对大小, 是评价指标数值标准化的结果。岷江柏林下土壤肥力综合值大小顺序为: LX>MRK>XJ>JC>DB>MX。

3 结论与讨论

通过岷江柏土壤养分指标的综合性分析, 马尔康、理县岷江柏居群土壤养分指标综合性能最好, 其次为小金、金川、丹巴岷江柏居群, 最差的为茂县岷江柏居群。岷江柏林下养分空间差异是植被状况、保护管理措施和人为干扰状况等多种因素综合作用的结果。

3.1 植被状况

土壤作为植被生长的重要环境条件, 一方面与自然风化条件有关, 另一方面与植被的生物作用有关^[25], 在同一区域自然条件基本相同的情况下, 其差异主要体现在植被的生物作用上, 植物通过生长从环境(主要为土壤)中吸收养分, 同时通过凋落物和根系分泌物返还给土壤。岷江柏分布区生态环境极度恶劣, 植物的生长好坏直接关系到土壤环境状况, 茂县岷江柏居群, 植被个体小, 胸径只有4 cm, 植物对土壤的生物作用时间较短, 土壤有机质含量低, 与其极相关的土壤N、P含量也低, 同时由于郁闭度小, 水土流失强烈, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等盐基养分也随之流失, 土壤养分含量低; 而马尔康居群, 岷江柏个体大, 有大部分原始林存

在(见表2), 生物作用时间长, 野外调查发现, 地面有5~10cm厚的凋落物层, 林地物质循环链较畅通, 故土壤养分含量较高。

3.2 地形特征

地形特征是通过影响物质的再分配来间接影响土壤养分。从表2可见, 马尔康岷江柏分布区坡度最小($23^{\circ} \sim 38^{\circ}$), 而理县岷江柏分布区坡度最高($40^{\circ} \sim 42^{\circ}$), 茂县岷江柏分布区其坡度也很陡($35^{\circ} \sim 37.5^{\circ}$)。在地势陡峭的岷江柏分布区, 土体不稳定, 多石砾, 常有复土现象, 土壤结构发育不完整, 生物作用时间较短, 土壤有机质含量低, 与其极相关的土壤N、P含量也低, 同时水土流失强烈, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等盐基养分也随之流失, 土壤养分含量低。

3.3 人为干扰

影响土壤养分状况另一因素是人为干扰, 岷江上游山地生态系统的退化是系统自身的脆弱性和不稳定性与外在的人为干扰综合作用的结果, 人为干扰活动是生态环境退化的驱动力和外因^[26]。人为干扰如过度放牧、牛羊践踏、修枝、伐薪及收集林下凋落物积肥等, 直接去除了森林生态系统中植被向土壤返还物质链, 造成土壤生态系统支出多, 归还少, 土壤养分匮乏; 同时过度的人为干扰造成土壤坚实, 土壤表层孔隙度降低, 尤其是大孔隙明显减少, 持水供水能力减弱, 渗透系数减小, 水土流失增加^[27], 由此造成养分流失程度增加。茂县岷江柏居群土壤养分含量低, 主要与地处海拔低, 离民点近, 岷江柏受到砍柴、修枝等强烈破坏, 人为干扰强烈, 减少了植被向土壤的养分输入, 加上牛羊放牧等活动的影响, 土壤变得紧实、孔隙小, 持水能力差, 造成土壤有效养分的流失。

3.4 管理保护措施

保护管理措施也是影响土壤养分状况的一个重要原因。马尔康岷江柏居群土壤养分较好, 与当地保护措施好不无关系。当地政府正在积极筹备岷江柏自然保护区, 老百姓积极配合, 有相当部分岷江柏原始林存在, 植被对土壤的生物作用时间较长, 物质循环畅通, 植物吸收的养分能及时返还土壤。鉴于此, 为促进岷江柏更新, 除加强保护, 减少人为干扰外, 在有水源保障的阴坡或半阴坡, 实施人工造林也是十分必要的。

参考文献 (References):

[1] Compiled by the Editorial Board of "Forests in Sichuan". Forests in

- Sichuan [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990. [四川森林编辑委员会. 四川森林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.]
- [2] Fu Ligu, Chen Tanqing, Lang Kaiyong *et al.* 2000. Higher Plants of China (volume No. 3) [M]. Qingdao: Qingdao Publishing House. [傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 等. 中国高等植物 (第三册) [M]. 青岛: 青岛出版社, 2000.]
- [3] Fu Ligu. Plant Red Data Book of China-rare and Endangered Plant (volume No. 1) [M]. Beijing: Science Press, 1992. [傅立国. 中国植物红皮书—稀有濒危植物 (第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [4] Jenny H. The Soil Resource [M]. New York: Springer-Verlag, 1980
- [5] Doran J W, Parkin T B. Defining and accessing soil quality [A]. In: Doran J W *et al.* eds. Defining soil quality for a sustainable environment [C]. SSSA Special Publ. Number 35. Soil Science Society of American, Inc. and Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI, pp. 3~22
- [6] Hartemink AE. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea [J]. *Geoderma*, 1998, **85**: 283~306
- [7] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. *Adv Soil Sci*, 1985, (3): 1~7
- [8] Martinez-Mena M, *et al.* Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environmental [J]. *Soil & Research*, 1998, **48**: 71~80
- [9] Keck TJ, *et al.* Spatial distribution of soil attributes on reconstructed mine soils [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, **57**: 782~786
- [10] Qiu Yang, Fu Bojie, Wang Yong. Spatiotemporal variation in soil erosion and its relation to the environmental factors [J]. *J Soil Water Conserv*, 2002, **16** (1): 101~106. [邱扬, 傅伯杰, 王勇. 土壤侵蚀时空变异及其与环境因子的时空关系 [J], 水土保持学报, 2002, **16** (1): 101~106.]
- [11] Institute of Soil Science, CAS (Eds.) (ISSCAS). Physical and chemical analysis of soil [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978]
- [12] Jürgen B. Partap K K, Peter Hchris W. Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? — a case study from native eucalypt forests of south-eastern Australia [J]. *For Ecol Manage*, 2002, **171**: 59~74
- [13] Burger J A, Kelting D L. Using soil quality indicators to assess forest stand management [J]. *For Ecol Manage*, 1999, **122**: 155~156
- [14] Powers R F, *et al.* Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States. In: Adams M B, *et al.* (Eds.). The Contribution of soil science to the development and implementation of criterion and indicators of sustainable forest management [J]. *Soil Sci Soc of Am*, 1998, **53**: 53~80;
- chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities [J]. *For Ecol Manage*, 2000, **138**: 335~356
- [16] Nambiar, E K S. Sustained productivity of forests as a continuing challenge to soil science [J]. *Soil Sci Soc Am. J*, 1997, **60**: 1629~1642
- [17] Bouma, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation [J]. *Adv Soil Sci*, 1989, **9**: 177~213
- [18] Larson, W E, Pierce, F J. The dynamics of soil quality as measure of sustainable management [J]. *Soil Sci Soc Am, Special Publication*, 1994, **35**: 37~51
- [19] Hu Hong, Liu Shiquan, Liu Qing, *et al.* Changes of soil properties in restoration of subalpine coniferous plantation in western Sichuan [J]. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 2001, **7** (4): 308~314. [胡泓, 刘世全, 陈庆恒, 等. 川西亚高山针叶林人工恢复过程的土壤性质变化 [J]. 应用与环境生物学报, 2001, **7** (4): 308~314.]
- [20] Pang Xueyong, Liu Qing, Liu Shiquan, *et al.* Changes of soil fertility quality properties under subalpine spruce plantation in western Sichuan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24** (2): 261~267. [庞学勇, 刘庆, 刘世全, 等. 川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变 [J]. 生态学报, 2004, **24** (2): 261~267]
- [21] Pang Xueyong, Liu Qing, Liu Shiquan, *et al.* Degradation and control of soil organic matter and nutrient pool under subalpine spruce plantation in western Sichuan [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, **41** (1): 126~133. [庞学勇, 刘世全, 刘庆, 等. 川西亚高山云杉人工林地有机物和养分库的退化与调控 [J]. 土壤学报, 2004, **41** (1): 126~133.]
- [22] Pennock D J and Kessel C V. Clear-cut forest harvest impacts on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada [J]. *Geoderma*, 1997, **5**: 13~32
- [23] Wang X J and Gong Z T. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China [J]. *Geoderma*, 1998, **81**: 339~355
- [24] Ellert B H and Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soil under contrasting management regimes [J]. *Canada J. Soil Society*, 1995, **75**: 529~538
- [25] Odum E P. The strategy of ecosystem development [J]. *Science*, 1969, **164**: 262~270
- [26] Bao Weikai, Liu Zhaoguang. Human-induced disturbance regime in the dagou valley in the upper reaches of the mingjiang river [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 1999, **5** (3): 233~239. [包维楷, 刘照光. 岷江上游大沟流域驱动植被退化的人为干扰体研究, 应用与环境生物学报 [J], 1999, **5** (3): 233~239]
- [27] Pang Xueyong, Liu Qing, Liu Shiquan, *et al.* Effect of human-induced disturbance on soil physical properties of subalpine coniferous forests in western Sichuan [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2002, **8** (6): 583~587. [庞学勇, 刘庆, 刘世全, 等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响. 应用与环境生物学报 [J], 2002, **8** (6): 583~587]

Characteristic and Population Difference Comparison of Soil Nutrients Under *Cupressus Chengiana* Forests

PANG Xueyong, BAO Weikai

(Chendu Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Chendu sichuan, 610041)

Abstract: The study was conducted in *Cupressus chengiana* forests in western Sichuan (6 counties) with relation to geographical distribution. Soil organic matter (OM), total N, total P, alkali-hydrolyzable N, available P, available K and cation exchange capacity (CEC) in topsoil (0~20 cm) in *Cupressus chengiana* forests were the highest in Barkam (MRK) population, and Jingchuan (JC), Xiaojing (XJ), Danba (DB) populations were in the next place, Lixian (LX) and Maoxian (MX) popalations were lowest. Yet the change trend of soil total K and pH were reverse with other nutrients in all populations, that is to say, soil soil total K and pH were the highest in MX population and were the lowest in MRK population. Other nutrients except total K and pH were higher in topsoil than that in downsoil. Soil total N, total P, alkali-hydrolyzable N, available P and CEC were significantly correlative with soil OM, soil available nutrients were mainly controlled by soil total nutrients. Soil nutrients had significantly spatial difference in all *Cupressus chengiana* populations. Based synthetical analysis on soil nutrients, soil integrated fertility in *Cupressus chengiana* forests was the highest in MRK population, JC, XJ, DB populations were in the next place, LX and MX populations were the worst. Spatial differences of soil nutrients under *Cupressus chengiana* forests were mainly affected by conditions of vegetation, topographic condition, measures of protection and management and conditions of human-induced disturbance.

Key words: *Cupressus chengiana*; soil nutrient; geographical spatial difference; dry valley